

อิทธิพลของสารเคลือบผิวอะคริลิคต่อการเสื่อมสภาพของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทน



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Effects of acrylic coating on degradation of polyurethane joint sealant

Miss Kanjana Suriyawong



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

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

อิทธิพลของสารเคลือบผิวอะคริลิคต่อการเสื่อมสภาพของ
วัสดุอุดรอยต่อโพลีเอทิลีน

โดย

นางสาวกาญจนา สุริยวงค์

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. วิฑิต ปานสุข

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีรวัฒน์ โพธิ์ศิริ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิฑิต ปานสุข)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. รุ่งรวี วัฒนพรพรหม)

กาญจนา สุริยะวงศ์ : อิทธิพลของสารเคลือบผิวอะคริลิคต่อการเสื่อมสภาพของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทน (Effects of acrylic coating on degradation of polyurethane joint sealant) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. วิฑิต ปานสุข, 67 หน้า.

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของสารเคลือบผิวอะคริลิค ต่อการเสื่อมสภาพของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทน โดยใช้เครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศกับวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทน เพื่อจำลองการเสื่อมสภาพด้วยความร้อน, รังสีอัลตราไวโอเล็ต, และความชื้น ตัวแปรในการทดลองนี้ ได้แก่ การเคลือบผิวอะคริลิค และเวลาที่ใช้ในการเสื่อมสภาพ ในทุกๆ 200 ชั่วโมงของการเร่งสภาพอากาศ จะมีการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทน ด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย ได้แก่ การทดสอบด้วยสายตา, การทดสอบความแข็ง, และการทดสอบที่เปลี่ยนแปลง และการทดสอบแบบทำลาย ได้แก่ การทดสอบแรงดึง และการทดสอบแรงเฉือน เพื่อให้ทราบถึงการเสื่อมสภาพและพฤติกรรมการรับแรงของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนระหว่างวัสดุโพลียูรีเทนที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวและที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากสภาพอากาศภายนอก



ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

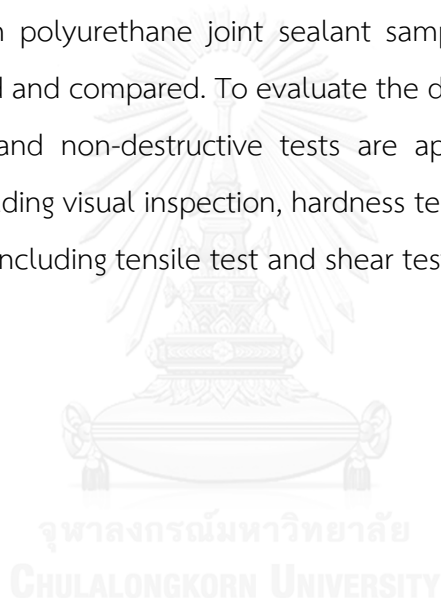
ปีการศึกษา 2559

5870323321 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: POLYURETHANE SEALANT, ACCELERATED WEATHERING TEST, ACRYLIC COATING, DEGRADATION

KANJANA SURIYAWONG: Effects of acrylic coating on degradation of polyurethane joint sealant. ADVISOR: ASSOC. PROF. WITHIT PANSUK, 67 pp.

This study investigates effects of acrylic coating on degradation of polyurethane joint sealant. Accelerated weathering test is used to simulate effects of long-term outdoor exposure such as heat, ultraviolet, and moisture. The parameters in this study are acrylic coating and duration of aging. Every 200 hours from accelerated weathering test, both polyurethane joint sealant sample, with and without acrylic coating, are evaluated and compared. To evaluate the durability of polyurethane joint sealant, destructive and non-destructive tests are applied to samples. The non-destructive tests including visual inspection, hardness test and color changing test and the destructive tests including tensile test and shear test are conducted in this study.



Department: Civil Engineering

Student's Signature

Field of Study: Civil Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์วิทิต ปานสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณารับเป็นที่ปรึกษาทั้งในการเรียนปริญญาตรีและปริญญาโท ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงาน ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณที่เสียสละเวลาในการแนะนำสั่งสอนให้ความรู้ทั้งด้านวิชาการและทักษะในการทำงานตลอดระยะเวลาการศึกษา ทำให้การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ธัญวัฒน์ โพธิศิริ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร. รุ่งรวี วัฒนพรพรหม กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ ตั้งแต่โครงร่างวิทยานิพนธ์จนดำเนินงานเสร็จ

ขอขอบคุณคุณนิชาภา บัวสุวรรณ และคุณพรรัตน์ ไชยมงคล นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทดสอบวัสดุพอลิเมอร์

ขอขอบคุณนายธนพล ญาณวีรศักดิ์ ที่ช่วยให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือในการทำการทดสอบ และเพื่อนนิสิตปริญญาโทที่คอยเป็นกำลังใจในการทำงาน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 รอยต่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (joint of precast concrete wall).....	5
2.2.1 ประเภทของรอยต่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	5
2.2.2 การออกแบบรอยต่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	6
2.3 วัสดุอุดรอยต่อ (Sealant)	9
2.3.1 ชนิดของวัสดุอุดรอยต่อ	9
2.3.2 การเสื่อมสภาพของวัสดุอุดรอยต่อ.....	9
2.3.3 ประเภทและสาเหตุของการพังของวัสดุอุดรอยต่อ (Types and causes of sealant failures).....	11

2.4 การทดสอบเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ (QUV accelerated weathering tester).....	15
2.5 การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive Testing).....	19
2.6 สารประกอบอะคริลิก (Acrylic-based solution).....	23
2.7 พฤติกรรมของรอยต่อแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป (behavior of precast concrete wall)	24
บทที่ 3	26
3.1 บทนำ.....	26
3.2 การออกแบบและเตรียมชิ้นส่วนตัวอย่าง	27
3.3 การเคลือบน้ำยาป้องกันการเสื่อมสภาพ.....	29
3.4 การทดสอบเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ (QUV accelerated weathering tester).....	31
3.5 ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและกายภาพของวัสดุ.....	34
3.5.1 การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive Testing)	34
3.5.1.1 การตรวจด้วยตาเปล่า (Visual Inspection)	34
3.5.1.2 การทดสอบสีที่เปลี่ยนไป (Color Change).....	35
3.5.1.3 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test).....	35
3.5.2 การทดสอบแบบทำลาย (Destructive Testing).....	36
3.5.2.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test).....	37
3.5.2.2 การทดสอบแรงเฉือน (Double Shear Test).....	39
บทที่ 4	40
4.1 การทดสอบสีที่เปลี่ยนไป.....	40
4.2 การทดสอบความแข็ง.....	41
4.3 การทดสอบแรงดึง.....	43
4.3.1 ลักษณะการพัง (Failure mode)	43

4.3.2 พฤติกรรมการรับแรงดึง.....	46
4.4 การทดสอบแรงเฉือน	51
4.4.1 ลักษณะการพัง (Failure mode)	51
4.4.2 พฤติกรรมการรับแรงเฉือน.....	53
4.5 กรณีศึกษา	58
บทที่ 5	63
รายการอ้างอิง	65
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	67



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2. 1 สาเหตุทั่วไปของการพังของวัสดุอุดรอยต่อ (Ciria 1987).....	13
ตารางที่ 2. 2 คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุอุดรอยต่อประเภทโพลียูรีเทน (ChemTec Publishing 2012).....	14
ตารางที่ 3. 1 ภาวะวงจรทั่วไปในการทดสอบแรงปฏิบัติการสภาพอากาศ.....	32
ตารางที่ 4. 2 ระดับของสีที่เปลี่ยนแปลงไป.....	41
ตารางที่ 4. 3 ค่าความแข็งของตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC).....	42
ตารางที่ 4. 4 ค่าความแข็งของตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C).....	42
ตารางที่ 4. 5 ผลการทดสอบแรงดึง.....	47
ตารางที่ 4. 6 ผลการทดสอบแรงเฉือน.....	54



สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2. 1 การเชื่อมสภาพของวัสดุรอยต่อโพลียูรีเทน (Withit).....	4
รูปที่ 2. 2 รอยต่อเดี่ยว (Single-stage joint) (Canada Mortgage and Housing Corporation 2003).....	5
รูปที่ 2. 3 รอยต่อคู่ (Two-stage joint) (Canada Mortgage and Housing Corporation 2003).....	6
รูปที่ 2. 4 ความกว้างรอยต่อ (Canada Mortgage and Housing Corporation 2003)	7
รูปที่ 2. 5 ความกว้างของรอยต่อที่น้อยที่สุด (Canada Mortgage and Housing Corporation 2003).....	8
รูปที่ 2. 6 การพังจากการติดประสาน (adhesion failure) (CPCI 2000).....	8
รูปที่ 2. 7 การพังจากการเคลื่อนที่ของรอยต่อ (cohesion failure) (CPCI 2000).....	9
รูปที่ 2. 8 การพังของวัสดุรอยต่อรูปแบบต่างๆ (Ciria 1987).....	13
รูปที่ 2. 9 ปฏิกริยาการเกิดโพลียูรีเทน (Patchanita).....	15
รูปที่ 2. 10 เครื่องทดสอบเร่งปฏิกริยาจำลองสภาพอากาศ (QUV accelerated weathering tester) (Qlab corporation 2011)	16
รูปที่ 2. 11 การจำลองสภาพอากาศ (Qlab corporation 2011).....	16
รูปที่ 2. 12 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (Qlab corporation 2011).....	17
รูปที่ 2. 13 รังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ 340 (Qlab corporation 2011).....	17
รูปที่ 2. 14 รังสีอัลตราไวโอเล็ตบี 313 (Qlab corporation 2011).....	17
รูปที่ 2. 15 ระบบควบคุมความชื้นของปริมาณรังสี (Qlab corporation 2011).....	18
รูปที่ 2. 16 เครื่องมือวัดความแข็งแบบชอร์เอ (www.substech.com).....	20
รูปที่ 2. 17 เครื่องมือทดสอบความแข็ง (Durometer) (www.substech.com).....	20
รูปที่ 2. 18 การเปรียบเทียบระหว่างการใช้ shoreA กับ shoreD กับวัสดุชนิดเดียวกัน (Calce 2001).....	21

รูปที่ 2. 19 การเปรียบเทียบมาตรวัดต่างๆของเครื่องวัดค่าความแข็งกับวัสดุที่มีความยืดหยุ่น (Calce 2001)	22
รูปที่ 2. 20 ค่าความแข็งของซีลิกอนที่ระยะเวลาในบ่มด้วยเครื่องทดสอบแรงงปฏิบัติการสภาพอากาศต่างๆ	22
รูปที่ 2. 21 ชิ้นส่วนตัวอย่างในการทดสอบแรงดึงและแรงเฉือนของ Remesh (Remesh et al. 2011).....	25
รูปที่ 2. 22 ค่า modulus จากการทดสอบแรงดึงในการทดสอบของ Remesh (Remesh et al. 2011).....	25
รูปที่ 3. 1 แผนผังการทดสอบ.....	26
รูปที่ 3. 2 ชิ้นส่วนตัวอย่างสำหรับทดสอบแรงดึง	27
รูปที่ 3. 3 ชิ้นส่วนตัวอย่างสำหรับทดสอบแรงเฉือน.....	28
รูปที่ 3. 4 ชิ้นส่วนตัวอย่างสำหรับทดสอบความแข็ง	29
รูปที่ 3. 5 น้ำยาป้องกันการเสื่อมสภาพ	30
รูปที่ 3. 6 การเคลือบน้ำยาป้องกันการเสื่อมสภาพบนชิ้นส่วนตัวอย่าง	30
รูปที่ 3. 7 เครื่องทดสอบแรงงปฏิบัติการจำลองสภาพอากาศ.....	31
รูปที่ 3. 8 ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงต่อวันในช่วงปีพ.ศ. 2547-2557 (S. Buntoung et al.)	33
รูปที่ 3. 9 ลักษณะการพังเนื่องจากอุณหภูมิ (Withit).....	34
รูปที่ 3. 10 เครื่องมือทดสอบสี	35
รูปที่ 3. 11 เครื่องมือดูโรมิเตอร์ (Durometer)	36
รูปที่ 3. 12 การพังของวัสดุอุดรอยต่อด้วยแรงดึงและแรงเฉือน	37
รูปที่ 3. 13 เครื่อง Shimadzu autograph AG-1000E.....	38
รูปที่ 3. 14 การทดสอบแรงดึง	38
รูปที่ 3. 15 การทดสอบแรงเฉือน	39
รูปที่ 4. 1 สีที่เปลี่ยนแปลงไปของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC)..	40
รูปที่ 4. 2 สีที่เปลี่ยนแปลงไปของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C)..	41

รูปที่ 4. 3 ค่าความแข็งของชิ้นส่วนตัวอย่างตามระยะเวลาในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ.....	43
รูปที่ 4. 4 การติดตั้งชิ้นส่วนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบแรงดึง.....	44
รูปที่ 4. 5 การทดสอบแรงดึงของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบสารก่อนเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ.....	44
รูปที่ 4. 6 การทดสอบแรงดึงของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบสาร (NC) หลังเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ	45
รูปที่ 4. 7 การทดสอบแรงดึงของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C) หลังเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ.....	45
รูปที่ 4. 8 ลักษณะการพังของชิ้นส่วนตัวอย่างเมื่อผ่านการทดสอบแรงดึง	46
รูปที่ 4. 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในการทดสอบแรงดึงของชิ้นส่วนตัวอย่าง.....	48
รูปที่ 4. 10 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมการรับแรงดึงของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC).....	48
รูปที่ 4. 11 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมการรับแรงดึงของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C).....	49
รูปที่ 4. 12 กราฟเปรียบเทียบค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดของชิ้นส่วนตัวอย่างเมื่อเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ 0-1000 ชั่วโมง.....	49
รูปที่ 4. 13 กราฟเปรียบเทียบค่าความเครียดแรงดึงเมื่อชิ้นส่วนตัวอย่างฉีกขาดเมื่อเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ	50
รูปที่ 4. 14 กราฟเปรียบเทียบค่า Moment of resilience ของชิ้นส่วนตัวอย่างในการทดสอบแรงดึงเมื่อเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ 0-1000 ชั่วโมง.....	50
รูปที่ 4. 15 การติดตั้งชิ้นส่วนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบแรงเฉือน	51
รูปที่ 4. 16 ก่อนทำการทดสอบแรงเฉือนของชิ้นส่วนตัวอย่าง.....	52
รูปที่ 4. 17 การทดสอบแรงเฉือนของชิ้นส่วนตัวอย่าง	52
รูปที่ 4. 18 ลักษณะการพังของชิ้นส่วนตัวอย่างเมื่อผ่านการทดสอบแรงเฉือน.....	53

รูปที่ 4. 19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในการทดสอบแรงเฉือนของชิ้นส่วน ตัวอย่าง.....	55
รูปที่ 4. 20 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบ สารเคลือบผิวอะคริลิก (NC).....	55
รูปที่ 4. 21 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบ สารเคลือบผิวอะคริลิก (C).....	56
รูปที่ 4. 22 กราฟเปรียบเทียบค่าความเค้นแรงเฉือนสูงสุดของชิ้นส่วนตัวอย่างเมื่อเร่งปฏิกิริยา สภาพอากาศ 0-1000 ชั่วโมง	56
รูปที่ 4. 23 กราฟเปรียบเทียบระยะยืดตัวก่อนฉีกขาดของชิ้นส่วนตัวอย่างเมื่อเร่งปฏิกิริยาสภาพ อากาศ 0-1000 ชั่วโมง.....	57
รูปที่ 4. 24 กราฟเปรียบเทียบค่า Moment of resilience ของชิ้นส่วนตัวอย่างในการทดสอบ แรงเฉือนเมื่อเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ 0-1000 ชั่วโมง	57
รูปที่ 4. 25 แรงดึงที่เกิดขึ้นบนรอยต่อ	58
รูปที่ 4. 26 เส้นแนวโน้มของค่าความเครียดก่อนการฉีกขาดจากผลการทดสอบแรงดึง.....	59
รูปที่ 4. 27 กราฟเปรียบเทียบค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดของชิ้นส่วนตัวอย่างเมื่อเร่งปฏิกิริยาสภาพ อากาศ 0-1000 ชั่วโมง.....	60
รูปที่ 4. 28 ทำนายการเสื่อมสภาพของชิ้นส่วนตัวอย่างที่เคลือบผิวอะคริลิก	62
รูปที่ 4. 29 เปรียบเทียบราคาทบทันระหว่างอาคารที่ใช้และไม่ใช้สารเคลือบผิวอะคริลิก.....	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

หากกล่าวถึงงานโครงสร้างในปัจจุบัน ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast concrete) ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานอาคารสูง เนื่องจากทำให้มีความสะดวกรวดเร็วในการก่อสร้าง มีความแข็งแรงทนทาน สวยงามและคุณภาพสม่ำเสมอ แต่อย่างไรก็ดี โครงสร้างประเภทนี้มักมีปัญหาด้านรั่วซึม เนื่องจากมีการนำชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแต่ละแผ่นมาต่อเข้าด้วยกัน และวัสดุอุดรอยต่อด้วยวัสดุอุดรอยต่อ (sealant) ซึ่งวัสดุดังกล่าวมักมีการเสื่อมสภาพจากอายุการใช้งานและความทนทานต่อสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น รังสีอัลตราไวโอเล็ต, แสงแดด, ความร้อน, และความชื้น หากขาดการบำรุงรักษาอย่างถูกวิธีจะส่งผลให้รอยต่อเกิดการเสื่อมสภาพและเป็นสาเหตุของปัญหาน้ำรั่วซึมกับโครงสร้างได้

เมื่อวัสดุอุดรอยต่อเสื่อมสภาพ นอกจากจะทำการเปลี่ยนใหม่แล้ว การใช้สารเคมีเคลือบบริเวณวัสดุอุดรอยต่อก็เป็นอีกทางหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากมีความสะดวก ประหยัด และง่ายต่อการเพิ่มอายุการใช้งานของวัสดุ

จากการศึกษาในอดีตพบว่า ปัจจัยหนึ่งที่ทำให้วัสดุอุดรอยต่อเสื่อมสภาพ คือ รังสี, อุณหภูมิ, และความชื้น โดยความรุนแรงของการเสื่อมสภาพแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ประเภทของวัสดุอุดรอยรั่ว, การติดตั้ง, และการใช้งาน อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีทาวัสดุอุดรอยต่อยังไม่เป็นที่นิยมใช้ในประเทศไทยเท่าที่ควร จึงนำมาซึ่งปัญหาที่ว่า อัตราการเสื่อมสภาพของวัสดุอุดรอยต่อเนื่องจากสภาพแวดล้อมภายนอกเป็นอย่างไร และสารเคลือบผิวอะคริลิกมีผลต่อการเสื่อมสภาพของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนระหว่างรอยต่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมากน้อยอย่างไร เนื่องจากยังมีผู้ศึกษาน้อยมาก

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดลองโดยนำชิ้นส่วนตัวอย่างวัสดุอุดรอยต่อประเภทโพลียูรีเทนทดสอบเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ (Accelerated Weathering Test) เพื่อจำลองสภาพอากาศที่วัสดุถูกกระทำจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร และนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ (การเปลี่ยนแปลงของสีและความแข็ง) และคุณสมบัติเชิงกล (ความสามารถในการรับแรงดึงและแรงเฉือน) โดยวัสดุอุดรอยต่อดังกล่าวถูกนำไปทดสอบเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศที่ระยะเวลา 200, 400, 600, 800 และ 1000 ชั่วโมง งานวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาอัตราการเสื่อมสภาพของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนที่เคลือบและไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก โดยมีการออกแบบชิ้นส่วนตัวอย่างสำหรับทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสี, ความแข็ง, แรงดึง และแรงเฉือน และอภิปรายผลความสัมพันธ์ระหว่างความ

เค้นและความเครียดทั้งในพฤติกรรมการรับแรงดึงและแรงเฉือนของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทน การเปลี่ยนแปลงของสี และความแข็ง ที่มีผลมาจากระยะเวลาในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ

1.2 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ (การเปลี่ยนแปลงของสีและความแข็ง) และคุณสมบัติเชิงกล (ความสามารถในการรับแรงดึงและแรงเฉือน) ของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่เคลือบและไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก โดยเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ (Accelerated Weathering Tester)
2. เพื่อศึกษาอัตราการเสื่อมสภาพของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนที่เคลือบและไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกโดยผ่านการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศที่ 200, 400, 600, 800 และ 1000 ชั่วโมง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีขอบเขตดังนี้

1. วัสดุอุดรอยต่อเป็นประเภทโพลียูรีเทนเท่านั้น
2. ใช้สารเคลือบผิวอะคริลิกเพียงชนิดเดียวในการเคลือบชิ้นส่วนตัวอย่าง
3. มีการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิก่อนเข้าและหลังการเข้าเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ (Accelerated Weathering Tester)
4. พิจารณาความทนทานของวัสดุอุดรอยต่อที่มีอิทธิพลจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมเท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้ คือ

1. วัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกมีคุณสมบัติเชิงกลและกายภาพที่ดีกว่าหรือเสื่อมสภาพน้อยกว่าวัสดุอุดรอยต่อแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปที่ไม่ได้เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก
2. สามารถทราบถึงอัตราการเสื่อมสภาพและประสิทธิภาพของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทน

1.5 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 11 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนที่ 1) ทำความเข้าใจปัญหา และหาแนวทางการพิสูจน์
- ขั้นตอนที่ 2) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง
- ขั้นตอนที่ 3) ศึกษาวิธีการทดลองต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
- ขั้นตอนที่ 4) นำเสนอโครงร่างวิทยานิพนธ์
- ขั้นตอนที่ 5) ออกแบบและเตรียมชิ้นส่วนตัวอย่าง
- ขั้นตอนที่ 6) ทำการทดสอบเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ
- ขั้นตอนที่ 7) ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ (การเปลี่ยนแปลงของสีและความแข็ง)
- ขั้นตอนที่ 8) ทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล (การทดสอบแรงดึงและการทดสอบแรงเฉือน)
- ขั้นตอนที่ 9) วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการดำเนินงาน
- ขั้นตอนที่ 10) รวบรวมข้อมูลและนำเสนอวิทยานิพนธ์
- ขั้นตอนที่ 11) รวบรวมข้อมูลเพื่อนำเสนอผลงานวิจัยในงานสัมมนา



บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (precast concrete wall) เป็นองค์อาคารที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน เนื่องจากมีความแข็งแรง คงทน และสะดวกรวดเร็วในการติดตั้ง อย่างไรก็ตามผนังคอนกรีตสำเร็จรูปยังมีข้อเสียที่บริเวณรอยต่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูปแต่ละแผ่น โดย Chew ML และ Lee DY (1997) และ Wolf AT (1996) กล่าวว่าวัสดุอุดรอยต่อ (sealant) บริเวณนั้นมักเกิดปัญหาการเสื่อมสภาพเนื่องจาก รังสีอัลตราไวโอเล็ต, อุณหภูมิ, และความชื้น รูปที่ 2.1 แสดงการเสื่อมสภาพของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนระหว่างผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ซึ่งหากขาดการดูแลรักษาวัสดุอุดรอยต่อดังกล่าวจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหาการรั่วซึมได้

ในบทนี้จะกล่าวถึงรอยต่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูปประเภทต่างๆ, วัสดุอุดรอยต่อ, วัสดุอุดรอยต่อประเภทโพลียูรีเทน, การทดสอบแรงปฏิบัติการสภาพอากาศ, การทดสอบแบบไม่ทำลายวิธีต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย, สารประกอบอะคริลิก, และพฤติกรรมของรอยต่อแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป



รูปที่ 2. 1 การเสื่อมสภาพของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทน (Withit)

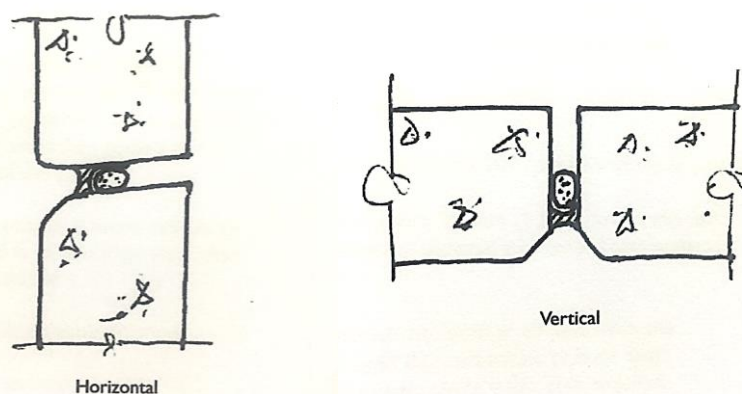
2.2 รอยต่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (joint of precast concrete wall)

