

แบบจำลองเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนและการไหลของอากาศในห้องเรียนแบบ 3 มิติ

Numerical Modeling of Heat Transfer and Air Flow in 3D

ศศิธร คำพุฒ¹, ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช² และ พรทิพย์ แก่งอินทร์^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

25/25 ถนนพุทธมณฑลสาย 4 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

*ติดต่อ: pornthip.kea@mahidol.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 0-2889-2138 ต่อ 6401-3, เบอร์โทรสาร 0-2889-2138 ต่อ 6429

บทคัดย่อ

ปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนและการไหลของอากาศเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของอาคารที่ใช้งาน การเลือกใช้ชนิดของวัสดุฉนวนกันความร้อนที่ถูกต้องจะช่วยให้สามารถรับเงื่อนไขทางความร้อนและประหยัดพลังงานได้ดี วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือเพื่อวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและการไหลของอากาศในห้องเรียนตัวอย่าง โดยการจำลองเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิจากการจำลองเชิงตัวเลขจะถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดลอง ในการศึกษาจะทำการศึกษาอิทธิพลของชนิดของวัสดุฉนวนกันความร้อนและค่าความเร็วทางเข้าของอากาศที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิและการไหลของอากาศภายในห้องเรียน ในการศึกษาจะใช้แบบจำลองสามมิติของห้องเรียนในการวิเคราะห์ สมการการถ่ายเทความร้อนที่ขึ้นกับเวลาที่เกี่ยวข้องกับสมการการแพร่ความร้อนและสมการการพาความร้อนควบคู่กับสมการพลวัตของเหลวที่ขึ้นกับเวลาจะถูกนำมาใช้และถูกแก้ปัญหาโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method (FEM)) ผลการศึกษาพบว่าผลจากวิธีการจำลองเชิงตัวเลขจะสอดคล้องกับข้อมูลการทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่าชนิดของวัสดุฉนวนกันความร้อนและค่าความเร็วทางเข้าของอากาศจะส่งผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิและการไหลของอากาศภายในห้องเรียน ผลที่ได้จากการศึกษาจะช่วยให้คำแนะนำในการเลือกใช้วัสดุฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสมและเป็นพื้นฐานในการออกแบบอาคาร

คำหลัก: การถ่ายเทความร้อน ; การไหลของอากาศ ; การจำลองเชิงคอมพิวเตอร์ ; ห้องเรียน

Abstract

The heat transfer and air flow phenomena represents a key factor to increase the energy efficiency of the active buildings. The selection of the correct type of insulation materials allow to obtain good thermal comfort conditions and adequate energy savings. The purpose of this paper is to analyze heat transfer and air flow in sample classroom by numerical simulation with computer programs. The simulated temperature is compared to experimental data. In this study, the effect of type of insulation materials and inlet air velocity on temperature and air flow distributions in a classroom is investigated. Three-dimensional model of classroom is considered. The time-dependent

heat transfer equation involving diffusion and convection coupled with the time-dependent fluid dynamic equation is implemented and is solved by using the finite element method (FEM). The results show that the simulation results are in agreement with the experimental data. Moreover, the type of insulation materials and inlet air velocity will affect the temperature and air flow distributions in a classroom. The obtained results provide some suggestions as a guide the selection the correct insulation materials and it is the basis for building design.

Keywords: Heat Transfer ; Air Flow ; Computer Simulation ; Classroom

1. บทนำ

การใช้พลังงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพและอัตราการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจและการลงทุน ส่งผลให้ความต้องการด้านพลังงานเพิ่มสูงขึ้นในทุกๆ ปี ตามรายงานการใช้พลังงานในประเทศไทยในปี 2558 จากการจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ ภาคอาคาร และที่อยู่อาศัยมีส่วนการใช้พลังงานมากเป็นอันดับที่สาม คิดเป็น 14.9 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานทั้งหมด และการใช้พลังงานในภาคอาคารจะเกิดจากพลังงานที่ใช้สำหรับการดำเนินการภาคอาคาร (Operating) โดยกระแสไฟฟ้าส่วนใหญ่ใช้ไปกับระบบทำความเย็นหรือระบบปรับอากาศถึงครึ่งหนึ่ง หรือมากกว่า (คิดเป็นประมาณ 50 ถึง 75 เปอร์เซ็นต์) [1] ซึ่งมีสาเหตุมาจากสภาพอากาศภายนอกอาคาร รวมถึงโครงสร้างและวัสดุของกรอบอาคารที่ใช้งานโดยปราศจากคุณสมบัติในการช่วยกันความร้อนไม่ให้ไหลผ่านเข้าสู่ตัวอาคารได้ง่าย ดังนั้นการติดตั้งฉนวนกันความร้อนจึงมีส่วนสำคัญช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ เนื่องจากวัสดุที่นำมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อนจะมีค่าสมบัติการนำความร้อน (Conductivity) ต่ำ ความร้อนภายนอกจึงผ่านไปได้ยาก ดังนั้นการเลือกวัสดุที่จะนำมาเป็นฉนวนกันความร้อนจึงมีความสำคัญที่จะช่วยลดการใช้พลังงานลงได้ [2]

จากปัญหาดังกล่าวทำให้รัฐบาลหลายๆ ประเทศมีนโยบายลดการใช้พลังงานที่เกิดจากอาคารและที่อยู่อาศัย และมีงานวิจัยบางส่วนที่ทำการศึกษากับอิทธิพลของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนต่อการถ่ายเทความร้อนและการใช้พลังงาน อาทิ Chirarattananon S. และคณะ [3]

