



พฤติกรรมกำลังการรับแรงเฉือนของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บดน้ำที่ผลิตจากยางคอมปาวด์

SHEAR STRENGTH BEHAVIOR OF GEOMEMBRANE MADE OF RUBBER  
COMPOUND

กฤตวิทย์ ศรีทา  
เชมพศุตม์ ผิวจันทร์  
ธนภูมิ แก้วถาวร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# SHEAR STRENGTH BEHAVIOR OF GEOMEMBRANE MADE OF RUBBER COMPOUND

KRITRAWIT SRITRA  
KHEMPASUT PHIEWJAN  
TANAPOOM KAEWTHAWORN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, SCHOOL OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2022

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ พลติกรรมกำลังรับแรงเฉือนของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บ่มน้ำที่ผลิตจาก  
ยางคอมปาวด์

A SPECIAL PROJECT TITLE Shear Strength Behavior of Geomembrane Made of  
Rubber Compound

นักศึกษา นายกฤตวิทย์ ศรีทา รหัสนักศึกษา 62010027

นายเชมพศุฒิ ผิวจันทร์ รหัสนักศึกษา 62010086

นายธนภูมิ แก้วถาวร รหัสนักศึกษา 62010367

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ศลิษา	ไชยพุทธ	
ผศ.ดร.ขนาดล	คงสมบูรณ์	
อาจารย์อุบะ	ศิริแก้ว	
ดร.พิณช	ธนชัยโชคศิริกุล	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ.2566 เวลา 12.00-12.20 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง CV 202

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(รศ.ดร.ชลิตา อุตะเภา)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ชื่องานวิจัย:** พฤติกรรมกำลังการรับแรงเฉือนของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บดน้ำที่ผลิตจากยางคอมปาวด์

**ชื่อ-สกุล คณะวิจัย:** 1. นายกฤตวิทย์ ศรีทา 62010027

2. นายเชมพศุทธิ์ ผิวจันทร์ 62010086

3. นายธนภูมิ แก้วถาวร 62010367

**อาจารย์ที่ปรึกษา:** รศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ

**คณะ:** วิศวกรรมศาสตร์ **ภาค:** วิศวกรรมโยธา

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำยางพาราที่ผสมสารเคมีต่างๆหรือที่เรียกว่ายางคอมปาวด์มาทำหน้าที่เป็นแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บดน้ำ (Geomembrane) ซึ่งมีคุณสมบัติในการซึมผ่านต่ำ มีความทึบน้ำ สามารถใช้กักเก็บน้ำ ป้องกันการรั่วซึมของบ่อได้ดี การศึกษานี้จะทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของแผ่นยางคอมปาวด์ ได้แก่ 1.การหาความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ 2.การหาลำดับการรับแรงดึงของแผ่นยางคอมปาวด์ 3.การหาความต้านทานการฉีกขาดของแผ่นยางคอมปาวด์ 4.การหาความต้านทานการเฉือนทะลุของแผ่นยางคอมปาวด์ 5.การหาลำดับการรับแรงเฉือนของแผ่นยางคอมปาวด์ โดยจะทำการศึกษาภายใต้เงื่อนไขต่อไปนี้ คือ ทำการทดสอบตัวอย่างแผ่นยางคอมปาวด์ในแต่ละกรณี คือ ทดสอบในอากาศ น้ำ และกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) ที่ระยะเวลา 0 วัน 90 วัน และ 180 วัน และทดสอบในเบส (ผงซักฟอก) ที่ระยะเวลา 90 วัน ผลการศึกษาพบว่า จากการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นยางคอมปาวด์ด้วยวิธีการหาความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ ตัวอย่างการทดสอบที่แช่ในกรด  $\text{HNO}_3$  ส่งผลความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์เพิ่มขึ้นมากที่สุด การทดสอบการทดสอบหาค่ากำลังการรับแรงดึงของแผ่นยางคอมปาวด์ มีผลดังนี้ ตัวอย่างการทดสอบที่แช่ในกรด  $\text{HNO}_3$  ส่งผลต่อกำลังการรับแรงดึงของแผ่นยางคอมปาวด์เพิ่มขึ้นมากที่สุด การทดสอบหาค่าความต้านทานการฉีกขาดของแผ่นยางคอมปาวด์ มีผลดังนี้ ตัวอย่างการทดสอบที่แช่ในกรด  $\text{HNO}_3$  ซึ่งมีผลต่อความต้านทานการฉีกขาดเพิ่มขึ้นมากที่สุด การทดสอบหาค่าความต้านทานการเฉือนทะลุของแผ่นยางคอมปาวด์ มีผลดังนี้ ตัวอย่างการทดสอบที่แช่ในกรด  $\text{HNO}_3$  มีส่งผลความต้านทานการเฉือนทะลุของแผ่นยางคอมปาวด์เพิ่มขึ้นมากที่สุด การทดสอบกำลังการรับแรงเฉือนของแผ่นยางคอมปาวด์มีผลการทดสอบดังนี้ ตัวอย่างการทดสอบที่แช่ในกรด  $\text{HNO}_3$  มีผลต่อกำลังการรับแรงเฉือนมากที่สุด โดยรวมแล้ว การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่ายางคอมปาวด์มีคุณสมบัติที่นำมาใช้เป็นแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บดน้ำได้ แต่อาจต้องมีการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อการใช้งานที่เหมาะสมต่อไป

**Research Title:** Shear strength behavior of geomembrane made of rubber compound

**Researcher:** Mr.Kritrawit Sritra 62010027

Mr.Khempasut Phiewjan 62010086

Mr.Tanapoom Kaewthaworn 62010367

**Adviser:** Assoc. Prof. Dr. Salisa Chaiyaput

**Faculty:** Engineering **Department:** Civil engineering

## ABSTRACT

This research aims to investigate the suitability of compound rubber, a rubber mixed with various chemicals, as a water-tight synthetic material sheet called a geomembrane. The objective is to assess its low permeability, making it suitable for water storage and providing effective protection against well leakage. The study focuses on evaluating various properties of the compound rubber sheets, including thickness, tensile strength, tearing resistance, shear resistance, and shear strength. The research is conducted over three time periods (0 days, 90 days, and 180 days) under different test conditions: air, water, nitric acid ( $\text{HNO}_3$ ), and a base (detergent). The results after 90 days indicate that immersion in  $\text{HNO}_3$  acid leads to the most significant increase in the thickness of the compound rubber sheet. Similarly, testing for tensile strength shows that exposure to  $\text{HNO}_3$  acid has the most pronounced impact on the rubber's strength. The tear resistance test reveals that  $\text{HNO}_3$  acid immersion also has the greatest effect on the compound rubber's resistance to tearing. Furthermore, the shear resistance test demonstrates that immersion in  $\text{HNO}_3$  acid results in the highest increase in the rubber's shear resistance. Lastly, the shear strength test indicates that  $\text{HNO}_3$  acid immersion has the greatest influence on the shear strength of the compound rubber sheet. In conclusion, this study suggests that compound rubber has the potential to serve various applications. However, further testing may be necessary to ensure its suitability for specific uses.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือ การสนับสนุนและให้คำปรึกษาจาก รศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆ รายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน โดยคณาจารย์ท่านต่างๆ ได้ถ่ายทอดความรู้ทางด้านวิชาการความรู้ทั่วไป และประสบการณ์ต่างๆ จนสามารถนำมาใช้ในการทำงานและการดำเนินชีวิตได้อย่างดีเยี่ยม ตลอดจนขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ร่วมเป็นกรรมการในการทดสอบ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำโครงการ รวมถึงตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมโยธานี้ตลอดมา

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและกำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

อนึ่ง ผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่มากนักน้อย สำหรับข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

คณะผู้วิจัย

นายกฤตวิทย์ ศรีทา 62010027

นายเชมพศุทธิ์ ผิวจันทร์ 62010086

นายธนภูมิ แก้วถาวร 62010367

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	13
3.1 บทนำ	13
3.2 เงื่อนไขการทดสอบ	13
3.3 คำอธิบายสัญลักษณ์ของตัวอย่างทดสอบ	15
3.4 การเตรียมสารที่ใช้ในการทดสอบ	15
3.5 การทดสอบการวัดความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์	16
3.6 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางคอมปาวด์	17
3.7 การทดสอบความต้านทานการฉีกขาดของแผ่นยางคอมปาวด์	19
3.8 การทดสอบความต้านทานการเฉือนทะลุของแผ่นยางคอมปาวด์	21
3.9 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของแผ่นยางคอมปาวด์	25
บทที่ 4 ผลการศึกษา	28
4.1 บทนำ	28
4.2 ผลการทดสอบการวัดความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์	28

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางคอมปาวด์	29
4.4 ผลการทดสอบความต้านทานการฉีกขาดของแผ่นยางคอมปาวด์	32
4.5 ผลการทดสอบความต้านทานการเฉือนทะลุของแผ่นยางคอมปาวด์	34
4.6 ผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของแผ่นยางคอมปาวด์	35
<b>บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา</b>	<b>45</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	45
5.2 ปัญหาอุปสรรคในการทำงานและแนวทางการแก้ไข	47
5.3 ข้อเสนอแนะ	47
<b>อ้างอิง</b>	<b>48</b>



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางเปรียบเทียบประเภทของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บดน้ำ	3
2.2 ลักษณะของน้ำชะขยะในระยะของการเกิดกรดและระยะการเกิดก๊าซมีเทนในหลุมฝังกลบ	10
2.3 ลักษณะของน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดในธุรกิจการซักรีดและซักรีดในชุมชน	11
3.1 ตารางเงื่อนไขการทดสอบ	13
4.1 ตารางแสดงความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์	28
4.2 ตารางแสดงการเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์	29
4.3 ตารางแสดงกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางคอมปาวด์	31
4.4 ตารางแสดงความต้านทานการฉีกขาดของแผ่นยางคอมปาวด์	33
4.5 ตารางแสดงความต้านทานการฉีกของแผ่นยางคอมปาวด์	34
4.6 ตารางแสดงขนาดคละของหินสำหรับการทดสอบกำลังการรับแรงฉีกของแผ่นยางคอมปาวด์	35
4.7 ตารางแสดงกำลังการรับแรงฉีกของแผ่นยางคอมปาวด์	37

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บีนน้ำชนิดต่างๆ	4
2.2 แผ่นยางคอมปาวด์	4
2.3 น้ำชะขยะ	9
2.4 แผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บีนน้ำที่นำมาปูรองน้ำชะขยะ	9
3.1 สัญลักษณ์ของตัวอย่างทดสอบ	15
3.2 ตัวอย่างทดสอบในอากาศ	15
3.3 การแช่ตัวอย่างทดสอบในน้ำ	15
3.4 การแช่ตัวอย่างทดสอบในกรดไนตริก (HNO <sub>3</sub> )	15
3.5 การแช่ตัวอย่างทดสอบในเบส (ผงซักฟอก)	15
3.6 เครื่องวัดความหนา	16
3.7 การทดสอบค่าความหนาแผ่นยางคอมปาวด์	16
3.8 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง	17
3.9 วัดและตัดตามมาตรฐานการทดสอบแผ่นยางคอมปาวด์	17
3.10 ตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D6693	18
3.11 วัดระยะแล้วพันเทปกาวจากปลายทั้งสองด้านของแผ่นยางคอมปาวด์	18
3.12 สังเกตการทดสอบจนกว่าแผ่นยางคอมปาวด์จะถึงจุดวิบัติ	19
3.13 เครื่องทดสอบความต้านทานการฉีกขาด	20
3.14 ตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1004	20
3.15 นำตัวอย่างมาทดสอบด้วยยึดกับตัวเครื่องทดสอบ	21
3.16 เครื่องทดสอบความต้านทานการเหือนทะเล	22
3.17 ตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D4833	22
3.18 ทำการเจาะรูตัวอย่างการทดสอบ	23
3.19 ประกอบแผ่นยางคอมปาวด์กับชุดอุปกรณ์	23
3.20 นำหัวกดจากเครื่องทดสอบเลื่อนลงมาชิดกับผิวแผ่นยางคอมปาวด์	24
3.21 ตั้งค่าความเร็วเครื่องทดสอบก่อนการทดสอบ	24
3.22 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงเหือน	25
3.23 ตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5321	25

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.24 บรรจุตัวอย่างทดสอบเข้าในเครื่องทดสอบ	26
3.25 นำหินคลุกมาเททับบริเวณแผ่นยางคอมปาวด์	26
3.26 ปล่อยหัวกดลงไปในกลุ่มเงื่อนไข	27
3.27 ตั้งค่าแรงดันตามมาตรฐานที่กำหนด	27
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรในการทดสอบและการยึดตัวที่ 0 วัน	29
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรในการทดสอบและการยึดตัวที่ 90 วัน	30
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรในการทดสอบและการยึดตัวที่ 180 วัน	30
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับเวลา	31
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรในการทดสอบและการยึดตัวที่ 0 วัน	32
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรในการทดสอบและการยึดตัวที่ 90 วัน	32
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรในการทดสอบและการยึดตัวที่ 180 วัน	33
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานการฉีกขาดกับเวลา	33
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการฉีกขาดกับเวลา	34
4.10 กราฟแสดงขนาดคละของหินที่ใช้ในการทดสอบ	36
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ 0 วัน โดยใช้ความดัน 150 kN/m <sup>2</sup>	37
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ 0 วัน โดยใช้ความดัน 300 kN/m <sup>2</sup>	38
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ 0 วัน โดยใช้ความดัน 600 kN/m <sup>2</sup>	38
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ 90 วัน โดยใช้ความดัน 150 kN/m <sup>2</sup>	39
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ 90 วัน โดยใช้ความดัน 300 kN/m <sup>2</sup>	39
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ 90 วัน โดยใช้ความดัน 600 kN/m <sup>2</sup>	40

4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบ ที่ 180 วัน โดยใช้ความดัน 150 kN/m <sup>2</sup>	40
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบ ที่ 180 วัน โดยใช้ความดัน 300 kN/m <sup>2</sup>	41
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบ ที่ 180 วัน โดยใช้ความดัน 600 kN/m <sup>2</sup>	41
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนที่ความดัน 150 kN/m <sup>2</sup> กับเวลา	42
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนที่ความดัน 300 kN/m <sup>2</sup> กับเวลา	42
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนที่ความดัน 600 kN/m <sup>2</sup> กับเวลา	43
4.23 ตัวอย่างการทดสอบก่อนการทดสอบที่ความดัน 150 kN/m <sup>2</sup>	43
4.24 ตัวอย่างการทดสอบหลังการทดสอบที่ความดัน 150 kN/m <sup>2</sup>	43
4.25 ตัวอย่างการทดสอบก่อนการทดสอบที่ความดัน 300 kN/m <sup>2</sup>	44
4.26 ตัวอย่างการทดสอบหลังการทดสอบที่ความดัน 300 kN/m <sup>2</sup>	44
4.27 ตัวอย่างการทดสอบก่อนการทดสอบที่ความดัน 600 kN/m <sup>2</sup>	44
4.28 ตัวอย่างการทดสอบหลังการทดสอบที่ความดัน 600 kN/m <sup>2</sup>	44

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันได้มีวัสดุที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาคือการซึมผ่านของน้ำในงานวิศวกรรมปฐพีเป็นวัสดุป้องกันการรั่วซึมของบ่อหรือแหล่งกักเก็บน้ำ ได้แก่ แผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บดน้ำ (Geomembrane) ซึ่งมีความสามารถในการซึมผ่านต่ำ นอกจากนี้ปัจจุบันเกษตรกรปลูกยางพาราได้รับผลกระทบจากการที่ยางพารามีราคาต่ำและมียอดขายลดลงรวมถึงมีสินค้าคงเหลืออยู่ปริมาณมาก ทางคณะผู้จัดทำได้มีความสนใจในการประยุกต์ใช้ยางพาราเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุทางเลือกทดแทนแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บดน้ำและเพิ่มการใช้ประโยชน์จากยางพารา เนื่องจากยางพาราผสมมีคุณสมบัติยืดหยุ่นและทางผู้จัดทำเห็นว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุสังเคราะห์ให้มีการใช้งานที่มีคุณสมบัติเหมือนหรือเทียบเคียงกับแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บดน้ำได้ และเพื่อเป็นการช่วยเหลือเกษตรกรที่ได้รับผลกระทบดังกล่าว

### 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของแผ่นยางคอมปาวด์ที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุสังเคราะห์ที่บดน้ำ ได้แก่ 1. การหาความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ 2. การหาค่ากำลังการรับแรงดึงของแผ่นยางคอมปาวด์ 3. การหาความต้านทานการฉีกขาดของแผ่นยางคอมปาวด์ 4. การหาความต้านทานการเฉือนทะลุของแผ่นยางคอมปาวด์ และ 5. การหาค่ากำลังการรับแรงเฉือนของแผ่นยางคอมปาวด์

