บทที่ 4

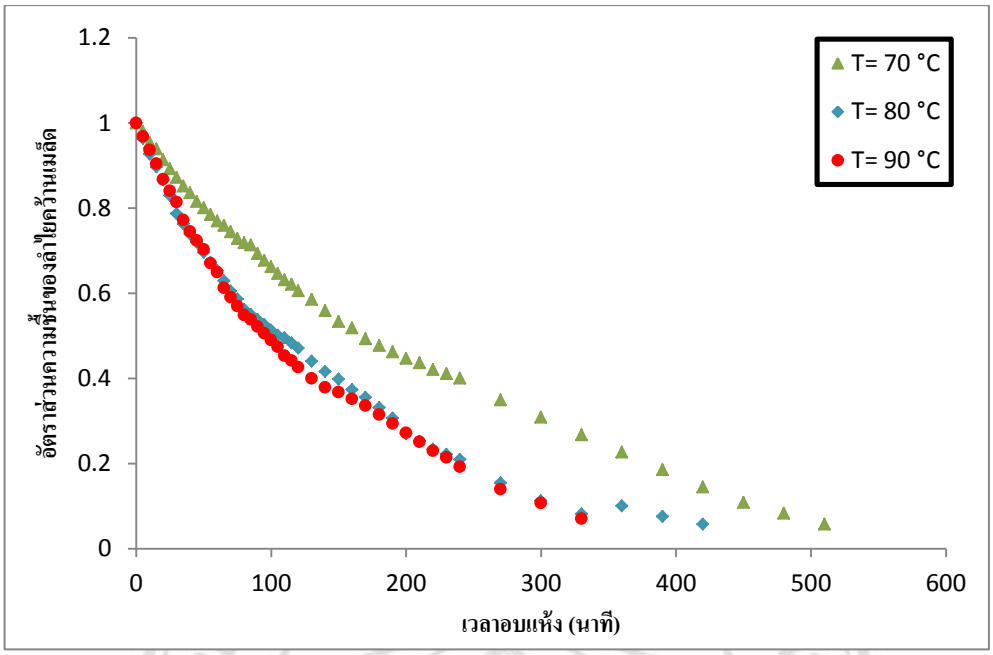
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลของอุณหภูมิและความดันที่มีผลต่อการอัตราการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ด

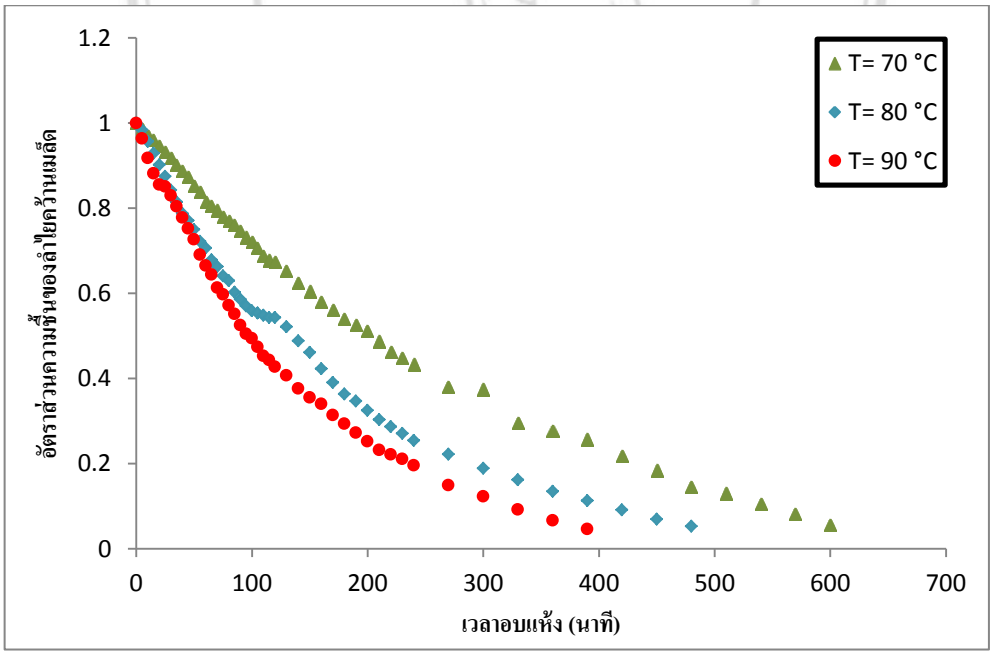
จากการทดลองอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียสที่แต่ละความดัน พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการลดลงของอัตราส่วนความชื้นของลำไยคว้านเมล็ดดังแสดงดังภาพที่ 4.1 - 4.3 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีผลต่อการอบแห้ง โดยที่อุณหภูมิอบแห้งสูงจะทำให้ความชื้นมีการลดลงอย่างรวดเร็วเป็นผลให้อัตราการอบแห้งสูง และใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลง เมื่อพิจารณาความชื้นของแต่ละอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าที่แต่ละอุณหภูมิจะมีความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก จากนั้นจะค่อนข้างลดลงอย่างช้า ๆในลักษณะแบบเอ็กโปเนนเทียล เนื่องจากค่าความชื้นของลำไยคว้านเมล็ดในช่วงแรกมีค่าสูงจึงสามารถทำให้น้ำระเหยออกจากลำไยคว้านเมล็ดได้ดี และเมื่อผ่านไประยะเวลาหนึ่งน้ำภายในลำไยคว้านเมล็ดน้อยลง จึงทำให้น้ำระเหยออกจากตัวลำไยคว้านเมล็ดค่อนข้างยากทำให้การลดความชื้นเริ่มช้าลง จากการทดลองพบว่า เมื่อทำการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำจะมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 350 - 400 มาตรฐานแห้ง อบแห้งจนมีความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ประมาณ 22 มาตรฐานแห้ง ที่ความดัน 7 kPa ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งประมาณ 470, 420 และ 350 นาที ที่ความดัน 10 kPa ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งประมาณ 560, 420 และ 370 นาที และที่ความดัน 15 kPa ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งประมาณ 730, 470 และ 410 นาที ที่อุณหภูมิการอบแห้ง 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียสตามลำดับ (แสดงระยะเวลาการอบแห้งที่แต่ละเงื่อนไขที่ตารางที่ ค.1)

ในส่วนของการทดลองอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่แต่ละสภาวะความดัน จะเห็นได้ว่าความดันมีผลต่อการลดลงของอัตราส่วนความชื้นลำไยคว้านเมล็ดแสดงดังภาพที่ 4.4 - 4.6 พบว่าการลดลงของความดันมีผลต่อการอบแห้ง โดยที่ความดันต่ำจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าที่ความดันสูง เป็นผลมาจากจุดเดือดของวัสดุที่ต่ำลงทำให้น้ำระเหยออกมาได้ง่ายกว่าที่ความดันสูง เมื่อทำการทดลองที่แต่ละความดันระยะเวลาในการอบแห้งค่อนข้างใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการอบแห้งโดยรวมพบว่า ระยะเวลาในการอบแห้งจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและความดันลดลง โดยอุณหภูมิจะมีผลต่อระยะเวลาการอบแห้งมากกว่าความดัน

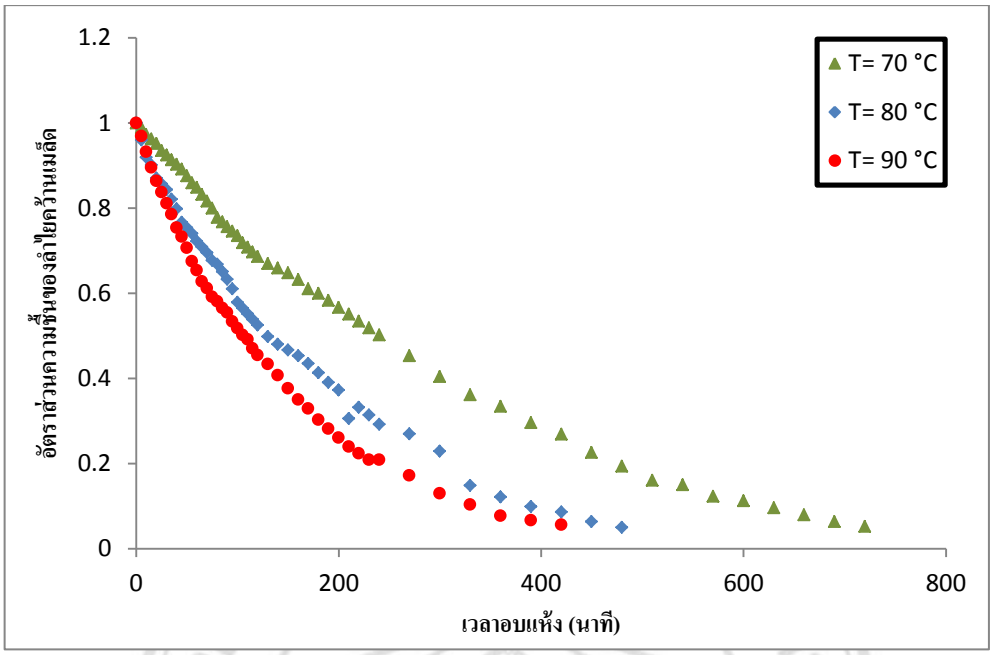
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



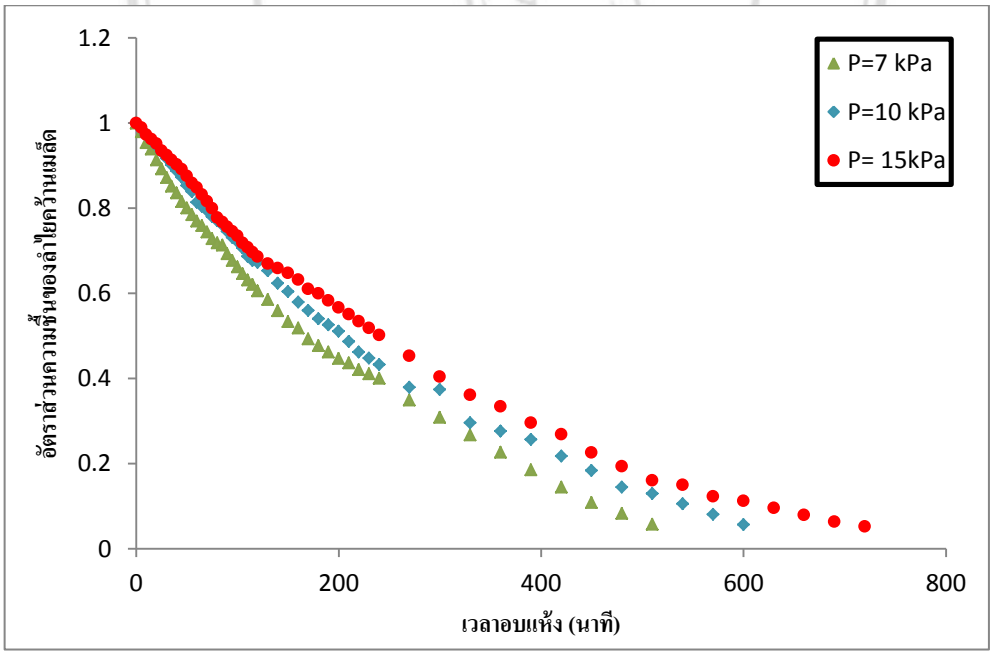
ภาพที่ 4.1 ค่าความชื้นของลำไยคว้านเมล็ดกับเวลาการอบแห้งที่ได้จากการทดลองด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียสที่ความดัน 7 kPa



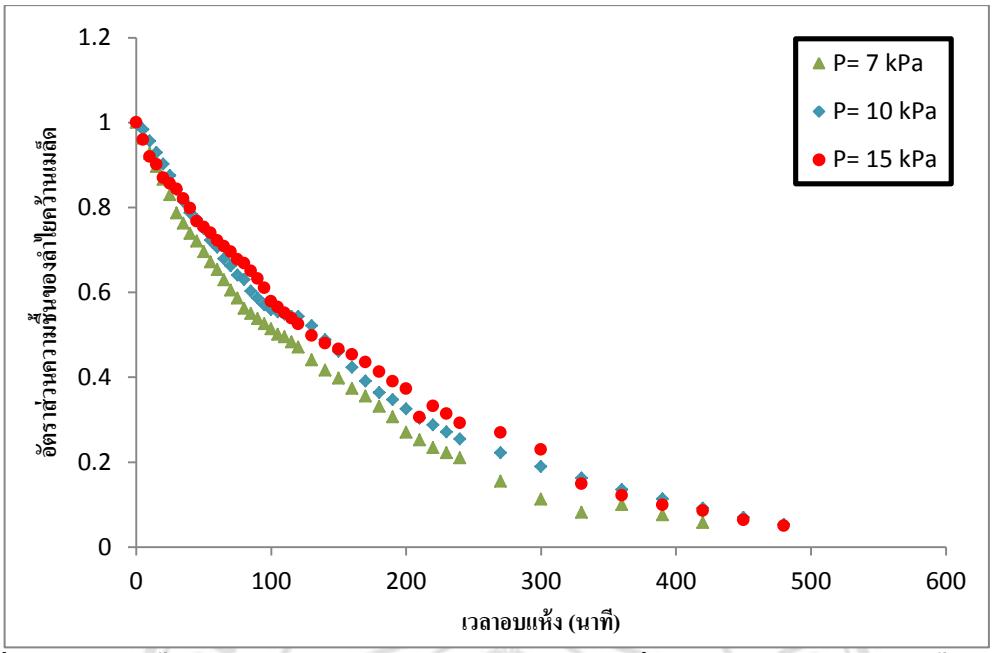
ภาพที่ 4.2 ค่าความชื้นของลำไยคว้านเมล็ดกับเวลาการอบแห้งที่ได้จากการทดลองด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียสที่ความดัน 10 kPa



