

ผลกระทบต่อการใช้งานของเครื่องปรับอากาศในบ้าน

เมื่อเพิ่มแผ่นกรองอากาศขั้นต้นที่มีประสิทธิภาพสูง สำหรับสภาพอากาศในเมืองไทย

บทคัดย่อ

ปัจจุบันนี้ได้มีการใส่แผ่นกรองอากาศเพิ่มเข้าไปในเครื่องปรับอากาศตามบ้าน นอกเหนือจากที่ติดมากับเครื่องปรับอากาศในประเทศไทยเพื่อกรองฝุ่นละอองขนาดเล็ก ซึ่งต่างก็เกิดปัญหาเรื่องความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลดลงโดยยังไม่มีทดสอบในสภาพบรรยากาศจริง จึงได้มีคณะนักวิชาการทำการทดสอบผลของการใส่แผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพที่สูงขึ้นในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนภายใต้สภาวะอากาศของประเทศไทยโดยคณะวิชาการจากมหาวิทยาลัยบูรพา ได้ทำการทดสอบเครื่องปรับอากาศในแง่ต่าง ๆ ดังนี้ คือ ด้านความสามารถในการทำความเย็น(Cooling Capacity) การใช้พลังงาน(Power Consumption) ประสิทธิภาพด้านพลังงาน (Energy Efficiency Ratio-EER) Sensible Heat Ratio (SHR) โดยแบ่งการทดสอบเป็น 3 รูปแบบ คือ ติดตั้งแผ่นกรองอากาศตามปกติ เพิ่มแผ่นกรองอากาศไม่เต็มพื้นที่ และ เพิ่มแผ่นกรองอากาศเต็มพื้นที่ ผลการทดสอบ คือ สามารถลดความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กได้ปานกลาง(Moderate) เมื่อติดตั้งแผ่นกรองอากาศเพิ่มเติมพื้นที่ ประสิทธิภาพการทำความเย็นลดลง 16.5%, อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานลดลง 13.24% เวลาในการทำความเย็นของเครื่องต้องยาวนานขึ้นเนื่องจากประสิทธิภาพในการทำความเย็นลดลง จึงทำให้ต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น SHR ของเครื่องปรับอากาศลดลง 42% เพราะการเพิ่มอัตราการลดความชื้น (Dehumidification) การติดตั้งแผ่นกรองเพิ่มเพียงบางส่วนแทบจะไม่ได้ช่วยกรองอากาศ แต่กลับมีผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็นและ EER

1.บทนำ

ในประเทศไทยเริ่มสังเกตเห็นถึงการป้องกันฝุ่นละอองขนาดเล็กจากนอกรอกรเข้าสู่บ้านพักอาศัย โดยเฉพาะฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM 2.5) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ, แต่เกิดขึ้นเป็นฤดูกาลและชั่วคราว นักวิจัยได้ชี้ให้เห็นว่าระดับความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ในอากาศระหว่างเดือนตุลาคมถึงเมษายนของทุกปีจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ของท้องถิ่นคือ 50 ไมโครกรัม/ลบ.เมตร ($\mu\text{g}/\text{Cu.M}$) [1] ในปี พ.ศ.2519 ความต้องการเครื่องฟอกอากาศมีเกินกว่าปริมาณการผลิต คนส่วนมากยอมจ่ายเงินเพิ่มเพื่อรักษาคุณภาพอากาศในอาคาร ทั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ ค่าไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาแผ่นกรองอากาศรายปี ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาแผ่นกรองอากาศต่อปีสูงมาก เพราะเครื่องฟอกอากาศเป็นแบบทำเฉพาะ ดังนั้นจึงได้มีการใช้แผ่นกรองอากาศแผ่นบางเพิ่มเข้าไปในเครื่องปรับอากาศ ซึ่งจำหน่ายเป็นตารางเมตร สามารถติดเข้ากับเครื่องปรับอากาศในตำแหน่งที่กำหนดโดยไม่ต้องแก้ไขเครื่องปรับอากาศได้ แต่มีผลย้อนกลับอย่างไม่เป็นทางการถึงผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่ลดความรู้สึกสบาย(Comfort) และคุณภาพอากาศในอาคารลง รวมถึงความยากในการเปลี่ยนแผ่นกรองอากาศ ตลอดจนมีการแนะนำให้ติดตั้งเพียงบางส่วนขอบพื้นที่คอยล์ อย่างไรก็ตาม ที่ผ่านมายังไม่มีการศึกษาถึงผลกระทบที่แท้จริง

แผ่นกรองอากาศในห้องตลาดโดยทั่วไปมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ ทางกล (Mechanical) ; แผ่นหยัก (Pleated); และอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics): แผ่นกรองอากาศทางกลเป็นแผ่นกรองที่ใช้กันทั่วสำหรับเครื่องปรับอากาศตามบ้านทำด้วยใยสังเคราะห์หรือใยแก้ว มาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศในการกรองฝุ่นจะอิงมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 52.2-2017 [3] เป็นมาตรฐานในการทดสอบเพื่อหาค่าประสิทธิภาพต่ำสุดในการทดสอบ (MERV-Minimum Efficiency Reporting Value) ณ ปริมาณลมและแรงดันทานของแผ่นกรองอากาศที่ทดสอบ ประสิทธิภาพตั้งแต่ MERV11 ขึ้นไป[4,5] ถือเป็นแผ่นกรองขั้นต้นที่มีประสิทธิภาพสูง ตามมาตรฐานคุณภาพอากาศในอาคาร ASHRAE 62.1-2019 [6] แนะนำให้ใช้แผ่นกรองอากาศที่ประสิทธิภาพในการกรองระดับ MERV8 ในการกรองฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ($\leq \text{PM } 10$) และใช้ MERV 11 ในการกรองฝุ่นขนาด ≤ 2.5

ไมครอน (PM 2.5) ดังนั้นจึงได้มีการติดตั้งแผ่นกรองที่ประสิทธิภาพ MERV 11 หรือ สูงกว่า เพื่อกรองฝุ่น PM 2.5 และ PM 10. ยิ่งมีการติดตั้งแผ่นกรองอากาศที่ประสิทธิภาพสูงขึ้น ยิ่งมีผลกระทบต่อกราฟความสัมพันธ์ของระบบ คือ ทำให้ปริมาณลมของระบบลดลง[7]

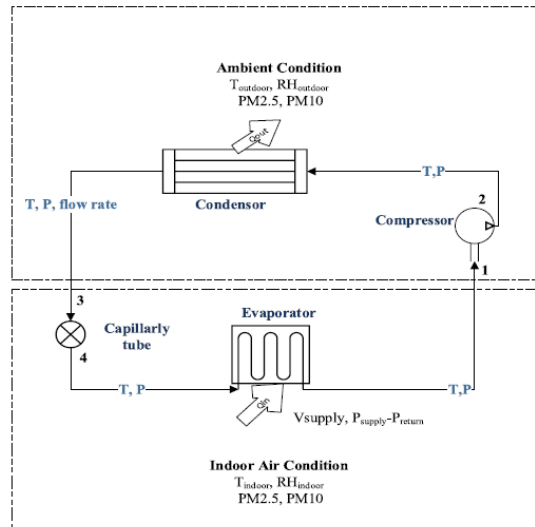


Fig. 1. Setup of experimental apparatus.

