

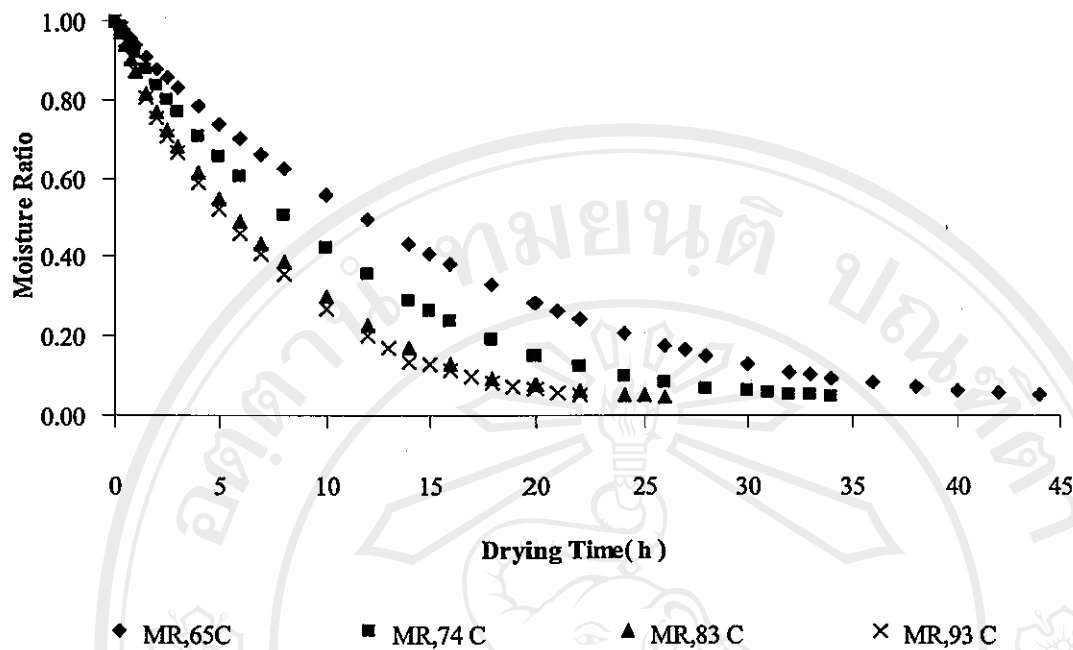
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองตามที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 สามารถแสดงผลการทดลอง และผลการจำลองสภาวะการอบแห้งลำไยทั้งลูกโดยใช้อุณหภูมิอบแห้งคงที่ และใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้นได้ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์อัตราการอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งคงที่

จากผลการทดลองหาอัตราการอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งคงที่ ในแต่ละการทดลองที่อุณหภูมิห้องอบ 65°C , 74°C , 83°C และ 93°C (ข้อมูลในตารางภาคผนวก ข. 1 ถึง ข.4) เมื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาการอบแห้ง ดังรูป 4.1 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอบแห้งมีผลต่ออัตราการอบแห้งและเวลาการอบแห้ง โดยอุณหภูมิอบแห้งสูงจะทำให้อัตราการอบแห้งสูง และใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าอุณหภูมิอบแห้งต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สูง และเมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้ง ของแต่ละอุณหภูมิอบแห้ง พบว่าทุกอุณหภูมิอบแห้งนั้น ในช่วงแรกอัตราการอบแห้งจะลดลงเร็วกว่าช่วงถัดมา และในช่วงท้ายของการอบแห้งนั้นอัตราการอบแห้งมีแนวโน้มเริ่มคงที่ เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นของการอบแห้งนั้น ลำไยมีความชื้นสูง ซึ่งความร้อนในห้องอบแห้งสามารถไล่น้ำออกจากลำไยได้มากจึงทำให้อัตราการอบแห้งในช่วงแรกเร็ว และเมื่ออบแห้งได้ระยะหนึ่งน้ำในลำไยเริ่มลดลงจึงทำให้อัตราการอบแห้งเริ่มช้าลง จนช่วงท้ายของการอบแห้งอัตราการอบแห้งจะน้อยมาก



รูป 4.1 อัตราการอบแห้งลำไยทั้งลูกที่ได้จากการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 65 °C, 74 °C, 83 °C และ 93 °C ตามลำดับ โดยไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่

4.2 ผลการวิเคราะห์หาสมการทำนายอุณหภูมิของเนื้อลำไย

จากการทดลองหาอัตราการอบแห้ง นำข้อมูลอุณหภูมิของลำไยขณะอบแห้งและอุณหภูมิลมร้อนขณะใดๆ มาคำนวณหาอัตราส่วนอุณหภูมิเนื้อลำไย นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเนื้อลำไยขณะอบแห้งกับอุณหภูมิห้องอบแห้ง โดยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ได้ความสัมพันธ์ของค่าคงที่ P และ N กับอุณหภูมิอบแห้ง แสดงดังสมการ 4.1 ถึง สมการ 4.4 คือ

$$TR = \left(\frac{T_t - T_0}{T_h - T_0} \right) = 1 - \exp(-Pt^N) \quad (4.1)$$

$$\text{เมื่อ } P = -3.996231 + 0.139899T_h - 0.000960312 T_h^2 \quad R^2 = 0.830 \quad (4.2)$$

$$N = 2.004143 - 0.049475 T_h + 0.000344428 T_h^2 \quad R^2 = 0.997 \quad (4.3)$$

T_t คือ อุณหภูมิเนื้อลำไย ณ เวลาต่างๆ, °C

T_h คือ อุณหภูมิห้องอบแห้ง, °C

T_0 คือ อุณหภูมิเนื้อลำไยเริ่มต้น, °C

t คือ เวลาอบแห้ง ณ เวลาต่างๆ, °C

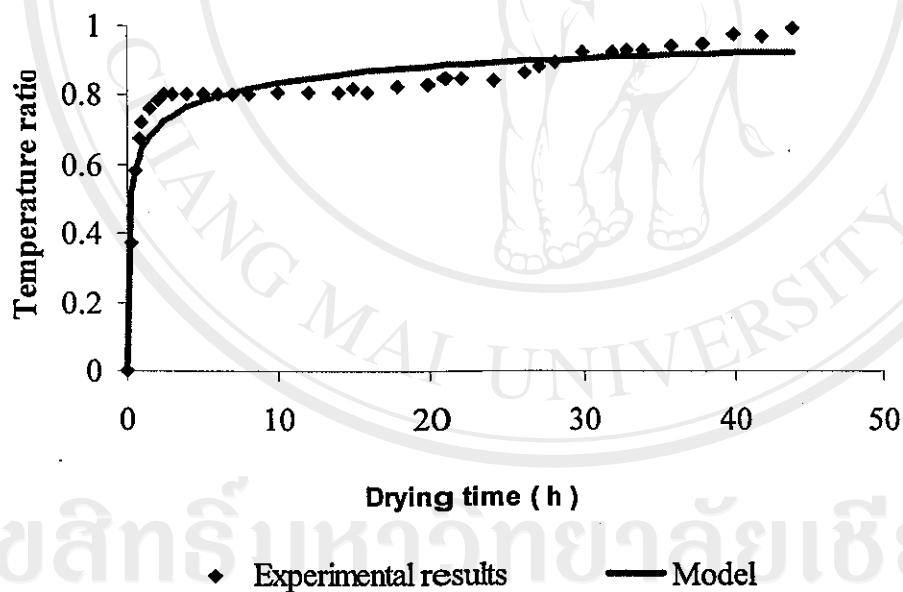
P, N คือ ค่าคงที่

TR คือ อัตราส่วนอุณหภูมิเนื้อลำไย

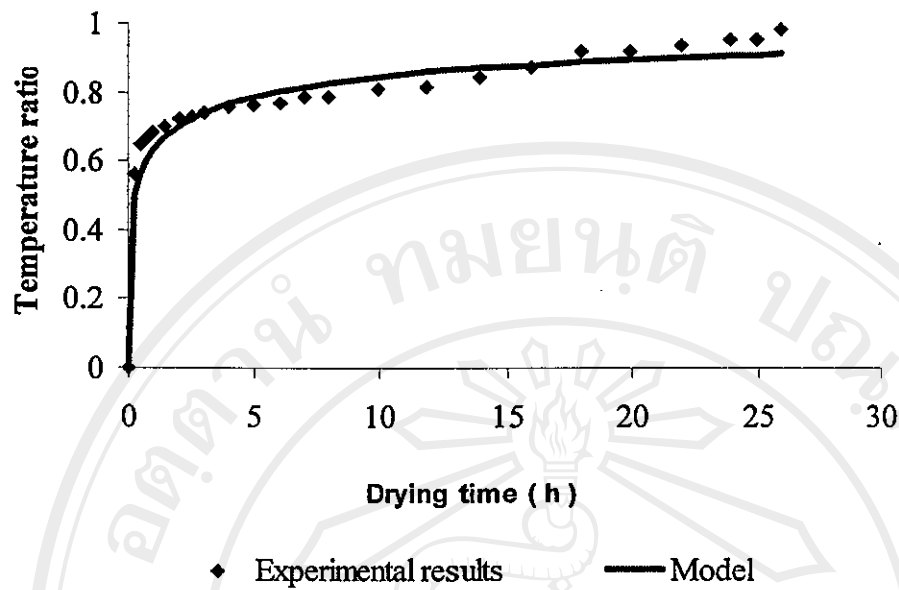
ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2) ของค่าคงที่ P และ N มีค่าเท่ากับ 0.830 และ 0.997 ตามลำดับ

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนอุณหภูมิของเนื้อลำไยที่คำนวณได้จากสมการ 3.1 และจากการแทนค่าคงที่ P และ N (สมการ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ) ในแบบจำลองตามสมการ 4.1 พบว่าสามารถทำนายอัตราส่วนอุณหภูมิเนื้อลำไยได้เหมาะสม ดังแสดงในรูป 4.2 ถึง รูป 4.5

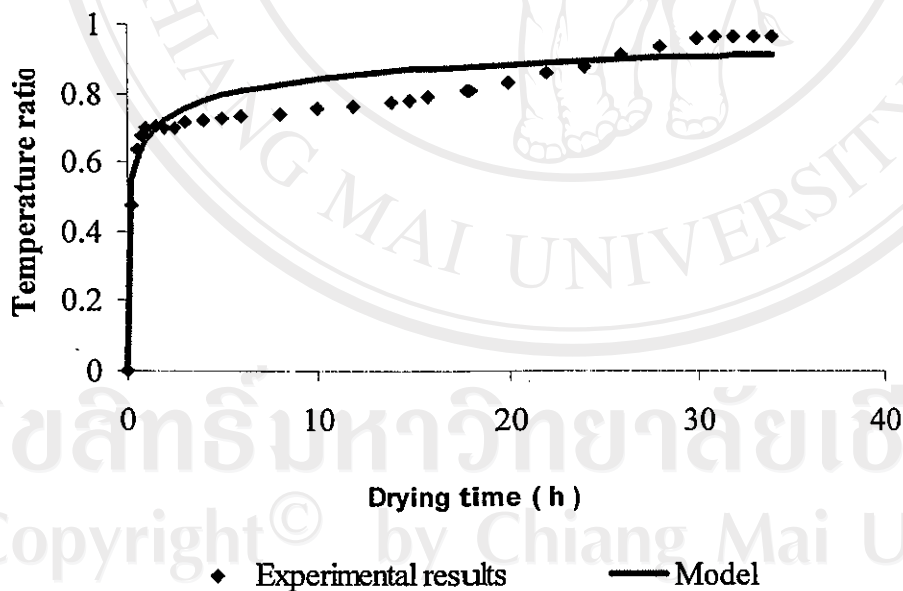
จะเห็นว่าในช่วงแรกนั้นอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะขึ้นเร็ว จึงทำให้อัตราส่วนอุณหภูมิลำไยในช่วงแรกสูงตามไปด้วย และในช่วงต่อมาจะเพิ่มขึ้นช้าลง และคงที่เมื่ออุณหภูมิผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงอุณหภูมิห้องอบแห้ง



