

การศึกษานิตและความเข้มข้นของกรดที่มีผล
ต่อผิวสัมผัสของเส้นใยป่านศรนารายณ์
Study Types and Concentration of Acid for
Improving Textured of Sisal Fibers

โดย

นางสาวคุณาวรรณ อารยะนรากุล

ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การศึกษาชนิดและความเข้มข้นของกรดที่มีผลต่อผิวสัมผัสของเส้นใยป่านศรนารายณ์

โดย คุณาวรรณ อารยะนรากุล

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาชนิดและความเข้มข้นของกรดที่มีผลต่อผิวสัมผัสของเส้นใยป่านศรนารายณ์ ซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติที่จัดอยู่ในกลุ่มของเส้นใยเซลลูโลส โดยในการทดลองจะนำเส้นใยป่านศรนารายณ์ไปแช่ในกรด 4 ชนิด ได้แก่ กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) กรดอะซิติก (CH_3COOH) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดฟอร์มิก (CH_2O_2) ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.1-1.0 %v/v จากการทดลองพบว่าเส้นใยป่านศรนารายณ์ไม่สามารถทนกรดแก่หรือกรดซัลฟูริก และกรดไฮโดรคลอริกได้ เนื่องจากกรดแก่จะส่งผลทำให้พันธะไฮโดรเจนของกลูโคสเกิดการแตกพันธะ และเกิดการสลายตัวของพันธะ เส้นใยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลแดง และสามารถใช้กรดอะซิติก และกรดฟอร์มิกที่เป็นกรดอ่อนในการปรับปรุงผิวสัมผัสของเส้นใยได้ โดยกรดฟอร์มิกมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการปรับปรุงผิวสัมผัสของเส้นใยมากที่สุด ซึ่งความเข้มข้นที่ใช้ คือ 0.5%v/v และเวลาในการแช่ 2 วัน ถ้าทำการแช่เส้นใยในกรดที่มีความเข้มข้นและเวลาในการแช่นานเกินไปจะส่งผลทำให้เส้นใยเกิดการเปลี่ยนสี เปราะขาดง่าย และความแข็งแรงของเส้นใยลดลง

คำสำคัญ : เส้นใยป่านศรนารายณ์ กรดอะซิติก ผิวสัมผัส

Study of Acid Types and Concentration for Improving Textured of Sisal Fibers

The Objective of this study is to determine acid types and concentration that improve texture of sisals fibers. Sisal fibers were soaked in 4 types of acid, sulfuric acid (H_2SO_4) acetic acid (CH_3COOH), hydrochloric acid (HCl) and formic acid (CH_2O_2) with the concentration between 0.1 to 1.0 %v/v. The color of fibers soaked in strong acids, sulfuric acid and hydrochloric acid was changed from white to brown due to the break down of hydrogen bonds of glucoses, while weak acids, formic acid and acetic acid, could be used. It was found that formic acid with the concentration of 0.5%v/v and soaking duration of a days was the most appropriate condition. Higher concentration and longer soaking duration result in the change of color, brittleness and reduction of fiber strength.

Keywords : Sisal fibers, Acetic Acid, Texture

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญภาพประกอบ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ภูมิหลัง	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า	1
1.4 ขอบเขตการศึกษา	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 เส้นใยเซลลูโลส (Cellulose Fibers)	3
2.2 ป่านครนารายณ์ (Sisal)	4
2.2.1 ลักษณะทั่วไปของเส้นใยป่านครนารายณ์	4
2.2.2 พันธุ์และลักษณะประจำพันธุ์	4
2.2.3 การปลูกป่านครนารายณ์	5
2.2.4 ประโยชน์และความสำคัญ	5
2.3 กรดฟอร์มิก (Formic Acid)	6
2.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	6
2.3.2 อันตรายต่อสุขภาพอนามัย	6
2.3.3 ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา	7
2.3.4 การเกิดอึกคิภัยและการระเบิด	7
2.3.5 การเก็บรักษา/สถานที่เก็บ/เคลื่อนย้าย/ขนส่ง	7
2.3.6 วิธีการปฏิบัติเมื่อเกิดอุบัติเหตุรั่วไหล	7
2.4 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid)	8
2.4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	8
2.4.2 อันตรายต่อสุขภาพอนามัย	9

	หน้า
2.4.3 ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา	9
2.4.4 การเกิดอครีลิกและการระเบิด	10
2.4.5 การเก็บรักษา/สถานที่เก็บ/เคลื่อนย้าย/ขนส่ง	10
2.4.6 วิธีการปฏิบัติเมื่อเกิดอุบัติเหตุรั่วไหล	10
2.5 กรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid)	11
2.5.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	12
2.5.2 อันตรายต่อสุขภาพอนามัย	12
2.5.3 ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา	13
2.5.4 การเกิดอครีลิกและการระเบิด	13
2.5.5 การเก็บรักษา/สถานที่เก็บ/เคลื่อนย้าย/ขนส่ง	13
2.5.6 วิธีการปฏิบัติเมื่อเกิดอุบัติเหตุรั่วไหล	13
2.6 กรดอะซิติก (Acetic Acid)	13
2.6.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	14
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	16
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	16
3.2 การศึกษาชนิดของกรดที่มีผลต่อผิวสัมผัสของเส้นใยป่านครนารายณ์	17
3.3 การศึกษาความเข้มข้นของกรดที่มีผลต่อผิวสัมผัส ของเส้นใยป่านครนารายณ์	17
3.4 การศึกษาเวลาในการปรับปรุงผิวสัมผัสของเส้นใยป่านครนารายณ์	17
3.5 การทดสอบคุณสมบัติของเส้นใยป่านครนารายณ์	18
3.5.1 การทดสอบหาค่าดัชนีความขาวของเส้นใย (Whiteness Index)	18
3.5.2 การทดสอบความแข็งแรงของเส้นใย (Fiber Strength)	18
3.5.3 การทดสอบตามยาวของเส้นใยป่านครนารายณ์	19

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	20
4.1 การศึกษาชนิดของกรดที่มีผลต่อผิวสัมผัสของเส้นใยป่านครนารายณ์	20
4.2 การศึกษาความเข้มข้นของกรดที่มีผลต่อผิวสัมผัส ของเส้นใยป่านครนารายณ์	22
4.3 การศึกษาเวลาในการปรับปรุงผิวสัมผัสของเส้นใยป่านครนารายณ์	24
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	30
5.1 สรุปผลการทดลอง	30
5.2 ข้อเสนอแนะ	30
บรรณานุกรม	31
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก รูปภาพตามยาวของเส้นใย	
ภาคผนวก ข ค่าความขาว	
ภาคผนวก ค ความแข็งแรงของเส้นใย	

สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
2.1 โครงสร้างโมเลกุลเซลลูโลสแสดงการเกาะเกี่ยวของหน่วยโมเลกุลซ้ำ Cellubiose และพันธะไฮโดรเจน	3
4.1 แผนภูมิแท่งแสดงความแข็งแรงเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยกรดชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.1%v/v แซ่กรดเป็นเวลา 1 วัน	20
4.2 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความขาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยกรดชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.1%v/v แซ่กรดเป็นเวลา 1 วัน	21
4.3 แสดงภาพเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่แช่ด้วย (ก) กรดอะซิติก (ข) กรดฟอร์มิก (ค) กรดซัลฟูริก (ง) กรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้น 0.1%v/v แซ่กรดเป็นเวลา 1 วัน	22
4.4 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นของกรดอะซิติกและกรดฟอร์มิก ที่มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยป่านศรนารายณ์	23
4.5 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นของกรดอะซิติกและกรดฟอร์มิก ที่มีผลต่อค่าความขาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์	24
4.6 แผนภูมิแท่งแสดงผลความแข็งแรงของเส้นใยป่านศรนารายณ์ ที่แช่ด้วยกรดฟอร์มิกความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 1-3 วัน	25
4.7 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความขาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ ที่แช่ด้วยกรดฟอร์มิกความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 1-3 วัน	26
4.8 แสดงผิวตามยาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการแช่ด้วย กรดฟอร์มิกที่ความเข้มข้น 0.5%v/v ที่ระยะเวลาในการแช่ (ก) 1 วัน (ข) 2 วัน และ (ค) 3 วัน	26
4.9 แผนภูมิแท่งแสดงผลความแข็งแรงของเส้นใยป่านศรนารายณ์ ที่แช่ด้วยกรดอะซิติกความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 1-3 วัน	27
4.10 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความขาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ แช่ด้วยกรดอะซิติก ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 1-3 วัน	28

- 4.11 แสดงผิวตามยาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการแช่ด้วย
กรดอะซิติกที่ความเข้มข้น 0.5%v/v ที่ระยะเวลาในการแช่
(ก) 1 วัน (ข) 2 วันและ (ค) 3 วัน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ภูมิหลัง

ในปีพุทธศักราช 2515 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ พร้อมด้วยสมเด็จพระนางเจ้าฯ พระบรมราชินีนาถ เสด็จเยี่ยมเยียนสมาชิกในหมู่บ้านสหกรณ์หุบกระพง ทรงแนะนำให้แม่บ้านน่าน ปานศรณารายณ์มาใช้ประโยชน์ในด้านการจักสาน เพื่อเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือน โดยใช้เวลาว่างหลังจากเลิกงานด้านการเกษตรแล้ว เพื่อเพิ่มรายได้ให้แก่ครอบครัวเกษตรกรอีกทางหนึ่ง โดยมีสมาคมสตรีธุรกิจ และวิชาชีพแห่งประเทศไทยร่วมกับกรมส่งเสริมอุตสาหกรรมให้ความรู้ และฝึกทักษะให้แก่แม่บ้านสหกรณ์ด้วย วิธีการใช้เส้นใยปานศรณารายณ์เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ เช่น กระเป๋า หมวก เป็นต้น แต่เมื่อนำเส้นใยปานศรณารายณ์ไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์แล้วพบว่าเกิดปัญหาเกิดขึ้นกับผู้บริโภค ในเรื่องของผิวสัมผัสที่แข็งกระด้าง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการปรับปรุงผิวสัมผัสของเส้นใยปานศรณารายณ์ให้มีผิวสัมผัสที่นุ่มขึ้น โดยทำการศึกษานิดของกรดและความเข้มข้นของกรดที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงผิวสัมผัสของเส้นใยปานศรณารายณ์ ซึ่งผู้วิจัยได้สังเกตเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงผิวสัมผัสของเส้นใยจะเป็นการช่วยพัฒนาผลิตภัณฑ์และเพิ่มพูนมูลค่าให้กับสินค้าได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาชนิด และความเข้มข้นของกรดที่มีผลต่อผิวสัมผัสของเส้นใยปานศรณารายณ์
2. ศึกษาเวลาที่ใช้ในการปรับปรุงผิวสัมผัสของเส้นใยปานศรณารายณ์

1.3 ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

ผนังเซลล์ของพืชพวกลินิน ปอ และป่านรามี่ จะประกอบด้วยเส้นใยเล็กๆ จำนวนมากที่เป็นพวกเพกติน (Pectin) นอกจากนี้ยังมีเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ซึ่งเฮมิเซลลูโลสมีโครงสร้างที่แตกต่างไปจากเซลลูโลสทั่วไป เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ผสมที่มีส่วนประกอบของน้ำตาล (Sugar) เรียงตัวเป็นสายโซ่โมเลกุลหลัก และมีกิ่งก้านสาขาของกลูโคส (Glucose) กาแลกโตส (Galactose) และเมทิลกลูโคโรนิก (Methylglucuronic) เชื่อมต่อที่สายโซ่น้ำตาลดังกล่าวจะเป็นแบบ β - 1,4 เป็นส่วนใหญ่

จากที่ได้เคยมีผู้ทำการวิจัยปรับปรุงผิวสัมผัสโดย Gisela Buschle-Diller และคณะ ได้นำเอนไซม์เพกตินเนส (Pectinases) และ เซลลูเลส (Cellulases) มาทำกาย่อยเพกติน (Pectin) ในเส้นใยฝ้าย พบว่าเส้นใยมีความนุ่มมากขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ผู้ทำการวิจัยจึงมีความสนใจที่จะ

ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพทางด้านผิวสัมผัสของเส้นใยป่านศรนารายณ์ เนื่องจากการนำเส้นใยป่านศรนารายณ์มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น กระเป๋า หมวก ได้พบว่าเกิดปัญหาต่อผู้บริโภคในเรื่องของผิวสัมผัสที่แข็งกระด้าง แต่การนำเอนไซม์มาใช้ในการปรับปรุงเส้นใยป่านศรนารายณ์นั้นพบว่าค่อนข้างที่จะเกิดปัญหาในเรื่องการควบคุมปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ และเอนไซม์ที่ใช้ก็มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงเลือกที่จะใช้กรดแทนเอนไซม์ เพราะกรดมีคุณสมบัติสามารถย่อยโมเลกุลของเพกติน (Pectin) ได้เช่นเดียวกัน กรดนั้นมีหลายชนิดทั้งที่เป็นกรดแก่ กรดอ่อน และสามารถเตรียมได้ง่าย ขั้นตอนในการปฏิบัติก็ควบคุมได้ง่ายกว่าการใช้เอนไซม์

การวิจัยในครั้งนี้ขอบเขตการศึกษาจะเป็นการศึกษาถึงชนิดของกรด และความเข้มข้นที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงผิวสัมผัสของเส้นใยป่านศรนารายณ์ ซึ่งผู้ทำการวิจัยได้เล็งเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงผิวสัมผัสของเส้นใยป่านศรนารายณ์จะเป็นการช่วยพัฒนาผลิตภัณฑ์ และเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้สินค้าได้อีกด้วย

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. จัดหาวัตถุดิบต่างได้แก่ เส้นใยป่านศรนารายณ์ กรดซัลฟูริก กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก กรดไฮโดรคลอริก ที่ใช้ในการวิจัย
3. ศึกษาชนิดของกรดที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวสัมผัสของเส้นใยป่านศรนารายณ์
4. ศึกษาสมบัติต่างๆ ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสัมผัส เช่น สมบัติทางกายภาพ สมบัติความแข็งแรง เป็นต้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผิวสัมผัสที่ดีขึ้น
2. เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเส้นใยป่านศรนารายณ์ เช่น หมวก ให้มีสมบัติเหมาะสมในการทำงาน และเป็นการเพิ่มมูลค่าของสินค้าให้เพิ่มมากขึ้น
3. สามารถใช้ความรู้ที่ได้ไปพัฒนาให้เป็นอุตสาหกรรมภายในประเทศ

บทที่ 2

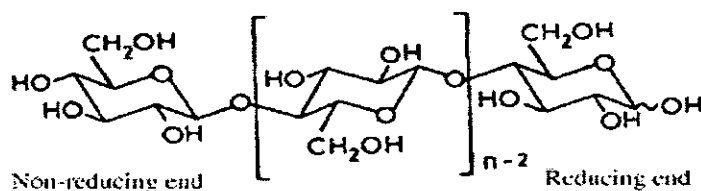
ทฤษฎีและหลักการ

การใช้เส้นใยธรรมชาติทำเป็นเครื่องนุ่งห่มและประโยชน์ด้านอื่นๆ มีมาตั้งแต่ก่อนยุคประวัติศาสตร์ และยังใช้กันมากจนถึงปัจจุบัน ถึงแม้จะมีเส้นใยประดิษฐ์ที่เข้าแทนกันได้ เส้นใยธรรมชาติยังเป็นที่ต้องการอยู่เพราะมีสมบัติดีหลายประการที่เส้นใยประดิษฐ์ไม่มี โดยเส้นใยธรรมชาติสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

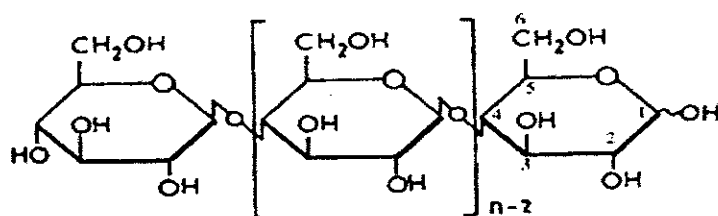
1. เส้นใยจากพืชหรือเส้นใยเซลลูโลส
2. เส้นใยจากสัตว์ หรือเส้นใยโปรตีน
3. เส้นใยแร่ โลหะ และอื่นๆ

