

การศึกษาการใช้สารละลายลิเทียมคลอไรด์และแคลเซียมคลอไรด์ลดความชื้นในห้องปรับอากาศเพื่อลดการใช้พลังงานในเครื่องปรับอากาศ

A Study on the use of Lithium Chloride solution and Calcium Chloride solution to Dehumidify in Air-Conditioned Rooms to Reduce Energy Consumption in Air Conditioners

พิษณุพงศ์ พันธน์ราพงศ์^{1*} และยิ่งยศ ลับภู¹

Phitsanupong Punnarapong^{1*} and Yingyote Lubphoo¹

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีท่ออุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

¹Department of Industrial Piping Technology, Faculty of Technical Education,
Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus

*Corresponding author: Phitsanupong.pu@rmu.ac.th

Received: October 2, 2025

Revised: December 25, 2025

Accepted: January 5, 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยได้ทำการศึกษาการใช้ สารละลาย LiCl และ สารละลาย CaCl₂ ดูดซับความชื้นจากอากาศ โดยสารละลายจะถูกบรรจุอยู่ในถังเก็บสารละลายด้านล่างของชุดลดความชื้นแบบใช้สารละลายโดยใช้ปั๊มทำให้เกิดการไหลเวียนของสารละลาย อุปกรณ์ดังกล่าวจะถูกติดตั้งภายในห้องทดลอง ขนาด กว้าง 2 m ยาว 2 m สูง 2 m เพื่อลดภาระความร้อนจากความชื้นในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาดเล็ก ผนังห้องทำด้วยฉนวน โพลีสไตรีนแบบขยายตัว มีความหนา 0.2 m ทั้งนี้ในการวิจัยนี้ได้กำหนดระดับอุณหภูมิของอากาศภายในห้องทดลอง 30°C 35°C และ 40°C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 80 และ 90 เพื่อใช้ในการทดลอง จากการศึกษาพบว่า อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ระดับอุณหภูมิ 30°C มีค่าเท่ากับ 0.182-0.192 kWh ระดับอุณหภูมิ 35°C มีค่าเท่ากับ 0.208-0.255 kWh และระดับอุณหภูมิ 40°C มีค่าเท่ากับ 0.259-0.337 kWh อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ใช้สารละลาย LiCl เป็นสารดูดซับความชื้น ที่ระดับอุณหภูมิ 30°C 35°C และ 40°C สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศอยู่ในช่วง 0.002-0.020 kWh 0.011-0.042 kWh และ 0.040-0.082 kWh ตามลำดับ สารละลาย CaCl₂ เป็นสารดูดซับความชื้น ที่ระดับอุณหภูมิ 30°C 35°C และ 40°C สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศอยู่ในช่วง 0.026-0.043 kWh -0.005-0.036 kWh และ 0.019-0.064 kWh ตามลำดับ จากการใช้สารละลาย LiCl กับสารละลาย CaCl₂ พบว่า สารละลาย LiCl ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่เกิดจากความชื้นได้สูงสุด คิดเป็นร้อยละ 24.33 ในส่วนสารละลาย CaCl₂ ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศได้สูงสุด คิดเป็นร้อยละ 23.62 เมื่อเปรียบเทียบศักยภาพด้านการประหยัดพลังงานระหว่างสารละลาย LiCl และสารละลาย CaCl₂ พบว่า ที่อุณหภูมิอากาศชื้นที่ 30°C สารละลาย CaCl₂ มีศักยภาพที่สูงกว่า ที่อุณหภูมิอากาศชื้นที่ 35°C สารละลายทั้งสองชนิดมีศักยภาพใกล้เคียงกัน และที่อุณหภูมิอากาศชื้นที่ 40°C สารละลาย LiCl มีศักยภาพที่สูงกว่า

คำสำคัญ: เครื่องปรับอากาศ การลดความชื้น ลดการใช้พลังงาน สารละลายดูดความชื้น

Abstract

This research investigated the use of Lithium Chloride (LiCl) and Calcium Chloride (CaCl_2) solutions as liquid desiccants for moisture absorption from air. The desiccant solution was stored in a reservoir located at the base of the liquid desiccant dehumidifier unit and circulated by a dedicated pump. The entire system was installed inside a test room measuring 2 m × 2 m × 2 m to reduce the latent heat load of a small-scale split-type air conditioning system. The experimental chamber was constructed with 0.2 m thick Expanded Polystyrene: EPS insulated walls. The test conditions were established as follows: indoor air temperatures were set at 30°C 35°C and 40°C, with corresponding relative humidity levels of 70% 80% and 90%. The results showed that the electrical energy consumption of the air conditioner without a desiccant system ranged from 0.182–0.192 kWh at 30°C 0.208–0.255 kWh at 35°C and 0.259–0.337 kWh at 40°C. When LiCl solution was used as the moisture absorbent, the electrical energy consumption of the air conditioner decreased by 0.020–0.020 kWh at 30°C, 0.011–0.042 kWh at 35°C, and 0.040–0.082 kWh at 40°C. Similarly, when CaCl_2 solution was applied, the energy consumption was reduced by 0.036–0.043 kWh at 30°C –0.005–0.036 kWh at 35°C, and 0.019–0.064 kWh at 40°C. The maximum reduction in electricity consumption achieved by the LiCl solution was 24%, while the CaCl_2 solution achieved a maximum reduction of 23.62%. In terms of comparative performance, CaCl_2 showed better energy-saving potential at 30°C, both solutions performed comparably at 35°C, and LiCl demonstrated superior performance at 40°C.

Keywords: air-condition, dehumidifier, energy save, liquid desiccant



บทนำ

ปัญหาด้านพลังงานในปัจจุบันนับได้ว่าเป็นปัญหาระดับต้นๆของโลกเนื่องจากพลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญ ในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชนและเป็นปัจจัยพื้นฐานการผลิต ในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม จากการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้ากับเครื่องปรับอากาศ จากข้อมูลรายงานประจำปีของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand [EGAT], 2025) ทำให้ทราบว่า มากกว่าร้อยละ 50 ของพลังงานในครัวเรือนที่สูญเสียไปนั้นมาจากเครื่องปรับอากาศ การสำรวจข้อมูลสำนักงานสถิติแห่งชาติ (National Statistical Office: NSO) ในเรื่องการใช้จ่ายพลังงานของครัวเรือน (พ.ศ. 2566) พบว่า หนึ่งครัวเรือนมีเครื่องปรับอากาศโดยเฉลี่ย 1.7 เครื่องต่อครัวเรือน ถ้าอ้างอิงจากข้อมูลในปี 2558 ที่มี 5.1 ล้านครัวเรือน และ