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของแผ่นยางคอมปาวด์
2. ไม่ศึกษาปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์
3. ช่วงเวลาของการทดสอบ คือ 0 วัน (เริ่มวันที่ 24 กันยายน 2565)  
90 วัน (ครบกำหนดวันที่ 24 ธันวาคม 2565)  
180 วัน (ครบกำหนดวันที่ 24 มีนาคม 2566)
4. ทดสอบภายใต้สภาวะ อากาศ น้ำ กรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) ที่มีค่า pH=5.5 และ เบส (ผงซักฟอก) ที่มีค่า pH=11

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. แผ่นยางคอมปาวด์ที่นำมาใช้ทำเป็นแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บดน้ำ สามารถแก้ปัญหาคือการซึมผ่านของน้ำควบคุมการไหลของน้ำหรือของไหลในโครงสร้างหรือในงานก่อสร้างต่างๆได้ หรือแผ่นยางคอมปาวด์ที่นำมาใช้ทำแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บดน้ำมีคุณสมบัติเหมือนหรือเทียบเท่ากับแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บดน้ำ สามารถนำมาใช้งานได้ตามการใช้งานเหมือนกับแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บดน้ำ

2. ได้ทราบคุณสมบัติของแผ่นยางคอมปาวด์จากการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- 1.) ความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์
- 2.) กำลังการรับแรงดึงของแผ่นยางคอมปาวด์
- 3.) ความต้านทานการฉีกขาดของแผ่นยางคอมปาวด์
- 4.) ความต้านทานการฉีกขาดของแผ่นยางคอมปาวด์
- 5.) กำลังการรับแรงดึงของแผ่นยางคอมปาวด์

3. แผ่นยางคอมปาวด์ที่นำมาใช้ทำเป็นแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บ่มน้ำมีราคาถูกกว่าแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บ่มน้ำทั่วไปที่จำหน่ายตามท้องตลาดและมีความนิยมในการใช้วัสดุยางพาราผสมมาใช้ในงานอื่นๆอย่างแพร่หลายมากขึ้น



## บทที่ 2

### วรรณกรรมปริทัศน์

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 แผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่ขี้บน้ำ (Geomembrane)

แผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่ขี้บน้ำเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการซึมผ่านต่ำ ซึ่งลักษณะประเภทการใช้งานของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่ขี้บน้ำเพื่อป้องกันการซึมผ่านของของเหลว เช่น การปูบ่อนอ่างเก็บน้ำเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำ หรือใช้ปูบ่อนบ่อฝังกลบขยะเพื่อป้องกันการซึมผ่านของเหลวที่เป็นพิษจากขยะไหลซึมผ่านลงสู่ดิน

##### 2.1.1.1 ประเภทของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่ขี้บน้ำ (Geomembrane)

แผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่ขี้บน้ำมี 3 ประเภท ประเภทที่ 1 เรียกว่า พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.91 ถึง 0.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โมเลกุลของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) มีแบ็กโบนคาร์บอนที่มีไฮโดรเจนของคาร์บอนสี่ถึงหกอะตอมติดกับแบ็กโบนหลักอย่างสุ่มๆ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ยืดหยุ่นได้ ทนทานมากและทนต่อสารเคมี และถูกขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์

แผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่ขี้บน้ำประเภทที่ 2 เรียกว่า พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.93-0.95 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) สามารถผลิตโดยโคโรเมียมนส่วน Catalysts, Ziegler-Natta catalysts หรือ Metallocene catalysts พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) มีดีซ็อกและปล่อยความต้านทานคุณสมบัติ นอกจากนี้เป็นรอยเว้า่น้อย มีความสำคัญกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) มีความต้านทานความเครียดดีกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE)

แผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่ขี้บน้ำประเภทที่ 3 เรียกว่า พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.95 ถึง 0.97 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โมเลกุลของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) จะมีแบ็กโบนคาร์บอนที่ยาวมากแต่ไม่มีไฮโดรเจน ผลก็คือ โมเลกุลเหล่านี้เชื่อมกันอย่างแน่นหนามากขึ้น พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) แข็งแรงกว่า แข็งกว่า และโปร่งแสงน้อยกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (HDPE)

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบประเภทของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่ขี้บน้ำ

	LDPE	MDPE	HDPE
ความหนาแน่น	0.91-0.93	0.93-0.95	0.95-0.97
โมเลกุล	แบ็กโบนคาร์บอนที่มีไฮโดรเจน	โคโรเมียม	แบ็กโบนคาร์บอนที่ไม่มีไฮโดรเจน
คุณสมบัติ	ยืดหยุ่นได้ ทนต่อสารเคมี	เป็นรอยเว้า่น้อย มีความต้านทานต่อความเครียดดีกว่า HDPE และ MDPE	มีความหนาแน่นสูง แข็งแรง และโปร่งแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LDPE



MDPE



HDPE

รูปที่ 2.1 แผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บ้น้ำชนิดต่างๆ

(ที่มา : <https://www.alibaba.com/pla/15mm>)

### 2.1.1.2 หน้าที่การทำงานของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บ้น้ำ (Geomembrane)

ตามที่กล่าวมาไว้ในส่วนของการแนะนำแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บ้น้ำเพื่อป้องกันการซึมผ่านของน้ำ เป็นวัสดุที่ป้องกันการรั่วซึมของบ่อหรือแหล่งกักเก็บน้ำ ตามประเภทการใช้งาน ซึ่งการทำงานของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บ้น้ำเหล่านี้ต้องอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลเพื่อทดสอบความแข็งแรงของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บ้น้ำ ด้วยการทดสอบคุณสมบัติทางกล 5 ประเภทการทดสอบ ดังนี้

1.) การวัดความหนา (Thickness Test) 2.) ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength Test) 3.) ความต้านทานการฉีกขาด (Tear Resistance Test) 4.) ความต้านทานการเฉือนทะลุ (Index Puncture Resistance Test) และ 5.) ความต้านทานแรงเฉือนโดยตรงขนาดใหญ่ (Large Scale direct shear Test) โดยจะทำการทดสอบคุณสมบัติเหล่านี้ตามเครื่องทดสอบของแต่ละการทดสอบ

### 2.1.2 แผ่นยางคอมปาวด์ (Rubber Compound)

ยางคอมปาวด์ คือ ยางที่ผสมสารเคมีต่างๆ เข้ากับวัตถุดิบยาง ตามสูตรที่มีการออกแบบเพื่อให้ได้คุณสมบัติเฉพาะตามที่ต้องการ ในการผสมสารเคมีจะใช้วิธีการบดยางเพื่อให้สารเคมีสามารถผสมเข้ากับวัตถุดิบยางได้ สารเคมีจะกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอช่วยให้การแปรรูปที่ง่ายและได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีความสมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้น ดังนั้นวัตถุดิบยางที่ผ่านการผสมสารเคมีแล้วแต่ยังไม่ผ่านการนำไปแปรรูป จึงเรียกว่า ยางคอมปาวด์



รูปที่ 2.2 แผ่นยางคอมปาวด์

### 2.1.2.1 ประเภทของยางคอมปาวด์

1. ยางคอมปาวด์แท้ มีการผสมสารเคมี และ 2. ยางสังเคราะห์ในสูตรที่แน่นอน นำไปทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยมียางธรรมชาติผสมอยู่ตั้งแต่ 40-70% ยางคอมปาวด์เทียมจะมีการผสมสารเคมีหรือยางสังเคราะห์หรือถ่านดำเข้าไปประมาณ 3%

### 2.1.2.2 ขั้นตอนการผลิตยางคอมปาวด์

กระบวนการทำบดยางให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยผ่านชั้นยางลงในเครื่องบดผสมยาง 2 ลูกกลิ้ง ม้วนแผ่นยาง แล้วผ่านม้วนยางในแนวตั้งฉากกับเครื่องบดผสมยาง 2 ลูกกลิ้ง บดยางในลักษณะดังกล่าวจนกระทั่งยางเริ่มพันรอบลูกกลิ้ง โดยใช้ความเร็วรอบของลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง = และควบคุมอุณหภูมิของลูกกลิ้งที่ 70 – 80 องศา (ไม่ควรให้อุณหภูมิเกิน 100 องศา)

### 2.1.2.3 จุดประสงค์ของการออกสูตรเคมีในยางคอมปาวด์

1. เพื่อให้สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ
2. เพื่อให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีสมบัติตามที่ต้องการ
3. เพื่อควบคุมต้นทุนหรือราคาตามที่ต้องการ

### 2.1.2.4 ส่วนประกอบต่างๆในยางคอมปาวด์

1. ยางธรรมชาติ (Natural Rubber: NR) หรือยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubber: SR) ยางผสม (Blends) หรือยางเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Elastomer: TPE)
2. สารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing Agent)
3. สารตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerator)
4. สารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activator)
5. สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants)
6. สารตัวเติม (Fillers)
7. สารทำให้ยางนิ่มและสารช่วยในกระบวนการผลิต (Plasticizers and Processing Aids)
8. สารอื่นๆ เช่น สี (Pigments) สารทำให้เกิดฟอง (Blowing Agents) และสารหน่วงการติดไฟ (Flameretardants) เป็นต้น อย่างไรก็ตามในแต่ละกลุ่ม อาจจะมีการใช้สารเคมีมากกว่าหนึ่งตัว เช่น สารตัวเร่งปฏิกิริยาอาจจะใช้ 2 ตัวร่วมกัน หรือสีอาจจะใช้ 3 หรือ 4 ชนิดร่วมกัน เป็นต้น

### 2.1.3 การทดสอบหาขนาดคละของหิน (Sieve Analysis)

มวลดินหนึ่งลูกบาศก์เมตรอาจประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาด เช่น 10 ซม. ลงมาจนกระทั่ง 0.0002 มม. ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า สมบัติทางฟิสิกส์ของมวลดินจะขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดดินอย่างมาก เช่น มวลดินที่มีเม็ดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 ส่วนมากจะไม่มีคละหรือแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดดิน ซึ่งเรียกว่า ดินทราย ส่วนดินที่มีส่วนประกอบเป็นเม็ดเล็กมาก ก็เรียกว่าดินเหนียว นอกจากนี้ขนาดเม็ดดินหรือหินยังมีอิทธิพลกับความชื้นน้ำ การรับแรง อัตราการทรุดตัวและอื่นๆอีก มากการก่อสร้างทั่วไปดินมักจะเป็นส่วนประกอบทางวิศวกรรมอย่างหนึ่ง ไม่ว่าจะเป็นการสร้าง เขื่อน สนามบิน ถนน แม้แต่ฐานรากอาคารขนาดใหญ่ แต่ดินหรือหินที่ใช้ในงานก่อสร้างได้ดั่งนั้น จะต้องมีความคละที่เหมาะสม ซึ่งในการหาว่าดินหรือหินมีความคละกันอย่างไรนั้นจะต้องทำการหาขนาดของเม็ดดินหรือหิน โดยดินเม็ดหยาบหรือหินใช้วิธีการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานและนำขนาดคละของดินมาใช้ในการจำแนกประเภทของดินต่อไป

การหาขนาดของเม็ดดินหรือหินโดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรง จะใช้ตะแกรงที่มีขนาดช่องเปิด แตกต่างกันไป สำหรับเบอร์ตะแกรงที่นิยมใช้กันก็คือขนาด 3/8 นิ้วเบอร์ 4, 10, 20, 40, 100 และ 200 โดยเบอร์ตะแกรงที่จะขาดไม่ได้ก็คือเบอร์ 4, 100 และ 200 ซึ่งตะแกรงที่มีช่องเปิดใหญ่ที่สุดจะอยู่ด้านบนและไล่ตามลำดับลงมา ดินหรือหินที่เล็กกว่าช่องเปิดของตะแกรงก็จะหล่นลงมาในชั้นต่อไป ดินหรือหินที่ใหญ่กว่าช่องเปิดของตะแกรงก็จะค้างอยู่บนตะแกรง แต่ก็ไม่แน่นอนเสมอไปเพราะว่า ตะแกรงนั้นไม่สามารถแบ่งแยกความแบนความยาวได้ บางครั้งหินหรือดินเม็ดเล็ก แต่มีความยาวกว่าขนาดของตะแกรงก็สามารถค้างอยู่บนตะแกรงนั้นได้ การหาขนาดและการกระจายของเม็ดดินหรือหินอาจทำได้ด้วยกันหลายวิธีแต่ที่นิยมปฏิบัติกันแพร่หลายคือวิธีการร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) ที่มีช่องขนาดต่างๆกัน มักใช้กับดินที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.075 มม.ขึ้นไป

### 2.1.4 การทดสอบมาตรฐาน ASTM D5199 สำหรับการวัดความหนาที่กำหนดของธรณีสังเคราะห์

มาตรฐาน ASTM D5199 ครอบคลุมการวัดความหนาเล็กน้อยของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ ยกเว้นสำหรับพื้นผิวและที่แผ่นวัสดุสังเคราะห์มีโครงสร้างบางส่วน ซึ่งพื้นผิวทั้งหมดของดินสี่เหลี่ยมไม่ได้สัมผัสกับพื้นผิวแผ่นวัสดุสังเคราะห์ทั้งหมด วิธีการทดสอบนี้ไม่ได้ให้ค่าความหนาสำหรับแผ่นวัสดุสังเคราะห์ภายใต้ความเค้นอัดปกติที่แตกต่างกัน วิธีการทดสอบนี้กำหนดความหนาเล็กน้อย ไม่จำเป็นต้องเป็นความหนาต่ำสุด ความหนาเป็นหนึ่งในคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของแผ่นวัสดุสังเคราะห์หรืออาจต้องใช้ค่าความหนาในการคำนวณคุณสมบัติแผ่นวัสดุสังเคราะห์บางอย่าง เช่น การซึมผ่านและความเค้นแรงดึง ความหนาของแผ่นวัสดุสังเคราะห์บางชนิดอาจแตกต่างกันอย่างมากกับโพลีเอทิลีนที่ใช้ วิธีนี้ระบุแรงดันและพื้นผิวเฉพาะเจาะจงในวิธีนี้ เพื่อให้แน่ใจว่าผลลัพธ์ทั้งหมดสามารถเปรียบเทียบกันได้ วิธีการทดสอบนี้สามารถใช้สำหรับการทดสอบการยอมรับการขนส่งเชิงพาณิชย์ของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ซึ่งใช้วิธีนี้ผู้ใช้ควรตระหนักว่าการอัดตัวของวัสดุบางชนิด คุณสมบัติการสะท้อน

กลับและปรากฏการณ์อื่นๆ จะส่งผลต่อความหนาของแผ่นวัสดุสังเคราะห์บางชนิดหลังการรวบรวม การขนส่ง และการเก็บรักษา

### 2.1.5 การทดสอบมาตรฐาน ASTM D6693 สำหรับการกำหนดคุณสมบัติแรงดึงของโพลีเอทิลีนที่ไม่เสริมแรงและ Geomembrane โพลีโพรพิลีนยืดหยุ่นที่ไม่เสริมแรง

วิธีการทดสอบนี้ไม่ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ครอบคลุมขั้นตอนทางกายภาพที่แม่นยำ อัตราการเคลื่อนที่ของครอสเซคตที่ของการทดสอบนี้ขาดความแม่นยำจากมุมมองทางทฤษฎี อาจมีความแตกต่างอย่างมากระหว่างความเร็วในการเคลื่อนที่ของครอสเซคตและอัตราความเครียดของชิ้นงาน สิ่งนี้บ่งชี้ว่าอัตราการทดสอบที่ระบุอาจจบตึงผลกระทบหรือคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุเหล่านี้ในสถานะพลาสติก นอกจากนี้ยังพบว่า เนื่องจากวิธีการทดสอบนี้อนุญาตการเปลี่ยนแปลงความหนาของชิ้นงานทดสอบทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของชิ้นงานทดสอบดังกล่าว และการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้อาจส่งผลต่อผลการทดสอบ ดังนั้นหากต้องการผลการเปรียบเทียบโดยตรง ตัวอย่างทั้งหมดควรมีความหนาเท่ากัน ควรใช้การทดสอบเพิ่มเติมพิเศษเมื่อต้องการข้อมูลทางกายภาพที่แม่นยำยิ่งขึ้น

ข้อมูลการทดสอบที่ได้จากวิธีการทดสอบนี้เหมาะสำหรับการออกแบบทางวิศวกรรม โดยคำนึงถึงเงื่อนไขการทดสอบเทียบกับเงื่อนไขในการใช้งาน