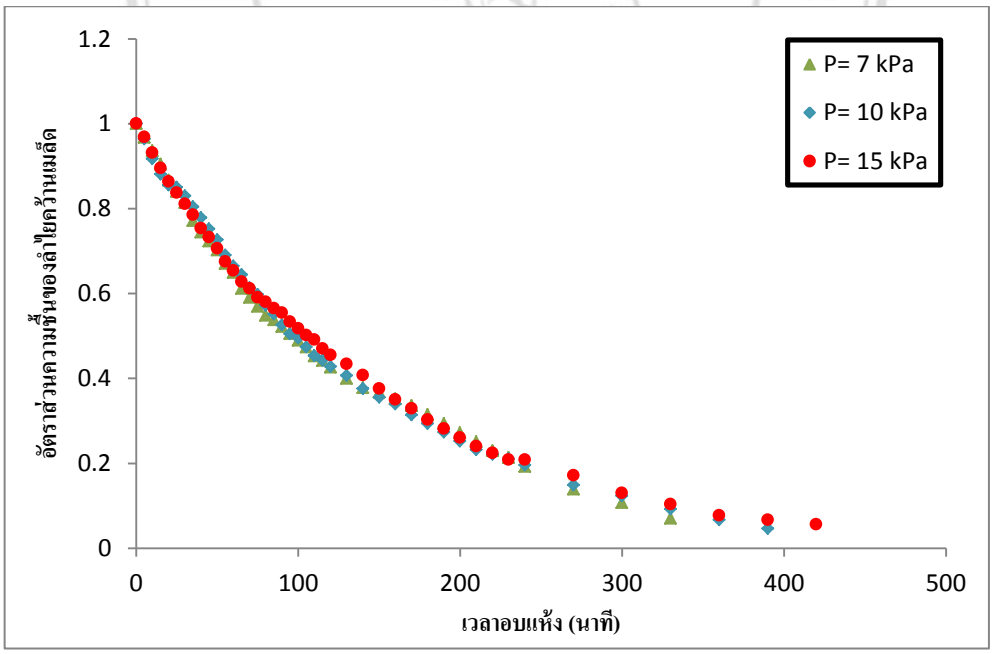
ภาพที่ 4.3 ค่าความชื้นของลำไยคว้านเมล็ดกับเวลาการอบแห้งที่ได้จากการทดลองด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียสที่ความดัน 15 kPa



ภาพที่ 4.4 ค่าความชื้นของลำไยคว้านเมล็ดกับเวลาการอบแห้งที่ได้จากการทดลองด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่ความดัน 7, 10 และ 15 kPa ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.5 ค่าความชื้นของลำไยคว้านเมล็ดกับเวลาการอบแห้งที่ได้จากการทดลองด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่ความดัน 7, 10 และ 15 kPa ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

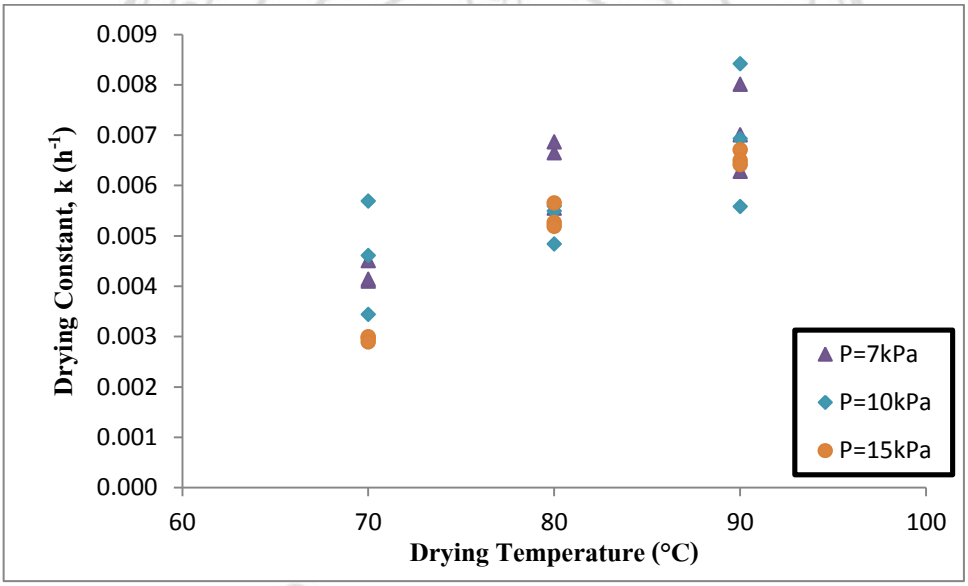


ภาพที่ 4.6 ค่าความชื้นของลำไยคว้านเมล็ดกับเวลาการอบแห้งที่ได้จากการทดลองด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่ความดัน 7, 10 และ 15 kPa ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

4.2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ด

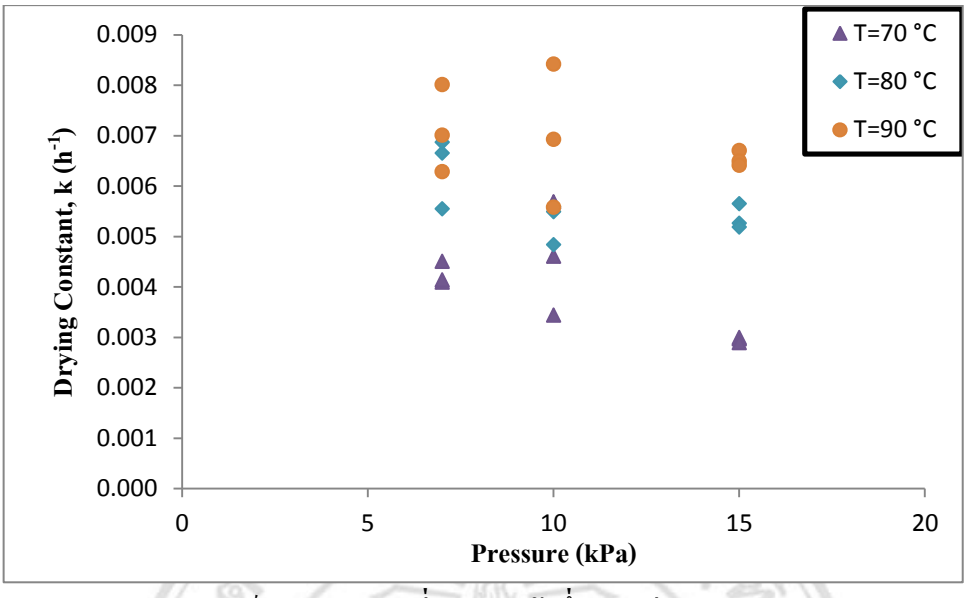
4.2.1 การวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์ของค่าคงที่การอบแห้งของสมการจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎี

จากผลการวิเคราะห์หาค่าคงที่การอบแห้งจากสมการจลนพลศาสตร์การอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎีของลำไยคว้านเมล็ด (k) ที่เงื่อนไขการอบแห้งต่าง ๆ โดยนำผลการทดลองการลดลงของความชื้นมาวิเคราะห์สมการถดถอยโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยใช้สมการ (2.8) จะได้ค่าคงที่การอบแห้งแบบที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง (แสดงค่าคำนวณที่ได้ในตารางที่ ง.1) ภาพที่ 4.7 และ 4.8 แสดงค่าคงที่การอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดจากการทดลองที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียสและที่ความดัน 7, 10 และ 15 kPa พบว่าแนวโน้มของค่าคงที่การอบแห้งมีลักษณะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนที่แต่ละความดันจะมีค่าคงที่การอบแห้งเฉลี่ยใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีกับอุณหภูมิจากการทดลองอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดที่ความดัน 7, 10 และ 15 kPa

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีกับความดันจากการทดลองอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 4.7 และ 4.8 แสดงค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีที่ได้จากเงื่อนไขต่าง ๆ ตามลำดับ พบว่าอุณหภูมิและความดันของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำเป็นตัวแปรที่มีผลต่อค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎี โดยค่าคงที่การอบแห้งมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้น้ำที่อยู่ภายในวัสดุเกิดการระเหยได้ดีกว่า ในส่วนของความดันค่าคงที่จะมีค่าที่ใกล้เคียงกันในแต่ละความดันเนื่องจากจุดเดือดของวัสดุที่แต่ละความดันมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เป็นผลให้อุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งมากกว่าความดัน

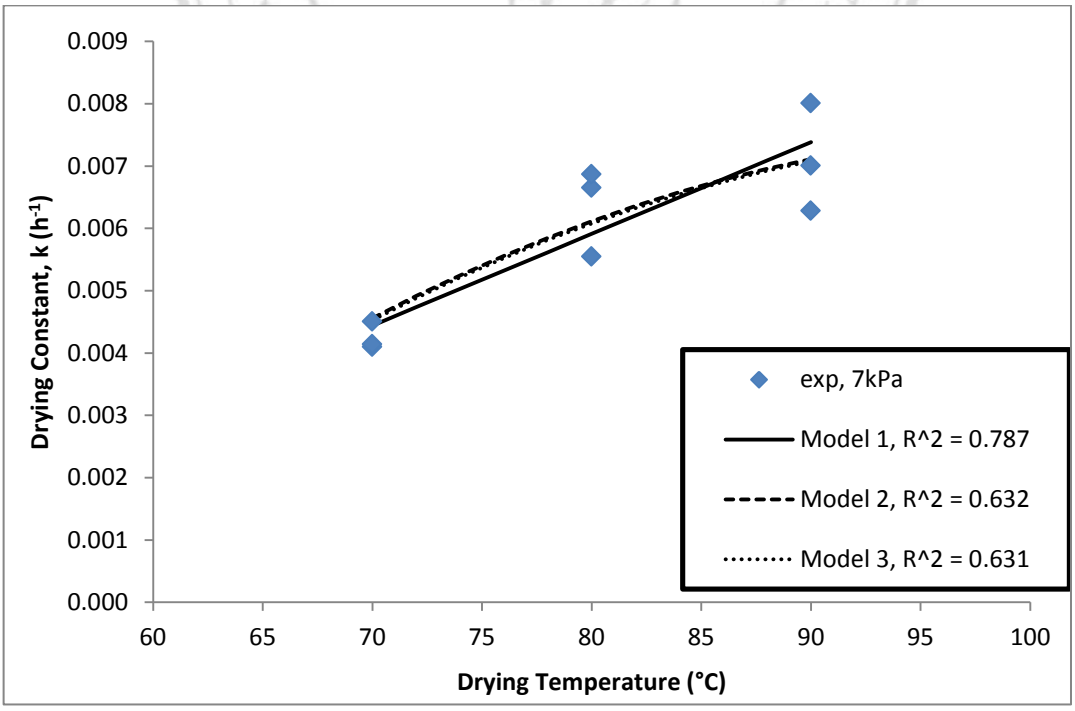
จากการวิเคราะห์ผลพารามิเตอร์การอบแห้งที่มีผลต่อการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดโดยการวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยสุดโดยใช้รูปแบบสมการ (2.8) พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดคืออุณหภูมิและความดัน ดังนั้นสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดที่ทำการศึกษาสามารถสร้างรูปแบบความสัมพันธ์ของค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีที่เป็นฟังก์ชั่นกับอุณหภูมิและความดันดังตารางที่ 4.1 จากตารางจะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่ 1 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ดีกว่าแบบจำลอง 2 และ 3 ที่ความดัน 7 และ 10 kPa เนื่องมาจากมีค่า R^2 ที่มากกว่าและมีค่า MRS ต่ำกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

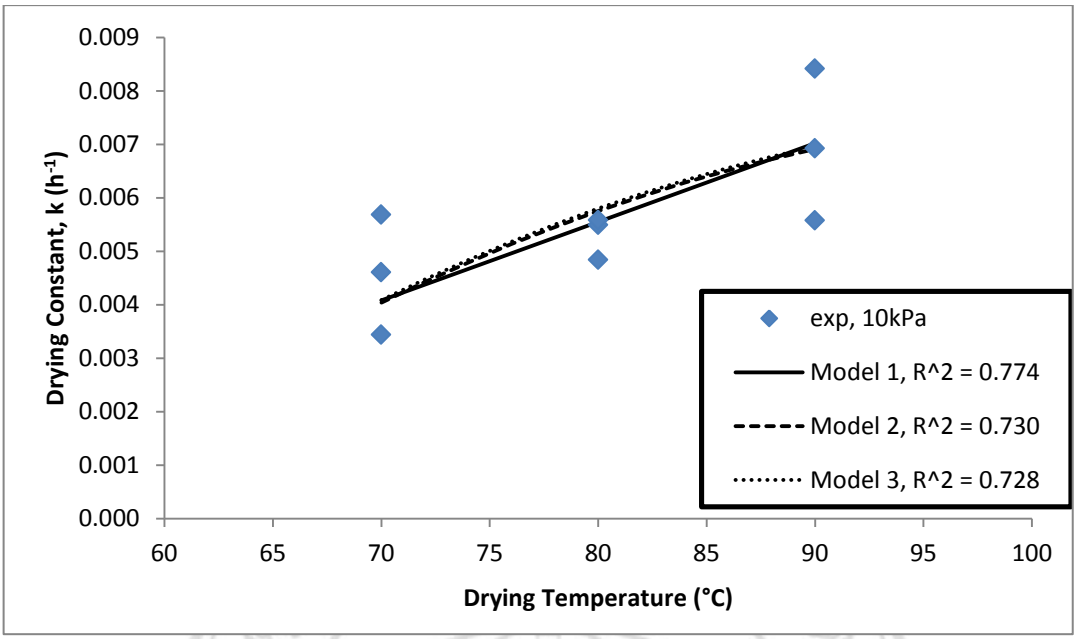
ตารางที่ 4.1 สมการแบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎี (k) สำหรับการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90องศาเซลเซียสและที่ความดัน 7,10 และ 15 kPa