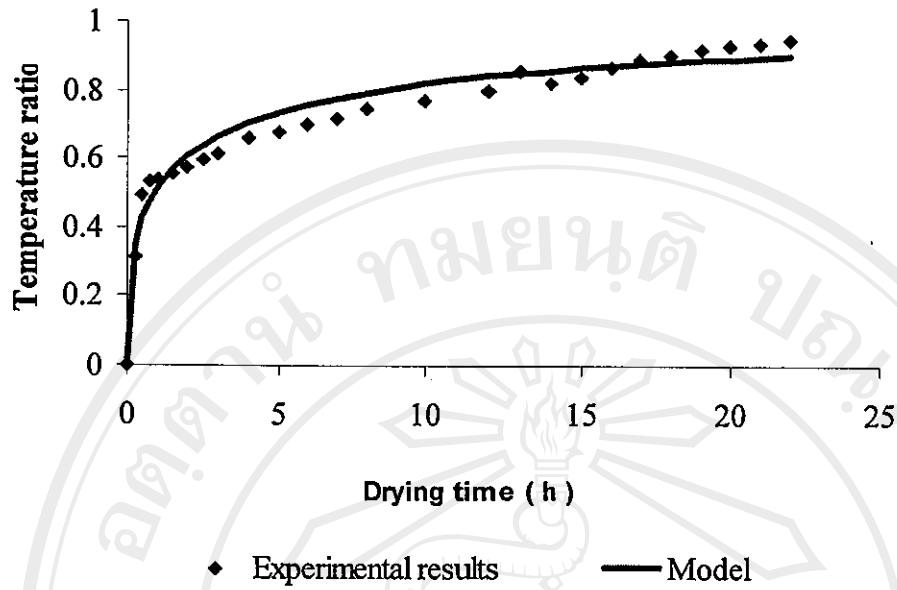
รูป 4.2 เปรียบเทียบอัตราส่วนอุณหภูมิลำไยจากผลการทดลองกับค่าคำนวณได้จากแบบจำลองที่อุณหภูมิ 65°C ($R^2 = 0.95$)



รูป 4.3 เปรียบเทียบอัตราส่วนอุณหภูมิลำไยจากผลการทดลองกับค่าคำนวณได้จากแบบจำลองที่อุณหภูมิ 74°C ($R^2 = 0.95$)



รูป 4.4 เปรียบเทียบอัตราส่วนอุณหภูมิลำไยจากผลการทดลองกับค่าคำนวณได้จากแบบจำลองที่อุณหภูมิ 83 °C ($R^2 = 0.90$)



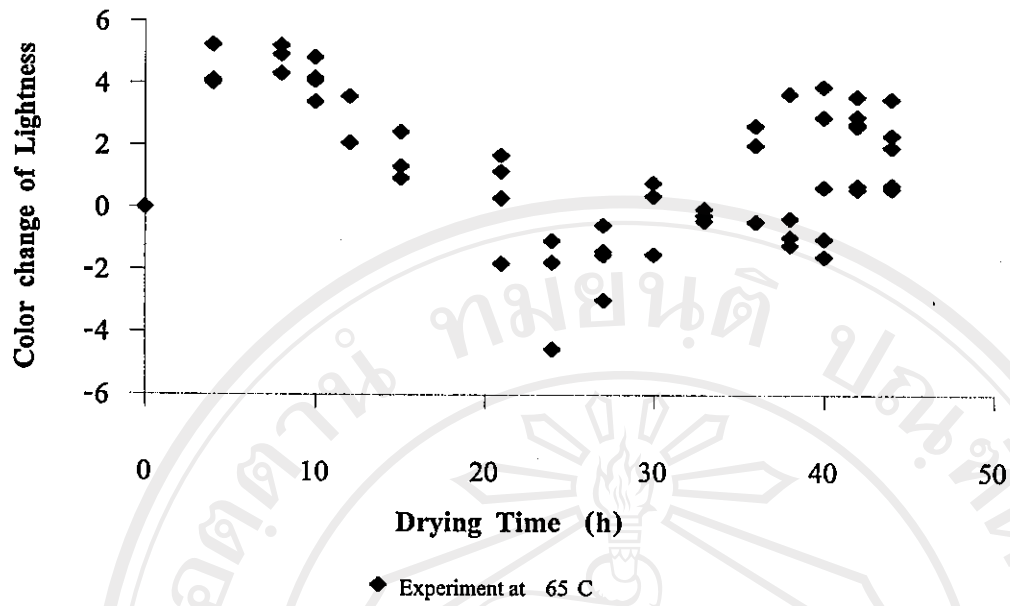
รูป 4.5 เปรียบเทียบอัตราส่วนอุณหภูมิตำไยจากผลการทดลองกับค่าคำนวณได้จากแบบจำลองที่อุณหภูมิ 93°C ($R^2 = 0.98$)

4.3 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (ΔL) ค่าความเป็นสีแดง (Δa) และค่าความเป็นสีเหลือง (Δb) ของเนื้อลำไย

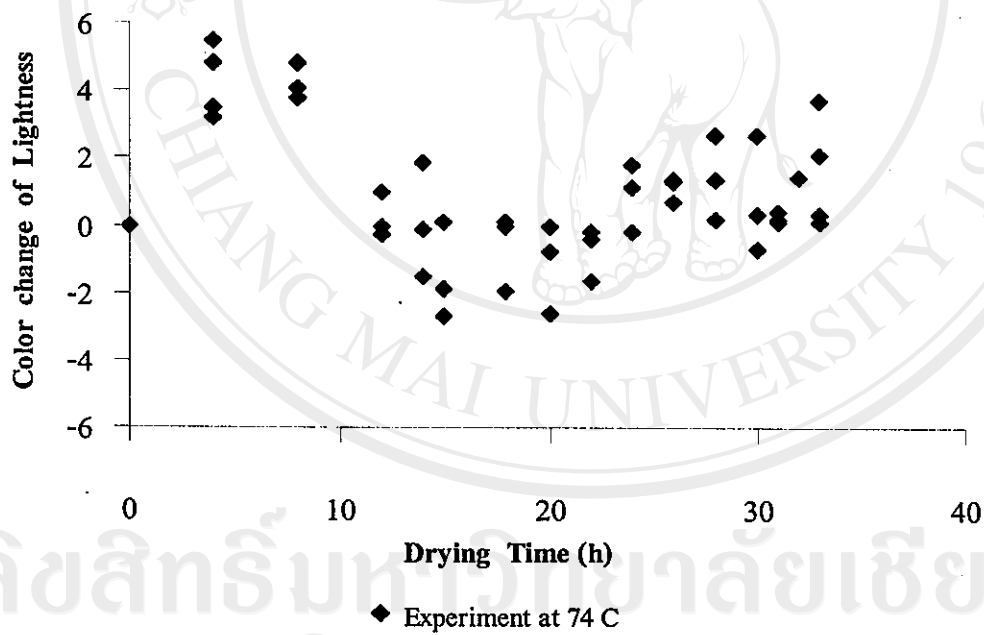
จากผลการวัดสีของเนื้อลำไยที่ได้จากการทดลองในแต่ละช่วงเวลาของอุณหภูมิอบแห้งต่างๆ (ข้อมูลในตารางภาคผนวก ข.5 ถึงข.16) คำนวณหาค่าความแตกต่างจากค่าสีเริ่มต้นในแต่ละพารามิเตอร์ โดยการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง ($\Delta L = L - L_0$) การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง ($\Delta a = a - a_0$) และการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง ($\Delta b = b - b_0$) กับเวลาอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 65°C , 74°C , 83°C , และ 93°C โดยอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง, ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองดังนี้

4.3.1 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าความสว่าง (ΔL) ของเนื้อลำไย

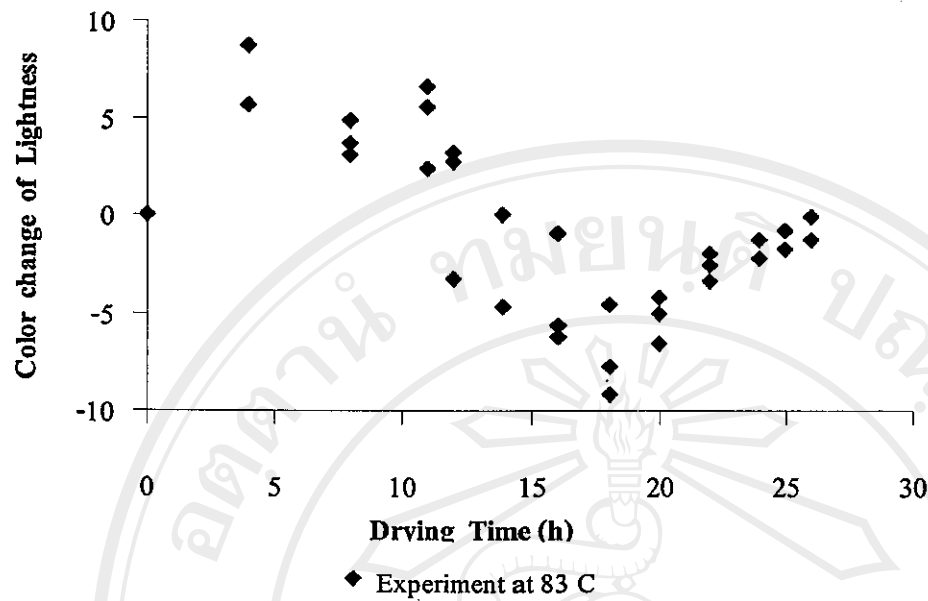
การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของเนื้อลำไยกับเวลาอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 65°C , 74°C , 83°C , และ 93°C แสดงดังรูป 4.6 ถึงรูป 4.9 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (ΔL) ของเนื้อลำไยระหว่างอบแห้งอยู่ในช่วง +10 ถึง -10 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าความสว่างของเนื้อลำไยในช่วงสุดท้ายของการอบแห้ง (ความชื้น 30 – 17 % d.b.) ที่ทุกอุณหภูมิอบแห้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งแสดงว่าอุณหภูมิการอบแห้งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของเนื้อลำไยในช่วงสุดท้ายของผลิตภัณฑ์



