บทที่ 8

ผลการจำลองกระบวนการของเครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่อง

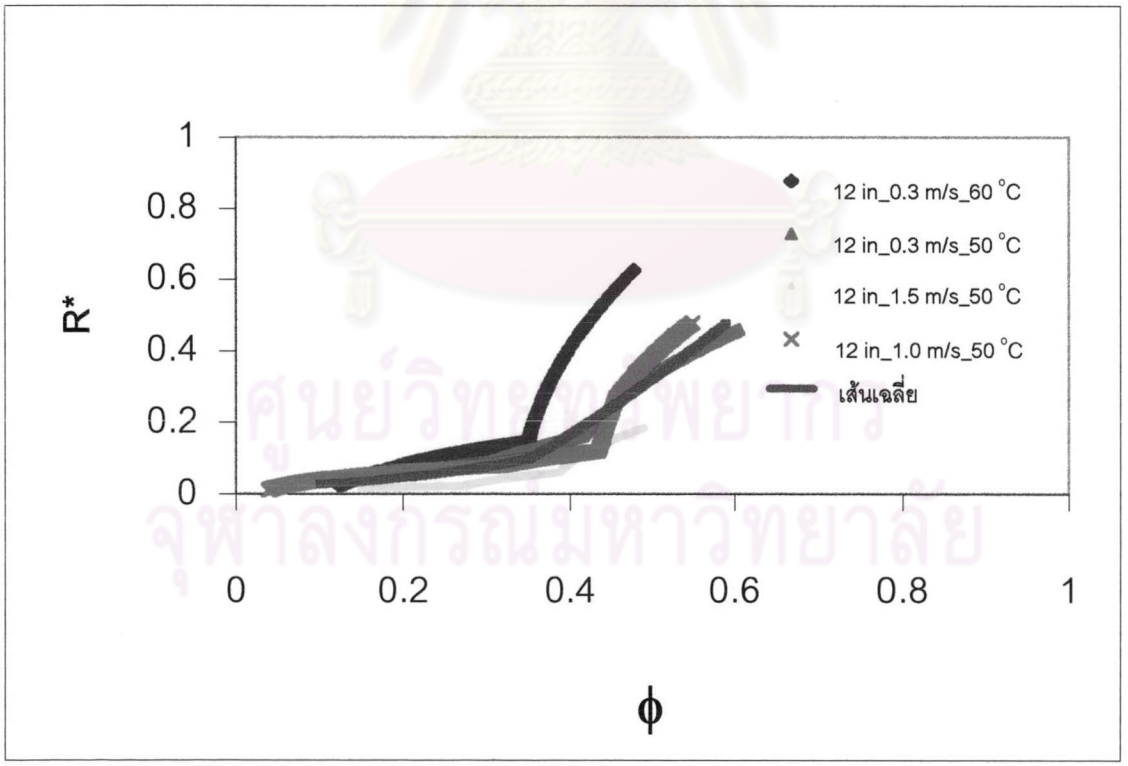
สำหรับการอบแห้งกระดูกอัดขนาด 12 นิ้วที่ได้ทำการทดลองไปในรูปที่ 6.4 เมื่อทำการนอร์แมลไรซ์เส้นลักษณะเฉพาะขอการอบแห้งแล้วจะได้ดังรูปที่ 8.1 จากนั้นจะทำการหาค่าเฉลี่ยของเส้นกราฟทั้งหมด แล้วทำการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยใช้เส้นแนวโน้มในโปรแกรมเอกซ์เซลล์แบบสมการกำลังสองโดยแบ่งเป็นสองช่วงดังนี้

ช่วง ϕ จาก 0.1 ถึง 0.347

$$R^* = 7.037389E\text{-}01\phi^2 - 3.456976E\text{-}02\phi + 2.364712E\text{-}02 \quad ; R^2 = 3.244091E\text{-}01 \qquad (8.1)$$

ช่วง ϕ จาก 0.347 ถึง 0.59

$$R^* = 1.188369E+00\phi^2 + 4.559262E\text{-}01\phi - 2.056166E\text{-}01 \quad ; R^2 = 5.585888E\text{-}01 \qquad (8.2)$$



รูปที่ 8.1 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งกระดูกขนาด12 นิ้ว ซึ่งถูกนอร์แมลไรซ์แล้ว

จากนั้นจะใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวในการทำการจำลองกระบวนการเพื่อหาขนาดเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมตามเงื่อนไขต่างๆ ตามชนิดของเครื่องอบแห้งต่อไป

8.1 <u>เครื่องอบแห้งแบบสายพานลำเลียง</u>

เงื่อนไขในการจำลองกระบวนการในกรณีนี้ สามารถแยกสรุปเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

8.1.1 สายพานลำเลียงแบบชั้นเดียว

ลักษณะของเครื่องจะคล้ายกับในรูปที่ 7.2 แต่จะมีสายพานเพียงชั้นเดียว ค่าตัวแปรเสริมต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองกระบวนการ แสดงอยู่ในตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 ค่าของตัวแปรเสริมต่างๆ ที่ใช้การจำลองกระบวนการเพื่อหาขนาดเครื่องอบแห้งสายพานแบบชั้นเดียว

ลักษณะสมบัติของวัสดุชื้น		
อุณหภูมิวัสดุขาเข้า	30	องศาเซลเซียส
อัตราการไหลเชิงมวล	180	กิโลกรัมต่อชั่วโมงต่อ 1 เซลล์
อัตราส่วนความชื้นวิกฤต	1	กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมวัสดุแห้งสนิท (ค่าสมมติ)
อัตราส่วนความชื้นเริ่มต้น	0.47	กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมวัสดุแห้งสนิท
ความร้อนจำเพาะของวัสดุแห้ง	0.3	กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมวัสดุแห้งต่อองศาเซลเซียส
พื้นที่ผิวของวัสดุ	0.023	ตารางเมตรต่อชิ้นวัสดุ
จำนวนชิ้นตัวอย่างในหนึ่งชั้น	42	ชิ้น (10 ชั้นต่อ 1 เซลล์)
ปริมาตรต่อชั้น	0.056784	ตารางเมตร
ค่าการนำความร้อนของวัสดุ	2.5	กิโลแคลอรีต่อเมตรต่อชั่วโมงต่อองศาเซลเซียส
ลักษณะสมบัติของอากาศชื้น		
ความชื้นเริ่มต้นของอากาศ	0.015	กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง
ความร้อนจำเพาะของไอน้ำ	0.45	กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมไอน้ำต่อองศาเซลเซียส
ความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง	0.24	กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมอากาศแห้งต่อองศาเซลเซียส
ความร้อนจำเพาะของน้ำ	1.0	กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมน้ำต่อองศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เงื่อนไขของการจำลองกระบวนการ

