

การศึกษาผลกระทบของกาว 5 ชนิดต่อการดูดซับ อัตราการแพร่ และการระเหยในผ้าที่ติดบนแผ่นอะลูมิเนียม

Investigation of the impact of five adhesives on the absorption, diffusion rate, and evaporation in fabric attached to aluminum plate

ก้องนที วัฒนานุสิทธิ์¹, จุฬาลักษณ์ อินชนะ¹ และ อาทิตย์ คุณศรีสุข²

Kongnatee Wattananusit¹, Chulaluk Inchana¹ and Atit Koonsrisuk²

Received: 13 June 2023; Revised: 7 August 2023; Accepted: 28 August 2023

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาชนิดของกาวที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงการดูดซับอัตราการแพร่และความสามารถในการระเหยน้ำของผ้าซึ่งช่วยยกระดับความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย วิธีการศึกษาจะเปรียบเทียบกาว 5 ชนิด ที่ใช้ติดผ้าเข้ากับแผ่นอะลูมิเนียม ประเมินการดูดซับและอัตราการแพร่ของน้ำในผ้าโดยการสังเกตพฤติกรรมของน้ำที่หยดลงบนผ้า ขณะที่ความสามารถในการระเหยประเมินจากความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศที่ไหลผ่านผ้าเปียกที่ติดตั้งในชุดทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบอัตราการแพร่ของน้ำ, การระเหยของน้ำ และราคาต่อหน่วยมวลของกาว พบว่า กาว Draga เหมาะที่สุดที่จะใช้ติดผ้าเข้ากับอะลูมิเนียม โดยชิ้นงานที่ใช้กาว Draga มีอัตราการแพร่ของน้ำมากกว่า กาว SikaFlex 740, Hot glue, และ SA เท่ากับ 5.64 เท่า, 7.36 เท่า, และ 11.52 เท่า ตามลำดับ ขณะที่ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศที่ทางออกของชุดทดสอบเมื่อใช้กาว Draga เท่ากับ 16.91 g/kg ซึ่งมากกว่ากาว SikaFlex 740, Hot glue, และ SA เท่ากับ 22.17%, 22.46%, และ 26.70% ตามลำดับ นอกจากนี้ กาว Draga มีราคาถูกกว่ากาวชนิดอื่นประมาณ 2 เท่า ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การใช้กาว Draga สามารถเพิ่มอัตราการแพร่ของน้ำ การระเหยน้ำ และความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: การทำความเย็นแบบน้ำระเหย, กาว, การดูดซับ, อัตราการแพร่ของน้ำ, การระเหย

Abstract

The objective of this experimental study was to identify a suitable type of adhesive that can effectively enhance the absorbency rate and water evaporation capacity of fabrics, consequently improving the cooling capacity of evaporative coolers. Five distinct adhesives, utilized as binders between fabric and aluminum, were compared. The water absorption and diffusion rate through the adhered fabric onto the aluminum workpiece was evaluated by observing the behavior of water droplets. The evaporation capacity was measured in a test rig by assessing the outlet humidity ratio of air after flowing over the wetted sample. Among the tested adhesives, Draga glue demonstrated superior performance in terms of water diffusion rate, evaporation, and cost per unit mass. With Draga glue, water diffusion rates were 5.64, 7.36, and 11.52 times higher than those of SikaFlex 740, hot glue, and SA, respectively. The outlet humidity ratio from the Draga glue sample reached 16.91 g/kg, exceeding the rates of

¹ นักศึกษาปริญญาโท, ² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

¹ Master student, ² Assistant professor, School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Mueang District, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

* Corresponding author: atit@sut.ac.th

SikaFlex 740, hot glue, and SA by 22.17%, 22.46%, and 26.70%, respectively. Economically, Draga glue was found to be twice as cost-effective per unit mass as the other adhesives studied. These findings indicate that the use of Draga glue can significantly enhance the diffusion rate, evaporation, and cooling capacities of evaporative coolers.

Keywords: Evaporative cooling, adhesive, absorption, diffusion rate, evaporation

บทนำ

เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อม (indirect evaporative cooling, IEC) เป็นเครื่องสำหรับใช้ลดอุณหภูมิอากาศด้วยการใช้น้ำเป็นตัวดึงความร้อน ซึ่งน้ำกับอากาศจะแลกเปลี่ยนความร้อนกันโดยที่ไม่สัมผัสกันโดยตรง และใช้การแลกเปลี่ยนความร้อนผ่านผนังกัน (wall) ระหว่างช่องที่มีอากาศไหลผ่าน (ช่องแห้ง) กับช่องที่มีน้ำและอากาศไหลผ่าน (ช่องเปียก) ดังแสดงใน Figure 1 วิธีการนี้ทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลงโดยมีความชื้นอากาศคงที่ ดังนั้น ระบบดังกล่าวจึงเป็นระบบที่เหมาะสมกับภูมิอากาศประเทศไทยที่เป็นอากาศร้อนและชื้น (ก้องนที วัฒนานุกสิทธ์ และ อาทิตย์ คุณศรีสุข, 2566)

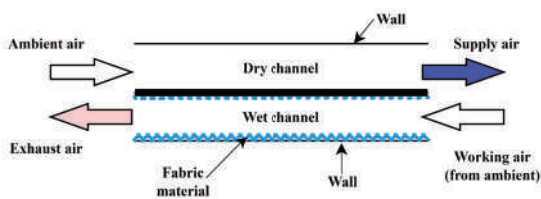


Figure 1 Indirect evaporative cooling (IEC).

