

การวิเคราะห์การระบายอากาศในโรงงานด้วยแบบจำลองคู่ควบ
Analysis of Air Ventilation in Factory via Coupled Models

ธตรีฐ สุวรรณพุ่ม (Thatarat Sywannaphum)* ดร.ภูริต ธนกะกิจเกษม (Dr.Purit Thanakijkasem)**
 ดร.ณัฐ กาศยปนนันท์ (Dr.Nat Kasayapanand)***

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบระบายความร้อนภายในโรงงานที่ไม่มีระบบปรับอากาศ ด้วยแบบจำลองที่รวมวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) และการถ่ายโอนความร้อน ซึ่งนำมาออกแบบหาขนาดที่เหมาะสมของช่องเปิดภายในโรงงาน โดยใช้อุณหภูมิภายในโรงงานที่ได้รับการระบายความร้อนออกเป็นตัวชี้วัด โดยทำการจำลองโรงงานเป็น 2 มิติ ใช้เอลิเมนต์ รูปสี่เหลี่ยม ผันเป็นแบบไม่ไถล จำลองที่สภาวะคงตัว ความหนาแน่นของอากาศแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิทำให้เกิดแรงลอยตัว (จำนวนของช่องระบายอากาศที่ใช้ในการศึกษาคือ 4 ช่อง) ขนาดของช่องระบายอากาศด้านบน และช่องเปิดด้านข้างที่สนใจศึกษานี้มี 3 ขนาด โดยกำหนดให้มีหลังคามีอุณหภูมิเท่ากับ 70 °C และความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารมีค่าเท่ากับ 80 °C จากผลการจำลองพบว่า เมื่อขนาดของช่องเปิดด้านข้างเท่ากันแต่ขนาดของช่องเปิดด้านบนใหญ่ขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในอาคารลดลง ส่วนเมื่อขนาดของช่องเปิดด้านบนเท่ากันแต่ขนาดของช่องเปิดด้านข้างใหญ่ขึ้นนั้น ส่งผลน้อยมากในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในแบบจำลอง

ABSTRACT

This paper studies a system of air ventilation in a factory without an air conditioning system using a model of computational fluid dynamics (CFD) with heat transfer. It is applied to find an optimal opening in the factory given the temperature inside the factory as a key performance index (KPI). The system of interest is modeled via a 2D model, quadrilateral elements, no slip wall, steady state condition, and density as a function of temperature leading to a buoyancy force. The size of top opening and side opening of interest are three levels for each. The roof's temperature is set as 70°C while the heat source is set as 80°C. IT is found that same size of the side openings, a bigger top opening results a lower temperature in the system. While given the same size of the top openings different sizes of the side opening insignificantly affect the change if the any temperature in the system.

คำสำคัญ: การระบายอากาศ พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ การถ่ายโอนความร้อน แบบจำลองคู่ควบ

Key Word: Ventilation, CFD, Heat transfer, Coupled models

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงานงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

** รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

*** รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

1. บทนำ

เนื่องจากโลกในปัจจุบันได้ประสบปัญหาสถานะเรือนกระจกส่งผลให้โลกร้อนขึ้นและมีแนวโน้มว่าจะร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆทำให้โรงงานต่างประสบปัญหาเรื่องอุณหภูมิที่สูงขึ้นมากกว่าแต่ก่อนจึงได้มีการออกแบบระบบระบายความร้อนในโรงงานเกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็นระบบระบายความร้อนโดยใช้เครื่องปรับอากาศหรือระบบระบายความร้อนแบบเปิดซึ่งระบบระบายความร้อนโดยใช้เครื่องปรับอากาศนั้นมีต้นทุนสูงและมีการใช้พลังงานอย่างมากอีกทั้งยังไม่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมบางรูปแบบ ส่วนระบบระบายอากาศแบบเปิดในปัจจุบันมีทั้งแบบช่องเปิด (ธรรมชาติ) [1] และพัดลม(บังคับ) ซึ่งระบบระบายความร้อนส่วนใหญ่แล้วยังทำงานได้ไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากขาดการออกแบบอย่างถูกต้องและเหมาะสมจึงทำให้ระบบระบายความร้อนนั้นทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้จะเน้นเพื่อศึกษา ระบบระบายความร้อนแบบเปิด คือ การถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติ โดยศึกษาถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากการออกแบบ ของระบบระบายความร้อนที่มีขนาดของช่องเปิด [3] จำนวนของช่องเปิดแตกต่างกัน ว่ามีผลต่อการระบายความร้อนมากน้อยเพียงใดเพื่อที่จะสามารถวิเคราะห์ได้ว่าโรงงานควรจะมีการติดตั้งระบบระบายความร้อนอย่างไรจึงจะมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยจะทำการศึกษาด้วย วิธีจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) [4] ที่สถานะ steady state ของไหลอัดตัวไม่ได้ และ กำแพงเป็นแบบ no slip โดยจะวิเคราะห์จาก อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงงาน

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษารูปแบบการไหลและการถ่ายเทความร้อนของอากาศในกรณีการพาความร้อนแบบธรรมชาติ ภายใน โรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่มีระบบปรับอากาศ

2.2 เพื่อศึกษาผลของ ขนาดของช่องเปิดว่ามีผลต่อการระบายความร้อนมากน้อยเพียงใด

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากช่องเปิดระบายอากาศเมื่อการระบายอากาศเป็นแบบ free convection โดยมี ตัวแปรที่สนใจ คือ ขนาดของช่องเปิดด้านบน และ ขนาดของช่องเปิดด้านล่าง

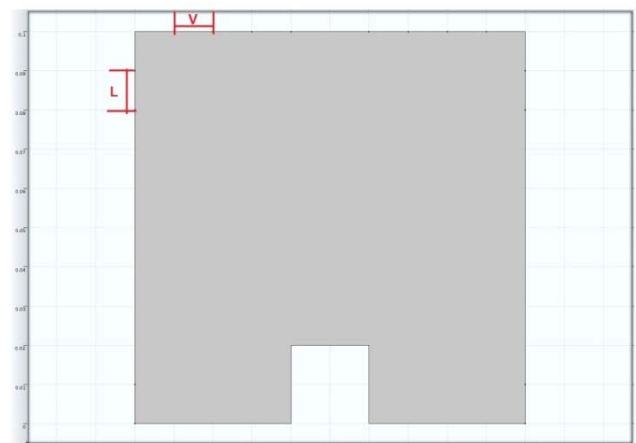
การสร้างแบบจำลองมีสมมุติฐานดังนี้ คือ

- การไหลเป็นแบบราบเรียบ
- กำแพงเป็นแบบไม่ลื่น
- พิจารณาที่สภาวะคงตัว
- การไหลเป็นแบบอัดตัวไม่ได้
- ของไหลคืออากาศเฟสเดียว
- อุณหภูมิของอากาศ คือ 20 °C
- อุณหภูมิของหลังคา คือ 70 °C
- อุณหภูมิของเครื่องจักรภายในโรงงาน คือ

80 °Cในการสร้างแบบจำลองจะทำการสร้างแบบจำลองตาม รูปที่ 1 โดยมี

V คือขนาดของช่องระบายอากาศบนหลังคาโดยขนาดที่นำมาใช้อ้างอิงจากขนาดของพัดลมดูดอากาศ

L คือ ขนาดของช่องเปิดด้านล่าง



รูปที่ 1 โรงงานที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

ในการสร้างแบบจำลองในการวิจัยนี้เราจะทำการสร้างแบบจำลองตามพารามิเตอร์ที่สนใจซึ่ง มีทั้งหมด 9 กรณี ตามตารางที่ 1 โดยใช้สมการในการคำนวณดังนี้

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

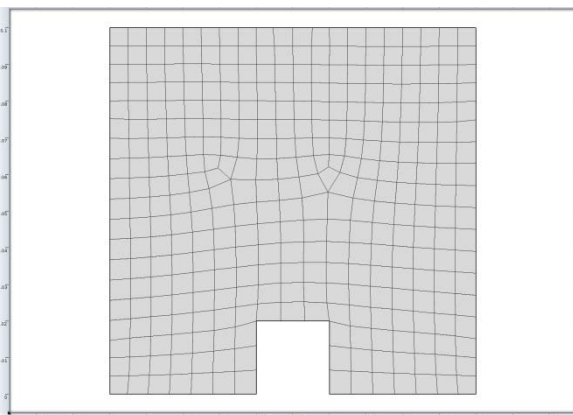
$$\nabla \cdot (\rho u) = 0$$

$$\rho C_p u \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q$$

ซึ่งเป็นการนำเอาสมการของนาเวียร์-สโตกส์มารวมกับสมการการถ่ายเทความร้อน

ตารางที่ 1 ขนาดของช่องเปิดที่ใช้ในแบบจำลอง

กรณี	ช่องเปิดด้านข้าง(m)			ช่องเปิดด้านบน(m)		
	0.005	0.01	0.015	0.005	0.01	0.015
0						
1	√			√		
2	√				√	
3	√					√
4		√		√		
5		√			√	
6		√				√
7			√	√		
8			√		√	
9			√			√