### 2.1.6 การทดสอบมาตรฐาน ASTM D1004 สำหรับการต้านทานการฉีกขาดเบื้องต้นของฟิล์มพลาสติกและการเคลือบ

การทดสอบ ASTM D1004 ครอบคลุมการกำหนดความต้านทานการฉีกขาดของฟิล์มพลาสติกแบบยืดหยุ่น วิธีการทดสอบนี้ออกแบบมาเพื่อวัดแรงเริ่มต้นการฉีกขาด เราคาดณิตตัวอย่างของวิธีการทดสอบนี้สร้างความเข้มของความเครียดในพื้นที่เล็กๆ ของตัวอย่าง ความเครียดสูงสุด ซึ่งมักจะใกล้เริ่มฉีกขาด จะถูกบันทึกเป็นค่าความต้านทานการฉีกขาดในหน่วยนิวตัน (หรือปอนด์ของแรง) การต้านทานการฉีกขาดจะวัดแรงสูงสุดที่จำเป็นสำหรับการฉีกขาดของฟิล์มหรือแผ่น มักใช้สำหรับการตรวจสอบการควบคุมคุณภาพหรือการเปรียบเทียบวัสดุที่อาจเกิดการฉีกขาดได้ วัดความหนาเฉลี่ยของตัวอย่าง จากนั้นให้วางตัวอย่างลงในด้ามจับของเครื่องทดสอบ ทำการทดสอบจนกระทั่งเกิดการแตกออก ตัวอย่างถูกตัดจากแผ่นที่ตัดเป็นรูปร่างที่เหมาะสม รูปร่างของชิ้นงานทดสอบได้รับการออกแบบมาเพื่อให้เกิดการฉีกขาดเมื่อดึงชิ้นงานทดสอบด้วยความตึง

### 2.1.7 การทดสอบมาตรฐาน ASTM D4833 สำหรับความต้านทานการเจาะดัชนีของเมมเบรนและผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

การทดสอบนี้ใช้ในการประเมินความแรงในการเจาะของวัสดุมีคม เช่น หินและหินที่หลงเหลืออยู่ในดิน การทดสอบนี้มักใช้กับ geotextiles ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร สิ่งทอทางภูมิศาสตร์ใช้ในการก่อสร้างทางหลวงและถนนตลอดจนโครงการถมที่ดิน วัสดุนี้ใช้รักษาแนวกันและป้องกันการชะล้างของดินในช่วงฝนตกหนัก มีความแปรปรวนเล็กน้อยในการทดสอบนี้ ขึ้นอยู่กับว่าโพรบกลมสัมผัสกับเนื้อผ้าตรงจุดใด ด้วยเหตุนี้ ASTM D6241 จึงมักถูกใช้เป็นตัวสำรองและมีการเจาะแบบกลมขนาด 50 มม. ที่กว้างกว่า การทดสอบการเจาะอื่นๆ ที่พยายามระบุคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกันคือการทดสอบการแตกของลูกบอลภายใต้ ASTM D3787 หรือ ASTM D6797 มีสองรายการสำคัญสำหรับขั้นตอนนี้ อย่างแรกคือรูปทรงของการเจาะซึ่งมีขนาด 45 มม. ในมุมเอียง 8 องศาหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของขอบปาก ประการที่สองคือขนาดของรูทะลุในตัวจับกระชับ และการเจาะมีให้ในชุด พวกเขาใช้แฉับเตอร์มาตรฐาน 1,25" หรือ 5/8" เพื่อต่อเข้ากับด้านบนและด้านล่างของเครื่องทดสอบ ผู้ใช้ต้องระบุความจุที่เพียงพอล่วงหน้าเพื่อให้ผู้ทดสอบสามารถเจาะได้เต็มที่และคำนวณได้อย่างเหมาะสม มีการคำนวณหลายอย่างที่ใช้กันทั่วไปในการทดสอบการเจาะส่วนใหญ่ ซึ่งรวมถึงความแรงของการเจาะเฉลี่ย ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของโหนดสูงสุดในตัวอย่างหลายๆ ตัวอย่างที่เป็นประเภทเดียวกัน เนื่องจากผ้าไม่เรียบตามความแข็งในการทอ จึงควรหาค่าเฉลี่ย การคำนวณอื่นๆ จะเน้นที่ความแปรปรวนและความเบี่ยงเบนระหว่างการทดสอบ

### 2.1.8 การทดสอบมาตรฐาน ASTM D5321 สำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของดินและธรณีสัณฐานที่โดยวิธีเฉือนโดยตรง

การทดสอบนี้ครอบคลุมถึงขั้นตอนในการหาค่าความต้านทานแรงเฉือนของวัสดุสังเคราะห์ธรณีต่อดิน สารสังเคราะห์ชนิดอื่น หรือส่วนผสมของดินและสารสังเคราะห์ธรณี วิธีการทดสอบมีจุดประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของตัวอย่างที่เลือกโดยพยายามสร้างแบบจำลองเงื่อนไขของไซต์เฉพาะ วิธีการทดสอบใช้ได้กับการสังเคราะห์ธรณีทั้งหมด สามารถใช้ตัวอย่างดินที่หล่อใหม่หรือไม่บอบสลายในเครื่องทดสอบได้ วิธีการทดสอบไม่เหมาะสำหรับการพัฒนาความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียดภายในชิ้นงานทดสอบ เนื่องจากการกระจายแรงเฉือนและการกระจัดที่ไม่สม่ำเสมอ

### 2.1.9 น้ำชะขยะ

น้ำชะมูลฝอย (Leachate) หมายถึง ของเหลวที่ไหลซึมออกมาจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย ที่เกิดจากความชื้นของมูลฝอยหรือน้ำฝนที่สัมผัสกับมูลฝอยแล้วเกิดการไหลชะล้าง และซึมออกมาตามแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งอาจมีตะกอนละเอียดปะปนมาด้วย น้ำชะมูลฝอยมักมีความสกปรกสูง บางครั้งอาจปนเปื้อนโลหะหนักและสารที่เป็นพิษที่มีอยู่ในมูลฝอยทั่วไป หากมีการระบายออกโดยไม่ได้รับการบำบัดให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนด

ไว้ อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนต่อดิน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน ซึ่งพืชและสัตว์อาจเกิดการสะสมสารพิษเหล่านี้หากมีการบริโภคเข้าไป ดังนั้นน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในบ่อฝังกลบมูลฝอยจำเป็นต้องมีการรวบรวมเพื่อนำไปบำบัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการและให้น้ำทิ้งเป็นไปตามมาตรฐาน เพื่อป้องกันมิให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชนโดยทั่วไป น้ำชะมูลฝอยที่ไหลซึมจากกองมูลฝอยมักมีสีน้ำตาล สีน้ำตาลเข้มถึงสีดำ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของมูลฝอย ปริมาณน้ำฝนที่ช่วยเจือจาง และระยะเวลาในการย่อยสลาย มีกลิ่นเหม็นรุนแรง บางครั้งอาจมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวเนื่องจากการหมักแบบไม่ใช้ออกาสร่วมด้วย



รูปที่ 2.3 น้ำชะขยะ

(ที่มา : <http://waste.onep.go.th/projectdetail.php?id=1>)



รูปที่ 2.4 แผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บ่งน้ำที่นำมาป้อนน้ำชะขยะ

(ที่มา : <https://hmong.in.th/wiki/Leachate>)

### 2.1.10 ลักษณะของน้ำชะขยะ

หลุมฝังกลบในช่วง 5 ปีแรกจะอยู่ในสภาวะเป็นกรดและน้ำชะขยะที่เกิดขึ้นจะเป็นน้ำชะขยะแบบอายุน้อย หรือมีคาร์บอนเป็นหลักเนื่องจากมีปริมาณของสารอินทรีย์คาร์บอนอยู่ในปริมาณสูง สำหรับหลุมฝังกลบที่มีอายุมากกว่า 10 ปีขึ้นไปจะเปลี่ยนไปอยู่ในสภาวะที่มีก๊าซมีเทนและน้ำชะขยะที่เกิดขึ้นจะเป็นน้ำชะขยะแบบอายุมาก หรือมีไนโตรเจนเป็นหลัก

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของน้ำชะขยะในระยะของการเกิดกรดและระยะการเกิดก๊าซมีเทนในหลุมฝังกลบ  
(ที่มา : Ehrig, 1998)

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าเฉลี่ย	ช่วง
ระยะการเกิดกรด			
pH		6.1	4.5 ถึง 7.5
BOD <sub>5</sub>	mg/L	13,000	4,000 ถึง 40,000
COD	mg/L	22,000	6000 ถึง 60,000
BOD <sub>5</sub> /COD	-	0.58	-
SO <sub>4</sub>	mg/L	500	70 ถึง 1,750
Ca	mg/L	1,200	10 ถึง 2,500
Mg	mg/L	470	50 ถึง 1,150
Fe	mg/L	780	20 ถึง 2,100
Mn	mg/L	25	0.3 ถึง 65
Zn	mg/L	5	0.1 ถึง 120
ระยะการเกิดก๊าซมีเทน			
pH		8	7.5 ถึง 9
BOD <sub>5</sub>	mg/L	180	20 ถึง 550
COD	mg/L	3,000	500 ถึง 4,500
BOD <sub>5</sub> /COD	-	0.06	-
SO <sub>4</sub>	mg/L	80	10 ถึง 420
Ca	mg/L	60	20 ถึง 600
Mg	mg/L	180	40 ถึง 350
Fe	mg/L	15	3 ถึง 280
Mn	mg/L	0.7	0.03 ถึง 45
Zn	mg/L	0.6	0.03 ถึง 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.11 ลักษณะของน้ำเสียจากกิจกรรมซักกรีต

Nemerow ได้อ้างถึงการศึกษาของ Rudolfs ในปี ค.ศ. 1953 ซึ่งทำการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะของน้ำเสียจากกิจกรรมซักกรีต ระหว่างกิจกรรมซักกรีตของธุรกิจซักกรีตและการซักกรีตของชุมชน

ตารางที่ 2.3 ลักษณะของน้ำเสียจากกิจกรรมซักกรีตในธุรกิจการซักกรีตและซักกรีตในชุมชน  
(ที่มา : Nemerow, 1978)

ตัวแปรคุณภาพน้ำ	ธุรกิจซักกรีตขนาดใหญ่	ซักกรีตในชุมชน
pH	10.3	8.1
Total alkalinity, ppm	511	678
Total Solids, ppm	2,114	3,314
Volatile solids, ppm	1,538	2,515
BOD <sub>5</sub> , ppm	1,860	3,813
Grease, ppm	554	1,406

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 Ageing of HDPE geomembrane exposed to air, water and leachate at different temperatures (R.K. Rowe, S. Rimal, H. Sangam, 2008)

งานวิจัยนี้เกี่ยวกับประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บีนน้ำ (Geomembrane) ในระยะยาว ซึ่งมีการทดสอบตามเงื่อนไข โดยให้ตัวอย่างการทดสอบสัมผัสกับอากาศ น้ำ และน้ำชะขยะ ซึ่งมีผลต่อสารต้านอนุมูลอิสระ และการเปลี่ยนแปลงกายภาพและทางกล อีกทั้งยังมีประเด็นสำคัญคือ การคาดการณ์ของอายุการใช้งานของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บีนน้ำ ด้วยการแช่น้ำชะขยะและกำหนดอุณหภูมิการฝังกลบเพื่อคาดการณ์อายุการใช้งาน จากงานวิจัยพบว่า พบการเพิ่มขึ้นของรอยเสียหายจากการแช่ตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงอย่างมีนัยสำคัญในช่วงเวลา 9 ปี การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแสดงให้เห็นต่อผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บีนน้ำ

### 2.2.2 Experimental investigations and constitutive modeling of cyclic interface shearing between HDPE geomembrane and gravel (W.J. Cen, E. Bauer, L.S. Wen, H. Wang, Y.J. Sun, 2019)

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อเสนอผลตรวจสอบและการสร้างแบบจำลองของ Interface แบบวนรอบระหว่างแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บีนน้ำ HDPE และเพื่อตรวจสอบพฤติกรรมการเชื่อมต่อระหว่าง HDPE แผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บีนน้ำและกรวดทราย จากผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าเส้นทางของความเค้นเฉือนกับแรงเฉือนแบบวนรอบการกระจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นไม่เป็นเส้นตรงอย่างมากและก่อตัวเป็นวงฮิสเทรีซิสแบบปิด หลังจากรอบเฉือนซ้ำ ทดสอบภายใต้ความเครียดที่แตกต่างกัน เช่น 50 kPa, 100 kPa และ 200 kPa และแอมพลิจูดการเคลื่อนที่เฉือนใน ช่วง 0.1-2.0 มม. ไม่มีความเสียหายที่ชัดเจนปรากฏบนแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บ้น้ำ ภายใน 10 รอบเฉือนไม่มีการย่อยสลายที่ชัดเจน มีการสังเกตความต้านทานแรงเฉือนที่เกิดขึ้นได้ รูปฮิสเทรีซิสคือขึ้นอยู่กับความดัน แต่ไม่ขึ้นอยู่กับอัตราการเฉือน มุมเสียดทานของอินเทอร์เฟซที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มที่จะเป็นค่าคงที่ซึ่งเกือบจะเป็นอิสระจากความดัน

### 2.2.3 Interface Shear Damage to a HDPE Geomembrane II : Gravel Drainage Layer

(Patrick J. Fox, M.ASCE and Stuart S. Thielmann, 2014)

งานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาความเสียหายของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บ้น้ำจากแรงเฉือนของชั้นระบายน้ำกรวด ด้วยการทำการจำลองแรงเฉือนด้วยการทดสอบ Large-scale direct shear ความเสียหายมากที่สุดเกิดขึ้นจากความเค้น 1389 kPa ด้วยมีขนาดรูจากความเสียหายมากที่สุด 29 mm และเกิดแรงเฉือนบนชั้นระบายน้ำกรวด และแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บ้น้ำแบบไม่ถักทอและอยู่เหนือแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บ้น้ำ ภายใต้ระดับความดันปานกลางอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บ้น้ำได้มากกว่าความดันสถิตเพียงอย่างเดียว

### 2.2.4 Effect of leachate composition on the long-term performance of a HDPE

geomembrane (Fady B. Abdelaal, R. Kerry Rowe, M. Zahirul Islam, 2014)

งานวิจัยฉบับนี้ศึกษาและติดตามผลการทดสอบอย่างต่อเนื่อง ประมาณการเบื้องต้นสำหรับสารต้านอนุมูลอิสระ และตรวจสอบผลของสารชะล้าง รวมถึงองค์ประกอบต่างๆที่ทำการทดสอบ และการเปลี่ยนแปลงเชิงกายภาพของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บ้น้ำ จะได้องค์ประกอบในสารชะล้างซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลมากที่สุดคือเกลือ โดยเฉพาะคุณสมบัติดังกล่าวคือ ความต้านทานการแตกร้าวของความเครียด ซึ่งส่งผลทำให้อายุการใช้งานของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บ้น้ำลดลงเมื่อเทียบกับสารชะล้างที่ไม่มีเกลือผสมอยู่

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 บทนำ

การนำแผ่นยางคอมปาวด์ไปใช้งานนั้น จะต้องทำการทดสอบเพื่อพิจารณาถึงความสามารถของวัสดุที่จะนำมาใช้งานจริง โดยในการศึกษาในครั้งนี้จะทำการแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ช่วงเวลาได้แก่ 0 วัน 90 วัน และ 180 วัน ซึ่งจะนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับเงื่อนไข ดังนี้ ทดสอบในอากาศ แชนในน้ำ กรด ( $\text{HNO}_3$ ) ที่มีค่า pH=5.5 และเบส (ผงซักฟอก) ที่มีค่า pH=11 ซึ่งการทดสอบดังกล่าวจะต้องนำตัวอย่างไปทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบแผ่นยางคอมปาวด์ มีทั้งหมด 5 การทดสอบ แสดงในตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดสอบ (Conditions Test) พร้อมจำนวนตัวอย่างการทดสอบ

#### 3.2 เงื่อนไขการทดสอบ

ตารางที่ 3.1 ตารางเงื่อนไขการทดสอบ

จำนวน วิธีการทดสอบ	อากาศ			น้ำ			กรด			เบส		
	เริ่มต้น	90 วัน	180 วัน	เริ่มต้น	90 วัน	180 วัน	เริ่มต้น	90 วัน	180 วัน	เริ่มต้น	90 วัน	180 วัน
1. การทดสอบ การวัดความหนา ของแผ่นยางคอม ปาวด์ (Thickness Test)	15	15	15	-	15	15	-	15	15	-	15	-
2. การทดสอบ กำลังรับแรงดึง ของแผ่นยางคอม ปาวด์ (Tensile Strength Test)	3	3	3	-	3	3	-	3	3	-	3	-