ได้ทำการศึกษาสมรรถนะทางความร้อนและความคุ้มค่าเชิงพาณิชย์ของอาคารตัวอย่างที่มีผนังปิดทึบ และมีการใช้เครื่องปรับอากาศ จากการทดลองและการสร้างแบบจำลองผ่านโปรแกรม BESIM (BESIM program) โดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่มีความหนาแตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่าผนังที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนสามารถช่วยปรับปรุงสมรรถนะทางความร้อนของผนังได้ แม้ว่าอาคารที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนจะมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่สูง แต่ก็มีมูลค่าเชิงพาณิชย์มากกว่าอาคารที่ไม่มีการติดตั้งฉนวน Schiavonia S. และคณะ [2] ได้ทำการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติด้านต่างๆ ของวัสดุฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคารประเภทต่างๆ อาทิคุณสมบัติด้านความร้อน คุณสมบัติเฉพาะทางด้านเสียง คุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อม อายุการใช้งาน ปฏิกริยาการเกิดเพลิงไหม้ และค่าความต้านทานต่อไอน้ำ Byrne A. และคณะ [4] ทำการทดสอบวัดค่าการสูญเสียความร้อนผ่านผนังก่อนและหลังการติดตั้งฉนวนกันความร้อน และเปรียบเทียบผลระหว่างผนังที่มีช่องว่างและผนังที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายใต้โครงการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในที่พักอาศัยของประเทศไอร์แลนด์ จากผลการศึกษาพบว่าผนังแบบที่มีช่องว่างสามารถช่วยลดการสูญเสียความร้อนผ่านผนังได้ 21 ถึง 66 เปอร์เซ็นต์ และผนังแบบที่ติดตั้งฉนวนสามารถช่วยลดการสูญเสียความร้อนผ่านผนังได้ 37 ถึง 77 เปอร์เซ็นต์ และนอกจากนี้ข้อมูลจากการสำรวจของอาสาสมัครที่เข้าร่วมโครงการดังกล่าวยังพบว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนทำให้ผู้อยู่อาศัยมีภาวะความสบาย

มากขึ้น Gori P. และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาเกณฑ์การออกแบบสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพของฉนวนกันความร้อนของผนังหลายชั้น โดยใช้การจำลองเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนโดยใช้แบบจำลองหนึ่งมิติในสี่รูปแบบ การศึกษาพบว่าผนังที่มีฉนวนกันความร้อนหลายชั้นและติดตั้งฉนวนอยู่ด้านอุณหภูมิสูง จะสามารถกันความร้อนได้ดีกว่าผนังที่มีฉนวนกันความร้อนแบบชั้นเดียว ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าความหนาของฉนวนกันความร้อนจึงมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนัง

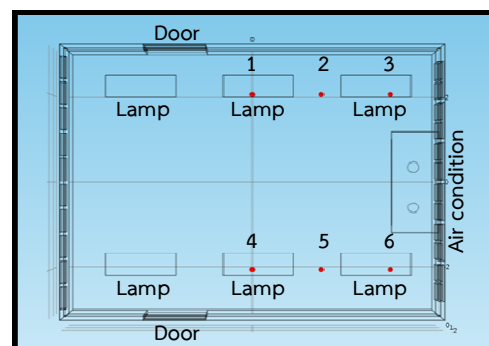
แม้จะมีงานวิจัยหรือเอกสารทางวิชาการต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความร้อนผ่านผนังที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อน แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการถ่ายเทอุณหภูมิและรูปแบบการไหลของอากาศภายในห้องยังมีอยู่จำนวนน้อย โดยเฉพาะการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลอง 3 มิติยังพบว่ามีอยู่จำนวนไม่มาก รวมทั้งการศึกษเกี่ยวกับอิทธิพลของชนิดของฉนวนกันความร้อนและและค่าความเร็วทางเข้าของอากาศที่ส่งต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิและการไหลของอากาศภายในห้องก็ยังพบว่ามีจำนวนอยู่ไม่มากนัก ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จึงทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการไหลของอากาศในห้องเรียนตัวอย่าง ผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองกับผลจากการทดลอง อิทธิพลของชนิดของวัสดุฉนวนกันความร้อนและค่าความเร็วทางเข้าของอากาศที่ส่งต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิและการไหลของอากาศภายในห้องเรียนตัวอย่าง จะถูกศึกษา สมการถ่ายเทความร้อนที่ขึ้นกับเวลาที่เกี่ยวข้องกับสมการการแพร่ความร้อนและสมการการพาความร้อนควบคู่กับสมการพลวัตของเหลวที่ขึ้นกับเวลาจะถูกนำมาใช้ และถูกแก้ปัญหาโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method (FEM)) ผลที่ได้จากการศึกษาจะสามารถช่วยให้คำแนะนำ

ในการออกแบบด้านพลังงานของอาคารที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อน

2. วิธีดำเนินการ

2.1 การทดลอง

ห้องตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคือ ห้องเรียน R-424 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งห้องเรียนดังกล่าวมีขนาดความกว้าง 6 เมตร ความยาว 8 เมตร และความสูง 2.6 เมตร ภายในห้องจะประกอบด้วยเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดทำความเย็น 41,000 บีทียูต่อชั่วโมง จำนวน 1 เครื่อง ในขณะที่ทำการทดลองได้ทำการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องโดยทำการปิดเครื่องปรับอากาศภายในห้อง ห้องตัวอย่างมีอุณหภูมิเริ่มต้น 30 องศาเซลเซียส และในขณะที่ทดลองได้ทำการเปิดไฟในห้องเรียนขนาดหลอดละ 6 วัตต์ จำนวน 12 หลอด และทำการวัดค่าความเร็วของอากาศที่ประตูทางเข้าได้ 0 เมตรต่อวินาที ในการทดลองจะทำการวัดค่าอุณหภูมิทั้งหมด 6 ตำแหน่งภายในห้องเรียน R-424 ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยทำการวัดค่าอุณหภูมิทุกๆ 5 นาทีเป็นเวลา 60 นาที ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะถูกนำไปใช้ในการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายในห้องตัวอย่างที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์