แผ่นกรองอากาศมีประโยชน์ในการป้องกันเครื่องปรับอากาศไม่ให้เสียหายหรือฝุ่นมาอุดตันทำให้แผงทำความเย็น (Cooling Coil) สกปรก [2,4,8] ประสิทธิภาพของระบบเกิดจากการลดความสกปรกของแผงทำความเย็น Fenaughty และ Parker[8] ได้ทำการประเมินผลเชิงประจักษ์ตลอดระยะเวลา 2-5 ปี ของเครื่องปรับอากาศ/บิ๊มน้ำร้อนในฟลอริดา และพบว่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศจะลดลงปี 3.7% ต่อปี เมื่อเทียบความสกปรกที่เพิ่มขึ้น 0.3% ต่อปี Seigel et al[4] รายงานว่า การติดตั้งแผ่นกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จะช่วยขยายระยะเวลาที่จะทำให้เครื่องระเหย (Evaporator) สกปรก

ในอีกด้านหนึ่ง การเพิ่มแผ่นกรองประสิทธิภาพสูงจะเพิ่มแรงต้านทานของระบบทำให้ปริมาณลมที่ Evaporator ลดลง ส่งผลให้ปริมาณลมเย็นลดลงตลอดจนถึงลดความสามารถในการทำความเย็นและการประหยัดพลังงาน[2,5,7,9] ยิ่งกว่านั้นหากสกปรกและแรงต้านทานสูงตลอดระยะเวลาการใช้งาน ย่อมทำให้พลังงานของระบบสูงขึ้น[2,4,7-9] ในสหรัฐอเมริกาบทความของ Stephen et al [5,7] และ Kruger[2] ได้ทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกรองเสริมหากลดปริมาณลมที่เข้าเครื่องปรับอากาศลง ได้ทำการเปรียบเทียบโดยใช้ Thermostatic-expansion-valve (TXV) และ short-tube-orifice-valve ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน/ระบบ Heat pump ภายใต้การลดปริมาณลมที่ Evaporator [2] พบว่า เมื่อลดปริมาณลมลง 10% จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในทำความเย็นเล็กน้อย แต่ถ้าหากลดปริมาณลมลงถึง 50% จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำความเย็นลดลง 15% และ 14% ตามลำดับที่ TXV ในขณะที่ระบบควบคุมโดย Orifice valve จะลดลงมากกว่า Palani et al.[10] ได้ทำการศึกษาทดสอบถึงการลดลงของผลการทำงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนแบบ 3 ตันทำความเย็น ตามที่พิกอาศัยโดยลดปริมาณลมที่ evaporator ในสหรัฐอเมริกา เมื่อลดความเร็วลมลง 25-90%ซึ่งต่ำกว่าค่าที่กำหนดและเสนอแนะจากโรงงาน ส่งผลให้ค่า EER ลดลง 4.2% - 71.14%, ค่าพลังงาน 3.54-17.22%, ความสามารถในการทำความเย็นลดลง 7.51%-76.11% เพื่อที่จะรักษาให้มีความเย็นเพียงพอ จะต้องจ่ายลมไม่น้อยกว่า 50% ของปริมาณลมที่จำเป็น เนื่องจากความสามารถในการทำความเย็นลดลง เครื่องปรับอากาศจึงต้องทำงานยาวนานขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับภาระการทำความเย็น[11] Sensible heat อาจลดลง 12% [12] อุณหภูมิที่ผิวแผงทำความเย็นลดลงอันเนื่องมาจากความเร็วลมต่ำลง[11] สถานการณ์นี้ก่อให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำที่ถึงจุดควบแน่น (Dew Point)[13]

แม้ว่าระบบปรับอากาศที่สบาย (Comfort Air Conditioning) จะเหมือนกันทุกที่ แต่การใช้พลังงานสำหรับระบบปรับอากาศก็แตกต่างกันตามพื้นที่อันเนื่องมาจากภูมิอากาศที่แตกต่างกัน สำหรับประเทศไทยที่อยู่ในเขตร้อนชื้น พลังงานสำหรับระบบปรับอากาศสูงถึง 60% ของ

พลังงานที่ใช้สำหรับอาคาร[14] ส่วนใหญ่ของระบบปรับอากาศตามบ้านพักอาศัยและอาคารพาณิชย์ล้วนแล้วแต่ติดตั้งเพื่อการทำความเย็นเฉพาะ เป้าหมายในการทดสอบครั้งนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับบทความที่อ้างถึงข้างต้น ต่างกันที่ภูมิภาค เพียงแต่การทดสอบจะทำในห้องทำความเย็นขนาดเล็กภายใต้ภูมิอากาศของไทย เครื่องปรับอากาศสำหรับห้องพักที่ขายในเมืองไทยไม่ได้ทำไว้สำหรับติดตั้งแผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูงเพื่อกรองฝุ่น PM2.5 และ PM10 ภายในห้อง ดังนั้นการใส่แผ่นกรองเพิ่ม จึงเป็นการเพิ่มแรงต้านทานก่อนเข้าแผงทำความเย็น ย่อมมีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบผลกระทบของแผ่นกรองเพื่อให้เกิดความกระจ่าง รายงานนี้จะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของแผ่นกรองอากาศชนิดที่ชาร์จประจุไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Filter) MERV11 ทั้งในแง่ของการติดตั้งเต็มพื้นที่และเพียงบางส่วนที่ด้านลมกลับของเครื่องปรับอากาศ โดยศึกษาถึงผลกระทบทางด้านความสามารถในการทำความเย็น, การใช้พลังงาน, System EER และ Sensible Heat Ratio.

