

แบบจำลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องผลิตลมร้อนขนาด 18 กิโลวัตต์ ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

พัชรพร เฉลิมไพศาลสุข¹, สมมาตร ทองคำ², พงศกานต์ ภูระยา³, และพรหมพักตร์ บุญรักษา⁴

^{1, 2, 3}สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

⁴สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Email : promphak.dawan@gmail.com⁴

Received: Oct 11, 2022

Revised: Feb 20, 2023

Accepted: May 31, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองการทำงานของเครื่องผลิตลมร้อนขนาด 18 กิโลวัตต์ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นการจำลองการทำงานของเครื่องผลิตลมร้อนเพื่อวิเคราะห์ลักษณะการไหลของอากาศ และอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านเครื่องผลิตลมร้อน รวมถึงวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง โดยกำหนดลักษณะเงื่อนไขของเครื่องผลิตลมร้อนที่ต่างกัน 3 เงื่อนไข ได้แก่ แบบที่ 1 คือ เครื่องผลิตลมร้อนที่เชื่อมต่อท่อลมเข้าและออกโดยตรง แบบที่ 2 คือ เครื่องผลิตลมร้อนที่มีการติดตั้งใบปรับทิศทางการไหล และแบบที่ 3 คือ เครื่องผลิตลมร้อนที่เชื่อมต่อท่อลมที่ตำแหน่งลมเข้าและท่อขยายที่ตำแหน่งลมออก จากการจำลองพบว่าเครื่องผลิตลมร้อนแบบที่ 2 การไหลดีขึ้นร้อยละ 82.08 รองลงมา คือ เครื่องผลิตลมร้อนแบบที่ 3 ที่ติดตั้งข้อต่อลมลดและขยายที่ทางเข้าและทางออก ซึ่งมีการไหลดีขึ้นร้อยละ 52.61 และแบบที่ 1 การไหลดีขึ้นร้อยละ 32.8 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของการไหลที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วพบได้ชัดเจนว่าการไหลที่มีความปั่นป่วนสูงจะส่งผลต่อพื้นที่สัมผัสของอากาศที่ไหลเวียนผ่านแกนทำความร้อน จึงทำให้ปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านแกนทำความร้อนมีปริมาตรต่ำและเกิดการกระจายตัวไรต์ทิศทางของอากาศสูง มีการเกิดจุดการหมุนวนของอากาศหลายตำแหน่งและแต่ละตำแหน่งจะมีขนาดใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีการติดตั้งใบปรับทิศทางการไหลและข้อต่อลมที่ตำแหน่งทางเข้าและออก ส่งผลให้การไหลมีทิศทางที่ชัดเจนเป็นระเบียบ มีจุดหมุนวนอากาศน้อยลงและมีขนาดเล็ก อีกทั้งทั้งด้านการผลิตความร้อนของแกนทำความร้อนยังแสดงให้เห็นว่าลักษณะรูปทรง ขนาดและการจัดเรียงของแกนทำความร้อนเหมาะสมกับการแลกเปลี่ยนความร้อนของอากาศ

คำสำคัญ : เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย, เครื่องเป่าลมร้อน, แบบจำลอง, ใบปรับทิศทางการไหล, การถ่ายเทความร้อน

A model to Study the Efficiency of a Spray Dryer's 18 kW Hot Air Generator

**Patcharabhorn Chaloempaisansuk¹, Sommart Thongkham², Pongsakan Phuraya³,
Promphak Boonraksa⁴**

^{1, 2, 3}School of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Bangkok Thonburi University

⁴School of Electrical Engineering Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Email: promphak.dawan@gmail.com⁴

Received: Oct 11, 2022

Revised: Feb 20, 2023

Accepted: May 31, 2023

Abstract

This paper presents a model to study the efficiency of a spray dryer's 18 kW hot air generator. The model study was for analyzing air streamline, air temperature, and parameters that affected the efficiency. The study was simulated under 3 conditions which are the direct connection without the fitting of the duct, the installation of the guide vane, and the connection with fitting. The simulation results showed that the guide vane installation and the fitting connection increased the flow efficiency by 82.08% in condition 2, in condition 3 is 52.61%, and 32.8% in condition 1 respectively. Moreover, the relationship between flow trajectories that affected heat transfer resulted in turbulence, and directionless flow created a wake, which decreased the contact area of heat transfer and increased pressure and friction. The first condition without any fitting showed the wakes occurred in many positions with large sizes. The air streamline was complicated and directionless. On the contrary, after installing the guide vane and fitting in the second and third conditions, the wakes decreased and got smaller. Additionally, the airflow was smooth and simultaneous in direction. Furthermore, the electrical power of cylindrical heater coils arranged in a staggered form was appropriate for heat transfer.

