

<http://journal.rmutp.ac.th/>

การเปรียบเทียบภาระขาดของรอยเชื่อมผ้าทอทางสถาปัตยกรรม จากการเชื่อมลมร้อนและเหนียวน้ำ

กัณฑ์ธกรณ์ เขาทอง^{1*} เจษฎาภรณ์ ปรียดำกุล² และ ประภาพรณ เกษราพงศ์³

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

³ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

¹ 1 ถนนมาลัยแมน ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

² 25/25 ถนนพุทธมณฑล สาย 4 ตำบลศาลายา อำเภอฟุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

³ 199 ถนนสุขุมวิท ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอสรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

รับบทความ 15 กุมภาพันธ์ 2564 แก้ไขบทความ 22 กรกฎาคม 2564 ตอรับบทความ 16 สิงหาคม 2564

บทคัดย่อ

ผ้าทอทางสถาปัตยกรรมได้ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจนมีคุณสมบัติที่โดดเด่นทำให้สถาปนิกและวิศวกรนำมาออกแบบและใช้งานกับอาคารสำคัญต่าง ๆ ทั่วโลก แต่ปัญหาที่พบคือผ้าทอทางสถาปัตยกรรมจากผู้ผลิตมีขนาดเล็กกว่าความต้องการใช้งาน เพื่อให้สามารถใช้งานได้จึงต้องนำผ้าทอทางสถาปัตยกรรมมาเชื่อมติดกัน ปัจจุบันวิธีที่นิยมนำมาเชื่อมผ้าทอทางสถาปัตยกรรมคือการเชื่อมเหนียวน้ำ แต่มีปัญหาด้านการใช้งานหลายประการเพื่อลดปัญหาเหล่านั้นผู้วิจัยจึงสร้างเครื่องเชื่อมลมร้อนมาทดแทนเครื่องเชื่อมเหนียวน้ำ โดยพิจารณาภาระขาดของรอยเชื่อมซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้บอกความแข็งแรงของรอยเชื่อมและมีความสำคัญยิ่งสำหรับการนำผ้าทอทางสถาปัตยกรรมไปใช้งาน งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการเปรียบเทียบภาระขาดของรอยเชื่อมผ้าทอทางสถาปัตยกรรมจากการเชื่อมลมร้อนและเหนียวน้ำ โดยใช้การออกแบบการทดลองของทฤษฎีแบบ Orthogonal Arrays L25 ผลการศึกษาพบว่าผ้าทอทางสถาปัตยกรรมที่เชื่อมด้วยลมร้อนมีภาระขาดสูงสุดแนว warp เท่ากับ 95.38 กิโลนิวตันต่อเมตร ส่วนแนว weft มีภาระขาดสูงสุดเท่ากับ 86.17 กิโลนิวตันต่อเมตร และผ้าทอทางสถาปัตยกรรมที่เชื่อมเหนียวน้ำมีภาระขาดสูงสุดแนว warp เท่ากับ 101.37 กิโลนิวตันต่อเมตร ส่วนแนว weft มีภาระขาดสูงสุดเท่ากับ 97.78 กิโลนิวตันต่อเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภาระขาดของรอยเชื่อมจากการเชื่อมผ้าทอทางสถาปัตยกรรมทั้งสองวิธีแตกต่างกันไม่มากจึงสามารถนำการเชื่อมด้วยลมร้อนมาทดแทนการเชื่อมเหนียวน้ำได้

คำสำคัญ : ผ้าทอ; การผลิต; ลมร้อน; เหนียวน้ำ; รอยเชื่อม

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +66 3435 5310, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: fengkkk@ku.ac.th

<http://journal.rmutp.ac.th/>

The Comparison of Failing Load of Architectural Fabrics of Weld Seams between the Hot Air Welding and High Frequency Welding

Kunthakorn Khaothong^{1*} Jetsadaporn Priyadumkol² and Prapapan Ketsarapong³

¹ Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University

² Faculty of Engineering, Mahidol University

³ Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University

¹ 1 Malaiman Road, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, 73140

² 25/25 Phutthamonthon Road, Salaya, Nakhon Pathom, 73170

³ 119 Sukhumvitand Rode, Sriracha, Chon Buri, 20230

Received 15 February 2021; Revised 22 July 2021; Accepted 16 August 2021

Abstract

Architectural fabrics were continuously developed on their unique performance. Architects and Engineers designed them for the application of important buildings around the world despite the symptom that Architectural fabric sizes from manufactures are smaller than the application sizes. Recently, although the well-known method used to weld Architectural fabrics to enlarge their size is the high frequency welding, there were some application issues. To mitigate those issues, the researcher created the hot air welding to replace the high frequency welding in consideration on the failing loads of welded seams which are variable factors of the failing loads to indicate the weld strength and it is crucial for the Architectural fabric application. This research presents the comparison of failing load of weld seams between the hot air welding and high frequency welding by the test of Taguchi's Orthogonal arrays L25 method. The test results demonstrated that Architectural fabrics welded by the hot air welding has the highest failing loads of wrap, equal to 95.38 kN/m and the highest failing loads of weft at 86.17 kN/m. Conversely, Architectural fabrics welded by the high frequency welding has the highest failing loads of wrap, equal to 101.37 kN/m and the highest failing loads of weft at 97.78 kN/m. Based on a forementioned results, there is no significant difference from both welding methods and thus concluded that the hot air welding could be used to replace the high frequency welding method.