ความชื้นของวัสดุที่ออกจากเครื่องไม่เกิน	0.15	กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมวัสดุแห้งสนิท
อุณหภูมิของวัสดุมีค่าไม่เกิน	58	องศาเซลเซียส
จำนวนชั้นที่ซ้อนกันบนสายพาน	10	ชั้น (จำนวนตะแกรงบนเซลล์)

ตัวแปรที่ทำการเปลี่ยนแปลงเพื่อหาขนาดที่เหมาะสม ได้แก่

- ความเร็วลมที่ 0.3, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2 เมตรต่อวินาที
- อุณหภูมิลมร้อนที่เข้า 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส

ผลการจำลองกระบวนการที่ได้สรุปได้ดังตาราง 8.2

ในการจำลองกระบวนการโดยทำการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนอัตราส่วนความชื้นลดลงจนถึงร้อยละ 15 พบว่าอุณหภูมิของวัสดุจะขึ้นสูงสุดที่ 58 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการทดลองในชุดทดลองแบบงวดขนาดเล็กพบว่าถ้าอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส วัสดุจะมีอุณหภูมิสูงถึง 60 องศาเซลเซียสและจะกลายเป็นเจลลาติน ดังนั้นในการจำลองกระบวนการจึงได้กำหนดให้อุณหภูมิสูงสุดของวัสดุมีค่าไม่เกิน 58 องศาเซลเซียส (สำหรับกระดูกอัด 12 นิ้ว) ดังนั้นถ้าอุณหภูมิขึ้นเกิน 58 องศาเซลเซียสจะถือว่าการอบแห้งนั้นทำให้กระดูกอัดเสียสภาพไป อนึ่งผลที่แสดงในตารางนั้นจะเป็นการเปลี่ยนแปลงจำนวนเซลล์ที่จะทำให้ได้อัตราส่วนความชื้นในวัสดุไม่เกินร้อยละ 15

จากค่าจำนวนเซลล์ที่ได้สามารถนำมาคำนวณหาค่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและความยาวของสายพานได้ ดังนี้

$$\theta = jL^{*} A_x \rho_{bs} / W_s \qquad (8.1)$$

ในการทำการจำลองกระบวนการนี้เวลาที่ใช้จะแปรผันกับจำนวนเซลล์ที่ต้องใช้ และระยะทางของสายพานจะมีค่าเท่ากับจำนวนเซลล์คูณด้วยความยาวของเซลล์ (0.64 เมตร) พบว่าในสภาวะที่อุณหภูมิลมร้อน 55 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที จะเป็นสภาวะที่จำต้องใช้ระยะสายพานสั้นสุด คือ 33.28 เมตร และวัสดุไม่มีการเสียรูป เนื่องจากเมื่อความเร็วลมสูงขึ้นมีผลให้ค่าอัตราการอบแห้งสูงเพราะที่ความเร็วลมสูงขึ้นมีผลทำให้ค่า R_c ที่ได้มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วยส่งผลให้ค่า R_d มีค่าสูงขึ้น แต่เนื่องจากการอบแห้งที่ความเร็วลมที่สูงขึ้นอาจเกิดปรากฏการณ์ที่ผิวชั้นนอกมีการแห้งและแข็งกระด้างขึ้นเหมือนกับที่ทำการทดลองในบทที่ 6 ดังนี้ความเร็วที่เหมาะสม

คือที่ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิลมร้อน 55 องศาเซลเซียส ซึ่งจะใช้เวลาในการอบ 78 ชั่วโมง และระยะสายพาน คือ 49.92 เมตร

8.1.2 สายพานลำเลียงแบบ 3 ชั้น

มีลักษณะเหมือนกับรูปที่ 7.2 ค่าตัวแปรเสริมต่างๆ จะเหมือนกับสายพานแบบชั้นเดียว (ในตารางที่ 8.1) และตัวแปรที่ทำการเปลี่ยนแปลงเพื่อหาขนาดที่เหมาะสม ได้แก่

- ความเร็วลมที่ 0.3, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2 เมตรต่อวินาที
- อุณหภูมิลมร้อนที่เข้า 50, 60 และ 65 องศาเซลเซียส

ผลการจำลองกระบวนการที่ได้แสดงในตารางที่ 8.3

พบว่าสภาวะที่ให้ค่าความยาวของสายพานสั้นสุด คือ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที ซึ่งจะใช้สายพานยาวเพียง 10.24 เมตร (ระยะสายพานรวมทั้งหมดเท่ากับ 30.72 เมตร) จะพบว่ามีระยะสั้นกว่าสายพานแบบชั้นเดียวเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้มีค่าที่สูงกว่าแบบชั้นเดียวได้ เพราะลมร้อนที่ผ่านจากสายพานชั้นบนลงมาข้างล่างอุณหภูมิของลมร้อนจะลดลงและความชื้นเพิ่มขึ้น ทำให้วัสดุชั้นล่างมีอุณหภูมิไม่เพิ่มขึ้นสูงจนเสียสภาพไป อนึ่งลมร้อนที่สูงในช่วงแรกจะมีผลทำให้อัตราการระเหยของวัสดุมีค่ามาก ส่งผลให้ระยะของสายพานรวมสั้นกว่าสายพานแบบชั้นเดียว แต่ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับสายพานลำเลียงชั้นเดียว สภาวะที่เหมาะสมจริง คือ ที่ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ซึ่งจะใช้สายพานยาว 16 เมตร (ระยะสายพานทั้งหมด 48 เมตร) ระยะเวลาในการอบ 75 ชั่วโมง

