



## ชุดทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอทางสถาปัตยกรรม

### EXPERIMENTAL SETUP FOR MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY OF ARCHITECTURE FABRICS

กัณฑ์กรณ์ เขาทอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Corresponding author: fengkkk@ku.ac.th

#### บทคัดย่อ

ปัจจุบันวิศวกรและสถาปนิกได้นำผ้าทอเคลือบสารเคมีชนิดต่างๆมาใช้ในการงานสถาปัตยกรรมอย่างแพร่หลาย การออกแบบและประยุกต์ใช้ผ้าทอทางสถาปัตยกรรมต้องคำนึงถึงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเป็นสำคัญ การหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอชนิดนี้ไม่สามารถใช้เครื่องมือทดสอบมาตรฐานที่มีอยู่ทั่วไปได้ เนื่องจาก 1) ผ้าทอมีความบางมาก 2) เป็นวัสดุประกอบ 3) ไม่เป็นวัสดุพอรุน ผู้วิจัยจึงแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอชนิดนี้ โดยใช้มาตรฐาน ASTM C518 เป็นแนวทางการออกแบบชุดให้พลังงานความร้อน ชุดทดลองที่สร้างขึ้นประกอบด้วย แผ่นความร้อน แผ่นความเย็น ชุดควบคุมอุณหภูมิ ตัวรับรู้ลักษณะความร้อน ตัวรับรู้อุณหภูมิ ผ้าทอสถาปัตยกรรม และชุดบันทึกข้อมูล โดยอุปกรณ์ทั้งหมดถูกออกแบบมาให้สามารถถอดและประกอบได้ง่าย การสอบเทียบชุดทดลองที่สร้างขึ้นผู้วิจัยได้นำแผ่นวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของผ้าทอทางสถาปัตยกรรมคือ Polyester (PES) Polyvinylchloride (PVC) และ Polyvinylidene Fluoride (PVDF) ซึ่งทราบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจากวรรณกรรมอ้างอิงโดยให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.60 % ชุดทดลองจึงมีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำเหมาะสมสำหรับนำไปใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอทางสถาปัตยกรรม ผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ในช่วง 0.043 ถึง 0.058 W/m K โดยมีความสัมพันธ์กับความหนาของผ้าทอทางสถาปัตยกรรมเป็นเชิงเส้นดังสมการ  $0.1543x + 0.0029$  เมื่อ  $x$  คือความหนาผ้าทอทางสถาปัตยกรรม (0.08 ถึง 0.18 mm)

**คำสำคัญ:** ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ผ้าทอ สถาปัตยกรรม

#### ABSTRACT

Nowadays engineers and architects utilized various polymeric coating fabrics extensively for architectural works. For design and application of fabric, the heat transfer coefficient play an important role as a key factor. The heat transfer coefficient of the fabrics cannot be measured directly by the standard equipment due to the following reasons: 1) fabric thinness 2) being a composite material and 3) being an imporous material. Therefore, the researcher follows the standard ASTM C518 as a guideline for inventing the heat generating equipment. This equipment consists of heating plate, cooling plate, temperature control system, heating flux sensors, temperature sensors, architecture fabric, and data logger. The equipment is designed in a

way that all parts can be assembled and disassembled easily. The architectural fabrics made from polyester (PES) polyvinylchloride (PVC) and polyvinylidene fluoride (PVDF) with known heat transfer coefficients are used for calibrating the equipment with the average error of 1.60%. Thus, this equipment works effectively and deliver precise measurement of heat transfer coefficient. The result shows that the values of heat transfer coefficients ranges from 0.043 to 0.058 W/m.K. The linear equation is  $0.1543x + 0.0029$  where the independent variable  $x$  is the thickness of the architecture fabric (0.08 to 0.18 mm).