Model	Equation	R^2	MRS	Equation
Model 1	$k = 0.0001472T-0.00012P-0.005008$	0.877	0.000734	4.1
Model 2	$k = -0.01805+0.0005348T-0.0005466P-2.778x10^{-6}T^2 +5.332x10^{-6}TP$	0.788	0.000736	4.2
Model 3	$k = -0.01862+0.0005348T-0.0004351P-2.778x10^{-6}T^2 +5.332x10^{-6}TP-4.996x10^{-6}P^2$	0.789	0.000752	4.3

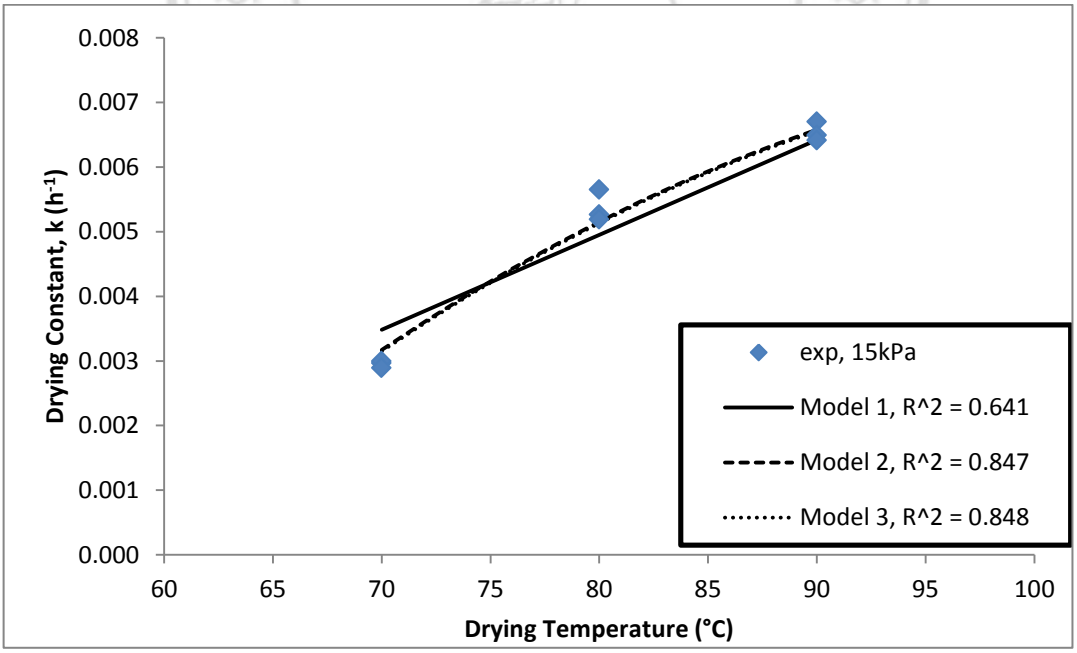
จากภาพที่ 4.9 - 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่า k ที่คำนวณได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองพบว่าแบบจำลองที่ 1 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ดีกว่าแบบจำลอง 2 และ 3 ที่ความดัน 7 และ 10 kPa เนื่องมาจากมีค่า R^2 ที่มากกว่า มีเพียงที่ความดัน 15 kPa แบบจำลองที่ 3 ทำนายได้แม่นยำกว่า



ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของการอบแห้งที่หาได้จากการทดลองกับค่าที่หาได้จากสมการแบบกึ่งทฤษฎี แบบจำลองที่ 1-3 จากการอบแห้งที่ความดัน 7 kPa

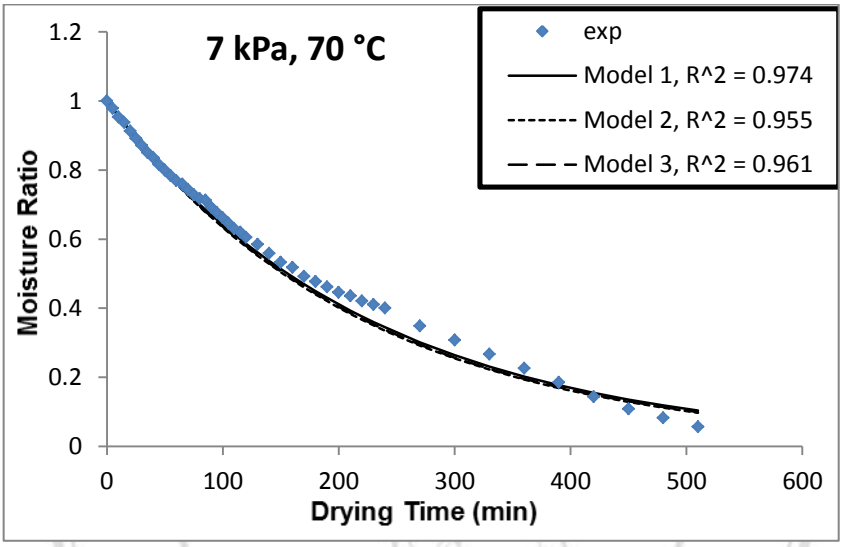


ภาพที่ 4.10 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของการอบแห้งที่หาได้จากการทดลองกับค่าที่หาได้จากสมการแบบกึ่งทฤษฎี แบบจำลองที่ 1-3 จากการอบแห้งที่ความดัน 10 kPa



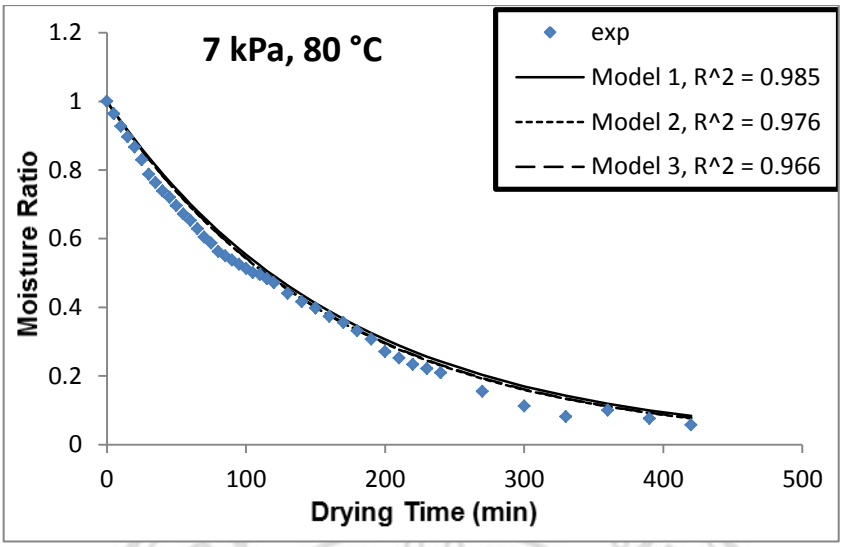
ภาพที่ 4.11 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของการอบแห้งที่หาได้จากการทดลองกับค่าที่หาได้จากสมการแบบกึ่งทฤษฎี แบบจำลองที่ 1-3 จากการอบแห้งที่ความดัน 15 kPa

ภาพที่ 4.12 – 4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากผลการทดลองและแบบจำลองที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90องศาเซลเซียสที่ความดัน 7, 10 และ 15 kPa จะเห็นได้ว่าแบบจำลองค่าคงที่การอบแห้ง แบบจำลองที่ 1 โดยส่วนใหญ่สามารถทำนายผลการทดลองได้ดีกว่าแบบจำลองที่ 2 และ 3 เพราะมีค่า R^2 ที่มากกว่าโดยค่า R^2 ของทั้ง 3 แบบการจำลองมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

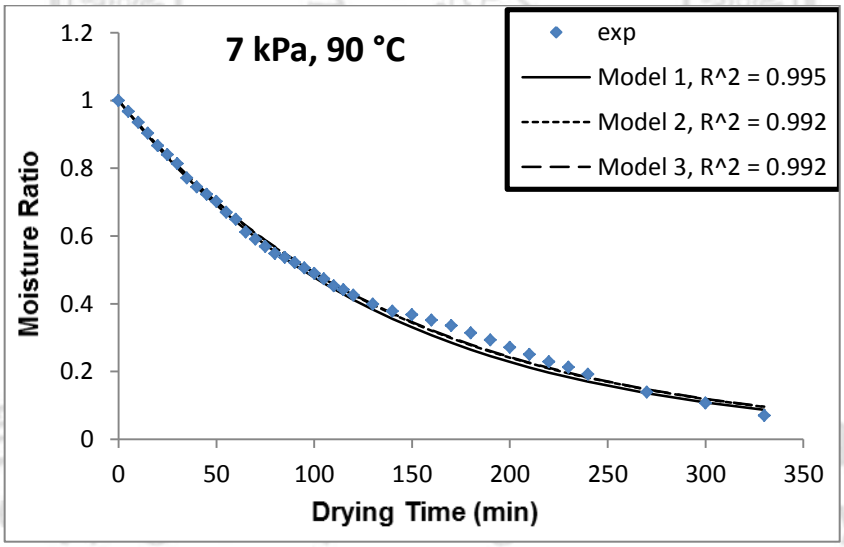


ภาพที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าอัตราการส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎีของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและที่ความดัน 7 kPa

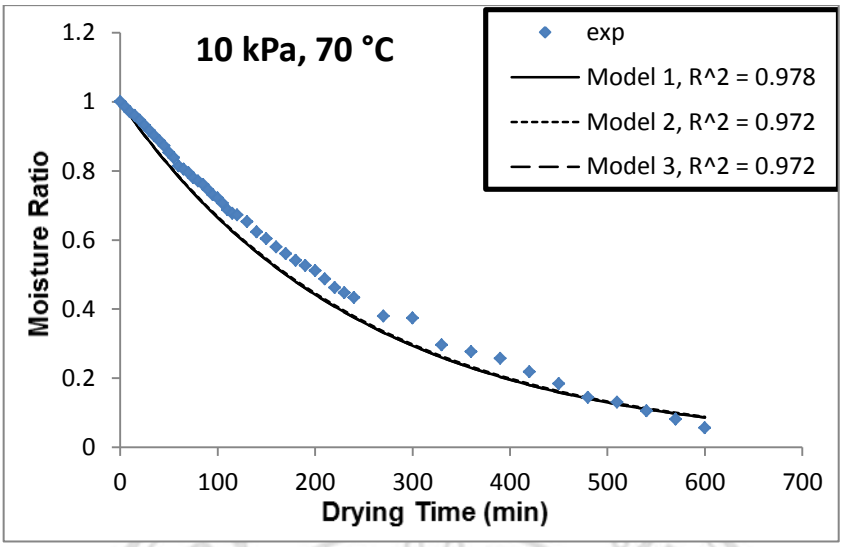
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



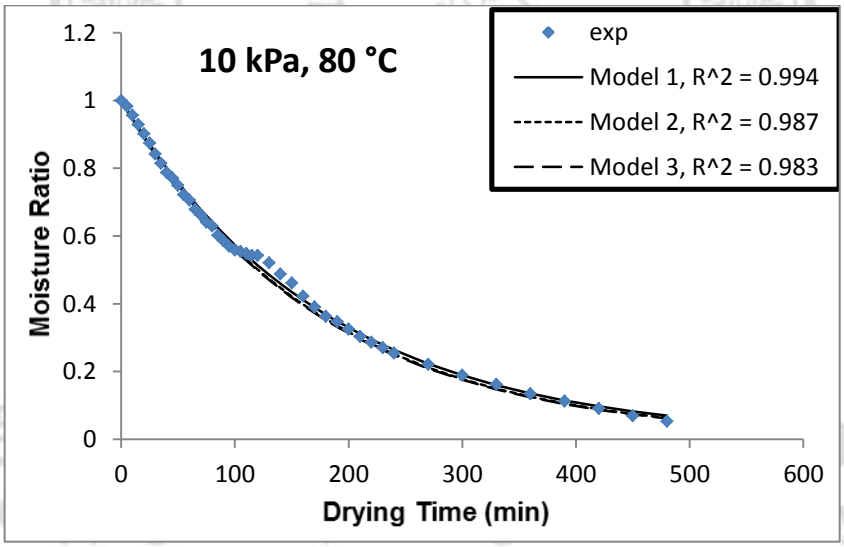
ภาพที่ 4.13 การเปรียบเทียบค่าอัตราการส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎีของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสและที่ความดัน 7 kPa