Keywords : Canvas; Manufacturing; Hot Air; High Frequency; Welded Seam

** Corresponding Author. Tel.: +663 4355 310, E-mail Address: fengkkk@ku.ac.th*

1. บทนำ

ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้นำศาสตร์ทางเคมีสิ่งทอมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการเคลือบผิววัสดุ ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์จากวัสดุชนิดใหม่จำนวนมากและเกิดเป็นนวัตกรรมการผลิตผ้าทอที่โดดเด่น อาทิการนำเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเตอร์มาทอแล้วเคลือบผิวด้วยพีวีซีอะคริลิก ทำให้ได้ผ้าทอที่มีคุณสมบัติสำคัญคือ เส้นใยมีความแข็งแรง ทนไฟ ทนความร้อน น้ำหนักเบา รับประทานได้ง่าย ทนต่อแสงแดดและความชื้น เป็นฉนวน มีอายุการใช้งานยาวนาน มีสีสันสวยงาม ติดตั้งง่าย และสามารถออกแบบโครงสร้างให้มีรูปทรงที่หลากหลาย [1] ทำให้เหมาะอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้ในงานสถาปัตยกรรม โดยผู้ออกแบบ วิศวกร และสถาปนิก ได้นำผ้าทอประเภทนี้มาใช้กับอาคารชั้นนำหลายแห่งทั่วโลก เช่น O₂ Arena ในกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ [2] หลังคาพักผ่อนที่ประกอบพิธีอัญมณฑนนครเมกะ ประเทศซาอุดีอาระเบีย อาคารจัดแสดงการบินในประเทศสาธารณรัฐสิงคโปร์ รวมถึงสนามบิน ห้างสรรพสินค้าและร้านอาหารต่าง ๆ เพื่อทดแทนผ้าทองานสถาปัตยกรรมแบบเดิม [3] นอกจากนี้ยังนักวิจัยบางท่านได้นำผ้าทอประเภทนี้ไปใช้ส่งลมในระบบปรับอากาศด้วย [4]

เนื่องจากผ้าทอทางสถาปัตยกรรมมีขนาดความกว้างมาตรฐานที่ผลิตจากโรงงานประมาณ 1.4 ถึง 2.5 เมตร [5] แต่การใช้งานต้องการผ้าทอขนาดใหญ่กว่าขนาดมาตรฐานมาก จึงต้องนำผ้าทอมาเชื่อมติดกันด้วยเครื่องเชื่อมเหนียวน้ำที่มีขายทั่วไปในเชิงพาณิชย์ซึ่งมีข้อเสียคือ ราคาสูง เครื่องเชื่อมมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ทำให้ไม่สะดวกหากจะนำมาติดตั้งบริเวณไซต์งานเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้นำเสนอกรรมวิธีการเชื่อมผ้าทอทางสถาปัตยกรรมด้วยลมร้อนซึ่งมีขนาดเล็กขนย้ายได้ง่าย มีราคาถูก สามารถติดตั้งอุปกรณ์และใช้งานบริเวณไซต์งานได้ [6]

เนื่องจากบริเวณรอยเชื่อมของชิ้นงานมักมีความแข็งแรงน้อยกว่าบริเวณอื่น ดังนั้นความแข็งแรงของรอย

เชื่อมจึงมีอิทธิพลอย่างมากต่อการออกแบบโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม [7] โดยกรรมวิธีการเชื่อมต่างกันจะมีตัวแปรกำหนดความแข็งแรงรอยเชื่อมต่างกัน เช่นการเชื่อมเหนียวน้ำแบบลูกกลิ้ง ความเร็วและแรงกดของลูกกลิ้งมีอิทธิพลต่อความสามารถในการรับแรงดันของรอยเชื่อม [8] และคุณลักษณะทางกลของรอยเชื่อมขึ้นกับสมรรถนะของรอยเชื่อม (ความดันกด x กำลังไฟฟ้า/ความเร็วลูกกลิ้ง) [9], [10] สำหรับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมผ้าทอที่เชื่อมด้วยลมร้อนคือระยะห่างหัวเป่าลมกับชิ้นงาน, อุณหภูมิลมร้อน, แรงบิดและความเร็วลมร้อน เนื่องจากมีนัยสำคัญทางสถิติตามวิธีการ ANOVA [11]

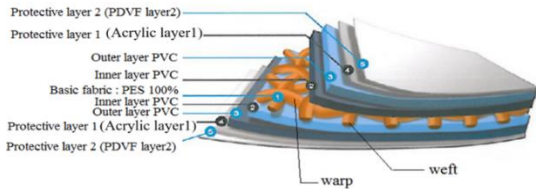
จากการตรวจเอกสารพบว่ายังไม่มีงานวิจัยใดทำการทดลองและวิเคราะห์ภาระขาดของรอยเชื่อมผ้าทอทางสถาปัตยกรรมด้วยวิธีการเชื่อมด้วยเครื่องเหนียวน้ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาระยะขาดของรอยเชื่อมผ้าทอทางสถาปัตยกรรมด้วยวิธีการเชื่อมเหนียวน้ำเปรียบเทียบกับวิธีการเชื่อมลมร้อน เพื่อนำผลที่ได้จากการการศึกษาไปปรับปรุงและพัฒนาเครื่องเชื่อมด้วยลมร้อนและเทคนิคการออกแบบโครงสร้างผ้าทอทางสถาปัตยกรรมต่อไป