2. ขั้นตอนและการกำหนดวิธีการทดลอง

การทดลองดำเนินการภายในห้องทำความเย็นโดยมีภาระทำความเย็น (Cooling Load) ประมาณ 1 ตันทำความเย็น ในสภาพอากาศของจังหวัดชลบุรี (พิกัด 13°6'25.1" N 100°55'30.7") ขนาดห้อง ยาว 5.1 m. x กว้าง 3.7 m. x สูง 2.9 m. ผนังด้านติดนอกอาคารเป็นผนังอิฐหนา 20 cm. ขนาดกว้าง 3.7 m. x สูง 2.9 m. มีพื้นที่หน้าต่างกระจกอยู่ 30% ส่วนผนังอีก 3 ด้านที่ติดกับห้องอื่นเป็นผนังยิปซัมมีพื้นที่หน้าต่างกระจก 20%

Figure 1(ภาพที่ 1) แสดงให้เห็นถึงผังการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบ เครื่องปรับอากาศที่ทำการทดสอบเป็นแบบติดตั้งภายในห้อง Single-speed-R22-room-AC ขนาด 12,300 Btu/h, กำลังไฟเข้า (Power input) 1.043 Kw., ค่า EER 11.77 Btu/Wh โดยอ้างอิงอากาศภายในห้องที่ 27° CDB/19° C WB. อากาศภายนอก 35° C DB/24° C WB และปริมาณลมสูงสุด 9.9 ลบ.เมตร/นาที [15] ได้ติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มล่วงหน้าแบบ Capillary

Table 1
Descriptions of located measuring devices.

Location	Quantity	Units	Instrument	Range
Discharge line	Pressure	kPa	Pressure transducer	0–2000 kPa
Liquid line	Pressure	kPa	Pressure transducer	0–2000 kPa
Before expansion	Pressure	kPa	Pressure transducer	0–2000 kPa
After expansion	Pressure	kPa	Pressure transducer	0–2000 kPa
Discharge line	Temperature	°C	NTC thermister	10 kOhm
Liquid line	Temperature	°C	NTC thermister	10 kOhm
Before expansion	Temperature	°C	NTC thermister	10 kOhm
After expansion	Temperature	°C	NTC thermister	10 kOhm
Indoor air	Dry bulb temperature	°C	NTC thermister	10 kOhm
Outdoor air	Dry bulb temperature	°C	NTC thermister	10 kOhm
Indoor air	Relative humidity	%	RH sensor	
Outdoor air	Relative humidity	%	RH sensor	
Liquid line	Refrigerant flow	L/min	volume flow meter	0–2.4 L/min
Indoor	PM2.5	µg/m ³	Broad air quality meter	
Outdoor	PM2.5	µg/m ³	Broad air quality meter	
Indoor	PM10	µg/m ³	Broad air quality meter	
Outdoor	PM10	µg/m ³	Broad air quality meter	
Supply air indoor	Velocity	m/s	Vane anemometer	0.4–30 m/s ±(0.2 m/s + 2% of mv) –20 to +60 °C (±0.5 °C)
Supply/Return air	Differential pressure	mbar	Differential pressure (internal sensor) - piezoresistive	–150 to +150 hPa, (±0.05 hPa)
Power supply	Total power	Watts	Recorded Watt-meter	0–2 kW
Liquid line	Volume flow rate	L/min	Purge meter	0–2.4 L/min

ได้ติดตั้งเครื่องมือวัดต่างๆ ตามตารางที่ 1 (Table 1) ในการทดลอง เครื่องมือในการวัดฝุ่นละออง เป็นเครื่องวัดคุณภาพอากาศที่สามารถตรวจจับคุณภาพอากาศและความเข้มข้นของฝุ่น PM 2.5 และ PM10 ในอากาศ เครื่องวัดเป็นแบบใช้แสงเลเซอร์พร้อมพัดลมดูดตัวอย่าง โดย

ตั้งค่าเป็นชุดการวัดครั้งละ 30 วินาที ค่าเบี่ยงเบน 10% หยุดห่างช่วงละ 10 นาที ในแต่ละวันและเวลาเดียวกัน ด้านการทำความเย็น จะทำการวัดด้านอุณหภูมิและแรงต้านทานเป็นจุดตลอดแนวของเครื่องทำความเย็น โดยใช้ เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC และ Pressure Transducer ตามที่อ้างถึงในภาพ 1(Figure 1) อุณหภูมิของการระเหย (Evaporation) และการควบแน่น (Condensation) ได้มาจากการวัดความดันที่ระเหย (Evaporate Pressure) ปริมาณการไหลของน้ำยาทำความเย็นใช้เครื่อง Purge Meter ที่ท่อน้ำยา มีการตั้งเวลาการวัดปริมาณลมที่จ่ายและความดันต่างระหว่างด้านลมจ่ายและลมกลับของ Evaporator ทุกนาที โดยใช้เครื่องวัดลมแบบใบพัด (Vane Anemometer) แบบบันทึกได้ และ Piezoresistive sensor. ตั้งความเร็วรอบของพัดลมที่ Evaporator ไว้สูงสุดตลอดระยะเวลาที่ทำการวัด

ทำการติดตั้งแผ่นกรองอากาศใยไฟฟัสติกส์ MERV11 แผ่นใหม่สะอาด ที่ด้านลมกลับของ Evaporator ในที่นี้ การวัดในวันทำงานปกติหมายถึงการใช้แผ่นกรอง 0% ในวันที่ติดตั้งแผ่นกรองบางส่วน 50% หมายถึงมีแผ่นกรองอยู่ 50% และในวันที่ 100% หมายถึง วันที่ติดตั้งแผ่นกรอง เต็มพื้นที่ 100% เนื่องจากการทดสอบในแต่ละวัน เพื่อหาประสิทธิภาพการกรองฝุ่นของแผ่นกรองอากาศในการกรองฝุ่น PM2.5 และ PM10 โดยประเมินในเรื่องต่างๆ เช่น อัตราส่วนก้าวหน้า (Percentage of Progression) โดยคำนวณจากปริมาณฝุ่น PM2.5 และ PM10 ในห้องปรับอากาศเทียบกับปริมาณฝุ่นตอนต้นภายนอกอาคาร, ประสิทธิภาพการทำความเย็น (Cooling Capacity), การใช้พลังงาน, อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER-Energy Efficiency Ratio), อัตราส่วนความร้อนที่รู้สึกได้ (SHR-Sensible Heat Ratio) ตัวแปรเหล่านี้ นำมาใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศและอัตราการลดความชื้น (Dehumidification) สำหรับการทดสอบแต่ละครั้ง