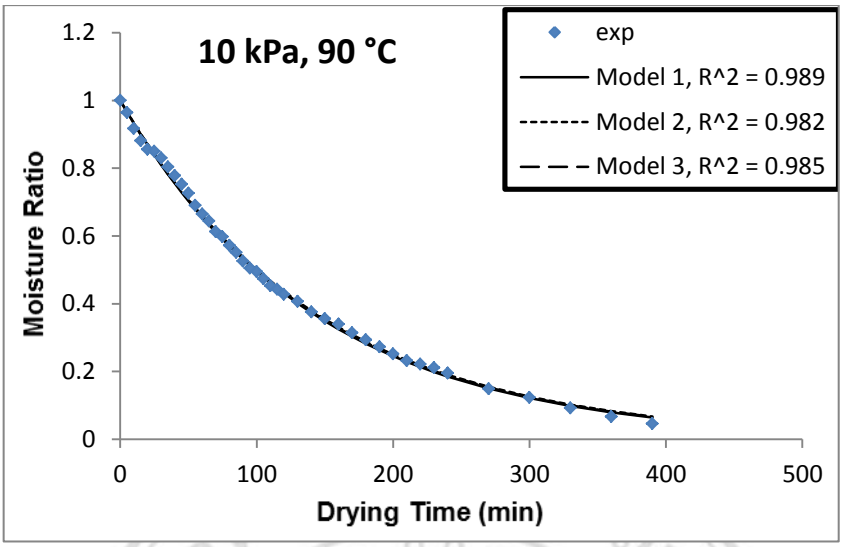
ภาพที่ 4.14 การเปรียบเทียบค่าอัตราการส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎีของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสและที่ความดัน 7 kPa



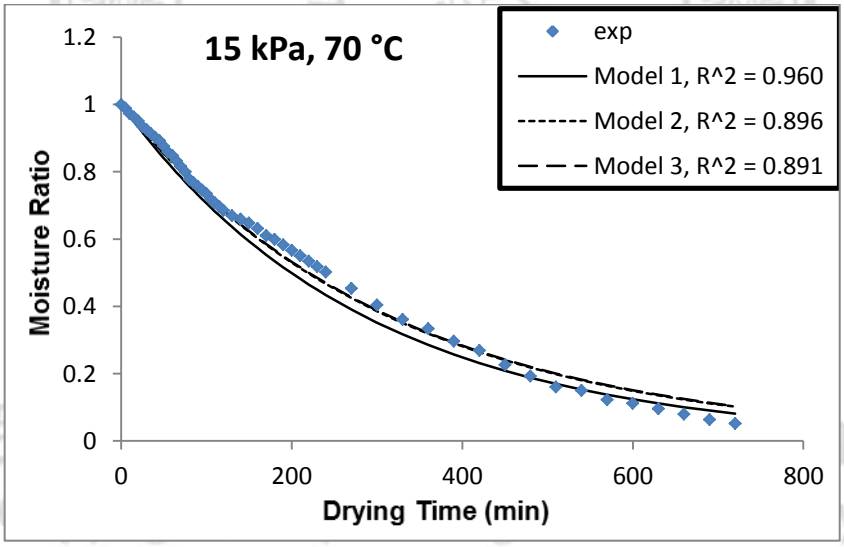
ภาพที่ 4.15 การเปรียบเทียบค่าอัตราการส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎีของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและที่ความดัน 10 kPa



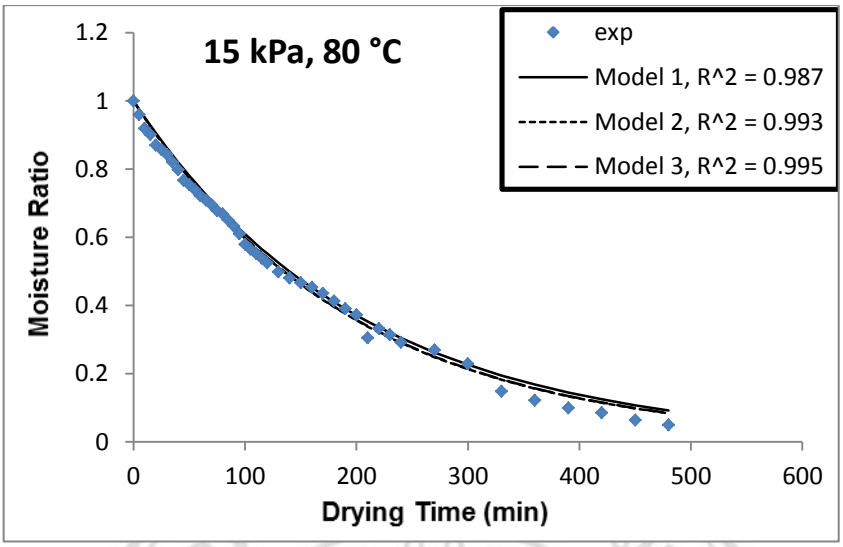
ภาพที่ 4.16 การเปรียบเทียบค่าอัตราการส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎีของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสและที่ความดัน 10 kPa



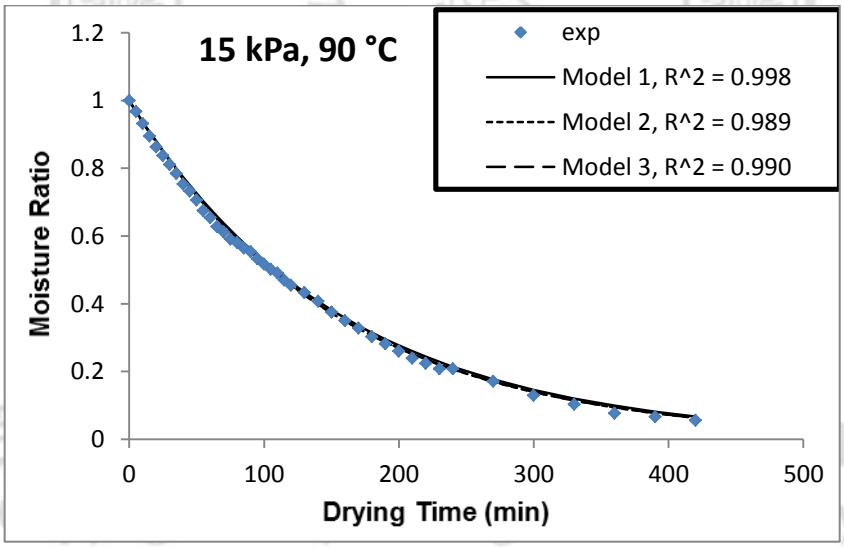
ภาพที่ 4.17 การเปรียบเทียบค่าอัตราการส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎีของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสและที่ความดัน 10 kPa



ภาพที่ 4.18 การเปรียบเทียบค่าอัตราการส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎีของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและที่ความดัน 15 kPa



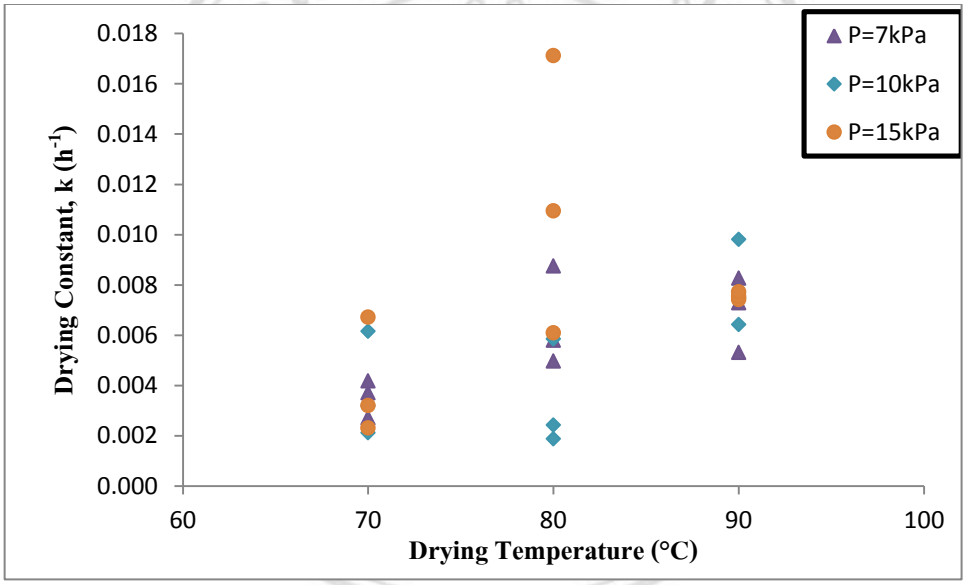
ภาพที่ 4.19 การเปรียบเทียบค่าอัตราการส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎีของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสและที่ความดัน 15 kPa



ภาพที่ 4.20 การเปรียบเทียบค่าอัตราการส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎีของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสและที่ความดัน 15 kPa

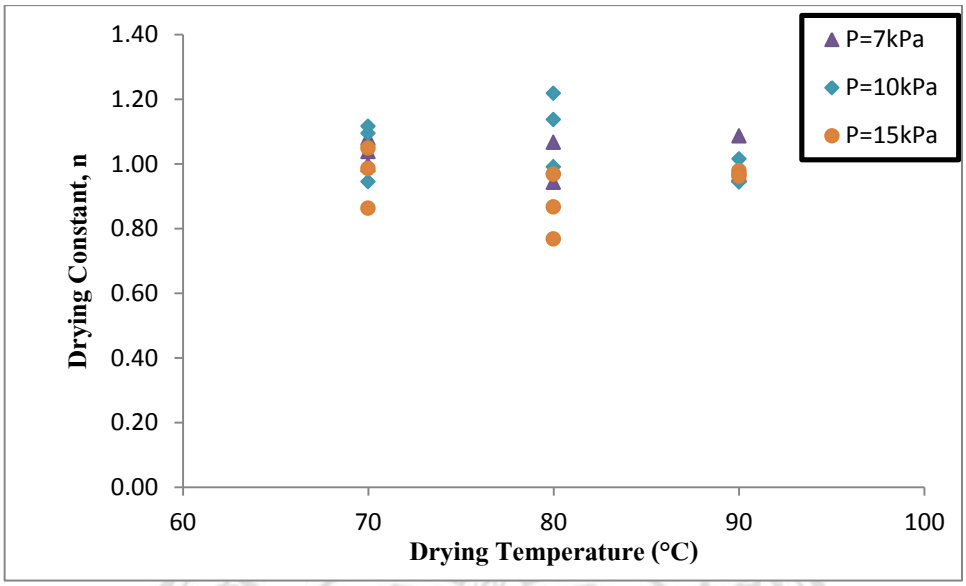
4.2.2. การวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์ของค่าคงที่การอบแห้งของสมการจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งเอมไพริเคิล

จากผลการวิเคราะห์หาค่าคงที่การอบแห้งจากสมการจลนพลศาสตร์การอบแห้งแบบเอมไพริเคิลของลำไยคว้านเมล็ด (k, n) ที่เงื่อนไขการอบแห้งต่าง ๆ โดยนำผลการทดลองการลดลงของความชื้นมาวิเคราะห์สมการถดถอยโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยใช้สมการ (2.9) จะได้ค่าคงที่การอบแห้งแบบที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง (แสดงค่าคำนวณที่ได้ในตารางที่ ง.2) ภาพที่ 4.21 - 4.24 แสดงค่าคงที่การอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดจากการทดลองที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียสและที่ความดัน 7, 10 และ 15 kPa

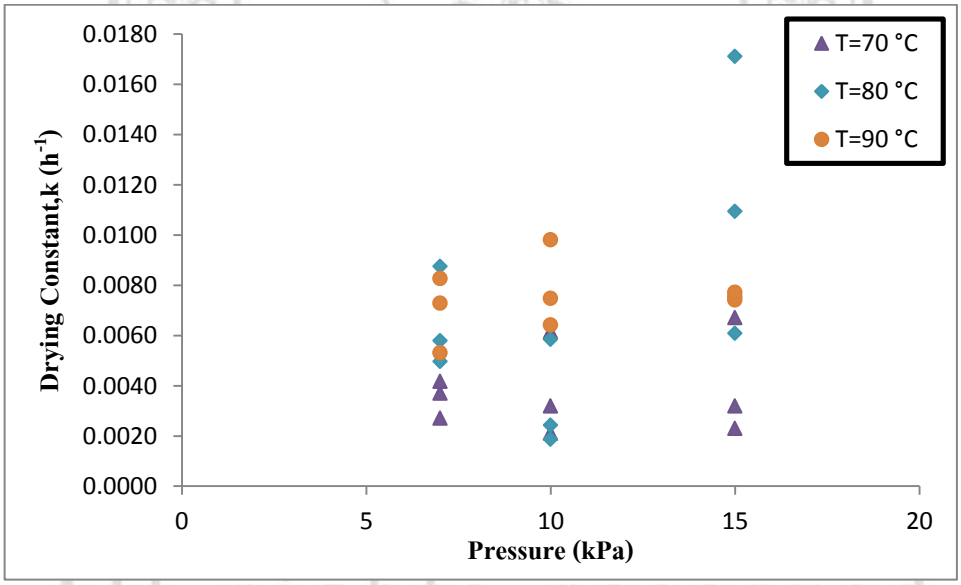


ภาพที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่การอบแห้งแบบเอมไพริเคิล (k) กับอุณหภูมิจากการทดลองอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดที่ความดัน 7, 10 และ 15 kPa