จากการปรึกษากับบริษัทที่มีประสบการณ์ในการออกแบบและจัดสร้างเครื่องอบแห้งพบว่าถ้าจะทำการจัดสร้างเครื่องอบแห้งแบบสายพานลำเลียงข้างต้น จะพบปัญหาในทางปฏิบัติ คือ เป็นการยากที่จะกระจายลมร้อนให้มีความสม่ำเสมอตลอดพื้นที่บนสายพานและทั่วถึงแต่ละตะแกรงในเซลล์ นอกจากนี้จากความจุของเครื่องที่ออกแบบมานั้นจะพบว่าน้ำหนักของวัสดุที่อยู่บนสายพานมีค่ามากซึ่งจะทำให้โครงสร้างของเครื่องมีขนาดใหญ่และต้นทุนสูงตามไปด้วย

ตารางที่ 8.2 ผลการจำลองกระบวนการเครื่องอบแห้งแบบสายพานลำเลียงแบบชั้นเดียว

อุณหภูมิที่ทางเข้า (°C)	ความเร็วลม (m/s)	อุณหภูมิวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิวัสดุสูงสุด (°C)	ความชื้นอากาศที่ออกจากเครื่องเฉลี่ย	อัตราส่วนความชื้นวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย	ผลต่างของความชื้นสูงสุดและต่ำสุดของวัสดุขาออก	จำนวนเซลล์	หมายเหตุ
50	0.3	48.3	48.4	0.0153	0.1460	0.0091	162	✓
	0.5	48.3	48.4	0.0153	0.1470	0.0080	126	✓
	1.0	48.3	48.4	0.0152	0.1460	0.0069	91	✓
	1.5	48.3	48.4	0.0152	0.1455	0.0066	72	✓
	2.0	48.3	48.4	0.0151	0.1455	0.0064	60	✓
55	0.3	52.9	53.1	0.0154	0.1473	0.0031	140	✓
	0.5	53.0	53.1	0.0153	0.1483	0.0019	109	✓
	1.0	53.0	53.1	0.0152	0.1492	0.0011	78	✓
	1.5	53.0	53.1	0.0152	0.1489	0.0008	62	✓
	2.0	53.1	53.1	0.0152	0.1480	0.0008	52	✓
60	0.3	57.7	57.9	0.0155	0.1476	0.0022	127	✗
	0.5	57.7	57.9	0.0154	0.1486	0.0015	99	✗
	1.0	57.8	57.9	0.0152	0.1491	0.0009	71	✗
	1.5	57.8	57.9	0.0152	0.1479	0.0006	57	✗
	2.0	57.8	57.9	0.0152	0.1495	0.0006	47	✗

หมายเหตุ ✓ สามารถใช้สภาวะนี้อบแห้งได้

✗ ไม่สามารถใช้สภาวะนี้อบแห้งได้เนื่องจากอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ขึ้นถึง 58 °C

ตารางที่ 8.3 ผลการจำลองกระบวนการของเครื่องอบแห้งแบบสายพานลำเลียงแบบ 3 ชั้น

อุณหภูมิที่ทางเข้า (°C)	ความเร็วลม (m/s)	อุณหภูมิวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิวัสดุสูงสุด (°C)	ความชื้นอากาศที่ออกจากเครื่องเฉลี่ย	อัตราส่วนความชื้นวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย	ผลต่างของความชื้นสูงสุดและต่ำสุดของวัสดุขาออก	จำนวนเซลล์ต่อชั้น	หมายเหตุ
50	0.3	46.9	47.1	0.0160	0.1472	0.0036	57	✓
	0.5	47.2	47.4	0.0158	0.1466	0.0039	44	✓
	1.0	47.6	47.7	0.0155	0.1473	0.0027	31	✓
	1.5	47.8	47.9	0.0155	0.1434	0.0028	25	✓
	2.0	47.8	47.9	0.0155	0.1420	0.0026	21	✓
60	0.3	55.9	56.1	0.0163	0.1480	0.0017	44	✓
	0.5	56.4	56.5	0.0160	0.1489	0.0004	34	✓
	1.0	56.9	57.0	0.0157	0.1439	0.0012	25	✓
	1.5	57.0	57.1	0.0156	0.1421	0.0005	20	✓
	2.0	57.1	57.2	0.0155	0.1479	0.0006	16	✓
65	0.3	60.4	60.7	0.0165	0.1470	0.0037	40	✗
	0.5	60.9	61.1	0.0161	0.1468	0.0015	31	✗
	1.0	61.5	61.5	0.0158	0.1468	0.0005	22	✗
	1.5	61.7	61.8	0.0157	0.1421	0.0009	18	✗
	2.0	61.8	61.9	0.0156	0.1416	0.0010	15	✗

หมายเหตุ ✓ สามารถใช้สภาวะนี้อบแห้งได้

✗ ไม่สามารถใช้สภาวะนี้อบแห้งได้เนื่องจากอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ขึ้นถึง 58 °C

8.2 <u>เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ที่ลมไหลตัดขวาง</u>

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งเงื่อนไขการทำการจำลองกระบวนการของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ออกได้เป็น 2 กรณี คือ

8.2.1 แบบที่มีการสลับทิศทางการไหลลมร้อนเป็นช่วงๆ

ลักษณะของเครื่องจะเหมือนในรูปที่ 7.4 โดยตัวแปรเสริมในการทำการจำลองกระบวนการเป็นดังแสดงในตารางที่ 8.4

ตารางที่ 8.4 ค่าของตัวแปรเสริมต่างๆ ที่ใช้จำลองกระบวนการเพื่อหาขนาดเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลตัดขวาง

ลักษณะสมบัติของวัสดุชื้น

อุณหภูมิวัสดุขาเข้า	30	องศาเซลเซียส
อัตราการไหลเชิงมวล	180	กิโลกรัมต่อชั่วโมง ต่อ 1 รถเข็น
อัตราส่วนความชื้นวิกฤต	1	กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมวัสดุแห้งสนิท
อัตราส่วนความชื้นเริ่มต้น	0.47	กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมวัสดุแห้งสนิท
ความร้อนจำเพาะของวัสดุแห้ง	0.3	กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมวัสดุแห้งต่อองศาเซลเซียส
พื้นที่ผิวของวัสดุ	0.023	ตารางเมตรต่อชิ้น
จำนวนชิ้นตัวอย่างในหนึ่งถาด	27	ชิ้น
ความสูงของชั้น	0.1	เมตร
ค่าการนำความร้อนของวัสดุ	2.5	กิโลแคลอรีต่อเมตรต่อชั่วโมงต่อองศาเซลเซียส

