

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลองเพื่อศึกษาวิเคราะห์หา ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน โดยรวม ในรูปแบบสมการจลนศาสตร์ของการ อบแห้งทางทฤษฎี ค่าคงที่ของการอบแห้ง ในรูปแบบสมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งกึ่งทฤษฎี และเอมไพริคัลของพอร์ซเลนเซรามิก การสร้างกราฟมาตรฐานการอบแห้งสำหรับอุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาและพอร์ซเลนเซรามิก พร้อมทั้งวิเคราะห์ประเมินอัตราการใช้และสมมูลพลังงาน และศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิความร้อน กับความเร็วลมร้อนภายในห้องอบแห้ง ที่มีผลต่อเวลาการอบแห้ง กระเบื้องดินเผาและพอร์ซเลนเซรามิก ซึ่งได้ผลดังต่อไปนี้

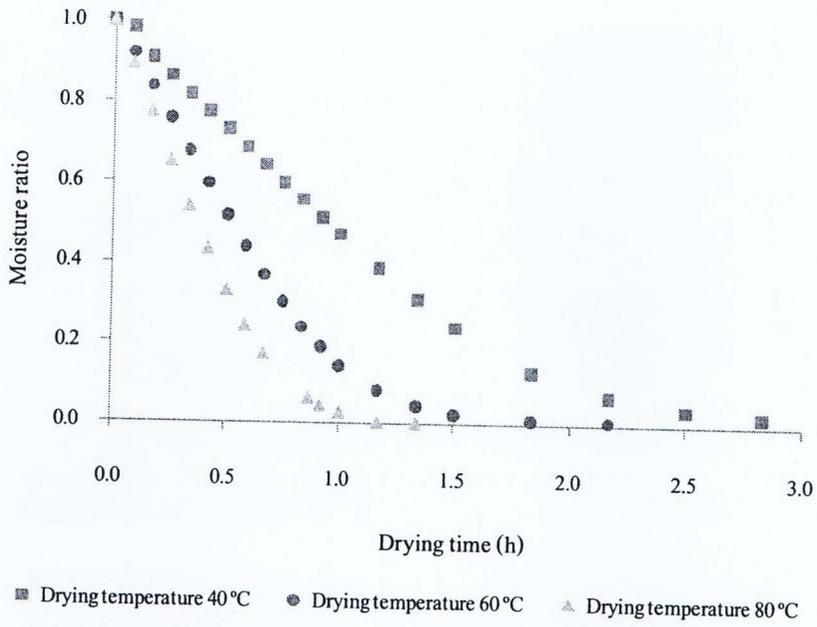
4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนโดยรวม และค่าคงที่การอบแห้ง

จากการทดลองหาอัตราการอบแห้งของพอร์ซเลนเซรามิก ที่มีความหนา 2, 4 และ 6 mm ที่อุณหภูมิความร้อน 40 , 60 และ 80 °C และความเร็วลมร้อน 0.7, 1.4 และ 2.4 m/s และ ซึ่งข้อมูลการทดลองได้แก่ น้ำหนักตัวอย่าง ความหนาตัวอย่าง อุณหภูมิความร้อน ความเร็วลมร้อน และความชื้นของชิ้นงานตัวอย่าง (ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ข) เมื่อนำข้อมูลผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์สมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งในรูปแบบสมการทางทฤษฎี สมการกึ่งทฤษฎี และสมการเอมไพริคัล เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน โดยรวมและค่าคงที่ในสมการต่างๆ กับอุณหภูมิความร้อน และความเร็วลมร้อน โดยใช้รูปแบบสมการต่างๆ ได้ผลดังต่อไปนี้

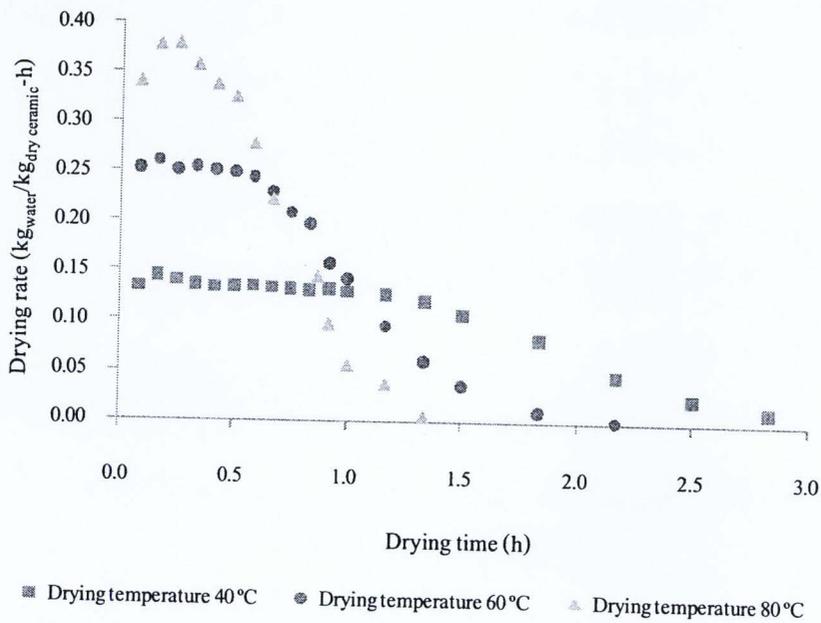
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนความร้อนและอัตราการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก

เมื่อนำผลการทดลองอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก มาวิเคราะห์หาอัตราส่วนความร้อนและอัตราการอบแห้ง พบว่าการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก จะมีช่วงอัตราการอบแห้งคงที่สั้นมาก เมื่อเทียบกับช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำในเนื้อพอร์ซเลนเซรามิกมีจำนวนน้อยประมาณ 22 – 25% dry-basis ดังนั้นจึงทำให้ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ

รูปที่ 4.1 และ 4.2 เป็นการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก หนา 6 mm ที่ความเร็วลมร้อน 0.7 m/s และอุณหภูมิความร้อน 40, 60 และ 80 °C ตามลำดับ พบว่ามีช่วงอัตราการอบแห้งแบบคงที่น้อยมากเมื่อเทียบกับอัตราการอบแห้งแบบลดลงดังนั้นจึงถือว่าการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก ของ



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้น อุณหภูมิอบแห้ง กับเวลา ที่ได้จากการทดลองอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก หนา 6 mm ที่ความเร็วลมร้อน 0.7 m/s



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง กับเวลา ที่ได้จากการทดลองอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก หนา 6 mm ที่ความเร็วลมร้อน 0.7 m/s

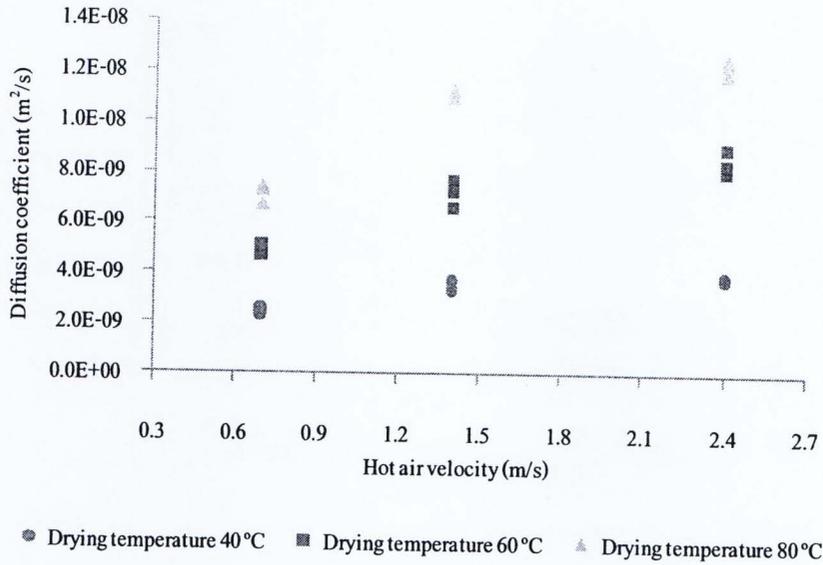
การทดลองนี้ไม่มีช่วงอัตราการอบแห้งแบบคงที่ โดยอัตราการอบแห้งจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลาอบแห้งเพิ่มมากขึ้นเนื่องจาก ช่วงแรกจะเกิดการระเหยของน้ำที่ผิวซึ่งสามารถระเหยได้ง่าย และเมื่อน้ำที่ผิวเริ่มลดลงก็จะเหลือน้ำในโครงสร้างจะระเหยได้ยากขึ้นจึงส่งผลทำให้อัตราการอบแห้งเริ่มลดลงเรื่อยๆ จนเข้าใกล้ศูนย์

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม รูปแบบสมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งทางทฤษฎี

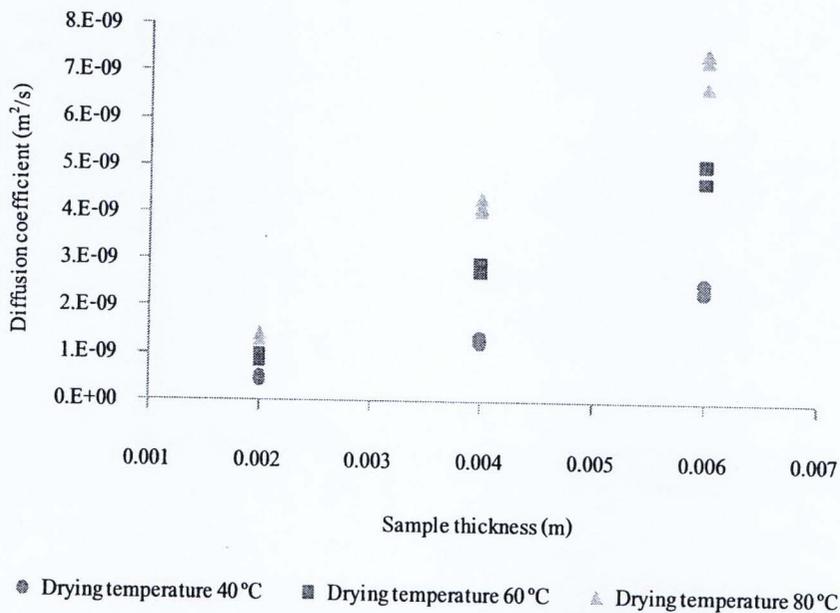
การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวมที่เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ โดยนำผลการทดลองในช่วงการอบแห้งลดลงมาวิเคราะห์สมการถดถอยโดยใช้สมการ (2.5) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมที่แต่ละการทดลอง (แสดงค่าในตาราง 4.1) นำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ค่าความแตกต่างโดยใช้ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่า อุณหภูมิลมร้อน ความหนาชิ้นงาน เป็นตัวแปรที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม และในส่วนของความเร็วลมร้อนในช่วง 0.7 - 1.4 m/s ก็เป็นตัวแปรที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมเช่นกัน แต่ที่ความเร็วลมร้อนในช่วง 1.4 - 2.4 m/s ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม ที่ไม่แตกต่างกัน

