



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วนศาสตร์)

ปริญญา

วนผลิตภัณฑ์

วนผลิตภัณฑ์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาคุณภาพกระดาษกั้นกระจก

Quality Development of Glass Interleaving Paper

นามผู้วิจัย นายบัญชา ตาดชื่น

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์สมหวัง ชันตยานวงศ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์สายันท์ สมฤทธิ์ผล, วท.ด.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชิต สมบูรณ์, D.Sc.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาคุณภาพกระดาษคั่นกระดาษ

Quality Development of Glass Interleaving Paper

โดย

นายบัญชา ตาคชื่น

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บัญชา ดาดชื่น 2557: การพัฒนาคุณภาพกระดาษคั่นกระดาษ ปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต (วนศาสตร์) สาขาวนผลิตภัณฑ์ ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์สมหวัง ชันตยานวงษ์, Ph.D. 68 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่อ
ความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบผิวกระดาษและสมบัติของกระดาษคั่นกระดาษ ปัจจัยที่ใช้ใน
การทดลองประกอบด้วย 2 ปัจจัย กล่าวคือ 1) ชนิดกรด 3 ชนิด ได้แก่ กรดอ่อน TEP01 และ TEP02
และ กรดแก่ TEP03 ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยบริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด และ 2) ระดับความเป็นกรด-
ด่าง 3 ระดับ ได้แก่ ระดับความเป็นกรด-ด่างที่ 4.0 5.0 และ 6.0 แผ่นขึ้นตัวอย่างกระดาษคั่นกระดาษ
ถูกเตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการและถูกปฏิบัติด้วยปัจจัยทั้งสอง ความสามารถในการหน่วงการเกิด
คราบผิวกระดาษของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ทดสอบภายใต้สภาวะความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 92
อุณหภูมิเฉลี่ย 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วัน สมบัติต่างๆ ของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ เช่น ความ
หนาแน่น ความแข็งแรงต่อการดึง การยอมให้อากาศไหลผ่าน ความขาวสว่าง และความทึบแสง ถูก
ทดสอบโดยอ้างอิงมาตรฐาน TAPPI จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ที่ปฏิบัติ
ด้วยกรดอ่อน TEP02 ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.0 สามารถหน่วงการเกิดคราบผิวกระดาษได้
ดีที่สุด กล่าวคือที่ระยะเวลา 120 วัน ไม่ปรากฏคราบและราบนผิวกระดาษ กลสมบัติและสมบัติทาง
กายภาพของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ จะได้รับผลกระทบจากชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างที่ใช้
ทดลอง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเส้นใยและอนุภาคผนังเซลล์เส้นใยในแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ถูกกรดไฮโดร
ไลส์ให้อ่อนแอลงและละลายตัวบางส่วน

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Bancha Tadchuen 2014: Quality Development of Glass Interleaving Paper.
Master of Science (Forestry), Major Field: Forest Products, Department of Forest
Products. Thesis Advisor: Associate Professor Somwang Khantayanuwong, Ph.D.
68 pages.

The objectives of this study were to determine the effects of treated acid and pH level of interleaving paper on its glass stain retardability and properties. Handsheets of interleaving paper were treated with two factors consisted of acid types and pH levels. Two types of weak acids and a strong acid provided by Teppatana Paper Mill Co., Ltd., i.e., TEP01 and TEP02, and TEP03, respectively were used for treating the handsheets to achieve pH 4.0, 5.0 and 6.0. The treated handsheets were subjected to examining their glass stain retardability in a glass warehouse with an average temperature of 32 °C and relative humidity of 92 %. Glass stain occurrence was observed every 30 days until 120 days. Handsheet properties such as apparent density, air permeability, tensile strength, brightness and opacity were also assessed in accordance with the TAPPI standards. The results indicated that the handsheets treated with TEP02 at pH 4.0 showed the best performance for retarding the glass stain occurrence, i.e. there was no glass stain and fungal occurrence until 120 days. The mechanical and physical properties of treated handsheets were affected by acids and pH levels possibly due to acid hydrolysis partially weakening fibers and dissolving fines in the handsheets.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สมหวัง ชันตยานวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก อ.ดร.สายัณห์ สมฤทธิผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ดร.พิชิต สมบูรณ์ หัวหน้าภาควิชา วนผลิตภัณฑ์ และ อ.วิวัฒน์ อรรถพานุรักษ์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การ ค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณ คุณณรงค์ฤทธิ์ พานิชชีวะ กรรมการผู้จัดการ บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด ที่สนับสนุนการเรียน และให้ทุนในการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบ ความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชา วนผลิตภัณฑ์ทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้ อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

บัญชา ดาดชื่น
ธันวาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	16
อุปกรณ์	16
วิธีการ	18
ผลและวิจารณ์	28
สรุปและข้อเสนอแนะ	48
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	51
ภาคผนวก	54
ภาคผนวก ก อุปกรณ์การทดลอง	55
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	59
ภาคผนวก ค การศึกษาและวิเคราะห์รา	65
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	68

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	กำลังการผลิตและยอดขายกระดาษกั้นกระดาษ ปี พ.ศ. 2545-2551	8
2	ยอดขายกระดาษกั้นกระดาษแยกตามบริษัท ประจำปี พ.ศ. 2551	9
3	สมบัติบางประการของกระดาษกั้นกระดาษที่ผลิตภายในประเทศและที่ผลิตจากต่างประเทศ	13
4	ความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบและรบกวนผิวกระดาษของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ	30
5	ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและกลสมบัติของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ	36
6	ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ที่ปฏิบัติด้วยกรด	37
7	พื้นที่การเจริญของราชนิดต่างๆ บนแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ	46
ตารางผนวกที่		
ข1	ค่าความหนาแน่นของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ที่ปฏิบัติด้วยกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน	60
ข2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบ RCBD สำหรับค่าความหนาแน่น	60
ข3	ค่าดัชนีแรงดึงของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ที่ปฏิบัติด้วยกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน	61
ข4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบ RCBD สำหรับค่าดัชนีแรงดึง	61
ข5	ค่าการยอมให้อากาศไหลผ่านของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ที่ปฏิบัติด้วยกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน	62
ข6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบ RCBD สำหรับค่าการยอมให้อากาศไหลผ่าน	62
ข7	ค่าความขาวสว่างของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ที่ปฏิบัติด้วยกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบ RCBD สำหรับค่าความ ขาวสว่าง	63
ข9	ค่าความทึบแสงของแผ่นชั้นตัวอย่างฯ ที่ปฏิบัติด้วยกรดและระดับความเป็น กรด-ด่างต่างๆ กัน	64
ข10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบ RCBD สำหรับค่าความ ทึบแสง	64
ค1	พื้นที่ของรอยเปื้อนสีที่ตรวจพบราชนิดต่างๆ บนแผ่นชั้นตัวอย่างฯ	66

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะการใช้งานกระดาษคั่นกระดาษ	4
2	กระบวนการผลิตกระดาษคั่นกระดาษ	6
3	สารเคมีที่ยังเหลือที่ใช้ในโรงงานผลิตกระดาษคั่นกระดาษ	7
4	ลักษณะคราบผิวกระดาษอันเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับกระดาษ	9
5	ขนาดของเส้นใยป่านศรนารายณ์ถูกไฮโดรไลส์ด้วยกรดกำมะถันความเข้มข้นต่างๆ	14
6	ปริมาณลิกนินและเถ้าในเส้นใยที่ระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ	15
7	แผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ถูกเจาะตัดและนำไปวางบนอาหาร GAN ในงานอาหารเลี้ยงเชื้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร	27
8	เชื้อราที่เจริญออกมาจากแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ถูกเจาะตัดบนอาหาร GAN ในงานอาหารเลี้ยงเชื้อ	27
9	ความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบและราบนผิวกระดาษของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ เมื่อผ่านการทดลองไปแล้ว 120 วัน	31
10	การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน	38
11	การเปลี่ยนแปลงดัชนีแรงดึงของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน	39
12	การเปลี่ยนแปลงการยอมให้อากาศไหลผ่านของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน	41
13	การเปลี่ยนแปลงความขาวสว่างของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน	43
14	การเปลี่ยนแปลงความทึบแสงของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน	44

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ก1	เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Tensile Testing Machine, EJA-series, Thwing-Albert Co., Ltd., USA)	56
ก2	เครื่องทดสอบความพรุน (Densometer, 4110N, Gurley Precision Instruments, Inc., USA)	57
ก3	เครื่องทดสอบการสะท้อนแสง (Automatic Reflectometer, Model-3, Kumagai Riki Kogyo Co., Ltd., Japan)	58

การพัฒนาคุณภาพกระดาษคั่นกระดาษ

Quality Development of Glass Interleaving Paper

คำนำ

กระดาษคั่นกระดาษ (Glass Interleaving Paper) เป็นวัสดุคั่น (Interleaving Material) ที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมกระดาษมากที่สุด เนื่องจากให้ความสะดวกในการใช้งาน ป้องกันการติดกัน และช่วยซับแรงกระแทกของแผ่นกระดาษขณะซ้อนกัน ป้องกันความเสียหายของกระดาษอันเนื่องมาจากการขนส่ง และที่สำคัญที่สุดคือป้องกันการเกิดคราบผิวกระดาษ (Stain) อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับกระดาษ ซึ่งปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับกระดาษนั้นจะทำให้เนื้อของกระดาษถูกทำลาย รวมถึงทำให้เกิดคราบผิวกระดาษ (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2547; Chitwatcharakomol, 1995) ลักษณะปัญหาดังกล่าวเป็นสิ่งสำคัญในอุตสาหกรรมกระดาษเป็นอย่างมาก หากจำเป็นต้องเก็บกระดาษในโกดังที่มีความชื้นสูง หรือขนส่งกระดาษไปยังต่างประเทศโดยทางเรือ อย่างไรก็ตามหากกระดาษคั่นกระดาษที่ใช้มีสภาพความเป็นกรด จะสามารถช่วยป้องกันการเกิดคราบผิวกระดาษอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับกระดาษได้ โดยความสามารถในการหน่วงดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับชนิดของกรดหรือสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนของการผลิตกระดาษคั่นกระดาษ ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีเพียง บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด เป็นผู้ผลิตกระดาษคั่นกระดาษเพียงรายเดียว ปริมาณการผลิตและมูลค่าของกระดาษคั่นกระดาษมีแนวโน้มมากขึ้นทุกปีตามการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ โดยในปี พ.ศ. 2551 มีกำลังการผลิตประมาณ 1,772 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 50 ล้านบาท แต่กระนั้น ปัญหาของกระดาษคั่นกระดาษที่ผลิตและจำหน่ายพบว่ามีความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบผิวกระดาษอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับกระดาษยังด้อยกว่ากระดาษคั่นกระดาษที่นำเข้าจากต่างประเทศ กล่าวคือหากนำกระดาษคั่นกระดาษที่ผลิตได้ดังกล่าวไปใช้คั่นกระดาษเก็บไว้ในโกดังที่มีความชื้นสูง หรือใช้ขนส่งกระดาษไปยังต่างประเทศโดยทางเรือ มักจะทำให้เกิดคราบผิวกระดาษสีขาวภายในระยะเวลาไม่เกิน 2 เดือน (ฝ่ายปฏิบัติการ บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด, 2552; ฝ่ายพัฒนาธุรกิจ บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด, 2552)

ดังนั้นการศึกษาผลของชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างในการผลิตกระดาษคั้น
กระดาษต่อความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบผิวกระดาษ และสมบัติของกระดาษคั้นกระดาษ จึง
เป็นสิ่งจำเป็นต่อการพัฒนาคุณภาพกระดาษคั้นกระดาษที่ผลิตขึ้นเพื่อให้มีความสามารถในการหน่วง
การเกิดปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับกระดาษได้ดีขึ้น



วัตถุประสงค์

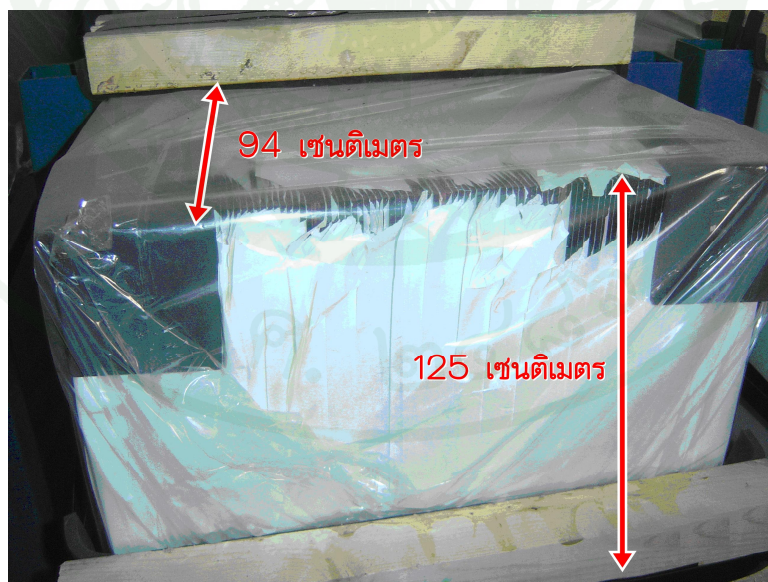
การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ศึกษากลไกของการเกิดคราบผิวกระจกอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับกระจก ด้วยการสอบทวนผลงานทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง และจากการสอบข้อมูลของบริษัท เทพพัฒนา กระจก จำกัด กับผู้บริหารกระจกและ
2. ศึกษาผลของชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่าง ในการผลิตกระจกชั้นกระจกต่อความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบผิวกระจก และสมบัติของกระจกชั้นกระจกเพื่อปรับปรุงพัฒนาคุณภาพกระจกชั้นกระจกให้สามารถเก็บรักษากระจกได้ดีขึ้น

การตรวจเอกสาร

กระดาษคั่นกระจก

ในการขนส่งและจัดเก็บกระจกนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใส่วัสดุคั่น สอดแทรกอยู่ระหว่างแผ่นกระจก เพื่อป้องกันการติดกันของแผ่นกระจกและช่วยซับแรงกระแทก ซึ่งอาจเป็นผลทำให้กระจกเกิดความเสียหายได้ ในช่วงแรกที่อุตสาหกรรมกระจกถือกำเนิดขึ้นนั้น ในขั้นตอนการขนส่งและการจัดเก็บ ไม่ได้มีการใส่วัสดุคั่นแต่อย่างใด เนื่องจากกำลังการผลิตยังไม่สูงนัก และขนาดของกระจกที่ผลิตยังมีขนาดเล็กอยู่ ต่อมาเมื่อมีความต้องการใช้กระจกเพิ่มมากขึ้น และการใช้งานที่หลากหลาย ทำให้ขนาดของกระจกหลากหลายขึ้น และมีขนาดใหญ่ขึ้น วัสดุคั่น จึงเริ่มมีบทบาทในขั้นตอนการขนส่งและจัดเก็บ เริ่มจากการใช้แป้งโรย (Powdered) ที่ผิวหน้าของกระจก เพื่อป้องกันการติดกันของแผ่นกระจกและป้องกันการเกิดคราบ (Duffer *et al.*, 1985) ต่อมาไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากผู้ใช้งานจะต้องทำความสะอาดทุกครั้งก่อนนำไปใช้งาน จึงเปลี่ยนมาใช้เม็ดพลาสติก (Plastic Bead) เป็นวัสดุคั่น (Franz, 1997) แต่ก็ยังมีข้อเสียในเรื่องของความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งต่อมาได้วิวัฒนาการมาใช้กระดาษเป็นวัสดุคั่นกระจก โดยเรียกว่า กระดาษคั่นกระจก เนื่องด้วยกระดาษเป็นวัสดุที่หาง่าย และสะดวกต่อการใช้งานดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะการใช้งานกระดาษคั่นกระจก

ที่มา: ฝ่ายพัฒนาธุรกิจ บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด (2552)

1. การผลิตและการใช้กระดาษคั่นกระดาษในประเทศไทย

ปัจจุบันในประเทศไทย มีเพียงบริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด เพียงแห่งเดียวที่ยังคงผลิตกระดาษคั่นกระดาษป้อนให้กับโรงงานกระดาษแผ่นเรียบทั้ง 3 บริษัท คือ บริษัท กระดาษไทย-อาซาฮี จำกัด (มหาชน) บริษัท กระดาษสยามการ์เดียน จำกัด และบริษัท กระดาษสยาม จำกัด เนื่องมาจากกระดาษชนิดนี้เป็นกระดาษที่โรงงานเหล่านี้ ได้กำหนดสมบัติของกระดาษขึ้นมาเป็นพิเศษ นอกเหนือจากสมบัติพื้นฐานทั่วไป ทำให้กระบวนการที่ใช้ผลิตกระดาษคั่นกระดาษมีความยุ่งยากมากกว่ากระบวนการผลิตกระดาษทั่วไป อีกทั้งปริมาณความต้องการใช้กระดาษคั่นกระดาษภายในประเทศไม่เหมาะสมกับกำลังการผลิตของเครื่องจักรผลิตกระดาษในปัจจุบัน นอกจากจะทำให้ปริมาณกระดาษที่มากเกินไปแล้ว ยังทำให้เกิดการสูญเสียที่มากกว่าปกติ เนื่องจากกระดาษประเภทนี้จะมีน้ำหนักมูลฐาน (Basis Weight) เพียง 35-48 กรัมต่อตารางเมตร เท่านั้น ทำให้กระดาษอาจขาด (Sheet Break) ได้โดยง่ายที่ความเร็วของเครื่องจักรผลิตกระดาษสูงๆ

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษคั่นกระดาษปัจจุบันจะเป็นกระดาษใช้แล้ว (Waste Paper) ที่ผลิตจากเยื่อเชิงกล (Mechanical Pulp) หรืออาจเรียกกันทั่วไปว่า กระดาษปรีฟขาว (White Blank News) เนื่องจากกระดาษที่ผลิตจากเยื่อเชิงกลเมื่อนำกลับมาเป็นวัตถุดิบผลิตเป็นกระดาษใหม่อีกครั้ง สมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษจะยิ่งเพิ่มขึ้น และยังมีสัดส่วนของเส้นใยยาวอยู่มากเมื่อเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่น เช่น กระดาษใช้แล้วที่ผลิตจากเยื่อเคมี (Chemical Pulp) เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงของกระดาษที่น้ำหนักมูลฐานต่ำๆ เนื่องจากเส้นใยยาวสามารถสร้างพันธะกับเส้นใยข้างเคียงได้มากกว่าเส้นใยสั้น (Howard and Bichard, 1992) ดังนั้นกระบวนการในการผลิตกระดาษคั่นกระดาษจึงมีความคล้ายคลึงกับการผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์จากหนังสือพิมพ์ใช้แล้ว (Old News Print) อย่างไรก็ตามในการผลิตกระดาษคั่นกระดาษต้องให้ความใส่ใจในเรื่องปริมาณวัสดุสารเหนียว (Sticky) จึงทำให้ต้องเพิ่มจำนวนพนักงานในการคัดเลือก (Sorting) กระดาษออกจากวัสดุสารเหนียวที่ปะปนมากับวัตถุดิบให้ได้มากที่สุด รวมถึงเพิ่มจำนวนเครื่องคัดกรองเส้นใยในแนวตั้ง (Vertical Screen) มากกว่าปกติเพื่อกำจัดเอาวัสดุสารเหนียวที่ปะปนมากับวัตถุดิบออกจนหมด ทำให้ขั้นตอนในการตรวจสอบคุณภาพของกระดาษ นอกจากจะตรวจสอบสมบัติด้านความแข็งแรงและทัศนสมบัติแล้ว ยังต้องตรวจสอบปริมาณวัสดุสารเหนียว รวมถึงระดับความเป็นกรด-ด่างของกระดาษคั่นกระดาษให้มีสภาพความเป็นกรดในช่วงที่กำหนด เพื่อให้กระดาษคั่นกระดาษมีความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบผิวกระดาษอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับกระดาษ โดยความสามารถในการหน่วงดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับระดับความเป็นกรด-ด่าง

