

การจำลองเพื่อปรับปรุงระบบระบายอากาศในโรงงานหลอมและขึ้นรูปโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก

Simulation for Improvement of Ventilation System in Non-Ferrous Metals Processing Plant

เอกชัย แวงวรรณ¹

สถาพร เชื้อเพ็ง²

สีบสกุล สุรัตน์³

¹นักศึกษาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัยและการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

³อาจารย์ประจำ ดร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

E-mail: suabsakul@eng.src.ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการไหลของอากาศและการถ่ายเทความร้อนภายในโรงงานหลอมและขึ้นรูปโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก โดยโปรแกรมสำเร็จรูปทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณถูกนำมาใช้วิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิและการไหลของอากาศ งานวิจัยนี้ได้เสนอ 2 แนวทางเพื่อลดอุณหภูมิและเพิ่มความเร็วของอากาศ ได้แก่ การจัดเรียงตำแหน่งของพัดลมใหม่ และการติดตั้งช่องเปิดที่ผนังอาคาร ผลการศึกษาพบว่าการจัดเรียงตำแหน่งของพัดลมใหม่ให้ผลการศึกษาน่าพอใจโดยสามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยจาก 34.65 องศาเซลเซียส เหลือ 32.32 องศาเซลเซียส และเพิ่มความเร็วเฉลี่ยของอากาศจาก 0.5 m/s เป็น 0.88 m/s

คำสำคัญ: การถ่ายเทความร้อน พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ อุณหภูมิอากาศ พัดลม

ABSTRACT

The research aims to study characteristics of airflow and heat transfer in non-ferrous metals processing plant. The commercial Computational Fluid Dynamics software is used to analyze the temperature distribution and airflow characteristics. Two different methods, new fan arrangement and installing the open walls, are purposed in order to decrease temperature and increase velocity of air. The new fan arrangement shows satisfied results that average air temperature can be reduced from 34.65 °C down to 32.32 °C and average air velocity is increased from 0.5 m/s to 0.88 m/s

KEYWORDS: Heat transfer, Computational Fluid Dynamics, Air temperature, Fan

บทนำ

การปฏิบัติงานภายในโรงงานอุตสาหกรรม ผู้ปฏิบัติงานได้สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมในการทำงานอยู่ทุกวัน เช่น สารเคมี เสียง แสง ความร้อน และปัจจัยอื่นๆ อีกมากมาย ทั้งนี้ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะกระบวนการผลิตของแต่ละอุตสาหกรรม สิ่งเหล่านี้หากไม่มีการควบคุมที่ดีพอ จะนำมาซึ่งปัญหาต่างๆ ได้ โดยเฉพาะปัญหาด้านสุขภาพของตัวผู้ปฏิบัติงาน

โรงงานอุตสาหกรรมประเภทหลอมและขึ้นรูป โลหะเป็นอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตที่มีการให้ความร้อนในการแปรรูปชิ้นงานจนได้เป็นผลิตภัณฑ์ ผู้ปฏิบัติงานจะต้องสัมผัสกับความร้อนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นสิ่งที่ผู้ประกอบการ หรือผู้ที่ได้รับมอบหมาย เช่น หน่วยงานความปลอดภัย หรือเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับต่างๆ ต้องเสนอแนะแนวทาง มาตรการที่มีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ เพื่อควบคุมดูแลสภาพแวดล้อมในการทำงานให้คงอยู่ในมาตรฐานของกฎหมาย ที่กำหนดกฎกระทรวงฉบับที่ 39 ปี พ.ศ. 2537 ให้อาคารจะจัดให้มีการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติหรือวิธีกลก็ได้กรณีอาคารที่มีการระบายอากาศโดยวิธีกล (กระทรวงมหาดไทย, 2537)

ระบบระบายอากาศ เป็นเครื่องมือหนึ่งในการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในอาคาร ด้วยลักษณะกระบวนการผลิต ที่อยู่ภายในอาคารขนาดใหญ่และมีความร้อนจากแหล่งต่างของกระบวนการ จึงต้องมีการจัดให้มีการควบคุมดูแลให้มีการระบายอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งวิธีการระบายอากาศทางธรรมชาติหรือทางกลซึ่งก็มีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง เช่น การวางผังโรงงานตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบให้แหล่งความร้อนอยู่ใกล้กับช่องเปิดทางออกเพื่อให้การกระจายตัวของอากาศพาความร้อนออกนอกตัวอาคาร

Rohdin & Moshfegh (2007) ได้ทำการประเมินแบบจำลองความปั่นป่วน 3 แบบ ในการจำลองการไหลของอากาศภายในอาคารของโรงงานอุตสาหกรรม จากการศึกษาเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดจริงพบว่า จำลองความปั่นป่วนชนิด RNG $k-\epsilon$ (Renormalization) มีความเหมาะสมในการทำนายลักษณะการไหลและการกระจายตัวของอุณหภูมิที่สุด

อมรลักษณ์ (2550) ได้ทำการศึกษาออกแบบปรับปรุงการระบายอากาศในอาคารผลิตกระดาษ โดยทำการเพิ่มช่องระบายอากาศที่ผนังของอาคาร รวมถึงเพิ่มขนาดพัดลมเพื่อช่วยในการลดอุณหภูมิภายในอาคาร ผลการปรับปรุงสามารถลดอุณหภูมิจาก 42 องศาเซลเซียส จนเหลือ 32 องศาเซลเซียส