2.1 เส้นใยเซลลูโลส (Cellulose Fibers) [1]

เส้นใยเซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งเกิดจากกลูโคสยึดเกาะกันด้วยพันธะเคมีเป็นโมเลกุลใหญ่มีสูตรเป็น $(C_6H_{10}O_5)_x$ โครงสร้างและการยึดเกาะของโมเลกุลแสดงดังรูปที่ 2.1



Sometimes shown as



Cellulose

รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลเซลลูโลสแสดงการเกาะเกี่ยวของหน่วยโมเลกุลซ้ำ Cellobiose และพันธะไฮโดรเจน

ในระยาะที่ยังไม่มีเส้นใยประดิษฐ์มีผู้นำเส้นใยเซลลูโลสมาใช้ประโยชน์มากกว่าเส้นใยชนิดอื่น โดยนำมาจากส่วนต่างๆ ของพืชที่ให้เส้นใย เช่น เส้นใยจากเมล็ด เส้นใยลินินจากลำต้น หรือ

เส้นใยป่านศรนารายณ์จากใบ ในปัจจุบันเส้นใยเซลลูโลสก็ยังเป็นที่นิยมใช้มากเนื่องจากมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่ใช้ความสบาย ความคงทน ย้อมสีติดได้ง่าย

2.1 ป่านศรนารายณ์ (Sisal)

ป่านศรนารายณ์ [2] เป็นเส้นใยที่ได้จากใบของต้นไซซาลมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Agave sisalana* คนพื้นเมืองในเม็กซิโกและอเมริกากลางรู้จักนำเส้นใยจากพืชชนิดนี้มาใช้ประโยชน์นานแล้ว ปัจจุบันประเทศที่ปลูกคือ ประเทศในแถบแอฟริกาและประเทศในแถบอเมริกาใต้ ในประเทศไทยมีการปลูกต้นป่านและผลิตเป็นอุตสาหกรรมโดยมีโรงงานขนาดใหญ่ที่อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ต้นป่านศรนารายณ์มีความทนทานต่อสภาวะแห้งแล้วได้ดี ต้องการแสงแดดจัด ปลูกขยายพันธุ์โดยใช้หน่อหรือต้นอ่อน เมื่อต้นป่านมีอายุได้ประมาณ 2-3 ปี ก็ตัดใบได้โดยเลือกตัดใบที่มีความยาวตั้งแต่ 80 เซนติเมตรขึ้นไป และใบเอียงทำมุม 45 องศา กับพื้นดิน นำใบไปชุดเส้นใยขณะยังสด โดยใช้เครื่องชุดหรือชุดด้วยมือ ใบป่านสด 100 กิโลกรัมจะให้เส้นใยประมาณ 2.5-3 กิโลกรัม เส้นใยมีความยาวโดยเฉลี่ยประมาณ 140 เซนติเมตร เส้นใยที่ได้จะถูกนำไปล้างทำความสะอาด ตากแห้ง แล้วนำไปทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยส่วนใหญ่จะผลิตเป็นเชือกขนาดใหญ่ ใช้ลากจูงเรือ และใช้ในงานก่อสร้าง ทำลูกบัพขัดโลหะ ทอผ้ารองพรม ทำพรม และงานหัตถกรรมต่างๆ เช่น หมวก กระเป๋า เป็นต้น เส้นใยมีความแข็งแรงกระด้าง มีความมันตามธรรมชาติ สีขาวนวล ดูความชื้นได้ดี และย้อมติดสีได้ง่าย เส้นใยป่านศรนารายณ์ไม่เหมาะสำหรับใช้ทำเสื้อผ้า

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของเส้นใยป่านศรนารายณ์

ป่านศรนารายณ์เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ใบมีเส้นใย นำไปใช้ประโยชน์ได้ เส้นใยมีลักษณะแข็งเหมาะสมสำหรับใช้ในการทำอุตสาหกรรม การทำเชือก โดยเฉพาะเชือกที่ใช้ในทะเล

1. ลักษณะต้นเป็นกอมีใบแตกออกไปโดยรอบเวียนเป็นวง ตั้งแต่โคนต้นถึงยอด สูงประมาณ 1-3 เมตร ใบหนา เส้นใยเรียบ ไม่มีก้านใบ สีเขียวสดจนถึงเขียวเข้ม ยาวประมาณ 100-200 เซนติเมตร ปลายใบหยาบ ลักษณะสีด้า ขอบใบเรียบ

2. ระบบราก รากฝอยแผ่กว้างออกไปในแนวลาดนอนไม่มีรากแก้ว

3. อายุและการออกดอก จะเกิดบริเวณตอนกลางของตา ตอนส่วนยอดของต้น และเกิดเมื่อป่านออกดอกแล้วจะตาย ก้านดอกจะเจริญเติบโตเป็นแนวยาวขึ้นตรงไปในอากาศ ประมาณ 4.5-7.5 เมตร

2.1.2 พันธุ์และลักษณะประจำพันธุ์

ป่านชนิดสำคัญในการผลิตเอาเส้นใยมี 3 ชนิด คือ

1. ป่านไซซอล หรือป่านศรนารายณ์ (Agava Sisalana) ลักษณะเส้นใยสีเขียวเข้ม ริมใบมีหนามมาก เส้นใยละเอียด เหนียว และแข็งแรง ปลายใบมีหนาม

2. ป่านลับประด (Henequen Agave Fourcroydes) ลักษณะใบสีนวล ใบหนาและอวบน้ำกว่าป่านศรนารายณ์ ทนแสงและทนแมลง เส้นใยหยาบ

3. ป่านมาเดียว (Magvey) Agava Contala มีลักษณะใบสีเขียวอ่อน ใบค่อนข้างบาง ริมใบมีหนามเป็นระยะๆ แข็งแรงน้อยกว่า และให้ผลผลิตต่ำ

2.1.3 การปลูกป่านศรนารายณ์

การปลูก ปลูกเป็นแถวระยะห่างต้นละ 1 เมตร และระยะระหว่างแถว 1 เมตร เพื่อสะดวกแก่การตัดใบ ซึ่งจะทางเหยียดเมื่อต้นโต และประมาณ 45 องศา ในหนึ่งไร่ปลูกได้ 1,600 ต้น ใช้เวลาประมาณ 2 ปีครึ่ง จึงจะเริ่มตัดได้ผลผลิตในเส้นใย

- หลังจากปลูกประมาณ 2 ปี ป่านต้นหนึ่งจะผลิใบได้ประมาณ 30 ใบ หรือไร่ละ 48,000 ใบต่อปี

- ใบป่านยาว 1 เมตร มีน้ำหนักเฉลี่ย 0.4 กิโลกรัม จากการทดสอบริดเส้นใย

- ใบป่านที่ยาว 1 เมตร จำนวน 100 ใบ จะได้เส้นใยตากแห้งสุทธิเฉลี่ยประมาณ 2.2 กิโลกรัม ในเนื้อที่ 1 ไร่ จะได้เส้นใยสุทธิตามคำนวณเป็นน้ำหนักประมาณ 1,056 กิโลกรัม

การเก็บเกี่ยว ป่านจะเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 2 ปีขึ้นไป และต้นป่านมีความสูง 1.5 เมตรขึ้นไป ตัดครั้งแรกจะได้ใบป่านประมาณ 15.80 ใบต่อต้นต่อปี ในการตัดใบครั้งแรกควรเหลือใบป่านเพียง 25 ใบต่อต้น และในการตัดครั้งต่อไปคงเหลือไว้ประมาณ 20 ใบต่อต้น การตัดแต่ละครั้งควรเว้นช่วงห่าง 1 ปีต่อครั้ง ให้ตัดใบป่านจรดลำต้น แล้วตัดหนามที่ปลายใบออก แล้วมัดรวมกัน 30 ใบต่อมัด

การแปรรูป ป่านศรนารายณ์ แล้วเส้นใยทำการแปรรูปได้หลายวิธี แต่วิธีจะได้เส้นใยที่คุณภาพต่างกัน เส้นใยที่ได้จากการแปรรูปในโรงงานอุตสาหกรรม จะนำไปจำหน่ายในโรงงานส่วนการแปรรูปด้วย จะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านงานหัตถกรรม ในรูปของผลิตภัณฑ์ป่านศรนารายณ์

2.1.4 ประโยชน์และความสำคัญ

โรงงานอุตสาหกรรม ใช้ทำเชือก ถัง กระสอบ กระเป๋า ผ้าปูพรม เยื่อกระดาษชนิดต่างๆ อุตสาหกรรมในครัวเรือน กลุ่มสตรีสหกรณ์การเกษตรหุบกระพงใช้ประดิษฐ์จักสานชนิดต่างๆ

เกษตรกรรม เนื้อเยื่อจากป่านศรนารายณ์ ประโยชน์ใช้ทำปุ๋ยหมักเพื่อปรับปรุงบำรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์

ยาปฏิชีวนะ สารจากการสกัดและนำไปหมักใช้เป็นยาปฏิชีวนะ และรักษาโรคได้หลายชนิด

2.2 กรดฟอร์มิก (Formic Acid) [3]

ชื่อทั่วไป : Hydrogen carboxylic acid; Aminic; Formylic acid; Methanoic acid;

Formic acid, 88%

สูตรโมเลกุล : CH_2O_2

2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ	: ของเหลว
สี	: ไม่มีสี
กลิ่น	: ชุน
น้ำหนักโมเลกุล	: 46.03
จุดเดือด($^{\circ}\text{C}$)	: 100-101
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง ($^{\circ}\text{C}$)	: 4
ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ= 1)	: 1.220 กรัม/ลบ.ซม.
ความหนาแน่นไอ(อากาศ=1)	: 1.6 กรัม/ลบ.ซม.
ความหนืด (mPa.sec)	: 100-101
ความดันไอ(มม.ปรอท)	: 44.8 ที่ 20°C
ความสามารถในการละลายน้ำที่(กรัม/100มล.)	: ละลายน้ำได้
ความเป็นกรด-ด่าง(pH)	: 3

2.2.2 อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

สัมผัสทางหายใจ

- การหายใจเอาสารนี้เข้าไป จะไปทำลายเนื้อเยื่อของเยื่อและทางเดินหายใจส่วนบน ทำให้เกิดการหดเกร็งของกล้ามเนื้อ กล้องเสียง หลอดลมใหญ่อักเสบ เกิดการบวม น้ำ ปอดอุดตัน เนื่องจากสารเคมี ปอดบวม รวมทั้งอาการไอ กล้องเสียงอักเสบ หายใจติดขัด หายใจถี่เร็ว ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน

สัมผัสทางผิวหนัง

- การสัมผัสถูกผิวหนังจะไปทำลายเนื้อเยื่อผิวหนังเกิดผื่นแดง ปวดแสบปวดร้อน แผลไหม้ กินหรือกลืนเข้าไป

- การกินหรือกลืนเข้าไปจะทำลายเยื่อปาก หลอดอาหาร อักเสบลำคอ ปวดท้อง ท้องร่วง

สัมผัสถูกตา

- การสัมผัสถูกตาจะทำให้เยื่อบุตาอักเสบ น้ำตาไหล ตาแดง เจ็บตา ตาพล้ำมัว การก่อกวนแรงความผิดปกติอื่นๆ

- อวัยวะเป้าหมาย : ตับ ไต ตา ระบบประสาทส่วนกลาง หลอดเลือด ท่อไต กระเพาะปัสสาวะ

2.2.3 ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

- ที่เข้ากันไม่ได้ : สารออกซิไดซ์อย่างแรง เบสแก่ ฝุ่นโลหะ ป้องกันจากความชื้น
- สารอันตรายจากการเผาไหม้และจากการสลายตัว : ก๊าซ- ฟูมพิษของคาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน

- อันตรายจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ : จะไม่เกิดขึ้น

2.2.4 การเกิดอัคคีภัยและการระเบิด (Fire and Explosion)

จุดวาบวับ($^{\circ}\text{C}$) : 48

จุดลุกติดไฟได้เอง($^{\circ}\text{C}$) : 539

- สารนี้เป็นของเหลวไวไฟ
- สารดับเพลิงให้ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ผงเคมีแห้ง หรือโฟมที่เหมาะสม
- ขั้นตอนการดับเพลิงรุนแรงให้สวมใส่อุปกรณ์หายใจชนิดมีถังอากาศในตัว(SCBA) และชุดป้องกันสารเคมีเพื่อป้องกันการสัมผัสผิวหนังและตา
- เมื่อเกิดเพลิงไหม้จะทำให้เกิดก๊าซ/ฟูมพิษของ คาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนมอนนอกไซด์ออกมา

2.2.5 การเก็บรักษา/สถานที่เก็บ/เคลื่อนย้าย/ขนส่ง (Storage and Handling)

ในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด

- เก็บในที่เย็น แห้ง มีการระบายอากาศในระดับพื้น
- เก็บให้ห่างจากสารออกซิไดซ์ กรดแก่
- ล้างทำความสะอาดให้ทั่วภายหลังจากการเคลื่อนย้าย

2.2.6 วิธีการปฏิบัติเมื่อเกิดอุบัติเหตุรั่วไหล(Leak and Spill)

- ให้อพยพคนออกจากพื้นที่ที่รั่วไหล
- ให้สวมใส่อุปกรณ์ช่วยหายใจชนิดมีถังอากาศในตัว(SCBA)รองเท้าบูทยางและถุงมือยาง

- ดูดซึมซับด้วยทรายหรือหินแร่เวอร์มิคิวไลต์ (Vermiculite) และเก็บในภาชนะบรรจุที่มิดชิดสำหรับการกำจัด

- ระบายอากาศในพื้นที่และล้างบริเวณที่รั่วไหลหลังจากสารเคมีถูกเก็บกวาดเรียบร้อยแล้ว

2.3 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) [4]

กรดไฮโดรคลอริกเป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมสารเคมีทั่วไป เทคนิคการผลิต ไฮโดรเจนคลอไรด์เป็นแก๊สที่อุณหภูมิและความดันปกติ ส่วนสารละลายของไฮโดรเจนคลอไรด์จะเป็นกรดไฮโดรคลอริก อุตสาหกรรมที่ใช้กรดไฮโดรคลอริกมาเป็นอันดับหนึ่งคือ อุตสาหกรรมเหล็ก และรองลงมาคือ อุตสาหกรรมอาหาร

กระบวนการผลิตกรดไฮโดรคลอริกโดยการเผาคลอรีนในไฮโดรเจน ความบริสุทธิ์ของกรดขึ้นกับสารตั้งต้นว่ามีความบริสุทธิ์มากเท่าใด เนื่องจากก๊าซทั้งสองที่บริสุทธิ์ได้มาจากการบวนการอิเล็กโทรไลติกสำหรับโซดาไฟ กระบวนการนี้จัดได้ว่าจะผลิตกรดไฮโดรคลอริกที่มีความบริสุทธิ์มากที่สุด

กระบวนการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซคลอรีนนั่นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนและเกิดอย่างรวดเร็ว ที่จุดสมดุลจะพบว่าของผสมจะมีฟริคลอรีนอยู่ประมาณ 4% เมื่อก๊าซทั้งสองถูกลดอุณหภูมิให้เย็นลงก๊าซทั้งสองจะรวมตัวกันเมื่ออุณหภูมิ 200 °C ก๊าซที่ได้เป็นก๊าซไฮโดรคลอริกที่บริสุทธิ์ ก๊าซนี้จะถูกทำให้บริสุทธิ์โดยการดูดซับด้วยน้ำ เมื่อลดอุณหภูมิเหลือ -12 °C

เนื่องจากกรดไฮโดรคลอริกเป็นสารกัดกร่อนกับโลหะ ดังนั้นจำเป็นต้องเลี้ยงมิให้สัมผัสกับโลหะ อาจจะต้องใช้ภาชนะพลาสติกบรรจุแทน ส่วนปฏิกิริยาดังกล่าวนี้นี้จะคายความร้อนมาก จึงต้องมีสารดูดซับความร้อน เช่น แกรไฟต์ แทนทาลัม เป็นต้น ช่วยระบายความร้อน

ชื่อทั่วไป : Hydrochloride [5]

ชื่อท้องถิ่น : Muriatic acid; Chlorohydric acid; Spirits of salts; hydrogen chloride (acid); Hydrogen chloride; Hydrogen Chloride Gas only