เพื่อยืนยันความเป็นไปได้ในการใช้งานระบบดังกล่าว Delfani *et al.* (2010) ได้นำเครื่อง IEC มาใช้ร่วมกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอ ซึ่งเรียกรวมว่าระบบปรับอากาศแบบไฮบริด ผลการวิจัยพบว่าระบบสามารถลด cooling load ลงได้ 75% และลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศได้ 50% ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ผ่านมาของทีมนักวิจัยที่มีการนำ IEC มาใช้ร่วมกับร้านสะดวกซื้อ โดยพบว่าสามารถลดการใช้พลังงานได้สูงสุด 36%

นอกจากนี้วิธีการเพิ่มความสามารถของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยทำได้โดยการนำผ้า (fabric material) มาติดที่ผนังภายในช่องที่มีน้ำไหลผ่าน (ช่องเปียก) เพื่อช่วยกระจายน้ำบนผนังกันระหว่างช่อง ทำให้มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนและการระเหยของน้ำเพิ่มขึ้น (Lertsatitthanakorn *et al.*, 2006) โดยจากงานวิจัยของ Xu *et al.* (2016) ได้ทดลองผ้า 7 ชนิดสำหรับนำมาติดในช่องเปียก พบว่า ผ้า Coolpass และ Coolmax มีความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการแพร่ และความสามารถในการระเหยสูงกว่าวัสดุอ้างอิง

เท่ากับ 182%, 396% และ 93% ตามลำดับ ซึ่งค่าของตัวแปรทั้ง 3 ที่สูงจะส่งผลให้ความสามารถในการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำเพิ่มมากขึ้น

อีกทั้งจากผลการศึกษาของ Sengupta *et al.* (2020) รายงานว่ากาวที่ใช้สำหรับติดผ้ากับผนังของช่องเปียกทำให้ความเป็นรูพรุน (porosity) ของผ้าลดลง ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการแพร่ของน้ำและกาวยังมีคุณสมบัติเป็น thermal resistance อาจทำให้ความร้อนจากช่องแห้งถ่ายเทมาช่องเปียกได้ยาก จึงส่งผลโดยตรงต่อการระเหยของน้ำในช่องเปียก ดังนั้น หากเลือกกาวที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ความสามารถในการระเหยของน้ำลดลงและส่งผลให้ความสามารถในการทำความเย็นลดลง

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นพบว่ามีนักวิจัยที่ให้ความสำคัญต่อการเลือกชนิดของผ้า แต่ยังไม่พบข้อมูลที่ชัดเจนเกี่ยวกับการเลือกใช้กาวที่ใช้เป็นตัวประสานระหว่างผ้าในช่องเปียกและแผ่นอลูมิเนียมที่ใช้ทำช่องแห้งและช่องเปียกของเครื่องทำความเย็น

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเสนอการศึกษาเชิงทดลองเพื่อเปรียบเทียบกาว 5 ชนิด โดยศึกษาอัตราการแพร่ของน้ำและการระเหยของน้ำ เพื่อระบุชนิดของกาวที่เหมาะสมสำหรับระบบทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อม

วิธีการทดลองและสมการประเมินสมรรถนะ

ในหัวข้อนี้จะแสดงวิธีการทดลองเพื่อเปรียบเทียบอัตราการแพร่ของน้ำและการระเหยของน้ำในผ้า ที่ถูกติดด้วยกาว 5 ชนิดที่แตกต่างกัน โดยจะนำเสนอวิธีการทดลองและสมการประเมินสมรรถนะของระบบ โดยแบ่งเป็น 2 หัวข้อต่อไปนี้

1. วิธีการทดลองและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง สำหรับวิธีการดำเนินการเปรียบเทียบกาวที่ใช้

ติดผ้าไว้กับแผ่นอลูมิเนียม กาวที่นำมาทดสอบเลือกจากกาวที่พบว่าถูกใช้จริงในการศึกษาที่เกี่ยวกับเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยและผู้ผลิตแนะนำว่าสามารถใช้ในการติดผ้าได้ นอกจากนี้ กาวดังกล่าวสามารถหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด ข้อมูลของกาวที่เลือกใช้ทดสอบ 5 ชนิด แสดงดัง Table 1 ซึ่งประกอบไปด้วย ชื่อทั่วไปหรือชื่อวิทยาศาสตร์ ส่วนผสมทาง

เคมี ลักษณะของการใช้งาน และราคาต่อหน้าหนักของกาว โดยผ้าที่จะนำมาใช้ทดสอบมาจากงานวิจัยของ Xu et al. (2016) ที่แนะนำผ้า Coolmax ซึ่งผ้าดังกล่าวมีความสามารถในการดูดซับและการระเหยสูง จากนั้นจะติดผ้า Cool-

max ลงบนแผ่นอลูมิเนียมซึ่งเป็นตัวแทนของผนัง (wall) ในช่องเป็ยก โดยใช้กาวทั้ง 5 ชนิดที่กล่าวไปในตารางก่อนหน้านี้ และแบ่งการอธิบายเป็น 2 หัวข้อย่อย คือ การทดลองเพื่อหาอัตราการแพร่ของน้ำและการทดลองเพื่อหาการระเหยของน้ำ

Table 1 Adhesive material (glue) specifications.