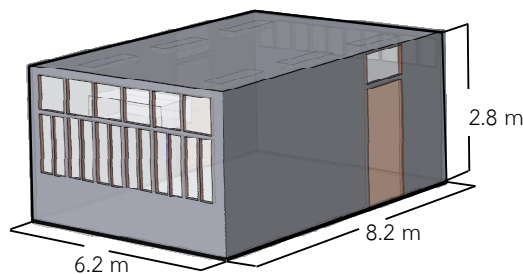
รูปที่ 1 ตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิภายในห้องเรียน

R-424

2.2 แบบจำลอง 3 มิติ ของห้องเรียน R-424

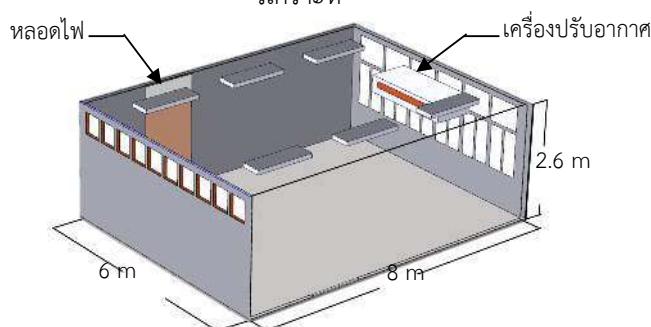
แบบจำลองของห้องตัวอย่าง 3 มิติ ที่ใช้ในการศึกษา คือแบบจำลองห้องเรียน R-424 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยห้องเรียนที่ศึกษาจะจำลองให้มี

ขนาดความกว้าง 6 เมตร ความยาว 8 เมตรและความสูง 2.6 เมตร สอดคล้องกับขนาดของห้องตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ภายในแบบจำลองของห้องจะประกอบด้วยเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดทำความเย็น 41,000 บีทียูต่อชั่วโมง จำนวน 1 เครื่อง และภายในห้องมีหลอดไฟหลอดละ 6 วัตต์ จำนวน 12 หลอด โดยขนาดของเครื่องปรับอากาศและหลอดไฟจะมีขนาดเท่ากับขนาดของเครื่องปรับอากาศและหลอดไฟในห้องที่ใช้ในการทดลอง ห้องตัวอย่างมีอุณหภูมิเริ่มต้น 30 องศาเซลเซียส โดยแบบจำลองด้านนอกห้องที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 2 และแบบจำลองด้านในห้องที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 3 ตามลำดับ ผนังของแบบจำลองห้องมีความหนาทั้งหมด 0.1 เมตร และแบ่งออกเป็น 3 ชั้น โดยชั้นที่ 1 และชั้นที่ 3 เป็นชั้นปูนฉาบ (Cement Plaster) มีความหนา 0.01 เมตร และชั้นที่ 2 เป็นชั้นวัสดุก่อผนัง (ชั้นอิฐมวลเบา (Brick)) ที่มีความหนา 0.08 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4 และผนังด้านนอกห้องเรียนประกอบด้วยหน้าต่างกระจกจำนวน 6 บาน



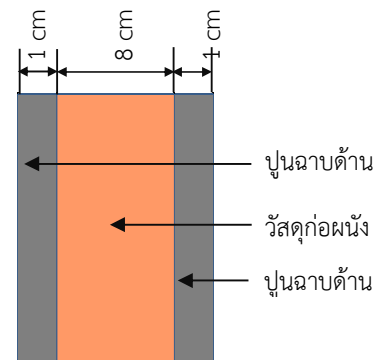
รูปที่ 2 แบบจำลองด้านนอกห้องเรียน R424 ที่ใช้ในการ

วิเคราะห์



รูปที่ 3 แบบจำลองด้านในห้องเรียน R424 ที่ใช้ในการ

วิเคราะห์



รูปที่ 4 ชั้นผนังของแบบจำลองห้อง

ในการศึกษาจะทำการเปลี่ยนชนิดของวัสดุที่ใช้เป็นฉนวนกันความร้อน แทนชั้นวัสดุก่อผนัง (ชั้นที่ 2) จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ อิฐมวลเบา (Brick) โยหิน (Stone Wool) พอลิสไตรีน (Expanded Polystyrene (EPS)) และ ฟีนอลิกโฟม (Phenolic Foam) โดยค่าคุณสมบัติทางความร้อนของฉนวนกันความร้อนทั้ง 4 ชนิด ปูนฉาบ (Cement Plaster) และกระจก จะแสดงในตารางที่ 1

2.3 การจำลองโปรแกรมเชิงคอมพิวเตอร์

สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes equation) ถูกใช้ในการวิเคราะห์ความเร็วของอากาศภายในห้อง โดยการไหลของอากาศอยู่บนเงื่อนไขการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow Condition) คือ

ตารางที่ 1 ค่าคุณสมบัติทางความร้อนของฉนวนกันความร้อน 4 ชนิด ปูนฉาบ (Cement Plaster) และกระจก