**KEYWORDS:** thermal conductivity, fabrics, architecture

## 1. บทนำ

ปัจจุบันสถาปนิกผู้ออกแบบงานสถาปัตยกรรมอาคารสำคัญต่างๆทั่วโลก เช่น O<sub>2</sub> Arena ในกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ Hajj pilgrimage ในนครเมกกะ ประเทศซาอุดีอาระเบีย [1] ได้นำผ้าทอทางสถาปัตยกรรมมาใช้แทนหลังคาอาคารแบบเดิมที่มีน้ำหนักมาก เนื่องจากผ้าทอประเภทนี้มีโครงสร้างเส้นใยสองแนวคือแนว warp และ แนว weft ทำให้เกิดคุณสมบัติเด่นคือ ทนแรงดึงสูง น้ำหนักเบา ง่ายต่อการติดตั้งและใช้งาน อีกทั้งมีการเคลือบผิวทำให้ผ้าทอไม่มีความพรุนสามารถป้องกันแสงแดดและความชื้นได้ [2] การออกแบบผ้าทอสำหรับงานสถาปัตยกรรมที่ใช้ในงานหลังคาและผนังนั้นต้องพิจารณาการระทางกลอย่างแรงดึงและโมเมนต์ดัดควบคู่กับการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาและผนัง [3] เพื่อการออกแบบที่แข็งแรง สวยงาม ประหยัดพลังงาน และทำให้ผู้อยู่อาศัยในอาคารได้รับความรู้สึกสบาย นอกจากการนำผ้าทอทางสถาปัตยกรรมมาใช้ในงานด้านสถาปัตยกรรมแล้ว กันต์จรณ์และวีรัชย์ [4] ได้นำผ้าทอทางสถาปัตยกรรมมาติดตั้งและสร้างเป็นท่อส่งลมสำหรับระบบปรับอากาศ โดยกันต์จรณ์และคณะ [5] ได้สร้างแผนภาพความดันสูญเสียสำหรับไหลของอากาศภายในท่อลมที่สร้างจากผ้าทอทางสถาปัตยกรรมสำหรับการไหลของอากาศในท่อลมที่ทำจากฝ้ายนอกจากจะต้องพิจารณาความดันสูญเสียแล้วการถ่ายเทความร้อนเป็นอีกปัจจัยที่ผู้ออกแบบท่อลมต้องคำนึง [6]

ตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนคือค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซึ่งสามารถหาได้ด้วยหลักการให้ความร้อน 2 แบบ คือ 1) แบบ steady-state เป็นวิธีการรักษาอุณหภูมิในระบบให้คงตัวโดยแหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนภายใน เช่นตัวกำเนิดความร้อนไฟฟ้า ผลต่างระหว่างอุณหภูมิสองจุดที่ระยะห่าง  $x$  ใดๆ จะวัดภายในชั้นทดสอบ 2) แบบ transient จะใช้การวัดสัญญาณตอบสนองจากแหล่งกำเนิดความร้อนภายในชั้นงาน วิธีการนี้จะวัดอุณหภูมิเทียบกับเวลาจึงไม่ค่อนเป็นที่นิยม สำหรับมาตรฐานที่นิยมใช้ในการให้ความร้อนแบบ มี 2 วิธี คือ 1) วิธีการตาม ASTM C177 เรียกว่า Guard Hot Plate (GHP) วิธีนี้ใช้ทดสอบชิ้นงานที่มีเนื้อเดียวกันตลอดและผิวทั้งหมดสัมผัสกับวัสดุแข็งซึ่งมีข้อเสียคือต้องใช้ชิ้นงานสองชิ้นและใช้เวลาในการทดสอบนาน 2) วิธีการตาม ASTM C518 เรียกว่า Heat Flow Meter (HFМ) วิธีการนี้เป็นวิธีที่นักวิจัยนิยมใช้เนื่องจากใช้เวลาทดสอบไม่นานและค่าที่ได้มีความแม่นยำ ทั้งสองวิธีเมื่อให้ความร้อนแล้วอุณหภูมิด้านบนและด้านล่างของชิ้นทดสอบต้องมีอุณหภูมิต่างกันพอสมควรเพื่อให้ตัวรับรู้ความร้อนสามารถอ่านค่าฟลักซ์ความร้อนได้ [7] ดังนั้นผู้ทดสอบจึงต้องเตรียมชิ้นงานที่มีความหนาตั้งแต่ 50 มิลลิเมตรขึ้นไปตามคำแนะนำในคู่มือของชุดทดสอบ

สำหรับการทดสอบการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอที่นำมาใช้สวมใส่ซึ่งเป็นวัสดุพรุนบาง และมีค่าการนำความร้อนต่ำ มีวิธีการทดสอบที่นิยมใช้ 3 วิธีคือ 1) วิธี Two plate เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด โดยนำผ้าทอมาวางระหว่างแผ่นโลหะสองแผ่นที่มีอุณหภูมิต่างกัน การหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะทำได้ทั้งแบบ steady-state และแบบ transient ตัวอย่างเครื่องทดสอบที่สร้างตามหลักการนี้คือ Togmeter ตามมาตรฐาน BS 4745 [8] 2) วิธี cooling เป็นวิธีที่ใช้ Guard Hot Plate ให้