รูปที่ 2 mesh ที่ใช้ในแบบจำลอง

ในการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมเนื่องจากอากาศภายในอาคารได้รับความร้อนและอากาศรอยตัวขึ้น โดยอาศัยหลักการของความแตกต่างความหนาแน่นของอากาศทำให้เกิดการพาความร้อนตามธรรมชาติดังนั้นการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมสำหรับปัญหาการไหลนี้จึงได้เลือกทดสอบปัญหาดังกล่าวกับแบบจำลองของ G.DE VAHL DAVIS[5] ซึ่งแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบ Nu กับแบบจำลองของ G.

		จากการจำลอง	G. DE VAHL DAVIS	% ความคลาดเคลื่อน
Ra=10 ⁴	Numax	3.52626	3.528	0.049319728
	Numin	0.58531	0.586	0.11774744
	Nu0	2.24152	2.238	0.157283289
Ra=10 ⁵	Numax	7.68041	7.717	0.474147985
	Numin	0.72913	0.729	0.017832647
	Nu0	4.50794	4.509	0.023508538
Ra=10 ⁶	Numax	17.22101	17.925	3.927419805
	Numin	0.98393	0.989	0.512639029
	Nu0	8.76781	8.817	0.557899512

DE VAHL DAVIS

4. วิจารณ์ผลการทดสอบ

ในการการวิเคราะห์ผลการจำลองที่ได้จะทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่างๆที่เกิดขึ้น ได้แก่

- ผลกระทบที่เกิดจากขนาดของช่องเปิดด้านบน
- ผลกระทบที่เกิดจากขนาดของช่องเปิดด้านข้าง

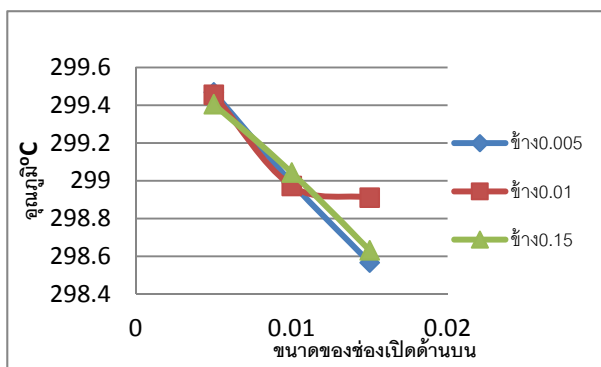
โดยในการวิเคราะห์จะเปรียบเทียบกับจากอุณหภูมิเฉลี่ยที่เกิดขึ้นภายในอาคาร ซึ่งแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 3 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของกรณีต่างๆ (อ้างอิงกรณีต่างๆตามตารางที่ 1)

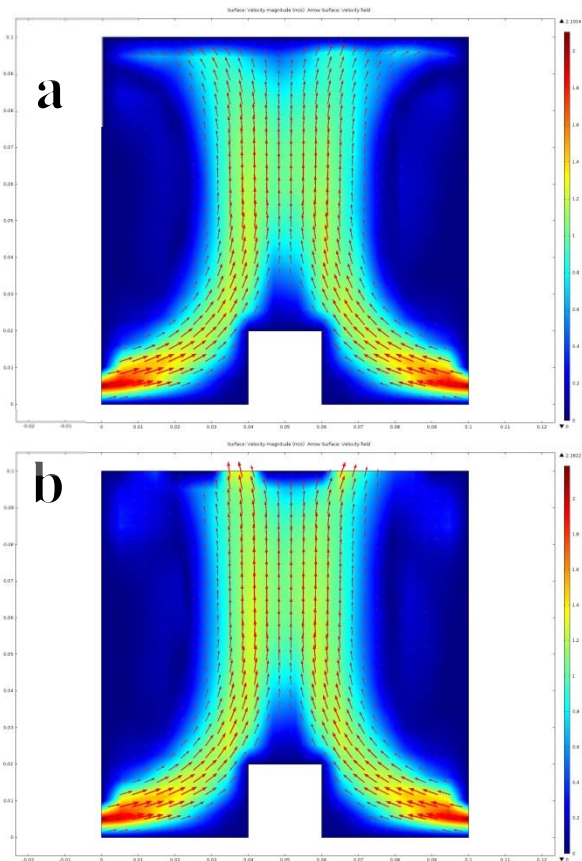
กรณี	อุณหภูมิเฉลี่ยK
0	316.683
1	299.469
2	298.99
3	298.567
4	299.456
5	298.973
6	298.911
7	299.406
8	299.044
9	298.632