Keywords : Spray Dryer, Hot Air Generator, Model, Guide Vane, Heat Transfer

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารมีการพัฒนาเทคโนโลยีและสร้างเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงมากขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการลดต้นทุนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมอาหารแห้งแบบผงจะมีการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) เป็นเครื่องจักรที่ใช้สำหรับเปลี่ยนสถานะอาหารแบบเหลวให้เป็นแบบผงแห้ง ซึ่งจะให้ของเหลวผ่านเครื่องพ่นละออง (Atomizer) ให้เป็นมีลักษณะพ่นออกมาเป็นละอองฝอยและพ่นผ่านกับลมร้อนเพื่อดึงความชื้นออกให้หมด (Dehydration) อย่างรวดเร็ว ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาลักษณะเป็นผงแบบแห้ง อาหารผงที่ยอมรับได้มีความชื้น (Moisture Content) ต่ำกว่า 5%[1] หรือแม้แต่อุตสาหกรรมผลิตยาเองก็ใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยในการผลิตผงยาบรรจุในแคปซูลต่าง ๆ เช่นกัน เครื่อง Spray Dryer เป็นเครื่องจักรที่มีการใช้พลังงานสูงมากเนื่องจากต้องใช้พลังงานความร้อนขนาดใหญ่แต่พลังงานที่จ่ายเข้าไปในระบบไม่สามารถนำไปใช้อย่างเป็นประโยชน์ กล่าวคือมีการสูญเสียพลังงานระหว่างกระบวนการทำงานของเครื่องจักรสูง ซึ่งพบว่าเครื่อง Spray Dry มีการนำพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงร้อยละ 20 ถึง 60 ของพลังงานทั้งหมด ขึ้นกับการออกแบบของเครื่องจักร แสดงให้เห็นว่ามีการสูญเสียพลังงานไปอย่างไม่เกิดประโยชน์สูงมาก[2] ซึ่งอุปกรณ์ส่วนที่สำคัญในการใช้พลังงานความร้อนของเครื่อง Spray Dry คือเครื่องผลิตลมร้อน (Air Heater) และเพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานความร้อน เครื่อง Spray Dry ส่วนใหญ่จึงมีหลักการการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ (Heat Recovery) ซึ่งสามารถลดพลังงานได้เฉลี่ยถึงร้อยละ 68[3] การออกแบบ Air Heater จึงเป็นส่วนสำคัญของเครื่อง Spray Dry โดยหลักการของเครื่องผลิตลมร้อนใช้หลักการของการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) เป็นการไหลผ่านของลมบนอุปกรณ์ผลิตความร้อนเพื่อเพิ่ม

อุณหภูมิของอากาศตามที่กำหนดไว้แล้วไหลผ่านกับละอองของเหลวในส่วนของ Chamber และเป็นระบบผลิตความร้อนด้วยไฟฟ้า (Electric Heater) ซึ่งวัสดุแกนนำความร้อน รูปทรงและการเรียงตัวของแกนนำความร้อนเป็นตัวแปรสำคัญในการผลิตความร้อนที่แตกต่างและให้ประสิทธิภาพที่ต่างกัน[4] โดยส่วนใหญ่จะเลือกใช้แกนความร้อนทรงกระบอก (Cylindrical หรือ Pin) เนื่องจากใช้พื้นที่ในการจัดเรียงน้อยทำให้ประหยัดพื้นที่ และถ่ายเทความร้อนได้ดี[5, 6] จึงทำให้เกิดเป็นงานวิจัยการสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องผลิตลมร้อนขนาด 18 กิโลวัตต์ขึ้นเพื่อศึกษาวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องผลิตลมร้อน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. สร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องผลิตลมร้อนขนาด 18 กิโลวัตต์ของเครื่อง Spray Dryer
2. เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องผลิตลมร้อนกับการจัดเรียงตัวของแกนความร้อน

ระเบียบวิธีวิจัย

แบบจำลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาด 18 กิโลวัตต์ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) มีระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัยรายละเอียดดังนี้

1. การสร้างแบบจำลอง 3 มิติด้วยโปรแกรม Solidwork เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกำลัง 18 กิโลวัตต์ โดยกำหนดรายละเอียดข้อมูลเฉพาะทางของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ดังนี้ 1) วัสดุเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน รูปทรงสี่เหลี่ยมมีขนาดภายนอกเท่ากับกว้าง 65 เซนติเมตร ยาว 48 เซนติเมตร สูง 56 เซนติเมตร วัสดุสแตนเลส AISI 304 2) แกนทำความร้อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ความยาว 42 มิลลิเมตร มีจำนวน 3 แถว แถวละ 6 แกน รวมทั้งสิ้น 18