ลักษณะสมบัติของอากาศชื้น

ความชื้นเริ่มต้นของอากาศ	0.015	กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง
ความร้อนจำเพาะของไอน้ำ	0.45	กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมไอน้ำต่อองศาเซลเซียส
ความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง	0.24	กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมอากาศแห้งต่อองศาเซลเซียส
ความร้อนจำเพาะของน้ำ	1.0	กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมน้ำต่อองศาเซลเซียส

เงื่อนไขของการจำลองกระบวนการ

ความชื้นของวัสดุที่ออกจากเครื่องไม่เกิน	0.15	กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมวัสดุแห้งสนิท
อุณหภูมิของวัสดุมีค่าไม่เกิน	58	องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จำนวนถาดต่อรถเข็น	16	ถาด
ขนาดของถาดก้นตะแกรง	1X1	ตารางเมตร

ตัวแปรที่ทำการเปลี่ยนแปลงเพื่อหาขนาดที่เหมาะสม ได้แก่

- ความเร็วลมที่ 1.0, 1.5 และ 2 เมตรต่อวินาที
- อุณหภูมิลมร้อนที่เข้า 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส แต่ละช่วง
- อัตราส่วนการหมุนเวียนลมร้อนที่ต้องการความยาวของอุโมงค์เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด

ในการทำการจำลองกระบวนการนี้จะแบ่งช่วงในอุโมงค์ออกเป็น 2 ช่วง โดยในแต่ละช่วงจะใช้ความเร็วลมเท่ากันแต่จะตั้งอุณหภูมิและอัตราการหมุนเวียนลมเป็นอิสระต่อกัน วัสดุถูกบรรจุอยู่บนถาดก้นตะแกรงที่วางซ้อนกัน 16 ชั้นบนรถเข็น ในแต่ละช่วงจะมีจำนวนรถเข็นที่วางถาดจำนวนเท่ากัน (ความยาวอุโมงค์แต่ละช่วงเท่ากัน) ผลการจำลองกระบวนการที่อัตราการหมุนเวียนลมที่แสดงให้ดูในตารางที่ 8.5 นั้น จะเป็นค่าที่สามารถหมุนเวียนลมได้มากสุดโดยไม่ทำให้อุณหภูมิวัสดุเกิน 58 องศาเซลเซียส และระยะทางในอุโมงค์สั้นที่สุด

จากผลการจำลองกระบวนการแสดงในตารางที่ 8.5 พบว่าในแง่ของความเร็วลมนั้น เมื่อความเร็วลมมีค่าสูงขึ้นจะมีผลให้ระยะทางในการอบแห้งมีค่าน้อยลง ในแง่ของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบนั้นเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น ระยะทางที่ใช้ในการอบจะสั้นลง แต่ถ้าใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงเกินไป (65 องศาเซลเซียส) แม้จะใช้ระยะทางในการอบแห้งสั้นแต่จะไม่สามารถใช้ในการอบแห้งได้โดยไม่มีการหมุนเวียนลม เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงนั้นอุณหภูมิของวัสดุจะเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน จึงมีโอกาสที่จะทำให้วัสดุเสียสภาพไปได้ (เกิน 58 องศาเซลเซียส) ส่วนผลของการหมุนเวียนลมร้อนนั้นจะมีผลในแง่ของการประหยัดพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งและจะช่วยลดอุณหภูมิของลมร้อนใหม่ที่เข้ามาผสมกันซึ่งจะช่วยลดโอกาสที่วัสดุจะเสียสภาพได้ด้วย สภาวะที่เหมาะสมที่สุด (ระยะทางในการอบแห้งสั้นสุด) คือ การอบแห้งด้วยความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิลมร้อนทั้งสองช่วง 60 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนการหมุนเวียนลมร้อน 0.4 และ 0.9 ตามลำดับ โดยจะให้ระยะทางในการอบแห้งเท่ากับ 30 เมตร เวลาในการอบแห้ง 30 ชั่วโมง และด้วยเหตุผลด้านความเร็วลมที่ได้อธิบายไว้ใน 6.2.3 จึงเลือกที่ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียสทั้งสองช่วงใช้อัตราการหมุนเวียนลมร้อน 0.3 และ 0.9 ตามลำดับ ใช้เวลาในการอบแห้ง 46 ชั่วโมง และระยะความยาวของอุโมงค์ 46 เมตร

ตารางที่ 8.5 ผลการจำลองกระบวนการของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ที่ลมไหลตัดและมีการสลับทิศทางของลมร้อน

ความเร็วลม (m/s)	ตำแหน่งช่วงในอุโมงค์	อุณหภูมิที่ทางเข้า (°C)	อัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง	อุณหภูมิวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิวัสดุสูงสุด (°C)	ความชื้นอากาศที่ออกจากเครื่องเฉลี่ย	อัตราส่วนความชื้นวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย	ผลต่างของความชื้นสูงสุดและต่ำสุดของวัสดุขาออก	จำนวนรถเข็นต่อช่วง	หมายเหตุ
2.0	1	65	0.0	61.0	61.1	0.0153	0.2360	0.0013		
	2	65	0.0	62.6	62.7	0.0151	0.1416	0.0006	14	✗
	1	65	0.0	61.2	61.3	0.0153	0.2274	0.0012		
	2	60	0.0	57.9	58.0	0.0151	0.1397	0.0007	15	✗
	1	65	0.6	53.9	54.0	0.0181	0.2480	0.0006		
	2	60	0.9	57.6	57.7	0.0152	0.1473	0.0003	16	✓
	1	65	0.0	61.2	61.3	0.0153	0.2274	0.0012		
	2	55	0.0	53.1	53.1	0.0151	0.1457	0.0007	15	✗
	1	65	0.4	56.5	56.6	0.0171	0.2382	0.0009		
	2	55	0.9	52.9	53.0	0.0152	0.1481	0.0005	16	✓
	1	60	0.0	56.3	56.4	0.0152	0.2417	0.0005		
	2	60	0.0	57.8	57.9	0.0151	0.1484	0.0003	15	✓
	1	60	0.4	56.1	56.2	0.0153	0.2419	0.0009		
	2	60	0.9	57.6	57.7	0.0152	0.1486	0.0005	15	✓
	1	60	0.0	56.5	56.6	0.0152	0.2338	0.0005		
	2	55	0.0	53.1	53.2	0.0151	0.1454	0.0003	16	✓
	1	60	0.5	55.1	55.2	0.0158	0.2387	0.0004		
	2	55	0.9	52.9	53.0	0.0152	0.1484	0.0002	16	✓
	1	55	0.0	51.8	51.9	0.0152	0.2375	0.0009		
	2	55	0.0	53.1	53.2	0.0151	0.1433	0.0005	17	✓
	1	55	0.6	50.6	50.7	0.0157	0.2425	0.0006		
	2	55	0.9	52.9	53.0	0.0152	0.1463	0.0003	17	✓