2.2.1 ประเภทของรอยต่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

จากการศึกษาในอดีต Canada Mortgage and Housing Corporation (2003) ได้แบ่งประเภทของรอยต่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูปเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. รอยต่อเดี่ยว (Single-stage joint)

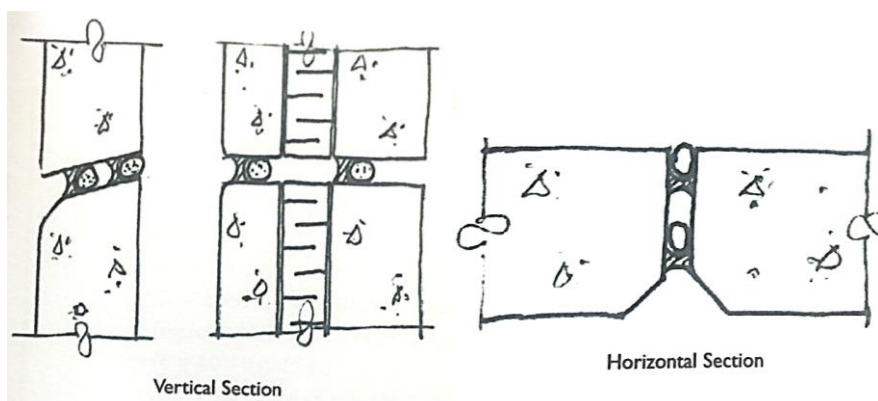
รอยต่อประเภทนี้มีลักษณะเป็นเส้นตรงเดี่ยว ซึ่งมีวัสดุอุดรอยต่อ (sealant) ตามแนวยาว ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ทำหน้าที่ป้องกันการรั่วซึมจากน้ำฝนและอากาศ (air leakage) เข้าไปภายในอาคาร เป็นรอยต่อที่ใช้ต้นทุนในการก่อสร้างต่ำกว่ารอยต่อคู่ อีกทั้งคุณภาพของรอยต่อยังขึ้นอยู่กับความประณีตของคณงานก่อสร้างด้วย การพังของวัสดุอุดรอยต่อแม้มีขนาดเล็กก็สามารถทำให้น้ำฝนหรืออากาศเข้าไปภายในได้ ซึ่งวัสดุอุดรอยต่อสามารถเสื่อมสภาพได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet light), น้ำ, และแสงแดด ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของวัสดุอุดรอยต่อลดน้อยลง



รูปที่ 2. 2 รอยต่อเดี่ยว (Single-stage joint) (Canada Mortgage and Housing Corporation 2003)

2. รอยต่อคู่ (Two-stage joint)

รอยต่อประเภทนี้มีลักษณะเป็นเส้นตรงเดี่ยวจำนวนสองเส้นทั้งด้านในและนอกรอยต่อคั่นกลางด้วยอากาศ ซึ่งสามารถใช้ระบายอากาศหรือน้ำสู่ภายนอกได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 รูปแบบรอยต่อนี้ถือว่ามีารออกแบบที่ดีมาก เนื่องจากรอยต่อด้านนอกทำหน้าที่ป้องกันน้ำฝนไม่ให้อากาศเข้าไปด้านใน ส่วนรอยต่อด้านในจะถูกป้องกันจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตและการสัมผัสน้ำโดยตรง ทำให้ส่งผลถึงการใช้งานที่ยาวนานกว่ารอยต่อเดี่ยว อีกทั้งยังมีรอยต่อสองชั้นทำให้สามารถป้องกันน้ำเข้าสู่ภายในได้ดีกว่ารอยต่อเดี่ยว



รูปที่ 2. 3 รอยต่อคู่ (Two-stage joint) (Canada Mortgage and Housing Corporation 2003)

2.2.2 การออกแบบรอยต่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ในการออกแบบขนาดของรอยต่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูป Canada Mortgage and Housing Corporation (2003) ได้ทำการเสนอปัจจัยต่างๆที่ควรคำนึงถึงก่อนการออกแบบ ได้แก่ ความต้องการของตัวโครงสร้าง (ปริมาณการเคลื่อนที่), ความสวยงามทางสถาปัตยกรรม, สภาพภูมิอากาศ และสิ่งรบกวนภายนอก, ปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์, ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการก่อสร้าง, และความกว้างความลึกของรอยต่อ โดยปัจจัยที่ต้องทราบเมื่อทำการออกแบบ ได้แก่ ความกว้างและความลึก, ชนิดของวัสดุอุดรอยต่อ, ตำแหน่งของรอยต่อ, จำนวนของรอยต่อ, และความสวยงามทางด้านสถาปัตยกรรม โดยรอยต่อจะต้องเป็นภาพลักษณ์ที่สวยงามให้กับโครงสร้างได้ การออกแบบรอยต่อที่ไม่ดีจะส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์ที่คนสามารถสังเกตเห็นได้ ดังนั้นจึงต้องมีการดูแลรอยต่อให้อยู่ในสภาพที่ดี เช่น ทาสารเคมีที่สามารถป้องกันผลกระทบจากรังสีอัลตราไวโอเลตเพื่อลดการเสื่อมสภาพและการเลือกวัสดุที่ใช้ ในทางปฏิบัติตำแหน่งของรอยต่อมักจะถูกพิจารณาในช่วงการออกแบบและพัฒนา (design development phase) โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อตำแหน่งของรอยต่อ มีดังต่อไปนี้

- 1) ขนาดของแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป
- 2) สภาพอากาศ
- 3) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น
- 4) ผลกระทบต่อวัสดุรอบข้าง
- 5) ตำแหน่งของช่องเปิด

รอยต่อมีส่วนสำคัญต่อรูปแบบการรับมือกับสภาพแวดล้อม เช่น รอยต่อแนวตั้งสามารถช่วยเป็นทางระบายน้ำได้ และต้องมีการออกแบบให้ป้องกันการดูดซึมความชื้นด้วย

ในการออกแบบขนาดหรือความกว้างของรอยต่อ (joint sizing) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 สามารถคำนวณได้ดังจากสมการที่ (1)

$$J_w = (100/S_m) \times C_t \times \Delta T \times L \quad (1)$$

โดย J_w = ความกว้างของรอยต่อ

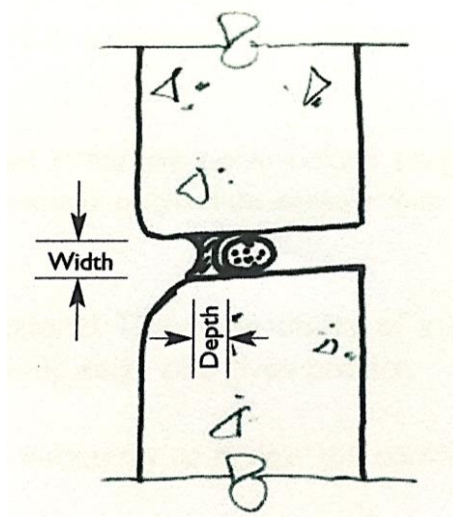
S_m = ความสามารถในการเคลื่อนที่ของวัสดุอุดรอยต่อ (%)

C_t = สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ

(สำหรับคอนกรีตมีค่า $11 \times 10^{-6}/m/m/^{\circ}C$ หรือ $6 \times 10^{-6} in/in/^{\circ}F$)

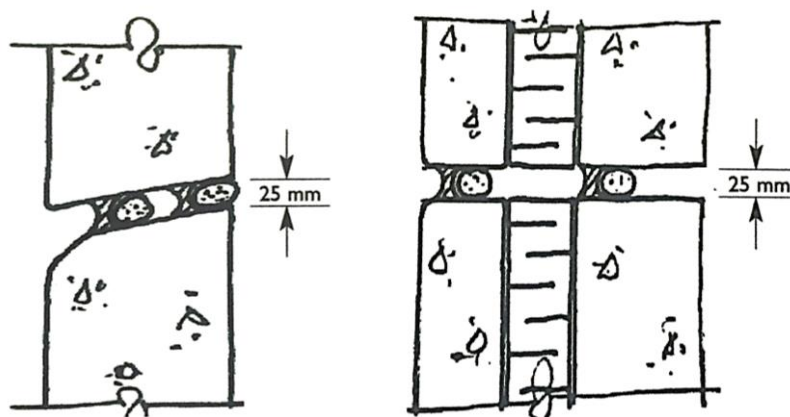
ΔT = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด

L = ความยาวหรือความสูงของแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป



รูปที่ 2. 4 ความกว้างรอยต่อ (Canada Mortgage and Housing Corporation 2003)

ความกว้างของรอยต่อน้อยที่สุด (minimum joint width) ที่สามารถติดตั้งสำหรับรอยต่อชั้นเดียว (single-stage joint) คือ 19 มิลลิเมตร หรือ $\frac{3}{4}$ นิ้ว และสำหรับรอยต่อสองชั้น (two-stage joint) คือ 25 มิลลิเมตร หรือ 1 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งความกว้างของรอยต่อน้อยที่สุดนี้จะมีผลคลาดเคลื่อนในการก่อสร้าง ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้จากค่าในแบบเพื่อก่อสร้าง (shop drawing) สามารถมีค่า ± 6 มิลลิเมตร หรือ $\pm \frac{1}{4}$ นิ้ว ซึ่งหารอยต่อที่ก่อสร้างมีขนาดน้อยที่สุดที่สามารถรับได้ คือ 12 มิลลิเมตร สำหรับรอยต่อชั้นเดียว และ 19 มิลลิเมตร สำหรับรอยต่อสองชั้น ส่วนรอยต่อที่มุมสามารถมีความกว้าง 30 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นจุดที่จะเกิดการเคลื่อนที่และมีการขยายตัวของแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปมาก



รูปที่ 2. 5 ความกว้างของรอยต่อน้อยที่สุด (Canada Mortgage and Housing Corporation 2003)

นอกจากนี้ CPCI (2000) ยังได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความลึกของวัสดุอุดรอยต่อที่มีผลต่อการใช้งานว่ายิ่งใช้ความลึกของวัสดุอุดรอยต่อมากขึ้นเท่าไร ไม่ได้หมายความว่าส่งผลดีกับรอยต่อเสมอไป เนื่องจากการใช้ความลึกที่มากเกินไป จะทำให้เกิดความเค้นในวัสดุอุดรอยต่อและเป็นสาเหตุเริ่มต้นของการพัง เช่น การพังจากการติดประสาน (adhesion failure) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 แต่หากใช้ความกว้างที่แคบเกินไปไม่เพียงพอต่อการเคลื่อนไหวของรอยต่อจะทำให้วัสดุอุดรอยต่อถูกบีบออก เช่น การพังจากการเคลื่อนที่ของรอยต่อ (cohesion failure) ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2. 6 การพังจากการติดประสาน (adhesion failure) (CPCI 2000)



รูปที่ 2. 7 การพังจากการเคลื่อนที่ของรอยต่อ (cohesion failure) (CPCI 2000)

2.3 วัสดุอุดรอยต่อ (Sealant)

2.3.1 ชนิดของวัสดุอุดรอยต่อ

ChemTec Publishing (2012) เสนอว่าวัสดุที่ใช้สำหรับกันรั่วในงานก่อสร้างมีมากมายหลายประเภทขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ที่แตกต่างกันในแต่ละสถานการณ์ โดยวัสดุอุดรอยต่อสำหรับอุดรอยต่อระหว่างกำแพงที่ใช้โดยทั่วไป ได้แก่ ซิลิโคน (silicone), โพลียูรีเทน (polyurethane), โพลีซัลไฟด์ (polysulphides), และอะครีลิก (acrylics)

โดยจุดประสงค์หลักของวัสดุอุดรอยต่อ คือ การเชื่อมระหว่างรอยต่อของพื้นผิวหลายแผ่น ภายใต้สภาพแวดล้อมภายนอก และการเคลื่อนที่ของรอยต่อ

2.3.2 การเสื่อมสภาพของวัสดุอุดรอยต่อ

คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุประเภทยาง (elastomers) ได้ถูกศึกษาโดย Smith (1993) สามารถเสื่อมสภาพได้เมื่อสัมผัสกับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม การเสื่อมสภาพดังกล่าวสามารถสังเกตได้จากรอยแตกแยก (cracking), การลอก (peeling), การเป็นขุยผง (chalking), การเปลี่ยนแปลงสี (color changes), และตำหนิอื่นๆบนพื้นผิวยาง โดยไอโซนและองค์ประกอบอื่นๆในชั้นบรรยากาศ, แสงแดด, ออกซิเจน, อุณหภูมิ, และความชื้น สามารถกระตุ้นการเสื่อมสภาพของวัสดุประเภทยางได้ โดยแต่ละปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อการเสื่อมสภาพที่แตกต่างกัน เช่น รังสีอัลตราไวโอเล็ตทำให้พื้นผิวของวัสดุมีความแข็งขึ้น นำไปสู่การเป็นแตกแยกแบบไร้ทิศทาง (crazing), การเป็นขุยผง, การแตกแยกของพื้นผิว, และการกัดกร่อนของพื้นผิววัสดุประเภทยาง ออกซิเจนทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันของพอลิเมอร์ซึ่งนำไปสู่การสูญเสียคุณสมบัติเชิงกลและความยืดหยุ่นของวัสดุประเภทยาง ซึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาดังกล่าวมีผลมากขึ้นด้วย อีกทั้ง M.Y.L. Chew (1999) ยังได้เสนอว่ารังสีในชั้น

บรรยากาศ ก็ส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของวัสดุประเภทยาง กล่าวคือ แสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งเป็นแสงแดดที่มีความยาวคลื่นที่สั้นที่สุดและ 5% ของแสงแดดที่กระทบต่อพื้นผิวโลกซึ่งมีความยาวคลื่นระหว่าง 280-400 นาโนเมตร สามารถส่งผลให้เกิด photochemical change กับวัสดุภายนอก เมื่อออกซิเจนและรังสีอัลตราไวโอเล็ตทำให้วัสดุเริ่มเสื่อมสภาพ ออกซิเจนที่อยู่ในชั้นบรรยากาศสามารถออกซิไดซ์สายโซ่พอลิเมอร์ด้วยปฏิกิริยาห่วงโซ่ไฮโดรเพอโรออกไซด์ เกิดเป็น Free radical ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา นอกจากนี้โอโซนในชั้นบรรยากาศมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดอันตรายกับส่วนของโมเลกุลพอลิเมอร์ที่ไม่อิ่มตัว และยังส่งผลกระทบต่อโมเลกุลพอลิเมอร์ที่อิ่มตัวในการเริ่มกระบวนการ peroxide decomposition chain ในทั้งสองกรณีผลลัพธ์ในการขาดออกของโมเลกุลจะนำไปสู่การเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ อีกทั้งความชื้นในรูปของฝน, น้ำค้าง, และอากาศที่มีความชื้นสูง สามารถส่งผลเสียต่อวัสดุอุดรอยต่อได้เช่นกัน เนื่องจากความชื้นจะกระจายเข้าสู่เนื้อของพอลิเมอร์และทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ (plasticiser) คือ ทำให้พอลิเมอร์มีความอ่อนตัวมากขึ้น หรือมีอิทธิพลในระยะยาวกับการพังจากการติดประสาน (adhesion failure)

M.Y.L. Chew (1999) ได้ทำการศึกษาว่าวัสดุประเภทยางที่ใช้สำหรับภายนอกอาคาร เช่น วัสดุอุดรอยต่อ มักจะได้รับผลกระทบของแสงแดด, ฝน, และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ในกรณีที่อุณหภูมิในอากาศสูงสุดที่ 45 องศาเซลเซียส พื้นผิวของคอนกรีตที่อยู่ภายนอกจะมีอุณหภูมิสูงถึง 70 องศาเซลเซียส ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดังกล่าวนี้ จะส่งผลให้คุณสมบัติของวัสดุอุดรอยต่อเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยอุณหภูมิสูงอาจมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุหรือเป็นสาเหตุของปฏิกิริยาตัดสายโซ่ขาด (random chain scission) อีกทั้ง M.Y.L. Chew (1999) ยังได้แบ่งการเสื่อมสภาพที่เกิดจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมดังกล่าวออกเป็นรูปแบบต่างๆ และบางรูปแบบสามารถเกิดขึ้นพร้อมกัน รูปแบบการเสื่อมสภาพของวัสดุอุดรอยต่อมีดังต่อไปนี้

1. การเสื่อมสภาพจากอุณหภูมิ (Thermal degradation)
2. การเสื่อมสภาพทางเชิงกล (Mechanical degradation)
3. การเสื่อมสภาพทางเคมีเชิงแสง/รังสี (Photochemical/radiation degradation)
4. การเสื่อมสภาพทางชีวภาพ (Biological degradation)
5. การเสื่อมสภาพทางความชื้น (Hydrolytic degradation)
6. การเสื่อมสภาพทางเคมี (Chemical degradation)

ในการป้องกันการเสื่อมสภาพของวัสดุประเภทยางมีหลากหลายวิธี โดย Stanley J. Stachelek, Ivan Alferiev et al. (2006) ได้ทำการศึกษากการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโพลียูรีเทนโดยการสร้างพันธะโควาเลนต์กับสารเคมีไตร-เตตระ-บิวทิลฟีนอล (di-tert-butylphenol: DBP) ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะนำไปสู่การแตกแยกของพื้นผิวและการพัง ซึ่ง

สารสารเคมีไค-เตตระ-บิวทิลฟีนอล และ/หรือ คอเลสเตอรอล (Cholesterol: Chol) สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโพลียูรีเทนได้ ในงานวิจัยดังกล่าวจึงศึกษาโดยเปรียบเทียบชิ้นส่วนตัวอย่าง 4 ประเภท ได้แก่ โพลียูรีเทน (PU), โพลียูรีเทนและไค-เตตระ-บิวทิลฟีนอล (PU-DBP), โพลียูรีเทนและคอเลสเตอรอล (PU-Chol) และ โพลียูรีเทนและไค-เตตระ-บิวทิลฟีนอลและคอเลสเตอรอล (PU-Chol-DBP) และนำชิ้นส่วนตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จากผลการทดสอบความสามารถในการยึดหยุ่น, การตรวจสอบพลังงานที่พื้นผิว และการตรวจสอบค่าอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า โพลียูรีเทนและไค-เตตระ-บิวทิลฟีนอล (PU-DBP) สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโพลียูรีเทนได้ดีที่สุด นอกจากนี้ Kenneth B. Tator และ KTA Tator (2015) ได้ทำการเสนอเกี่ยวกับสารเคลือบผิวกับการเสื่อมสภาพ โดยสารเคลือบผิวนอกจากจะใช้เพื่อให้เกิดสีกับพื้นผิวแล้วยังสามารถใช้ประโยชน์ในการป้องกันการเสื่อมสภาพของพื้นผิวจากการสัมผัสด้วยสภาพแวดล้อมภายนอก โดยผลของรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการตัดสายโซ่ขนาดของโมเลกุลส่งผลให้คุณสมบัติทางด้านการยึดหยุ่นตัวมีค่าลดน้อยลง และเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านของโมเลกุลและเรซินซึ่งก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพตามมา โดยวัสดุเรซินที่เป็นที่รู้จักในปัจจุบัน ได้แก่ อีพอกซี (epoxy) อีพอกซีมีความอ่อนไหวกับรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นอย่างมาก จากการศึกษาพบว่า บริเวณพื้นผิวของอีพอกซีจะมีการเสื่อมสภาพโดยการเกิดเป็นขุยผง (chalking) ถึงแม้ว่าจะสัมผัสกับแสงแดดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งการมีขุยผงดังกล่าวจะทำให้พื้นผิวของอีพอกซีมีสีที่จางลง สุดท้ายจะทำให้พื้นผิวกลายเป็นสีขาว แต่อย่างไรก็ตามยังมีเรซินประเภทอื่นๆ ที่มีความสามารถในการทนต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ดี ได้แก่ อะคริลิกและโพลียูรีเทน ซึ่งวัสดุทั้งสองประเภทนี้จะยอมให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตผ่านได้โดยที่โมเลกุลของวัสดุไม่ดูดซับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต จากผลการศึกษาที่พบว่ามี การเสื่อมสภาพเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อนำวัสดุเหล่านี้มาสัมผัสกับแสงแดด

ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจเกี่ยวกับการเสื่อมสภาพของวัสดุอุดรอยต่อภายใต้ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น รังสีอัลตราไวโอเล็ต, อุณหภูมิ, และความชื้น และทำการทดสอบโดยใช้สารเคลือบผิวอะคริลิกเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ เนื่องจากอะคริลิกสามารถทนต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้เป็นอย่างดี

2.3.3 ประเภทและสาเหตุของการพังของวัสดุอุดรอยต่อ (Types and causes of sealant failures)

Ciria (1987) ได้ทำการศึกษาถึงสาเหตุการพังของวัสดุอุดรอยต่อ โดยการพังดังกล่าวขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุอุดรอยต่อที่ใช้, การติดตั้ง, และการใช้งาน วัสดุอุดรอยต่อเป็นวัสดุที่สามารถพังด้วยอายุและสภาพอากาศ ลักษณะการพังของวัสดุอุดรอยต่อมักอยู่ในรูปแบบของการเปลี่ยนสี

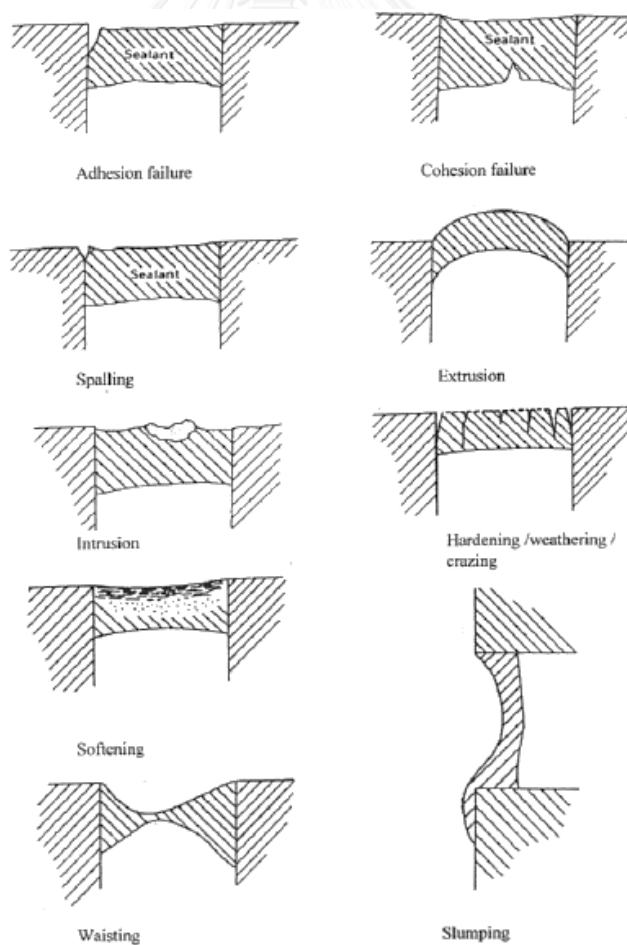
(discoloration), รอยแตก (crazing), และมีความแข็งขึ้น (stiffening) ของพื้นผิววัสดุอุดรอยต่อ ซึ่ง เป็นผลมาจากการระเหยของตัวทำละลาย (solvent evaporation), โอลิโชน, migration of plasticizer, รังสีอัลตราไวโอเล็ต และอื่นๆ ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากสาเหตุเพียงอย่างเดียวหรือหลายสาเหตุ รวมกัน อีกทั้งวัสดุอุดรอยต่ออาจพังเมื่อเกิดการเคลื่อนที่ของรอยต่อก่อนที่วัสดุอุดรอยต่อจะถูกบ่ม อย่างสมบูรณ์ ในกรณีอื่นๆวัสดุอุดรอยต่อเกิดการพังเนื่องจากการเคลื่อนที่เป็นวงรอบเกินขีดจำกัด ของวัสดุ โดยตารางที่ 2.1 แสดงสาเหตุทั่วไปของการพังของวัสดุอุดรอยต่อ และรูปที่ 2.8 แสดง ลักษณะการพังของวัสดุอุดรอยต่อรูปแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. การพังจากการติดประสาน (adhesion failure) เป็นรูปแบบการพังที่เกิดจากการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุอุดรอยต่อและวัสดุพื้นผิว
2. การพังจากการเคลื่อนที่ของรอยต่อ (cohesion failure) เป็นรูปแบบการพังที่เกิดภายในเนื้อของวัสดุอุดรอยต่อ ซึ่งการเคลื่อนที่ของรอยต่อจะทำให้การพังรูปแบบนี้เพิ่มขึ้นได้
3. Spalling มีรูปแบบการพังคล้ายกับการพังจากการติดประสาน เกิดขึ้นเมื่อความแข็งแรงของการติดประสานมากกว่าพื้นผิววัสดุที่นำวัสดุอุดรอยต่อไปประสาน
4. Excessive extrusion เป็นการพังโดยการแอ่นตัวขึ้นของวัสดุอุดรอยต่อ ซึ่งนำไปสู่ความเสียหายทางกายภาพและความสามารถในการคงรูปอยู่ในรอยต่อลดน้อยลง
5. Intrusion เป็นรูปแบบการพังที่พบได้มากในรอยต่อแนวราบในพื้นที่จราจร เกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวของวัสดุอุดรอยต่อถูกซึมด้วยกรวดหรือเศษขยะ
6. Hardening/weathering/crazing การที่พื้นผิวของวัสดุอุดรอยต่อแข็งขึ้นนำไปสู่การแตกแยกของพื้นผิว ซึ่งเป็นผลมาจากการสูญเสียความเป็นพลาสติกหรือตัวทำละลายโดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตและโอลิโชน
7. Softening เกิดจากการบ่มที่ไม่สมบูรณ์หรือการเสื่อมสภาพทางอุณหภูมิหรือปฏิกิริยาเคมีแสง (photochemical) ของพอลิเมอร์ ซึ่งปฏิกิริยาเคมีแสงเกิดจากสารเคมีดูดซับแสงแดด
8. Slumping เป็นรูปแบบการพังโดยวัสดุอุดรอยต่อไหลลงด้านล่าง มักเกิดขึ้นกับรอยต่อแนวตั้ง (vertical joint) และทำให้เกิดเป็นคราบ
9. Waisting การเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุอุดรอยต่อจากการเปลี่ยนแปลงความหนืดของการไหล มักจะนำไปสู่การบางลงของวัสดุอุดรอยต่อบางช่วงในรอยต่อ