มีอัตราการเติบโตที่สูงในช่วงที่ผ่านมา จากสภาพอากาศที่ร้อนขึ้น และอัตราการครอบครองที่ 40% จากครัวเรือนทั้งหมดประมาณ 20-22 ล้านครัวเรือน คาดว่าจำนวนครัวเรือนที่มีเครื่องปรับอากาศในปัจจุบันอาจเพิ่มขึ้น ตัวเลขรวมจะอยู่ที่ประมาณ 13-15 ล้านเครื่อง หรืออาจมากกว่านั้น ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาพบว่า จากสภาพแวดล้อมในปัจจุบันมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉลี่ยประเทศไทยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นปีละ 1 °C กรมอุตุนิยมวิทยาได้แสดงสถิติของประเทศไทยไว้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 27 °C ความชื้นสัมพัทธ์ตลอดปีอยู่ที่ระดับ 72-74 % จากข้อมูลข้างต้น หากสามารถลดภาระความร้อนที่เกิดจากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศได้ จะเป็นการช่วยประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ (Nachaisin et al., 2023; Meteorological Department, 2024; Parakul & Jaitrong, 2025) ซึ่งในการลดความชื้นในอากาศสามารถกระทำได้หลายวิธี วิธีการหนึ่งก็คือ การ

ใช้สารละลายที่มีคุณสมบัติในการดูดซับหรือดูดซึมไอน้ำ ทำให้ความชื้นในอากาศลดลงอย่างรวดเร็ว (Chen et al., 2024; Shivaprasad et al., 2025) สารเหล่านี้ถูกนำมาใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม ตั้งแต่การถนอมอาหาร การขนส่งสินค้า การป้องกันความชื้นในห้องคลีนรูมหรือในเครื่องลดความชื้นอุตสาหกรรมในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาลดความชื้นในอากาศด้วยสารละลายลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) (Attia et al., 2018) และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) (Bouzenada et al., 2016) ซึ่งเป็นสารประกอบเกลือที่มีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้สูงมาก อย่างไรก็ตาม LiCl และ CaCl_2 แบบผงที่มีความบริสุทธิ์สูงร้อยละ 98-99 มีราคาที่สูงมากโดยที่ LiCl มีราคาประมาณ 7,000-8,000 บาทต่อกิโลกรัม และ CaCl_2 มีราคา 800-1,200 บาทต่อกิโลกรัม แต่หากใช้สารเคมีดังกล่าวที่มีความบริสุทธิ์ต่ำกว่าจะสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีได้ โดยที่ LiCl แบบผงความบริสุทธิ์ต่ำกว่าร้อยละ 91 สำหรับการใช้งานอุตสาหกรรมมีราคาอยู่ที่ 500-1,000 บาทต่อกิโลกรัม และ CaCl_2 แบบผง ความบริสุทธิ์ร้อยละ 74 สำหรับการใช้งานอุตสาหกรรมอาหาร มีราคาอยู่ที่ 50-100 บาทต่อกิโลกรัม ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาหาข้อมูลเพื่อหาศักยภาพในการลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศจากการใช้สารเคมีแบบผงที่มีความบริสุทธิ์ต่ำกว่า 90% มาทำเป็นสารละลาย รวมถึงอัตราส่วนโดยมวลของปริมาณสารเคมีที่ใช้กับขนาดห้องที่กำหนดไว้ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานให้ผู้สนใจสามารถนำไปต่อยอดพัฒนาเป็นสิ่งประดิษฐ์หรือนวัตกรรมที่ใช้ในการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศหรือพัฒนาส่วนผสมวัสดุที่แตกต่างจากสารในห้องตลาดให้เกิดการเพิ่มศักยภาพในการดูดซับความชื้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการจัดการพลังงานในระบบปรับอากาศ การใช้ประโยชน์เชิงสาธารณะและการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์เป็นประโยชน์กับการประหยัดพลังงานในครัวเรือนหรือในองค์กรได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะได้ทำการศึกษาเพื่อหาศักยภาพของสารละลาย LiCl และ CaCl_2 ในการลดความชื้นสัมพัทธ์ในห้องปรับอากาศที่ส่งผลต่อการลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้ได้สร้างห้องทดลองรูปร่างลูกบาศก์ โดยกำหนดให้มีขนาดภายในเท่ากับ กว้าง 2 m ยาว 2 m สูง 2 m จะได้ห้องที่มีปริมาตร 8 m³ และติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาด 2637.6 W เป็นเครื่องปรับอากาศแบบ FIX SPEED กับห้องทดลอง โดยผนังของห้องทดลอง ทำจากฉนวนกันความร้อน Expanded Polystyrene มีความหนาของผนัง 20 cm มีความหนาแน่น 16g/l ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity) เท่ากับ 0.029 W/m-K ดังภาพ 1 (ก) ภายในห้องทดลองจะติดตั้งชุดลดความชื้น โดยที่สารละลายที่ใช้ดูดซับความชื้นจะบรรจุไว้ในถังเก็บด้านล่างของชุดลดความชื้น แสดงลักษณะของอุปกรณ์และวงจรการทำงานของเครื่องดังภาพ 2

ห้องทดลองมีการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิที่ผิวของผนังภายในและผนังภายนอกห้องทดลอง 5 ด้าน ยกเว้นพื้นห้องทดลอง และอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง ตำแหน่งในการวัดตรงจุดกึ่งกลางของผนังในแต่ละด้าน โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K ในการวัดอุณหภูมิ แสดงผลแบบตัวเลขมีความละเอียด 1 ตำแหน่ง มีความแม่นยำ $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ทำการวัดและบันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 นาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและส่งสัญญาณแบบไร้สายเพื่อบันทึกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ออกมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการคำนวณส่วนอากาศภายในห้องทดลองใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นแบบแสดงผลเป็นตัวเลขความละเอียด 1 ตำแหน่ง มีความแม่นยำ $\pm 0.5^\circ\text{C}$ และ $\pm 3\%$ RH บันทึกผลลงในหน่วยความจำของเครื่องโดยอัตโนมัติ ทำการวัดและบันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 นาทีจากนั้นนำข้อมูลที่ได้ออกมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการคำนวณ ตำแหน่งในการวัดคือจุดกึ่งกลางของห้องทดลอง ดังภาพ 1(จ) การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องทดลองจะเริ่มจากเปิดเครื่องปรับอากาศในห้องทดลองให้อุณหภูมิภายในห้องทดลองลดลงมาที่ 20°C หากอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง ความชื้นส่วนเกินจะถูกกลั่นตัวกลายเป็นน้ำที่คอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศและถูกส่งออกจากห้องทดลองผ่านท่อน้ำทิ้งของเครื่องปรับอากาศ ใช้เวลาประมาณ 30 นาทีจึงหยุดการทำงานของเครื่องปรับอากาศ จากนั้นทำการเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องทดลองโดยการเปิดการทำงานของเครื่องสร้างความร้อนสามารถเพิ่มความชื้นให้กับอากาศได้โดยการเปิดการทำงานของชุดสร้างความชื้นแบบ

