



การจำลองการอบแห้งข้าวเปลือกในระบบอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้ง
Simulation of Paddy Drying in Tangential Horizontal Impinging Stream System

ปิติ ชันโพธิ์

Piti Khunpho



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2565



การจำลองการอบแห้งข้าวเปลือกในระบบอบแห้งกระแสชนแบบวิถีโค้ง
Simulation of Paddy Drying in Tangential Horizontal Impinging Stream System

ปิติ ชันโพธิ์
Piti Khunpho

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อวิทยานิพนธ์ การจำลองการอบแห้งข้าวเปลือกในระบบอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้ง
ชื่อ นามสกุล ปิติ ชันโพธิ์
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
สาขาวิชา และคณะ วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ปฎิวัติ คมวชิรกุล

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว


.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ตรีอำรรค)


.....กรรมการ
(ดร.กฤษณ์ อภิญญาวิศิษฐ์)


.....กรรมการ
(ดร.ประกอบชาติภักต์)


.....กรรมการ
(ดร.ปฎิวัติ คมวชิรกุล)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร


.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์นะ)

วันที่ 20 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2566

ชื่อวิทยานิพนธ์	การจำลองการอบแห้งข้าวเปลือกในระบบอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้ง
ชื่อ นามสกุล	ปิติ ชันโพธิ์
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
สาขาวิชา และคณะ	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2565

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจำลองการอบแห้งข้าวเปลือกในระบบอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้ง ทั้งนี้อาศัยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ซึ่งแบบจำลองใช้ทำนายผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ความเร็วของอากาศขาเข้า 20 และ 25 m/s อุณหภูมิของอากาศขาเข้า 70 และ 110 °C อัตราการป้อนของข้าวเปลือก 20 35 และ 56 kg_{dry solid}/h และขนาดของห้องอบแห้ง 50 ลิตร ที่ส่งผลต่อความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร และมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของผลกระทบจากขนาดของห้องอบแห้งที่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาพบว่า แบบจำลองสามารถให้ผลการทำนายค่าความชื้นสุดท้าย อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรใกล้เคียงกับผลการทดลองที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 10\%$ ขณะที่ขนาดห้องอบแห้งที่ลดลงส่งผลให้อัตราการระเหยน้ำ และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรสูงสุดมีค่าเท่ากับ 62.72 kg_{water}/m³h ที่ความเร็วอากาศขาเข้า 25 m/s อุณหภูมิของอากาศขาเข้า 110 °C และอัตราการป้อนของวัสดุ 56 kg_{dry solid}/h และขนาดห้องอบแห้ง 50 ลิตร ขณะที่สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรสูงสุด มีค่าเท่ากับ 112.63 W/m³K ที่ความเร็วอากาศขาเข้า 25 m/s อุณหภูมิของอากาศขาเข้า 110 °C อัตราการป้อนของวัสดุ 56 kg_{dry solid}/h และขนาดห้องอบแห้ง 50 ลิตร

คำสำคัญ: การอบแห้ง, กระแสนแบบวิถีโค้ง, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Thesis Title	Simulation of Paddy Drying in Tangential Horizontal Impinging Stream System
Author	Piti Khunpho
Degree	Master of Engineering (Mechanical Engineering)
Major Program	Mechanical Engineering Faculty of Engineering
Academic Year	2022

ABSTRACT

This thesis aimed to investigate the simulation of paddy drying in a tangential-horizontal impinging stream system by computational fluid dynamics. The model was used to simulate the effects of various parameters including inlet air velocity of 20 and 25 m/s, inlet drying air temperatures of 70, 90 and 110 °C, paddy feed rate of 25, 35 and 56 kg_{dry solid}/h, volume of drying chamber of 50 liters on the paddy moisture content, volumetric evaporation rate and volumetric heat transfer coefficient. The research also explored the effect from the increasing size of drying chamber. The results showed that the model could predict the paddy moisture content, the volumetric evaporation rate and the volumetric heat transfer coefficient were close to the experimental results within ±10%. In addition, the decreasing size of drying chamber resulted in the increasing volumetric water evaporation rate and the volumetric heat transfer coefficient rate. The maximum volumetric water evaporation rate was 62.72 kg_{water}/m³h at the inlet air velocity of 25 m/s, inlet drying air temperatures of 110 °C, the paddy feed rate of 56 kg_{dry solid}/h and the volume of drying chamber of 50 liters. The maximum volumetric heat transfer coefficient rate was 112.63 W/m³K at the inlet air velocity of 25 m/s, the inlet drying air temperatures of 110 °C, the paddy feed rate of 56 kg_{dry solid}/h and the volume of drying chamber of 50 liters.

Keywords: Drying, Tangential Horizontal, Computational Fluid Dynamics

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีจากความอนุเคราะห์ ความกรุณาเมตตาและความช่วยเหลือในทุกด้านจาก ดร.ปฏิวัติ คมวชิรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ซึ่งกรุณาอบความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ การแก้ปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนตรวจสอบวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงยิ่งไว้ ณ โอกาสนี้

กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ตรีอำนรรค ผู้ซึ่งกรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.กฤษณ์ อภิญาวิศิษฐ์ และอาจารย์ ดร.ประกอบชาติภักดิ์ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งทั้งสามท่านได้ให้ความรู้และการถ่ายทอดประสบการณ์ ตลอดจนตรวจสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ พร้อมได้ให้คำแนะนำ ความรู้และแนวความคิดในด้านต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้เขียนเป็นอย่างมาก

กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ให้ความอนุเคราะห์สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษางานวิจัยนี้ พร้อมได้ให้คำแนะนำ ความรู้และแนวความคิดในด้านต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้เขียนเป็นอย่างมาก

กราบขอบพระคุณคณาจารย์ คุณครูทุกท่านที่อำนวยความสะดวกสำเร็จให้เกิดวิชาความรู้ อบรมสั่งสอน แนะนำตักเตือนผู้เขียนจนมีวันนี้

กราบขอบพระคุณคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล รวมถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือเพื่อใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

กราบขอบพระคุณบิดา มารดา สมาชิกในครอบครัว ที่คอยให้การส่งเสริม สนับสนุนด้านทุนทรัพย์และกำลังใจ ให้เป็นแรงผลักดันผู้เขียนทั้งในด้านการเรียน การดำเนินชีวิตด้วยดีมาโดยตลอด

ท้ายที่สุด ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะมีประโยชน์สำหรับผู้อ่านไม่มากนักน้อยต่อไป

ปิติ ชนโพธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 ทฤษฎีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ	8
2.3 การทบทวนวรรณกรรม	13
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 แบบจำลองและกระบวนการ	21
3.2 การกำหนดชิ้นส่วนย่อย (Generate mesh)	22
3.3 เงื่อนไขขอบเขต	23
3.4 ขั้นตอนและลำดับการแก้สมการ	25
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	
4.1 การเปรียบเทียบการจำลองและการทดลอง	27
4.2 ผลของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อสมรรถนะของห้องอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้ง	32
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	37
5.2 ข้อเสนอแนะ	38
เอกสารอ้างอิง	39
ภาคผนวก ก บทควมตีพิมพ์เผยแพร่และใบรับรองการนำเสนอ	42
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	50

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	เงื่อนไขในการจำลองและตัวแปรต่างๆ
	25



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	4
2.2	5
3.1	21
3.2	22
3.3	22
3.4	23
3.5	23
3.6	25
4.1	27
4.2	28
4.3	29
4.4	30
4.5.1	30
4.5.2	31
4.6	31
4.7	32
4.8	33
4.9	33
4.10.1	34
4.10.2	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.10.3	พฤติกรรมเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้ง จำนวน 1 เมล็ด ที่ความเร็วของอากาศขาเข้า 20 และ 25 เมตรต่อวินาที : ขนาดห้องอบแห้ง 120 ลิตร	35
4.11	ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่ออัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร	35
4.12	ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร	36



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวเป็นพืชผลทางการเกษตรและเป็นสินค้าส่งออกอันดับต้นๆของประเทศไทย ไม่เพียงแต่การส่งออกยังเป็นทรัพยากรที่สำคัญในการบริโภคภายในประเทศ หลังจากที่มีการเก็บเกี่ยวเกษตรกรก็จะพบกับปัญหาที่สำคัญคือ ความชื้นที่อยู่ภายในเมล็ดในปริมาณที่สูง กล่าวคือ ประมาณ 20-25 % (d.b.) จึงเป็นปัญหาสำคัญในการจัดเก็บผลผลิตเหล่านี้ให้อยู่ได้นาน ข้าวเปลือกที่มีคุณภาพดีจะต้องมีความชื้นอยู่ที่ประมาณ 13-15 % (d.b.) ในการแก้ไขปัญหาของเกษตรกรคือการนำข้าวที่ได้หลังจากเก็บเกี่ยวไปผึ่งแดดโดยใช้ระยะเวลา 3-4 สัปดาห์ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศของแต่ละภูมิภาคนั้นๆ แต่ก็ยังมีความชื้นที่หลงเหลืออยู่บ้าง จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า มีวิธีที่จะสามารถช่วยในการขจัดความชื้นของวัสดุทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวอยู่หลายวิธี หนึ่งในวิธีที่นิยมในการขจัดความชื้นวัสดุที่เป็นเมล็ด และมีปริมาณความชื้นสูงคือ การอบแห้งกระแส

การอบแห้งกระแส เป็นเทคนิคที่ใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางดึงเอาน้ำหรือความชื้นที่บริเวณผิวของวัสดุออกอย่างรวดเร็ว ซึ่งเหมาะกับวัสดุที่มีปริมาณความชื้นที่บริเวณผิวสูง ใช้หลักการชนกันของกระแสการไหลที่มีความเร็วสูงทำให้เกิดความรุนแรง และความปั่นป่วนในบริเวณการชน จึงส่งผลให้เกิดอัตราการถ่ายเทความร้อน และมวลสารในระดับที่สูงมาก แต่อย่างไรก็ตาม การอบแห้งกระแสยังเป็นเทคนิคที่ยังใหม่อยู่สำหรับในประเทศไทย จึงจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมถึงผลกระทบของตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งกระแส เนื่องจากเครื่องอบแห้งกระแสมีสมรรถนะในการทำงานที่สูง และมีขนาดกระทัดรัดใช้เนื้อที่ในการปฏิบัติงานที่น้อย จึงเหมาะแก่การนำมาศึกษาวิจัย และพัฒนาเพื่อสร้างองค์ความรู้จนสามารถนำเครื่องไปใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรได้จริง

การจำลองการอบแห้งกระแส เป็นการนำเอาเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมาช่วยอธิบายปรากฏการณ์การไหลของของไหลในกระบวนการอบแห้ง เนื่องจากการอบแห้งกระแส นั้นค่อนข้างมีความซับซ้อน การที่จะศึกษาในส่วนของทดลองเพียงอย่างเดียวนั้นไม่เพียงพอ และการอบแห้งกระแสเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว กล่าวคือ เมื่อวัสดุเข้าสู่ห้องอบแห้งวัสดุก็หลุดออกจากระบบทันที จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า การจำลองโดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองสามารถให้ผลการจำลองที่ใกล้เคียง และยังสามารถที่จะอธิบายถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นของของไหลที่ต้องการศึกษา ซึ่งสามารถแสดงให้เกิดความเข้าใจในรูปแบบของรูปภาพสามมิติหรือภาพกราฟฟิก และเส้นกราฟ ทั้งยังสามารถที่จะกำหนดตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของห้องอบแห้ง และการจำลองยังสามารถช่วยในเรื่องของการลดระยะเวลาในการทดลอง และค่าใช้จ่ายที่มีต่อการทำวิจัย

งานวิจัยที่ผ่านมามุ่งเน้นการศึกษาในส่วนของการจำลอง และการทดลองแบบสองกระแสในแนวแกน (coaxial two impinging streams) แต่สำหรับกรณีที่ใช้ห้องอบแห้งแบบกำหนดให้วัสดุเคลื่อนที่อยู่ในระบบตามแนวโค้งของขนาดห้องอบแห้ง (Tangential Horizontal Flow) มีไม่แพร่หลายมากนัก ส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นศึกษาเฉพาะการทดลองเท่านั้น ไม่สามารถอธิบายถึงพฤติกรรม

ของอนุภาค และของไหลในระบบบอบแห้งได้ ซึ่งการเคลื่อนที่ของวัสดุในรูปแบบนี้ทำให้วัสดุอยู่ในระบบได้นานเพิ่มมากขึ้น และสามารถลดความชื้นของวัสดุได้เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายอากาศ และพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกในระบบกระแสนแบบวิถีโค้ง โดยศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราการป้อนวัสดุ และความเร็วของอากาศขาเข้า ที่มีผลต่ออัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร ของระบบกระแสนแบบวิถีโค้งในช่วงการอบแห้งแบบคงที่ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการกระจายอากาศ และพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกในระบบกระแสนแบบวิถีโค้งโดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบกระแสนแบบวิถีโค้ง

1.2 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาการจำลองการกระจายอากาศ พฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของวัสดุในระบบกระแสนแบบวิถีโค้งที่เงื่อนไขต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราการป้อนวัสดุ และความเร็วของอากาศขาเข้า
- 1.3.2 ศึกษาการจำลองผลของปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 70,90 และ 110 °C อัตราการป้อนวัสดุที่ 20,35 และ 56 kg_{dry solid}/h และความเร็วของอากาศขาเข้าที่ 25 m/s ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร และค่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรของระบบกระแสนแบบวิถีโค้งในช่วงการอบแห้งแบบคงที่
- 1.3.3 การจำลองที่สภาวะคงตัว (steady state) และวัสดุมีลักษณะทรงกลม
- 1.3.4 เปรียบเทียบผลการจำลองที่ได้กับผลการทดลองของ ภมร บัวทุม และคณะ(2012)

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายในเครื่องอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้ง
- 1.4.2 ทราบถึงประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้ง และสามารถนำไปปรับปรุงประสิทธิภาพให้ดีขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ระบบกระแสขน [1]-[3]

ในการอบแห้งวัสดุโดยทั่วไปจะใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้งโดยการถ่ายเทความร้อนจากอากาศร้อนไปยังวัสดุจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันความร้อนส่วนใหญ่จะถูกใช้ไปสำหรับการระเหยน้ำออกจากวัสดุถ้าผิววัสดุมีปริมาณน้ำอยู่เป็นจำนวนมากอุณหภูมิ และความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวก็จะคงที่ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อน และอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant drying rate) ถ้าอุณหภูมิความชื้น และความเร็วอากาศมีค่าคงที่เมื่อผิวของวัสดุมีปริมาณน้ำลดลงมากแล้วความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวของวัสดุย่อมเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

2.1.2 ความรู้พื้นฐานการอบแห้ง

การอบแห้ง (drying) เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่มีความชื้น วัสดุที่มีความชื้นเมื่อได้รับความร้อน จะทำให้เกิดการระเหยน้ำซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการลดความชื้น โดยทั่วไปการอบแห้งนิยมใช้ความร้อนเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยอากาศร้อน ความร้อนที่รับจากอากาศร้อนจะถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุ ซึ่งอัตราการระเหยน้ำนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศที่ใช้ในการเป็นตัวกลาง โดยทั่วไปอัตราการระเหยน้ำนั้นจะมีอัตราคงที่ช่วงระยะเวลาหนึ่ง และจะมีค่าลดลงจนกระทั่งเป็นศูนย์เมื่อความชื้นเข้าสู่สภาวะสมดุล

2.1.3 คุณลักษณะของระบบกระแสขน [4]

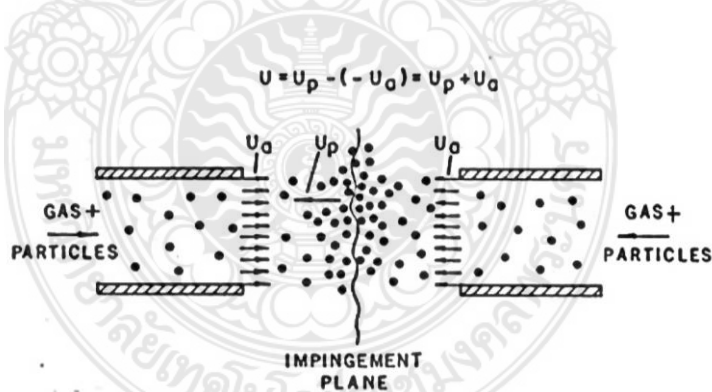
ระบบของกระแสขน พิจารณาได้จากรูปที่ 2.1 โดยการนำกระแสของไหลสองกระแสหรือมากกว่ามาชนกันทำให้เกิดความปั่นป่วนในบริเวณการชนสูง (Turbulent intensity) ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อน และมวลสารสูงขึ้นด้วย ในกระบวนการถ่ายเทมวลสาร และความร้อนของของไหลไปยังวัสดุ สามารถพิจารณาได้ในเทอมของความต้านทานต่าง ๆ ได้แก่ ความต้านทานในส่วนของการไหล ซึ่งโดยปกติแล้วจะขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบ และอุปกรณ์ต่าง ๆ นอกจากนี้ในบางกรณียังมีความต้านทานบริเวณผิวของวัสดุซึ่งอาจเกิดจากสิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่ปกคลุมบริเวณผิวของวัสดุ ส่วนความต้านทานสุดท้ายคือความต้านทานภายใน โดยปกติทั่วไปแล้วจะพยายามที่จะลดความต้านทานบางส่วนหรือทั้งหมดตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ความต้านทานภายในอาจจะสามารถลดลงได้โดยการลดขนาดของวัสดุ หรือการเพิ่มเวลา (resident time) การเคลื่อนที่ของวัสดุในระบบให้มากขึ้น

2.1.3.1 การเพิ่มขึ้นของความเร็วสัมพัทธ์ U ระหว่างอนุภาคที่กำลังเคลื่อนที่ทะลุผ่านกระแสการไหลของของไหลตรงข้าม อนุภาคจะมีความเร็วเท่ากับความเร็วของไหลที่ตำแหน่งทางเข้าของกระแสการไหลตรงกันข้าม $U_p = U_\infty$ ดังนั้นขณะที่อนุภาคผ่านกระแสการ

ไหลตรงข้ามความเร็วสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นจนเป็นสองเท่าของความเร็วของไหล $U=2U_g$ ซึ่งผลที่ได้จะทำให้ความต้านทานภายนอกลดลง

2.1.3.2 การเพิ่มขึ้นของเวลาเฉลี่ยที่อนุภาคอยู่ในระบบซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ทะลุผ่านของอนุภาคเข้าไปในกระแสการไหลตรงข้าม และการเคลื่อนที่กลับไป-มาของอนุภาคในบริเวณการชน อย่างไรก็ตามในระบบที่มีอนุภาคอยู่กันอย่างหนาแน่นการชนกันของอนุภาคจำนวนมากอาจลดเวลาที่อนุภาคอยู่ในระบบลงได้

Elperin (1961) [4] ได้นำเสนอระบบกระแสชนสำหรับกระบวนการถ่ายเทมวลสาร และความร้อน ตามข้อเสนอนี้ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น โดยอาศัยลักษณะการไหลที่พิเศษคือ การนำกระแสของไหลสองกระแสหรือมากกว่ามาชนกัน ซึ่งอาจมีการนำวัสดุเข้าสู่ระบบผ่านกระแสของไหลทางใดทางหนึ่งหรือทั้งสองทางก็ได้ แสดงดังรูปที่ 2.1 จากผลของการชนกันระหว่างกระแสของไหลทั้งสองกระแส ความเร็วสัมพัทธ์ของวัสดุเมื่อเทียบกับกระแสของไหลจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่วัสดุเคลื่อนที่สวนกระแสตรงกันข้าม กระบวนการถ่ายเทมวล และความร้อนจะเกิดขึ้นในบริเวณดังกล่าว สำหรับการเคลื่อนที่ของวัสดุนั้นเริ่มต้นจากการที่วัสดุถูกเร่งให้มีความเร็วมากขึ้นโดยกระแสของไหลที่นำวัสดุเข้าสู่ระบบจนกระทั่งผ่านเข้าสู่ระนาบการชน (Impingement plane) วัสดุจะเคลื่อนที่เข้าไปสู่กระแสตรงกันข้ามด้วยแรงเฉือน (Shear force) และวัสดุจะถูกต้านจากกระแสตรงกันข้ามให้ค่อยๆ มีความเร็วลดลง จนกระทั่งอยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง จากนั้นวัสดุจะถูกเร่งให้มีความเร็วเพิ่มขึ้นอีกจากกระแสดังกล่าววัสดุจะมีเคลื่อนที่กลับไป-กลับมาในบริเวณการชน (Impingement zone) จนความเร็วของวัสดุลดลง และถูกพาให้ออกจากห้องอบแห้งในที่สุดดังรูปที่ 2.1