2. อุปกรณ์แล่วิธีการวิจัย

2.1 ผ้าทอทางสถาปัตยกรรม

งานวิจัยนี้ใช้ผ้าทอทางสถาปัตยกรรมที่ทอจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์ตามแนว Warp และ Weft โดยผ่านกระบวนการเคลือบด้วย PVC สองชั้น ทำให้ผ้าทอสามารถกันน้ำได้ 100% ชั้นถัดมาเคลือบ Acrylic และชั้นนอกสุดเคลือบ Polyvinylidene Fluoride (PVDF) สองชั้น ทำให้ผ้าทอสามารถป้องกันรังสี UV, แสงแดด, การเกิดเชื้อราและความชื้นได้ โดยผ้าทอมีอัตราการส่องผ่านของแสงอยู่ในช่วง 5-10 % ตัวอย่างโครงสร้างและส่วนประกอบผ้าทอทางสถาปัตยกรรมแสดงในรูปที่ 1 เนื่องจากวัสดุที่ใช้ผลิตทั้งหมดเป็นโพลีเมอร์ทำให้ผ้าทอ

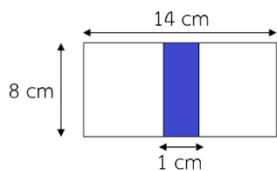
ชนิดนี้มีสมบัติเป็นฉนวน [12] และมีภาระขาดแนว warp และ weft เท่ากับ 112.72 dbF และ 100.26 kN/m ตามลำดับ [13]



รูปที่ 1 ผ้าทอทางสถาปัตยกรรมสำหรับงานวิจัย

2.2 การเตรียมชิ้นงาน

การทดลองต้องเตรียมชิ้นงานโดยนำผ้าทอสถาปัตยกรรมมาตัดให้มีขนาด 7.5 x 8 เซนติเมตร จำนวนสองแผ่น การเชื่อมต้องนำผ้าทอมาซ้อนทับเพื่อให้รอยเชื่อมมีความกว้าง 1 เซนติเมตร ตามรูปที่ 2 โดยต้องอบชิ้นงานทุกชั้นด้วยเครื่องอบความร้อนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อควบคุมความชื้น

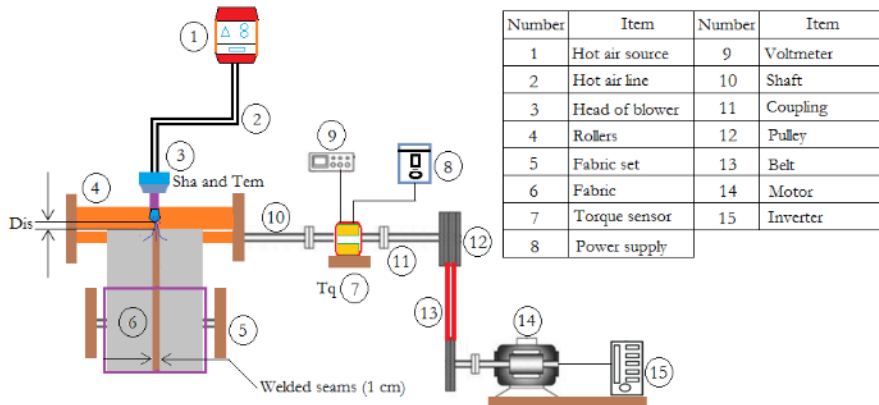


รูปที่ 2 ขนาดรอยเชื่อมผ้าทอทางสถาปัตยกรรม

2.3 การเชื่อมลมร้อน

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยทำการเชื่อมลมร้อนชิ้นงานที่เตรียมไว้ด้วยเครื่องเชื่อมลมร้อนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น กรรมวิธีการเชื่อมลมร้อนเริ่มจากนำชิ้นงานสองชิ้นซ้อนทับกันให้ได้ความกว้างรอยเชื่อมตามต้องการแล้วป้อนชิ้นงานเข้าสู่ชุดหนีบ (หมายเลข 4) ที่ส่งกำลังมาจากมอเตอร์ขนาด 0.5 กำลังม้า (หมายเลข 14) ทำให้สามารถควบคุมอัตราป้อนและแรงบิดของชุดหนีบได้ โดยค่าแรงบิดถูกวัดด้วยเครื่องวัดแรงบิดหรือทอร์กเซนเซอร์ (หมายเลข 7) และคำนวณอัตราป้อนได้จากรอบของลูกกลิ้ง (หมายเลข 4) ส่วนบริเวณทางเข้าสู่ชุดหนีบชิ้นงานถูกให้ความร้อนด้วยลมร้อนที่ผลิตมาจากชุดสร้างลมร้อน (หมายเลข 1) และความกว้างรอยเชื่อมจะถูกควบคุมด้วยหัวเป่าลมทรงกระบอกขนาด 1 เซนติเมตร (หมายเลข 3) ซึ่งสามารถปรับอุณหภูมิและความเร็วลมร้อนได้ เมื่อชิ้นงานผ่านกรรมวิธีการเชื่อมด้วยลมร้อนแล้วชิ้นงานจะถูกม้วนเก็บด้วย Fabric set (หมายเลข 5) ตามรูปที่ 3