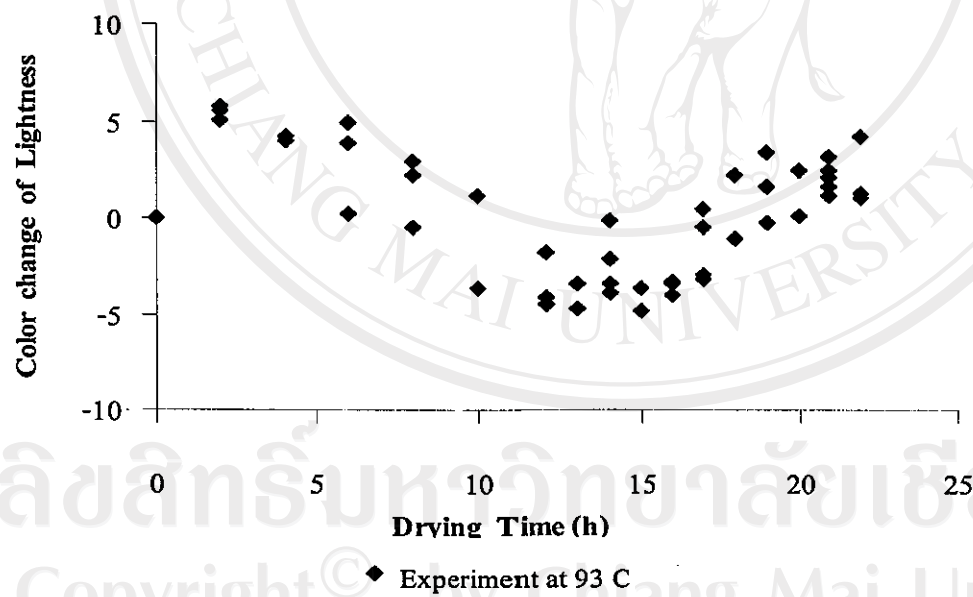
รูป 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง(ΔL)ของเนื้อลำไยกับเวลาอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 65°C



รูป 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง(ΔL)ของเนื้อลำไยกับเวลาอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 74°C



รูป 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง(ΔL)ของเนื้อลำไยกับเวลาอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 83°C



รูป 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง(ΔL)ของเนื้อลำไยกับเวลาอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 93°C

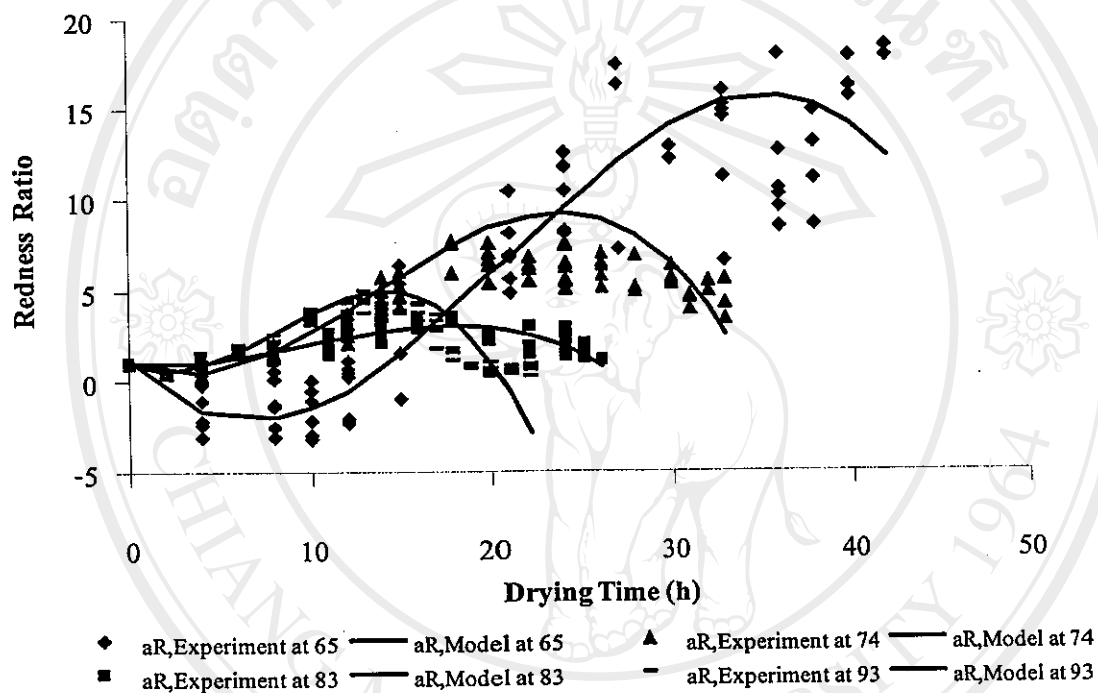
4.3.2 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง (Δa) และการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (Δb) ของเนื้อลำไย

จากผลการวัดสีเนื้อลำไยที่ได้จากการทดลองอบแห้งที่เวลาอบแห้งต่างๆ ของแต่ละอุณหภูมิการอบแห้ง จำนวนอัตราส่วนของค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองของเนื้อลำไยตามสมการที่ 2.17 และทำการวิเคราะห์สมการถดถอยของอัตราส่วนค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองที่คำนวณได้กับสมการทางคณิตศาสตร์ของสมการজনসনศาสตร์อัตราส่วนค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองตามสมการที่ 3.2 ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าคงที่ A, B, C และ D กับอุณหภูมิอบแห้ง แสดงดังตาราง 4.1

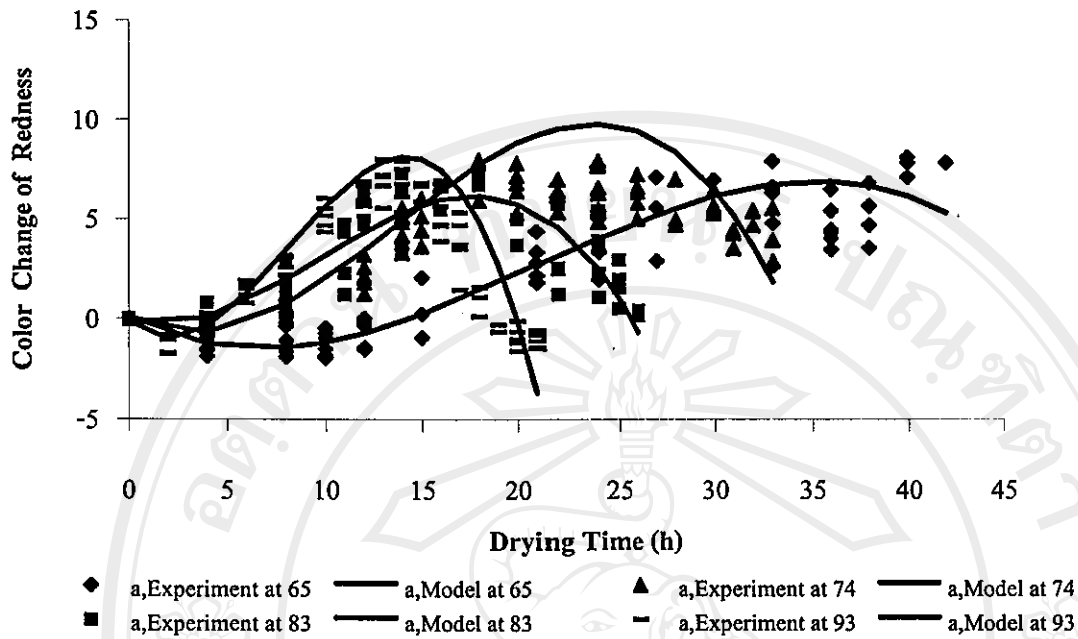
ตาราง 4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสมการজনসনศาสตร์ของอัตราส่วนค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองของเนื้อลำไยอบแห้งทั้งลูก

อัตราส่วนค่าสี	สมการ	R ²
ค่าความเป็นสีแดง	$\left(\frac{a_t - a_e}{a_0 - a_e} \right) = At^3 + Bt^2 + Ct + D$	0.84
	เมื่อ $a_e = 2.898 \cdot 10^{-3}T^2 - 0.56105T + 27.18846$	0.93
	$A = 1.2 \cdot 10^{-6}T^3 + 2.73 \cdot 10^{-4}T^2 - 0.021T + 0.5320$	1
	$B = 2.93 \cdot 10^{-5}T^3 - 6.77 \cdot 10^{-3}T^2 + 0.514T - 12.783$	1
	$C = -8 \cdot 10^{-5}T^3 - 1.17 \cdot 10^{-2}T^2 + 1.097T - 21.717$	1
	$D = 5.05 \cdot 10^{-6}T^3 - 8 \cdot 10^{-4}T^2 - 0.021T + 1.866$	1
ค่าความเป็นสีเหลือง	$\left(\frac{b_t - b_e}{b_0 - b_e} \right) = At^3 + Bt^2 + Ct + D$	0.79
	เมื่อ $b_e = 8.08 \cdot 10^{-5}T^3 + 0.022T^2 - 2.09T + 70.61$	0.96
	$A = -1.7 \cdot 10^{-7}T^3 + 4.11 \cdot 10^{-5}T^2 - 0.00329T + 0.0864$	1
	$B = 4.13 \cdot 10^{-6}T^3 - 1.01 \cdot 10^{-3}T^2 + 0.080T - 2.0804$	1
	$C = 4.67 \cdot 10^{-5}T^3 - 1.14 \cdot 10^{-2}T^2 + 0.930T - 25.012$	1
	$D = -9.8 \cdot 10^{-5}T^3 + 2.35 \cdot 10^{-2}T^2 - 1.855T + 49.138$	1

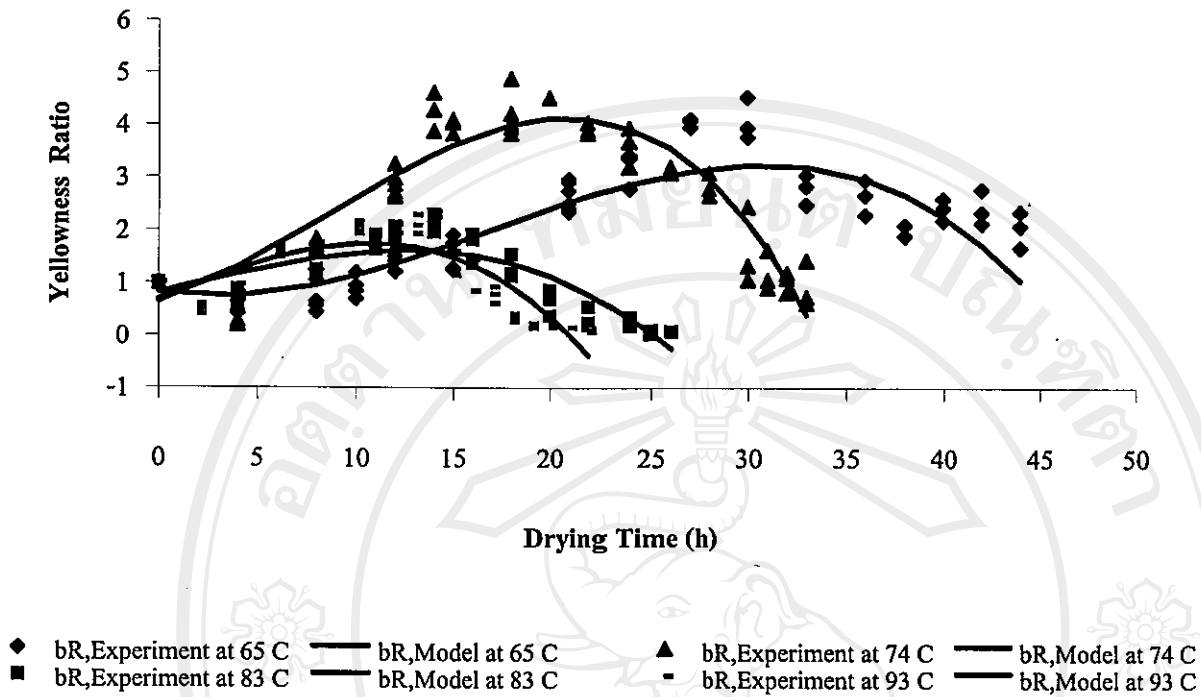
จากตาราง 4.1 นำมาคำนวณการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลือง โดยแทนค่าคงที่จากตาราง 4.1 ซึ่งความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองที่ได้จากแบบจำลอง และการทดลองที่เวลาอบแห้งต่างๆ ดังรูป 4.10 ถึงรูป 4.13