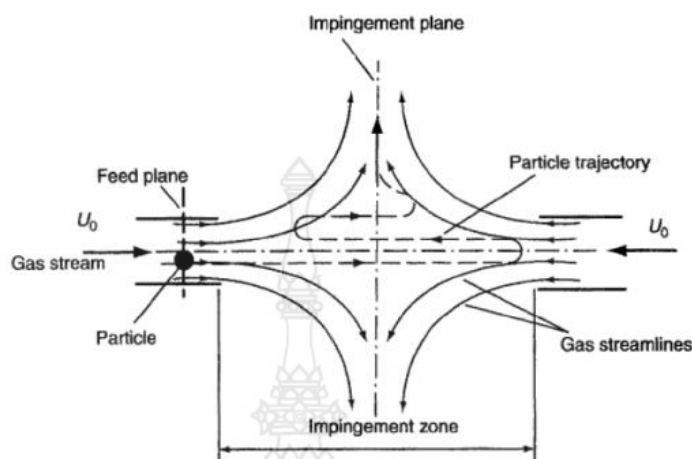


รูปที่ 2.1 หลักการพื้นฐานของกระแสชน [4]

2.1.4 การอบแห้งกระแสชน

การอบแห้งกระแสชนจัดเป็นการอบแห้งที่เกิดขึ้นค่อนข้างรวดเร็วซึ่งเหมาะกับการอบแห้งวัสดุที่มีความชื้นหรือเปียก โดยกระบวนการอบแห้งจะเกิดขึ้นบริเวณการชนกันเป็นหลัก เนื่องจากการชนของกระแสการไหลที่มีความเร็วทั้งอุณหภูมิจึงทิศทางตรงกันข้ามโดยอาศัยการป้อนวัสดุที่ต้องการอบแห้งเข้าไปในด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้านของกระแส และจากคุณลักษณะของอุทกพลวัต

พบว่า ผลจากความเฉื่อยของอนุภาคมีมากกว่าของไหลตัวกลาง จึงทำให้อนุภาคสามารถที่จะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในระบบ และบริเวณระยะนาบของการชน



รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งกระแสน [5]

ดังรูปที่ 2.2 ทำให้อนุภาคนั้นมีเวลาที่จะสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลได้นานขึ้น ในบริเวณการชนจะมีความปั่นป่วนสูง และเกิดขึ้นค่อนข้างที่จะรวดเร็วทำให้เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนของมวลในอัตราที่สูง ดังนั้นความชื้นของอนุภาคจึงระเหยออก

ดังรูปที่ 2.2 พิจารณาการเคลื่อนที่ของวัสดุเดี่ยวในระบบกระแสนซึ่งเมื่อเริ่มป้อนวัสดุเข้าสู่ระบบที่จุดที่ 1 ความเร็วเริ่มต้นของวัสดุจะเท่ากับศูนย์ ($U_p = 0$) และกำหนดให้ความเร็วสัมพัทธ์ของวัสดุเท่ากับ $U = U_a - U_p$ เมื่อ U_a คือ ความเร็วของการไหลกำหนดให้ทิศทางจากจุดที่หนึ่งไปทางขวามือมีค่าเป็นบวกวัสดุจะถูกเร่งด้วยกระแสการไหลนำเข้าสู่ระบบเมื่อวัสดุอยู่จุดที่ 3 ซึ่งเป็นบริเวณที่ใกล้กับจุดระนาบการชน ความเร็วของ U_a วัสดุจะเทียบกับความเร็วยของกระแสการไหล ($U_p = U_a$) ดังนั้นความเร็วสัมพัทธ์จึงมีค่าเท่ากับศูนย์ ($U = 0$) จากนั้นวัสดุจะเริ่มเคลื่อนที่เข้าสู่ระนาบการชนไปยังกระแสการไหลในทิศทางที่สวนทางกันกลับกระแสการไหลตรงกันข้าม ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่มีความเร็วสัมพัทธ์มากที่สุดโดยจะมีค่าเท่ากับ $2U_a$ การเพิ่มความเร็วสัมพัทธ์อย่างมีนัยสำคัญมีผลต่อการเพิ่มกระบวนการถ่ายเทมวล และความร้อนในกระแสนไปอย่างรวดเร็วส่งผลให้การใช้เวลาในการอบแห้งนั้นสั้นลง โดยทั่วไปแล้วจะมีแรงอยู่สามแรงที่กระทำต่อวัสดุขนาดเข็มนที่อยู่ในกระแสนของไหล ได้แก่ แรงจากภายนอก แรงลอยตัว แรงจุดลาก ซึ่งจะเป็นแรงที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัสดุกระทำขนานกับการเคลื่อนที่ของวัสดุแต่จะมีทิศทางตรงกันข้าม

2.1.5 ความชื้นในวัสดุ [6]

ความชื้นในวัสดุนั้นเป็นค่าความชื้นที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำที่อยู่ในวัสดุ เมื่อเทียบกับวัสดุที่ขึ้นหรือแห้ง การวัดความชื้นในวัสดุสามารถที่จะวัดได้สองแบบคือ ความชื้นมาตรฐานเปียก นิยมใช้กับองค์การค้าโดยอ้างอิงในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ และความชื้นมาตรฐานแห้ง นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งในทางทฤษฎีเนื่องจากการคำนวณที่สะดวกเพราะมวลของวัตถุแห้งจะมี

ค่าคงที่หรือเกือบคงที่ในระหว่างการอบแห้งซึ่งที่ว่าเกือบคงที่นี้เป็นเพราะผลผลิตทางเกษตรมีความชื้นสูง ซึ่งสามารถเขียนได้จากสมการที่ (2.1)

$$M_{db} = \frac{w-d}{d} \times 100 \quad (2.1)$$

$$M_{wb} = \frac{w-d}{w} \times 100 \quad (2.2)$$

โดยที่ M_{db} = ความชื้นมาตรฐานแห้ง % (*d.b.*)

M_{wb} = ความชื้นมาตรฐานเปียก % (*w.b.*)

w = มวลของวัสดุชื้น (*kg*)

d = มวลของวัสดุแห้ง (*kg*)

สำหรับความสัมพันธ์ของความชื้นมาตรฐานเปียกและความชื้นมาตรฐานแห้ง เป็นไปตามสมการที่ (2.3)

$$M_{wb} = \frac{M_{db}}{1 + M_{db}} \quad (2.3)$$

2.1.6 การถ่ายเทความร้อนและมวลของวัสดุในระบบ

โดยทั่วไปแล้วกระบวนการถ่ายเทความร้อนของของไหลไปยังวัสดุ จะพิจารณาในส่วนของความต้านทานความร้อนที่มีอยู่สามส่วน ได้แก่ ความต้านทานภายนอก ความต้านทานผิว และความต้านทานภายในซึ่งความต้านทานเดี่ยวนี้นี้เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ลดการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.6.1 การเพิ่มความเร็วสัมพัทธ์ให้กับวัสดุ และของไหลจะทำให้เกิดแรงเสียดทานบริเวณผิวสัมผัสเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดความดันลดลง (Pressure drop) เกิดขึ้นในระบบสูงขึ้น

2.1.6.2 การลดขนาดของวัสดุให้เล็กลงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลเพิ่มสูงขึ้นแต่อาจจะส่งผลให้กับความเร็วสัมพัทธ์ลดลง

2.1.6.3 ลดการจับตัวกันของวัสดุเพื่อให้วัสดุสามารถที่จะกระจายตัวกันอย่างสม่ำเสมอในของไหล ความต้านทานภายในสามารถที่จะลดลงได้หากมีการปรับลดขนาดของวัสดุอนุภาคหรือเพิ่มระยะเวลาให้วัสดุสามารถอยู่ในระบบได้นานขึ้น ส่วนความต้านทานที่ผิวของวัสดุสามารถลดลงได้โดยการกำจัดสิ่งสกปรกที่บริเวณผิวของวัสดุออก

2.1.7 การหาค่าเวลาเฉลี่ยที่วัสดุอยู่ในระบบ [7]

การศึกษาถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเพิ่มเวลาเฉลี่ยของวัสดุให้อยู่ในระบบให้ได้มากขึ้นจึงมีความจำเป็น ซึ่งคาดว่าผลที่ได้จากการศึกษาจะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาระบบการลดความชื้นของวัสดุอนุภาคให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และเป็นแนวทางในการใช้พลังงาน

ให้น้อยที่สุดรวมไปถึงสามารถที่จะนำไปขยายผลเพื่อใช้กับวัสดุชนิดอื่น ๆ ได้ในอนาคต ซึ่งการหาค่าเวลาเฉลี่ยที่วัสดุอยู่ในระบบกระแสนซึ่งพิจารณาจากสมการที่ 2.4

$$\tau = \frac{m_p}{w_p} \quad (2.4)$$

โดยที่ τ = เวลาเฉลี่ยที่วัสดุอยู่ในระบบ (s)

m_p = ปริมาณของวัสดุที่อยู่ในระบบ (kg)

w_p = อัตราการไหลเชิงมวลของวัสดุ (kg / s)

2.1.8 การคำนวณค่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร [8]

อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรสามารถบ่งบอกถึงสมรรถนะของเครื่องอบแห้งกระแสนได้โดยมีสมการคำนวณดังนี้

2.1.8.1 อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร (N_v)

$$N_v = \frac{W_p (x_i - x_e)}{V_r} \quad (2.5)$$

2.1.8.2 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร (H_v)

$$h_v = \frac{W_p (x_i - x_e) \lambda}{V_r \Delta T_{lm}} \quad (2.6)$$

โดยที่ ΔT_{lm} คือผลต่างของอุณหภูมิแบบลอการิทึมซึ่งเป็นตัวแทนของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างของไหลที่ทางเข้า และทางออก ซึ่งพิจารณาจากสมการที่ (2.7)

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{db.} - T_{wb.})_e - (T_{db.} - T_{wb.})_i}{\ln \frac{(T_{db.} - T_{wb.})_e}{(T_{db.} - T_{wb.})_i}} \quad (2.7)$$

โดยที่ N_v = อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร ($kg_{water} / m^3 h$)

H_v = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร ($W / m^3 K$)

W_p = อัตราการป้อนวัสดุ ($kg_{Drysolid} / h$)

V_r = ปริมาตรห้องอบแห้ง (m^3)

x_i = ความชื้นของวัสดุที่ขาเข้า $kg / kg(d.b.)$

x_e = ความชื้นของวัสดุที่ขาออก $kg / kg(d.b.)$

λ = ความร้อนแฝงของการระเหย kJ / kg

2.2 ทฤษฎีพลศาสตร์ของไหลที่ใช้ในการคำนวณ

พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเป็นเครื่องมือที่ช่วยอธิบายปรากฏการณ์ของของไหลที่เกิดขึ้นภายในเครื่องอบแห้งกระแสนซึ่งอธิบายได้โดยการใช้รูปแบบของตัวเลขทางคณิตศาสตร์ ประกอบไปด้วยสมการต่าง ๆ ดังนี้ [26]

2.2.1 สมการความต่อเนื่อง (Continuity equation) [26]

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = M_m \quad (2.8)$$

โดยที่ M_m = เทอมของสมการความต่อเนื่อง (Source term in continuity equation)

ρ = ความหนาแน่น (Density) (kg / m^3)

u_i = ความเร็ว (m / s)

x_i, x_j = ระยะพิกัด (m)

t = เวลา (s)

2.2.2 สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum equation) [26]

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_j) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = \frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \rho g + M_F \quad (2.9)$$

โดยที่ M_F = เทอมของสมการโมเมนตัม (Source term in momentum equation)

μ = สัมประสิทธิ์ความหนืด ($kg / m \cdot s$)

ρ = ความหนาแน่น (kg / m^3)

μ_t = ค่าความหนืดของความปั่นป่วน (turbulent or eddy viscosity) ($kg / m \cdot s$)

ซึ่งพิจารณาจากสมการที่ (2.10)

$$\mu_t = \rho c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.10)$$

2.2.3 สมการอนุรักษ์พลังงาน (Energy equation) [26]

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c_p T) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho c_p u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + M_h \quad (2.11)$$

โดยที่ M_h = เทอมของสมการพลังงาน (Source term in energy equation)

μ = สัมประสิทธิ์ความหนืด ($kg / m \cdot s$)

ρ = ความหนาแน่น (kg / m^3)

T = อุณหภูมิ (K)

c_p = ค่าความจุความร้อนของอนุภาค ($J / kg \cdot K$)

u = ความเร็ว (m / s)

k_g = ค่าการนำความร้อน ($W / m \cdot K$)

2.2.4 สมการอนุรักษ์มวลย่อย [26]

$$\frac{\partial(\rho C)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i C)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\rho D + \frac{\mu_t}{Sc_t} \right) \frac{\partial C}{\partial x_i} \right) + M_m \quad (2.12)$$

โดยที่ M_m = เทอมของสมการความต่อเนื่อง (Source term in continuity equation)

Sc_t = ตัวเลขชmidt สำหรับความปั่นป่วน

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ของมวลย่อย (ไอน้ำ) (m^2 / s)

C = สัดส่วนโดยมวลของมวลย่อย (ไอน้ำ) (kg_{water} / kg_{dryair})

2.2.5 แบบจำลองความปั่นป่วน [27]

ในการศึกษาที่ใช้แบบจำลองความปั่นป่วน สมการคือ realizable $k - \varepsilon$ turbulence ทำงานร่วมกับ standard-wall function ซึ่งจะให้การจำลองใกล้เคียงกับการทดลองจริง

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b \quad (2.14)$$

โดยที่ k = พลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (m^2 / s^2)

ε = อัตราการแพร่ของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (m^2 / s^2)

ρ_g = ความหนาแน่นของของไหล (kg / m^3)

μ = สัมประสิทธิ์ความหนืด ($kg / m \cdot s$)

μ_t = ค่าความหนืดของความปั่นป่วน (turbulent or eddy viscosity) ($kg / m \cdot s$)

σ_k = ตัวเลขแพลนด์เทิลสำหรับพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน k

Y_M = ค่าความกดอัดไอ ซึ่งมีผลต่อความปั่นป่วนของไหล

k_g = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของไหล ($W / m \cdot K$)

ε = อัตราการแพร่ของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (m^2 / s^2)

σ_ε = ตัวเลขแพลนด์เทิลสำหรับการกระจายพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน ε

G_k = ค่าพจน์การผลิตของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน ซึ่งพิจารณาจากสมการที่ (2.15)

$$G_k = -\overline{\rho u_i' u_j'} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (2.15)$$

โดยที่ G_b = พลังงานจลน์ที่เกิดจากการลอยตัว ซึ่งพิจารณาจากสมการที่ (2.16)

$$G_b = -g_i \left(\frac{\mu_t}{\rho Pr_T} \right) \left(\frac{\partial \rho}{\partial x_i} \right) \quad (2.16)$$

สำหรับเลขแพลนด์เทิล Prandtl Number, Pr ซึ่งพิจารณาจากสมการที่ (2.17)

$$Pr = \frac{c_p \mu}{k_g} \quad (2.17)$$

โดยที่ ν = ความหนืดทางจลน์ศาสตร์ (m^2/s) ซึ่งพิจารณาจากสมการที่ (2.18)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.18)$$

สำหรับค่าคงที่ต่าง ๆ ในการจำลองความปั่นป่วน realizable $k - \epsilon$ มีค่าดังต่อไปนี้

$$C_{1\epsilon} = 1.44$$

$$C_2 = 1.9$$

$$\sigma_k = 1.0$$

$$\sigma_\epsilon = 1.2$$

$$C_{3\epsilon} = \tanh \left| \frac{\nu}{u} \right|$$

2.2.6 การถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างอนุภาคและอากาศ [27]

ในกรณีที่อุณหภูมิของอนุภาคต่ำกว่าอุณหภูมิการระเหยของน้ำ ในช่วงนี้จะไม่เกิดการระเหยน้ำจากอนุภาค ซึ่งสมการสมดุลความร้อนพิจารณาได้จากสมการที่ (2.19)

$$m_p c_p \frac{dT_p}{dt} = h A_p (T_g - T_p) \quad (2.19)$$

โดยที่ m_p = มวลของอนุภาค (kg)

c_p = ความจุของความร้อนจำเพาะ ($J/kg \cdot K$)

T_p = อุณหภูมิของอนุภาค (K)

T_g = อุณหภูมิของแก๊ส (K)

A_p = พื้นที่ผิวของอนุภาค (m^2)

h = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($W/m^2 \cdot K$)

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) ระหว่างอากาศกับอนุภาคทรงกลมนี้ สามารถหาได้โดยการใช้ตัวแปรไร้มิติตัวเลขนัสเซลท์จะพิจารณาตาม Ranz and Marshall, (1952) [23]

$$Nu = \frac{hd_p}{k_g} = 2.0 + 0.6Re^{1/2} Pr^{1/3} \quad (2.20)$$

โดยที่ h = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($W / m^2 \cdot K$)

d_p = เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค (m)

k_g = ค่าการนำความร้อนของอากาศ ($W / m \cdot K$)

Re = ตัวเลขเรย์โนลด์ ซึ่งพิจารณาจากสมการที่ (2.21)

$$Re = \frac{\rho d_p |u_p - u_g|}{\mu} \quad (2.21)$$

โดยที่ Pr = ตัวเลขแพลนคท์เทิล ซึ่งพิจารณาจากสมการที่ (2.17)

เมื่ออุณหภูมิของอนุภาค มีค่าถึงอุณหภูมิของการระเหยน้ำ และอนุภาคมีการระเหยน้ำเกิดขึ้น อัตราการระเหยน้ำที่ผิวของอนุภาคจะพิจารณาดังนี้ [27]

$$Ni = k_c (C_{i,s} - C_{i,g}) \quad (2.22)$$

โดยที่ N_i = ฟลักซ์เชิงโมลของไอน้ำ ($kgmol / m^2 \cdot s$)

k_c = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล (m / s)

$C_{i,s}$ = ความเข้มข้นของไอน้ำที่บริเวณผิวอนุภาค ($kgmol / m^3$)

$C_{i,g}$ = ความเข้มข้นของไอน้ำในอากาศ ($kgmol / m^3$)

กำหนดให้ที่สถานะนี้ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสารเป็นไปตามสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรไร้มิติตัวเลขเชอร์วูด [27]

$$Sh = \frac{k_c d_p}{D_v} = 2.0 + 0.6Re^{1/2} Sc^{1/3} \quad (2.23)$$

โดยที่ k_c = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล (m / s)

d_p = เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค (m)

D_v = สัมประสิทธิ์การแพร่ของไอน้ำในอากาศ (m^2 / s)

Re = ตัวเลขเรย์โนลด์ ซึ่งพิจารณาจากสมการที่ (2.21)

Sc = ตัวเลขชมิตท์ ซึ่งพิจารณาจากสมการที่ (2.24)

$$Sc = \frac{\mu}{\rho D_v} \quad (2.24)$$

ทำให้เราสามารถเขียนสมการการถ่ายเทมวลระหว่างอากาศ และอนุภาคได้ดังนี้ [27]

$$\frac{dm_p}{dt} = -N_i A_p M_{w,i} \quad (2.25)$$

โดยที่ $\frac{dm_p}{dt}$ = อัตราการระเหยความชื้น (kg/s)

N_i = ฟลักซ์เชิงโมลของไอน้ำ ($kgmol/m^2 \cdot s$)

A_p = พื้นที่ผิวของอนุภาค (m^2)

$M_{w,i}$ = น้ำหนักโมเลกุลของไอน้ำ ($kg/kgmol$)

และเขียนสมการการถ่ายโอนความร้อนระหว่างอากาศและอนุภาค ได้ตั้งสมการสมดุลความร้อนดังนี้ [27]

$$m_p c_p \frac{dT_p}{dt} = h A_p (T_g - T_p) + \frac{dm_p}{dt} h_{fg} \quad (2.26)$$

โดยที่ m_p = มวลของอนุภาค (kg)

c_p = ความจุของความร้อนจำเพาะ ($J/kg \cdot K$)

T_p = อุณหภูมิของอนุภาค (K)

T_g = อุณหภูมิของแก๊ส (K)

A_p = พื้นที่ผิวของอนุภาค (m^2)

h = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($W/m^2 \cdot K$)

$\frac{dm_p}{dt}$ = อัตราการระเหยความชื้น (kg/s)

h_{fg} = ค่าความร้อนแฝงของการระเหยน้ำออกจากวัสดุ (J/kg)

2.2.7 สมการควบคุมการเคลื่อนที่ของอนุภาค [27]

สมการการเคลื่อนที่ของอนุภาคสามารถคำนวณโดยใช้กฎข้อที่สองของนิวตัน (Newton's Second law) สามารถเขียนได้ดังต่อไปนี้

$$\frac{dm_p}{dt} = \frac{18\mu C_D Re}{\rho_p d_p^2 24} (u_g - u_p) + g_i \frac{\rho_p - \rho_g}{\rho_p} \quad (2.27)$$

โดยที่ u_g = ความเร็วของการไหล (m/s)

u_p = ความเร็วของอนุภาค (ข้าวเปลือก) (m/s)

ρ_g = ความหนาแน่นของแก๊ส (kg/m^3)

ρ_p = ความหนาแน่นของอนุภาค (kg/m^3)

g_i = แรงโน้มถ่วง (m/s^2)

F_D = แรงฉุดลากต่อหน่วยอนุภาค ซึ่งพิจารณาจากสมการที่ (2.28)

$$F_D = \frac{18\mu C_D Re}{\rho_p d_p^2 24} \quad (2.28)$$

สำหรับสัมประสิทธิ์แรงฉุดลาก (drag coefficient : c_D) [27] ซึ่งพิจารณาจากสมการที่ (2.29)

$$c_D = \alpha_1 + \frac{\alpha_2}{Re} + \frac{\alpha_3}{Re} \quad (2.29)$$

โดยที่ α_1, α_2 และ α_3 เป็นค่าคงที่ของสมการที่ใช้สำหรับอนุภาคที่เป็นทรงกลม (Morsi and Alexander) และสำหรับเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number, Re) [27] ซึ่งพิจารณาจากสมการที่ (2.21)

2.3 การทบทวนวรรณกรรม

สำหรับการทบทวนวรรณกรรมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ใช้วิธีการแบ่งเป็นช้อย่อยสำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอันจะเป็นประโยชน์ และง่ายต่อการทำความเข้าใจ โดยมีการสรุปจากการทบทวนวรรณกรรมดังนี้

2.5.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอบแห้งกระแสน

ผลงานวิจัยของ Tamir [1] มุ่งเน้นไปที่การศึกษา และพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบกระแสนแบบที่มีการป้อนวัสดุเข้าห้องอบแห้งในแนวเส้นสัมผัสกับห้องอบแห้ง (tangentially fed impinging stream dryer) และได้ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งดังกล่าว ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง (ในแง่ของอัตราการระเหยน้ำและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร) ที่ได้พัฒนาขึ้นมีค่าสูงกว่าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบต และเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบต.