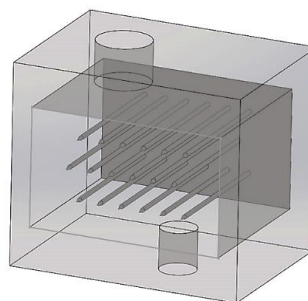
แกน และมีการจัดเรียงแบบ Staggered คือ การเรียงตัวแบบสลับช่องว่างกัน วัสดุสแตนเลส AISI 304 มีค่า S_t 60 เซนติเมตร S_L 85 เซนติเมตร และ S_D 90.14 เซนติเมตร กำหนดรายละเอียดของอากาศมีเงื่อนไข อากาศเริ่มต้นมีอุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 50%RH ที่ความดันบรรยากาศ โดยเป็นคุณสมบัติอากาศที่ทอลมเข้าเครื่องผลิตลมร้อนแล้วทำการวิเคราะห์อุณหภูมิอากาศเมื่ออากาศไหลผ่านแกนทำความร้อนและตำแหน่งท่อทางออกแต่ละรูปแบบ รวมถึงวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมการไหลของอากาศที่ไหลผ่านบริเวณช่องทอลมทางออก

2. กำหนดเงื่อนไขเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละรูปแบบที่ทำการวิเคราะห์ การจำลองได้ทำการจำลองขดลวดความร้อนให้มีลักษณะเป็นแกนทรงกระบอก โดยกำหนดความแตกต่างของเครื่องเพื่อศึกษาเปรียบเทียบการส่งผลการถ่ายเทความร้อน มีรายละเอียดดังนี้

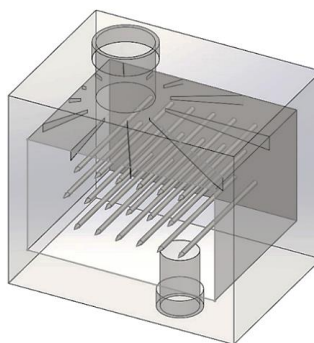
แบบที่ 1 แกนสแตนเลส 304 ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ยาว 40 เซนติเมตร เรียงตัวแบบ Staggered จำนวนทั้งหมด 18 แกน มี 3 แถว แถวละ 6 แกน ดังแสดงในรูปที่ 1 ลักษณะภายในกล่องของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเชื่อมต่อกับท่อทางเข้าและออกตรง ๆ ไม่มีทอลดและท่อขยายที่ตำแหน่งทอลมทางเข้าออก

แบบที่ 2 แกนสแตนเลส 304 ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ยาว 40 เซนติเมตร เรียงตัวแบบ Staggered จำนวนทั้งหมด 18 แกน มี 3 แถว แถวละ 6 แกน โดยลักษณะภายในกล่องของเครื่องทำความร้อนเชื่อมต่อกับท่อทางเข้าและออกปกติ แล้วมีครีบกวนคุ่มทิศทางลม (Guide Vane) ที่ฝั่งทางออกดังแสดงในรูปที่ 2 โดย Guide Vane มีจำนวนทั้งหมด 12 ครีบก ติดตั้งบริเวณผนังด้านทอลมขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เรียงตัวแบบ Circular Pattern รอบทอลมขาออก

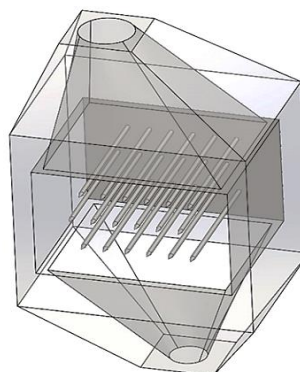
แบบที่ 3 แกนสแตนเลส 304 ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ยาว 40 เซนติเมตร เรียงตัวแบบ Staggered จำนวนทั้งหมด 18 แกน มี 3 แถว แถวละ 6 แกน โดยมีลักษณะภายในกล่องของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเชื่อมต่อกับท่อทางเข้าและออกโดยมีทอลดและท่อขยาย ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 1 เครื่องทำความร้อนแบบที่ 1



รูปที่ 2 เครื่องทำความร้อนแบบที่ 2



รูปที่ 3 เครื่องทำความร้อนแบบที่ 3

3. กำหนดเงื่อนไขขอบเขตการจำลอง การจำลองวิเคราะห์การผลิตร้อนของแกนความร้อนมีการกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กำหนดตัวแปร Boundary Conditions ที่เกี่ยวข้องกับการจำลอง