จาก รูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมที่ได้จากการทดลองของการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก ขนาดความหนา 6 mm กับอุณหภูมิลมร้อนและความเร็วลมร้อน โดยจากการดูแนวโน้มของข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมดังกล่าวพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิลมร้อน และความเร็วลมร้อนของการอบแห้ง โดยเมื่ออุณหภูมิลมร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิลมร้อนที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้อุณหภูมิของน้ำในพอร์ซเลนเซรามิกเพิ่มขึ้น โมเลกุลของน้ำในวัสดุได้รับพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นการแพร่ของน้ำในพอร์ซเลนเซรามิกจึงเป็นไปได้ง่าย ในขณะที่ความเร็วลมร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน แต่ในช่วงความเร็วลมร้อน 1.4 - 2.4 m/s มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมไม่แตกต่างกัน สำหรับผลการทดลองที่ขนาดความหนาของชิ้นงานเท่ากับ 2 และ 4 mm ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน

รูปที่ 4.4 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมกับความหนาของชิ้นงาน โดยเมื่อความหนาของชิ้นงานเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมก็จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากถ้าความหนาเพิ่มมากขึ้นก็จะมีปริมาณน้ำมากขึ้น ทำให้เกิดการแพร่ของน้ำได้ง่ายกว่าชิ้นงานที่บางซึ่งมีปริมาณน้ำน้อย



รูปที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวมที่ความเร็วลมต่างๆ จากการทดลองการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก ความหนา 6 mm



รูปที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวม จากการทดลองการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก ที่ความหนาต่างๆ ความเร็วลมร้อน 0.7 m/s

ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวม ค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎี และค่าคงที่การอบแห้งเอมไพริคัล ของพอร์ซเลนเซรามิก จากการทดลอง

Hot air temperature (°C)	Hot air velocity (m/s)	Thickness (mm)	Diffusion coefficient D_{eff} (m^2/s)	k s^{-1}	B s^{-1}	A
40	0.7	2	4.5759E-10	3.7830E-04	4.2067E-04	1.0826
		4	1.2895E-09	2.6045E-04	2.8486E-04	1.0750
		6	2.4023E-09	2.1777E-04	2.4068E-04	1.0803
	1.4	2	7.5867E-10	5.9702E-04	6.9031E-04	1.0968
		4	1.8653E-09	3.7436E-04	4.1408E-04	1.0925
		6	3.3843E-09	3.0176E-04	3.4010E-04	1.0828
	2.4	2	8.8382E-10	6.8880E-04	7.3208E-04	1.0794
		4	2.4546E-09	4.7513E-04	5.1294E-04	1.0776
		6	3.8757E-09	3.4106E-04	3.7156E-04	1.0776
60	0.7	2	9.1680E-10	7.1402E-04	7.8694E-04	1.0949
		4	2.8373E-09	5.4122E-04	5.8485E-04	1.0818
		6	4.9119E-09	4.2460E-04	4.6229E-04	1.0832
	1.4	2	1.5947E-09	1.2107E-03	1.3399E-03	1.0758
		4	4.7055E-09	8.7983E-04	9.4662E-04	1.0669
		6	7.1647E-09	6.0220E-04	6.4735E-04	1.0783
	2.4	2	1.8057E-09	1.3480E-03	1.3519E-03	1.0764
		4	5.0034E-09	9.2700E-04	9.6460E-04	1.0745
		6	8.5654E-09	7.1486E-04	7.5967E-04	1.0673
80	0.7	2	1.3767E-09	1.0529E-03	1.1415E-03	1.0850
		4	4.1683E-09	7.8001E-04	8.3807E-04	1.0823
		6	7.1514E-09	6.0659E-04	6.5835E-04	1.0861
	1.4	2	2.6894E-09	1.9865E-03	2.1317E-03	1.0871
		4	6.2903E-09	1.1633E-03	1.2303E-03	1.0680
		6	1.1159E-08	9.2099E-04	9.7330E-04	1.0642
	2.4	2	2.9361E-09	2.1607E-03	2.2860E-03	1.0687
		4	6.8819E-09	1.2728E-03	1.3376E-03	1.0595
		6	1.2329E-08	1.0197E-03	1.0797E-03	1.0666

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 นำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวม ของพอร์ซเลนเซรามิก ทั้ง 3 ความหนา ที่คำนวณได้ในแต่ละการทดลองมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ

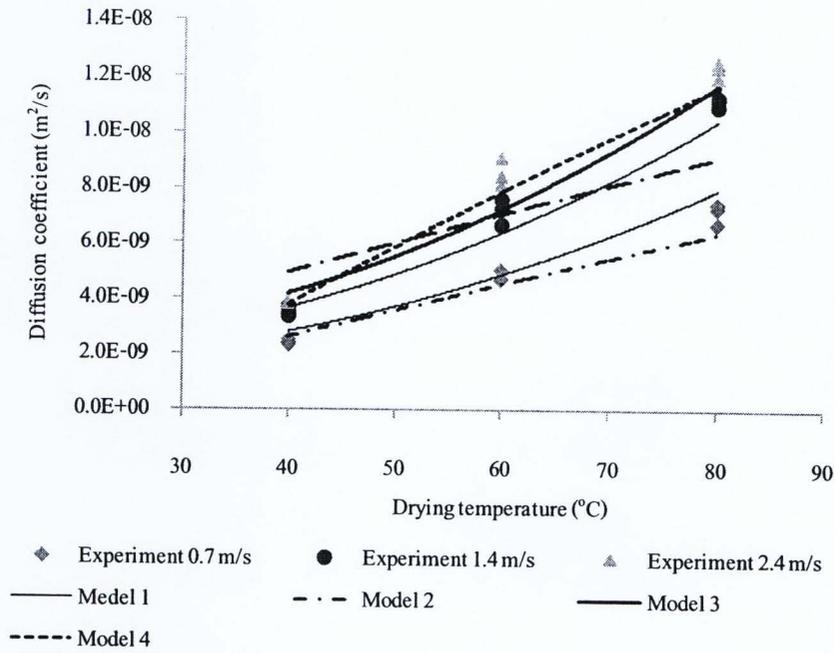
ลมร้อน ความเร็วลมร้อน และความหนา ในรูปแบบของ Arrhenius โดยให้ Arrhenius factor (D_0) เป็นฟังก์ชันกับความเร็วลมร้อนภายในห้องอบแห้งในรูปแบบสมการเส้นตรง รูปแบบสมการเอ็กโปเนนเชียล และรูปแบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสอง โดยการวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสอง น้อยที่สุด ได้ผลดังตาราง 4.2

จากตารางที่ 4.2 พบว่ารูปแบบสมการเอ็กโปเนนเชียล ของ Arrhenius ใน Model 1 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ทางสมการคณิตศาสตร์ได้ดีที่สุด สำหรับการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิกในช่วงความเร็วลม 0.7 – 1.4 m/s เนื่องจากมีค่า R^2 ที่สูงกว่า และค่า MRS ที่ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับรูปแบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสอง แต่ในส่วนของการที่ความเร็วลมช่วง 1.4 – 2.4 m/s พบว่ารูปแบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสองสามารถอธิบายความสัมพันธ์ทางสมการคณิตศาสตร์ได้ดีที่สุด เนื่องจากมีค่า R^2 ที่สูงกว่า และค่า MRS ที่ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับรูปแบบสมการเอ็กโปเนนเชียล ดัง Model 4

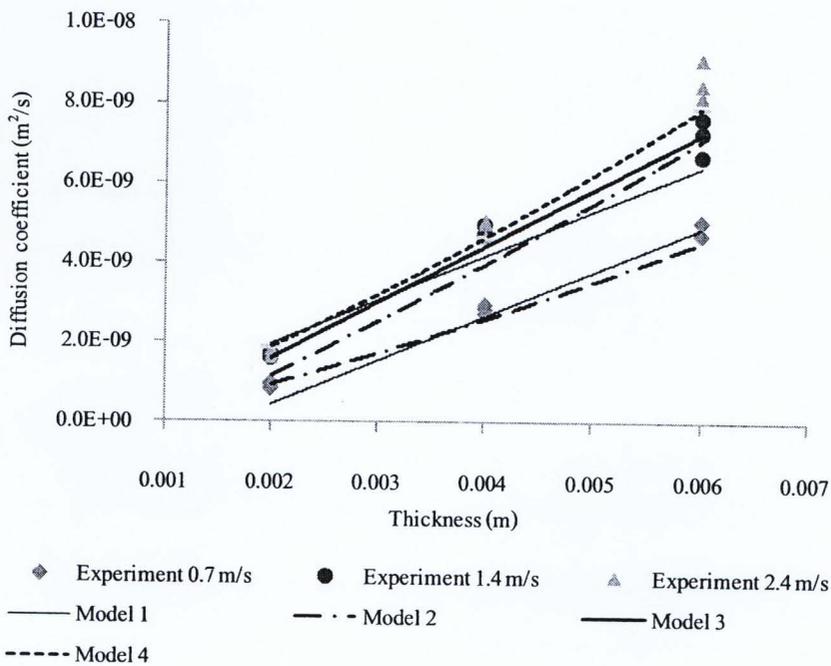
ตารางที่ 4.2 สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม สำหรับการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก

Hot air velocity (m/s)	Model	Diffusion model	R^2	MRS	Equation
0.7 – 1.4	1	$D_{eff} = (1.2738v + 649.92l - 1.9367) \times 10^{-5} \exp(-2.436 \times 10^4 / RT_{abs})$	0.9535	2.5955×10^{-19}	(4.1)
	2	$D_{eff} = (-9.3841 + 20.109v) \times 10^{-3} + (1.3537T_{abs} - 18.647l + 24.865v/T_{abs}) \times 10^{-10} - (957.56v^2 - 3.9607l^2) \times 10^{-5} - 7.7654T_{abs}^2 \times 10^{-14}$	0.8966	8.1415×10^{-19}	(4.2)
1.4 – 2.4	3	$D_{eff} = (-6.4917 + 7519.2l) \times 10^{-6} \exp(-2.3780 \times 10^4 / RT_{abs})$	0.9541	3.1515×10^{-19}	(4.3)
	4	$D_{eff} = (-329.76 + 2.2698T_{abs}) \times 10^{-10} - (1164.7l - 6039.9l^2 - 3.8004lT_{abs}) \times 10^{-8} - 3.8775T_{abs}^2 \times 10^{-13}$	0.9831	1.8752×10^{-19}	(4.4)

เมื่อ l คือ ความหนาของชั้นทดสอบ (m)
 v คือ ความเร็วลมร้อน (m/s)



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม จากการทดลองและแบบจำลอง การอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิกความหนา 6 mm ที่แปรผันตามอุณหภูมิและความเร็วลม



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม จากการทดลองและแบบจำลอง การอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิกอุณหภูมิ 60 °C ที่แปรผันตามความหนาและความเร็วลม