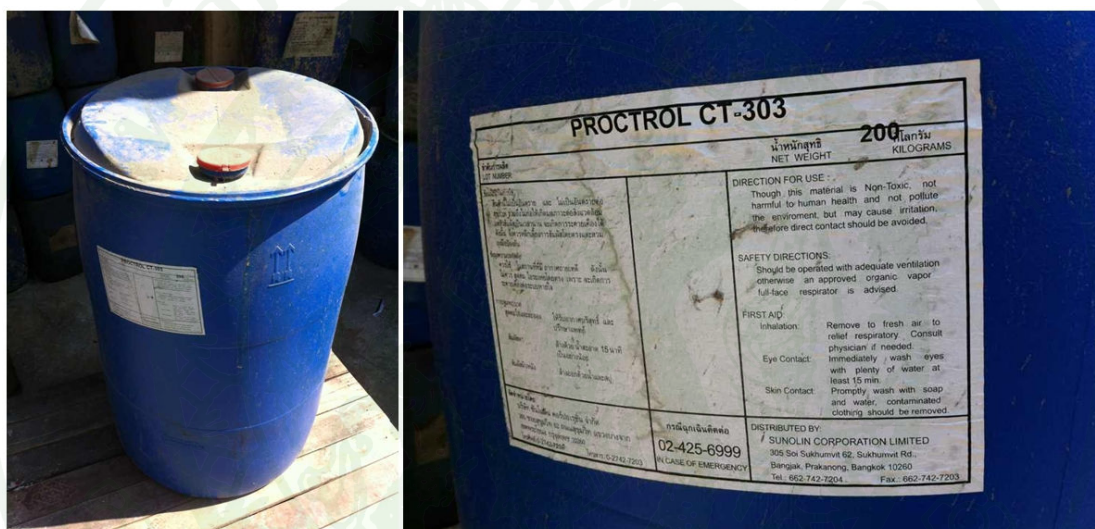
และชนิดของกรดหรือสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนของการผลิตกระดาษกึ่งกระดาษกึ่งขั้นตอนหรือกระบวนการผลิตกระดาษกึ่งกระดาษกึ่งแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กระบวนการผลิตกระดาษกึ่งกระดาษกึ่ง

ที่มา: ฝ่ายปฏิบัติการ บริษัทเทพพัฒนกระดาษจำกัด (2557)

นอกจากการเกิดคราบผิวกระจกอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับกระจกดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การเกิดปัญหาคราบผิวกระจกจากสาเหตุอื่นที่พบเห็นได้บ่อยคือการเกิดเป็นคราบราบนผิวกระจกอันเนื่องจากการใช้กระดาษคั่นกระจก ซึ่งโดยทั่วไปและในสภาวะความเป็นกรดของกระดาษคั่นกระจก จะเอื้อต่อการเกิดราเมื่อมีปริมาณความชื้นในขณะจัดเก็บกระจกมากพอ (เกศรินทร์, 2552) อย่างไรก็ตาม การเกิดปัญหาดังกล่าวสามารถป้องกันได้โดยการใช้สารเคมียับยั้งเชื้อรา (Fungicides) ดังแสดงในภาพที่ 3 ผสมลงในน้ำเชื่อมการผลิตกระดาษโดยปริมาณการใช้จะอยู่ระหว่าง 1-2 กิโลกรัม ของสารเคมียับยั้งเชื้อราต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง 1 ตัน (ฝ่ายปฏิบัติการ บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด, 2556)



ภาพที่ 3 สารเคมียับยั้งเชื้อราที่ใช้ในโรงงานผลิตกระดาษคั่นกระจก

แม้ว่าความต้องการใช้กระดาษคั่นกระจกภายในประเทศจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกระดาษชนิดอื่นๆ แต่ความต้องการยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมถึงมูลค่าต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ก็เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการที่มีผู้ผลิตเพียงรายเดียวในประเทศนั่นเอง ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กำลังการผลิตและยอดขายกระดาศันกระจก ปี พ.ศ. 2545-2551

ปี พ.ศ.	กำลังการผลิต (กิโลกรัม)	ยอดขาย (กิโลกรัม)	มูลค่า (บาท)
2545	1,379,526.00	1,052,462.96	29,416,250.14
2546	1,496,793.00	1,073,845.38	30,401,051.73
2547	1,468,790.00	1,252,666.66	33,699,589.36
2548	1,559,925.00	1,118,796.98	31,744,082.80
2549	1,505,475.00	1,315,222.25	40,069,134.19
2550	1,667,498.00	1,464,456.22	48,750,114.68
2551	1,772,331.00	1,418,383.83	50,534,889.27

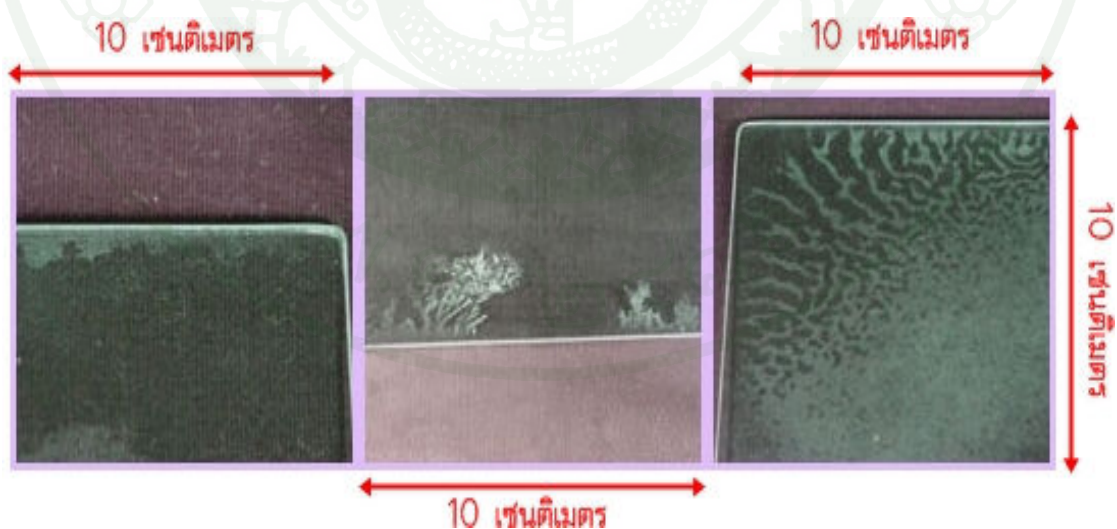
ที่มา: ฝ่ายพัฒนาธุรกิจและฝ่ายปฏิบัติการ บริษัทเทพพัฒนากระดาศันจำกัด (2552)

ในปี พ.ศ. 2551 กำลังการผลิตกระดาศันกระจกภายในประเทศมีปริมาณ 1,772 ตัน ซึ่งมีมูลค่ากว่า 50 ล้านบาท ทั้งนี้เป็นการใช้กระดาศันกระจกที่ผลิตภายในประเทศเป็นการใช้เพื่อขนส่งกระจกภายในประเทศและสำหรับคั่นกระจกสำหรับเก็บกระจกไว้ในโกดังเป็นระยะเวลาสั้นๆ ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากกระดาศันกระจกที่ผลิตและจำหน่ายภายในประเทศมีความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบผิวกระจกอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับกระจกยังน้อยกว่ากระดาศันกระจกที่นำเข้าจากต่างประเทศ กล่าวคือหากนำกระดาศันกระจกที่ผลิตภายในประเทศไปใช้คั่นกระจกเก็บไว้ในโกดังที่มีความชื้นสูง หรือใช้ขนส่งกระจกไปยังต่างประเทศโดยทางเรือ มักจะทำให้เกิดคราบผิวกระจกสีขาวภายในระยะเวลาไม่เกิน 2 เดือน ดังแสดงในภาพที่ 4 (ฝ่ายปฏิบัติการ บริษัท เทพพัฒนากระดาศัน จำกัด, 2552; ฝ่ายพัฒนาธุรกิจ บริษัท เทพพัฒนากระดาศัน จำกัด, 2552)

ตารางที่ 2 ยอดขายกระดาษกั้นกระจกแยกตามบริษัท ประจำปี พ.ศ. 2551

เดือน	ยอดขาย (กิโลกรัม)				รวมต่อเดือน (กิโลกรัม)	มูลค่า (บาท)
	สยามการ์เดียน	อาซาฮี	กระจกสยาม	อื่นๆ		
มค.	35,961.83	49,213.74	9,209.69	4,504.43	98,889.69	3,320,496.22
กพ.	66,776.16	60,682.55	19,320.91	5,457.38	152,237.00	5,223,546.92
มีค.	61,577.80	47,812.83	28,916.39	4,961.7	143,268.75	5,002,447.27
เมย.	52,368.35	41,405.05	17,090.63	7,197.90	118,061.93	4,176,905.78
พค.	50,547.51	43,869.60	12,199.33	3,894.91	110,511.35	3,869,918.52
มิย.	71,103.57	30,326.52	18,726.66	5,668.30	125,825.05	4,453,841.60
กค.	50,354.63	11,995.55	28,630.80	1,909.50	92,890.48	3,298,194.99
สค.	30,405.90	51,158.86	13,867.20	5,269.60	100,701.56	3,567,776.48
กย.	93,186.05	45,077.88	34,498.40	6,036.45	178,798.78	6,352,247.57
ตค.	26,429.58	35,938.20	10,036.92	3,150.80	75,555.50	2,830,497.52
พย.	56,546.05	23,951.10	18,742.72	1,600.62	100,840.49	3,839,961.20
ธค.	62,053.75	36,712.70	20,946.40	1,090.40	120,803.25	4,599,055.20
รวม	657,311.18	478,144.58	232,186.05	50,742.02	1,418,383.83	50,534,889.27

ที่มา: ฝ่ายพัฒนาธุรกิจ บริษัทเทพพัฒนากระดาษจำกัด (2552)



ภาพที่ 4 ลักษณะคราบผิวกระจกอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับกระจก

ที่มา: บริษัทเอเชียเคนดีจำกัด (2548)

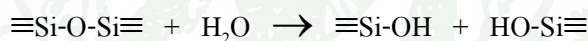
2. กลไกการเกิดคราบผิวกระจกอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับกระจก

การพัฒนากระดาษคั่นกระจกให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำความเข้าใจในเรื่องของสมบัติทางเคมีของกระจก เพื่อให้ทราบถึงสาเหตุที่จะทำให้กระจกเกิดความเสียหายทั้งที่สามารถมองเห็นและไม่สามารถมองเห็นได้ การทำปฏิกิริยากับความชื้นและก๊าซในอากาศจนทำให้เกิดปรากฏการณ์ บลูมมิ่ง (Blooming) หรือ โซดาบลูม (Soda Bloom) หรือสนิมแก้ว (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2547; Chitwatharakomol, 1995) รวมถึงการปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของกระดาษคั่นกระจกให้มีสภาพความเป็นกรดในช่วงที่กำหนดซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างของกระดาษคั่นกระจกด้วย

เมื่อเทียบกับวัสดุประเภทอื่นๆ เช่น โลหะ และ โพลีเมอร์ กระจกนับว่ามีความทนทานต่อสารเคมีมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามความชื้นสามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับกระจกได้ดังนี้

2.1 ปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับโครงสร้างกระจก

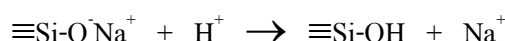
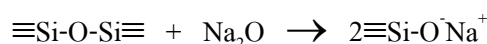
เมื่อกระจกที่ทิ้งไว้นานอาจเกิดปฏิกิริยาเคมีกับความชื้นได้ ดังนี้



สำหรับในสภาพที่เป็นด่าง จะทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับความชื้น



ปฏิกิริยาในสภาพที่เป็นกรด



จะเห็นว่าในสภาพที่เป็นด่างจะเกิดปฏิกิริยาที่ต่อเนื่อง ซึ่งทำลายโครงสร้างของกระจก ได้มากกว่าสภาพที่เป็นกรด (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2547; Chitwatcharakomol, 1995)

2.2 ปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับ Na_2O

ชั้นของผิวกระจกที่มีปริมาณ Na_2O มากอาจเกิดปฏิกิริยากับความชื้นได้ง่าย ดังนี้



NaOH ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับ CO_2 ในอากาศ



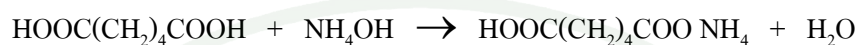
เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า บลุ่มมิง หรือ โซดาบลุ่ม โดย Na_2CO_3 มีลักษณะเป็นคราบผิว กระจกสีขาวและจะหนาขึ้นเรื่อยๆ และ NaOH ซึ่งเป็นด่างจะกัดกร่อนชั้นซิลิกา (Silica) อีกด้วย (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2547; Chitwatcharakomol, 1995)

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจากภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่า เมื่อกระจกถูกวางประกบกันโดยไม่มีการป้องกันที่เพียงพอและเหมาะสมในระหว่างแผ่น กระจกจะเกิดการชำรุดขึ้น โดยแสดงให้เห็นเป็นคราบผิวกระจกสีขาว หากปล่อยทิ้งไว้นาน คราบผิวกระจกจะมีความหนาเพิ่มขึ้น และขยายวงกว้างออกไป จนยากที่จะกำจัดออกได้โดยง่าย และถึงแม้จะเป็นเพียงคราบผิวกระจกเพียงเล็กน้อยก็ตาม ก็ทำให้ไม่สามารถใช้งานกระจกแผ่นนั้นได้ รูปทางด้านขวามือเป็นตัวอย่างของปฏิกิริยาที่รุนแรงที่เป็นไปได้ ดังนั้นกระดาษคั่นกระจกที่มีสมบัติในการหน่วงการเกิดคราบผิวกระจกอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับกระจกจึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องกับกระจกจำเป็นจะต้องใช้ เพื่อรักษาคุณภาพของกระจกก่อนถึงมือลูกค้าต่อไป

2.3 กลไกการลดปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับกระจก

จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างความชื้นกับกระจกที่กล่าวไปแล้วข้างต้นนั้นจะเห็นได้ว่า สภาพที่เป็นด่างและปริมาณ NaOH ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้โครงสร้างของกระจกเสียหายและทำให้เกิด

ทราบผิวกระจกขึ้นได้ Franz (1997) ได้ทำการทดลองใช้กรดอินทรีย์ในการต่อต้านการเกิดคราบผิวกระจกโดยเลือกใช้ Adipic Acid ซึ่งเป็น Dicarboxylic Acid ในการทำปฏิกิริยากับ NaOH และรักษาสภาพให้เป็นกรด แต่เนื่องจาก Adipic Acid ละลายน้ำได้น้อยที่อุณหภูมิห้องจึงใช้ Ammonium Hydroxide เป็นตัวช่วยให้ละลายในน้ำดีขึ้น ดังปฏิกิริยา



NaOH ที่เกิดขึ้น จะทำปฏิกิริยากับ Monoammonium Adipate แทน CO_2 ดังปฏิกิริยา



จากปฏิกิริยาข้างต้นจะได้ผลิตภัณฑ์เป็น Disodium Adipate แทน Na_2CO_3 ซึ่งจะช่วยลดการเกิดปัญหาคราบผิวกระจกได้

จะเห็นได้ว่าการเก็บกระจกภายใต้สภาวะที่เป็นกรดหรือใช้วัสดุคั้นที่เป็นกรด สามารถช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดปรากฏการณ์โซดาบวม จึงมีแนวคิดที่จะนำกลไกดังกล่าวมาพัฒนาวัสดุคั้นกระจกหรือกระดาษคั้นกระจกที่มีสภาพเป็นกรดมาใช้งานจริงดังแสดงในตารางที่ 3

เมื่อนำกระดาษคั้นกระจกที่ผลิตภายในประเทศและที่ผลิตจากต่างประเทศ มาทดสอบหาระดับความเป็นกรด-ด่าง พบว่ากระดาษคั้นกระจกที่ผลิตภายในประเทศและที่ผลิตจากต่างประเทศ จะมีระดับความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 7.0 หรือมีสมบัติเป็นกรด ซึ่งเป็นสมบัติอันพึงประสงค์เพียงประการเดียวที่เป็นความต้องการของผู้ใช้กระดาษคั้นกระจกหรือบริษัทผู้ผลิตกระจก ส่วนค่าความพรุนของกระดาษ (Porosity) ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) และปริมาณอลูมิเนียม (Al) ในกระดาษ จะมีค่าที่ต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3 สมบัติที่ต่างกันนี้อาจเป็นข้อมูลที่สำคัญในการแก้ไขปัญหากระดาษคั้นกระจกที่ผลิตและจำหน่ายภายในประเทศมีความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบผิวกระจกอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับกระจกน้อยกว่ากระดาษคั้นกระจกที่นำเข้าจากต่างประเทศ (ฝ่ายพัฒนาระบบ บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด, 2545)

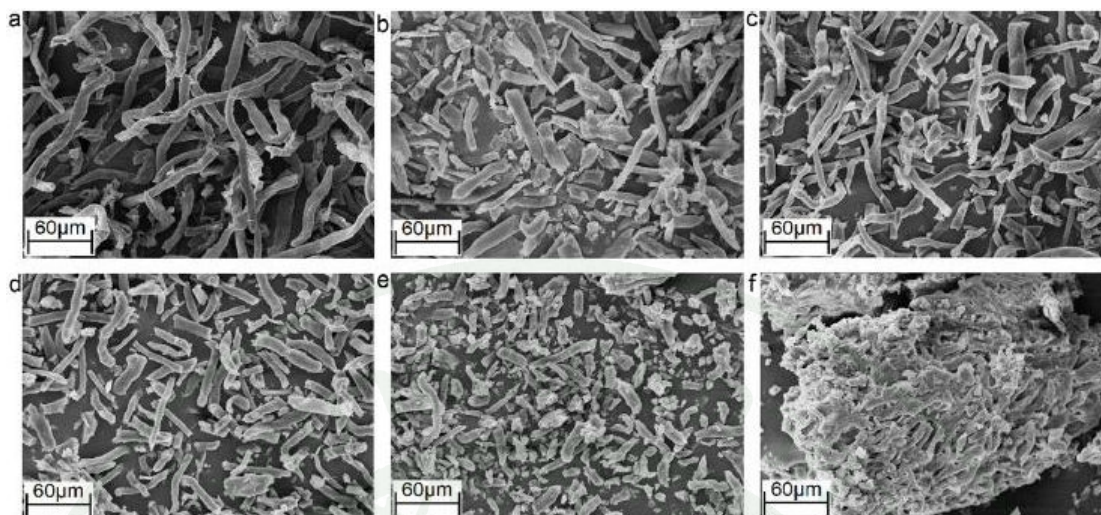
ตารางที่ 3 สมบัติบางประการของกระดาษคั่นกระดาษที่ผลิตภายในประเทศและที่ผลิตจากต่างประเทศ