จำนวน วิธีการทดสอบ	อากาศ			น้ำ			กรด			เบส		
	เริ่มต้น	90 วัน	180 วัน	เริ่มต้น	90 วัน	180 วัน	0 วัน	90 วัน	180 วัน	เริ่มต้น	90 วัน	180 วัน
3. การทดสอบ ความต้านทานการ ฉีกขาดของแผ่น ยางคอมปาวด์ (Tear Resistance Test)	3	3	3	-	3	3	-	3	3	-	3	-
4. การทดสอบ ความต้านทานการ เขี้ยวทะลุของแผ่น ยางคอมปาวด์ (Index Puncture Strength Test)	3	3	3	-	3	3	-	3	3	-	3	-
5. การทดสอบ กำลังรับแรงเฉือน ของแผ่นยางคอม ปาวด์ (Large Scale direct shear Test)	6	6	6	-	6	6	-	6	6	-	6	-

\*หมายเหตุ เริ่มทดสอบวันที่ 24 กันยายน 2565

90 วัน ครบกำหนดวันที่ 24 ธันวาคม 2565

180 วัน ครบกำหนด วันที่ 24 มีนาคม 2566

### 3.3 คำอธิบายสัญลักษณ์ของตัวอย่างทดสอบ

จากการทดสอบแต่ละเงื่อนไขในการทดสอบ จะใช้สัญลักษณ์ติดระบุบนตัวอย่างเพื่อใช้แยกตัวอย่างทดสอบตามแต่ละเงื่อนไขการทดสอบ โดยมีสัญลักษณ์ระบุดังนี้

สารที่แช่-จำนวนวัน-ลำดับที่ของตัวอย่างทดสอบ-ชื่อการทดสอบ ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สัญลักษณ์ของตัวอย่างทดสอบ

จากรูปที่ 3.1 มีรหัสสัญลักษณ์ A-90-2-TS หมายความว่า ตัวอย่างทดสอบในอากาศ ทำการทดสอบที่ระยะเวลาผ่านไป 90 วัน ตัวอย่างที่ 2 ทดสอบการหากำลังการรับแรงดึง

### 3.4 การเตรียมสารที่ใช้ในการทดสอบ

ในการเตรียมสารที่ใช้ในการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นยางคอมปาวด์ในแต่ละเงื่อนไขของสารที่ใช้ทดสอบต่างๆ โดยจะทำการทดสอบในอากาศ น้ำ กรด และเบส โดยกรดที่ใช้เป็นกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) มีค่า  $\text{pH}=5.5$  และเบสที่ใช้เป็นผงซักฟอก มีค่า  $\text{pH}=11$  โดยทำการทดสอบในอากาศและน้ำเพื่อจำลองในสภาวะทั่วไป และการทดสอบในกรดและเบสเพื่อจำลองการกักเก็บน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยแช่ตัวอย่างทดสอบดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างทดสอบในอากาศ



รูปที่ 3.3 การแช่ตัวอย่างทดสอบในน้ำ



รูปที่ 3.4 การแช่ตัวอย่างทดสอบในกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ )



รูปที่ 3.5 การแช่ตัวอย่างทดสอบในเบส (ผงซักฟอก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การทดสอบการวัดความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ (Thickness Test)

อ้างอิง : ASTM D5199

#### วัตถุประสงค์

- เพื่อหาความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์

#### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องวัดความหนาวัสดุ



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดความหนา

#### 3.5.1 ขั้นตอนการทดสอบการวัดความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์

1. นำตัวอย่างทดสอบแต่ละตัวอย่างมาใส่ในเครื่องวัดความหนาวัสดุ
2. ทำการวัดความหนาของตัวอย่างทดสอบแต่ละตัวอย่าง



รูปที่ 3.7 การทดสอบค่าความหนาแผ่นยางคอมปาวด์

3. จดบันทึกค่าความหนาของตัวอย่างทดสอบแต่ละตัวอย่าง

### 3.6 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางคอมปาวด์ (Tensile Strength Test)

อ้างอิง : ASTM D6693

#### วัตถุประสงค์

- เพื่อหาค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดของแผ่นยางคอมปาวด์
- เพื่อหาค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของแผ่นยางคอมปาวด์

#### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล (Universal Testing Machine) สามารถวัดระยะยืดหด (Stroke) ติดตั้งหัวจับสำหรับทดสอบวัสดุเป็นแผ่นตั้งตรง (Jaw)
2. อุปกรณ์การตัดตัวอย่าง เช่น กรรไกร, มีดคัตเตอร์
3. เทปกาว
4. ปากกาเคมี



รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง

#### 3.6.1 ขั้นตอนการทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางคอมปาวด์

1. ตัดตัวอย่างการทดสอบตามมาตรฐานด้วยใช้อุปกรณ์การตัดตามขนาดที่ร่างไว้ในแผ่นยางคอมปาวด์ขนาดใหญ่



รูปที่ 3.9 วัดและตัดตามมาตรฐานการทดสอบแผ่นยางคอมปาวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตัดแผ่นยางคอมปาวด์ให้มีขนาด  $4.5 \times 0.75$  นิ้ว จำนวน 21 แผ่น
3. ตัดแผ่นยางคอมปาวด์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ตามมาตรฐาน ASTM D6693 ดังรูป



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D6693

4. กำหนดสัญลักษณ์ของแผ่นยางสังเคราะห์โดยใช้ปากกาเขียนลงบนเทปที่แปะบนตัวอย่างโดยระบุเงื่อนไขการทดสอบ, ระยะเวลาการทดสอบ ลำดับของตัวอย่างการทดสอบและชื่อการทดสอบ
5. ใช้เทปกาวพันบริเวณปลายทั้งสองด้านของตัวอย่างการทดสอบโดยวัดระยะ Gauge length คือ 4.5 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM D6693



รูปที่ 3.11 วัดระยะแล้วพันเทปกาวจากปลายทั้งสองด้านของแผ่นยางคอมปาวด์

6. ตั้งค่าอุปกรณ์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางคอมปาวด์ โดยกำหนดความเร็วของเครื่องทดสอบในการเคลื่อนตัวของหัวจับ 10 มิลลิเมตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7. สังเกตการทดสอบจนกว่าแผ่นยางคอมปาวด์จะถึงจุดวิบัติ หรือจุดขาด



รูปที่ 3.12 สังเกตการทดสอบจนกว่าแผ่นยางคอมปาวด์จะถึงจุดวิบัติ

8. บันทึกค่าจากเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อนำมาวิเคราะห์กำลังรับแรงดึงสูงสุดและค่าการยืดตัว ณ จุดขาด จากนั้นหาค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดึงสูงสุดและค่าการยืดตัว ณ จุดขาด

9. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวอย่างการทดสอบแต่ละเงื่อนไขการทดสอบ

### 3.7 การทดสอบความต้านทานการฉีกขาดของแผ่นยางคอมปาวด์ (Tear Resistance Test)

อ้างอิง : ASTM D1004

#### วัตถุประสงค์

- เพื่อหาความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงสุดของแผ่นยางคอมปาวด์

#### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล (Universal Testing Machine) สามารถวัดระยะยืดหด (Stroke) ติดตั้งหัวจับสำหรับทดสอบวัสดุเป็นแผ่นตั้งตรง (Jaw)
2. อุปกรณ์การตัดตัวอย่าง เช่น กรรไกร มีดคัตเตอร์
3. เทปกาว
4. ปากกาเคมี



รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบความต้านทานการฉีกขาด

### 3.7.1 ขั้นตอนการทดสอบแผ่นยางคอมปาวด์สำหรับทดสอบความต้านทานการฉีกขาด

1. ตัดแผ่นยางคอมปาวด์ให้มีขนาด  $4.5 \times 0.75$  นิ้ว จำนวน 21 แผ่น
2. ตัดแผ่นยางคอมปาวด์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ตามมาตรฐาน ASTM D1004 ดังรูป



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1004

3. กำหนดสัญลักษณ์ของแผ่นยางคอมปาวด์โดยใช้ปากกาเขียนลงบนเทปที่แปะบนตัวอย่างโดยระบุเงื่อนไขการทดสอบ, ระยะเวลาการทดสอบ, ลำดับของตัวอย่างการทดสอบและชื่อการทดสอบ
4. ใช้เทปกาวพันบริเวณปลายทั้งสองด้านของตัวอย่างการทดสอบโดยวัดตามมาตรฐาน ASTM D1004
5. นำตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างมาติดตั้งบริเวณหัวจับ ด้วยระยะ Gauge length เท่ากับ 2.5 เซนติเมตร
6. เริ่มเดินเครื่องทดสอบ โดยกำหนดให้ดึงด้วยอัตราเร็ว 10 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ 3.15 นำตัวอย่างมาทดสอบด้วยยึดกับตัวเครื่องทดสอบ

7. บันทึกค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงสุดจากนั้นหาค่าเฉลี่ยค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงสุด
8. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวอย่างการทดสอบแต่ละเงื่อนไขการทดสอบ

### 3.8 การทดสอบความต้านทานการฉีกขาดของแผ่นยางคอมปาวด์ (Index Puncture Resistance Test)

อ้างอิง : ASTM D4833

#### วัตถุประสงค์

- เพื่อหาความต้านทานการฉีกขาดสูงสุดของแผ่นยางคอมปาวด์

#### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ชุดอุปกรณ์ทดสอบการฉีกขาด (Geotextile Puncture Testing)
3. อุปกรณ์การตัดตัวอย่าง เช่น กรรไกร, มีดคัตเตอร์
3. เทปขาว
4. ปากกาเคมี



รูปที่ 3.16 เครื่องทดสอบความต้านทานการฉีกของเยื่อกระดาษ

### 3.8.1 ขั้นตอนการทดสอบแผ่นยางคอมปาวด์สำหรับทดสอบความต้านทานการฉีกของเยื่อกระดาษ

1. ตัดแผ่นยางคอมปาวด์ให้มีขนาด ขนาด 25x25 เซนติเมตร จำนวน 21 แผ่น ดังรูป



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D4833

2. กำหนดสัญลักษณ์ของแผ่นยางคอมปาวด์โดยใช้ปากกาเขียนลงบนเทปที่แปะบนตัวอย่างโดยระบุเงื่อนไขการทดสอบ, ระยะเวลาการทดสอบ, ลำดับของตัวอย่างการทดสอบและชื่อการทดสอบ
3. ทำการเจาะรูแผ่นยางคอมปาวด์ให้เป็นรูโดยมีขนาดและตำแหน่งของรูตามอุปกรณ์การทดสอบเพื่อที่จะได้นำตัวอย่างทดสอบไปใส่ในอุปกรณ์ทดสอบได้



รูปที่ 3.18 ทำการเจาะรูตัวอย่างการทดสอบ

4. นำตัวอย่างแผ่นยางคอมปาวด์ไปติดตั้งบนอุปกรณ์การทดสอบ โดยทำการนำแผ่นยางประกบกับอุปกรณ์ทดสอบและขันให้แน่น ซึ่งสังเกตได้จากความตึงของตัวอย่างแผ่นยางคอมปาวด์



รูปที่ 3.19 ประกบแผ่นยางคอมปาวด์กับชุดอุปกรณ์

5. นำอุปกรณ์และแผ่นยางที่ติดตั้งแล้ววางบนแท่งทดสอบ
6. นำหัวกดจากเครื่องทดสอบเลื่อนลงมาชิดกับผิวแผ่นยางคอมปาวด์



รูปที่ 3.20 นำหัวกดจากเครื่องทดสอบเลื่อนลงมาชิดกับผิวแผ่นยางคอมปาวด์

7. ตั้งค่าเครื่องทดสอบโดยตั้งค่าพารามิเตอร์ คือ น้ำหนักที่กระทำ (Load) kN และความเครียด (Strain) ซึ่งจะต้องมีค่าเริ่มต้น 0 kN, 0



รูปที่ 3.21 ตั้งค่าความเร็วเครื่องทดสอบก่อนการทดสอบ

8. ตั้งค่าความเร็วเครื่องทดสอบคือ 70 มิลลิเมตรต่อนาที
9. ดำเนินการทดสอบโดยกดปุ่มเริ่มทดสอบของเครื่องทดสอบ
10. บันทึกค่าที่ต้องการสูงสุดของแต่ละตัวอย่างทดสอบ
11. หาค่าเฉลี่ยของตัวอย่างการทดสอบจากเงื่อนไขต่างๆและเปรียบเทียบค่า

### 3.9 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของแผ่นยางคอมปาวด์ (Large Scale Direct Shear Test)

อ้างอิง : ASTM D5321

#### วัตถุประสงค์

- เพื่อหาแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบนแผ่นยางคอมปาวด์
- เพื่อดูความเสียหายที่เกิดกับแผ่นยางคอมปาวด์เนื่องจากแรงเฉือน

#### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องทดสอบแรงเฉือนโดยตรงขนาดใหญ่ (Large-scale DS device)
2. อุปกรณ์การตัดตัวอย่าง เช่น กรรไกร, มีดคัตเตอร์
3. เทปกาว
4. ปากกาเคมี



รูปที่ 3.22 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงเฉือน

#### 3.9.1 ขั้นตอนการทดสอบแผ่นยางคอมปาวด์สำหรับทดสอบกำลังรับแรงเฉือน

1. ตัดแผ่นยางคอมปาวด์ให้มีขนาด 30x30 เซนติเมตร จำนวน 42 แผ่น ดังรูป



รูปที่ 3.23 ตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5321

2. กำหนดสัญลักษณ์ของแผ่นยางคอมปาวด์โดยใช้ปากกาเขียนลงบนเทปที่แปะบนตัวอย่างโดยระบุเงื่อนไขการทดสอบ, ระยะเวลาการทดสอบ, ลำดับของตัวอย่างการทดสอบและชื่อการทดสอบ
3. นำตัวอย่างการทดสอบมาติดตั้งบนเครื่องทดสอบเครื่องทดสอบแรงเหวี่ยงโดยตรงขนาดใหญ่ (Large-scale DS device)



รูปที่ 3.24 บรรจุตัวอย่างทดสอบเข้าในเครื่องทดสอบ

4. ติดตั้งแผ่นตัวอย่างทดสอบลงในกล่องอุปกรณ์การทดสอบโดยมีอยู่ทั้งหมด 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นล่างสุดเป็นหินคลุกเบอร์ 2 ชั้นกลางเป็นแผ่นยางสังเคราะห์ที่ใช้ทดสอบ ชั้นบนสุดเป็นหินคลุกเบอร์ 2 โดยบรรจุหินคลุกและใช้น้ำหนักหินคลุกที่ 11.80 กิโลกรัม ชั้นล่างใช้น้ำหนัก 10.55 กิโลกรัม ซึ่งจะเท่ากับปริมาตรของกล่องอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 3.25 นำหินคลุกมาเททับบริเวณแผ่นยางคอมปาวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำกล่องทดสอบเข้าไปติดตั้งในเครื่องทดสอบ จากนั้นนำแท่งกดตัวอย่างในแนวตั้งให้ลงรูของกล่องตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 3.26 ปล่อยหัวกดลงไปในกลุ่มเงื่อนไข

6. ตั้งค่าอุปกรณ์โดยให้แรงดันจากเครื่องทดสอบ 3 แรงดัน ได้แก่ 150 kPa, 300 kPa และ 600 kPa



รูปที่ 3.27 ตั้งค่าแรงดันตามมาตรฐานที่กำหนด

7. ตั้งค่าความเร็วเครื่องที่ 1 มิลลิเมตรต่อนาที
8. กดปุ่มเริ่มการทำงานของเครื่อง
9. หลังจากทำการทดลองเสร็จแล้ว นำแผ่นยางออกจากเครื่องทดสอบเพื่อตรวจสอบความเสียหายของแผ่นทดสอบเนื่องจากแรงเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

#### 4.1 บทนำ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของยางคอมปาวด์เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้าง โดยการศึกษาปัจจัยต่างๆรวมถึงเงื่อนไขเกี่ยวกับการนำไปใช้งานจริงด้วย แสงกรด  $\text{HNO}_3$  ที่มีค่า pH=5.5 ผงซักฟอก (Detergent) ที่มีค่า pH=11 อากาศ และน้ำ จากนั้นนำยางคอมปาวด์ที่ได้จากการแช่สารในเงื่อนไขต่างๆ มาทดสอบตามมาตรฐานของการทดสอบแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่บดน้ำ (Geomembrane) ซึ่งจำเป็นต้องทดสอบแผ่นยางคอมปาวด์ตามเงื่อนไขเพื่อที่จะเปรียบเทียบคุณสมบัติและประสิทธิภาพ เพื่อเลือกใช้งานได้ในอนาคต

#### 4.2 ผลการทดสอบการวัดความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์

ในการทดสอบการวัดความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์นั้น ทำให้ทราบค่าความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ ในแต่ละช่วงเวลา คือ 0 วัน 90 วัน และ 180 วัน อีกทั้งยังเปลี่ยนจากเงื่อนไขเพิ่มเติมคือ การแช่กรด  $\text{HNO}_3$  ผงซักฟอก (Detergent) อากาศ และน้ำ โดยการทดสอบตัวอย่างนั้นทำการวัดความหนาแล้วนำไปทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบต่อไป