Tamir [2] มุ่งเน้นไปที่ศึกษาการอบแห้งของวัสดุอนุภาคในเครื่องอบแห้งแบบกระแสนซึ่งวัสดุที่ใช้คือ Millet seed หรือก็คือเมล็ดข้าวฟ่าง โดยมีความชื้นเริ่มต้นที่ 25-30 % (d.b.) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยโดยประมาณอยู่ระหว่าง 1.5-1.9 mm และมีความหนาแน่นเท่ากับ $1,153 kg/m^3$ ในส่วนของอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าคงที่โดยที่อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าคงที่เท่ากับอุณหภูมิของกระเปาะเปียกฝั่งอากาศเข้าห้องอบแห้ง ซึ่งวิธีการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งนั้น จะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น จากการที่มวลของ

วัสดุที่อยู่ในระบบ (Hold up of particle) ได้นานมากขึ้น ย่อมทำให้แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของเครื่องอบแห้งที่เพิ่มมากขึ้น

ในขณะที่งานวิจัยของ Kitron and Tamir [7] ได้ศึกษาพลศาสตร์การเคลื่อนที่ของวัสดุระยะเวลาที่วัสดุอยู่ในระบบ การถ่ายเทความร้อน และการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบกระแสนชนิดแกนเดียวกัน โดยพบว่า ปริมาณการถ่ายเทความร้อน และมวลขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างท่อทางเข้าห้องอบแห้งทั้งสองด้าน ส่วนเวลาเฉลี่ยของวัสดุที่อยู่ในระบบมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของภาระ (อัตราส่วนระหว่างอัตราการป้อนวัสดุ และอัตราการไหลของอากาศ) หมายความว่า เมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ค่าเวลาเฉลี่ยของวัสดุที่อยู่ในระบบจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยเป็นผลเนื่องจากพลังงานจลน์ของวัสดุมีค่ามากขึ้น และส่งผลให้วัสดุมีความสามารถในการเคลื่อนที่กลับไป-กลับมาได้นานมากขึ้น ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงตามอัตราการป้อนของวัสดุ

A. Tamir, [8] มุ่งเน้นไปที่การศึกษาความสามารถในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบกระแสน โดยทำการศึกษาเครื่องอบแห้งที่มี และไม่มีแผ่นกั้นระหว่างกลางของกระแสนสองกระแสน จากการทดลอง พบว่า ในกรณีของเครื่องอบแห้งที่ไม่มีแผ่นกั้นทำให้เกิดการชนโดยตรงของอนุภาคอากาศร้อนทั้งสองกระแสได้ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามปริมาณการเพิ่มของอนุภาคที่อยู่ในเครื่องอบแห้ง ในขณะที่เครื่องอบแห้งแบบมีแผ่นกั้นระหว่างกระแสนอากาศร้อนทั้งสองกระแสนมีการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนอย่างไม่มีนัยสำคัญ เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอนุภาคที่อยู่ในเครื่องอบแห้ง จากการทดลองดังกล่าวอาจสรุปได้ว่าการชนกันของกระแสนอากาศร้อนสองกระแสนมีผลอย่างยิ่งต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน และมวลระหว่างอนุภาคและตัวกลางการอบแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่า การอบแห้งส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่บริเวณกระแสนของไหลสองกระแสนเกิดการชนกัน

Hu and Liu, [9] ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาคุณลักษณะการไหล และการอบแห้งของ เครื่องอบแห้งแบบกระแสนแนวตั้ง จากการทดลองพบว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราการระเหยของน้ำที่ออกจากผิวของวัสดุ ในขณะที่อัตราส่วนของภาระ (Loading ratio) จะแปรผกผันตามการเพิ่มหรือลดของอัตราการไหลในอากาศ โดยกำหนดให้อัตราการป้อนวัสดุคงที่หรือก็คือเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นค่าอัตราส่วนภาระก็จะลดลง ซึ่งจะทำให้วัสดุสามารถมีค่าเวลาเฉลี่ยที่อยู่ในระบบเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากวัสดุมีแรงเฉื่อยที่มากขึ้นจึงส่งผลให้วัสดุสามารถเคลื่อนที่สวนเข้าไปในกระแสนตรงข้ามได้มากขึ้นหรืออีกนัยหนึ่งคือ การที่อัตราส่วนภาระลดลงจากการลดลงของอัตราการป้อนวัสดุ โดยที่อัตราการไหลของอากาศคงที่ จึงส่งผลให้มีวัสดุในระบบน้อยลงเช่นกันน้อยลง การสูญเสียพลังงานจลน์ของวัสดุจึงน้อยตามลงไปด้วยเช่นกัน ทำให้วัสดุสามารถเคลื่อนที่กลับไป-กลับมาได้นานขึ้น ดังนั้นเวลาเฉลี่ยในระบบของวัสดุก็จะมากขึ้น

Cao และคณะ [10] ได้นำเสนอผลการศึกษาอิทธิพลของระยะห่างในการชนปริมาตรของห้องอบแห้ง รูปทรงของห้องอบแห้ง และวัสดุที่ใช้ทดสอบที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งกระแสนแบบสองทิศทาง ที่มีการป้อนวัสดุเข้าห้องอบแห้งในแนวแกนเดียวกัน โดยวัสดุที่ใช้ทดสอบคือ ข้าวเมล็ดธัญพืช และมันฝรั่งเม็ด (potato granules) ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มขึ้นของระยะห่างในการชน และปริมาตรห้องอบแห้งทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุได้มากขึ้น และช่วยลดพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งด้วย ซึ่งเครื่องอบแห้งแบบกระแสนที่พัฒนาขึ้นนี้เหมาะสำหรับวัสดุที่มีความชื้นที่บริเวณ

ผิวสูงและมีขนาดเล็ก นอกจากนั้นยังพบว่า ห้องอบแห้งที่ลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจะช่วยลดการสะสมตัวของวัสดุทดสอบได้ดีกว่าห้องอบแห้งแบบทรงกระบอก

Ozbey and Soylemez [11] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของของกระบวนการอบแห้งโดยการเพิ่มความปั่นป่วนในการไหลของอากาศในระบบการอบแห้ง ซึ่งเครื่องอบแห้งที่ใช้คือ เครื่องอบแห้งแบบไซโคลน (Cyclone dryer) และเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด และวัสดุที่ใช้คือ ข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 28 % (d.b.) โดยวิธีที่ใช้ในการเพิ่มความปั่นป่วนในระบบคือ เปลี่ยนรูปแบบห้องอบแห้งจากแบบท่อเรียบเป็นท่อเกลียว ซึ่งผลกระทบต่อปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิของ อากาศขาเข้า ความเร็วของอากาศ อัตราการป้อนข้าวเปลือก จากการศึกษาพบว่าเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นสามารถลดความชื้นข้าวเปลือกลงได้ประมาณ 4.4-10.3 % (d.b.) ซึ่งสามารถความชื้นต่ำสุดที่ทำได้คือ 17.79% (d.b.) ภายในระยะเวลาต่ำกว่า 5 วินาที และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าต่ำสุดที่ทำได้คือ 1.87 MJ/kg_{water} ซึ่งเกิดขึ้นเมื่ออบแห้งด้วยอุณหภูมิ 100 °C ความเร็วของอากาศ 30 m/s และอัตราการป้อนข้าวเปลือก 150 kg_{dry solids}/h ซึ่งผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นแบบท่อเกลียวนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบท่อเรียบในทุกเงื่อนไขการทดลอง

ในขณะที่งานวิจัยของ K. Sathapornprasath และคณะ [12] ได้นำเสนอผลการทดลองอบแห้งเรซินด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำที่มีลักษณะเดียวกันกับงานวิจัยของ Cao et al. (1999) โดยศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ เช่น อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า (110 - 150 °C) ความเร็วอากาศร้อนขาเข้า ระยะห่างในการชน และอัตราการป้อนวัสดุที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำในเทอมของอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร โดยวัสดุทดสอบเรซิน มีความชื้นเริ่มต้น 81-85 % (d.b.) จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าส่งผลต่ออัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าที่อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าเดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามอัตราการป้อนวัสดุและความเร็วของอากาศร้อนขาเข้าอย่างเห็นได้ชัด สำหรับอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรสูงสุดที่ 110 kg_{water}/m³h และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ 880 W/m³K ตามลำดับ

ส่วนงานวิจัยของ Nimmoland and Devahastin และคณะ [13] ได้ศึกษาการลดความชื้นของข้าวเปลือก โดยมุ่งเน้นที่การศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่ออัตราการระเหยของน้ำเชิงปริมาตร สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง เช่น อุณหภูมิขาเข้า อัตราการป้อนข้าวเปลือก ระยะห่างในการชน และลักษณะการป้อนวัสดุเข้าระบบ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นมาสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกลงได้ 3.4-7.7 % (d.b.) ภายในระยะเวลาสั้นๆ อัตราการระเหยของน้ำเชิงปริมาตรสูงสุดที่ได้มีค่า 198 kg_{water}/m³h ในขณะที่สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรสูงสุดมีค่า 7,013 W/m³K เวลาเฉลี่ยที่อยู่ในระบบประมาณ 1.81-2.42 s ส่งผลให้อัตราการอบแห้งมีค่าเท่ากับ 1.52-3.83 % (d.b.)/s ซึ่งสูงกว่าการอบแห้งแบบสปาดัดเบดและฟลูอิดไคซ์เบดถึง 250 และ 400 เท่าตามลำดับ

Choicharoen และคณะ [14] ได้นำเสนอผลการศึกษาปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำที่พัฒนาขึ้นโดย Sathapornprasath et al. (2007) ให้สามารถใช้งานกับวัสดุทางการเกษตรที่มี

ความชื้นสูง โดยทำการปรับเปลี่ยนระบบการป้อนวัสดุเป็นระบบสายพาน และขยายขนาดท่อบริเวณทางเข้าของอากาศ และปรับเปลี่ยนส่วนรับวัสดุเป็นแบบเวนจูรี (venturi) จากเดิมที่เป็นแบบออริฟิส (orifice) ทำการทดลองโดยใช้วัสดุทดสอบเป็นกากถั่วเหลือง (Okara) มีความชื้นเริ่มต้นที่ 2.6-3.1 kg/kg (d.b.) ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มขึ้นของความเร็วอากาศขาเข้า และอัตราการป้อนวัสดุมีผลทำให้อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการระเหยของน้ำเชิงปริมาตรมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงอย่างเดียว และในส่วนของระยะการชนเมื่อพิจารณาที่อัตราการป้อนวัสดุคงที่ กรณีแรกที่ความเร็วอากาศขาเข้ามีค่าต่ำ พบว่า ระยะการชนที่สั้นกว่าส่งผลให้อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าสูง ส่วนกรณีที่สองที่ความเร็วอากาศขาเข้ามีค่าสูง พบว่า ระยะการชนที่มากกว่าส่งผลให้อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้น ผลการทดลองอบแห้งกากถั่วเหลือง พบว่า อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรสูงสุดอยู่ที่ $520 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{m}^3\text{h}$ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ $4,500 \text{ W}/\text{m}^3\text{K}$ ขณะที่ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งต่ำสุดมีค่า $5.6 \text{ MJ}/\text{kg}_{\text{water}}$

ในกรณีผลงานของ Nimmolet และคณะ [15] ได้นำเสนอผลการศึกษารอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (pneumatic dryer) พบว่า การนำเครื่องอบแห้งทั้งสองแบบมาใช้ร่วมกัน ทำให้มีสมรรถนะในการลดความชื้นของข้าวเปลือกได้มากกว่าใช้แบบพาหะลมอย่างเดียว โดยความชื้นของข้าวเปลือกหลังผ่านการอบแห้งแล้วสามารถมีค่าลดลงได้ 6.6-9.79 % (d.b.) ภายในเวลาอันสั้น นอกจากนี้ค่าเวลาเฉลี่ยที่ข้าวเปลือกจะอยู่ในระบบมีค่าเพิ่มขึ้น 33-41 % เมื่อเทียบกับการใช้เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมอย่างเดียว ส่งผลให้อัตราการลดความชื้นของข้าวเปลือกมีค่าสูงขึ้น 55-166 % เมื่อเทียบกับการใช้เพียงแค่เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม

ภมร บัวทุม [16] มุ่งเน้นไปที่การศึกษารอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งกระแสน้ำแบบวิถีโค้งโดยกำหนดให้วัสดุเคลื่อนที่เป็นวิถีโค้งตามรัศมีความโค้งของห้องอบแห้ง ซึ่งใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราการป้อนวัสดุ และปริมาตรห้องอบแห้งที่ผลต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง โดยใช้ข้าวเปลือกที่มีความชื้น ประมาณ 28% ความเร็วของอากาศขาเข้าที่ 25 m/s อุณหภูมิอากาศขาเข้าระหว่าง $70 - 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และอัตราการป้อนวัสดุระหว่าง $20 - 56 \text{ kg}_{\text{dry solid}}/\text{h}$ ซึ่งผลการทดลองพบว่า เครื่องอบแห้งกระแสน้ำแบบวิถีโค้งที่มีปริมาตรห้องอบแห้งขนาด 50 และ 20 ลิตร สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ 5.24 - 5.5 % (d.b.) ตามลำดับ ภายในเวลา 1.72 - 1.90 วินาที

ธัญญาพร ปัตตาชารี [19] มุ่งเน้นไปที่การศึกษาศมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำสำหรับวัสดุทางการเกษตร โดยศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง และอัตราส่วนภาระที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งในรูปของอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร การใช้พลังงานจำเพาะของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ในการทดลองได้เลือกใช้ข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 20 - 30 % (d.b.) ซึ่งการทดลองจะใช้เฉพาะช่วงการอบแห้งแบบคงที่เท่านั้น ห้องอบแห้งทำจากสแตนเลสมีปริมาตร 0.047 m^3 ระยะห่างในการชนเท่ากับ 0.24 m . ระบบอบแห้งถูกหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วหนา 0.05 m . ในการทดลองใช้อุณหภูมิ $70 - 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$

ความเร็วลมของอากาศคงที่ 0.6 ไม่มีการกั้นของกระแสอากาศร้อน จากการทดลองพบว่า ความชื้นของวัสดุได้ลดลงประมาณ 6 % (d.b.) อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรสูงสุด $963.7 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{m}^3\text{h}$ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร $1,832.5 \text{ W}/\text{m}^3\text{K}$ ที่อุณหภูมิด้านเข้า $110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ อัตราส่วนภาระ 0.56 ค่าเวลาเฉลี่ยที่วัสดุอยู่ในระบบประมาณ 15 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของพัลลมมีค่ามากกว่าค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องกำเนิดความร้อนเฉพาะที่อุณหภูมิ $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และจากการศึกษาพบว่า ค่าความชื้นสุดท้ายจากการทดลอง และการทำนายด้วยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรได้มีค่ามีความแตกต่างกัน 1.53 % เมื่อเปรียบเทียบเมล็ดข้าวที่ได้จากเครื่องอบแห้งกับเมล็ดข้าวที่ตากลมที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและข้าวตันแตกต่างกันไม่เกิน 17 % และความขาวของข้าวสารมีความแตกต่างกัน 9 %

ส่วนงานวิจัยของ ปฎิวัติ คมวชิรกุล [20] มุ่งเน้นไปที่การศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสนในช่วงเริ่มต้นร่วมกับการอบแห้งแบบพาหะลมในช่วงหลัง ซึ่งใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางการอบแห้ง โดยกำหนดให้กระแสของอากาศร้อนไหลเข้าชนกันในระดับตรง โดยที่วัสดุถูกลำเลียงเข้าสู่ระบบด้วยกระแสไหลเพียงกระแสเดียว เมื่อวัสดุถูกพาเข้าสู่ห้องอบแห้งแบบกระแสนแล้ว วัสดุที่ได้จะมีความชื้นที่ผิวลดลง และจะถูกลำเลียงเข้าสู่กระบวนการอบแห้งแบบพาหะลมต่อ ในการทดลองจะศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรต่างๆ เช่น อุณหภูมิอบแห้ง และอัตราการป้อนวัสดุ ที่มีผลต่อสมรรถนะเครื่องอบแห้งในรูปของ อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ โดยใช้ข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 28 % (d.b.) อุณหภูมิอบแห้งอยู่ระหว่าง $70 - 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ อัตราการป้อนวัสดุอยู่ที่ $22 - 62 \text{ kg}_{\text{dry solid}}/\text{h}$ ผลจากการทดลองพบว่า เครื่องอบแห้งแบบกระแสนร่วมกับพาหะลมสามารถลดความชื้นข้าวเปลือกได้ $6.6 - 9.7 \text{ } \%$ (d.b.) ภายในเวลาอันรวดเร็ว และคุณภาพข้าวอยู่ในเกณฑ์ดี อัตราการระเหยของน้ำเชิงปริมาตรสูงสุดอยู่ที่ $328.88 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{m}^3\text{h}$ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรสูงสุดอยู่ที่ $604.45 \text{ W}/\text{m}^3\text{K}$ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะทั้งหมดมีค่าต่ำสุด $2.65 \text{ MJ}/\text{kg}_{\text{water}}$ ซึ่งพลังงานที่ใช้น้อยกว่าระบบอบแห้งแบบกระแสนอย่างเดียวประมาณ 5 %

ในผลงานของ สุชาติ ธนสุขประเสริฐ และคณะ [21] ได้นำเสนอผลการศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสน ซึ่งใช้วัสดุทดลองเป็นข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ที่มีความชื้นที่ผิวสูง และสิ่งที่สนใจคืออัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร ร้อยละต้นข้าว และการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวหลังผ่านกระบวนการอบแห้ง โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 130, 150 และ $170 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ความเร็วของอากาศเข้าห้องอบแห้ง $20 \text{ m}/\text{s}$ ระยะห่างในการชนเท่ากับ 5 cm และอัตราการป้อนวัสดุ $90 \text{ kg}/\text{h}$ พบว่า อัตราการระเหยของน้ำจะมีค่าเพิ่ม – ลดตามระดับของอุณหภูมียิ่งอุณหภูมิสูงอัตราการระเหยของน้ำก็จะสูงตามทำให้ความชื้นของข้าวลดลงตามไปด้วย แต่เมื่อนำข้าวไปอบรอบที่สองจะพบว่า อัตราการระเหยของน้ำลดลง เนื่องจากน้ำที่บริเวณผิววัสดุลดลง แต่ในการวัดร้อยละต้นข้าวนั้น ผลที่ได้จะผกผันกับอัตราการระเหยของน้ำ และความชื้นเนื่องจากยิ่งใช้อุณหภูมิสูง จะทำให้ข้าวเกิดความต่างของอุณหภูมิที่บริเวณผิว และภายในเมล็ดข้าวจึงเกิดความเค้นภายในเมล็ดซึ่งความเค้นนี้ยิ่งสูงยิ่งทำให้ข้าวมีการแตกร้าว ทำให้เมื่อนำข้าวเปลือกไปขัดสีข้าวที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิสูงมีการแตกหักมากกว่าข้าวที่อบด้วยอุณหภูมิต่ำ และในส่วนของสีของข้าวหลังการอบแห้งนั้นจะแสดงด้วยค่า L^* ซึ่งแสดงค่าความมืด ถึงความสว่างซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 ค่า a^* แสดงถึงค่าความเป็นสีเขียวถึงสีแดง ซึ่งมีค่า

ในช่วง - 80 ถึง +100 และค่า b^* แสดงถึงค่าสีน้ำเงินถึงสีเหลืองซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 80 ถึง +100 จากการทดลองพบว่า ข้าวเปลือกที่ยังไม่ผ่านกระบวนการอบแห้งนั้นมีค่า L^* , a^* และ b^* มีค่าเท่ากับ 81, 0.6 และ 16 ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าสีของข้าวที่ผ่านการอบแห้งไม่ว่าจะเป็น 1 รอบ หรือ 2 รอบ พบว่า การเปลี่ยนแปลงสีค่อนข้างน้อย เนื่องมาจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งค่อนข้างสั้น จึงอาจยังไม่ ทำให้สีของข้าวนั้นเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเดิมมากนักเพราะการอบแห้งด้วยเทคนิคนี้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งด้วยเทคนิคอื่น ๆ จึงอาจจะยังไม่ทำให้สีของข้าวนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

2.5.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจำลองการอบแห้งกระแสน

Xu and Zhu [22] ได้ศึกษาการทดลองโดยคำนวณค่าความเร็วของวัสดุในห้องอบโดยใช้กฎของนิวตัน (Newton's law) โดยแรงที่สนใจในการพิจารณาก็คือ แรงกดลาก (Drag force) เพื่อนำมาใช้ในการทำนายการเคลื่อนที่ของวัสดุที่อยู่ภายในบริเวณการชน ซึ่งจากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง และการคำนวณนั้น พบว่า การใช้สมการจากกฎของนิวตันสามารถใช้ในการคาดเดาความเร็ว และตำแหน่งของวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ.