การกำหนดประสิทธิภาพสุทธิของการทำความเย็นโดยไม่มีกล่องลมปรับแรงดัน (Plenum) จะก่อให้เกิดปัญหาปริมาณลมผันผวนสูงทั้งที่ด้านหน้าลมจ่ายและลมกลับ การวัดประสิทธิภาพการทำความเย็น (Cooling Capacity) ที่ด้านหน้าของลมจ่ายและลมกลับของเครื่องปรับอากาศของทดสอบคำนวณได้จากการคูณอัตราส่วนปริมาณสารทำความเย็นกับค่าการเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปี (Enthalpy Change) ของสารทำความเย็นที่เครื่องระเหย (Evaporator) โดยได้ค่าจากจุดวัดอุณหภูมิแต่ละจุด กับ แรงดันภายในท่อทำความเย็น ดังนั้นข้อสังเกตประสิทธิภาพการทำความเย็นสุทธิ (Net Cooling Capacity) ที่ลมภายในควรลดลง เนื่องจากความสามารถในการถ่ายเทความร้อนลดลง และเกิดความร้อนขึ้นที่พัดลมและมอเตอร์ของส่วนทำความเย็น ซึ่งต่ำกว่าค่าที่ได้มาจากส่วนของน้ำยาทำความเย็น

ในเมืองไทยจะคุ้นเคยกับค่า EER ในหน่วย Btu/Wh ซึ่งคล้ายกับค่าสัมประสิทธิ์การทำงาน (Coefficient of Performance) เพียงต่างกันที่หน่วยที่แสดงค่าเป็น Btu/h, ค่าพลังงานที่จ่ายเข้า (Power Input-วัดที่ W_{in}) อัตราการใช้พลังงานทั้งหมด ณ ที่นี้ ใช้เครื่องวัด วัดมิเตอร์ ทำการวัดและบันทึกค่าไว้ทุกวินาที เกี่ยวกับพลังงานเข้าของระบบปรับอากาศ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ได้แก่ พัดลม และมอเตอร์ในระบบทั้งหมด จะต้องนำมารวมด้วย การใช้พลังงานรายชั่วโมงได้มาจากพื้นที่ของกราฟเวลาและพลังงาน (Power-Time Graph area)

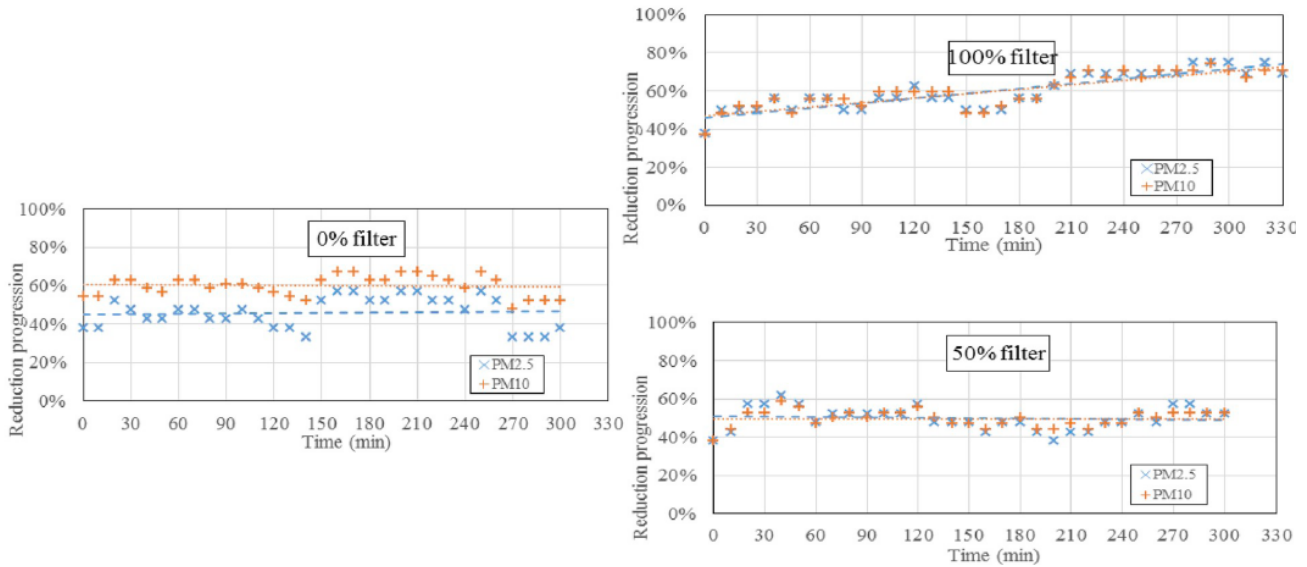


Fig. 2. Comparison of progression of PM2.5 and PM10 reduction 0% 50%, and 100% filter.

3. ผลการทดสอบและการอภิปราย

3.1. PM2.5 หรือ PM10

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศตาม Figure 1, ค่าของฝุ่น PM2.5 และ PM10 ที่วัดได้ทั้งภายนอกและภายในห้องปรับอากาศแต่ละวัน โดยเครื่องปรับอากาศเฉพาะที่ทำการติดตั้งแผ่นกรอง 0%, 50% และ 100% ภายใต้สภาพฝุ่นภายนอกอาคารต่างกัน อัตราส่วนความก้าวหน้าคำนวณจาก ค่าของฝุ่น PM2.5 และ PM10 ที่ภายในห้องปรับอากาศเทียบกับปริมาณฝุ่น PM2.5 และ PM10 เริ่มต้นที่ภายนอกอาคาร **ผลการทดสอบแสดงว่า ความสามารถในการลดฝุ่น PM2.5 และ PM10 จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ก้าวหน้าที่ต่อเมื่อมีการติดตั้งแผ่นกรองอากาศเต็มพื้นที่**

3.2. การปรับอากาศ

ทำการวัดสภาพอากาศทั้งภายในและภายนอก โดยผลการทดสอบในรูปแบบการใช้งานปกติ, บางส่วน และ การติดตั้งแผ่นกรองอากาศเต็มพื้นที่ตามที่บันทึกค่าไว้ใน Figure 3 รวมทั้งมาตรฐานการออกแบบภายนอกและในอาคารที่กำหนดโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) เป็นที่ประจักษ์ว่าสภาพอากาศภายนอกอาคารที่ทำการทดลองในครั้งนี้ครอบคลุมถึงจุดที่ความชื้นสูงในจังหวัดชลบุรี [15] ในกรุงเทพฯ (13.73N, 100.57E, 20-m เหนือระดับน้ำทะเล) สภาพอากาศมาตรฐานภายนอกสำหรับการออกแบบ คือ 37.5°C DB และ 26.4°C MCWB (0.4%); 35°C DB และ 26.4°C MCWB (1%), และ 34.4°C DB และ 26.2°C MCWB (2%). ในจังหวัดชลบุรี (13.73 N, 100.98E, 2-m เหนือระดับน้ำทะเล) ค่าเหล่านี้คือ 35.7°C DB และ 26.4°C MCWB (0.4%), 35°C DB และ 26.4°C MCWB (1%), 34.4°C DB และ 26.2°C MCWB (2%) มาตรฐานของอากาศภายนอกและภายในสำหรับการทดสอบเครื่องปรับอากาศในโรงงาน [16] เป็นไปตามระดับความสบาย (Comfort Zone) ที่กำหนดโดย ASHRAE 55-2004 [17] เช่น 22°C – 26°C อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (T_{db}), ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 30% - 70% (RH)