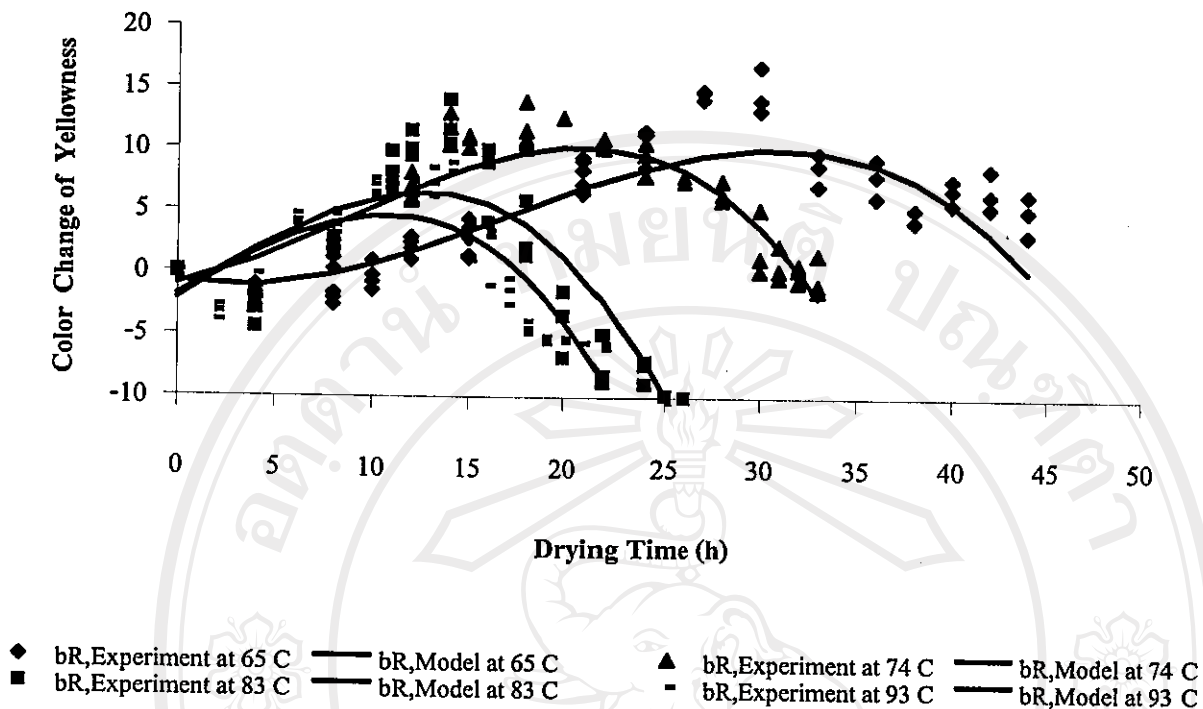
รูป 4.10 อัตราส่วนของค่าความเป็นสีแดงของเนื้อลำไยอบแห้งซึ่งถูกกับเวลาการอบแห้งที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง ที่อุณหภูมิอบแห้ง 65°C, 74°C, 83°C, และ 93°C



รูป 4.11 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดงของเนื้อลำไยอบแห้งทั้งดูกับเวลาการอบแห้งที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง ที่อุณหภูมิอบแห้ง 65°C , 74°C , 83°C , และ 93°C



รูป 4.12 อัตราส่วนของค่าความเป็นสีเหลืองของเนื้อลำไยอบแห้งทั้งดูกับเวลาการอบแห้งที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง ที่อุณหภูมิอบแห้ง 65°C, 74°C, 83°C, และ 93 °C



รูป 4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลืองของเนื้อลำไยอบแห้งทั้งลูกกับเวลาการอบแห้งที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง ที่อุณหภูมิอบแห้ง 65°C, 74°C, 83°C, และ 93 °C

จากรูป 4.10 และรูป 4.13 อุณหภูมิการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นสีแดง (Δa) และค่าความเป็นสีเหลือง (Δb) ของเนื้อลำไย กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าสีกับเวลาการอบแห้ง นั้นพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองของเนื้อลำไยมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน โดยจะเพิ่มขึ้นในช่วงต้นของการอบแห้ง และลดลงในช่วงถัดมา ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของกลุ่มพอลิอัลดีไฮด์ (Aldehyde) หรือพอลีคีโตน (Ketone) กับสารประกอบพวกอะมิโนที่เรียกว่า Maillard reaction ซึ่งจะเกิดเป็นสีน้ำตาลเกิดขึ้น

4.4 การวิเคราะห์หาแนวทางทดลองอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งเป็นลำดับขั้น

จากข้อมูลการวัดสีที่นำมาวิเคราะห์หาสมการการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อลำไย และสมการการทำนายอุณหภูมิเนื้อลำไย พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงสีแดงและสีเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาอบแห้งเพิ่มขึ้น จนถึงเวลาค่าหนึ่งพบว่าเริ่มมีแนวโน้มลดลงของทุกอุณหภูมิอบแห้ง ซึ่งในการออกแบบทดลองอบแห้งแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งเป็นลำดับขั้นนั้น จะควบคุมเวลาในการอบแห้งของแต่ละอุณหภูมิไม่ให้เกินช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าสีทั้งสีแดงและสีเหลืองดังกล่าว ควบคุมอุณหภูมิของลำไยไม่ให้เกิน 75°C ซึ่งในหนึ่งการทดลองอบแห้งจะใช้อุณหภูมิอบแห้งดังนี้

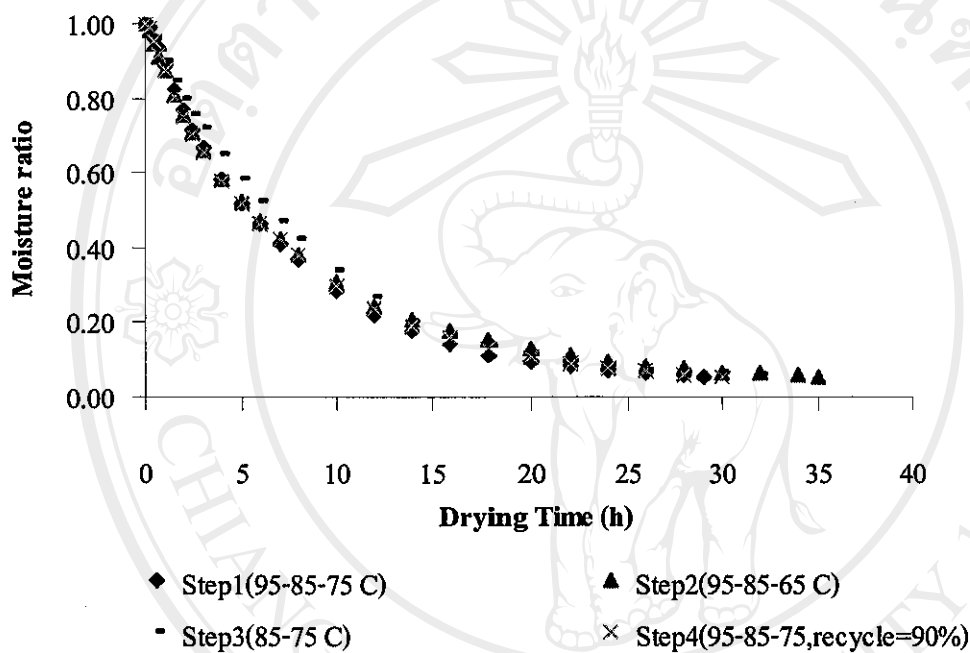
- แบบที่ 1 ใช้อุณหภูมิอบแห้ง 93°C , 83°C และ 73°C จำนวน 4 ชั่วโมง, 8 ชั่วโมงและ จนเหลือความชื้น 18% ตามลำดับ
- แบบที่ 2 ใช้อุณหภูมิอบแห้ง 93°C , 83°C และ 65°C จำนวน 4 ชั่วโมง, 8 ชั่วโมงและ จนเหลือความชื้น 18% ตามลำดับ
- แบบที่ 3 ใช้อุณหภูมิอบแห้ง 84°C และ 74°C จำนวน 14 ชั่วโมง และ จนเหลือความชื้น 18% ตามลำดับ
- แบบที่ 4 ใช้อุณหภูมิอบแห้ง 94°C , 85°C และ 76°C จำนวน 4 ชั่วโมง, 8 ชั่วโมงและ จนเหลือความชื้น 18% ตามลำดับ โดยมีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 90 %

4.5 ผลการวิเคราะห์อัตราการอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิเป็นลำดับขั้น

อัตราการอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งเป็นลำดับขั้นทั้ง 4 แบบคือ

แบบที่ 1 ใช้อุณหภูมิอบแห้ง 93°C , 83°C และ 73°C จำนวน 4 ชั่วโมง, 8 ชั่วโมงและ 17 ชั่วโมงตามลำดับ แบบที่ 2 ใช้อุณหภูมิอบแห้ง 93°C , 83°C และ 65°C จำนวน 4 ชั่วโมง, 8 ชั่วโมงและ 23 ชั่วโมง ตามลำดับแบบที่ 3 ใช้อุณหภูมิอบแห้ง 84°C และ 74°C จำนวน 14 ชั่วโมง และ 19 ชั่วโมง ตามลำดับ และแบบที่ 4 ใช้อุณหภูมิอบแห้ง 94°C , 85°C และ 76°C จำนวน 4 ชั่วโมง, 18 ชั่วโมง โดยมีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 90 % พบว่าอัตราการอบแห้งของแบบที่ 1 เร็วกว่าแบบที่ 2, แบบที่ 4 และแบบที่ 3 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากว่าแบบที่ 1 (93°C - 83°C - 73°C) ใช้อุณหภูมิอบแห้งในช่วงต้นสูงคือ 93°C , ตามด้วย 83°C และ 73°C ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ 4 ซึ่งในช่วงต้นอัตราการอบแห้งไม่แตกต่างกันมากนักแต่ช่วงต่อมาอัตราการอบแห้งจะช้ากว่าเนื่องจากน้ำจะระเหยออกได้ช้าลงเพราะมีการนำอากาศกลับมาใช้ถึง 90 % เมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ 1 กับแบบที่ 2 (93°C - 83°C - 65°C) นั้นในช่วง 2 ช่วงแรกอุณหภูมิอบแห้ง (93°C และ 83°C) นั้นอัตราการอบแห้งจะไม่แตกต่างกัน แต่ช่วงท้ายของแบบที่ 2 นั้นอุณหภูมิ

อบแห้งเป็น 65°C จึงทำให้อัตราการอบแห้งช้ากว่าแบบที่ 1 ส่วนในแบบที่ 3 นั้นอัตราการอบแห้งช้าที่สุด เนื่องจากเริ่มต้นอุณหภูมิอบแห้งเพียง 84°C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเริ่มในช่วงแรกของทุกแบบ จึงทำให้น้ำระเหยออกช้ากว่าที่อุณหภูมิเริ่มต้นที่สูงกว่าจึงส่งผลให้อัตราการอบแห้งช้ากว่าแบบอื่นๆ ซึ่งรูปเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งของการอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งเป็นลำดับขั้นแสดงดังรูปที่ 4.14