ที่มาของกระดาษคั่นกระดาษ	ความพรุน (s/100 ml)	ระดับความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{ohms/cm}$)	ปริมาณอนุภาคนิเยม (%)
ต่างประเทศชนิดที่ 1	13	6.1	30	0.26
ต่างประเทศชนิดที่ 2	20	4.1	50	0.35
ภายในประเทศ	43	4.2	125	1.10

ที่มา: ฝ่ายพัฒนาระบบ บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด (2545)

3. ผลของกรดต่อกระดาษคั่นกระดาษ

การพัฒนาให้กระดาษคั่นกระดาษมีความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบผิวกระดาษขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับกระดาษ โดย ใช้กรดในการปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของกระดาษคั่นกระดาษให้มีสภาพความเป็นกรดในช่วงที่กำหนดนั้น จะมีผลกระทบต่อเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose Fibers) ที่ใช้ผลิตกระดาษคั่นกระดาษได้ กล่าวคือผนังเซลล์เส้นใยเซลลูโลสจะเกิดปฏิกิริยาการแตกสลายตัวจากการไฮโดรไลส์ด้วยกรด (Acid Hydrolysis) ในส่วนที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย (Accessible Region) หรือที่เรียกว่าส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) เมื่อพิจารณาถึงแผ่นกระดาษคั่นกระดาษซึ่งเกิดจากเส้นใยเซลลูโลสที่ยึดจับเป็นเนื้อเดียวกันโดยการทับตัวกันเป็นชั้นระหว่างเส้นใยเซลลูโลส เมื่อใช้กรดในการปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของกระดาษคั่นกระดาษให้มีสภาพความเป็นกรด จะทำให้ผนังเซลล์เส้นใยเซลลูโลสบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาการแตกสลายตัวจากการไฮโดรไลส์ด้วยกรดบางลงหรืออ่อนแอลงจนสูญเสียความแข็งแรงและขนาดของเส้นใยเซลลูโลสอาจถูกตัดทอนให้มีขนาดสั้นลงได้โดยง่าย ทำให้ความแข็งแรงของกระดาษคั่นกระดาษลดลง (Lai, 1996; Niskanen, 1998; Young and Rowell, 1986) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lacerda *et al.* (2013) ที่ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของกรดที่มีผลต่อสมบัติของเส้นใยจากต้นป่านสนารายณ์ (Sisal Fibers) จากการไฮโดรไลส์ด้วยกรด พบว่าเส้นใยป่านสนารายณ์เมื่อไฮโดรไลส์ด้วยกรดกำมะถันจะทำให้ขนาดเส้นใยป่านสนารายณ์สั้นลง และจะสั้นลงมากขึ้นเมื่อไฮโดรไลส์ด้วยกรดกำมะถันที่มีความเข้มข้นมากขึ้น กล่าวคือขนาดเส้นใยป่านสนารายณ์เมื่อไฮโดรไลส์ด้วยกรดกำมะถันจะมีความยาวโดยเฉลี่ยคือ 238 218 149 147 และ 111 ไมโครเมตร เมื่อไฮโดรไลส์ด้วยกรดกำมะถันที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0 5 10 15 20 และ 25 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ขนาดของเส้นใยป่านสรนารายณ์ถูกไฮโดรไลส์ด้วยกรดกำมะถันความเข้มข้นต่างๆ

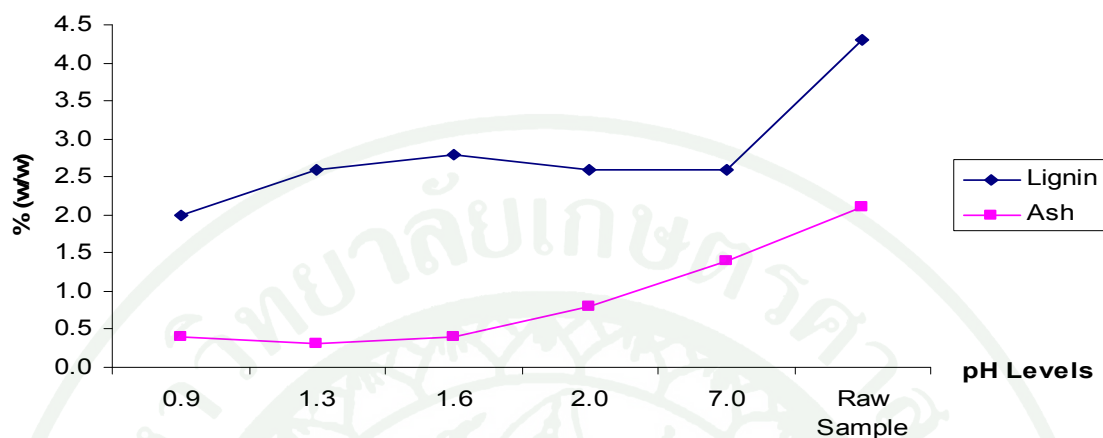
หมายเหตุ ความเข้มข้นของกรดกำมะถัน a = 0%; b = 5%; c = 10%; d = 15%; e = 20%; f = 25%

ที่มา: Lacerda *et al.* (2013)

นอกจากสมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษกั้นกระดาษที่เปลี่ยนแปลงจากการใช้กรดในการปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของกระดาษกั้นกระดาษให้มีสภาพความเป็นกรดในช่วงที่กำหนดแล้ว โครงสร้างของกระดาษกั้นกระดาษก็เกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อกระดาษกั้นกระดาษเกิดการแห้งตัวภายใต้การขึ้นตัว (Restraining) โดยหิ้งให้แห้งด้วยวงแหวนหิ้งแห้ง (Drying Ring) ฟังก์ชันเส้นใยเซลลูโลสบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาการแตกสลายตัวจากการไฮโดรไลส์ด้วยกรดจนบางลงหรืออ่อนแอลงจะสามารถยุบตัว (Collapsibility) ได้ดีขึ้น แม้ว่าความอ่อนตัว (Flexibility) จะน้อยลง แต่ยังคงทำให้โครงสร้างเส้นใยเซลลูโลสของกระดาษกั้นกระดาษสามารถเข้ารูปแนบชิดกัน (Conformability) ได้ดียิ่งขึ้น (Lai, 1996; Niskanen, 1998; Young and Rowell, 1986)

การใช้กรดในการปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของกระดาษกั้นกระดาษให้มีสภาพความเป็นกรดในช่วงที่กำหนดนั้น นอกจากมีผลกระทบต่อเส้นใยเซลลูโลสแล้ว อาจทำให้อนุภาคขนาดเล็กหรือสารประกอบอื่นๆ ที่อยู่ในโครงสร้างของกระดาษกั้นกระดาษที่ผลิตจากกระดาษรีไซเคิล และสามารถทำปฏิกิริยากับกรดเกิดการสลายตัวได้ กล่าวคือ Thygesen *et al.* (2007) ได้ศึกษาอิทธิพลของสภาวะกรดที่มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยที่ได้จากต้นกัญชง (Hemp Fiber) พบว่าเส้นใยกัญชงที่อยู่ในสภาวะกรดจะเกิดปฏิกิริยาแตกสลายของสารประกอบอื่นๆ ที่อยู่ในเส้นใยกัญ

ซง เช่น ลิกนิน (Lignin) และ เถ้า (Ash) เป็นต้น ทำให้ปริมาณของสารประกอบเหล่านี้ในเส้นใยกล้วยลดลง และมีแนวโน้มจะลดลงมากขึ้นเมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างลดลง ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ปริมาณลิกนินและเถ้าในเส้นใยกล้วยซงที่ระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

ที่มา: Thygesen *et al.* (2007)

จากลักษณะดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าอนุภาคขนาดเล็กหรือสารประกอบอื่นๆ ที่อยู่ในโครงสร้างของกระดาษกั้นกระดาษเกิดการสลายตัว ทำให้โครงสร้างของกระดาษกั้นกระดาษมีความพรุน (Porosity) มากขึ้น โดยความพรุนที่มากขึ้นนี้เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างผิวหน้าของเส้นใยเซลลูโลสกับโพรงอากาศในเนื้อแผ่นกระดาษกั้นกระดาษและเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านผิวสัมผัสดังกล่าวไปมามากขึ้นทำให้เกิดการกระเจิงของแสง (Light Scattering) ที่ดีขึ้น เนื่องจากดัชนีหักเหของแสง (Refractive Index) ของเส้นใยเซลลูโลสกับอากาศที่ต่างกัน (Vaarasalo, 1999)

การใช้กรดปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของกระดาษกั้นกระดาษให้มีสภาพความเป็นกรดนั้น มีผลกระทบต่อเส้นใยเซลลูโลสที่ผลิตกระดาษกั้นกระดาษ ทำให้สมบัติทางกายภาพและกลสมบัติและของกระดาษกั้นกระดาษเปลี่ยนแปลงดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น อย่างไรก็ตามกระดาษกั้นกระดาษที่มีสมบัติในการหน่วงการเกิดคราบผิวกระดาษอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับกระดาษต้องมีสภาพความเป็นกรด ซึ่งเป็นสมบัติที่ผู้บริโภครกระดาษกั้นกระดาษให้ความสำคัญ รวมถึงสมบัติทางกายภาพและกลสมบัติและของกระดาษกั้นกระดาษต้องไม่เปลี่ยนแปลงมากเกินไปจนทำให้ผู้บริโภครกระดาษกั้นกระดาษเกิดปัญหาในการใช้งานกระดาษกั้นกระดาษ เช่น กระดาษแห้งกรอบ โดยยังไม่ผ่านการใช้งาน และกระดาษขาดระหว่างใช้กระดาษกั้นกระดาษ เป็นต้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์เพื่อใช้ผลิตแผ่นขึ้นตัวอย่างกระดาษกั้นกระดาษ (ซึ่งต่อจากนี้ไปจะเรียกว่า “แผ่นขึ้นตัวอย่าง”) ตามมาตรฐาน TAPPI (The Technical Association of Pulp and Paper Industry, 2000) มีดังนี้

- 1.1 เศษกระดาษปรีฟขาว
- 1.2 กรดอ่อน TEP01 ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด และสาขาวิชาวนผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- 1.3 กรดอ่อน TEP02 ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด และสาขาวิชาวนผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- 1.4 กรดแก่ TEP03 ซึ่งใช้ในการผลิตกระดาษกั้นกระดาษใน บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด จริง และจะใช้เป็นกรดที่ปฏิบัติกับแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ชุดควบคุม (Control)
- 1.5 ตะแกรงลวดเหล็กปลอดสนิมขนาด 200 ช่องต่อความยาว 1 นิ้ว (Mesh)
- 1.6 เครื่องกระจายเยื่อ (Disintegrator, DSG-2000, Regmed Precision Industry Technical Co., Ltd., Brasil) เครื่องผลิตแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ (Handsheets Former) และเครื่องกดกระดาษ (Standard Press)
- 1.7 เครื่องบดเยื่อ (Valley Beater, Lorentzen & Wettre Co., Ltd., Sweden)
- 1.8 เครื่องทดสอบค่าความเป็นอิสระของน้ำเยื่อ (Freeness Tester, Lorentzen & Wettre Co., Ltd., Sweden)

2. อุปกรณ์เพื่อใช้ทดสอบหาสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ตามมาตรฐาน TAPPI (The Technical Association of Pulp and Paper Industry, 2000) มีดังนี้

- 2.1 เครื่องทดสอบระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter, Starter300, Ohaus Instruments Co., Ltd., USA)
- 2.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก (Analytical Balance, PB303-L, Mettler Toledo Inc., Switzerland)
- 2.3 เครื่องทดสอบความหนา (Precision Micrometer, Lorentzen & Wettre Co., Ltd., Sweden)

2.4 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Tensile Testing Machine, EJA-series, Thwing-Albert Co., Ltd., USA)

2.5 เครื่องทดสอบความพรุน (Densometer, 4110N, Gurley Precision Instruments Inc., USA)

2.6 เครื่องทดสอบการสะท้อนแสง (Automatic Reflectometer, Model-3, Kumagai Riki Kogyo Co., Ltd., Japan)

3. อุปกรณ์เพื่อใช้ทดสอบความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบผิวกระจกของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ มีดังนี้

3.1 เครื่องวัดปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (Hygrometer)

3.2 กรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้น 50% (Hydrofluoric Acid 50% conc.)

3.3 กรดไนตริก ความเข้มข้น 80% (Nitric Acid 80% conc.)

3.4 กระจกทดสอบแผ่นเรียบขนาด 12.5×15.0×0.6 เซนติเมตร

3.5 กล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัล

3.6 ขาดังกล้องถ่ายภาพ

4. อุปกรณ์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์รา มีดังนี้

4.1 แผ่นพลาสติกใสลายเส้นตาราง (Grid) ขนาด 1×1 เซนติเมตร

4.2 ทรงกระบอกกลวง (Cork Borer) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร

4.3 จานอาหารเลี้ยงเชื้อ (Petri Dish) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร

4.4 อาหารเลี้ยงเชื้อรา GAN (Glucose Ammonium Nitrate Agar) ผสม Rose Bengal

และ Streptomycin

4.5 อาหารเลี้ยงเชื้อรา PDA (Potato Dextrose Agar)

4.6 อาหารเลี้ยงเชื้อรา CZA (Czapek's Agar)

4.7 อาหารเลี้ยงเชื้อรา MEA (Meat Extract Agar)

4.7 กล้องจุลทรรศน์ (Microscope, BX51, Olympus America Inc., USA)

วิธีการ

1. ศึกษากลไกการเกิดคราบผิวกระจกอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างความชื้นกับกระจก

การศึกษากลไกการเกิดคราบผิวกระจกอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างความชื้นกับกระจกมีดังนี้

1.1 ศึกษาสอบทานงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งจากภายในประเทศและจากต่างประเทศ ได้แก่ ผลงานวิจัยของ Chitwatcharakomol (1995) เรื่อง Causes and Prevention of Soda Bloom in Glass Industry และผลงานวิจัยของ Franz (1997) เรื่อง Buffered Acid Interleaving for Glass Sheets เป็นต้น

1.2 ศึกษาสอบทานข้อมูลจากผู้ผลิตกระจกและผู้ผลิตกระดาษกันกระจกภายในประเทศ ได้แก่ บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด บริษัท การ์เดียนอินดัสทรีส์คอร์ป จำกัด และ บริษัท เอจีซี ออโตโมทีฟ ไทยแลนด์ จำกัด เป็นต้น

2. การทดลองในห้องปฏิบัติการ

การทดลองในห้องปฏิบัติการจะใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดอย่างสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) โดยกำหนดให้ระดับความเป็นกรด-ด่างเป็น Block และกำหนดให้ชนิดกรด TEP01 TEP02 และ TEP03 (Control) เป็น Treatment กล่าวคือเป็นสารเคมีที่ปฏิบัติกับแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่า (Blank Handsheets) โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 การเตรียมน้ำเชื้อและการขึ้นรูปแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่า

การเตรียมน้ำเชื้อและการขึ้นรูปแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่ามีขั้นตอนดังนี้

2.1.1 นำเศษกระดาษปรีฟขวานน้ำหนัก 3,000 กรัมแห้ง แฉ่งลงในถังพลาสติกที่บรรจุน้ำปราศจากไอออนอยู่ปริมาณ 2,000 มิลลิลิตร แฉ่งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.1.2 แบ่งเศษกระดาษทั้งหมดออกเป็นส่วนๆ เพื่อทำการกระจายเยื่อ โดยใช้เครื่องกระจายเยื่อ ในแต่ละครั้งจะใช้เวลาในการกระจายเยื่อเป็นเวลา 5 นาที ด้วยความเร็ว 3,000 รอบ

2.1.3 เทเยื่อที่กระจายแล้วลงในตะแกรงลวดเหล็กปลอดสนิม แล้วล้างด้วยน้ำ น้ำที่ได้จากการล้างเยื่อช่วงแรกจะพุ่ง ให้ล้างจนน้ำค่อนข้างใส จากนั้นปั่นเยื่อเป็นก้อนกลมๆ อัดให้แน่น แล้วฉีกเยื่อออกเป็นชิ้นเล็กๆ อัดใส่ถุงพลาสติกจนเต็มแล้วปิดปากถุงให้แน่น

2.1.4 ชั่งเยื่อสดจากในถุงพลาสติกประมาณ 4.5 กรัม ใส่ใน Aluminum Can นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาใส่โหลดูดความชื้น (Desicater) ประมาณ 45 นาที แล้วจึงเอาออกไปชั่งหาน้ำหนักเยื่อแห้งแล้วนำไปคำนวณหาปริมาณความชื้น (Moisture Content) เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำหนักเยื่อสดที่จะใช้ในขั้นตอนต่อไปตามสูตรดังนี้

$$\text{Moisture Content (\%)} = \frac{[\text{Wet Weight (g)} - \text{Dry Weight (g)}] \times 100}{\text{Dry Weight (g)}}$$

2.1.5 ชั่งเยื่อสดในถุงพลาสติก ให้ได้ปริมาณน้ำหนักเยื่อแห้ง 360 กรัม แฉ่งลงในถังพลาสติกที่บรรจุน้ำปราศจากไอออนปริมาณ 2,000 มิลลิลิตร แฉ่งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\text{Wet Weight (g)} = \text{Dry Weight (g)} \times [1 + \text{Moisture Content (\%)}]$$

2.1.6 แบ่งเยื่อทั้งหมดออกเป็นส่วนๆ เพื่อทำการกระจายเยื่อ โดยใช้เครื่องกระจายเยื่อ ในแต่ละครั้งจะใช้เวลาในการกระจายเยื่อ 5 นาที ด้วยความเร็ว 3,000 รอบ

2.1.7 นำเยื่อที่ได้จากการกระจายเยื่อทั้งหมดเทลงในเครื่องบดเยื่อ จากนั้นตวงน้ำปราศจากไอออนปริมาณ 21,000 มิลลิลิตร เทลงในเครื่องบดเยื่อ

2.1.8 เปิดสวิทช์ให้เครื่องบดเยื่อทำงานประมาณ 5 นาที โดยไม่ถ่วงน้ำหนัก จากนั้นให้ปิดสวิทช์เครื่องบดเยื่อ เก็บตัวอย่างน้ำเยื่อปริมาณ 380 มิลลิลิตร เพื่อทำการหาค่าความเป็นอิสระของน้ำเยื่อ

2.1.9 นำน้ำเชื้อที่เก็บตัวอย่างไว้มาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนๆ ละปริมาณ 190 มิลลิลิตร เพื่อทำการวัดค่าความเป็นอิสระของน้ำเชื้อ 2 ครั้ง โดยเทน้ำเชื้อปริมาณ 190 มิลลิลิตร ดังกล่าวลงในกระบอกตวงขนาด 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นจึงเติมน้ำปราศจากไอออนลงไปในกระบอกตวงจนได้ปริมาตรทั้งหมดเป็น 1,000 มิลลิลิตร คนน้ำเชื้อในกระบอกตวงให้เชื้อกระจายตัวแล้ววัดอุณหภูมิน้ำเชื้อ

2.1.10 นำน้ำเชื้อในกระบอกตวงปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร ตามข้อ 2.1.9 ที่เตรียมไว้มาทำการวัดค่าความเป็นอิสระของน้ำเชื้อด้วยเครื่องทดสอบค่าความเป็นอิสระของน้ำเชื้อ เพื่อประมาณเวลาที่ใช้ในการบดเชื้อ