ตารางที่ 8.5 (ต่อ)

ความเร็วลม (m/s)	ตำแหน่งช่วงในอุโมงค์	อุณหภูมิที่ทางเข้า (°C)	อัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง	อุณหภูมิวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิวัสดุสูงสุด (°C)	ความชื้นอากาศที่ออกจากเครื่องเฉลี่ย	อัตราส่วนความชื้นวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย	ผลต่างของความชื้นสูงสุดและต่ำสุดของวัสดุขาออก	จำนวนรถเข็นต่อช่วง	หมายเหตุ
1.5	1	65	0.0	60.8	61.0	0.0153	0.2419	0.0015		
	2	65	0.0	62.5	62.6	0.0151	0.1485	0.0007	16	✗
	1	65	0.4	55.4	55.6	0.0176	0.2378	0.0009		
	2	65	0.9	57.9	57.9	0.0172	0.1406	0.0005	20	✓
	1	65	0.0	61.0	61.2	0.0153	0.2345	0.0015		
	2	60	0.0	57.8	57.9	0.0151	0.1478	0.0009	17	✗
	1	65	0.5	54.1	54.2	0.0181	0.2489	0.0009		
	2	60	0.9	57.6	57.7	0.0152	0.1484	0.0003	19	✓
	1	65	0.3	56.6	56.8	0.0171	0.2391	0.0009		
	2	55	0.0	53.0	53.1	0.0151	0.1492	0.0005	19	✓
	1	65	0.3	56.6	56.8	0.0171	0.2391	0.0009		
	2	55	0.9	52.9	52.9	0.0152	0.1492	0.0005	19	✓
	1	60	0.0	56.3	56.5	0.0153	0.2416	0.0007		
	2	60	0.0	57.8	57.9	0.0151	0.1481	0.0004	18	✓
	1	60	0.3	56.1	56.2	0.0153	0.2417	0.0011		
	2	60	0.9	57.6	57.7	0.0152	0.1483	0.0006	18	✓

ตารางที่ 8.5 (ต่อ)

ความเร็วลม (m/s)	จำนวนช่องตลอดสายพาน	อุณหภูมิที่ทางเข้า (°C)	อัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง	อุณหภูมิวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิวัสดุสูงสุด (°C)	ความชื้นอากาศที่ออกจากเครื่องเฉลี่ย	อัตราส่วนความชื้นวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย	ผลต่างของความชื้นสูงสุดและต่ำสุดของวัสดุขาออก	จำนวนรถเข็นต่อช่วง	หมายเหตุ
1.5	1	60	0.0	56.4	56.6	0.0153	0.2349	0.0007		
	2	55	0.0	53.1	53.1	0.0151	0.1465	0.0004	19	✓
	1	60	0.4	54.9	55.1	0.0159	0.2399	0.0007		
	2	55	0.8	52.9	52.9	0.0152	0.1497	0.0003	19	✓
1.0	1	65	0.0	60.8	61.0	0.0154	0.2421	0.0021		
	2	65	0.0	62.5	62.6	0.0151	0.1484	0.0010	20	✗
	1	65	0.3	55.3	55.5	0.0176	0.2435	0.0013		
	2	65	0.9	57.7	57.8	0.0173	0.1471	0.0007	24	✓
	1	65	0.0	61.1	61.3	0.0153	0.2302	0.0020		
	2	60	0.0	57.8	57.9	0.0151	0.1429	0.0012	22	✗
	1	65	0.4	54.1	54.2	0.0181	0.2484	0.0009		
	2	60	0.9	57.5	57.6	0.0152	0.1474	0.0005	24	✓

ตารางที่ 8.5 (ต่อ)

ความเร็วลม (m/s)	จำนวนช่วงตลอดสายพาน	อุณหภูมิที่ทางเข้า (°C)	อัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง	อุณหภูมิวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิวัสดุสูงสุด (°C)	ความชื้นอากาศที่ออกจากเครื่องเฉลี่ย	อัตราส่วนความชื้นวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย	ผลต่างของความชื้นสูงสุดและต่ำสุดของวัสดุขาออก	จำนวนรถเข็นต่อช่วง	หมายเหตุ
	1	60	0.0	56.3	56.5	0.0153	0.2394	0.0011		
	2	60	0.0	57.8	57.9	0.0151	0.1453	0.0006	23	✓
	1	60	0.3	54.9	55.1	0.0159	0.2443	0.0009		
	2	60	0.9	57.5	57.6	0.0152	0.1483	0.0004	23	✓
	1	60	0.0	56.4	56.6	0.0153	0.2341	0.0011		
	2	55	0.0	53.1	53.1	0.0151	0.1457	0.0006	24	✓

หมายเหตุ

✓ สามารถใช้สภาวะนี้อบแห้งได้

✗ ไม่สามารถใช้สภาวะนี้อบแห้งได้เนื่องจากอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ขึ้นถึง 58 °C

8.2.2 แบบที่ไม่มีการสลับทิศทางการไหลของลมร้อน

ลักษณะของเครื่องจะคล้ายกับรูปที่ 7.4 แต่จะไม่มีการสลับทิศทางของลมร้อนนั้นคือลมร้อนจะไหลจากซ้ายไปขวา (หรือขวาไปซ้าย) ตลอดช่วงความยาวของอุโมงค์ ค่าตัวแปรเสริมและตัวแปรต่างๆ จะเหมือนกับเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลตัดที่มีการสลับทิศทางลม ผลที่ได้เป็นดังแสดงในตารางที่ 8.6

ผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการในตารางที่ 8.6 จะมีแนวโน้มเหมือนกับเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ที่ลมไหลตัดและมีการสลับทิศทางลม แต่จะมีการกระจายของความชื้นในผลิตภัณฑ์ด้อยกว่าซึ่งสังเกตได้จากค่าผลต่างของความชื้นสูงสุดและต่ำสุดของวัสดุขาออกซึ่งจะมีค่ามากกว่า แต่เนื่องจากความกว้างของอุโมงค์มีค่าไม่สูงมาก (ในการจำลองกระบวนการนี้กำหนดไว้ที่ 1 เมตร) ทำให้การกระจายของความชื้นยังสม่ำเสมออยู่ ค่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกรณีนี้เหมือนกับแบบที่มีการสลับลมร้อนนั้นเอง

ผลสรุปที่ได้อีกประการหนึ่ง คือ อุณหภูมิในช่วงหลังไม่สามารถใช้อุณหภูมิสูงได้ เนื่องจากวัสดุสามารถทนต่อความร้อนได้จำกัด (ประมาณ 58 องศาเซลเซียส) ซึ่งเป็นเหตุให้ไม่มีการทำจำลองกระบวนการของเครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทางกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8.6 ผลการจำลองกระบวนการของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ที่ลมไหลตัดโดยไม่มีการสลับทิศทางของลมร้อน

ความเร็วลม (m/s)	ตำแหน่งช่วงในอุโมงค์	อุณหภูมิที่ทางเข้า (°C)	อัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง	อุณหภูมิวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิวัสดุสูงสุด (°C)	ความชื้นอากาศที่ออกจากเครื่องเฉลี่ย	อัตราส่วนความชื้นวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย	ผลต่างของความชื้นสูงสุดและต่ำสุดของวัสดุขาออก	จำนวนรถเข็นต่อช่วง	หมายเหตุ
2.0	1	65	0.0	61.0	61.1	0.0153	0.2360	0.0013		
	2	65	0.0	62.6	62.7	0.0151	0.1416	0.0009	14	✗
	1	65	0.0	61.2	61.3	0.0153	0.2274	0.0012		
	2	60	0.0	57.9	58.0	0.0151	0.1397	0.0008	15	✗
	1	65	0.6	53.9	54.0	0.0181	0.2480	0.0006		
	2	60	0.9	57.6	57.7	0.0152	0.1473	0.0004	16	✓
	1	65	0.0	61.2	61.3	0.0153	0.2274	0.0012		
	2	55	0.0	53.1	53.2	0.0151	0.1457	0.0008	15	✗
	1	65	0.4	56.5	56.6	0.0171	0.2382	0.0009		
	2	55	0.9	52.9	53.0	0.0152	0.1481	0.0006	16	✓
	1	60	0.0	56.3	56.4	0.0152	0.2417	0.0005		
	2	60	0.0	57.8	57.9	0.0151	0.1484	0.0004	15	✓
	1	60	0.4	56.1	56.2	0.0153	0.2419	0.0009		
	2	60	0.9	57.6	57.7	0.0152	0.1486	0.0006	15	✓
	1	60	0.0	56.5	56.6	0.0152	0.2338	0.0005		
	2	55	0.0	53.1	53.2	0.0151	0.1454	0.0004	16	✓

ตารางที่ 8.6 (ต่อ)

ความเร็วลม (m/s)	ตำแหน่งช่วงในอุโมงค์	อุณหภูมิที่ทางเข้า (°C)	อัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง	อุณหภูมิวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิวัสดุสูงสุด (°C)	ความชื้นอากาศที่ออกจากเครื่องเฉลี่ย	อัตราส่วนความชื้นวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย	ผลต่างของความชื้นสูงสุดและต่ำสุดของวัสดุขาออก	จำนวนรถเข็นต่อช่วง	หมายเหตุ
2.0	1	60	0.5	55.1	55.2	0.0158	0.2387	0.0004		
	2	55	0.9	52.9	53.0	0.0152	0.1484	0.0003	16	✓
	1	55	0.0	51.8	51.9	0.0152	0.2375	0.0009		
	2	55	0.0	53.1	53.2	0.0151	0.1433	0.0006	17	✓
	1	55	0.6	50.6	50.7	0.0157	0.2425	0.0006		
	2	55	0.9	52.9	53.0	0.0152	0.1463	0.0004	17	✓
1.5	1	65	0.0	60.8	61.0	0.0153	0.2419	0.0015		
	2	65	0.0	62.5	62.6	0.0151	0.1485	0.0011	16	✗
	1	65	0.6	54.1	54.3	0.0181	0.2428	0.0006		
	2	65	0.9	57.9	58.0	0.0172	0.1435	0.0004	20	✗
	1	65	0.0	61.0	61.2	0.0153	0.2345	0.0015		
	2	60	0.0	57.8	57.9	0.0151	0.1478	0.0010	17	✗
	1	65	0.5	54.1	54.2	0.0181	0.2489	0.0006		
	2	60	0.9	57.6	57.7	0.0152	0.1484	0.0004	19	✓
	1	65	0.0	61.2	61.3	0.0153	0.2273	0.0015		
	2	55	0.0	53.1	53.2	0.0151	0.1454	0.0010	18	✗

ตารางที่ 8.6 (ต่อ)