รูป 4.14 อัตราการอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้นในแบบต่างๆ โดยไม่มีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่

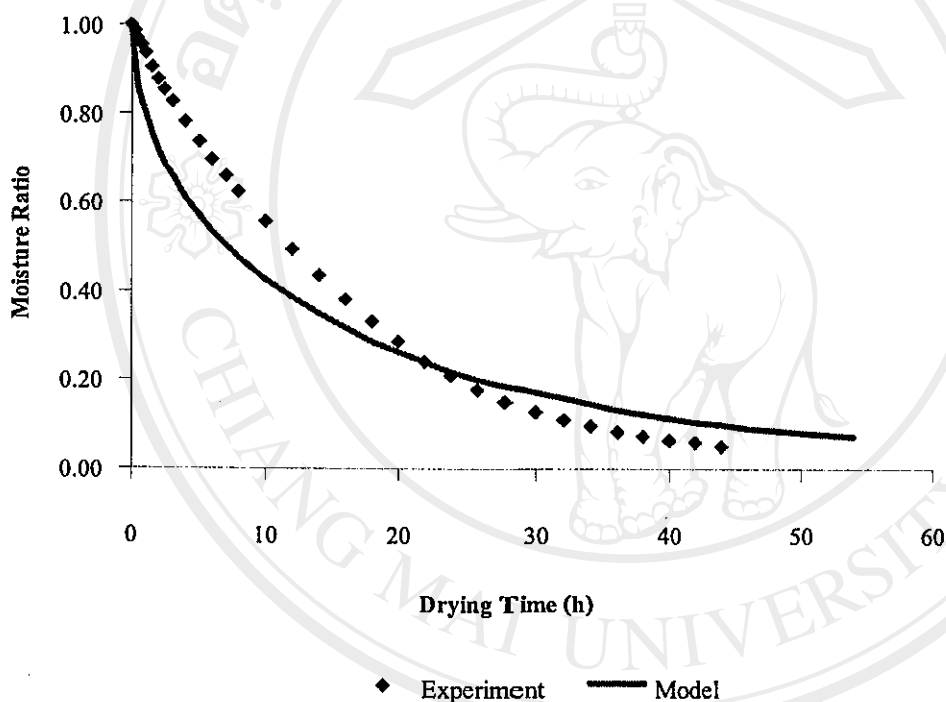
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เลขหมู่.....
สำนักหอสมุด ม.เชียงใหม่

4.6 การวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับข้อมูลการทดลองอบแห้ง

4.6.1 การอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งคงที่

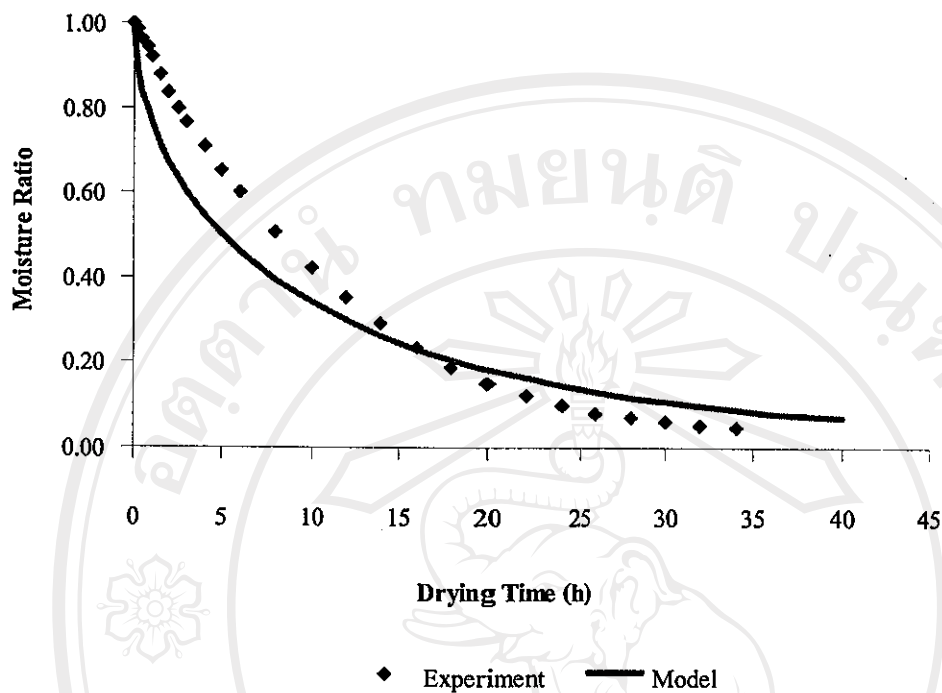
ได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งลำไยทั้งลูกของวีรศักดิ์ (2546) มาใช้โดยปรับปรุงบางเงื่อนไขเพื่อให้สอดคล้องกับการทดลอง โดยจำลองสภาพการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 65°C , 74°C , 83°C , และ 93°C ตามลำดับ โดยไม่มีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ แสดงดังรูป 4.15 ถึงรูป 4.18 ตามลำดับ



รูป 4.15 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งที่ได้จากการจำลองสภาพ

การอบแห้งกับการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 65°C ($R^2 = 0.71$)

(อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ $180.12 \text{ kg}_{\text{dry air}}/\text{h}\cdot\text{kg}_{\text{solid}}$, อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 26°C , ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม 0.8, ความชื้นเริ่มต้น 239.57% มาตรฐานแห้ง, ความชื้นสุดท้าย 18.25% มาตรฐานแห้ง, น้ำหนักแห้ง 1.68 กิโลกรัม)



รูป 4.16 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งที่ได้จากการจำลองสภาพ

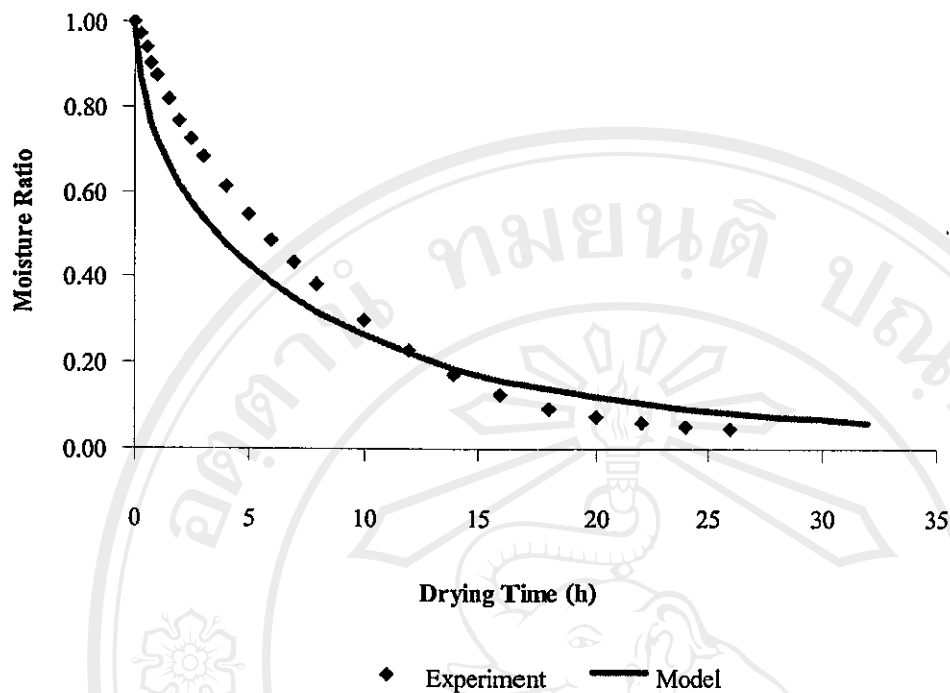
การอบแห้งกับการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 74°C ($R^2 = 0.72$)

(อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ $187.36 \text{ kg}_{\text{dry air}} / \text{h} \cdot \text{kg}_{\text{solid}}$, อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 30°C , ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม 0.73, ความชื้นเริ่มต้น 262.51 %มาตรฐานแห้ง, ความชื้นสุดท้าย 18.20 %มาตรฐานแห้ง, น้ำหนักแห้ง 1.61 กิโลกรัม)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved



รูป 4.17 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งที่ได้จากการจำลองสภาพ

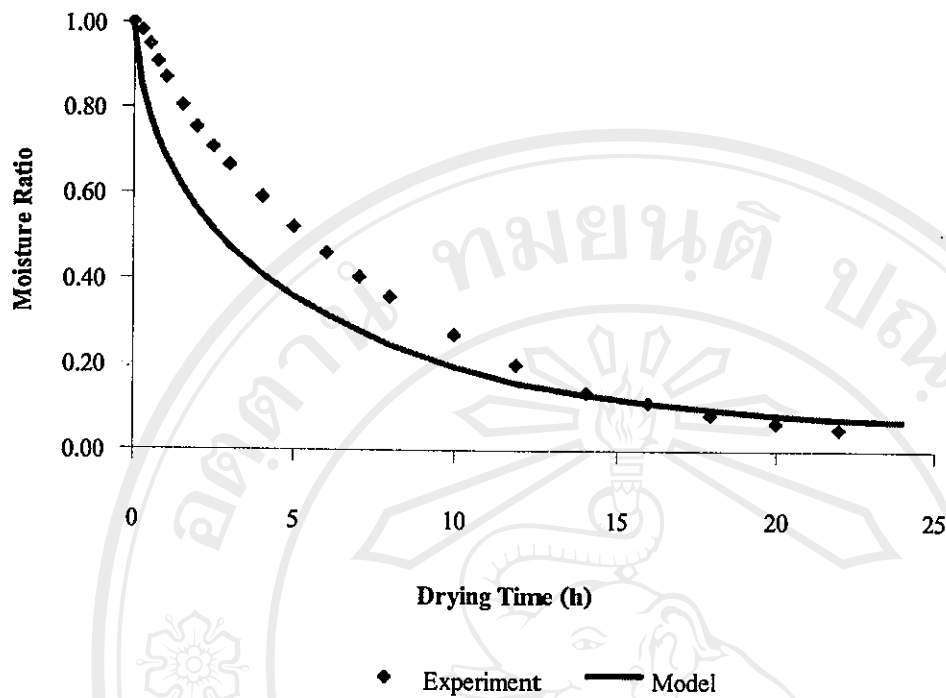
การอบแห้งกับการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 83°C ($R^2 = 0.77$)

(อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ $193.72 \text{ kg}_{\text{dry air}}/\text{h}\cdot\text{kg}_{\text{solid}}$, อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 27°C , ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม 0.73, ความชื้นเริ่มต้น 265.73 %มาตรฐานแห้ง, ความชื้นสุดท้าย 18.93 %มาตรฐานแห้ง, น้ำหนักแห้ง 1.56 กิโลกรัม)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved



รูป 4.18 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งที่ได้จากการจำลองสภาพ

การอบแห้งกับการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 93°C ($R^2 = 0.89$)

(อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ $190.91 \text{ kg}_{\text{dry air}} / \text{h} \cdot \text{kg}_{\text{solid}}$, อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 27°C , ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม 0.74, ความชื้นเริ่มต้น 269.52 %มาตรฐานแห้ง, ความชื้นสุดท้าย 18.89 %มาตรฐานแห้ง, น้ำหนักแห้ง 1.58 กิโลกรัม)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