สูตรโมเลกุล : HCl

2.3 .1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ	: ของเหลว ก๊าซ
สี	: ไม่มีสี
กลิ่น	: ขุน
น้ำหนักโมเลกุล	: 36.46
จุดเดือด(°C)	: 53
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง (°C)	: -74
ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ= 1)	: 1.18 กรัม/ลบ.ซม.
ความหนาแน่นไอ(อากาศ=1)	: 1.3 กรัม/ลบ.ซม.
ความหนืด (mPa.sec)	: 0.0148

ความดันไอ(มม.ปรอท)	: 190 ที่ 25°C
ความสามารถในการละลายน้ำที่(กรัม/100มล.)	: ละลายน้ำได้
ความเป็นกรด-ด่าง(pH)	: 1.5

2.3.2 อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

สัมผัสทางหายใจ

- การหายใจเอาไอระเหยของสารนี้เข้าไปจะก่อให้เกิดอาการไอ หายใจติดขัด เกิดการอักเสบของจมูก ลำคอ และทางเดินหายใจส่วนบน ในกรณีที่มีรุนแรง จะก่อให้เกิดอาการน้ำท่วมปอด ระบบหายใจล้มเหลว

สัมผัสทางผิวหนัง

- การสัมผัสถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองเกิดผื่นแดง ปวด และเกิดแผลไหม้ การสัมผัสกับสารที่มีความเข้มข้นสูงจะก่อให้เกิดแผลพุพอง และผิวหนังเปลี่ยน

การกลืนหรือกินเข้าไป

- การกลืนหรือกินเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคือง จะก่อให้เกิดอาการปวด และเกิดแผลไหม้ในปาก คอ หลอดอาหาร และทางเดินอาหาร อาจก่อให้เกิดอาการคลื่นไส้ ท้องร่วง และอาจทำให้เสียชีวิตได้

สัมผัสถูกตา

- การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคือง อาจทำให้เกิดแผลไหม้อย่างรุนแรง และก่อให้เกิดทำลายอย่างถาวรได้

การก่อมะเร็ง ความผิดปกติอื่นๆ

- การสัมผัสกับไอระเหยของสารเป็นระยะเวลานานจะก่อให้เกิดการก่อก้อนต่อกัน และทำให้เกิดฤทธิ์ก่อก้อน เช่นเดียวกับฤทธิ์ของการสัมผัสกรด

- ในบุคคลที่มีอาการผิดปกติทางผิวหนัง หรือเป็นโรคทางตา จะมีความไวต่อการเกิดผลกระทบสารนี้

- ไม่เป็นสารก่อมะเร็งตาม NTP จัดเป็นสารก่อมะเร็งประเภท 3 ตามบัญชีรายชื่อของ IARC

2.3.3 ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

- ความคงตัวทางเคมี : สารนี้มีความเสถียรภายใต้สภาวะปกติของการใช้ และการเก็บภาชนะบรรจุของสารอาจเกิดการแตกออกและระเบิดได้เมื่อสัมผัสกับความร้อน

- สารที่เข้ากันไม่ได้ : โลหะ โลหะออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ เอมีน คาร์บอนเนต สารที่เป็นเบส และสารอื่นๆ เช่น โซเดียมไนต์ ซัลไฟด์ และฟอสฟอรัสไดไฮไดรด์

- สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง : ความร้อน และการสัมผัสโดยตรงกับแสง

- สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการสลาย : เมื่อสารนี้สัมผัสกับความร้อน จะเกิดการสลายตัวปล่อยฟุ้ง/ควันของไฮโดรเจนคลอไรด์ที่เป็นพิษจะเกิดปฏิกิริยากับน้ำหรือไอน้ำ ทำให้เกิดความร้อนและเกิดฟุ้ง หรือควันของสารที่เป็นพิษมีฤทธิ์การสลายตัวของสารจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากความร้อนจะทำให้เกิดฟุ้ง/ควันของก๊าซไฮโดรเจนซึ่งสามารถระเบิดได้

- อันตรายจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ : จะไม่เกิดขึ้น

2.3.4 การเกิดอัคคีภัยและการระเบิด (Fire and Explosion)

- การสัมผัสกับความร้อนสูง หรือการสัมผัสกับโลหะจะก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซึ่งไวไฟออกมา

- สารดับเพลิงในกรณีเกิดเพลิงไหม้ให้ใช้ น้ำฉีดเป็นฝอย และทำให้สารเป็นกลาง โดยใช้โซดาไฟหรือปูนขาว

- กรณีเกิดเพลิงไหม้ให้สวมใส่อุปกรณ์ช่วยหายใจชนิดมีถังอากาศในตัว พร้อมหน้ากากแบบเต็มหน้า

- ใช้น้ำฉีดหล่อเย็นเพื่อหล่อเย็นภาชนะบรรจุที่สัมผัสเพลิงไหม้ และให้อยู่ห่างจากภาชนะบรรจุสาร

2.3.5 การเก็บรักษา/สถานที่เก็บ/เคลื่อนย้าย/ขนส่ง (Storage and Handling)

- เก็บในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด และป้องกันการเสียหายทางกายภาพ
- เก็บในบริเวณที่เย็น และแห้ง
- เก็บในบริเวณที่มีการระบายอากาศเพียงพอ
- เก็บในบริเวณที่มีพื้นป้องกันการกรด และมีระบบระบายออกที่ดี
- เก็บห่างจากการสัมผัสโดยตรงกับแสง ความร้อน น้ำ และสารที่เข้ากันไม่ได้
- อย่าทำการฉีดล้างภายนอกภาชนะบรรจุ หรือนำเอาภาชนะไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่น
- เมื่อต้องการเจือจางให้ทำการค่อยๆ เติมกรดปริมาณน้อยๆ ลงไปน้ำ อย่าใช้น้ำร้อนหรืออย่าทำการเติมน้ำลงในกรด เพราะจะทำให้ไม่สามารถควบคุมจุดเดือดของสารได้
- เมื่อทำการเปิดภาชนะบรรจุที่ทำจากโลหะให้ใช้อุปกรณ์ที่ป้องกันการเกิดประกายไฟ เพราะในการเปิดอาจเกิดก๊าซไฮโดรเจนขึ้นได้

- ภาชนะบรรจุของสารที่เป็นถังเปล่า แต่มีกากสารเคมีตกค้างอยู่ เช่น ไอร์อะเทีย ของเหลวอาจเป็นอันตรายได้

2.3.6 วิธีการปฏิบัติเมื่อเกิดอุบัติเหตุรั่วไหล (Leak and Spill)

- วิธีการปฏิบัติในกรณีเกิดการหก/รั่วไหล ให้จัดให้มีการระบายอากาศในบริเวณที่มีการหก/รั่วไหล

- ให้สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่เหมาะสม ให้กันแยกเป็นพื้นที่อันตราย และกันบุคคลที่ไม่มีหน้าที่เกี่ยวข้อง และไม่สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันออกจากบริเวณที่หกั่วไหล
- ให้เกิดของเหลวที่หกั่วไหลและนำกลับมาใช้ใหม่ถ้าสามารถทำได้
- ทำให้เป็นสารเป็นกลางโดยใช้สารที่เป็นเบส เช่น โซดาไฟ ปูนขาว และทำการดูดซับส่วนที่หกั่วไหลด้วยวัสดุที่เฉื่อย เช่น แร่หินทราย (Vermiculite) ทรายแห้ง ดิน และเก็บใส่ในภาชนะบรรจุ สำหรับกากของเสียเคมี

2.4 กรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid)

กรดซัลฟูริกนี้ค่อนข้างว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา แต่ในขณะเดียวกันนั้นเป็นสารที่มีประโยชน์มาก เนื่องจากมีการใช้งานจำนวนมาก เช่น เป็นสารทำให้เกิดซัลเฟต และซัลโฟเนต เป็นต้น สาเหตุที่นิยมใช้กรดซัลฟูริกนั้นคือเป็นกรดที่มีราคาถูก และเป็นกรดที่มีความแรงค่อนข้างมาก จึงเข้ามามีบทบาทกับอุตสาหกรรมหลายอย่าง เช่น การผลิตปุ๋ย หนังสือ และการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม และการย้อมสีสิ่งทอ

คุณสมบัติของกรดซัลฟูริก

กรดนี้เป็นกรดที่รุนแรง นอกจากนี้เป็นสารออกซิไดส์ และสารดึงน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับสารประกอบอินทรีย์ สารละลายของกรดซัลฟูริกสามารถทำให้เข้มข้นจนถึง 93% โดยน้ำหนักได้ หรือหากต้องการให้มีความเข้มข้นมากกว่านี้จะต้องเป็นการละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จะได้กรดเข้มข้น 98-99% สารที่เป็นไฮเดรตของกรดซัลฟูริกมีจุดหลอมเหลวหลายแบบดังนี้

กรดซัลฟูริก ควัน	$H_2S_2O_7$	จุดเดือด 35 °C	ความถ่วงจำเพาะ 1.9
100%	H_2SO_4	10.37	1.834
โมโนไฮเดรต	$H_2SO_4 \cdot H_2O$	8.48	1.842
ไดไฮเดรต	$H_2SO_4 \cdot 2H_2O$	-38.57	1.650

กรดซัลฟูริกที่ขายกันอยู่ทั่วไปจะเกิดจากการรวมตัวของสารละลายหลายชนิดของ H_2SO_4 ในน้ำ หรือ SO_3 ใน H_2SO_4 ซึ่งเรียกว่า โอเลียม (Oleum) ซึ่งมักจะบอกว่ามี SO_3 กี่เปอร์เซ็นต์ เช่น 20% โอเลียม คือ ใน 100 กิโลกรัม จะประกอบด้วย SO_3 20 กิโลกรัม และ H_2SO_4 80 กิโลกรัม โอเลียม 20% นี้ถ้าทำให้เจือจางเพื่อจะให้เกิดกรด 100% จะได้น้ำหนัก 104.5 กิโลกรัม เป็นต้น ดังนั้นบางครั้งจะขายกรดในลักษณะความถ่วงจำเพาะ หรือองศาโบรม

ชื่อทั่วไป : Sulfuric Acid [6]

ชื่อท้องถิ่น : Oil of vitriol; BOU; Dipping Acid; Vitriol Brown Oil; Sulfuric; Acid Mist;

Hydrgen Sulfate; Sulfur Acid; Sulfuric, Spent

สูตรโมเลกุล : H_2SO_4

2.4 .1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ	: ของเหลว
สี	: ไม่มีสี
กลิ่น	: ไม่มีกลิ่น
น้ำหนักโมเลกุล	: 98
จุดเดือด($^{\circ}C$)	: 276
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง ($^{\circ}C$)	: -1 - -30
ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ= 1)	: 1.84 กรัม/ลบ.ซม.
ความหนาแน่นไอ(อากาศ=1)	: 3.4 กรัม/ลบ.ซม.
ความหนืด (mPa.sec)	: 26.9
ความดันไอ(มม.ปรอท)	: 0.001
ความสามารถในการละลายน้ำที่(กรัม/100มล.)	: ละลายน้ำได้ที่ 20 $^{\circ}C$
ความเป็นกรด-ด่าง(pH)	: 1.5

2.4.2 อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

สัมผัสทางหายใจ

- การหายใจเข้าไป สารนี้มีฤทธิ์กัดกร่อน และก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ทำให้มีอาการน้ำท่วมปอด เจ็บคอ ไอ หายใจติดขัด และหายใจถี่เร็ว การหายใจเอาสารที่ความเข้มข้นสูงอาจทำให้เสียชีวิตได้สัมผัสทางผิวหนัง

สัมผัสทางผิวหนัง

- การสัมผัสผิวหนัง สารนี้มีฤทธิ์กัดกร่อน ทำให้เกิดแผลไหม้ และปวดแสบปวดร้อน

การกลืนหรือกินเข้าไป

- การกลืนหรือกินเข้าไปทำให้คลื่นไส้ อาเจียน แต่ไม่มีผลต่อเนื้อเยื่อ

สัมผัสตา

- การสัมผัสตา สารนี้มีฤทธิ์กัดกร่อน ทำให้ตาแดง ปวดตา และสายตาวำมัว

การก่อมะเร็ง ความผิดปกติอื่นๆ

การก่อมะเร็ง ความผิดปกติอื่นๆ

- สารนี้มีผลทำลายฟัน ระบบหลอดเลือดเลี้ยงหัวใจ

2.4.3 ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

เข้ากันไม่ได้ : เบสแก่ น้ำ สารอินทรีย์ โลหะอัลคาไลน์

- สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว : เมื่อทำปฏิกิริยากับโลหะ จะเกิดออกไซด์ของกำมะถันและไฮโดรเจน

- สารนี้ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ทำให้เกิดเพลิงไหม้ และการระเบิด

2.4.4 การเกิดอัคคีภัยและการระเบิด (Fire and Explosion)

- สารนี้ไม่ไวไฟ

- สารดับเพลิง ในกรณีเกิดเพลิงไหม้ให้ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ผงเคมีแห้ง น้ำ

- สารเคมีอันตรายจากการเผาไหม้ : ออกไซด์ของกำมะถัน

- สารนี้เมื่อทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ อาจทำให้เกิดเพลิงไหม้และการระเบิดได้

2.4.5 การเก็บรักษา/สถานที่เก็บ/เคลื่อนย้าย/ขนส่ง (Storage and Handling)

- ควรเก็บรักษาในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด

- เก็บในบริเวณที่เย็นและแห้ง

- เก็บในบริเวณที่มีการระบายอากาศเพียงพอ

- เก็บห่างจากแสง ioni เบสแก่ สารประกอบอินทรีย์

- เก็บภาชนะบรรจุสารไว้ในบริเวณเก็บสารเคมีที่เหมาะสม

- หลีกเลี่ยงการหายใจและการสัมผัสผิวหนังและตา

2.4.6 วิธีการปฏิบัติเมื่อเกิดอุบัติเหตุรั่วไหล (Leak and Spill)

- วิธีการปฏิบัติในกรณีเกิดการหกรั่วไหลให้กั้นบริเวณสารหกแยกจากบริเวณอื่น

- ให้ดูดซับสารที่หกรั่วไหลด้วยสารอัลคาไลด์ เช่น โซดาแอช สารอนินทรีย์ หรือดิน

- เก็บส่วนที่หกรั่วไหลในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด เพื่อนำไปกำจัด

- ล้างบริเวณสารหกรั่วไหลหลังจากสารเคมีถูกเก็บกวาดเรียบร้อยแล้ว

- ป้องกันไม่ให้สารเคมีที่หกรั่วไหล ไหลลงสู่ท่อระบายน้ำ แม่น้ำ และแหล่งน้ำอื่นๆ

- ให้สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่เหมาะสม

2.5 กรดอะซิติก (Acetic Acid) [7]

ชื่อทั่วไป : Acetic Acid; Ethanoic Acid

ชื่อพ้องอื่นๆ : Methanecarboxylic Acid; Acetyl Hydroxide (AcOH); Hydrogen Acetate (HAc)

สูตรโมเลกุล : CH_3COOH

2.4 .1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ	: ของเหลว
สี	: ไม่มีสี
กลิ่น	: กลิ่นฉุน
น้ำหนักโมเลกุล	: 60.05
จุดเดือด($^{\circ}\text{C}$)	: 118.1
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง ($^{\circ}\text{C}$)	: 16.5
ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ= 1)	: 1.84 กรัม/ลบ.ซม.
ความหนาแน่นไอ(อากาศ=1)	: 3.4 กรัม/ลบ.ซม.
ความหนืด (mPa.sec)	: 1.22
ความดันไอ(มม.ปรอท)	: 0.001
ความสามารถในการละลายน้ำที่(กรัม/100มล.)	: ละลายน้ำได้
ความเป็นกรด-ด่าง(pH)	: 4.76

กรดอะซิติกเป็นของเหลวไม่มีสี แต่มีกลิ่นแรงมาก และมีรสเปรี้ยว ในสารละลายที่มีน้ำล้อมรอบเป็นการอ่อน กรดอะซิติกบริสุทธิ์จะเรียกว่า "Glacial Acetic Acid" กรดอะซิติกผสมได้ดีกับน้ำทุกอัตราส่วน และสามารถผสมกับตัวทำละลายอินทรีย์จำนวนมาก กรดอะซิติกมีจุดเดือดที่อุณหภูมิ 118°C และหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 17°C

การออกซิเดชันของแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศ (Acetobacter) ของแอลกอฮอล์ที่กลายเป็นกรดอะซิติก 8% เป็นกระบวนการที่เก่าแก่กระบวนการหนึ่ง น้ำส้มสายชูเกิดได้จากการหมักไวน์ ไชเดอร์ มอลท์ และแอลกอฮอล์เจือจาง เพื่อนำไปใช้ในการปรุงแต่งรส และกลิ่นของอาหาร

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- ในปี 2007 Wei Liao และคณะ [8] ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ ความเข้มข้นของกรด และเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งจากการทดลองพบว่า กรดเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบ

- D.J. Carr และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาการเลือกสมบัติเชิงกลของเส้นใยป่านศรนารายณ์ในปี 2206 โดยได้ทำการศึกษาผลของความยาวของเกท ความเร็วในการดึงที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงดึง (Tenacity) และระยะการยืดของเส้นใยป่านศรนารายณ์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าความแข็งแรงดึงของเส้นใยจะมีค่ามากเมื่อความยาวของเกทมีค่าน้อย และใช้ความเร็วในการดึงเส้นใยช้า ส่วนค่าระยะการยืดของเส้นใยจะมีค่ามากเมื่อใช้เกทมีค่าน้อย

- Gisela Buschle-Diller และคณะ [10] ได้ทำการนำเอนไซม์ pectinase และ cellulase มาทำการย่อย pectin ในเส้นใยฝ้าย พบว่า ทำให้เส้นใยฝ้ายที่ได้มีความนุ่มเพิ่มมากขึ้น

- Yan Li, Yiu-Wing Mai, Lin Ye [11] ได้เขียนบทความทางวิชาการเกี่ยวกับเส้นใยป่าน ศรนารายณ์เป็นวัสดุเชิงประกอบ เนื่องจากปัจจุบันได้มีการใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมในวัสดุเชิงประกอบเป็นจำนวนมาก ซึ่งเส้นใยที่ได้รับความนิยมนำมาใช้กันมากชนิดหนึ่งคือ เส้นใยป่าน ศรนารายณ์ ด้วยเหตุผลที่ว่า มีราคาถูก ความหนาแน่นน้อย มีความแข็งแรงจำเพาะ (specific strength) และค่ามอดุลัสที่สูง นอกจากนั้นยังไม่ทำลายสุขภาพ สามารถหาได้ง่ายอีกด้วย

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1. เส้นใยป่านครนารายณ์
2. กรดซัลฟูริก
3. กรดฟอร์มิก
4. กรดไฮโดรคลอริก
5. กรดอะซิติก
6. กระบอกตวง 10 มิลลิลิตร
7. ปีกเกอร์
8. ปิเปต
9. แท่งแก้ว
10. ขวดรูปชมพู่
11. หลอดหยด
12. จานเพาะเชื้อ
13. แผ่นแก้วสไลด์ (Glass slides)
14. กระจกปิด (Glass covers)
15. คีมคีบ
16. หลอดหยด
17. ไบรด์โกน
18. น้ำ
19. ไมโครก
20. เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Denver รุ่น Tr-2102
21. เครื่องวัดสี Reflectance Spectrophotometer : MACBETH 2020 PLUS
 Software : Option
 ILLuminant : D65
 Whiteness Index
15. เครื่องทดสอบความแข็งแรงของเส้นใย
16. กล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

3.2 การศึกษาชนิดของกรดที่มีผลต่อผิวสัมผัสของเส้นใยป่านศรนารายณ์

1. นำเส้นใยป่านศรนารายณ์มาชั่งให้น้ำหนัก 1.25 กรัม และใส่ลงในจานเพาะเชื้อ
2. เตรียมสารละลาย กรดอะซิติกให้มีความเข้มข้น 0.1 % v/v
3. ตวงสารละลายกรดอะซิติกให้มีปริมาตร 30 มิลลิลิตร และเทใส่ลงในจานเพาะเชื้อที่มีเส้นใยป่านศรนารายณ์
4. แช่เส้นใยป่านศรนารายณ์ไว้ในกรดอะซิติกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน
5. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดนำเส้นใยมาล้างจนสะอาดด้วยน้ำเปล่า จากนั้นนำมาตากทิ้งไว้จนแห้งสนิทที่อุณหภูมิห้อง
6. นำเส้นใยที่ได้ไปทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป
7. ทำการเปลี่ยนชนิดของกรดเป็นกรดซัลฟูริก กรดไฮโดรคลอริก และกรดฟอร์มิกตามลำดับ โดยทำการทดลองตามขั้นตอน 1-6

3.3 การศึกษาความเข้มข้นของกรดที่มีผลต่อผิวสัมผัสของเส้นใยป่านศรนารายณ์

1. นำเส้นใยป่านศรนารายณ์มาชั่งให้น้ำหนัก 1.25 กรัม และใส่ลงในจานเพาะเชื้อ
2. เตรียมสารละลาย กรดอะซิติกให้มีความเข้มข้น 0.1-1.0 % v/v
3. ตวงสารละลายกรดอะซิติกให้มีปริมาตร 30 มิลลิลิตร และเทใส่ลงในจานเพาะเชื้อที่มีเส้นใยป่านศรนารายณ์
4. แช่เส้นใยป่านศรนารายณ์ไว้ในกรดอะซิติกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน
5. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดนำเส้นใยมาล้างจนสะอาดด้วยน้ำเปล่า จากนั้นนำมาตากทิ้งไว้จนแห้งสนิทที่อุณหภูมิห้อง
6. นำเส้นใยที่ได้ไปทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป
7. ทำการเปลี่ยนชนิดของกรดเป็นกรดฟอร์มิกตามลำดับ โดยทำการทดลองตามขั้นตอน 1-6

3.4 การศึกษาเวลาในการปรับปรุงผิวสัมผัสของเส้นใยป่านศรนารายณ์

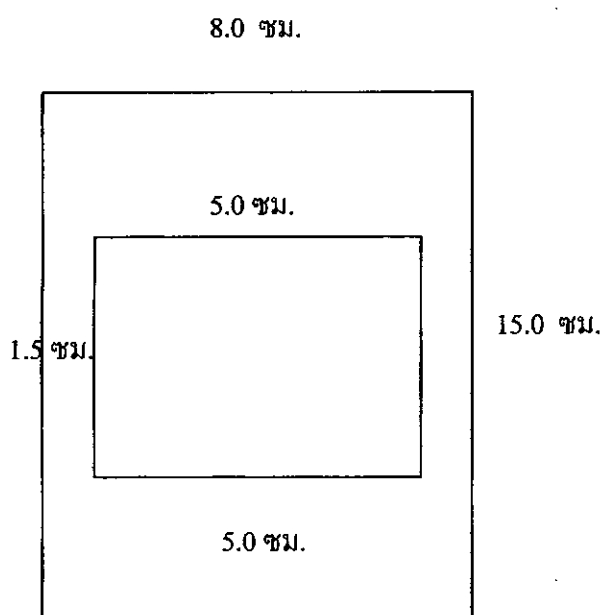
1. นำเส้นใยป่านศรนารายณ์มาชั่งให้น้ำหนัก 1.25 กรัม และใส่ลงในจานเพาะเชื้อ
2. เตรียมสารละลาย กรดอะซิติกให้มีความเข้มข้น 0.1-1.0 % v/v
3. ตวงสารละลายกรดอะซิติกให้มีปริมาตร 30 มิลลิลิตร และเทใส่ลงในจานเพาะเชื้อที่มีเส้นใยป่านศรนารายณ์
4. แช่เส้นใยป่านศรนารายณ์ไว้ในกรดอะซิติกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1-3 วัน
5. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดนำเส้นใยมาล้างจนสะอาดด้วยน้ำเปล่า จากนั้นนำมาตากทิ้งไว้จนแห้งสนิทที่อุณหภูมิห้อง

6. นำเส้นใยที่ได้ไปทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป
7. ทำการเปลี่ยนชนิดของกรดเป็นกรดฟอริกตามลำดับ โดยทำการทดลองตามขั้นตอน 1-6

3.5 การทดสอบคุณสมบัติของเส้นใยป่านศรนารายณ์

3.5.1 การทดสอบหาค่าดัชนีความขาวของเส้นใย (Whiteness Index)

1. ทำการตัดกระดาษแข็งให้มีขนาด 8.0 x15 เซนติเมตร ทำการเจาะกระดาษตรงกลางให้มีช่องว่างขนาด 5.0x1.5 เซนติเมตร ตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขนาดของกระดาษที่ใช้ในการทดสอบความขาว

2. นำเส้นใยจัดเรียงใส่ตรงกลางบริเวณช่องว่างที่ตัดไว้ โดยจัดเรียงเส้นใยให้มีความสม่ำเสมอ
3. นำกระดาษอีกแผ่นประกบปิด
4. นำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปทดสอบด้วยเครื่อง Reflectance Spectrophotometer เพื่อทดสอบหาค่าดัชนีความขาว

3.5.2 การทดสอบความแข็งแรงของเส้นใย (Fiber Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D 3822-2001

1. ตัดกระดาษแข็งขนาด 4x4 เซนติเมตร
2. ตัดตรงกลางของกระดาษแข็งให้มีขนาด 2.5x2.5 เซนติเมตร
3. นำเส้นใยใส่ในกระดาษแข็งที่เตรียมไว้โดยทำการถ่วงน้ำหนักเส้นใยที่ปลายด้านหนึ่งก่อน เพื่อให้ค่าน้ำหนักในการดึงเส้นใยเท่ากันทุกเฟรมที่เตรียม

4. จากนั้นติดสก็อตเทปยึดเส้นใยทั้งสองด้าน โดยระยะห่างจากกรอบในของกระดาษวัดเข้าไป 0.3 เซนติเมตร
5. ทำทั้งสองด้าน โดย 1 เฟรมจะมีเส้นใยป่านศรนารายณ์ถูกตรึงอยู่ 2 เส้น
6. นำแผ่นเฟรมที่เตรียมไว้วางตั้งฉากกับปากจับของตัวเครื่องทดสอบ ซึ่งเครื่องทดสอบที่ใช้ คือ Instron Corporation Series IX Automatic Testing System ปิดตัวจับแล้วขันน็อตให้แน่น
7. นำชุดเส้นใยสอดเข้าด้านหัวของเครื่อง ยกคันเลื่อนขึ้นเพื่อให้ตุ้มน้ำหนักเคลื่อนที่ลงเพื่อดึงให้เส้นใยขาด
8. ทำการบันทึกผลที่ได้ โดยจะทำการทดสอบซ้ำตัวอย่างละ 5 ชิ้น จากนั้นนำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

3.5.3 การทดสอบภาคตัดขวาง และตามยาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์

1. เตรียมตัวอย่างเส้นใย
2. หยดน้ำลงบนแผ่นแก้ว บริเวณตรงกลางของแผ่นแก้ว
3. ใช้คีมคีบ คีบดึงเส้นใย 3-4 เส้นวางลงในหยดของเหลวที่อยู่ตรงกลางแผ่นแก้ว
4. ใช้แผ่นแก้วอีกแผ่นปิดให้ขอบข้างหนึ่งแตะที่ริมหยดของเหลวค่อยๆ วางแผ่นแก้วเอนปิดทับเส้นใย
5. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ไปตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ด้วยกำลังขยาย 100 เท่า ปรับกำลังขยายเพิ่มขึ้น
6. ทำการบันทึก เขียนรูปร่างของเส้นใย และทำไปเปรียบเทียบกับภาพเส้นใยในเอกสารประกอบ แล้วระบุว่าเป็นเส้นใยชนิดใด

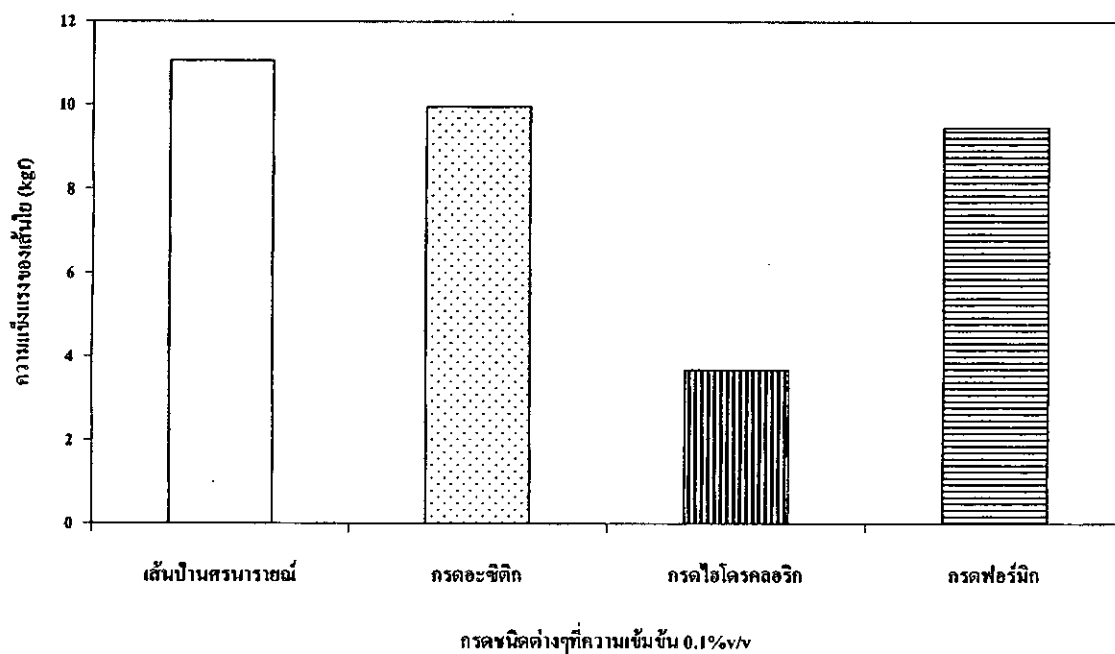
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

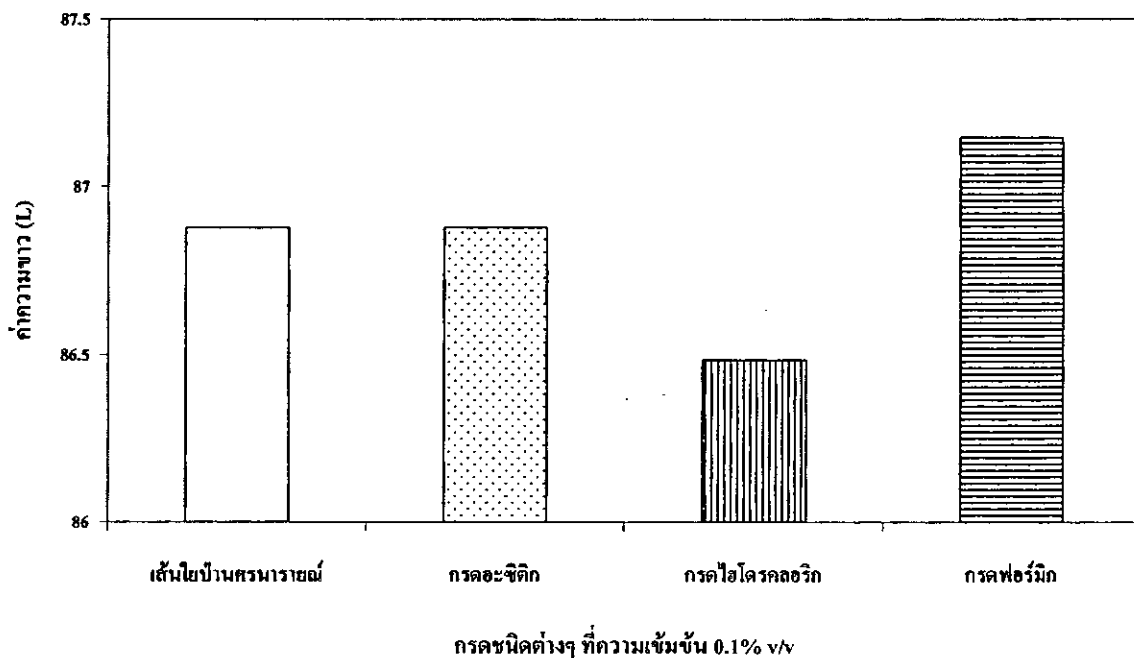
4.1 การศึกษาชนิดของกรดที่มีผลต่อผิวสัมผัสของเส้นใยป่านศรนารายณ์