ความเร็วลม (m/s)	ตำแหน่งช่วงในอุโมงค์	อุณหภูมิที่ทางเข้า (°C)	อัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง	อุณหภูมิวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิวัสดุสูงสุด (°C)	ความชื้นอากาศที่ออกจากเครื่องเฉลี่ย	อัตราส่วนความชื้นวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย	ผลต่างของความชื้นสูงสุดและต่ำสุดของวัสดุขาออก	จำนวนรถเข็นต่อช่วง	หมายเหตุ
	1	65	0.3	56.6	56.8	0.0171	0.2391	0.0009		
	2	55	0.9	52.9	52.9	0.0152	0.1492	0.0006	19	✓
	1	60	0.0	56.3	56.5	0.0153	0.2416	0.0007		
	2	60	0.0	57.8	57.9	0.0151	0.1481	0.0005	18	✓
	1	60	0.3	56.1	56.2	0.0153	0.2417	0.0011		
	2	60	0.9	57.6	57.7	0.0152	0.1483	0.0007	18	✓
	1	60	0.0	56.4	56.6	0.0153	0.2349	0.0007		
	2	55	0.0	53.1	53.1	0.0151	0.1465	0.0005	19	✓
	1	60	0.4	54.9	55.1	0.0159	0.2399	0.0007		
	2	55	0.8	52.9	52.9	0.0152	0.1497	0.0005	19	✓
1.0	1	65	0.0	60.8	61.0	0.0154	0.2421	0.0021		
	2	65	0.0	62.5	62.6	0.0151	0.1484	0.0015	20	✗
	1	65	0.3	55.3	55.5	0.0176	0.2435	0.0013		
	2	65	0.9	57.7	57.8	0.0173	0.1471	0.0009	24	✓
	1	65	0.0	61.1	61.3	0.0153	0.2302	0.0020		
	2	60	0.0	57.8	57.9	0.0151	0.1429	0.0013	22	✗

ตารางที่ 8.6 (ต่อ)

ความเร็วลม (m/s)	ตำแหน่งช่องในอุโมงค์	อุณหภูมิที่ทางเข้า (°C)	อัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง	อุณหภูมิวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิวัสดุสูงสุด (°C)	ความชื้นอากาศที่ออกจากเครื่องเฉลี่ย	อัตราส่วนความชื้นวัสดุที่ทางออกเฉลี่ย	ผลต่างของความชื้นสูงสุดและต่ำสุดของวัสดุขาออก	จำนวนรถเข็นต่อช่วง	หมายเหตุ
1.0	1	65	0.4	54.1	54.2	0.0181	0.2484	0.0009		
	2	60	0.9	57.5	57.6	0.0152	0.1474	0.0006	24	✓
	1	60	0.0	56.3	56.5	0.0153	0.2394	0.0011		
	2	60	0.0	57.8	57.9	0.0151	0.1453	0.0008	23	✓
	1	60	0.3	54.9	55.1	0.0159	0.2443	0.0009		
	2	60	0.9	57.5	57.6	0.0152	0.1483	0.0006	23	✓
	1	60	0.0	56.4	56.6	0.0153	0.2341	0.0011		
	2	55	0.0	53.1	53.2	0.0151	0.1457	0.0008	24	✓

หมายเหตุ ✓ สามารถใช้สภาวะนี้อบแห้ง

✗ ไม่สามารถใช้สภาวะนี้อบแห้งได้เนื่องจากอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ขึ้นถึง 58 °C

8.3 เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลขนาน

เครื่องอบแห้งแบบไหลขนานจะมีลักษณะดังในรูปที่ 7.5 ในการทำการจำลองกระบวนการมีค่าตัวแปรเสริมต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 8.7 ค่าของตัวแปรเสริมต่างๆ ที่ใช้จำลองกระบวนการเพื่อหาขนาดเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลขนาน

ลักษณะสมบัติของวัสดุชื้น

อุณหภูมิวัสดุขาเข้า	30	องศาเซลเซียส
อัตราการไหลเชิงมวล	180	กิโลกรัมต่อชั่วโมงต่อ 1 รถเข็น
อัตราส่วนความชื้นวิกฤต	1	กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมวัสดุแห้งสนิท
อัตราส่วนความชื้นเริ่มต้น	0.47	กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมวัสดุแห้งสนิท
ความร้อนจำเพาะของวัสดุแห้ง	0.3	กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมวัสดุแห้งต่อองศาเซลเซียส
พื้นที่ผิวของวัสดุ	0.023	ตารางเมตรต่อชิ้น
จำนวนชิ้นตัวอย่างในหนึ่งถาด	27	ชิ้น
ความสูงของชั้นถาด	0.1	เมตร
ค่าการนำความร้อนของวัสดุ	2.5	กิโลแคลอรีต่อเมตรต่อชั่วโมงต่อองศาเซลเซียส

ลักษณะสมบัติของอากาศชื้น

ความชื้นเริ่มต้นของอากาศ	0.015	กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง
ความร้อนจำเพาะของไอน้ำ	0.45	กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมไอน้ำต่อองศาเซลเซียส
ความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง	0.24	กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมอากาศแห้งต่อองศาเซลเซียส
ความร้อนจำเพาะของน้ำ	1.0	กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมน้ำต่อองศาเซลเซียส

เงื่อนไขของการจำลองกระบวนการ

ความชื้นของวัสดุที่ออกจากเครื่องไม่เกิน	0.15	กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมวัสดุแห้ง
อุณหภูมิของวัสดุมีค่าไม่เกิน	58	องศาเซลเซียส
จำนวนถาดก้นตะแกรงต่อรถเข็น	16	ชั้น
ขนาดของถาด	1.5X0.66	ตารางเมตร

ตัวแปรที่ทำการเปลี่ยนแปลงเพื่อหาขนาดที่เหมาะสม ได้แก่

- ความเร็วลมที่ 1.0, 1.5 และ 2 เมตรต่อวินาที
- อุณหภูมิลมร้อนที่เข้า 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส

ผลการจำลองกระบวนการเป็นดังแสดงในตารางที่ 8.8 พบว่าความเร็วลมเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ใช้เวลาในการ อบแห้งลดลง เช่นเดียวกับอุณหภูมิลมร้อน เนื่องจากทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งสูงขึ้น และถ้าทำการหมุนเวียนลมร้อนจะมีผลทำให้ใช้ระยะความยาวของเครื่องยาวมากขึ้นเนื่องจากความชื้นที่ออกจากเครื่องอบแห้งชนิดนี้ค่อนข้างสูงอยู่แล้ว

สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งทั้งสิ้น 48 ชั่วโมง ระยะทางของอุโมงค์ 31.68 เมตร จะเห็นได้ว่าเครื่องอบแห้งแบบนี้จะสามารถใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งได้ เนื่องจากในช่วงแรกสามารถที่จะใช้อุณหภูมิสูงได้โดยที่วัสดุยังไม่เสียสภาพเพราะน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุยังมีปริมาณสูง หลังจากนั้นเมื่อปริมาณของน้ำในวัสดุลดน้อยลง อุณหภูมิลมร้อนก็ลดลงด้วย ทำให้อุณหภูมิทางออกของวัสดุมีค่าไม่สูงมาก