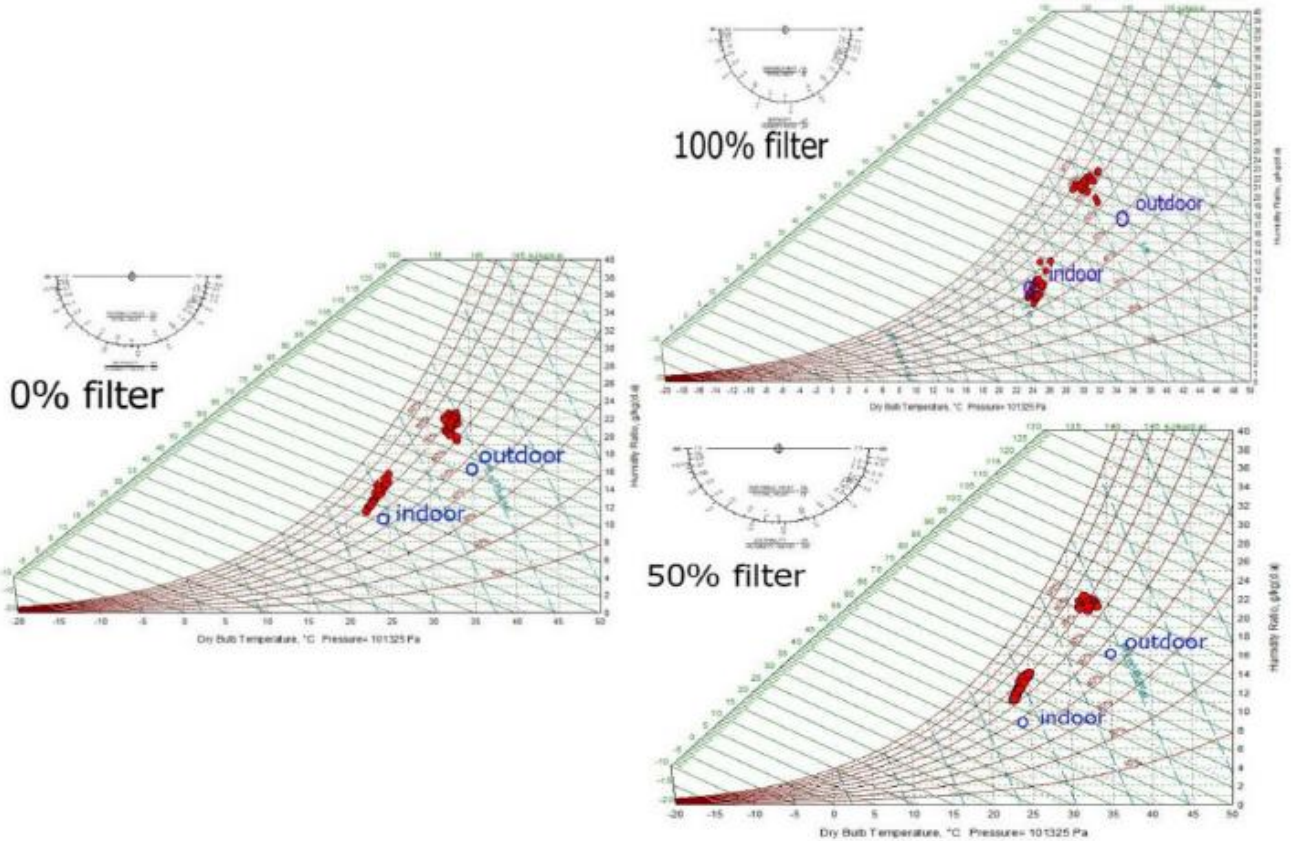


Fig. 3. Indoor and outdoor conditions (Psychrometric chart from [18])

อากาศเฉลี่ยภายนอกอาคารในการใช้งานปกติ คือ $32.75^{\circ}\text{C DB}/67.42\% \text{ RH}$, $32.32^{\circ}\text{C DB}/69.43\% \text{ RH}$ เมื่อติดตั้งแผ่นกรองเพียงบางส่วน, และ $30.96^{\circ}\text{C DB}/74.7\% \text{ RH}$ เมื่อติดตั้งแผ่นกรองเต็มพื้นที่ ค่าเอนทัลปีภายนอกเฉลี่ย คือ 87.28 kJ/kg . ตามวันใช้งานปกติ และ 85.49 kJ/kg . ในวันที่ติดตั้งแผ่นกรอง 100%, การปรับอากาศภายใน ค่าเฉลี่ย คือ $23.88^{\circ}\text{C DB}/71.8\% \text{ RH}$ เมื่อเดินเครื่องตามปกติ, $23.83^{\circ}\text{C DB}/67.30\% \text{ RH}$ เมื่อติดตั้งแผ่นกรองบางส่วน และ $24.91^{\circ}\text{C DB}/44.91\% \text{ RH}$ เมื่อติดตั้งแผ่นกรองเต็มพื้นที่ ค่าเอนทัลปีของอากาศภายใน คือ 58.03 kJ/kg . ในการใช้งานปกติ และ 50.77 kJ/kg ของวันที่ติดตั้งแผ่นกรองเต็มพื้นที่

จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของสภาวะอากาศจริงภายนอกจะมีค่าใกล้เคียงกันแทบทุกกรณี แต่ในกรณีของอากาศภายในอาคารจะแตกต่างกันไปตามพื้นที่ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้ว อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายนอกในวันที่ติดตั้งแผ่นกรองเต็มจะต่ำกว่า 1.79°C แต่อุณหภูมิเฉลี่ยในวันที่ติดตั้งแผ่นกรองเต็มจะสูงกว่าที่ใช้งานปกติอยู่ 1.03°C ความแตกต่างระหว่างค่าเอนทัลปีของภายนอกและภายในจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ติดตั้งแผ่นกรองเต็มพื้นที่ ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ภายในจะพบว่าลดลง เส้นความชื้นระหว่างอากาศภายในและภายนอกแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งแผ่นกรองอากาศจะลด SHR จาก 0.31 ในการใช้งานปกติ เป็น 0.28 เมื่อติดตั้งบางส่วน และ เหลือ 0.18 เมื่อติดตั้งเต็มพื้นที่