ส่วนชนิดของการพังของวัสดุอุดรอยต่อรูปแบบอื่นๆ เช่น การเกิดคราบบนตัวอาคาร, การสลายตัว, การแปลงสภาพเป็นขุยผง, การแตกร้าว, การสูญเสียความมันวาว, และการสูญเสียความยืดหยุ่น

ตารางที่ 2. 1 สาเหตุทั่วไปของการพังของวัสดุอุดรอยต่อ (Ciria 1987)

สาเหตุการพังของวัสดุอุดรอยต่อ	ตัวอย่างที่เป็นไปได้
1. วัสดุ	การเลือกวัสดุอุดรอยต่อที่ผิดประเภทกับวัสดุพื้นผิว
2. คุณภาพในการติดตั้ง	คณงานที่ขาดการฝึกฝนอย่างถูกต้อง
3. การออกแบบรอยต่อ	การออกแบบรอยต่อ เช่น ขนาด, ตำแหน่ง, ขนาดรอยต่อที่ไม่สอดคล้องกับการเคลื่อนที่, รูปร่าง, ลักษณะของวัสดุ
4. ขนาดของวัสดุอุดรอยต่อ	การใช้ขนาดของวัสดุอุดรอยต่อที่ไม่เหมาะสมกับรอยต่อ
5. คุณภาพของวัสดุอุดรอยต่อ	เกิดความผิดพลาดในการควบคุมคุณภาพวัสดุอุดรอยต่อ
6. การใช้งานที่ผิดวิธี	การสื่อสารที่ผิดพลาดระหว่างผู้ขายและโรงงาน หรือขาดความชำนาญในเรื่องวัสดุอุดรอยต่อ
7. ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม	รังสีอัลตราไวโอเล็ต, ความชื้น, และอุณหภูมิ



รูปที่ 2. 8 การพังของวัสดุอุดรอยต่อรูปแบบต่างๆ (Ciria 1987)

2.3.4 วัสดุอุดรอยต่อประเภทโพลียูรีเทน (Polyurethane sealant)

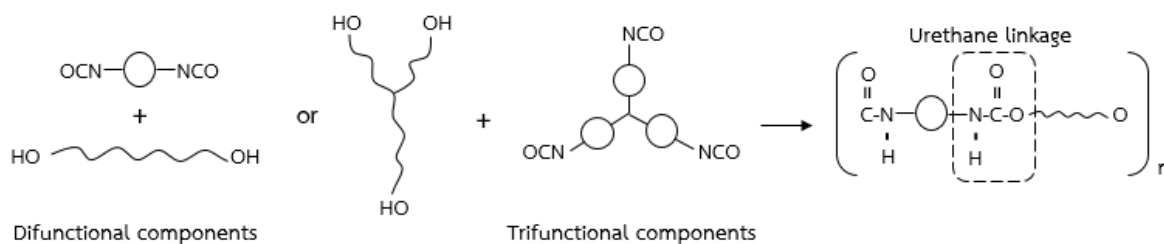
ChemTec Publishing (2012) ได้ทำการเสนอเกี่ยวกับคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุอุดรอยต่อประเภทโพลียูรีเทน (Polyurethane Sealant: PU) โดยวัสดุดังกล่าวเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นตัวสูงเหมาะสำหรับใช้อุดรอยต่อในงานก่อสร้าง เช่น รอยต่อผนังสำเร็จรูป (Precast wall joint), รอยต่อพื้นคอนกรีต (Expansion joint, Floor joint), กรอบวงกบประตู หน้าต่าง อลูมิเนียม, แนวรอยต่อของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์, และรอยปริแตกหรือฉีกขาดของตัวอาคาร โดยมีคุณสมบัติเชิงกล ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2. 2 คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุอุดรอยต่อประเภทโพลียูรีเทน (ChemTec Publishing 2012)

คุณสมบัติเชิงกล	หน่วย	ปริมาณ
ความเค้นแรงดึง (Tensile Strength)	MPa	7.6-66
ความเค้นแรงดึงที่จุดคราก (Tensile Strength at yield)	MPa	31-57.2
เปอร์เซ็นต์การยืดตัว	%	350-1,200
ความต้านทานแรงดัด (Flexural Strength)	MPa	20-120
มอดูลัสแรงดัด (Flexural Modulus)	MPa	540-3,000
ความต้านทานต่อแรงฉีกขาด (Tear Strength)	kN m ⁻¹	24-119
Compression set, 24h 70°C	%	27-40
Shore A hardness	-	60-95
Shore D hardness	-	36-91
Shrinkage	%	1.2-2.5
Brittleness temperature (ASTM D746)	°C	-70
ความทนทานต่อกรด เบส	-	ปานกลาง

ทางด้านเคมี โพลียูรีเทน พันธะยูรีเทน (-NH-CO-O-) สร้างขึ้นโดยหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่ (bifunctional) หรือ 3 หมู่ (trifunctional) ของไฮดรอกซิล (hydroxyl, -OH) และทำปฏิกิริยาร่วมกับหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่ (bifunctional) หรือ 3 หมู่ (trifunctional) ของไอโซไซยาเนต (isocyanate, -NCO) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งความยาวและความแข็งแรงของสายโซ่จะส่งผลถึงคุณสมบัติเชิงกลของโพลิเมอร์ โดยสายโซ่สามารถประกอบได้ด้วยโพลีเอเทอร์ (polyethers) ซึ่งจะทำให้โพลิเมอร์มีความ

อ่อนตัวและดูดน้ำ อีกทั้งยังสามารถประกอบไปด้วยโพลีเอสเตอร์ (polyesters) ซึ่งจะเพิ่มความแข็งแรงให้กับโพลิเมอร์ ปริมาณของโมเลกุลฟังก์ชัน 3 หมู่ ไม่ว่าจะเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลหรือหมู่ไอโซไซยาเนตก็ตาม จะทำให้เกิดพอลิเมอร์แบบร่างแห ซึ่งมีความสำคัญต่อความแข็งแรงของพอลิเมอร์ โดยวัสดุยึดรอยต่อสำหรับโครงสร้างจำเป็นจะต้องมีพอลิเมอร์แบบร่างแหดังกล่าว



รูปที่ 2. 9 ปฏิกิริยาการเกิดโพลียูรีเทน (Patchanita)

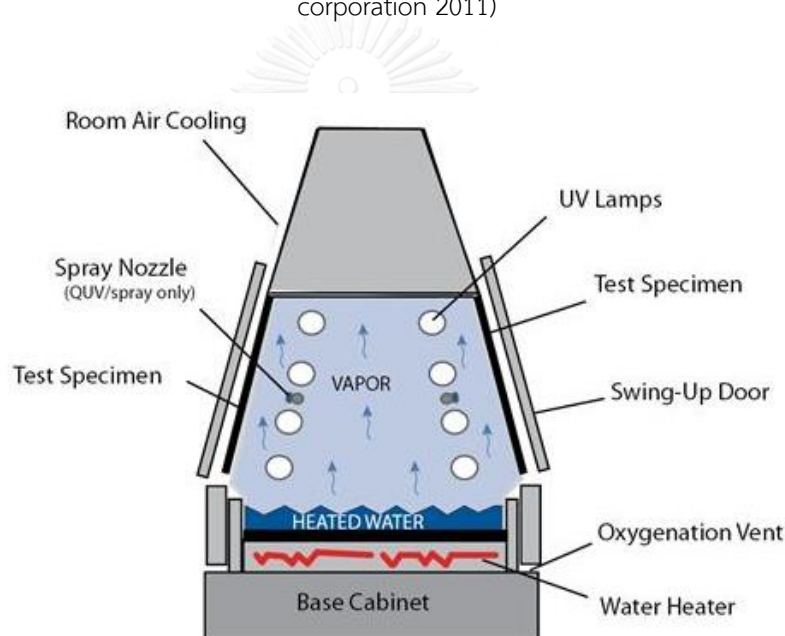
2.4 การทดสอบเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ (QUV accelerated weathering tester)

การทดสอบเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ (QUV accelerated weathering test) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) G154 Bridgewater TJ และ Carby LD (1992) และ Qlab corporation (2011) ได้เสนอเครื่องมือทดสอบเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 สำหรับทดสอบความเสียหายของสิ่งที่น่าสนใจจากแสงแดด, ฝน, และ น้ำค้าง ซึ่งใช้เวลาในการทดสอบหลายวันหรือเป็นสัปดาห์ เพื่อที่เปรียบเทียบค่ากับระยะเวลาเป็นเดือนหรือปีในสภาวะจริง เครื่องทดสอบดังกล่าวได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถใช้งานได้สะดวกและผลทดสอบที่ได้มีความน่าเชื่อถือ

ในการจำลองสภาพอากาศภายนอก เครื่องทดสอบดังกล่าวทำหน้าที่ควบคุมปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ต, ความชื้น, และอุณหภูมิ ที่ค่าต่างๆ และทำการวนรอบซ้ำ (cycle) โดยการจำลองแสงแดดด้วยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent UV lamps) ด้วยความยาวคลื่นความถี่สำหรับรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ (UVA) 315-400 นาโนเมตร และสำหรับรังสีอัลตราไวโอเล็ตบี (UVB) 280-315 นาโนเมตร และจำลองฝนและน้ำค้างด้วยความชื้นหรือการพรมน้ำ (water spray) ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2. 10 เครื่องทดสอบเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ (QUV accelerated weathering tester) (Qlab corporation 2011)



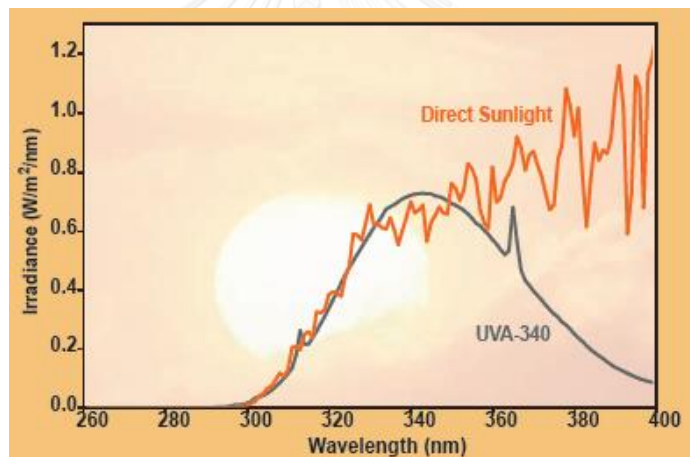
รูปที่ 2. 11 การจำลองสภาพอากาศ (Qlab corporation 2011)

การจำลองแสงแดดและรังสีอัลตราไวโอเล็ตของเครื่องทดสอบดังกล่าวมีความสอดคล้องกับความคงทน (durability) ของวัสดุภายนอกอาคารเป็นอย่างมาก โดยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ภายในเครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ทำหน้าที่จำลองรังสีอัลตราไวโอเล็ตคลื่นสั้นวิกฤต (critical short-wave UV) และแสดงผลในรูปของความเสียหายทางกายภาพที่เกิดจากแสงแดด โดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ 340 (UVA-340) สามารถจำลองแสงแดดในช่วงความยาวคลื่น 315-400 นาโนเมตร ได้ดีที่สุด ซึ่งในช่วงนี้มีผลกระทบต่อความเสียหายของวัสดุคงทนมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.13 และรังสีอัลตราไวโอเล็ตบี 313 (UVB-313) เป็นการจำลองแสงแดดในช่วงความยาวคลื่น 280-315 ซึ่งเป็นคลื่นความถี่สั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งมีพลังงานสูงกว่ารังสีส่วนใหญ่ที่มีในแสงแดด จึง

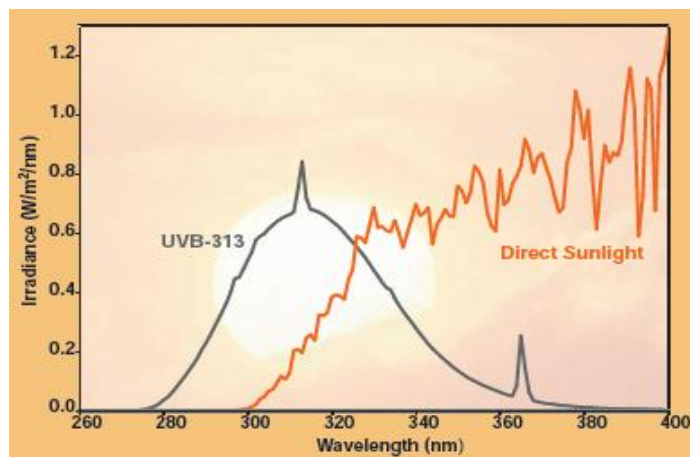
แสดงผลความเสียหายที่แม่นยำจริงสำหรับวัสดุบางชนิด เหมาะสำหรับการควบคุมคุณภาพ (quality control), การวิจัยและพัฒนา (research & development), และการทดสอบวัสดุที่มีความคงทนสูง



รูปที่ 2. 12 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (Qlab corporation 2011)



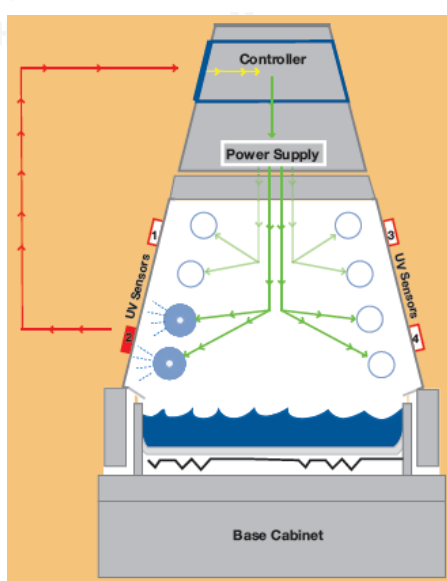
รูปที่ 2. 13 รังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ 340 (Qlab corporation 2011)



รูปที่ 2. 14 รังสีอัลตราไวโอเล็ตบี 313 (Qlab corporation 2011)

การควบคุมความเข้มของปริมาณรังสีมีความสำคัญมาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของแสงส่งผลกระทบต่อความเร็วของการเสื่อมสภาพของวัสดุ และการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมส่งผลกระทบต่อความเร็วและประเภทของการเสื่อมสภาพของวัสดุ ดังนั้นในการทดสอบจำลองสภาพอากาศจึงจำเป็นต้องควบคุมความเข้มของปริมาณรังสีเพื่อผลการทดสอบที่มีประสิทธิภาพ โดยภายในเครื่องทดสอบเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ มีเซนเซอร์ทั้งสองข้างของหลอดไฟซึ่งจะส่งข้อมูลไปยังตัวควบคุม (controller) ด้านบน เพื่อประมวลผลความเข้มของรังสี และส่งข้อมูลมายังตัวจ่ายพลังงาน (power supply) เพื่อส่งคำสั่งไปยังหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และทำการวนขั้นตอนแบบนี้ไปเรื่อยๆ ตลอดการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 โดย A.T.Wolf (2004) ได้ทำการเสนอเกี่ยวกับการทดสอบความคงทนของวัสดุอุดรอยต่อด้วยวิธีเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ โดยมีวงจรให้เลือกใช้งานหลากหลายวงจรขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ทดสอบ เช่น ใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ 340 (UVA-340) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง สลับกับการอบความชื้น เป็นเวลา 4 ชั่วโมง สลับกันไปจนครบ 112 รอบ หรือ 8 สัปดาห์

Su Hua Ding และ Da Zhuang Liu (2005) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินความคงทนของวัสดุอุดรอยต่อของอาคารโดยใช้การทดสอบเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ โดยเลือกใช้วัสดุอุดรอยต่อ 2 ประเภท ได้แก่ ซิลิโคนและโพลียูรีเทน นำตัวอย่างเข้าจำลองสภาพอากาศโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และนำตัวอย่างออกมาทดสอบคุณสมบัติต่างๆของวัสดุ ได้แก่ การทดสอบทางสายตา, การทดสอบความแข็ง, และการทดสอบแรงดึง ทุกๆ 500 ชั่วโมง จนถึง 5,000 ชั่วโมง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การเครื่องทดสอบเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศในการจำลองสภาพแวดล้อมจริง ได้แก่ ความร้อน, รังสีอัลตราไวโอเล็ต, และความชื้น



รูปที่ 2. 15 ระบบควบคุมความเข้มของปริมาณรังสี (Qlab corporation 2011)

2.5 การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive Testing)

2.5.1 การทดสอบความแข็ง (hardness test)

Calce (2001) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบความแข็งซึ่งมีหลากหลายวิธีขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทดสอบ การทดสอบความแข็งที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน มีดังนี้

1. การทดสอบแบบรอกเวลล์ (Rockwell hardness test)
2. การทดสอบแบบบริเนลล์ (Brinell hardness test)
3. การทดสอบแบบวิกเกอร์ (Vickers hardness test)
4. การทดสอบแบบคนูฟ (Knoop hardness test)
5. การทดสอบแบบชอร์ (Shore hardness test)

สำหรับวัสดุที่เป็นพอลิเมอร์ การทดสอบแบบชอร์มีความเหมาะสมที่สุด ดังแสดงในหัวข้อถัดไป

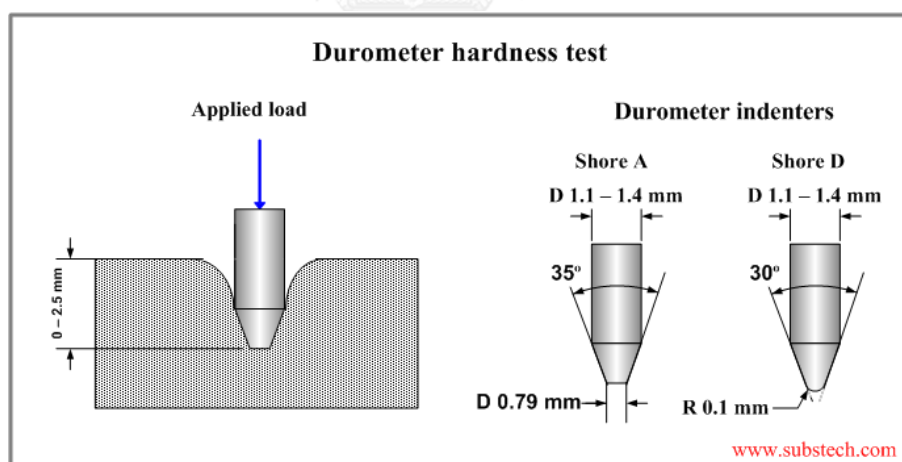
2.5.1.1 การทดสอบแบบชอร์ (Shore hardness test)

Calce (2001) เสนอว่าการทดสอบแบบชอร์ (shore) เป็นการทดสอบความแข็งที่เหมาะสมสำหรับวัสดุที่มีความยืดหยุ่น โดยทดสอบด้วยเครื่องมือดูโรมิเตอร์ (Durometer) ตรงตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) D2240 ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบดังกล่าวมีหลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น มาตรฐานแบบดิจิตอล, และมาตรฐานแบบเข็มหน้าปัด ดังแสดงในรูปที่ 2.16 การทดสอบแบบชอร์มีการใช้สเกล 2 รูปแบบ ได้แก่ ชอร์เอ (shore A) และชอร์ดี (shore D) โดยใช้หลักการในการกดหัวเครื่องวัดความแข็งนี้ลงไปยังวัสดุที่ต้องการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ซึ่งเหมาะสำหรับวัสดุที่เป็นยางหรือวัสดุที่มีความยืดหยุ่น และยังสามารถใช้กับวัสดุที่มีความอ่อนมากกว่าพลาสติกได้ เช่น โพลีโอเลฟิน (polyolefins), ฟลูออโรโพลีเมอร์ (fluoropolymers), และไวนิล (vinyls) โดยสเกลชอร์เอเหมาะสำหรับวัสดุที่มีความอ่อนนุ่มมากกว่าสเกลชอร์ดี ดังแสดงในรูปที่ 2.18 แสดงให้เห็นถึงการใช้อนุกรมวัดทั้งชอร์เอและชอร์ดี กับวัสดุที่มีความยืดหยุ่นชนิดเดียวกัน พบว่าในวัสดุชิ้นเดียวกันเมื่อใช้มาตรวัดชอร์เอจะให้ค่าที่สูงกว่ามาตรวัดชอร์ดี เนื่องจากมาตรวัดชอร์เอสามารถใช้กับวัสดุที่มีความอ่อนมากซึ่งไม่สามารถวัดได้ด้วยมาตรวัดชอร์ดี โดยมาตรวัดชอร์เอสามารถวัดความแข็งแรงของวัสดุที่มีความยืดหยุ่นได้เป็นอย่างดีด้วยเครื่องมือดูโรมิเตอร์ชอร์เอ (shore A durometer) โดยการกดเครื่องมือลงบนวัสดุที่ต้องการทราบค่าความแข็ง หากเครื่องมืออ่านค่าได้ 0 หมายถึงไม่เกิดค่าความแข็ง และหากอ่านค่าได้ 100 แสดงว่าวัสดุมีความอ่อนกว่าสเกลของเครื่องมือวัด โดยสามารถเลือกใช้มาตรวัดที่เหมาะสมกับวัสดุที่ต้องการทราบค่าความแข็งได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.19

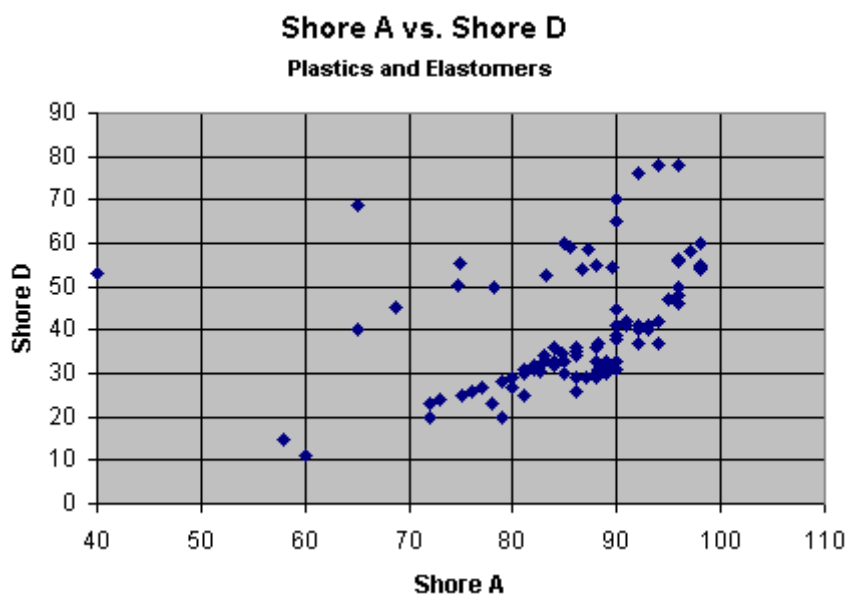
ผลการทดสอบของเครื่องมือวัดค่าความแข็ง สามารถให้ค่าความต้านทานสัมพัทธ์ได้อย่างดี และสามารถแปลงค่าความแข็งนี้เป็นค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ของวัสดุได้อีกด้วย ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป อย่างไรก็ตาม เครื่องมือวัดค่าความแข็งนี้ ไม่สามารถให้ค่าคุณสมบัติอื่นๆ ของวัสดุได้ เช่น ความต้านทานต่อรอยขีดข่วน (resistance of abrasion) ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้เครื่องมือนี้เพียงอย่างเดียวในการออกแบบผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2. 16 เครื่องมือวัดความแข็งแบบชอร์เอ (www.substech.com)