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

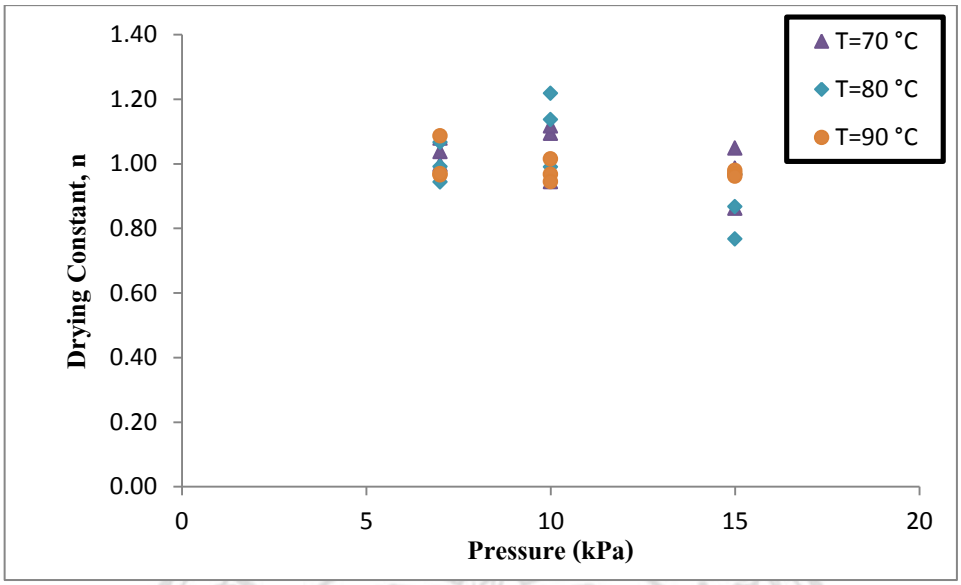


ภาพที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่การอบแห้งแบบเอมไพริเคิล (n) กับอุณหภูมิจากการทดลองอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดที่ความดัน 7, 10 และ 15 kPa



ภาพที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่การอบแห้งแบบเอมไพริเคิล (k) กับความดันจากการทดลองอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
All rights reserved



ภาพที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่การอบแห้งแบบเอมไพริเคิล (n) กับความดันจากการทดลองอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 4.21 - 4.24 แสดงค่าคงที่การอบแห้งเอมไพริเคิลของเงื่อนไขต่าง ๆ ตามลำดับ พบว่าอุณหภูมิและความดันของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำเป็นตัวแปรที่มีผลต่อค่าคงที่การอบแห้งเอมไพริเคิล โดยค่าคงที่การอบแห้ง (k) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และในส่วนของความดันพบว่าค่าคงที่การอบแห้ง (k) มีค่าใกล้เคียงกันซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับค่าคงที่แบบกึ่งทฤษฎี ส่วนค่าคงที่การอบแห้ง (n) จะมีค่าใกล้เคียง 1 แสดงดังตารางที่ ง.2

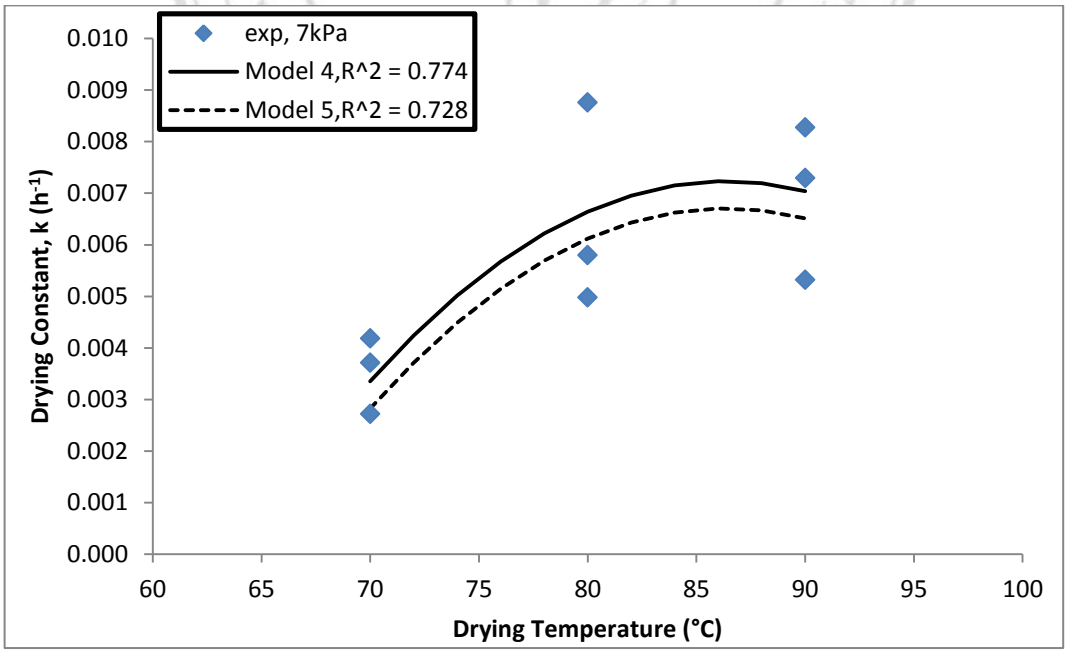
จากการวิเคราะห์ผลพารามิเตอร์การอบแห้งที่มีผลต่อการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดโดยการวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยสุด พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดคือ อุณหภูมิและความดัน ดังนั้นสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดที่ทำการศึกษานั้นสามารถสร้างภาพแบบความสัมพันธ์ของค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีที่เป็นฟังก์ชั่นกับอุณหภูมิและความดันได้ดังตารางที่ 4.2 จากตารางจะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่ 4 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ค่อนข้างดีกว่าแบบจำลอง 5 เนื่องจากมีค่า R^2 ที่มากกว่าและมีค่า MRS ที่น้อยกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

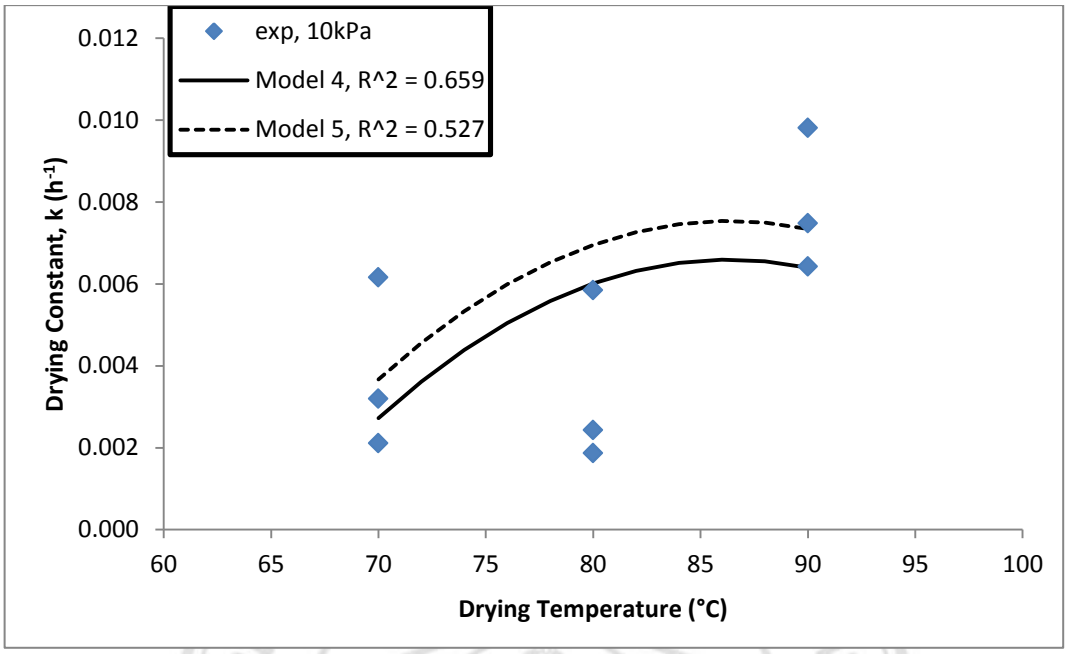
ตารางที่ 4.2 สมการแบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบเอมไพริเคิล (k,n) สำหรับการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียสและที่ความดัน 7,10 และ 15 kPa

Model	Equation	R^2	MRS	Equation
Model 4	$k = -0.09308+0.002505T-0.001757P-1.449x10^{-5}T^2$ $-2.918x10^{-7}TP+9.231x10^{-5}P^2$	0.616	0.00288	4.4
	$n = 1.474-0.01605T+0.05929P+7.068x10^{-5}T^2$ $+0.0002823TP-0.004181P^2$	0.560	0.0846	4.5
Model 5	$k = -0.1035+0.002505T+0.0003025P-1.449x10^{-5}T^2$ $-2.918x10^{-7}TP$	0.583	0.0029	4.6
	$n = 1.94748-0.016049T-0.033968P+0.000071T^2$ $+0.000282TP$	0.455	0.0976	4.7

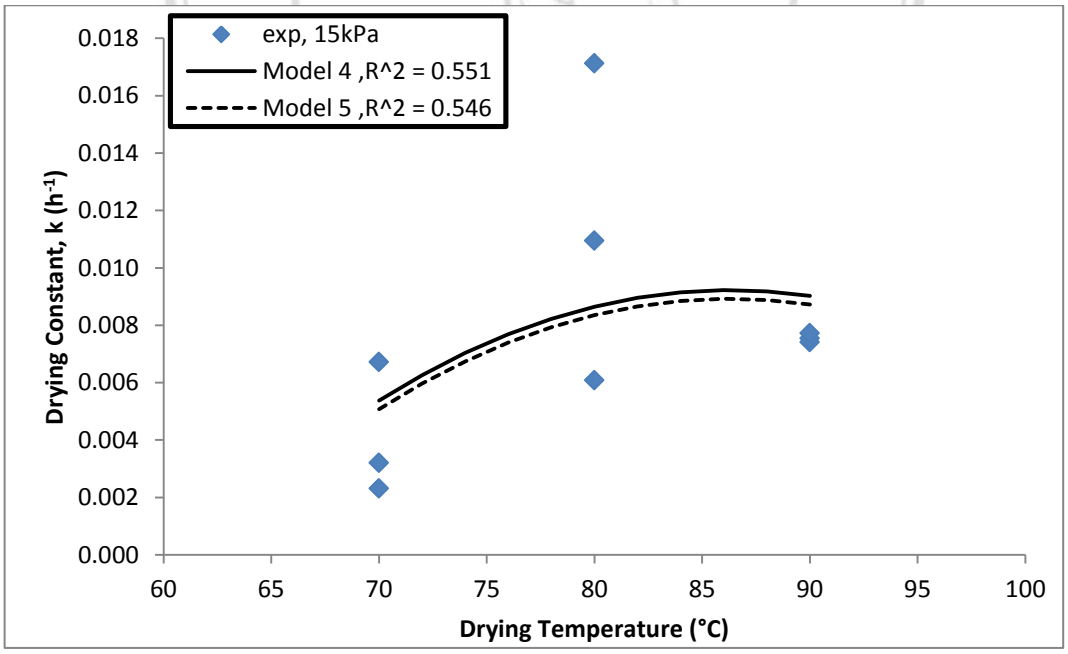
จากภาพที่ 4.25 – 4.27 แสดงค่าการเปรียบเทียบค่าคงที่การอบแห้ง k ที่คำนวณได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองพบว่าแบบจำลองที่ 4 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ค่อนข้างดีกว่าแบบจำลอง 5 เนื่องจากค่า R^2 มีค่าที่มากกว่า



ภาพที่ 4.25 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ (k) ของการอบแห้งที่หาได้จากการทดลองกับค่าที่หาได้จากสมการเอมไพริเคิล แบบจำลองที่ 4 และ 5 จากการอบแห้งที่ความดัน 7 kPa

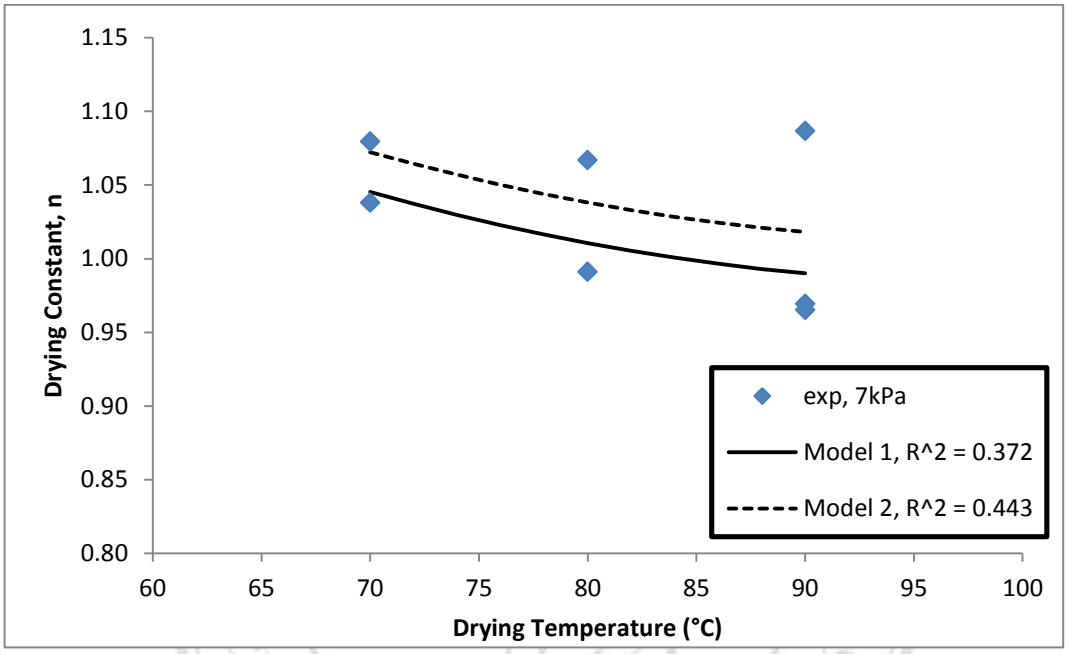


ภาพที่ 4.26 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ (k) ของการอบแห้งที่หาได้จากการทดลอง กับค่าที่หาได้จากสมการเอมไพริเคิล แบบจำลองที่ 4 และ 5 จากการอบแห้งที่ความดัน 10 kPa