8.4 <u>วิเคราะห์ต้นทุนในการผลิต</u>

เมื่อนำผลการจำลองกระบวนการและขนาดที่ได้ของเครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่องทั้งสามแบบไปปรึกษากับบริษัทที่มีประสบการณ์ในด้านเครื่องอบแห้งได้รับข้อมูลว่าเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลตัดขวางจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ใกล้เคียงกับเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลขนาน และดีกว่าเครื่องอบแห้งแบบสายพานหลายชั้น แต่เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลตัดจะมีข้อดีกว่าในแง่ปฏิบัติที่สามารถควบคุมลักษณะการไหลของลมและการหมุนเวียนลมร้อนได้ง่ายกว่า

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตระหว่างเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลตัดขวางซึ่งเป็นเครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่องกับเครื่องอบแห้งแบบงวดที่ทางโรงงานใช้อยู่ในปัจจุบันดังตารางที่ 8.9

โดยมีสมมติฐานเบื้องต้นในการคำนวณดังนี้

1. ราคาในการก่อสร้างเครื่องอบแห้งสำหรับอัตราการผลิตตามวัตถุประสงค์ ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบงวด 2,000,000 บาท และ เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ที่ลมไหลตัดขวาง 1,475,000 บาท และคิดค่าเสื่อมราคา 10 ปีโดยแต่ละปีมีค่าคงที่

ตารางที่ 8.8 ผลการจำลองกระบวนการของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลขนาน

ความเร็วลม (m/s)	อุณหภูมิที่ทางเข้า (°C)	อุณหภูมิวัสดุที่ทางออก (°C)	อุณหภูมิวัสดุสูงสุด (°C)	ความชื้นอากาศที่ออกจากเครื่อง	อัตราส่วนความชื้นวัสดุที่ทางออก	จำนวนรถเข็นในอุโมงค์	ระยะความยาวของอุโมงค์ (m)	หมายเหตุ
1.0	70	50.6	53.0	0.0219	0.1491	48	31.68	✓
	65	46.4	49.3	0.0218	0.1485	55	36.30	✓
	60	42.3	45.6	0.0216	0.1496	66	43.56	✓
1.5	70	55.4	56.0	0.0196	0.1472	34	22.44	✓
	65	51.1	51.9	0.0195	0.1465	38	25.08	✓
	60	46.9	47.9	0.0194	0.1492	42	27.72	✓
2.0	70	57.9	57.9	0.0184	0.1499	26	17.16	✓
	65	53.6	53.9	0.0184	0.1454	30	19.80	✓
	60	49.4	49.7	0.0183	0.1468	33	21.78	✓

หมายเหตุ ✓ สามารถใช้สภาวะนี้อบแห้ง

✗ ไม่สามารถใช้สภาวะนี้อบแห้งได้เนื่องจากอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ขึ้นถึง 58 °C

2. ค่าแรงงานสำหรับเครื่องอบแห้งแบบงวดจะมากกว่าเครื่องอบแห้งแบบสายพานอุโมงค์ที่ลมไหลตัดขวางอยู่ 1.5 เท่า โดยในการเดินเครื่อง 1 ชั่วโมงสำหรับเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลที่ลมไหลตัดขวางใช้แรงงานคิดเป็น 15 นาที
3. ค่าไฟฟ้าคิดจากมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในการหมุนเวียนลม สำหรับแบบอุโมงค์ที่ลมไหลตัดขวางเท่ากับ 23.24 กิโลวัตต์ และสำหรับเครื่องอบแห้งแบบงวดเท่ากับ 32.07 กิโลวัตต์ โดยมีราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย 2.12 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง (เวลาในการเดินเครื่องทั้งหมด 7920 ชั่วโมงต่อปี)
4. ค่าพลังงานความร้อนคิดจากพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำทั้งหมดออกจากวัสดุซึ่งจะใช้พลังงานเฉลี่ย เท่ากับ 28.3 กิโลวัตต์

จากตารางที่ 8.9 จะพบว่าต้นทุนรวมในการผลิตของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลตัดขวางจะให้ต้นทุนรวมในการผลิตต่อปีต่ำกว่าเครื่องอบแห้งแบบงวดเล็กน้อย นอกจากนี้เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลตัดขวางยังประหยัดเนื้อที่ในการติดตั้งเครื่องมากกว่าเครื่องอบแห้งแบบงวดถึงสองเท่า แต่สำหรับเครื่องอบแห้งแบบงวดจะมีความยืดหยุ่นกว่าเมื่อวัสดุที่จะอบมีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดใช้สภาวะในการอบที่แตกต่างกันมาก

ตารางที่ 8.9 ต้นทุนในการผลิตต่อปีของเครื่องอบแห้งแบบงวดและเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ไหลตัดขวาง

รายการต้นทุนในการผลิต	เครื่องอบแห้งแบบงวด[1]	เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ที่ลมไหลตัดขวาง[2]
1. ค่าเสื่อมราคา (คิดร้อยละ 10 ต่อปี)	200,000	147,500
2. ค่าแรงงาน[3]	18,150	12,100
3. ค่าไฟฟ้า[4]	538,548	392,312
4. ค่าพลังงานความร้อน[5]	946,668	946,668
5. ค่าซ่อมบำรุง[6]	40,000	29,500
รวม	1,743,366	1,528,080

หมายเหตุ [1] จากข้อมูลของทางบริษัท เวิลด์เพ็ทอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

[2] จากข้อมูลของบริษัท ร็อคฮีท เอ็นจิเนียริ่ง อินดัสทรี่ จำกัด

[3] คิดจากค่าแรงขั้นต่ำที่ใช้ คือ 165 บาทต่อวัน (8 ชั่วโมง)

[4] คิดจากกำลัง (kW) ของมอเตอร์ที่ต้องใช้

[5] คิดจากความร้อนทั้งหมดที่ต้องใช้ในการระเหยน้ำจากวัสดุโดยกำหนดประสิทธิภาพรวมของพลังงานเท่ากับร้อยละ 50 ทั้งสองแบบ

[6] คิดเท่ากับ 0.02 ของค่าก่อสร้างเครื่องต่อปี