สำหรับการวิเคราะห์ความแข็งแรงของรอยเชื่อมพิจารณาจากภาระที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน ทุกการทดลองกำหนดปัจจัยนำเข้า 4 ปัจจัยคือ ระยะห่างหัวเป่าลมกับชิ้นงาน, อุณหภูมิลมร้อน, แรงบิด และความเร็วลมร้อน ซึ่งแต่ละปัจจัยถูกแบ่งออก 5 ระดับ รายละเอียดแสดงตามตารางที่ 1



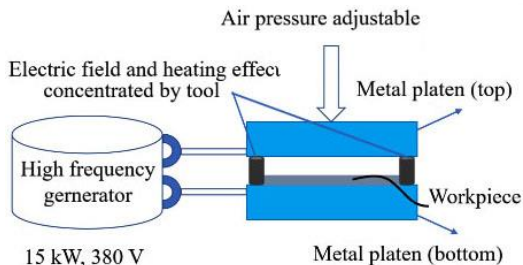
รูปที่ 3 เครื่องเชื่อมลมร้อน [11]

ตารางที่ 1 ปัจจัยนำเข้าสำหรับเชื่อมลมนร้อน

ปัจจัยนำเข้า	ระดับ				
	1	2	3	4	5
ระยะหัวเป่าลมกับชิ้นงาน (mm)	2	4	6	8	10
อุณหภูมิลมร้อน (°C)	160	170	180	190	200
แรงบิด (N.mm)	5000	6000	7000	8000	9000
ความเร็วลมร้อน (mm/s)	1000	2000	3000	4000	5000

2.4 การเชื่อมเหนียวนำ

งานวิจัยนี้ นำเครื่องเชื่อมเหนียวนำที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ซึ่งเครื่องเชื่อมมีองค์ประกอบตามรูปที่ 4 มาใช้เชื่อมชิ้นงาน



รูปที่ 4 เครื่องเชื่อมเหนียวนำ

กรรมวิธีการเชื่อมเริ่มจากนำชิ้นงานสองชิ้นซ้อนทับกันให้ได้ความกว้างรอยเชื่อมตามต้องการแล้วนำมาวางบนแผ่นความร้อนด้านล่าง (Bottom Metal Platen) จากนั้นกดด้วยระบบนิวเมติกส์ให้แผ่นความร้อนด้านบน (Top Metal Platen) มากดทับชิ้นงาน โดยความร้อนเกิดจากเครื่องสร้างความถี่ความร้อน (High Frequency Generator) จากนั้นความร้อนจะถูกส่งผ่านชิ้นงานทำให้เกิดรอยเชื่อม [14] ทำการจับเวลาเชื่อม

สำหรับการวิเคราะห์ความแข็งแรงของรอยเชื่อมพิจารณาจากภาระขาดที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน การทดสอบกำหนดปัจจัยนำเข้า 3 ปัจจัย คือ ความถี่ ความดันกด และเวลาเชื่อม ซึ่งแต่ละปัจจัยถูกแบ่งออก 5 ระดับ รายละเอียดแสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัยนำเข้าสำหรับเชื่อมเหนียวนำ

ปัจจัยนำเข้า	ระดับ				
	1	2	3	4	5
ความถี่ (MHz)	21	24	27	30	33
ความดันกด (MPa)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
เวลาเชื่อม (s)	3	6	9	12	15

2.5 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ออกแบบการทดลองตามแผนการทดลองปัจจัยนำเข้าทางสถิติเนื่องจากมีความเหมาะสมสำหรับใช้ออกแบบการทดลองปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้กระบวนการผลิตที่มีความแม่นยำ ลดเวลาที่ใช้ในการทดลองและลดความแปรผัน (Variation) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต [15] โดยงานวิจัยนี้ใช้รูปแบบการทดลองแบบ Orthogonal Arrays L 25 [16] แต่ละรูปแบบการทดลองผู้วิจัยทำการทดลองซ้ำรูปแบบละ 5 ครั้ง เพื่อพิจารณาปัจจัยออกเฉลี่ยคือ ภาระขาด (Failing Load) ของชิ้นงาน

2.6 การทดสอบภาระขาด

ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมทั้งสองวิธีจะถูกนำไปทดสอบภาระขาดด้วยแรงดึงทั้งแนว Warp และ Weft ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ตามมาตรฐาน ISO 1421:2016 ที่อุณหภูมิห้อง การทดสอบใช้ Grips Separation ขนาดเท่ากับ 200 มิลลิเมตร ระยะ Extensometer เท่ากับ 50 มิลลิเมตร และชิ้นงานจะถูกดึงด้วยความเร็ว grip เท่ากับ 100 มิลลิเมตรต่อนาที จนเกิดการฉีกขาดบริเวณรอยเชื่อม

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ผลการทดสอบภาวะขาดรอยเชื่อมด้วย

วิธีการเชื่อมลมร้อน

ภาวะขาดสูงสุดทั้งแนว warp และ weft เกิดที่สภาวะระยะห่างหัวเป่าลมกับชิ้นงาน 10 มิลลิเมตร, อุณหภูมิลมร้อน 160 องศาเซลเซียส, แรงบิด 9000 นิวตัน.มิลลิเมตรและความเร็วลมร้อน 4000 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยแนว warp มีภาวะขาดสูงสุดเท่ากับ 95.38 กิโลนิวตันต่อเมตร ส่วนแนว weft มีภาวะขาดสูงสุดเท่ากับ 86.17 กิโลนิวตันต่อเมตร (การทดลอง 21) ตามตารางที่ 3

โดยที่ภาวะภาวะขาดสูงสุดใช้เวลาในการดึงงานชิ้นงานขาดออกจากกันนานกว่าสภาวะอื่น เนื่องจากต้องใช้ระยะเวลาในการทำละลายพันธะที่หลอมละลายติดกันระหว่างชิ้นงานทดสอบทั้งสอง สำหรับการขาดกันของชิ้นงานทุกการทดลองชิ้นงานขาดที่ตำแหน่งของรอยเชื่อม ตามรูปที่ 5 เพราะความร้อนทำให้ของเนื้อวัสดุของชิ้นงานหลอมละลายทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดเกรนของวัสดุ ตำแหน่งรอยเชื่อมจึงมีความเหนียวน้อยกว่าบริเวณนอกรอยเชื่อม ประกอบกับการเชื่อมลมร้อนลมร้อนความร้อนมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอจึงมีฟองอากาศเกิดขึ้นบริเวณผิวรอยเชื่อมทำให้ความแข็งแรงบริเวณรอยเชื่อมมีน้อยกว่าบริเวณอื่น



รูปที่ 5 รอยขาดภาวะขาดสูงสุดการเชื่อมลมร้อน (การทดลอง 21)

3.2 ผลการทดสอบภาวะขาดรอยเชื่อมด้วย

วิธีการเชื่อมเหนียวน้ำ

ภาวะขาดสูงสุดทั้งแนว Warp และ แนว Weft เกิดที่ภาวะความถี่ 30 เมกะเฮิรตซ์, ความดันกด 1.0 เมกะปาสคาล และเวลา 9 วินาที โดยแนว warp มีภาวะขาดสูงสุดเท่ากับ 101.37 กิโลนิวตันต่อเมตร ส่วนแนว Weft มีภาวะขาดสูงสุดเท่ากับ 97.78 กิโลนิวตันต่อเมตร (การทดลอง 20) ตามตารางที่ 4

โดยภาวะภาวะขาดสูงสุดใช้เวลาในการดึงงานชิ้นงานขาดจากกันนานกว่าสภาวะอื่นเพราะต้องใช้เวลากลายพันธะที่หลอมติดกันบริเวณรอยเชื่อม เช่นเดียวกับการเชื่อมลมร้อนและทุกการทดลองชิ้นงานขาดที่นอกตำแหน่งของรอยเชื่อม ตามรูปที่ 6 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ L. Kun et al. [17]



รูปที่ 6 รอยขาดภาวะขาดสูงสุดการเชื่อม (การทดลอง 20)

เนื่องจากอุณหภูมิแผ่นเหนียวน้ำมีอุณหภูมิสูงและมีการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ส่งมาจากแผ่นเหนียวน้ำตามแนวความยาวไปยังบริเวณรอยเชื่อมของชิ้นทดสอบทั้งสอง ทำให้อุณหภูมิผิวรอยเชื่อมมีการแกว่งไกวสูง รอยเชื่อมเหนียวจึงติดกันแน่นมีความแข็งแรงมากกว่าส่วนอื่นของชิ้นงานและหากมีแรงดึงต้องใช้ระยะเวลานานในการทำละลายพันธะบริเวณรอยเชื่อม ประกอบกับการที่แผ่นเหนียวน้ำกดทับชิ้นงานโดยตรงและมีการกระจายตัวของความร้อนสม่ำเสมอทำให้ฟองอากาศเกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อมมีน้อยมาก ดังนั้นหากนำผ้าทอทางสถาปัตยกรรมที่ผ่านการเชื่อมเหนียวน้ำไปใช้งานจะทำให้ยากต่อการตรวจสอบความเสียหาย