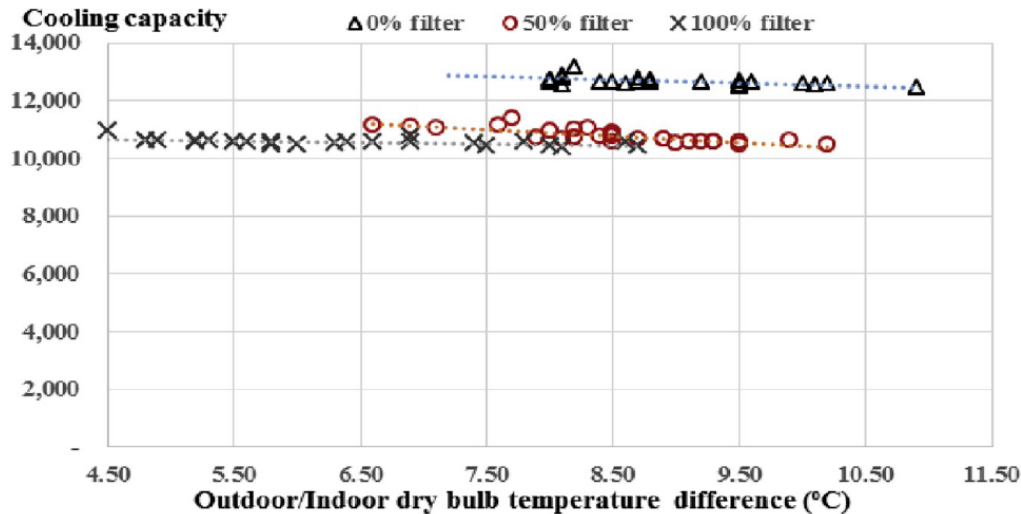


Fig. 4. Cooling capacity at 0%, 50%, and 100% filter applied vs. outdoor/indoor dry bulb temperature difference.

3.3. การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิการระเหยและการควบแน่น (Shift in evaporation and condensing temperature)

การใส่แผ่นกรองอากาศเป็นสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิในการระเหยลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะ อุณหภูมิในการระเหยจะอยู่ที่ 13.46°C เมื่อไม่มีแผ่นกรองอากาศ และลดลง 1.55°C ไปเป็น 11.91°C เมื่อติดตั้งแผ่นกรอง 50% และลดลงอย่างมากถึง 8.23°C เมื่อใส่แผ่นกรองเต็มพื้นที่

อุณหภูมิการควบแน่นลดลงเล็กน้อยในวันที่ติดตั้งแผ่นกรอง เมื่อเดินเครื่องปกติ อุณหภูมิควบแน่นเฉลี่ยของสารทำความเย็น (Refrigerant) คือ 42.10°C เมื่อติดตั้งแผ่นกรอง 50% จะลดลงอีก 1.96°C, เมื่อใส่แผ่นกรองเต็มอุณหภูมิจะลดลง 2.18°C

เมื่อพิจารณาถึงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิกะเปาะแห้งเพราะการลดลงของอุณหภูมิกะระเหย ในกรณีเช่นนี้จึงอาจคาดได้ว่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่คอยล์ระเหย (Evaporative coil) และ อากาศภายในห้อง จะเพิ่มขึ้นโดยติดตั้งแผ่นกรองอากาศ

3.4. ปริมาณลมที่เครื่องระเหยและแรงดันลด (Evaporator air flow and pressure loss)

ผลการวัดแสดงให้เห็นว่า ความเร็วลมเฉลี่ย 5.73 m/s เมื่อใช้งานปกติ เทียบความเร็วลมที่ลดลงไปที่ 4.43 m/s เมื่อติดตั้งแผ่นกรอง 50% เมื่อติดตั้งแผ่นกรอง 100% ความเร็วลดลงเหลือ 0.53 m/s ซึ่งสอดคล้องกับสูตรคำนวณแรงต้านทานลดโดยใช้อัตราส่วนปริมาณลมยกกำลังสอง ภายใต้การทำงานปกติแรงต้านทานต่างเฉลี่ยที่คอยล์ระเหยเท่ากับ 0.28 mbar เมื่อใส่แผ่นกรองอากาศเต็มพื้นที่ แรงต้านทานจะสูงขึ้นและเกิดความผันผวนมากยิ่งขึ้น

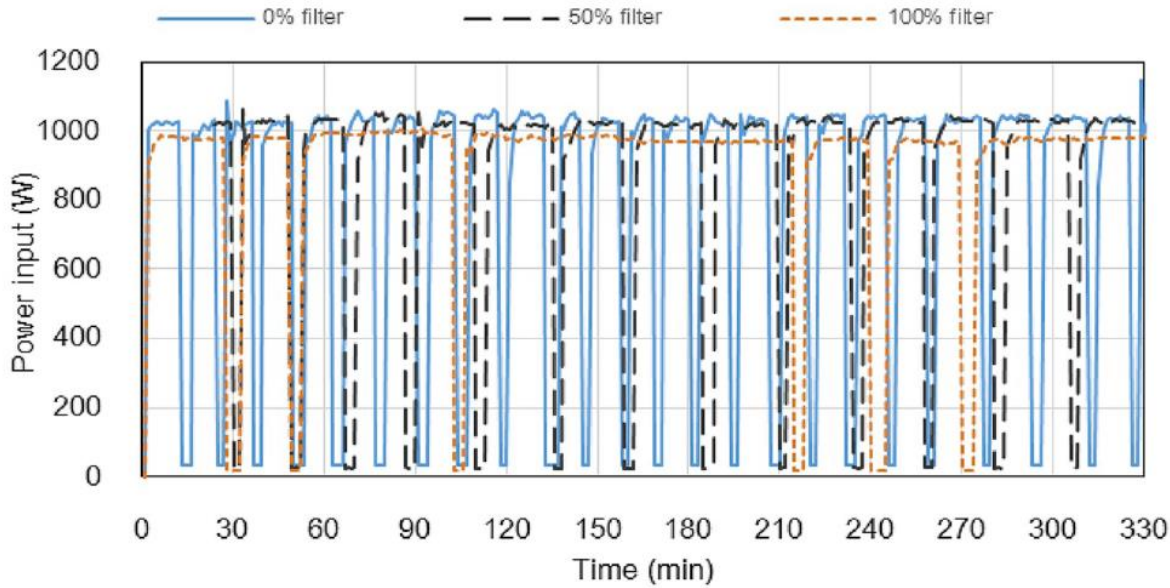


Fig. 5. System power profile at 0%, 50%, and 100% filter applied.