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์

ระยะเวลา	ความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ (มิลลิเมตร)		
	เริ่มต้น 0 วัน	90 วัน	180 วัน
เงื่อนไข			
อากาศ	4.648	4.649	4.650
น้ำ		4.657	4.693
กรด $\text{HNO}_3$ (pH= 5.5)		4.677	4.745
ผงซักฟอก (pH=11)		4.650	-

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงการเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์

เงื่อนไข	ระยะเวลา	การเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ (มิลลิเมตร)		
		0 วัน	90 วัน	180 วัน
อากาศ	0		0.001	0.002
น้ำ			0.009	0.045
กรด HNO <sub>3</sub> (pH=5.5)			0.029	0.097
ผงซักฟอก (pH=11)			0.002	-

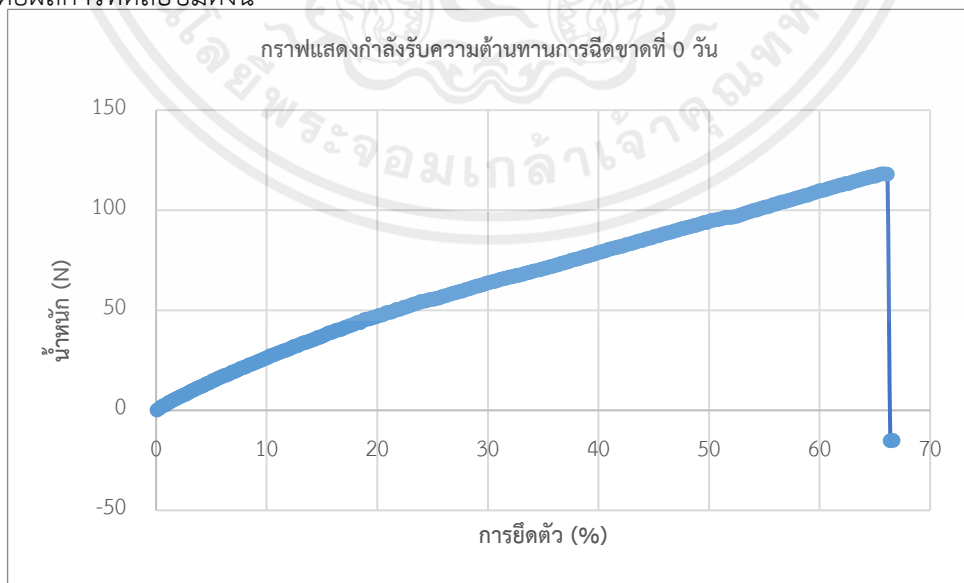
**หมายเหตุ** การเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ คือ ผลต่างของความหนาหลังแช่กรด HNO<sub>3</sub> น้ำ ผงซักฟอกและอากาศ โดยกำหนด ผลต่างมีทั้งค่าบวกและค่าลบ

**ค่าบวก** หมายถึง ยางคอมปาวด์มีการขยายตัว **ค่าลบ** หมายถึง ยางคอมปาวด์มีการหดตัว

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ที่เพิ่มขึ้นจาก 0 วัน ถึง 180 วัน มีค่าการเปลี่ยนแปลงความหนามากที่สุดคือตัวอย่างการทดสอบที่แช่ในกรด HNO<sub>3</sub>

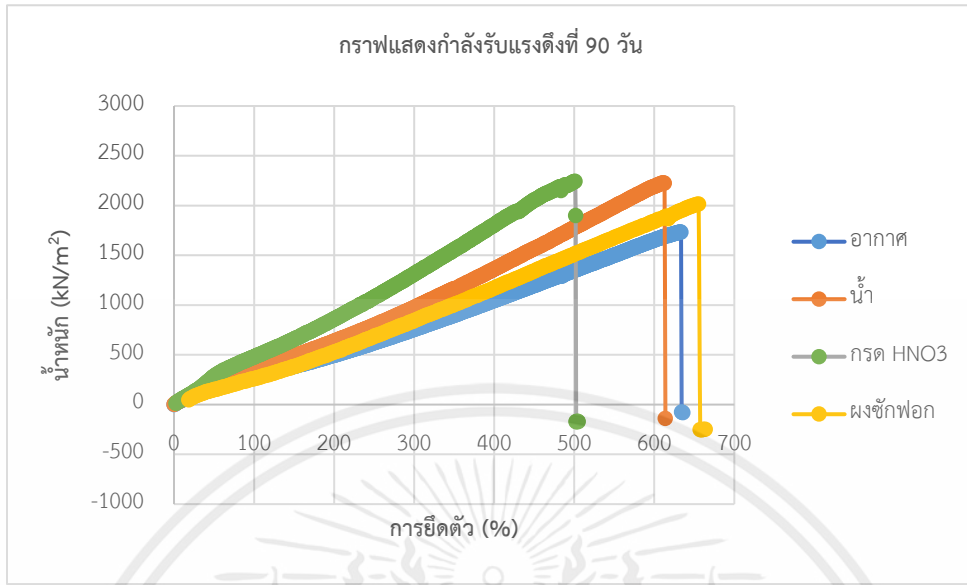
#### 4.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางคอมปาวด์

ในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับแรงดึงของยางคอมปาวด์ โดยการทดสอบนี้จะทำให้ทราบค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดของแต่ละเงื่อนไข จะทดสอบทั้งหมด 3 ตัวอย่าง นอกจากนั้นต้องศึกษาความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงดึงกับระยะเวลาของกรด HNO<sub>3</sub> ผงซักฟอก อากาศ และน้ำ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของยางคอมปาวด์ โดยผลการทดสอบมีดังนี้

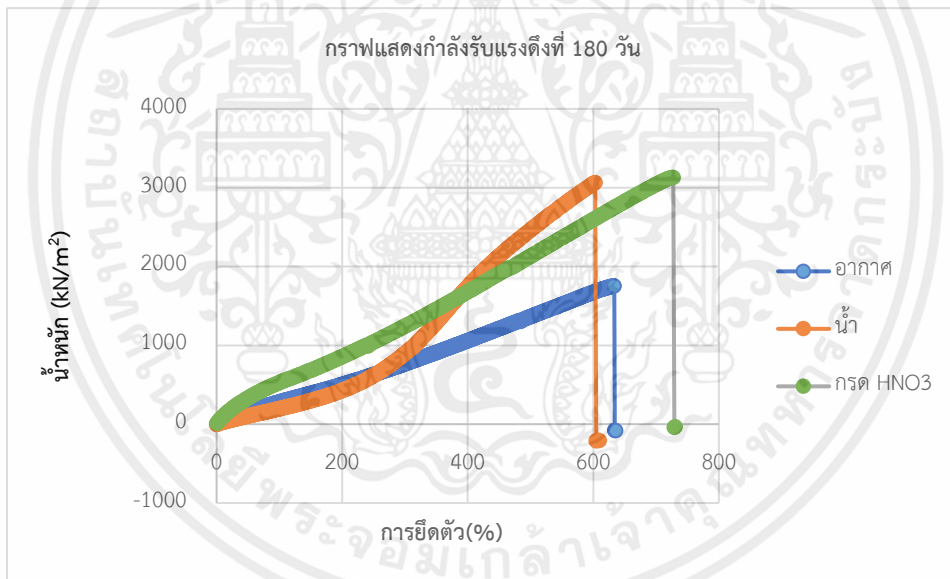


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักในการทดสอบและการยืดตัวที่ 0 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักในการทดสอบและการยืดตัวที่ 90 วัน

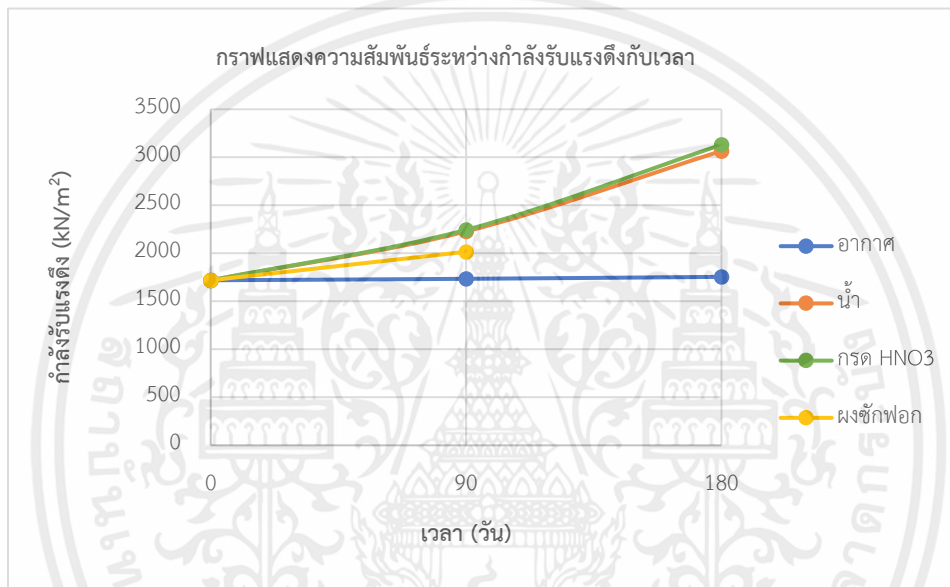


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักในการทดสอบและการยืดตัวที่ 180 วัน

จากรูปที่ 4.1 รูปที่ 4.2 และ 4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึง และการยืดตัว (%) ซึ่งจากกราฟแสดงถึงพฤติกรรมในการรับกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางคอมปาวด์ ที่ 0 วัน 90 วัน และ 180 วัน

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางคอมปาวด์

เงื่อนไข	ระยะเวลา		
	0 วัน	90 วัน	180 วัน
อากาศ	1719.23	1734.25	1754.78
น้ำ		2227.64	3065.74
HNO <sub>3</sub> (pH=5.5)		2244.27	3130.53
ผงซักฟอก (pH=11)		2015.96	-

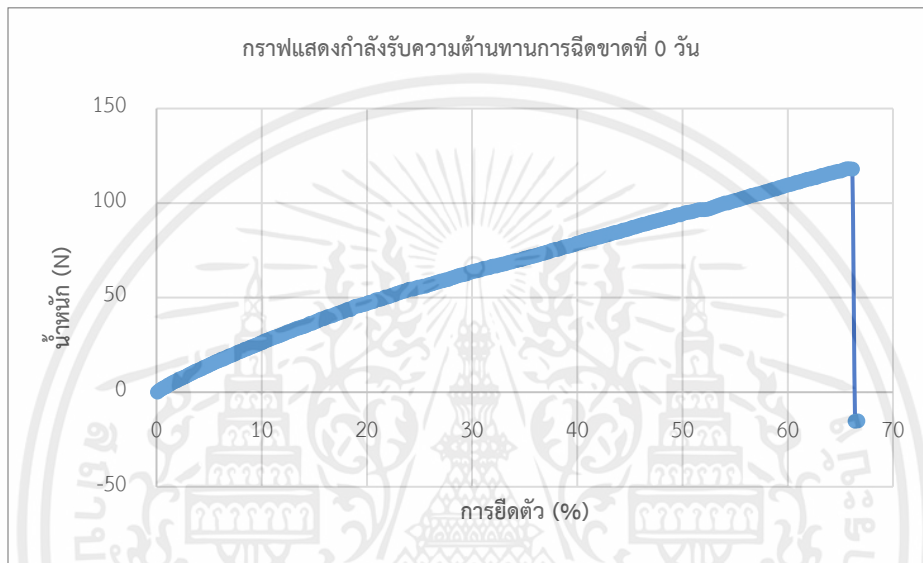


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับเวลา

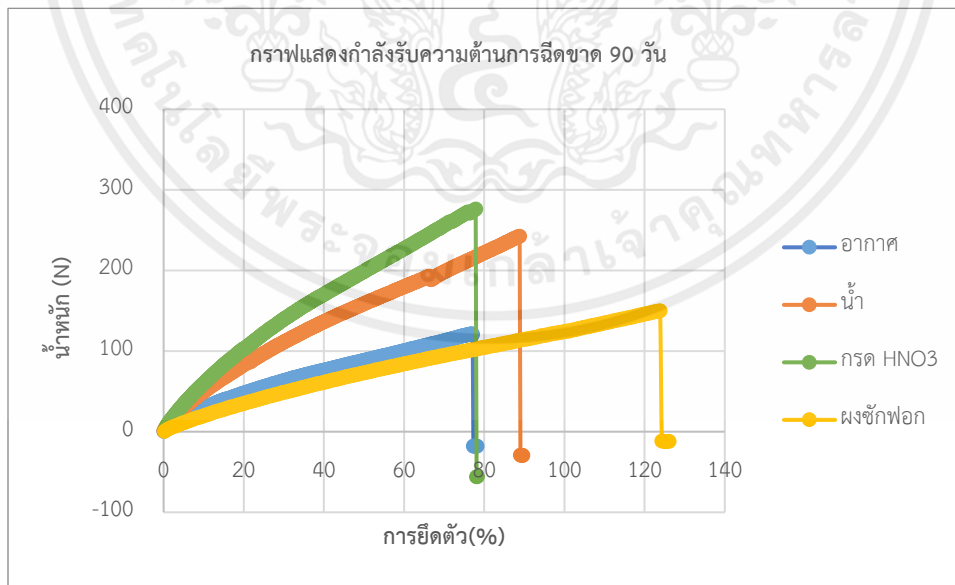
จากรูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับเวลาในการทดสอบ ซึ่งพบว่าตัวอย่างที่แช่ในอากาศมีค่ากำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ตัวอย่างที่แช่ในกรด HNO<sub>3</sub> น้ำ ผงซักฟอก มีค่ากำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนาที่เพิ่มขึ้นจากผลการทดสอบวัดความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ ดังตารางที่ 4.1 ฉะนั้นความหนาที่เพิ่มขึ้นจากการแช่กรด น้ำ และ ผงซักฟอก มีผลต่อกำลังรับแรงดึงที่เพิ่มขึ้น

#### 4.4 ผลการทดสอบความต้านทานการฉีกขาดของแผ่นยางคอมปาวด์

ในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาความต้านทานการฉีกขาดของยางคอมปาวด์ โดยการทดสอบนี้จะทำให้ทราบค่าความต้านทานการฉีกขาดสูงสุด เนื่องจากต้องศึกษาความสัมพันธ์ของความต้านทานการฉีกขาดกับระยะเวลาของกรด  $\text{HNO}_3$  ผงซักฟอก(Detergent) อากาศ และน้ำ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของยางคอมปาวด์ โดยผลการทดสอบมีดังนี้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักในการทดสอบและการฉีกตัวที่ 0 วัน



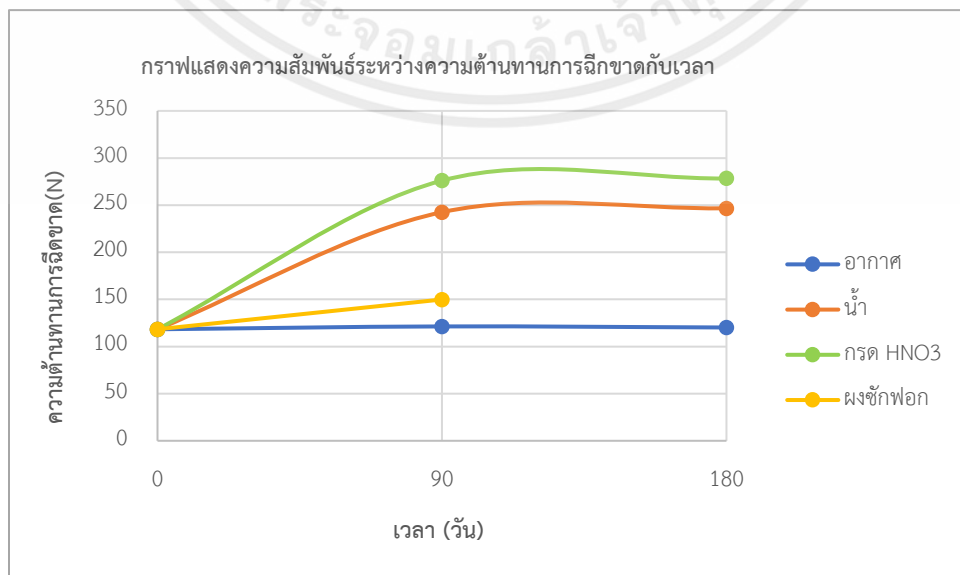
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักในการทดสอบและการฉีกตัวที่ 90 วัน