ความร้อนผ่านผ้าทอโดยจะรักษาอุณหภูมิของผ้าทอให้เท่ากับอุณหภูมิร่างกายมนุษย์ ส่วนอีกด้านของผ้าทอจะให้อากาศผ่าน ตามมาตรฐาน ASTM D1518-85 [9] 3) วิธีอุณหภูมิคงที่ แบบ steady-state วิธีนี้ผ้าทอทดสอบจะถูกในแทนความร้อนกระบอกกลวง เพื่อให้ความร้อนทั่วทั้งพื้นผิวผ้าทอและที่ปลายทรงกระบอกจะมีกล่องหุ้มฉนวน โดยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอสามารถคำนวณได้จากพลังงานความร้อนที่รักษาอุณหภูมิระหว่างผิวทรงกระบอกและกล่องหุ้มฉนวน [7] นักวิจัยหลายท่านจึงได้นำหลักการหาค่าสมบัติทางความร้อนของผ้าทอมาพัฒนาสร้างเครื่องมือและวิธีการทดสอบให้เหมาะกับงานวิจัย อาทิ Romeli และคณะ [10] ได้สร้างชุดทดลองที่มีส่วนประกอบหลักคือ แผ่นความร้อน ชุดควบคุมอุณหภูมิ และกล่องถ่ายภาพชนิด IR โดยทำการทดลองกับผ้าทอ polyester neoprene และ cotton ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุในสภาวะแห้งและเปียกให้เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างในช่วง 4 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์ Cubric และคณะ [11] ได้สร้างชุดทดลองที่มีส่วนประกอบหลักคือ แผ่นสร้างความร้อนและชุดควบคุมอุณหภูมิ ทำการทดลองกับผ้าทอ single jersey โดยสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านความร้อนกับความหนา มวลต่อพื้นที่ และความพรุนของผ้าทอ นอกจากนี้ Muhammad [12] และคณะ ได้สร้างชุดทดลองตามมาตรฐาน BS 4745 และนำวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์มาพยากรณ์หาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอ โดยได้ข้อสรุปว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอขึ้นกับอุณหภูมิและสัดส่วนปริมาตรของเส้นใยต่อปริมาตรผ้า Yu และคณะ [13] ได้พัฒนาวิธีการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อทำนายหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอโดยเปรียบเทียบรูปแบบเมทริกซ์กับรูปแบบสองส่วนประกอบซึ่งให้ผลการศึกษาคคล้องกัน Mitra และคณะ [14] ได้นำวิธีการเครือข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้หาความต้านความร้อนของผ้าทอแบบ cotton ผลการทำนายให้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองและการทำนายแตกต่างกัน 5 เปอร์เซ็นต์

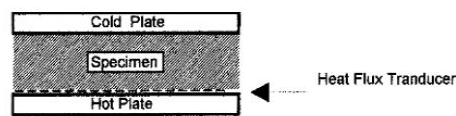
สำหรับผ้าทอทางสถาปัตยกรรมซึ่งเป็นผ้าทอจากเส้นใยพอลิเมอร์และเคลือบด้วยพอลิเมอร์ชนิดอื่นอีกหลายชั้นทำให้ผ้าทอชนิดนี้มีลักษณะเป็นวัสดุประกอบและมีความต่างจากผ้าทอที่ใช้สวมใส่ซึ่งมีความพรุนและมีความอ่อนตัว ซึ่งจากการตรวจเอกสารและวรรณกรรมผู้วิจัยพบว่ายังไม่มีงานวิจัยใดได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอจากเส้นใย polyester เคลือบ Polyvinylchloride (PVC) และ Acrylic จำพวก Polyvinylidene Fluoride (PVDF) เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่แม่นยำ ผู้วิจัยจึงได้สร้างชุดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอทางสถาปัตยกรรม โดยใช้อุปกรณ์ที่สามารถหาซื้อได้ง่ายและต้นทุนในการสร้างชุดทดลองต่ำ เมื่อต้องการใช้งานสามารถประกอบได้ง่าย โดยผลการศึกษาที่ได้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ออกแบบ สถาปนิก และวิศวกร ได้ใช้เป็นแนวทางในการคำนวณภาระทางความร้อนของอาคารและนำผลที่ได้ไปออกแบบรูปทรงหลังคาของอาคารให้สามารถระบายและถ่ายเทความร้อนได้ดีอันเป็นการลดการใช้พลังงานและเพิ่มความสบายให้กับผู้อยู่อาศัยในอาคาร รวมถึงเป็นประโยชน์แก่วิศวกรผู้ออกแบบทอผ้าทอทางสถาปัตยกรรมออกแบบให้ระบบท่อสูญเสียความร้อนลดลง ดังนั้นหากรู้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอทางสถาปัตยกรรมจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในงานระบบอาคารสมัยใหม่ได้