ในการทดลองได้ทำการศึกษากรดจำนวน 4 ชนิด คือ กรดอะซิติก กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก และกรดฟอร์มิก ซึ่งจากการทดลองเมื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ให้ผลดังรูปที่ 4.1-

4.2



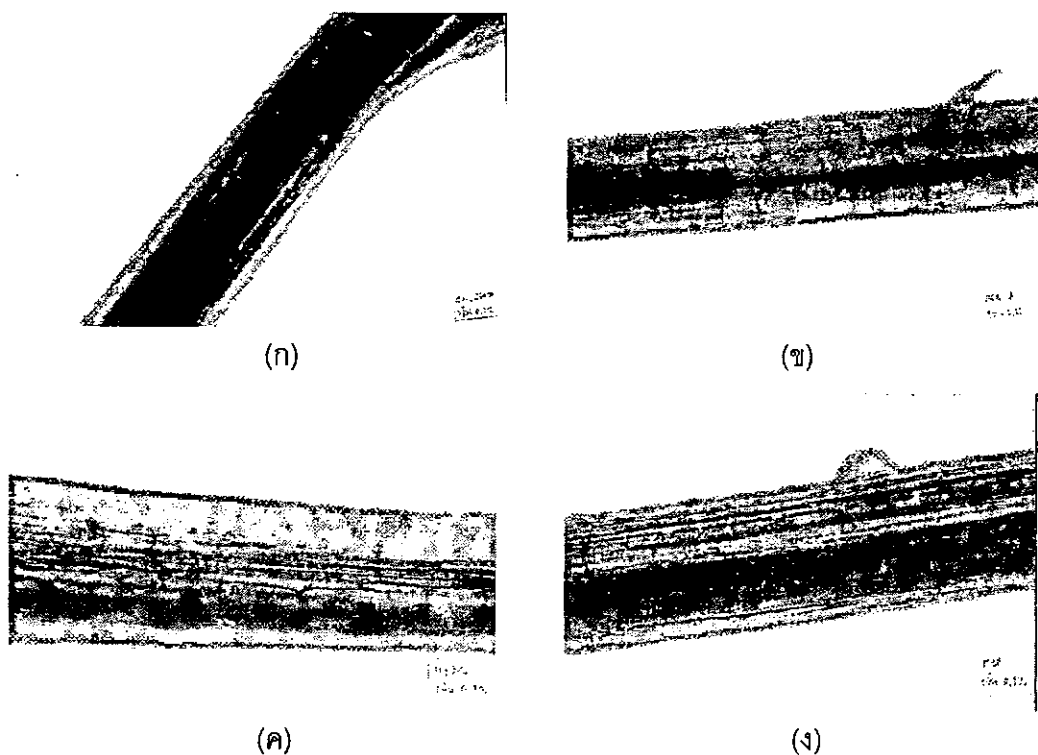
รูปที่ 4.1 แผนภูมิแท่งแสดงความแข็งแรงเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยกรดชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.1% v/v แช่กรดเป็นเวลา 1 วัน



รูปที่ 4.2 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความขาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยกรดชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.1% v/v แช่เป็นเวลา 1 วัน

จากการทดลองพบว่า เมื่อนำเส้นใยไปแช่ในกรดซัลฟูริกแล้วเส้นใยเกิดการเปลี่ยนสีจากเดิมที่เป็นสีขาวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง และเกิดการขาดของเส้นใย เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่เป็นเซลลูโลสเกิดการย่อยสลายซึ่งเป็นกรดมาก ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 1.5 จึงทำให้ไม่สามารถที่จะนำมาทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ได้ แต่สำหรับกรดที่เหลืออีก 3 ชนิดเมื่อนำเส้นใยไปแช่ในกรดแล้ว กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิกไม่ได้ทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยป่านศรนารายณ์ลดลงมากนัก แต่กรดไฮโดรคลอริกทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงลดลงอย่างเห็นได้ชัด การที่เส้นใยป่านศรนารายณ์มีความแข็งแรงลดลงเนื่องจากสมบัติของเซลลูโลสสามารถถูกทำลายด้วยกรดแก่ (Strong Acid) ได้ง่าย เช่น กรดเกลือ (Hydrochloride) และกรดกำมะถันเข้มข้น (Sulfuric Acid) โดยกรดกำมะถันเข้มข้นจะเปลี่ยนให้เส้นใยเป็นสารเหนียวหนืด แต่สำหรับพวกรดอ่อน เช่น กรดน้ำส้ม (Acetic Acid) หรือกรดมะนาว (Citric Acid) เข้มข้นจะไม่ทำลายเส้นใย [12] เนื่องจากกรดซัลฟูริก และกรดไฮโดรคลอริกที่เป็นกรดแก่เข้าไปทำลายโครงสร้างของลิกนิน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เส้นใยเกิดความแข็งแรง จึงส่งผลทำให้เส้นใยเกิดการย่อยสลายได้ [13]

สำหรับสีของเส้นใยป่านศรนารายณ์หลังจากการแช่ด้วยกรดนั้นพบว่าค่าความขาวของเส้นใยที่แช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีค่าความขาวลดลง กรดอะซิติกไม่ได้ทำให้เส้นใยเกิดการเปลี่ยนสี แต่สำหรับกรดฟอร์มิกส่งผลทำให้ค่าความขาวของเส้นใยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

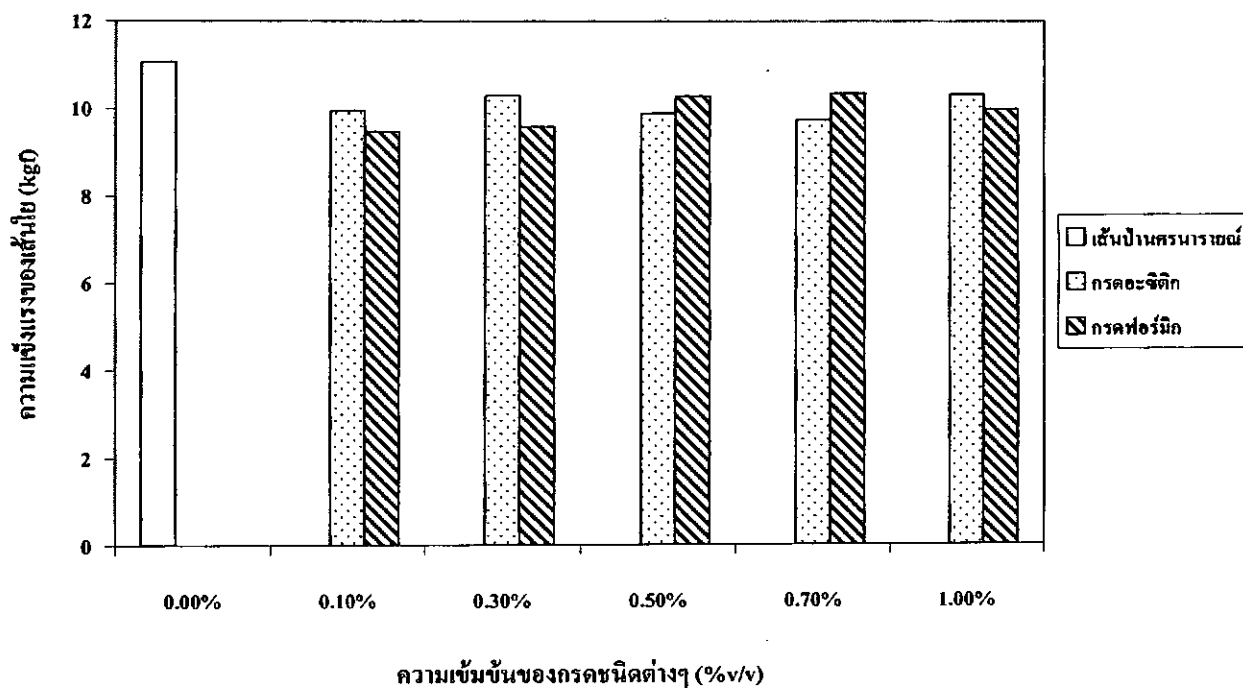


รูปที่ 4.3 แสดงภาพเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่แช่ด้วย (ก) กรดอะซิติก (ข) กรดฟอร์มิก (ค) กรดซัลฟูริก (ง) กรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้น 0.1% v/v เป็นเวลา 1 วัน

สำหรับรูปที่ 4.3 แสดงภาพเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยกรด 4 ชนิด พบว่า บริเวณผิวของเส้นใยเรียบไม่เกิดการเสียหายจากกรดมากนัก

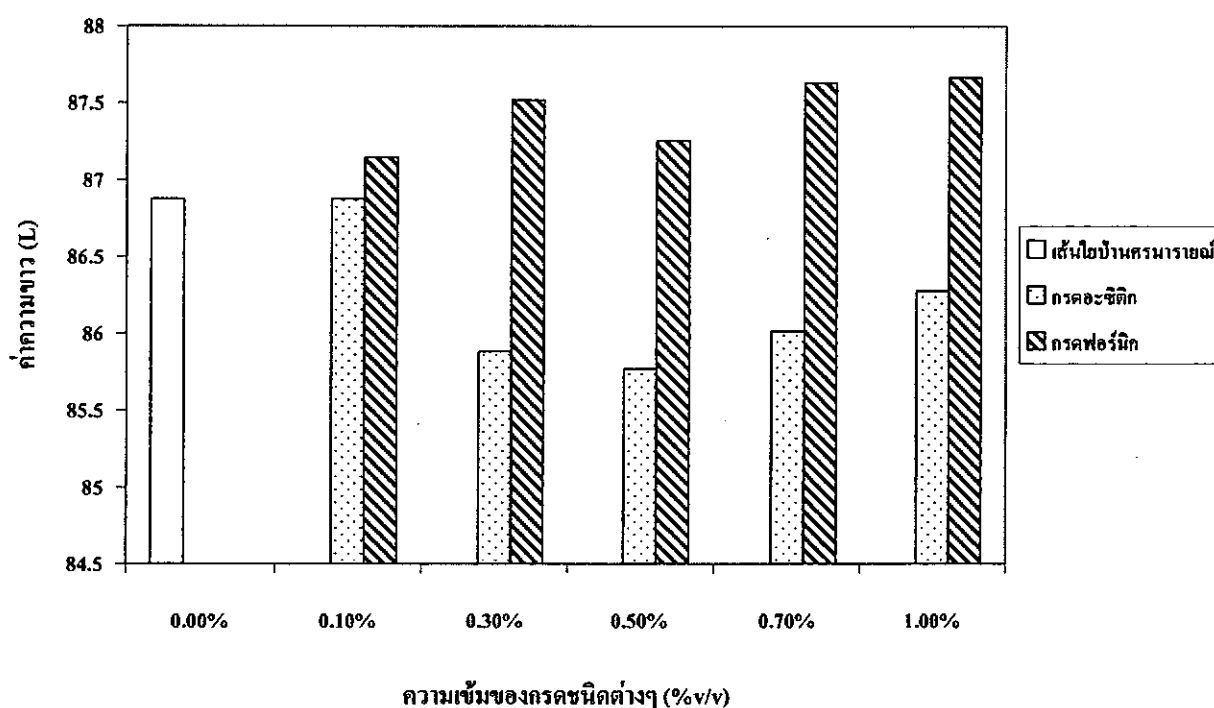
4.2 การศึกษาความเข้มข้นของกรดที่มีผลต่อผิวสัมผัสของเส้นใยป่านศรนารายณ์

จากผลการทดลองในขั้นตอนที่ 1 ผู้วิจัยได้เลือกนำกรดอะซิติก และกรดฟอร์มิกมาทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดที่มีผลต่อเส้นใยป่านศรนารายณ์ เนื่องจากกรดซัลฟูริก และกรดไฮโดรคลอริกมีความเป็นกรดที่ค่อนข้างรุนแรง โดยได้ทำการศึกษาในช่วงความเข้มข้นระหว่าง 0.1-1.0% v/v ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.4-4.5



รูปที่ 4.4 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นของกรดอะซิติกและกรดฟอร์มิกที่มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยป่านครนารายณ์

จากผลการทดลองตามรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดเพิ่มมากขึ้นนั้นจะส่งผลทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยป่านครนารายณ์ลดลงแต่เป็นการลดลงที่ไม่มากนัก โดยความแข็งแรงของเส้นใยป่านครนารายณ์ที่ปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยกรดอะซิติกจะมีค่าอยู่ในช่วง 9.7-10.3 kgf และกรดฟอร์มิกอยู่ในช่วง 9.4-10.3 kgf ซึ่งความแข็งแรงของเส้นใยมีค่าลดลงเนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยของป่านครนารายณ์ประกอบด้วย เซลลูโลส 43-88% ลิกนินประมาณ 9% และเฮมิเซลลูโลส ประมาณ 10% [14] นั้นถูกทำลายด้วยกรด ส่งผลทำให้เส้นใยเกิดการเปราะหักและแตกง่าย

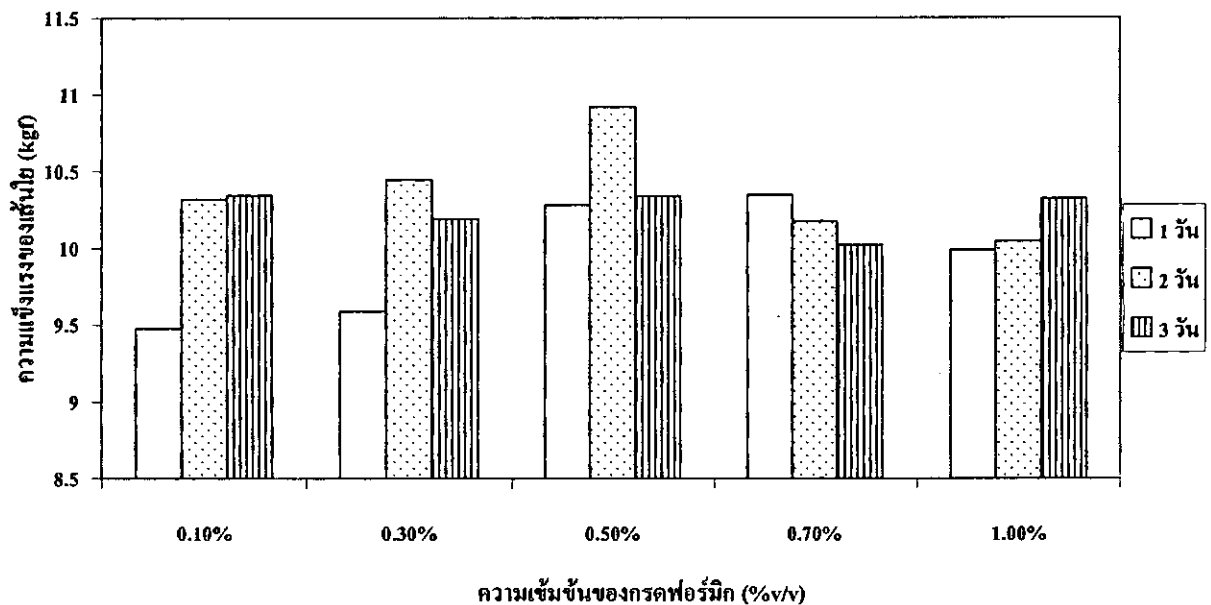


รูปที่ 4.5 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นของกรดอะซิติกและกรดฟอร์มิกที่มีผลต่อค่าความขาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์

เมื่อนำเส้นใยไปทำการทดสอบค่าความขาวพบว่า ค่าความขาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการแช่ด้วยกรดฟอร์มิกจะมีค่าความขาวเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อย ซึ่งอยู่ในช่วง 86-87 แต่สำหรับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่แช่ด้วยกรดอะซิติกจะมีค่าความขาวต่ำกว่าเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ได้ไม่ได้ผ่านการแช่กรด ซึ่งมีค่าความขาวอยู่ในช่วง 85-86 เนื่องจากกรดเข้าไปทำปฏิกิริยากับสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวส่งผลให้เส้นใยป่านศรนารายณ์เกิดการเปลี่ยนสี [15]

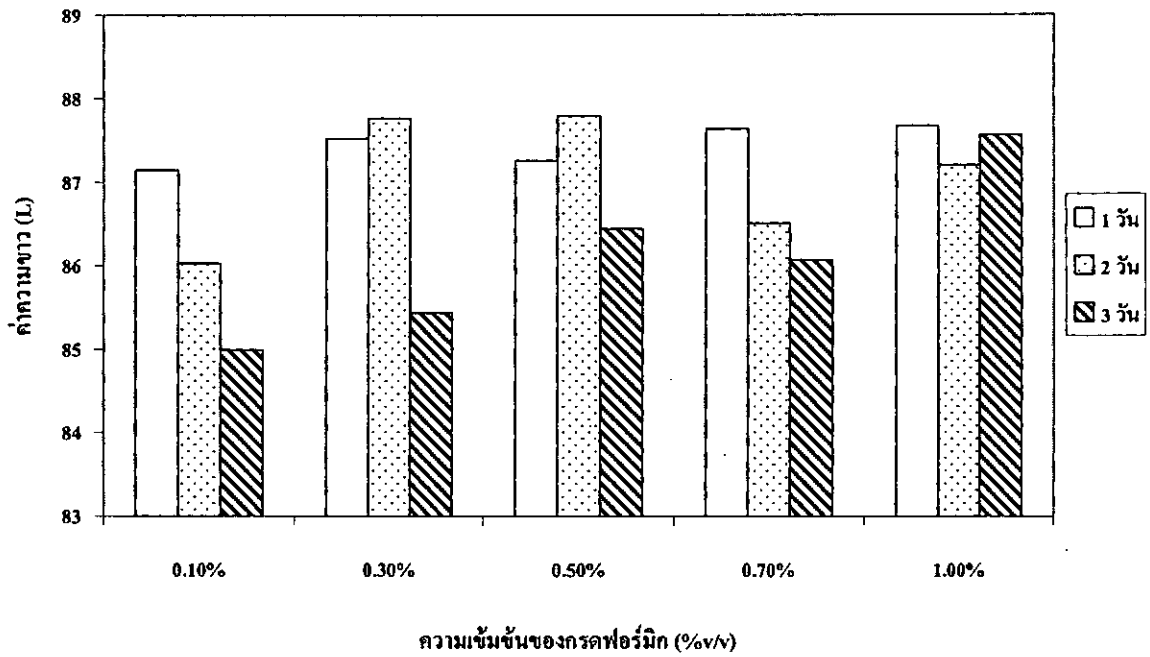
4.3 การศึกษาเวลาในการปรับปรุงผิวสัมผัสของเส้นใยป่านศรนารายณ์

การทดลองในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการแช่เส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยกรดอะซิติก และกรดฟอร์มิก เป็นเวลา 1-3 วัน ซึ่งความแข็งแรงของเส้นใยที่ได้จากทดลองนั้นมีค่าดังแสดงผลตามรูปที่ 4.6-4.11

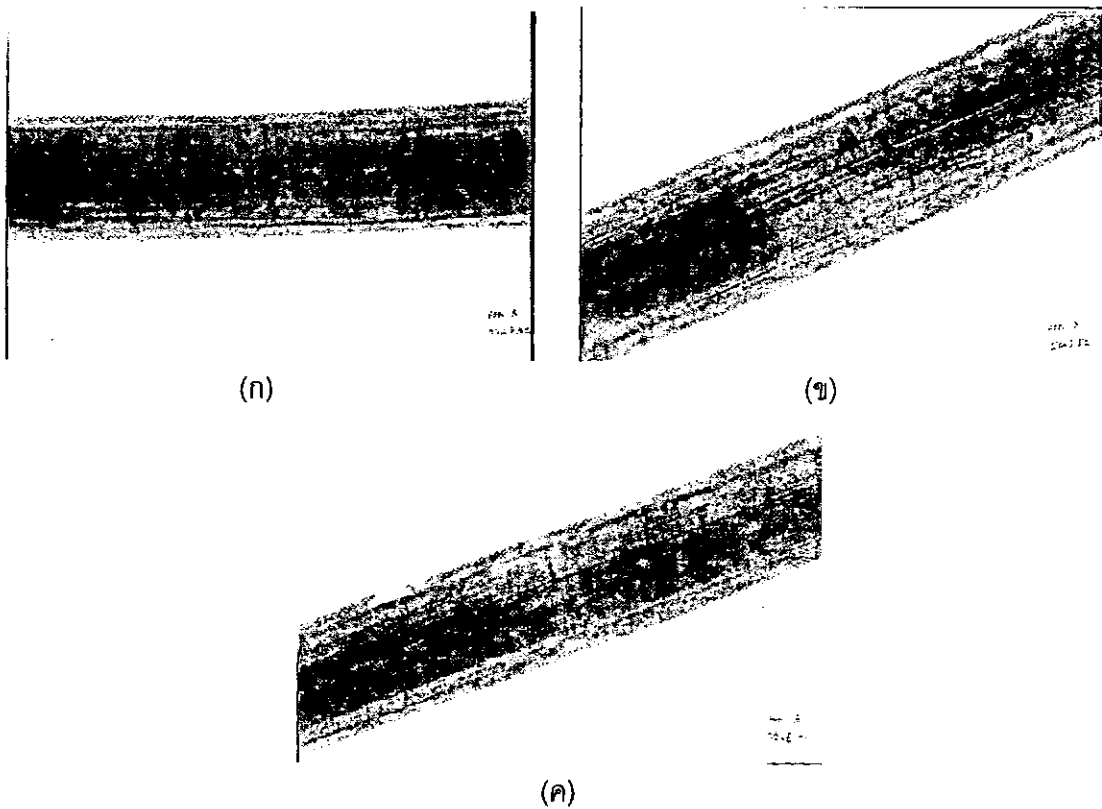


รูปที่ 4.6 แผนภูมิแท่งแสดงผลความแข็งแรงของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่แช่ด้วยกรดฟอร์มิก ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 1-3 วัน

จากแผนภูมิที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อแช่เส้นใยในกรดเป็นเวลา 1-2 วันจะให้ผลการทดลองที่เหมือนกันคือ เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มมากขึ้นความแข็งแรงของเส้นใยจะเพิ่มมากขึ้นด้วย (ความเข้มข้น 0.1-0.5%v/v) แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดมากขึ้นไปอีก (ความเข้มข้น 0.7-1.0%v/v) จะส่งผลทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยนั้นลดลง แต่สำหรับค่าความขาวของเส้นใยเมื่อแช่กรดเป็นเวลา 2 วันจะพบว่า เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มมากขึ้น ค่าความขาวของเส้นใยจะเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าความเข้มข้นของกรดมากเกินไปจะทำให้เส้นใยเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลอ่อน ๆ ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับความแข็งแรง แต่โดยรวมนั้นค่าความขาวของเส้นใยที่ผ่านการแช่ในกรดฟอร์มิกเป็นเวลา 1-3 วันนั้นจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 85-88 ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.7

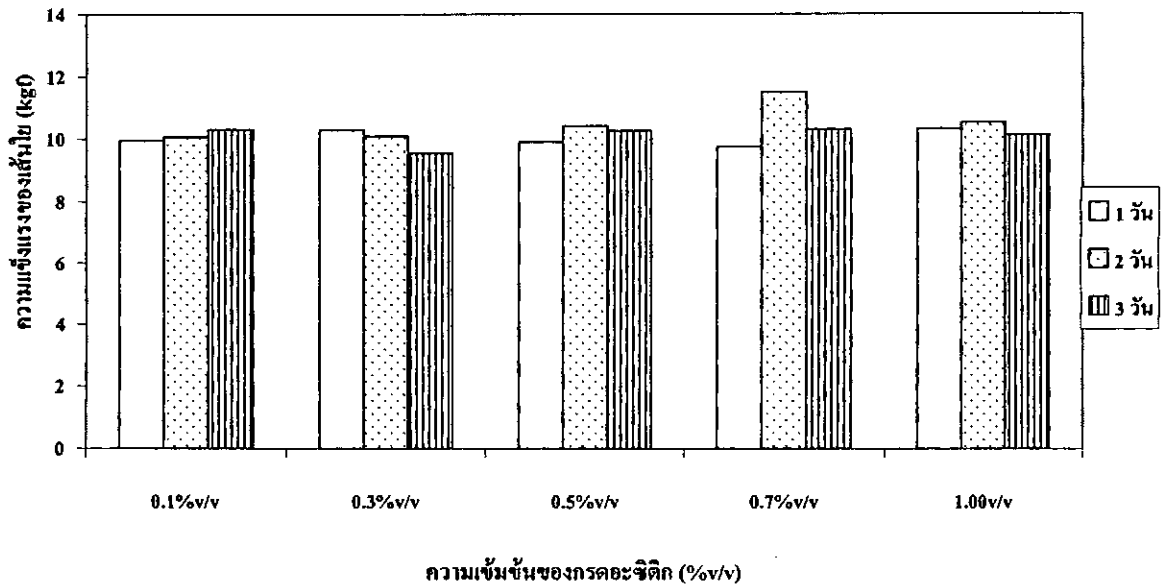


รูปที่ 4.7 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความยาวของเส้นใยป้านครนารายณ์ที่แช่ด้วยกรดฟอร์มิค
ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 1-3 วัน

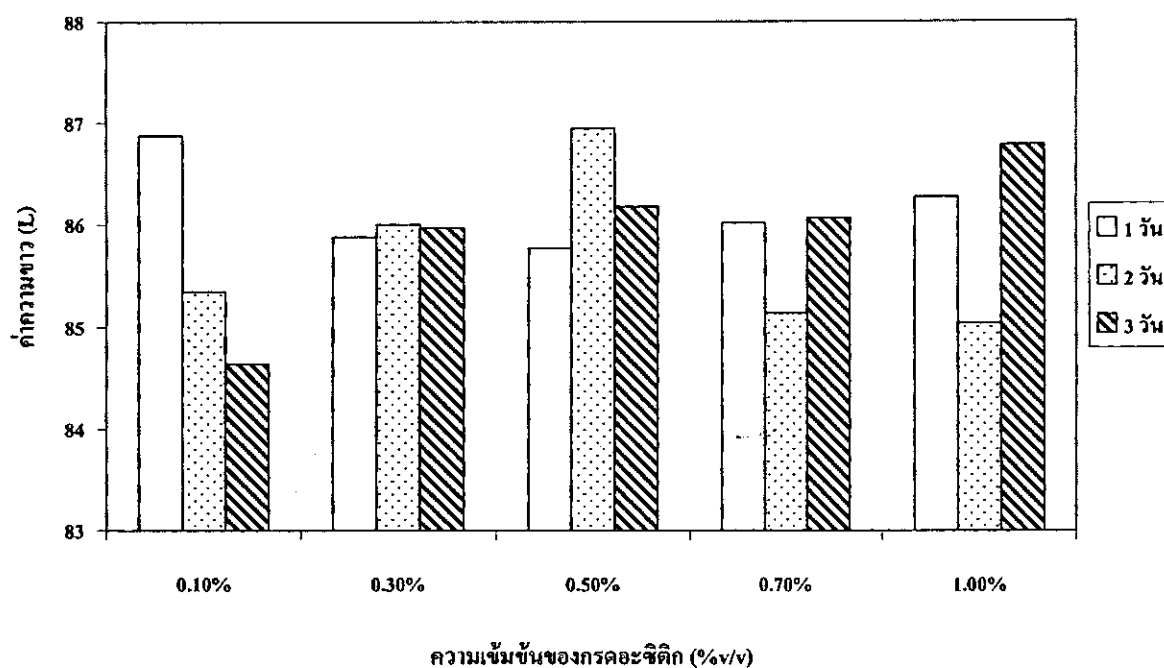


รูปที่ 4.8 แสดงผิวตามยาว ของเส้นใยป้านครนารายณ์ ที่ผ่านการแช่ด้วยกรดฟอร์มิค
ที่ความเข้มข้น 0.5% v/v ที่ระยะเวลาในการแช่ (ก) 1 วัน (ข) 2 วัน และ (ค) 3 วัน

จากรูปที่ 4.8 จะพบว่าทำการแช่เส้นใยไว้ในกรดฟอร์มิกเป็นเวลาเพิ่มขึ้นนั้น จะส่งผลทำให้บริเวณผิวภายนอกของเส้นใยเรียบเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.9 แผนภูมิแท่งแสดงผลความแข็งแรงของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่แช่ด้วยกรดอะซิติก ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 1-3 วัน

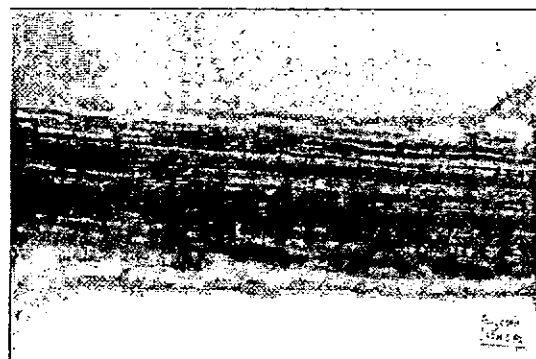


รูปที่ 4.10 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความขาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่แช่ด้วยกรดอะซิติก ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 1-3 วัน

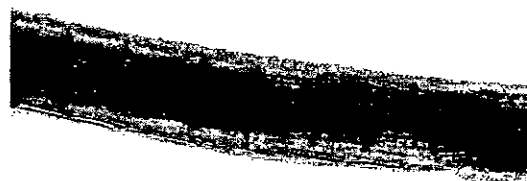
จากรูปที่ 4.9-4.10 แสดงผลความแข็งแรงและค่าความขาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยกรดอะซิติก ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเวลาที่ใช้ในการแช่เส้นใยไม่มีผลต่อสมบัติทางด้านความแข็งแรงของเส้นใย โดยค่าความแข็งแรงของเส้นใยที่ได้จะอยู่ในช่วง 9.7-10.5 kgf แต่เวลาที่ใช้ในการแช่เส้นใยจะมีต่อค่าความขาว โดยถ้าเรานำเส้นใยไปแช่ในกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.5%v/v เป็นเวลานาน 2 วันจะส่งผลทำให้เส้นใยมีค่าความขาวมากที่สุดคือ 86.95 ค่าความขาวที่ได้จะมีความขาวมากกว่าเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการแช่กรด (ค่าความขาว 86.88) เพียงเล็กน้อย ซึ่งถ้าประเมินผลด้วยตาเปล่าแล้วจะไม่น่าเป็นผลความแตกต่างของค่าความขาวมากเท่าไรนัก แต่อย่างไรก็ดีค่าความขาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการแช่กรดอะซิติกเป็นเวลา 1-3 วันนั้น จะมีค่าความขาวอยู่ในช่วง 84.6-86.9

ซึ่งสาเหตุที่ทำให้เส้นใยป่านศรนารายณ์เกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลอ่อนเกิดจากการที่เซลลูโลสมีองค์ประกอบทางเคมีหรือสายโซ่โมเลกุลของกลูโคสเป็นมอนอเมอร์ต่อกันเป็นสายโซ่โมเลกุลที่ยาวขึ้น โดยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -1,4-glycosidic bonds และมีการเชื่อมต่อกับสายโซ่โมเลกุลอื่นๆ ด้วยพันธะไฮโดรเจน จึงทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีความแข็งแรงสูง ด้านทานต่อการเสื่อมสลาย ซึ่งพันธะดังกล่าวสามารถเกิดการถูกทำลายได้เนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความเข้มข้นของกรด เวลาที่

ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา และอุณหภูมิ [16] โดยตัวแปรดังกล่าวจะทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้น 2 ขั้นตอน คือ ปฏิกิริยา Accumulation (Condensation) และ ปฏิกิริยา Degradation (Acidolysis)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.11 แสดงผิวตามยาว ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ ที่ผ่านการแช่ด้วยกรดอะซิติก ที่ความเข้มข้น 0.5% v/v ที่ระยะเวลาในการแช่ (ก) 1 วัน (ข) 2 วัน และ (ค) 3 วัน

สำหรับรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาในการแช่เส้นใยในกรดอะซิติกเป็นเวลานานมากขึ้นเส้นใยจะมีผิวของเส้นใยเรียบมากขึ้น เนื่องจากกรดจะเข้าไปทำลายสิ่งสกปรกต่างๆ ที่อยู่บริเวณผิวของเส้นใย ซึ่งเมื่อทดสอบด้วยการสัมผัสจะพบว่าเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยกรดอะซิติก และกรดฟอร์มิกจะทำให้เส้นใยผิวสัมผัสที่นุ่มขึ้นเล็กน้อย ไม่แตกต่างจากเส้นใยป่านศรนารายณ์มากนัก

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. เส้นใยป่านศรนารายณ์ไม่สามารถที่จะทนกรดแก่ได้ จะเห็นได้จากเส้นใยป่านศรนารายณ์เมื่อแช่ในกรดซัลฟูริก และกรดไฮโดรคลอริกที่เป็นกรดแก่ เนื่องจากกรดแก่จะส่งผลทำให้พันธะไฮโดรเจนของกลูโคสเกิดการแตกพันธะ และเกิดการสลายตัวของพันธะ เส้นใยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลแดง

2. สามารถใช้กรดอะซิติก และกรดฟอร์มิกที่เป็นกรดอ่อนในการปรับปรุงผิวสัมผัสของเส้นใยได้ โดยกรดฟอร์มิกมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการปรับปรุงผิวสัมผัสของเส้นใยมากที่สุด ซึ่งความเข้มข้นที่ใช้ คือ 0.5%v/v และเวลาในการแช่ 2 วัน ถ้าทำการแช่เส้นใยในกรดที่มีความเข้มข้น และเวลาในการแช่นานเกินไปจะส่งผลทำให้เส้นใยเกิดการเปลี่ยนสี เปราะขาดง่าย และความแข็งแรงของเส้นใยลดลง

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้กรดในการปรับปรุงผิวสัมผัสของเส้นใย ได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของกรด และเวลาที่แช่เส้นใย

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองพบว่าสามารถใช้กรดในการปรับปรุงผิวสัมผัสได้ แต่ผิวสัมผัสที่ได้จะไม่นุ่มมากเท่าไรนัก ดังนั้นอาจจะต้องการใช้วิธีการปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยวิธีอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น การใช้ดกแต่งเส้นใยด้วยสารเคมีที่ทำให้ผ้านุ่ม หรือการใช้เอนไซม์

เอกสารอ้างอิง

1. มณฑา โกเฮง. (2541). *วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ. หอรัตนชัยการพิมพ์
2. ปานศรณารายณ์. แหล่งที่มา : <http://www.rakbnkerd.com/agriculture/commerce/1/4/2006>
3. กรดฟอร์มิก. แหล่งที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Formic_acid 2/11/2005
4. สุชาติ อินทรโชติ และอภิชาติ สนธิสมบัติ. (2543). *เอกสารประกอบการเรียนการสอน วิชาสารช่วยทางสิ่งแวดล้อม*. กรุงเทพฯ. แผนกเอกสารการพิมพ์ ฝ่ายบริหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
5. กรดไฮโดรคลอริก แหล่งที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrochloric_acid 2/11/2005
6. กรดซัลฟูริก แหล่งที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Sulfuric_acid 2/11/2005
7. กรดอะซิติก แหล่งที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Acetic_acid 2/11/2005
8. L. Wei., et.al., (2007). Studying the effect of reaction conditions on components of dairy manure and cellulose accumulation using dilute acid treatment. *Bioresource Technology*. 98, 1992-1997.
9. D.J. Carr, N.M. Cruthers, R.M. Laing., (2006). Selected mechanical properties of sisal aggregates (Agave sisalana). *J MASTER SCI*. 46, 511-515.
10. Specific Enzyme Systems for Various Areas of Textile Processing. แหล่งที่มา : <http://www.ntcresearch.org/pdf-rpts/AnRp98/C97-A06/PDF>. 5/8/2006
11. Yan Li, Yiu-Wing Mai, Lin Ye., (2000). Sisal fibre and its composites: a review of recent developments. *Composites Science and Technology*. 60, 2037-2055.
12. เข็มชัย เหมาะจันทร์ (2541). *คู่มือวิชาการสิ่งแวดล้อม*. กรุงเทพฯ. สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งแวดล้อม
13. Liao, W., Liu, Y., Liu, C., Chen, S., (2004). Optimizing dilute acid hydrolysis of hemicellulose in a nitrogen-rich cellulosic material-dairy manure. *Biores. Technol.* 94(1), 33-41.
14. Y. LI, V. W. MAI and L. YE. (2000). *Compos. Sci. Technol.* 60 2037.
15. Pearl, I.A., (1967). *The Chemistry of Lignin*. Marcel Dekker Inc., New York.
16. Sjostrom, E., (1993). *Food Chemistry*. Academic press Inc., New York.

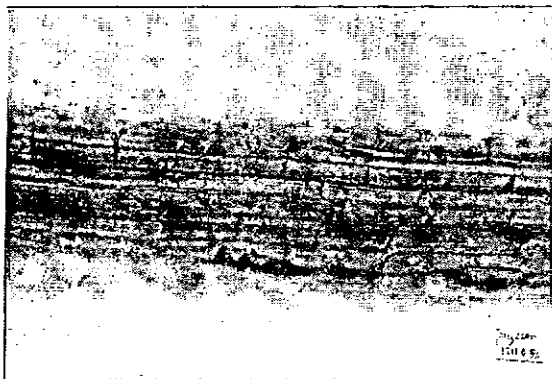
ภาคผนวก



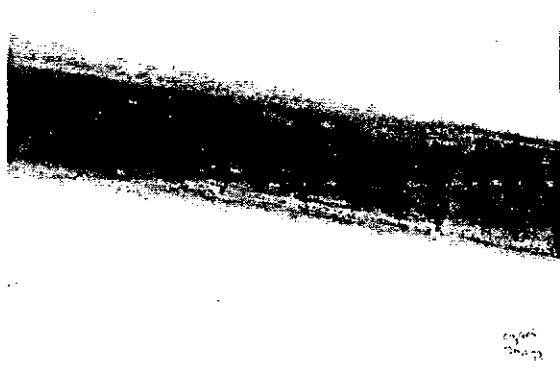
ความเข้มข้น 0.1 %v/v



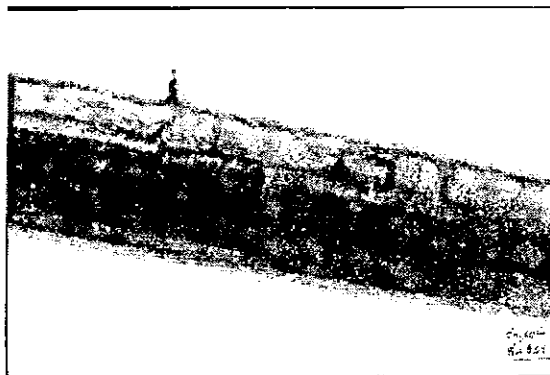
ความเข้มข้น 0.3 %v/v



ความเข้มข้น 0.5 %v/v



ความเข้มข้น 0.7 %v/v

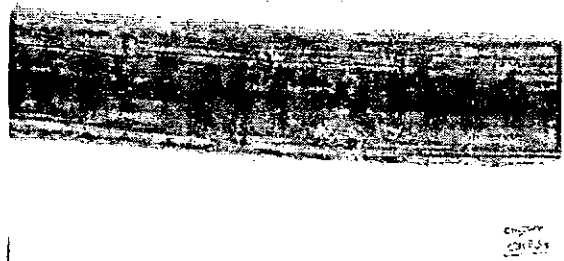


ความเข้มข้น 1.0 %v/v

รูปภาพที่ 16 เส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยกรดอะซิติก เป็นเวลา 1 วัน



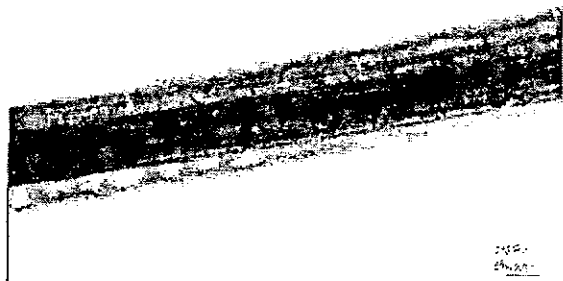
ความเข้มข้น 0.1 %v/v



ความเข้มข้น 0.3 %v/v



ความเข้มข้น 0.5 %v/v



ความเข้มข้น 0.7 %v/v



ความเข้มข้น 1.0 %v/v

รูปภาพที่ 2ก เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยกรดอะซิติก เป็นเวลา 2 วัน



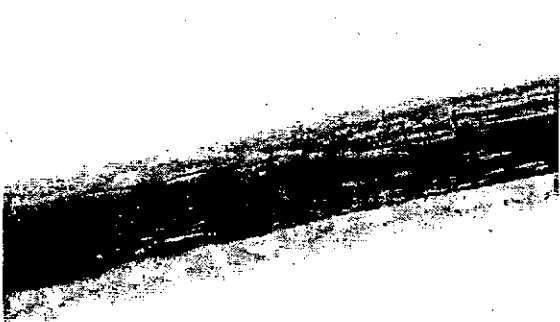
0.1% v/v
0.1% v/v

ความเข้มข้น 0.1 %v/v



0.3% v/v
0.3% v/v

ความเข้มข้น 0.3 %v/v



0.5% v/v
0.5% v/v

ความเข้มข้น 0.5 %v/v



0.7% v/v
0.7% v/v

ความเข้มข้น 0.7 %v/v



1.0% v/v
1.0% v/v

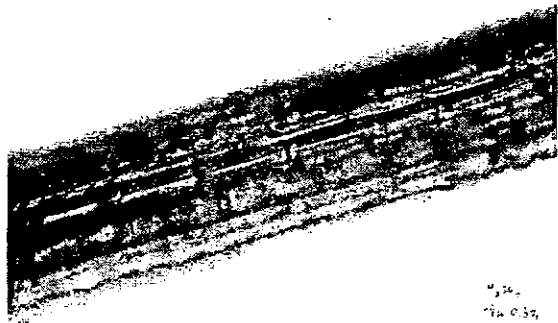
ความเข้มข้น 1.0 %v/v

รูปภาพที่ 3ก เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยกรดอะซิติก เป็นเวลา 3 วัน



H₂O₂
1.0% 0.1%

ความเข้มข้น 0.1 %v/v



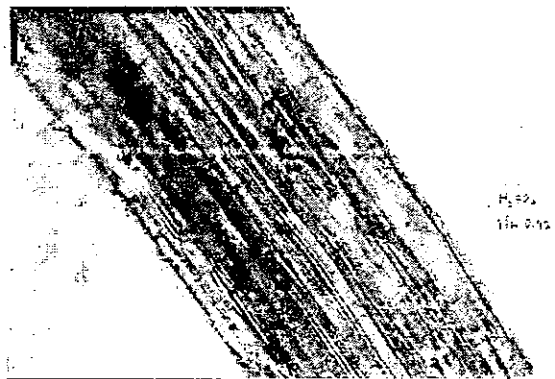
H₂O₂
1.0% 0.3%

ความเข้มข้น 0.3 %v/v



H₂O₂
1.0% 0.5%

ความเข้มข้น 0.5 %v/v



H₂O₂
1.0% 0.7%

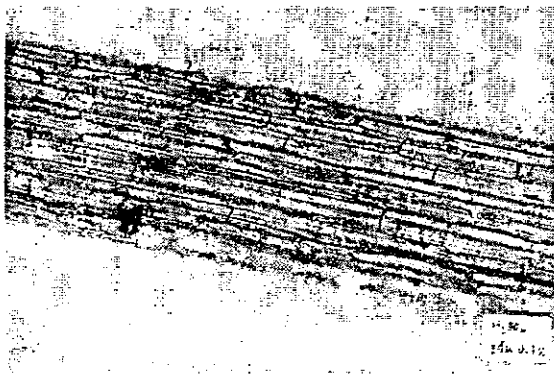
ความเข้มข้น 0.7 %v/v



H₂O₂
1.0% 1.0%

ความเข้มข้น 1.0 %v/v

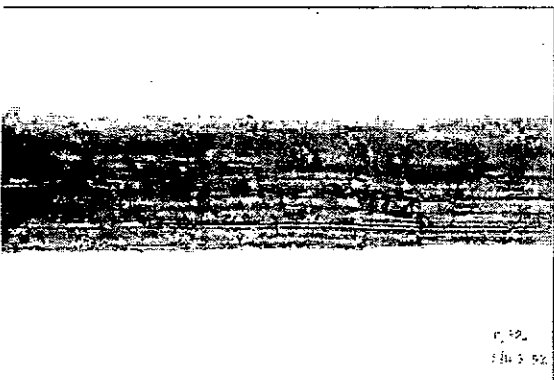
รูปภาพที่ 4ก เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยกรดซัลฟูริก เป็นเวลา 1 วัน



ความเข้มข้น 0.1 %v/v



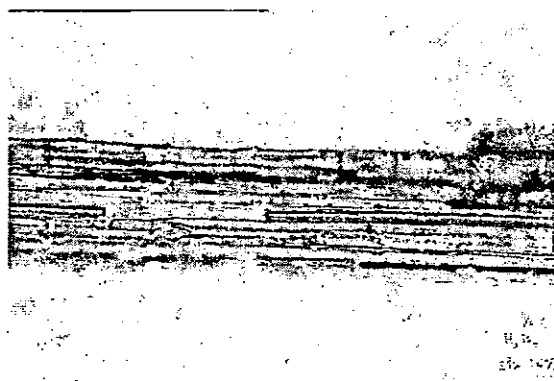
ความเข้มข้น 0.3 %v/v



ความเข้มข้น 0.5 %v/v

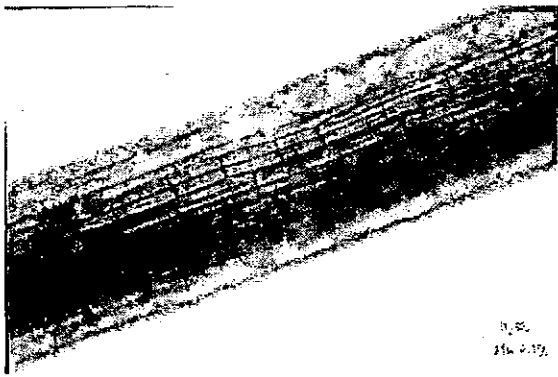


ความเข้มข้น 0.7 %v/v

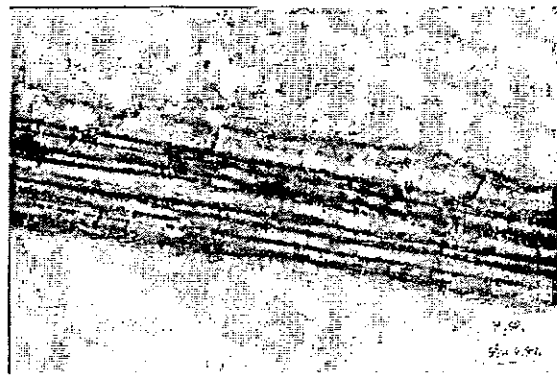


ความเข้มข้น 1.0 %v/v

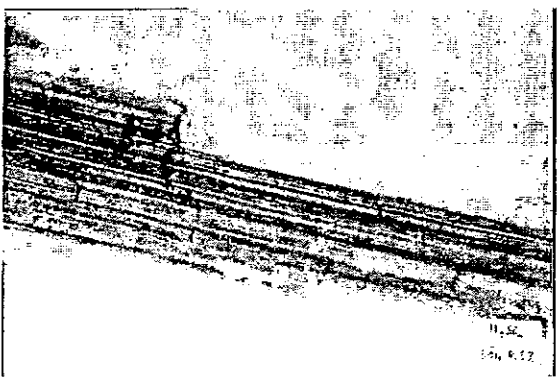
รูปภาพที่ 5ก เส้นใยป่านครนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยกรดซัลฟูริก เป็นเวลา 2 วัน



ความเข้มข้น 0.1 %v/v



ความเข้มข้น 0.3 %v/v



ความเข้มข้น 0.5 %v/v



ความเข้มข้น 0.7 %v/v



ความเข้มข้น 1.0 %v/v

รูปภาพที่ 6ก เส้นใยปानครนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยกรดซัลฟูริก เป็นเวลา 3 วัน