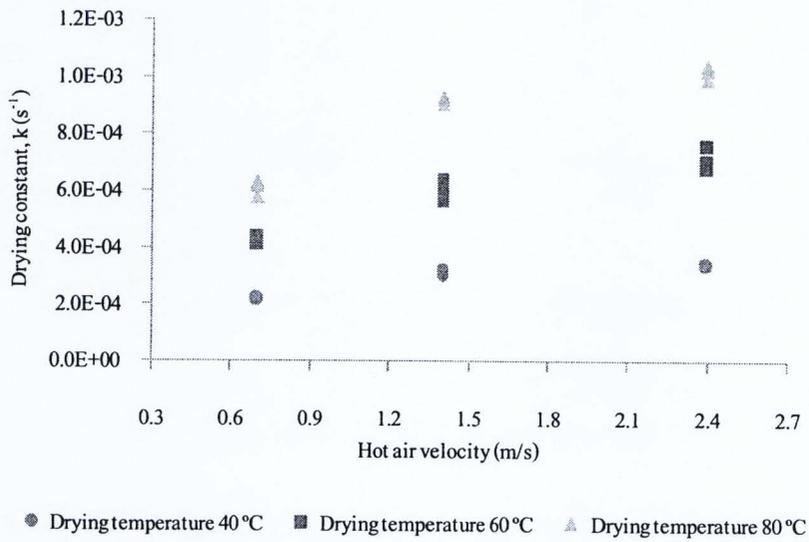
นำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวมที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณจากสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Model 1 - 4) มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวมกับอุณหภูมิลมร้อนของการอบแห้ง แสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 จากรูปทั้งสองในช่วงความเร็วลม 0.7 - 1.4 m/s พบว่า Model 1 ซึ่งเป็นสมการรูปแบบเอ็กโปเนนเชียลของ Arrhenius สามารถแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวมจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวมที่ได้จากการทดลองมากกว่า Model 2 ซึ่งเป็นรูปแบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสอง เนื่องจากมีค่า R^2 ที่สูงกว่า และค่า MRS ที่ต่ำกว่า และในช่วงความเร็วลม 1.4 - 2.4 m/s พบว่า Model 4 ซึ่งเป็นสมการรูปแบบโพลิโนเมียลกำลังสอง สามารถแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวมจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวมที่ได้จากการทดลองมากกว่า Model 3 ซึ่งเป็นสมการรูปแบบเอ็กโปเนนเชียล เนื่องจากมีค่า R^2 ที่สูงกว่า และค่า MRS ที่ต่ำกว่า

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ค่าคงที่การอบแห้ง รูปแบบสมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งกึ่งทฤษฎี

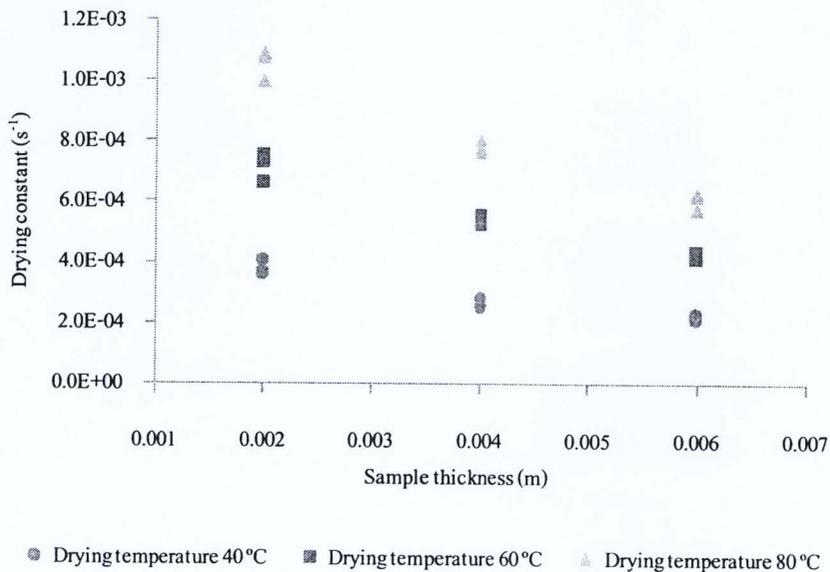
การวิเคราะห์หาค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีของพอร์ซเลนเซรามิก ทั้ง 3 ความหนา ที่เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ โดยนำผลการทดลองมาวิเคราะห์สมการลดอยกำลังสองน้อยที่สุดโดยใช้สมการ (2.12) จะได้ค่าคงที่การอบแห้งในแต่ละการทดลอง (แสดงค่าในตารางที่ 4.3) นำค่าคงที่การอบแห้งที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ค่าความแตกต่างโดยใช้แปรปรวน (ANOVA) พบว่า อุณหภูมิลมร้อน ความหนาชิ้นงาน เป็นตัวแปรที่มีผลต่อค่าคงที่การอบแห้งและในส่วนของความเร็วลมร้อนในช่วง 0.7 - 1.4 m/s ก็เป็นตัวแปรที่มีผลต่อค่าคงที่การอบแห้งเช่นกัน แต่ที่ความเร็วลมร้อนในช่วง 1.4 - 2.4 m/s ให้ค่าคงที่การอบแห้งที่ไม่แตกต่างกัน

จาก รูปที่ 4.7 และ 4.8 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่การอบแห้ง ที่ได้จากการทดลองของการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิกกับอุณหภูมิลมร้อน ความเร็วลมร้อน และความหนาของชิ้นงาน โดยจากการดูแนวโน้มของข้อมูลค่าคงที่การอบแห้ง ดังกล่าวพบว่าค่าคงที่การอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิลมร้อน และความเร็วลมร้อนของการอบแห้ง เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวม โดยเมื่ออุณหภูมิลมร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าคงที่การอบแห้งก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ความเร็วลมร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าคงที่การอบแห้งก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเช่นกันในช่วงความเร็วลมร้อน 0.7 - 1.4 m/s แต่ในช่วงความเร็วลมร้อน 1.4 - 2.4 m/s พบว่ามีค่าคงที่การอบแห้งไม่แตกต่างกัน แต่ในส่วนของความหนาชิ้นงานเพิ่มขึ้น ค่าคงที่การอบแห้งก็จะ

มีค่าลดลง เนื่องจากถ้าชิ้นงานหนามากขึ้นก็จะมีปริมาณน้ำมากขึ้นจึงให้ต้องใช้เวลานานขึ้น ส่งผลทำให้ค่าการอบแห้งมีค่าลดลง



รูปที่ 4.7 ค่าคงที่ของสมการการอบแห้งกึ่งทฤษฎี แปรตามความเร็วลมร้อน จากการทดลองอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก ที่ความหนา 6 mm



รูปที่ 4.8 ค่าคงที่ของสมการการอบแห้งกึ่งทฤษฎี แปรผันตามความหนา จากการทดลองอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก ที่ความเร็วลมร้อน 0.7 m/s

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 นำค่าคงที่การอบแห้งของพอร์ซเลนเซรามิก ที่คำนวณได้ในแต่ละการทดลองมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิร้อน ความเร็วลมร้อน และความหนาของชิ้นงาน ในรูปแบบสมการเอ็กโพเนนเชียล และรูปแบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสอง โดยการวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด ได้ผลดังตาราง 4.3

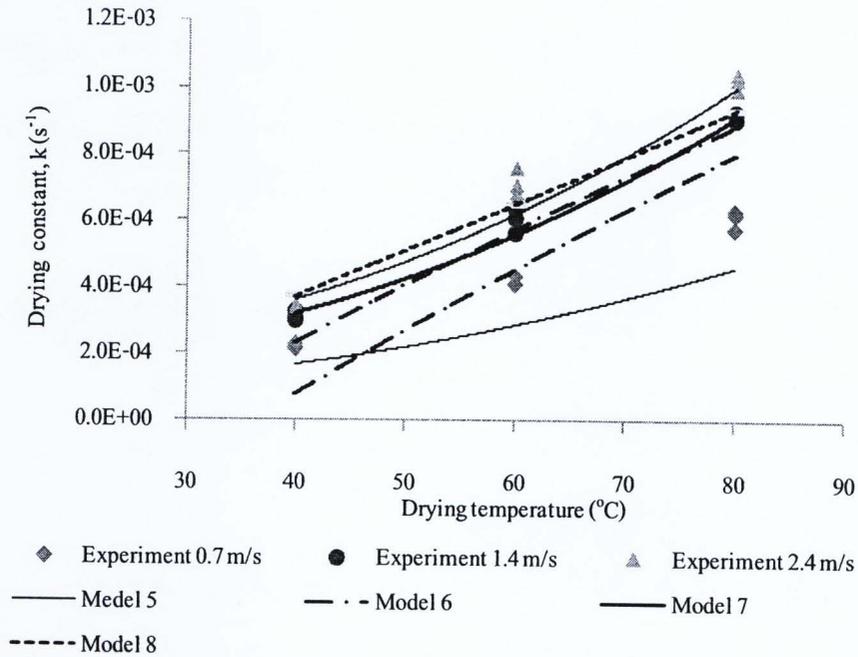
ตารางที่ 4.3 สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าคงที่การอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎี สำหรับการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก

Hot air velocity (m/s)	Model	Diffusion model	R ²	MRS	Equation
0.7 – 1.4	5	$k = (2.3059v - 558.3731l + 3.1121) \exp(-2.8259 \times 10^3 / T_{abs})$	0.9083	1.5457×10^{-8}	(4.5)
	6	$k = (-7.5588 + 16.1975v - 7.7131v^2) \times 10^3 + (4.4096T_{abs} - 41.4142lT_{abs}v) \times 10^{-5} - 0.1539l - 3.6388T_{abs}^2 \times 10^{-8} + 22.1280l^2$	0.8630	1.9854×10^{-8}	(4.6)
1.4 – 2.4	7	$k = -9.9479l \times 10^2 + 9.3970 \exp(-2.9067 \times 10^3 / T_{abs})$	0.9298	1.7105×10^{-8}	(4.7)
	8	$k = (-1136.9337 + 3.7430T_{abs} - 487.7079lT_{abs}) \times 10^{-5} + 1.1711l + 8.9196T_{abs}^2 \times 10^{-9} + 35.5815l^2$	0.9582	1.0886×10^{-8}	(4.8)