## 2. หลักการออกแบบและการทำงานของชุดทดลอง

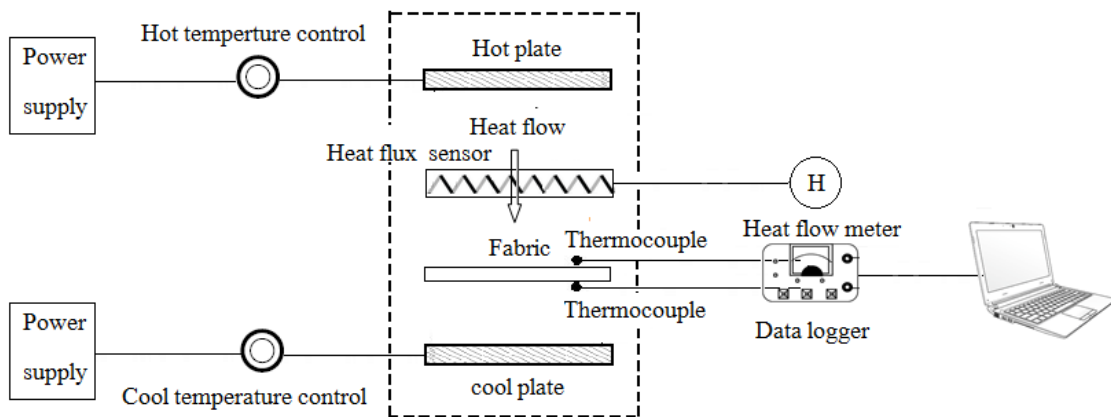
ชุดทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอทางสถาปัตยกรรมผู้วิจัยเลือกใช้วิธี steady-state ตามงานวิจัยของ Siddiqui [7] มาใช้เป็นแหล่งให้พลังงานความร้อนแก่ผ้าทอทางสถาปัตยกรรมและใช้แนวทางการการวัดค่าฟลักซ์ความร้อนรูปแบบที่ 1 ตามมาตรฐาน ASTM C518 [15] ตามรูปที่ 1 มาใช้วัดค่าฟลักซ์ความร้อนที่เกิดจากแหล่งให้พลังงานความร้อน โดยออกแบบให้ชุดทดลองประกอบด้วยแผ่นความร้อน (Hot plate) แผ่นความเย็น (Cool plate) ชุดควบคุมอุณหภูมิแผ่นร้อน (Hot

temperature control) ชุดควบคุมอุณหภูมิแผ่นเย็น (Cool temperature control) ตัวรับรู้ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux sensor) เครื่องอ่านค่าฟลักซ์ความร้อน (Heat flow meter) ตัวรับรู้อุณหภูมิ (Thermocouple) ชุดจ่ายและแปลงกระแสไฟฟ้า (Power supply) ผ้าทอทางสถาปัตยกรรม และชุดบันทึกข้อมูล ตามรูปที่ 2 การออกแบบกำหนดให้อุณหภูมิของแผ่นทำความร้อนคงที่เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของแผ่นทำความเย็นคงที่เท่ากับ 10 องศาเซลเซียส

การทำงานชุดทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอทางสถาปัตยกรรม อาศัยหลักการส่งผ่านความร้อนแบบ steady-state จากแผ่นความร้อน (อุณหภูมิสูงคงที่) ส่งไปยังผิวด้านบนของผ้าทอทางสถาปัตยกรรมซึ่งด้านล่างของผ้าทอผ้าทอทางสถาปัตยกรรมมีแผ่นความเย็น (อุณหภูมิต่ำคงที่) ทำให้ฟลักซ์ความร้อนที่ส่งผ่านผ้าทอมีค่าคงที่ โดยค่าฟลักซ์ความร้อนสามารถอ่านค่าได้โดยตรงจากเครื่องอ่านค่าฟลักซ์ความร้อน



รูปที่ 1 ตำแหน่งติดตั้งตัวรับรู้ฟลักซ์ความร้อน



รูปที่ 2 การออกแบบอุปกรณ์สำหรับชุดทดลอง

### 3. การหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เป็นสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุที่บอกถึงอัตราเร็วการส่งผ่านพลังงานความร้อนโดยการนำความร้อน (conduction) ซึ่งเป็นการส่งผ่านความร้อนภายในโมเลกุลของสารจากโมเลกุลที่มีระดับพลังงานสูงไปยังระดับที่ต่ำ ผู้วิจัยหลักการส่งผ่านความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C518 มาใช้เป็นแนวทางการออกแบบการให้ความร้อนแก่วัสดุที่ใช้ทดสอบแบบ steady-state โดยสมการ (1) แสดงตัวแปรที่ใช้สำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

$$K = HF (L/\Delta T) \quad (1)$$

โดยที่

K คือค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m·K)

HF คือ ฟลักซ์ความร้อน (W/m<sup>2</sup>)

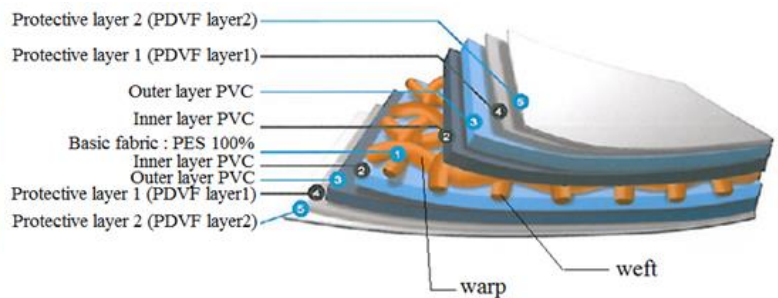
L คือ ความหนาผ้าทอ (m)