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักในการทดสอบและการฉีกตัวที่ 180 วัน จากรูปที่ 4.5 รูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก (Load) และการฉีกตัว (%) ซึ่งจากกราฟแสดงถึงพฤติกรรมในการรับกำลังรับความต้านทานการฉีกขาดของแผ่นยางคอมปาวด์ ที่ 0 วัน 90 วัน และ 180 วัน

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงความต้านทานการฉีกขาดของแผ่นยางคอมปาวด์

เงื่อนไข	ระยะเวลา	ความต้านทานการฉีกขาด (N)		
		0 วัน	90 วัน	180 วัน
อากาศ			121.34	120.21
น้ำ	118.30		242.52	246.66
HNO <sub>3</sub> (pH=5.5)			276.01	278.26
ผงซักฟอก (pH=11)			149.90	-



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้วงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานการฉีกขาดกับเวลา  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

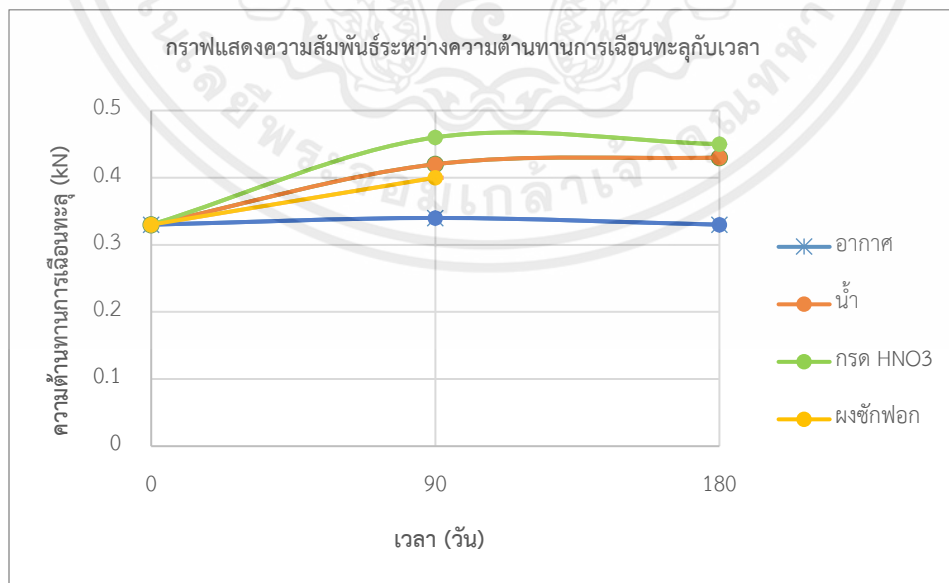
จากรูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานการฉีกขาดกับเวลาในการทดสอบ ซึ่งพบว่าตัวอย่างที่แช่ในอากาศมีค่าความต้านทานการฉีกขาดลดลงเล็กน้อย แต่ตัวอย่างที่แช่ในกรด  $\text{HNO}_3$  น้ำ ผงซักฟอก มีค่าความต้านทานการฉีกขาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนาที่เพิ่มขึ้นจากผลการทดสอบวัดความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ ดังตารางที่ 4.1 ฉะนั้นความหนาที่เพิ่มขึ้นจากการแช่กรด  $\text{HNO}_3$  น้ำ และ ผงซักฟอก มีผลต่อค่าความต้านทานการฉีกขาดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความต้านทานการฉีกขาดมากที่สุดคือ ตัวอย่างการทดสอบที่แช่ในกรด  $\text{HNO}_3$

#### 4.5 ผลการทดสอบความต้านทานการฉีกขาดของแผ่นยางคอมปาวด์

ในการทดสอบความต้านทานเพื่อหาการฉีกขาดของแผ่นยางคอมปาวด์ โดยการทดสอบนี้จะทำให้ทราบค่าการฉีกขาดสูงสุด เนื่องจากต้องศึกษาความสัมพันธ์ของความต้านทานการฉีกขาดกับระยะเวลาของกรด  $\text{HNO}_3$  น้ำ และ ผงซักฟอก เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของยางคอมปาวด์ โดยผลการทดสอบมีดังนี้

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าของความต้านทานการฉีกขาด

เงื่อนไข	ระยะเวลา	ค่าความต้านทานการฉีกขาด (kN)		
		0 วัน	90 วัน	180 วัน
อากาศ	0.33		0.34	0.33
น้ำ			0.42	0.43
$\text{HNO}_3$ (pH=5.5)			0.46	0.45
ผงซักฟอก (pH=11)			0.40	-



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการฉีกขาดกับเวลา

จากตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.9 แสดงค่าสูงสุดของความต้านทานเฉือนทะเลของแผ่นยางคอมปาวด์ ซึ่งพบว่าค่าความต้านทานเฉือนทะเลของตัวอย่างที่แช่ในอากาศมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ตัวอย่างที่แช่ในกรด  $\text{HNO}_3$  น้ำ ผงซักฟอก มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนาที่เพิ่มขึ้นจากผลการทดสอบวัดความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ ดังตารางที่ 4.1 ฉะนั้นความหนาที่เพิ่มขึ้นจากการแช่กรด  $\text{HNO}_3$  น้ำ และ ผงซักฟอก มีผลต่อค่าความต้านทานเฉือนทะเลที่เพิ่มขึ้นซึ่งค่าความต้านทานเฉือนทะเลมากที่สุดคือ ตัวอย่างการทดสอบที่แช่ในกรด  $\text{HNO}_3$

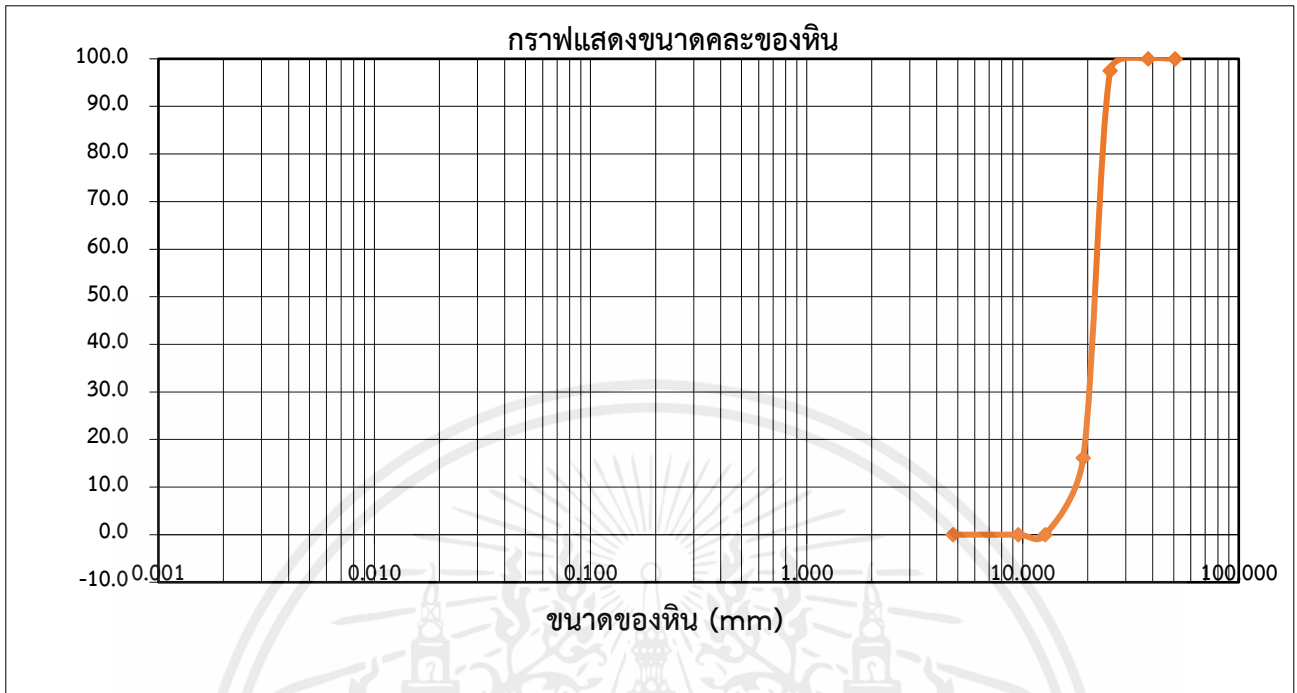
#### 4.6 ผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของแผ่นยางคอมปาวด์

ในการทดสอบนี้เพื่อกำหนดกำลังรับแรงเฉือนของแผ่นยางคอมปาวด์ โดยการทดสอบหาขนาดคละของหินเพื่อใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน จากนั้นจะทำให้ทราบค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงสุดโดยกำหนด ให้ความเค้นตั้งฉาก (Normal Stress) เป็น  $150 \text{ kN/m}^2$   $300 \text{ kN/m}^2$  และ  $600 \text{ kN/m}^2$  จำลองการกดทับของแรงเค้นตั้งฉากในสภาพแวดล้อมที่จะนำแผ่นยางคอมปาวด์ไปใช้งาน ซึ่งอยู่ระหว่าง  $100 \text{ kN/m}^2$  -  $1200 \text{ kN/m}^2$  แต่เนื่องจากอุปกรณ์ทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในการทดสอบนี้มีประสิทธิภาพสูงสุดเพียง  $600 \text{ kN/m}^2$  จึงจำเป็นต้องใช้ค่าสูงสุดตามขีดจำกัดของเครื่องทดสอบ อีกทั้งต้องหาขนาดคละของหินที่ใช้ในการทดสอบ นอกจากนั้นต้องศึกษาความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงเฉือนกับระยะเวลาของกรด  $\text{HNO}_3$  ผงซักฟอก (Detergent) อากาศ และน้ำ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของยางคอมปาวด์ โดยผลการทดสอบมีดังนี้

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงขนาดคละของหินสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของแผ่นยางคอมปาวด์

เบอร์ ตะแกรง	ขนาด ช่องว่าง ตะแกรง (มิลลิเมตร)	น้ำหนักหิน (กิโลกรัม)	% การค้ำของของหิน	% การผ่านของหิน
2	50.8	0	0.0	100.0
1½	38.1	0	0.0	100.0
1	25.4	0.252	2.5	97.5
¾	19.05	8.136	81.4	16.1
½	12.70	1.61	16.1	0.0
¾	9.53	0	0.0	0.0
4	4.75	0	0.0	0.0
Pan		0	0.0	
น้ำหนักรวม		9.998		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

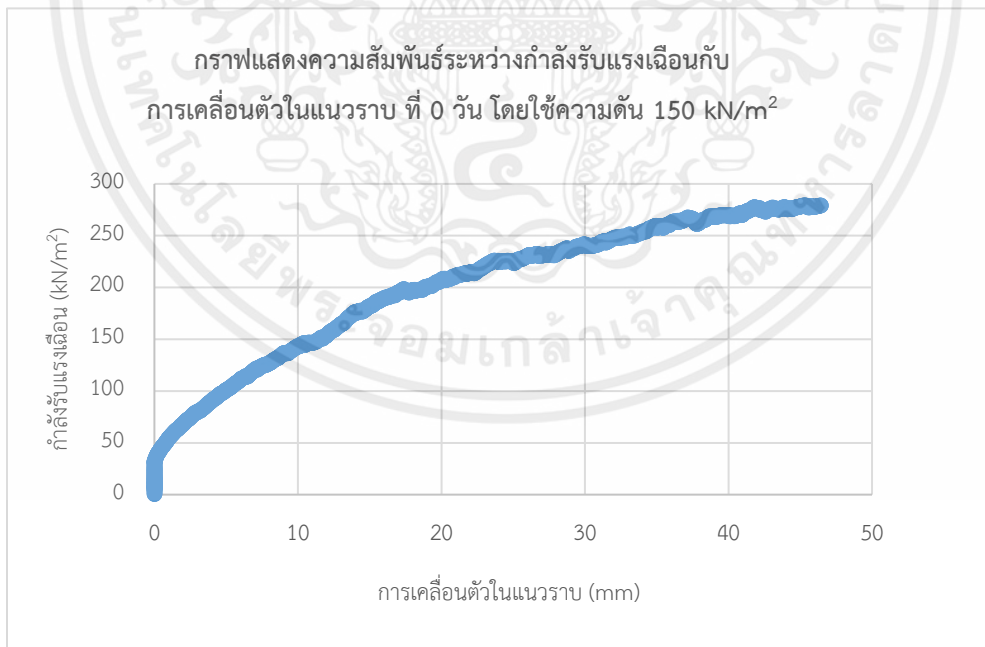


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงขนาดคละของหินที่ใช้ในการทดสอบ

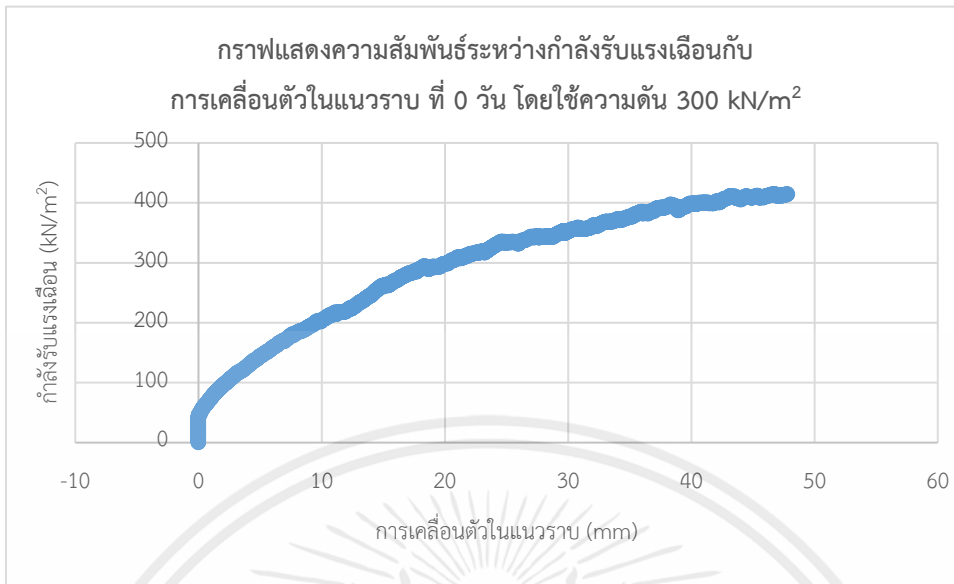
จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นถึงการทดสอบหาขนาดคละของหินและกราฟแสดงขนาดคละของหินที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน ซึ่งจะใช้หินในการทดสอบ 10 กิโลกรัม และได้เปอร์เซ็นต์การค้ำของหินมากที่สุดคือ ตะแกรงเบอร์ ¾ ซึ่งมีขนาดประมาณ 1 นิ้ว แต่ไม่ใหญ่กว่า ¾ นิ้ว ในการก่อสร้างเรียกว่า หินเบอร์ 2 ซึ่งการเลือกใช้หินเบอร์ 2 นี้ได้อ้างอิงจากงานวิจัยที่ใช้ในการทดสอบเรื่อง Interface Shear Damage to a HDPE Geomembrane II : Gravel Drainage Layer (Patrick J. Fox and Stuart S. Thielmann, 2014)

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงกำลังการรับแรงเฉือนของแผ่นยางคอมปาวด์

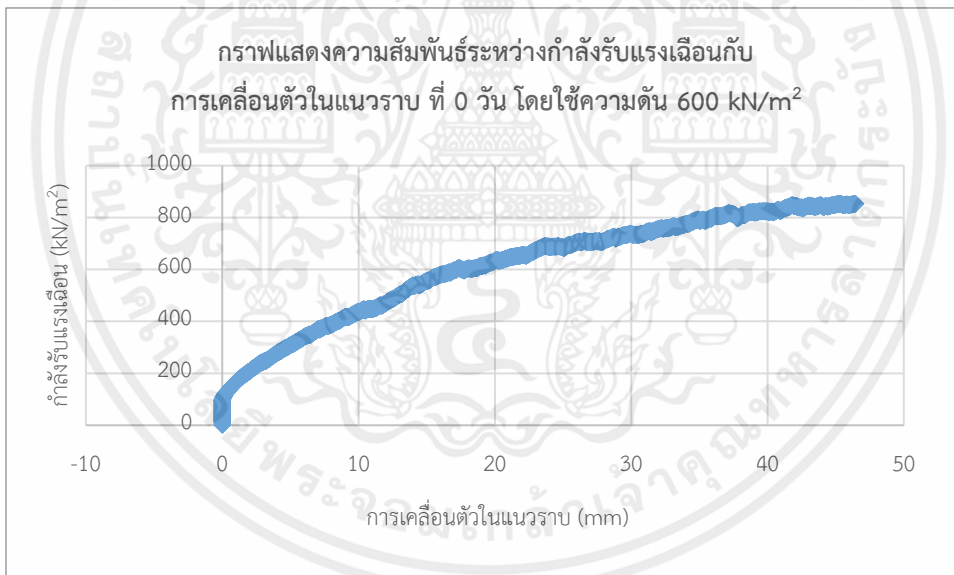
เงื่อนไข	กำลังการรับแรงเฉือน (kN/m <sup>2</sup> )								
	0 วัน			90 วัน			180 วัน		
	Shear stress			Shear stress			Shear stress		
Normal Stress	150	300	600	150	300	600	150	300	600
อากาศ				280.45	415.45	853.77	281.56	418.28	851.54
น้ำ				319.44	576.88	950.17	321.01	573.76	951.09
HNO <sub>3</sub> (pH=5.5)	279.25	414.62	852.87	350.34	585.23	976.81	362.96	582.55	977.44
ผงซักฟอก (pH=11)				318.29	571.41	942.30	-	-	-



