

การประยุกต์ใช้ท่อลมนวัตกรรมใหม่เพื่อเพิ่มศักยภาพการทำงานของระบบปรับอากาศ

APPLICATION OF INNOVATIVE AIR DUCT SYSTEM FOR ENERGY SAVING IN AIR-CONDITIONING SYSTEM

ภัทรมนตร์ ธนเดชา^{1*}

Pattaramon Tanadecha^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

¹Energy Engineering and Logistic Program, Faculty of Engineering and Technology, Siam Technology College

*Corresponding Author E-mail: pattaramont@siamtechno.ac.th

Received September 29, 2024; Revised November 6, 2024; Accepted November 8, 2024

บทคัดย่อ

ปัจจุบันนี้มนุษย์มีพฤติกรรมการดำเนินชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไป โดยพบว่ามนุษย์ส่วนใหญ่นิยมทำกิจกรรมอยู่ภายในอาคารเพิ่มมากขึ้น การใช้ระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นเพื่อให้เกิดความสบายจึงเป็นสิ่งสำคัญ สำหรับอาคารขนาดใหญ่วิศวกรผู้ออกแบบนิยมใช้ระบบปรับอากาศร่วมกับระบบท่อลมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งกระจายอากาศเข้าสู่พื้นที่ได้อย่างครอบคลุม การออกแบบท่อลมแบบดั้งเดิมมักผลิตจากวัสดุเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี แต่จากการใช้งานพบว่าท่อลมมีการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการถ่ายเทความร้อน ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีท่อลมนวัตกรรมใหม่ คือท่อลมแผ่นฉนวนสำเร็จรูปซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน งานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานในรูปของการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีความร้อนของระบบท่อลม ผลการวิเคราะห์พบว่าท่อลมแผ่นฉนวนสำเร็จรูปมีการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีความร้อนคิดเป็น 0.6 วัตต์ต่อตารางเมตร สามารถลดการสูญเสียพลังงานได้มากกว่าการใช้ท่อลมแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีคิดเป็นร้อยละ 35.29

คำสำคัญ: ระบบปรับอากาศ ระบบท่อลม พลังงาน การถ่ายเทความร้อน เอ็กเซอร์ยี

Abstract

Nowadays, people have changed their lifestyle behaviors. Most people increasingly prefer to do activities indoors, with using HVAC systems to achieve comfort is important. For large buildings, engineers often design the air-conditioning system with air ductwork to increase the efficiency of air distribution throughout the air-conditioned area. Traditional air ductworks are designed with galvanized steel sheets. But it has an energy loss due to the heat transfer. For this reason, there has been the development of innovative air duct technology called the Pre-insulated duct, which is an outstanding feature of heat insulation. This research analyzed the energy loss in terms of thermal exergy loss. The result shows that the Pre-insulated duct has thermal exergy losses of 0.6 W/m². It can reduce an energy consumption more than the use of the Galvanized steel duct, accounting for 35.29 percent.

Keywords: air-conditioning system, air ductworks, energy, heat transfer, exergy

1. บทนำ

พลังงานมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก จากสถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2562 ถึงปีพ.ศ. 2567 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยปีละ 10,155.46 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ [1] เนื่องจาก ปัจจุบันมนุษย์มีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ชีวิตอยู่ในอาคารมากขึ้น ส่งผลให้แนวโน้มของการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น หากพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารพบว่า ระบบปรับอากาศมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 53 รองลงมาคือระบบแสงสว่างคิดเป็นร้อยละ 30 และระบบอื่นๆคิดเป็นร้อยละ 17 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด [2] การออกแบบและการใช้งานระบบปรับอากาศเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร วิศวกรผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงการปรับลดการใช้พลังงาน โดยที่ระบบยังคงประสิทธิภาพการทำงานได้ตามที่ต้องการ

การปรับสภาวะอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ความสะอาด และภาวะเสียงรบกวนบริเวณพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งซึ่งเรียกว่าพื้นที่ปรับอากาศ [3] หากพิจารณาตามวัตถุประสงค์การใช้งาน สามารถจำแนกระบบปรับอากาศออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) ระบบปรับอากาศเพื่อความเย็นสบาย มีวัตถุประสงค์เพื่อให้อากาศในพื้นที่ปรับอากาศมีความเหมาะสมต่อการอยู่อาศัยและดำเนินกิจกรรม เช่น การปรับอากาศภายในบ้าน สำนักงาน ร้านค้า 2) ระบบปรับอากาศเพื่อการอุตสาหกรรม มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมสภาวะอากาศให้มีความเหมาะสมสำหรับ กระบวนการผลิต การเก็บรักษา การทำงานวิจัย หรือกิจกรรมที่เฉพาะเจาะจง เช่น การปรับอากาศในโรงเรือนเพาะปลูก ห้องปฏิบัติการวิจัย สำหรับการปรับอากาศในอาคารขนาดใหญ่ที่มีผู้คนอยู่อาศัยเป็นจำนวนมากนิยมใช้ระบบปรับอากาศร่วมกับระบบท่อลม ตามมาตรฐานของสมาคมปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (The American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers; ASHRAE) และสมาคมผู้รับเหมาโลหะแผ่นและเครื่องปรับอากาศแห่งชาติ (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association; SMACNA) กำหนดให้ใช้ท่อลมที่ผลิตจากวัสดุเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี (Galvanized Steel Duct; GI Duct) [4-5] แต่จากใช้งานพบว่าวัสดุประเภทนี้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง มีการสิ้นเปลืองพลังงาน การลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศและระบบท่อลม ได้มีนักวิจัยนำเสนอวิธีการไว้จำนวนมาก อาทิ Hlanze และคณะ (2022) ทดลองนำวัสดุเปลี่ยนเฟส (Phase change materials; PCMs) ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับและคายความร้อน มาติดตั้งไว้ในระบบท่อส่งลมเพื่อลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ ผลการทดลองพบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 31.5 [6] Zhang และคณะ (2022) ได้ออกแบบช่องของท่อลมที่ติดตั้งพร้อมใบพัดพัดลมไอออนช่วยลดความต้านทานบริเวณช่องและลดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหลของอากาศภายในท่อลม [7] Kabbara และคณะ (2023) ทำการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการออกแบบท่อลมตั้งแต่พื้นฐานการเลือกอุปกรณ์ การออกแบบขนาดและทิศทางการเดินท่อ เพื่อให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากที่สุด โดยสามารถลดการใช้พลังงานได้สูงสุดร้อยละ 52 [8]

งานวิจัยทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการศึกษาท่อลมที่ผลิตจากวัสดุเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีซึ่งเป็นวัสดุดั้งเดิม การจะทำให้ท่อลมสามารถประหยัดพลังงานได้จำเป็นต้องมีการออกแบบที่ซับซ้อน และมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มสูงขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงศึกษาการประยุกต์ใช้ท่อลมแผ่นฉนวนสำเร็จรูป (Pre-Insulated Duct; PID Duct) ซึ่งเป็นนวัตกรรมใหม่ และวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานในรูปของการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีเนื่องจากการถ่ายเทความร้อน ของระบบท่อลมในระบบปรับอากาศ เพื่อให้วิศวกรผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้ท่อลมให้เหมาะสมกับการใช้งานทางวิศวกรรม มีประสิทธิภาพ และอนุรักษ์พลังงาน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการสูญเสียความร้อนและการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีของระบบท่อส่งลมแผ่นฉนวนสำเร็จรูป เปรียบเทียบกับระบบท่อส่งลมเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ระบบท่อลมและวัสดุ

ระบบท่อลม (Air ductworks) ทำหน้าที่เป็นเส้นทางการเดินของลม โดยทั่วไปสามารถแบ่งตามลักษณะการนำไปใช้งานได้ 4 ประเภท ได้แก่ 1) ท่อส่งจ่ายอากาศ (Supply air duct) ทำหน้าที่ส่งกระจายอากาศที่ถูกรับสถานะแล้วเข้าสู่บริเวณพื้นที่ปรับอากาศ 2) ท่อดึงลมกลับ (Return air duct) ทำหน้าที่ดึงอากาศภายในพื้นที่ปรับอากาศกลับเข้าสู่เครื่องปรับอากาศเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน 3) ท่อลมระบายอากาศ (Exhaust air duct) ทำหน้าที่ระบายอากาศเสียภายในพื้นที่ปรับอากาศทิ้ง 4) ท่อเติมอากาศ (Fresh air duct) ทำหน้าที่ดึงอากาศสะอาดภายนอกเติมเข้าสู่ระบบปรับอากาศ [9] ระบบท่อลมมักใช้ร่วมกับระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ ดังนั้นการออกแบบท่อลมให้สามารถส่งกระจายลมได้ตามวัตถุประสงค์ต้องคำนึงถึง ประเภทการใช้งานของพื้นที่ปรับอากาศ โครงสร้างอาคารที่ทำการติดตั้ง ความปลอดภัยในการใช้งาน ราคาก่อสร้าง และการประหยัดพลังงาน