$\Delta T$  คือผลต่างอุณหภูมิพื้นผิวผ้าทอทางสถาปัตยกรรมด้านอุณหภูมิสูงกับด้านอุณหภูมิต่ำ (K)

#### 4. วัสดุและการเลือกใช้อุปกรณ์

##### 4.1 วัสดุและการเตรียม

วัสดุที่ใช้สำหรับการทดลองคือผ้าทอทางสถาปัตยกรรมซึ่งทอจากเส้นใย Polyester (PES) ในแนว warp และ weft ชั้นถัดมาเคลือบด้วย Polyvinylchloride (PVC) ทำให้กันน้ำ ผิวชั้นนอกสุดเคลือบ Acrylic จำพวก ด้วย Polyvinylidene Fluoride (PVDF) ตามรูปที่ 3 เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา ความชื้น และป้องกันรังสี UV จากแสงแดด โดยมีอัตราการส่องผ่านของแสง 5 – 10 % วัสดุที่ใช้เป็นส่วนประกอบของผ้าทอทั้งหมดเป็น โพลีเมอร์ทำให้ผ้าทอชนิดนี้มีสมบัติเป็นฉนวน [2] โดยข้อมูลคุณสมบัติทางกลของผ้าทอจากบริษัทผู้ผลิต [16] แสดงตามตารางที่ 1 โดยผ้าทอทางสถาปัตยกรรมที่นำไปทดลองจะถูกตัดให้มีขนาด 30 x 32 มิลลิเมตร เนื่องจากความชื้นและอุณหภูมิของชิ้นงานทดสอบมีผลต่อค่าการนำความร้อน [12] ดังนั้นผ้าทอทดสอบทุกชิ้นจึงถูกอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 65 % เป็นเวลาก่อนทดสอบ 24 ชั่วโมงเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้น



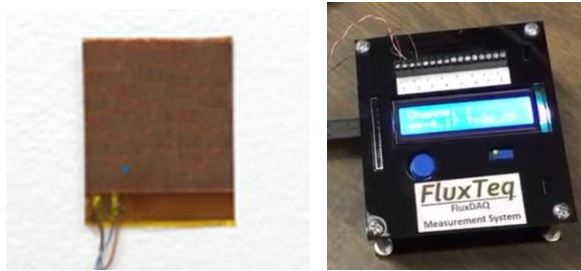
รูปที่ 3 ตัวอย่างผ้าทอทางสถาปัตยกรรมที่ใช้ทดลอง [17]

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของผ้าทอทางสถาปัตยกรรม

| แบบ | ความหนา (mm) | น้ำหนัก (gram/m <sup>2</sup> ) | Tear strength (N) |       | Breaking strength (N/5cm) |      | ชนิดสารเคลือบผิว |
|-----|--------------|--------------------------------|-------------------|-------|---------------------------|------|------------------|
|     |              |                                | warp              | weft  | warp                      | weft |                  |
| A   | 0.08         | 650                            | 2900              | 2700  | 300                       | 300  | PVC/ PVDF        |
| B   | 0.10         | 725                            | 3000              | 3000  | 300                       | 300  | PVC/ PVDF        |
| C   | 0.12         | 900                            | 4300              | 4200  | 600                       | 500  | PVC/ PVDF        |
| D   | 0.14         | 1150                           | 6000              | 5500  | 900                       | 800  | PVC/ PVDF        |
| E   | 0.16         | 1350                           | 8000              | 7000  | 1200                      | 1200 | PVC/ PVDF        |
| F   | 0.18         | 1600                           | 10000             | 90000 | 2000                      | 2000 | PVC/ PVDF        |