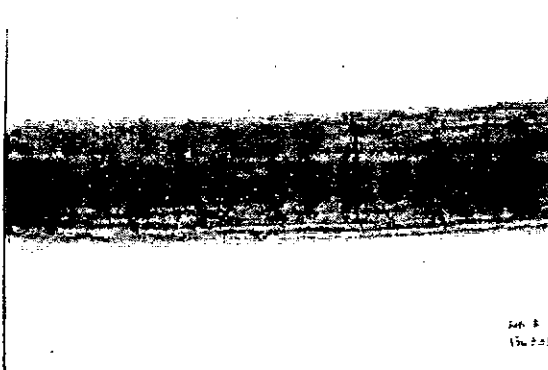
รูป 3
0.1 %v/v

ความเข้มข้น 0.1 %v/v



รูป 4
0.3 %v/v

ความเข้มข้น 0.3 %v/v



รูป 5
0.5 %v/v

ความเข้มข้น 0.5 %v/v



รูป 6
0.7 %v/v

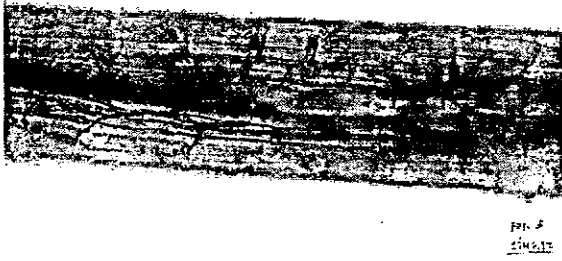
ความเข้มข้น 0.7 %v/v



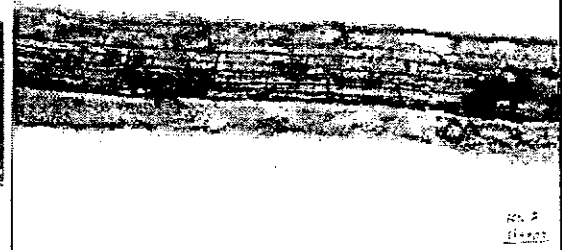
รูป 7
1.0 %v/v

ความเข้มข้น 1.0 %v/v

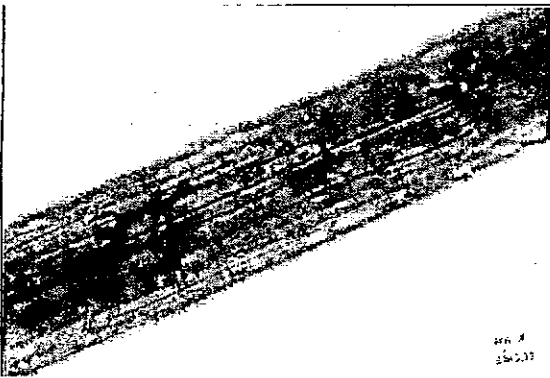
รูปภาพที่ 7ก เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยกรดฟอร์มิก เป็นเวลา 1 วัน



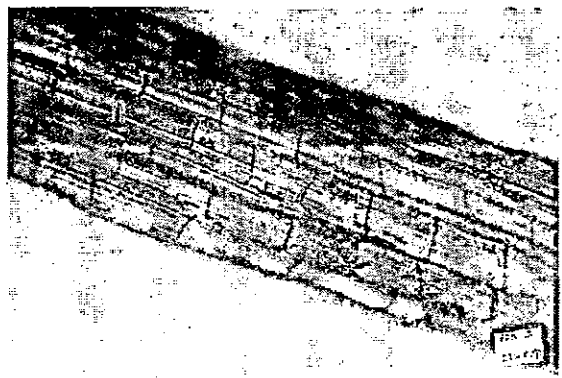
ความเข้มข้น 0.1 %v/v



ความเข้มข้น 0.3 %v/v



ความเข้มข้น 0.5 %v/v

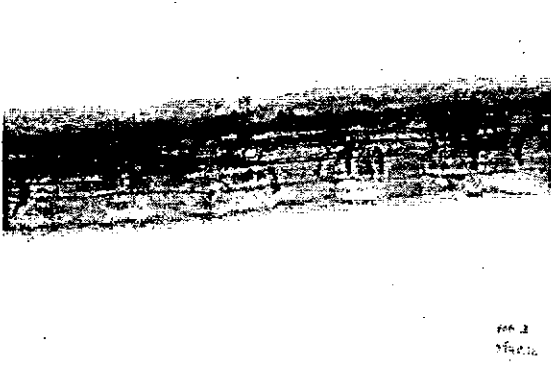


ความเข้มข้น 0.7 %v/v



ความเข้มข้น 1.0 %v/v

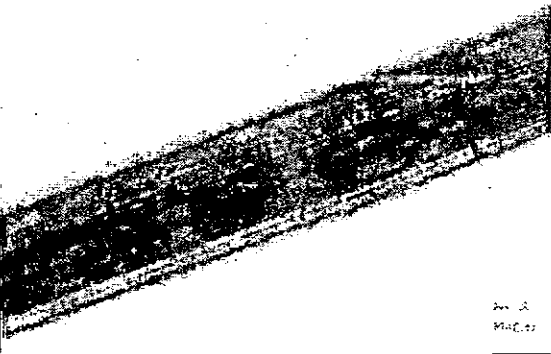
รูปภาพที่ 8ก เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยกรดฟอริก เป็นเวลา 2 วัน



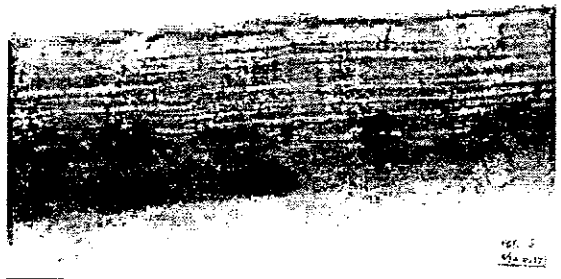
ความเข้มข้น 0.1 %v/v



ความเข้มข้น 0.3 %v/v



ความเข้มข้น 0.5 %v/v

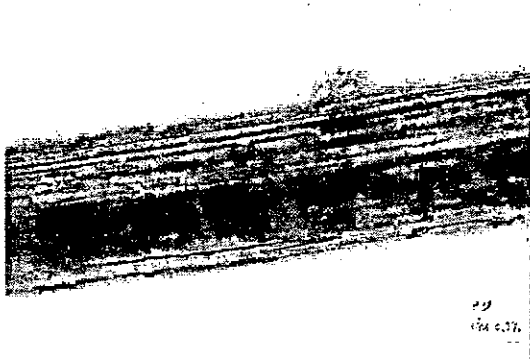


ความเข้มข้น 0.7 %v/v



ความเข้มข้น 1.0 %v/v

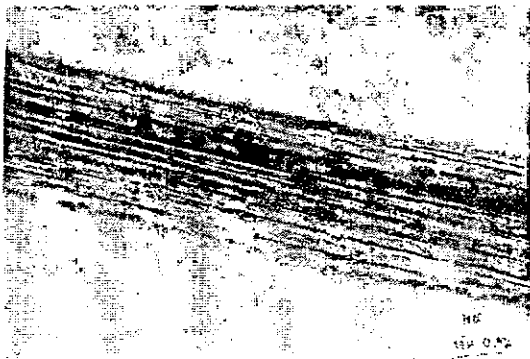
รูปภาพที่ 9ก เส้นใยป่านครนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยกรดฟอร์มิก เป็นเวลา 3 วัน



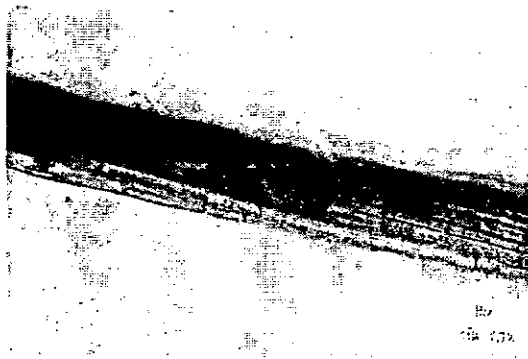
ความเข้มข้น 0.1 %v/v



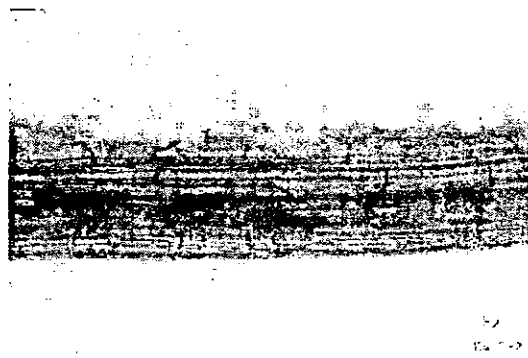
ความเข้มข้น 0.3 %v/v



ความเข้มข้น 0.5 %v/v

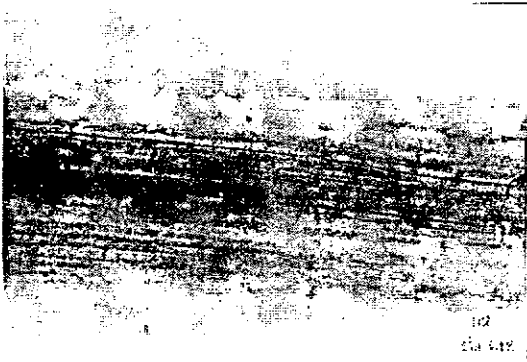


ความเข้มข้น 0.7 %v/v



ความเข้มข้น 1.0 %v/v

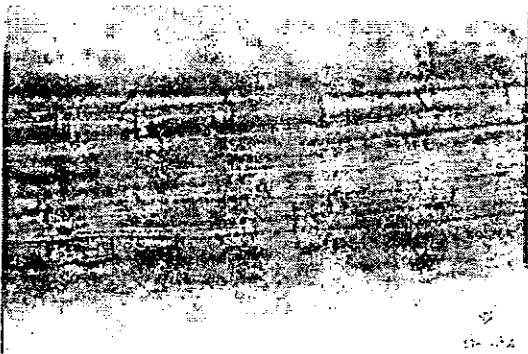
รูปภาพที่ 10ก เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยกรดไฮโดรคลอริก เป็นเวลา 1 วัน



ความเข้มข้น 0.1 %v/v



ความเข้มข้น 0.3 %v/v



ความเข้มข้น 0.5 %v/v

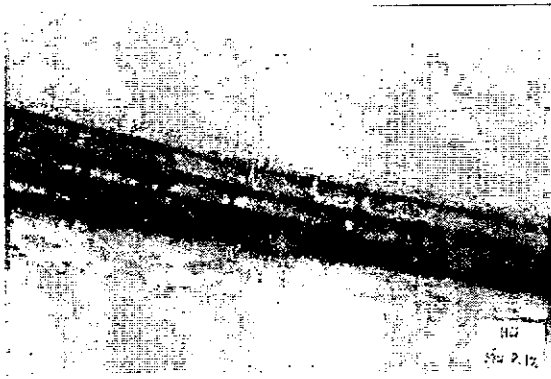


ความเข้มข้น 0.7 %v/v

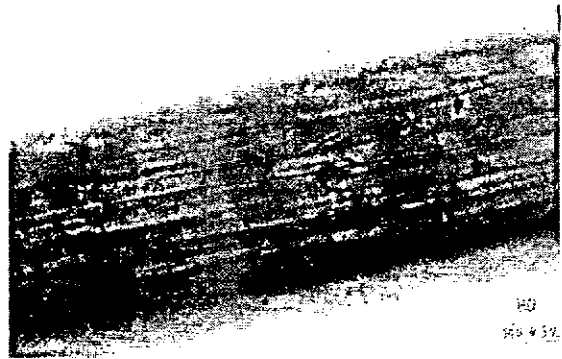


ความเข้มข้น 1.0 %v/v

รูปภาพที่ 11ก เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยกรดไฮโดรคลอริก เป็นเวลา 2 วัน



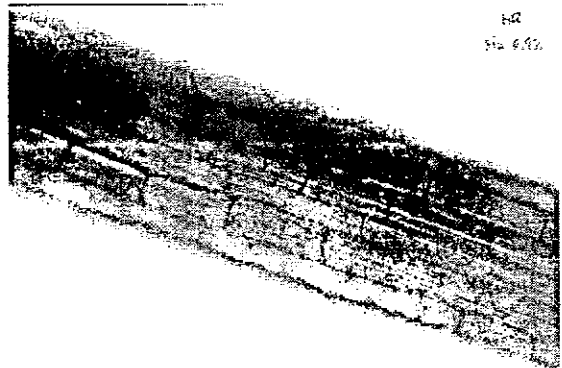
ความเข้มข้น 0.1 %v/v



ความเข้มข้น 0.3 %v/v



ความเข้มข้น 0.5 %v/v



ความเข้มข้น 0.7 %v/v



ความเข้มข้น 1.0 %v/v

รูปภาพที่ 12ก เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสัมผัสด้วยกรดไฮโดรคลอริก เป็นเวลา 3 วัน

ค่าความขาว (Whiteness)

แช่กรด 1 วัน

ค่าที่วัด	Standard	ความเข้มข้น 0.1%			ความเข้มข้น 0.3%			ความเข้มข้น 0.5%			ความเข้มข้น 0.7%			ความเข้มข้น 1.0%		
		CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂	CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂	CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂	CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂	CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂
L*	86.877	86.877	86.484	87.145	85.882	86.813	87.52	85.77	84.862	87.256	86.016	84.848	87.631	86.277	87.171	87.667
a*	-1.07	-0.969	-1.259	0.643	-1.152	-0.526	0.973	-0.912	-0.168	-1.06	-1.123	-0.584	-1.071	-0.661	-1.37	-1.193
b*	12.863	11.683	10.511	10.127	12.408	12.775	11.424	11.62	10.651	10.385	11.494	11.751	11.142	12.418	10.441	10.933

แช่กรด 2 วัน

ค่าที่วัด	Standard	ความเข้มข้น 0.1%			ความเข้มข้น 0.3%			ความเข้มข้น 0.5%			ความเข้มข้น 0.7%			ความเข้มข้น 1.0%		
		CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂	CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂	CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂	CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂	CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂
L*	86.877	85.344	87.451	86.026	86.005	86.091	87.762	86.95	87.72	87.794	85.137	86.062	86.505	85.039	85.511	87.2
a*	-1.07	-0.888	-0.804	-0.809	-0.949	87.72	-0.794	-0.962	-0.405	-0.858	-1.066	-0.33	-1.002	-0.475	-0.813	-0.767
b*	12.863	12.597	11.862	10.678	12.207	86.062	10.255	11.882	11.388	9.766	11.404	11.672	11.271	11.918	11.98	12.597

แช่กรด 3 วัน

ค่าที่วัด	Standard	ความเข้มข้น 0.1%			ความเข้มข้น 0.3%			ความเข้มข้น 0.5%			ความเข้มข้น 0.7%			ความเข้มข้น 1.0%		
		CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂	CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂	CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂	CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂	CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂
L*	86.877	84.641	87.71	84.991	85.969	86.83	85.432	86.18	86.596	86.442	86.069	85.938	86.066	86.79	84.13	87.563
a*	-1.07	-0.756	-0.669	-0.639	-1.014	-0.384	-1.019	-0.952	-0.512	-1.028	-0.973	0.383	-0.92	-0.651	1.351	-0.901
b*	12.863	11.66	12.273	11.983	12.247	11.057	11.176	12.886	10.656	9.3973	11.335	11.653	11.303	11.816	11.638	11.262

ความแข็งแรง (Tensile Strength)

เวลาแช่	Standard	ความเข้มข้น 0.1%			ความเข้มข้น 0.3%			ความเข้มข้น 0.5%			ความเข้มข้น 0.7%			ความเข้มข้น 1.0%		
		CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂	CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂	CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂	CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂	CH ₃ COOH	HCl	CH ₂ O ₂
1 วัน	11.06	9.956	3.68	9.476	10.3	0	9.588	9.892	0	10.28	9.74	0	10.344	10.32	0	9.984
2 วัน	11.06	10.076	0	10.316	10.096	0	10.442	10.4	0	10.918	11.504	0	10.17	10.512	0	10.04
3 วัน	11.06	10.32	0	10.344	9.548	0	10.188	10.268	0	10.336	10.308	0	10.016	10.112	0	10.32