ข้อมูลจำเพาะ	ค่าหรือตัวแปร
กำลังไฟฟ้า	18 กิโลวัตต์
อุณหภูมิอากาศขาเข้า	35 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศขาออก	150 องศาเซลเซียส
อัตราการไหลเชิงมวล	150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
อากาศ	
วัสดุแกนความร้อน	สแตนเลส SUS304
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศขาเข้า	50%RH
ลักษณะการไหล	การไหลแบบภายในและพิจารณาเฉพาะช่วง Fully Developed Flow

4. คุณสมบัติของอากาศ เนื่องจากมีการใช้อากาศเป็นของไหลในการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยคุณสมบัติของอากาศขาเข้าและขาออกตามข้อมูลเทคนิคของเครื่องผลิตร้อน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ 1 ATM [8, 9]

	หน่วย	ที่ 35°C	ที่ 250°C
ความหนาแน่น	kg/m ³	1.145	0.6745
ค่าความจุความร้อนจำเพาะ	J/kg-K	1,007	1,003
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	W/m-K	0.02625	0.04104
ค่าความหนืดพลวัต	kg/m-s	1.895x10 ⁻⁵	2.760 x10 ⁻⁵
ค่าความหนืดจลน์	m ² /s	1.655x10 ⁻⁵	4.091 x10 ⁻⁵
เลขพริ้นด์เทิล	-	0.7265	0.6946

5. คุณสมบัติของสแตนเลส 304 เนื่องจากการสร้างโดยใช้วัสดุสแตนเลส SUS304 โดยคุณสมบัติเทคนิคของเครื่องวัสดุดังกล่าว แสดงดังตารางที่ 3[7]

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติทางเทคนิคของสแตนเลส 304[7]

	หน่วย	ค่าตัวเลข
ความหนาแน่น	kg/m ³	8,000
ค่าความจุความร้อนจำเพาะ	J/kg-K	500
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	W/m-K	16
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน	K	1.8x10 ⁻⁵
จุดคราก	MN/m ²	206.807
ความแข็งแรงแรงดึง	MN/m ²	517.017
โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น	N/m ²	1.9x10 ¹¹
โมดูลัสแรงเฉือน	N/m ³	7.5x10 ¹⁰
จุดหลอมเหลว	°C	1,450
อัตราส่วนปัวซอง	-	0.29

6. สมการความสัมพันธ์ของการนำความร้อน การนำความร้อนเป็นรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนของแกนทำความร้อน ซึ่งการนำความร้อนมี 2 รูปแบบหลัก ๆ คือ การนำความร้อนแบบคงที่และการนำความร้อนแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา ตามหลักการทำงานของเครื่องทำความร้อนในช่วงแรกระบบจะเป็นแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลาจนถึงค่าอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส แล้วจะถูกระบบควบคุมอัตโนมัติให้มีความร้อนคงที่ตลอดการทำงานของเครื่องตามที่กำหนดไว้

การนำความร้อนแบบคงที่ (Steady Heat Conduction) สำหรับวัตถุเชิงเรขาคณิตทรงกระบอกพบว่าสมการที่เกี่ยวข้องกับการนำความร้อนแสดงดังสมการที่ 1[10]

$$\dot{Q}_{\text{การนำความร้อน}} = hA\eta(T_b - T_{\infty}) \quad (1)$$

ซึ่ง η คือประสิทธิภาพการนำความร้อนของ
แกนทรงกระบอกสามารถหาได้จากสมการที่ 2[10]

$$\eta = \frac{\tanh\left(\sqrt{\frac{4h}{kD}}(L+0.25D)\right)}{\left(\sqrt{\frac{4h}{kD}}(L+0.25D)\right)} \quad (2)$$

โดยที่ h สัมประสิทธิ์การพาความร้อน
(หน่วย W/m^2K)

A พื้นที่ผิวของแกนทำความร้อน
(หน่วย m^2)

η ประสิทธิภาพการนำความร้อน

T_b อุณหภูมิแกนความร้อน (หน่วย
องศาเซลเซียส)

T_∞ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (หน่วย
องศาเซลเซียส)

k สัมประสิทธิ์การนำความร้อน
(หน่วย $W/m.K$)