#### 4.2 การเลือกใช้อุปกรณ์

เนื่องจากชิ้นงานที่ใช้ทดสอบเป็นผ้าทอทางสถาปัตยกรรมซึ่งเป็นแผ่นบางผู้วิจัยจึงออกแบบชุดทดลองรูปที่ 1 และอ้างอิงการคำนวณการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามสมการ (1) ด้านอุณหภูมิสูงของชุดทดลองใช้แหล่งกำเนิดความร้อนจากแผ่นความร้อน แรงดันไฟ 12V กระแสไฟฟ้า 5A ช่วงอุณหภูมิทำงาน -5 ถึง +70 °C เพื่อสร้างอุณหภูมิเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผ่านความร้อนไปยังผ้าทอ โดยมีตัวรับรู้ฟลักซ์ความร้อนยี่ห้อ fluxTeq ช่วงอุณหภูมิทำงาน -50 ถึง +120 °C เวลาการตอบสนอง 0.9 วินาที Nominal Sensitivity เท่ากับ  $5.7 \mu V/(W/cm^2)$  ตามรูปที่ 4 (ก) โดยมีเครื่องอ่านค่าฟลักซ์ความร้อนยี่ห้อ fluxTeq 8 ช่องสัญญาณ ADC 24 bit รับสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่ออ่านค่าฟลักซ์ความร้อน ตามรูปที่ 4 (ข) สำหรับอุณหภูมิผิวผ้าทอ ด้านอุณหภูมิสูงและต่ำ ใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด T ช่วงในการวัดที่อยู่ที่ -200 ถึง 300 °C Nominal Sensitivity เท่ากับ  $43 \mu V/^\circ C$  อ่านค่าอุณหภูมิ ส่วนแผ่นความเย็นใช้แรงดันไฟ 12V กระแสไฟฟ้า 5A ช่วงอุณหภูมิทำงาน -5 ถึง +70 °C ทำหน้าที่สร้างอุณหภูมิต่ำเท่ากับ 10 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4 (ก) ตัวรับรู้ฟลักซ์ความร้อนยี่ห้อ fluxTeq (ข) เครื่องอ่านค่าฟลักซ์ความร้อนยี่ห้อ fluxTeq

### 5. ผลการทดลอง

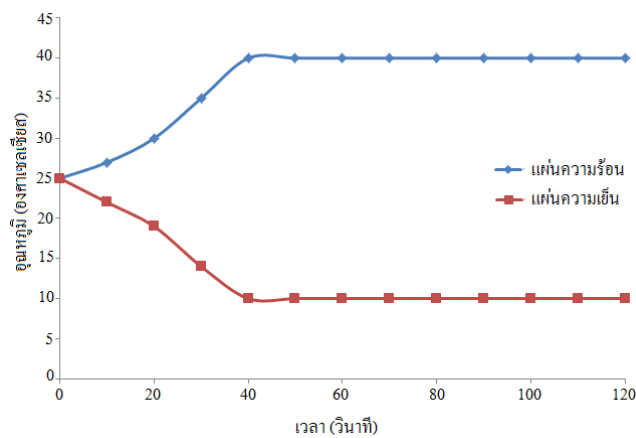
#### 5.1 การสอบเทียบชุดทดลอง

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของอุปกรณ์สำคัญในชุดทดลองประกอบด้วย ตัวรับรู้ฟลักซ์ความร้อน ตัวรับรู้อุณหภูมิ แผ่นความร้อนและแผ่นความเย็น การวิเคราะห์ใช้วิธีมาตรฐาน Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) [18] มาวิเคราะห์หาค่า combine standard Uncertainty แสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Combine standard Uncertainty ของอุปกรณ์ภายในชุดทดลอง

| อุปกรณ์                 | combine standard uncertainty |
|-------------------------|------------------------------|
| ตัวรับรู้ฟลักซ์ความร้อน | $11 \mu V/(W/cm^2)$          |
| ตัวรับรู้อุณหภูมิ       | $14 \mu V/^\circ C$          |
| แผ่นความร้อน            | $0.14 ^\circ C$              |
| แผ่นความเย็น            | $0.12 ^\circ C$              |

เนื่องจากชุดทดลองมีส่วนประกอบของแผ่นทำความร้อนและแผ่นทำความเย็น การออกแบบกำหนดอุณหภูมิของแผ่นทำความร้อนคงที่เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของแผ่นทำความเย็นคงที่เท่ากับ 10 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงต้องหาเวลาที่ทำให้แผ่นทำความร้อนและแผ่นทำความเย็นมีอุณหภูมิตามที่ออกแบบไว้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเวลาที่แผ่นทำความร้อนให้อุณหภูมิเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส และเวลาที่แผ่นทำความเย็นให้อุณหภูมิเท่ากับ 10 องศาเซลเซียสใช้เวลานานเท่ากันคือ ตั้งแต่วินาทีที่ 40 ถึงวินาทีที่ 120 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการบันทึกผลการทดลองในช่วงเวลา 40 ถึงวินาที 120 ตามรูปที่ 5 แสดงอุณหภูมิของแผ่นทำความร้อนและแผ่นทำความเย็นที่เวลาต่างๆ โดยทุกการทดลองผู้วิจัยควบคุมที่อุณหภูมิห้องทดลองที่อุณหภูมิห้อง