ตารางที่ 3 ภาวะขาดผ้าทอสถาปัตยกรรมเชื่อมด้วยวิธีลมนร้อน

การทดลอง	ปัจจัยเข้า				ปัจจัยออก	
	ระยะหัวเป่า	อุณหภูมิ	แรงบิด	ความเร็ว	ภาวะขาด	ภาวะขาด
	ลมกับชิ้นงาน (mm)	ลมนร้อน (°C)	(N.mm)	ลมนร้อน (mm/s)	แนว warp (kN/m)	แนว weft (kN/m)
1	2	160	5000	1000	70.34	61.34
2	2	170	6000	2000	64.62	55.74
3	2	180	7000	3000	58.63	51.06
4	2	190	8000	4000	50.54	41.54
5	2	200	9000	5000	45.42	37.11
6	4	160	6000	3000	80.25	70.89
7	4	170	7000	4000	74.96	66.12
8	4	180	8000	5000	63.22	54.67
9	4	190	9000	1000	56.74	48.53
10	4	200	5000	2000	49.76	41.25
11	6	160	7000	5000	83.15	73.86
12	6	170	8000	1000	72.91	62.93
13	6	180	9000	2000	67.78	56.99
14	6	190	5000	3000	60.92	51.24
15	6	200	6000	4000	55.73	47.16
16	8	160	8000	2000	90.43	81.77
17	8	170	9000	3000	81.26	71.64
18	8	180	5000	4000	74.14	65.14
19	8	190	6000	5000	67.23	58.57
20	8	200	7000	1000	63.22	53.53
21	10	160	9000	4000	95.38	86.17
22	10	170	5000	5000	89.59	79.88
23	10	180	6000	1000	81.82	72.45
24	10	190	7000	2000	75.44	65.6
25	10	200	8000	3000	68.59	59.61

ตารางที่ 4 ภาวะขาดผ้าทอสถาปัตยกรรมเชื่อมด้วยวิธีเหนียวน้ำ

การทดลอง	ปัจจัยเข้า			ปัจจัยออก	
	ความถี่	ความดันกด	เวลาเชื่อม	ภาวะขาดแนว warp	ภาวะขาดแนว weft
	(MHz)	(MPa)	(s)	(kN/m)	(kN/m)
1	21	0.2	3	78.12	69.54
2	21	0.4	6	72.66	65.74
3	21	0.6	9	66.25	60.36
4	21	0.8	12	61.57	55.83

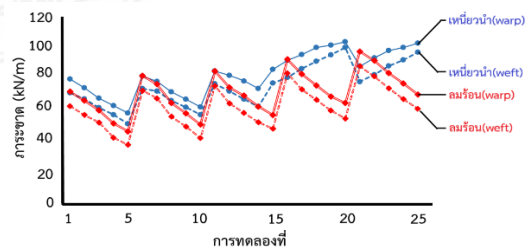
ตารางที่ 4 ภาวะขาดผ้าทอสถาปัตยกรรมเชื่อมด้วยวิธีเหนียวน้ำ (ต่อ)

การทดลอง	ปัจจัยเข้า			ปัจจัยออก	
	ความถี่ (MHz)	ความดันกด (MPa)	เวลาเชื่อม (s)	ภาวะขาดแนว warp (kN/m)	ภาวะขาดแนว weft (kN/m)
5	21	1.0	15	56.92	50.15
6	24	0.2	6	80.11	72.23
7	24	0.4	9	76.74	70.49
8	24	0.6	12	70.22	64.61
9	24	0.8	15	65.61	60.59
10	24	1.0	3	60.76	55.84
11	27	0.2	9	83.22	75.13
12	27	0.4	12	80.39	70.52
13	27	0.6	15	76.98	65.48
14	27	0.8	3	72.31	61.01
15	27	1.0	6	84.14	75.68
16	30	0.2	12	89.93	79.15
17	30	0.4	15	93.43	84.65
18	30	0.6	3	97.92	89.28
19	30	0.8	6	99.38	93.15
20	30	1.0	9	101.37	97.78
21	33	0.2	15	86.14	76.56
22	33	0.4	3	91.43	80.81
23	33	0.6	6	95.91	86.38
24	33	0.8	9	97.92	90.04
25	33	1.0	12	100.59	94.89

3.3 อภิปรายผลเปรียบเทียบการทดสอบภาวะขาดรอยเชื่อมด้วยวิธีการเชื่อมลมร้อนกับการเชื่อมเหนียวน้ำ

ผลการเปรียบเทียบภาวะขาดรอยเชื่อมด้วยวิธีการเชื่อมลมร้อนกับการเชื่อมเหนียวน้ำแสดงตามรูปที่ 7 ผ้าทอทางสถาปัตยกรรมที่เชื่อมด้วยวิธีเหนียวน้ำมีภาวะขาดแนว Warp ในช่วง 56.92 ถึง 101.37 กิโลนิวตันต่อเมตร และแนว Weft ในช่วง 50.15 ถึง 97.78 กิโลนิวตันต่อเมตร ซึ่งสูงกว่าการเชื่อมลมร้อนที่มีภาวะขาดแนว Warp ในช่วง 45.42 ถึง 95.38 กิโลนิวตันต่อเมตร และแนว Weft ในช่วง

37.11 ถึง 86.17 กิโลนิวตันต่อเมตร โดยการเชื่อมเหนียวน้ำมีภาวะขาดแนว Warp และ แนว Weft สูงกว่าการเชื่อมลมร้อน 5.91 และ 11.87% ตามลำดับ



รูปที่ 7 เปรียบเทียบภาวะขาดการเชื่อมผ้าทอทางสถาปัตยกรรมด้วยวิธีการเชื่อมลมร้อนกับการเชื่อมเหนียวน้ำ