Common/Scientific name	Chemical ingredient	Applications	Price per Kilogram	Reference
1. Draga/Rubber Adhesive	Polyurethane resin, Toluene, Methyl Ethyl Ketone	Used for sticking wood, leather, artificial leather, PVC, fabric, rubber, and steel.	250	-
2. SikaFlex 740/ Polyurethane Sealant	Polyurethane, Isocyanates	Used for attaching steel plates and providing a general structural sealant with high flexibility.	500	Xu et al. (2017)
3. Hot glue/Cyanoacrylate Adhesive	Cyanoacrylic acid, Methoxyethyl, Cyanoacrylate	Used for fixing and adhering to the surface of materials, rubber, steel, plastic, glass, and ceramics.	1000	Aumpai & Koonsrisuk (2020)
4. Hydroxyethyl Cellulose (HEC)	Hydroxyethyl Cellulose (HEC)	Used as a binder without decreasing the porosity of the material. (3.3% concentration)	650	Li et al. (2016)
5. Spray Adhesive (SA)/ Aerosol Adhesive	Methyl pentane, Liquefied Petroleum gas, Cyclohexane, Toluene	Used for sticking paper, corrugated paper, fabric, foam, and wood.	825	-

1.1 การทดลองเพื่อหาอัตราการแพร่ของน้ำ

ในการทดลองได้เตรียมแผ่นอะลูมิเนียมขนาด 15 cm x 15 cm ซึ่งเป็นตัวแทนของผนังช่องเป็ยก และนำผ้าที่มีขนาด 15 cm x 15 cm ติดลงบนแผ่นอลูมิเนียมจำนวน 5 แผ่น ตามชนิดของกาว ทั้งนี้การควบคุมปริมาณของกาวที่ใช้ในการศึกษาเป็นสิ่งที่ยาก เนื่องจาก กาวแต่ละชนิดมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน (สเปรย์ - น้ำ) ดังนั้น การศึกษานี้จึงควบคุมโดยการทา กาวให้สม่ำเสมอและบางที่สุดสำหรับกาวที่มีลักษณะเป็นของเหลว (ใช้เหล็กกรีดกาวให้บาง ติดแผ่นอลูมิเนียม) ในขณะที่ กาวสเปรย์จะฉีดพ่นให้ทั่วชิ้นงาน และให้ความหนาสม่ำเสมอ

จากนั้น เขียนกรอบขนาด 5 cm x 5 cm ไว้กลางแผ่นผ้าดัง Figure 2 (a) จากนั้นนำแผ่นอลูมิเนียมมาวางไว้ใต้บิวเรต (burette) โดยการทดสอบดำเนินการตามวิธี AATCC 79 (2014) ที่แนะนำให้ปากของบิวเรตอยู่เหนือชิ้นงาน (ผ้า) เป็นระยะ 10 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันไม่ให้หยดน้ำไม่กระเซ็นหรือกระจายบนผ้า แสดงดัง Figure 2 (b)

ขั้นตอนการทดสอบ

- หยดน้ำปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงบนชิ้นงานโดยใช้บิวเรตควบคุมอัตราการหยด
- ใช้กล้องบันทึกวิดีโอระหว่างการหยดน้ำ เพื่อสังเกตพฤติกรรมการแพร่ของน้ำบนผ้า ณ เวลาต่าง ๆ ตามเงื่อนไขการทดลอง Table 2
- เมื่อสิ้นสุดการทดสอบจะนำผลการทดลอง ณ เวลา 120 วินาที หลังการหยดน้ำ ไปคำนวณหาอัตราการแพร่ของน้ำบนผ้าตามสมการที่ 1 และสังเกตพฤติกรรมที่หยดน้ำถูกดูดซับลงในผ้า

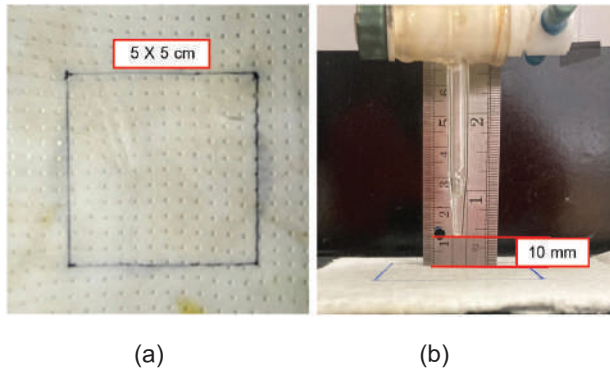


Figure 2 Experiment of diffusion rate: (a) Sample attaching fabric to an aluminum sheet, (b) Installation of a test rig.

1.2 การทดลองเพื่อหาการระเหยของน้ำ

หลังจากศึกษาอัตราการแพร่ของน้ำ ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบการระเหยของน้ำ โดยใช้ชุดทดสอบที่มีลักษณะเป็นช่องให้อากาศไหลผ่านช่องอากาศที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาด 15 cm x 15 cm และสูง 55 cm ดังที่แสดงใน Figure 3 (a) ในช่องนั้นจะมีอะลูมิเนียม (เส้นที่บสีเขียว) ขนาด 40 cm x 15 cm ที่ติดผ้าขนาด 40 cm x 15 cm ไว้ทั้งสองด้านของแผ่น (เส้นประสีน้ำเงิน) แสดงการติดผ้าไว้กับอะลูมิเนียมตาม Figure 3 (b) เพื่อให้อากาศสัมผัสกับน้ำได้มากขึ้นผู้วิจัยจึงใช้อลูมิเนียมจำนวน 3 แผ่นต่อกาว 1 ชนิดเพื่อแบ่งช่องเป็ยกในชุดทดสอบเป็นหลายช่อง แสดงช่องอากาศที่ใช้ทดสอบจริงดัง Figure 3 (c) ภายในชุดทดสอบประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