Materials	Properties			
	k Thermal conductivity (W/m.K)	ρ Density (kg/m ³)	c Specific heat capacity (J/kg.K)	ε Emissivity (-)
Brick	1.73	2243	840	-
Stone Wool	0.4	200	1000	-
Expanded Polystyrene	0.0345	35	1250	-
Phenolic Foam	0.021	160	1400	-
Cement Plaster	0.72	1860	840	-
Glass	1.1	2200	480	0.95

สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (1)$$

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังห้องทั้ง 3 ชั้น จะพิจารณาการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนดังสมการต่อไปนี้

สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equation)

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \nabla \cdot \left[-p \mathbf{I} + \mu (\mathbf{u} + \nabla \mathbf{u})^T - \frac{2}{3} \mu (\nabla \cdot \mathbf{u}) \mathbf{I} \right] \quad (2)$$

โดย ρ คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศ (Density of Air (kg/m³)) $\mathbf{u}$ คือ ค่าความเร็วของอากาศ (Velocity of Air (m/s)) t คือ เวลา (Time (s)) p คือ ความดันของอากาศ (Pressure of Air (Pa)) μ คือ ค่าความหนืดของอากาศ (Viscosity of Air (Ns/m²)) และ $\mathbf{I}$ คือ ค่าเทนเซอร์ของเมทริกซ์เอกลักษณ์ (Identity Matrix Tensor)

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (3)$$

และการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนของอากาศภายในห้อง จะพิจารณาการถ่ายเทความร้อนด้วยสมการการพาความร้อนดังสมการต่อไปนี้

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (4)$$

เมื่อ ρ คือ ค่าความหนาแน่น (Density (kg/m³)) C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Capacity (J/kg.K)) k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity (W/m.K)) T คือ ค่าอุณหภูมิ (Temperature (K)) และ $\mathbf{u}$ คือ ค่าความเร็วอากาศ (Air Velocity (m/s)) ซึ่งได้จากการคำนวณในสมการที่ (1) และ (2)

เงื่อนไขขอบเขตในการพิจารณา

สำหรับเงื่อนไขขอบเขตสำหรับการวิเคราะห์รูปแบบการไหลของอากาศและการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในห้องจะมีดังนี้

ภายในห้องจะได้รับความเร็วของอากาศที่ไหลเข้าจากเครื่องปรับอากาศที่ความเร็วคงที่ หรือมีเงื่อนไขขอบเขตแบบทางเข้า (Inlet Boundary Condition)

ผนังภายในห้องจะพิจารณาเงื่อนไขขอบเขตแบบไม่ลื่นไถล (No-Slip Boundary Condition)

เพดานและพื้นของห้องไม่มีการถ่ายเทความร้อน (Insulated Boundary Condition)

$$-n \cdot (k \nabla T) = 0 \quad (5)$$

แบบจำลองห้องจะพิจารณาหลอดไฟในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน โดยเงื่อนไขขอบเขตบริเวณหลอดไฟพิจารณาเงื่อนไขขอบเขตแบบฟลักซ์ความร้อน (Heat Flux Boundary Condition)

$$-n \cdot (k \nabla T) = q \quad (6)$$

ผนังด้านนอกห้องมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายนอกห้องด้วยการพาความร้อน (Convection) โดยอากาศที่อยู่ด้านนอกห้องจะมีอุณหภูมิ 32 °C และมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) เท่ากับ 0.04 W/m².K ในขณะที่ผนังด้านในห้องจะมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายในห้องด้วยการพาความร้อน (Convection) เช่นเดียวกับกับผนังด้านนอก โดยอากาศที่อยู่ด้านในห้องจะมีอุณหภูมิ 32 °C และมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) เท่ากับ 0.125 W/m².K โดยเงื่อนไขขอบเขตเนื่องจากการพาความร้อนของผนังด้านนอกและด้านในห้องคือ

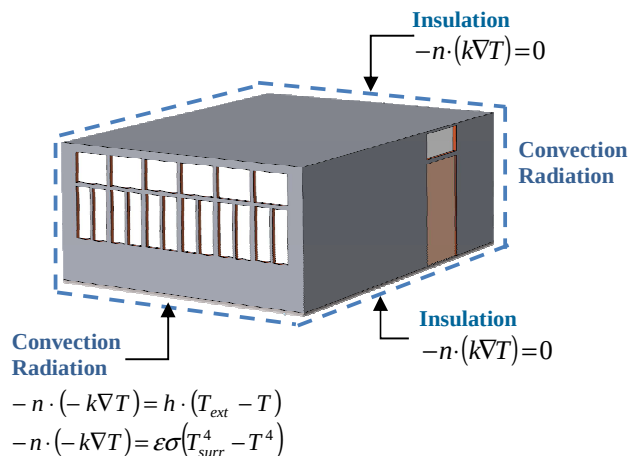
$$-n \cdot (-k \nabla T) = h \cdot (T_{ext} - T) \quad (7)$$

เมื่อ h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection Heat Transfer Coefficient (W/m² K)) และ T_{ext} คือ ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมภายนอก (External Temperature (K))

หน้าต่างกระจกที่ผนังด้านนอกห้องจะมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับแสงแดดภายนอกด้วยการแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