หากพิจารณาตามรูปที่ 5 การเชื่อมลมนร้อนขึ้นงานจะขาดบริเวณรอยเชื่อมเนื่องจากบริเวณรอยเชื่อมมีความแข็งแรงและมีความเหนียวน้อยกว่าบริเวณอื่นเนื่องจากลมร้อนกระจายตัวไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดโพรงอากาศบริเวณรอยเชื่อม ทำให้ขณะดึงทดสอบภาระขาดทุกส่วนของชิ้นงานจะเกิดการยึดตัว หากพิจารณาตามรูปที่ 6 ขณะดึงทดสอบภาระขาดชิ้นงานที่เชื่อมด้วยวิธีเหนียวนำชิ้นงานจะไม่มีเกิดการยึดตัวและชิ้นงานจะขาดนอกบริเวณรอยเชื่อม เนื่องจากบริเวณรอยเชื่อมมีโพรงอากาศเกิดขึ้นน้อยกว่าการเชื่อมด้วยวิธีลมนร้อนมาก จึงทำให้บริเวณรอยเชื่อมมีความเหนียวและความแข็งแรงทำให้สามารถรับภาระขาดได้มากกว่าบริเวณอื่น

ภาระขาดจากการเชื่อมเหนียวนำไม่ได้ขาดบริเวณรอยนั้นคือรอยเชื่อมจากการเชื่อมเหนียวนำมีความแข็งแรงของรอยเชื่อมสูงกว่ารอยเชื่อมจากการเชื่อมลมนร้อน และหากพิจารณาภาระขาดสูงสุดของการเชื่อมเหนียวนำกับภาระขาดผ้าทอสถาปัตยกรรมที่ไม่มีรอยเชื่อมพบว่าภาระขาดสูงสุดของการเชื่อมเหนียวนำน้อยกว่าภาระขาดผ้าทอสถาปัตยกรรมที่ไม่มีรอยเชื่อมในทั้งแนว Warp และ Weft

เนื่องจากการเชื่อมลมนร้อนภาระขาดเกิดที่ตำแหน่งรอยเชื่อมและเกิดการยึดตัวหากนำผ้าทอทางสถาปัตยกรรมที่เชื่อมด้วยลมนร้อนไปใช้งานจะทำให้ง่ายต่อการตรวจสอบความเสียหาย ส่วนการเชื่อมเหนียวนำภาระขาดเกิดที่ตำแหน่งนอกบริเวณรอยเชื่อมหากนำผ้าทอทางสถาปัตยกรรมที่เชื่อมด้วยความร้อนเหนียวนำไปใช้งานจะทำให้ยากต่อการตรวจสอบความเสียหาย

หากพิจารณาความสามารถการรับภาระขาดพบว่า การเชื่อมลมนร้อนสามารถรับภาระขาดได้น้อยกว่าเชื่อมเหนียวนำเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเปรียบเทียบกับความคุ้มค่าด้านราคาที่เครื่องเชื่อมเหนียวนำมีราคาสูงกว่าเครื่องเชื่อมลมนร้อนหลายเท่าอีกทั้งเครื่องเชื่อม

เหนียวนำมีความยุ่งยากในการขนย้ายและไม่สามารถนำไปประกอบหรือเชื่อมผ้าทอทางสถาปัตยกรรมบริเวณไซต์งานได้ แต่เครื่องเชื่อมลมนร้อนสามารถประกอบและติดตั้งได้ง่าย ทำให้สามารถขนย้ายไปประกอบหรือเชื่อมชิ้นงานบริเวณไซต์งานได้และการนำผ้าทอทางสถาปัตยกรรมที่เชื่อมด้วยลมนร้อนไปใช้งานสามารถตรวจสอบความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ง่ายกว่า ผู้วิจัยจึงเห็นว่าการเชื่อมผ้าทอทางสถาปัตยกรรมควรนำการวิธีการเชื่อมลมนร้อนมาทดแทนการเชื่อมเหนียวนำ

4. สรุป

ภาระขาดของรอยเชื่อมผ้าทอทางด้านสถาปัตยกรรม จากการเชื่อมเหนียวนำมีภาระขาดสูงกว่าการเชื่อมด้วยลมนร้อนแนว Warp 5.91 % และแนว Weft 11.87 % ภาวะการเชื่อมเหนียวนำที่สามารถรับภาระขาดสูงสุดคือ ความถี่ 30 เมกะเฮิรตซ์, ความดันกด 1.0 เมกะปาสคาล และเวลา 9 วินาที ส่วนภาวะการเชื่อมลมนร้อนที่สามารถรับภาระขาดสูงสุดคือ ระยะห่างหัวเป่าลมกับชิ้นงาน 10 มิลลิเมตร, อุณหภูมิลมร้อน 160 องศาเซลเซียส, แรงบิด 9000 นิวตัน-มิลลิเมตร และความเร็วลมร้อน 4000 มิลลิเมตรต่อวินาที และภาระขาดสูงสุดของการเชื่อมเหนียวนำน้อยกว่าภาระขาดผ้าทอสถาปัตยกรรมที่ไม่มีรอยเชื่อมในแนว Warp และ Weft เท่ากับ 11.20% และ 2.54 % ตามลำดับ กล่าวคือ ผ้าทอสถาปัตยกรรมที่ไม่มีรอยเชื่อม สามารถรับแรงดึงได้มากที่สุด รองลงมาคือ รอยเชื่อมจากการเชื่อมเหนียวนำและรอยเชื่อมจากการเชื่อมลมนร้อน ตามลำดับ