การออกแบบท่อลมส่วนมากวิศวกรนิยมมักใช้ท่อลมเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี แสดงตามภาพที่ 1(ก) ซึ่งนิยมติดตั้งพร้อมกับฉนวนยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีน (Ethylene-Propylene Diene Rubber; EPDM) [10] เพื่อรักษาอุณหภูมิภายในท่อลมและลดเสียงที่เกิดจากการสั่นของท่อเนื่องจากแรงลมปะทะ ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้มีการคิดค้นนวัตกรรมเกี่ยวกับวัสดุประกอบสมัยใหม่ ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้เป็นท่อส่งลมในระบบปรับอากาศ เรียกว่าท่อลมแผ่นฉนวนสำเร็จรูป (Pre-Insulated Duct; PID duct) แสดงตามภาพที่ 1(ข) ท่อลมประเภทนี้ผลิตจากโพลียูรีเทนโฟม (Polyurethane Foam; PU) หรือโพลีไอโซไซยานูเรตโฟม (Polyisocyanurate Foam; PIR) และหุ้มด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminum foil) สำหรับการเลือกใช้งานท่อลมทั้ง 2 ประเภท ผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องพิจารณาและเลือกประเภทของท่อลมอย่างเหมาะสม เนื่องจากท่อลมมีข้อดีและข้อเสียทางวิศวกรรมแตกต่างกัน แสดงตามตารางที่ 1

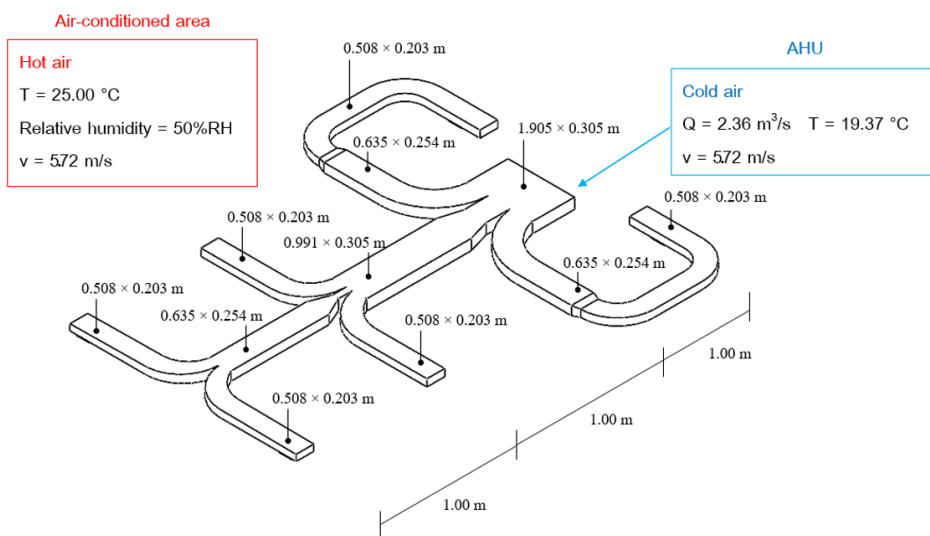


ภาพที่ 1 ท่อลม

ตารางที่ 1 ข้อดีและข้อเสียทางวิศวกรรมของทอมนเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีเปรียบเทียบกับทอมนแผ่นฉนวนสำเร็จรูป

	ทอมนเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี	ทอมนแผ่นฉนวนสำเร็จรูป
ข้อดี	<ol style="list-style-type: none"> มีมาตรฐานสากลรองรับการออกแบบและการใช้งาน แข็งแรง ทนทานต่อทุกสภาพแวดล้อม อายุการใช้งานนาน ติดตั้งภายนอกอาคารได้ เป็นเทคโนโลยีเก่า วิศวกรมีความเชี่ยวชาญในการออกแบบ 	<ol style="list-style-type: none"> รักษาคุณภาพอากาศภายในห้องได้ดี ไม่ต้องหุ้มฉนวนกันความร้อน ทอมนไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางเสียง น้ำหนักเบา การก่อสร้างทำได้ง่าย ราคาถูก ทอมนมีความสวยงาม
ข้อเสีย	<ol style="list-style-type: none"> จำเป็นต้องหุ้มฉนวนกันความร้อน มีแรงลมปะทะภายในทอมน น้ำหนักมาก การก่อสร้างมีความซับซ้อน และอาจก่อให้เกิดสารพิษจากสังกะสี ราคาสูง 	<ol style="list-style-type: none"> ไม่มีมาตรฐานสากลรองรับ เกิดการรั่วซึมของอากาศได้ง่าย ไม่เหมาะสำหรับใช้งานภายนอกอาคาร เมื่อเกิดการเผาไหม้อาจก่อให้เกิดก๊าซพิษ เช่น CO, CO₂ และ NOx

งานวิจัยนี้ศึกษาการการส่งจ่ายอากาศผ่านทางระบบทอมนที่ถูกออกแบบไว้สำหรับใช้งานของอาคารออกกำลังภายในแห่งหนึ่ง ในประเทศไทย ขนาดของพื้นที่ปรับอากาศ 101.68 ตารางเมตร มีภาระความร้อน (Heat load) ที่เกิดขึ้นภายในห้องรวม 35.62 กิโลวัตต์ ประกอบไปด้วยภาระความร้อนจากผู้คนที่ดำเนินกิจกรรมออกกำลังภายใน เครื่องออกกำลังภายใน และแสงสว่างจากหลอดไฟ วิศวกรผู้ออกแบบระบบปรับอากาศกำหนดให้เครื่องส่งจ่ายอากาศเย็น (Air Handling Unit; AHU) ส่งจ่ายอากาศอุณหภูมิ 19.37 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 5.72 เมตรต่อวินาที อัตราการไหลของอากาศ 2.36 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พื้นที่ปรับอากาศถูกควบคุมให้มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นร้อยละ 50 ของความชื้นสูงสุดที่สามารถรับรู้ได้ ความเร็วลม 0.50 เมตรต่อวินาที เนื่องจากเป็นสภาวะที่ผู้ดำเนินกิจกรรมรู้สึกสบาย [11] ทอมนเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีมีความหนา 0.70 มิลลิเมตร หุ้มฉนวนกันความร้อนหนา 25.40 มิลลิเมตร เมื่อทดลองออกแบบทอมนแผ่นฉนวนสำเร็จรูปให้มีประสิทธิภาพการทำงานเทียบเท่ากับทอมนเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี จะได้ทอมนแผ่นฉนวนสำเร็จรูปความหนา 30 มิลลิเมตร แสดงแผนภาพการออกแบบระบบทอมนตามภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนภาพการออกแบบระบบทอมน

3.2 หลักการทางอุณหพลศาสตร์

หลักการทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics principles) เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์กันของพลังงานภายใน (Internal energy) พลังงานศักย์ (Potential energy) พลังงานจลน์ (Kinetic energy) งาน (Work) และความร้อนของสารทำงาน (Heat of working fluid) [12] ซึ่งมีความสัมพันธ์กันตามกฎข้อที่ 2 ของอุณหพลศาสตร์ แสดงตามสมการที่ (1)

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W \quad (1)$$

เมื่อ ΔU คือการเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายในของระบบ หน่วยกิโลวัตต์ ΔQ คือการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนของระบบในสภาวะคงตัว หน่วยกิโลวัตต์ ΔW คือการเปลี่ยนแปลงงานสุทธิของระบบ หน่วยกิโลวัตต์

ระบบที่มีการควบคุมสภาวะ เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล จะเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า การเกิดขึ้นได้เองของกระบวนการ มีความสัมพันธ์กับกระบวนการกระบวนการสมมูลเอนโทรปี (Entropy equivalence process) และกฎข้อที่ 2 ของอุณหพลศาสตร์ แสดงตามสมการที่ (2) ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้ โดยวิศวกรสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบให้สามารถลดการเกิดขึ้นของความสูญเสีย (Heat losses) และนำพลังงานมาใช้ประโยชน์ตามกระบวนการที่ผันกลับไม่ได้ (irreversible process) พลังงานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสามารถเปลี่ยนเป็นแรงขับเคลื่อนของระบบ เรียกว่า เอ็กเซอร์ยี (Exergy)

$$\Delta S_{\text{tot}} = \Delta S_{\text{sys}} + \Delta S_{\text{surr}} \quad (2)$$