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

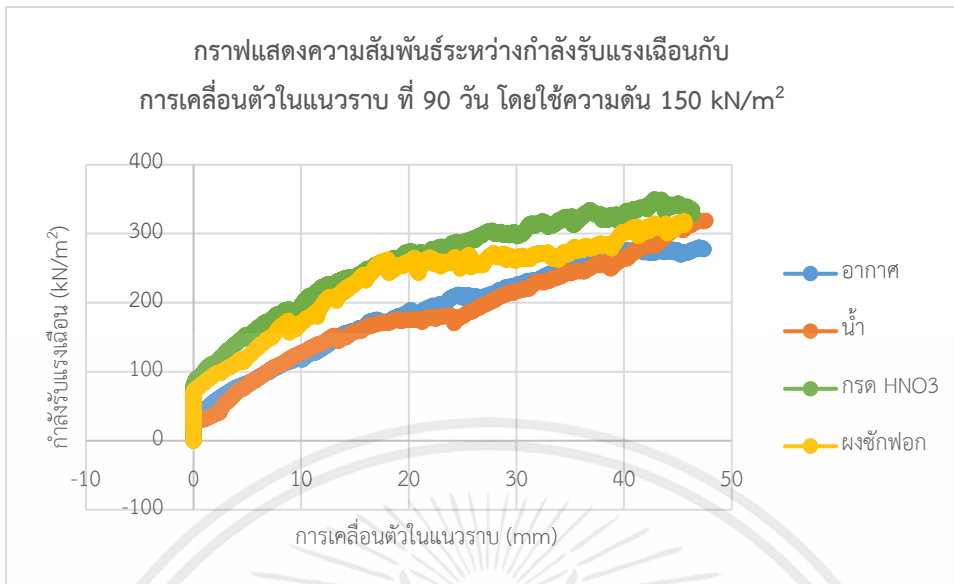


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ 0 วัน โดยใช้ความดัน 300 kN/m<sup>2</sup>

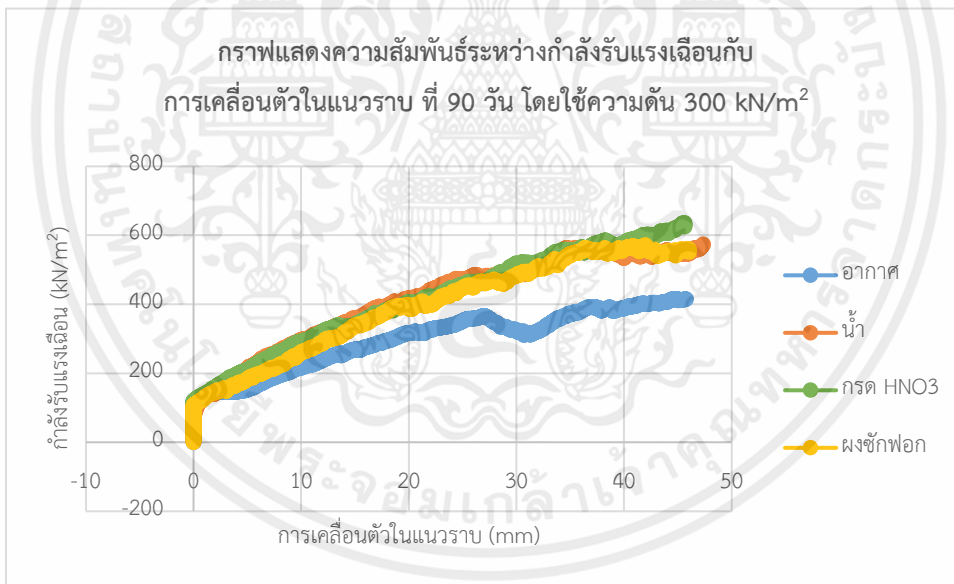


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ 0 วัน โดยใช้ความดัน 600 kN/m<sup>2</sup>

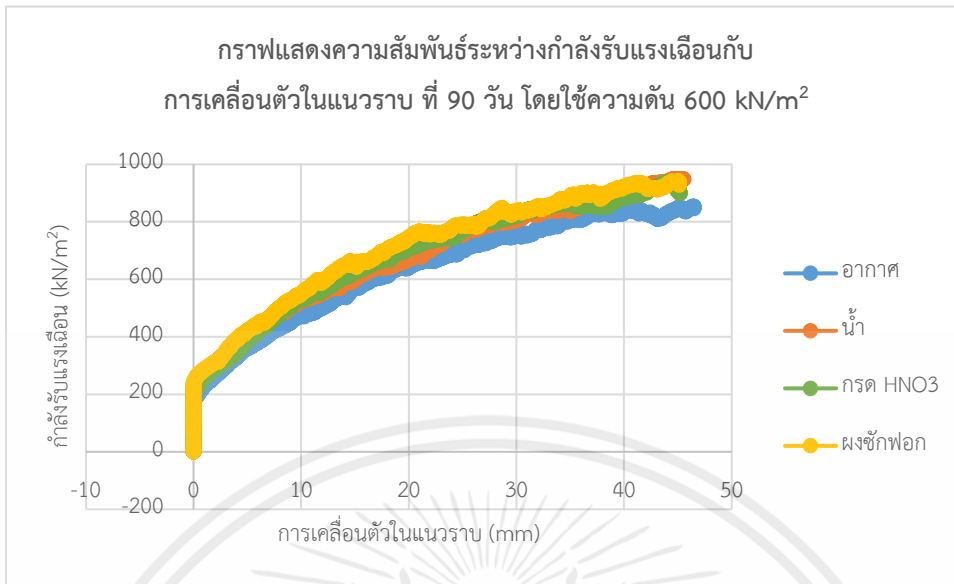
จากรูปที่ 4.11 รูปที่ 4.12 และ 4.13 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบ ซึ่งจากกราฟแสดงถึงพฤติกรรมกำลังรับแรงเฉือนของแผ่นยางคอมปาวด์ ที่ 0 วัน โดยใช้ความดัน 150 kN/m<sup>2</sup> 300 kN/m<sup>2</sup> และ 600 kN/m<sup>2</sup>



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ 90 วัน โดยใช้ความดัน 150 kN/m<sup>2</sup>

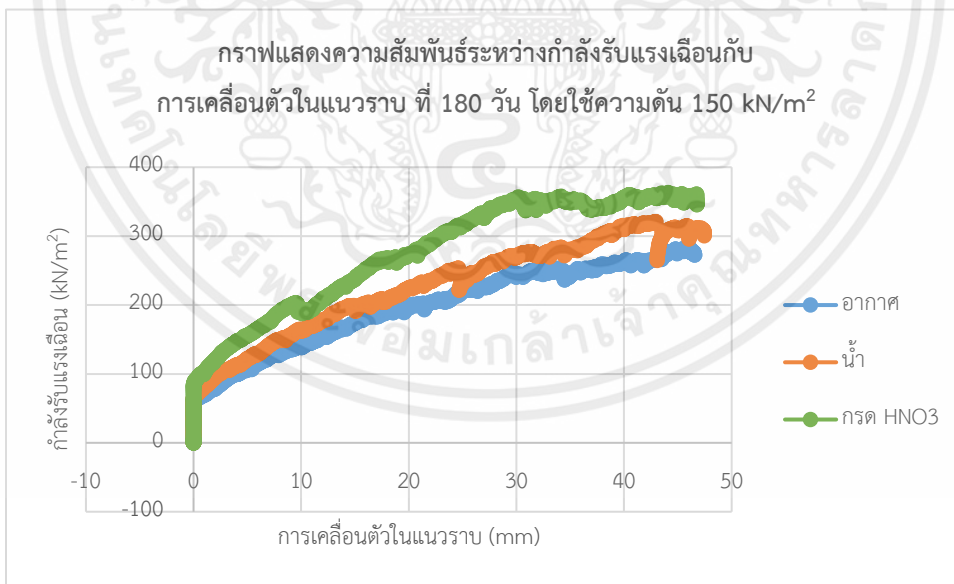


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ 90 วัน โดยใช้ความดัน 300 kN/m<sup>2</sup>

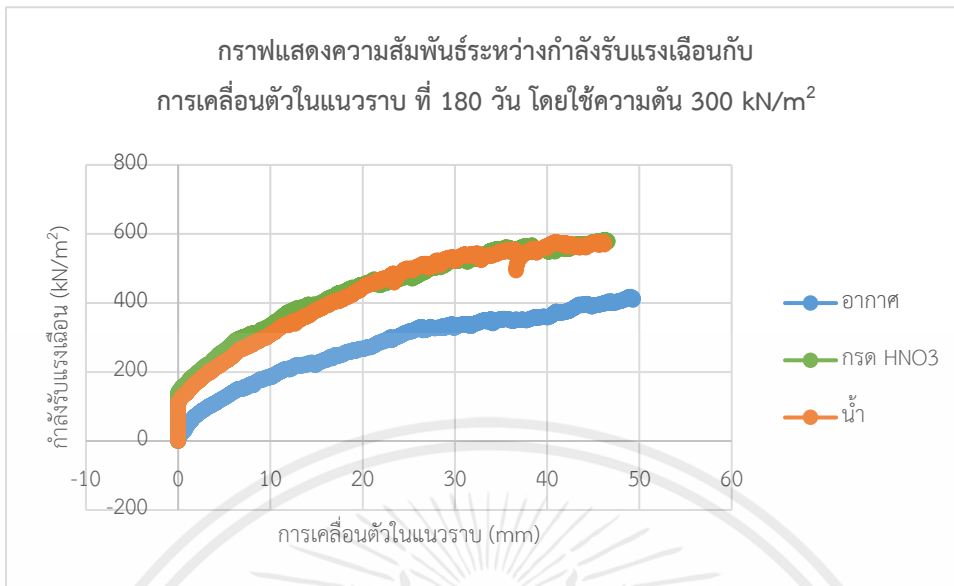


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ 90 วัน โดยใช้ความดัน 600 kN/m<sup>2</sup>

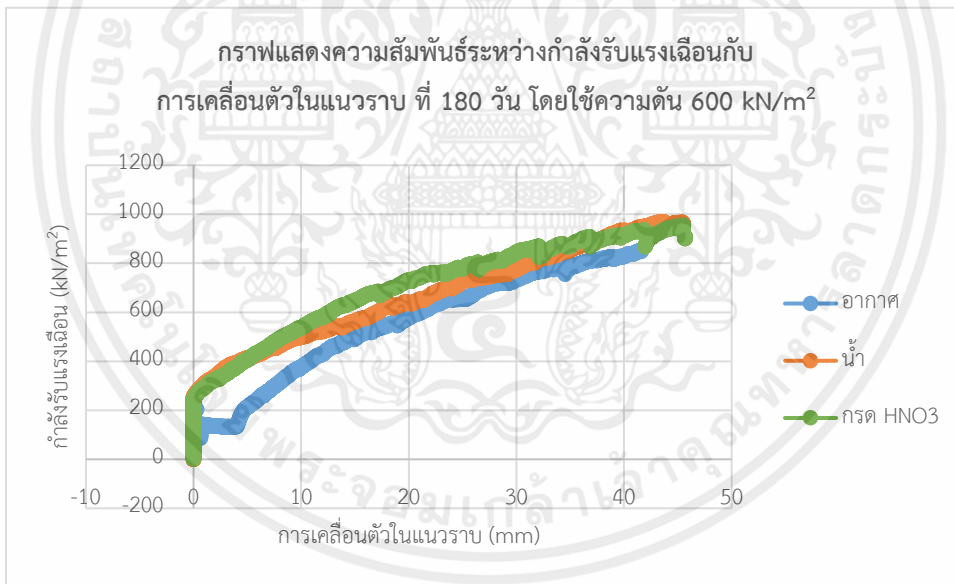
จากรูปที่ 4.14 รูปที่ 4.15 และ 4.16 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบ ซึ่งจากกราฟแสดงถึงพฤติกรรมกำลังรับแรงเฉือนของแผ่นยางคอมปาวด์ ที่ 90 วัน โดยใช้ความดัน 150 kN/m<sup>2</sup> 300 kN/m<sup>2</sup> และ 600 kN/m<sup>2</sup>



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ 180 วัน โดยใช้ความดัน 150 kN/m<sup>2</sup>

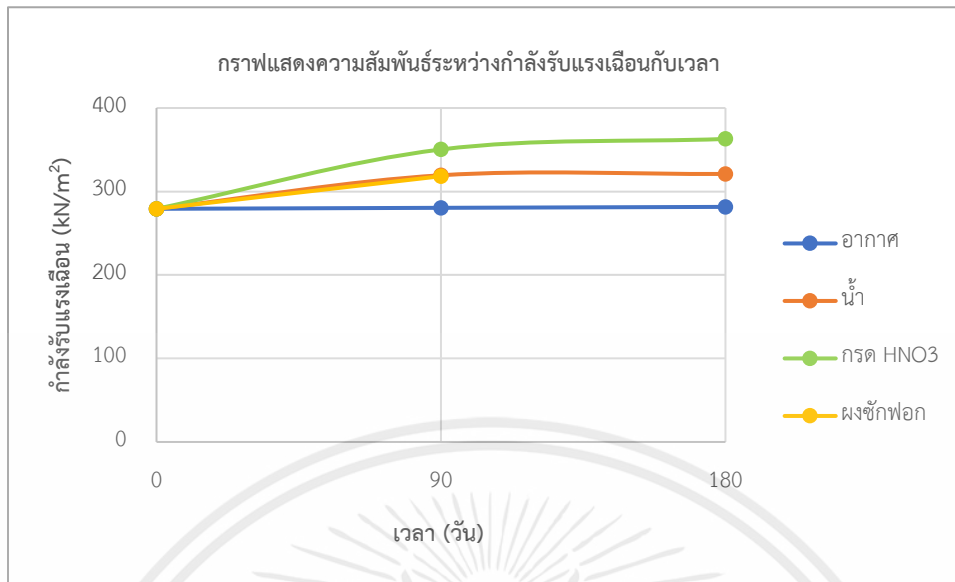


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ 180 วัน โดยใช้ความดัน 300 kN/m<sup>2</sup>

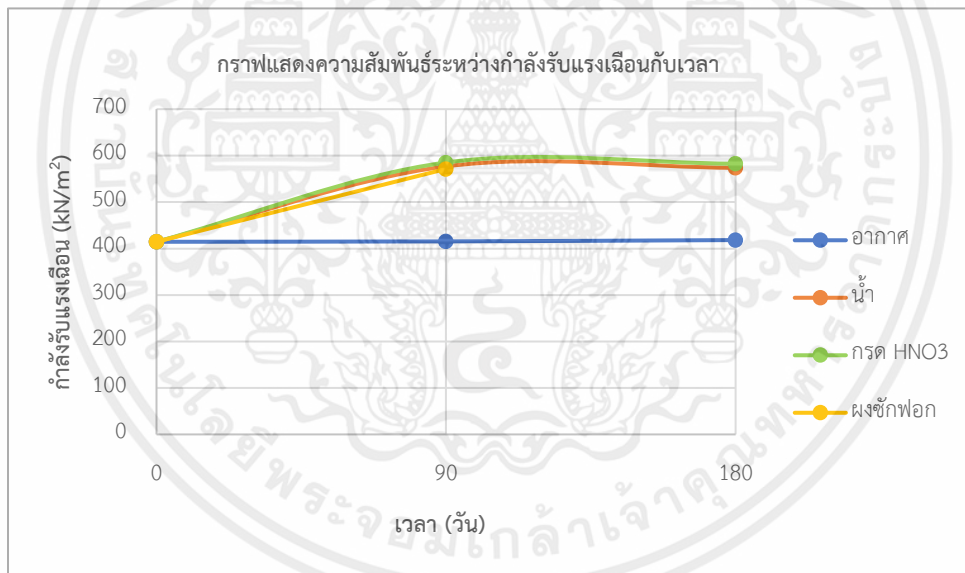


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ 180 วัน โดยใช้ความดัน 600 kN/m<sup>2</sup>