- ช่องอากาศทางเข้าอยู่บริเวณด้านล่างของชุดทดสอบได้ตำแหน่ง B
- พัดลมติดตั้งด้านบนเพื่อดึงอากาศผ่านชุดทดสอบ
- หัวจ่ายน้ำ ติดตั้งที่ตำแหน่ง A (เส้นประ) ทำหน้าที่สเปรย์น้ำให้ชิ้นงานเปียกก่อนทำการทดลองเพื่อจำลองเป็นช่องเป็ยกของระบบ
- เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิชนิด DS18B20 ที่ผ่านการสอบเทียบและวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก ติดตั้งที่ตำแหน่ง A และ B ทำหน้าที่วัดค่าอุณหภูมิและนำไปคำนวณหาความชื้นสัมบูรณ์ตามสมการที่ 2

ขั้นตอนการทดสอบ

- เปิดน้ำเพื่อให้ชิ้นงานเปียกทั่วทั้งผิวเป็นเวลา 3 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิน้ำให้มีค่าคงที่
- เปิดพัดลมเพื่อให้อากาศไหลผ่านชุดทดสอบ โดยควบคุมให้ความเร็วลมคงที่เท่ากับ 0.5 m/s ตลอดการทดลอง
- บันทึกผลอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกของตำแหน่ง A และ B

ในการวิเคราะห์ผลการระเหยของน้ำจะวิเคราะห์ภายใต้ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศทางเข้าระบบมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น ถ้าความชื้นสัมบูรณ์ทางออกของชิ้นงานใด (กาวชนิดต่าง ๆ) มีค่ามากที่สุด หมายความว่าน้ำระเหยออกจากชิ้นงานนั้นได้มาก โดย Xu *et al.* (2016) ได้ระบุว่าการระเหยของน้ำที่มากมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการทำความเย็น

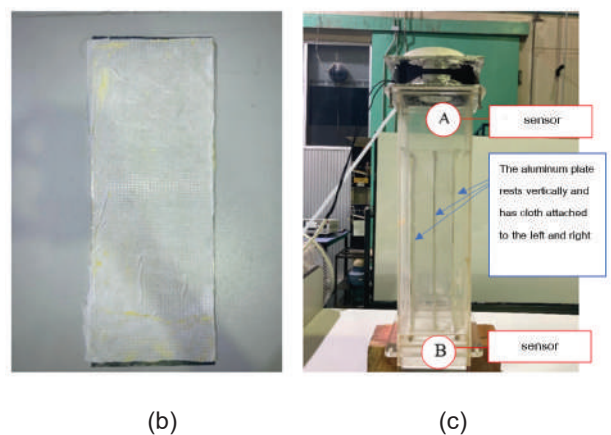
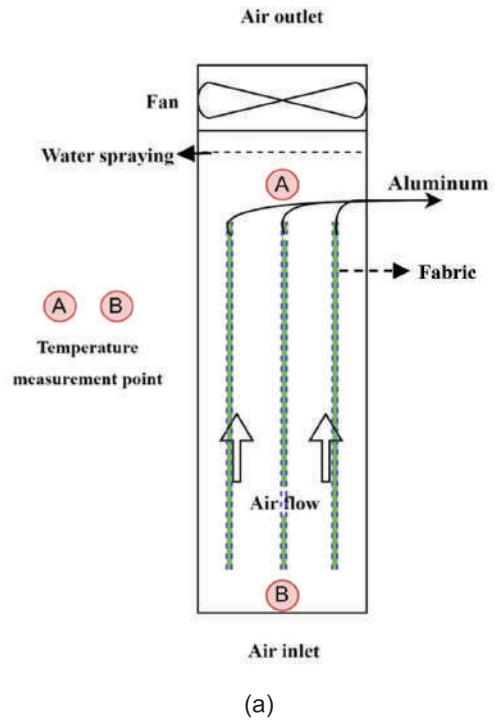


Figure 3 Experiment of evaporation: (a) Diagram of the test rig, (b) Sample attaching fabric to front aluminum sheet and (c) Installation of a test rig.

2. สมการประเมินสมรรถนะ

รายละเอียดของสมการที่ใช้ในการเปรียบเทียบในการศึกษานี้แสดงดังสมการที่ 1 – 4

อัตราการแพร่ของน้ำ (diffusion rate, D) คือ พื้นที่ที่น้ำแพร่บนผิวดต่อเวลา มีหน่วยคือ cm^2/s แสดงดังสมการที่ 1

$$D = \frac{\Delta A}{\Delta t} \quad (2)$$

สำหรับการประเมินการระเหยของน้ำ (evaporation) ในงานนี้จะใช้ความชื้นสัมบูรณ์ทางออกของชุดทดสอบ (outlet humidity ratio) เป็นตัวแปรตัดสิน เนื่องจากการทดลองนี้จะเปรียบเทียบภายใต้ ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศทางเข้าเท่ากัน

โดยความชื้นสัมบูรณ์อากาศ (absolute humidity, ω) เป็นอัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศกับมวลของอากาศแห้ง มีหน่วยคือ g/kg หาได้จากสมการความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก ASHRAE (2013) แสดงดังสมการที่ 2

$$\omega = \frac{[2501 - (2.326 \times T_{\text{wet}})] \times \omega_s - 1.006(T_{\text{dry}} - T_{\text{wet}})}{2501 + (1.86 \times T_{\text{dry}}) - (4.186 \times T_{\text{wet}})} \quad (2)$$

ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศชื้นอิ่มตัว (Absolute humidity of moist air, ω_s) มีหน่วยคือ g/kg แสดงดังสมการที่ 3

$$\omega_s = 0.621945 \frac{P_{\text{ws}}}{P - P_{\text{ws}}} \quad (3)$$

ค่าความดันอิ่มตัว (Saturation pressure, P_{ws}) หาได้ดังสมการที่ 4

$$\ln P_{\text{ws}} = \frac{C_8}{T_d} + C_9 + C_{10} T_d + C_{11} T_d^2 + C_{12} T_d^3 + C_{13} \ln T_d \quad (4)$$

เมื่อ \ln คือ natural logarithm และ

$$C_8 = -5.8002206 \text{ E}+03$$

$$C_9 = 1.3914993 \text{ E}+00$$

$$C_{10} = -4.8640239 \text{ E}-02$$

$$C_{11} = 4.1764768 \text{ E}-05$$

$$C_{12} = -1.4452093 \text{ E}-08$$

$$C_{13} = 6.5459673 \text{ E}+00$$

ผลการทดลองและอภิปรายผล

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองเพื่อเปรียบเทียบการทดลอง 5 ชนิด โดยเงื่อนไขการทดลองของการทดลองทั้งสองแสดงใน Table 2 และนำเสนอผลการทดสอบออกเป็น 2 หัวข้อ ดังต่อไปนี้

Table 2 Experimental conditions.

Diffusion rate		
Parameter	Value	Unit
Type of adhesive	5	kind
Time to observe behavior	1, 10, 30, 60, 120	sec
Volume of water	1	ml
Droplet rate	0.1	ml/s
Water evaporation		
Parameter	Value	Unit
Type of adhesive	5	kind
Water opening time	3	min
Air velocity	0.5	m/s
Dry bulb temperature of ambient air	25 ± 0.5	°C
Humidity ratio of ambient air	15.5 ± 0.25	g/kg

1. อัตราการแพร่ของน้ำ (diffusion rate)

ในหัวข้อนี้เป็นการรายงานผลการทดลองเพื่อหาอัตราการแพร่ของน้ำของกาวทั้ง 5 ชนิด โดยการใช้ปริมาตร 1 มิลลิลิตร หยดลงบนชิ้นงานที่ละ 1 หยด จากนั้นจะบันทึกภาพเมื่อหยดสุดท้ายหยดลงบนชิ้นงานในช่วงเวลา 1, 10, 30, 60 และ 120 วินาที แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมที่หยดน้ำถูกดูดซับดัง Figure 4 - 8 ตามลำดับ

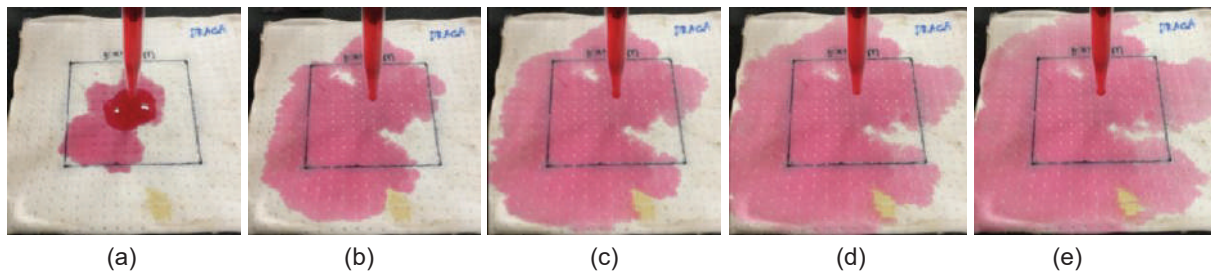


Figure 4 Diffusion of water in Draga (a) 1 sec, (b) 10 sec, (c) 30 sec, (d) 60 sec and (e) 120 sec.

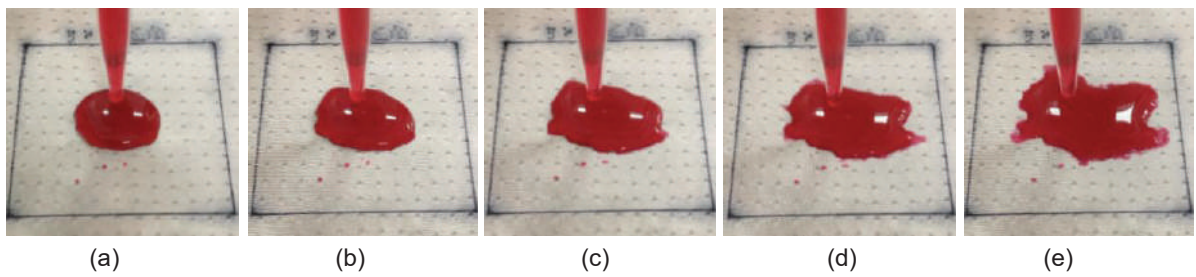


Figure 5 Diffusion of water in SikaFlex 740 (a) 1 sec, (b) 10 sec, (c) 30 sec, (d) 60 sec and (e) 120 sec.

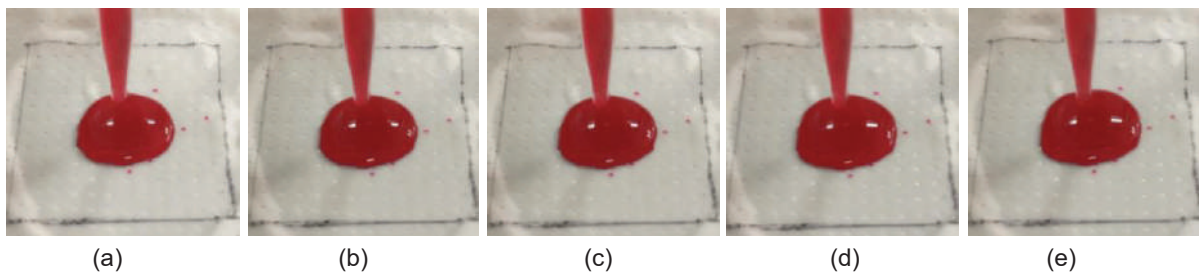


Figure 6 Diffusion of water in Hot glue (a) 1 sec, (b) 10 sec, (c) 30 sec, (d) 60 sec and (e) 120 sec.

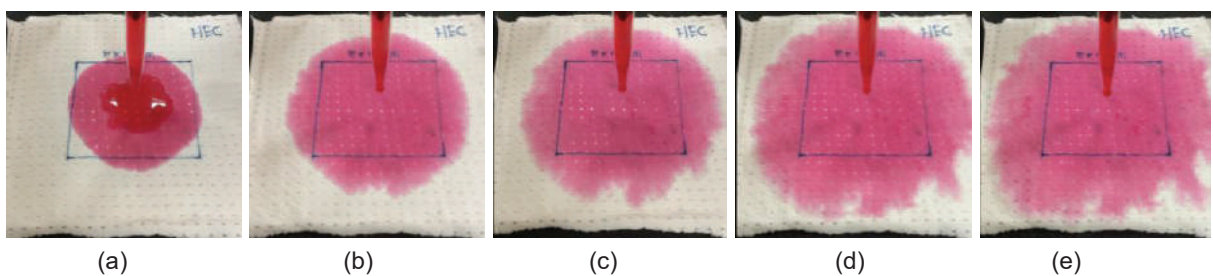


Figure 7 Diffusion of water in HEC (a) 1 sec, (b) 10 sec, (c) 30 sec, (d) 60 sec and (e) 120 sec.

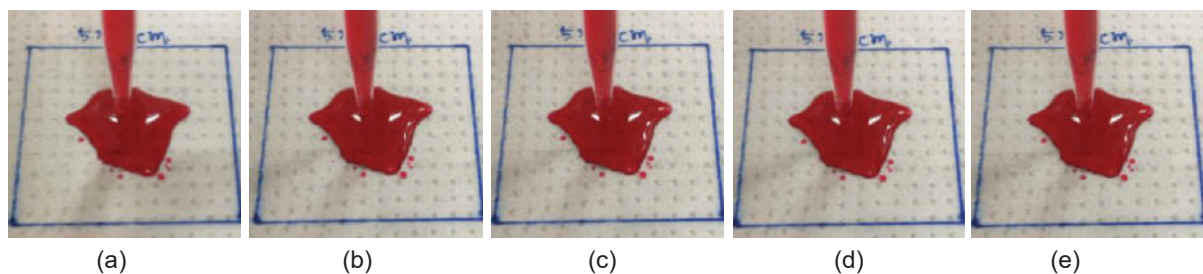


Figure 8 Diffusion of water in SA (a) 1 sec, (b) 10 sec, (c) 30 sec, (d) 60 sec and (e) 120 sec.

จากการสังเกตพฤติกรรมที่หยดน้ำถูกดูดซับโดยผ้า ดัง Figure 4 - 8 พบว่า หยดน้ำที่หยดลงบนชิ้นงานที่ใช้ HEC จะถูกผ้าดูดซับได้ทั้งหมดภายใน 10 วินาที เช่นเดียวกับกาว Draga ในขณะที่ SikaFlex 740, Hot glue, และ SA ในระยะเวลา 120 วินาที หยดน้ำยังค้างอยู่บนผ้ามีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ถูกดูดซับ สาเหตุที่ผ้าไม่สามารถดูดซับน้ำที่หยดลงบนกาวทั้ง 3 ชนิดได้ เป็นเนื่องจากกาวทั้ง 3 แทรกซึมไปทั่วพื้นผิวของผ้า และลดความเป็นรูพรุนของเนื้อผ้า ส่งผลให้ผ้ามีลักษณะคล้ายใบบัว ทำให้ผ้าดูดซับน้ำได้แยลง

สำหรับอัตราการแพร่ของน้ำ ซึ่งเป็นการหาพื้นที่ทั้งหมดของน้ำปริมาตร 1 ml ที่แพร่ได้ในเนื้อผ้าในเวลา 120 วินาที ดังแสดงใน Figure 9 จะเห็นว่า การใช้ HEC ติดผ้า จะมีอัตราการแพร่ของน้ำสูงที่สุด เท่ากับ 0.82 cm²/s ซึ่งมากกว่าการแพร่ของน้ำของ Draga, SikaFlex 740, Hot glue, และ SA เท่ากับ 1.55 เท่า, 8.72 เท่า, 11.39 เท่า, และ 17.83 เท่าตามลำดับ

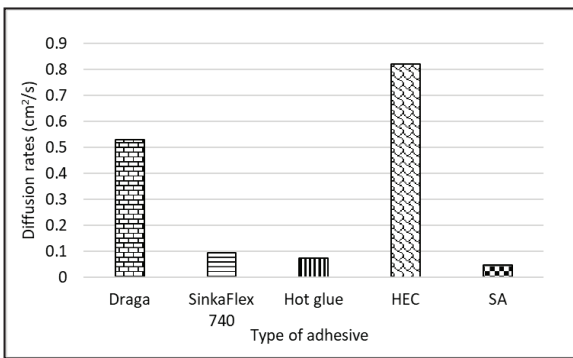


Figure 9 Diffusion rate of different adhesive.

นอกจากนี้ อัตราการแพร่ที่สูงจะลดการก่อตัวเป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิวของเปียก ซึ่งจะลด thermal resistance และทำให้การระเหยของน้ำดีขึ้น ดังนั้น SikaFlex 740, Hot glue, และ SA จึงไม่เป็นตัวเลือกที่ดี

2. การระเหยของน้ำ

การทดลองนี้จะศึกษาการระเหยของน้ำ โดยติดตั้งชิ้นงานที่ถูกติดด้วยกาวชนิดต่าง ๆ ในชุดทดสอบ ตามหัวข้อที่ 2.1.2 ผลการทดลอง พบว่า ไม่สามารถทดสอบชิ้นงานที่ใช้กาว HEC ติดลงบนผ้าได้ เนื่องจากกาว HEC ละลายและทำให้ผ้าหลุดออก ผู้วิจัยจึงตัดสินใจว่า HEC ไม่เหมาะกับการเป็นตัวประสานระหว่างผ้ากับอลูมิเนียมสำหรับเครื่องทำความเย็นแบบนํ้าระเหย ดังนั้น ในการทดลองนี้จึงเป็นการเปรียบเทียบกาวที่เหลือ 4 ชนิด คือ Draga, SikaFlex 740, Hot glue, และ SA แสดงผลการทดลองดัง Figure 10

โดยการทดลองนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบภายใต้เงื่อนไขอากาศสภาพแวดล้อมเท่ากัน ผู้วิจัยจึงใช้ ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศทางออก (outlet humidity ratio) เส้นสีแดงดัง Figure 10 เป็นตัวเปรียบเทียบ หากความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศทางออกของกาวชนิดใดมีค่าสูงแสดงว่าการระเหยของน้ำจะสูงเช่นกัน

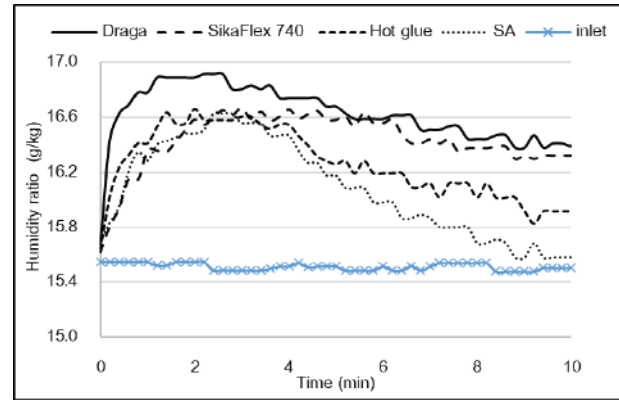


Figure 10 Air humidity ratio of different adhesives.

Figure 10 ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศในช่วงเวลา 10 นาที โดยการเปรียบเทียบจะเปรียบเทียบที่ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศขาเข้า (เส้นสีฟ้า) ก่อนข้างคองที่ประมาณ 15.5 g/kg ผลการทดลอง พบว่า กาวที่มีความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศทางออกสูงที่สุดตลอดช่วงเวลา 10 นาที คือ กาว Draga ซึ่งมีค่าสูงที่สุดประมาณ 16.91 g/kg ซึ่งมากกว่า SikaFlex 740, Hot glue, และ SA ที่ 22.17%, 22.46%, และ 26.70% ตามลำดับ

โดยกาวทั้ง 4 ชนิดจะมีแนวโน้มของความชื้นทางออกคล้ายกัน คือ ความชื้นทางออกมีค่าค่อนข้างสูงในช่วง 4 นาทีแรก จากนั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องเป็นเพราะน้ำที่ถูกดูดซับโดยผ้ามีการระเหยสู่อากาศ ทำให้ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับลดลงและระเหยได้น้อยลง สำหรับ Hot glue และ SA ที่มีการระเหยน้อยกว่า Draga และ SikaFlex 740 อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากกาวไปทำลายความเป็นรูพรุนของผ้า ผ้าจึงดูดซับน้ำได้น้อยกว่ากาวอีก 2 ชนิด ส่งผลให้ปริมาณน้ำในผ้าที่น้อยเช่นกัน

จากที่กาว Draga มีความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศทางออกสูงที่สุด ได้ว่ากาว Draga เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุประสานระหว่างผ้าและอลูมิเนียม เนื่องจากกาว Draga ทำให้ผ้ามีการระเหยของน้ำสูง ซึ่ง Xu et al. (2016) ได้รายงานว่าการระเหยของน้ำที่สูงจะทำให้ความสามารถในการทำความเย็นของระบบทำความเย็นแบบนํ้าระเหยสูงขึ้นเช่นกัน

นอกจากนี้ หากไม่พิจารณา HEC พบว่า กาวที่ทำให้ อัตราการแพร่ของน้ำ (diffusion rate) สูงที่สุดได้แก่กาว Draga และสอดคล้องกับผลทดสอบการระเหยของน้ำ (evap-

oration) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาของ Xu *et al.* (2016) ที่ผลอัตราการแพร่ของน้ำสอดคล้องกับผลการระเหยของน้ำ เป็นเพราะ ชั้นงานที่น้ำแพร่ได้ง่ายแสดงว่ากาวไม่ไปกำจัดความเป็นรูพรุนของผ้าลง ดังนั้น เมื่ออากาศไหลผ่านชั้นงานดังกล่าวจะทำให้หน้าที่แพร่อยู่ภายในระเหยได้ง่ายเช่นเดียวกัน

ในทางเดียวกัน หากเปรียบเทียบในแง่ของราคาต่อหน่วยตาม Table 1 เห็นว่ากาว Draga มีราคาถูกที่สุด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงขอแนะนำให้ใช้กาว Draga หรือประเภทกาวภายในการติดผ้าไว้กับแผ่นอลูมิเนียมที่ของช่องเป็ยก

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เสนอการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการเปรียบเทียบตัวอย่างกาว 5 ชนิด ที่นำมาเป็นตัวประสานระหว่างผ้ากับอะลูมิเนียม โดยศึกษาความสามารถในการแพร่ของและการระเหยของน้ำ เพื่อระบุชนิดของกาวที่เหมาะสมสำหรับระบบทำความเย็นแบบน้ำระเหย สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- การใช้กาว Draga ติดผ้าเข้ากับชั้นงานทำให้หน้าสามารถซึมและแพร่บนผ้าได้อย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับ HEC แต่การใช้ HEC มีข้อเสีย คือ เมื่อโดนน้ำ HEC จะละลายและทำให้ผ้าหลุดออก ในขณะที่ SikaFlex 740, Hot glue และ SA น้ำไม่สามารถแพร่ได้ทันที โดยการใช้ Draga มีอัตราการแพร่ของน้ำ $0.53 \text{ cm}^2/\text{s}$ ซึ่งมีค่ามากกว่า SikaFlex 740, Hot glue และ SA ที่ 5.64 เท่า 7.36 เท่า และ 11.52 เท่า ตามลำดับ

- ผ้าที่ถูกติดด้วยกาว Draga มีการระเหยของน้ำสูงที่สุดเท่ากับ 16.91 g/kg ซึ่งมากกว่า SikaFlex 740, Hot glue, และ SA ที่ 22.17%, 22.46%, และ 26.70% ตามลำดับ

- ในแง่ของราคาต่อหน่วยตาม Table 1 กาว Draga มีราคาถูกที่สุด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงขอแนะนำให้ใช้กาว Draga เป็นกาวที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้ติดผ้าไว้กับแผ่นอลูมิเนียมในเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย

ข้อจำกัด/ข้อเสนอแนะ

ข้อจำกัดในการศึกษานี้ ได้ควบคุมสภาวะอากาศแวดล้อมคงที่ ซึ่งแตกต่างจากการใช้งานจริง เนื่องจากอุณหภูมิจะแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมและความเร็วของอากาศแตกต่างกันไปตามภาระการทำความเย็น (cooling load) แม้ว่าตัวแปรนี้อาจส่งผลต่ออัตราการระเหยและประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ แต่เป้าหมายของงานนี้เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบของกาวที่มีต่อการแพร่ของน้ำและความสามารถในการระเหย ภายใต้ชุดเงื่อนไขที่มีการควบคุม

อย่างไรก็ตาม เมื่อสร้างเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยจะมีการพิจารณาช่วงของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศที่เปลี่ยนแปลง เพื่อให้เข้าใจประสิทธิภาพตามความเป็นจริง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ “ทุนการศึกษาแก่นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่คณาจารย์ได้รับทุนวิจัยจากแหล่งทุนภายนอก (OROG) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี” ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง

- ก้องนที วัฒนานุกูลิทธิ และ อาทิตย์ คุณศรีสุข. (2566). การศึกษาเชิงทดลองของระบบทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อมชนิดอากาศไหลย้อนกลับ, การถ่ายทอดผลงานความรู้อันและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการครั้งที่ 22. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- AATCC 79. (2014). *Absorbancy of textiles, AATCC technical manual*. AATCC, Research Triangle Park.
- ASHRAE. (2013). *American society of heating refrigeration and air-conditioning Engineers, Inc.* 1791Tullie Circle N.E.
- Aumpai, N., & Koonsrisuk, A. (2020). An experimental investigation of an integrated system of split air conditioner and indirect evaporative cooler. *Proceedings of the 19th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Processes*. Chanthaburi, Thailand.
- Delfani, S., Esmaeelian, J., Pasdarshahri, H., & Karami, M. (2010). Energy saving potential of an indirect evaporative cooler as a pre-cooling unit for mechanical cooling systems in Iran. *Energy and Buildings*, 42(11), 2169-2176.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.07.009
- Lertsatitthanakorn, C., Rerngwongwitaya, S., & Soponronnarit, S. (2006). Field experiments and economic evaluation of an evaporative cooling system in a silkworm rearing house. *Biosystems Engineering*, 93(2), 213-219.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.12.003
- Li, A., Thu, K., Ismail, A. B., Shahzad, M. W., & Ng, K. C. (2016). Performance of adsorbent-embedded heat exchangers using binder - coating method.

International journal of heat and mass transfer, 92, 149-157. doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.08.097

Sengupta, S., Ghosh, P., & Mustafa, I. (2022). Properties of poly-vinyl alcohol bonded jute (corchorus olitorius) nonwoven fabric and its performance as disposable carry bag. *Journal of Natural Fibers*, 19(6), 2034-2052.

doi.org/10.1080/15440478.2020.1798842

Xu, P., Ma, X., Zhao, X., & Fancey, K. S. (2016). Experimental investigation on performance of fabrics for indirect evaporative cooling applications. *Building and Environment*, 110, 104-114. doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.10.003

Xu, P., Ma, X., Zhao, X., & Fancey, K. (2017). Experimental investigation of a super performance dew point air cooler. *Applied Energy*, 203, 761-777. doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.095