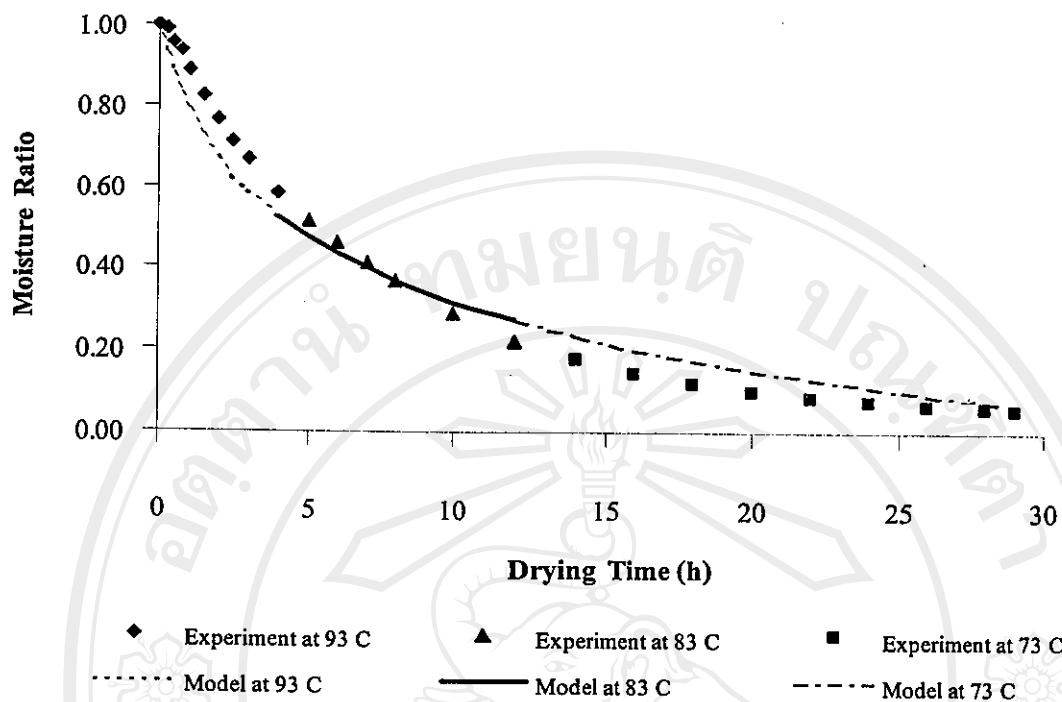
จากกราฟรูป 4.15 ถึงรูป 4.18 จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการอบแห้งนั้น เส้นกราฟอัตราการอบแห้งที่ได้จากการจำลองสภาพการอบแห้งจะต่ำกว่า เส้นกราฟอัตราการอบแห้งที่ได้จากการทดลอง เนื่องจากในช่วงแรกของการทดลองนั้นอุณหภูมิของลำไยนั้นยังขึ้นไม่ถึงอุณหภูมิห้องอบแห้ง แต่ในการจำลองสภาพการอบแห้งนั้นได้สมมุติให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศอบแห้ง ซึ่งเมื่อเริ่มต้นอบแห้งค่าอุณหภูมิเริ่มต้นการอบแห้งค่าอุณหภูมิอากาศอบแห้งทันที ดังนั้นในช่วงต้นๆของการอบแห้งอัตราการอบแห้งที่คำนวณได้จากการทดลองจึงมีค่าสูงกว่าค่าอัตราการอบแห้งที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์

4.6.2 การอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้น

ได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งลำไยทั้งลูกของวีรศักดิ์ (2546) มาใช้ โดยปรับปรุงบางเงื่อนไขเพื่อให้สอดคล้องกับการทดลอง โดยจำลองสภาพการอบแห้งแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งเป็นลำดับขั้นทั้ง 4 แบบ(ตามหัวข้อ 4.6)

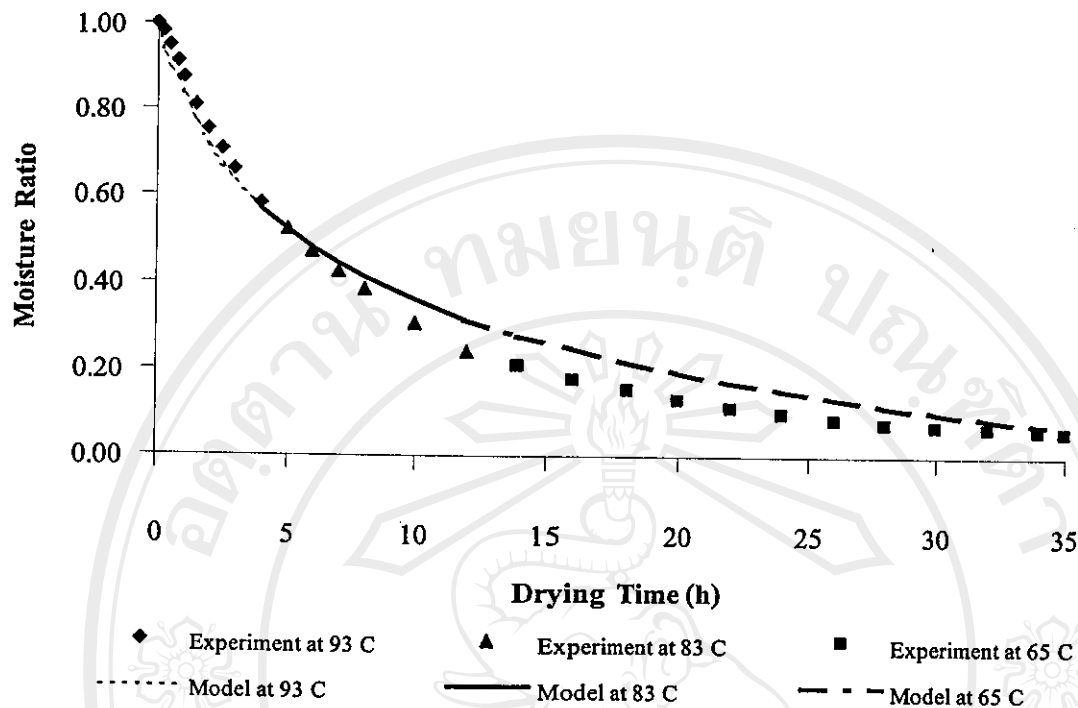
จากกราฟรูป 4.19 ถึงรูป 4.22 จะเห็นได้ว่าเวลาของการจำลองสภาพการอบแห้งในที่ใช้ในการเปลี่ยนช่วงอุณหภูมิในการอบแห้งนั้น เร็วกว่าในการทดลองจริง เนื่องจากในช่วงแรกของการทดลองนั้นอุณหภูมิของลำไยนั้นยังขึ้นไม่ถึงอุณหภูมิห้องอบแห้ง แต่ในการจำลองสภาพการอบแห้งนั้นได้สมมุติให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศอบแห้ง ซึ่งเมื่อเริ่มต้นอบแห้งค่าอุณหภูมิเริ่มต้นการอบแห้งค่าอุณหภูมิอากาศอบแห้งทันที ดังนั้นในช่วงต้นๆของการอบแห้งอัตราการอบแห้งที่คำนวณได้จากการทดลองจึงมีค่าสูงกว่าค่าอัตราการอบแห้งที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์

ในส่วน of เส้นกราฟอัตราการอบแห้งนั้นเห็นว่าในช่วงแรกของการอบแห้งนั้น เส้นกราฟอัตราการอบแห้งที่ได้จากการจำลองสภาพการอบแห้งจะต่ำกว่าเส้นกราฟอัตราการอบแห้งที่ได้จากการทดลอง



รูป 4.19 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งของการทดลองกับการจำลองสภาพการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 93-83-73 °C ($R^2 = 0.72$)

(อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ $178.04 \text{ kg}_{\text{dry air}} / \text{h} \cdot \text{kg}_{\text{solid}}$, อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 30°C , ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม 0.58, ความชื้นเริ่มต้น 245.42 %มาตรฐานแห้ง, ความชื้นสุดท้าย 18.63 %มาตรฐานแห้ง, น้ำหนักแห้ง 1.70 กิโลกรัม)



รูป 4.20 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งของการทดลองกับการจำลองสภาพ

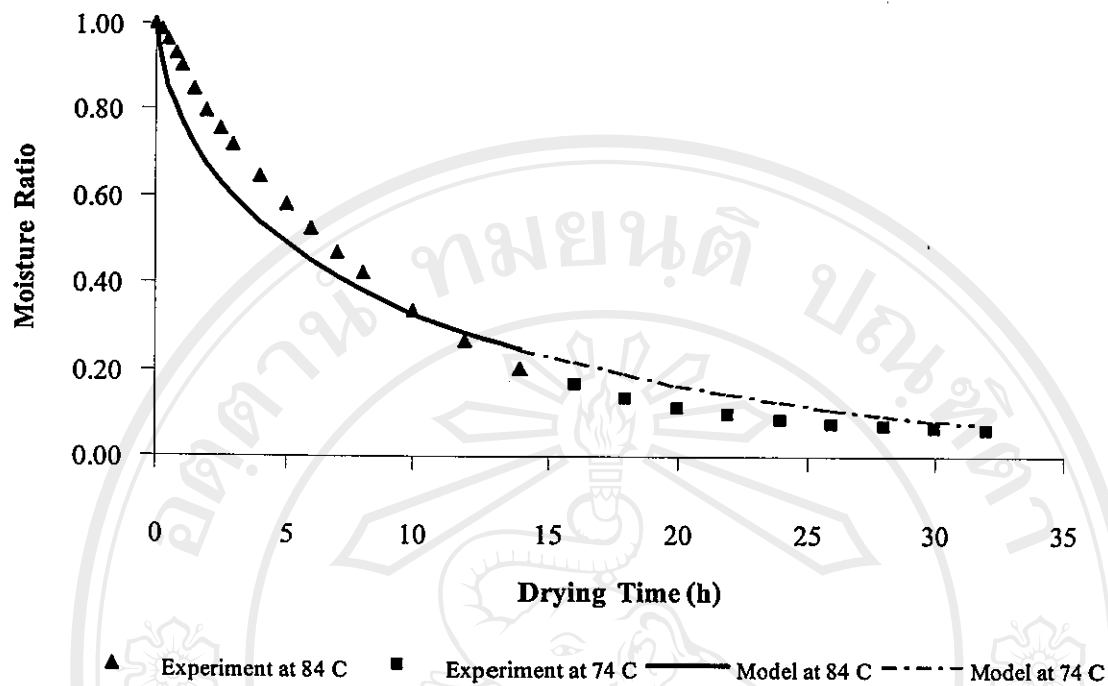
การอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 93-83-65 °C ($R^2=0.78$)

(อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ $180.86 \text{ kg}_{\text{dry air}} / \text{h} \cdot \text{kg}_{\text{solid}}$, อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 31°C , ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม 0.41, ความชื้นเริ่มต้น 262.02 %มาตรฐานแห้ง, ความชื้นสุดท้าย 19.32 %มาตรฐานแห้ง, น้ำหนักแห้ง 1.67 กิโลกรัม)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