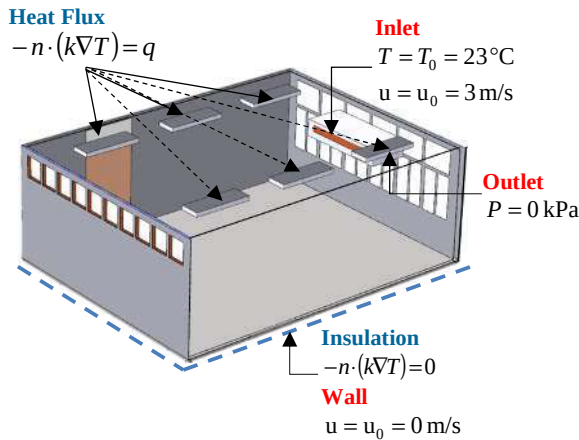
$$-n \cdot (-k \nabla T) = \epsilon \sigma (T_{surr}^4 - T^4) \quad (8)$$

เมื่อ ϵ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของกระจก (Emissivity (-)) ซึ่งมีค่าดังตารางที่ 1 ซึ่ง σ คือ ค่าคงที่ของสเตฟานโบลท์มานน์ (Stefan-Boltzmann Constant (W/m².K⁴)) มีค่าเท่ากับ 5.67x10⁻⁸ W/m².K⁴ และ T_{surr} คือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมภายนอก (Ambient Temperature (K)) ที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการแผ่รังสีความร้อน



รูปที่ 5 เงื่อนไขขอบเขตภายนอกแบบจำลองห้องเรียน และแบบจำลองของห้องตัวอย่างมีอุณหภูมิเริ่มต้น 28 องศาเซลเซียส โดยรูปที่ 5 และรูปที่ 6 จะแสดง

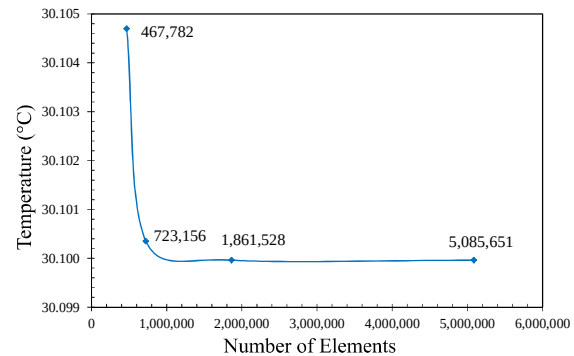
เงื่อนไขขอบเขตของภายนอกและภายในแบบจำลองห้อง
 ที่ทำการวิเคราะห์ ตามลำดับ



รูปที่ 6 เงื่อนไขขอบเขตภายในแบบจำลองห้องเรียน

2.4 ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

สมการหลักในการวิเคราะห์จะถูกแก้ปัญหด้วย
 ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite
 Element Method : FEM) ผ่านโปรแกรม COMSOL™
 Multiphysic เพื่อคำนวณค่าอุณหภูมิและค่าความเร็ว
 และของอากาศภายในห้อง โดยการวิเคราะห์ความเป็น
 อิสระของจำนวนเอลิเมนต์ (Element-Independent
 Analysis) จะแสดงดังรูปที่ 7 เพื่อหาจำนวนเอลิเมนต์ที่
 เหมาะสมในการคำนวณและเพื่อความแม่นยำของผลการ
 คำนวณ จากรูปจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิ
 บริเวณกึ่งกลางห้องที่เปลี่ยนแปลงตามจำนวนเอลิเมนต์
 โดยจะพบว่าจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์
 ปัญหา คือ 1,861,528 เอลิเมนต์



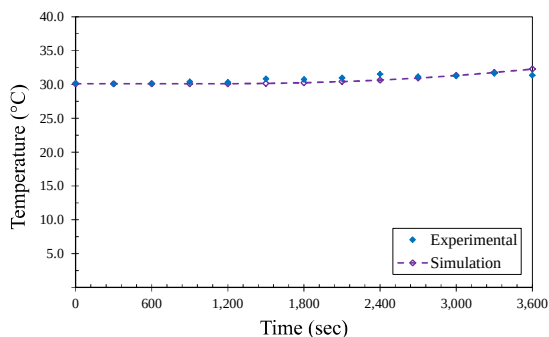
รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและ
 จำนวนเอลิเมนต์

3. ผลและการวิเคราะห์

3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการจำลองเชิง
 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ จึงทำการ
 ทดลองเก็บข้อมูลของค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดลอง
 ภายในห้องเรียนจริง โดยทำการวัดค่าอุณหภูมิทั้ง 6
 ตำแหน่ง ทุกๆ 5 นาที ดังแสดงในรูปที่ 1 แล้วนำมาหา
 ค่าเฉลี่ยของทั้ง 6 จุด นำค่าอุณหภูมิที่แปรเปลี่ยนตาม
 เวลาไปทำการเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิที่ได้จากการใช้
 การจำลองเชิงตัวเลข โดยกราฟเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่
 ได้จากการทดลองและจากการใช้การจำลองเชิงตัวเลขดัง
 แสดงในรูปที่ 8 จากรูปจะพบว่าค่าอุณหภูมิของอากาศทั้ง
 จากการทดลองและจากการจำลองเชิงโปรแกรม
 คอมพิวเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามเวลาที่มากขึ้น
 และพบว่าผลที่ได้จากการทดลอง และผลที่ได้จากการใช้
 การจำลองเชิงตัวเลขจะมีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี
 ดังนั้นแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์และวิธีการจำลอง
 เชิงตัวเลขที่ใช้จึงมีความน่าเชื่อถือสามารถนำไปใช้ใน
 การศึกษาในส่วนอื่นๆ ต่อไป