จากการเรียงตัวของแกนทำความร้อนที่เป็น
ลักษณะ Staggered สามารถพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์
การพาความร้อนที่ของไหลไหลผ่านแกนความร้อน
ได้จาก Nusselt Number แสดงดังสมการที่ 3 ถึง
4[11]

$$Nu = 0.945 \times 0.35(S_T/S_L)^{0.2} \times Re_D^{0.6} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25} \quad (3)$$

$$h = \frac{Nu \cdot k}{D} \quad (4)$$

การนำความร้อนแบบไม่คงที่ (Transient Heat
Conduction) สำหรับวัตถุแข็งเกร็งรูปทรงกระบอก
ของแกนทำความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12
มิลลิเมตร ความยาว 42 เซนติเมตร พบว่าสามารถ
วิเคราะห์ระบบเป็นแบบ Lumped System Analysis
และวิเคราะห์แบบ One-dimensional ซึ่งมาจาก
กฎการอนุรักษ์พลังงานทำให้อัตราการถ่ายเท
ความร้อนที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาเท่ากับการ

เพิ่มขึ้นพลังงานระบบเปลี่ยนแปลงตามเวลาแสดง
ดังสมการที่ 5 และมีอัตราการถ่ายเทความร้อนดัง
สมการที่ 6[11]

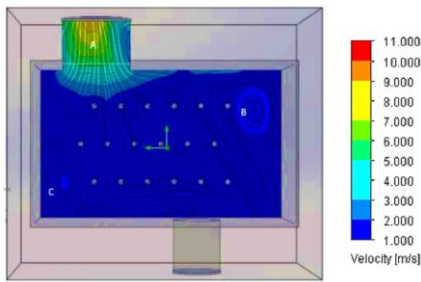
$$\frac{T(t)-T_\infty}{T_i-T_\infty} = e^{-\frac{hA}{\rho V C_p} t} \quad (5)$$

$$\dot{Q}(t) = hA(T(t) - T_\infty) \quad (6)$$

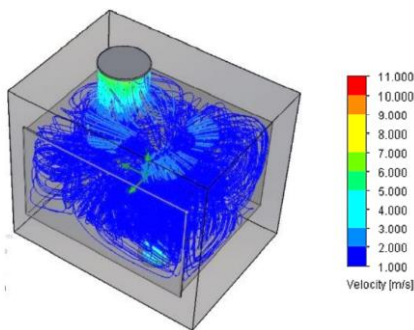
ผลการวิจัย

1. ผลของการจำลองการไหลของอุณหภูมิของ
เครื่องทำความร้อนแบบที่ 1 เป็นเครื่องทำความร้อน
ที่มีลักษณะภายในเป็นปริมาตรทรงสี่เหลี่ยมที่
บริเวณท่อของช่องอากาศขาเข้าและขาออกเครื่อง
ทำความร้อนมีลักษณะเชื่อมต่อตรง ไม่มีการติดตั้ง
ท่อลดหรือท่อขยายของท่อลม พบว่าเครื่องทำ
ความร้อนสามารถทำอุณหภูมิร้อนได้สูงกว่า
400 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4 และ
5 ประกอบกันพบว่าลักษณะการไหลที่การแปรปรวน
และกระจายทิศทางสูงส่งผลให้เกิดการหมุนวน
ของอากาศสูงหลายตำแหน่ง ซึ่งมีผลกระทบต่อ
ความดันอากาศร้อนภายในระบบได้ นอกจากนี้
พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศ
และแกนความร้อนจึงเกิดได้ดีที่บริเวณใกล้กับ
ตำแหน่งทางออกของอากาศบริเวณเดียวจากรูปที่ 6

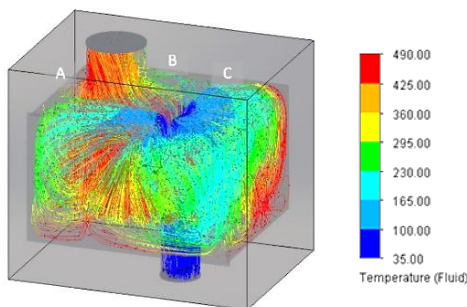
เมื่อพิจารณาความเร็วที่บริเวณระนาบทางช่อง
ลมออก พบว่าความเร็วสูงสุดที่ทางออกอยู่ที่
8.268 เมตรต่อวินาที ณ ตำแหน่งแกนกลางของ
ท่อทางออก ตำแหน่งที่เกิดกระแสลมหมุนวน
(Wake) ที่ตำแหน่ง B และ C มีความเร็วเฉลี่ยอยู่
ที่ 1.11 เมตรต่อวินาที เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่
บริเวณช่องลมออกดังรูปที่ 6 พบว่า อุณหภูมิสูงสุดที่
ระบบสามารถทำได้อยู่ที่แกนกลางของท่อลมและ
มีค่าสูงถึง 486.84 องศาเซลเซียส แล้วอุณหภูมิ
ตำแหน่งที่เกิดกระแสลมหมุนวนเฉลี่ยอยู่ที่ 277.39
องศาเซลเซียสและ 329.54 องศาเซลเซียส จาก
ระนาบทิศทางลมช่องทางออก พบว่าจุดที่มีอุณหภูมิ
ต่ำสุดอยู่ที่ 120.84 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4 แผนภาพสตรีมไลน์ความเร็วอากาศ
เครื่องแบบที่ 1 ในระนาบ ZY ที่บริเวณที่ออก