Devahastin and Mujumdar [23] ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศร้อนที่เข้า และขนาดของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ โดยใช้การคำนวณเชิงตัวเลข พบว่า การอบแห้งส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณการชน และวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีความสามารถในการระเหยน้ำได้มากกว่า เนื่องจากขนาดที่ใหญ่มีแรงเฉื่อยที่มากกว่า ทำให้วัสดุมีความสามารถในการเคลื่อนที่กลับไป - กลับมาได้มากขึ้น แต่ประเด็นนี้ขัดแย้งกับ Cal eat al. (1999) ถึงโดยทั่วไปถึงแม้ว่าอุณหภูมิอากาศเข้าจะเพิ่มสูงขึ้นจนทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น แต่ในกรณีนี้ไม่เป็นไปตามที่กล่าวมา เพราะมีการกำหนดให้ตัวเลขเรย์โนลด์ที่หัวฉีด (inlet jet Reynolds number) มีค่าคงที่ ค่าความหนืดจลนศาสตร์ (kinematic Viscosity) และอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของอากาศเข้า ทำให้เมื่อคำนวณค่าอัตราเร็วที่ต้องใช้มีค่าลดลง จึงทำให้อัตราการอบแห้งไม่สูงขึ้น

ผลงานวิจัยของ Huai และคณะ [24] ได้นำเสนอผลการศึกษาคูณลักษณะการไหลแบบหลายสถานะ (multiphase flow) รวมไปถึงการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลที่เกิดขึ้นในเครื่องอบแห้งแบบกระแสนที่แนวการเคลื่อนที่ของวัสดุแบบครึ่งวงกลม (semi-circular impinging stream dryer) โดยใช้การคำนวณเชิงตัวเลข และศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศเข้า อัตราส่วนภาระ (loading ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างอัตราการป้อนวัสดุกับอัตราการไหลของอากาศ และความชื้นเริ่มต้นของวัสดุที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบกระแสน จากการศึกษพบว่า อัตราการระเหยน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศเข้า และความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ หรืออีกนัยหนึ่งคืออัตราการระเหยน้ำลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนภาระ

Liu และคณะ [25] ได้นำเสนอผลการศึกษาคูณลักษณะการคำนวณเชิงตัวเลขในสามมิติเพื่อทำความเข้าใจถึงรูปแบบการกระจายความเร็ว และอุณหภูมิของตัวกลางกับวัสดุที่ต้องการอบแห้งที่เกิดขึ้นภายในเครื่องอบแห้งแบบกระแสนแนวตั้ง (Vertical impinging stream dryer) โดยใช้เมล็ดธัญพืชเป็นตัวแทนของวัสดุที่ต้องการอบแห้ง ผลการจำลองเชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่าสนามการไหลในสถานะก๊าซ (ตัวกลางในการอบแห้งคือ อากาศร้อน) กับสนามการไหลในสถานะของแข็ง (วัสดุที่ต้องการ

อบแห้งคือ เมล็ดธัญพืช) มีความแตกต่างกันค่อนข้างมากโดยระนาบการชนของทั้งสองสถานะจะไม่อยู่ในแนวเดียวกัน (พิจารณาตามแนวแกน) ในบางบริเวณของห้องอบแห้งอุณหภูมิของเมล็ดธัญพืชจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการควบคุมอุณหภูมิตัวกลางขาเข้า โดยเฉพาะในกรณีต้องการอบแห้งวัสดุที่ไวต่อความร้อน (heat-sensitive material)

Choicharoen et al. และคณะ [27] ได้นำเสนอผลการศึกษาระบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในรูปแบบสามมิติเข้ามาช่วยอธิบายถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในห้องอบแห้งกระแสนตามแนวแกน (coaxial Impinging stream dryer) แบบจำลองความปั่นป่วน Standard $k - \epsilon$ และแบบจำลองความปั่นป่วน realizable $k - \epsilon$ ได้ถูกนำมาใช้ในการเปรียบเทียบ พบว่า แบบจำลองสามารถทำนายผลได้ใกล้เคียงกับผลการทดลอง โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 10\%$ โดยที่แบบจำลองความปั่นป่วน realizable $k - \epsilon$ ให้ประสิทธิภาพการจำลองดีกว่า ความเข้มของความปั่นป่วนในแบบจำลอง สามารถใช้อธิบายผลของค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของอนุภาคและความชื้นของอนุภาคอีกด้วย

Khomwachirakut และคณะ [28] ได้นำเสนอผลการศึกษาระบบจำลองเครื่องอบแห้งแบบกระแสนด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณร่วมกับวิธีเอลิเมนต์ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองจริง วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือข้าวเปลือกหนึ่ง ในการศึกษานี้อากาศมีค่าความชื้นค่าการนำความร้อนและค่าความจุความร้อนเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของอากาศ โดยที่ไม่พิจารณาค่าความชื้นสูญเสียผ่านผนัง ขณะที่อุณหภูมิพิจารณาให้เป็นทรงกลมและมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน โดยที่อุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนรูปร่าง ในขณะที่อุณหภูมิเกิดการชนกันหรือหลังจากชนกันสำหรับการถ่ายโอนความร้อน และมวลภายในอุณหภูมิพิจารณาในแนวทิศทางการไหลของอนุภาคเพียงอย่างเดียว ซึ่งอุณหภูมิมีความชื้น และอุณหภูมิภายในเมล็ดธัญพืชในเมล็ดธัญพืชในช่วงเริ่มต้น และอุณหภูมิถูกป้อนเข้าสู่ระบบอบแห้งแบบกระแสนจำนวน 50 อนุภาค และในการจำลองข้างเปลือกหนึ่งจะถูกอบแห้ง 7 รอบ โดยหลังจากการอบแต่ละรอบจะถูกพักในที่อบอากาศเป็นเวลา 4 min พบว่า การจำลองแบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณร่วมกับวิธีเอลิเมนต์ไม่ต่อเนื่องได้ถูกนำมาใช้ในการจำลองการอบแห้งข้าวเปลือกหนึ่งแบบ หลายขั้นตอนสำหรับทำนายผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อค่าความชื้นสุดท้ายและอุณหภูมิของข้าวเปลือกหนึ่งในระบบอบแห้งแบบกระแสน ซึ่งพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้ผลการจำลองสอดคล้องกับผลการทดลอง และมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 5\%$ โดยผลอัตราการลดลงของความชื้นข้าวเปลือกหนึ่งขึ้นอยู่กับทั้งอุณหภูมิอากาศร้อนและจำนวนรอบการอบแห้ง

Xueqing Liu และคณะ [30] ได้นำเสนอผลการศึกษาคุนลักษณะการไหลของของไหล และพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของอนุภาคของห้องอบแห้งกระแสนแบบไม่สมมาตรโดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณแบบไม่ต่อเนื่องที่ค่าอัตราส่วนความเร็วขาเข้าที่แตกต่างกัน (v) ความเร็วขาเข้าเฉลี่ยไม่เท่ากัน พบว่า ผลลัพธ์บ่งชี้ว่าเมื่อเทียบกับห้องอบแห้งกระแสนแบบสมมาตร บริเวณการชนจะเบี่ยงเบนไปทางของไหลด้วยความเร็วต่ำกว่าตัวแปร tr ถูกพิจารณาเพื่อหาค่าเวลาเฉลี่ยของอนุภาคในกระแสนการไหล ห้องอบแห้งกระแสนแบบไม่สมมาตรให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่า และ tr ห้องอบแห้งกระแสนแบบไม่สมมาตรช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของรวมถึงเวลาคงอยู่เฉลี่ยของอนุภาคในห้องอบแห้ง

มากกว่าห้องอบแห้งกระแสนแบบสมมาตร อนุภาค v ($v=0.9$ ในงานนี้) ในการเคลื่อนที่ของอนุภาคมี ประสิทธิภาพด้านพลังงานที่สูงกว่าห้องอบแห้งกระแสนแบบสมมาตรในแง่ของเวลาคงอยู่เฉลี่ยของ อนุภาคและต้นทุนทางวิศวกรรม



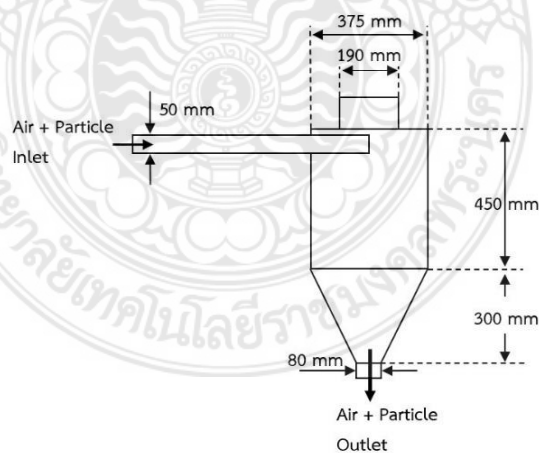
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการดำเนินงานวิจัย การจำลองการอบแห้งข้าวเปลือกในระบบอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้ง โดยทำการศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือก ค่าความชื้นของข้าวเปลือก ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร และค่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรของระบบกระแสนแบบวิถีโค้ง งานวิจัยนี้ได้แบ่งการจำลองออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกจะเป็นการศึกษาการจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดลอง [16] ที่มีขนาดของห้องอบแห้งตามขนาดห้องอบแห้งต้นแบบที่ 50 ลิตร และในส่วนที่สองจะเป็นการศึกษาถึงผลกระทบต่อตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือก ค่าความชื้นของข้าวเปลือก ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร และค่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรของระบบกระแสนแบบวิถีโค้ง ที่ขนาดของห้องอบแห้ง 90 และ 120 ลิตร

3.1 แบบจำลองและกระบวนการ

สมมติฐานของแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษานี้

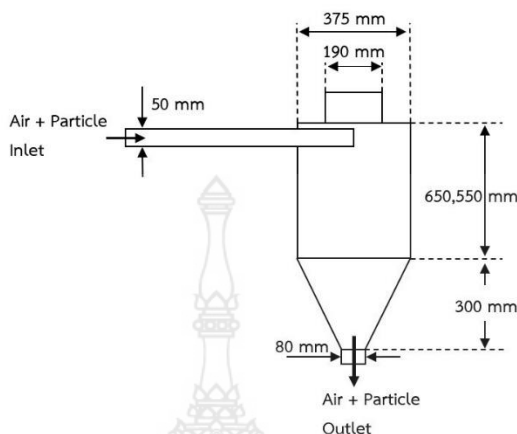
- 3.1.1 ขงไหลไม่มีความหนืด
- 3.1.2 อนุภาคมีลักษณะเป็นทรงกลม และมีขนาดเดียวกันทั้งหมด
- 3.1.3 ไม่พิจารณาแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค
- 3.1.4 ไม่พิจารณาความร้อนสูญเสียผ่านผนัง
- 3.1.5 อนุภาคมีอุณหภูมิภายในสม่ำเสมอ
- 3.1.6 ไม่พิจารณาการการมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างอนุภาคกับอนุภาค



รูปที่ 3.1 แผนผังของห้องอบแห้งที่ 50 ลิตร [16]

ในงานวิจัยนี้การจำลองถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการศึกษาลองการทดลองกับผลการทดลอง โดยใช้ขนาดของห้องอบแห้งที่ 50 ลิตร ซึ่งขนาดของห้องอบแห้งแสดงดังรูปที่ 3.1 โดยจะทำการศึกษการป้อนวัสดุอนุภาคทางเดียวส่วนหนึ่งของเครื่องอบแห้งนั้นใช้

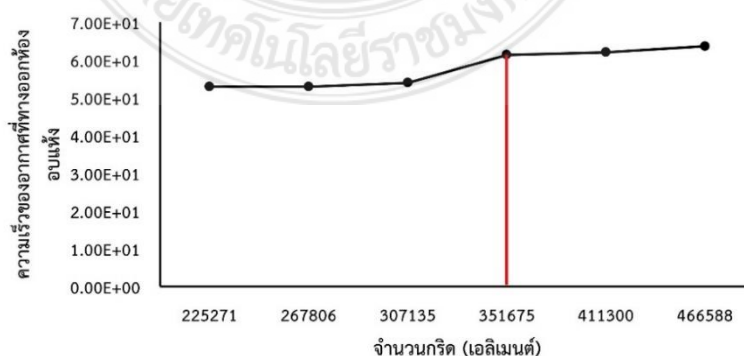
เครื่องตัวต้นแบบในการจำลอง [16] และรูปที่ 3.2 แสดงขนาดของห้องอบแห้งที่ 90 ลิตร และ 120 ลิตร



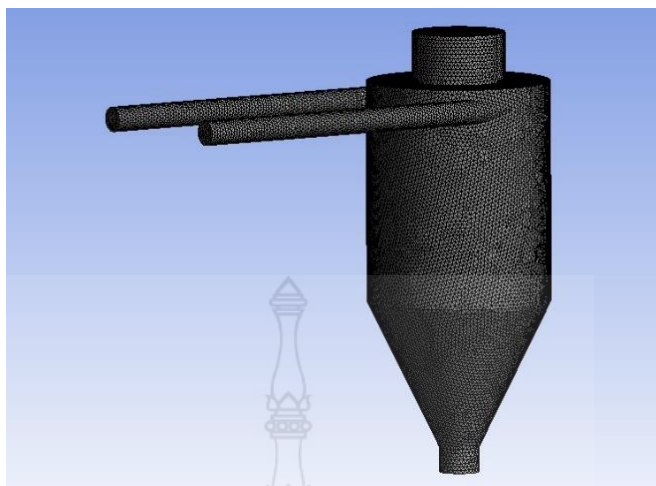
รูปที่ 3.2 แผนผังของห้องอบแห้งที่ 90 ลิตร และ 120 ลิตร

3.2 การกำหนดชิ้นส่วนย่อย (Generate mesh)

การคำนวณระเบียบวิธีเชิงตัวเลขนั้น งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ระเบียบปริมาตรสี่เหลี่ยม (Finite Volume method) ด้วยโปรแกรม ANSYS FLUENT เข้ามาช่วยวิเคราะห์เชิงตัวเลข การจำลองถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับผลการทดลอง เริ่มต้นด้วยการสร้างห้องอบแห้งตามขนาดตัวต้นแบบ (ดูรูป 3.1) การจำลองจำเป็นต้องมีการกำหนดจำนวนกริด (Grid Independent) เพื่อให้มีจุดการคำนวณ สำหรับงานวิจัยนี้ได้กำหนดจำนวนของกริดไว้หลายจำนวน เพื่อนำมาคำนวณหาจำนวนกริดที่เหมาะสมกับงานวิจัย ได้แก่ 201,683 257,284 305,250 351,675 404,279 และ 459,941 เอลิเมนต์ จากนั้นทำการทดลองป้อนค่าความเร็วของอากาศเข้าหลายค่าได้แก่ 20 25 30 35 40 และ 45 m/s จากนั้นพิจารณาความเร็วของอากาศที่ทางออกของห้องอบแห้ง แล้วนำมาพิจารณาเลือกจำนวนกริดที่ใช้ในการจำลอง ผลของความเร็วอากาศที่ทางออกห้องอบแห้งแสดงดังรูปที่ 3.3 จากการทดลองพบว่า จำนวนกริดที่เหมาะสมที่จะทำการศึกษากับห้องอบแห้งที่ขนาด 50 ลิตร คือ 351,675 เอลิเมนต์

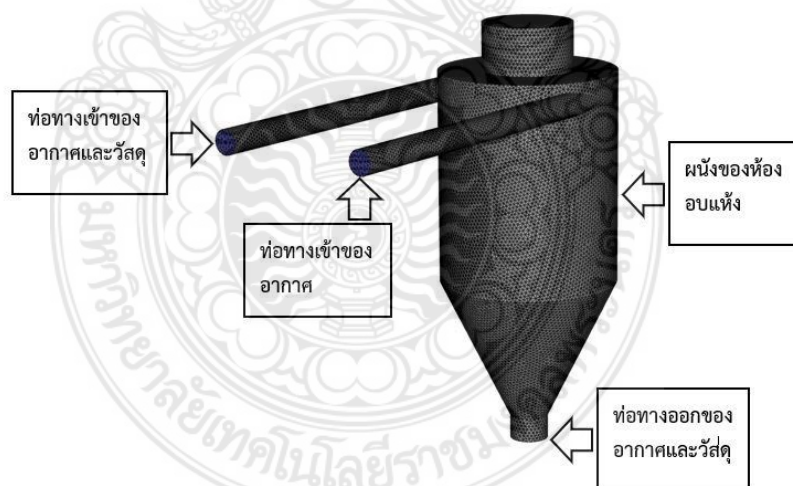


รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของอากาศที่ทางออกห้องอบแห้งกับความละเอียดของกริดที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3.4 กริดแบบ Tetrahedral ที่ใช้ในการจำลองสำหรับขนาดห้องอบแห้ง 50 ลิตร

ในส่วนที่สองเป็นการศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบอบแห้ง ในส่วนนี้จะศึกษาถึงขนาดของห้องอบแห้งที่เพิ่มขึ้นเป็น 90 ลิตร จำนวนของกริดที่เหมาะสมคือ 351,616 เอลิเมนต์ และ 120 ลิตร จำนวนของกริดที่เหมาะสมคือ 353,358 เอลิเมนต์ ซึ่งการพิจารณาเลือกจำนวนกริดที่ใช้ในการจำลองของทั้งสองขนาด ได้ใช้วิธีทดลองตั้งขนาดของห้องอบแห้งที่ 50 ลิตร ตามที่กล่าวมาข้างต้น



รูปที่ 3.5 การกำหนดขอบบริเวณต่าง ๆ ของห้องอบแห้งแบบกระแสวนแบบวิถีโค้งที่ใช้ในการจำลอง

3.3 เงื่อนไขขอบเขต

เนื่องจากเงื่อนไขขอบเขตนี้เป็นตัวกำหนดลักษณะเฉพาะของแต่ละปัญหา ซึ่งเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้สำหรับการจำลองการไหลในงานวิจัยนี้

3.3.1 เงื่อนไขเริ่มต้น

ที่สภาวะเริ่มต้น $t = 0, u = 0, T = 30^{\circ}C, k = 0$ และ $\varepsilon = 0$

3.3.2 เงื่อนไขขอบเขตที่ทางเข้า

เงื่อนไขขอบเขตของอากาศที่ทางเข้าทั้งสองด้าน กำหนดให้การไหลของอากาศมีลักษณะเหมือนกัน เป็นการไหลแบบปกติกับพื้นผิวของทางเข้าและกำหนดค่า The turbulence intensity 5%

3.3.3 เงื่อนไขขอบเขตที่ทางออก

เงื่อนไขขอบเขตที่ทางออก โดยทั่วไปแล้วจะไม่ทราบค่าของตัวแปรบริเวณที่ทางออก ซึ่งมีวิธีที่ได้รับความนิยมในการแก้ปัญหาคือ การกำหนดให้ค่าของตัวแปรไม่มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ตั้งฉากกับขอบเขตทางออก (Zero normal gradient) และเพื่อให้เป็นไปตามสมการความต่อเนื่อง ให้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์การไหลที่ทางออกให้สมดุลกับทางเข้า และสำหรับความดันที่ขอบเขตทางออกกำหนดให้เท่ากับความดันบรรยากาศ

3.3.4 เงื่อนไขขอบเขตที่ผนัง

เงื่อนไขขอบเขตที่ผนัง โดยทั่วไปเป็นค่าของตัวแปรถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ สำหรับผนังที่ไม่มีการเคลื่อนที่ กำหนดให้ความเร็วเป็นศูนย์ ตามเงื่อนไขการไม่ลื่นไถล (No slip condition) และสำหรับที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนเข้าและออกจากระบบ กำหนดให้ระบบเป็นแอนเดียเบติก (Adiabatic surface)