อย่างไรก็ตามเพื่อให้แบบจำลองการถ่ายเทความร้อน
 และการไหลของอากาศภายในห้องเรียนตัวอย่างมีความ
 สอดคล้องกับสภาวะการใช้งานจริง ในการจำลองเชิง
 โปรแกรมคอมพิวเตอร์จึงทำการวิเคราะห์ในกรณีเปิด
 เครื่องปรับอากาศและได้อิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อน
 เนื่องจากหลอดไฟ



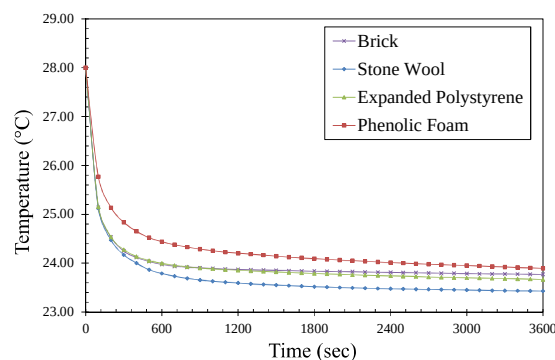
รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในห้องเรียน R-424 ที่ได้จากการทดลองและจากการใช้การจำลองเชิงตัวเลข

3.2 อิทธิพลของชนิดฉนวนกันความร้อน

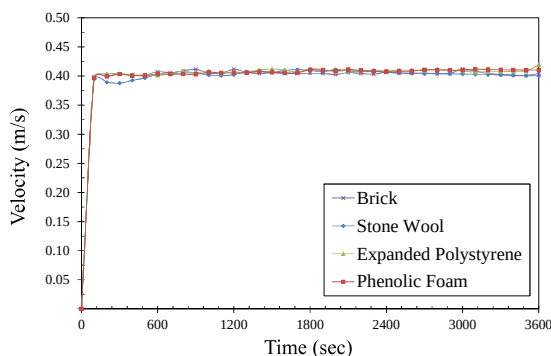
ในส่วนนี้จะนำเสนออิทธิพลของฉนวนกันความร้อนต่อการกระจายตัวอุณหภูมิและความเร็วของอากาศภายในห้อง โดยชนิดของฉนวนกันความร้อนที่เลือกใช้ในการศึกษาจะประกอบด้วย ฉนวนกันความร้อนประเภทอิฐมอญ (Brick) (วัสดุก่อผนังเดิม) โยหิน (Stone Wool) พอลิสไตรีน (Expanded Polystyrene (EPS)) และฟีนอลิคโฟม (Phenolic Foam) รูปที่ 9 แสดงอิทธิพลของฉนวนกันความร้อนต่อการกระจายตัวอุณหภูมิของอากาศภายในห้อง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของห้องที่แปรเปลี่ยนตามเวลา เมื่อความเร็วอากาศที่ทางเข้าห้องจากเครื่องปรับอากาศเท่ากับ 3 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นค่าความเร็วของอากาศที่ได้จากการทดลอง จากรูปที่ 9 พบว่าลักษณะการกระจายตัวอุณหภูมิของอากาศจากการใช้ฉนวนกันความร้อนทั้ง 4 ชนิดจะมีความใกล้เคียงกันคือเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่าอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงจากค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของอากาศที่ 28 องศาเซลเซียส ณ วินาทีที่ 0 เนื่องจากฉนวนกันความร้อนจะช่วยกันความร้อนจากภายนอกเข้ามาภายในห้อง จึงทำให้เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าอุณหภูมิจึงลดลง เมื่อพิจารณาอิทธิพลของฉนวนกันความร้อนในแต่ละชนิดต่อการกระจายตัวอุณหภูมิของอากาศจะพบว่าค่าอุณหภูมิจากการใช้ฉนวนกันความร้อนชนิดฟีนอลิคโฟม (Phenolic Foam) จะมีค่าสูงที่สุด

รองลงมาคือค่าอุณหภูมิจากการใช้ฉนวนกันความร้อนชนิดอิฐมอญ (Brick) (วัสดุก่อผนังเดิม) พอลิสไตรีน (Expanded Polystyrene (EPS)) และโยหิน (Stone Wool) ตามลำดับ และพบว่ารูปแบบการกระจายตัวของอากาศภายในห้องจากการใช้ฉนวนกันความร้อนชนิดอิฐมอญ (Brick) (วัสดุก่อผนังเดิม) และชนิดพอลิสไตรีน (Expanded Polystyrene (EPS)) จะมีความใกล้เคียงกัน

รูปที่ 10 จะแสดงอิทธิพลของฉนวนกันความร้อนต่อการกระจายตัวความเร็วของอากาศภายในห้อง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของห้องที่แปรเปลี่ยนตามเวลา เมื่อใช้ฉนวนกันความร้อน 4 ชนิด จากรูปจะพบว่าชนิดของฉนวนกันความร้อนที่ใช้จะไม่ส่งผลต่อการไหลของอากาศภายในห้องมากนัก โดยพบว่าลักษณะการกระจายตัวความเร็วของอากาศจากการใช้ฉนวนกันความร้อนทั้ง 4 ชนิดจะมีความใกล้เคียงกันคือ ความเร็วของอากาศจะเพิ่มขึ้นจากค่าความเร็วเริ่มต้นของอากาศที่ 0 เมตรต่อวินาที ณ วินาที 0 และมีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น เนื่องจากห้องเรียนตัวอย่างที่พิจารณาจะมีความเร็วที่ทางเข้าห้องเพียงหนึ่งตำแหน่งจากเครื่องปรับอากาศ เมื่อเทียบกับปริมาตรของห้องเรียนตัวอย่างที่ค่อนข้างมีขนาดใหญ่ ทำให้ค่าความเร็วของอากาศภายในห้องมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในตำแหน่งกึ่งกลาง