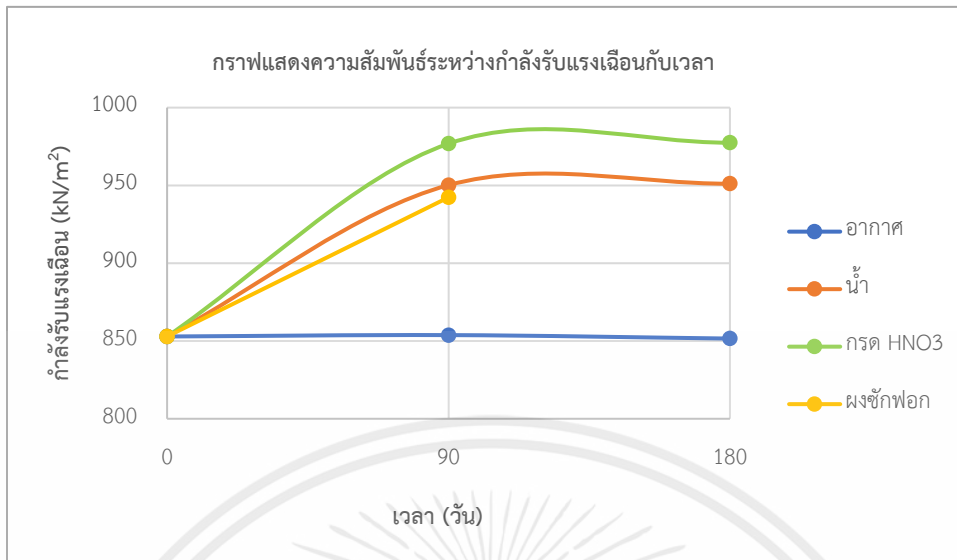
จากรูปที่ 4.17 รูปที่ 4.18 และ 4.19 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวราบ ซึ่งจากกราฟแสดงถึงพฤติกรรมกำลังรับแรงเฉือนของแผ่นยางคอมปาวด์ ที่ 180 วัน โดยใช้ความดัน 150 kN/m<sup>2</sup> 300 kN/m<sup>2</sup> และ 600 kN/m<sup>2</sup>



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนที่ความดัน 150 kN/m<sup>2</sup> กับเวลา



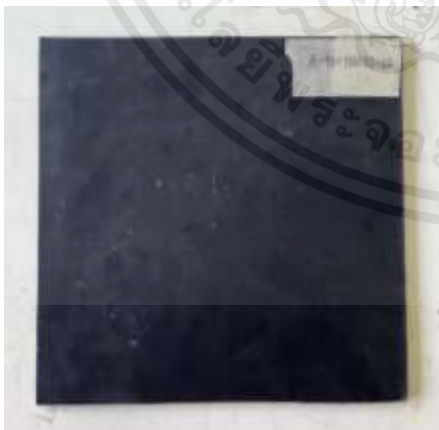
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนที่ความดัน 300 kN/m<sup>2</sup> กับเวลา



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับแรงเฉือนที่ความดัน 600 kN/m<sup>2</sup> กับเวลา

จากรูปที่ 4.20 รูปที่ 4.21 และ รูปที่ 4.22 มีตัวอย่างการทดสอบที่แช่ในอากาศมีค่ากำลังรับแรงเฉือนใกล้เคียงกัน ในทุกเงื่อนไขการกำหนดความเค้นตั้งฉาก ในระยะการทดสอบ 0 วัน 90 วัน และ 180 วัน ส่วนตัวอย่างการทดสอบที่แช่ในกรด HNO<sub>3</sub> น้ำ ผงซักฟอก มีค่ากำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้น จากระยะเวลาในการทดสอบ 0 วัน ถึง 90 วัน แต่ 90 วัน ถึง 180 วันมีค่ากำลังรับแรงเฉือนใกล้เคียงกัน ซึ่งตัวอย่างที่มีค่ากำลังรับแรงเฉือนมากที่สุด คือ ตัวอย่างการทดสอบที่แช่ในกรด HNO<sub>3</sub>

#### 4.6.1 ความเสียหายของตัวอย่างการทดสอบก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของแผ่นยางคอมปาวด์



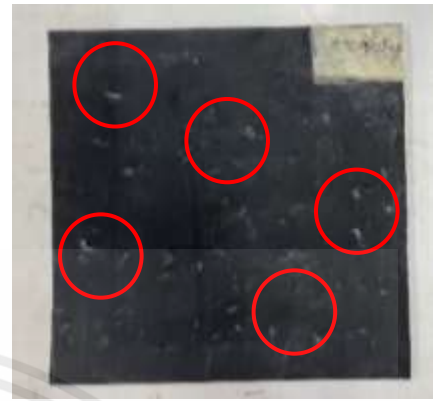
รูปที่ 4.23 ตัวอย่างการทดสอบก่อนการทดสอบ  
ที่ความดัน 150 kN/m<sup>2</sup>



รูปที่ 4.24 ตัวอย่างการทดสอบหลังการทดสอบ  
ที่ความดัน 150 kN/m<sup>2</sup>



รูปที่ 4.25 ตัวอย่างการทดสอบก่อนการทดสอบ  
ที่ความดัน  $300 \text{ kN/m}^2$



รูปที่ 4.26 ตัวอย่างการทดสอบหลังการทดสอบ  
ที่ความดัน  $300 \text{ kN/m}^2$



รูปที่ 4.27 ตัวอย่างการทดสอบก่อนการทดสอบ  
ที่ความดัน  $600 \text{ kN/m}^2$



รูปที่ 4.28 ตัวอย่างการทดสอบหลังการทดสอบ  
ที่ความดัน  $600 \text{ kN/m}^2$

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษา

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. การทดสอบหาความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ซึ่งจะใช้วิธีหาความเปลี่ยนแปลงของความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ด้วยการนำค่าความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์หลังการทดสอบด้วยการแช่ กรด  $\text{HNO}_3$  น้ำ ผงซักฟอกและอากาศลบกับความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์หลังการแช่ แช่ กรด  $\text{HNO}_3$  น้ำ ผงซักฟอกและอากาศตามเงื่อนไขการแช่ที่ ค่าเริ่มต้น 90 วัน 180 วัน จากนั้นจะได้ความหนาที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งค่าความหนาที่มีค่าเป็นลบ หมายถึง แผ่นยางคอมปาวด์มีการหดตัว ส่วนค่าความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ที่มีผลเป็นบวก หมายถึง แผ่นยางคอมปาวด์มีการขยายตัว

สามารถสรุปได้ว่า ค่าความเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์มีค่าเป็นบวก ในตัวอย่างที่แช่ในน้ำ กรด  $\text{HNO}_3$  น้ำ และผงซักฟอก ส่วนของการแช่ในอากาศมีค่าความหนาที่เปลี่ยนแปลงไปใกล้เคียงกัน ในระยะเวลาในการทดสอบที่ 90 วัน และ 180 วัน

2. การหาค่ากำลังรับแรงดึงของแผ่นยางคอมปาวด์ จากการศึกษา ในการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพจากเงื่อนไขการแช่กรด  $\text{HNO}_3$  น้ำ ผงซักฟอกและอากาศ แล้วนำตัวอย่างไปแช่ตามเงื่อนไขดังกล่าว พบว่าตัวอย่างที่แช่ในอากาศมีค่ากำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ตัวอย่างที่แช่ในกรด  $\text{HNO}_3$  น้ำ ผงซักฟอก มีค่ากำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนาที่เพิ่มขึ้นจากการทดสอบวัดความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ ฉะนั้นความหนาที่เพิ่มขึ้นจากการแช่กรด น้ำ และ ผงซักฟอก มีผลต่อกำลังรับแรงดึงที่เพิ่มขึ้น

สามารถสรุปได้ว่า การที่มีค่ากำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้นมากที่สุด ของตัวอย่างการทดสอบที่แช่ใน การแช่กรด  $\text{HNO}_3$  น้ำ และผงซักฟอก ตามลำดับ ซึ่งมีผลจากค่าการเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ที่เป็นบวก กล่าวคือ มีความหนาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดพื้นที่หน้าตัดในการรับแรงดึงมากขึ้นไปด้วย ส่วนตัวอย่างที่แช่ในอากาศมีค่าใกล้เคียงกันเพราะว่าอากาศไม่ผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์

3. การหาค่าความต้านทานการฉีกขาดของแผ่นยางคอมปาวด์ จากการศึกษา ในการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพจากเงื่อนไขการแช่กรด  $\text{HNO}_3$  น้ำ ผงซักฟอกและอากาศ แล้วนำตัวอย่างไปแช่ตามเงื่อนไขดังกล่าว พบว่าตัวอย่างที่แช่ในอากาศมีค่าความต้านทานการฉีกขาดใกล้เคียงกัน แต่ตัวอย่างที่แช่ในกรด  $\text{HNO}_3$  น้ำ

ผงซักฟอก มีค่าความต้านทานการฉีกขาด เนื่องจากความหนาที่เพิ่มขึ้นจากผลการทดสอบวัดความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ ฉะนั้นความหนาที่เพิ่มขึ้นจากการแช่กรด น้ำ และ ผงซักฟอก มีผลต่อความต้านทานการฉีกขาด

สามารถสรุปได้ว่า การที่มีค่าความต้านทานการฉีกขาดสูง ของตัวอย่างการทดสอบที่แช่ใน การแช่กรด  $\text{HNO}_3$  น้ำ และผงซักฟอก ตามลำดับ ซึ่งมีผลจากค่าการเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ที่เป็นบวก กล่าวคือ มีความหนาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดพื้นที่หน้าตัดในการต้านทานการฉีกขาดมากขึ้นไปด้วย ส่วนตัวอย่างที่แช่ในอากาศมีค่าใกล้เคียงกันเพราะว่าอากาศไม่ผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์

4 .การหาค่าความต้านทานการฉีกขาดของแผ่นยางคอมปาวด์ จากการศึกษา ในการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพจากเงื่อนไขการแช่กรด  $\text{HNO}_3$  น้ำ ผงซักฟอกและอากาศ แล้วนำตัวอย่างไปแช่ตามเงื่อนไขดังกล่าว พบว่าตัวอย่างที่แช่ในอากาศมีค่าความต้านทานฉีกขาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ตัวอย่างที่แช่ในกรด  $\text{HNO}_3$  น้ำ ผงซักฟอก มีค่าความต้านทานฉีกขาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนาที่เพิ่มขึ้นจากผลการทดสอบวัดความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ ฉะนั้นความหนาที่เพิ่มขึ้นจากการแช่กรด น้ำ และ ผงซักฟอก มีผลต่อค่าความต้านทานฉีกขาดที่เพิ่มขึ้น

สามารถสรุปได้ว่า การที่มีค่าความต้านทานมากของตัวอย่างการทดสอบที่แช่ใน การแช่กรด  $\text{HNO}_3$  น้ำ และผงซักฟอก ตามลำดับ ซึ่งมีผลจากค่าการเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์ที่เป็นบวก กล่าวคือ มีความหนาเพิ่มขึ้น ส่งผลแรงที่ใช้ในแรงมากขึ้นไปด้วย ส่วนตัวอย่างที่แช่ในอากาศมีค่าใกล้เคียงกันเพราะว่าอากาศไม่ผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นยางคอมปาวด์

5. การหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของแผ่นยางคอมปาวด์ ในการทดสอบนี้เพื่อหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของแผ่นยางคอมปาวด์ โดยการทดสอบหาขนาดคละของหินเพื่อใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน จากนั้นจะทำให้ทราบค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงสุดโดยกำหนด ให้ความเค้นตั้งฉาก(Normal Stress) หรือความดัน เป็น  $150 \text{ kN/m}^2$   $300 \text{ kN/m}^2$  และ  $600 \text{ kN/m}^2$  จำลองการกดทับของแรงเค้นตั้งฉากในสภาพแวดล้อมที่จะนำแผ่นยางคอมปาวด์ไปใช้งาน ซึ่งอยู่ระหว่าง  $100 \text{ kN/m}^2$  -  $1200 \text{ kN/m}^2$  แต่เนื่องจากอุปกรณ์ทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในการทดสอบนี้มีประสิทธิภาพสูงสุดเพียง  $600 \text{ kN/m}^2$  จึงจำเป็นต้องใช้ค่าสูงสุดตามขีดจำกัดของเครื่องทดสอบ อีกทั้งต้องหาขนาดคละของหินที่ใช้ในการทดสอบ นอกจากนั้นต้องศึกษาความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงเฉือนกับระยะเวลาของกรด  $\text{HNO}_3$  ผงซักฟอก (Detergent) อากาศ และน้ำ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของยางคอมปาวด์ พบว่า ตัวอย่างการทดสอบที่แช่ในอากาศมีค่ากำลังรับแรงเฉือนใกล้เคียงกัน ในทุกเงื่อนไขการกำหนดความเค้นตั้งฉาก ในระยะการทดสอบ 0 วัน 90 วัน และ 180 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนตัวอย่างการทดสอบที่แช่ในกรด  $\text{HNO}_3$  น้ำ ผงซักฟอก มีค่ากำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้น จากระยะเวลาในการทดสอบ 0 วัน ถึง 90 วัน แต่ 90 วัน ถึง 180 วันมีค่ากำลังรับแรงเฉือนใกล้เคียงกัน

สามารถสรุปได้ว่าการที่มีค่ากำลังรับแรงเฉือนของแผ่นยางคอมพอสต์ ของตัวอย่างการทดสอบที่แช่ใน กรด  $\text{HNO}_3$  น้ำ และผงซักฟอก ตามลำดับ ซึ่งมีผลจากค่าการเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นยางคอมพอสต์ที่เป็นบวก กล่าวคือ มีความหนาเพิ่มขึ้น แต่ทว่า ในระยะในการทดสอบ 90 วัน ถึง 180 วัน ค่ากำลังรับแรงเฉือนมีค่ากำลังแรงเฉือนแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย กล่าวคือ ระยะเวลาที่ทำให้การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนมากที่สุดคือ 90 วัน

## 5.2 ปัญหาอุปสรรคในการทำงานและแนวทางการแก้ไข

1. ในการทดสอบ Index Puncture Resistance Test พบปัญหาเครื่องมือไม่พร้อมใช้งาน คือ หัวเจาะไม่ตรงตามมาตรฐานแต่ได้ดำเนินการสั่งซื้ออุปกรณ์ที่ตรงตามมาตรฐานมาใช้ในการทดสอบแล้ว
2. ในการทดสอบ Large Scale Direct Shear Test พบปัญหาในการเลื่อนกล่องทดสอบเข้าช่องทดสอบ เกิดการติดค้างบนร่องเนื่องจากการเลื่อนเข้าร่องไม่ตรงแนว จึงทำให้เสียเวลา มีความล่าช้าในการทดสอบ จึงต้องเล็งแนวให้ดีในขณะเลื่อนกล่องทดสอบเข้าช่องทดสอบ

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาคุณสมบัติของแผ่นยางคอมพอสต์อื่นๆเพิ่มเติม เช่น ความทนทานต่อสภาพแวดล้อมชนิดต่างๆ
2. ควบคุมลักษณะและคุณสมบัติของแผ่นยางคอมพอสต์แต่ละแผ่นที่ใช้ทำการทดสอบให้มีความเหมือนหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด

## อ้างอิง

ASTM D5199. 2001. “Standard Test Method for Measuring the Nominal Thickness of Geosynthetics” ASTM International. West Conshohochen, PA.

ASTM D6693. 2004. “Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Nonreinforced Polyethylene and Nonreinforced Flexible Polypropylene Geomembranes”ASTM International. West Conshohochen, PA.

ASTM D5199. 2007. “Standard Test Method for Tear Resistance (Graves Tear) of Plastic Film and Sheeting”ASTM International. West Conshohochen, PA.

ASTM D4833. 2000. “Standard Test Method for Index Puncture Resistance of Geotextiles, Geomembranes, and Related Products”ASTM International. West Conshohochen, PA.

R.k.Rowe,S.Rimal,H.Sangam (2009). [online]. “Aging of HDPE geomembrane exposed to air, water, and leachate at different temperatures”

Source: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266114422001327>

(Date : 22 September 2022).

Patrick.J (2014). [online]. “Interface shear damage to an HDPE geomembrane II: gravel drainage layer”

Source: <https://ph01.tcithaijo.org/index.php/html/article/view/136083>.

(Date : 22 September 2022).

Fady B.Abdelaal (2014). [online]. “Effect of leachate composition on the long term performance of a HDPE geomembrance”

Source: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026611449710022X>

(Date : 22 September 2022).

## อ้างอิง (ต่อ)

W.J.Cen (2019). [online]. “Experimental investigations and constitutive modeling of cyclic interface shearing between HDPE geomembranes and sandy gravel”

Source: <https://ph01.tcithaijo.org/index.php/html/article/view/136083>.

(Date : 22 September 2022).