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขในการจำลองและตัวแปรต่างๆ

เงื่อนไข	การทดลอง [16]	การจำลอง (CFD)
เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า, (mm)	3.64	3.64
ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก, %(d.b.)	28	28
ขนาดห้องอบแห้ง, (Liter)	50	50,90,120
ความเร็วของอากาศขาเข้า, (m / s)	25	20,25
อุณหภูมิของอากาศขาเข้า, (°C)	70,90,110	70,90,110
อัตราการป้อนของวัสดุ, ($kg_{drysolid} / h$)	20,35,56	20,35,56
ความหนาแน่นของข้าวเปลือก, (kg / m^3)		1411.5
ความร้อนจำเพาะของข้าวเปลือก, ($W / m \cdot K$)		1119.8
การนำความร้อนของข้าวเปลือก, ($W / m \cdot K$)		0.0876
ค่าสัมประสิทธิ์การชดเชยระหว่างผนัง-อนุภาค		0.91

สำหรับคุณสมบัติของเมล็ดข้าวเปลือก (ปทุมธานี 1) เมล็ดข้าวเปลือกมีขนาดความยาว 10.5 mm ความกว้าง 2.4 mm และความหนา 1.9 mm สามารถสืบค้นได้จากกรมการข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 [17] ในการจำลองเมล็ดข้าวจะถูกพิจารณาให้เป็นทรงกลมเพื่อลดความซับซ้อน และระยะเวลาการจำลอง หลังจากนั้นนำมาคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าของเมล็ด (Effective diameter, D_e) [18] จากสมการที่ (3.1)

$$D_e = (LWT)^{1/3} \quad (3.1)$$

โดยที่ D_e = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า (mm)

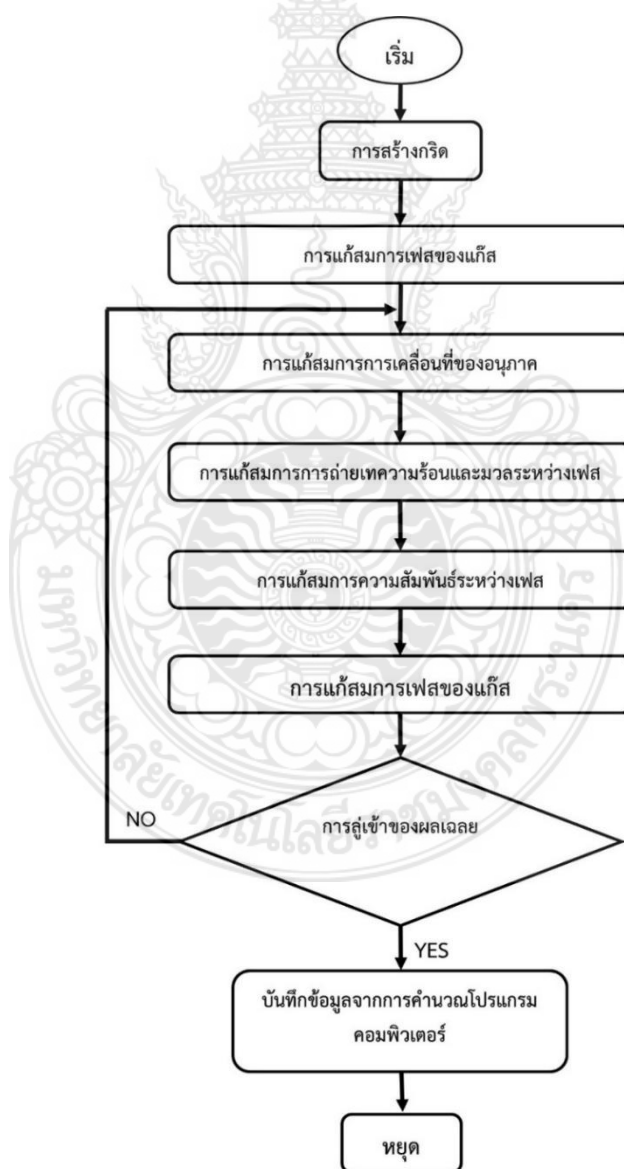
L = ความยาว (mm)

W = ความกว้าง (mm)

T = ความหนา (mm)

ในการคำนวณหาค่าความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก สามารถหาได้จากการนำน้ำหนักของมวลของวัสดุแห้งที่ได้จากการจำลองบริเวณทางออกของห้องอบแห้งลบออกด้วยน้ำหนักของมวลของวัสดุชื้นซึ่งสามารถแทนค่าลงในสมการที่ (2.1)

3.4 ขั้นตอนและลำดับการแก๊สสมการ [27]



รูปที่ 3.6 ลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

ในส่วนนี้จะเป็นขั้นตอนการคำนวณโดยใช้เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS FLUENT การจำลองถูกพิจารณาให้อยู่ในสถานะคงตัว PISO algorithm ถูกนำมาใช้สำหรับกระบวนการหาคำตอบของระบบสมการที่เกี่ยวข้องสำหรับพจน์ของความดันและความเร็วซึ่งควบคู่กัน ขณะที่ PRESTO scheme ใช้เพื่อตรวจสอบสมการของความดัน ขณะที่ Runge-Kutta scheme ถูกใช้สำหรับการคำนวณสมการการเคลื่อนที่ของอนุภาค และการจำลองข้าวเปลือกที่ถูกป้อนเข้าสู่ห้องอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้งถูกติดตามจำนวน 500 เมล็ด สำหรับการหาผลเฉลยจะใช้การคำนวณซ้ำ ซึ่งขั้นตอนในแต่ละรอบแสดงดังรูปที่ 3.6 อธิบายได้ดังนี้โดยมีขั้นตอนลำดับการแก้สมการดังต่อไปนี้

1. การกำหนดรูปทรงเรขาคณิตของโดเมนการคำนวณ และการสร้างกริด
2. การแก้สมการของเฟสแก๊ส ซึ่งในขั้นตอนนี้ สมการอนุรักษ์มวล อนุรักษ์โมเมนตัม อนุรักษ์พลังงาน อนุรักษ์มวลย่อย และแบบจำลองความปั่นป่วน ได้รับการแก้สมการด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขผ่านซอฟต์แวร์ ANSYS FLUENT ตัวแปรของสมการเฟสแก๊ส ได้แก่ ความเร็ว ความดัน อุณหภูมิ ความเข้มข้นของมวลย่อย พลังงานจลน์ของความปั่นป่วน และอัตราการกระจายพลังงานของความปั่นป่วน ซึ่งจะใช้ PISO algorithm สำหรับกระบวนการหาคำตอบของระบบสมการ
3. การคำนวณการเคลื่อนที่ของอนุภาค เมื่อถูกพิจารณาผ่านสนามการไหลของแก๊ส จะใช้ Runge-Kutta scheme
4. ทำการคำนวณสมการการไหลของเฟสแก๊สซ้ำ
5. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2. และ 4. จนกระทั่งผลการจำลองเข้าสู่ของผลเฉลย



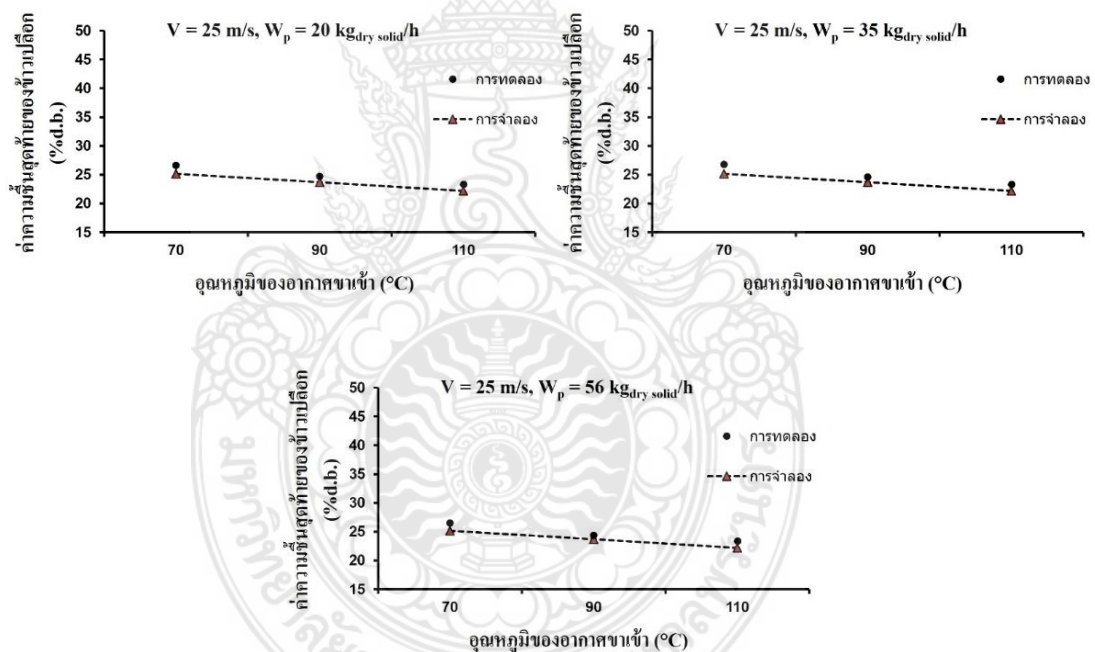
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงผลการจำลองการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยระบบกระแสนแบบวิถีโค้งที่ใช้
อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง

4.1 การเปรียบเทียบผลการจำลองและการทดลอง

ในการแสดงผลการจำลองการอบแห้งข้าวเปลือกในระบบกระแสนแบบวิถีโค้ง โดยมีขนาด
ของห้องอบแห้งตามขนาดห้องอบแห้งต้นแบบเปรียบเทียบกับผลการทดลอง [16] โดยแสดงการ
เปรียบเทียบความชื้นสุดท้ายของวัสดุ (ข้าวเปลือกปทุมธานี 1) หลังการอบแห้ง (X_0) และค่าเวลาคง
อยู่เฉลี่ยที่ข้าวเปลือกอยู่ในระบบอบแห้ง (τ)

4.1.1 ความชื้นเฉลี่ยของข้าวเปลือก

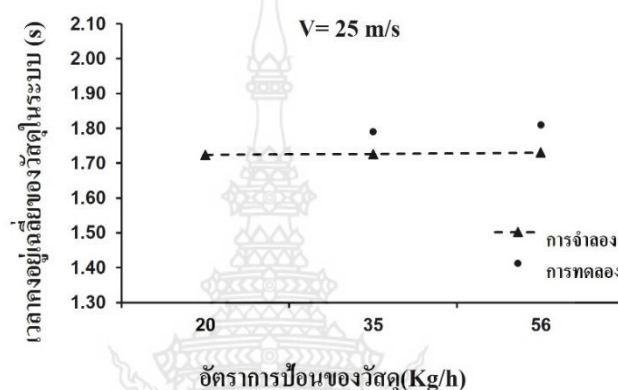


รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อความชื้นเฉลี่ยของข้าวเปลือกระหว่างผลการ
จำลองการอบแห้งกับผลการทดลอง [16]

จากรูปที่ 4.1 แสดงผลของการเปรียบเทียบผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อความชื้นเฉลี่ยของ
ข้าวเปลือกระหว่างผลการจำลองกับผลการทดลอง พบว่า แบบจำลองสามารถทำนายผลของความชื้น
เฉลี่ยของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งของข้าวเปลือกในระบบกระแสนแบบวิถีโค้งให้ผลใกล้เคียงกับ
ผลการทดลอง [16] ที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 10\%$

ในกรณีที่อัตราการป้อนของข้าวเปลือกและความเร็วของอากาศขาเข้าคงที่ พบว่า เมื่ออุณหภูมิของอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้น ทำให้ความชื้นของข้าวเปลือกมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิตัวกลางการอบแห้งขาเข้าที่สูงขึ้นทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนกับอุณหภูมิผิวของข้าวเปลือกเพิ่มมากขึ้น ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสารมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการระเหยน้ำที่ผิวข้าวเปลือกเพิ่มมากขึ้น

4.1.2 ค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกระแสแบบวิถีโค้ง



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยที่วัสดุอยู่ในห้องอบแห้งกระแสแบบวิถีโค้งระหว่างผลการจำลองและการทดลอง [16]

จากรูปที่ 4.2 เปรียบเทียบผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกระแสแบบวิถีโค้งระหว่างผลการจำลองและการทดลอง [16] พบว่า แบบจำลองสามารถทำนายผลค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของการอบแห้งข้าวเปลือกในห้องอบแห้งกระแสแบบวิถีโค้งให้ผลใกล้เคียงกับผลการทดลอง โดยระยะเวลาเฉลี่ยที่วัสดุอยู่ในห้องอบแห้งที่ดีที่สุดของการจำลองการอบแห้งข้าวเปลือก เท่ากับ 1.73 s และของการทดลอง [16] เท่ากับ 1.81 s ภายใต้เงื่อนไขความเร็วของอากาศขาเข้า 25 m/s และอัตราการป้อนวัสดุ 56 kg_{dry solid}/h ที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 5\%$

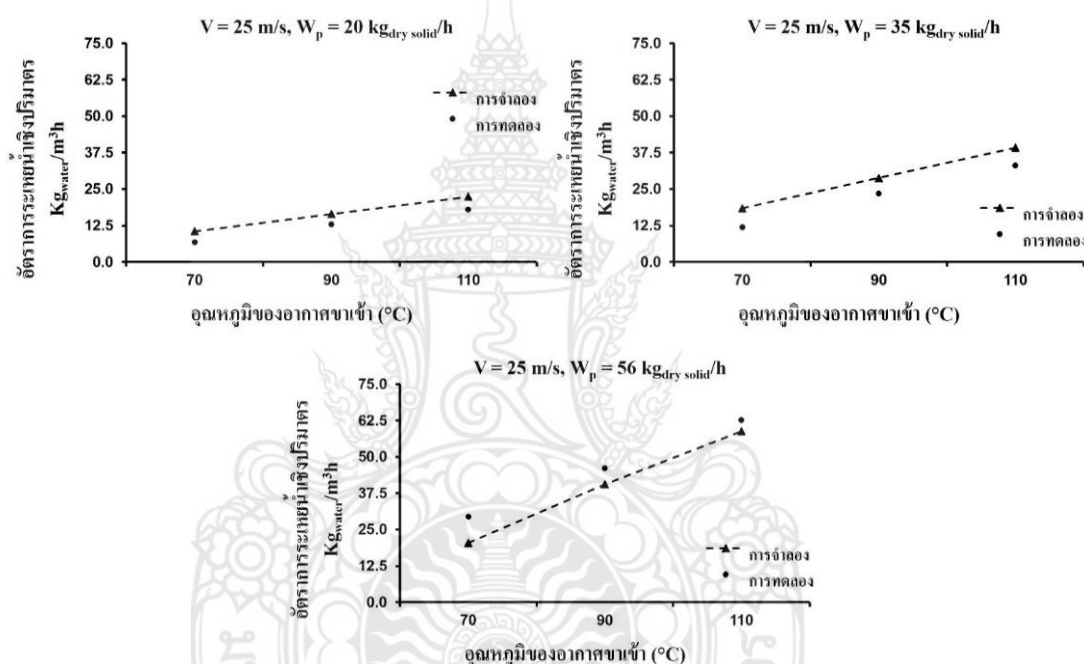
4.1.3 อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร

จากรูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อค่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรระหว่างผลการจำลองกับผลการทดลอง พบว่า แบบจำลองสามารถทำนายผลได้สอดคล้องกับผลการทดลอง [16]

ในกรณีที่อัตราการป้อนของข้าวเปลือกที่มีผลต่อค่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร เมื่อความเร็วของอากาศขาเข้า และอุณหภูมิของอากาศขาเข้าคงที่ พบว่า อัตราการป้อนของข้าวเปลือกที่เพิ่มขึ้น อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากห้องอบแห้งยังมีสมรรถนะ และความสามารถที่เพียงพอในการระเหยความชื้นที่ผิวออกจากวัสดุ ถึงแม้ว่าข้าวเปลือกจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้ความชื้นเข้าสู่ห้องอบแห้งมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอัตราการป้อนของ

ข้าวเปลือกจะเพิ่มขึ้นได้สูงสุดถึงค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น ซึ่งจะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสมรรถนะสูงสุดของห้องอบแห้งที่ยังสามารถระเหยความชื้นออกจากวัสดุได้

นอกจากนี้อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของอากาศขาเข้าในทุกสภาวะเงื่อนไข ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิของอากาศขาเข้าที่เพิ่มสูงขึ้น ความต่างของอุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิที่ผิวของข้าวเปลือกมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ระหว่างข้าวเปลือก และอากาศร้อนเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความชื้นมีการระเหยได้มากขึ้น จึงทำให้อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลของการทดลอง [16] โดยอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรสูงสุดที่ได้จากงานวิจัยนี้เท่ากับ $62.72 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{m}^3\text{h}$ ที่อุณหภูมิของอากาศขาเข้า $110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และอัตราการป้อนของวัสดุ $56 \text{ kg}_{\text{dry solid}}/\text{h}$



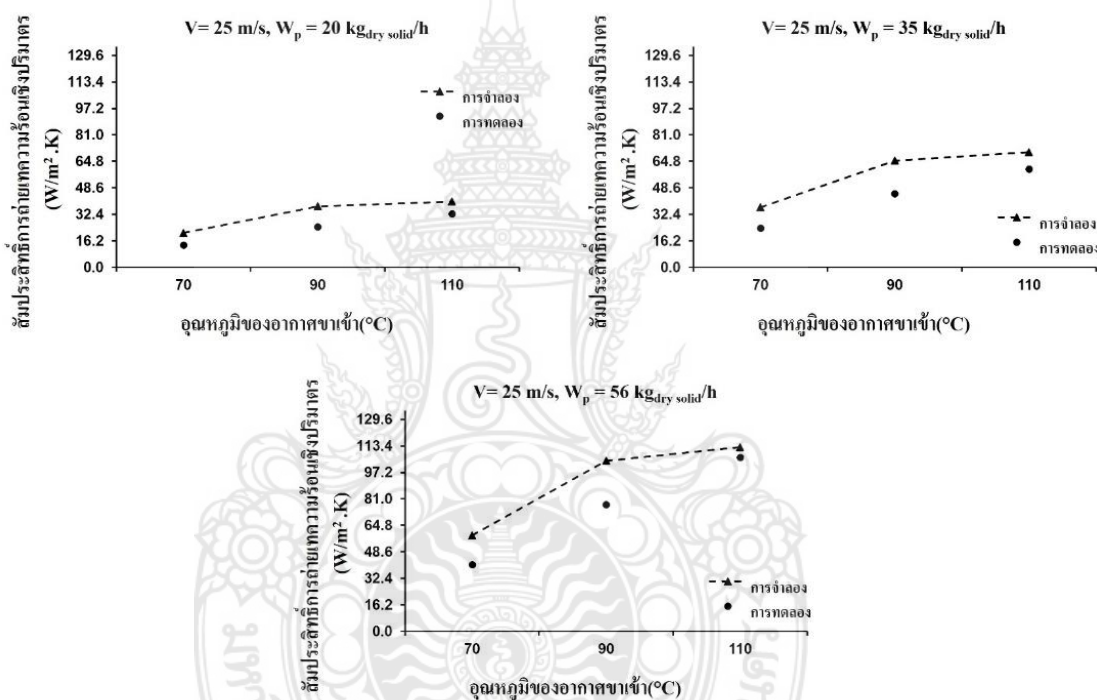
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อค่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรระหว่างผลการจำลองกับผลการทดลอง [16]

4.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร

จากรูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรระหว่างผลการจำลองกับผลการทดลอง พบว่า แบบจำลองสามารถทำนายผลได้สอดคล้องกับผลการทดลอง [16]

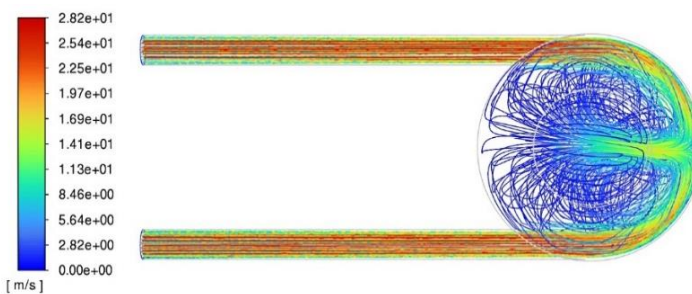
ในกรณีอัตราการป้อนของข้าวเปลือกที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร เมื่อความเร็วของอากาศขาเข้า และอุณหภูมิของอากาศขาเข้าคงที่ พบว่า อัตราการป้อนวัสดุที่เพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และแปรผันตรงกับปริมาณการระเหยน้ำที่ผิวของข้าวเปลือก ดังนั้นเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนข้าวเปลือกปริมาณการระเหยน้ำที่ผิวของข้าวเปลือกจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของอากาศขาเข้าในทุกสภาวะเงื่อนไข ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิของอากาศขาเข้าที่เพิ่มสูงขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศ และอุณหภูมิที่ผิวของข้าวเปลือกมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ระหว่างข้าวเปลือก และอากาศร้อนเกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร จึงทำให้เกิดการระเหยน้ำเพิ่มมากขึ้นภายใต้สภาวะเงื่อนไขเดียวกัน สำหรับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยลอกกาลิที่มีค่าไม่แตกต่างกันมาก และค่าความร้อนแฝงการระเหยของน้ำจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิอากาศด้านขาเข้าสูงขึ้น เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกันแล้วจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลของการทดลอง [16] โดยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรสูงสุดที่ได้จากงานวิจัยนี้เท่ากับ $112.63 \text{ W/m}^3\text{K}$ อุณหภูมิของอากาศขาเข้า $110 \text{ }^\circ\text{C}$ และอัตราการป้อนของวัสดุ $56 \text{ kg}_{\text{dry solid}}/\text{h}$