4.1 ผลกระทบอันเนื่องมาจากขนาดของช่องเปิดด้านบน

จากผลการจำลองทางพลศาสตร์ของไหลพบว่าเมื่อ ขนาดช่องเปิดที่หลังคามีขนาดใหญ่ขึ้นโดยขนาดช่องเปิดด้านข้างมีขนาดเท่ากันนั้นจะส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในแบบจำลองมีค่าลดลง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของช่องเปิดด้านบนกับอุณหภูมิเฉลี่ยในแบบจำลอง

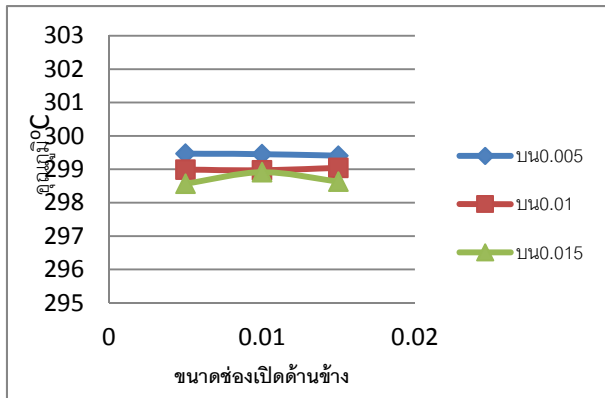


รูปที่ 4 ความเร็วการไหลของอากาศในแบบจำลอง (a) กรณีที่ 1 และ 3

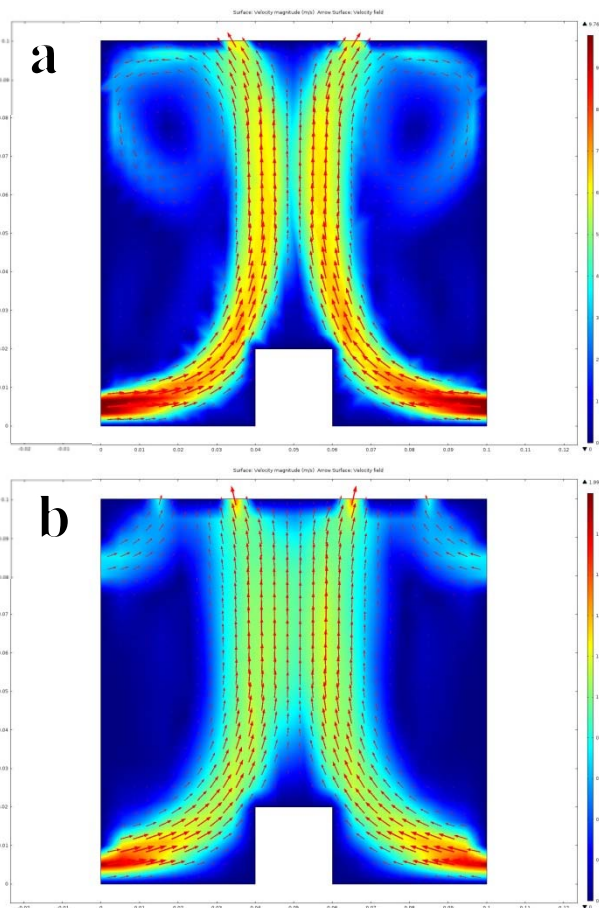
จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าการไหลของอากาศภายในโมเดลที่ช่องเปิดขนาด 0.005 กับ 0.015 มีลักษณะการไหลที่ต่างกันเล็กน้อย โดยช่องเปิดที่ 0.015 ที่มีขนาดใหญ่กว่าอากาศจะลอยตัวขึ้นในแนวตรงและไหลออกไปเลย ส่วนช่องเปิดที่ 0.005 ซึ่งเล็กกว่า อากาศจะมีการไหลกระจายออกทางด้านข้าง