รูปที่ 9 อิทธิพลของฉนวนกันความร้อนต่อการกระจายตัวอุณหภูมิของอากาศภายในห้อง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของห้องที่แปรเปลี่ยนตามเวลา



รูปที่ 10 อิทธิพลของฉนวนกันความร้อนต่อการกระจายตัวความเร็วของอากาศภายในห้อง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของห้องที่แปรเปลี่ยนตามเวลา

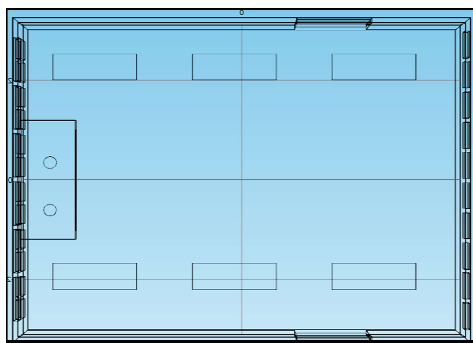
รูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิ (Temperature Profile) และรูปแบบการกระจายตัวความเร็ว (Velocity Profile) ของอากาศภายในห้องเรียนตัวอย่างจากการใช้ฉนวนกันความร้อนประเภทต่างๆ ที่เวลา 1800 วินาที และ 3600 วินาที จะแสดงในตารางที่ 2 จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นรูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิ และรูปแบบการกระจายตัวความเร็วจะเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณารูปแบบการกระจายตัวอุณหภูมิของอากาศภายในห้องเรียนตัวอย่างจากการใช้ฉนวนกันความร้อน 4 ชนิดจะเห็นได้ว่ารูปแบบการกระจายตัวอุณหภูมิของอากาศจากการใช้ฉนวนกันความร้อน 4 ชนิดมีความใกล้เคียงกันโดยจะมีค่าอุณหภูมิสูงบริเวณด้านข้างของห้อง และมีค่าลดลงเข้าสู่ด้านในของห้อง โดยพบว่าค่าอุณหภูมิจากการใช้ฉนวนกันความร้อนชนิดพีโนลิกโฟม (Phenolic Foam) จะมีค่าอุณหภูมิสูงที่สุด รองลงมาคือค่าอุณหภูมิจากการใช้ฉนวนกันความร้อนชนิดอิฐมวลเบา (Brick) (วัสดุก่อผนังเดิม) พอลิสไตรีน (Expanded Polystyrene (EPS)) และใยหิน (Stone Wool) มีค่าอุณหภูมิต่ำที่สุด ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับการกระจายอุณหภูมิในรูปที่ 9 เมื่อพิจารณารูปแบบการกระจายตัวความเร็วของอากาศภายในห้องเรียนตัวอย่างจากการใช้ฉนวนกันความร้อน 4 ชนิด จะพบว่ารูปแบบการกระจายตัวความเร็วของอากาศจะมีความ

ใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับรูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิ โดยการไหลของอากาศจะเกิดจากความเร็วของอากาศจากเครื่องปรับอากาศและเกิดการไหลมาบริเวณด้านในกึ่งกลางของห้องเรียนตัวอย่างส่งผลให้บริเวณด้านในของห้องความเร็วของอากาศจะมีค่าสูงกว่าความเร็วของอากาศด้านนอก และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นรูปแบบการกระจายตัวของความเร็วก็จะเพิ่มขึ้น แม้ความเร็วที่เกิดขึ้นภายในห้องเรียนตัวอย่างจะมีค่าค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับการศึกษาแบบการไหลในปัญหาอื่นๆ แต่การศึกษาให้ครอบคลุมทั้งรูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศถือเป็นการจำลองเสมือนจริงและเป็นตัวแทนพื้นฐานของปัญหาการศึกษาการถ่ายเทความร้อนภายในอาคาร

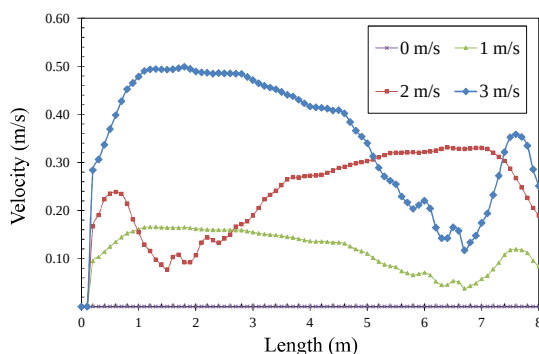
3.3 อิทธิพลของค่าความเร็วทางเข้าของอากาศ

การศึกษาอิทธิพลของค่าความเร็วทางเข้าของอากาศจากเครื่องปรับอากาศจะพิจารณาที่ค่าความเร็วทางเข้าของอากาศที่เปลี่ยนแปลงที่ 0 เมตรต่อวินาที 1 เมตรต่อวินาที 2 เมตรต่อวินาที และ 3 เมตรต่อวินาที โดยทำการพิจารณารูปแบบการกระจายตัวความเร็วของอากาศตามแนวเส้นตรงที่แบ่งกึ่งกลางห้องเรียนตัวอย่าง (ความยาว 8 เมตรความยาวตามแนวกึ่งกลางของห้องที่ 3 เมตร และความสูง 1.5 เมตร ในแนวกว้าง x, y และ z ตามลำดับ) ดังแสดงในรูปที่ 11 โดยอิทธิพลของค่าความเร็วทางเข้าของอากาศต่อรูปแบบการกระจายตัวความเร็วของอากาศตามความยาวแนวเส้นกึ่งกลาง โดยใช้อิฐมวลเบา (Brick) ณ เวลา 3600 วินาที จะแสดงในรูปที่ 12 จากรูปจะพบว่าการกระจายตัวความเร็วของอากาศที่ค่าความเร็วทางเข้าของอากาศที่เปลี่ยนแปลงทั้ง 4 ค่าจะมีรูปแบบการไหลที่ไม่แน่นอน โดยที่ค่าความเร็วทางเข้าของอากาศที่ความเร็ว 0 เมตรต่อวินาที จะมีค่าคงที่ที่ 0 เมตรต่อวินาที ตลอดตามแนวเส้น ที่ค่าความเร็วทางเข้าของอากาศที่ทางเข้า 2 เมตรต่อวินาที จะมีค่าความเร็วเพิ่มขึ้นในช่วงความยาว 0 ถึง 1 เมตร และมีค่าลดลงจนมีค่าเพิ่มขึ้นอีก