เมื่อ ΔS_{tot} คือเอนโทรปีทั้งหมด หน่วยจูลต่อเคลวิน ΔS_{sys} คือผลรวมของเอนโทรปีทั้งระบบ หน่วยจูลต่อเคลวิน ΔS_{surr} คือผลรวมของเอนโทรปีในสิ่งแวดล้อม หน่วยจูลต่อเคลวิน

3.3 การถ่ายเทความร้อนของระบบทออลม

เมื่อระบบผลิตลมเย็นมีการส่งจ่ายอากาศเย็นเข้าสู่ทออลม ระหว่างการเดินทางของอากาศภายในทออลมเพื่อไปส่งกระจายยังพื้นที่ปรับอากาศ จะเกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนบริเวณผนังทออลม ในรูปแบบของการนำความร้อน (Heat conduction) และการพาความร้อน (Heat Convection) อากาศภายในทออลมจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากมีความร้อนสูญเสียออกจากระบบ มีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall heat transfer coefficient; U-value) คุณสมบัติของวัสดุทออลม พื้นที่ผิวที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกทออลม แสดงตามสมการที่ (3)

$$Q_{\text{out}} = UA\Delta T \quad (3)$$

เมื่อ Q_{out} คือความร้อนที่สูญเสียออกจากระบบทออลมในสภาวะคงตัว หน่วยกิโลวัตต์ U คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม หน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส A คือพื้นที่ผิวที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน หน่วยตารางเมตร ΔT คือผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายในทออลมและอุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศ หน่วยองศาเซลเซียส

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของระบบทออลมสามารถแสดงความสามารถในการส่งผ่านความร้อนจากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่ง ผ่านตัวกลางจำนวน 1 ชั้นขึ้นไปที่มีการต้านทานความร้อนภายในตัวกลางนั้น เมื่ออากาศเกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางที่มีคุณสมบัติเป็นของไหล การต้านทานความร้อนจะขึ้นอยู่กับส่วนกลับของ

สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (heat transfer coefficient; h) ส่วนเมื่ออากาศเกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางที่มีคุณสมบัติเป็นของแข็ง การต้านทานความร้อนจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างความหนาของชั้นตัวกลาง (Thickness) และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity; k) ที่มีค่าแตกต่างกันตามประเภทของวัสดุตัวกลาง แสดงตามสมการที่ (4)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i}{k_i} \right) + \frac{1}{h_o}} \quad (4)$$

เมื่อ h_i และ h_o คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศภายในและภายนอกทอมน ตามลำดับ หน่วยวัตต์ต่อเมตร องศาเซลเซียส l คือความหนาของชั้นตัวกลาง หน่วยเมตร k คือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุตัวกลาง หน่วยวัตต์ต่อเมตร องศาเซลเซียส n คือจำนวนชั้นของตัวกลางทั้งหมด

การใช้งานทอมนต่างประเภทกันจะมีวัสดุตัวกลางและจำนวนชั้นไม่เท่ากัน แสดงตามตารางที่ 2 ส่งผลให้ทอมนแต่ละประเภทมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนต่างกัน

ตารางที่ 2 วัสดุตัวกลางและจำนวนชั้นของทอมน

ทอมน	วัสดุตัวกลาง	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) (วัตต์ต่อเมตร องศาเซลเซียส)	จำนวนชั้น
ทอมนเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี	เหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี	52.00	2
	ฉนวนยาง EPDM	0.038	
ทอมนแผ่นฉนวนสำเร็จรูป	แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์	0.029	3
	โพลีไอโซไซยานูเรทโฟม	0.022	

3.4 การสูญเสียเอ็กเซอร์ยีทางความร้อนของระบบทอมน

หากพิจารณาการสูญเสียความร้อนของระบบทอมนเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนเป็นการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างภายในและภายนอกทอมน สามารถคำนวณในรูปของการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีทางความร้อน (Thermal exergy losses) แสดงตามสมการ (5) ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการควบคุมสภาวะแวดล้อมของพื้นที่ปรับอากาศให้มีอุณหภูมิตามที่ผู้ออกแบบกำหนดไว้ การสูญเสียเอ็กเซอร์ยีทางความร้อนของระบบทอมนสร้างภาระการทำงานของเครื่องส่งจ่ายลมเย็นมากขึ้น ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและยากต่อการรักษาคุณภาพอากาศภายในทอมน ผู้ออกแบบงานระบบทอมนจึงควรคำนึงถึงปัจจัยการลดการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีทางความร้อนเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน

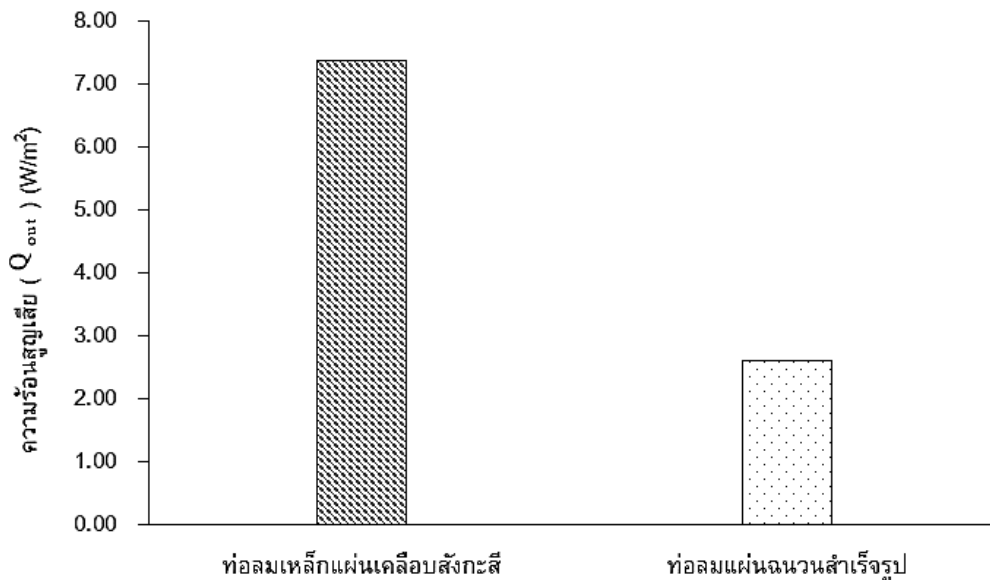
$$Ex_{thermal} = \left(1 - \frac{T_o}{T_i} \right) \times \left(\frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i}{k_i} \right) + \frac{1}{h_o}} A (T_i - T_o) \right) \quad (5)$$

เมื่อ $Ex_{thermal}$ คือการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีทางความร้อนของระบบ หน่วยกิโลวัตต์ T_i และ T_o คืออุณหภูมิภายในและภายนอกทอมนตามลำดับ หน่วยองศาเซลเซียส

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ความร้อนสูญเสียของระบบท่อลม

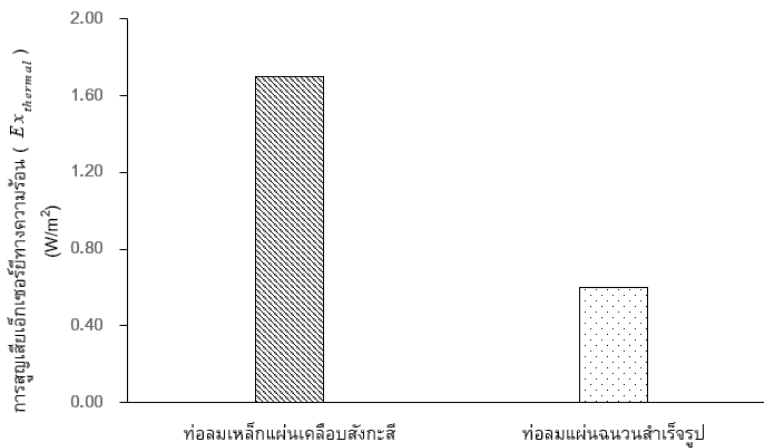
การใช้งานท่อลมเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีและท่อลมแผ่นฉนวนสำเร็จรูปจะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นบริเวณผนังท่อลม พิจารณาท่อลมทั้ง 2 ประเภทส่งจ่ายอากาศเย็นภายในท่อลมมีอุณหภูมิ 19.37 องศาเซลเซียส บริเวณพื้นที่ปรับอากาศภายนอกท่อลมมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สำหรับท่อลมเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนส่งผลให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมคิดเป็น 1.76 วัตต์ต่อองศาเซลเซียส-ตารางเมตร สำหรับท่อลมแผ่นฉนวนสำเร็จรูปผลิตจากวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน ประกอบไปด้วยชั้นผนังของแผ่นฉนวนและแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมคิดเป็น 0.46 วัตต์ต่อองศาเซลเซียส-ตารางเมตร จากผลการคำนวณตามสมการที่ (3) แสดงให้เห็นว่าท่อลมเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีมีการสูญเสียความร้อนออกจากท่อลม 7.39 วัตต์ต่อตารางเมตร และท่อลมแผ่นฉนวนสำเร็จรูปมีการสูญเสียความร้อนออกจากท่อลม 2.61 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าท่อลมเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี คิดเป็น 4.78 วัตต์ต่อตารางเมตร แสดงตามภาพที่ 3 เนื่องจากท่อลมแผ่นฉนวนสำเร็จรูปมีความหนาของผนังท่อลมมากและผลิตจากโพลีเอโซไซยานูเรทโฟมที่เคลือบผิวด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ ส่งผลให้อากาศภายในท่อลมมีการสูญเสียความร้อนออกสู่ภายนอกน้อย