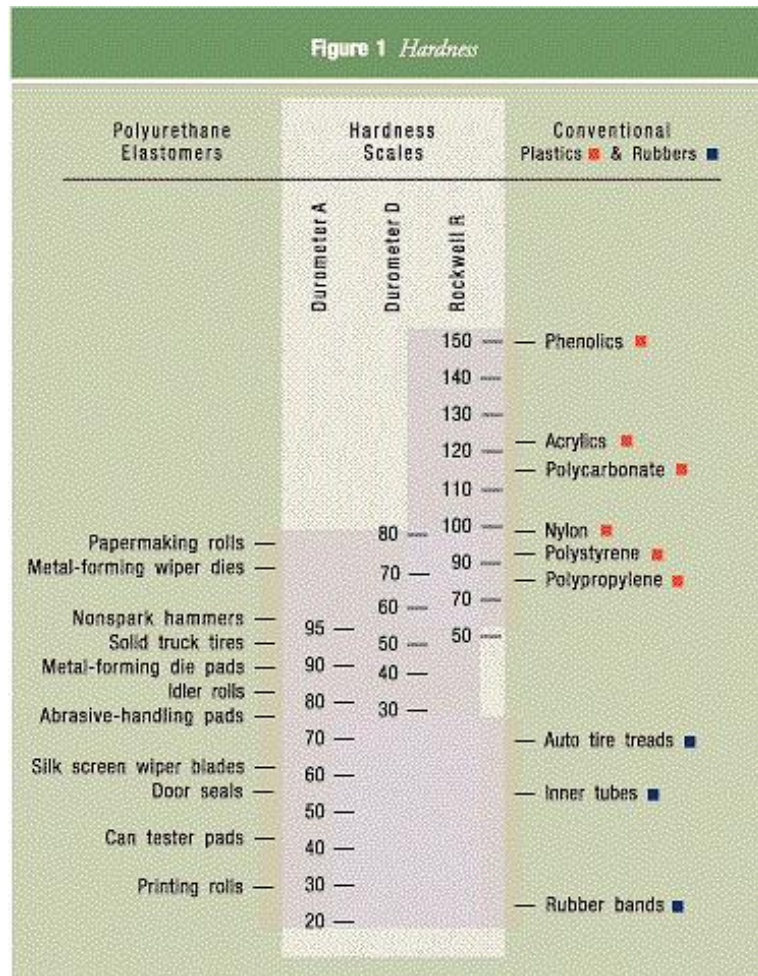


รูปที่ 2. 17 เครื่องมือทดสอบความแข็ง (Durometer) (www.substech.com)

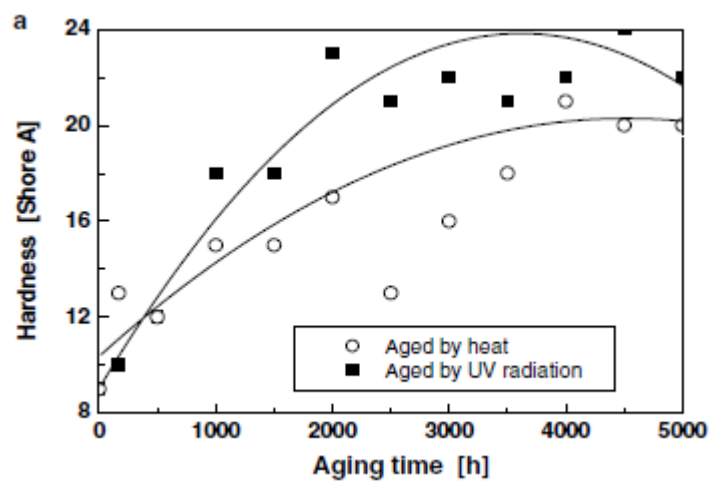


รูปที่ 2. 18 การเปรียบเทียบระหว่างการใช้ shoreA กับ shoreD กับวัสดุชนิดเดียวกัน (Calce 2001)

Su Hua Ding และ Da Zhuang Liu (2005) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่าความแข็งของวัสดุอุดรอยต่อที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาในการทดสอบแรงปฏิกิริยาสภาพอากาศ โดยการใช้ดูโรมิเตอร์มาตรฐานวัดชอร์เอในการวัดค่าความแข็งของวัสดุอุดรอยต่อ 2 ชนิด ได้แก่ ซิลิโคน และโพลียูรีเทน รูปที่ 2.20 แสดงค่าความแข็งของซิลิโคนเมื่อถูกบ่มด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสและรังสีอัลตราไวโอเล็ตด้วยระยะเวลาต่างๆ จะเห็นได้ว่าวัสดุอุดรอยต่อมีความแข็งมากขึ้นเมื่อถูกบ่มด้วยระยะเวลาที่นานขึ้น ซึ่งในการทำวิจัยครั้งนี้ใช้การทดสอบค่าความแข็งด้วยเครื่องมือดูโรมิเตอร์แบบชอร์เอ เนื่องจากวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนมีค่าความแข็งเหมาะสมกับเครื่องมือดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2. 19 การเปรียบเทียบมาตรฐานวัดค่าความแข็งกับวัสดุที่มีความยืดหยุ่น (Calce 2001)



รูปที่ 2. 20 ค่าความแข็งของซิลิโคนที่ระยะเวลาในบ่มด้วยเครื่องทดสอบเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศต่างๆ

(Su Hua Ding และ Da Zhuang Liu 2005)

2.5.2 การทดสอบสีที่เปลี่ยนไป (Color Change)

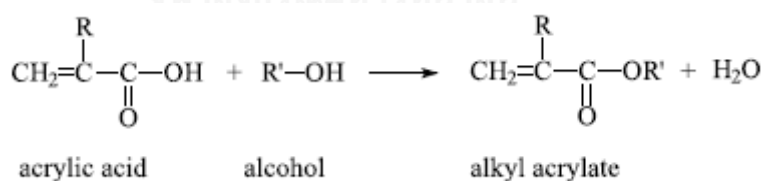
การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสี เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) G154-06 โดยจะให้ค่าเป็น 1-5 ระดับ โดยระดับ 1 บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของสีที่มากที่สุด และระดับ 5 บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของสีที่น้อยที่สุด

Su Hua Ding และ Da Zhuang Liu (2005) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของสีกับวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อถูกบ่มด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และรังสีอัลตราไวโอเล็ตด้วยระยะเวลาต่างๆ พบว่าวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนมีสีเหลืองมากขึ้นหลังจากบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต 3,000 ชั่วโมง

ในงานวิจัยนี้จึงมีการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนเมื่อถูกทดสอบด้วยเครื่องเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ เพื่อใช้เป็นปัจจัยหนึ่งในการประเมินคุณสมบัติเชิงกายภาพของวัสดุ

2.6 สารประกอบอะคริลิก (Acrylic-based solution)

New Zealand Institute of chemistry ได้เสนอการเกิดของอะคริลิก โดยอะคริลิกเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอะคริลิกและแอลกอฮอล์ ดังแสดงในรูปที่ 2.21 ซึ่งอะคริลิกถูกใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม เช่น วัสดุติดประสาน (adhesives), วัสดุเคลือบกระดาษ, งานทาสีในอุตสาหกรรม, สารเติมแต่งซีเมนต์ เป็นต้น



รูปที่ 2. 21 การเกิดอะคริลิก (www.nzic.org.nz)

โดยคุณสมบัติของอะคริลิกมีดังต่อไปนี้

- มีความโปร่งใสคล้ายกระจก
- ทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ
- ทนทานต่อสารเคมีหลายประเภทยกเว้นตัวทำละลายบางชนิด เช่น คลอโรฟอร์ม
- ใสสีให้มีสีส่นได้ตามความต้องการ
- มีจุดอ่อนตัวต่ำ และมีความเหนียว

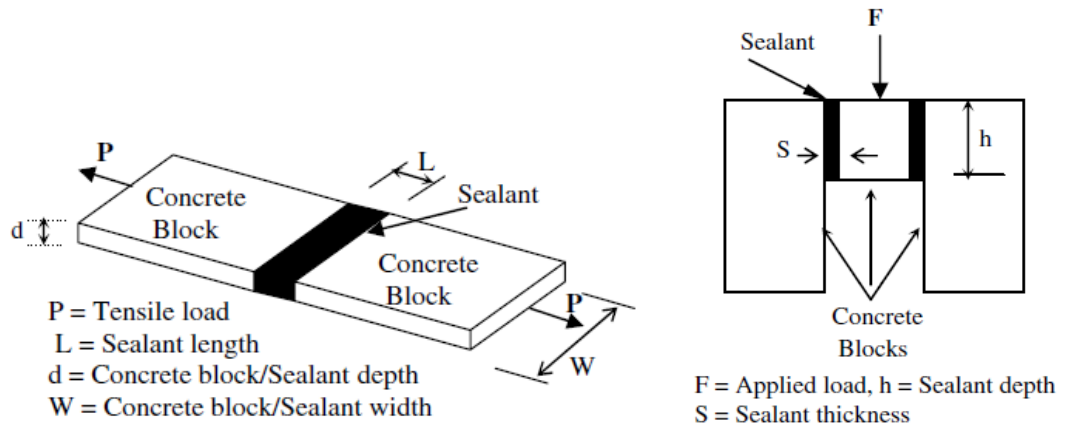
- คงรูปดีมากและทนทานต่อการขีดข่วน
- รวมตัวกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นได้
- เป็นฉนวนไฟฟ้า
- ไม่ดูดความชื้น

2.7 พฤติกรรมของรอยต่อแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป (behavior of precast concrete wall)

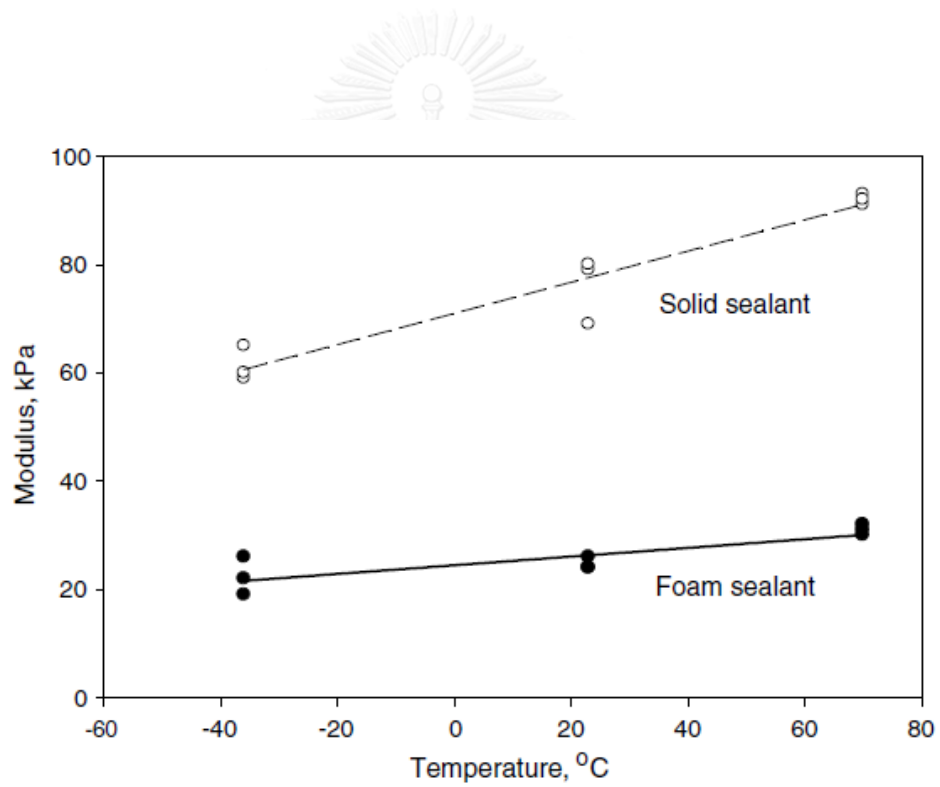
บริเวณรอยต่อแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปมักมีการรับแรงด้วย ซึ่งตัวอย่างแรงที่เกิดขึ้นบนรอยต่อดังกล่าวได้แก่ แรงดึง และแรงเฉือน ดังแสดงในรูปที่ 2.22 สามารถส่งผลให้เกิดการพังด้วยแรงดึงหรือแรงเฉือนในตำแหน่งต่างๆของรอยต่อได้ Remesh B. Mella, Matu R. Shrestha et al. (2007) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้อุณหภูมิที่สูงและต่ำของวัสดุอุดรอยต่อซิลิโคนของรอยต่อสะพาน แล้วนำไปทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงและแรงเฉือน โดยมีการออกแบบชิ้นส่วนตัวอย่างทดสอบแรงดึงและแรงเฉือน ดังแสดงในรูปที่ 2.23 ซึ่งชิ้นส่วนตัวอย่างประกอบด้วยคอนกรีตและวัสดุอุดรอยต่อซิลิโคนแข็ง (Solid sealant) และซิลิโคนโฟม (Foam sealant) มีการใช้อุณหภูมิสูง 70 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำ -36 องศาเซลเซียสกับชิ้นส่วนตัวอย่าง และนำไปทดสอบแรงดึงและแรงเฉือน โดยใช้ความเร็ว 20 มิลลิเมตรต่อนาที (mm./min.) จากการทดสอบแรงดึงพบว่าค่า modulus และค่า ultimate nominal stress เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.24 และ 2.25



รูปที่ 2. 22 ตัวอย่างการพังของวัสดุอุดรอยต่อด้วยแรงดึงและแรงเฉือน



รูปที่ 2. 21 ชิ้นส่วนตัวอย่างในการทดสอบแรงดึงและแรงเฉือนของ Remesh (Remesh et al. 2011)

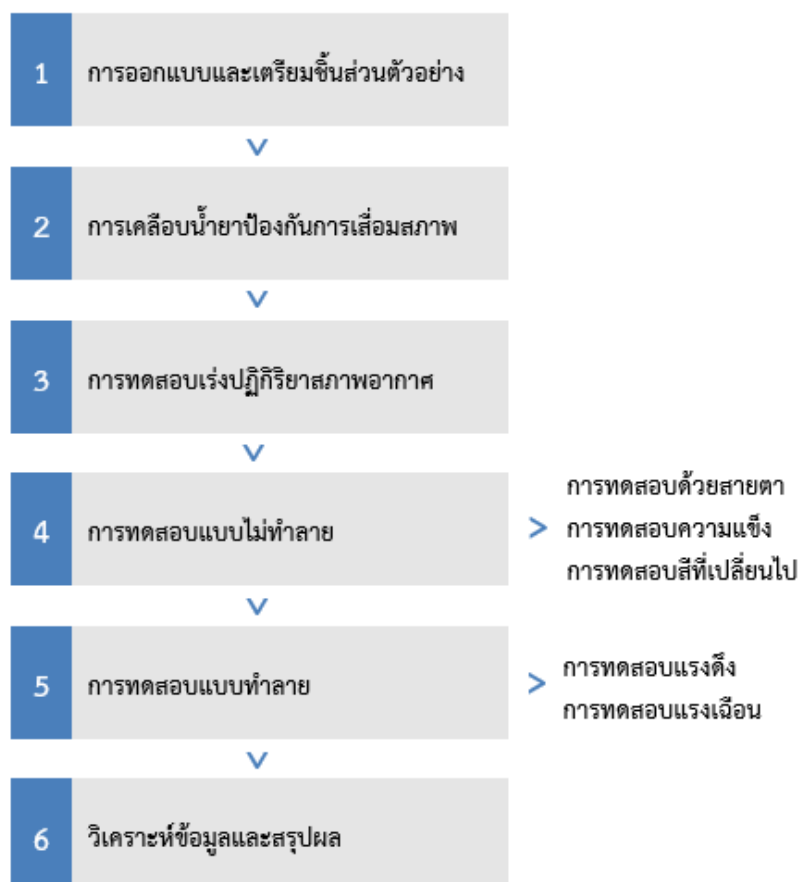


รูปที่ 2. 22 ค่า modulus จากการทดสอบแรงดึงในการทดสอบของ Remesh (Remesh et al. 2011)

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการทำวิจัยโดยเริ่มจากการออกแบบและเตรียมชิ้นตัวอย่าง จากนั้นทำการเคลือบน้ำยาป้องกันการเสื่อมสภาพ และนำชิ้นตัวอย่างเข้าทดสอบเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ (QUV accelerated weathering tester) เมื่อครบตามระยะเวลาที่ต้องการทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลต่างๆ โดยแบ่งออกเป็น การทดสอบแบบไม่ทำลาย ได้แก่ การทดสอบด้วยสายตา, การทดสอบความแข็ง, และการทดสอบสีที่เปลี่ยนไป และการทดสอบแบบทำลาย ได้แก่ การทดสอบแรงดึง และการทดสอบแรงเฉือน ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของชิ้นตัวอย่างโดยมีตัวแปรในการทดลอง คือ การทาน้ำยาป้องกันการเสื่อมสภาพ และระยะเวลาในการทดสอบเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.1



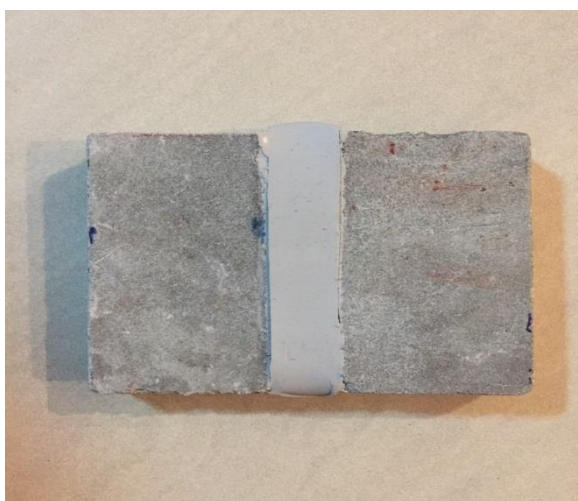
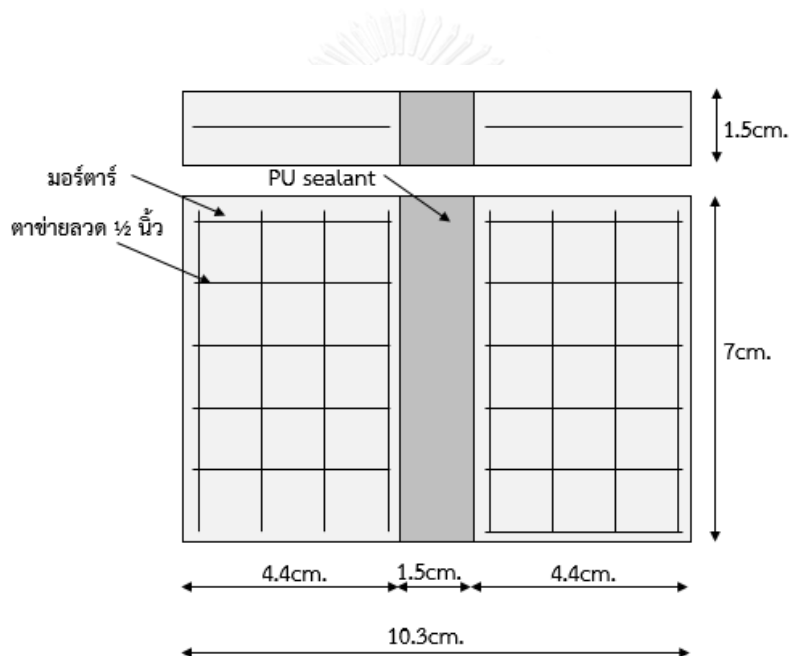
รูปที่ 3. 1 แผนผังการทดสอบ

3.2 การออกแบบและเตรียมชิ้นส่วนตัวอย่าง

ชิ้นส่วนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองทำด้วยวัสดุ-mortar ที่มีกำลังรับแรงอัด 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc) เสริมกำลังด้วยตาข่ายลวดขนาด ½ นิ้ว และเชื่อมต่อชิ้นส่วน-mortar แต่ละชั้นด้วยวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนที่มีความกว้าง 1.5 เซนติเมตร

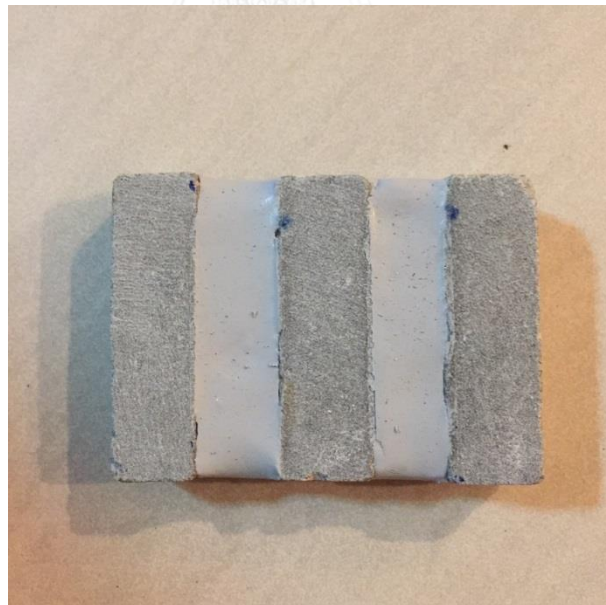
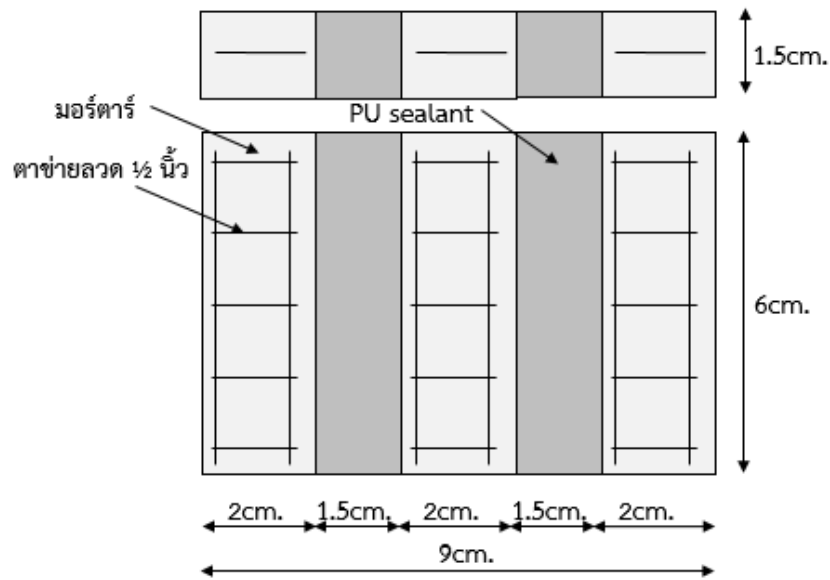
ชิ้นส่วนตัวอย่างแบ่งเป็น 3 ประเภท เพื่อให้เหมาะสมกับการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลในแต่ละประเภท ดังนี้

1. ชิ้นส่วนตัวอย่างสำหรับทดสอบแรงดึง ประกอบด้วยชิ้นส่วน-mortar ที่มีขนาด 4.4x7x1 เซนติเมตร จำนวน 2 ชิ้น เชื่อมต่อกันด้วยวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนขนาด 1.5x7x1 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยเตรียมชิ้นส่วนตัวอย่าง จำนวน 12 ตัวอย่าง



รูปที่ 3. 2 ชิ้นส่วนตัวอย่างสำหรับทดสอบแรงดึง

2. ชั้นส่วนตัวอย่างสำหรับทดสอบแรงเฉือน ประกอบด้วยชั้นส่วนมอร์ตาร์ที่มีขนาด 2x6x1 เซนติเมตร จำนวน 3 ชั้น เชื่อมต่อกันด้วยวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนขนาด 1.5x6x1 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบแรงเฉือน ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยเตรียมชั้นส่วนตัวอย่าง จำนวน 12 ตัวอย่าง



รูปที่ 3.3 ชั้นส่วนตัวอย่างสำหรับทดสอบแรงเฉือน

3. ชิ้นส่วนตัวอย่างสำหรับทดสอบความแข็ง เป็นวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนขนาด 5x5x0.8 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบความแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยเตรียมชิ้นส่วนตัวอย่างจำนวน 12 ตัวอย่าง