2.1.11 ทำการถ่วงน้ำหนักที่เครื่องบดเชื้อแล้วเปิดสวิตช์ บดเชื้อจนได้น้ำเชื้อที่มีค่าความเป็นอิสระประมาณ 180 มิลลิลิตร Canadian Standard Freeness (ml CSF)

2.1.12 นำน้ำเชื้อจากเครื่องบดเชื้อปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร มาผสมกับน้ำปราศจากไอออนปริมาณ 9,500 มิลลิลิตร ลงในถังพลาสติกขนาด 12 ลิตร นำเครื่องกวนน้ำเชื้อจุ่มลงในถังพลาสติก โดยให้ใบพัดจมอยู่ในน้ำเชื้อ ปรับความเร็วในการหมุนของใบพัดให้พอดี ไม่ให้เกิดฟองอากาศ

2.1.13 ตวงน้ำเชื้อจากถังพลาสติกมาปริมาณ 500 มิลลิลิตร มาผลิตแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่าด้วยเครื่องผลิตแผ่นขึ้นตัวอย่าง โดยจะได้แผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่า มีน้ำหนักมาตรฐานประมาณ 35 กรัมต่อตารางเมตร จนกว่าน้ำเชื้อจะหมด แล้วนำแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่าทั้งหมดไปผึ่งให้แห้งในห้องควบคุมอุณหภูมิ 23 ± 1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ± 2 อย่างน้อย 1 วัน

2.1.14 ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 2.1.4 ซ้ำ จนเชื้อสดหมด

2.2 การปฏิบัติแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่าด้วยกรด

การปฏิบัติแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่าด้วยกรด มีขั้นตอนดังนี้

2.2.1 แบ่งแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่าทั้งหมดออกเป็น 2 ชุดคือ ชุดแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่าจำนวน 11 แผ่น เพื่อใช้เป็นชุดอ้างอิง (Reference) และชุดปฏิบัติด้วยกรดจำนวน 99 แผ่น นำชุดที่

จะปฏิบัติด้วยกรดอ่อน TEP01 จำนวน 33 แผ่นแรก แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มๆ ละ 11 แผ่นเท่าๆ กัน โดยนำกลุ่มแรกไปจุ่มลงในสารละลายกรดอ่อน TEP01 ที่เตรียมไว้ โดยควบคุมความเข้มข้นของสารละลายกรดอ่อน TEP01 เพื่อให้แผ่นขึ้นตัวอย่างๆ มีระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.0 แซ่ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ดังกล่าวไปฝังให้แห้งในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ 23 ± 1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ± 2 อย่างน้อย 1 วัน

2.2.2 ทำการทดลองข้อ 2.2.1 ซ้ำ โดยใช้แผ่นขึ้นตัวอย่างๆ กลุ่มที่ 2 จำนวน 11 แผ่น และกลุ่มที่ 3 จำนวน 11 แผ่น แต่ควบคุมความเข้มข้นของสารละลายกรด เพื่อให้แผ่นขึ้นตัวอย่างๆ มีระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.0 และ 6.0 ตามลำดับ

2.2.3 ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 2.2.1 ซ้ำ โดยเปลี่ยนจากปฏิบัติด้วยกรดอ่อน TEP01 เป็นปฏิบัติด้วยกรดอ่อน TEP02 และกรดแก่ TEP03 (Control) ตามลำดับ

2.2.4 นำแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดทั้งหมด ไปทดสอบความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบผิวกระจกและสมบัติทางกายภาพและกลสมบัติต่อไป

2.3 การทดสอบความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบผิวกระจกของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ

การทดสอบความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบผิวกระจกของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ มีขั้นตอนดังนี้

2.3.1 ตวงน้ำปราศจากไอออนปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร ลงในอ่างพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร จากนั้นตวงกรดไฮโดรฟลูออริกปริมาณ 10 มิลลิลิตร และกรดไนตริกปริมาณ 25 มิลลิลิตร เทลงในอ่างพลาสติก คนสารละลายให้เข้ากันด้วยแท่งแก้ว

2.3.2 ทำความสะอาดแผ่นกระจกทดสอบขนาด $12.5 \times 15.0 \times 0.6$ เซนติเมตรให้สะอาดด้วยสารละลายกรดฟลูออริกผสมกรดไนตริกที่เตรียมไว้ โดยจุ่มกระจกทดสอบทั้งแผ่น (ครั้งละ 10 แผ่น) ลงในสารละลายกรดเป็นเวลา 30 วินาที

2.3.3 นำแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ชุดควบคุม และจากแต่ละกลุ่มของชุดปฏิบัติด้วยกรดอ่อน TEP01 TEP02 และกรดแก่ TEP03 จำนวนอย่างละ 6 แผ่น (จาก 11 แผ่น) ทำการคั่นระหว่างแผ่น

กระดาษขนาด $12.5 \times 15.0 \times 0.6$ เซนติเมตร จำนวน 7 แผ่น โดยนำไปวางเรียงกันในแนวตั้งทำมุมประมาณ 85 องศากับพื้นของกล่องพลาสติก วางกล่องพลาสติกไว้ในโกดังเก็บกระดาษ บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด โดยปรับสภาวะให้มีความรุนแรงต่อการเกิดคราบผิวกระดาษ กล่าวคือมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ย 32 องศาเซลเซียส และร้อยละ 92 ตามลำดับระยะเวลาในการจัดเก็บทั้งสิ้น 120 วัน

2.3.4 ทำการตรวจสอบและบันทึกการเปลี่ยนแปลงที่ผิวของแผ่นกระดาษทดสอบทุกๆ 30 วัน ด้วยตาเปล่า

2.3.5 เมื่อครบกำหนดการจัดเก็บ 120 วันแล้วจึงแยกแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ออกจากกระดาษทดสอบ ทำการบันทึกภาพผิวของกระดาษทดสอบด้วยกล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัล

2.3.6 เนื่องจากการทดลองครั้งนี้ต้องการศึกษาอิทธิพลของชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างในการผลิตกระดาษกั้นกระดาษต่อการหน่วงการเกิดคราบผิวกระดาษและสมบัติของกระดาษกั้นกระดาษ จึงมิได้มีการใช้สารเคมียับยั้งเชื้อราในการเตรียมแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ กรณีที่ตรวจสอบพบว่ามีการเกิดขึ้นบนผิวกระดาษ จะดำเนินการส่งตัวอย่างราไปยังศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (BIOTEC) เพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพิจารณาชนิดของสารเคมียับยั้งเชื้อราในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษกั้นกระดาษและกระดาษอื่นๆ ต่อไป

2.4 การทดสอบหาสมบัติทางกายภาพและกลสมบัติของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ

นำแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่าและจากแต่ละกลุ่มของชุดปฏิบัติด้วยกรดอ่อน TEP01 TEP02 และกรดแก่ TEP03 (Control) จำนวนอย่างละ 5 แผ่น ทำการทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI (The Technical Association of Pulp and Paper Industry, 2000) ดังนี้

2.4.1 ระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH Levels) โดยอ้างอิงมาตรฐาน TAPPI T 509 om-96 เป็นแนวปฏิบัติ กล่าวคือนำแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่าและชุดปฏิบัติด้วยกรดแต่ละชนิด มาตัดเป็นแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ทดสอบ ขนาด 1×1 เซนติเมตร จนได้น้ำหนัก 10 กรัม ต่อ 1 ชุด ตวงน้ำกลั่นปริมาณ 70 มิลลิลิตร เทลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ทดสอบ ขนาด 1×1 เซนติเมตร น้ำหนัก 10 กรัม บรรจุอยู่ ใช้ Magnetic Stirrer กวนเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจึงตั้งทิ้งไว้ 1

ชั่วโมง จึงนำไปทดสอบระดับความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องทดสอบระดับความเป็นกรด-ด่าง ค่าที่เครื่องทดสอบระดับความเป็นกรด-ด่างอ่านได้คือระดับความเป็นกรด-ด่างของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ

2.4.2 น้ำหนักมูลฐาน (Basis Weight) โดยอ้างอิงมาตรฐาน TAPPI T 410 om-98 เป็นแนวปฏิบัติ กล่าวคือนำแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่าและหูดปฏิบัติด้วยกรดทั้งหมด มาชั่งน้ำหนักทีละแผ่นด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก จากนั้นจึงนำน้ำหนักของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ไปคำนวณหาน้ำหนักมูลฐานของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ แต่ละแผ่นดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{น้ำหนักมูลฐาน (g/cm}^2\text{)} = \frac{\text{[น้ำหนักที่ชั่งได้ (g)} \times 10,000\text{]}}{\text{พื้นที่ของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ (214 cm}^2\text{)}}$$

2.4.3 ความหนา (Thickness) โดยอ้างอิงมาตรฐาน TAPPI T 411 om-97 เป็นแนวปฏิบัติ กล่าวคือนำแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่าและหูดปฏิบัติด้วยกรดทั้งหมด มาทดสอบความหนาทีละแผ่นด้วยเครื่องทดสอบความหนา จากนั้นจึงนำความหนาและน้ำหนักมูลฐานของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ แต่ละแผ่น ไปคำนวณหาความหนาแน่น (Apparent Density) ของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักมูลฐาน (g/cm}^2\text{)}}{\text{ความหนา (cm)}}$$

2.4.4 ความแข็งแรงต่อการดึง (Tensile Strength) โดยอ้างอิงมาตรฐาน TAPPI T 494 om-96 เป็นแนวปฏิบัติ กล่าวคือนำแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่าและหูดปฏิบัติด้วยกรดแต่ละชนิด มาตัดเป็นแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ทดสอบ ขนาด 15×150 มิลลิเมตร (Span Length 100 มิลลิเมตร) จำนวน 10 แผ่นต่อ 1 หูด เพื่อทดสอบความแข็งแรงต่อการดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง โดยตั้งค่าโปรแกรมให้ใช้มาตรฐาน ISO-1924-2 Metric 100% ในการทดสอบ นำแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ตัดไว้ไปยึดกับหัวจับโดยกดปุ่ม Upper Grip และ Lower Grip จากนั้นจึงกดปุ่ม Test เครื่องทดสอบแรงดึงจะทำการดึงแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ จนขาด โดยโปรแกรมจะแสดงตารางผลการทดสอบที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ อ่านค่า Tensile Index และบันทึกผล

2.4.5 การยอมให้อากาศไหลผ่าน (Air Permeance) โดยอ้างอิงมาตรฐาน TAPPI T 460 om-96 เป็นแนวปฏิบัติ กล่าวคือนำแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่าและหูดปฏิบัติด้วยกรดทั้งหมด มาทดสอบการยอมให้อากาศไหลผ่านทีละแผ่นด้วยเครื่องทดสอบความพรุน โดยยกทรงกระบอกขึ้น

และให้ทรงกระบอกค้างอยู่บนก้านล้อยึดด้านบน นำแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ สอดด้านล่างแล้วหมุนตัวล้อยึดไม่ให้แผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ขยับได้ จากนั้นจึงปล่อยให้ทรงกระบอกเคลื่อนที่ลงมา เริ่มจับเวลาเมื่อทรงกระบอกเคลื่อนมาถึง 100 มิลลิเมตร และหยุดจับเวลาเมื่อทรงกระบอกเคลื่อนมาถึง 200 มิลลิเมตร นำเวลาที่ได้ไปคำนวณหาค่าการยอมให้อากาศไหลผ่านของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{การยอมให้อากาศไหลผ่าน } (\mu\text{m/Pa.sec.}) = \frac{135.3 (\mu\text{m/Pa})}{\text{เวลาที่ทรงกระบอกเคลื่อนที่ได้ } 100 \text{ มิลลิเมตร (sec.)}}$$

2.4.6 ความขาวสว่าง (Brightness) โดยอ้างอิงมาตรฐาน TAPPI T 452 om-98 เป็นแนวปฏิบัติ กล่าวคือนำแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ เปล่าและชุดปฏิบัติด้วยกรดทั้งหมด มาทดสอบความขาวสว่างทีละแผ่นด้วยเครื่องทดสอบการสะท้อนแสง เลือกประเภทของการทดสอบให้เป็นการทดสอบความขาวสว่างโดยเลื่อนแถบที่อยู่ด้านล่างของปุ่ม Shutter ไปที่ตัวอักษร B ใช้ Standard Plate สีขาวที่มีค่าการสะท้อนแสงสีน้ำเงินเท่ากับ 86.2 เป็นวัสดุอ้างอิง โดยนำ Standard Plate ทดสอบกับเครื่องทดสอบการสะท้อนแสง เมื่อเครื่องทดสอบการสะท้อนแสงแสดงค่าไม่เท่ากับ 86.2 ให้หมุนปุ่ม Coarse Adjust และ Fine Adjust เพื่อให้เครื่องทดสอบการสะท้อนแสงแสดงค่าเป็น 86.2 จากนั้นจึงนำแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ มาเรียงซ้อนกันเป็นชุด ชุดละ 5 แผ่น ทำการทดสอบการสะท้อนแสงทีละชุด โดยหันด้านเรียบเข้าหาเครื่องทดสอบการสะท้อนแสง อ่านและบันทึกค่าการสะท้อนแสงของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ แผ่นที่อยู่ติดกับเครื่องทดสอบการสะท้อนแสง (แผ่นที่ 1) โดยค่าที่เครื่องทดสอบการสะท้อนแสงแสดงคือค่าความขาวสว่างมีหน่วยเป็น % Brightness จากนั้นนำแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ แผ่นที่บันทึกค่าการสะท้อนแสงแล้วไปไว้หลังสุด โดยหันด้านเรียบเข้าหาเครื่องทดสอบการสะท้อนแสงเช่นกัน อ่านและบันทึกค่าการสะท้อนแสงของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ แผ่นที่อยู่ติดกับเครื่องทดสอบการสะท้อนแสง (แผ่นที่ 2) ทำเช่นนี้จนบันทึกค่าครบทั้ง 5 แผ่นแล้วจึงนำแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ชุดถัดไปมาทดสอบจนครบทุกชุด

2.4.7 ความทึบแสง (Opacity) โดยอ้างอิงมาตรฐาน TAPPI T 425 om-96 เป็นแนวปฏิบัติ กล่าวคือนำแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ เปล่าและชุดปฏิบัติด้วยกรดทั้งหมด มาทดสอบความทึบแสงทีละแผ่นด้วยเครื่องทดสอบการสะท้อนแสง เลือกประเภทของการทดสอบให้เป็นการทดสอบความทึบแสงโดยเลื่อนแถบที่อยู่ด้านล่างของปุ่ม Shutter ไปที่ตัวอักษร G ใช้ Standard Plate สีขาวที่มีค่าการสะท้อนแสงสีเขียวเท่ากับ 89.3 เป็นวัสดุอ้างอิง โดยนำ Standard Plate ทดสอบกับเครื่องทดสอบการสะท้อนแสง เมื่อเครื่องทดสอบการสะท้อนแสงแสดงค่าไม่เท่ากับ 89.3 ให้หมุนปุ่ม

Coarse Adjust และ Fine Adjust เพื่อให้เครื่องทดสอบการสะท้อนแสงแสดงค่าเป็น 89.3 จากนั้นจึงนำแผ่นขึ้นตัวอย่างมาทดสอบกับเครื่องทดสอบการสะท้อนแสงทีละแผ่นโดยให้ด้านเรียบของแผ่นขึ้นตัวอย่างอยู่ติดกับเครื่องทดสอบการสะท้อนแสง และรองด้านหยาบด้วย Standard Plate ค่าที่อ่านได้จะเป็นค่า $R_{0.89}$ จากนั้นเปลี่ยนการด้านหยาบด้วย Standard Plate เป็น Black Plate ค่าที่อ่านได้จะเป็นค่า R_0 นำค่าทั้งสองไปคำนวณหาค่าความทึบแสงของแผ่นขึ้นตัวอย่าง ดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{ความทึบแสง (\%)} = (R_0 / R_{0.89}) \times 100$$

2.5 การศึกษาและวิเคราะห์ห้ำร

การศึกษาและวิเคราะห์ห้ำร มีขั้นตอนดังนี้

2.5.1 วัดและคำนวณพื้นที่แผ่นขึ้นตัวอย่าง บริเวณที่ปรากฏเป็นรอยเปื้อนสีลักษณะต่างๆ รวมทั้งพื้นที่ที่ไม่ปรากฏรอยเปื้อนสี โดยใช้แผ่นพลาสติกใสลายเส้นตาราง ขนาด 1×1 เซนติเมตร วางทาบ นับจำนวนจุดตัดที่อยู่ในพื้นที่รอยเปื้อนสี จุดตัดแต่ละจุดแทนพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร

2.5.2 คัดแยกเชื้อราจากแผ่นขึ้นตัวอย่าง โดยใช้ทรงกระบอกกลวง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร เจาะตัดแผ่นขึ้นตัวอย่าง บริเวณที่ไม่ปรากฏรอยเปื้อนสี 1 จุด และบริเวณที่ปรากฏรอยเปื้อนสี รอยเปื้อนลักษณะละ 1 จุด นำชิ้นกระดาษที่ตัดได้ ไปวางในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ (Petri Dish) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อรา GAN ผสม Rose Bengal และ Streptomycin ตามภาพที่ 7 จากนั้นนำจานอาหารไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง รอจนเชื้อราเจริญปรากฏให้เห็นตามภาพที่ 8 บันทึกจำนวนชนิดเชื้อราบนชิ้นกระดาษแต่ละชิ้น พร้อมทั้งย้ายเชื้อราแต่ละชนิดไปเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อรา PDA เพื่อรอการจำแนก

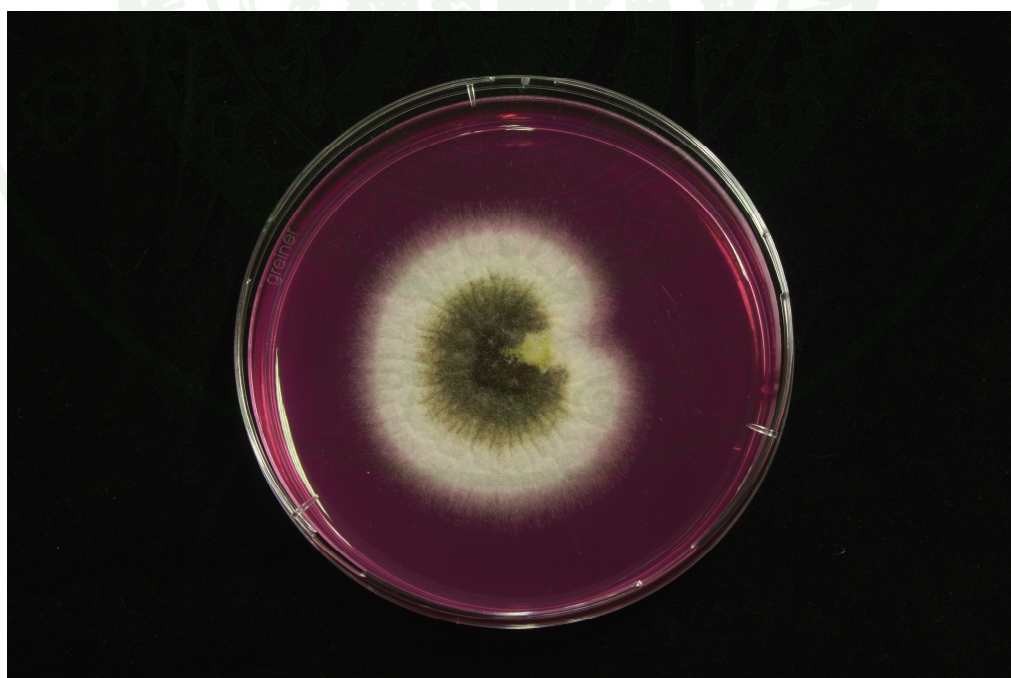
2.5.3 จำแนกชนิดเชื้อราที่คัดแยกได้ จากลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphological Characteristics) โดยย้ายเชื้อราที่เจริญอยู่บนอาหาร PDA ไปเลี้ยงบนอาหารที่เหมาะสม (PDA, CZA หรือ MEA แตกต่างกันไปตามกลุ่มเชื้อรา) เมื่อเชื้อราเจริญเต็มที่ประมาณ 7-15 วัน ย้ายเชื้อราไปทำสไลด์ตรวจดูได้กล้องจุลทรรศน์ บันทึกลักษณะและวัดขนาดโครงสร้างที่สำคัญของเชื้อรา นำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลในเอกสารอ้างอิงเพื่อการจำแนกชนิดของเชื้อรา ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปเป็น