และมีค่าความเร็วสูงสุดของอากาศที่ความยาวประมาณ 7 เมตร ส่วนที่ค่าความเร็วทางเข้าของอากาศที่เปลี่ยนแปลง คือ 1 เมตรต่อวินาที และ 3 เมตรต่อวินาที จะมีการกระจายตัวความเร็วของอากาศที่คล้ายกันกล่าวคือจะมีค่าความเร็วค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงความยาว 0 ถึง 0.5 เมตร และมีค่าค่อยๆ ลดลงจนมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้ง และมีค่าความเร็วสูงสุดของอากาศที่ความยาวประมาณ 7.5 เมตร



รูปที่ 11 ตำแหน่งตามแนวเส้นตรงที่แบ่งกึ่งกลางห้องเรียนตัวอย่างในการเปรียบเทียบการกระจายตัวความเร็วของอากาศที่ค่าความเร็วทางเข้าแตกต่างกัน



รูปที่ 12 อิทธิพลของฉนวนกันความร้อนต่อการกระจายตัวความเร็วของอากาศภายในห้อง ตามแนวเส้นกึ่งกลาง ณ เวลา 3600 วินาที

4. สรุปผล

จากการศึกษาอิทธิพลของชนิดของวัสดุฉนวนกันความร้อนและค่าความเร็วทางเข้าของอากาศที่ส่งต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิและการไหลของอากาศภายใน

ห้องเรียนตัวอย่างจากการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข 3 มิติ และเทียบความถูกต้องของแบบจำลองกับการทดลองในห้องเรียนตัวอย่างจริง ผลการศึกษาพบว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศทั้ง 6 จุดที่ได้จากวิธีการจำลองเชิงตัวเลขจะสอดคล้องกันกับค่าอุณหภูมิของอากาศที่ได้จากการทดลอง อิทธิพลของฉนวนกันความร้อนทั้ง 4 ชนิดซึ่งประกอบด้วย อิฐมวลเบา (Brick) (วัสดุก่อนผนังเดิม) โยหิน (Stone Wool) พอลิสไตรีน (Expanded Polystyrene (EPS)) และฟีนอลิกโฟม (Phenolic Foam) จะช่วยกันความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกและส่งผลให้ค่าอุณหภูมิภายในห้องเรียนตัวอย่างลดลง นอกจากนั้น อิทธิพลชนิดของฉนวนกันความร้อนจะส่งต่อรูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในห้องเรียนตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาอย่างเห็นได้ชัด โดยค่าอุณหภูมิที่ได้จากฉนวนกันความร้อนชนิดฟีนอลิกโฟม (Phenolic Foam) จะมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือค่าอุณหภูมิจากการใช้ฉนวนกันความร้อนชนิดอิฐมวลเบา (Brick) (วัสดุก่อนผนังเดิม) พอลิสไตรีน (Expanded Polystyrene (EPS)) และโยหิน (Stone Wool) ตามลำดับ ส่วนอิทธิพลชนิดของฉนวนกันความร้อนจะส่งต่อรูปแบบการกระจายตัวของความเร็วอากาศภายในห้องเรียนตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาเพียงเล็กน้อย ในขณะที่อิทธิพลของค่าความเร็วทางเข้าของอากาศที่ส่งต่อการกระจายตัวความเร็วของอากาศตามแนวเส้นตรงที่แบ่งกึ่งกลางห้องเรียนตัวอย่างจะมีรูปแบบไม่แน่นอน ผลที่ได้จากการศึกษาจะสามารถช่วยให้คำแนะนำในการเลือกใช้ชนิดของฉนวนกันความร้อนและช่วยเป็นพื้นฐานในการออกแบบด้านพลังงานของอาคารประเภทต่างๆ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน,(2003).การประหยัดพลังงานในอาคาร, URL: <http://www.technologymedia.co.th>, access on 03/03/2003.



[2] Schiavoni, S., D' Alessandro, F., Bianchi, F. and Asdrubali, F. (2016). Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 62, September 2016, pp. 988–1011.

[3] Chirattananon, S., Hien, V.D. (2012). Thermal performance and cost effectiveness of wall insulation under Thai climate, *Energy and Buildings*, vol. 45, February 2012, pp. 82–90.

[4] Byrne, A., Byrne, G., O'Donnell, G. and Robinson, A. (2016). Case studies of cavity and external wall insulation retrofitted under the Irish Home Energy Saving, *Energy and Buildings*, vol. 130, October 2016, pp. 420–433.

[5] Gori, P., Guattari, C., Evangelisti, L. and Asdrubali, F. (2016). Design criteria for improving insulation effectiveness of multilayer walls, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 103, December 2016, pp. 349–359.