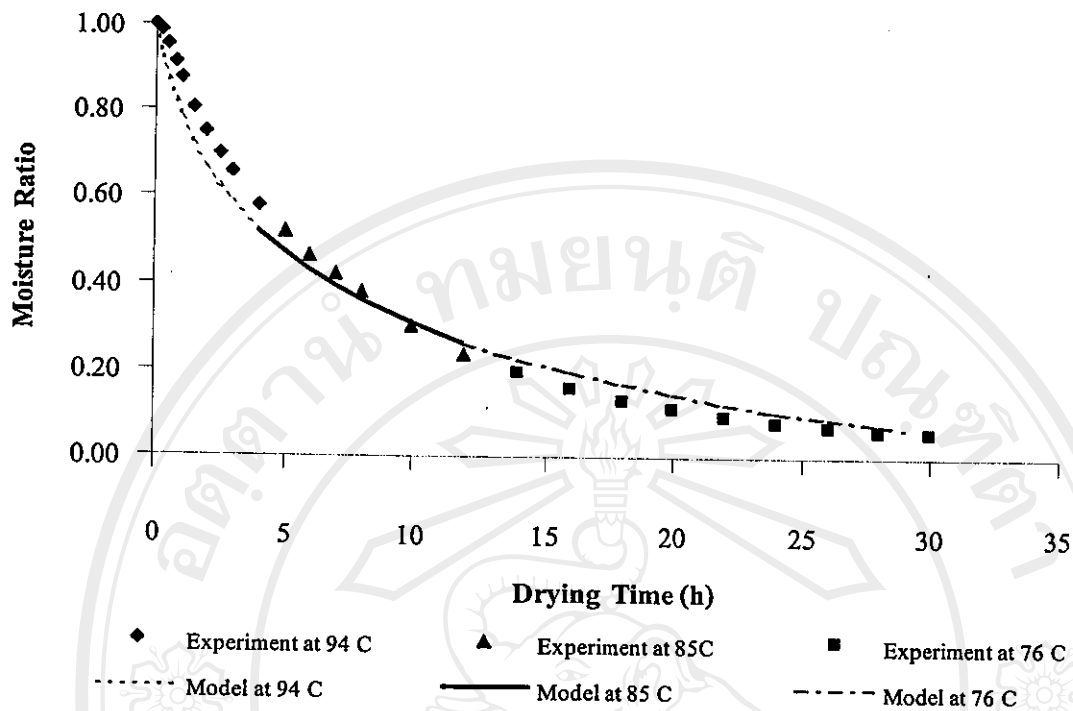
Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved



รูป 4.21 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งของการทดลองกับการจำลองสภาพการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 84-74 °C ($R^2 = 0.70$)

(อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ 175.71 $\text{kg}_{\text{dry air}}/\text{h}\cdot\text{kg}_{\text{solid}}$, อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 30.89 °C, ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม 0.43, ความชื้นเริ่มต้น 253.40 %มาตรฐานแห้ง, ความชื้นสุดท้าย 19.29 %มาตรฐานแห้ง, น้ำหนักแห้ง 1.72 กิโลกรัม)



รูป 4.22 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งของการทดลองกับการจำลองสภาพการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 94-85-76 °C มีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 90 % ($R^2 = 0.76$)

(อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ $189 \text{ kg}_{\text{dry air}} / \text{h} \cdot \text{kg}_{\text{solid}}$, อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 31 °C, ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม 0.58, ความชื้นเริ่มต้น 270.19 %มาตรฐานแห้ง, ความชื้นสุดท้าย 20.25 %มาตรฐานแห้ง, น้ำหนักแห้ง 1.60 กิโลกรัม)

4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของเปลือกกล้วย และเนื้อกล้วยก่อนและหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งคงที่

4.7.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของเปลือกกล้วยก่อนการอบแห้งและหลังการอบแห้ง

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของเปลือกกล้วยก่อนการอบแห้งและหลังการอบแห้ง ที่อุณหภูมิอบแห้ง 65 °C, 74 °C, 83 °C และ 93 °C (ข้อมูลการวัดสีในภาคผนวก ข.5 ถึงข.20) แสดงในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ค่าสีเปลือกกล้วยก่อนและหลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งต่างๆ

อุณหภูมิ °C	ค่าสีของเปลือกก่อนการอบแห้ง			ค่าสีของเปลือกหลังการอบแห้ง		
	L	a	b	L	a	b
65	53.16 ^a ±0.97	6.47 ^a ±1.14	17.14 ^a ±1.49	51.81 ^a ±1.33	7.22 ^a ±0.34	11.14 ^a ±0.58
74	51.28 ^a ±0.32	8.25 ^a ±0.33	17.64 ^a ±1.04	50.78 ^a ±0.53	6.93 ^a ±0.51	11.32 ^a ±0.68
83	56.92 ^b ±3.12	7.50 ^a ±0.97	21.83 ^b ±2.99	52.54 ^a ±1.34	7.81 ^b ±0.45	12.38 ^b ±0.68
93	51.38 ^a ±1.45	6.77 ^a ±0.77	17.32 ^a ±1.04	52.16 ^a ±0.53	7.89 ^b ±0.50	13.09 ^b ±0.81

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแนวดังเดียวกันหมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อคุณภาพด้านสีของเปลือกกล้วยหลังการอบแห้ง (ตาราง 4.2) พบว่าอุณหภูมิอบแห้งไม่มีผลต่อค่าความสว่างของเปลือกกล้วย แต่มีผลต่อค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลือง โดยที่อุณหภูมิ 65 °C และ 74 °C ค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และที่อุณหภูมิ 83 °C และ 93 °C ค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยเมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองของเปลือกกล้วยนั้น ที่อุณหภูมิ 83 °C และ 93 °C ค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองนั้นมากกว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 65 °C และ 74 °C

All rights reserved

4.7.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของเนื้อลำไยก่อนและหลังการอบแห้ง

ผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพในด้านสีของเนื้อลำไยก่อน และหลังการอบแห้ง ที่อุณหภูมิอบแห้ง 65 °C, 74 °C, 83 °C และ 93 °C แสดงในตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ค่าสีเนื้อลำไยก่อนและหลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งต่างๆ

อุณหภูมิ °C	ค่าสีของเนื้อก่อนการอบแห้ง			ค่าสีของเนื้อหลังการอบแห้ง		
	L	a	b	L	a	b
65	36.55 ^a ±1.20	3.43 ^a ±0.80	9.40 ^a ±2.13	37.76 ^b ±0.76	9.73 ^d ±1.41	11.0 ^e ±2.56
74	34.72 ^a ±1.35	2.60 ^a ±1.10	6.15 ^a ±1.55	34.63 ^a ±1.86	8.03 ^c ±0.51	6.07 ^b ±0.90
83	39.78 ^a ±1.59	3.40 ^a ±0.86	12.15 ^a ±2.08	34.48 ^a ±1.17	4.20 ^b ±1.66	2.85 ^a ±1.08
93	33.71 ^a ±2.10	2.08 ^a ±0.69	6.84 ^a ±1.69	33.85 ^a ±1.1	1.12 ^a ±0.58	1.14 ^a ±0.32

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแนวตั้งเดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อคุณภาพด้านสีของเนื้อลำไยหลังการอบแห้ง (ตาราง 4.3) พบว่าอุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อทั้งค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลือง โดยค่าสีทั้งสามมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น เมื่อพิจารณาอุณหภูมิอบแห้งที่มีผลต่อค่าความสว่างของเนื้อลำไยหลังการอบแห้ง นั้นพบว่าอุณหภูมิอบแห้ง 74 °C, 83 °C และ 93 °C ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนที่อุณหภูมิอบแห้ง 65 °C ค่าความสว่างจะมีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิอบแห้งอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิอบแห้งที่สูงจะทำให้สีของเนื้อลำไยมีสีเข้มขึ้นและผิวของเนื้อลำไยที่อุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้นจะมีลักษณะแข็งกว่าผิวที่อบที่อุณหภูมิต่ำกว่าดังนั้นที่อุณหภูมิอบแห้ง 65 °C จึงมีค่าความสว่างสูงกว่าที่อุณหภูมิอื่นๆ ความเป็นสีแดงและสีเหลืองนั้นมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยา browning reaction เป็นผลมาจากความร้อนที่สูงเกินไปทำให้เกิดการไหม้ของน้ำตาล

All rights reserved

4.8 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของเปลือกลำไยและเนื้อลำไยก่อนและหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้น

4.8.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของเปลือกลำไยก่อนและหลังการอบแห้ง

ผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพในด้านสีของเปลือกลำไยก่อนการอบแห้งและหลังการอบแห้ง ที่อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้นต่างๆ ทั้ง 4 แบบ (จากหัวข้อ 4.6 และข้อมูลการวัดสีในภาคผนวก ข.26 ถึงข.28) ได้ผลดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ค่าสีเปลือกลำไยก่อนและหลังผ่านการอบแห้งแบบต่างๆ

แบบอบแห้ง	ค่าสีของเปลือกก่อนการอบแห้ง			ค่าสีของเปลือกหลังการอบแห้ง		
	L	a	b	L	a	b
แบบที่1	53.72 [±] 0.33	7.08 [±] 0.76	20.17 [±] 0.52	54.17 [±] 1.70	8.57 [±] 0.26	15.14 [±] 1.10
แบบที่2	53.54 [±] 0.73	7.43 [±] 0.58	19.78 [±] 0.94	53.60 [±] 0.58	8.74 [±] 0.63	14.01 [±] 0.42
แบบที่3	53.39 [±] 0.69	7.48 [±] 0.26	19.94 [±] 1.03	53.15 [±] 0.70	8.30 [±] 0.36	14.08 [±] 1.09
แบบที่4	53.88 [±] 0.94	7.58 [±] 0.58	21.23 [±] 1.08	53.09 [±] 1.34	8.85 [±] 0.60	14.72 [±] 1.07

หมายเหตุ:ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแนวตั้งเดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$

แบบที่ 1 ใช้อุณหภูมิอบแห้ง 93 °C, 83 °C และ 73 °C จำนวน 4 ชั่วโมง, 8 ชั่วโมง และ 17 ชั่วโมง ตามลำดับ

แบบที่ 2 ใช้อุณหภูมิอบแห้ง 93 °C, 83 °C และ 65 °C จำนวน 4 ชั่วโมง, 8 ชั่วโมง และ 23 ชั่วโมง ตามลำดับ

แบบที่ 3 ใช้อุณหภูมิอบแห้ง 84 °C และ 74 °C จำนวน 14 ชั่วโมง และ 19 ชั่วโมง ตามลำดับ

แบบที่ 4 ใช้อุณหภูมิอบแห้ง 94 °C, 85 °C และ 76 °C จำนวน 4 ชั่วโมง, 8 ชั่วโมง และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยมีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 90 %

จากตาราง 4.4 เมื่อวิเคราะห์ค่าสีเปลือกลำไยก่อนการอบแห้งลำไยแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งเป็นลำดับขั้นนั้นพบว่า ค่าความสว่าง, ค่าความเป็นสีแดง, และค่าความเป็นสีเหลือง ของการอบแห้งทั้ง 4 แบบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงค่าสีหลังจากอบแห้งนั้น พบว่าค่าความสว่าง, ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลือง ของวิธีการอบแห้งทั้ง 4 แบบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาค่าสีเปลือกลำไยก่อนอบและหลังอบแห้งของการอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้นทั้ง 4 แบบนั้น พบว่าค่าความสว่างของสีเปลือกมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนที่ใช้อบแห้งทำให้ผิวที่เปลือกลำไยมีลักษณะหนาและแข็งขึ้น สำหรับค่าความเป็นสีแดงของสีเปลือกลำไยหลังอบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของความร้อนเช่นเดียวกันซึ่งจะทำให้ผิวเปลี่ยนจากเหลืองอมน้ำตาลอ่อนเป็นสีน้ำตาลเข้มขึ้น และเมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีเหลืองนั้น พบว่าหลังอบแห้งค่าความเป็นสีเหลืองลดลงเนื่องจากผิวเปลือกลำไยเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มขึ้นดังเหตุผลเดียวกับที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงทำให้วัดค่าความเป็นสีเหลืองออกมาได้ลดลง