ข้อมูลพื้นฐานในการพิจารณาการเลือกใช้ชนิดสารเคมียับยั้งเชื้อราในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษกัน
กระจกและกระดาษอื่นๆ ต่อไป แม้ว่า การใช้สารเคมียับยั้งเชื้อราในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษจะ
เป็นที่นิยมและมีประสิทธิภาพอยู่แล้วก็ตาม





ภาพที่ 7 แผ่นชิ้นตัวอย่างๆ ที่ถูกเจาะตัดและนำไปวางบนอาหาร GAN ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร



ภาพที่ 8 เชื้อราที่เจริญออกมาจากแผ่นชิ้นตัวอย่างๆ ที่ถูกเจาะตัดบนอาหาร GAN ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ

ผลและวิจารณ์

1. ผลการศึกษากลไกการเกิดคราบผิวกระจกอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างความชื้นกับกระจก

ผลการศึกษากลไกการเกิดคราบผิวกระจกอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างความชื้นกับกระจก มีดังนี้

1.1 ผลการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งจากภายในประเทศและจากต่างประเทศ พบว่า มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับคราบบนกระจกอยู่น้อยมาก เนื่องจากคราบบนกระจกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องมีสมบัติในการปกป้องกระจกตามที่ผู้ใช้งานต้องการดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อผู้ผลิตสามารถพัฒนาคราบบนกระจกให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้เป็นอย่างดีแล้ว กระบวนการผลิตคราบบนกระจกจึงเป็นข้อมูลที่ผู้ผลิตไม่ต้องการให้ผู้ผลิตรายอื่นล่วงรู้เพื่อเป็นการตัดคู่แข่งทางการค้าและผูกขาดการจำหน่ายแต่เพียงผู้เดียวเพื่อผลประโยชน์ทางด้านธุรกิจ ทำให้ไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลเกี่ยวกับคราบบนกระจกได้ ดังนั้นการศึกษากลไกการเกิดคราบผิวกระจกอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างความชื้นกับกระจก จึงเป็นข้อมูลสำคัญที่จะช่วยในการพัฒนาคราบบนกระจกให้มีสมบัติตามที่ผู้ใช้งานต้องการได้ ซึ่งการเกิดคราบผิวกระจกอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างความชื้นกับกระจก จะเกิดจากปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการคือ

1.1.1 ความชื้น ความชื้นสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับโครงสร้างของกระจกทำให้โครงสร้างของกระจกเสียหายได้ หากกระจกถูกปล่อยให้อยู่ในสภาวะที่มีความชื้นมากๆ เป็นเวลานานๆ ผิวกระจกอาจเกิดความเสียหายได้ (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2547; Chitwatcharakomol, 1995)

1.1.2 ปริมาณ Na_2O ที่อยู่ในเนื้อกระจก ความชื้นสามารถทำปฏิกิริยากับ Na_2O แล้วเกิดคราบผิวกระจกสีขาวได้ ปริมาณ Na_2O จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสูตรของน้ำแก้วของแต่ละบริษัท ใช้ในการผลิตกระจกแผ่นเรียบ (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2547; Chitwatcharakomol, 1995) และ

1.1.3 สภาวะความเป็นกรด – ด่าง ที่ผิวกระจก หากสภาวะที่ผิวกระจกเป็นด่าง โครงสร้างกระจกจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนต่อเนื่องกับความชื้น ทำให้โครงสร้าง

กระจกเสียหายและได้ผลิตภัณฑ์เป็นไฮดรอกไซด์ไอออนกลับไปเป็นสารตั้งต้นอีกครั้ง (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2547; Chitwatcharakomol, 1995)

1.2 ผลการศึกษาสอบถามข้อมูลจากผู้ผลิตกระจกและผู้ผลิตกระดาษกั้นกระจกภายในประเทศ พบว่าสถานะในการเก็บกระจกของผู้ผลิตกระจกจะเน้นในเรื่องการถ่ายเทของอากาศความชื้นจึงไม่สูงมากนัก รถขนถ่ายสินค้าที่ใช้ภายในโกดังใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนแทนเครื่องยนต์เพื่อช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนกระดาษกั้นกระจกที่ใช้งานอยู่นั้นมาจาก 2 ผู้ผลิตคือ บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด และ บริษัท เอเชีย นาคารา จำกัด โดยจะใช้งานกระดาษกั้นกระจกจากนาคาราในการกั้นกระจกที่มีความสำคัญในการผลิตในขั้นตอนต่อไป เช่น กระจกที่จะนำไปผลิตเป็นจอแสดงผล เป็นต้น ส่วนกระดาษจากเทพพัฒนาจะใช้กั้นกระจกที่มีความสำคัญในการผลิตในขั้นตอนที่รองลงมา เช่น กระจกสำหรับการก่อสร้าง เป็นต้น

วัสดุกันอีกชนิดหนึ่งที่ผู้ผลิตกระจกใช้ในการกั้นกระจกคือแป้ง (Interleaving Powder) โดยจะมีส่วนผสมหลัก 2 ประเภทคือ เม็ดอะครีลิก (Acrylic Beads) ทำหน้าที่ในการกั้นกระจกหรือแยกกระจกไม่ให้ติดกัน และ กรดอ่อนชนิดผง ทำหน้าที่ในการรักษาสถานะที่ผิวกระจกให้เป็นกรดตลอดเวลา วัสดุกันชนิดนี้จะใช้เมื่อมีการร้องขอจากลูกค้าหรือผู้บริโภครกระจกเท่านั้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้กระดาษกั้นกระจกเป็นวัสดุกันหลัก

2. ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ

ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการมีดังนี้

2.1 ผลการทดสอบความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบและรายนผิวกระจกของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ

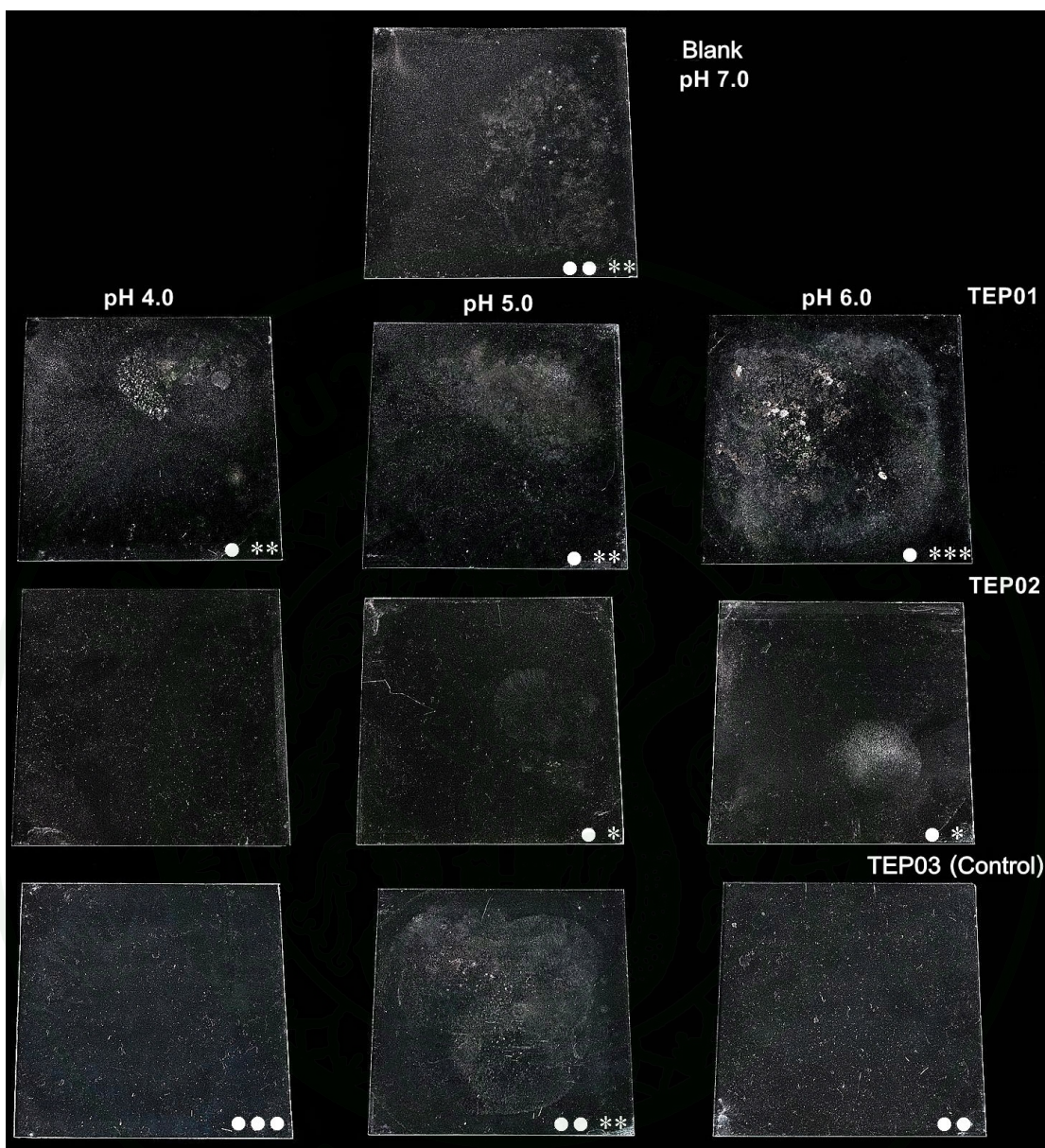
ผลการทดสอบการหน่วงการเกิดคราบและรายนผิวกระจกของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ดังแสดงในตารางที่ 4 การรายงานผลการเกิดคราบและรายนผิวกระจกที่ขึ้นด้วยแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ จะพิจารณาจากแผ่นกระจกใดๆ ก็ตามที่เกิดรุนแรงที่สุดในแต่ละช่วงระยะเวลาที่สังเกต โดยตัวอย่างระดับความรุนแรงของการเกิดคราบและรายนผิวกระจกดังที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4 และภาพที่ 9

ตารางที่ 4 ความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบและราบนผิวกระจกของแผ่นซีนตัวอย่างฯ

ชนิดกรด ปฏิบัติ	ระดับความ เป็นกรด-ด่าง ควบคุม	ความรุนแรงของการเกิดคราบ				ความรุนแรงของการเกิดรา			
		30	60	90	120	30	60	90	120
		วัน	วัน	วัน	วัน	วัน	วัน	วัน	วัน
Blank	7.00	-	●	●	●●		*	*	**
	4.00	-	-	●	●	*	*	**	**
TEP01	5.00	-	-	●	●	*	**	**	**
	6.00	-	-	●	●	*	**	***	***
TEP02	4.00	-	-	-	-	-	-	-	-
	5.00	-	-	-	●	-	-	-	*
TEP03 (Control)	6.00	-	-	●	●	-	-	*	*
	4.00	●●	●●●	●●●	●●●	-	-	-	-
	5.00	●	●	●●	●●	-	*	*	**
	6.00	●	●	●●	●●	-	-	-	-

หมายเหตุ ● = เกิดคราบน้อย; ●● = เกิดคราบปานกลาง; ●●● = เกิดคราบมาก

* = เกิดรา น้อย; ** = เกิดรา ปานกลาง; *** = เกิดรา มาก



ภาพที่ 9 ความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบและราบนผิวกระจกของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ เมื่อผ่านการทดลองไปแล้ว 120 วัน

หมายเหตุ กระจกขนาด 0.6×15.0×12.5 เซนติเมตร

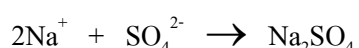
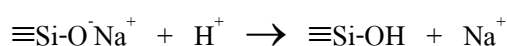
- = เกิดคราบน้อย; ●● = เกิดคราบปานกลาง; ●●● = เกิดคราบมาก
- * = เกิดรา น้อย; ** = เกิดราปานกลาง; *** = เกิดรามาก

ซึ่งจะเห็นได้ว่าแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่าสามารถหน่วงการเกิดคราบและราบนผิวกระจกได้ในระยะเวลาไม่เกิน 30 วัน เนื่องจากแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่าไม่ได้รับการปฏิบัติด้วยกรดแต่อย่างใด จึงมีสถานะเป็นกลาง ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าเมื่อความชื้นเข้าทำปฏิกิริยากับผิวกระจกที่มี Na_2O ผสมอยู่ จะได้ผลิตภัณฑ์เป็น NaOH ทำให้ระหว่างแผ่นกระจกทดสอบที่คั่นด้วยแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่ามีสถานะเป็นด่างทันที NaOH จึงทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับ CO_2 ในอากาศ เกิดเป็นคราบผิวกระจกขึ้นดังนี้ (Chitwatcharakomol, 1995)



ทั้งนี้ การเกิดคราบและราบนผิวกระจกจะรุนแรงขึ้นที่ระยะเวลา 60 และ 90 วัน อย่างไรก็ตามแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่าจะสามารถหน่วงการเกิดคราบและราบนผิวกระจกให้มีความรุนแรงน้อยกว่าแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดแก่ TEP03 (Control)

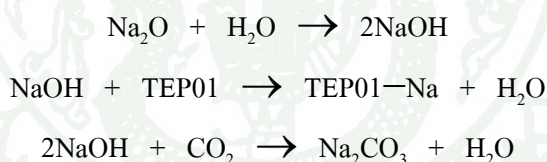
แผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดแก่ TEP03 (Control) ที่ทุกระดับความเป็นกรด-ด่างที่ทดลองจะเกิดคราบผิวกระจกตั้งแต่ระยะเวลา 30 วัน และรุนแรงมากขึ้นเมื่อครบระยะเวลา 120 วัน โดยจะมีการเกิดราบนผิวกระจกเฉพาะที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.0 ที่ระยะเวลาไม่เกิน 60 วันเท่านั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบผิวกระจกคือยกว่าความสามารถของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่า และแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอ่อน TEP01 และ TEP02 แม้ว่าระหว่างแผ่นกระจกทดสอบที่คั่นด้วยแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดแก่ TEP03 (Control) จะมีสถานะเป็นกรดก็ตาม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะองค์ประกอบทางเคมีของกรดแก่ TEP03 (Control) สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับกระจกในสถานะที่เป็นกรดได้ทันที ทำให้เกิดเป็นคราบผิวกระจกขึ้นอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาไม่เกิน 30 วัน ดังปฏิกิริยา (Chitwatcharakomol, 1995)



ลักษณะดังกล่าวตรงกับปัญหาที่ผู้ใช้งานกระดาษคั่นกระจกที่ผลิตจาก บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด ประสบอยู่ เนื่องจากกรดแก่ TEP03 (Control) นั้นเป็นกรดที่ใช้ปรับระดับความเป็นกรด-ด่างในกระบวนการผลิตจริง และจากการทดลองเมื่อจัดเก็บครบ 120 วัน กระจกที่คั่น

ด้วยแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดแก่ TEP03 (Control) นั้นเกิดคราบผิวกระจกในทุกระดับความเป็นกรด-ด่าง โดยกระจกที่ขึ้นด้วยแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ทำการปรับระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.0 เกิดคราบผิวกระจกมากที่สุด เนื่องจากใช้ปริมาณกรดแก่ TEP03 (Control) ในการปฏิบัติมากที่สุด (Chitwatcharakomol, 1995)

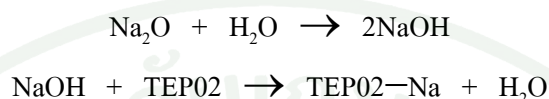
สำหรับแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอ่อน TEP01 พบว่าสามารถในการหน่วงการเกิดคราบผิวกระจกได้ไม่เกิน 60 วัน ซึ่งให้ผลการทดลองที่ดีกว่าความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบผิวกระจกของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปลา และชุดที่ปฏิบัติด้วยกรดแก่ TEP03 (Control) ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะระหว่างแผ่นกระจกทดสอบที่ขึ้นด้วยแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอ่อน TEP01 มีสถานะเป็นกรด และสารเคมีที่ใช้ผลิตกรดอ่อน TEP01 ไม่มีองค์ประกอบที่ก่อให้เกิด Na_2SO_4 ดังเช่นกรณีของกรดแก่ TEP03 (Control) อย่างไรก็ตามเมื่อครบกำหนดจัดเก็บ 90 วัน จะตรวจพบคราบผิวกระจกเกิดขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของกรดอ่อน TEP01 ลดลงจากการทำปฏิกิริยากับ NaOH ซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการทำปฏิกิริยาของความชื้นกับผิวกระจกที่มี Na_2O ผสมอยู่ จนทำให้ NaOH มีมากเกินไปและทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จนเกิดเป็นคราบผิวกระจกดังปฏิกิริยา (Chitwatcharakomol, 1995)



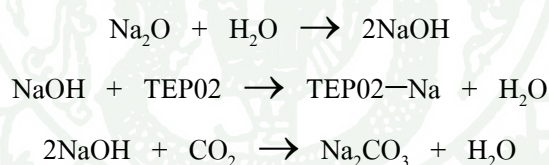
อย่างไรก็ตามแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอ่อน TEP01 จะไม่สามารถหน่วงการเกิดคราบผิวกระจกตั้งแต่วะยะเวลา 30 วันแรก และจะรุนแรงขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจนถึง 120 วัน และที่ระดับความเป็นกรด-ด่างที่เพิ่มขึ้น

แผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอ่อน TEP02 ให้มีระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.0 สามารถหน่วงการเกิดคราบและรบบนผิวกระจกได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปลา และชุดที่ปฏิบัติด้วยกรดชนิดอื่น กล่าวคือที่ระยะเวลา 120 วัน ไม่ปรากฏคราบและรบบนผิวกระจก จึงกล่าวได้ว่ากรดอ่อน TEP02 เป็นกรดที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการหน่วงปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับกระจกซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดคราบและหน่วงการเกิดรบบนผิวกระจก ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะระหว่างแผ่นกระจกทดสอบที่ขึ้นด้วยแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอ่อน TEP02 มีสถานะเป็นกรด สารเคมีที่ใช้ผลิตกรดอ่อน TEP02 ไม่มีองค์ประกอบที่ก่อให้เกิด

Na_2SO_4 ดังเช่นกรดแก่ TEP03 (Control) และกรดอ่อน TEP02 แยกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนได้ดีกว่ากรดอ่อน TEP01 ทำให้ NaOH ซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการทำปฏิกิริยาของความชื้นกับผิวกระจกที่มี Na_2O ผสมอยู่ สามารถทำปฏิกิริยากับกรดอ่อน TEP02 ได้ดีกว่ากรดอ่อน TEP01 ดังปฏิกิริยา (Chitwatcharakomol, 1995)