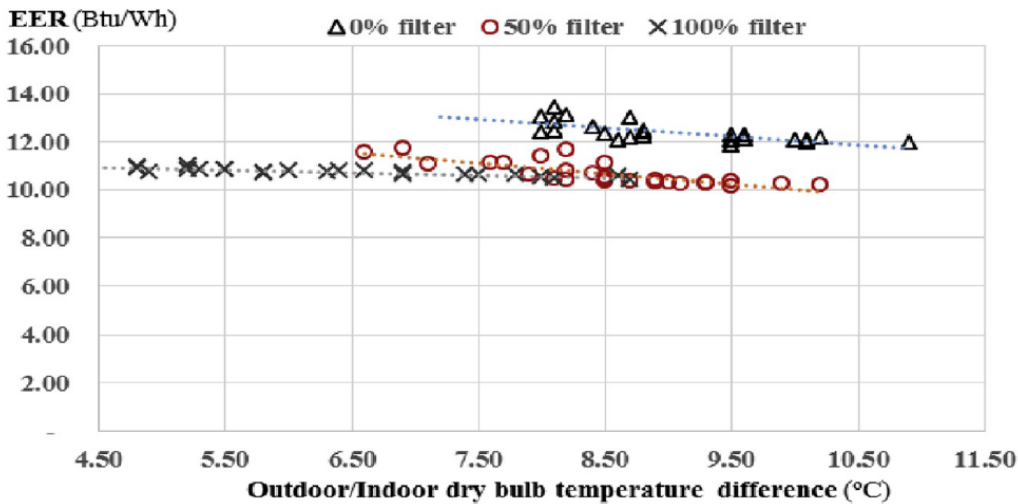


Fig. 6. EER at 0%, 50%, and 100% filter applied vs. outdoor/indoor dry bulb temperature difference.

3.5. ความสามารถในการทำความเย็น(Cooling Capacity),การใช้พลังงาน(Power consumption), ประสิทธิภาพ(Performance)

การลดความเร็วลมที่ผ่านคอยล์เย็นจะมีผลโดยตรงต่อค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อน (Heat-transfer coefficient) ทำให้ความสามารถในการทำความเย็นลดลงในที่สุด Figure 4, แสดงให้เห็นถึงผลของความสามารถในการทำความเย็นของระบบเมื่อติดแผ่นกรอง 0%, 50% และ 100% ที่ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่ภายในและภายนอกห้อง จากความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกัน ความสามารถในการทำความเย็นลดลงจาก 12,656 เป็น 10,778 Btu/h กรณีติดแผ่นกรอง 50%, และลดลงไปอีกถึง 10,568 Btu/h เมื่อติดแผ่นกรอง 100% อย่างไรก็ตาม ในช่วงความต่างของอุณหภูมิเดียวกัน ผลแสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการทำความเย็นเมื่อติดแผ่นกรองบางส่วนกับเติมพื้นที่นั้นไม่ต่างกันนัก

Figure5, แสดงให้เห็นถึงการใช้พลังงานของระบบ เมื่อใช้งานปกติ, ติดแผ่นกรองบางส่วน, และเติมพื้นที่ โดยเฉลี่ยแล้ว ใช้พลังงาน 1,024 w เมื่อใช้งานปกติ, 1,018 w, เมื่อติดแผ่นกรอง 50%, และ 967 w เมื่อติดแผ่นกรอง 100%, ช่วงที่ติดแผ่นกรอง ระบบจะทำงานยาวนานกว่าเดิม

ผลก็คือ การใช้พลังงานจะสูงขึ้นเมื่อมีการใช้แผ่นกรอง เวลาในการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 15% จาก 0.777 kWh ใช้งานปกติ ไปเป็น 0.894 kWh เมื่อติดตั้งแผ่นกรอง 100% ในขณะที่ติดตั้งแผ่นกรอง 50% การใช้พลังงานเท่ากับ 0.865 kWh, 11% เพิ่มขึ้นจากการเปิดเครื่องปกติ

ประสิทธิภาพการทำงานของระบบจะแสดงให้เห็นใน Figure 6, ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่างของกระเปาะแห้งระหว่างบรรยากาศภายนอกกับภายใน เห็นได้ถึงค่าเฉลี่ยที่ลดลงจาก 12.39 Btu/Wh เมื่อไม่มีแผ่นกรอง ลงมาที่ 10.69 Btu/Wh ติดแผ่นกรอง 50% และ 10.75 Btu/Wh เมื่อติดตั้งแผ่นกรอง 100% อย่างไรก็ตาม ในช่วงอุณหภูมิเดียวกัน ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องไม่ต่างกันสำหรับการติดตั้งแผ่นกรองบางส่วนและเต็มพื้นที่

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลของการติดตั้งแผ่นกรอง MERV11 บางส่วนและเต็มพื้นที่ที่เครื่องปรับอากาศขนาดเล็กในห้อง สำหรับสภาพอากาศร้อนชื้นในเมืองไทย เป็นไปตามข้อสรุปดังต่อไปนี้

- ความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 และ PM10 ภายในห้องสามารถลดลงอย่างต่อเนื่อง (Progressively reduced) เมื่อติดตั้งแผ่นกรอง MERV11 เต็มพื้นที่
- แผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพที่สูงขึ้นจะลดความสามารถในการจ่ายลมอย่างมาก และ ทำให้เพิ่มแรงต้านทาน ทำให้ลมจ่ายเกิดความผันผวนสูง
- ความสามารถในการทำความเย็นลดลงทั้งในการเสริมแผ่นกรองบางส่วนหรือเต็มพื้นที่
- การใช้พลังงานของระบบในบางขอบเขตลดลง แต่ระยะเวลาการทำงานของระบบยาวนานขึ้นส่งผลให้การใช้พลังงานสูงขึ้น
- พบว่าค่า EER ของระบบลดลง
- พบว่าค่า SHR ของระบบลดลง การลดความชื้นทำได้มากขึ้น อันเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่ผิวเครื่องระเหย (Evaporator) ลดลง ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดกลั่นตัว (Dew Point)

เนื่องจากความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ในเมืองไทยเป็นเพียงเฉพาะฤดูกาล ดังนั้นการติดตั้งแผ่นกรองเพิ่มจึงทำได้ง่ายกว่าและประหยัดกว่า อย่างไรก็ตาม ต้องแลกเปลี่ยนกับการใช้ไฟฟ้าเพิ่มของห้องที่ปรับอากาศร่วมกับต้องคอยเปลี่ยนแผ่นกรองอากาศตามข้อแนะนำการใช้งาน เนื่องจากการทดลองนี้ใช้แผ่นกรองที่ใหม่สะอาด อุณหภูมิที่เครื่องระเหยอาจลดลงเมื่อแผ่นกรองสกปรกมาก และอุณหภูมิจึงต่ำถึงจุดเยือกแข็งของน้ำที่กลั่นตัวในการใช้ระยะยาว เมื่อแผ่นกรองอากาศสกปรกและความเข้มข้นของ PM2.5 ลดลง ก็ให้ถอดผ้ายกรองออกเพื่อทำให้ความปรับอากาศสามารถทำงานได้ตามปกติ การลงทุนติดตั้งเครื่องฟอกอากาศต่างหากโดยติดตั้งแผ่นกรองอากาศที่ประสิทธิภาพสูงขึ้น ช่วยให้การบำรุงรักษาง่ายขึ้นเนื่องจากไม่ต้องเปลี่ยนแผ่นกรองอากาศบ่อย อย่างไรก็ตาม ก็มีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นทั้งค่าเครื่องฟอก ค่าแผ่นกรองอากาศเฉพาะเครื่อง และค่าไฟฟ้าที่สูงขึ้น

แถลงการณ์เรื่องผลประโยชน์ขัดแย้ง

ผู้เขียนขอประกาศว่าไม่มีเรื่องผลประโยชน์ขัดแย้งและความสัมพันธ์ส่วนตัวที่มีผลกระทบต่อรายงานฉบับนี้

บทแถลงบรรณาธิการ

Pawinee Suksuntornsiri: Conceptualization, Methodology, Writing - original draft, Writing - review & editing, Validation, Supervision.
Surachat Lek-ngam: Software, Data curation. **Paiboon Limpitpanich:** Investigation, Writing - review & editing, Validation.

กิตติกรรมประกาศ

บทวิจัยนี้ต่อเนื่องจากการศึกษาในครั้งก่อนซึ่งได้ดำเนินการโดยกลุ่มวิศวกรเครื่องกล ได้รับเงินทุนสนับสนุนการศึกษาจากมหาวิทยาลัยบูรพา กรมพัฒนาประสิทธิภาพและพลังงานทางเลือก บริษัท ไดกิ้นอุตสาหกรรม (ประเทศไทย) จำกัด และขอแสดงความซาบซึ้งอย่างสูงต่อ บริษัท อีซีเอส เอ็นเนอจี โซลูชั่น จำกัด, บริษัท ไทยเอ็นจิเนียริ่งสเปเชียลลิช จำกัด, บริษัท คาเรล (ประเทศไทย) จำกัด, และสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่มีส่วนสนับสนุนเครื่องมือการทดสอบ และขอแสดงความขอบคุณ คุณธนิต วรภิเษกวิญญูสุข คุณฤทธิไกร สุริยะลังกา, และคุณสุทธิชัย หลีดีประถม ที่มีส่วนในการก่อตั้งการวิจัยในครั้งนี้ บรรณาธิการขอขอบคุณ Enago(www.enago.com) ที่ตรวจร่างภาษาอังกฤษ

ภาคผนวก A ข้อมูลเพิ่มเติม

บทความหรือข้อมูลเพิ่มเติมสามารถหาได้ทางออนไลน์ที่ <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.1006604>

บรรณานุกรม

- [1] W. Attavanich, Thai social cost from air pollution and adaptive measure. www.pier.or.th accessed 20 March 2019.
- [2] A. Kruger, *Impact of Filter Loading on Residential HVAC Performance*, Thesis, Georgia Institute of Technology, 2013.
- [3] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), 2017. ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2017, Method of testing general ventilation air-cleaning devices for removal efficiency by particle size.
- [4] J. Siegel, I. Walker, M. Sherman, Dirty air conditioners: energy implications of coil fouling, in: Proceedings of the 2002 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, vol. 1, 2002, pp. 287–300, in: https://aceee.org/files/proceedings/2002/data/papers/SS02_Panel1_Paper23.pdf. accessed 20 March 2019.
- [5] B. Stephens, A. Novoselac, J.A. Siegel, Impacts of HVAC Filtration on Air-Conditioner Energy Consumption in Residences, A Paper Presented in the Proceedings of Healthy Buildings 2009, New York, USA, 2009.
- [6] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), 2019. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019, Ventilation for acceptable indoor air quality.
- [7] L. Yang, J.E. Braun, E.A. Groll, The impact of evaporator fouling and filtration on the performance of packaged air conditioners, *Int. J. Refrig.* 30 (2007) 506–514.
- [8] K. Fenaughty, D. Parker, Evaluation of Air Conditioning Performance Degradation: Opportunities from Diagnostic Methods, 2018. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, (2018) 1–1 to 1–10.
- [9] Proctor, Jpe, Residential AC filters, *ASHRAE J.* (October 2012) 92–93.
- [10] M. Palani, D. O’Neal, J. Haberi, The effects of reduced evaporator air flow on the performance of a residential central air conditioner, in: A Paper Presented in the Eighth Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates, Dallas, TX, 1992.
- [11] B. Stephens, J.A. Siegel, A. Novoselac, Operational characteristics of residential and light-commercial air-conditioning systems in a hot and humid climate zone, *Build. Environ.* 46 (2011) 1972–1983.
- [12] A.G. Rodriguez, D. O’Neal, M. Davis, S. Kondepudi, Effect of reduced evaporator airflow on the high temperature performance of air conditioners, *Energy Build.* 24 (1996) 195–201, [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)00976-0](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)00976-0).
- [13] S. Lek-ngam, P. Suksuntornsiri, J. Panyavaraporn, P. Limpitipanich, A study of parameters affecting the dirtiness of the performance signals of a room air conditioning unit, *Energy Procedia* 138 (2017) 181–186.
- [14] Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE), *Energy Conservation in Air Conditioning System*, Energy verification auditor, 2019.
- [15] The Engineering Institute of Thailand (Eit), *Standard for Air-Conditioning and Ventilation Systems*, fourth ed., 2016.

- [16] Daikin, FTE-N Series Catalogue, 2012. <https://www.aimarts.com/WebData/Catalog/daikin/FTE-N.pdf>. accessed 5 January 2019.
- [17] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) (2010), ANSI/ASHRAE Standard 55-2010, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- [18] Yaode Yang, Psychrometric chart. <http://www.flycarpet.net/en/PsyOnline> accessed 1 July 2019.