เอกชัย (2550) ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนจากเตาหลอมโลหะในอาคารโรงงานหล่อเหล็กเหนียว ออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยใช้โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ซึ่งอาคารที่ทำการศึกษาคืออาคารที่มีเตาหลอมโลหะจำนวน 5 เตา ก่อนทำการปรับปรุงพบว่าความร้อนหน้าเตาหลอมเหล็กอยู่ที่ 45 องศาเซลเซียส ซึ่งเกินค่ามาตรฐานความปลอดภัยของกระทรวงมหาดไทย จึงได้ทำการศึกษาแนวทางแก้ไขโดยจำลองการติดตั้งพัดลมเป่าอากาศที่มีกำลังพัดลมขนาด 1.5 แรงม้า ซึ่งสามารถช่วยลดระดับอุณหภูมิหน้าเตาหลอมลงเหลือ 32 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัย

สุนทร (2549) ได้ศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากเตาหลอมอลูมิเนียม และได้ออกแบบปรับปรุงระบบระบายอากาศ โดยทำการหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งพัดลมระบายอากาศสำหรับลดระดับความร้อนให้ผู้ปฏิบัติงานอยู่บริเวณหน้าเตาหลอมอะลูมิเนียม พบว่าสาเหตุของปัญหาความร้อนมาจากการเกิดจุดอับลม บริเวณหน้าเตาหลอม จากนั้นได้ทำการติดตั้งพัดลมระบายอากาศขนาด 4,800 และ 6,400 CFM ที่ระยะห่างจากจุดที่คนทำงาน 5 เมตร เพื่อเพิ่มความเร็วของอากาศในบริเวณหน้าเตาหลอม ผลการศึกษาสามารถลดความร้อนลงได้ อยู่ในช่วง 29-32 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานกฎหมาย

Zhang et al. (2016) ได้ทำการจำลองการไหลของอากาศภายในโรงเรือนเพาะชำต้นไม้ การศึกษาได้ใช้แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด Relizable $k-\epsilon$ มาจำลองการไหลร่วมกับการตรวจวัดจริง สำหรับโรงเรือนได้ทำการติดตั้งชุดหัวฉีดอากาศจำนวน 1 – 4 ด้านบนเพดาน และพ่นอากาศจากเพดานลงสู่พื้น ผลการศึกษาพบว่าจำนวนชุดหัวฉีดอากาศเพียง 2 ชุดนั้นเพียงพอในการรักษาอุณหภูมิและการไหลเวียนอากาศ นอกจากนี้ยังให้ความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์มากที่สุดอีกด้วย

จากการตรวจเอกสารพบว่า สำหรับวิธีที่นิยมในการลดอุณหภูมิและเพิ่มการไหลเวียนอากาศภายในโรงงานมีด้วยกัน 2 รูปแบบนั่นคือ การเพิ่มพัดลมในการระบายอากาศสำหรับจุดอับลม และการเพิ่มช่องเปิดออกนอกอาคารเพื่อระบายความร้อนที่สะสมอยู่ออกไป

สำหรับงานวิจัยนี้ทำการศึกษาและพัฒนากระบวนการระบายอากาศภายในอาคารหลอมและขึ้นรูปโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก เฉพาะพื้นที่ที่ทำการศึกษาขึ้นรูปโลหะเท่านั้น โดยพิจารณาผลของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศภายในโรงงาน สำหรับการทำศึกษานี้ได้ทำการจำลองการไหลของอากาศในสถานะเดิมที่มีการวางตำแหน่งพัดลมที่มีรูปแบบไม่เป็นระเบียบ และได้เสนอ 2 แนวทางในการปรับปรุง ได้แก่ การเพิ่มช่องเปิดของอาคารบริเวณที่ใกล้กับแหล่งความร้อน และการจัดเรียงตำแหน่งของพัดลมทั้ง 12 ตัวใหม่

สำหรับดัชนีชี้วัดในการปรับปรุงนั้นได้พิจารณาถึงอุณหภูมิที่สามารถลดได้และความเร็วของอากาศที่เพิ่มขึ้นภายในอาคาร

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาลักษณะการไหลของอากาศและการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหลอมและขึ้นรูปโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก
2. เพื่อศึกษาแนวทางในการลดอุณหภูมิภายในโรงงาน

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถหาตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงและจุดที่มีความเร็วของอากาศต่ำ ซึ่งจะเป็นบริเวณที่มีอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานภายในโรงงาน
2. ได้แนวทางในการปรับปรุงเพื่อลดค่าอุณหภูมิภายในโรงงาน

สมการควบคุม

การจำลองการไหลและการถ่ายเทความร้อนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณนั้นเป็นที่นิยมมากในงานออกแบบทางวิศวกรรม เพราะมีความสะดวก รวดเร็ว มีความแม่นยำ และช่วยลดอันตรายระหว่างการวิจัย

เนื่องจากการไหลของอากาศในโรงงานเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ดังนั้นในงานวิจัยนี้ นำวิธีการเฉลี่ยของเรย์โนลด์ (Reynolds Averaging Navier-Stokes, RANS) มาใช้กับสมการการเคลื่อนที่ของการไหลแบบปั่นป่วน เพื่อแปลงสมการการเคลื่อนที่ของการไหลแบบปั่นป่วน ให้อยู่ในรูปของค่าเฉลี่ย โดยสมมุติฐานของงานวิจัยนี้ได้แก่ เป็นการไหลที่อัดตัวไม่ได้ (Incompressible Flows) และเป็นสภาวะคงตัว (Steady) สามารถเขียนเป็นสมการในรูปเทนเซอร์ได้ดังนี้

สมการกฏทรงมวล

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

โดย ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล ถัดมา u_i และ x_i คือค่าความเร็วเฉลี่ย และค่าแกนพิกัดฉาก