อย่างไรก็ตามแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอ่อน TEP02 ให้มีระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.0 และ 6.0 สามารถหน่วงการเกิดคราบผิวกระจกได้ไม่เกิน 90 วัน และ 60 วันตามลำดับ เนื่องจากใช้ปริมาณกรดอ่อน TEP02 ในการปฏิบัติที่น้อยกว่าแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอ่อน TEP02 ให้มีระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.0 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อปริมาณของกรดอ่อน TEP02 ลดลงจากการทำปฏิกิริยากับ NaOH ซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการทำปฏิกิริยาของความชื้นกับผิวกระจกที่มี Na_2O ผสมอยู่ จนทำให้ NaOH มีมากเกินไปและทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จนเกิดเป็นคราบผิวกระจกดังปฏิกิริยา (Chitwatcharakomol, 1995)



ทั้งนี้ลักษณะการหน่วงการเกิดคราบผิวกระจกของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอ่อน TEP02 จะลดลงตามปริมาณการปฏิบัติแผ่นขึ้นตัวอย่างที่น้อยลงเพื่อให้ความเป็นกรด-ด่างที่สูงขึ้น

เป็นที่น่าสังเกตว่า ความรุนแรงของการเกิดคราบผิวกระจกจะเกิดขึ้นเมื่อมีระดับความเป็นกรด-ด่างที่สูงขึ้นไม่ว่าจะใช้กรดชนิดใดปฏิบัติกับแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเกสรินทร์ (2552) ที่สรุปว่า เนื่องจากที่ระดับความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 4.0 ภาวะเจริญได้เพียงเล็กน้อย เมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น ภาวะเจริญได้ดีขึ้นและการเจริญของภาวะลดลงเมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 9.1

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจริงในอุตสาหกรรมกระดาษกั้นกระจก ปัญหาการเกิดราบนผิวกระจกสามารถป้องกันได้ด้วยการใช้สารเคมียับยั้งเชื้อราในการผลิตกระดาษกั้นกระจก แต่เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ต้องการศึกษาอิทธิพลของชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างเท่านั้น จึงมิได้ใช้สารเคมียับยั้งเชื้อราในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ และจากผลการทดลองมีความเป็นไปได้ว่าหากมีการประยุกต์ใช้กรดอ่อน TEPO2 ปฏิบัติกับกระดาษกั้นกระจกที่ผลิตขึ้นจริง อาจไม่จำเป็นต้องมีการใช้สารเคมียับยั้งเชื้อราในการผลิตก็เป็นได้ โดยเฉพาะที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.0

2.2 ผลการทดสอบหากลสมบัติและสมบัติทางกายภาพของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ

ผลการทดสอบหากลสมบัติและสมบัติทางกายภาพของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ แสดงดังตารางที่ 5 จะเห็นว่าชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ มีผลทำให้กลสมบัติและสมบัติทางกายภาพของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยความหนาแน่น การยอมให้อากาศไหลผ่าน และความขาวสว่างของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีระดับความเป็นกรด-ด่างลดลง และแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ที่ผ่านการปฏิบัติด้วยกรดทุกชนิดจะมีแนวโน้มของค่าความหนาแน่น การยอมให้อากาศไหลผ่าน และความขาวสว่างมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ เปล่า ส่วนความแข็งแรงต่อการดึงและความทึบแสงของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีระดับความเป็นกรด-ด่างลดลง และแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ที่ผ่านการปฏิบัติด้วยกรดทุกชนิดจะมีแนวโน้มของค่าความแข็งแรงต่อการดึงและความทึบแสงต่ำกว่าแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ เปล่า

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและกลสมบัติของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ

ชนิดกรดปฏิบัติ	ระดับความเป็นกรด-ด่างควบคุม	กลสมบัติและสมบัติทางกายภาพ					
		ระดับความเป็นกรด-ด่างที่วัดได้	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ดัชนีแรงดึง (Nm/g)	การยอมให้อากาศไหลผ่าน (μm/Pa.sec.)	ความขาวสว่าง (%)	ความทึบแสง (%)
Blank	7.00	7.05±0.06	0.487±0.004	47.75±0.59	19.67±0.43	62.21±0.34	73.98±0.30
	4.00	4.05±0.09	0.496±0.004	44.02±0.43	22.51±0.47	63.97±0.18	70.64±0.19
TEP01	5.00	4.71±0.39	0.495±0.003	45.53±0.31	21.88±0.40	63.44±0.17	71.76±0.30
	6.00	5.77±0.65	0.492±0.006	46.98±0.44	21.04±0.26	62.34±0.15	72.59±0.29
TEP02	4.00	5.80±0.16	0.493±0.004	43.80±0.83	22.40±0.40	63.02±0.18	70.98±0.38
	5.00	6.02±0.09	0.491±0.002	45.42±0.78	21.71±0.56	62.36±0.13	71.54±0.16
TEP03 (Control)	6.00	6.56±0.20	0.489±0.004	46.35±0.73	20.29±0.46	62.27±0.14	72.11±0.29
	4.00	3.54±0.36	0.501±0.003	42.01±0.38	20.16±0.36	63.85±0.16	70.59±0.23
(Control)	5.00	4.88±0.42	0.494±0.003	43.74±0.72	19.93±0.54	62.72±0.23	72.96±0.34
	6.00	6.05±0.14	0.493±0.004	44.33±0.58	19.78±0.57	62.46±0.37	73.69±0.44

หมายเหตุ ค่าแต่ละค่าคือตัวแทนที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติเท่ากับร้อยละ 95

TEP01, TEP02 และ TEP03 เป็นชื่อเรียกแทนของสารละลายกรดที่คิดค้นสูตรขึ้น โดยบริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด และสาขาวิชานวัตกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และด้วยข้อจำกัดตามความนัย พ.ร.บ. ความลับทางการค้า พ.ศ. 2545 (กรมทรัพย์สินทางปัญญา, 2545) จึงไม่สามารถเปิดเผยชื่อและสูตรทางเคมีได้

จากตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่า ชนิดกรดที่ใช้ปฏิบัติกับแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีแรงดึงและการยอมให้อากาศไหลผ่านของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ที่ปฏิบัติด้วยกรด โดยจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น ความขาวสว่าง และความทึบแสงของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

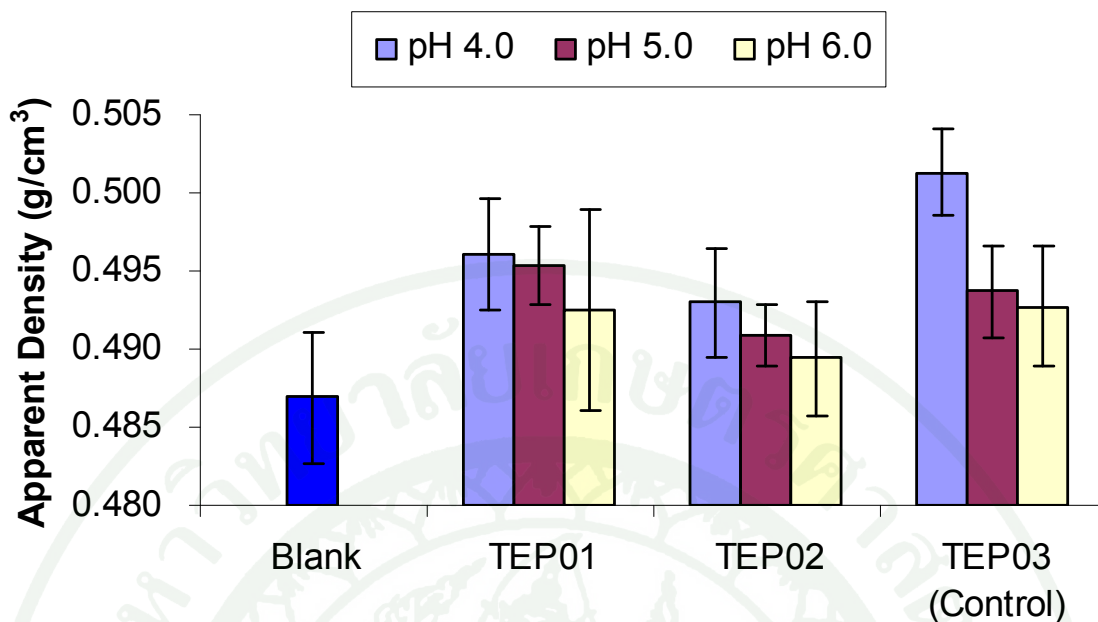
ทั้งนี้ ระดับความเป็นกรด-ด่างที่ให้ในการปฏิบัติกับแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีแรงดึง ความขาวสว่าง และความทึบแสงของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ที่ปฏิบัติด้วยกรด โดยจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นและการยอมให้อากาศไหลผ่านของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 6 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ที่ปฏิบัติด้วยกรด

สมบัติ	ชนิดกรด		ระดับความเป็นกรด-ด่าง	
	F _(0.05,2,4)	f	F _(0.05,2,4)	f
ความหนาแน่น	6.94	4.91 ^{ns}	6.94	5.57 ^{ns}
ดัชนีแรงดึง	6.94	81.10 [*]	6.94	104.00 [*]
การยอมให้อากาศไหลผ่าน	6.94	14.16 [*]	6.94	6.44 ^{ns}
ความขาวสว่าง	6.94	3.74 ^{ns}	6.94	12.03 [*]
ความทึบแสง	6.94	2.16 ^{ns}	6.94	10.71 [*]

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



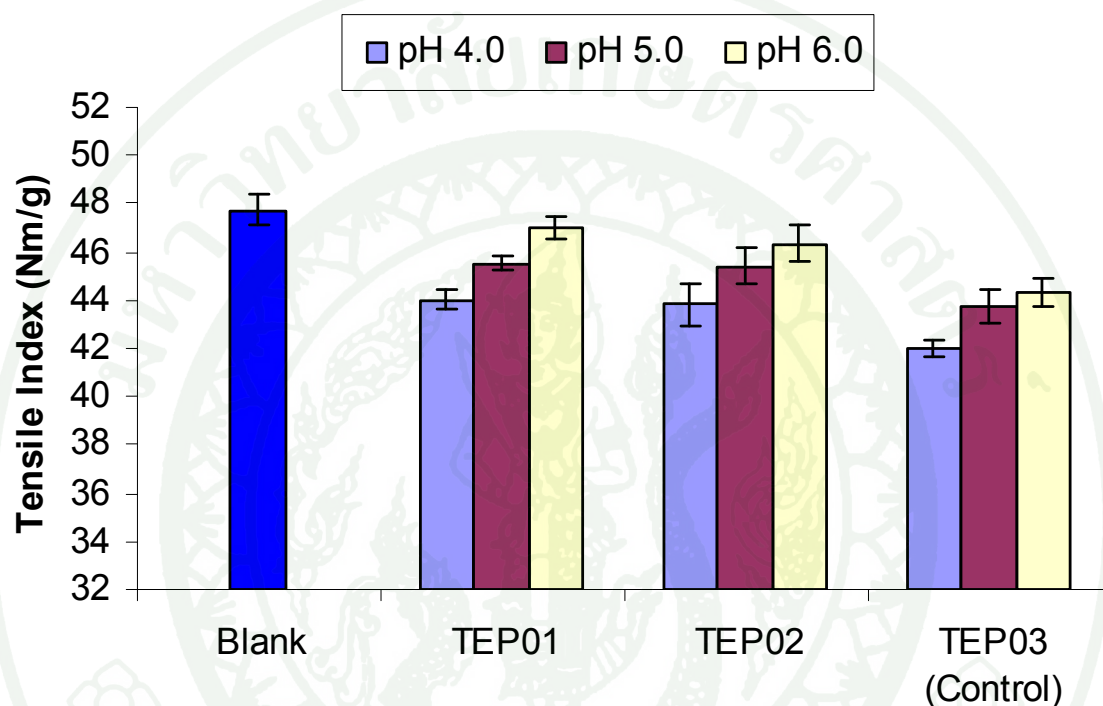
ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน

หมายเหตุ Error Bars แสดงถึงช่วงระดับความเชื่อมั่นทางสถิติเท่ากับร้อยละ 95

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจากภาพที่ 10 จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างลดลง และแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดทุกชนิดจะมีแนวโน้มค่าความหนาแน่นมากกว่าแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปลา่ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเส้นใยที่อยู่ในแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดจะถูกไฮโดรไลส์ ทำให้เกิดการกระชับตัวของเส้นใยในการแห้งตัวที่ดีขึ้น ทั้งนี้รวมถึงขนาดของเส้นใยอาจถูกตัดทอนให้มีขนาดสั้นลงโดยง่าย เนื่องจากผนังเซลล์เส้นใยอ่อนแอลงจากการไฮโดรไลส์ของกรดและอาจเกิดการละลายตัวของอนุภาคผนังเซลล์เส้นใยขนาดเล็ก (Fines) และสารประกอบอื่นๆ ทำให้เกิดการจับตัวของเส้นใยในโครงสร้างของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดดีขึ้นและแน่นขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างลดลงหรือมีความเป็นกรดมากขึ้น (Lacerda *et al.*, 2013; Lai, 1996; Niskanen, 1998; Thygesen *et al.*, 2007; Young and Rowell, 1986)

อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 6 และจากตารางผนวกที่ ข1 และ ข2 เมื่อทำการทดสอบต่อเนื่องด้วยวิธีการทดสอบแบบ Tukey HSD (Honestly

Significant Difference) พิจารณาถึงชนิดของกรดที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรด จะพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเมื่อพิจารณาถึงระดับความเป็นกรด-ด่างที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรด จะพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เช่นกัน



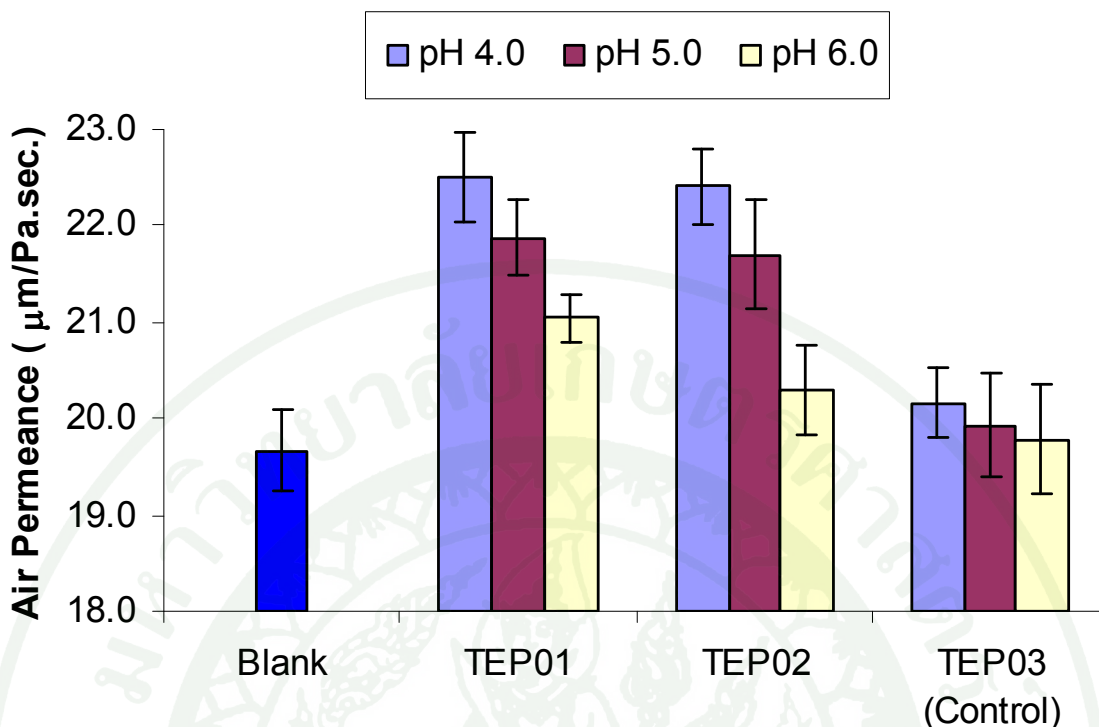
ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงดัชนีแรงดึงของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน

หมายเหตุ Error Bars แสดงถึงช่วงระดับความเชื่อมั่นทางสถิติเท่ากับร้อยละ 95

ภาพที่ 11 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีแรงดึงซึ่งสะท้อนถึงความแข็งแรงต่อการดึงของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ กล่าวคือแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดทุกชนิดจะมีแนวโน้มของความแข็งแรงต่อการดึงที่ต่ำกว่ากรณีของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่า ทั้งนี้เนื่องจากแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ผ่านการปฏิบัติด้วยกรดอาจมีเส้นใยที่มีผนังเซลล์เส้นใยอ่อนแอและสูญเสียความแข็งแรงอันเนื่องมาจากการไฮโดรไลซิสของกรด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างลดลง หรือมีความเป็นกรดมากขึ้น และกรดแก่ TEP03 (Control) จะทำให้เกิดการไฮโดรไลซิสที่รุนแรงกว่ากรดอ่อน TEP01 และ TEP02 ซึ่งทำให้ความแข็งแรงของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วย

กรดแก่ TEP03 (Control) จะมีแนวโน้มต่ำกว่าความแข็งแรงของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอ่อน TEP01 TEP02 และแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่า (Lacerda *et al.*, 2013; Lai, 1996; Niskanen, 1998; Thygesen *et al.*, 2007; Young and Rowell, 1986)

อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 6 และจากตารางผนวกที่ ข3 และ ข4 เมื่อทำการทดสอบต่อเนื่องด้วยวิธีการทดสอบแบบ Tukey HSD พิจารณาถึงชนิดของกรดที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีแรงดึงของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรด จะพบว่ากรดอ่อน TEP01 และกรดอ่อน TEP02 จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีแรงดึงของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ต่างจากกรดแก่ TEP03 (Control) และกรดอ่อนทั้งสองชนิดไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีแรงดึงของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเมื่อพิจารณาถึงระดับความเป็นกรด-ด่างที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีแรงดึงของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรด จะพบว่าระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.0 5.0 และ 6.0 จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีแรงดึงของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