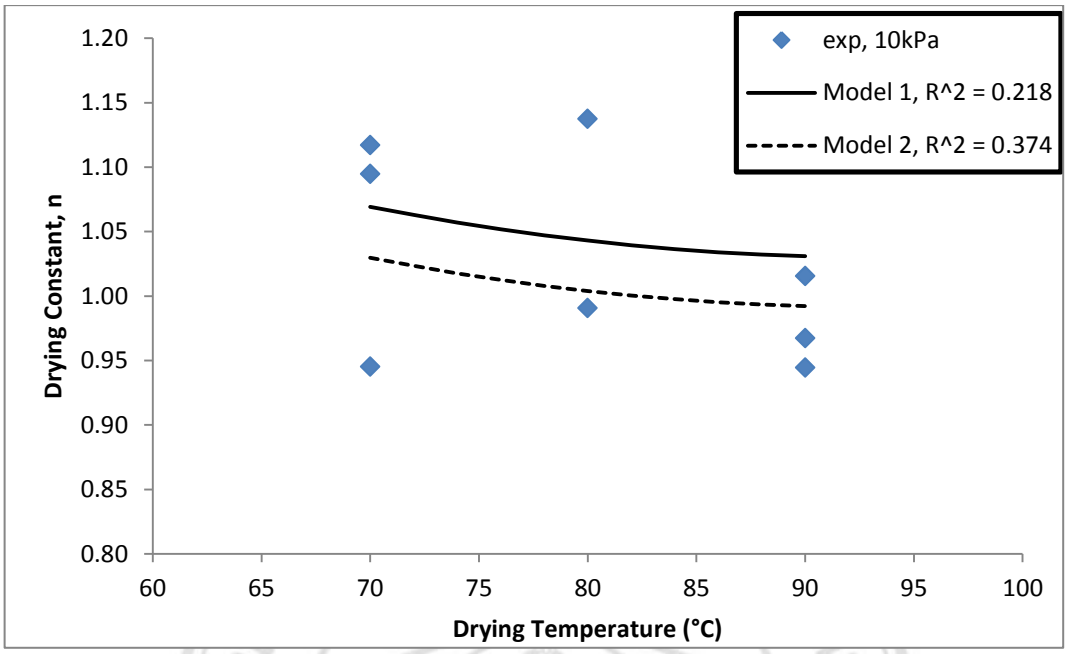
ภาพที่ 4.27 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ (k) ของการอบแห้งที่หาได้จากการทดลอง กับค่าที่หาได้จากสมการเอมไพริเคิล แบบจำลองที่ 4 และ 5 จากการอบแห้งที่ความดัน 15 kPa

จากภาพที่ 4.27 – 4.30 แสดงค่าการเปรียบเทียบค่าคงที่การอบแห้ง n ที่คำนวณได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองพบว่าแบบจำลองที่ 4 และแบบจำลอง 5 มีค่า R^2 ที่ค่อนข้างน้อย เนื่องจากค่อนข้างมีการกระจายกันของข้อมูลมาก เป็นผลให้ค่าคงที่การอบแห้ง n มีผลกระทบน้อยต่อสมการการอบแห้งแบบเอมไพริเคิล

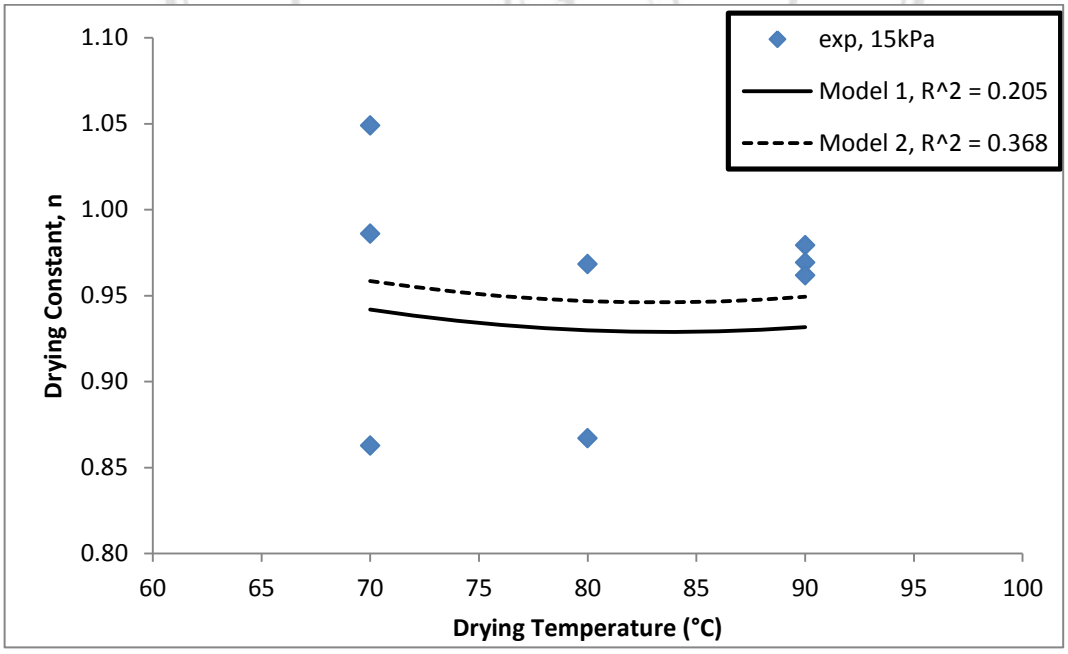


ภาพที่ 4.28 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ (n) ของการอบแห้งที่หาได้จากการทดลองกับค่าที่หาได้จากสมการเอมไพริเคิล แบบจำลองที่ 4 และ 5 จากการอบแห้งที่ความดัน 7 kPa

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

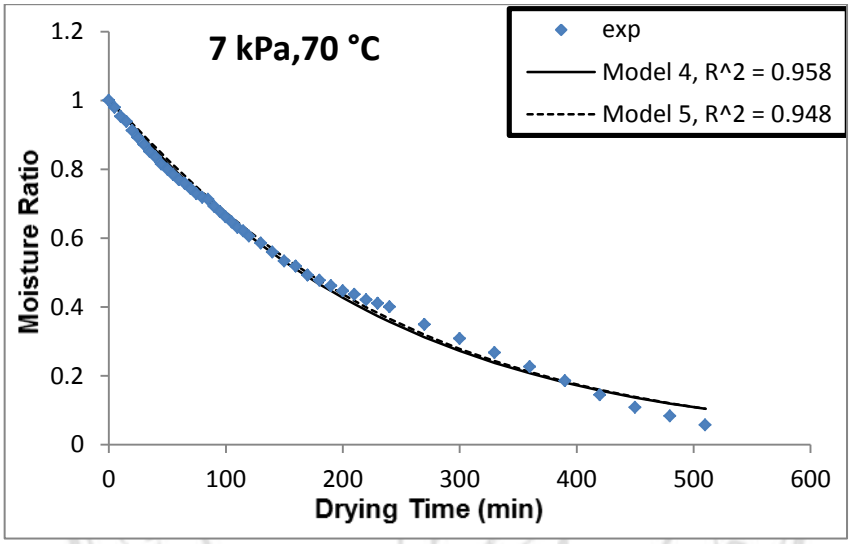


ภาพที่ 4.29 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ (n) ของการอบแห้งที่หาได้จากการทดลอง กับค่าที่หาได้จากสมการเอมไพริเคิล แบบจำลองที่ 4 และ 5 จากการอบแห้งที่ความดัน 10 kPa



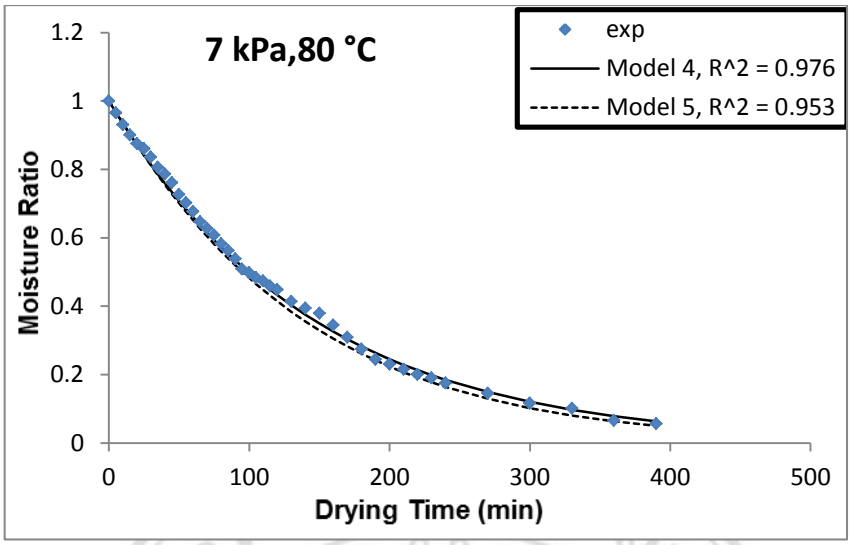
ภาพที่ 4.30 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ (n) ของการอบแห้งที่หาได้จากการทดลอง กับค่าที่หาได้จากสมการเอมไพริเคิล แบบจำลองที่ 4 และ 5 จากการอบแห้งที่ความดัน 15 kPa

ภาพที่ 4.31 – 4.39 แสดงค่าอัตราส่วนความชื้นจากผลการทดลองและแบบจำลองที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียสที่ความดัน 7, 10 และ 15 kPa จะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่ 4 ส่วนมากสามารถทำนายได้ดีกว่าแบบจำลองที่ 5 โดยพิจารณาจากค่า R^2 ที่มากกว่า จากการวิเคราะห์ผลพบว่าค่า R^2 ของแบบจำลองที่ 4 และแบบจำลองที่ 5 มีค่าค่อนข้างสูงจึงส่งผลให้แบบที่ 4 และแบบจำลองที่ 5 ยังคงสามารถทำนายการอบแห้งได้

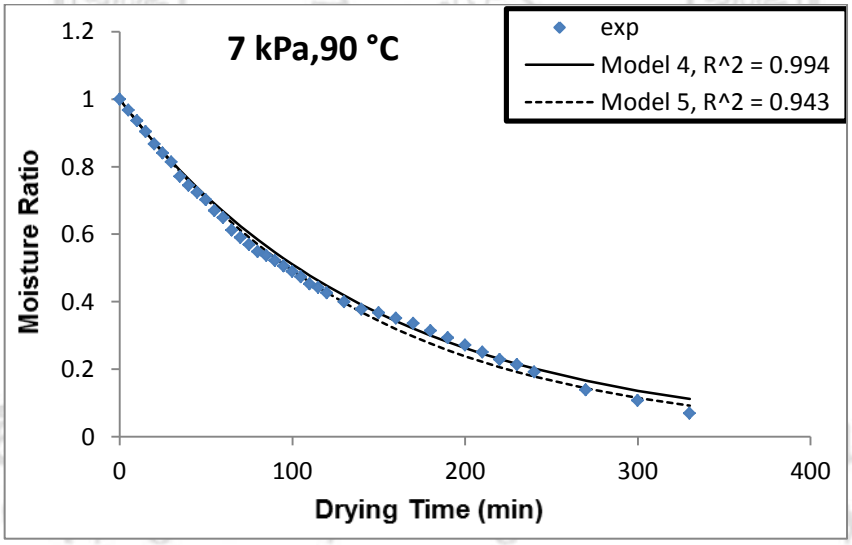


ภาพที่ 4.31 การเปรียบเทียบค่าอัตราการส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบเอมไพริเคิลของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และที่ความดัน 7 kPa

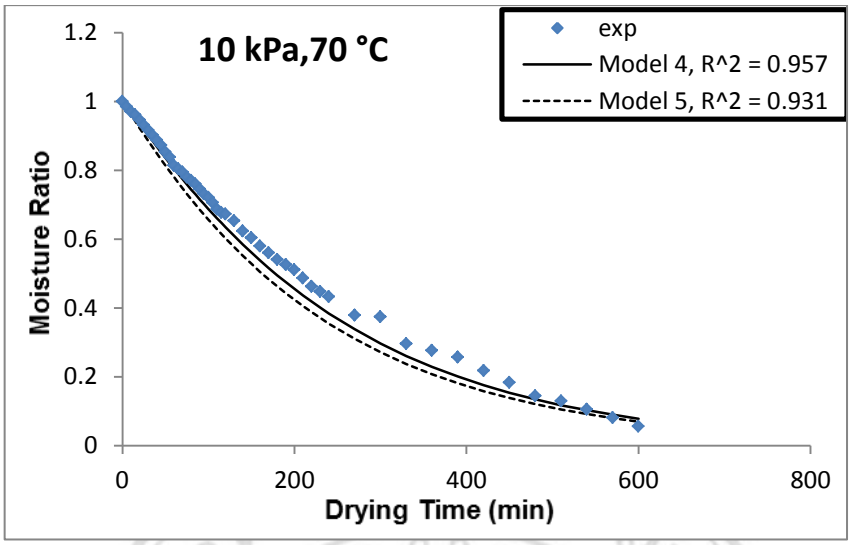
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