ไอน้ำกรณีที่ต้องการเพิ่มอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศไปพร้อมกัน หรือเปิดการทำงานชุดสร้างความชื้นแบบอัลตราโซนิกในกรณีไม่ต้องการให้อุณหภูมิภายในห้องทดลองเพิ่ม เมื่อได้อุณหภูมิและความชื้นตรงตามกำหนดจะหยุดการทำงานของอุปกรณ์ แสดงตำแหน่งของเครื่องเพิ่มภาระความร้อน ชุดสร้างความชื้นแบบไอน้ำ และชุดสร้างความชื้นแบบอัลตราโซนิก ภาพ 1 (ค ง1 และ ง2)

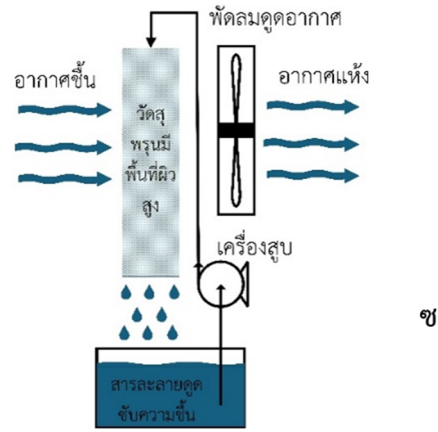
กำหนดการทดลองชุดที่ 1 เปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศเพียงอย่างเดียวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง กำหนดอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศเปิดโหมดทำความเย็น คือ 25°C (Swangphol et al., 2024) เพื่อการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ โดยใช้เครื่องวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กแบบแสดงผลเป็นตัวเลข ตัวเลขความละเอียด 1 ตำแหน่งมีความแม่นยำ ± 0.1 W ย่านการวัดอยู่ในช่วง 0-2200 W กำหนดระดับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (DB) ที่ทำการทดลอง 30°C 35°C และ 40°C กำหนดระดับความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ที่ทำการทดลอง 70% 80% และ 90% โดยมีจุดวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ดังภาพ 1 (จ) รวมเป็น 9 แบบการทดลอง แสดงสถานะใน

การทดลองและชื่อแบบการทดลองเพื่อใช้ในการอ้างอิงผลการทดลองแสดงไว้ในตาราง 1 การทดลองทั้งหมดทำซ้ำ 3 ครั้ง รวมเป็นการทดลองชุดที่ 1 จำนวน 27 การทดลอง

กำหนดการทดลองชุดที่ 2 และ 3 จะเริ่มจากเปิดเครื่องดูดซับความชื้นที่ใช้สารละลาย LiCl โดยมีความเข้มข้นโดยมวลเท่ากับ 0.6 เป็นการทดลองชุดที่ 2 และเปิดเครื่องดูดความชื้นที่ใช้สารละลาย CaCl_2 โดยมีความเข้มข้นโดยมวลเท่ากับ 0.6 เป็นการทดลองชุดที่ 3 การใช้ความเข้มข้นโดยมวลนี้อ้างอิงจาก Aqueous solutions of lithium and calcium chlorides: – Property formulations for use in air conditioning equipment design (Conde, 2004) แต่ละชุดการทดลองให้สารละลายดูดซับความชื้นสัมพัทธ์จากอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะเปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อเป็นการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศหลังจากที่ถูกดูดซับความชื้นสัมพัทธ์ไปแล้ว รวมเป็นการทดลองชุดที่ 2 และ 3 รวมการทดลองจำนวน 54 การทดลอง



ภาพ 1 ห้องทดลองการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ (ก) ชุดลดความชื้น (ข) เครื่องปรับอากาศ (ค) ชุดสร้างภาระความร้อน (ง 1) ชุดสร้างความชื้นแบบไอน้ำ (ง 2) ชุดสร้างความชื้นแบบอัลตราโซนิก (จ) ชุดวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องทดลอง



ภาพ 2 เครื่องดูดซับความชื้นแบบใช้สารละลาย (ฉ) ถังเก็บสารละลายที่ใช้ทดลองมีปริมาตรในการบรรจุสารละลายได้สูงสุด 10 ลิตร (ข) การไหลเวียนของสารละลายที่เกิดขึ้นในเครื่องดูดซับความชื้น (ข) วงจรการทำงานของเครื่อง

การทดลองชุดที่ 1-3 ได้คำนวณหาค่าพลังงานความร้อนของอากาศชื้นภายในห้องทดลองก่อนเปิดเครื่องปรับอากาศ (Q_1) และหลังเปิดเครื่องปรับอากาศไปแล้วเป็นเวลา 1 ชั่วโมง (Q_2) สามารถหาได้จากการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องทดลอง จากนั้นนำค่าที่ได้ไปหาค่าเอนทัลปี (h) ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (v) จาก Psychrometric Chart แสดงดังภาพ 3 สามารถคำนวณค่าพลังงานความร้อนได้ดังสมการที่ 1

$$Q_{1,2} = \frac{h}{v} \times V \quad (1)$$

โดยที่ $Q_{1,2}$ คือ ค่าพลังงานความร้อนของอากาศชื้นภายในห้องทดลอง (กิโลจูล)

h คือ เอนทัลปี (กิโลจูลต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง)

v คือ ปริมาตรจำเพาะ (ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง)

V คือ ปริมาตรของห้องทดลอง (ลูกบาศก์เมตร)

ภาระความร้อนของอากาศชื้นที่เกิดขึ้นได้ในเวลา 1 ชั่วโมง (Q_{air}) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2)

$$Q_{air} = -(h_1 - h_2) \quad (2)$$

โดยที่ Q_{air} คือ ค่าภาระความร้อนของอากาศชื้นภายในห้องทดลอง (กิโลจูล)

เพื่อที่จะทราบภาระความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในห้องทดลอง (Q_L) จะต้องทราบค่าภาระความร้อนที่เกิดจากอากาศชื้น (Q_{air}) และภาระความร้อนจากการนำความร้อน (Q_{con}) ที่ผ่านผนังห้องเข้ามาภายในห้องทดลองทั้ง 5 ด้าน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3)

$$Q_L = Q_{air} + \sum Q_{con} \quad (3)$$

โดยที่ Q_L คือ ค่าภาระความร้อนรวมภายในห้องทดลอง (กิโลจูล)

Q_{con} คือ ค่าภาระความร้อนของการนำความร้อนจากภายนอกห้องทดลองของผนังทั้ง 5 ด้านในเวลา 1 ชั่วโมง (กิโลจูล)

การคำนวณค่าภาระความร้อนจากการนำความร้อน (Q_{con}) ได้จากการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิของอากาศภายนอกห้องทดลอง อุณหภูมิที่ผิวผนังภายนอกและภายในห้องทดลอง ทั้ง 5 ด้าน ยกเว้นพื้นห้อง และอุณหภูมิอากาศและความชื้นภายในห้องทดลอง ทุก ๆ 5 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำข้อมูลที่ได้นี้มาเฉลี่ยหาค่าเพื่อใช้ในการคำนวณตำแหน่งของการเก็บข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ แสดงดังภาพ 4 หลักการคำนวณและค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ

อ้างอิงจาก (Çengel & Ghajar, 2015) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (4) และค่าความต้านทานความร้อนสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (5)

$$Q_{con} = \frac{A(T_{out} - T_{in}) \times 3600s}{R_{total}} \quad (4)$$

โดยที่ A คือ พื้นที่ผิวของผนังในแต่ละด้าน (ตารางเมตร)

$T_{out,in}$ คือ อุณหภูมิของอากาศภายนอกและภายในห้องทดลอง (องศาเซลเซียส)

$T_{l,2}$ คือ อุณหภูมิที่ผิวของผนังภายนอกและภายในของห้องทดลอง (องศาเซลเซียส)

R_{total} คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวม (องศาเซลเซียส-ตารางเมตรต่อวัตต์)

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (5)$$

โดยที่ R_1 คือ ความต้านทานจากการพาความร้อนภายนอกห้องทดลอง (องศาเซลเซียส-ตารางเมตรต่อวัตต์)

R_2 คือ ความต้านทานจากการนำความร้อนของผนังห้องทดลอง (องศาเซลเซียส-ตารางเมตรต่อวัตต์)

R_3 คือ ความต้านทานจากการพาความร้อนภายในห้องทดลอง (องศาเซลเซียส ตารางเมตรต่อวัตต์)

ตาราง 1

แสดงสภาวะในห้องปรับอากาศที่ใช้ในการทดลองโดยควบคุมอุณหภูมิและความชื้นและกำหนดชื่อแบบการทดลอง

อุณหภูมิ/ความชื้นสัมพัทธ์	70% RH	80% RH	90% RH
30°C DB	30°C DB, 70% RH แบบที่1	30°C DB, 80% RH แบบที่2	30°C DB, 90% RH แบบที่3
35°C DB	35°C DB, 70% RH แบบที่4	35°C DB, 80% RH แบบที่5	35°C DB, 90% RH แบบที่6
40°C DB	40°C DB, 70% RH แบบที่7	40°C DB, 80% RH แบบที่8	40°C DB, 90% RH แบบที่9

หมายเหตุ: ทำการทดลอง 3 ชุด แต่ละชุดมี 9 รูปแบบ แต่ละรูปแบบทำซ้ำ 3 ครั้ง รวม 81 การทดลอง

ค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่เกิดจากภาระที่เกิดขึ้นทั้งหมด (P_{cons}) ได้จากเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่เกิดจากอากาศชื้น (P_{air}) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (6)

$$P_{air} = P_{cons} \frac{Q_{air}}{Q_L} \quad (6)$$

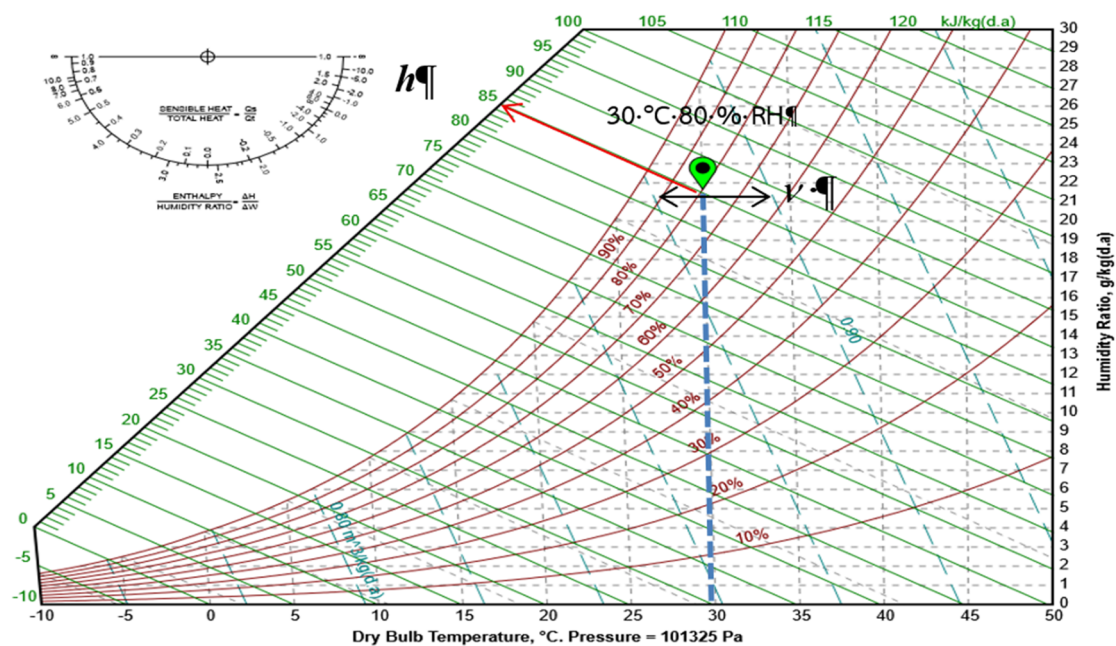
โดยที่ P_{cons} คือ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่เกิดขึ้นจากภาระทั้งหมด (วัตต์-ชั่วโมง)

P_{air} คือ ค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่เกิดจากอากาศชื้น (วัตต์-ชั่วโมง)

จากนั้นนำค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ไม่ใช้สารดูดซับความชื้นมาเปรียบเทียบกับค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ร่วมกับการใช้สารละลายดูดซับความชื้นทั้งสองชนิดเป็นค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (P_{save}) ดังสมการที่ (7)

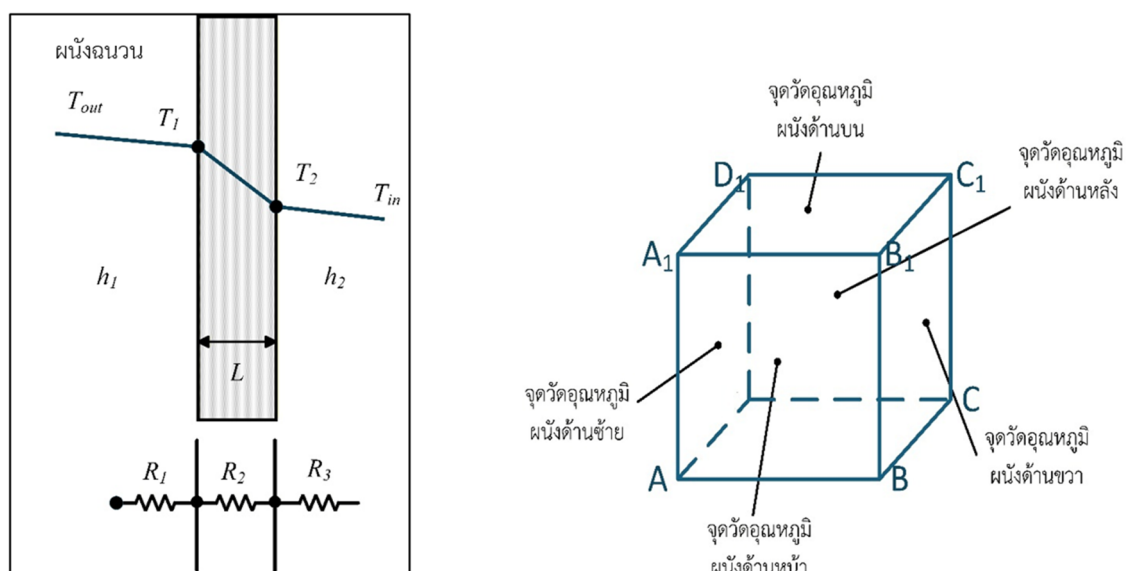
$$P_{save} = P_{cons} - P_{air} \quad (7)$$

โดยที่ P_{save} คือ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (วัตต์-ชั่วโมง)



ภาพ 3 ตัวอย่างการหาค่าพลังงานเอนทัลปี (h) ในอากาศชื้นและค่าปริมาตรจำเพาะของอากาศ (v) จาก Psychrometric Chart

Note. From “About Psychrometric Chart + Duct Calculator” by FlyCarpet Inc., 2024 (<https://www.flycarpet.net/en/psychart>). Copyright 2024 by FlyCarpet Inc.