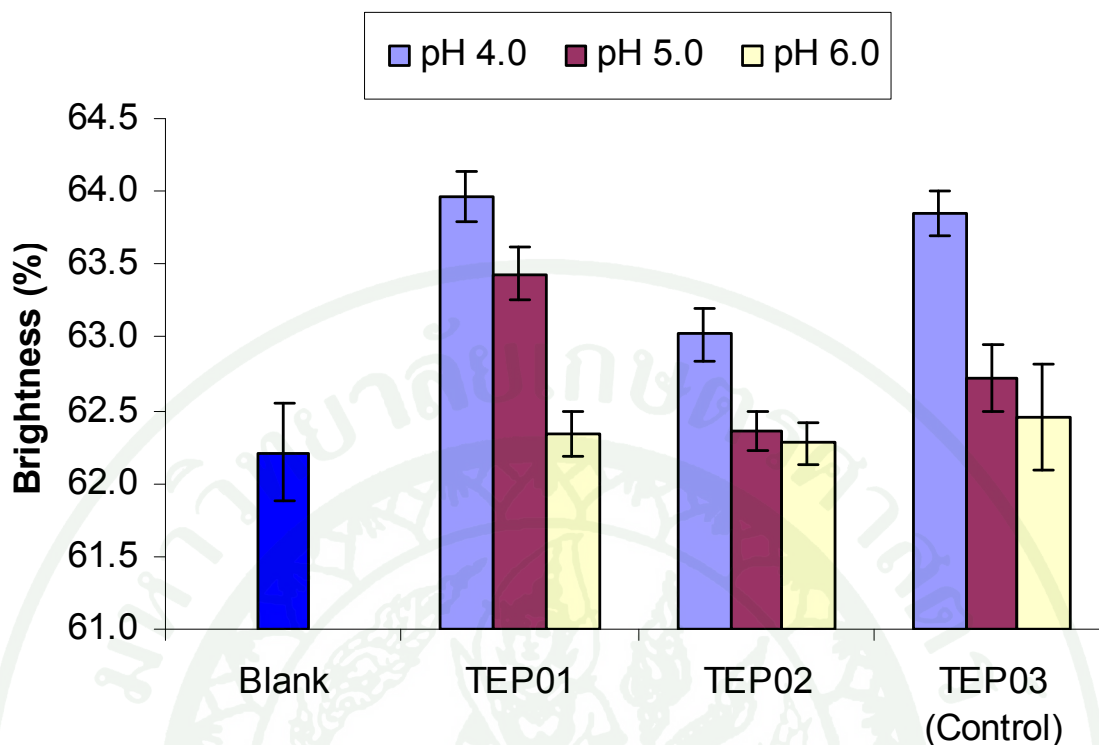
ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงการยอมให้อากาศไหลผ่านของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยชนิดกรด และระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน

หมายเหตุ Error Bars แสดงถึงช่วงระดับความเชื่อมั่นทางสถิติเท่ากับร้อยละ 95

กรณีของการยอมให้อากาศไหลผ่านดังแสดงในภาพที่ 12 จะเห็นได้ว่าแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรด จะมีค่าการยอมให้อากาศไหลผ่านที่สูงกว่ากรณีของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่แผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอ่อน TEP01 และ TEP02 ซึ่งเป็นไปได้ว่ากรดอ่อนจะทำให้เกิดการละลายตัวของอนุภาคผนังเส้นใยขนาดเล็กและสารประกอบอื่นๆ โดยมีการทำลายผนังเซลล์เส้นใยที่รุนแรงน้อยกว่ากรณีของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดแก่ TEP03 (Control) จึงทำให้ช่องทางเดินของอากาศในโครงสร้างของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างลดลง หรือมีค่าความเป็นกรดมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ในกรณีของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดแก่ TEP03 (Control) ซึ่งการละลายตัวของอนุภาคผนังเส้นใยขนาดเล็กและสารประกอบอื่นๆ ที่ทำให้เกิดช่องทางเดินของอากาศในโครงสร้างของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดมากขึ้นจะถูกชดเชยจากการที่ผนังเซลล์เส้นใยอาจอ่อนแอลงจากการไฮโดรไลซิสของกรด ทำให้เกิดการจัดเข้ารูปของเส้นใยในโครงสร้างของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ คีขึ้น

และแน่นขึ้น จึงทำให้การยอมให้อากาศไหลผ่านต่ำกว่าแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอ่อน TEP01 และ TEP02 ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวสอดคล้องกับพฤติกรรมดังที่แสดงในภาพที่ 10 (Lacerda *et al.*, 2013; Lai, 1996; Niskanen, 1998; Thygesen *et al.*, 2007; Young and Rowell, 1986)

อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 6 และจากตารางผนวกที่ ข5 และ ข6 เมื่อทำการทดสอบต่อเนื่องด้วยวิธีการทดสอบแบบ Tukey HSD พิจารณาถึงชนิดของกรดที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการยอมให้อากาศไหลผ่านของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรด จะพบว่ากรดอ่อน TEP01 และกรดอ่อน TEP02 จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการยอมให้อากาศไหลผ่านของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ต่างจากกรดแก่ TEP03 (Control) และกรดอ่อนทั้งสองชนิดไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการยอมให้อากาศไหลผ่านของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเมื่อพิจารณาถึงระดับความเป็นกรด-ด่างที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการยอมให้อากาศไหลผ่านของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรด จะพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

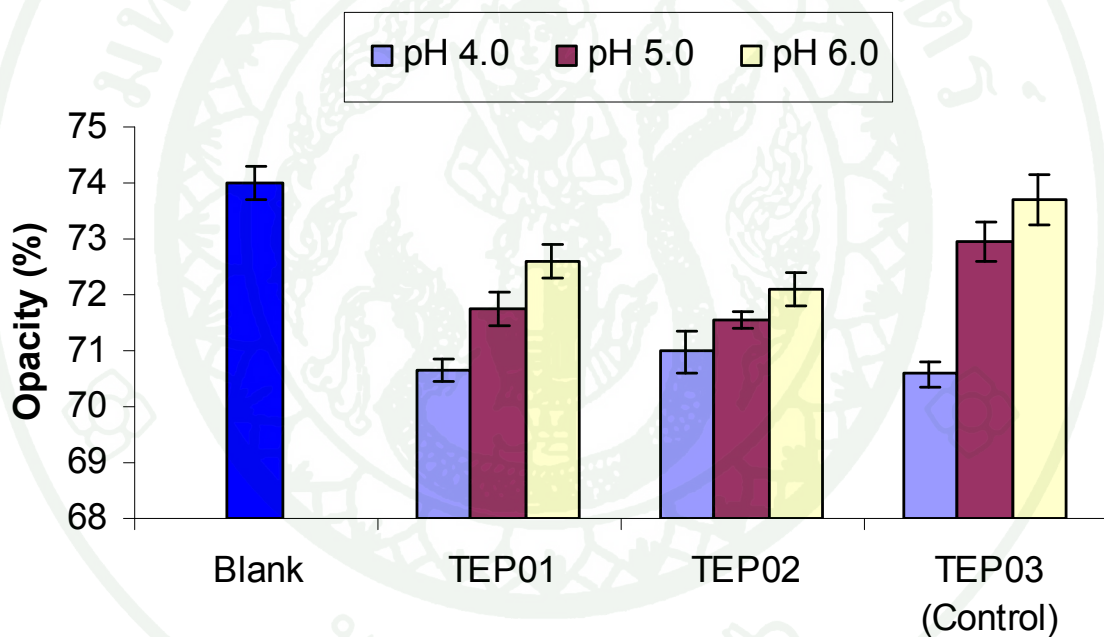


ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงความขาวสว่างของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน

หมายเหตุ Error Bars แสดงถึงช่วงระดับความเชื่อมั่นทางสถิติเท่ากับร้อยละ 95

ภาพที่ 13 แสดงให้เห็นว่าความขาวสว่างของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดทุกชนิดมีแนวโน้มที่สูงกว่ากรณีของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปลา เมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างลดลงหรือมีความเป็นกรดมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการละลายตัวของอนุภาคผนังเส้นใยขนาดเล็กและสารประกอบอื่นๆ ที่ทำให้เกิดช่องทางเดินของอากาศในโครงสร้างของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดมากขึ้น สอดคล้องกับผลของการยอมให้อากาศไหลผ่านดังภาพที่ 12 ซึ่งจะเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการกระเจิงของแสงที่ดี อันเนื่องจากการเคลื่อนที่ของแสงภายใน โครงสร้างของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ หักเหตลับไปมาระหว่างส่วนที่เป็นอากาศกับผนังเซลล์เส้นใยจึงทำให้ความขาวสว่างมากขึ้น (Lacerda *et al.*, 2013; Lai, 1996; Niskanen, 1998; Thygesen *et al.*, 2007; Vaarasalo; 1999; Young and Rowell, 1986)

อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 6 และจากตารางผนวกที่ ข7 และ ข8 เมื่อทำการทดสอบต่อเนื่องด้วยวิธีการทดสอบแบบ Tukey HSD พิจารณาถึงชนิดของกรดที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความขาวสว่างของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรด จะพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเมื่อพิจารณาถึงระดับความเป็นกรด-ด่างที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความขาวสว่างของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรด จะพบว่าระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.0 จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความขาวสว่างของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดแตกต่างจากระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.0 และ 6.0 จะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความขาวสว่างของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงความทึบแสงของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน

หมายเหตุ Error Bars แสดงถึงช่วงระดับความเชื่อมั่นทางสถิติเท่ากับร้อยละ 95

ภาพที่ 14 แสดงให้เห็นว่าความทึบแสงของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ผ่านการปฏิบัติด้วยกรดทุกชนิดมีแนวโน้มที่ต่ำกว่ากรณีของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ เปล่า เมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างลดลงหรือมีความเป็นกรดมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการละลายตัวของอนุภาคผนังเส้นใยขนาดเล็กและ

สารประกอบอื่นๆ ที่ทำให้เกิดช่องทางเดินของอากาศใน โครงสร้างของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ มากขึ้น ซึ่งจะเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของแสงผ่านส่วนที่เป็นอากาศภายใน โครงสร้างของแผ่นขึ้น ตัวอย่างๆ ได้มากขึ้น จึงทำให้ความทึบแสงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการยอมให้อากาศไหล ผ่านดังแสดงในภาพที่ 12 (Lacerda *et al.*, 2013; Lai, 1996; Niskanen, 1998; Thygesen *et al.*, 2007; Vaarasalo; 1999; Young and Rowell, 1986)

อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 6 และจากตาราง ผนวกที่ ข9 และ ข10 เมื่อทำการทดสอบต่อเนื่องด้วยวิธีการทดสอบแบบ Tukey HSD พิจารณาถึง ชนิดของกรดที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความทึบแสงของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรด จะ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเมื่อ พิจารณาถึงระดับความเป็นกรด-ด่างที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความทึบแสงของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรด จะพบว่าระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.0 และ 5.0 จะไม่ส่งผลต่อการ เปลี่ยนแปลงความทึบแสงของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.0 จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความ ทึบแสงของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.0 อย่างมี นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2.3 ผลการศึกษาและวิเคราะห์รา

จากการจำแนกชนิดราที่เกิดขึ้นบนแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ พบราทั้งหมด 5 สกุล (Genera) ได้แก่ *Aspergillus*, *Penicillium*, *Monilia*, *Mucor* และ *Trichoderma* โดยราสกุล *Aspergillus* พบ ทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ *Aspergillus carneus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus* และ *Aspergillus niger* ราสกุล *Penicillium* พบทั้งหมด 3 ชนิด ส่วนราสกุล *Monilia*, *Mucor* และ *Trichoderma* พบสกุลละ 1 ชนิด โดยพื้นที่ของรอยเปื้อนสีที่ตรวจพบราชนิดต่างๆ แสดงในตาราง ผนวกที่ ค1 เมื่อนำพื้นที่ของรอยเปื้อนสีที่ตรวจพบราชนิดต่างๆ มาคำนวณเปรียบเทียบกับพื้นที่ ของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ดังสูตรที่แสดงไว้ต่อไปนี้ พื้นที่การเจริญของราชนิดต่างๆ บนแผ่นขึ้น ตัวอย่างๆ แสดงในตารางที่ 7

$$\text{พื้นที่การเจริญของชนิดรา(cm}^2\text{)} = \frac{\text{พื้นที่ของรอยเปื้อนสี(cm}^2\text{)} \times \text{พื้นที่ของรอยเปื้อนสีทั้งหมด(cm}^2\text{)}}{\text{พื้นที่ของแผ่นขึ้นตัวอย่าง ๆ (214 cm}^2\text{)}}$$

ตารางที่ 7 พื้นที่การเจริญของราชนิดต่างๆ บนแผ่นชิ้นตัวอย่าง

ชนิดกรด ปฏิบัติ	ระดับความเป็น กรด-ด่างควบคุม	พื้นที่การเจริญของชนิดรา (ตารางเซนติเมตร)									
		Aca	Afl	Afu	Ani	Pe1	Pe2	Pe3	Mon	Muc	Tri
Blank	7.00	163.81	214.00	-	214.00	-	-	-	-	163.81	-
	4.00	-	91.85	-	-	-	-	-	-	-	-
TEP01	5.00	-	66.28	-	157.19	66.28	-	-	147.72	-	56.81
	6.00	-	214.00	-	214.00	-	-	-	-	-	-
TEP02	4.00	214.00	84.27	-	-	-	129.73	129.73	-	-	-
	5.00	-	205.48	-	8.52	-	-	-	-	-	-
TEP03 (Control)	6.00	56.81	214.00	-	146.77	-	-	-	-	-	-
	4.00	-	48.29	-	214.00	-	-	-	-	-	165.71
(Control)	5.00	-	214.00	124.04	80.49	-	-	-	-	-	-
	6.00	-	214.00	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ Aca = *Aspergillus carneus*; Afl = *Aspergillus flavus*; Afu = *Aspergillus fumigatus*; Ani = *Aspergillus niger*; Pe1 = *Penicillium* sp.1;
Pe2 = *Penicillium* sp.2; Pe3 = *Penicillium* sp.3; Mon = *Monilia* sp.; Muc = *Mucor* sp.; Tri = *Trichoderma* sp.

ราที่ตรวจพบบนแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ทั้ง 5 สกุน นั้น เป็นเชื้อราที่พบได้ทั่วไปในสภาพแวดล้อมปัจจุบัน โดยราสกุล *Aspergillus* มักจะถูกพบปนเปื้อนอยู่ในวัตถุดิบทางการเกษตรที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบเนื่องจากราสกุล *Aspergillus* สามารถผลิตเอนไซม์เพื่อย่อยสลายเซลลูโลสได้ (ชลนิชา, 2548) จากการทดลองนี้พบว่าราชนิด *Aspergillus flavus* จะถูกพบอยู่บนแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ทุกชุดการทดลอง และราชนิด *Aspergillus niger* จะถูกพบมากเป็นลำดับรองลงมา โดยพื้นที่การเจริญของเชื้อรามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรด มีค่าเพิ่มขึ้นหรือเป็นกรดน้อยลง ราทั้งสองชนิดนี้จะเจริญเติบโตได้ดีที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80-90 ซึ่งสภาวะในโกดังเก็บกระดาษที่จัดเก็บแผ่นกระดาษทดสอบมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 92 ส่วนราชนิด *Aspergillus carneus* และ *Aspergillus fumigatus* จะเจริญเติบโตได้ดีที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75-80 และ ร้อยละ 65 ตามลำดับ (เกสรินทร์, 2552)

นอกจากนี้ ภูมิของราในสกุล *Penicillium*, *Monilia*, *Mucor* และ *Trichoderma* พบในปริมาณน้อยและพบอยู่บนแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ บางชุดการทดลองเท่านั้น อาจกล่าวได้ว่า ราสกุลดังกล่าวอาจปนเปื้อนมากับอากาศ และสภาวะการทดลองไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตบนแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ในช่วงระยะเวลา 120 วัน ของการจัดเก็บ

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและวิจัยครั้งนี้ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ศึกษากลไกการเกิดคราบผิวกระจกอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างความชื้นกับกระจก

จากการสอบทวนงานวิจัยและข้อมูลจากผู้ผลิตและผู้บริโภคกระจกคั่นกระจก พบว่าปัจจัยที่ทำให้เกิดคราบบนผิวกระจกมีอยู่ 3 ประการคือ 1) ความชื้น 2) ปริมาณ Na_2O บนผิวกระจก และ 3) สภาพความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งการที่จะชะลอการเกิดคราบผิวกระจกจะต้องควบคุมปัจจัยทั้ง 3 อย่าง ให้ได้มากที่สุด กล่าวคือ ต้องเก็บกระจกในที่ที่มีอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำ กระจกที่ผลิตขึ้นต้องให้มีปริมาณ Na_2O บนผิวกระจกน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ และการใช้กระจกคั่นกระจกต้องสามารถคงสภาพที่เป็นกรด เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาระหว่างความชื้นและ Na_2O ที่ก่อให้เกิดคราบผิวกระจกได้

2. การทดลองในห้องปฏิบัติการ

2.1 การทดสอบความสามารถในการหน่วงการเกิดคราบและราบนผิวกระจกของแผ่นฉนวน
ตัวอย่างฯ

จากการทดลองพบว่า แผ่นฉนวนตัวอย่างฯ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอ่อน TEP02 ให้มีระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.0 สามารถหน่วงการเกิดคราบผิวกระจกและยับยั้งการเกิดราบนผิวกระจกได้ดีที่สุด โดยไม่มีการเกิดคราบและราบนผิวกระจกเป็นระยะเวลา 120 วัน เมื่อใช้คั่นกระจกจริงในโกดังเก็บกระจกที่อุณหภูมิเฉลี่ย 32 องศาเซลเซียส และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ร้อยละ 92 นับเป็นความสำเร็จในห้องปฏิบัติการที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรมผลิตกระจกคั่นกระจก โดยไม่ต้องมีการใช้สารเคมียับยั้งเชื้อรา ซึ่งเป็นการลดต้นทุนพร้อมกับการผลิตกระจกคั่นกระจกที่มีคุณภาพดีขึ้น

2.2 การทดสอบหาสมบัติทางกายภาพและกลสมบัติของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ

แผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ที่ปฏิบัติด้วยกรดอ่อน TEP01 TEP02 และกรดแก่ TEP03 ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.0 5.0 และ 6.0 จะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพและกลสมบัติ โดยทดสอบที่นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนี้

2.2.1 ความหนาแน่นของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างที่ใช้ปฏิบัติ

2.2.2 ดัชนีแรงดึงของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ มีการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากชนิดกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างที่ใช้ปฏิบัติ กล่าวคือ แผ่นขึ้นตัวอย่างฯ ที่ปฏิบัติด้วยกรด มีแนวโน้มที่จะมีค่าดัชนีแรงดึงต่ำลง และจะต่ำลงมากขึ้นเมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของกรดที่มีต่อเส้นใยในโครงสร้างของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ

2.2.3 การยอมให้อากาศไหลผ่านของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ จะมีการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากชนิดกรดที่ใช้โดยไม่ได้รับผลจากระดับความเป็นกรด-ด่าง กล่าวคือกรดแก่ TEP03 จะทำให้การยอมให้อากาศไหลผ่านลดลงมากที่สุด เนื่องจากการที่ผนังเซลล์เส้นใยอ่อนแอลงจากการไฮโดรไลซิสของกรดแก่ที่รุนแรง ทำให้เกิดการจับตัวรูปของเส้นใย ในโครงสร้างของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ คีขึ้นและแน่นขึ้น แม้ว่าอนุภาคผนังเซลล์เส้นใยขนาดเล็กและสารประกอบอื่นๆ จะเกิดการละลายตัวเป็นช่องทางเดินอากาศมากขึ้นก็ตาม

2.2.4 ความขาวสว่างของแผ่นขึ้นตัวอย่างฯ จะมีการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากระดับความเป็นกรด-ด่าง โดยไม่ได้รับผลจากชนิดของกรด กล่าวคือ เมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างลดลงหรือความเป็นกรดมากขึ้น จะทำให้เกิดการไฮโดรไลซิสอนุภาคผนังเซลล์เส้นใยขนาดเล็กมากขึ้น ทำให้มีช่องทางเดินอากาศมากขึ้น ดังนั้นโอกาสที่แสงจะเดินทางหักเหไปมาระหว่างส่วนที่เป็นอากาศและผนังเซลล์เส้นใยจึงมีมากขึ้น ประกอบกับแสงมักเดินทางไปตามช่องว่างที่เป็นอากาศมากกว่า จึงทำให้ความขาวสว่างมากขึ้นในขณะที่ความทึบแสงลดลง

2.3 การศึกษาและวิเคราะห์รา

จากการทดลองพบว่าราชนิด *Aspergillus flavus* และ *Aspergillus niger* เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะการทดลองที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 4.0-7.0 และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ร้อยละ 92 หากมีความต้องการใช้สารเคมียับยั้งเชื้อราในเชิงอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษกั้นกระจก ควรเลือกสารเคมียับยั้งเชื้อราที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของราทั้ง 2 ชนิดนี้ได้เป็นสำคัญ



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมทรัพย์สินทางปัญญา. 2545. พระราชบัญญัติความลับทางการค้า พ.ศ. 2545. 22 กรกฎาคม 2545.