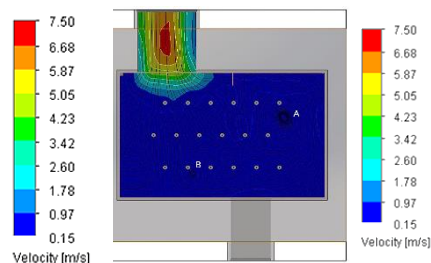
รูปที่ 5 แผนภาพแสดงการเคลื่อนตัวของอากาศ
เครื่องแบบที่ 1 ในระนาบ XYZ



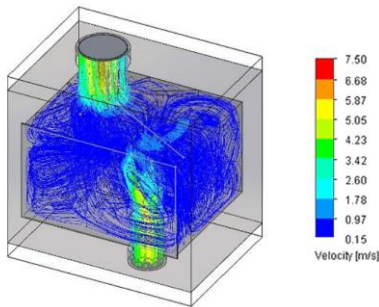
รูปที่ 6 แผนภาพแสดงอุณหภูมิของอากาศ
เครื่องแบบที่ 1 ในระนาบ XYZ

ผลของการจำลองการไหลของอุณหภูมิของเครื่องทำความร้อนแบบที่ 2 เป็นเครื่องทำความร้อนที่มีลักษณะภายในเป็นปริมาตรทรงสี่เหลี่ยมที่บริเวณท่อของช่องอากาศเข้าและขาออกเครื่องทำความร้อนมีลักษณะเชื่อมต่อตรง ไม่มีการติดตั้งท่อลดหรือท่อขยายของท่อลม แต่มีการติดตั้ง

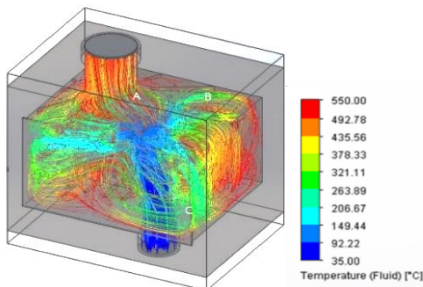
Guide Vane ที่บริเวณผนังด้านบนตรงท่อทางออกของเครื่องเพื่อควบคุมทิศทางการไหลของอากาศที่ท่อทางออก พบว่าเครื่องทำความร้อนสามารถทำอุณหภูมิร้อนได้สูงกว่า 400 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 7 และ 8 ประกอบกันพบว่าลักษณะการไหลที่การแปรปรวนลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณทางออกและการกระจายทิศทางการไหล ส่งผลให้เกิดการหมุนวนของอากาศลดลง ความดันอากาศร้อนภายในระบบได้ลดต่ำลง ไม่มีการอัดตัวของอากาศที่ลมทางออก นอกจากนี้พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศและแกนความร้อนจึงเกิดได้ดีทั่วถึงทุกบริเวณดังรูปที่ 9 เมื่อพิจารณาความเร็วที่บริเวณระนาบทางช่องลมออก พบว่าความเร็วสูงสุดที่ทางออกอยู่ที่ 6.77 เมตรต่อวินาที ณ ตำแหน่งแกนกลางของท่อทางออก ตำแหน่งที่เกิดกระแสลมหมุนวน (Wake) ที่ตำแหน่ง A และ B มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 0.47 เมตรต่อวินาที ณ บริเวณทางออกและผนังด้านบน ลักษณะการไหลของอากาศมีความเป็นระเบียบมากขึ้นความเร็วบริเวณนี้อยู่ในช่วง 0.75 ถึง 2 เมตรต่อวินาที พบว่า มีการไหลดีขึ้นร้อยละ 82.08 เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่บริเวณช่องลมออกพบว่า อุณหภูมิอากาศสูงสุดที่ระบบสามารถทำได้ อยู่ที่แกนกลางของท่อลมและมีค่าสูงถึง 508.52 องศาเซลเซียส แล้วอุณหภูมิตำแหน่งที่เกิดกระแสลมหมุนเฉลี่ยอยู่ที่ 405 องศาเซลเซียส จากระนาบทิศทางการไหลของทางออกพบว่าจุดที่มีอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่ 120.84 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีขึ้นร้อยละ 102.85



รูปที่ 7 แผนภาพสตรีมไลน์ความเร็วอากาศของ
เครื่องแบบที่ 2 ในระนาบ ZY ที่บริเวณท่อขาออก