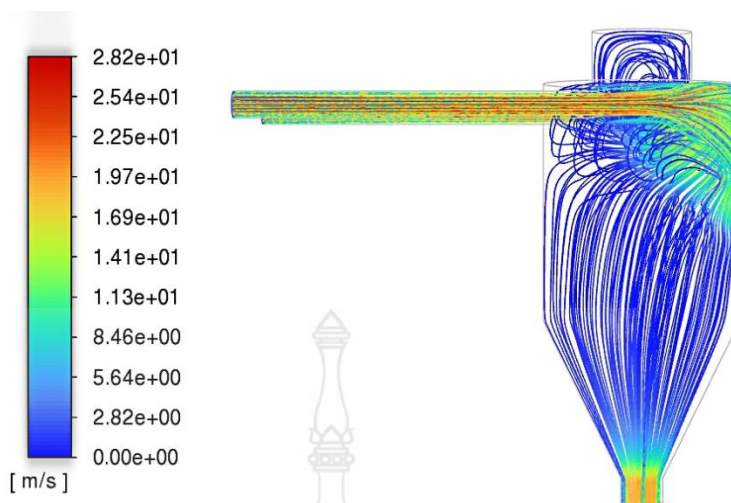


รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรระหว่างผลการจำลองกับผลการทดลอง [16]

4.1.5 แบบจำลองการกระจายอากาศภายในห้องอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้ง



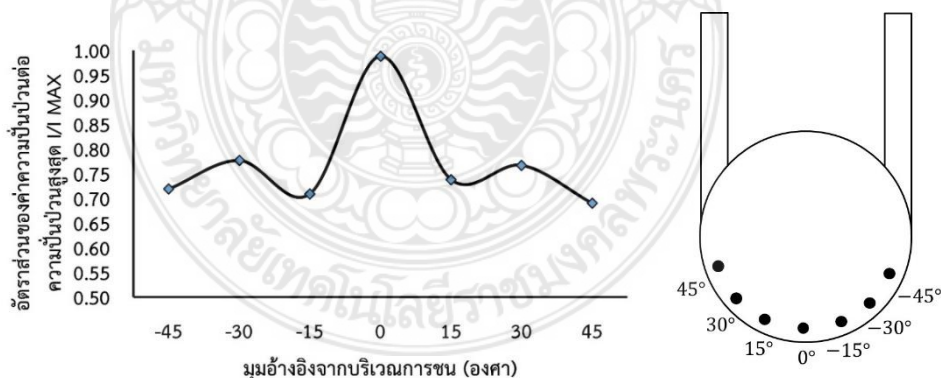
รูปที่ 4.5.1 ผลของแบบจำลองการกระจายอากาศภายในห้องอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้ง



รูปที่ 4.5.2 ผลของแบบจำลองการกระจายอากาศภายในห้องอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้ง

จากรูปที่ 4.5.1 และ 4.5.2 แสดงผลการกระจายอากาศภายในห้องอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้ง พบว่า เมื่อความเร็วของอากาศเข้าคองที่ทั้งสองกระแสนถูกป้อนเข้าสู่ห้องอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้ง อากาศถูกบังคับให้เคลื่อนที่ตามแนวแกนรัศมีโค้งของห้องอบแห้งแบบวิถีโค้ง ส่งผลให้กระแสนความเร็วของอากาศทั้งสองมาชนกัน เป็นผลให้เกิดความรุนแรงของความปั่นป่วนเกิดขึ้นบริเวณจุดกึ่งกลางของห้องอบแห้ง ซึ่งเป็นระนาบของการชนกัน ส่งผลให้บริเวณนี้เกิดการแลกเปลี่ยนมวลสารที่สูงขึ้นตามไปด้วย หลังจากนั้นกระแสนการไหลของอากาศทั้งสองก็กระจายจนทั่วห้องอบแห้ง และเคลื่อนที่ออกจากห้องอบแห้ง

4.1.6 ความปั่นป่วนในระบบอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้ง

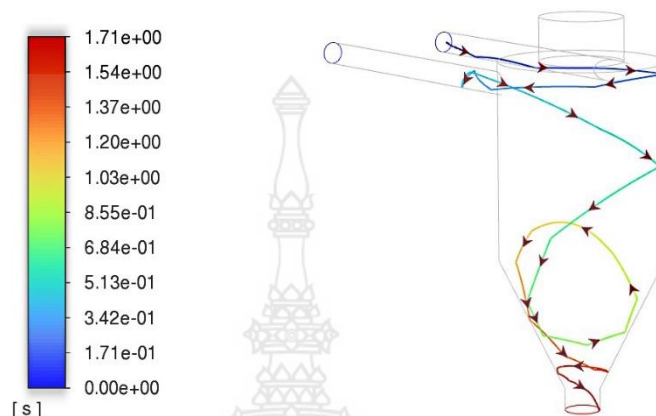


รูปที่ 4.6 ความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นในระบบอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้ง

จากรูปที่ 4.6 แสดงผลของความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นในระบบอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้ง และรูปด้านขวาคือจุดองศาอ้างอิงบริเวณระนาบการชนกันของกระแสนการไหลของอากาศร้อนทั้งสอง โดยที่กำหนดให้ 0 องศา คือจุดกึ่งกลางของห้องอบแห้งที่เกิดการชนกันของกระแสนการไหลของอากาศร้อน และ -45 ถึง 45 องศา คือมุมมองศาอ้างอิงจากบริเวณการชนกันของกระแสนการไหลของอากาศ

รื้อนดังรูปด้านขวา จากผลการจำลองจะพบว่า ค่าความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณการชนกันของกระแสการไหลของอากาศทั้งสอง

4.1.7 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งกระแสแบบวิถีโค้ง



รูปที่ 4.7 การจำลองพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของเมล็ดข้าวเปลือก 1 เมล็ดในระบบอบแห้งกระแสแบบวิถีโค้ง

จากรูปที่ 4.7 แสดงพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้งกระแสแบบวิถีโค้ง โดยใช้ห้องอบแห้งต้นแบบ [16] แสดงให้เห็นถึงความสามารถของการจำลอง ที่สามารถระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของเมล็ดข้าวเปลือกทุกเมล็ดจำนวน 1 เมล็ดภายในห้องอบแห้งกระแสแบบวิถีโค้งได้อย่างชัดเจน เมล็ดข้าวเปลือกถูกความเร็วของอากาศพาเข้านำพาให้เคลื่อนที่หมุนวนตามแนวแกนรัศมีโค้งของห้องอบแห้ง และมีวัสดุที่สามารถเคลื่อนที่ทะลุผ่านไปยังกระแสการไหลฝั่งตรงกันข้ามสอดคล้องกับทฤษฎีกระแสชน ที่กล่าวว่าวัสดุที่เคลื่อนที่ทะลุผ่านไปยังฝั่งตรงกันข้ามทำให้วัสดุสามารถอยู่ในระบบได้นานขึ้น และส่งผลให้การถ่ายเทมวลสารในปริมาณที่สูงขึ้น จากนั้นวัสดุก็เคลื่อนที่ออกจากบริเวณการชน และหลุดออกจากห้องอบแห้ง

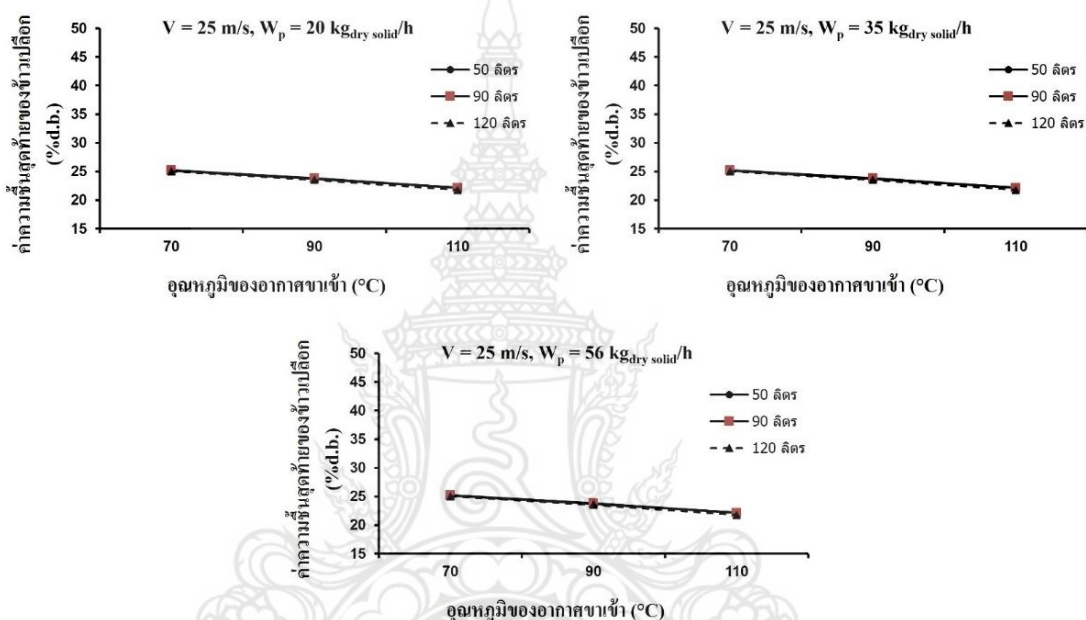
4.2 ผลของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบอบแห้งกระแสแบบวิถีโค้ง

สำหรับผลการทดลองในส่วนนี้เป็นการจำลองถึงผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อัตราการป้อนข้าวเปลือก อุณหภูมิอากาศขาเข้า และการเพิ่มขนาดของห้องอบแห้งที่ 90 ลิตร และ 120 ลิตรที่ส่งผลต่อสมรรถนะของห้องอบแห้งกระแสแบบวิถีโค้ง

4.2.1 ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก

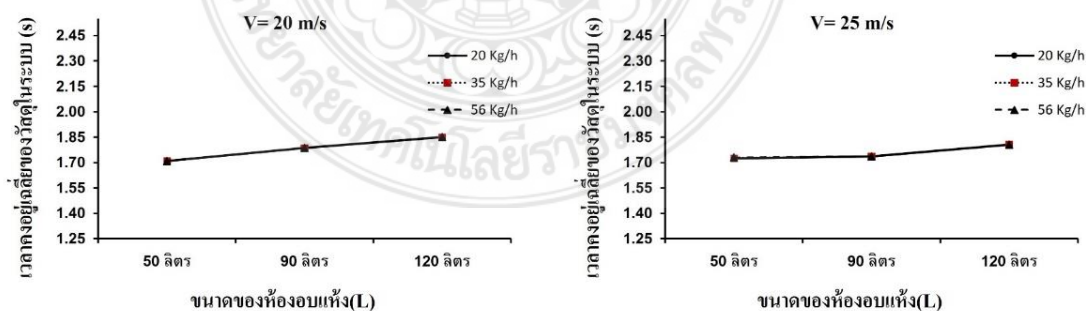
จากรูปที่ 4.8 แสดงผลกระทบของการเพิ่มขนาดของห้องอบแห้งที่มีผลต่อความชื้นเฉลี่ยของข้าวเปลือก พบว่า เมื่ออุณหภูมิของอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้น ค่าความชื้นเฉลี่ยของข้าวเปลือกมีค่าลดลง ขณะที่อัตราการป้อนข้าวเปลือก และขนาดของห้องอบแห้งไม่ส่งผลต่อการลดความชื้นของข้าวเปลือก ทั้งนี้เนื่องจากค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบอบแห้งไม่แตกต่างกันมากนัก (ดูรูป 4.8)

ในกรณีขนาดของห้องอบแห้งที่มีต่อค่าความชื้นเฉลี่ยของข้าวเปลือก เมื่อความเร็วของอากาศเข้า อุณหภูมิของอากาศขาเข้า และอัตราการป้อนข้าวเปลือกคงที่ พบว่า การเพิ่มขนาดของห้องอบแห้งไม่ได้ส่งผลต่อความชื้นเฉลี่ยของข้าวเปลือกหลังการอบแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบอบแห้งไม่แตกต่างกันมากนัก จึงไม่ได้ส่งผลให้สามารถลด ความชื้นของข้าวเปลือกลงได้ (ดูรูป 4.8) โดยผลต่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกที่ส่งผลต่อสมรรถนะของห้องอบแห้งสูงสุดเท่ากับ 6.0 % (d.b.) ที่ขนาดของห้องอบแห้ง 120 ลิตร ที่อุณหภูมิของอากาศขาเข้า 110 °C อัตราการป้อนวัสดุ 56 kg_{dry solid}/h



รูปที่ 4.8 ผลกระทบของการเพิ่มขนาดของห้องอบแห้งที่มีผลต่อความชื้นเฉลี่ยของข้าวเปลือก

4.2.2 ค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกระแสขนแบบวิถีโค้ง



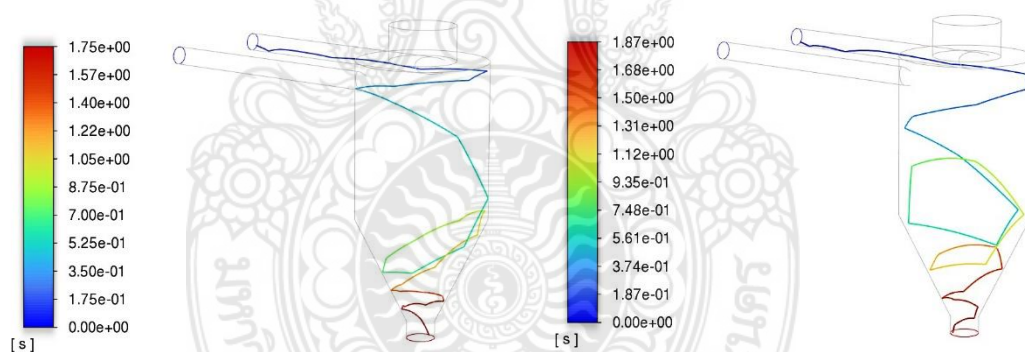
รูปที่ 4.9 ผลกระทบของการเพิ่มขนาดของห้องอบแห้งที่มีผลต่อค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือก

จากรูปที่ 4.9 แสดงผลกระทบที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบอบแห้งของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยที่ของข้าวเปลือก เมื่ออัตราการป้อนของข้าวเปลือก และขนาดของห้องอบแห้งคงที่ พบว่า ที่ความเร็วของอากาศขาเข้าที่ 20 m/s มีค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกมีค่าในช่วง

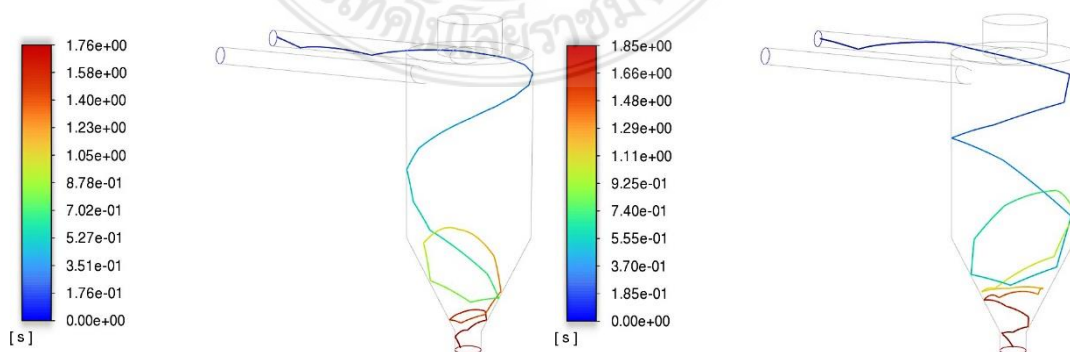
1.71-1.85 s ขณะที่ความเร็วของอากาศขาเข้าที่ 25 m/s มีค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกมีค่าในช่วง 1.73-1.81 s ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมาก

กรณีอัตราการป้อนข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น เมื่อขนาดห้องกระแสะชน และความเร็วอากาศขาเข้าคงที่ จะพบว่า เมื่ออัตราการป้อนข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น ค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบไม่แตกต่างกันมากนัก ถึงแม้ว่าอัตราการป้อนข้าวเปลือกที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ข้าวเปลือกมีปริมาณคงอยู่ในระบบเพิ่มมากขึ้น แต่ค่าอัตราการป้อนข้าวเปลือกก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบกระแสะชนจะพิจารณาจากปริมาณวัสดุที่คงอยู่ในระบบต่ออัตราการป้อนวัสดุ ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณแล้วจึงส่งผลให้ค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของวัสดุที่ได้ไม่แตกต่างกัน

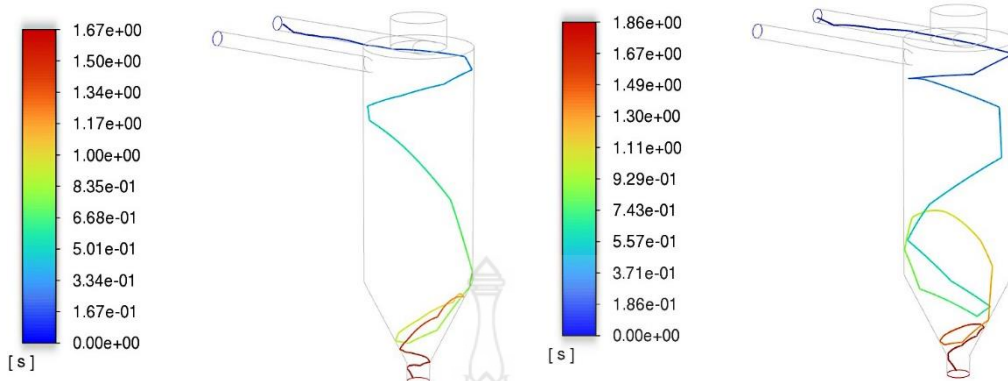
เมื่อขนาดของห้องกระแสะชนมีขนาดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบกระแสะชนแบบวิถีโค้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากขนาดที่เพิ่มขึ้นของห้องกระแสะชนทำให้ข้าวเปลือกเคลื่อนที่ในห้องกระแสะชนได้เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยในระบบเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากขนาดของรัศมีความโค้งของห้องอบแห้งมีขนาดเท่ากัน ซึ่งทำให้การเคลื่อนที่ที่สูญเสียไปยังฝั่งตรงข้ามของกระแสะการชนไม่แตกต่างกันมากนัก จึงส่งผลให้ค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบอบแห้งไม่แตกต่างกันมากนัก จากรูป (4.10.1 ถึง 4.10.3) โดยเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกที่ส่งผลต่อสมรรถนะของห้องอบแห้งสูงสุด คือ 1.85 s ที่เงื่อนไขความเร็วอากาศขาเข้าที่ 20 m/s อัตราการป้อนของวัสดุที่ 56 kg_{dry solid}/h และขนาดของห้องอบแห้งที่ 120 ลิตร



รูปที่ 4.10.1 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้ง จำนวน 1 เมล็ด ที่ความเร็วของอากาศขาเข้า 20 และ 25 m/s : ขนาดห้องอบแห้ง 50 ลิตร



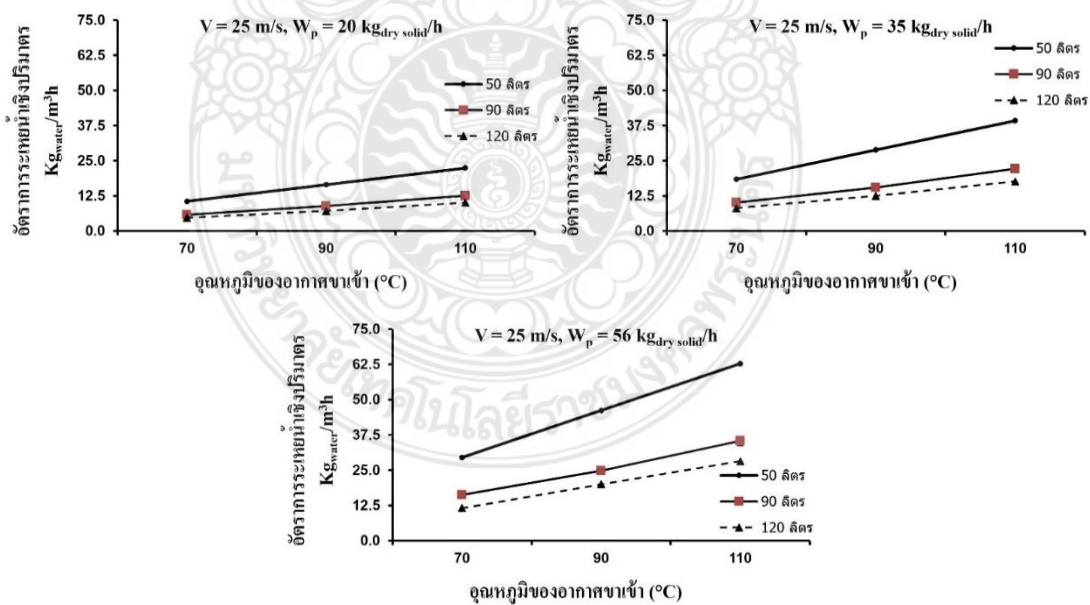
รูปที่ 4.10.2 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้ง จำนวน 1 เมล็ด ที่ความเร็วของอากาศขาเข้า 20 และ 25 m/s : ขนาดห้องอบแห้ง 90 ลิตร



รูปที่ 4.10.3 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้ง จำนวน 1 เมล็ด ที่ความเร็วของอากาศขาเข้า 20 และ 25 m/s : ขนาดห้องอบแห้ง 120 ลิตร

จากรูปที่ 4.10.1 ถึง 4.10.3 แสดงพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกจำนวน 1 เมล็ด ในระบบอบแห้งแบบวิถีโค้ง ที่ความเร็วของอากาศขาเข้าที่ 20 และ 25 m/s และขนาดห้องอบแห้งที่ 50, 90 และ 120 ลิตร จากการศึกษาพบว่า ข้าวเปลือกเคลื่อนที่ที่หมุนวนตามแนวแกนรัศมีโค้งของห้องอบแห้ง และเคลื่อนที่ทะลุไปยังกระแสน้ำตรงข้ามหลังจากนั้นก็หลุดออกจากบริเวณการชน และเคลื่อนที่ออกจากห้องอบแห้ง

4.2.3 อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร



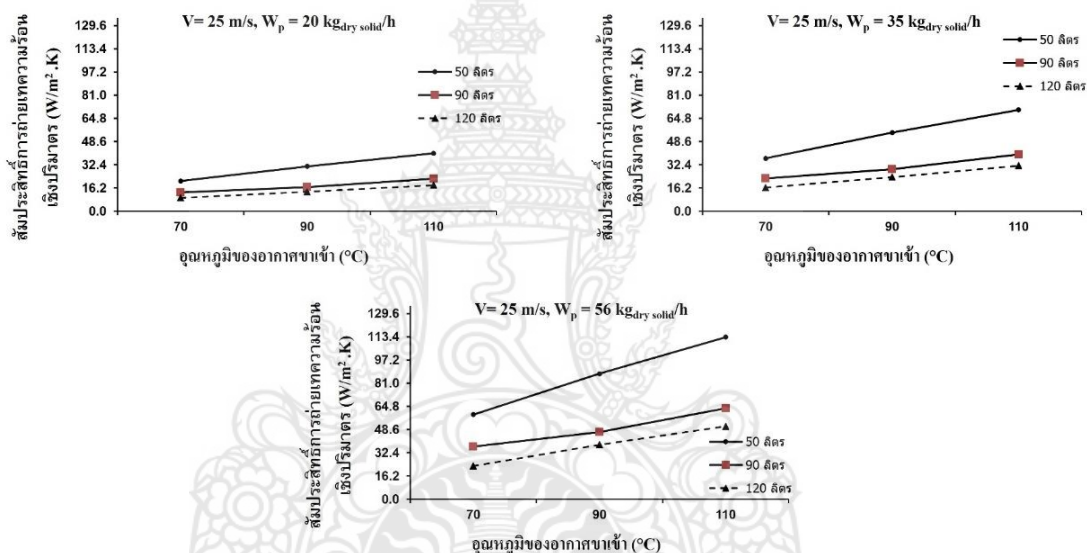
รูปที่ 4.11 ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่ออัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร

จากรูปที่ 4.11 แสดงผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรของระบบอบแห้งกระแสแบบวิถีโค้ง จากการศึกษาพบว่า อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร

เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของอากาศขาเข้า และอัตราการป้อนของข้าวเปลือกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเหตุผลได้อธิบายไว้แล้วในข้างต้น

ในกรณีขนาดของห้องอบแห้งที่มีต่อค่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร พบว่า เมื่อความเร็วของอากาศเข้า อุณหภูมิของอากาศขาเข้า และอัตราการป้อนข้าวเปลือกคงที่ พบว่า อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรมีค่าลดลงเมื่อขนาดของห้องอบแห้งเพิ่มขึ้น ตามความสัมพันธ์สมการที่ 2.6 โดยอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรของข้าวเปลือกที่ส่งผลต่อสมรรถนะของห้องอบแห้งสูงสุดเท่ากับ $62.72 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{m}^3\text{h}$ ที่อุณหภูมิของอากาศขาเข้า $110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และอัตราการป้อนของวัสดุ $56 \text{ kg}_{\text{dry solid}}/\text{h}$ ขนาดของห้องอบแห้ง 50 ลิตร

4.2.4 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร



รูปที่ 4.12 ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร

จากรูปที่ 4.12 แสดงผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรของระบบอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้ง จากการศึกษาพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของอากาศขาเข้า และอัตราการป้อนของข้าวเปลือกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเหตุผลได้อธิบายไว้แล้วในข้างต้น

ในกรณีขนาดของห้องอบแห้งที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร พบว่า เมื่อความเร็วของอากาศเข้า อุณหภูมิของอากาศขาเข้า และอัตราการป้อนข้าวเปลือกคงที่ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรมีค่าลดลงเมื่อขนาดของห้องอบแห้งเพิ่มขึ้น ตามความสัมพันธ์สมการที่ 2.7 โดยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรของข้าวเปลือกที่ส่งผลต่อสมรรถนะของห้องอบแห้งสูงสุดเท่ากับ $112.69 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ ที่อุณหภูมิของอากาศขาเข้า $110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และอัตราการป้อนของวัสดุ $56 \text{ kg}_{\text{dry solid}}/\text{h}$ ขนาดของห้องอบแห้ง 50 ลิตร

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการจำลองการอบแห้งข้าวเปลือกในระบบอบแห้งกระแสแบบวิถีโค้งด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยใช้ขนาดของห้องอบแห้งตัวต้นแบบที่ขนาด 50 ลิตร ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราการป้อนวัสดุ และความเร็วของอากาศขาเข้า ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรและค่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร รวมถึงศึกษาการกระจายอากาศและพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกในระบบอบแห้ง จากการศึกษาจำลองสรุปผลดังนี้

การศึกษาการกระจายอากาศในระบบกระแสแบบวิถีโค้งโดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ พบว่า แบบจำลองสามารถระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของอากาศอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งในระหว่างการทดลองผลกระทบบเหล่านี้ไม่สามารถปรากฏให้เห็นได้เนื่องจากเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งอากาศถูกบังคับให้เคลื่อนที่ตามแนวแกนรัศมีโค้งของห้องอบแห้งแบบวิถีโค้ง ส่งผลให้กระแสความเร็วของอากาศทั้งสองมาชนกัน เป็นผลให้เกิดความรุนแรงของความปั่นป่วนเกิดขึ้นบริเวณจุดกึ่งกลางของห้องอบแห้ง ซึ่งเป็นระนาบของการชนกัน ส่งผลให้บริเวณนี้เกิดการแลกเปลี่ยนมวลสารที่สูงขึ้นตามไปด้วย

การศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกในระบบกระแสแบบวิถีโค้ง พบว่าแบบจำลองสามารถระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของเมล็ดข้าวเปลือกปฐมฐาน 1 ภายในห้องอบแห้งกระแสแบบวิถีโค้งได้อย่างชัดเจน เมล็ดข้าวเปลือกถูกความเร็วของอากาศขาเข้าพาให้เคลื่อนที่หมุนวนตามแนวแกนรัศมีโค้งของห้องอบแห้ง และเมล็ดข้าวเปลือกสามารถทะลุผ่านไปยังกระแสฝั่งตรงข้ามสอดคล้องกับทฤษฎีกระแสที่กล่าวว่า วัสดุที่สามารถเคลื่อนที่ทะลุผ่านไปยังกระแสฝั่งตรงข้ามทำให้วัสดุสามารถอยู่ในระบบได้นานขึ้น และส่งผลให้การถ่ายเทมวลสารในปริมาณที่สูงขึ้น

การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบกระแสแบบวิถีโค้ง ได้แก่ อัตราการป้อนข้าวเปลือก อุณหภูมิอากาศขาเข้า และการเพิ่มขนาดของห้องอบแห้งที่ 90 ลิตร และ 120 ลิตร พบว่า การเพิ่มขนาดของห้องอบแห้งไม่ได้ส่งผลต่อความชื้นเฉลี่ยของข้าวเปลือกหลังการอบแห้ง เนื่องจากค่าเวลาเฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบอบแห้งไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนค่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร พบว่า เมื่อความเร็วของอากาศขาเข้า อุณหภูมิของอากาศขาเข้า และอัตราการป้อนข้าวเปลือก ค่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรมีค่าลดลงเมื่อขนาดของห้องอบแห้งมีขนาดเพิ่มขึ้น และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร พบว่า เมื่อความเร็วของอากาศขาเข้า อุณหภูมิของอากาศขาเข้า และอัตราการป้อนข้าวเปลือกคงที่ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรมีค่าลดลงเมื่อขนาดของห้องอบแห้งเพิ่มขึ้นเช่นกัน ขณะที่เงื่อนไขที่ส่งผลต่อค่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรโดยอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรสูงสุด ที่ได้จากงานวิจัยนี้เท่ากับ $62.72 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{m}^3\text{h}$ อุณหภูมิของอากาศขาเข้า $110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และอัตราการป้อนของวัสดุ $56 \text{ kg}_{\text{dry solid}}/\text{h}$ ที่ขนาดห้องอบแห้ง 50 ลิตร และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร โดยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรสูงสุด ที่ได้จากงานวิจัยนี้เท่ากับ $112.63 \text{ W}/\text{m}^3\text{K}$ อุณหภูมิของอากาศขาเข้า $110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และอัตราการป้อนของวัสดุ $56 \text{ kg}_{\text{dry solid}}/\text{h}$ ที่ขนาดห้องอบแห้ง 50 ลิตรเช่นกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาและเปรียบเทียบสมรรถนะการอบแห้งข้าวเปลือกกับระบบกระแสนในแนวแกน

5.2.2 ควรศึกษาและเปรียบเทียบสมรรถนะการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้รูปแบบของห้องอบแห้งที่ต่างกัน

5.2.3 ควรศึกษาถึงผลกระทบของขนาดรัศมีความโค้งงอของห้องอบแห้ง และขนาดของท่อทางเข้าทั้งสองของระบบกระแสนที่มีต่อสมรรถนะของระบบอบแห้งแบบกระแสนแบบวิถีโค้ง

5.2.4 เครื่องอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้งเป็นเครื่องที่มีสมรรถนะทางความร้อนสูง สามารถลดความชื้นที่ผิวของวัสดุอนุภาคได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือวัสดุที่จะนำมาลดความชื้นควรเป็นวัสดุที่ไม่เกิดการแตกหักง่าย เนื่องจากกระแสการไหลของตัวกลางการอบแห้งมีความเร็วที่สูงซึ่งอาจส่งผลต่อวัสดุได้



เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Tamir, "Drying in a new two impinging streams reactor," In Chemical Engineering Science, V.39. pp. 139-149, 1984.
- [2] A. Tamir, "Process and phenomena in impinging-stream reactor," In Chemical Engineering Progress, V.85. pp. 53-61, 1989.
- [3] Y. Kitron, A. Tamir, "Characteristics and scale-up of coaxial impinging stream gas-solid reactors," In Drying Technology, V.27. pp. 781-810, 1990
- [4] I. Elperin, "Heat and mass transfer in opposing currents," In Journal of Engineering Physics. Quoted by Tamir, A. (1994), V.6. pp. 62-68, 1961.
- [5] T. Kudra, A.S. Mujumdar, V.L. Meltser, "Impinging stream dryers," In handbook of industrial drying. Mujumdar, A.S., Ed., Marcel Dekker. New York: pp. 539-567, 1995.
- [6] กาญจน์ สาขา, "การออกแบบเครื่องอบแห้งชนิดอุโมงค์แบบอากาศไหลสองทิศทาง," ปริญญา นิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเกษตร), กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ถ่ายเอกสาร, 2543.
- [7] Y. Kitron, A. Tamir, "Performance of a coaxial gas-solid two-impinging-stream (TIS) reactor hydrodynamics," In Industrial & Engineering Chemistry Research, V.27. pp. 1760-1767, 1988.
- [8] A. Tamir, Impinging-stream reactors. Elsevier: Amsterdam. S. Wachiraphansakul, S. Devahastin, (2007), "Drying kinetics and quality of okara dried in a jet spouted bed of sorbent particles," In LWT-Food Science and Technology. V.40. pp. 207-219, 1994.
- [9] X. Hu, D. Liu, "Experiment investigation on flow and drying characteristics of a vertical and semi-cyclic combined impinging stream dryer," In Drying Technology, V.17. pp. 1879-1892, 1999.
- [10] C. Cao et al., "Experimental study on impinging stream drying of particulate materials," In Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering, V.4. pp. 10-14, 1999.
- [11] M. Ozbey, M.S. Soylemez, "Effect of swirling flow on fluidized bed drying of wheat grains," In Energy Conservation and Management, pp. 1495-1512, 2005.
- [12] K. Sathapornprasath et al., "Performance evaluation of an impinging stream dryer for particulate materials," In Drying Technology, V.25. pp. 1121-1128, 2007.
- [13] C. Nimmol, S. Devahastin, "Evaluation of performance and energy consumption of an impinging stream dryer for paddy," In Applied Thermal Engineering, V.30. pp. 2204-2212, 2010.

- [14] K. Chaicharoen et al., "Performance and energy consumption of an impinging stream dryer for high-moisture particulate materials," In *Drying Technology*, V.28. pp. 20-29, 2010.
- [15] C. Nimmol et al., "Drying of high-moisture paddy using a combined impinging stream and pneumatic drying system," In *Drying Technology*, V.30. pp. 1854-1862, 2012
- [16] ภมร บัวท่อม, "การลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งกระแสชนแบบวิถีโค้ง," *ปริญญา นิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล)*, กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ, 2555.
- [17] กรมการข้าว (2559) องค์ความรู้เรื่องข้าว. Networks [Online]. Available: <https://www.ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=67.htm>
- [18] Adebowale, "A.R.A. Effect of variety and moisture content on some engineering properties of paddy rice," *Journal of Food Science and Technology*, Vol.48(5), pp.551-559, 2011.
- [19] ฉัญญาพร ปัตตาซารี, "การศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบกระแสชนสำหรับวัสดุทางการเกษตร," *ปริญญา นิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล)*, กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร, 2553.
- [20] ปฎิวัติ คมขจรกุล, "การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสชนร่วมกับการอบแห้งแบบพาหะลม," *ปริญญา นิพนธ์ วศ.ม. (การจัดการทางวิศวกรรม)*, กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร, 2554.
- [21] สุขชาติ ธนสุขประเสริฐ, ธนิต สวัสดิ์เสวี, สักกมน เทพหัสติน ณ อยุธยา และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์, "การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสชน," ใน *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1, ฉบับที่ 2. หน้า 1-10*, 2555.
- [22] D. Xu, W. Zhu, "Hydrokinetic characteristic analysis of a new type of impinging stream dryer," In *Proceedings of the 13th International Drying Symposium*. Pp.856-860, 2002.
- [23] S. Devahastin, A.S. Mujumdar, "A Numerical Study of Flash Drying Characteristics of a Novel Two-Dimensional Impinging Stream Dryer," In *Proceedings of the 13th International Drying Symposium*. pp. 817-827, 2002.
- [24] X.L. Huai et al., "multi-phase flow and drying characteristics in a semi-circular impinging stream dryer," In *International Journal of Heat and Mass Transfer*, V.46. pp. 3061-3067, 2003
- [25] D. Liu et al., "Numerical analysis of gas-particle flow in vertical impinging stream chamber," In *Drying Technology*, V.21. pp. 1019-1028, 2003.
- [26] C. Wu, Y. Cheng, Y. Ding, and Y. Jin, "CFD-DEM simulation of gas-solid reacting flows in fluid catalytic cracking (FCC) process," *Chemical Engineering Science*, 65: 542-549, 2010.

- [27] K. Choicharoen, S. Devahastin, S. Soponronnarit, “Numerical Simulation of Multiphase Transport Phenomena During Impinging Stream Drying of a Particulate Material,” *Drying Technology*, 30: 1227–1237, 2012.
- [28] P. Khomwachirakul et al., “Simulation of flow and drying characteristics of high-moisture particles,” in an impinging stream dryer via CFD-DEM. In *Drying Technology*, V.34. pp.403-419, 2017
- [29] N. Meeso, A. Nathakaranakule, T. Madhiyanon, S. Soponronnarit, “Modelling of far infrared irradiation in paddy drying process,” *Journal of Food Engineering* 78, 1248-1258, 2007.
- [30] Xueqing Liu, Song Yue, Luyi Lu, Wei Gao and Jianlan Li, “Flow simulation and experimental study of a dynamic asymmetric impinging stream,” *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 863-880, 2018.
- [31] ปรีดา ปรากฏมาก, “แบบจำลอง CFD-DEM สำหรับพลศาสตร์ของก๊าซ-ของแข็งในระบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง,” ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 15: ตามรอยพระยุคลบาท เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม, 6-7 ธ.ค. 2561, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน สำนักงานวิทยาเขตกำแพงแสน กองบริหารวิชาการและ นิสิต, หน้า 210-220, 2561.



ภาคผนวก ก

บทความตีพิมพ์เผยแพร่และใบรับรองการนำเสนอ





THE 6th RMUTP CONFERENCE ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY 2022

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 6

“NEW FRONTIERS OF ENGINEERING
SCIENCE TECHNOLOGY AND INNOVATION”

27 พฤษภาคม 2565
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ISBN (E-Book) : 978-974-625-949-1



สารบัญ

รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	หน้า
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล		
ME01	ผลของปริมาณเกลือเขอรินต่อสมบัติของฟิล์มจากเปลือกทุเรียน กมลทิพย์ คำมูล ดวงฤทัย ซาติศรี ศศิธร แก้วมาลา อภาภรณ์ จอมหล้าพีรติกุล เดชาวัต มั่นกลาง และ ประยูร จอมหล้าพีรติกุล	1
ME02	การพัฒนาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ ชาญฉฉิต วรรณนุรักษ์	5
ME03	การจำลองค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบกระแสขนแบบวิถีโค้ง ปิติ ชันโพธิ์ ปฎิวัติ คมวชิรกุล กฤษณ์ อภิญาวิศิษฐ์ และ ภูภูมิ พ่วงเจริญชัย	9
ME04	การศึกษาและออกแบบชุดเครื่องซึ่งสำหรับรถแข่งสูตรนักศึกษา กฤษฎา เบ้าทอง, อีร์พันธ์ เชื้อกลีการ, วีรวิชัย ทรงไชยทินวัฒน์ และ วิชยา อภาภเวท	13
ME05	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายความดันในกะโหลกศีรษะด้วยวิธี Non-Invasive โดยอาศัยความดันในลูกตา ความดันเลือดไปเลี้ยงสมอง และ ความดัน โลหิตเฉลี่ย กฤษณ์นัท เจริญสุข และ อุทัย อังเจริญ	17
ME06	การสร้างแบบจำลอง และออกแบบตัวควบคุมสำหรับ Aero-Pendulum โดยใช้ตัว ควบคุม Proportional-Integral-Derivative และ Sliding-mode ครรชิต ภาวนานนท์ และ กฤษณ์นัท เจริญสุข	23
ME08	การออกแบบระบบบังคับความเร็วสำหรับรถแข่งสูตรนักศึกษา สถาพร วันนาพอ อีร์วัต อินทร์เฉลิม วรรณธิดา แซ่ลือ อัญญา วงษ์ยอด และ ณัฏฐกิตติ์ ฤทธิ์ทอง	28
ME09	ตู้เย็นจำลองขนาดเล็กทำความเย็นโดยใช้แผ่นเพลเทียร์ อานนท์ ดิอุดม อนันต์ เต็มเปี่ยม ปฎิวัติ คมวชิรกุล ทีเชษฐ์ บุญญาลัย ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท และ ภูภูมิ พ่วงเจริญชัย	32
ME10	การตรวจสอบเครื่องยนต์ สำหรับอากาศยานปีกหมุน โดยเครื่องตรวจสอบสภาพ ภายในอากาศยาน วุฒิชัย เหมะใจ ภัคจิรา จินประษา และ ปิยธิดา โทมลวรรณนะ	36
ME11	การศึกษาทดลองผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของอนุภาคในระบบ กระแสขน ปริญ ศรีแสง ปฎิวัติ คมวชิรกุล อนันต์ เต็มเปี่ยม และ พลรัชต์ บุญมี	40

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 6
Proceedings of the 6th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การจำลองค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบกระแสนแบบวิถีโค้ง

Simulation of Paddy Mean Residence Time in a Tangential Horizontal Impinging Stream System

ปิติ ชันโพธิ์¹, ปฏิวัติ กวมจิรกุล¹, ถกฤษณ์ อภิญาวิศิษฐ์¹ และ ภูภูมิ พ่วงเจริญชัย¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800 E-mail: Piti_khunpho@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจำลองค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบกระแสนแบบวิถีโค้ง ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ซึ่งผลของการจำลองจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับการทดลอง ในการศึกษาการทำที่เงื่อนไขต่างๆ ได้แก่ ขนาดห้องกระแสน 50 90 และ 120 ลิตร ความเร็วของอากาศขาเข้าที่ 20 และ 25 เมตรต่อวินาที และอัตราการป้อนของวัสดุที่ 20 35 และ 56 กิโลกรัมต่อชั่วโมงที่ส่งผลต่อค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบ จากผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองสามารถทำนายผลของค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกให้ผลใกล้เคียงกับการทดลอง เมื่อขนาดของห้องกระแสนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้งเพิ่มขึ้น ขณะที่ความเร็วของอากาศขาเข้าและอัตราการป้อนข้าวเปลือกไม่มีผลต่อค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบกระแสนแบบวิถีโค้งมากนัก

คำสำคัญ : กระแสน; ความเร็วของอากาศ; ค่าเวลาเฉลี่ย; พลศาสตร์ของไหล

Abstract

The objective of this research was to study the mean residence time of paddy in a tangential horizontal impinging stream system using computational fluid dynamics and simulated results were compared with the experimental data. The effect of various parameters including size of impinging stream chamber of 50, 90, and 120 liters, inlet air velocity of 20 and 25 m/s and paddy mass flow rate of 20, 35 and 56 were investigated on the mean residence time of paddy. The simulated results showed that the model predications were in good agreement with experimental data. An increase in the size of impinging chamber led to an increase in paddy mean residence time, while the inlet air velocity and paddy mass flow rate had a little effect on mean residence time of paddy in a tangential horizontal impinging stream system.

Keywords: Impinging stream; Air velocity; Mean residence time; Computational fluid dynamics

1. บทนำ

การอบแห้งกระแสน (Impinging stream dryer, ISD) เป็นเทคนิคที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถจัดความชื้นวัสดุที่มีความชื้นบริเวณผิวสูง มีหลักการพื้นฐานคือ การที่มีกระแสการไหลของวัสดุตั้งแต่สองกระแสหรือมากกว่า โดยมีอากาศร้อนเป็นตัวกลางในการนำพาวัสดุเข้าสู่ระบบ เมื่อวัสดุเข้าสู่ระบบจนเกิดการชนกันเราเรียกบริเวณการชนว่า ระบายการชน (Impinging Zone) การชนกันของวัสดุเป็นผลทำให้เกิดความปั่นป่วน แรงเฉือน การละเหยและการแลกเปลี่ยนความร้อน จึงเป็นผลทำให้ความชื้นของวัสดุลดลงอย่างรวดเร็ว [1-8]

แม้จะมีงานวิจัยที่ผ่านมา ให้รายงานถึงข้อดีของการอบแห้งกระแสน ในแนวแกน (coaxial impinging streams) ที่สามารถลดความชื้นของวัสดุที่บริเวณผิวได้อย่างรวดเร็วและใช้เวลาในระบบขั้นต้นไม่ซับซ้อน โดยที่ค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของวัสดุอนุภาคเพิ่มขึ้นส่งผลต่อความชื้นสุดท้ายของวัสดุ แต่ส่วนในแนววิถีโค้ง (tangential horizontal impinging streams) หรือระบบกระแสนแบบวิถีโค้งและการจำลองการอบแห้งข้าวเปลือกในระบบกระแสนแบบวิถีโค้ง ยังมีการศึกษาไม่แพร่หลายมากนัก สำหรับในประเทศไทยเน้นการศึกษาเฉพาะในส่วนของการทดลองแต่เพียงอย่างเดียว อีกทั้งการศึกษาวิจัยมีข้อจำกัดจนกระทั่งได้มีการนำเอาเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเข้ามาช่วยในการจำลองความปั่นป่วนที่เกิดขึ้น รวมไปถึงห้องอบแห้งชนิดต่าง ๆ ซึ่งสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในรูปแบบของภาพสามมิติและเส้นกราฟ อีกทั้งยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการทำวิจัย และระยะเวลาในการทำวิจัย ทั้งยังสามารถให้ผลการจำลองที่สอดคล้องกับผลการทดลองจากงานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่าอัตราการลดความชื้นจะมีความสัมพันธ์กับค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของวัสดุที่อยู่ในระบบ กล่าวคือถ้าวัสดุอนุภาคอยู่ในระบบได้นานเพิ่มขึ้น จะทำให้วัสดุมีความชื้นลดลงมากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาจำลองค่าเวลาเฉลี่ยของการอบแห้งข้าวเปลือกในระบบอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้ง ทำการศึกษาถึงผลกระทบต่อบัจจัยต่างๆ ได้แก่ ขนาดของห้องกระแสนความเร็วอากาศขาเข้า และอัตราการป้อนวัสดุ ที่มีต่อค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบกระแสนแบบวิถีโค้ง

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการศึกษานี้ใช้สมการควบคุมการไหลของของไหลถูกพิจารณาถึงสมการต่อไปนี้

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 6
 Proceedings of the 6th RMUTP Conference on Engineering and Technology

2.1 สมการความต่อเนื่อง

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \tag{1}$$

2.2 สมการอนุรักษ์โมเมนตัม

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_j) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \rho g = M_F \tag{2}$$

2.3 สมการพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน

ในการศึกษานี้ใช้แบบจำลองความปั่นป่วน realizable $k - \epsilon$ turbulence [9]

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M \tag{3}$$

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \tag{4}$$

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\nu \epsilon}} + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} C_{3\epsilon} G_b \tag{5}$$

สำหรับค่าคงที่ต่าง ๆ ในการจำลองความปั่นป่วน realizable $k - \epsilon$ มีค่าดังต่อไปนี้ [9]

$$C_{1\epsilon} = 1.44, C_{2\epsilon} = 1.92, C_{\mu} = 0.09, \sigma_k = 1.0$$

$$\sigma_\epsilon = 1.3, C_{3\epsilon} = 1.3$$

2.4 สมการควบคุมการเคลื่อนที่ของวัสดุ

สมการควบคุมการเคลื่อนที่ของอนุภาค สามารถหาได้จาก การอินทิเกรตสมการสมดุลแรงที่กระทำกับวัสดุอนุภาค สามารถเขียนได้ดังต่อไปนี้ [9]

$$\frac{du_p}{dt} = \frac{18\mu}{\rho_p d_p^2} \frac{C_D Re}{24} (u_g - u_p) + g_i \frac{\rho_p - \rho_g}{\rho_p} \tag{6}$$

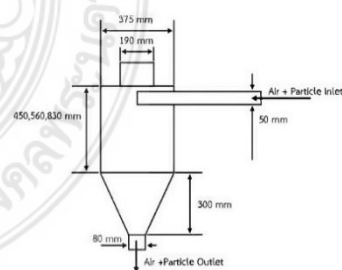
และสำหรับสัมประสิทธิ์แรงฉุดลาก (drag coefficient : C_D) สามารถดูเพิ่มเติมจาก Choicharoen et al. [9]

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของข้าวเปลือก

Density, (Kg/m ³)	(552+282Mp)/(1-(0.623-0.25Mp)) [10]
Specific Heat, (W/m K)	1110+44.8Mw [10]
Thermal Conductivity, (W/m K)	0.0863+0.00134Mw [10]

3. สมมติฐานการจำลอง

ในการศึกษานี้ มุ่งเน้นการศึกษาการจำลองค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบอบแห้งกระแสแบบวิถีโค้ง โดยอาศัยอากาศป้อนเมล็ดข้าวเปลือกเข้าสู่ระบบที่ทางเข้าทางเดียว ใช้ขนาดห้องกระแส 50, 90, 120 ลิตร ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1 ในส่วนของเมล็ดข้าวใช้พันธุ์ข้าวเปลือกปทุมธานี 1 ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้น 27.8 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ถูกพิจารณาให้เป็นทรงกลมโดยการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของเมล็ดข้าวเปลือก จากสมการ Equivalent diameter และคุณสมบัติของเมล็ดข้าวเปลือก หาได้จากตารางที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังห้องอบแห้งที่ใช้ในการจำลอง

4. สภาวะเงื่อนไขของเขต

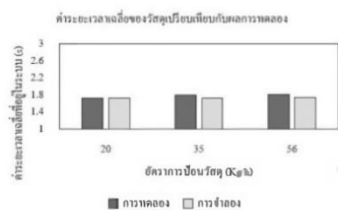
ในการศึกษานี้ ใช้อากาศเป็นตัวกลางนำพาวัสดุเข้าสู่ระบบเพียงทางเข้าทางเดียว มีขนาดห้องอบแห้งที่ 50 90 และ 120 ลิตร โดยที่

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 6
 Proceedings of the 6th RMUTP Conference on Engineering and Technology

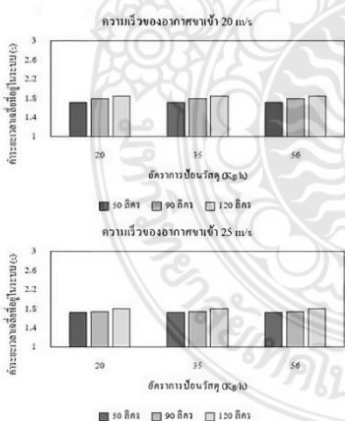
ความเร็วของอากาศเข้าที่ใช้ 20 และ 25 เมตรต่อวินาที และอัตราการป้อนเมล็ดข้าวเปลือกเข้าสู่ห้องอบแห้งที่ 20 35 และ 56 กิโลกรัมต่อชั่วโมงตามเงื่อนไขการทดลอง บริเวณทางออกห้องอบแห้งอากาศมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ[7]

5. ผลและวิจารณ์



รูปที่ 2 เปรียบเทียบค่าเวลาคงเหลือที่วัดอยู่ในห้องอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้ง ระหว่างผลการจำลองและผลการทดลอง ที่ความเร็วของอากาศเข้า 25 m/s อัตราการป้อน 20 35 และ 56 kg/h

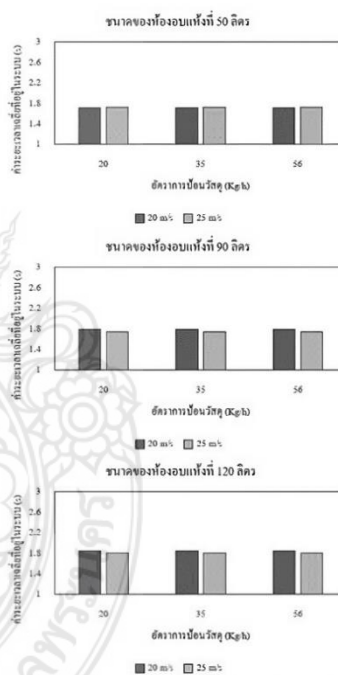
จากรูปที่ 2 แสดงผลของการเปรียบเทียบเวลาคงเหลือที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกระแสนแบบวิถีโค้งระหว่างผลการจำลองและการทดลอง พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายผลค่าเวลาคงเหลือของข้าวเปลือกในระบบกระแสนแบบวิถีโค้งให้ผลใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Pramorn et al. [8] ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 5\%$



รูปที่ 3 ผลของขนาดห้องกระแสนและอัตราการป้อนข้าวเปลือกที่มีต่อค่าเวลาคงเหลือของข้าวเปลือกในระบบกระแสนแบบวิถีโค้ง

จากรูปที่ 3 แสดงผลของขนาดห้องกระแสนและอัตราการป้อนข้าวเปลือกที่มีผลต่อค่าเวลาคงเหลือของข้าวเปลือกในระบบกระแสนแบบวิถีโค้ง ที่ความเร็วอากาศเข้าคงที่ จะพบว่า เมื่อขนาด

ของห้องกระแสนมีขนาดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าเวลาคงเหลือของข้าวเปลือกในระบบกระแสนแบบวิถีโค้งมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก ขนาดที่เพิ่มขึ้นของห้องกระแสนทำให้ข้าวเปลือกเคลื่อนที่ในห้องกระแสนได้เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าเวลาคงเหลือในระบบเพิ่มมากขึ้น กรณีอัตราการป้อนข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น เมื่อขนาดห้องกระแสนและความเร็วอากาศเข้าคงที่ จะพบว่าเมื่ออัตราการป้อนข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น ค่าเวลาคงเหลือของข้าวเปลือกในระบบไม่แตกต่างกันมากนัก ถึงแม้ว่า อัตราการป้อนข้าวเปลือกที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ข้าวเปลือกมีปริมาณคงอยู่ในระบบเพิ่มมากขึ้น แต่อัตราการป้อนข้าวเปลือกก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งค่าเวลาคงเหลือของข้าวเปลือกในระบบกระแสนจะพิจารณาจากปริมาณวัสดุที่คงอยู่ในระบบต่ออัตราการป้อนวัสดุ ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณแล้วจึงส่งผลให้ค่าเวลาคงเหลือของวัสดุที่ได้ไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4 ผลของความเร็วอากาศเข้าที่มีต่อค่าเวลาคงเหลือของข้าวเปลือกในระบบกระแสนแบบวิถีโค้ง

จากรูปที่ 4 ผลของความเร็วอากาศเข้าที่มีต่อค่าเวลาคงเหลือของข้าวเปลือกในระบบกระแสนแบบวิถีโค้ง ที่ขนาดห้องกระแสนและอัตราการป้อนข้าวเปลือกคงที่ จะพบว่า เมื่อความเร็วอากาศเข้าเพิ่มขึ้น ค่าเวลาคงเหลือของข้าวเปลือกในระบบกระแสนแบบวิถีโค้งไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากที่ความเร็วอากาศเข้าดังกล่าวไม่สามารถที่จะช่วยเพิ่มโมเมนตัมของข้าวเปลือกได้มากพอที่จะสามารถ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 6
Proceedings of the 6th RMUTP Conference on Engineering and Technology

เคลื่อนที่ทะลุผ่านกระแสน้ำไหลตรงกันข้ามได้มากขึ้นได้ จึงส่งผลให้ค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบกระแสน้ำไม่แตกต่างกัน ในกรณีห้องกระแสน้ำและความเร็วอากาศเข้าคงที่ เมื่ออัตราการป้อนข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น จะพบว่าค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบไม่แตกต่างกันมากนัก นอกจากนี้จากการศึกษา พบว่าข้าวเปลือกมีค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยในระบบมากที่สุดคือ 1.85 วินาที ที่เงื่อนไขขนาดห้องกระแสน้ำ 120 ลิตร ความเร็วอากาศเข้า 20 m/s และอัตราการป้อนข้าวเปลือก 56 kg/h

6. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบกระแสน้ำแบบวิถีโค้ง ซึ่งได้ศึกษาที่ตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ความเร็วอากาศเข้า 20 25 และ 30 m/s อัตราการป้อนข้าวเปลือกที่ 20 35 และ 56 kg/h และขนาดของห้องกระแสน้ำ 50 90 และ 120 ลิตร ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ จากผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองสามารถทำนายผลค่าคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกให้ผลใกล้เคียงกับผลการทดลอง ซึ่งมีความคลาดเคลื่อน ไม่เกิน $\pm 5\%$ ขณะที่การเพิ่มขนาดของห้องอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกอยู่ในระบบได้นานขึ้น โดยมีค่าสูงสุด 1.85 s ซึ่งเงื่อนไขที่ส่งผลให้ข้าวเปลือกอยู่ในระบบกระแสน้ำวิถีโค้งได้นานที่สุดคือที่ขนาดของห้องกระแสน้ำ 120 ลิตร ความเร็วอากาศเข้า 20 m/s และอัตราการป้อนข้าวเปลือกที่ 56 kg/h

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษางานวิจัยนี้

รายการสัญลักษณ์

G_b คือ พลังงานจลน์ที่เกิดจากการลอยตัว

G_k คือ ค่าพจน์การผลิตของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน

g_i คือ แรงโน้มถ่วง (m/s^2)

k คือ พลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (m^2/s^2)

M_F คือ เทอมของสมการโมเมนตัม

P คือ ความดัน

u_g คือ ความเร็วของการไหล (m/s)

u_p คือ ความเร็วของอนุภาค (ข้าวเปลือก) (m/s)

Y_M คือ ค่าความก่อกวนไอ ซึ่งมีผลต่อความปั่นป่วนของไหล

สัญลักษณ์กรีก

σ คือ สัดส่วนของช่องว่าง

σ_c คือ ตัวเลขแพลนค์ที่ผลการกระจายพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน

μ_t คือ ค่าความหนืดของความปั่นป่วน ($kg/m \cdot s$)

ρ_g คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

ρ_p คือ ความหนาแน่นของอนุภาค (kg/m^3)

เลขไร้มิติ

Re = เลขเรย์โนลด์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kitron, Y., Buchmann, R., Luzzatto, K., Tamir, A. Drying and mixing of solids and particles residence time distribution in four impinging streams and multistage two impinging streams reactors, Chemical Engineering Technology 1987, 26: 2454-2461.
- [2] M. Sohrabi, M. Ahmadi Marvast, Application of a continuous two impinging streams reactor in solid-liquid enzyme reaction, Ind. Eng. Chem. Res. 39 (2000)1903-1910.
- [3] Kudra, T., Mujumdar, A.S. 2007. Impinging stream dryers. In Handbook of Industrial Drying, 3rd ed.; Mujumdar, A.S. (Ed.); CRC Press: New York: 479-488.
- [4] Sathapornprasath, K.; Devahastin, S.; Soponronnarit, S. Performance evaluation of an impinging stream dryer for particulate materials, Drying Technology 2007, 25: 1121-1128.
- [5] Nimmol, C.; Devahastin, S. Evaluation of performance and energy consumption of impinging stream dryer for paddy, Applied Thermal Engineering 2010, 30: 2204-2212.
- [6] Wu, C., Cheng, Y., Ding, Y. and Jin, Y. CFD-DEM simulation of gas-solid reacting flows in fluid catalytic cracking (FCC) process. Chemical Engineering Science, 65: 542-549 (2010)
- [7] Khomwachirakul, P., Devahastin, S., Swasdisevi, T., Soponronnarit, S. 2016. Simulation of flow and drying characteristics of high-moisture particles in an impinging stream dryer via CFD-DEM. Drying Technology 34, 403-419.
- [8] กมล บัวทุม, (2555). การลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งกระแสน้ำแบบวิถีโค้ง, ปริญญาโท สาขา วิศวกรรมเครื่องกล, กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [9] Choicharoen, K.; Devahastin, S.; & Soponronnarit, S. Numerical Simulation of Multiphase Transport Phenomena During Impinging Stream Drying of a Particulate Material, Drying Technology, 30: 1227-1237, 2012
- [10] Meeso, N., Nathakaranakule, A., Madhiyanon, T., Soponronnarit, S. 2007. Modelling of far infrared irradiation in paddy drying process. Journal of Food Engineering 78, 1248-1258.



6th RMUTP

CONFERENCE
ON ENGINEERING
AND TECHNOLOGY

2022

“NEW FRONTIERS
OF ENGINEERING
SCIENCE
TECHNOLOGY
AND INNOVATION”




เกียรติบัตรฉบับนี้มอบไว้เพื่อแสดงว่า

บตี ชนิโพธิ์ ปฏิวัดิต คมวชิรกุล กฤชณ อภิญญาวิศิษฐ์
และ กฤษมิ พวงเจริญชัย

บทความเรื่อง

การจำลองค่าเวลาคงอยู่เฉลี่ยของข้าวเปลือกในระบบกระแสขนแบบวิถีโค้ง

ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความ
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 6
(6th RMUTP Conference on Engineering and Technology)
ในวันที่ 27 พฤษภาคม 2565
ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
(รูปแบบออนไลน์)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์)
รักษาราชการแทน
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ประธานคณะกรรมการจัดการประชุม
6th RMUTP Conference on Engineering and Technology

ประวัติการศึกษาและการทำงาน



ชื่อ นามสกุล นายปิติ ชันโพธิ์
 วัน เดือน ปีเกิด 2 เมษายน 2533
 ภูมิลำเนา 110 หมู่ที่ 4 ตำบลโคกสว่าง อำเภอนองกี่ จังหวัดบุรีรัมย์ 31210

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	สถานศึกษา	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ระดับประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านโคกลอย	2544
ระดับมัธยมศึกษา	โรงเรียนนิภาศิริ	2550
ปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2556

ประวัติการทำงาน

2556-ปัจจุบัน Mechanics บริษัท บุญรอดบริวเวอรี่ จำกัด
 999 ถนนสามเสน แขวงถนนนครไชยศรี เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300