สมการโมเมนตัม

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_i} = \frac{\partial(P_i)}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} (-\rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (2)$$

โดยที่ μ และ P_i คือสัมประสิทธิ์ความหนืดและความดันตามลำดับ สำหรับสมการโมเมนตัมที่ถูกเฉลี่ยด้วยวิธีการของเรย์โนลด์ ต่างจากสมการโมเมนตัมที่ยังไม่ได้ถูกเฉลี่ย เนื่องจากมีพจน์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้วิธีการเฉลี่ยของเรย์โนลด์ คือ พจน์ความเค้นเรย์โนลด์ (Reynolds Stresses, $\overline{u'_i u'_j}$) ซึ่งพจน์ที่เกิดขึ้นนี้เป็นพจน์ที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากความปั่นป่วนที่เกิดขึ้น โดยพจน์ความเค้นเรย์โนลด์มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียด ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการตามสมมุติฐานของ Boussinesq (1877) ดังนี้

$$\overline{\rho u_i u_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \quad (3)$$

โดยที่ค่า Eddy Viscosity (μ_t) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (k) และค่าอัตราการลดลงของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (ε) สามารถเขียนได้ ดังนี้

$$\mu_t = \rho c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด $k-\varepsilon$

โดยสมการพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (k) เขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon \quad (5)$$

สมการอัตราการลดลงของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (ε) เขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + \left(C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{\varepsilon 3} G_b) \right) \frac{\varepsilon}{k} - \rho C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon}{k} \quad (6)$$

โดยที่

$$G_k = -\overline{\rho u_i u_j} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (7)$$

$$G_b = -g_i \frac{1}{\rho} \frac{\mu_t}{Pr_T} \frac{\partial p}{\partial x_i} \quad (8)$$

สำหรับค่าคงที่ต่างๆ ในสมการจะใช้ค่าคงที่ของ Launder & Sharma (1974) โดย C_μ , $C_{\varepsilon 1}$, $C_{\varepsilon 2}$, $C_{\varepsilon 3}$, σ_k , σ_ε และ σ_T มีค่า 0.09, 1.44, 1.92, 1, 1, 1.3 และ 0.9 ตามลำดับ

สำหรับการคำนวณค่าอุณหภูมิ สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการพลังงาน (Energy Equation)

$$\frac{\partial(\rho c_p T u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\partial k T}{\partial x_i} \right) + S \quad (9)$$

สำหรับ T และ c_p คือ ค่าอุณหภูมิและค่าความจุความร้อนจำเพาะ ส่วน S พจน์การผลิตความร้อน สำหรับสมการควบคุมการไหลและอุณหภูมิทั้งหมดจะถูกทำให้ไม่ต่อเนื่อง (Discretization) โดยระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method, FVM) และใช้วิธีประมวลผลแบบ Segregated ต่อมาสำหรับการแก้ปัญหาที่มีความเร็วและความดันร่วมกันนั้นได้ใช้ ระเบียบวิธี SIMPLE เข้ามาแก้ปัญหา (Patankar, 1980)

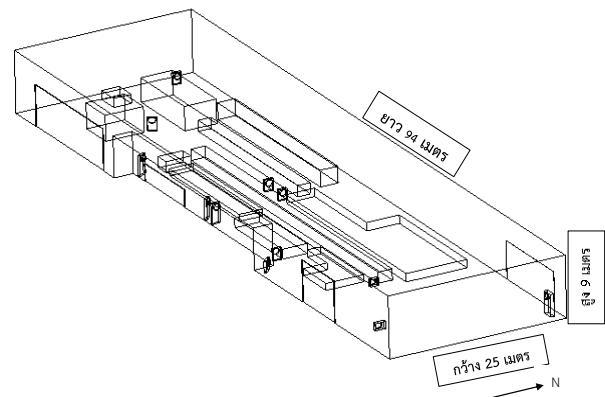
ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขแบบทำซ้ำ (Iterative Method) ได้ถูกนำมาแก้ปัญหาระบบสมการพีชคณิต (Algebraic Equation) ของปัญหา และค่าการลู่เข้าของระบบสมการนั้นกำหนดให้ค่าความแตกต่าง (Error) ต้องมีค่าน้อยกว่า 0.0001

งานวิจัยนี้เลือกแบบจำลองความปั่นป่วนชนิดนี้เพราะเนื่องจากจำนวนกริดในการคำนวณมีขนาดใหญ่การใช้แบบจำลองชนิดนี้ทำให้ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าแบบอื่น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การตรวจวัดตัวแปรที่เกี่ยวข้องภายในโรงงาน

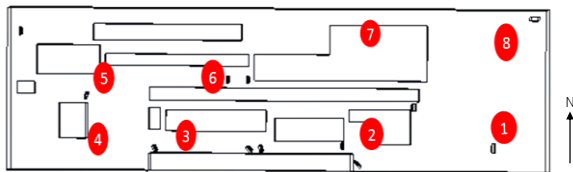
โรงงานอุตสาหกรรมประเภทหลอมและขึ้นรูปโลหะที่ไม่ใช่เหล็กในงานวิจัยนี้มีขนาดความยาว 94 เมตร กว้าง 25 เมตร สูง 9 เมตร ดังรูปที่ 1 ภายในมีเครื่องจักรที่มีความร้อนจำนวน 11 ตัว โดยโรงงานได้ทำการติดตั้งเพื่อระบายความร้อนจำนวน 12 ตัว



รูปที่ 1 อาคารหลอมและขึ้นรูปโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก

งานวิจัยนี้ได้มีการตรวจวัดอุณหภูมิและความเร็วของอากาศโดยเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความเร็วของอากาศ (Anemometer) ภายในอาคารโรงงานจำนวน 8 จุด ที่ระดับความสูง 1.2 เมตร อ้างอิงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างตามมาตรฐานของ Ministry of Environment (1996) ดังรูปที่ 2

จากนั้นได้ทำการวัดความเร็วของอากาศและอุณหภูมิ เป็นระยะเวลา 15 วัน โดยทำการวัดในช่วงเวลา 13.00 ถึง 15.00 ทุกๆ ชั่วโมง ทั้ง 8 จุด เนื่องจากเป็นเวลาที่อากาศภายนอกร้อนที่สุดของวัน สำหรับค่าอุณหภูมิบรรยากาศภายนอกอาคารเฉลี่ย 15 วันนั้นมีค่า 33.06 องศาเซลเซียส ต่อมาค่าอุณหภูมิความเร็วของอากาศที่จุดวัดทั้ง 8 จุด จำนวน 15 วัน นั้นจะถูกนำมาเฉลี่ยโดยค่าทั้งหมดถูกแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 2 ตำแหน่งการตรวจวัดอุณหภูมิและความเร็วของอากาศ

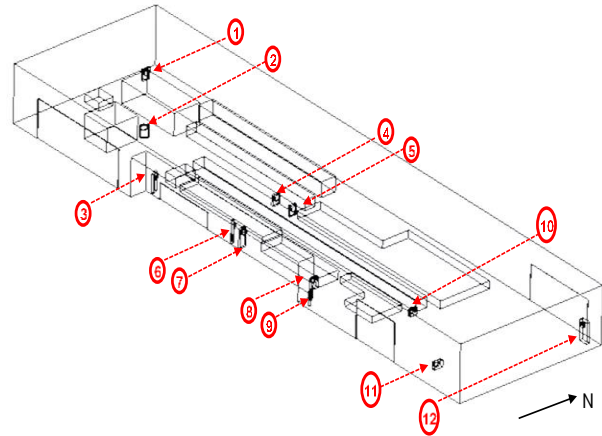
ตารางที่ 1 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยและความเร็วของอากาศเฉลี่ย 8 จุด

จุดตรวจวัด	ผลการวัดค่า	
	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วของอากาศ (m/s)
จุดที่ 1	34.09	0.90
จุดที่ 2	33.91	0.64
จุดที่ 3	34.32	0.63
จุดที่ 4	34.46	0.06
จุดที่ 5	34.70	0.04
จุดที่ 6	34.48	0.05
จุดที่ 7	33.92	0.02
จุดที่ 8	33.44	1.11

2. การกำหนดค่าขอบสำหรับโปรแกรมด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

สำหรับการเก็บข้อมูลค่าขอบสำหรับกำหนดในโปรแกรมด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณนั้น ได้ทำการวัดค่า

อุณหภูมิและความเร็วของพัดลมจำนวน 12 ตัวที่ติดตั้งภายในโรงงานจริง โดยตำแหน่งของพัดลมทั้ง 12 ตัว ถูกแสดงในรูปที่ 3 ข้อมูลการตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความเร็วลมของพัดลมแต่ละตัวแสดงดังตารางที่ 2

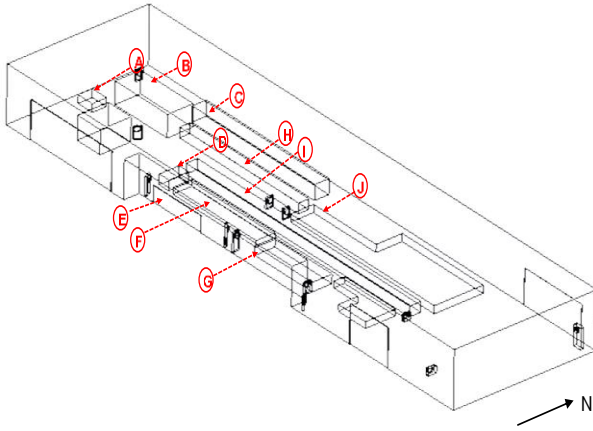


รูปที่ 3 ตำแหน่งพัดลมระบายอากาศจำนวน 12 ตัว

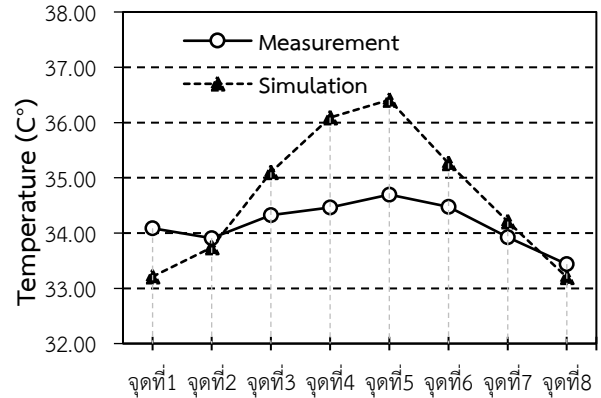
ตารางที่ 2 ความเร็วลมและอุณหภูมิของพัดลม

พัดลม	ผลการวัดค่า	
	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)
1	34.70	3.70
2	34.40	3.90
3	34.00	3.70
4	34.50	3.70
5	34.30	3.50
6	33.60	4.00
7	34.60	3.80
8	33.90	4.50
9	34.80	4.20
10	33.90	4.50
11	34.20	3.90
12	33.70	4.10