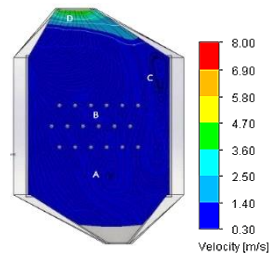
รูปที่ 8 แผนภาพแสดงการเคลื่อนตัวของอากาศ
เครื่องแบบที่ 2 ในระนาบ XYZ



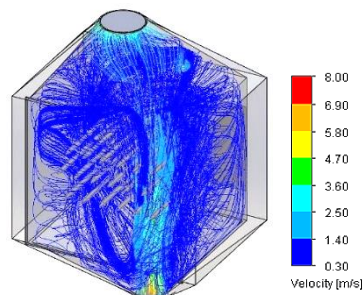
รูปที่ 9 แผนภาพแสดงอุณหภูมิของอากาศ
เครื่องแบบที่ 2 ในระนาบ XYZ

1. ผลของการจำลองการไหลของอุณหภูมิของเครื่องทำความร้อนแบบที่ 3 เป็นเครื่องทำความร้อนที่มีลักษณะภายในเป็นปริมาตรทรงสี่เหลี่ยมที่บริเวณท่อของช่องอากาศขาเข้าและขาออกเครื่องทำความร้อน มีการติดตั้ง ข้อต่อ ของท่อลมมีการติดตั้งท่อลดหรือท่อขยายของท่อลม แต่มีการติดตั้ง Guide Vane ที่บริเวณผนังด้านบนตรงท่อทางออกของเครื่องเพื่อควบคุมทิศทางการไหลของอากาศที่ท่อทางออก พบว่าเครื่องทำความร้อนสามารถทำอุณหภูมิลมร้อนได้สูงกว่า 400 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 10 และ 11 ประกอบกันพบว่าลักษณะการไหลที่การแปรปรวนลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณทางออกและการกระจายทิศทางลมต่ำลง ส่งผลให้เกิดการหมุนวนของอากาศลดลง ความดันอากาศร้อนภายในระบบได้ลดต่ำลง ไม่มีการอัดตัวของอากาศที่ลม

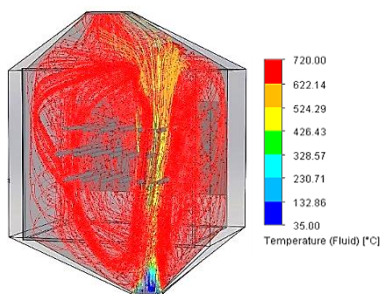
ทางออก นอกจากนี้พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศและแกนความร้อนจึงเกิดได้ดีทั่วถึงทุกบริเวณดังรูปที่ 12 ลักษณะการไหลของอากาศในระนาบท่ออากาศทางเข้าสังเกตได้ว่าอากาศมีการหมุนเวียนรอบแกนความร้อนอย่างทั่วถึงและมีการปั่นป่วนน้อย และที่ระนาบของอากาศทางออก อากาศมีการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงและไหลไปทางเดียวกันอย่างเป็นระเบียบสู่ท่อทางออก เนื่องจาก ข้อต่อ ท่อลดและท่อขยายทำหน้าที่เป็นส่วนที่ควบคุมพฤติกรรมการไหลและลดการแตกหมุนวนของอากาศ ความเร็วอากาศที่หมุนวนและความเร็วอากาศ ณ ท่อทางออกมีความมั่นคง ความเร็วเฉลี่ยอยู่ช่วง 3 ถึง 4 เมตรต่อวินาที พบว่า มีการไหลดีขึ้นร้อยละ 52.61 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาอุณหภูมิพบว่า อุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ตำแหน่งกลางภายในห้องเครื่องทำความร้อนประมาณ 700 องศาเซลเซียส ซึ่งแลกเปลี่ยนอุณหภูมิได้สูงขึ้นร้อยละ 105.33



รูปที่ 10 แผนภาพสตรีมไลน์ความเร็วอากาศของ
เครื่องแบบที่ 3 ในระนาบ ZY ที่บริเวณท่อขาออก



รูปที่ 11 แผนภาพแสดงการเคลื่อนตัวของอากาศ
เครื่องแบบที่ 3 ในระนาบ XYZ



รูปที่ 12 แผนภาพแสดงอุณหภูมิของอากาศ
เครื่องแบบที่ 3 ในระนาบ XYZ

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องผลิตลมร้อนขนาด 18 กิโลวัตต์ ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเมื่อพิจารณาแบบจำลองสามารถจำแนกการวิเคราะห์ผลการจำลองได้เป็น 2 ส่วน คือ 1) พฤติกรรมการไหลของอากาศที่ตำแหน่งท่อทางออก ซึ่งพฤติกรรมการไหลปั่นป่วนเกิดขึ้นน้อยสุดคือการจัดแบบที่ 2 รองลงมาคือการจัดแบบที่ 3 จากการจำลองพบว่าเครื่องผลิตลมร้อนแบบที่ 2 การไหลดีขึ้นร้อยละ 82.08 รองลงมาคือเครื่องผลิตลมร้อนแบบที่ 3 ที่ติดตั้งข้อต่อลมลดและขยายที่ทางเข้าและทางออก ซึ่งมีการไหลดีขึ้นร้อยละ 52.61 เนื่องจากการจำลองแบบที่ 2 เป็นการติดตั้ง Guide Vane และแบบที่ 3 เป็นการติดตั้งข้อต่อลมลดที่ทางออก ซึ่งมีคุณสมบัติในการช่วงบังคับทิศทางการไหลของอากาศที่บริเวณท่อทางออกให้การไหลเป็นระเบียบมีเส้นทางที่ชัดเจนและลดจุดกำเนิดการปั่นป่วนหรือจุดหมุนวนของอากาศที่ไหลปะทะกับผนังเครื่องผลิตลมร้อนด้านบริเวณท่อทางออก 2) อุณหภูมิของอากาศเมื่อไหลผ่านแกนทำความร้อนพบว่าการจัดแบบที่ 3 มีการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีที่สุด รองลงมาด้วยการจำลองแบบที่ 2 เนื่องจากการจำลองแบบที่ 3 มีการติดตั้งข้อต่อขยายที่บริเวณท่อเข้าด้วย ซึ่งทำให้พฤติกรรมการไหลของอากาศมีความเป็นระเบียบตั้งแต่การไหลเข้าเครื่องผลิตลมร้อนทำให้

อากาศไหลผ่านพื้นที่สัมผัสของแกนทำความร้อนได้ทั่วถึงและไหลต่อเนื่องที่มากกว่าแบบจำลองที่ 1 และ 2 จากผลวิเคราะห์จึงพบว่าการจัดตั้งข้อต่อท่อขยายที่ทางเข้าและท่อลดที่ทางออกเป็นรูปแบบการออกแบบเครื่องผลิตลมร้อนที่มีความเหมาะสมมากที่สุด แต่สำหรับเครื่องผลิตลมร้อนที่มีข้อจำกัดทางด้านการปรับปรุงจากเครื่องเดิมที่มีอยู่ การออกแบบที่มีการติดตั้ง Guide Vane จึงเหมาะสมมากที่สุดสำหรับการพัฒนาประสิทธิภาพการไหลของอากาศภายใน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่ให้ความอนุเคราะห์ ในด้านต่างๆงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้สมบูรณ์ รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลืองานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้สมบูรณ์

References

- [1] Pimpen Pornchalermpong and Nithiya Rattanapanont. *Spray Drying Machine Director*. source: <http://www.foodnetworksolution.com>. (2022 May 01).
- [2] G. Liu, "Energy Conservation in Spray Drying", *Dyestuff Industry*, Vol. 29. 1992.
- [3] K. P. Sanjay, H. B. Mukung, "Energy Targeting and Process Integration of Spray Dryer with Heat Recovery Systems", *Energy Conversion, and Management*, 24th June 2020.
- [4] P. Moorthy, A.N. Oumer and M. Ishak, "Experimental Investigation on Effect of Fin Shape on the Thermal-Hydraulic Performance of Compact Fin- and-Tube Heat Exchangers", *Materials Science and Engineering*, Vol. 3 1 8 . 2018,

- [5] B. D. Amol and S. F. Hemant, "Heat Transfer Analysis of Cylindrical Perforated Fins in Staggered Arrangement" , *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, Vol.2, No. 5, April 2013.
- [6] Philip J. Pritchard and John C. Leylegian, " *Introduction to Fluid Mechanics*". 8th Ed. John Wiley & Sons, INC., 2011.
- [7] World Material, [Online] . Available: <https://www.theworldmaterial.com/>. (2022 May 01).
- [8] Thandon Oklaw, " *Fluid Mechanics Teaching Document*" , Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, 2010.
- [9] Nakayama Y., " *Introduction to Fluid Mechanics*", Butterworth-Heinemann., 2000.
- [10] Yunus A. Cengel and Afshin J. Ghajar, " *Heat and Mass Transfer Fundamentals and Applications*", 4th Ed., New York, McGraw-Hill, 2011.
- Yunus A. Cengel, " *Heat Transfer a Practical Approach*", 2nd Ed., New York, McGraw-Hill., 2003.