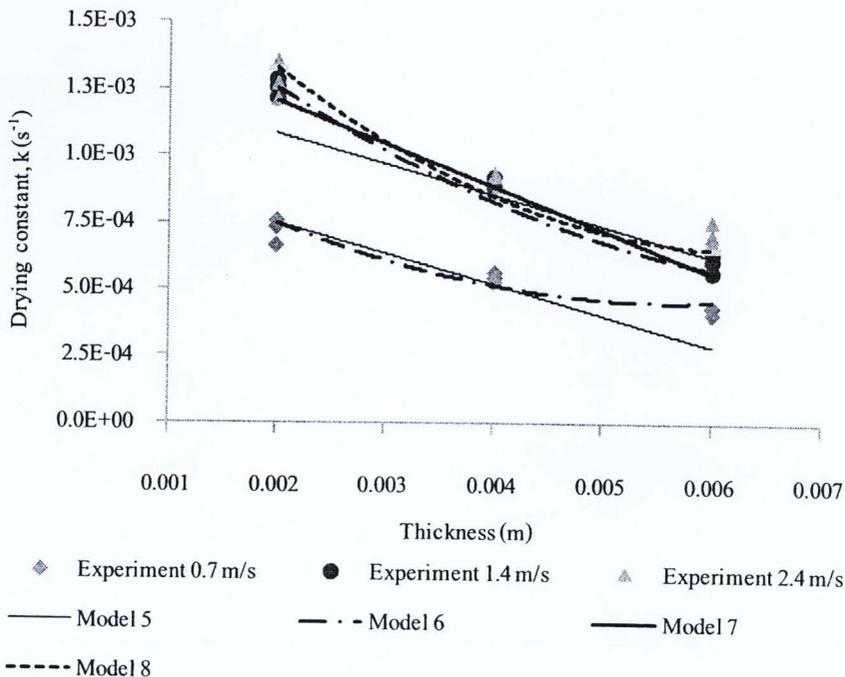
จากตารางที่ 4.3 พบว่าในช่วงความเร็วลม 0.7 – 1.4 m/s รูปแบบสมการเอ็กโพเนนเชียล (Model 5) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ทางสมการคณิตศาสตร์ ของค่าคงที่การอบแห้งได้ดีกว่า รูปแบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสอง (Model 6) สำหรับการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก เนื่องจากมีค่า R² ที่สูงกว่า และค่า MRS ที่ต่ำกว่า แต่ในส่วนของที่ความเร็วลมช่วง 1.4 – 2.4 m/s พบว่ารูปแบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสอง (Model 8) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ทางสมการคณิตศาสตร์ได้ดีกว่า เนื่องจากมีค่า R² ที่สูงกว่า และค่า MRS ที่ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับรูปแบบสมการเอ็กโพเนนเชียล (Model 7)

นำค่าคงที่การอบแห้งที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณจากสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Model 5 - 8) มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่การอบแห้ง อุณหภูมิร้อนของการอบแห้ง และความหนาของชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 จากกราฟจะเห็นว่า Model 5 และ Model 8 สามารถแสดงความสัมพันธ์ของค่าคงที่การอบแห้งจาก

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ใกล้เคียงกับค่าคงที่การอบแห้งที่ได้จากการทดลองมากกว่า Model 6 และ Model 8



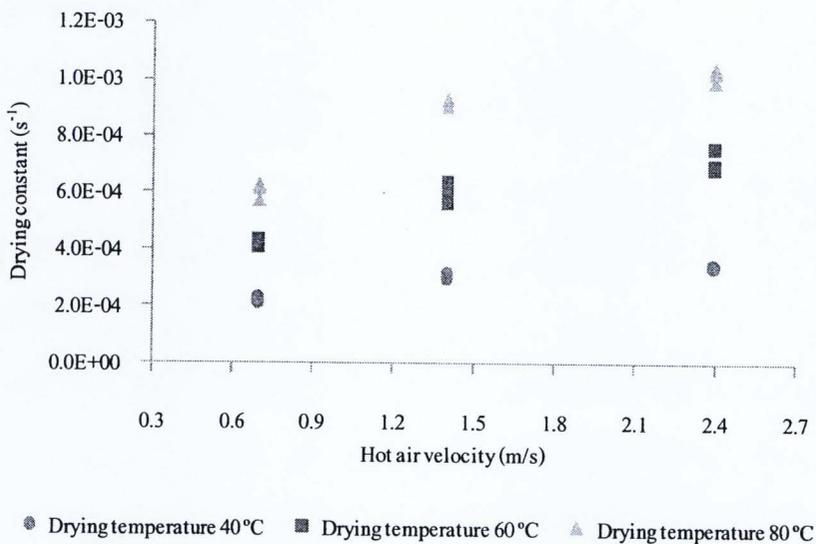
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบ ค่าคงที่ของสมการการอบแห้งกึ่งทฤษฎี จากการทดลองและแบบจำลอง การอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก ความหนา 6 mm ที่แปรผันตามอุณหภูมิและความเร็วลม



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบ ค่าคงที่ของสมการการอบแห้งกึ่งทฤษฎี จากการทดลองและแบบจำลอง การอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก อุณหภูมิ 60 °C ที่แปรผันตามความหนาและความเร็วลม

4.1.4 ผลการวิเคราะห์ค่าคงที่การอบแห้ง รูปแบบสมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งเอมไพริคัล

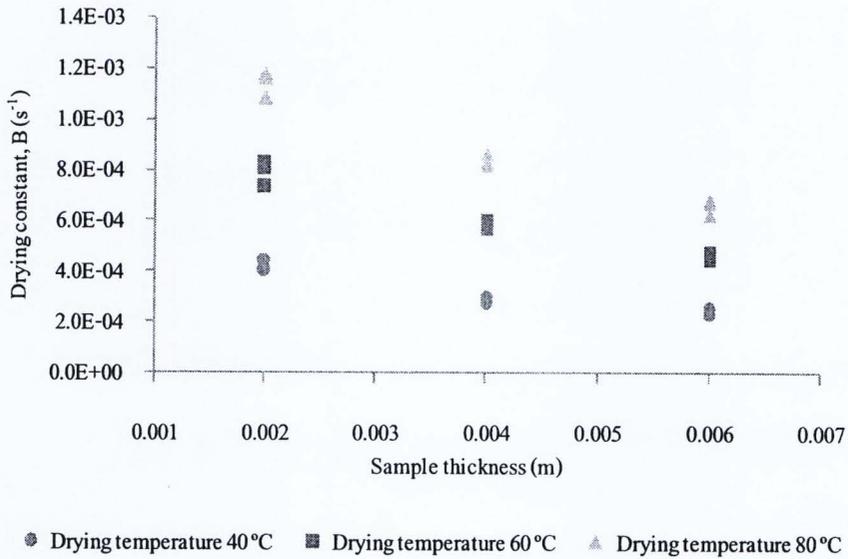
การวิเคราะห์หาค่าคงที่การอบแห้งเอมไพริคัลของพอร์ซเลนเซรามิกที่เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ โดยนำผลการทดลองมาวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดโดยใช้สมการ (2.17) จะได้ค่าคงที่การอบแห้งที่แต่ละการทดลอง (แสดงค่าในตารางที่ 4.4) นำค่าคงที่การอบแห้งที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ค่าความแตกต่างโดยใช้แปรปรวน (ANOVA) พบว่าอุณหภูมิและความหนาชิ้นงาน เป็นตัวแปรที่มีผลต่อค่าคงที่การอบแห้งและในส่วนของความเร็วลมร้อนในช่วง 0.7 - 1.4 m/s ก็เป็นตัวแปรที่มีผลต่อค่าคงที่การอบแห้งเช่นกัน แต่ที่ความเร็วลมร้อนในช่วง 1.4 - 2.4 m/s ให้ค่าคงที่การอบแห้งที่ไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.11 ค่าคงที่ของสมการ การอบแห้งเอมไพริคัล ที่แปรตามความเร็วลม จากการทดลองอบแห้ง พอร์ซเลนเซรามิก ที่ความหนา 6 m

รูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่การอบแห้งเอมไพริคัล ที่ได้จากการทดลองของการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก กับอุณหภูมิลมร้อน ความเร็วลมร้อน และความหนาของชิ้นงาน โดยจากการดูแนวโน้มของข้อมูลค่าคงที่การอบแห้งเอมไพริคัล ดังกล่าวพบว่าค่าคงที่การอบแห้ง มีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิลมร้อน ความเร็วลมร้อนของการอบแห้ง และ ความหนาของชิ้นงาน โดยเมื่ออุณหภูมิลมร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าคงที่การอบแห้งเอมไพริคัล ก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ความเร็วลมร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าคงที่การอบแห้งเอมไพริคัล ก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ในช่วงความเร็วลมร้อน 0.7 - 1.4 m/s แต่ในช่วงความเร็วลมร้อน 1.4 - 2.4 m/s พบว่ามีค่าคงที่การ

อบแห้งเอมไพรีคัล ไม่แตกต่างกัน แต่ในส่วนของความหนาชิ้นงานเพิ่มขึ้น ค่าคงที่การอบแห้งเอมไพรีคัลก็จะมีค่าลดลง เนื่องจากถ้าชิ้นงานหนามากขึ้นก็จะมีปริมาณน้ำมากขึ้นจึงให้ต้องใช้เวลานานขึ้น ส่งผลทำให้คงที่การอบแห้งเอมไพรีคัล มีค่าลดลง



รูปที่ 4.12 ค่าคงที่ของสมการ การอบแห้งเอมไพรีคัล ที่แปรตามความหนา จากการทดลองอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก ที่ความเร็วลมร้อน 0.7 m/s

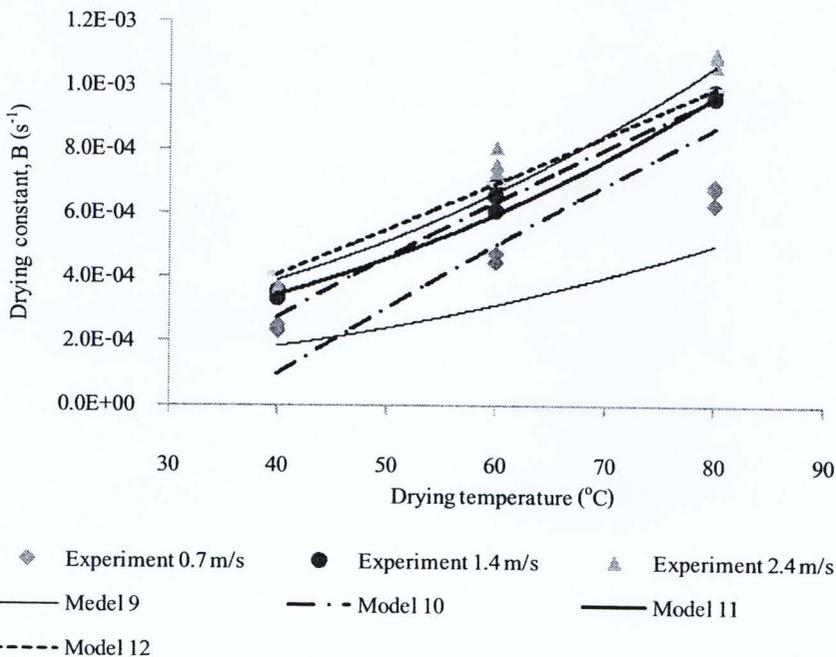
ตารางที่ 4.4 สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าคงที่การอบแห้งแบบเอมไพรีคัล สำหรับการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก

Hot air velocity (m/s)	Model	Diffusion model	R ²	MRS	Equation
0.7 – 1.4	9	$B = (2.0014v - 505.7951l + 2.8766) \exp(-2.7628 \times 10^3 / T_{abs})$ $A = 1.0782$	0.9090	1.7542×10^{-8}	(4.9)
	10	$B = (7.3747 - 15.8030v + 7.5252v^2) \times 10^3$ $+ (5.1730T_{abs} - 51.1490lT_{abs} v) \times 10^{-4}$ $- (1.7078l - 268.4859l^2) \times 10^{-1} - 4.5646T_{abs}^2 \times 10^{-8}$ $A = 1.0782$	0.9286	2.1290×10^{-8}	(4.10)