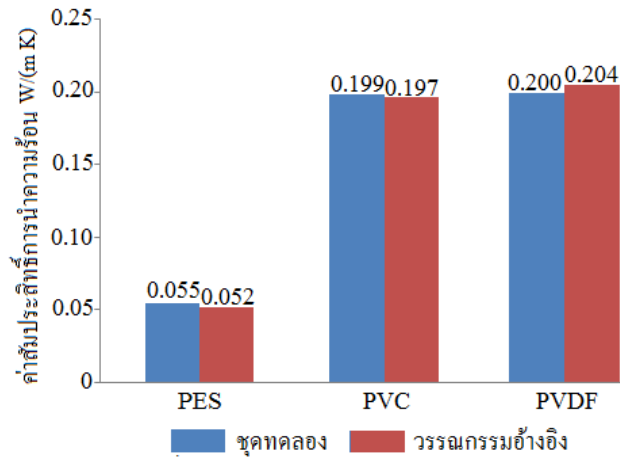


รูปที่ 5 เวลาในการปรับอุณหภูมิของแผ่นทำความร้อนและแผ่นทำความเย็น

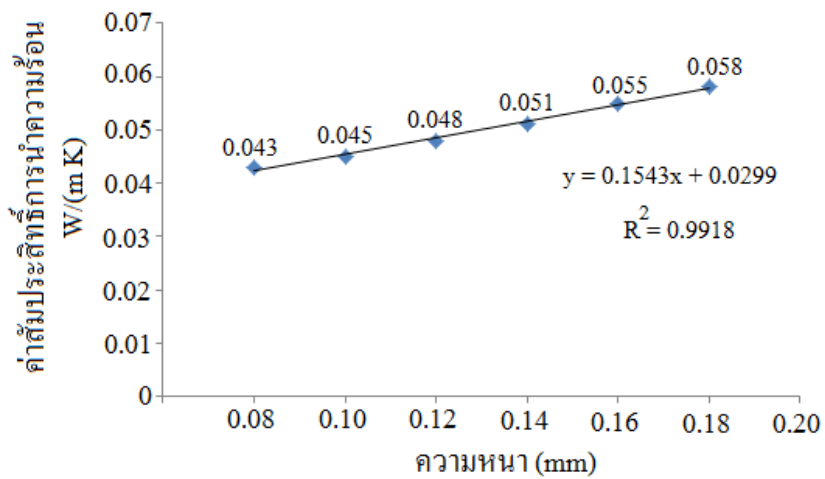
สำหรับการสอบเทียบความเที่ยงตรงของชุดทดลองที่สร้างขึ้น ผู้วิจัยใช้การนำวัสดุที่เป็นส่วนประกอบหลักของผ้าทอทางสถาปัตยกรรม 3 ชนิด คือ Polyester (PES) Polyvinylchloride (PVC) และ Polyvinylidene Fluoride (PVDF) ซึ่งรู้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากวรรณกรรมอ้างอิง [8] มาเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจากการทดลองโดยใช้สมการ (1) ได้ผลการทดลองและการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนดังรูปที่ 6 โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.60 เปอร์เซ็นต์

## 5.2 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอทางสถาปัตยกรรม

ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอทางสถาปัตยกรรม อยู่ในช่วง 0.043 ถึง 0.058 W/m K ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ polyester ซึ่งเป็นวัสดุหลักที่ใช้ทำเส้นใยของผ้าทอทางสถาปัตยกรรม โดยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอทางสถาปัตยกรรมมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความหนาตามสมการ (2) โดยสมการนี้ใช้ได้ในช่วงความหนาของผ้าทอทางสถาปัตยกรรมตั้งแต่ 0.08 ถึง 0.18 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 99.18 เปอร์เซ็นต์ ตามรูปที่ 7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อความหนาผ้าทอเพิ่มขึ้นค่าสภาพการนำความร้อนก็จะเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cubric [11] เพราะผ้าที่มีความหนามากนอกจากขนาดของเส้นใย polyester ที่ใหญ่แล้วสารเคลือบผิวผ้าทอก็มีปริมาณสาร Polyvinylchloride (PVC) และ Polyvinylidene Fluoride (PVDF) หนาขึ้นด้วย โดยสารเคลือบทั้งสองชนิดมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงกว่าเส้นใย polyester



รูปที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ Polyester (PES), Polyvinylchloride (PVC) และ Polyvinylidene Fluoride (PVDF)



รูปที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอ polyester เคลือบ PVC และ PVDF

$$y = 0.1543 (x) + 0.0299 \quad (2)$$

เมื่อ

y คือค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอทางสถาปัตยกรรม (W/m K)

x คือความหนาของผ้าทอทางสถาปัตยกรรม (mm)