หากพิจารณาด้านแง่การเกิดรอยขาดพบว่าการเชื่อมลมนร้อนรอยขาดเกิดที่ตำแหน่งรอยเชื่อมส่วนการเชื่อมเหนียวนำรอยขาดเกิดนอกบริเวณรอยเชื่อม การเชื่อมผ้าทอทางสถาปัตยกรรมด้วยลมนร้อนสามารถตรวจสอบความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ง่ายกว่าการเชื่อม

ด้วยเหนียวนำ ดังนั้นการเชื่อมด้วยลมร้อนสามารถนำไปทดแทนการเชื่อมเหนียวนำสำหรับการเชื่อมผ้า ทอทางสถาปัตยกรรมได้เป็นอย่างดี

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Luo Yixi, Hu Hong and R. Fangueiro, “Tensile and tearing properties of PVC coated biaxial warp knitted fabrics under biaxial loads,” *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, vol. 33, no. 2, pp. 146-150, Jun. 2008.
- [2] Andrzej Ambroziak and Pawel Klosowski, “Mechanical properties for preliminary design of structures made from PVC coated fabric,” *Construction and Building Materials*, vol. 50, no. 1, pp. 74-81, Jan. 2014.
- [3] A. Ambroziak, “Mechanical properties of Preconstraint 1202S coated fabric under biaxial tensile test with different load ratios,” *Construction and Building Materials*, vol. 80, no. 2, pp. 210-224, Apr. 2015.
- [4] K. Khaothong, W. Chaiworapuek, and J. Priyadumkol, “Pressure loss diagram of air flow in polyester fabric duct acrylic PVC coated,” *The Journal of KMUTNB*, vol. 29, no. 3, pp. 445-453, Jul.-Sep. 2019.
- [5] T. Shi, W. Chen, C. Gao, J. Hu, B. Zhao, D and Zhang, Z. Qiu, “Shear behavior of architectural coated fabrics under biaxial bias extension,” *Construction and Building Materials*, vol. 187, no. 6, pp. 964-973, Oct. 2018.
- [6] S.S. Volkow, “Ultrasound welding of synthetic fabric for technical purposes,” *Welding International*, vol. 23, no. 10, pp. 789-795, Sep. 2009.
- [7] Kunthakorn Khaothong, Kanit Manatura and Tinnasit Krisinburasak, “Influence of Hot Air Welding Parameters for Architecture Canvas,” in *Proceeding of 31th Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand (MENET)*, Thailand, 2018, pp. 926-934.
- [8] Hui Shi, Jianping Wang, Xiaona Chen, Shunhua Luo and Lingxi Zhang, “Research on the seam performance of waterproof clothing based on continuous ultrasonic welding technology,” *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 28, no. 2, pp. 171-190, Mar. 2016.
- [9] P.Q. Jiang, Y.F. Lai and Chen. X. Sh, “Seam mechanical properties of polyester /cotton blended woven fabric welded by ultrasonic sewing machine,” *Journal of Donghua University (Natural Science)*, vol. 39, no. 5, pp. 283-285, Mar. 2013.
- [10] Jiang. P.Q, Lai, Y.F. and Chen. X.Sh, “Seam mechanical properties of polyester fabric welded by ultrasonic sewing machine”,

- Journal of Textile Research*, vol. 34, no. 3, pp. 127-130, Oct. 2013.
- [11] Kunthakorn Khaothong, "Analysis of Failing load and optimization of hot air welding parameters on PVC-Acrylic coated polyester fabric by taguchi and ANOVA Technique," *Engineering Journal*, vol. 23, no. 6, pp. 331-334, Nov. 2019.
- [12] Kunthakorn Khaothong, "Experimental setup for measuring thermal conductivity of architecture fabrics," *Engineering Journal of Research and Development Journal*, vol. 31, no. 1, pp. 145-154, Jan. 2020.
- [13] Tensile - architecture. (2020, Oct 1). [Online]. Available: <http://www.sioen technicaltextiles.com>
- [14] L. Kun, A.C. Murariu, "Research on the Influence of Artificial Ageing on the Tensile Properties of Plastic Coated Composites with Fabric Inserts," in *Proceeding of 7th International Conference on Innovative Technologies for Joining Advanced Materials (TIMA)*, Romania, 2014, pp. 224-229.
- [15] Ranjit K. Roy, *Design of Experiments Using The Taguchi Approach: 16 Steps to Product and Process Improvement*. 1 st ed. New York: Wiley-Interscience, 2001.
- [16] Douglas C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 9th ed. New York: John Wiley and Sons, 2017.
- [17] L. Kun, A.C. Murariu, A.V. Birdeanu and K.N. Kun, "Development of an experimental program for optimizing of process parameters used in high frequency welding of PVC coated PE fabrics," *Welding & Material Testing Science*, vol. 3, no. 3, pp. 3-8, Jan. 2014.