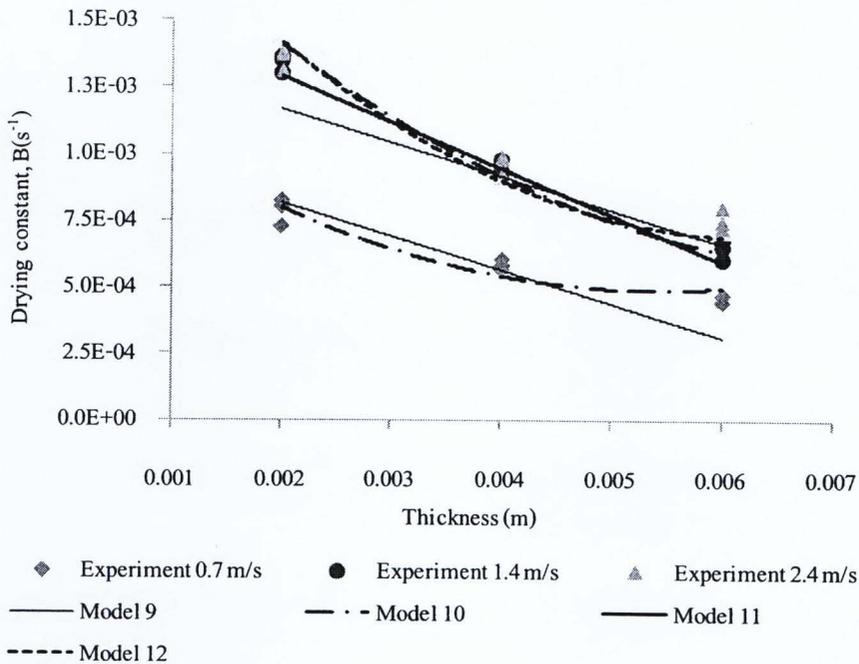
ตารางที่ 4.4 สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าคงที่การอบแห้งแบบเอมไพริคัล สำหรับการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก (ต่อ)

Hot air velocity (m/s)	Model	Diffusion model	R ²	MRS	Equation
1.4-2.4	11	$B = (8.4268 - 895.5634l) \exp(-2.8467 \times 10^3 / T_{abs})$ $A = 1.0782$	0.9344	1.8489×10^{-8}	(4.11)
	12	$B = (-11.0874 - 5.1684 / T_{abs}) \times 10^{-3}$ $+ 3.4508 T_{abs} \times 10^{-5} + 1.2250l + 1.6617 T_{abs}^2 \times 10^{-8}$ $+ 39.4000l^2$ $A = 1.0782$	0.9608	1.1350×10^{-8}	(4.12)

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 นำค่าคงที่การอบแห้งเอมไพริคัล ของพอร์ซเลนเซรามิก ที่คำนวณได้ในแต่ละการทดลองมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิลมร้อน ความเร็วลมร้อน และความหนาของชิ้นงาน ในรูปแบบสมการเอ็กโพเนนเชียล และรูปแบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสอง โดยการวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด ได้ผลดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบ ค่าคงที่ของสมการการอบแห้งเอมไพริคัล จากการทดลองและแบบจำลองการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก ความหนา 6 mm ที่แปรผันตามอุณหภูมิและความเร็วลม



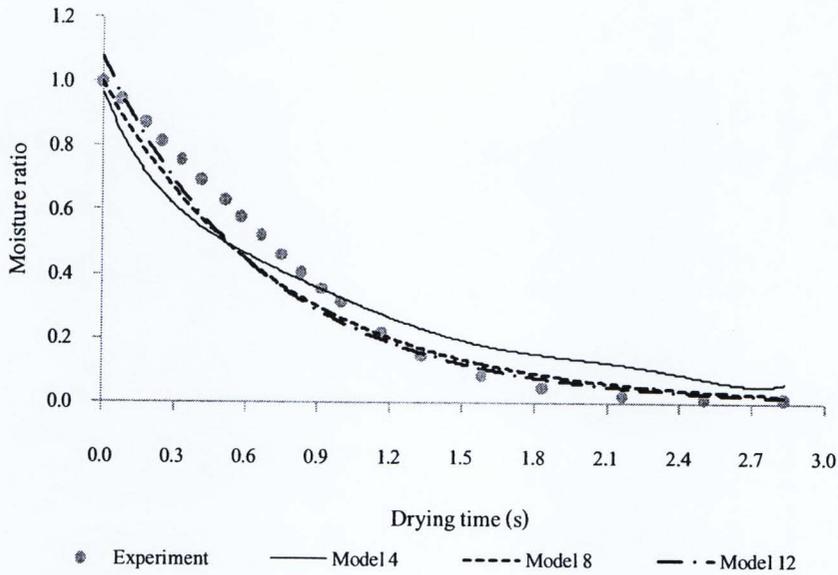
รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบ ค่าคงที่ของสมการการอบแห้งเอมไพริคัล จากการทดลองและแบบจำลองการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก อุณหภูมิ 60 °C ที่แปรผันตามความหนาและความเร็วลม

จากตารางที่ 4.4 พบว่ารูปแบบสมการ โพลีโนเมียลกำลังสอง (Model 10 และ Model 12) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ทางสมการคณิตศาสตร์ ของค่าคงที่การอบแห้งได้ดีที่สุด สำหรับการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก เนื่องจากมีค่า R^2 ที่สูงกว่า และค่า MRS ที่ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับรูปแบบสมการเอ็กโปเนนเชียล (Model 9 และ Model 11)

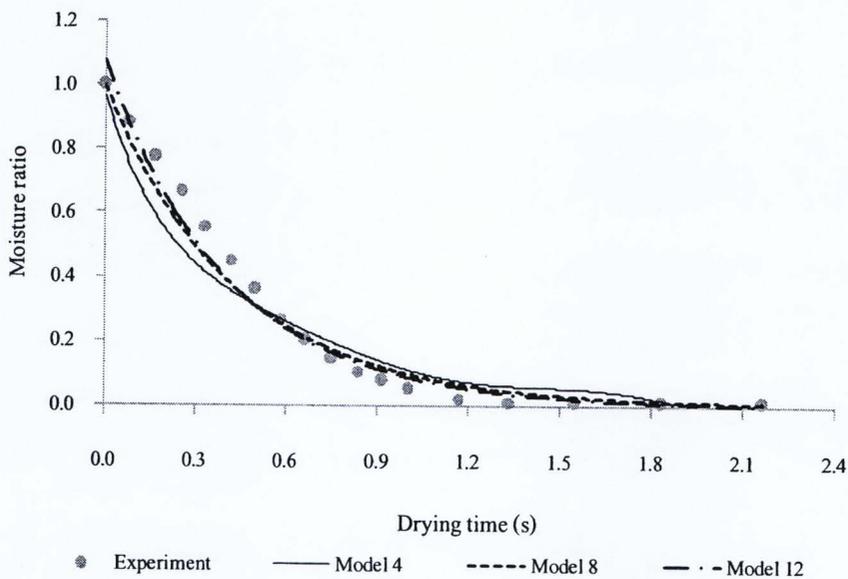
นำค่าคงที่การอบแห้งที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณจากสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Model 9 - 12) มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่การอบแห้ง อุณหภูมิลมร้อนของการอบแห้ง และความหนาของชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 4.13 และ 4.14 จากกราฟ จะเห็นว่า Model 10 และ Model 12 สามารถแสดงความสัมพันธ์ของค่าคงที่การอบแห้งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ใกล้เคียงกับค่าคงที่การอบแห้งที่ได้จากการทดลองมากกว่า Model 9 และ Model 11

4.1.5 ผลการเปรียบเทียบค่าการลดลงของความชื้น จากการทดลอง และแบบจำลอง

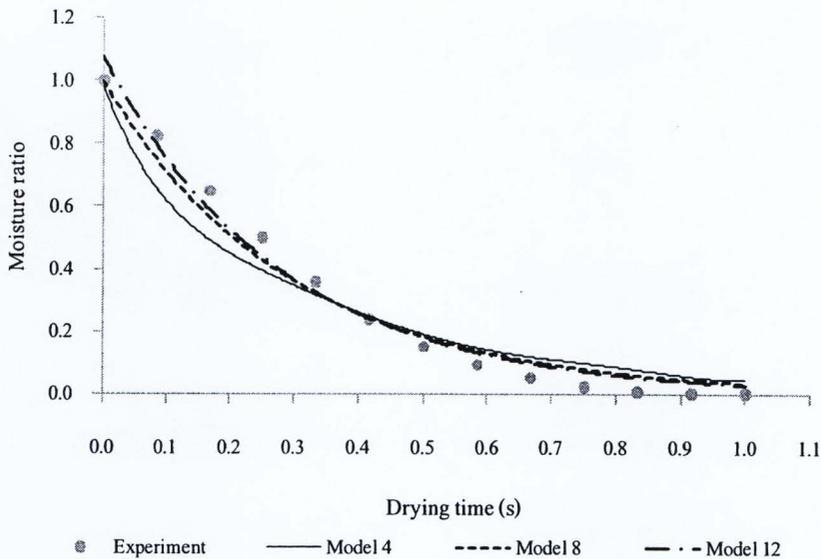
นำสมการการอบแห้งที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจากค่า R^2 และค่า MRS (Model 4, Model 8 และ Model 12) มาคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นแล้วเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลองได้ผลดังรูปที่ 4.15, 4.16 และ 4.17



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นของพอร์ซเลนเซรามิกที่ได้จากการทดลอง กับสมการจลนศาสตร์การอบแห้งทางทฤษฎี (Model 4) กึ่งทฤษฎี (Model 8) และเอมไพริคัล (Model 12) ที่อุณหภูมิอบแห้ง 40°C ความเร็วลมร้อน 1.4 m/s และความหนาชิ้นงาน 6 m



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นของพอร์ซเลนเซรามิกที่ได้จากการทดลอง กับสมการจลนศาสตร์การอบแห้งทางทฤษฎี (Model 4) กึ่งทฤษฎี (Model 8) และเอมไพริคัล (Model 12) ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C ความเร็วลมร้อน 1.4 m/s และความหนาชิ้นงาน 6 m



รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นของพอร์ซเลนเซรามิกที่ได้จากการทดลอง กับสมการจลนศาสตร์การอบแห้งทางทฤษฎี (Model 4) กึ่งทฤษฎี (Model 8) และเอมไพริคัล (Model 12) ที่อุณหภูมิอบแห้ง 80 °C ความเร็วลมร้อน 1.4 m/s และความหนาชิ้นงาน 6 m

จากรูปที่ 4.15, 4.16 และ 4.17 จะเห็นว่าสมการอบแห้งแบบเอมไพริคัล (Model 12) มีความใกล้เคียงกับการทดลองมากที่สุด เนื่องจากมีค่า R^2 ที่สูงกว่า และค่า MRS ที่ต่ำต่ำกว่า เมื่อเทียบกับสมการอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎี (Model 8) แต่เมื่อเทียบกับสมการอบแห้งทางทฤษฎี (Model 4) ซึ่งมีค่า R^2 สูงกว่ากับค่า MRS ต่ำกว่า แต่พบว่ากราฟอัตราส่วนความชื้นมีความใกล้เคียงกับการทดลองน้อยที่สุดเนื่องจาก สมการอบแห้งทางทฤษฎีจะมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นคงที่ค่าเดียว แต่ในความเป็นจริงของการอบแห้งค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ดังนั้นจึงส่งผลทำให้เมื่อนำมาใช้จริงอาจจะไม่ตรงกับความเป็นจริงมากนัก