## 6. สรุป

การทราบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุที่บางและเป็นวัสดุประกอบอย่างผ้าทอทางสถาปัตยกรรมมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการออกแบบรูปทรงหลังคาของอาคารสมัยใหม่และการออกแบบท่อลมผ้าทอทางสถาปัตยกรรม งานวิจัยนี้ผู้วิจัยสามารถสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอทางสถาปัตยกรรมโดยใช้มาตรฐาน ASTM C518 มาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบชุดให้พลังงานความร้อน อุปกรณ์ทั้งหมดของชุดทดลองออกแบบมาให้สามารถประกอบได้ง่าย มีขนาดเล็ก ผลการสอบเทียบชุดทดลองที่สร้างขึ้นด้วยชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นส่วนประกอบของผ้าทอทางสถาปัตยกรรมคือ Polyester Polyvinylchloride (PVC) Polyester และ Polyvinylidene Fluoride (PVDF) พบว่าชุดทดลองมีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำโดยเกณฑ์ความเชื่อมั่นของชุดทดลองให้ค่าความคลาดเคลื่อน 1.60% ดังนั้นผู้ออกแบบ สถาปนิก และวิศวกร สามารถนำค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าทอทางสถาปัตยกรรมที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปใช้ในการออกแบบรูปทรงของหลังคาอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานและช่วยให้วิศวกรผู้ออกแบบท่อลมผ้าทอทางสถาปัตยกรรมออกแบบระบบท่อลมให้มีการสูญเสียความร้อนลดลงได้

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Andrzej Ambroziak and Pawel Klosowski. Mechanical properties for preliminary design of structures made from PVC coated fabric. *Construction and Building Materials*, 2014, 50, pp. 74-81. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.08.060.
- [2] Kunthakorn Khaothong. *Design and development of canvas duct for air conditioning system*. Bangkok: Research and Development Institute Kasetsart University, 2014 (in Thai).
- [3] Vitsakorn Nabhirong. EFFECT OF ROOF ANGLE ON HEAT TRANSFER THROUGH A BUILDING ROOF SYSTEM. Master Thesis. Mechanical Engineering, Chalalongkorn University. Bangkok Thailand, 2006.
- [4] Kunthakorn Khaothong and Weerachai Chaiworapuek. "Study of Air Flow in PVC Canvas Duct". *Proceedings of the 1<sup>st</sup> Building Innovation*, Nakhon pathom, Thailand, 10-11 August 2016, pp. 278-286.
- [5] K.Khaothong, W. Chaiworapuek and J. Pariyadumkol, Pressure loss diagram of air flow in polyester fabric duct acrylic PVC coated. *The Journal of KNITNB*, 2019 (in Thai). DOI: 10.14416/j.kmutnb.2019.04.002.
- [6] Tulyawat Sangvixienkit and Chirdpun Vitooraporn. "Study of Air Duct Simulation with Air Leakage and Heat Loss". *The 27<sup>th</sup> conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, Chonburi, Thailand, 10-18 October 2013.
- [7] Siddiqui, M. O. R. and Sun, D. Development of Experimental Setup for Measuring the Thermal Conductivity of Textiles. *Clothing and Textiles Research Journal*, 2018, 36(3), pp. 215-230. DOI: 10.1177/0887302X18768041.
- [8] British Standards Institution. BS 4745: 2005. *Method for determination of thermal resistance of textiles*. London: BSI, 2005.
- [9] ASTM International. ASTM D1518-85: 2003. *Standard Test Method for Thermal Transmittance of Textile Materials*. Pennsylvania, 2003.
- [10] D. Romeli, G. Barigozzi, S. Esposito, G. Rosace. and G. Salesi. High sensitivity measurements of thermal properties of textile. *Polymer Testing*, 2013, 32, pp. 1029 – 1036. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2013.05.011.
- [11] I. Salopek Cubric, Z. Skenderi, A. Mihelić-Bogdanić and M. Andrassy. Experimental study of thermal resistance of knitted fabrics. *Polymer Testing*, 2012, 38, pp. 223 – 228. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2011.12.010.

- [12] Muhammad Owais, Raza Siddiquiab and Danmei Sun. Finite element analysis of thermal conductivity and thermal resistance behavior of woven. *Computational Materials Science*, 2013, 75, pp. 45-51. DOI: 10.1016/j.commsci.2013.04.003.
- [13] Hang Yu, Dirk Heider, and Suresh Advani. Prediction of effective through-thickness thermal conductivity of woven fabric reinforced composites with embedded particles. *Composite Structures*, 2015, 127, pp. 132 – 140. DOI: 10.1016/j.compstruct.2015.03.015.
- [14] Ashis Mitra, Abhijit Majumdar, Prabal Kumar Majumdar and Debamalya BannerjeeHang. Predicting thermal resistance of cotton fabrics by artificial neural network model. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2013, 50, pp. 172 – 177. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2013.06.006.
- [15] ASTM International. ASTM C158: 2010. *Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus*. Pennsylvania, 2010.
- [16] Sioen Industrie, 2019. Available from: <http://www.sioentechnicaltextiles.com/en/applications/tensile-architecture> [Accessed 1 March 2019].
- [17] sang-thong, 2019. Available from: <http://www.sang-thong.com/products> [Accessed 1 March 2019].
- [18] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. GUM: 1995. *Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement*. JCGM 100, 2008.