รูปที่ 3. 4 ชิ้นส่วนตัวอย่างสำหรับทดสอบความแข็ง

3.3 การเคลือบน้ำยาป้องกันการเสื่อมสภาพ

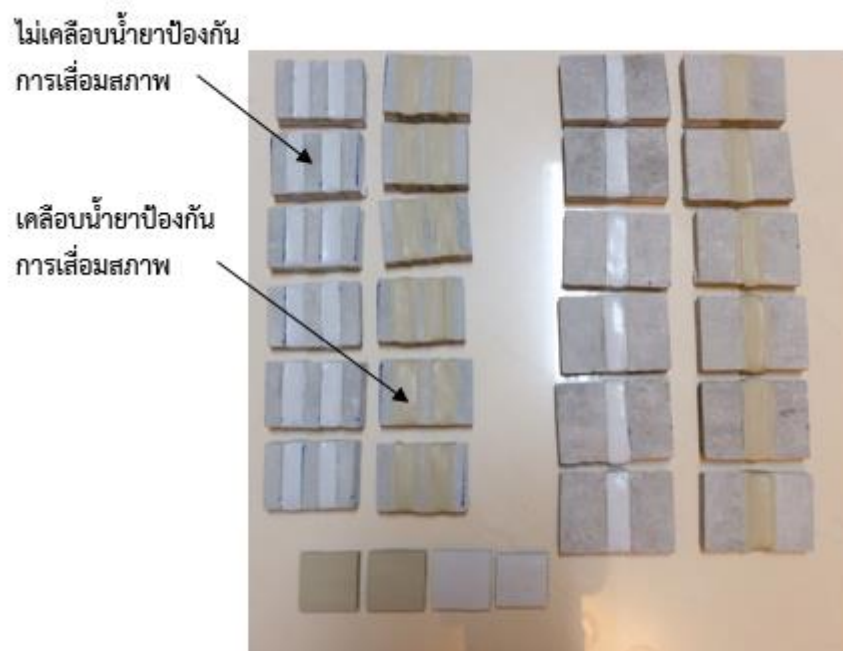
น้ำยาป้องกันการเสื่อมสภาพ LaMaCo Gem Coat CP100 เหมาะสำหรับใช้เคลือบวัสดุคอนกรีตและคอนกรีตเสริมกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 3.5 สามารถใช้ได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร มีค่าความหนาแน่น 1.35 กรัมต่อมิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ทำการเคลือบน้ำยาตามมาตรฐานดังต่อไปนี้

1. ทำความสะอาดพื้นผิววัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทน เช่น ทำให้พื้นผิวแห้ง, ไม่มีฝุ่นเกาะ
2. ทาน้ำยาชั้นที่ 1 ลงบนพื้นผิว โดยผสมน้ำ 5%ต่อน้ำหนัก เป็นปริมาตร 0.15 ลิตรต่อตารางเมตร
3. ทาน้ำยาชั้นที่ 2 ลงบนพื้นผิว โดยไม่ผสมน้ำ เป็นปริมาตร 0.15 ลิตรต่อตารางเมตร

เคลือบน้ำยาป้องกันการเสื่อมสภาพบริเวณวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนจำนวน 18 ตัวอย่าง จากชิ้นส่วนตัวอย่างจำนวน 36 ตัวอย่าง โดยเป็นชิ้นส่วนตัวอย่างสำหรับทดสอบแรงดึง จำนวน 6 ตัวอย่าง, ชิ้นส่วนตัวอย่างสำหรับทดสอบแรงเฉือน จำนวน 6 ตัวอย่าง และชิ้นส่วนตัวอย่างสำหรับทดสอบความแข็ง จำนวน 6 ตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 น้ำยาป้องกันการเสื่อมสภาพ



รูปที่ 3.6 การเคลือบน้ำยาป้องกันการเสื่อมสภาพบนชิ้นส่วนตัวอย่าง

3.4 การทดสอบเร่งปฏิบัติการจำลองสภาพอากาศ (QUV accelerated weathering tester)

การทดสอบเร่งปฏิบัติการจำลองสภาพอากาศ ตามมาตรฐาน ASTM G154 โดย Margeson JL, Lacasse MA et al. (1996) กล่าวว่าเครื่องมือการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.7 สามารถใส่ชิ้นส่วนตัวอย่างได้จำนวน 20 ตัวอย่าง ในขั้นตอนนี้จะทำการทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เครื่องเร่งปฏิบัติการจำลองสภาพอากาศ จะทำการควบคุมรังสี อุณหภูมิ และความชื้น จากมาตรฐานภาวะวงจร ASTM G154 ดังตารางที่ 3.1 โดยจะเลือกใช้วงจรที่ 1 ตามมาตรฐาน มอก. 1097-2554 เนื่องจากสอดคล้องกับการใช้งานจริง โดยทำการทดสอบเป็นเวลา 1000 ชั่วโมง และทดสอบค่าคุณสมบัติเชิงกลและกายภาพของวัสดุทุกๆ 200 ชั่วโมง โดยวงจรที่ 1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ใช้หลอดประเภทอัลตราไวโอเลตเอ (UVA) รับแสงเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 ± 3 องศาเซลเซียส
2. ควบแน่น (อบความชื้น) เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 ± 3 องศาเซลเซียส และทำการวนวงจรแบบนี้ไปเรื่อยๆจนครบตามจำนวนชั่วโมงที่ต้องการ



รูปที่ 3. 7 เครื่องทดสอบเร่งปฏิบัติการจำลองสภาพอากาศ

ตารางที่ 3. 1 ภาวะวงจรทั่วไปในการทดสอบเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ

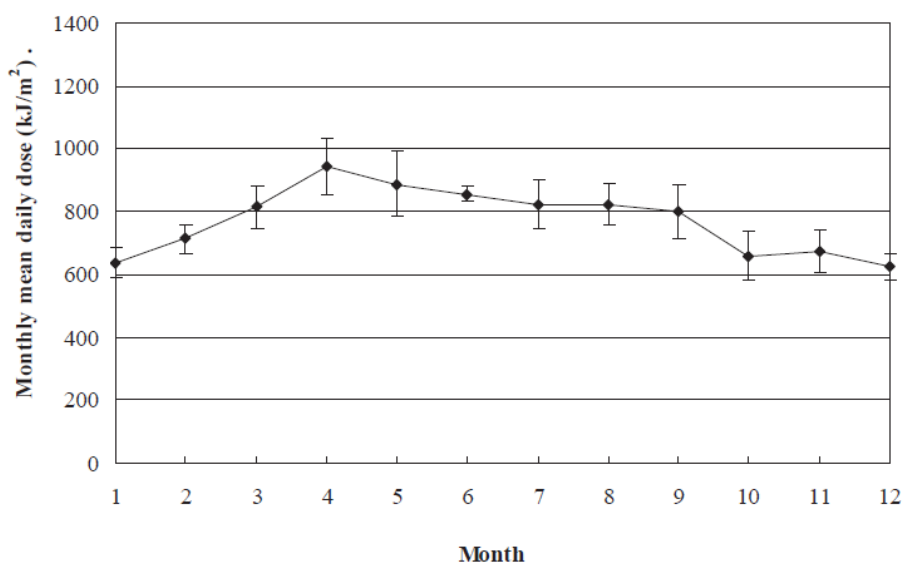
Cycle	Lamp	Typical Irradiance (W/m ² /nm)	Approximate Wavelength	Exposure Cycle
1	UVA-340	0.89	340 nm	8h UV at 60(±3) °c Black Panel Temperature 4h Condensation at 50(±3) °c Black Panel Temperature
2	UVB-313	0.71	310 nm	4h UV at 60(±3) °c Black Panel Temperature 4h Condensation at 50(±3) °c Black Panel Temperature
3	UVB-313	0.49	310 nm	8h UV at 70(±3) °c Black Panel Temperature 4h Condensation at 50(±3) °c Black Panel Temperature
4	UVA-340	1.55	340 nm	8h UV at 70(±3) °c Black Panel Temperature 4h Condensation at 50(±3) °c Black Panel Temperature
5	UVB-313	0.62	310 nm	20h UV at 80(±3) °c Black Panel Temperature 4h Condensation at 50(±3) °c Black Panel Temperature
6	UVA-340	1.55	340 nm	8h UV at 60(±3) °c Black Panel Temperature 4h Condensation at 50(±3) °c Black Panel Temperature
7	UVB-340	1.55	340 nm	8h UV at 60(±3) °c Black Panel Temperature 0.25h water spray (no light), temperature not controlled 3.75h Condensation at 50(±3) °c Black Panel Temperature
8	UVB-313	28	270-700 nm	8h UV at 70(±3) °c Black Panel Temperature 4h Condensation at 50(±3) °c Black Panel Temperature

นอกจากนี้ยังสามารถประมาณค่าระยะเวลาที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศกับสภาพจริง โดยอ้างอิงข้อมูลสภาพอากาศจริงจาก S. Bunthong, P. Choosri et al. (2011) ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เกิดขึ้น โดยจุดสังเกตการอยู่ที่จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย ในงานวิจัยนี้จึงใช้ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ดังรูปที่ 3.8 โดยค่าความเข้มแสงสูงสุดเฉลี่ยต่อวันอยู่ในเดือนเมษายน มีค่า 940 kJ/m^2 และค่าความเข้มแสงต่ำสุดเฉลี่ยต่อวันอยู่ในเดือนมกราคม มีค่า 630 kJ/m^2 ดังนั้นจึงสามารถประมาณความเข้มแสงในแต่ละปีได้เท่ากับ 286.5 MJ/m^2 ซึ่งเป็นแสงที่มีคลื่นความถี่ตั้งแต่ 295-385 นาโนเมตร (nm) โดยสามารถแปลงค่าเป็นแสงที่มีคลื่นความถี่ 340 นาโนเมตรได้เท่ากับ 2865 MJ/m^2 ซึ่ง Qlab corporation (2011) ได้เสนอความสัมพันธ์ขึ้นจากการทดสอบที่สภาพอากาศจริง รัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา

โดยประมาณค่าจากปริมาณความเข้มแสงที่เกิดขึ้นในสภาวะจริงกับความเข้มแสงที่เกิดขึ้นจากการทดสอบเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศในวงจรที่ 1 ที่ต้องการใช้งาน ดังแสดงในสมการที่ (2) จากการคำนวณพบว่าใช้เวลา 219 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ความเข้มแสงเท่ากับระยะเวลา 1 ปีในสภาพอากาศจริง (ในปี 2547-2557 จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย)

$$O = A \times 3.6 \times H \quad (2)$$

โดย O คือ ค่าความเข้มแสงในสภาวะจริง (kJ/m^2), A คือ ค่าความเข้มแสงจากการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ (W/m^2) และ H คือ จำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ



รูปที่ 3. 8 ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงต่อวันในช่วงปีพ.ศ. 2547-2557 (S. Buntoung et al.)

3.5 ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและกายภาพของวัสดุ

3.5.1 การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive Testing)

การทดสอบแบบไม่ทำลาย เป็นการทดสอบเพื่อให้ทราบถึงคุณภาพของชิ้นงาน โดยไม่ทำให้วัสดุเกิดความเสียหาย โดยในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบแบบไม่ทำลายในหลายวิธี ซึ่งทำการทดสอบก่อนเข้าเครื่องเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ และทุกๆ 200 ชั่วโมงหลังจากเข้าเครื่องเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ

3.5.1.1 การตรวจด้วยตาเปล่า (Visual Inspection)

การทดสอบด้วยตาเปล่า เป็นการสังเกตลักษณะความเสียหายของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทน เมื่อผ่านการทดสอบด้วยเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ หรือเมื่อถูกสภาวะแวดล้อมจริง โดยจะทำการจดบันทึกการเสื่อมสภาพของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนที่มองเห็นได้ เช่น รอยแตกร้าว (cracking), รูปแบบการพัง (Type of failure) ดังแสดงในรูปที่ 3.9 เป็นต้น



รูปที่ 3. 9 ลักษณะการพังเนื่องจากอุณหภูมิ (Withit)

3.5.1.2 การทดสอบสีที่เปลี่ยนไป (Color Change)

จากการศึกษาในอดีตพบว่า เมื่อวัสดุอุดรอยต่อโดนสภาวะแวดล้อมภายนอก มักจะเกิดการเปลี่ยนสีของวัสดุอุดรอยต่อ โดยเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น (yellowing) โดยสามารถทดสอบระดับของสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากเครื่องมือทดสอบ Miniscan EZ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM G154-06 โดยจะให้ค่าเป็น 1-5 ระดับ โดยระดับ 1 บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของสีที่มากที่สุด และระดับ 5 บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของสีที่น้อยที่สุด โดยจะทำการทดสอบสีที่เปลี่ยนไปของชิ้นส่วนตัวอย่างทั้งเคลือบและไม่เคลือบน้ำยาป้องกันการเสื่อมสภาพ และทุกๆ 200 ชั่วโมง ในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อผ่านการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศด้วยระยะเวลาที่แตกต่างกัน และความแตกต่างของชิ้นส่วนตัวอย่างที่เคลือบและไม่เคลือบน้ำยาป้องกันการเสื่อมสภาพ



รูปที่ 3. 10 เครื่องมือทดสอบสี

3.5.1.3 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test)

นำชิ้นส่วนตัวอย่างสำหรับทดสอบความแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ด้วยเครื่องมือคูโรมิเตอร์ (Durometer) ชนิด Shore A เหมาะสำหรับวัสดุประเภทโพลียูรีเทน ดังแสดงในรูปที่ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D2240 โดยค่าความแข็งสามารถอ่านได้ตั้งแต่ 0-100 ซึ่งค่าความแข็งเท่ากับ 0

หมายความว่า พื้นผิวมีความอ่อนนุ่มมากที่สุด และค่าความแข็งเท่ากับ 100 หมายความว่า พื้นผิวมีความแข็งมากที่สุด โดยจะทำการทดสอบความแข็งของชิ้นส่วนตัวอย่างทั้งเคลือบและไม่เคลือบน้ำยาป้องกันการเสื่อมสภาพ และทุกๆ 200 ชั่วโมง ในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อผ่านการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศด้วยระยะเวลาที่แตกต่างกัน และความแตกต่างของชิ้นส่วนตัวอย่างที่เคลือบและไม่เคลือบน้ำยาป้องกันการเสื่อมสภาพ



รูปที่ 3. 11 เครื่องมือดูโรมิเตอร์ (Durometer)

3.5.2 การทดสอบแบบทำลาย (Destructive Testing)

การทดสอบแบบทำลาย เป็นการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุซึ่งทำให้วัสดุเสียหายจากเดิม เนื่องจากวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนระหว่างรอยต่อของแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปไม่ได้เป็นองค์อาคารที่ใช้รับแรง แต่ในการใช้งานจริงมักเกิดแรงระหว่างรอยต่อเหล่านี้ เช่น แรงดึง (Tensile) และแรงเฉือน (Shear) ดังแสดงในรูปที่ 3.12 จึงนำมาซึ่งการออกแบบการทดสอบแบบทำลายโดยคำนึงถึงความสามารถในการรับแรง 2 ประเภท ได้แก่ การทดสอบแรงดึง (Tensile Test) และการทดสอบแรงเฉือน (Shear Test)



รูปที่ 3.12 การพังของวัสดุอุดรอยต่อด้วยแรงดึงและแรงเฉือน

3.5.2.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

ในการทดสอบแรงดึงใช้เครื่อง Shimadzu autograph AG-1000E ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ซึ่งสามารถใช้แรงได้สูงสุด 100 กิโลนิวตัน (kN) โดยทำให้เกิดการเคลื่อนที่ขึ้นลงด้วยความเร็วคงที่ตั้งแต่ 1-500 มิลลิเมตรต่อนาที (mm/min.) โดยตัววัดแรง (load cell) จะติดตั้งกับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกค่าแรงที่ใช้ และการเคลื่อนที่ของแท่นวางตัวอย่างแสดงค่าการยืดออก (elongation) ของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบด้วยเครื่อง data logger ทำการติดตั้งชิ้นส่วนตัวอย่างเข้ากับเครื่องทดสอบดังกล่าวด้วยตัวหนีบยึด (grip) และอยู่ในระยะที่ให้แรงกระจายตัวคงที่กับหน้าตัดของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทน โดยทำการทดสอบแรงดึงกับชิ้นส่วนตัวอย่างสำหรับทดสอบแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ทั้งก่อนและทุกๆ 200 ชั่วโมงหลังเร่งปฏิบัติการสภาพอากาศ

เมื่อติดตั้งชิ้นส่วนตัวอย่างแล้ว ทำการดึงชิ้นส่วนตัวอย่างออกจากกันด้วยความเร็ว 20 มิลลิเมตรต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 3.14 จนกว่ารอยต่อโพลียูรีเทนมีการพัง (failure) ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งการรูปแบบการพังของรอยต่อโพลียูรีเทนดังกล่าวสามารถพังด้วยแรงยึดเหนี่ยวภายในของโพลียูรีเทน (cohesive failure) หรือพังด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชิ้นส่วนมอร์ตาร์กับโพลียูรีเทน (adhesive failure) ก็ได้ โดยความเค้นแรงดึงและความเครียดที่เกิดขึ้นในรอยต่อโพลียูรีเทนสามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ

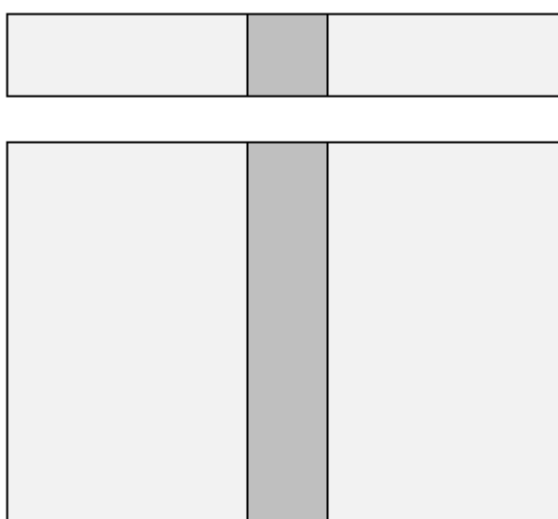
$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{l} \times 100\% \quad (4)$$

โดย σ คือ ค่าความเค้นแรงดึง, P คือ ค่าแรงดึง, A คือ พื้นที่หน้าตัดของโพลีเอทิลีนก่อนการทดสอบ, ϵ คือ เปอร์เซ็นต์ของค่าความเครียดต่อความยาวเดิม, Δ คือ ค่าการยืดตัวของโพลีเอทิลีน, และ l คือ ค่าความยาวของโพลีเอทิลีนก่อนการทดสอบ โดยเปอร์เซ็นต์ของค่าความเครียด 100% หมายความว่า ชิ้นส่วนตัวอย่างถูกดึงด้วยความเค้นที่ทำให้โพลีเอทิลีนยืดตัวเท่ากับค่าความยาวเดิมก่อนการทดสอบ และค่าความเค้นสูงสุด (ultimate stress) และความเครียดสูงสุด (ultimate strain) สามารถคำนวณได้จากค่าที่ทำให้โพลีเอทิลีนมีการพัง



รูปที่ 3. 13 เครื่อง Shimadzu autograph AG-1000E



รูปที่ 3. 14 การทดสอบแรงดึง

3.5.2.2 การทดสอบแรงเฉือน (Double Shear Test)

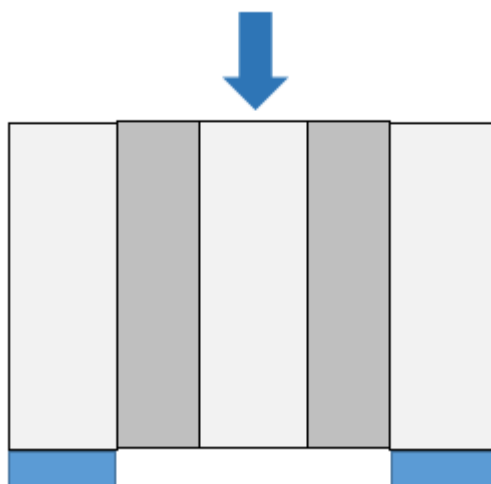
ในการทดสอบแรงเฉือนใช้เครื่องทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ทำการติดตั้งชิ้นส่วนตัวอย่าง หัวกดที่อยู่ด้านบนอยู่นิ่งในขณะที่แท่นวางตัวอย่างเคลื่อนที่ขึ้นเรื่อยๆ ด้วยความเร็ว 20 มิลลิเมตรต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 3.15 โดยทำการทดสอบแรงเฉือนกับชิ้นส่วนตัวอย่างสำหรับ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ทั้งในตัวอย่างที่เคลือบและไม่เคลือบน้ำยาป้องกันการเสื่อมสภาพ โดยทำการทดสอบก่อนเข้าเครื่องเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ และทุกๆ 200 ชั่วโมง จนถึง 1000 ชั่วโมงหลังเข้าเครื่องเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ จนกว่ารอยต่อโพลียูรีเทนมีการพัง (failure) เกิดขึ้น โดยค่าความเค้นแรงเฉือน (τ shear stress), ความเครียดแรงเฉือน (γ shear strain), และ มอดูลัสแรงเฉือน (G elastic shear modulus) สามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ (5)-(7) ตามลำดับ

$$\tau = \frac{F}{2A} \quad (5)$$

$$\gamma (= \tan \theta) = \frac{\delta}{S} \quad (6)$$

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (7)$$

โดย F คือ ค่าแรงที่ใส่เข้าไป, A คือ พื้นที่หน้าตัดของโพลียูรีเทนที่สัมผัสกับชิ้นส่วนมอร์ตาร์ในแต่ละด้าน, δ คือ การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง, S คือ ความหนาของโพลียูรีเทน, และ θ คือ มุมของแรงเฉือน (shear angle)



รูปที่ 3. 15 การทดสอบแรงเฉือน

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

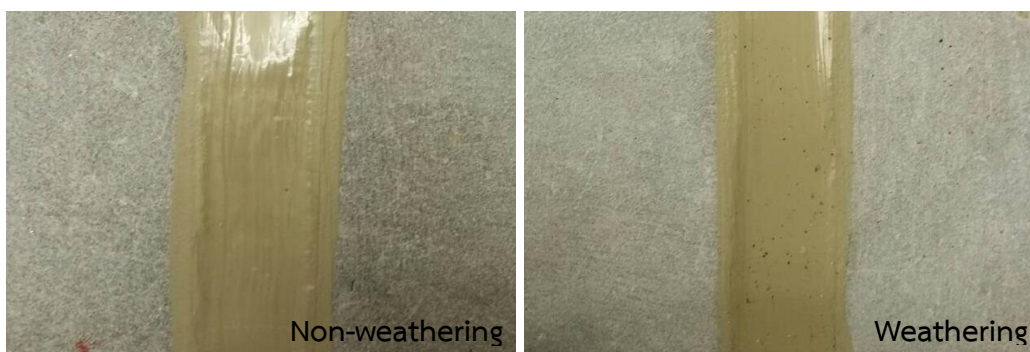
จากการดำเนินงานตามแผนที่ได้วางไว้ในบทที่ 3 โดยเริ่มจากการเตรียมชิ้นส่วนตัวอย่างเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกในชิ้นส่วนที่ต้องการ และผ่านการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ เมื่อนำชิ้นส่วนตัวอย่างทดสอบคุณสมบัติเชิงกลต่างๆ เช่น ความแข็งของพื้นผิว, ความสามารถในการรับแรงดึง, ความสามารถในการรับแรงเฉือน มีการเปลี่ยนแปลงไปจากชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ โดยผลการดำเนินงานต่างๆ มีดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบสีที่เปลี่ยนไป

วัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนเมื่อผ่านการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศจะมีสีที่เปลี่ยนแปลงไป โดยการทดสอบด้วยเกรย์สเกลระดับภายในเครื่องเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ พบว่าวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนที่ไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC) มีสีที่เปลี่ยนแปลงไปมากกว่าวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยมีสีที่ซีดมากขึ้น ซึ่งสีที่เปลี่ยนแปลงไปของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนที่ไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกอยู่ในระดับที่ 1 ซึ่งหมายความว่า สีมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากที่สุด ส่วนระดับของสีที่เปลี่ยนแปลงไปของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกอยู่ในระดับที่ 4 ซึ่งหมายความว่า สีมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC) จะมีสีที่ซีดมากขึ้นอย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C) มีสีที่เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4. 1 สีที่เปลี่ยนแปลงไปของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC)



รูปที่ 4. 2 สีที่เปลี่ยนแปลงไปของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C)

ตารางที่ 4. 1 ระดับของสีที่เปลี่ยนแปลงไป

ชิ้นส่วนตัวอย่าง	ระดับของสีตามจำนวนชั่วโมงในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ					
	0	200	400	600	800	1000
NC	-	2	2	1	1	1
C	-	4	4	4	3-4	4

* NC หมายถึง ชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกและผ่านการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ

C หมายถึง ชิ้นส่วนที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกและผ่านการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ

4.2 การทดสอบความแข็ง

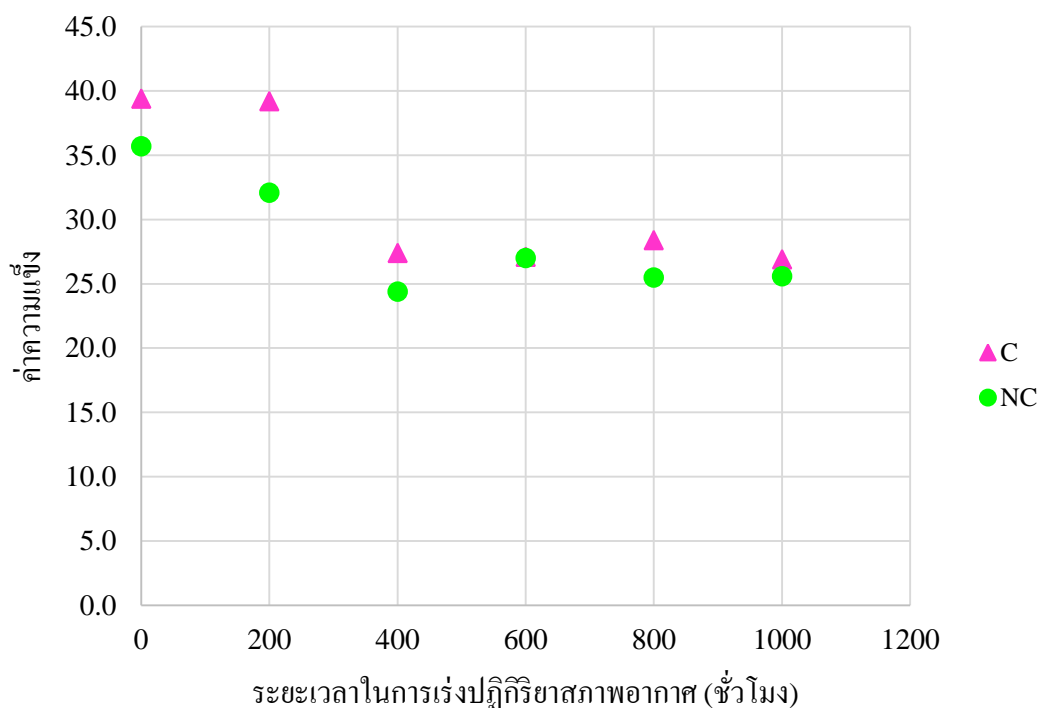
จากการทดสอบค่าความแข็งของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนพบว่า ทั้งในชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกและชิ้นส่วนตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก มีค่าความแข็งลดลงตามระยะเวลาในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3 โดยค่าความแข็งที่ทดสอบด้วยมาตรวัดชอร์ มีค่าตั้งแต่ 0 – 100 โดยค่าความแข็งที่ 0 หมายความว่า วัสดุมีความอ่อนนุ่มที่สุด และค่าความแข็งที่ 100 หมายความว่า วัสดุมีความแข็งมากที่สุด รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความแข็งและระยะเวลาในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ โดยวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกมีค่าความแข็งมากกว่าวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนที่ไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกก่อนถูกเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ (0 ชั่วโมง) และเมื่อผ่านการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศเป็นระยะเวลา 200 ชั่วโมง พบว่าชิ้นส่วนตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกมีความแข็งที่ลดลงไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น หลังจาก 200 ชั่วโมงทั้งตัวอย่างที่เคลือบและไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกมีความแข็งที่ลดน้อยลงตามลำดับ

ตารางที่ 4. 2 ค่าความแข็งของตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC)

ชั้นส่วนตัวอย่าง Non-coating	ค่าความแข็งตามจำนวนชั่วโมง ในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ					
	0	200	400	600	800	1000
1	35.4	31.6	23.9	25.9	25.5	25.9
2	35.6	32.2	23.2	26.7	25.3	25.7
3	35.7	32.4	24.1	28.8	25.7	26.1
4	36.4	32.2	25.4	28.1	25.8	25.5
5	35.4	32.2	25.5	25.7	25.3	25.0
เฉลี่ย	35.7	32.1	24.4	27.0	25.5	25.6
A _H		-3.6	-11.3	-8.7	-10.2	-10.1
A _H (%)		10.08	31.65	24.37	28.57	28.29

ตารางที่ 4. 3 ความแข็งของตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C)

ชั้นส่วนตัวอย่าง Coating	ค่าความแข็งตามจำนวนชั่วโมง ในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ					
	0	200	400	600	800	1000
1	39.0	38.8	26.8	26.2	28.0	27.0
2	39.3	39.0	26.6	27.1	28.0	26.9
3	39.7	39.8	28.2	28.5	29.0	26.8
4	39.1	39.8	28.0	26.7	27.9	26.9
5	39.9	38.6	27.4	26.9	29.1	27.0
เฉลี่ย	39.4	39.2	27.4	27.1	28.4	26.9
A _H		-0.2	-12.0	-12.3	-11.0	-12.5
A _H (%)		0.51	30.46	31.22	27.92	31.73



รูปที่ 4. 3 ค่าความแข็งของชิ้นส่วนตัวอย่างตามระยะเวลาในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ

4.3 การทดสอบแรงดึง

4.3.1 ลักษณะการพัง (Failure mode)

เมื่อติดตั้งชิ้นส่วนตัวอย่างและเครื่อง LVDT เพื่อวัดระยะการยืดตัว เข้ากับเครื่อง Shimadzu autograph AG-1000E ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ทำการดึงชิ้นส่วนตัวอย่างออกจากกันด้วยความเร็ว 20 มิลลิเมตรต่อนาที (mm./min.) โดยวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนจะค่อยๆยืดตัวออก ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ด้านซ้าย) จนกระทั่งวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนไม่สามารถยืดตัวได้แล้วจึงมีการหลุดออกที่รอยต่อระหว่างวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนกับชิ้นส่วนมอร์ตาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ด้านขวา) ซึ่งการพังในลักษณะนี้เรียกว่า การพังแบบ adhesive failure เป็นการพังด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชิ้นส่วนมอร์ตาร์กับโพลียูรีเทน ดังแสดงในรูปที่ 4.8

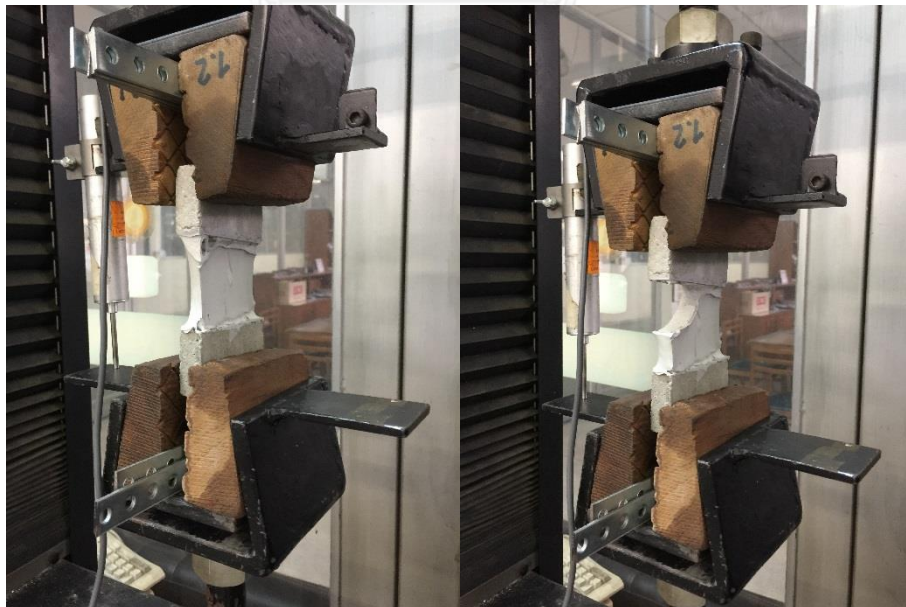
เมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างที่พบในการทดสอบแรงดึงตามตัวแปรที่ศึกษา ได้ผลดังต่อไปนี้

1. ชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 สามารถมีระยะยืดก่อนการพังด้วย adhesive failure ที่มากกว่าชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.6

2. ชิ้นส่วนตัวอย่างที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C) ดังแสดงในรูปที่ 4.7 สามารถมีระยะยืดก่อนการพังด้วย adhesive failure ที่มากกว่าชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC) ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4. 4 การติดตั้งชิ้นส่วนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบแรงดึง



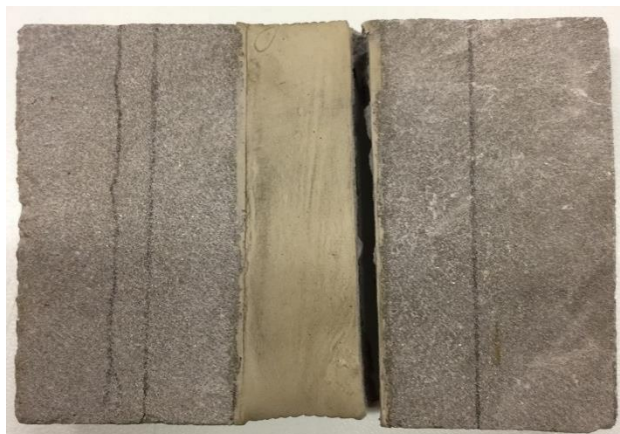
รูปที่ 4. 5 การทดสอบแรงดึงของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบสารก่อนเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ



รูปที่ 4. 6 การทดสอบแรงดึงของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบสาร (NC) หลังเร่งปฏิบัติการสภาพอากาศ



รูปที่ 4. 7 การทดสอบแรงดึงของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C) หลังเร่งปฏิบัติการสภาพอากาศ



รูปที่ 4. 8 ลักษณะการพังของชิ้นส่วนตัวอย่างเมื่อผ่านการทดสอบแรงดึง

4.3.2 พฤติกรรมการรับแรงดึง

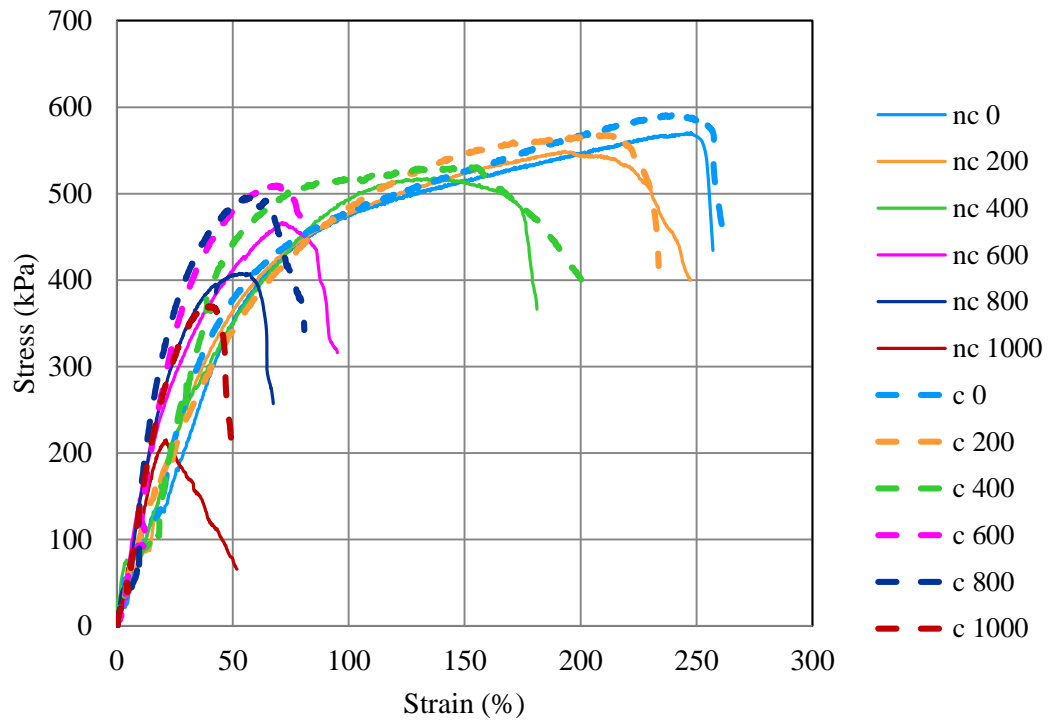
รูปที่ 4.9 แสดงพฤติกรรมการรับแรงดึงของชิ้นส่วนตัวอย่างทั้งหมด, รูปที่ 4.10 แสดงพฤติกรรมการรับแรงดึงของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (nc), รูปที่ 4.11 แสดงพฤติกรรมการรับแรงดึงของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (c) โดยค่า stiffness มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความเค้นสูงสุด (Ultimate stress), ค่าความเครียดที่จุดฉีกขาด (Strain at rupture), ซึ่งหากเปรียบเทียบตัวอย่างที่เคลือบและไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกโดยการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ ด้วยเวลาที่ต่างกัน พบว่าเมื่อเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศด้วยระยะเวลาที่มากกว่าทำให้ชิ้นส่วนตัวอย่างทั้งในตัวอย่างที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C) และไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC) มีความสามารถในการรับแรงดึงน้อยลง โดยมีค่าความเครียดสูงสุดลดน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ,มีค่าความเครียดที่จุดฉีกขาด (Strain at rupture) ลดน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และมีค่า Modulus of resilience ที่ลดน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 4.14 เมื่อมีระยะเวลาในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศที่นานขึ้น

เมื่อทำการเปรียบเทียบด้วยเวลาที่เท่ากัน ก่อนทำการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ ชิ้นส่วนตัวอย่างที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C) มีระยะยืดก่อนที่ชิ้นส่วนจะฉีกขาดน้อยกว่าชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC) เล็กน้อย แต่มีค่าความเค้นที่มากกว่า เมื่อผ่านการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ 200 และ 400 ชั่วโมง ชิ้นส่วนตัวอย่างที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C) มีระยะยืดก่อนที่ชิ้นส่วนจะฉีกขาดที่มากกว่าชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC) และเมื่อเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ 600 ชั่วโมงขึ้นไป ชิ้นส่วนตัวอย่างที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C) มีระยะยืดก่อนที่ชิ้นส่วนจะฉีกขาดที่ระยะเทียบเท่ากับชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC) ดังแสดงในรูปที่ 4.12-4.14

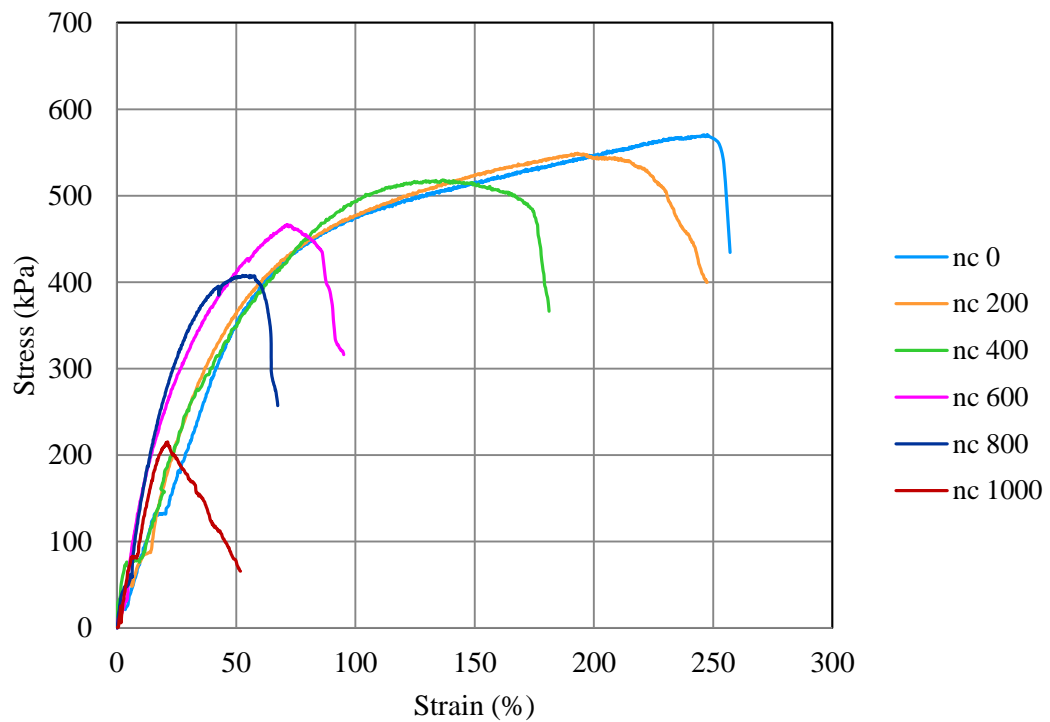
นอกจากนี้การเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศทำให้ชิ้นส่วนตัวอย่างทั้งในตัวอย่างที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C) และไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC) มีค่าความต้านทานต่อการเสียรูปในช่วงที่เป็นอิลาสติก (Stiffness) ที่เพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่เร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11

ตารางที่ 4. 4 ผลการทดสอบแรงดึง

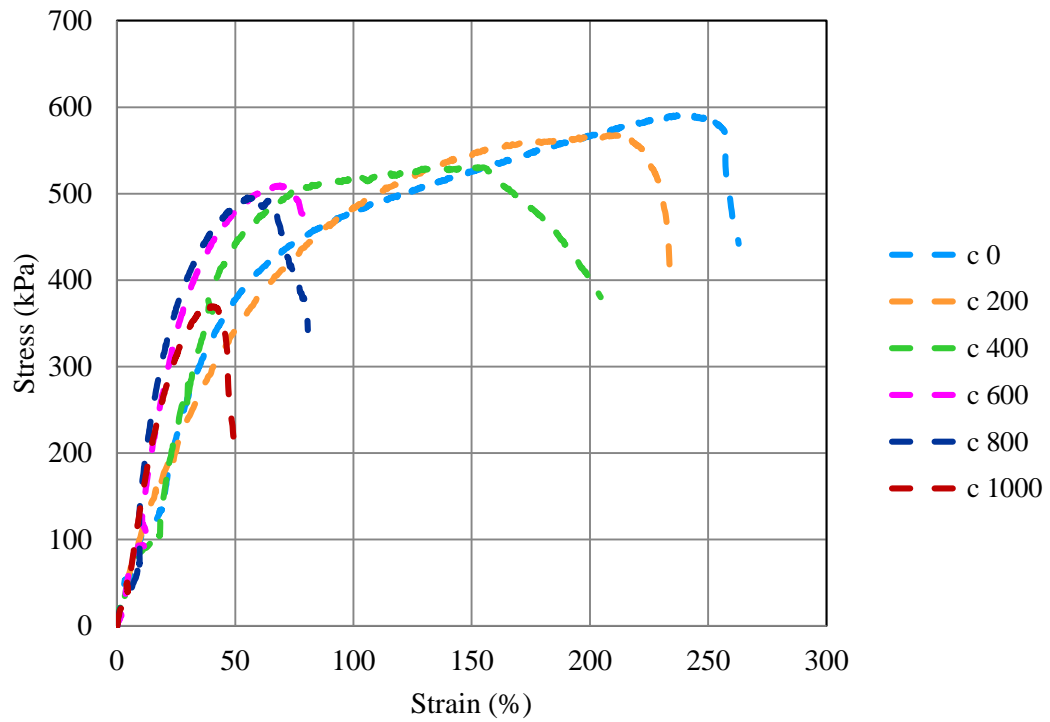
ชิ้นส่วนตัวอย่าง	Strain at rupture (%)	Ultimate nominal stress (kPa)	ลักษณะการพัง
NC 0	247.46	570.53	Adhesive
C 0	239.27	590.78	Adhesive
*NC 200	193.15	549.14	Adhesive
C 200	216.47	567.86	Adhesive
NC 400	136.93	518.18	Adhesive
C 400	151.05	531.19	Adhesive
NC 600	71.56	466.57	Adhesive
C 600	68.65	509.36	Adhesive
NC 800	55.74	407.81	Adhesive
C 800	58.16	496.06	Adhesive
NC 1000	21.12	215.05	Adhesive
C 1000	40.23	369.59	Adhesive



รูปที่ 4. 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในการทดสอบแรงดึงของชิ้นส่วนตัวอย่าง

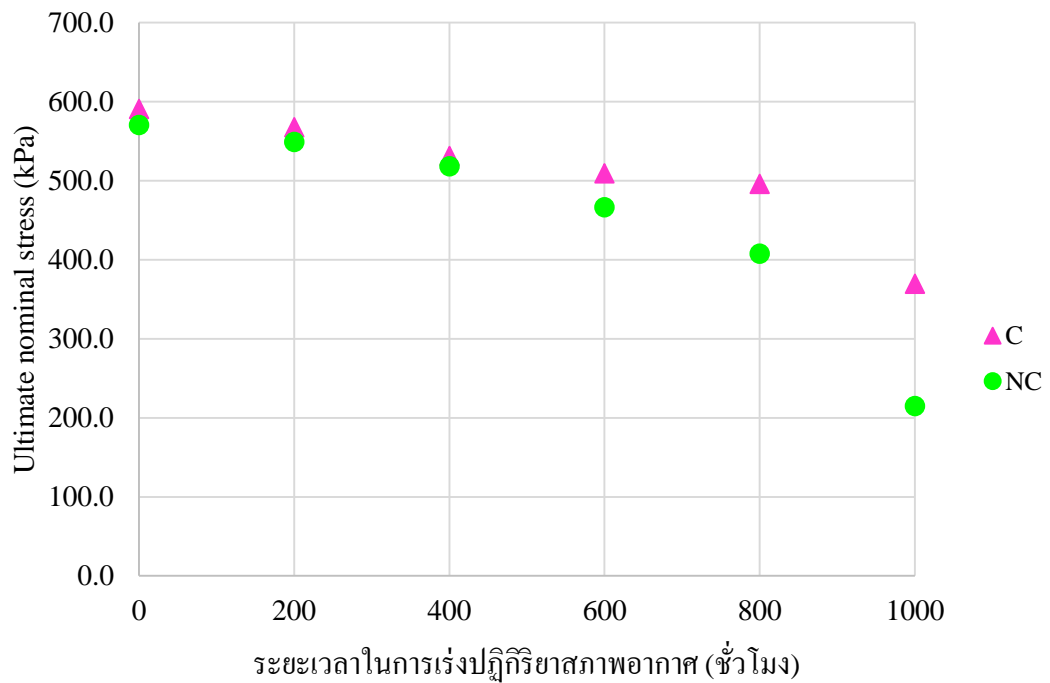


รูปที่ 4. 10 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมมารับแรงดึงของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิว อะคริลิก (NC)

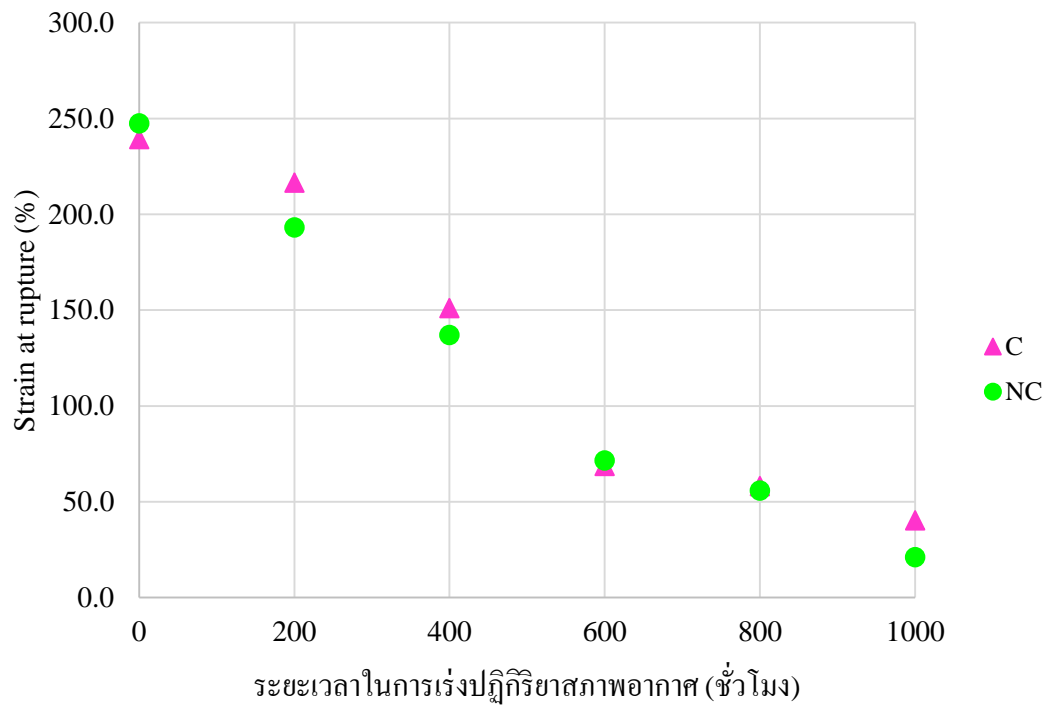


รูปที่ 4. 11 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมการรับแรงดึงของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก

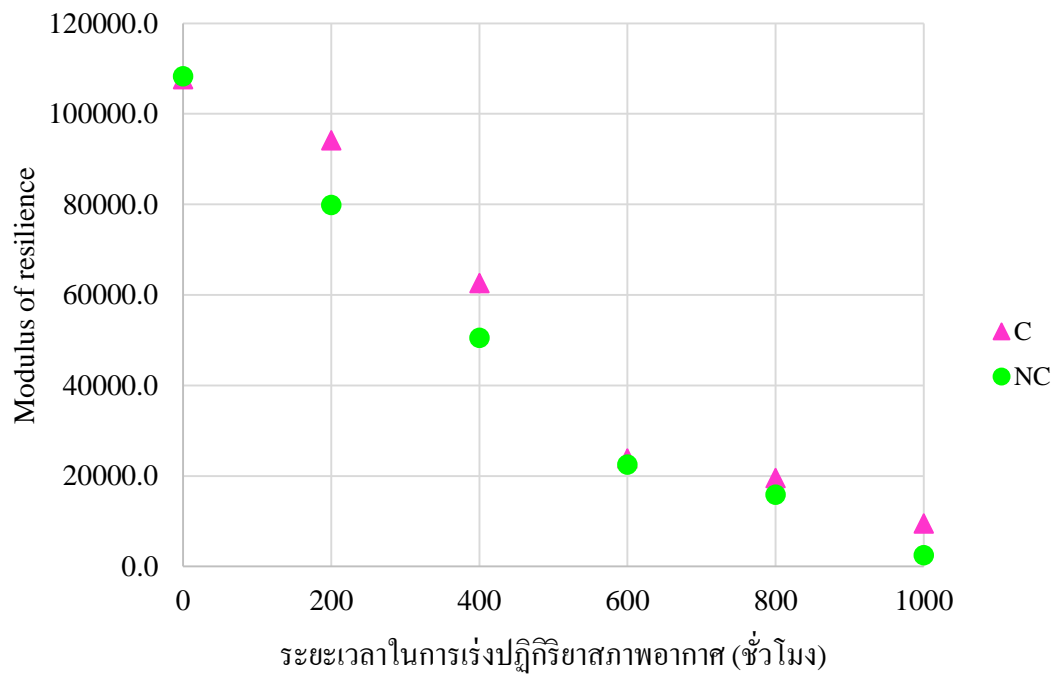
(C)



รูปที่ 4. 12 กราฟเปรียบเทียบค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดของชิ้นส่วนตัวอย่างเมื่อเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ 0-1000 ชั่วโมง



รูปที่ 4. 13 กราฟเปรียบเทียบค่าความเครียดแรงดึงเมื่อขึ้นส่วนตัวอย่างฉีกขาดเมื่อเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ 0-1000 ชั่วโมง



รูปที่ 4. 14 กราฟเปรียบเทียบค่า Moment of resilience ของชิ้นส่วนตัวอย่างในการทดสอบแรงดึงเมื่อเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ 0-1000 ชั่วโมง

4.4 การทดสอบแรงเฉือน

4.4.1 ลักษณะการพัง (Failure mode)

เมื่อติดตั้งชิ้นส่วนตัวอย่างและเครื่อง LVDT เพื่อวัดระยะการยืดตัว เข้ากับเครื่อง Shimadzu autograph AG-1000E ดังแสดงในรูปที่ 4.15 โดยยึดแท่งมอร์ตาร์บริเวณด้านบนออกทั้งสองด้านยึดติดกับฐานเหล็ก และทำการกดชิ้นส่วนตัวอย่างบริเวณแท่งมอร์ตาร์ความเร็ว 20 มิลลิเมตรต่อนาที (mm./min.) ดังแสดงในรูปที่ 4.16 เพื่อทดสอบแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนตัวอย่าง โดยวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนจะค่อยๆยืดตัวออก จนกระทั่งวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนไม่สามารถยืดตัวได้แล้วจึงมีการฉีกขาดบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนกับชิ้นส่วนมอร์ตาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.17 ซึ่งการพังในลักษณะนี้เรียกว่า การพังแบบฉีกขาด ดังแสดงในรูปที่ 4.18

เมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างที่พบในการทดสอบแรงดึงตามตัวแปรที่ศึกษา ได้ผลดังต่อไปนี้

1. ชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ สามารถมีระยะยืดก่อนการพังด้วยการฉีกขาดที่มากกว่าชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ
2. ชิ้นส่วนตัวอย่างที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C) สามารถมีระยะยืดก่อนการพังด้วยการฉีกขาดที่มากกว่าชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC)



รูปที่ 4. 15 การติดตั้งชิ้นส่วนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบแรงเฉือน



รูปที่ 4. 16 ก่อนทำการทดสอบแรงเฉือนของชิ้นส่วนตัวอย่าง



รูปที่ 4. 17 การทดสอบแรงเฉือนของชิ้นส่วนตัวอย่าง



รูปที่ 4. 18 ลักษณะการพังของชิ้นส่วนตัวอย่างเมื่อผ่านการทดสอบแรงเฉือน

4.4.2 พฤติกรรมการรับแรงเฉือน

รูปที่ 4.19 แสดงพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของชิ้นส่วนตัวอย่างทั้งหมด, รูปที่ 4.20 แสดงพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC), รูปที่ 4.21 แสดงพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C) โดยค่า stiffness มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ และตารางที่ 4.5 แสดงค่าความเค้นสูงสุด (Ultimate stress), ค่าความเครียดที่จุดฉีกขาด (Strain at rupture) ของชิ้นส่วนตัวอย่างทั้งหมด ซึ่งหากเปรียบเทียบตัวอย่างที่เคลือบและไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกโดยการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศด้วยเวลาที่ต่างกัน พบว่าเมื่อเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศด้วยระยะเวลาที่มากกว่าทำให้ชิ้นส่วนตัวอย่างทั้งในตัวอย่างที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C) และไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC) มีความสามารถในการรับแรงเฉือนน้อยลง โดยมีค่าความเครียดสูงสุดลดน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 4.22 ,มีค่าความเครียดที่จุดฉีกขาด (Strain at rupture) ลดน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 4.23 และมีค่า Moment of resilience ที่ลดน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 4.24 เมื่อมีระยะเวลาในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศที่นานขึ้น

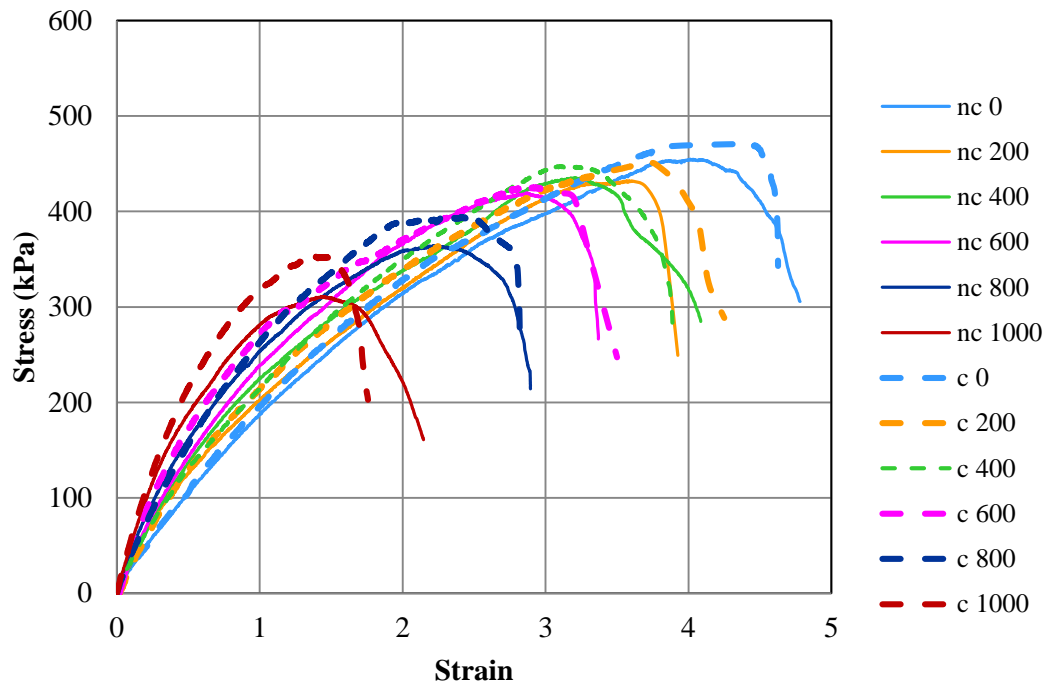
เมื่อทำการเปรียบเทียบด้วยเวลาที่เท่ากัน ชิ้นส่วนตัวอย่างที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C) มีระยะยืดก่อนที่ชิ้นส่วนจะฉีกขาดที่มากกว่าชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC) เพียงเล็กน้อย โดยไม่ได้มีความแตกต่างด้วยค่าระยะการยืดตัวอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนทางด้านค่าความเค้น ชิ้นส่วนตัวอย่างที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C) มีค่าความเค้นสูงสุดมากกว่าชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC) ดังแสดงในรูปที่ 4.22-4.24

นอกจากนี้การเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศทำให้ชิ้นส่วนตัวอย่างทั้งในตัวอย่างที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (C) และไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC) มีค่าความต้านทานต่อการเสียรูปในช่วงที่

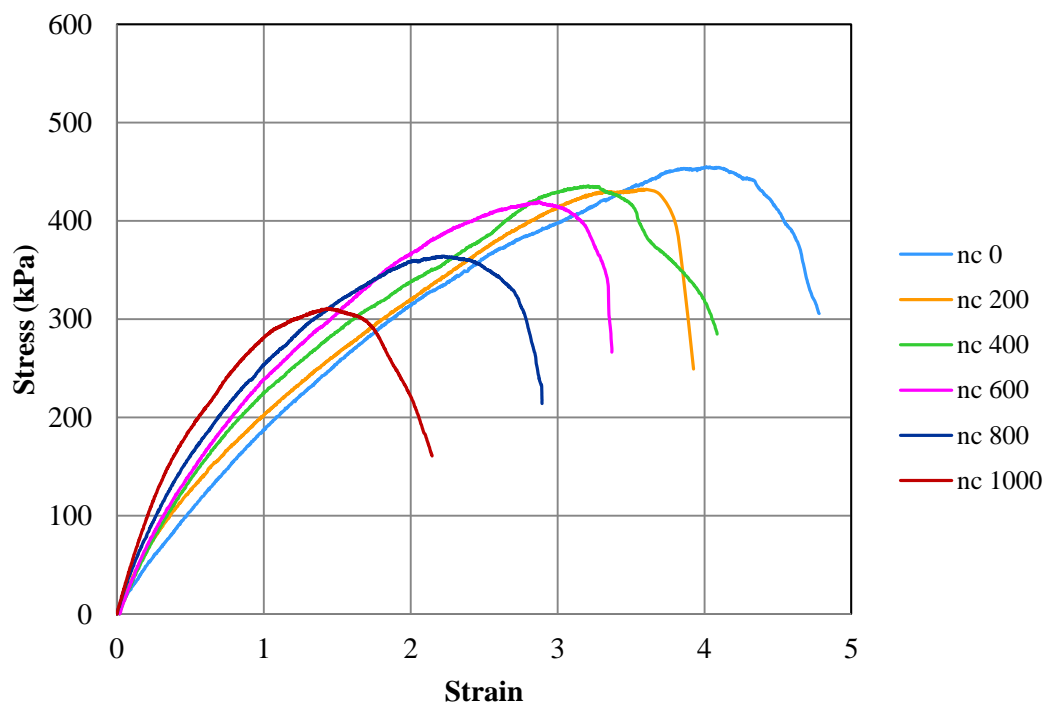
เป็นอิลาสติก (Stiffness) ที่เพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่เร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.20 และ 4.21

ตารางที่ 4. 5 ผลการทดสอบแรงเฉือน

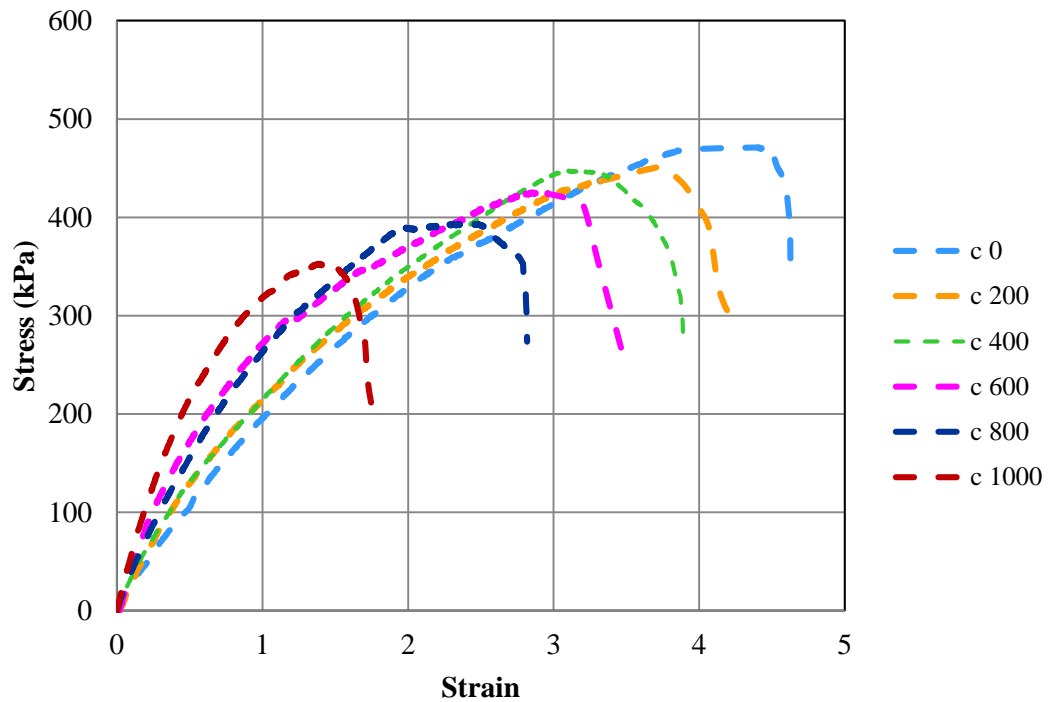
ชิ้นส่วนตัวอย่าง	Ultimate nominal strain	Ultimate nominal stress (kPa)	ลักษณะการพัง
NC 0	4.01	454.92	ฉีกขาด
C 0	4.4	470.91	ฉีกขาด
*NC 200	3.57	432.19	ฉีกขาด
C 200	3.72	451.33	ฉีกขาด
NC 400	3.21	435.48	ฉีกขาด
C 400	3.08	447.58	ฉีกขาด
NC 600	2.86	419.43	ฉีกขาด
C 600	2.93	447.24	ฉีกขาด
NC 800	2.22	364.04	ฉีกขาด
C 800	2.41	394.02	ฉีกขาด
NC 1000	1.43	310.98	ฉีกขาด
C 1000	1.39	352.7	ฉีกขาด



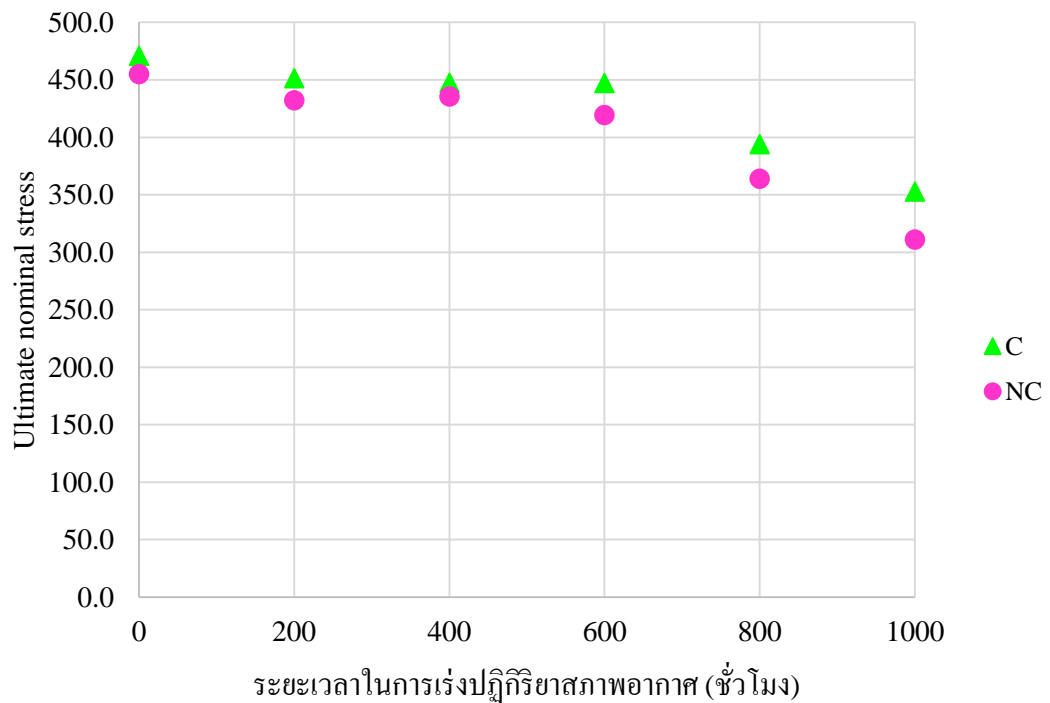
รูปที่ 4. 19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในการทดสอบแรงเฉือนของชิ้นส่วนตัวอย่าง



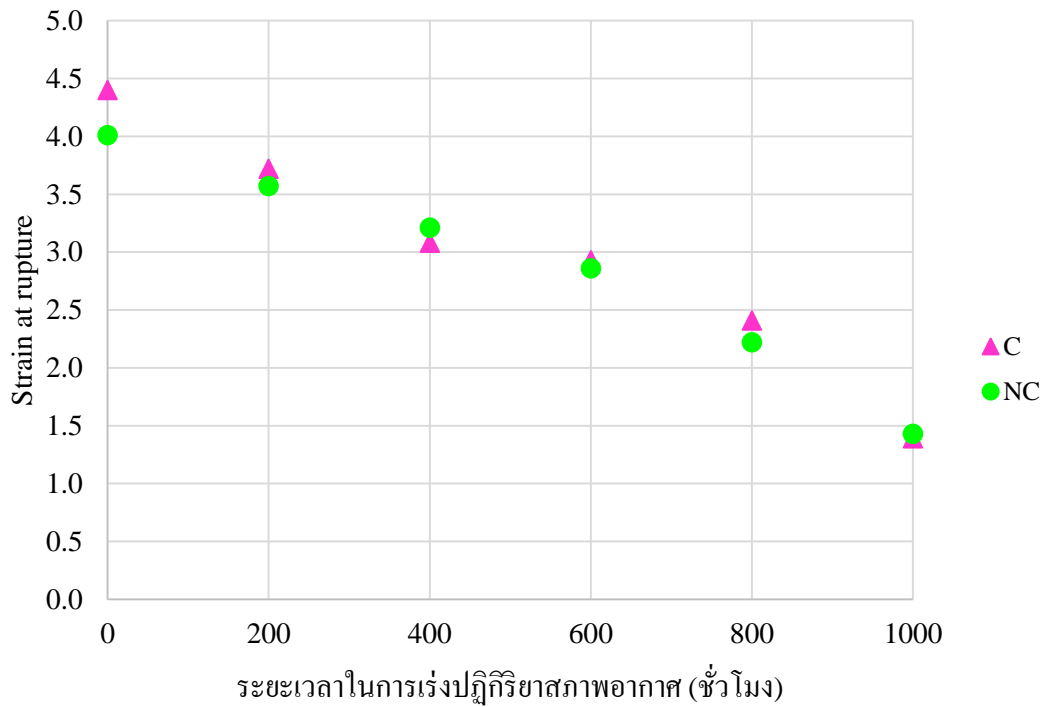
รูปที่ 4. 20 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมกรรมการรับแรงเฉือนของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิก (NC)



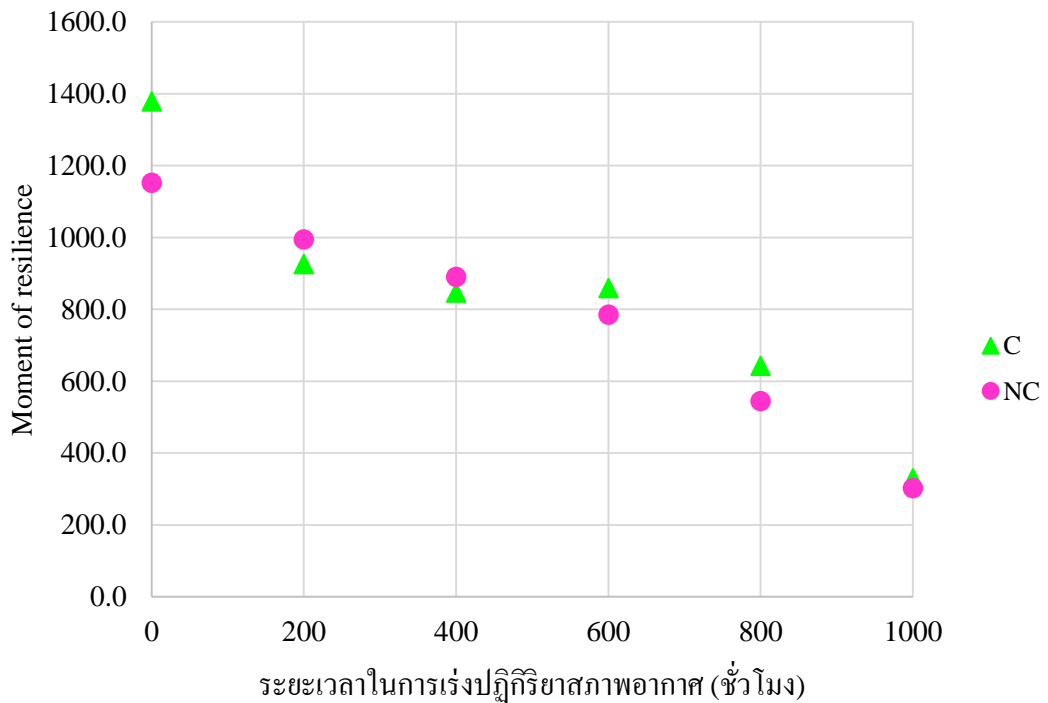
รูปที่ 4. 21 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบสารเคลือบผิว อะคริลิก (C)



รูปที่ 4. 22 กราฟเปรียบเทียบค่าความเค้นแรงเฉือนสูงสุดของชิ้นส่วนตัวอย่างเมื่อเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ 0-1000 ชั่วโมง



รูปที่ 4. 23 กราฟเปรียบเทียบระยะยืดตัวก่อนฉีกขาดของชิ้นส่วนตัวอย่างเมื่อเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ 0-1000 ชั่วโมง



รูปที่ 4. 24 กราฟเปรียบเทียบค่า Moment of resilience ของชิ้นส่วนตัวอย่างในการทดสอบแรงเฉือนเมื่อเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ 0-1000 ชั่วโมง

4.5 กรณีศึกษา

การประยุกต์ใช้ผลทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุอุดรอยต่อประเภทโพลียูรีเทนที่ได้จากการทดสอบ ความสามารถในการรับแรงดึงและแรงเฉือน โดยพิจารณาร่วมกับสิ่งที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างจริง โดยโครงสร้างผนังที่เลือกใช้พิจารณา คือ ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (precast concrete) ซึ่งมีความกว้างของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (panel length) 1.2 เมตร เนื่องจากเป็นขนาดความกว้างตามมาตรฐานการทดสอบกำลังของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป British Standard BS-5234-2:1992

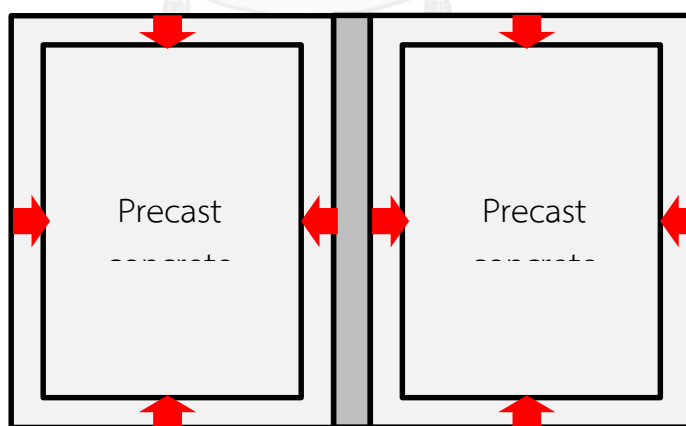
ปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงดึงที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุอุดรอยต่อประเภทโพลียูรีเทนกับผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (precast concrete) ที่นำมาพิจารณา ได้แก่

1. การหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจะมีการหดตัวและขยายตัวเมื่อถูกอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยการหดตัวของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปส่งผลให้เกิดแรงดึงกับวัสดุอุดรอยต่อ ดังแสดงในรูปที่ 4.25 ซึ่งสามารถคำนวณค่าการเคลื่อนที่ของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปเนื่องจากอุณหภูมิ ดังแสดงในสมการที่ (7)

$$M = \text{coff} \times \Delta T \times W \quad (7)$$

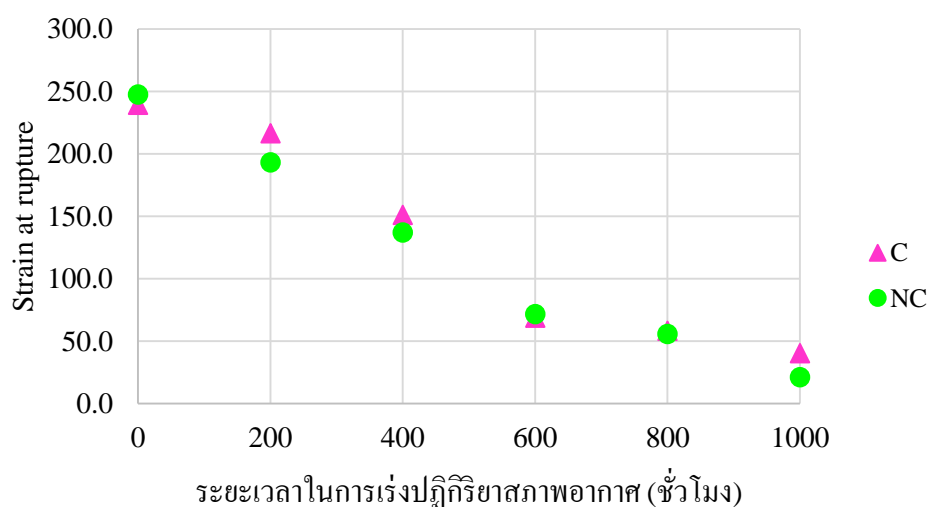
โดย M คือ การเคลื่อนที่เนื่องจากอุณหภูมิของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป , coff คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ, ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป , และ W คือ ความกว้างของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (panel length)



รูปที่ 4. 25 แรงดึงที่เกิดขึ้นบนรอยต่อ

โดยเมื่อพิจารณาที่ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิของคอนกรีต = 8.3×10^{-6} นิ้ว/นิ้ว/องศาเซลเซียส สำหรับวัสดุผสมละเอียด, อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป = 70 องศาเซลเซียส โดยอ้างอิงจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปมากที่สุดของวัสดุภายนอกอาคาร, และความกว้างของผนังคอนกรีต

สำเร็จรูป 1.2 เมตร ดังนั้นจะสามารถคำนวณค่าระยะการหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป = 0.6972 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อใช้ค่าความยาวเดิม = 15 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดของความกว้างรอยต่อของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบแรงดึง สามารถคำนวณเป็นค่าความเครียด = 4.648 % ซึ่งไม่สามารถทำให้ชิ้นส่วนตัวอย่างพังด้วยการอุณหภูมิหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปได้ในกรณีนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4. 26 เส้นแนวโน้มของค่าความเครียดก่อนการฉีกขาดจากผลการทดสอบแรงดึง

2. การหดตัวของคอนกรีตเนื่องจาก drying shrinkage

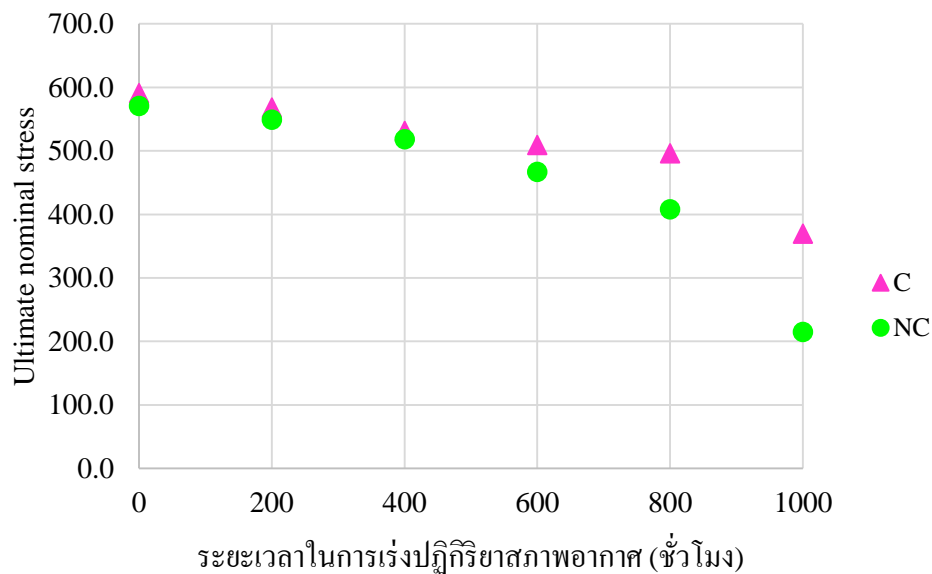
ที่ระยะเวลา 1 ปี คอนกรีตจะมีการหดตัวเนื่องจาก drying shrinkage ที่ค่าความเครียด 120×10^{-6} สำหรับวัสดุผสมละเอียด ดังนั้น เมื่อใช้ขนาดความกว้างของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป = 1.2 เมตร จะได้ระยะหดตัว = 0.144 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบแรงดึงพบว่ายังไม่มี การพังที่ระยะหดตัว 0.144 มิลลิเมตรของชิ้นส่วนตัวอย่าง

3. การเปรียบเทียบราคาระหว่างการบำรุงรักษาโดยการเคลือบผิวอะคริลิกและการเปลี่ยนวัสดุอุดรอยต่อใหม่

เนื่องจาก Christopher C. White, Kar Tean Tan et al. (2009) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ ความคงทนของวัสดุอุดรอยต่อที่ใช้ในงานก่อสร้าง กล่าวว่า วัสดุอุดรอยต่อที่มีการพังคิดเป็นร้อยละ 25 ของวัสดุอุดรอยต่อทั้งหมด (25% failure rate) ภายหลังจากก่อสร้างเป็นระยะเวลา 5 ปี ดังนั้นจึง

พิจารณาการเปลี่ยนวัสดุครอยต่อใหม่ในอาคารที่ไม่มีการใช้สารเคลือบผิวอะคริลิกเป็นระยะเวลา ทุกๆ 5 ปีภายหลังการก่อสร้าง

สำหรับอาคารที่มีการใช้สารเคลือบผิวอะคริลิก จะพิจารณาการทาสารเคลือบผิวอะคริลิก เป็นระยะเวลาทุกๆ 4 ปีภายหลังการก่อสร้าง โดยอ้างอิงผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นส่วนตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.27 ชิ้นส่วนตัวอย่างที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ ตั้งแต่ 0-800 ชั่วโมงมีอัตราการลดลงของค่า ultimate tensile strength ที่น้อย (16.03%) และ ชิ้นส่วนตัวอย่างที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ 1000 ชั่วโมงเริ่มมี อัตราการลดลงของค่า ultimate tensile strength ที่มากขึ้น (37.44%) ดังนั้นจึงพิจารณาเคลือบ สารเคลือบผิวอะคริลิกทุกๆ 800 ชั่วโมง (4 ปีในสภาวะจริง ดังแสดงในบทที่ 3.4) ในการเร่งปฏิกิริยา สภาพอากาศเพื่อไม่ให้ความสามารถในการรับแรงดึงของชิ้นส่วนตัวอย่างลดลงในปริมาณที่มาก



รูปที่ 4. 27 กราฟเปรียบเทียบค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดของชิ้นส่วนตัวอย่างเมื่อเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ 0-1000 ชั่วโมง

โดยราคาต้นทุนของวัสดุครอยต่อโพลียูรีเทนและสารเคลือบผิวอะคริลิก โดยค่าแรงงานอ้างอิงจาก การใช้ชุดโรยตัวในการทำงานอาคารสูง เมื่อพิจารณารอยต่อที่มีความลึก 2 เซนติเมตร และความกว้าง 1.5 เซนติเมตร มีดังต่อไปนี้

- วัสดุครอยต่อโพลียูรีเทน

ค่าวัสดุ 160 บาทต่อเมตร

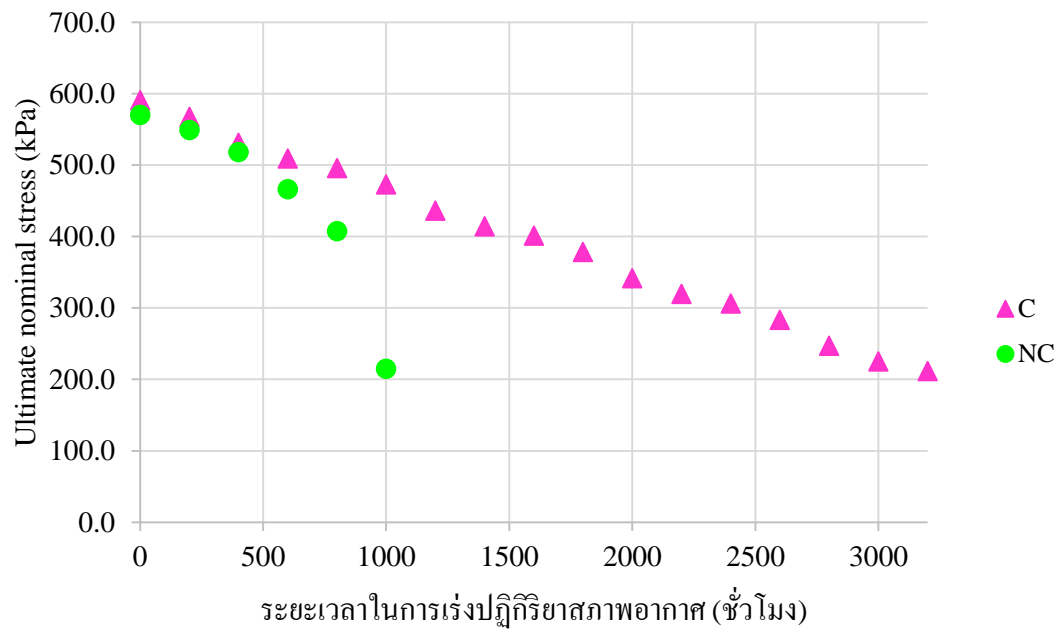
ค่าแรงงานติดตั้ง 180 บาทต่อเมตร

ค่าแรงงานรื้อถอน	120	บาทต่อเมตร
- สารเคลือบผิวอะคริลิก		
ค่าวัสดุ	150	บาทต่อเมตร
ค่าแรงงานติดตั้ง	80	บาทต่อเมตร

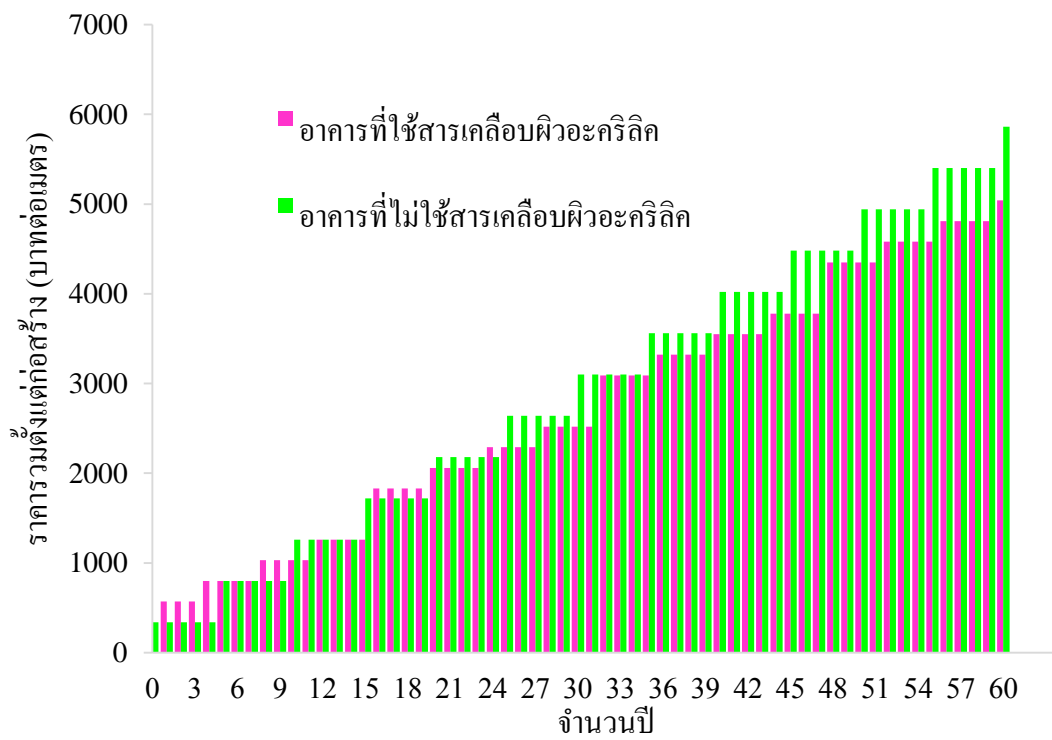
การประมาณราคาต้นทุนการก่อสร้างสำหรับอาคารที่ใช้สารเคลือบผิวอะคริลิกกับวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทน ในช่วงก่อสร้างจะพิจารณาค่าวัสดุและแรงงานติดตั้งวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทน และค่าวัสดุและแรงงานติดตั้งสารเคลือบผิวอะคริลิก จากนั้นทุกๆ 4 ปีของการใช้งานอาคารจะพิจารณาค่าวัสดุและแรงงานติดตั้งสารเคลือบผิวอะคริลิก อีกทั้งทุกๆ 16 ปีของการใช้งานอาคารจะทำการรื้อถอนและติดตั้งวัสดุโพลียูรีเทนใหม่ จากการใช้ความสัมพันธ์ของค่า ultimate nominal stress กับเวลาในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ (0-1000 ชั่วโมง) ในการทดสอบแรงดึงของชิ้นส่วนตัวอย่าง โดยทำนายค่า ultimate nominal stress ซึ่งนำอัตราการลดลงของค่า ultimate nominal stress ในช่วง 0-800 ชั่วโมงมาใช้ในทุกๆ 800 ชั่วโมงถัดไป (กำหนดให้มีอัตราการเสื่อมสภาพเท่าเดิม) เนื่องจากจะทำการเคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกทุกๆ 4 ปีของการใช้งาน จนกระทั่งค่า ultimate nominal stress ลดลงเท่ากับค่าของชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกผ่านการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศเป็นเวลา 1000 ชั่วโมง พบว่า ชิ้นส่วนตัวอย่างที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกมีค่า ultimate nominal stress เท่ากับชิ้นส่วนตัวอย่างที่ไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกผ่านการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศเป็นเวลา 1000 ชั่วโมง ที่ระยะเวลา 3200 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.28 ซึ่งคิดเป็น 17 ปีในสภาวะจริง ดังนั้นในทุกๆ 17 ปีของการใช้งานอาคารจึงมีการพิจารณาค่าวัสดุ, แรงงานรื้อถอน และแรงงานติดตั้งวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทน และค่าวัสดุและติดตั้งสารเคลือบผิวอะคริลิกด้วย

สำหรับอาคารที่ไม่ใช้สารเคลือบผิวอะคริลิก ในช่วงก่อสร้างจะพิจารณาค่าวัสดุและแรงงานติดตั้งวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทน จากนั้นทุกๆ 5 ปีของการใช้งานอาคารจะพิจารณาค่าวัสดุ, แรงงานรื้อถอน และแรงงานติดตั้งวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนใหม่

สรุปได้ว่าเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบราคาวัสดุและแรงงานของในอาคารที่ใช้สารเคลือบผิวอะคริลิกและอาคารที่ไม่ใช้สารเคลือบผิวอะคริลิก ดังแสดงในรูปที่ 4.29 โดยในช่วงอายุการใช้งานอาคาร 0-10 ปี พบว่า อาคารที่ใช้สารเคลือบผิวอะคริลิกบริเวณวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทน (เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิกทุกๆ 4 ปี และเปลี่ยนวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนใหม่ทุกๆ 16 ปี) จะมีราคาต้นทุนที่สูงกว่าอาคารที่ไม่ใช้สารเคลือบผิวอะคริลิก (เปลี่ยนวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนใหม่ทุกๆ 5 ปี) แต่เมื่อภายหลังอายุการใช้งาน 20 ปี พบว่า อาคารที่ไม่ใช้สารเคลือบผิวอะคริลิกมีราคาต้นทุนที่สูงกว่าอาคารที่ใช้เคลือบผิวอะคริลิก



รูปที่ 4.28 ทำนายการเสื่อมสภาพของชิ้นส่วนตัวอย่างที่เคลือบฟิวอะคริลิก



รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบราคาทบทันระหว่างอาคารที่ใช้และไม่ใช้สารเคลือบฟิวอะคริลิก

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของสารเคลือบผิวอะคริลิคต่อการเสื่อมสภาพของวัสดุอุดรอยต่อโพสิยูรีเทน โดยผลการดำเนินงานสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. วัสดุอุดรอยต่อประเภทโพสิยูรีเทนเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากโดนกระทำจากสภาพแวดล้อมภายนอก ได้แก่ รังสีอัลตราไวโอเล็ต, อุณหภูมิ และความชื้น ซึ่งสภาพแวดล้อมภายนอกดังกล่าวส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพ (สีและความแข็ง) เกิดการเปลี่ยนแปลง วัสดุอุดรอยต่อโพสิยูรีเทนที่ไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิคมีความเข้มของสีที่น้อยลงอย่างมากเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น ส่วนวัสดุอุดรอยต่อโพสิยูรีเทนที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิคมีสีที่เปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อีกทั้งพื้นผิวของวัสดุอุดรอยต่อโพสิยูรีเทนที่ไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิคมีความแข็งที่ลดน้อยลงภายหลังการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ และพื้นผิวของวัสดุอุดรอยต่อโพสิยูรีเทนที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิคมีความแข็งที่ลดน้อยลงภายหลังการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ 200 ชั่วโมง
2. คุณสมบัติเชิงกลทางด้านการรับแรงดึงและแรงเฉือนของวัสดุอุดรอยต่อโพสิยูรีเทนที่เคลือบและไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิคมีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาของการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ โดยมีค่า stiffness ที่เพิ่มมากขึ้น และมีค่า strength กับ strain at rupture ที่ลดน้อยลงเมื่อเพิ่มชั่วโมงของการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ โดยวัสดุอุดรอยต่อโพสิยูรีเทนที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิคมีสัดส่วนของค่า Strength ที่ 1000 ชั่วโมงในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ ที่ลดน้อยลงกว่าของวัสดุอุดรอยต่อโพสิยูรีเทนที่ไม่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิค 24.87%
3. อาคารที่มีการใช้สารเคลือบผิวอะคริลิคบริเวณวัสดุอุดรอยต่อโพสิยูรีเทนของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ตั้งแต่เริ่มก่อสร้างและทุกๆ 4 ปีของการใช้งานอาคาร จะมีการเสื่อมสภาพของวัสดุอุดรอยต่อโพสิยูรีเทนช้ากว่าอาคารที่ไม่มีการใช้สารเคลือบผิวอะคริลิคเป็นเวลา 16 ปี เมื่อใช้อัตราการลดลงของค่า tensile strength ในช่วง 4 ปีแรกสำหรับทำนายการเสื่อมสภาพในปีถัดไปของวัสดุอุดรอยต่อโพสิยูรีเทนที่เคลือบสารเคลือบผิวอะคริลิค แต่อย่างไรก็ดีการทาสารเคลือบผิวอะคริลิคก็มีข้อเสียในด้านสภาพลักษณะภายนอกอาคาร เนื่องจากสารเคลือบผิวอะคริลิคจะทำให้สีของพื้นผิววัสดุอุดรอยต่อโพสิยูรีเทนเปลี่ยนแปลงไป และมีต้นทุนที่สูงกว่าอาคารที่ไม่มีการใช้สารเคลือบผิวอะคริลิคในช่วง 20 ปีแรกของการใช้งานอาคาร

ข้อเสนอแนะ

1. เพิ่มระยะเวลาในการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศ จะทำให้เห็นถึงอิทธิพลของสารเคลือบผิวอะคริลิกที่มีต่อการเสื่อมสภาพของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนที่ชัดเจนมากขึ้น เช่น สามารถเห็นรอยแตกกลางงาบริเวณพื้นผิวของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทน
2. เพิ่มกระบวนการทดสอบการเสื่อมสภาพของวัสดุอุดรอยต่อโพลียูรีเทนที่สภาวะจริง เพื่อให้มีการเปรียบเทียบระหว่างการเร่งปฏิกิริยาสภาพอากาศและการเสื่อมสภาพในสภาพแวดล้อมจริงได้อย่างแม่นยำมากขึ้น
3. ควรจะเพิ่มการศึกษาคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำของวัสดุอุดรอยต่อที่เสื่อมสภาพ เนื่องจากปัญหาการรั่วซึมของน้ำบริเวณรอยต่อของผนังคอนกรีตมักจะเป็นปัญหาสำคัญจากผู้ใช้งานอาคาร



รายการอ้างอิง

- A.T.Wolf (2004). "Testing of sealant, the trouble with sealants."
- Bridgewater TJ and Carbary LD (1992). "Accelerated weathering and heat stability of various perimeter sealants": 45-63.
- Calce, t. u. o. m. (2001). "Material hardness."
- Canada Mortgage and Housing Corporation (2003). Best Practice Guide Architectural Precast Concrete Walls.
- ChemTec Publishing (2012). Handbook of polymers.
- Chew ML and Lee DY (1997). "Elastic recovery of sealants."
- Christopher C. White, Kar Tean Tan, Donald L. Hunston and R. Sam Williams (2009). "Durability of Building Joint Sealants."
- Ciria (1987). "Civil engineering sealant in wet conditions."
- CPCI (2000). Architectural precast concrete sealant and joint guide.
- Kenneth B. Tator and KTA Tator (2015). "Coating Deterioration."
- M.Y.L. Chew (1999). Joint sealant for wall cladding.
- Margeson JL, Lacasse MA and Margeson JC (1996). "Relative effects of deformation and aging on sealant behavior." 97-108.
- Qlab corporation (2011). QUV accelerated weathering testers.
- Qlab corporation (2011). "QUV&Q-sun A comparison of two effective approaches to accelerated weathering & light stability testing."
- Remesh B. Mella, Matu R. Shrestha, Montgomery T. Shaw and Smita B. Brjimohan (2007). "Development and Laboratory Analysis of Silicone Foam Sealant for Bridge Expansion Joints."

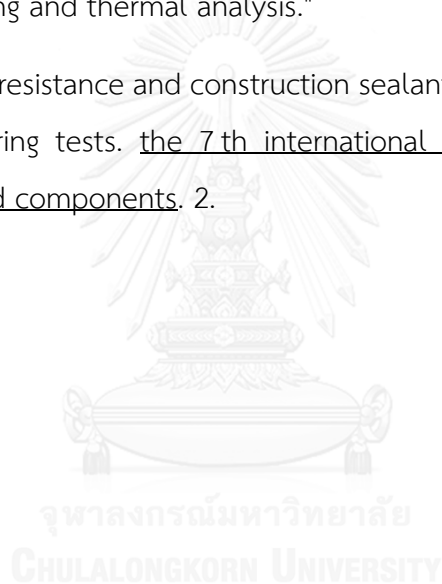
S. Bunthong, P. Choosri, A. Dechley, I. Masiri, R. Wattan and S. Janjai (2011). "An investigation of total solar ultraviolet radiation at Nakhon Pathom, Thailand."

Smith, L. P. (1993). "The language of rubber: An introduction to the specification and testing of elastomers. Butterworth-Heinemann."

Stanley J. Stachelek, Ivan Alferiev, Hoon Choi, Chun Wai Chan, Brett Zubiante, Michael Sacks, Russell Composto, I-Wei Chen and Robert J. Levy (2006). "Prevention of oxidative degradation of polyurethane by covalent attachment of di-tert-butylphenol residues."

Su Hua Ding and Da Zhuang Liu (2005). "Durability evaluation of building sealants by accelerated weathering and thermal analysis."

Wolf AT (1996). Aging resistance and construction sealants – synergistic effects, natural and artificial weathering tests. the 7th international conferences on durability of building materials and components. 2.



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกาญจนา สุริยะวงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 15 กันยายน พ.ศ. 2535 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร เป็นบุตรคนที่ 3 จากทั้งหมด 3 คนของคุณพ่อเชิดวิทย์ สุริยะวงศ์ และคุณแม่ นิภา สุริยะวงศ์ เข้ารับการศึกษาในระดับอนุบาลและประถมศึกษาที่โรงเรียนพระมารดานิจจานุเคราะห์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557 เข้ารับการศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (โครงสร้าง) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2558 จนถึงปัจจุบัน