เกศรินทร์ รามณี. 2552. การยับยั้งการเจริญและการสร้างสารพิษแอฟลาทอกซินของเชื้อรา *Aspergillus flavus* และ *Aspergillus parasiticus* โดยสารสกัดจากพืชตระกูลส้ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชลนิชา ทองขลิบ. 2548. การคัดเลือกเชื้อรา *Aspergillus* ที่ผลิตเอนไซม์อาหารสัตว์และปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเอนไซม์ด้วยการเพาะเลี้ยงแบบ solid state ที่ใช้ฟางข้าวเป็นวัตถุดิบหลัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บริษัท เอเชีย เคนดี้ จำกัด. 2548. **Nagara Paper**. ผลิตภัณฑ์และบริการ. แหล่งที่มา: http://www.asiakendy.com/products-12_nagara_paper_th.php, 12 กุมภาพันธ์ 2552.

ฝ่ายพัฒนารูธุรกิจ บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด. 2552. รายงานสถิติการจำหน่ายสินค้าประจำปี พศ. 2545-2551.

ฝ่ายพัฒนาระบบ บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด. 2545. รายงานการทดสอบกระดาษกั้นกระจก.

ฝ่ายปฏิบัติการ บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด. 2552. **Production Information Report**.

ฝ่ายปฏิบัติการ บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด. 2556. มาตรฐานส่วนผสมสารเคมีลงในน้ำเยื่อ.

ฝ่ายปฏิบัติการ บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด. 2557. แผนคุณภาพ.

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2547. สมบัติทางเคมีของวัสดุแก้ว. วัสดุแก้ว : GSAT. แหล่งที่มา: <http://www2.mtec.or.th/th/research/GSAT/Glassweb/gsat.asp>, 12 กุมภาพันธ์ 2552.

Chitwatcharakomol, T. 1995. **Causes and Prevention of Soda Bloom in Glass Industry.** M.S. Thesis, Chulalongkorn University.

Duffer, P.F., H. Franz and J.D. Kelly. 1985. **Acidified Powdered Interleaving.** United States Patent 4,530,889.

Franz, H. 1997. **Buffered Acid Interleaving for Glass Sheets.** United States Patent 5,641,576.

Howard, R.C. and W. Bichard. 1992. The Basic Effects of Recycling on Pulp Properties. **Journal of Pulp and Paper Science** 18 (4): 151-159.

Lacerda, T.M., M.D. Zambon and E. Frollini. 2013. Effect of Acid Concentration and Pulp Properties on Hydrolysis Reactions of Mercerized Sisal. **Carbohydrate Polymers** 93: 347-356.

Lai, Y-Z. 1996. **Chemical Modification of Lignocellulosic Materials.** Marcel Dekker, Inc., New York.

Niskanen, K. 1998. **Paper Physics.** Fapet Oy, Helsinki.

The Technical Association of Pulp and Paper Industry. 2000. **TAPPI Test Methods.** (CD-ROM). TAPPI PRESS, Technology Park, Atlanta, USA.

Thygesen, A., B. Madsen, A.B. Thomsen and H. Lilholt. 2007. Effect of Acidic Conditions on Interface and Strength of Cellulose Fibers, pp. 289-296. *In* **28th Risø International Symposium on Materials Science : Interface Design of Polymer Matrix Composites - Mechanics, Chemistry, Modelling and Manufacturing.** 3-6 September 2007, Risø National Laboratory. Risø, Denmark.

Vaarasalo, J. 1999. Optical properties of paper, pp. 163-181. *In* J.E. Levlin and L. Soderhjelm, eds. **Pulp and Paper Testing**. Fapet Oy, Helsinki.

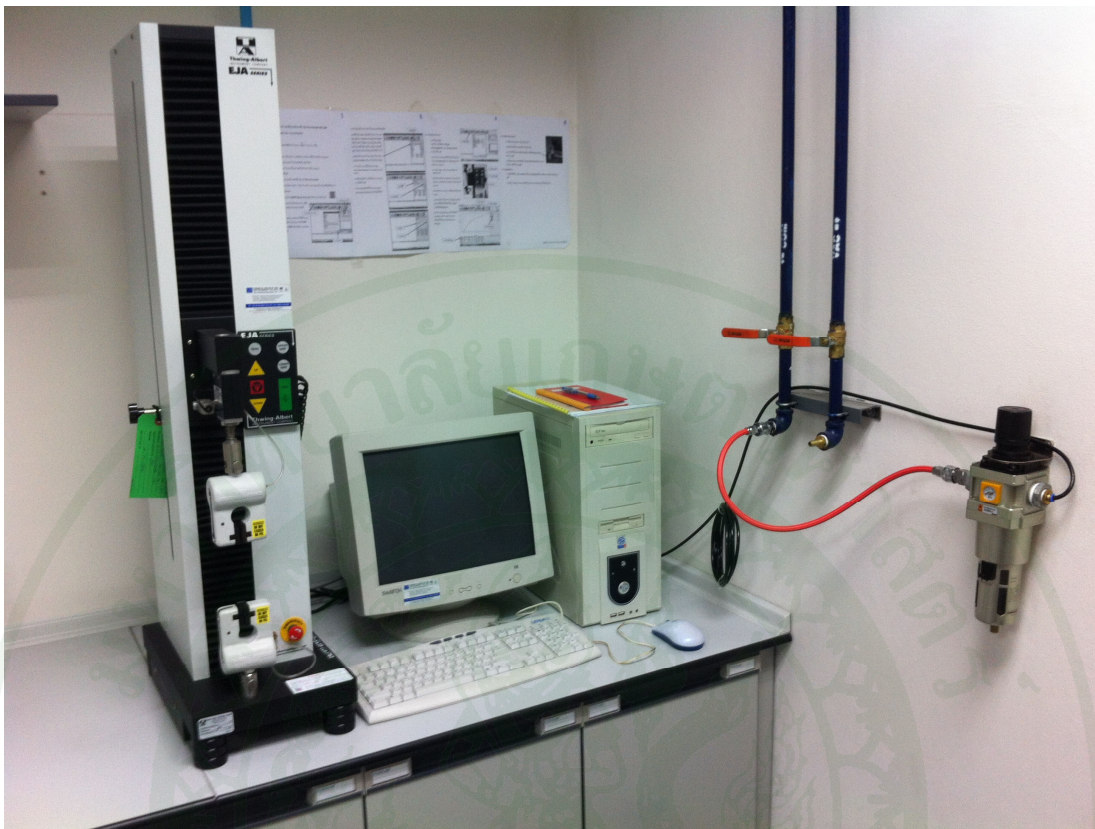
Young, A. R. and R. M. Rowell. 1986. **Cellulose Structure, Modification and Hydrolysis**. John Wiley & Sons, Inc., New York.





ภาคผนวก

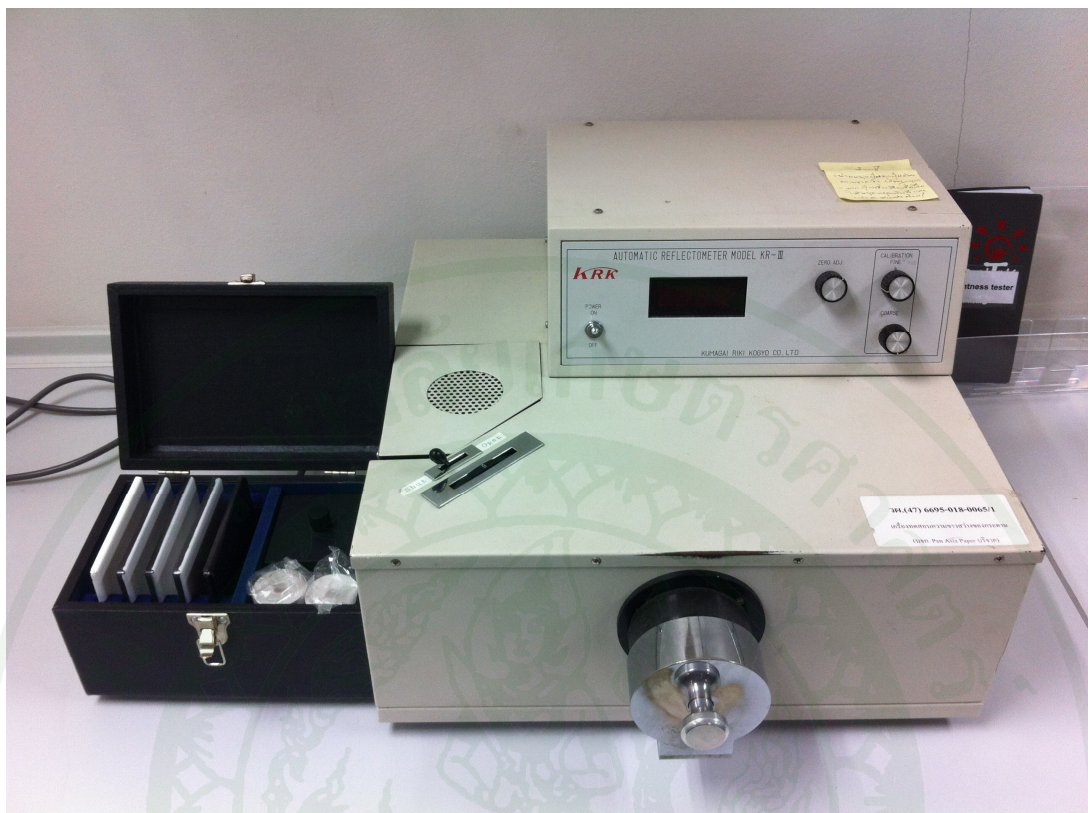




ภาพผนวกที่ ก1 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Tensile Testing Machine, EJA-series, Thwing-Albert Co., Ltd., USA)



ภาพผนวกที่ ก2 เครื่องทดสอบความพรุน (Densometer, 4110N, Gurley Precision Instruments, Inc., USA)



ภาพผนวกที่ ก3 เครื่องทดสอบการสะท้อนแสง (Automatic Reflectometer, Model-3, Kumagai Riki Kogyo Co., Ltd., Japan)



ตารางผนวกที่ ข1 ค่าความหนาแน่นของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน

ระดับความเป็นกรด-ด่างควบคุม	ชนิดกรดปฏิบัติ			$\bar{x}_{i\cdot}$
	TEP01	TEP02	TEP03 (Control)	
4.0	0.496	0.493	0.501	0.497
5.0	0.495	0.491	0.494	0.493
6.0	0.492	0.489	0.493	0.492
$\bar{x}_{\cdot j}$	0.495	0.491	0.496	

ตารางผนวกที่ ข2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบ RCBD สำหรับค่าความหนาแน่น

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	f
Acid	2	0.0000377	0.0000189	4.91 ^{ns}
pH Levels	2	0.0000428	0.0000214	5.57 ^{ns}
Error	4	0.0000153	0.0000038	
Total	8	0.0000958		

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

$$Q_{(0.05,3,4)} = 5.04 ; w = 5.04 \times \sqrt{(0.0000038 \div 3)} = 0.006$$

$\bar{x}_{\cdot 2}$	$\bar{x}_{\cdot 1}$	$\bar{x}_{\cdot 3}$	$\bar{x}_{\cdot 3}$	$\bar{x}_{\cdot 2}$	$\bar{x}_{\cdot 1}$
0.491	0.495	0.496	0.492	0.493	0.497

ตารางผนวกที่ ข3 ค่าดัชนีแรงดึงของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน

ระดับความเป็นกรด-ด่างควบคุม	ชนิดกรดปฏิบัติ			$\bar{x}_{i.}$
	TEP01	TEP02	TEP03 (Control)	
4.0	44.02	43.80	42.01	43.28
5.0	45.53	45.42	43.74	44.90
6.0	46.98	46.35	44.33	45.89
$\bar{x}_{.j}$	45.51	45.19	43.36	

ตารางผนวกที่ ข4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบ RCBD สำหรับค่าดัชนีแรงดึง

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	f
Acid	2	8.10	4.05	81.10*
pH Levels	2	10.38	5.19	104.00*
Error	4	0.20	0.05	
Total	8	18.67		

หมายเหตุ * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

$$Q_{(0.05,3,4)} = 5.04 ; w = 5.04 \times \sqrt{(0.05 \div 3)} = 0.65$$

$\bar{x}_{.3}$	$\bar{x}_{.2}$	$\bar{x}_{.1}$	$\bar{x}_{1.}$	$\bar{x}_{2.}$	$\bar{x}_{3.}$
43.36	45.19	45.51	43.28	44.90	45.89

ตารางผนวกที่ ข5 ค่าการยอมให้อากาศไหลผ่านของแผ่นซีเมนต์ตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน

ระดับความเป็นกรด-ด่างควบคุม	ชนิดกรดปฏิบัติ			$\bar{x}_{i.}$
	TEP01	TEP02	TEP03 (Control)	
4.0	22.51	22.40	20.16	21.69
5.0	21.88	21.71	19.93	21.17
6.0	21.04	20.29	19.78	20.37
$\bar{x}_{.j}$	21.81	21.46	19.96	

ตารางผนวกที่ ข6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบ RCBD สำหรับค่าการยอมให้อากาศไหลผ่าน

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	f
Acid	2	5.84	2.92	14.16*
pH Levels	2	2.66	1.33	6.44 ^{ns}
Error	4	0.82	0.21	
Total	8	9.32		

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

$$Q_{(0.05,3,4)} = 5.04 ; w = 5.04 \times \sqrt{(0.21 \div 3)} = 1.33$$

$\bar{x}_{.3}$	$\bar{x}_{.2}$	$\bar{x}_{.1}$	$\bar{x}_{3.}$	$\bar{x}_{2.}$	$\bar{x}_{1.}$
19.96	21.46	21.81	20.37	21.17	21.69

ตารางผนวกที่ ข7 ค่าความขาวสว่างของแผ่นขึ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน

ระดับความเป็นกรด-ด่างควบคุม	ชนิดกรดปฏิบัติ			$\bar{x}_{i.}$
	TEP01	TEP02	TEP03 (Control)	
4.0	63.97	63.02	63.85	63.61
5.0	63.44	62.36	62.72	62.84
6.0	62.34	62.27	62.46	62.36
$\bar{x}_{.j}$	63.25	62.55	63.01	

ตารางผนวกที่ ข8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบ RCBD สำหรับค่าความขาวสว่าง

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	f
Acid	2	0.75	0.38	3.74 ^{ns}
pH Levels	2	2.41	1.20	12.03 [*]
Error	4	0.40	0.10	
Total	8	3.56		

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

$$Q_{(0.05,3,4)} = 5.04 ; w = 5.04 \times \sqrt{(0.10 \div 3)} = 0.92$$

$\bar{x}_{.2}$	$\bar{x}_{.3}$	$\bar{x}_{.1}$	$\bar{x}_{3.}$	$\bar{x}_{2.}$	$\bar{x}_{1.}$
62.55	63.01	63.25	62.36	62.84	63.61

ตารางผนวกที่ ข9 ค่าความทึบแสงของแผ่นชิ้นตัวอย่างๆ ที่ปฏิบัติด้วยกรดและระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน

ระดับความเป็นกรด-ด่างควบคุม	ชนิดกรดปฏิบัติ			$\bar{x}_{i.}$
	TEP01	TEP02	TEP03 (Control)	
4.0	70.64	70.98	70.59	70.74
5.0	71.76	71.54	72.96	72.09
6.0	72.59	72.11	73.69	72.80
$\bar{x}_{.j}$	71.66	71.56	72.41	

ตารางผนวกที่ ข10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบ RCBD สำหรับค่าความทึบแสง

Source of Variation	df	Sum of Square	Mean Square	f
Acid	2	1.33	0.67	2.16 ^{ns}
pH Levels	2	6.60	3.30	10.71 [*]
Error	4	1.23	0.31	
Total	8	9.16		

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

$$Q_{(0.05,3,4)} = 5.04 ; w = 5.04 \times \sqrt{(0.31 \div 3)} = 1.62$$

$\bar{x}_{.2}$	$\bar{x}_{.1}$	$\bar{x}_{.3}$	$\bar{x}_{1.}$	$\bar{x}_{2.}$	$\bar{x}_{3.}$
71.56	71.66	72.41	70.74	72.09	72.80



ตารางผนวกที่ ค1 พื้นที่ของรอยเปื้อนสีที่ตรวจพบราชนิดต่างๆ บนแผ่นชิ้นตัวอย่างฯ

ชนิดกรด ปฏิบัติ	ระดับความเป็น กรด-ด่างควบคุม	ลักษณะของ รอยเปื้อนสี	พื้นที่ของรอยเปื้อนสี (ตารางเซนติเมตร)	ชนิดราที่ตรวจพบ											
				Aca	Afl	Afu	Ani	Pe1	Pe2	Pe3	Mon	Muc	Tri		
Blank	7.00	ดำ	3		×			×							
		เหลือง	50		×			×							
		ขาว	173	×	×		×							×	
TEP01	4.00	ดำ	36					×							
		เหลือง	61					×							
		ขาว	129												
	5.00	ดำ	10					×	×						
		เหลือง	60					×	×						×
		ขาว	156					×					×		
6.00	ดำ	196					×	×							
	ขาว	30					×	×							
	เหลือง	89	×	×											
TEP02	4.00	ขาว	137	×						×	×				
		ดำ	9											×	
	5.00	ขาว	217					×							

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ชนิดกรด ปฏิบัติ	ระดับความเป็น กรด-ด่างควบคุม	ลักษณะของ รอยเปื้อนสี	พื้นที่ของรอยเปื้อนสี (ตารางเซนติเมตร)	ชนิดราที่ตรวจพบ											
				Aca	Afl	Afu	Ani	Pe1	Pe2	Pe3	Mon	Muc	Tri		
TEP02	6.00	ดำ	11		×										
		เหลือง	60	×	×										
		ขาว	155		×			×							
	4.00	น้ำตาล	14		×			×							
		เหลือง	37		×			×							
		ขาว	175					×							×
TEP03 (Control)	5.00	ดำ	11					×							
		เหลือง	10					×							
		ครีม	74						×						
	6.00	ขาว	131							×					
		ดำ	11						×						
		เหลือง	42						×						
		ขาว	173						×						

หมายเหตุ Aca = *Aspergillus carneus*; Afl = *Aspergillus flavus*; Afu = *Aspergillus fumigatus*; Ani = *Aspergillus niger*; Pe1 = *Penicillium* sp.1;
Pe2 = *Penicillium* sp.2; Pe3 = *Penicillium* sp.3; Mon = *Monilia* sp.; Muc = *Mucor* sp.; Tri = *Trichoderma* sp.

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายบัญชา ตาคชื่น
เกิดวันที่	26 กุมภาพันธ์ 2524
สถานที่เกิด	อำเภอราชเทวี จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมศาสตร์) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง
ตำแหน่งปัจจุบัน	ผู้จัดการส่วนคุณภาพและพัฒนา
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด