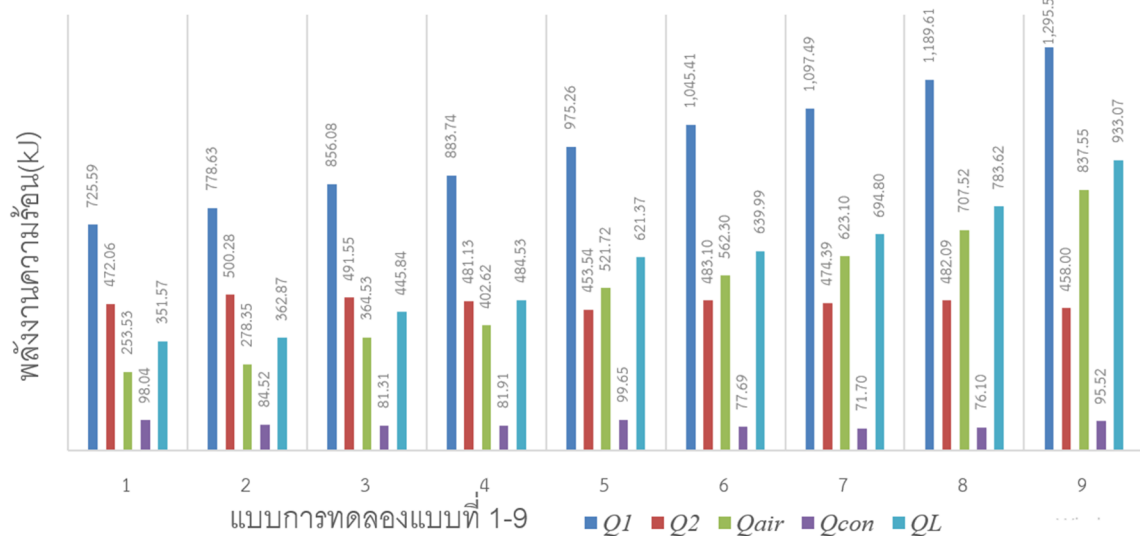
ภาพ 4 การนำความร้อนผ่านผนังห้องเข้ามาในห้องทดลองและตำแหน่งของจุดวัดอุณหภูมิ

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

สรุปผลการทดลองชุดที่ 1 การใช้พลังงานไฟฟ้า โดยใช้เครื่องปรับอากาศเพียงอย่างเดียว จากภาพ 5 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิที่สูงและความร้อนสูงขึ้นก็มีปริมาณความร้อนในอากาศขึ้น (Q_1) เพิ่มมากขึ้นเป็นตามทฤษฎี มีค่าอยู่ในช่วง 725.59-1295.55 kJ เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วมีปริมาณความร้อนในอากาศขึ้น (Q_2) มีค่าพลังงานความร้อนใกล้เคียงกันเพราะได้กำหนดค่าอุณหภูมิการทำงานของเครื่องปรับอากาศไว้ให้เท่ากัน มีค่าอยู่ในช่วง 453.54-500.28 kJ ในส่วนปริมาณความร้อน

ภายนอกห้องอากาศที่ถ่ายเทผ่านผนังเข้ามาภายในห้องปรับอากาศ (Q_{con}) มีค่าอยู่ในช่วง 71.70-98.04 kJ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะอากาศ

ภายนอกห้องปรับอากาศ ดังนั้นภาระความร้อนของอากาศขึ้นในห้องทดลอง (Q_{air}) มีค่าอยู่ในช่วง 253.53-837.55 kJ คิดเป็น ร้อยละ 72.03-89.76 โดยมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศมีค่าอยู่ในช่วง 233-375 W-h หากคิดเป็นอัตราส่วนการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเฉพาะส่วนของอากาศขึ้นในห้องทดลองมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ในช่วง 182 -337 W-h ดังตาราง 2



ภาพ 5 ปริมาณพลังงานความร้อนของอากาศขึ้นและภาระความร้อนของการทดลองชุดที่ 1

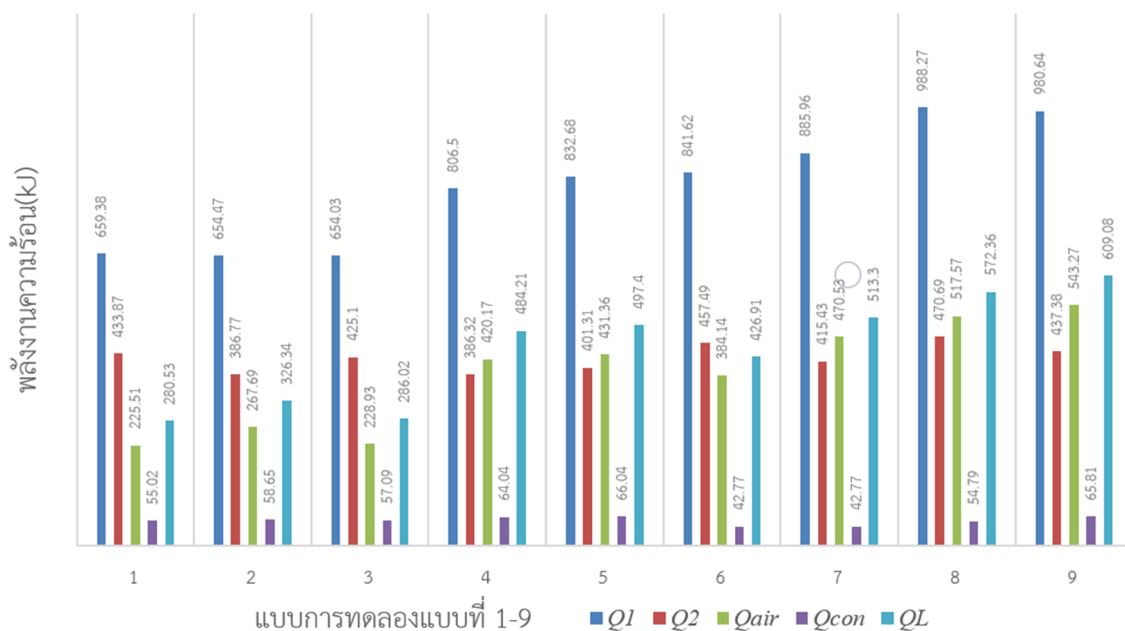
ตาราง 2

ตารางปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการทดลองชุดที่ 1

อุณหภูมิ DB °C	ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ	ปริมาณการใช้พลังงาน ไฟฟ้ากับภาระทั้งหมด W-h	ร้อยละของพลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้กับอากาศขึ้น W-h	ปริมาณการใช้พลังงาน ไฟฟ้ากับอากาศขึ้น W-h
30	70	244	72.03	189
	80	304	76.69	182
	90	278	81.52	192
35	70	244	83.05	208
	80	304	83.96	255
	90	278	87.87	250
40	70	282	89.69	259
	80	307	90.28	283
	90	375	89.76	337

สรุปผลการทดลองชุดที่ 2 การใช้พลังงานไฟฟ้า โดยใช้เครื่องปรับอากาศหลังจากที่ดูดซับความชื้นด้วย สารละลาย LiCl จากภาพ 6 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิที่สูงและ ความร้อนสูงขึ้นก็มีปริมาณความร้อนในอากาศชื้น (Q_1) เพิ่มขึ้นเป็นตามทฤษฎีมีค่าอยู่ในช่วง 659.38-980.64 kJ เมื่อ เปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้ว มีปริมาณความร้อนในอากาศชื้น (Q_2) มีค่าพลังงานความร้อน ใกล้เคียง กันเพราะสารละลายได้ดูดซับความชื้นออกจนสารละลาย ไม่สามารถชนะแรงดันของไอน้ำในอากาศได้แล้ว (Kumar et al., 2022) มีค่าอยู่ในช่วง 386.32-470.69 kJ ในส่วน ปริมาณความร้อนภายนอกห้องปรับอากาศที่ถ่ายเทผ่าน ผนังเข้ามาภายในห้องปรับอากาศ (Q_{con}) มีค่าอยู่ในช่วง 42.77-66.04 kJ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะอากาศ ภายนอกห้องปรับอากาศ ดังนั้นภาระความร้อนส่วนใหญ่ที่ เกิดขึ้นก็จะเป็นภาระความร้อนของอากาศชื้นในห้องทดลอง (Q_{air}) มีค่าอยู่ในช่วง 225.51-543.27 kJ คิดเป็นร้อยละ

79.56-91.87 โดยมีการค่าใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศมีค่าอยู่ในช่วง 189-337 W-h หากคิดเป็น อัตราส่วนการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเฉพาะส่วน ของอากาศชื้นในห้องทดลองมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ใน ช่วง 169-255 W-h ในการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลือง พลังงานไฟฟ้าระหว่างเครื่องปรับอากาศที่ไม่ใช้สารละลาย LiCl กับเครื่องปรับอากาศที่ใช้สารละลาย LiCl ในการดูด ซับความชื้น เพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของ เครื่องปรับอากาศมาเปรียบเทียบในด้านการใช้พลังงาน ไฟฟ้า ได้ผลการเปรียบเทียบแสดงดังตาราง 4 การดูดซับ ความชื้นโดยใช้สารละลาย LiCl อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน ไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (P_{save}) อยู่ในช่วง 2-82 W-h



ภาพ 6 ปริมาณพลังงานความร้อนของอากาศชื้นและภาระความร้อนของการทดลองชุดที่ 2

ตาราง 3

ตารางปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการทดลองชุดที่ 2

อุณหภูมิ DB °C	ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ	ปริมาณการใช้พลังงาน ไฟฟ้ากับการะทั้งหมด W-h	ร้อยละของพลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้กับอากาศชื้น W-h	ปริมาณการใช้พลังงาน ไฟฟ้ากับอากาศชื้น W-h
30	70	212	79.69	169
	80	220	82.00	180
	90	217	79.56	173
35	70	244	83.05	197
	80	304	83.96	213
	90	278	87.87	239
40	70	282	89.69	238
	80	307	90.28	243
	90	375	89.76	255

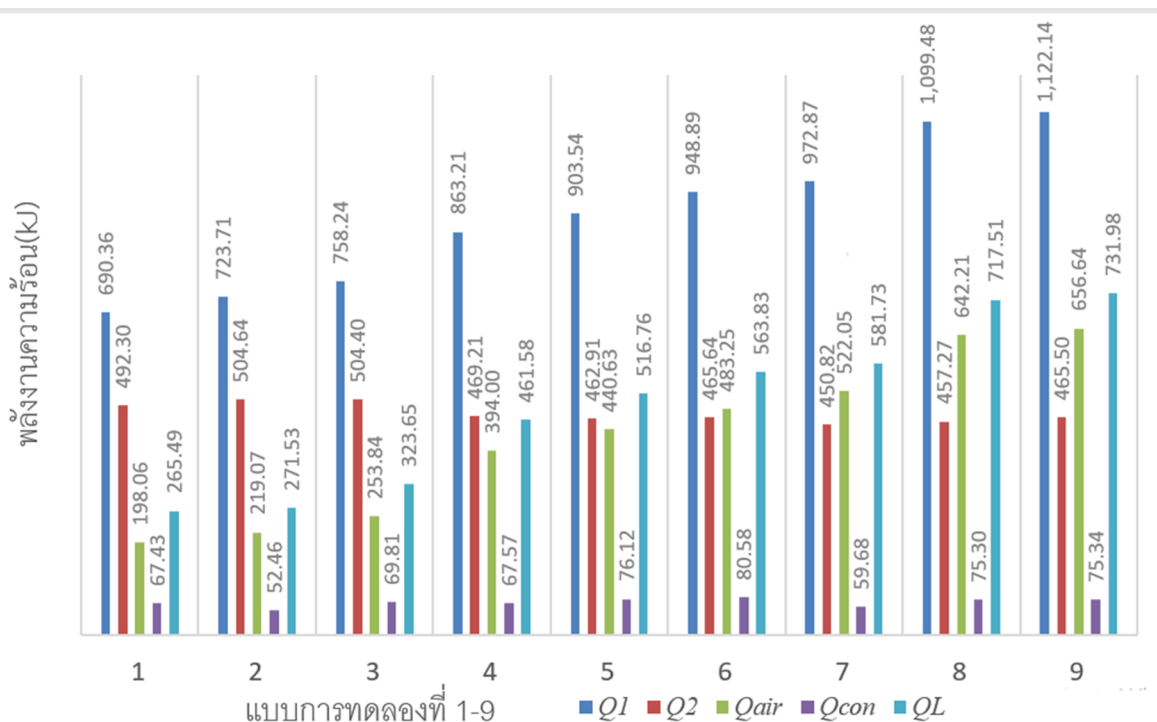
ตาราง 4

ตารางเปรียบเทียบการปริมาณการใช้ไฟฟ้าการทดลองชุดที่ 1 และการทดลองชุดที่ 2

อุณหภูมิ DB °C	RH %	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศ เพียงอย่างเดียว W-h	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า เปิดเครื่องดูดความชื้น W-h	ผลต่างด้าน พลังงาน W-h	ผลต่างด้าน พลังงาน เป็นร้อยละ
30	70	189	169	20	10.58
	80	182	180	2	1.10
	90	192	173	19	9.90
35	70	208	197	11	5.29
	80	255	213	42	16.47
	90	255	239	16	6.27
40	70	290	238	52	17.93
	80	283	243	40	14.13
	90	337	255	82	24.33

สรุปผลการทดลองชุดที่ 3 การใช้พลังงานไฟฟ้า โดยใช้เครื่องปรับอากาศหลังจากที่ดูดซับความชื้นด้วย สารละลาย CaCl_2 จากภาพ 7 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิที่สูงและความร้อนสูงขึ้นก็มีปริมาณความร้อนในอากาศชื้น (Q_1) เพิ่มขึ้นเป็นไปตามทฤษฎีมีค่าอยู่ในช่วง 690.36-1122.14 kJ เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้ว มีปริมาณความร้อนในอากาศชื้น (Q_2) ใกล้เคียงกันเพราะสารละลายได้ดูดซับความชื้นออกจนสารละลายไม่สามารถชนะแรงดันของไอน้ำในอากาศได้แล้ว (Kumar et al., 2022) มีค่าอยู่ในช่วง 450.82-504.64 kJ ในส่วนปริมาณความร้อนภายนอกห้องที่ถ่ายผ่านผนังเข้ามาภายในห้องปรับอากาศ (Q_{con}) มีค่าอยู่ในช่วง 52.46-80.58 kJ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะอากาศภายนอกห้องปรับอากาศ ดังนั้นภาระความร้อนส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นก็จะเป็นภาระความร้อนของอากาศชื้นในห้องทดลอง (Q_{air}) มีค่าอยู่ใน

ช่วง 198.06-656.64 kJ คิดเป็นร้อยละ 74.59-89.69 โดยมีการค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศมีค่าการใช้ในช่วง 172-305 W-h หากคิดเป็นอัตราส่วนการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเฉพาะส่วนของอากาศชื้นในห้องทดลองมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ในช่วง 139-273 W-h ดังตาราง 5 ในการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าระหว่างเครื่องปรับอากาศที่ไม่ใช้สารละลาย CaCl_2 กับเครื่องปรับอากาศที่ใช้สารละลาย CaCl_2 ในการดูดซับความชื้น เพื่อการศึกษาหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ มาเปรียบเทียบในด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า การดูดซับความชื้นโดยใช้สารละลาย CaCl_2 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้สูงสุดเท่ากับ (P_{save}) 64 W-h ซึ่งผลการเปรียบเทียบ ดังตาราง 6



ภาพ 7 กราฟแสดงปริมาณพลังงานความร้อนของอากาศชื้นและภาระความร้อนของการทดลองชุดที่ 3

ตาราง 5

ตารางปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการทดลองชุดที่ 3

อุณหภูมิ DB °C	ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ	ปริมาณการใช้พลังงาน ไฟฟ้ากับภาระทั้งหมด W-h	ร้อยละของพลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้กับอากาศชื้น W-h	ปริมาณการใช้พลังงาน ไฟฟ้ากับอากาศชื้น W-h
30	70	219	74.59	163
	80	172	80.56	139
	90	211	78.11	165
35	70	250	85.33	213
	80	260	85.28	219
	90	282	85.66	241
40	70	263	89.75	239
	80	295	89.51	264
	90	305	89.69	273

ตาราง 6

ตารางเปรียบเทียบการปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการทดลองชุดที่ 1 และการทดลองชุดที่ 3

อุณหภูมิ DB °C	RH %	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศ เพียงอย่างเดียว W-h	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า เปิดเครื่องดูดความชื้น W-h	ผลต่างด้าน พลังงาน W-h	ผลต่างด้าน พลังงาน เป็นร้อยละ
30	70	189	163	26	13.76
	80	182	139	43	23.63
	90	192	165	27	14.06
35	70	208	213	-5	-2.40
	80	255	219	36	14.12
	90	255	241	14	5.49
40	70	290	239	51	17.59
	80	283	264	19	6.71
	90	337	273	64	18.99

สรุปผลการวิจัย

จากการใช้สารละลายดูดซับความชื้นในอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมงก่อนการเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ ที่ระดับอุณหภูมิ 30 °C DB จากการใช้สารละลาย LiCl เป็นตัวดูดซับความชื้นในอากาศ เปรียบเทียบกับการใช้สารละลาย CaCl_2 พบว่า การใช้สารละลาย CaCl_2 มีศักยภาพในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดีกว่า LiCl สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศได้สูงสุด คิดเป็นร้อยละ 23.63 ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80 ที่ระดับอุณหภูมิ 35 °C DB เปรียบเทียบกันระหว่างการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ กับสารละลาย CaCl_2 พบว่า สารละลายทั้งสองชนิดมีศักยภาพใกล้เคียงกัน ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80 สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศได้สูงสุด คิดเป็นร้อยละ 16.47 และ 14.11 ตามลำดับ และพบว่า CaCl_2 ไม่เหมาะสมที่ใช้กับความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ที่ระดับอุณหภูมิ 40 °C DB เปรียบเทียบกับการใช้สารละลาย LiCl กับสารละลาย CaCl_2 พบว่า สารละลาย LiCl มีศักยภาพในการช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดีกว่า CaCl_2 ที่ทุกระดับความชื้นสัมพัทธ์ สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศได้สูงสุด คิดเป็นร้อยละ 24.33 ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90

ผลการทดลองที่ได้กล่าวมาข้างต้นสอดคล้องกับพฤติกรรมของสารละลายที่แสดงในแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโดยมวลของสารละลาย กับอุณหภูมิการใช้งานของสารละลายของ Aqueous solutions of lithium and calcium chlorides: – Property formulations for use in air conditioning equipment design (Conde, 2004) ซึ่งในการทดลองได้เตรียมสารละลายทั้งสองชนิดให้มีความเข้มข้นโดยมวลเท่ากับ 0.6 ซึ่งเพียงพอให้สารละลายสามารถดูดซับความชื้นจากอากาศได้ จากแผนภาพการใช้งานสารละลาย LiCl ที่อุณหภูมิ 30 และ 35 °C DB ต้องการความเข้มข้นโดยมวลของสารละลายที่ 0.46 และ 0.47 ตามลำดับ ส่วน CaCl_2 ต้องการความเข้มข้นโดยมวลของสารละลายที่ 0.51 และ 0.52 ตามลำดับ จะเห็นว่าความต้องการความเข้มข้นของสารละลายเพื่อดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิ 30 และ 35 °C DB ของสารละลายทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ทำให้ศักยภาพในการดูดซับความชื้นจากอากาศใกล้เคียงกันส่งผลให้ความสามารถในการประหยัดพลังงานใกล้เคียงกัน แต่ที่

อุณหภูมิ 40 °C DB สารละลาย LiCl ต้องการความเข้มข้นโดยมวลของสารละลายที่ 0.48 ส่วนสารละลาย CaCl_2 ต้องการความเข้มข้นโดยมวลของสารละลายที่ 0.56 ซึ่งมีความแตกต่างกันมาก ทำให้ที่อุณหภูมิที่ 40 °C DB สารละลาย LiCl สามารถดูดซับความชื้นได้มากกว่า แต่อย่างไรก็ดีในช่วงอุณหภูมิ 30-40 °C สารละลายทั้งสองชนิดสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องปรับอากาศได้เป็นอย่างดี

ในการเลือกใช้สารละลายเพื่อดูดซับความชื้น หากพิจารณาถึงความคุ้มค่า สารละลาย CaCl_2 มีความเหมาะสมเนื่องจากมีราคาที่ถูกกว่า สารละลาย LiCl ประมาณ 5-10 เท่า จากข้อมูลส่วนอื่นที่ได้จากห้องทดลองของอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงพบว่า หากเปิดเครื่องปรับอากาศแล้วความชื้นในอากาศจะกลั่นตัวเป็นของเหลวที่คอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศภายในเวลา 10-20 นาทีโดยสังเกตจากมีน้ำไหลออกจากท่อน้ำทิ้งของเครื่องปรับอากาศ แต่ในส่วนของการใช้การลดความชื้นที่ถูกดูดซับจากสารละลายนั้นต้องใช้เวลาน้อย 30 นาทีจึงจะสามารถลดความชื้นในอากาศได้ โดยสังเกตจากกราฟความชื้นสัมพัทธ์ที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดในช่วงเวลาดังกล่าว ดังนั้นหากเปิดเครื่องปรับอากาศพร้อมกับเครื่องดูดซับความชื้นจะไม่เกิดการลดการใช้พลังงานในการดูดซับความชื้นเพราะความชื้นในอากาศก็จะถูกกลั่นตัวเป็นของเหลวออกไปก่อนที่จะคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศจึงเป็นข้อจำกัดการใช้งานของเครื่องดูดซับความชื้นที่จะต้องดูดซับความชื้นก่อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมงก่อนเปิดเครื่องปรับอากาศ

การพัฒนาชุดทดลองการประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ชุดดูดซับความชื้นโดยใช้สารละลาย LiCl และสารละลาย CaCl_2 เป็นตัวดูดซับ ยังมีข้อจำกัดในการทดลองอยู่หลายประการ เช่น ยังไม่มีระบบคืนสภาพสารละลายต้องใช้วิธีระเหยน้ำด้วยความร้อนเพื่อคืนสภาพสารละลาย ยังไม่ได้ศึกษาเกี่ยวกับระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับความชื้นจากอากาศ ดังนั้นควรมีการทดลองเพิ่ม เพื่อเห็นผลในการประหยัดพลังงานชัดเจนมากยิ่งขึ้น เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับสาร CaCl_2 บริสุทธิ์ร้อยละ 74 และยังไม่ได้ทำการทดลองกับสารละลาย CaCl_2 ที่มีความบริสุทธิ์ที่สูงกว่า และจากงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพียงสารละลาย LiCl และ CaCl_2 และยังไม่ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบกับสารละลายชนิดอื่น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทางการเงินจากทุนวิจัยพื้นฐาน (fundamental fund) ประจำปี 2567 หมายเลขทุน FF67/P1-094 จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) โดยมี สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (สกว.) เป็นผู้บริหารจัดการ

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ ภาควิชาเทคโนโลยีเพื่ออุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่และสิ่งอำนวยความสะดวกที่จำเป็นสำหรับงานวิจัยนี้ระบุดึงแหล่งทุนสนับสนุนการวิจัยและความช่วยเหลือที่ได้รับ



References

- Attia, A., A. Teamah, M., M. El-Maghlany, W., & El-Saharty, A. E. (2018). Theory and applications. In Z. Saghir (Ed.), *ICTEA: International Conference on Thermal Engineering* (pp. 1–4). Toronto Metropolitan University.
- Bouzenada, S., Kaabi, A. N., Frainkin, L., Salmon, T., & Léonard, A. (2016). Experimental comparative study on lithium chloride and calcium chloride desiccants. *Procedia Computer Science*, 83, 718–725. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.162>
- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). *Heat and mass transfer: Fundamentals & applications*. McGraw-Hill Education.
- Chen, X., Riffat, S., Bai, H., Zheng, X., & Reay, D. (2020). Recent progress in liquid desiccant dehumidification and air-conditioning: A review, *Energy and Built Environment*, 1(1), 106–130. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2019.09.001>
- Conde, M. R. (2004). Properties of aqueous solutions of lithium and calcium chlorides: formulations for use in air conditioning equipment design. *International Journal of Thermal Sciences*, 43(4), 367–382. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2003.09.003>
- FlyCarpet Inc. (2024). *About Psychrometric Chart + Duct Calculator*. <https://www.flycarpet.net/en/psychchart>
- Electricity Generating Authority of Thailand [EGAT]. (2025). *Annual report 2024* [In Thai]. https://www.egat.co.th/home/wp-content/uploads/2025/04/EGAT-AR_TH_2024_250411.pdf
- Kumar, K., Singh, A., Shaik, S., Saleel, C. A., Aabid, A., & Baig. M. (2022). Comparative analysis on dehumidification performance of KCOOH–LiCl Hybrid Liquid desiccant air-conditioning system: An Energy-Saving Approach. *Sustainability*, 14(6), 3441. <https://doi.org/10.3390/su14063441>

- Nachaisin, W., Niyomsin, S., Kerdlap, P., & Pongpakpian, S. (2023). Design of a rotary dehumidifier [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 17(2), 234–243.
<https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/262217>
- Meteorological Department. (2024). *Thailand weather* [In Thai]. <https://www.tmd.go.th/info/ภูมิอากาศของประเทศไทย-หน้า-2>
- Parakul, S., & Jaitrong, K. (2025). The development of a temperature and humidity control system in a split-type ceiling-suspended air conditioner to optimize energy usage in classrooms at Siam Technology College [In Thai]. *Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College*, 12(1), 72–80. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/JEET/article/view/262052>
- Shivaprasad, K. V., Roy, S., Giampieri, A., Smallbone, A., & Roskilly, A. P. (2025). Experimental and numerical investigation to optimise liquid desiccant system for advanced air conditioning. *Scientific Reports*, 15(1), 7151. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88738-2>
- Swangphol, N., Bunyarittikit, S., Thipyophas, C., & Khwansuwan, P. (2024). Suitable tools for thermal comfort evaluation in air-conditioned exercise facilities [In Thai]. *Sarasatr: Journal of Architecture and Design*, 7(3), 622–635. <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/sarasatr/article/view/272300/183879>.
- The National Statistical Office [NSO]. (2025). *NSO data catalog* [In Thai]. <https://catalog.nso.go.th/dataset?groups=os-13>