ตาราง 4.5 ค่าสีเนื้อลำไยก่อนและหลังผ่านการอบแห้งแบบต่างๆ

แบบอบแห้ง	ค่าสีของเนื้อก่อนการอบแห้ง			ค่าสีของเนื้อหลังการอบแห้ง		
	L	a	b	L	a	b
แบบที่1	37.98 ^a ±1.40	3.20 ^a ±0.44	8.90 ^a ±1.28	34.41 ^a ±1.07	4.96 ^b ±1.18	3.44 ^b ±0.89
แบบที่2	38.50 ^a ±1.50	3.38 ^a ±0.82	8.34 ^a ±0.56	35.00 ^a ±1.70	7.00 ^c ±1.37	5.16 ^c ±1.30
แบบที่3	38.90 ^a ±1.83	2.98 ^a ±0.63	9.43 ^a ±21.12	34.91 ^a ±1.22	4.68 ^b ±1.21	3.75 ^b ±0.98
แบบที่4	35.99 ^a ±2.10	2.38 ^a ±0.45	8.48 ^a ±1.12	36.24 ^a ±1.10	2.93 ^a ±1.10	2.29 ^a ±0.77

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแนวตั้งเดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$

จากตาราง 4.5 เมื่อวิเคราะห์ค่าสีเนื้อลำไยก่อนการอบแห้งลำไยแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งเป็นลำดับขั้นนั้นพบว่า ค่าความสว่าง, ค่าความเป็นสีแดง, และค่าความเป็นสีเหลือง ของการอบแห้งทั้ง 4 แบบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าสีเนื้อลำไยหลังการอบแห้งลำไยแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งเป็นลำดับขั้นนั้นพบว่า ค่าความสว่าง ของการอบแห้งทั้ง 4 แบบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สำหรับค่าความเป็นสีแดงของ แบบที่1 อยู่ในกลุ่มเดียวกับแบบที่3 แต่อยู่คนละกลุ่มกับแบบที่2 และแบบที่4 เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดงที่ไม่ต่างกันของแบบที่1 และแบบที่3 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิการเปลี่ยนขั้นสุดท้ายของการทดลองเป็นอุณหภูมิเดียวกันคือ

73 °C จึงทำให้ค่าความเป็นสีแดงสุดท้ายที่ได้ไม่ต่างกัน สำหรับในแบบที่2 นั้นค่าความเป็นสีแดงจะสูงสุดเมื่อเทียบกับแบบการอบแห้งอื่นๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งสุดท้ายคือ 65 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิอบแห้งที่ต่ำจึงรักษาสีของเนื้อลำไยไม่ให้สีเข้มเกินไป

เมื่อพิจารณาค่าสีเนื้อลำไยก่อนอบแห้งและหลังอบแห้งนั้น พบว่าค่าความสว่างไม่ค่อยมีผลต่อค่าสีเนื้อลำไยเท่าใดนัก ในส่วนของค่าความเป็นสีแดงนั้นพบว่ามีความเข้มเพิ่มขึ้น แต่ค่าความเป็นสีเหลืองมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากว่าสีของเนื้อลำไยที่ผ่านกระบวนการอบแห้งนั้นจะมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากผลของปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า Millard reaction ทำให้เกิดสีน้ำตาลเกิดขึ้น ส่วนค่าความเป็นสีเหลืองลดลงนั้น เนื่องจากว่าสีสุดท้ายหลังการอบจะมียกออกไปทางน้ำตาลเข้ม จึงทำให้วัดค่าความเป็นสีเหลืองออกไปทางน้ำเงินค่าความเป็นสีเหลืองจึงลดลง

4.9 ผลการวิเคราะห์ค่าอัตราการคั่วตัวของเนื้อลำไยที่ได้จากการอบแห้งแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้น

ผลการวิเคราะห์ค่าอัตราการคั่วตัวของเนื้อลำไยที่ได้จากการอบแห้งแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้น (ข้อมูลในตารางภาคผนวก ข. 23) แสดงดังตาราง 4.6

ตาราง 4.6 ค่าอัตราการคั่วตัวของเนื้อลำไยที่ได้จากการอบแห้งแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้นแบบต่างๆ

แบบการอบแห้ง	อัตราการคั่วตัวของเนื้อลำไย
แบบที่1	$2.90^{\circ} \pm 0.16$
แบบที่2	$2.82^{\circ} \pm 0.04$
แบบที่3	$2.85^{\circ} \pm 0.08$
แบบที่4	$2.92^{\circ} \pm 0.12$

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแนวตั้งเดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$

อัตราการคั่วตัวนั้นเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของอาหารได้อย่างหนึ่ง ซึ่งค่าอัตราการคั่วตัวที่มากกว่าแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์นั้นผ่านกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสมกว่า จากตาราง 4.6 พบว่าอัตราการคั่วตัวของเนื้อลำไยของวิธีการอบแห้งแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งเป็นลำดับขั้นนั้น ทุกแบบของการอบแห้งค่าอัตราการคั่วตัวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าไม่ว่าจะใช้แบบการอบแห้งแบบไหนก็ไม่มีผลต่ออัตราการคั่วตัวของเนื้อลำไยหลังอบแห้ง

4.10 ผลการวิเคราะห์ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้ง

ได้คำนวณค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งของการทดลองอบแห้งแบบต่างๆ และผลค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่คำนวณจากการจำลองสภาพการอบแห้งแสดงดังตาราง 4.7 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ได้จากการทดลองและการจำลองสภาพการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งต่างๆ อัตราการไหลของอากาศ 0.086 kg/h

อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	SEC* (MJ/kg-water)		ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)		เวลาอบแห้ง (h)	
	ทดลอง	แบบจำลอง	เริ่มต้น	สุดท้าย	ทดลอง	แบบจำลอง
65	15.32	18.69	2.39	0.18	44	54
74	14.88	15.79	2.63	0.18	34	40
83	11.92	15.71	2.66	0.17	26	32
93	11.71	14.07	2.70	0.19	22	24
แบบที่1(93-83-73°C)	12.28	11.44	2.45	0.19	29	29
แบบที่2 (93-83-65°C)	11.78	10.81	2.62	0.19	35	34
แบบที่3 (84-74°C)	12.41	11.64	2.53	0.19	33	32
แบบที่4 (94-85-76°C) Recycle,90%	5.12	1.42	2.70	0.20	30	29

*SEC คือค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง, หน่วย MJ/kg_{water}

จากการคำนวณค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งของการทดลอง และการจำลองสภาพการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งคงที่นั้น พบว่าค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะลดลงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น จะทำให้อัตราการอบแห้งสูงกว่าอุณหภูมิอบแห้งต่ำกว่า ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งนั้นลดลง จึงส่งผลให้ใช้พลังงานในการอบแห้งลดลงด้วย แต่ในทางปฏิบัติอุณหภูมิอบแห้งที่สูงเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตแห้งที่ได้อาจด้อยกว่าที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำกว่า

ในส่วนของการทดลองอบแห้งแบบใช้อุณหภูมิเป็นลำดับขั้นนั้น เมื่อยังไม่พิจารณากรณีมีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ ในด้านของพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่าแบบที่ 3(84-74 °C) ใช้พลังงานจำเพาะ 12.41 MJ/kg-water คิดเป็น 100% แบบการอบแห้งที่ 1 (93-83-73°C) นั้นใช้พลังงานจำเพาะ 12.28 MJ/kg-water คิดเป็น 98.98% เมื่อเทียบกับแบบที่ 3 และแบบที่ 2 (93-83-73 °C) ใช้พลังงานจำเพาะ 11.78 MJ/kg-water คิดเป็น 94.92% เมื่อเทียบกับแบบที่ 3

เมื่อพิจารณาถึงเวลาของการอบแห้งนั้น พบว่าแบบที่2 ใช้เวลาในการอบแห้ง 35 ชั่วโมงคิดเป็น 100 % แบบการอบแห้งที่1 ใช้เวลาในการอบแห้ง 29 ชั่วโมงคิดเป็น 82.86 % เมื่อเทียบกับแบบที่2 และแบบการอบแห้งที่3 ใช้เวลาในการอบแห้ง 33 ชั่วโมงคิดเป็น 94.28 % เมื่อเทียบกับแบบที่2

เมื่อพิจารณาความเหมาะสมของแบบการอบแห้งแต่ละแบบ โดยคำนึงถึงคุณภาพพลังงานจำเพาะที่ใช้เวลาในการอบแห้ง ร่วมกันนั้น พบว่าแบบที่1 น่าจะเหมาะสมที่สุดเนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งน้อย แต่ใช้พลังงานจำเพาะในการอบแห้งมากกว่าแบบที่ประหยัดที่สุดเพียง 4.03 % แต่ประหยัดเวลาในการอบแห้งได้มากกว่าแบบที่ใช้พลังงานน้อยที่สุดถึง 16.14 % เมื่อพิจารณาในแง่ของคุณภาพสีเนื้อที่ได้หลังอบแห้งนั้นพบว่าแบบที่2 ค่าสีเนื้อ ($L = 35.00 \pm 1.70$, $a = 7.00 \pm 1.37$, $b = 5.16 \pm 1.30$)ที่ได้หลังอบแห้งไม่แตกต่างกับการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งคงที่ 75°C ($L = 34.63 \pm 1.86$, $a = 8.03 \pm 0.51$, $b = 6.07 \pm 0.90$) เท่าใดนัก แต่ค่าสีของการอบแห้งแบบที่1 ($L = 34.41 \pm 1.07$, $a = 4.96 \pm 1.18$, $b = 3.44 \pm 0.89$)ก็ยังพอยอมรับได้และมีความเหมาะสมกว่าในด้านทั้งเวลาและพลังงาน

ส่วนในการอบแห้งแบบที่4 นั้นได้จากการเลือกแบบที่เหมาะสมที่สุดคือแบบที่1 โดยนำลมร้อนกลับมาใช้ใหม่ 90 % ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดพลังงานได้มากเมื่อเทียบกับไม่มีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ถึง 58.74 % แต่เวลาที่ใช้ในการอบแห้งก็เพิ่มขึ้น ในการศึกษานี้ทำให้เครื่องอบแห้งขนาดห้องปฏิบัติการจึงไม่มีปัญหา moisture condensation แต่เมื่อจะนำมาใช้ในทางอุตสาหกรรมที่มีโหลดมากควรคำนึงถึง moisture condensation ด้วย

เมื่อเปรียบเทียบการอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งเป็นลำดับขั้นกับอุณหภูมิอบแห้งคงที่นั้นพบว่า การอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งเป็นลำดับขั้นแบบที่1 ใช้ระยะเวลาและพลังงานน้อยกว่าแบบให้อุณหภูมิอบแห้งคงที่ 65°C และ 73°C และคุณภาพด้านสีของเนื้อลำไยหลังอบแห้งก็ใกล้เคียงกัน สำหรับอุณหภูมิอบแห้งคงที่ 83°C และ 93°C พลังงานที่ใช้จะต่ำกว่าเพียงเล็กน้อยคือ 2.93 % และ 4.64% ตามลำดับ แต่คุณภาพสีของเนื้อลำไยมีดีกว่า