4.2 ผลการวิเคราะห์การสร้างกราฟมาตรฐานการอบแห้งสำหรับอุตสาหกรรม

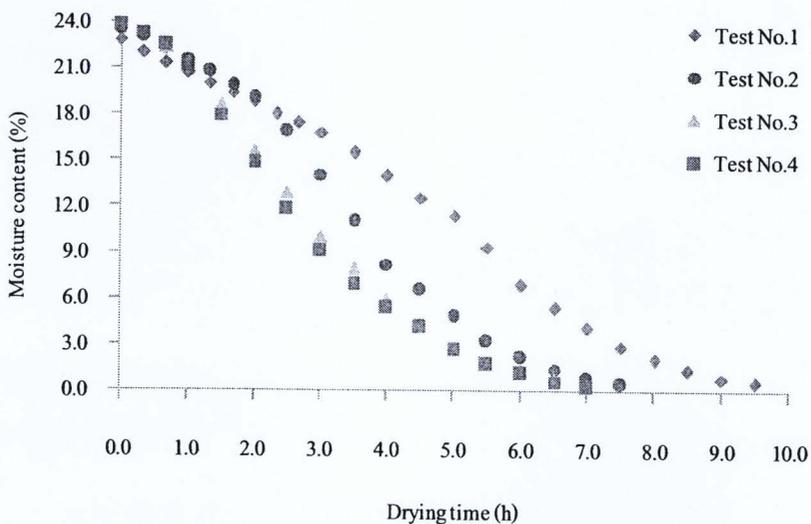
4.2.1 พอร์ซเลนเซรามิก

จากการทดลองอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิกชนิดที่ไม่จำเป็นต้องเผาบิสกิต จำนวน 55 ชิ้น น้ำหนักรวม 36.3 kg ความหนาแน่นในการวาง 164.6 kg/m³ ด้วยตู้อบลมร้อน 4,000 W ขนาดความจุ 1 m³ โดยใช้การอบแบบลำดับขั้นอุณหภูมิจาก อุณหภูมิห้อง, 50, 60, 70 °C และความเร็วลมร้อน 1.4 m/s ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิ ระยะเวลา จำนวนชิ้นงาน และพลังงานทั้งที่ใช้ในการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิกในอุตสาหกรรม จากความชื้นเริ่มต้น 23% dry-basis จนเหลือความชื้นสุดท้าย 1% dry-basis

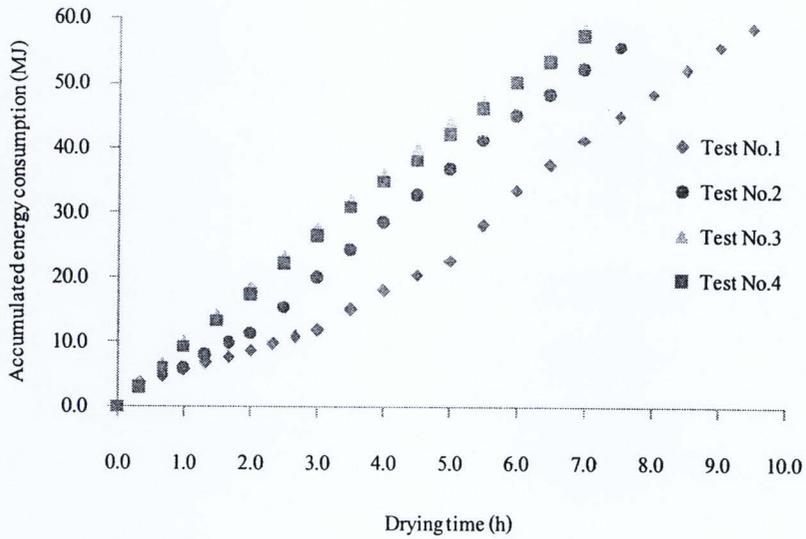
Test No.	Drying time (hr)				Sample				Energy consumption (MJ)
	50 (°C)	60 (°C)	70 (°C)	Total (h)	Total (Pcs)	Normal (Pcs)	Loss		
							(Pcs)	%	
1	3.0	2.0	3.8	8.8	55	55	0	0	54.4
2	1.0	1.0	4.8	6.8	55	55	0	0	50.6
3	0.3	0.3	5.5	6.2	55	55	0	0	50.8
4	0.3	0.3	5.5	6.1	55	55	0	0	50.6

จากการผลการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิกในตารางที่ 4.5 พบว่าทั้ง 4 การทดลอง ชิ้นงานไม่เกิดความเสียหายเลย โดยการทดลองที่ 3 และ 4 (การทดลองที่ 4 เป็นการทดลองซ้ำของการทดลองที่ 3 เพื่อยืนยันผล) ซึ่งสามารถอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิกได้เร็วที่สุด



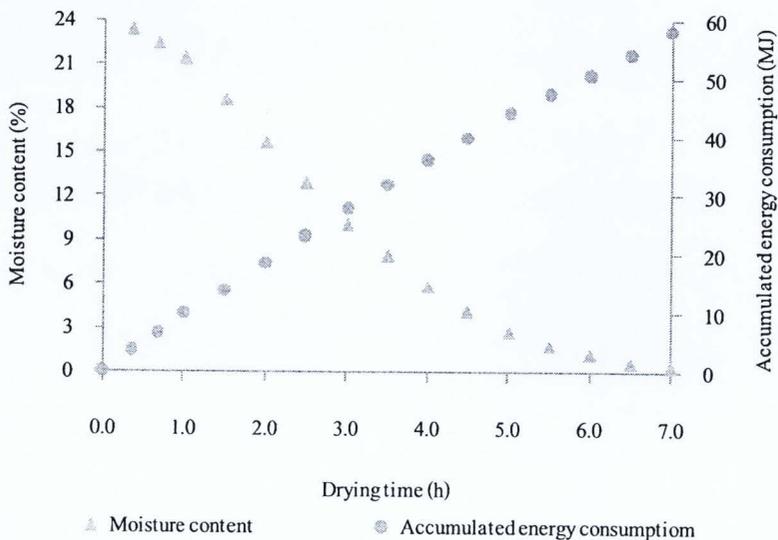
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก ด้วยอุณหภูมิแบบลำดับขั้น

การทดลองที่ 1 พบว่าต้องใช้เวลาในการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก จากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 23% dry-basis จนเหลือความชื้นสุดท้าย 1% dry-basis เป็นระยะเวลา 8.8 ชั่วโมง การทดลองที่ 2 ใช้เวลาในการอบแห้ง 6.8 ชั่วโมง ส่วนการทดลองที่ 3 และ 4 ใช้เวลาในการอบแห้ง 6.2 และ 6.1 ชั่วโมง ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.18

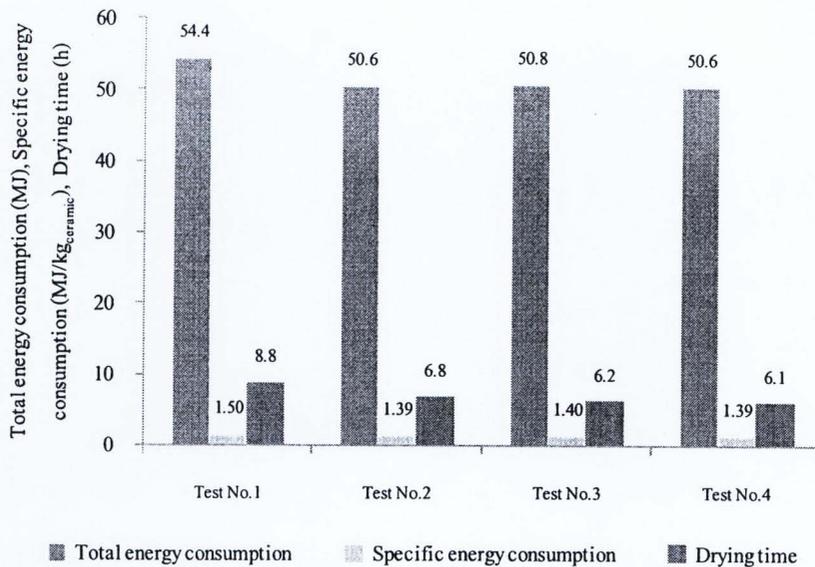


รูปที่ 4.19 ปริมาณพลังงานสะสมที่ใช้ในการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก จากผลการทดลองอบแห้งด้วยอุณหภูมิแบบลำดับขั้น

จากรูปที่ 4.19 พบว่า การทดลองที่ 1 พบว่าต้องใช้พลังงานในการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก จากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 23% day-basis จนเหลือความชื้นสุดท้าย 1% dry-basis จำนวน 54.4 MJ การทดลองที่ 2 ใช้พลังงานในการอบแห้ง 50.6 MJ ส่วนการทดลองที่ 3 และ 4 ใช้พลังงานในการอบแห้ง 50.8 และ 50.6 MJ ตามลำดับ



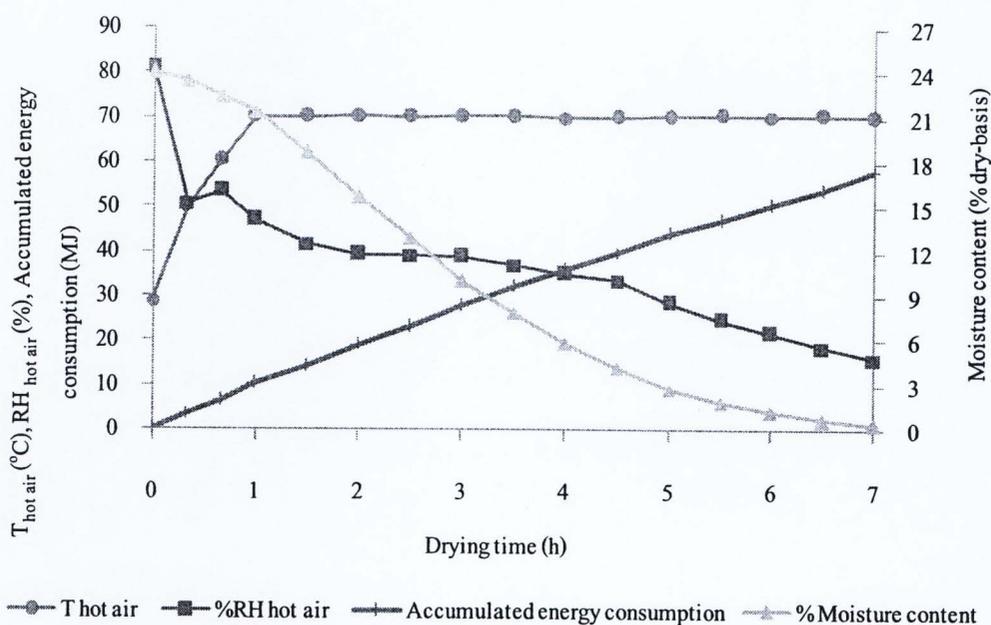
รูปที่ 4.20 การลดลงของความชื้นและปริมาณการใช้พลังงานในการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก สำหรับการทดลองครั้งที่ 3 (Test No.3)



รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด พลังงานจำเพาะ และระยะเวลาในการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก

จากการทดลองพบว่า การทดลองที่ 1 มีการใช้พลังงานทั้งหมด 54.4 MJ หรือคิดเป็น 1.50 MJ/kg_{ceramic} (12.40 MJ/kg_{water}) และใช้เวลาในการอบแห้ง 8.8 ชั่วโมง การทดลองที่ 2 มีการใช้พลังงานทั้งหมด 50.6 MJ หรือคิดเป็น 1.39 MJ/kg_{ceramic} (11.95 MJ/kg_{water}) และใช้เวลาในการอบแห้ง 6.8 ชั่วโมง โดยการทดลองที่ 3 สามารถอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิกได้เร็วที่สุด ซึ่งมีการใช้พลังงานทั้งหมด 50.8 MJ หรือคิดเป็น 1.40 MJ/kg_{ceramic} (12.20 MJ/kg_{water}) และใช้เวลาในการอบแห้ง 6.2 ชั่วโมง ในส่วนของการทดลองที่ 4 ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองที่ 3 พบว่ามีการใช้พลังงานทั้งหมด 50.6 MJ หรือคิดเป็น 1.39 MJ/kg_{ceramic} (12.13 MJ/kg_{water}) และใช้เวลาในการอบแห้ง 6.1 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.21

เมื่อพิจารณาปัจจัยทั้งทางด้านระยะเวลาในการอบแห้ง ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นพบว่า การทดลองที่ 3 และ 4 (การทดลองที่ 4 เป็นการทดลองซ้ำการทดลองที่ 3 เพื่อยืนยันผล) มีความเหมาะสมมากที่สุดที่จะนำไปเป็นมาตรฐานการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิกในอุตสาหกรรม ดังแสดงในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 เส้นกราฟมาตรฐาน สำหรับการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก

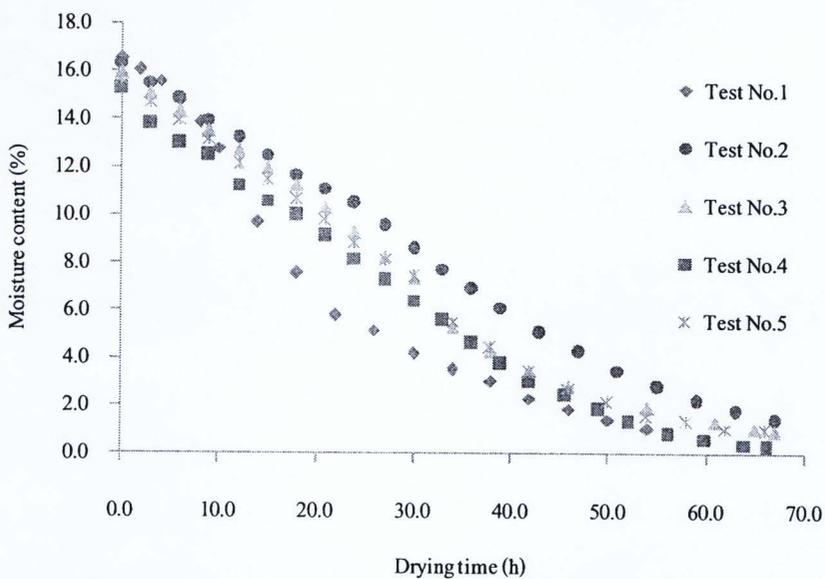
4.2.2 กระเบื้องดินเผา

จากการทดลองอบแห้งกระเบื้องดินเผาขนาด 4 x 10 x 0.5 นิ้ว จำนวน 320 ชิ้น น้ำหนักรวม 238.5 kg ความหนาแน่นในการวาง 1,084.2 kg/m³ ด้วยตู้อบลมร้อน 4,000 W ขนาดความจุ 1 m³ โดยใช้การอบแบบลำดับชั้นอุณหภูมิจาก อุณหภูมิห้อง, 50, 60, 70 °C และความเร็วลมร้อน 1.4 m/s ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิ ระยะเวลา จำนวนชิ้นงาน และพลังงานทั้งที่ใช้ในการอบแห้งกระเบื้องดินเผา ในอุตสาหกรรม จากความชื้นเริ่มต้น 16% dry-basis จนเหลือความชื้นสุดท้าย 3% dry-basis

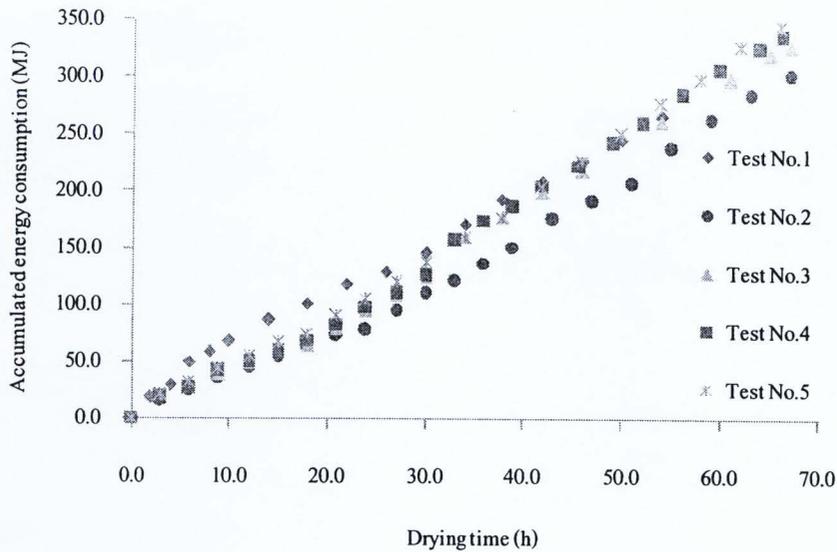
Test No.	Drying time (hr)				Sample				Energy consumption (MJ)
	50 (°C)	60 (°C)	70 (°C)	Total (h)	Total (Pcs)	Normal (Pcs)	Loss		
							(Pcs)	%	
1	4.0	6.0	30.0	38.0	320	275	45	14.1	193.2
2	24.0	15.0	14.9	53.9	320	320	0	0.0	229.1
3	18.0	12.0	14.9	44.9	320	318	2	0.6	212.8
4	15.0	12.0	15.0	42.0	320	301	19	5.9	205.4
5	18.0	12.0	14.3	44.3	320	318	2	0.6	217.0

การทดลองที่ 1 พบว่าต้องใช้เวลาในการอบแห้งจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 16% dry-basis จนเหลือความชื้นสุดท้าย 3% dry-basis เป็นระยะเวลา 38.0 ชั่วโมง มีจำนวนชิ้นงานเสียหาย 14.1% การทดลองที่ 2 ใช้เวลาในการอบแห้ง 53.9 ชั่วโมง ไม่มีชิ้นงานเสียหาย การทดลองที่ 3 ใช้เวลาในการอบแห้ง 44.9 ชั่วโมง มีจำนวนชิ้นงานเสียหาย 0.6% การทดลองที่ 4 ใช้เวลาในการอบแห้ง 42.0 ชั่วโมง มีจำนวนชิ้นงานเสียหาย 5.9% และการทดลองที่ 5 เป็นการทดลองซ้ำการทดลองที่ 3 ใช้เวลาในการอบแห้ง 44.3 ชั่วโมง มีจำนวนชิ้นงานเสียหาย 0.6% ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.23

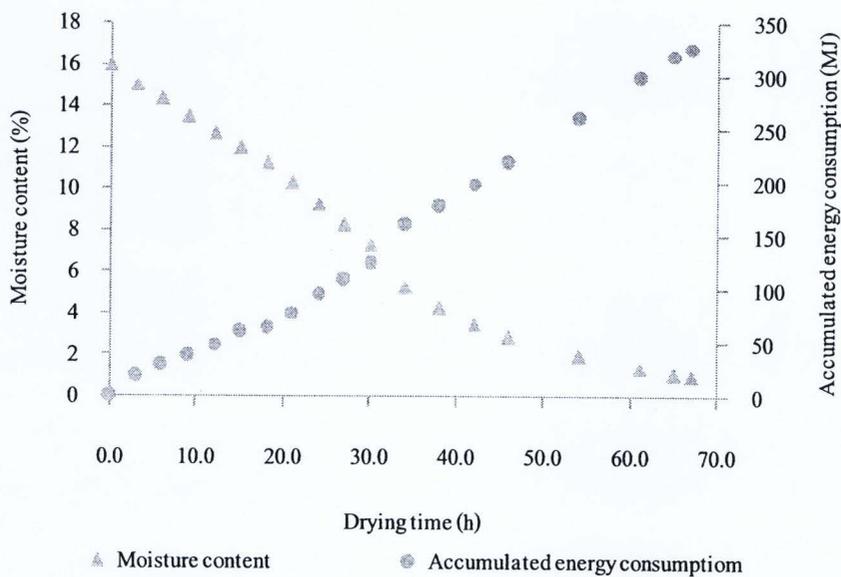


รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบปริมาณความชื้นของกระเบื้องดินเผา ที่ช่วงเวลาต่างๆ ในการทดลองที่ 1 ถึง การทดลองที่ 5 (Test No.1 ถึง Test No.5)

จากรูปที่ 4.23 พบว่า การทดลองที่ 1 พบว่าต้องใช้พลังงานในการอบแห้งกระเบื้องดินเผา จากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 16% day-basis จนเหลือความชื้นสุดท้าย 3% dry-basis จำนวน 193.2 MJ การทดลองที่ 2 ใช้พลังงานในการอบแห้ง 229.1 MJ การทดลองที่ 3 ใช้พลังงานในการอบแห้ง 212.8 MJ การทดลองที่ 4 ใช้พลังงานในการอบแห้ง 205.4 MJ ส่วนการทดลองที่ 5 ใช้พลังงานในการอบแห้ง 217.0 MJ



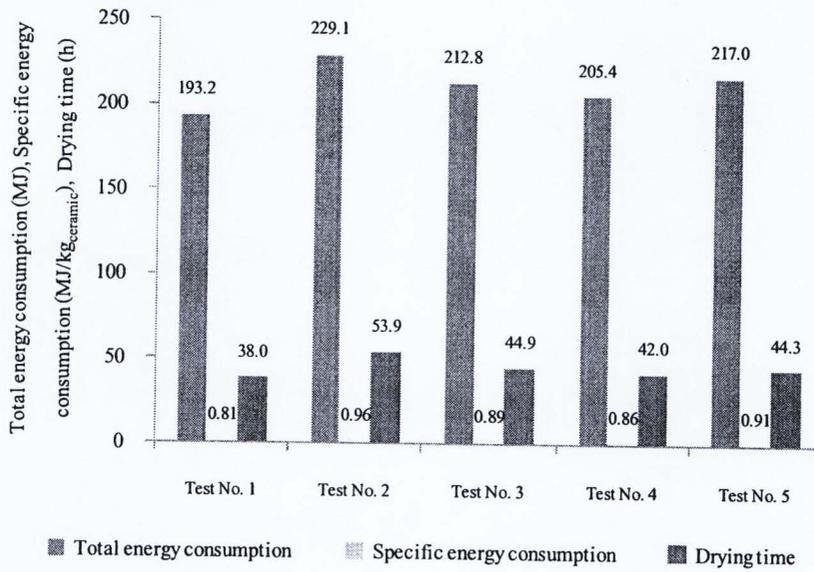
รูปที่ 4.24 ปริมาณพลังงานสะสมที่ใช้ในการอบแห้งกระเบื้องดินเผา



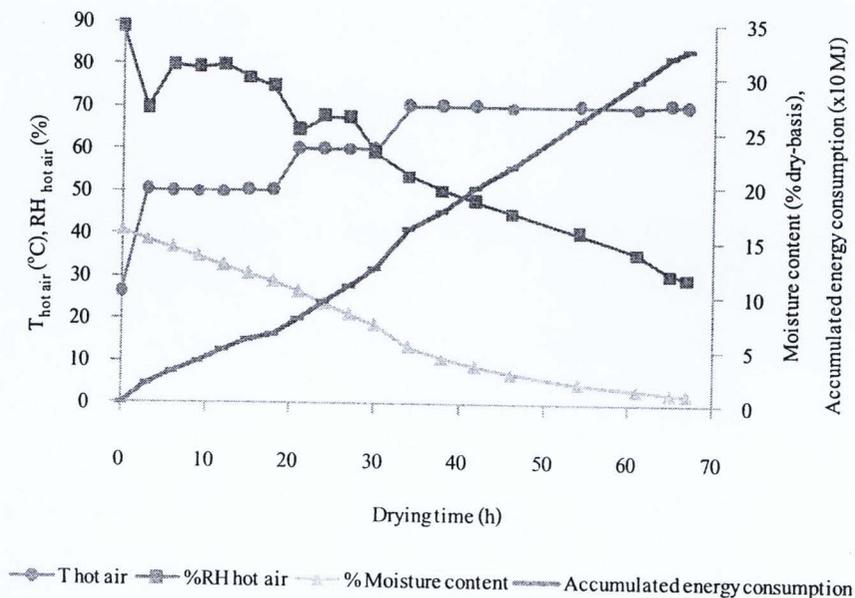
รูปที่ 4.25 การลดลงของความชื้นและการใช้พลังงานในการอบแห้งกระเบื้องดินเผาสำหรับการทดลองครั้งที่ 3 (Test No.3)

จากการทดลองพบว่า การทดลองที่ 1 มีการใช้พลังงานทั้งหมด 193.2 MJ หรือคิดเป็น $0.81 \text{ MJ/kg}_{\text{ceramic}}$ ($4.91 \text{ MJ/kg}_{\text{water}}$) และใช้เวลาในการอบแห้ง 38.0 ชั่วโมง การทดลองที่ 2 มีการใช้พลังงานทั้งหมด 229.1 MJ หรือคิดเป็น $0.96 \text{ MJ/kg}_{\text{ceramic}}$ ($5.89 \text{ MJ/kg}_{\text{water}}$) และใช้เวลาในการอบแห้ง 53.9 ชั่วโมง การทดลองที่ 3 มีการใช้พลังงานทั้งหมด 212.8 MJ หรือคิดเป็น 0.89

MJ/kg_{ceramic} (5.60 MJ/kg_{water}) และใช้เวลาในการอบแห้ง 44.9 ชั่วโมง การทดลองที่ 4 มีการใช้พลังงานทั้งหมด 205.4 MJ หรือคิดเป็น 0.86 MJ/kg_{ceramic} (5.65 MJ/kg_{water}) และใช้เวลาในการอบแห้ง 42.0 ชั่วโมง และการทดลองที่ 5 เป็นการทดลองซ้ำการทดลองที่ 3 มีการใช้พลังงานทั้งหมด 217.0 MJ หรือคิดเป็น 0.91 MJ/kg_{ceramic} (5.82 MJ/kg_{water}) และใช้เวลาในการอบแห้ง 44.3 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด พลังงานจำเพาะ และระยะเวลาในการอบแห้งกระเบื้องดินเผา



รูปที่ 4.27 เส้นกราฟมาตรฐาน สำหรับการอบแห้งกระเบื้องดินเผา

เมื่อพิจารณาปัจจัยทั้งทางด้านระยะเวลาในการอบแห้ง ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นพบว่า การทดลองที่ 3 และ 5 (การทดลองที่ 5 เป็นการทดลองซ้ำการทดลองที่ 3 เพื่อยืนยันผล) มีความเหมาะสมมากที่สุดที่จะนำไปเป็นมาตรฐานการอบแห้ง กระเบื้องดินเผา ดังแสดงในรูปที่ 4.27

4.3 ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานและประสิทธิภาพการอบแห้ง

จากการประเมินการใช้พลังงานและประสิทธิภาพการอบแห้งของ พอร์ซเลนเซรามิกและ กระเบื้องดินเผาในอุตสาหกรรม โดยใช้ข้อมูลของการทดลองที่นำไปเป็นมาตรฐานการอบแห้ง สำหรับอุตสาหกรรม มาวิเคราะห์โดยอาศัยกฎอนุรักษ์พลังงาน (พลังงานเข้าระบบ = พลังงานสะสมในระบบ + พลังงานออกจากระบบ) ได้ผลการทดลองดังนี้

4.3.1 พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

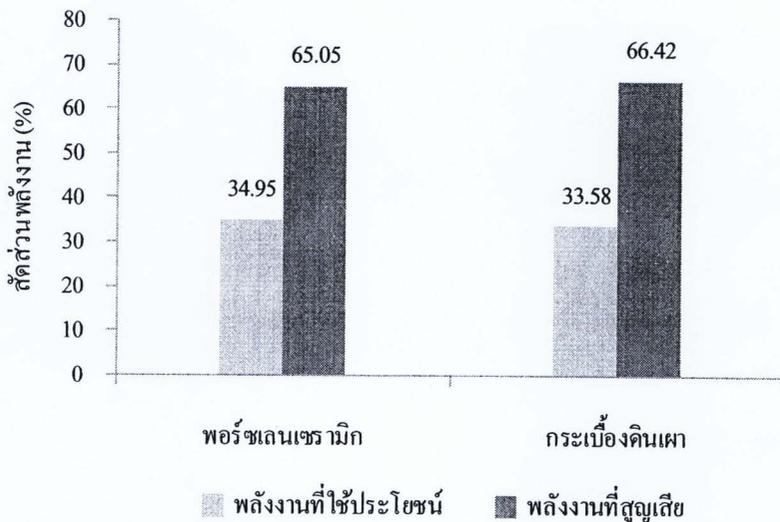
นำปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมดของพอร์ซเลนเซรามิก และกระเบื้องดินเผา มาคำนวณ โดยใช้สมการ (2.22) พลังงานที่ใช้ประโยชน์คำนวณจาก พลังงานความร้อนที่ใช้ระเหยน้ำออกจากเซรามิกกับพลังงานความร้อนที่สะสมในมวลของเซรามิก โดยใช้สมการ (2.23) และพลังงานที่สูญเสียคำนวณ โดยใช้สมการ (2.24) ได้ผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ปริมาณพลังงานที่ใช้ในระบบ พลังงานที่ใช้ประโยชน์ และพลังงานที่สูญเสีย ของการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก และกระเบื้องดินเผา ในอุตสาหกรรม

พลังงาน	พอร์ซเลนเซรามิก	กระเบื้องดินเผา
1. พลังงานที่ใช้ในระบบ	46.44 MJ หรือ 1.28 MJ/kg _{ceramic}	214.20 MJ หรือ 0.90 MJ/kg _{ceramic}
2. พลังงานที่ใช้ประโยชน์		
- พลังงานที่ใช้ระเหยน้ำ	14.86 MJ	62.28 MJ
- พลังงานที่สะสมในเซรามิก	1.37 MJ	9.63 MJ
- รวมทั้งหมด	16.23 MJ	71.92 MJ
3. พลังงานที่สูญเสีย	30.21 MJ	142.28 MJ

จากตารางที่ 4.7 พบว่า พอร์ซเลนเซรามิกมีการใช้พลังงานต่อหน่วยเท่ากับ 1.28 MJ/kg_{ceramic} ซึ่งมีค่ามากกว่า กระเบื้องดินเผาซึ่งใช้พลังงานต่อหน่วยเท่ากับ 0.90 MJ/ kg_{ceramic} ทั้งนี้ เนื่องจาก พอร์ซเลนเซรามิกมีปริมาณความชื้นประมาณ 23% dry-basis ซึ่งสูงกว่ากระเบื้องดินเผาที่มีปริมาณความชื้นประมาณ 16% dry-basis จึงส่งผลให้พอร์ซเลนเซรามิกมีการใช้พลังงานต่อหน่วยที่สูงกว่ากระเบื้องดินเผา

พลังงานที่ใช้ประโยชน์ ในการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิกมีค่าเท่ากับ 16.23 MJ หรือคิดเป็น 34.95% ของพลังงานที่ใช้ในระบบ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ ในการอบแห้งกระเบื้องดินเผา มีค่าเท่ากับ 71.92 MJ หรือคิดเป็น 33.58% ของพลังงานที่ใช้ในระบบ ในส่วนของพลังงานที่สูญเสีย ในการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิกมีค่าเท่ากับ 30.21 MJ หรือคิดเป็น 65.05% ของพลังงานที่ใช้ในระบบ และพลังงานที่สูญเสีย ในการอบแห้งกระเบื้องดินเผา มีค่าเท่ากับ 142.28 MJ หรือคิดเป็น 66.42% ของพลังงานที่ใช้ในระบบดังแสดงในรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 การเปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานที่ใช้ประโยชน์และพลังงานที่สูญเสีย ของการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิกและกระเบื้องดินเผา

4.3.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ของเครื่องอบแห้ง

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการอบแห้งซึ่งเป็นสัดส่วนของพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งเซรามิก ต่อพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ให้กับเครื่องอบแห้ง โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งเซรามิก คำนวณโดยใช้สมการ (2.29) พบว่าเครื่องอบแห้งเซรามิกแบบใช้ลมร้อน 4,000 W ขนาดความจุ 1 m³ ที่ใช้ในทดลองอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก และกระเบื้องดินเผา มีประสิทธิภาพประมาณการอบแห้งใกล้เคียงกัน โดยการอบแห้งพอร์ซเลน

เซรามิกมีประสิทธิภาพการอบแห้งเท่ากับ 34.95% และการอบแห้งกระเบื้องดินเผามีประสิทธิภาพการอบแห้งเท่ากับ 33.58%

โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งจะมีค่าต่ำ เนื่องจากในระหว่างการอบแห้งจะต้องมีการระบายอากาศขึ้นออกจากห้องอบแห้ง เพื่อลดความชื้นของอากาศ เมื่อความชื้นในอากาศลดลงจะทำให้เกิดการระเหยความชื้นออกจากชิ้นงานได้เร็วขึ้น ส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานออกจากระบบด้วย ดังนั้นในการอบแห้งจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงอัตราการอบแห้งและปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งด้วย เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการอบแห้งที่สูงที่สุด