ในการกำหนดค่าอุณหภูมิของเครื่องจักรนั้น ได้ใช้เครื่องถ่ายภาพความร้อนถ่ายภาพเครื่องจักรแหล่งต่างๆ ซึ่งถูกแสดงด้วยสัญลักษณ์ A B C D E F G H I และ J เพื่อหาค่าอุณหภูมิจริงเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ย โดยตำแหน่งของเครื่องจักรนั้นถูกแสดงในรูปที่ 4 และค่าอุณหภูมิเฉลี่ยถูกแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 4 แหล่งความร้อนจำนวน 10 ตำแหน่ง



รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิ

ตารางที่ 3 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องจักร

เครื่องจักร	อุณหภูมิ (°C)
เตาอบแม่พิมพ์ (A)	58.29
เครื่องอัดรีดร้อน (B)	56.61
เตาอบท่อนโลหะ (C)	62.36
ระบบปั๊ม (D)	62.30
ตู้ไฟไฟฟ้า (E)	38.79
เครื่องตัด (F)	39.51
เครื่องตัดสั้น (G)	40.09
เครื่องหล่อเย็น (H)	40.23
สายพานลำเลียง (I)	40.70
เครื่องพักหลังการรีดร้อน (J)	40.38

3. การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

ในการจำลองการไหลและการถ่ายเทความร้อนได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Ansys เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม ได้มีการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงจำนวน 8 จุดเทียบกับผลการจำลองด้วยโปรแกรม โดยพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ไม่เกินร้อยละ 5 ดังรูปที่ 5 ผลการศึกษาที่ได้สามารถสรุปได้ว่าค่าที่ได้จากโปรแกรมมีค่าถูกต้องแม่นยำเพียงพอ

4. การศึกษาความอิสระของกริด

สำหรับการจำลองการไหลนั้นจำนวนของกริดมีผลต่อความถูกต้องแม่นยำ ดังนั้นการศึกษาความเป็นอิสระของกริดจึงมีความจำเป็น โดยทำการจำลองการไหลผ่านกรณีศึกษา 2 แบบ โดยมีจำนวนกริด ได้แก่ 2,722,597 กริด และจำนวน 4,419,772 กริด จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ จำนวน 8 จุด ดังตารางที่ 4 พบว่าค่าร้อยละความแตกต่างของอุณหภูมิโดยรวมสามารถยอมรับได้ อย่างไรก็ตามมีบางจุดที่มีค่ามากกว่าร้อยละ 20 อันเนื่องมาจาก กริดที่ไม่เพียงพอทั้งนี้ด้วยขีดจำกัดด้านสมรรถนะของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ไม่เพียงพอ

ตารางที่ 4 ค่าอุณหภูมิของกริดทั้ง 2 แบบ

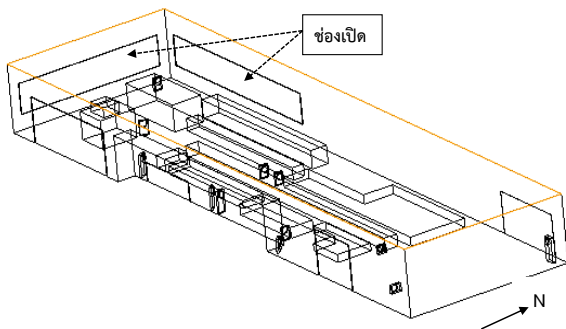
จุดที่	กริด		ร้อยละความแตกต่าง
	4,419,772	2,722,597	
1	33.21	33.22	0.03
2	33.74	31.15	7.68
3	35.10	32.79	6.58
4	36.09	26.96	25.30
5	36.41	29.07	20.16
6	35.26	31.77	9.90
7	34.21	33.04	3.42
8	33.20	31.39	5.45

5. การพัฒนาระบบระบายอากาศ

สำหรับการศึกษาและพัฒนาระบบระบายอากาศภายในโรงงานนั้นได้แบ่งกรณีศึกษาเป็น 3 กรณีดังนี้

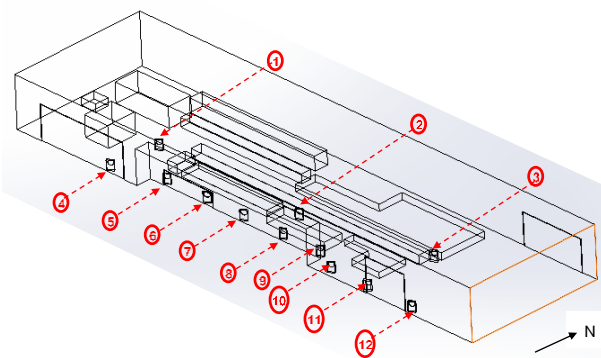
กรณีศึกษา 0 เป็นการศึกษาขณะที่ไม่มีการปรับปรุงใดๆ เพื่อให้ทราบลักษณะการกระจายตัวของอากาศและอุณหภูมิในสภาพปัจจุบันก่อนการเสนอกรณีปรับปรุงซึ่งแผนผังการจัดวางวัดลมได้แสดงดังรูปที่ 3 ที่กล่าวไว้ข้างต้นในเรื่องการตรวจวัดและการกำหนดค่าเงื่อนไข

กรณีศึกษา 1 ได้มีการปรับปรุงโดยการเพิ่มช่องเปิดของผนังด้านทิศเหนือและทิศตะวันตกบริเวณใกล้กับกระบวนการที่มีการให้ความร้อน ได้แก่ เครื่องอัดรีดร้อน เครื่องอบท่อนโลหะ และเครื่องอบแม่พิมพ์ ถูกถ่ายเทออกจากตัวอาคารดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 กรณีศึกษา 1

กรณีศึกษา 2 ได้มีการปรับปรุงตำแหน่งการติดตั้งพัดลมทั้ง 12 ตัว โดยปรับตำแหน่งโดยวางตำแหน่งพัดลมให้อยู่แนวทิศใต้ของอาคารทำมุม 30 องศากับทิศตะวันออกเพื่อเป่าอากาศร้อนออกจากตำแหน่งที่ปฏิบัติงานดังรูปที่ 7

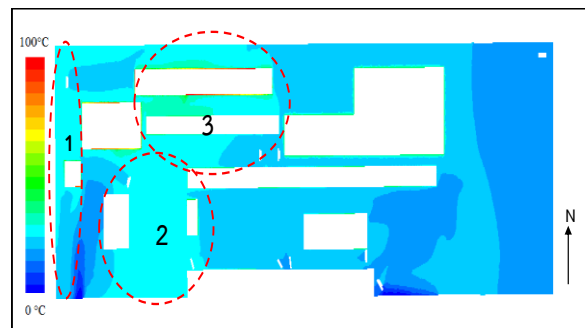


รูปที่ 7 กรณีศึกษา 2

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการศึกษากรณีศึกษา 0

จากกรณีศึกษา 0 ได้แสดงระนาบการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระดับความสูง 1.2 m ถูกแสดงดังรูปที่ 8 พบการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงที่ผนังอาคารด้านทิศตะวันตกตลอดแนว บริเวณห้องควบคุมกระบวนการผลิตอัดรีด และบริเวณผนังอาคารด้านทิศเหนือและโดยรอบเตาอบท่อนโลหะ ดังแสดงในวงกลมหมายเลข 1 2 และ 3 ตามลำดับ เนื่องจากทั้ง 3 บริเวณนั้นเป็นพื้นที่ที่อยู่โดยรอบกระบวนการผลิตที่มีการให้ความร้อน



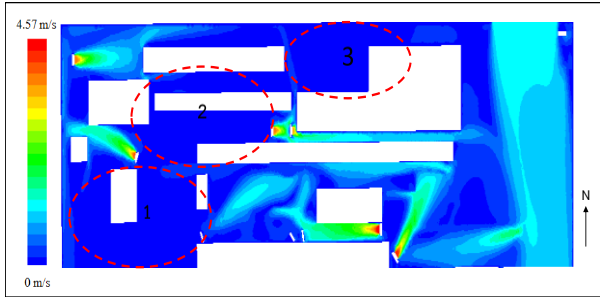
รูปที่ 8 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโรงงานกรณีศึกษา 0

ผลการศึกษาการกระจายตัวของความเร็วลมในกรณีศึกษา 0 พบว่ามีหลายพื้นที่ไม่มีการเคลื่อนตัวของอากาศเกิดขึ้นหรือความเร็วลมเป็น 0 m/s โดยเฉพาะในบริเวณวงกลม 1 2 และ 3 โดยทั้ง 3 บริเวณครอบคลุมพื้นที่การปฏิบัติงานประมาณร้อยละ 30 ของอาคาร ถูกแสดงดังรูปที่ 9 เนื่องจากการวางตำแหน่งพัดลมได้ติดตั้งเฉพาะบริเวณที่มีผู้ปฏิบัติงานเป็นประจำเท่านั้น

สำหรับพัดลมตำแหน่งหมายเลข 7 กับหมายเลข 8 ด้านทิศใต้ของโรงงาน พบว่าได้มีการเป่าเข้าหากันรวมถึงพัดลมหมายเลข 9 และหมายเลข 10 ก็มีการเป่าลมเข้าหากันด้วย ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์

พัดลมหมายเลข 1 ที่ติดตั้งด้านผนังทิศตะวันตกของโรงงาน มีการเป่าลมร้อนจากกระบวนการอัดรีดร้อนและเตาอบท่อนโลหะย้อนกลับเข้าสู่อาคาร ขณะที่พัดลมหมายเลข 2 มีทิศทางการเป่าอากาศที่มีลักษณะเป่าอากาศร้อนจากเครื่องอัดรีดร้อนออกไปแต่ก็ไม่มีช่องเปิดในทิศทางฝั่งตรงข้ามที่สามารถระบายความร้อนออกไปได้

จากรูปแบบการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นส่งผลให้อากาศร้อนไม่สามารถถ่ายเทออกนอกอาคารได้ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับค่าอุณหภูมิที่บริเวณผนังด้านทิศตะวันตกที่มีค่าอุณหภูมิสูง



รูปที่ 9 การกระจายตัวของความเร็วของอากาศภายใน โรงงาน กรณีศึกษา 0

2. ผลการศึกษกรณีศึกษา 1

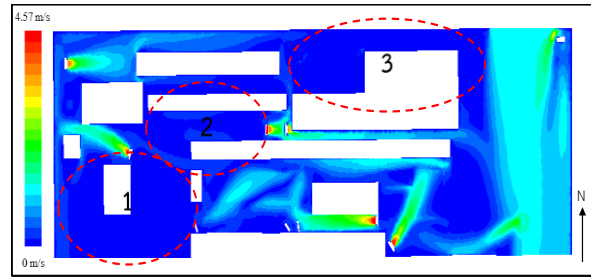
กรณีศึกษา 1 ได้การปรับปรุงโดยการเพิ่มช่องเปิดด้านทิศเหนือและทิศตะวันตกบริเวณใกล้กับ กระบวนการที่มีการให้ความร้อน แสดงระนาบการกระจายตัวของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศที่ระดับความสูง 1.2 m ดังรูปที่ 10 พบว่าพื้นที่ที่มีการสะสมความร้อนจากกระบวนการผลิตที่มีการให้ความร้อนมี อุณหภูมิลดลงจากกรณีศึกษา 0 อย่างเห็นได้ชัดทั้ง 3 บริเวณ เป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มช่องเปิดอาคารทั้งด้าน ทิศตะวันตกและด้านทิศเหนือเพื่อเพิ่มระบายความร้อน



รูปที่ 10 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโรงงาน กรณีศึกษา 1

การศึกษาการกระจายตัวของความเร็วของอากาศในกรณีศึกษา 1 ถูกแสดงดังรูปที่ 11 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบลักษณะการไหลของอากาศกับกรณีศึกษา 0 แล้วพบว่าแนวโน้มและลักษณะการไหลของอากาศมีความคล้ายคลึงกันทั้ง 3 บริเวณในวงกลมหมายเลข 1

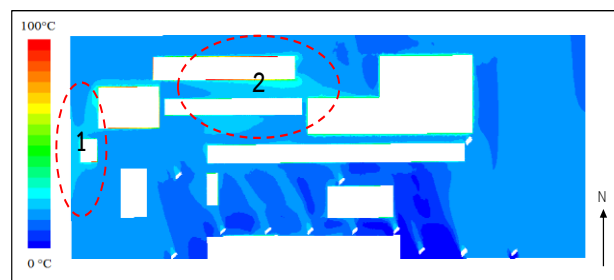
2 และ 3 เนื่องจากกรณีศึกษานี้ไม่มีการปรับเปลี่ยน ตำแหน่งพัดลมแต่อย่างใด



รูปที่ 11 การกระจายตัวของความเร็วของอากาศภายใน โรงงาน กรณีศึกษา 1

3. ผลการศึกษกรณีศึกษา 2

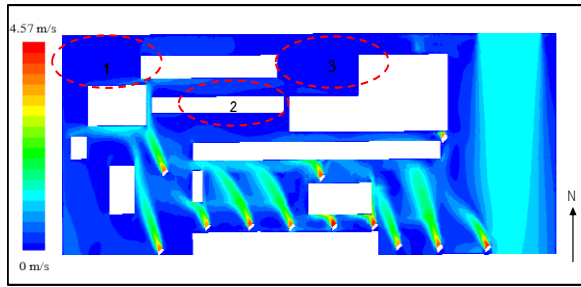
สำหรับกรณีศึกษา 2 นั้นได้มีการปรับปรุงโดยการปรับเปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งพัดลม โดยวางตำแหน่งพัดลมให้อยู่แนวทิศใต้ของอาคาร และทำมุม 30 องศาทิศ ตะวันออกเพื่อเป่าอากาศร้อนออกจากตำแหน่งที่ ปฏิบัติงาน การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระดับความสูง 1.2 m ถูกแสดงในรูปที่ 12 พบว่าระดับอุณหภูมิ โดยรวม ลดลงอย่างชัดเจน แต่ยังมีบางพื้นที่ซึ่งเป็นส่วนน้อยที่ยังคงมีอุณหภูมิสูงอยู่ ได้แก่บริเวณวงกลมหมายเลข 1 บริเวณใกล้กับผนังอาคารด้านทิศตะวันตก และวงกลม หมายเลข 2 บริเวณใกล้กับเครื่องอบท่อนโลหะ เป็นผล เนื่องมาจากไม่มีการเปิดช่องระบายความร้อนให้ออกจาก อาคาร



รูปที่ 12 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโรงงาน กรณีศึกษา 2

การกระจายตัวของความเร็วของอากาศที่ ระดับความสูง 1.2 m ของกรณีศึกษา 2 ถูกแสดงในรูป ที่ 13 พบว่าการเคลื่อนตัวของอากาศโดยรวมมี ความเร็วของอากาศสูงขึ้นแต่ก็มีบางพื้นที่ บริเวณวงกลม หมายเลข 1 2 และ 3 ยังมีความเร็วเป็น 0 ครอบคลุม

พื้นที่ร้อยละ 20 ของพื้นที่โรงงาน ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวถูกบังทิศทางลมโดยเครื่องจักร

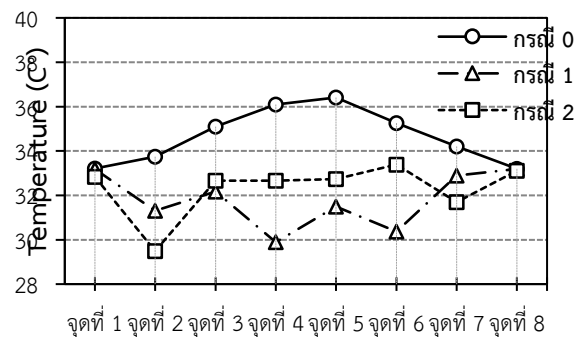


รูปที่ 13 การกระจายตัวของความเร็วของอากาศภายในโรงงาน กรณีศึกษา 2

4. ผลการศึกษาเปรียบเทียบ

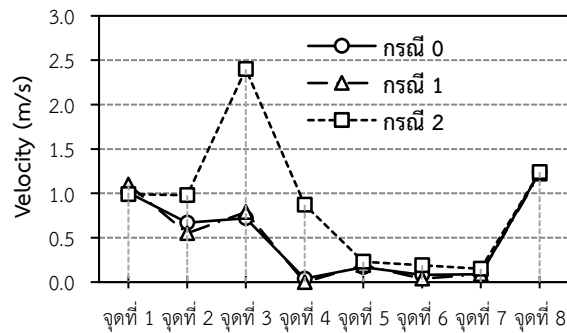
ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายอากาศถูกแสดงดังรูปที่ 14 และรูปที่ 15 โดยทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิและความเร็วของอากาศจำนวน 8 จุด ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิพบว่าแนวโน้มการกระจายตัวของอุณหภูมิกรณีศึกษา 1 มีค่าต่ำกว่ากรณีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจน สำหรับจุดวัดที่ 4 และ 5 (ตำแหน่งด้านผนังทิศตะวันตก) ค่าอุณหภูมิของกรณีศึกษา 1 นั้นต่ำกว่ากรณีศึกษา 2 เนื่องจากอากาศร้อนได้ถูกระบายทิ้งออกภายนอกอาคาร

ถัดมาสำหรับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกรณีศึกษา 0 1 และ 2 ได้แก่ 34.65 31.81 และ 32.32 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยกรณีศึกษา 1 และ 2 สามารถช่วยลดอุณหภูมิเฉลี่ย 2.84 และ 2.33 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 14 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้ง 3 กรณี

ผลการกระจายตัวของความเร็วของอากาศภายในอาคารพบว่า กรณีศึกษา 2 ให้ค่าความเร็วของอากาศที่สูงที่สุดกว่ากรณีศึกษาอื่น สำหรับจุดวัดที่ 3 ที่มีค่าสูงกว่ากรณีอื่นถึง 3 เท่า นั่นอันเนื่องมาจากที่ตั้งของพัดลมอยู่ใกล้กับจุดวัดพอดีส่งผลให้ค่าสูงขึ้นอย่างมาก สำหรับค่าความเร็วของอากาศเฉลี่ยกรณีศึกษา 0 1 และ 2 ได้แก่ 0.50 m/s 0.50 m/s และ 0.88 m/s



รูปที่ 15 แสดงผลการเปรียบเทียบความเร็วของอากาศทั้ง 3 กรณี

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาด้วยวิธีการจำลองการปรับปรุงการระบายอากาศพบว่ากรณีศึกษาศึกษา 1 วิธีการเพิ่มช่องเปิดของอาคารด้านทิศใต้และด้านทิศเหนือสามารถลดระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยลง 2.84 องศาเซลเซียส ขณะที่ความเร็วของอากาศไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ขณะที่การปรับปรุงแก้ไขกรณีศึกษา 2 ด้วยจัดเรียงตำแหน่งพัดลมให้อยู่ในแนวทิศใต้เป่าอากาศเฉียงกับแนวทิศตะวันออก 30 องศา สามารถลดระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยลง 2.33 องศาเซลเซียส และสามารถเพิ่มความเร็วของอากาศโดยเฉลี่ย 0.38 m/s

ข้อเสนอแนะ

เมื่อเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของการปรับปรุง กรณีศึกษา 1 มีข้อดีดังนี้ สามารถแก้ไขได้ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และประหยัดงบประมาณแต่มีข้อเสียคืออาจทำให้มีเสียงดังจากกระบวนการผลิตมีการรบกวนต่อโรงงานข้างเคียง การเพิ่มช่องเปิดสามารถทำให้ฝนสาดเข้าสู่ภายในตัวอาคารได้ ขณะที่กรณี 2 ที่สามารถลดอุณหภูมิได้น้อยกว่าเล็กน้อยแต่ก็สามารถ

เพิ่มความเร็วของอากาศ และการกระจายตัวของอากาศ ครอบคลุมมากขึ้น แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้งบประมาณในการย้ายและติดตั้งพัดลมใหม่ทั้งหมด

ในการศึกษาในอนาคตควรมีการศึกษาภาพรวมทั้งหมดของอาคารโดยครอบคลุมถึงกระบวนการผลิตอื่นที่อยู่ภายในอาคารที่เชื่อมต่อกันด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูงและมีหน่วยความจำขนาดใหญ่ เพื่อให้ได้ผลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงและมีความละเอียดมากขึ้น

ในส่วนของการนำไปใช้จริงนั้นควรประเมินค่าใช้จ่ายในการย้ายพัดลมหรือการทำช่องเปิดเพื่อระบายความร้อน เทียบกับความคุ้มค่าในการลดอุณหภูมิ และจุดคุ้มทุนด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงมหาดไทย. 2537. กฎกระทรวงฉบับที่ 39 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 23ก ลงวันที่ 13 มิถุนายน 2537.

สุนทร ขาวกริบ. 2549. การศึกษาและออกแบบระบบระบายความร้อนภายในโรงงานหลอมอลูมิเนียม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อมรลักษณ์ สุขมาก. 2550. การศึกษาและออกแบบระบบระบายความร้อนภายในอาคารผลิตกระดาษ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกชัย วิมูล. 2550. การจำลองเพื่อปรับปรุงระบบระบายอากาศในอาคารโรงงานหลอมเหล็กเหนียว. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Boussinesq, J. 1877. Theory de L'ecoulment Tourbillant. Memoires Presentes Par Divers Savants Sciences Mathematique at Physiques. **Academie de Sciences.** 23: 46-50

Launder, B.E. and Sharma, B.I. 1974. Application of the Energy Dissipation Model of Turbulence to the Calculation of Flow near Spinning Disc. **Letter in Heat and Mass Transfer.** 1: 131-137.

Ministry of Environment. 1996. **Guidelines for good indoor air quality in office.** Singapore. 47 p.

Patankar, S.V. 1980. **Numerical Heat Transfer and Fluid Flow.** New York: Hemisphere Publishing Corporation. Taylor & Francis Group.

Rohdin, P. and Moshfegh, B. 2007. Numerical predictions of indoor climate in large industrial premises. A comparison between different $k-\epsilon$ models supported by field measurements. **Building and Environment.** 42: 3872-3882.

Zhang, Y., Kacira, M. and An, L. 2016. A CFD study on improving air flow uniformity in indoor plant factory system. **Biosystems Engineering.** 147: 193-205.