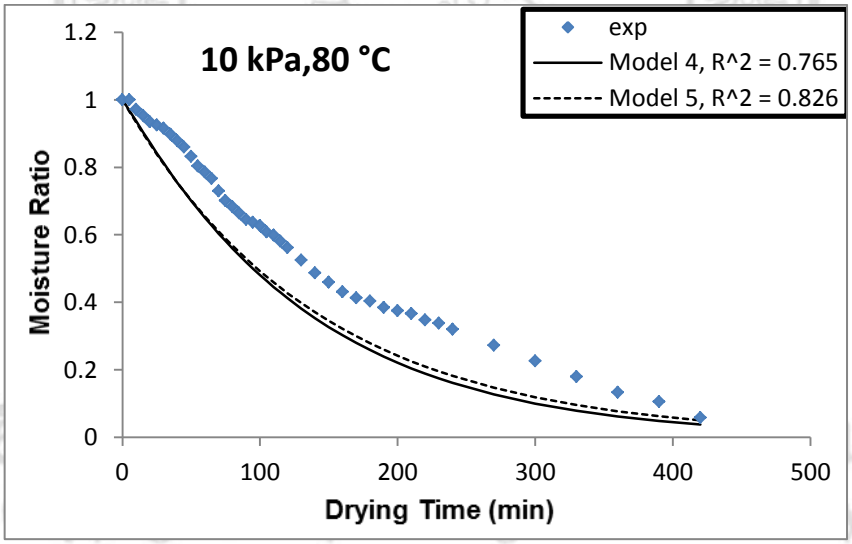
ภาพที่ 4.32 การเปรียบเทียบค่าอัตราการส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบเอมไพริเคิลของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 80องศาเซลเซียส และที่ความดัน 7 kPa



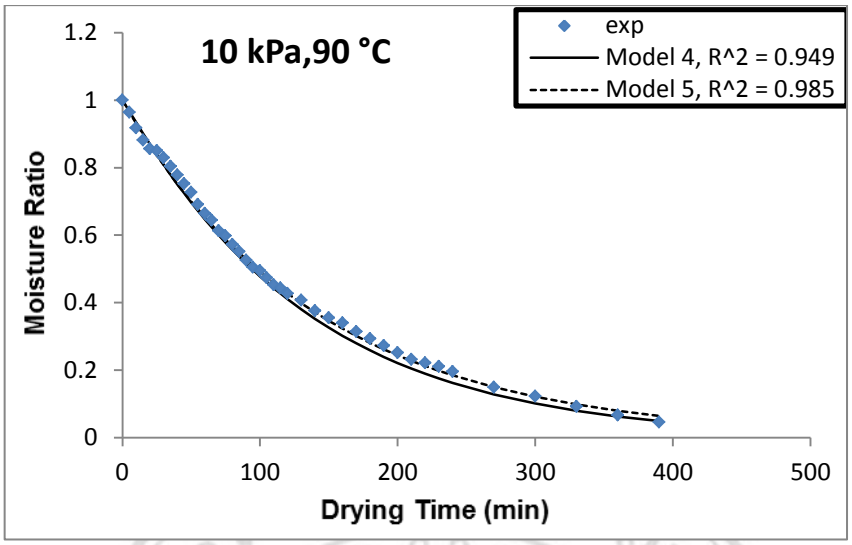
ภาพที่ 4.33 การเปรียบเทียบค่าอัตราการส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบเอมไพริเคิลของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 90องศาเซลเซียส และที่ความดัน 7 kPa



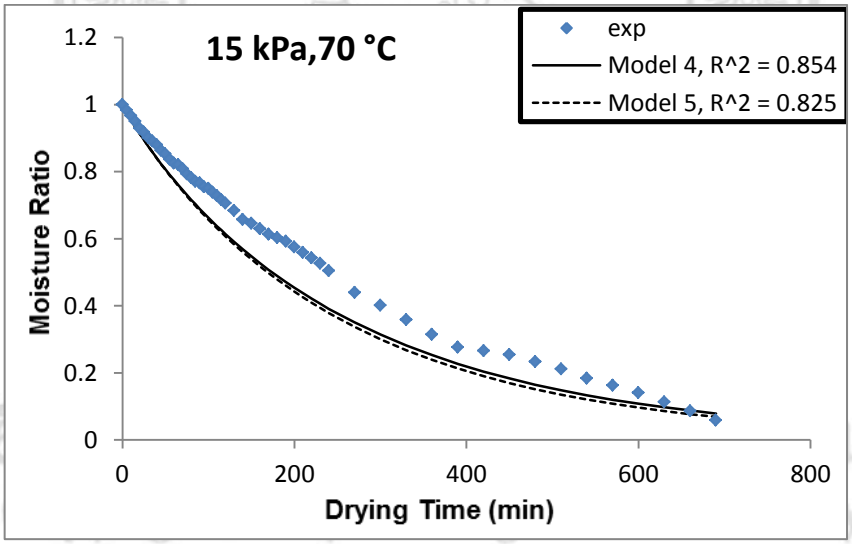
ภาพที่ 4.34 การเปรียบเทียบค่าอัตราการส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบเอมไพริเคิลของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 70องศาเซลเซียส และที่ความดัน 10 kPa



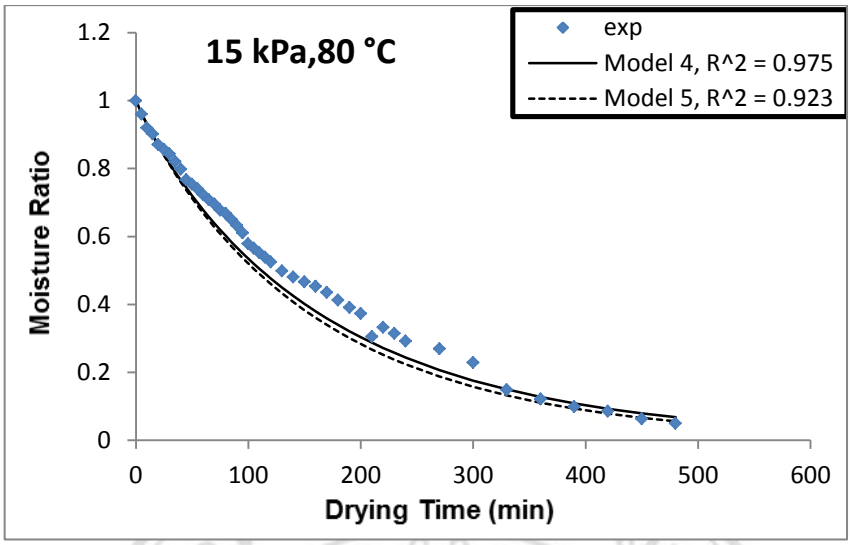
ภาพที่ 4.35 การเปรียบเทียบค่าอัตราการส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบเอมไพริเคิลของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 80องศาเซลเซียส และที่ความดัน 10 kPa



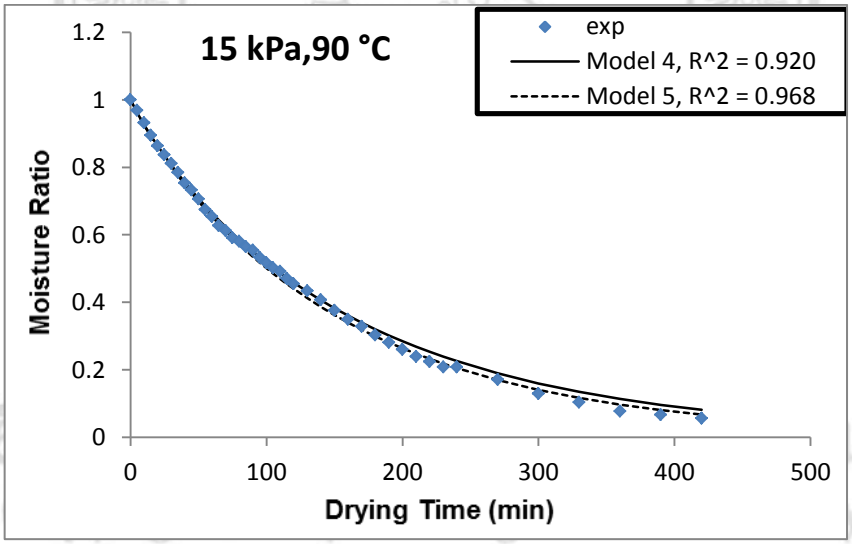
ภาพที่ 4.36 การเปรียบเทียบค่าอัตราการส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบเอมไพริเคิลของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 90องศาเซลเซียส และที่ความดัน 10 kPa



ภาพที่ 4.37 การเปรียบเทียบค่าอัตราการส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบเอมไพริเคิลของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และที่ความดัน 15 kPa



ภาพที่ 4.38 การเปรียบเทียบค่าอัตราการส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบเอมไพริเคิลของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และที่ความดัน 15 kPa



ภาพที่ 4.39 การเปรียบเทียบค่าอัตราการส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบเอมไพริเคิลของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และที่ความดัน 15 kPa

4.3 คุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

4.3.1 ผลการทดลองวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์

จากผลการวัดค่าสีของลำไยคว้านเมล็ดและนำผลไปวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังตารางที่ 4.3 โดยค่าสีเริ่มต้นของลำไยคว้านเมล็ดมีค่าเฉลี่ยประมาณ ค่า $L^* = 25.81 \pm 4.58$ ค่า $a^* = -1.36 \pm 0.88$ และค่า $b = 9.67 \pm 2.19$

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของลำไยคว้านเมล็ด ค่าความสว่าง, ค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลือง พบว่าที่แต่ละสภาวะความดันเดียวกันจะให้ค่าความสว่างที่ใกล้เคียงกัน เมื่อเทียบกับลำไยอบแห้งตามท้องตลาดแล้วจะเห็นได้ว่าการอบแห้งที่ความดัน 15 kPa ให้ค่าความสว่างไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่าความเป็นสีแดงเมื่ออุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเป็นสีแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการลำไยคว้านเมล็ดมีปริมาณน้ำตาลที่ค่อนข้างสูงเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูง น้ำตาลจะมีสีที่คล้ำขึ้น ในด้านของความดันเมื่ออบแห้งที่ความดันสูงส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานทำให้ลำไยคว้านเมล็ดมีค่าความเป็นสีเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกหลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลง ลำไยตามท้องตลาดที่นำมาทดสอบการวัดค่าสีเป็นลำไยที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนทำให้มีลักษณะของสีลำไยอบแห้งที่ค่อนข้างคล้ำ

เมื่อวิเคราะห์ค่าสีของลำไยคว้านเมล็ดหลังการอบแห้งที่เงื่อนไขต่าง ๆ โดยวิธีทางสถิติ (ANOVA Analysis) พบว่าความดันและอุณหภูมิมีผลกระทบต่อค่าสีของลำไยคว้านเมล็ด ความดันจะมีผลกับค่าความสว่าง ส่วนค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองพบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญกว่าความดันทางนัยสำคัญ การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งสามารถรักษาคุณภาพสีได้ค่อนข้างใกล้เคียงกับลำไยสด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.3 ผลวิเคราะห์ค่าสีลำไยคว้านเมล็ดหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำ และลำไยอบแห้งตามท้องตลาด

Condition		Color parameter		
Pressure(kPa)	**Temperature(°C)**	**L***	**a***	**b***
7	70	43.51 ± 4.34^{a}	1.28 ± 1.02^{a}	19.01 ± 2.76^{a}
	80	46.41 ± 6.44^{b}	3.05 ± 2.29^{b}	28.55 ± 8.42^{b}
	90	47.22 ± 6.60^{b}	$2.14 \pm 2.26^{a,b}$	24.93 ± 6.24^{c}
10	70	43.49 ± 4.54^{a}	2.8 ± 1.34^{b}	20.46 ± 3.94^{a}
	80	43.57 ± 6.08^{a}	4.22 ± 3.11^{c}	25.62 ± 6.20^{c}
	90	41.47 ± 7.25^{c}	8.9 ± 6.35^{d}	$26.76 \pm 6.25^{c,b}$
15	70	38.50 ± 4.09^{d}	2.5 ± 1.58^{b}	18.77 ± 3.23^{a}
	80	$37.89 \pm 3.37^{d,e}$	5.52 ± 1.89^{e}	$26.75 \pm 6.39^{b,c}$
	90	36.60 ± 3.65^{e}	8.28 ± 4.76^{d}	22.58 ± 3.03^{d}
ลำไยอบแห้งตามท้องตลาด		$38.16 \pm 3.89^{d,e}$	8.77 ± 2.71^{d}	39.55 ± 6.42^{e}

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในรูปของค่าเฉลี่ย ± ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแถวแนวตั้งเดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$