ภาพที่ 3 ความร้อนสูญเสียของระบบท่อลม

4.2 การสูญเสียเอ็กเซอร์ยีทางความร้อนของระบบท่อลม

พิจารณาการสูญเสียความร้อนของระบบท่อลมในรูปของการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีเนื่องจากการถ่ายเทความร้อน ผลการวิเคราะห์พบว่า การใช้งานท่อลมทั้ง 2 ประเภทมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในท่อลมและอุณหภูมิของพื้นที่ปรับอากาศมาก เมื่อเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบทำให้เกิดการสูญเสีย จากผลการคำนวณตามสมการที่ (5) เมื่อแทนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของท่อลมทั้ง 2 ประเภท ภายใต้สภาวะแวดล้อมการทำงานของท่อลมที่มีอุณหภูมิภายในและภายนอกแตกต่างกัน 5.63 องศาเซลเซียส พบว่าท่อลมเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีมีการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีทางความร้อน 1.70 วัตต์ต่อตารางเมตร และท่อลมแผ่นฉนวนสำเร็จรูปมีการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีทางความร้อน 0.60 วัตต์ต่อตารางเมตร แสดงให้เห็นว่าท่อลมแผ่นฉนวนสำเร็จรูปสามารถลดการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีทางความร้อนและสามารถประหยัดพลังงานได้เท่ากับร้อยละ 35.29 แสดงตามภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การสูญเสียเชิงความร้อนของระบบท่อลม

จากการศึกษาระบบท่อลมแผ่นฉนวนสำเร็จรูปซึ่งเป็นท่อลมนวัตกรรมใหม่ แสดงให้เห็นว่าท่อลมประเภทนี้มีคุณสมบัติพิเศษที่โดดเด่นกว่าคือ มีน้ำหนักเบา การขนส่งและติดตั้งไม่ก่อให้เกิดมลพิษ มีความแข็งแรงทนทานสูง สามารถลดการสูญเสียพลังงานได้ หากพิจารณาในด้านความคุ้มค่าในการลงทุนและการใช้งานพบว่า ท่อลมแผ่นฉนวนสำเร็จรูปมีประสิทธิภาพสูง สามารถลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ลดความถี่ในการซ่อมบำรุง และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ส่งผลต่อมูลค่าอาคารในระยะยาวคือช่วยเพิ่มมูลค่าของอาคารเนื่องจากการลงทุนที่ช่วยลดค่าใช้จ่ายพลังงานและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

5. สรุปและอภิปรายผล

การออกแบบและการใช้งานระบบท่อลมในระบบปรับอากาศตามมาตรฐานของ ASHRAE และ SMACNA แนะนำให้ใช้ท่อลมเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีซึ่งมีการสิ้นเปลืองพลังงานสูง เพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานของระบบปรับอากาศในอาคาร วิศวกรจำเป็นต้องพิจารณาการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุนวัตกรรมใหม่ในการก่อสร้างระบบท่อลมอย่างเหมาะสมทดแทนการใช้วัสดุแบบดั้งเดิม โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพการทำงานและการประหยัดพลังงานควบคู่กัน ผลการวิเคราะห์การสูญเสียเชิงความร้อนของระบบท่อลม พบว่าท่อลมแผ่นฉนวนสำเร็จรูปสามารถลดการสูญเสียความร้อนออกจากระบบท่อลมได้ ส่งผลให้มีการสูญเสียเชิงความร้อนของระบบน้อย นอกจากนี้ท่อลมยังมีข้อได้เปรียบในการเลือกใช้งานหลายประการ มีความเหมาะสมกับระบบปรับอากาศของประเทศไทยเนื่องจากสามารถรักษาอุณหภูมิภายในท่อลมได้ดี ช่วยประหยัดพลังงานแม้ในสภาพอากาศร้อนชื้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นท่อลมของระบบปรับอากาศภายในอาคาร ได้เหมาะสม

6. ข้อเสนอแนะ

1. การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียเชิงความร้อนของระบบท่อลมในงานวิจัยนี้ ศึกษาในกรณีท่อลมขนาดสั้นๆ จึงถือว่าท่อลมไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดความยาวท่อ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในกรณีท่อลมที่มีความยาวมากโดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในท่อลมแต่ละตำแหน่งเพื่อเพิ่มความแม่นยำของผลลัพธ์
2. ควรมีการจำลองการส่งกระจายลมโดยใช้ท่อลมทั้ง 2 ประเภทเปรียบเทียบกันเพื่อแสดงพฤติกรรมการไหลของอากาศภายในท่อ และควรมีการศึกษาผลกระทบของท่อลมเมื่อทำงานในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันเพื่อให้ครอบคลุมการทำงานได้อย่างเหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ
3. ระบบท่อส่งลมสามารถปรับใช้กับเทคโนโลยี IoT (Internet of Things) โดยสามารถติดตั้งเซ็นเซอร์เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพแบบเรียลไทม์ และปรับปรุงการทำงานอัตโนมัติเพื่อประหยัดพลังงาน

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ministry of Energy. (2024, Sep. 27). Energy statistics report of Thailand, [Online] Available: <https://www.eppo.go.th/index.php/th/information-services/ct-menu-item-56>
- [2] M. Kong, B. Dong, R. Zhang and Z. O'Neill. "HVAC energy savings, thermal comfort and air quality for occupant-centric control through a side-by-side experimental study." *Applied Energy*, 306, 2022.
- [3] N. O. Bell, J. I. Bilbao, M. Kay and A. B. Sproul. "Future climate scenarios and their impact on heating, ventilation and air-conditioning system design and performance for commercial buildings for 2050." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 162, 2022.
- [4] Z. Kabbara, S. Jorens, E. Ahmadian and I. Verhaert. "Improving HVAC ductwork designs while considering fittings at an early stage." *Building and environment*, 237, 2023.
- [5] K. Tawackolian and K. Martin. "Validation of computational fluid dynamics simulations for determining pressure loss coefficients of ventilation components." *Building Services Engineering Research & Technology*, 44(3), 2023, pp. 269-283.
- [6] P. Hlanze, A. Elhefny, Z. Jiang, J. Cai and H. Shabgard. "In-duct phase change material-based energy storage to enhance building demand flexibility." *Applied Energy*, 310, 2022.
- [7] C. Zhang, A. Li, J. Che, Y. Li, Q. Liu and Y. Zhao. "A low-resistance elbow with a bionic sawtooth guide vane in ventilation and air conditioning systems." *Building Simulation*, 15(1), 2022.
- [8] Z. Kabbara, S. Jorens, E. Ahmadian and I. Verhaert. "Improving HVAC ductwork designs while considering fittings at an early stage." *Building and environment*, 237, 2023.
- [9] M. Amir, A. H. H. Ali, and I. M. Ismail. "Performance and Environmental Impact Assessment of Industrial Ventilation System for Internal Contamination Sources." *Assiut University Bulletin for Environmental Researches*, 27(1), 2024, pp. 163-176.
- [10] H. Bergsdal, J. Tønnesen, A. Borg and C. Solli. "Life cycle inventory library for embodied emissions in ventilation components." *Building and Environment*, 262, 2024.
- [11] M. Shin, Y. Shin, Y. Kim and H. Cho. "Investigation of drivers' thermal comfort based on selective cooling seats with air conditioner in summer using biosignals and subjective survey." *Building and Environment*, 250, 2024.
- [12] A. Karoyo, G. Ge and P. Le Poudre. "A Review of the Thermophysical Properties and Recent Development Trends on Liquid Desiccants for HVAC Applications." *Journal of Chemical & Engineering Data*, 69(8), 2024, pp. 2655-2675.