4.2 ผลกระทบอันเนื่องมาจากขนาดของช่องเปิดด้านข้าง

จากผลการจำลองทางพลศาสตร์ของไหลพบว่าเมื่อ ขนาดช่องเปิดด้านข้างมีขนาดใหญ่ขึ้นโดยที่ช่องเปิดด้านบนมีขนาดเท่าเดิมนั้น อุณหภูมิเฉลี่ยภายในแบบจำลองมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนเรียกได้ว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดช่องเปิดด้านข้างไม่มีผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในแบบจำลองลดลง ซึ่งผลการเปรียบเทียบ สามารถดูได้จากรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อขนาดช่องเปิดด้านข้างแตกต่างกัน



รูปที่ 6 ความเร็วการไหลของอากาศ (a) (b) กรณีที่ 2 และ 7

จาก รูปที่ 6 จะเห็นว่าเมื่อช่องเปิดด้านข้างมีขนาดเล็กนั้นส่งผลให้ความเร็วลมภายในอากาศมีค่าสูงกว่ากรณีที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ ดังนั้นในการออกแบบโรงงาน หากไม่

ต้องการให้อากาศไหลผ่านเร็วเกินไปควรออกแบบช่องเปิดด้านข้างให้มีขนาดใหญ่

5. อภิปรายผลและสรุป

การระบายอากาศและการลดอุณหภูมิภายในโรงงานนั้นเป็นเรื่องที่ซับซ้อนและมีปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบมากมาย ควรศึกษาถึงผลกระทบข้อดีข้อเสียต่างๆ ที่เหมาะสมตามความต้องการ และการศึกษาครั้งนี้พบว่า ควรที่จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม ถึงขนาดของช่องเปิดเพิ่มมากขึ้น

การระบายอากาศและการลดอุณหภูมิภายในโรงงานที่เป็นโรงงานแบบเปิด(ไม่มีระบบปรับอากาศ) นั้น จากผลการจำลองทางพลศาสตร์การไหลจะเห็นว่า ในกรณีที่ช่องเปิดด้านข้างมีขนาดเท่ากันแต่ช่องเปิดด้านบนมีขนาดแตกต่างกัน เมื่อช่องเปิดด้านบนมีขนาดใหญ่ขึ้น จะส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในแบบจำลองลดลง โดยอุณหภูมิจะลดต่ำสุด ที่ช่องเปิดด้านบนมีขนาด 0.015 ซึ่งเป็นช่องเปิดขนาดใหญ่ที่สุดที่ทำการจำลอง ส่วนกรณีที่ช่องเปิดด้านบนมีขนาดเท่ากันแต่ขนาดช่องเปิดด้านข้างต่างกัน จากการจำลองทางพลศาสตร์ของไหล ผลที่ได้ มีค่าใกล้เคียงกัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (สนพ.) ประจำปีงบประมาณ 2557 โครงการเรื่อง “การวิเคราะห์การระบายอากาศในโรงงานด้วยแบบจำลองคู่ควบ Analysis of Air Ventilation in Factory via Coupled Models”

เอกสารอ้างอิง

Olsen, Chen. “Energy consumption and comfort analysis for different low energy cooling systems in a mild climate.” Energy & Buildings. 2003; 35, 561–571.

Aung, Fletcher, and Sernas, V. "Developing laminar free convection between vertical flat plates with Asymmetric Heating." International Journal Heat Mass Transfer. 1972; Vol. 15, pp. 2293-2308.

Straw, Baker, A.P. Robertson, "Experimental measurements and computation of the wind induced ventilation of a cubic structure." Journal of Wind Engineering and Industrial Dynamics. 2000; 88, 213–230.

Ramponi, "CFD simulation of cross-ventilation for a generic isolated building: Impact of computational parameters." Building and Environment 2012; 53.

DE VAHL DAVIS, "Natural convection of air in a square cavity a bench mark numerical solution." International journal for numerical method in fluids 3 (1983) 249-264.