: วัดค่าสีด้วยระบบ Hunter Lab

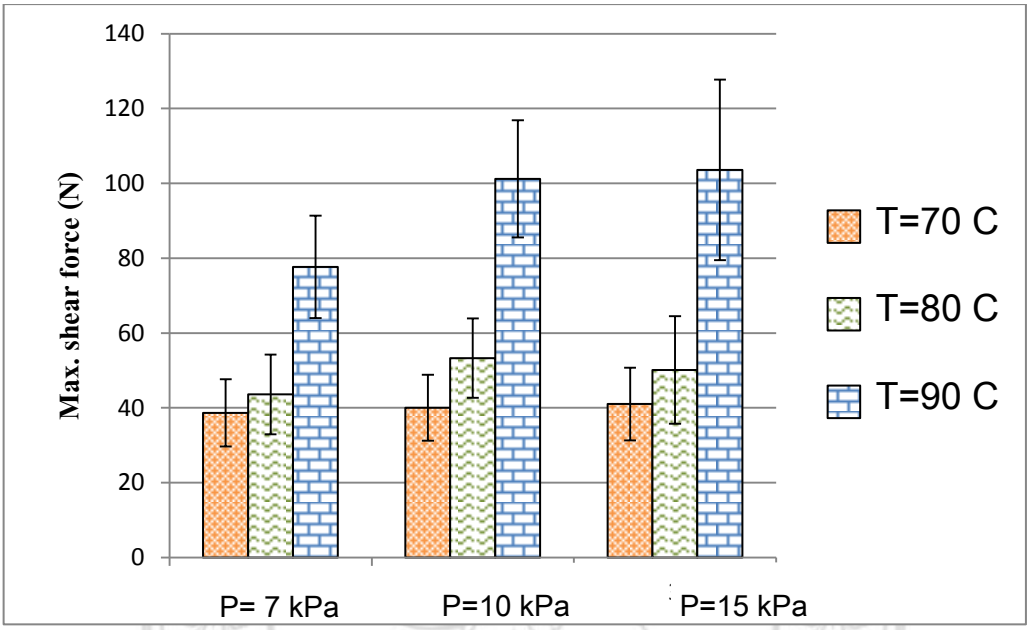
: ลำไยอบแห้งตามท้องตลาดที่ใช้เปรียบเทียบมีชื่อว่าบุญทองของฝาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.2 ผลการทดลองวัดค่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

จากผลการทดลองวัดค่าเนื้อสัมผัสของลำไยคว้านเมล็ดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำแสดงดังภาพที่ 4.40 พบว่าเมื่ออุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงขึ้นแรงเฉือนสูงสุดจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากลำไยคว้านเมล็ดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลค่อนข้างสูงจึงทำให้น้ำตาลที่อยู่ภายในเกิดการละลายจึงทำให้ลำไยคว้านเมล็ดที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนความดันต่ำที่อุณหภูมิสูงมีลักษณะที่ค่อนข้างเหนียว (ค่าแรงเฉือนมากหมายถึงวัสดุมีความเหนียวมาก) นอกจากนี้ความดันก็มีผลต่อค่าเนื้อสัมผัสของลำไยคว้านเมล็ดพบว่าเมื่อค่าความดันสูงขึ้นแรงเฉือนสูงสุดก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นคือความเหนียวเพิ่มขึ้นเนื่องจากการอบแห้งที่ความดันสูงจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่นานกว่าจะทำคุณสมบัติของลำไยมีการเปลี่ยนแปลง เป็นผลให้ค่าแรงเฉือนสูงสุดของลำไยคว้านเมล็ดมีค่าสูงขึ้น จากผลการทดลองทุก

เงื่อนไขการอบแห้งที่ความดัน 15 kPa และที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสมีค่าความเหนียวมากที่สุดจึงต้องใช้แรงเฉือนสูงสุดในการตัดชิ้นงานมากที่สุด



ภาพที่ 4.40 แสดงค่าแรงเฉือนสูงสุดของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

4.3.3 ผลการทดลองวัดค่าการหดตัวของผลิตภัณฑ์

ผลการทดลองการวัดค่าการหดตัวของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำแสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นทำให้การหดตัวลดลง เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้น้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์เกิดการระเหยอย่างรวดเร็ว แล้วเกิดรูพรุนภายในโครงสร้างมากกว่าในส่วนของความดันพบว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้นทำให้การหดตัวเพิ่มขึ้น เพราะเมื่ออบแห้งที่ความดันสูงทำให้จุดเดือดของวัสดุเพิ่มขึ้นเป็นผลให้น้ำภายในวัสดุระเหยออกมาได้ยากกว่าและใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานกว่า จากการทดลองพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสและความดัน 7 kPa ผลิตภัณฑ์ค่าหดตัวน้อยที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดค่าการหดตัวของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

Pressure (kPa)	Temperature (°C)	Shrinkage (%)
7	70	$40.45 \pm 1.06^{a,b}$
	80	$39.7 \pm 0.40^{a,b}$
	90	37.58 ± 1.88^{a}
10	70	41.51 ± 1.72^{b}
	80	$41.13 \pm 1.25^{a,b}$
	90	$39.88 \pm 3.43^{a,b}$
15	70	42.26 ± 2.96^{b}
	80	41.87 ± 0.94^{b}
	90	$40.66 \pm 1.26^{a,b}$

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลที่แสดงในรูปของค่าเฉลี่ย ± ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

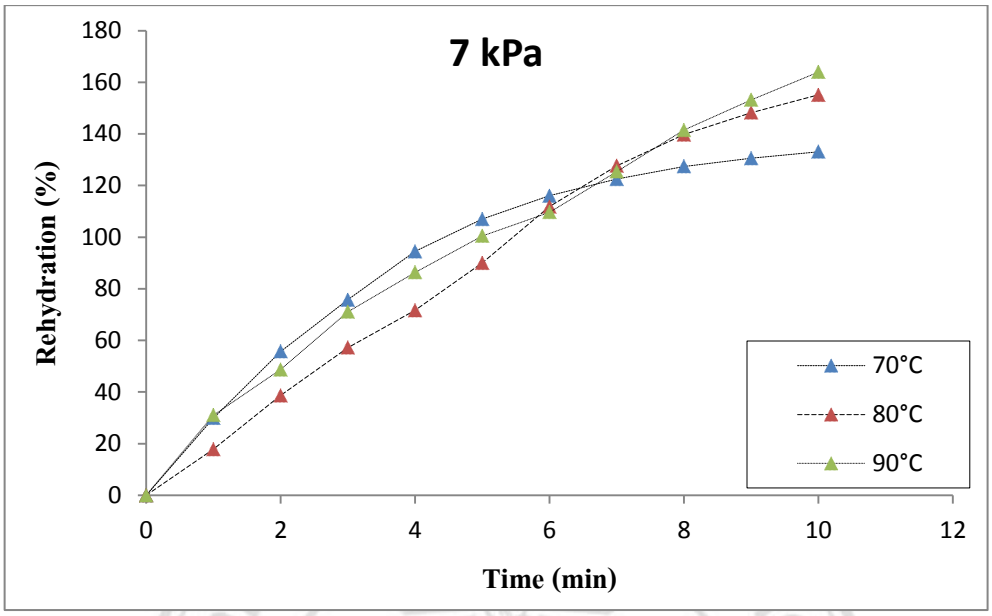
: ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแถวแนวตั้งเดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \geq 0.05$

4.3.4 ผลการทดลองวัดค่าการคืนตัวของผลิตภัณฑ์

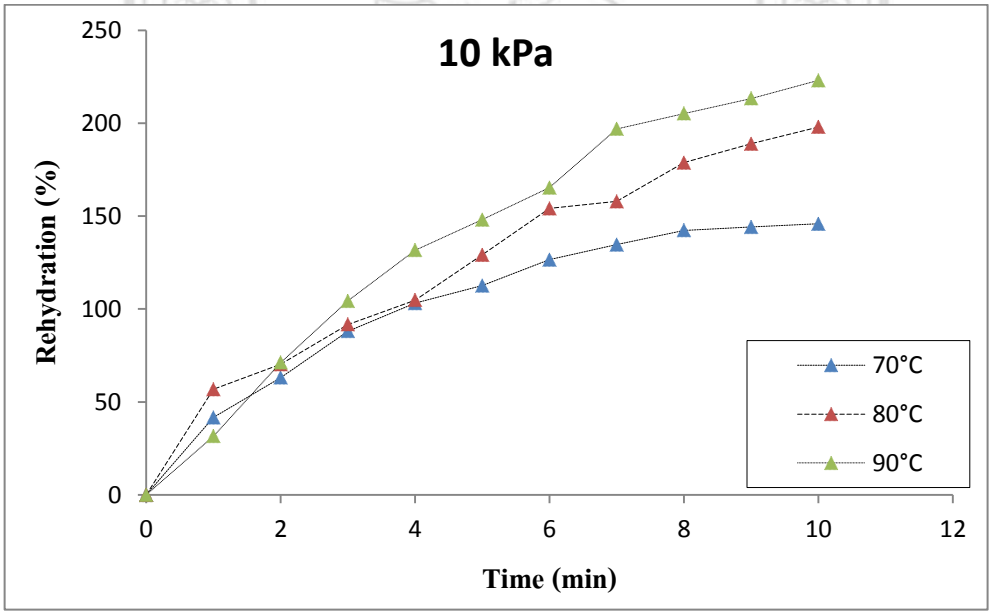
จากผลการทดลองหาค่าอัตราการคืนตัวของลำไยคว้านเมล็ดดังแสดงในภาพที่ 4.41 - 4.43 จะเห็นได้ว่ากราฟมีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกจากนั้นจะคืนตัวได้ช้าลงแบบเอ็กโปเนนเทียล จากกราฟข้างต้นจะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การคืนตัวมากขึ้นเนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงน้ำที่อยู่ภายในวัสดุจะเกิดการระเหยอย่างรวดเร็วทำให้วัสดุมีรูพรุนมากกว่า ซึ่งเป็นผลให้การคืนตัวที่อุณหภูมิสูงมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ในส่วนของความดันเมื่อความดันเพิ่มขึ้นทำให้การคืนตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งการอบแห้งที่ความดันต่ำจะทำให้น้ำระเหยออกมาได้ง่ายกว่าเนื่องจากจุดเดือดของน้ำที่ลดลงทำให้การอบแห้งที่ความดันต่ำจะมีความเป็นรูพรุนสูงกว่า แต่เนื่องจากการอบแห้งที่ความดันสูงจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานกว่าทำให้โครงสร้างภายในเสียหายมากกว่าจึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการคืนตัว โดยเงื่อนไขที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสที่ความดัน 7 kPa ให้ค่าการคืนตัวน้อยที่สุด และที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสที่ความดัน 15 kPa ให้ค่าการคืนตัวมากที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าการหดตัวและค่าการคืนตัวจะเห็นได้ว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้การหดตัวลดลงและการคืนตัวมากขึ้น แต่ส่วนของความดันเมื่อความดันเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการหดตัวเพิ่มขึ้นและการคืนตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

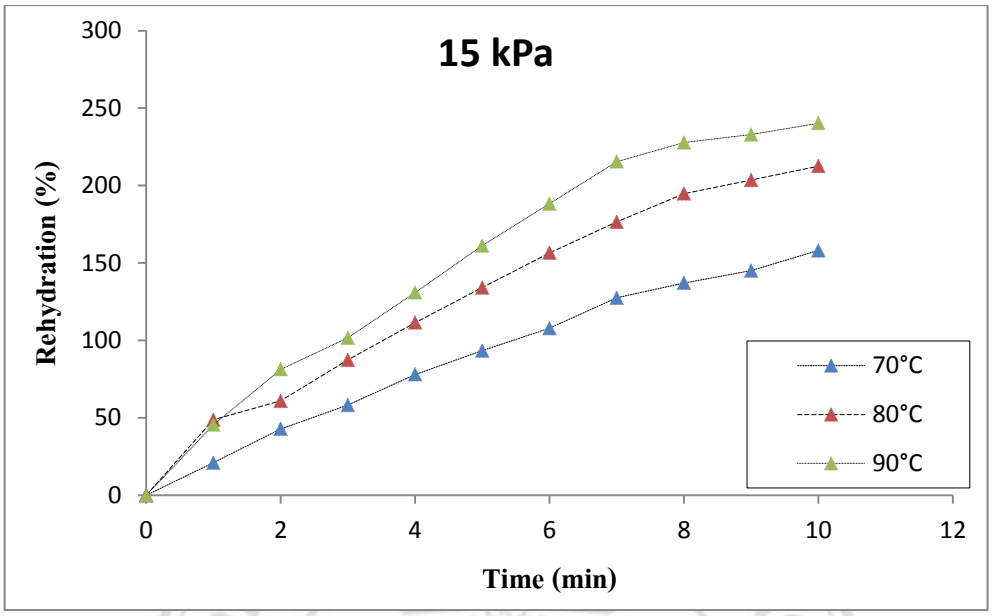
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.41 เปรียบเทียบค่าการคืนตัวของลำไยคว้านเมล็ดอบแห้งที่ได้จากการทดลองด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 7 kPa



ภาพที่ 4.42 เปรียบเทียบค่าการคืนตัวของลำไยคว้านเมล็ดอบแห้งที่ได้จากการทดลองด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียสที่ความดัน 10 kPa



ภาพที่ 4.43 เปรียบเทียบค่าการคืนตัวของลำไยคว้านเมล็ดอบแห้งที่ได้จากการทดลองด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียสที่ความดัน 15 kPa

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved