

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

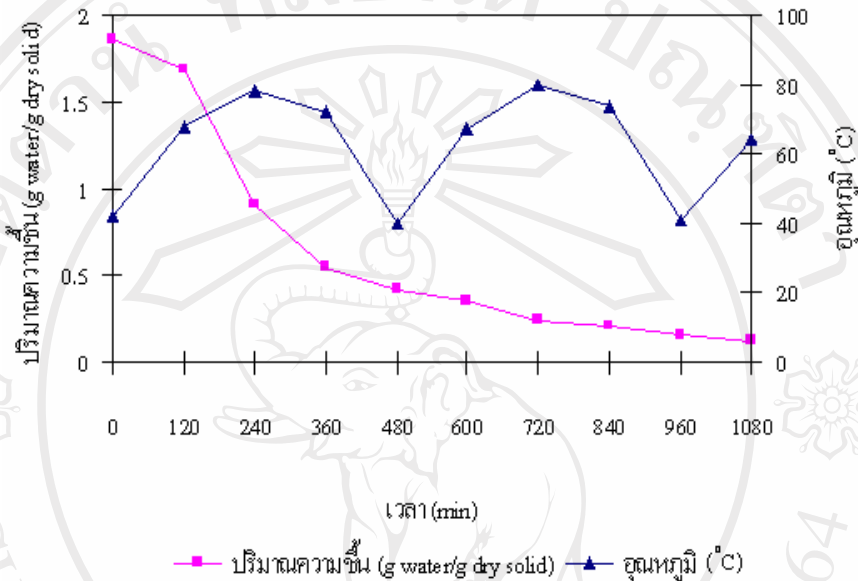
ตอนที่ 1 การศึกษาการอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน

ในการศึกษาการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน ได้ศึกษากราฟการอบแห้ง (Drying curve) และกราฟอัตราการอบแห้ง (Drying rate curve) ของแต่ละเทคนิค โดยทำการอบแห้งจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 14%wb หรือน้อยกว่า

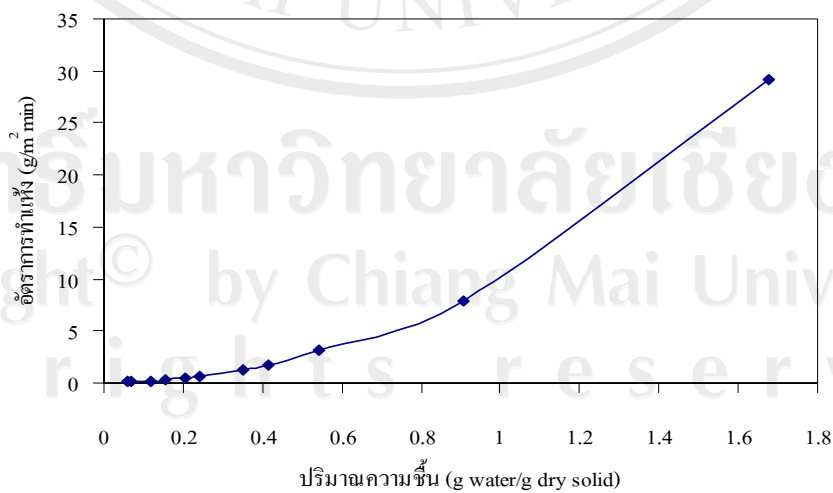
1.1 ผลการศึกษาระยะเวลาการอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์

การอบแห้งโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนสะสมความร้อน (Heat collector) และส่วนอบแห้ง (Drying area) โดยนำลำไยแผ่นไปวางที่ตำแหน่งตรงกลางของส่วนอบแห้ง เนื่องจากตำแหน่งนี้มีการสะสมความร้อนมากที่สุด จึงทำให้มีอุณหภูมิภายในเตาอบสูงสุด (ไพโรจน์และคณะ, 2544) และเนื่องจากการใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการอาศัยแหล่งความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในส่วนอบแห้งจึงขึ้นอยู่กับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เช่นกัน ซึ่งทำให้อุณหภูมิในแต่ละช่วงของวันมีค่าไม่คงที่ จากการอบแห้งลำไยแผ่นในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน พ.ศ.2549 พบว่า มีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลาตั้งแต่ 9.00 น.-17.00 น. มีค่าอยู่ในช่วง 60-65 องศาเซลเซียส โดยเวลา 9.00 น. ที่เป็นเวลาเริ่มต้นในการอบอุณหภูมิมีค่าไม่สูงมาก ทำให้ปริมาณความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ลดลงเพียงเล็กน้อย และเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆจนถึงช่วงเวลา 11.00 น.-13.00 น. จะเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด คือ สูงถึง 80 องศาเซลเซียส ทำให้ในช่วงนี้ปริมาณความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆลดลงจนถึงเวลา 17.00 น. ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นน้อยมาก และภายหลังจากการอบแห้งผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นเป็นเวลา 18 ชั่วโมง หรือ 1,080 นาที จะมีปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์เฉลี่ย

เท่ากับ 11.74%db (10.51%wb) หรือ 0.1174 กรัมของน้ำต่อกรัมของตัวอย่างแห้ง (g water/g dry solid) ดังภาพ 4.1 และมีค่า $L^* a^* b^*$ เท่ากับ 46.02, 13.76 และ 14.28 ตามลำดับ ภาพผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์แสดงดังภาคผนวก ง-1



ภาพ 4.1 กราฟอุณหภูมิภายในเตาอบและปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปของลำไยแผ่นระหว่างการอบแห้งโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์

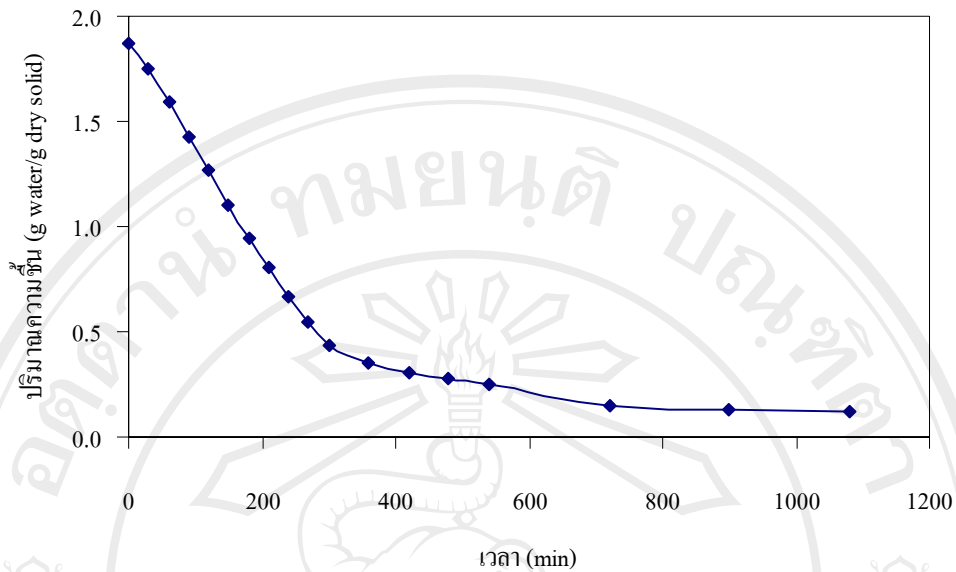


ภาพ 4.2 กราฟอัตราการอบแห้งของลำไยแผ่นระหว่างการอบแห้งโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์

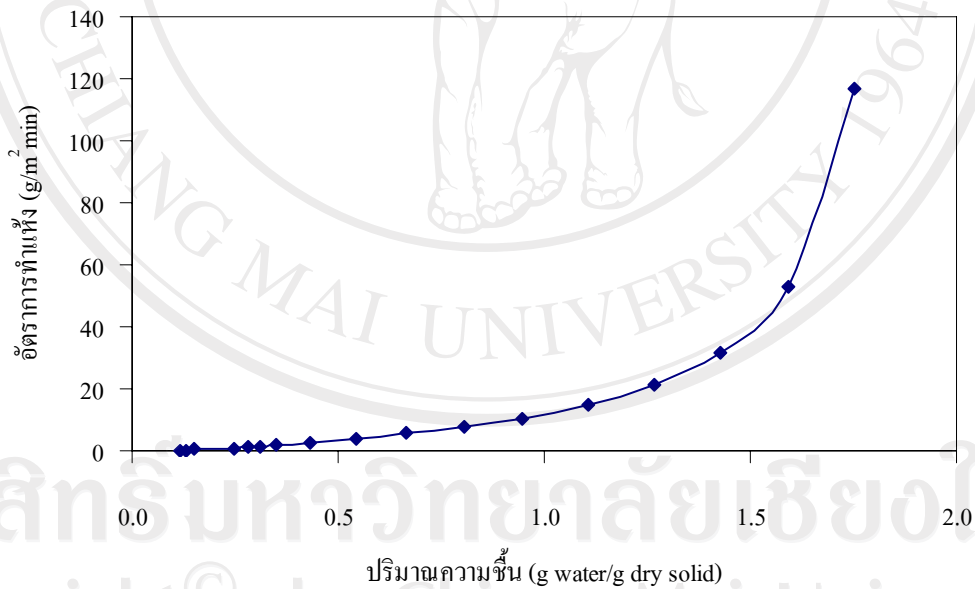
จากกราฟอัตราการอบแห้งในภาพ 4.2 พบว่า อัตราการอบแห้งมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ โดยอัตราการอบแห้งในช่วงเริ่มต้นมีค่าสูง เนื่องจากมีปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์สูง ทำให้บริเวณผิวหน้าผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำอิสระเพียงพอต่อการระเหยจึงเร่งให้อัตราการอบแห้งเกิดเร็วขึ้น หลังจากนั้นอัตราการอบแห้งจะลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential) เนื่องจากปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลง ทำให้น้ำที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์เกิดการเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวหน้าผลิตภัณฑ์ไม่เพียงพอต่ออัตราการระเหย จึงทำให้อัตราการอบแห้งลดลง และจากกราฟอัตราการอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ พบเพียงช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการอบแห้งลูกแพร์ (prickly pear fruit) ของ Lahsasni *et al.* (2004) การอบแห้งพริกแดงและพริกเขียว (red and green chillies) ของ Hossain and Bala (2006) ซึ่งผลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า กลไกการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในมาที่ผิวภายนอกน่าจะเป็นแบบการแพร่ (diffusion) มากที่สุด (Lahsasni *et al.*, 2004)

1.2 ผลการศึกษาระยะเวลาการอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เตาอบลมร้อน

การอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เตาอบลมร้อน ทำการอบแห้งที่ความเร็วลมคงที่เท่ากับ 0.2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิเริ่มต้น 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นลดอุณหภูมิลงเหลือ 70 องศาเซลเซียส พบว่า ในช่วงแรกของการอบแห้งปริมาณความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งแตกต่างจากการอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากการอบแห้งโดยใช้เตาอบลมร้อนสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ จึงทำให้ปริมาณความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 300 นาที หรือ 5 ชั่วโมงปริมาณความชื้นจะค่อยๆลดลงอย่างช้าๆ จนกระทั่งมีค่าคงที่ และภายหลังจากการอบแห้งผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นเป็นเวลา 15 ชั่วโมง หรือ 900 นาที ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 12.87%db (11.40%wb) หรือ 0.1287 กรัมของน้ำต่อกรัมของตัวอย่างแห้ง (g water/g dry solid) และมีค่า $L^* a^* b^*$ เท่ากับ 45.44, 14.29 และ 13.76 ตามลำดับ ได้กราฟการอบแห้งแสดงดังภาพ 4.3 และกราฟอัตราการอบแห้งแสดงดังภาพ 4.4 และภาพผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เตาอบลมร้อนแสดงดังภาพผนวก ก-2



ภาพ 4.3 กราฟการอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เตาอบลมร้อน



ภาพ 4.4 กราฟอัตราการอบแห้งของลำไยแผ่นระหว่างการอบแห้งโดยใช้เตาอบลมร้อน

จากกราฟอัตราการอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เตาอบลมร้อนในภาพ 4.4 พบว่า ลักษณะกราฟมีการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล และพบเพียงช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น เช่นเดียวกับกราฟอัตราการอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสาเหตุที่พบเพียงช่วงอัตราการอบแห้งลดลงอาจเนื่องมาจากในการอบแห้งมีการใช้อุณหภูมิสูง ประกอบกับในการ

บันทึกน้ำหนักตัวอย่างมีการเว้นช่วงห่างของระยะเวลามากเกินไปจึงเป็นไปได้ที่จะไม่พบช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของรัตนาและคณะ (2549) ที่ไม่พบช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ของกราฟอัตราการอบแห้งของลำไยแผ่นโดยใช้เตาอบลมร้อน เช่นเดียวกันกับรายงานของ Sharma and Prasad (2001) ในการอบแห้งกลีบกระเทียม (garlic cloves) การอบแห้งถั่วแขก (green beans) ของ Doymaz (2005) การอบแห้งใบผักชีฝรั่ง (parsley leaves) ของ Doymaz *et al.* (2006) นอกจากนี้ Madamba (1996) ยังได้รายงานว่าการอบแห้ง biological product เกือบทั้งหมด พบเพียงช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามมีการพบช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ในการอบแห้งกล้วยของ Maskan (2000) ที่ว่า พบช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ช่วงสั้นๆ ในการอบแห้งกล้วยที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส และจะไม่พบช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ในการอบแห้งกล้วยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งแตกต่างกับการรายงานของ Mowlah *et al.* (1983) ที่พบทั้งช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และช่วงอัตราการอบแห้งลดลงในระหว่างการอบแห้งกล้วยโดยใช้ air circulated oven ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยให้เหตุผลว่าเมื่อเวลาในการอบแห้งผ่านไปทำให้อากาศใน oven เกิดการอึดตัว และเกิดฟิล์มหนารอบๆ อาหาร ซึ่งจะป้องกันการแยกของความชื้นที่ระเหยออกจากอาหาร จึงทำให้พบช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

จากกราฟอัตราการอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์และเตาอบลมร้อน พบว่า มีช่วงอัตราการอบแห้งลดลง 2 ช่วง คือ ช่วงที่เป็นเส้นตรงและช่วงที่เป็นเส้นโค้ง โดยอัตราการอบแห้งลดลงในช่วงที่เป็นเส้นตรงจะมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าช่วงที่เป็นเส้นโค้ง และอัตราการอบแห้งลำไยแผ่นระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อนในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงที่เป็นเส้นตรงมีค่าเท่ากับ 7.90 และ 52.93 กรัมต่อตารางเมตรต่อนาที ($\text{g}/\text{m}^2 \text{ min}$) ซึ่งจะเห็นได้ว่า การอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เตาอบลมร้อนมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ถึง 6.7 เท่า อาจเนื่องมาจากการอบแห้งโดยใช้เตาอบลมร้อนใช้อุณหภูมิในการอบแห้งค่อนข้างสูงและอุณหภูมิภายในเตาอบมีค่าคงที่กว่าอุณหภูมิภายในเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ จึงทำให้การอบแห้งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง

1.3 ผลการศึกษาการอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน

1.3.1 ผลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาอบลมร้อน

นำลำไยแผ่นที่มีปริมาณความชื้นและค่า A_w เริ่มต้นเท่ากับ 182.75%db (64.63%wb) และ 0.874 ตามลำดับ มาอบแห้งโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 1 วัน ช่วงเวลาตั้งแต่ 9.00-17.00น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นและค่า A_w เหลือเท่ากับ 41.60%db (29.38%wb) และ 0.572 ตามลำดับ นำไปอบแห้งต่อโดยใช้เตาอบลมร้อนที่ 3 อุณหภูมิ คือ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการอบแห้ง 3 ระดับ คือ 5, 7 และ 9 ชั่วโมง โดยทำการวัดปริมาณความชื้น ค่า A_w ค่าสี $L^* a^* b^*$ ได้ผลแสดงดังตาราง 4.1 ลักษณะเนื้อสัมผัส คือ ค่าแรงจิกและแรงกด ได้ผลแสดงดังตาราง 4.2

ตาราง 4.1 ค่าปริมาณความชื้น ค่า Aw และค่าสีของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน

ปัจจัย	ปริมาณความชื้น (%db)	Aw	ค่าสี					
			Lo	L	ao*	a*	bo*	b*
อุณหภูมิ (T)								
60°C (T1)	22.56 ^a ±2.61	0.551 ^a ±0.02	49.59±0.64	59.63 ^a ±1.72	2.99±0.12	9.47 ^b ±1.48	12.10±0.66	24.68 ^a ±2.03
70°C (T2)	15.92 ^b ±1.04	0.481 ^b ±0.02	48.94±1.01	56.21 ^b ±1.96	3.07±0.20	10.77 ^b ±1.80	12.32±0.86	22.88 ^{ab} ±1.59
80°C (T3)	14.44 ^b ±1.71	0.463 ^b ±0.02	49.36±1.18	53.07 ^c ±3.15	3.14±0.33	13.22 ^a ±2.30	12.14±0.35	20.92 ^c ±2.04
เวลา (t)								
5 ชั่วโมง (t1)	19.75±4.26	0.524±0.04	49.40±0.90	58.85 ^a ±2.26	3.08±0.31	9.39 ^b ±1.37	12.35±0.57	24.99 ^a ±1.88
7 ชั่วโมง (t2)	16.83±3.57	0.487±0.04	49.25±1.07	56.25 ^{ab} ±2.62	3.14±0.18	10.62 ^b ±1.50	12.07±0.82	22.76 ^b ±1.47
9 ชั่วโมง (t3)	15.89±3.05	0.480±0.04	49.09±1.04	53.78 ^b ±3.65	2.95±0.16	13.54 ^a ±2.22	12.27±0.57	20.83 ^c ±1.78
Txt								
T1xt1	25.19 ^a ±1.44	0.575 ^a ±0.01	49.06±0.48	61.20 ^a ±0.67	2.94±0.64	8.03 ^c ±0.47	12.20±0.52	26.85 ^a ±0.98
T2xt1	17.52 ^d ±0.32	0.510 ^d ±0.01	49.91±1.45	58.91 ^{bc} ±0.98	3.11±0.39	9.20 ^{de} ±0.68	12.94±0.21	25.11 ^{ab} ±0.70
T3xt1	16.53 ^{de} ±0.69	0.489 ^c ±0.01	49.25±0.95	56.46 ^d ±1.27	3.19±0.52	10.94 ^c ±0.28	11.91±0.47	23.02 ^{cd} ±1.22
T1xt2	22.81 ^b ±1.61	0.550 ^b ±0.01	49.82±0.39	60.00 ^{ab} ±0.81	3.10±0.42	9.27 ^{de} ±0.37	12.18±1.35	24.64 ^{bc} ±0.73
T2xt2	15.72 ^{ef} ±0.43	0.475 ^{ef} ±0.01	48.58±0.81	56.03 ^{de} ±0.92	3.07±0.48	10.30 ^{cd} ±1.02	11.86±0.86	22.78 ^d ±0.53
T3xt2	13.63 ^{gh} ±0.88	0.454 ^{gh} ±0.01	50.34±1.06	53.04 ^f ±1.31	3.35±0.54	12.75 ^b ±0.59	12.46±0.24	20.85 ^c ±1.09
T1xt3	19.69 ^c ±0.77	0.528 ^c ±0.01	49.90±0.91	57.68 ^{cd} ±0.93	2.93±0.34	11.13 ^c ±0.91	11.94±0.11	22.54 ^{de} ±0.72
T2xt3	14.81 ^{fg} ±0.14	0.465 ^{fg} ±0.01	48.88±0.98	53.95 ^{ef} ±1.21	3.03±0.38	13.51 ^b ±0.55	12.84±0.78	20.92 ^c ±0.88
T3xt3	13.17 ^h ±0.12	0.447 ^h ±0.01	48.48±1.22	49.71 ^g ±0.88	2.90±0.86	15.98 ^a ±0.28	12.04±0.77	18.90 ^f ±1.08

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P≤0.05

Lo*, ao*, bo* และ L*, a*, b* คือ ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นก่อนการอบแห้งและหลังการอบแห้งตามลำดับ

ค่าข้อมูลของปัจจัยอุณหภูมิ (T) เป็นค่าเฉลี่ยของทั้งสามเวลา (t) ที่อุณหภูมิเดียวกัน

ค่าข้อมูลของปัจจัยเวลา (t) เป็นค่าเฉลี่ยของทั้งสามอุณหภูมิ (T) ที่เวลาเดียวกัน

ตาราง 4.2 ค่าแรงจิกและแรงกดของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน

ปัจจัย	แรงจิก (N)	แรงกด (N)
อุณหภูมิ (T)		
60°C (T1)	2.229±0.51	0.974±0.30
70°C (T2)	2.524±0.47	1.220±0.32
80°C (T3)	2.981±0.58	1.503±0.50
เวลา (t)		
5 ชั่วโมง (t1)	1.940 ^c ±0.29	0.753 ^c ±0.38
7 ชั่วโมง (t2)	2.602 ^b ±0.34	1.296 ^b ±0.51
9 ชั่วโมง (t3)	3.152 ^a ±0.36	1.610 ^a ±0.47
Txt		
T1xt1	1.652 ^c ±0.17	0.624 ^c ±0.45
T2xt1	1.897 ^c ±0.66	0.694 ^c ±0.23
T3xt1	2.272 ^d ±0.49	0.943 ^d ±0.58
T1xt2	2.286 ^d ±0.79	1.046 ^d ±0.30
T2xt2	2.508 ^{cd} ±0.23	1.311 ^c ±0.52
T3xt2	3.154 ^b ±0.94	1.510 ^b ±0.43
T1xt3	2.751 ^c ±0.42	1.254 ^c ±0.27
T2xt3	3.190 ^b ±0.23	1.518 ^b ±0.37
T3xt3	3.516 ^a ±0.40	2.058 ^a ±0.68

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ค่าข้อมูลของปัจจัยอุณหภูมิ (T) เป็นค่าเฉลี่ยของทั้งสามเวลา (t) ที่อุณหภูมิเดียวกัน

ค่าข้อมูลของปัจจัยเวลา (t) เป็นค่าเฉลี่ยของทั้งสามอุณหภูมิ (T) ที่เวลาเดียวกัน

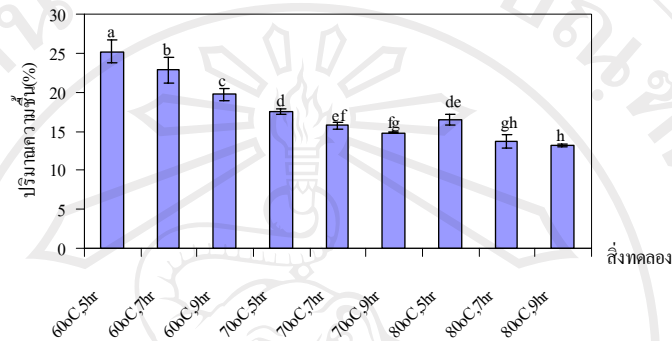
จากตาราง 4.1 และ 4.2 พบว่า การอบแห้งมีผลทำให้ค่าสี $L^* a^* b^*$ เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าสีของลำไยแผ่นที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง ($Lo^* ao^* bo^*$) โดยลำไยแผ่นที่ยังไม่ผ่านการอบแห้งจะมีลักษณะชุ่มและมีสีเหลืองอ่อน แต่เมื่อนำไปอบแห้งแล้ว พบว่า ผลิตกัณฑ์มีลักษณะใสและมีสีเหลืองน้ำตาล ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากในผลิตกัณฑ์ลำไยแผ่นมีการาจิเนนเป็นส่วนประกอบ ซึ่งมีคุณสมบัติในการเกิดเจลและเมื่อได้รับความร้อนจะได้เจลที่มีลักษณะใส ดังนั้นผลิตกัณฑ์ลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งจึงมีลักษณะใสกว่าก่อนอบ และเมื่อทำการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Minolta Chroma Meter ในระบบ CIE ซึ่งเป็นการวัดการสะท้อนแสงของวัตถุ จึงทำให้วัดค่าสี L^* ได้มากกว่า Lo^* และสาเหตุที่ค่าสี a^* และ b^* มีค่าสูงกว่าค่าสี ao^* และ bo^* ก็เนื่องมาจากการ

เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไมซ์เอนไซม์ชนิด Maillard reaction และเมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ ลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งในแต่ละสภาวะ พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* a^* b^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) นั่นคือการใช้อุณหภูมิที่สูง และการใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่ยาวนานมีผลทำให้ค่าสี L^* และ b^* ลดลง และค่าสี a^* เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลจากเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไมซ์เอนไซม์ (Maillard reaction) และอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น และในอาหารที่มีน้ำตาลฟรุกโตสเป็นองค์ประกอบจะทำให้อัตราเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 5-10 เท่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส และจะเกิดเร็วเมื่อมีปริมาณน้ำตาลมากขึ้น ความเข้มของสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วย (นิธิยา, 2545) ดังนั้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นมีสีเหลืองน้ำตาล ผลที่ได้สอดคล้องกับการรายงานของ Cano-Chauca (2002) ในการทำแห้งกล้วยที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสว่าง (L^*) น้อยกว่า และมีสีแดง (a^*) มากกว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส เนื่องมาจากอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไมซ์เอนไซม์เพิ่มมากขึ้น

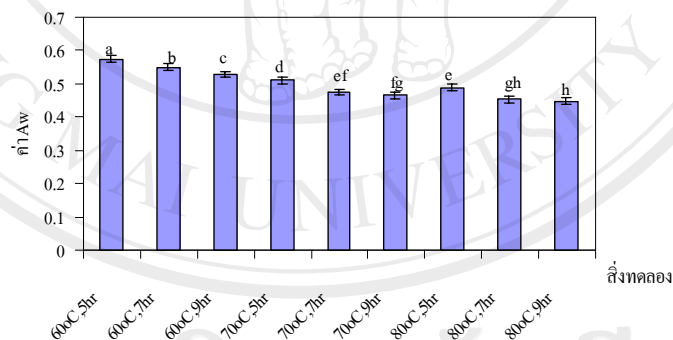
ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยระยะเวลาในการอบแห้งที่ยาวนาน ค่าของแรงฉีกและแรงกดยิ่งเพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับ Kotwaliwale *et al.* (2007) ที่พบว่า ระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าแรงกดของเห็ดเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากปริมาณความชื้นที่ลดลงตามระยะเวลาในการอบแห้งที่เพิ่มขึ้น สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่า อุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ผลที่ได้สอดคล้องกับ Jamradloedluk *et al.* (2007) ในการอบแห้งทุเรียนแผ่น พบว่า อุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสด้านแรงกดอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ Kotwaliwale *et al.* (2007) ได้รายงานว่า ระหว่างการอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน เห็ดจะมีค่าความแข็ง (hardness) เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิการอบแห้งที่สูง ความแข็งยิ่งเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับกับรายงานของ Cano-Chauca *et al.* (2002) ที่พบว่า ความแข็งของกล้วยอบแห้งแปรผันตามอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง

จากการวิเคราะห์ปฏิกิริยาสัมพันธ์ (interaction) ของปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการอบแห้ง ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งมีผลต่อทุกค่าตอบสนอง คือ ปริมาณความชื้น ค่า A_w ค่าสี L^* a^* b^* แรงฉีกและแรงกด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังนี้

ปริมาณความชื้นและค่า Aw ต่างมีค่าลดลงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น เช่นเดียวกับระยะเวลาในการอบแห้งที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 9 ชั่วโมง และมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 5 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แสดงผลดังภาพ 4.5 และ 4.6



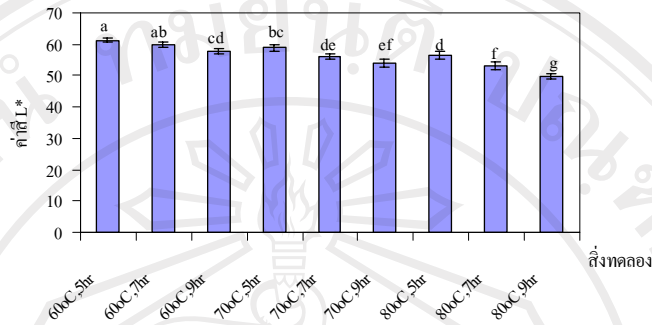
ภาพ 4.5 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการอบแห้งต่อปริมาณความชื้นของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับบนกราฟแท่ง แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$)



ภาพ 4.6 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการอบแห้งต่อค่า Aw ของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับบนกราฟแท่ง แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$)

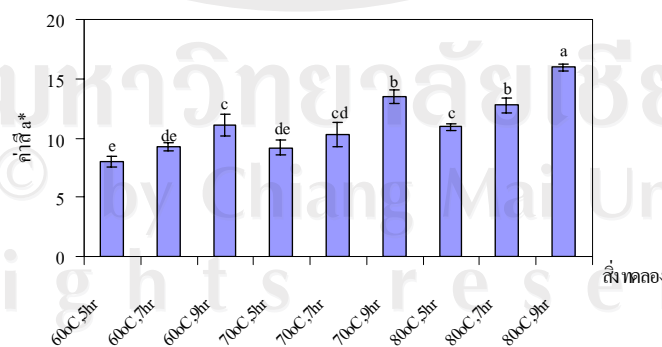
ค่าสี L^* หรือความสว่าง พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 9 ชั่วโมง และมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 5 ชั่วโมง แสดงผลดังภาพ 4.7 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการรายงานของ Cano-Chauca (2002) ในการอบแห้งกล้วยที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสว่างน้อยกว่า (L^* ลดลง) ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศา

เซลเซียส เช่นเดียวกับ Karabulut *et al.* (2007) พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง จะมีผลให้ค่าสี L^* ของแอปเปิ้ลที่คาลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมากขึ้น



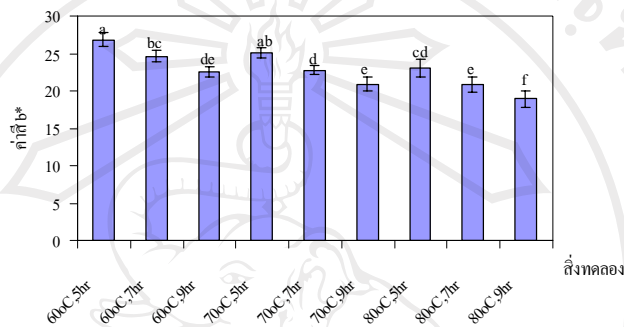
ภาพ 4.7 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการอบแห้งต่อค่าสี L^* ของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับบนกราฟแท่ง แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$)

ค่าสี a^* หรือสีแดง พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี a^* เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 5 ชั่วโมง และมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 9 ชั่วโมง แสดงผลดังภาพ 4.8 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการรายงานของ Cano-Chauca (2002) ในการอบแห้งกล้วยที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงค่าสี a^* เพิ่มขึ้น น้อยกว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และ Maskan *et al.* (2002) ได้รายงานว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งองุ่นแผ่น มีผลให้ค่าสี a^* เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



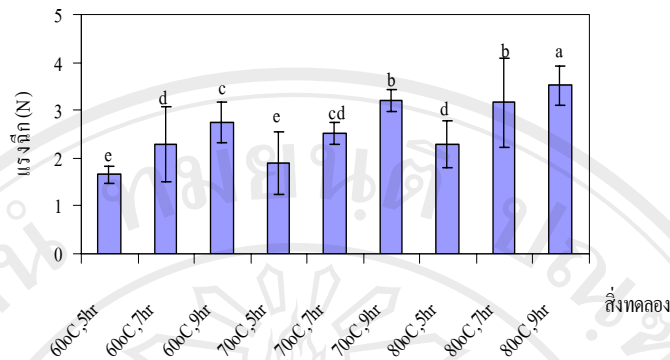
ภาพ 4.8 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการอบแห้งต่อค่าสี a^* ของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับบนกราฟแท่ง แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$)

ค่าสี b^* หรือสีเหลือง พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี b^* ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 9 ชั่วโมง และมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 5 ชั่วโมง แสดงผลดังภาพ 4.9 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับ Karabulut *et al.* (2007) ในการอบแห้งแอปเปิ้ลคิวด้วยเตาอบลมร้อน พบว่า อุณหภูมิในการอบแห้งที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี b^* ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

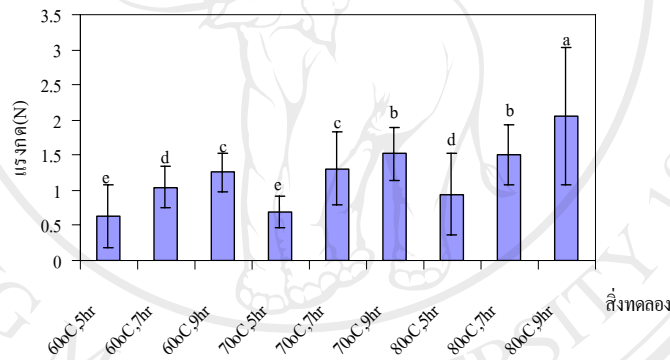


ภาพ 4.9 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการอบแห้งต่อค่าสี b^* ของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับบนกราฟแท่ง แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$)

ค่าแรงกดซึ่งแสดงถึงความเหนียว และแรงกดซึ่งแสดงถึงค่าความแข็ง (hardness) พบว่า ทั้งสองค่าต่างแปรผันตามอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส เวลา 5 ชั่วโมง และมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 9 ชั่วโมง แสดงผลดังภาพ 4.10 และ 4.11 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับ Lewicki and Jakubczyk (2000) ในการอบแห้งแอปเปิ้ลสี่เหลี่ยมลูกเต๋า (apple cubes) โดยใช้เตาอบลมร้อน พบว่า ที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์เกิดการหดตัวและเกิด moisture gradient ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเหนียวเพิ่มขึ้น และ Lewicki and Jakubczyk (2004) ยังพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งแอปเปิ้ลจาก 50 องศาเซลเซียส เป็น 70 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ค่าแรงกดเพิ่มขึ้นมากกว่า 30%



ภาพ 4.10 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการอบแห้งต่อค่าแรงจิกของลวดไผ่แผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับบนกราฟแท่ง แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$)



ภาพ 4.11 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการอบแห้งต่อค่าแรงกดของลวดไผ่แผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับบนกราฟแท่ง แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$)

1.3.2 การหาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมของลวดไผ่แผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้

เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อนในขั้นตอนสุดท้ายโดยวิธี **Response Surface Methodology (RSM)**

สภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมของลวดไผ่แผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เตาอบลมร้อนในขั้นตอนสุดท้าย พิจารณาจากอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้ง ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อบแห้ง โดยใช้ RSM ด้วยโปรแกรม Design-Expert v.6.0.2 โดยนำค่าเฉลี่ยคุณภาพ

ด้านต่างๆ มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ได้ผลดังตาราง 4.3 และผลการวิเคราะห์สัมพรรคถดถอยของสมการ โพลีโนเมียลลำดับที่สอง (Second order model) ได้ผลดังตาราง 4.4

ตาราง 4.3 แสดงถึงผลของปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งต่อค่าตอบสนองต่างๆ พบว่า โมเดลที่สร้างขึ้นของแต่ละค่าตอบสนองมีความเหมาะสม โดยพิจารณาจากค่า Variance Ratio (Significant), ค่า Lack of fit (Non-significant) และค่า R^2 (มีค่ามากกว่า 0.750) (Sharma and Prasad, 2006) ดังนั้นจึงสามารถนำทุกค่าตอบสนอง ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่า Aw ค่าสี L a* b* ค่าแรงฉีกและค่าแรงกดไปใช้ในการกำหนดช่วงของค่าตอบสนองเพื่อทำการหาสถานะที่เหมาะสมของการอบแห้งต่อไป

ตาราง 4.4 แสดงค่า Regression coefficient ของสมการโพลีโนเมียลลำดับที่สอง ซึ่งมีแบบหุ้่นดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \varepsilon$$

เมื่อ

$$Y = \text{ค่าตอบสนอง}$$

$$X_1 = \text{อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)}$$

$$X_2 = \text{ระยะเวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)}$$

$$\beta_0 = \text{ส่วนตัดแกน Y หรือค่าของ Y เมื่อ } X_1, X_2 = 0$$

$$\beta_k = \beta_1, \beta_2, \beta_{11}, \beta_{12} = \text{สัมประสิทธิ์ความถดถอย (regression coefficient)}$$

$$\varepsilon = \text{ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม}$$

ตาราง 4.3 ANOVA สำหรับแต่ละค่าตอบสนองของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน

Source	df	Sum of squares						
		ปริมาณความชื้น (%db)	Aw	ค่าสี			แรงฉีก (N)	แรงกด (N)
			L*	a*	b*			
Model	5	145.62***	0.016***	105.90***	51.36**	47.76***	3.09**	1.63***
Residual	7	2.57	2.925x10 ⁻⁴	3.84	4.44	1.15	0.087	0.033
Lack-of-fit	3	1.83 ^{NS}	1.973x10 ^{-4NS}	0.43 ^{NS}	0.28 ^{NS}	0.018 ^{NS}	0.045 ^{NS}	0.019 ^{NS}
Pure error	4	0.74	9.520x10 ⁻⁴	3.41	4.17	1.13	0.042	0.013
R ²		0.9826	0.9825	0.9650	0.9204	0.9764	0.9725	0.9804
C.V.		3.55	1.32	1.32	7.28	1.78	4.37	5.48

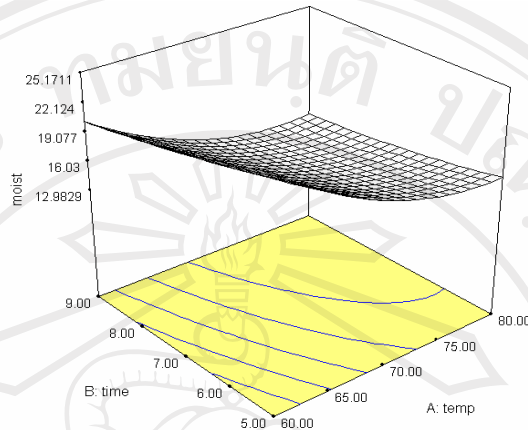
หมายเหตุ : * แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$
 ** แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่งที่ $P \leq 0.01$
 *** แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่งที่ $P \leq 0.001$
 NS แสดงค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P > 0.05$

ตาราง 4.4 ค่า Regression coefficient ของสมการ โพลีโนเมียลลำดับที่สองสำหรับแต่ละค่าตอบสนองของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน

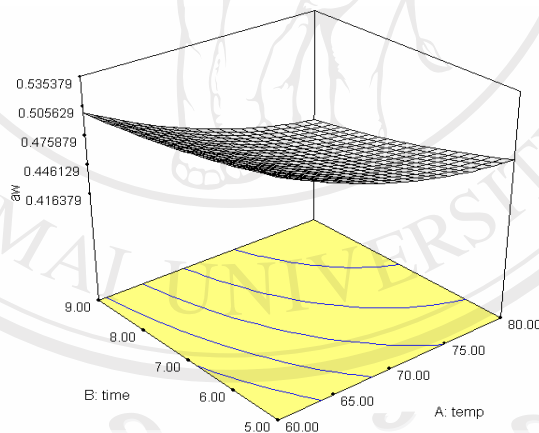
Coefficient	ปริมาณความชื้น (%db)	Aw	ค่าสี			แรงจิก (N)	แรงกด (N)
			L*	a*	b*		
β_0	191.23602	2.18702	13.10782	33.41886	41.24088	3.34882	1.08234
β_1	-4.07684***	-0.037629***	1.28689***	-0.60662***	-0.055119***	-0.13129***	-0.068053***
β_2	-4.35313***	-0.058688***	3.7941**	-3.42802***	-1.78999***	0.40221**	0.26163**
β_{11}	0.024883***	2.26655×10^{-4} ***	-9.66379×10^{-3}	4.45862×10^{-3}	-1.06552×10^{-3}	1.115173×10^{-3}	3.71897×10^{-4} ***
β_{22}	0.10832	2.04138×10^{-3}	-0.13909	-0.19772	0.040862	-0.016183	-0.033703
β_{12}	0.026750	2.52500×10^{-4}	-0.027875	0.02425*	2.37500×10^{-3}	1.81875×10^{-3}	6.06255×10^{-3}

หมายเหตุ : * แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$
 ** แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่งที่ $P \leq 0.01$
 *** แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่งที่ $P \leq 0.001$

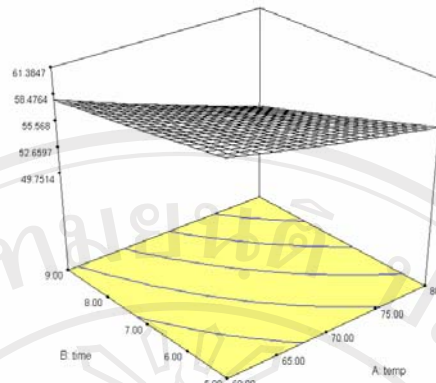
จากสมการ regression ของแต่ละค่าตอบสนองสามารถสร้างกราฟพื้นที่การตอบสนองได้ แสดงดังภาพ 4.12-4.18



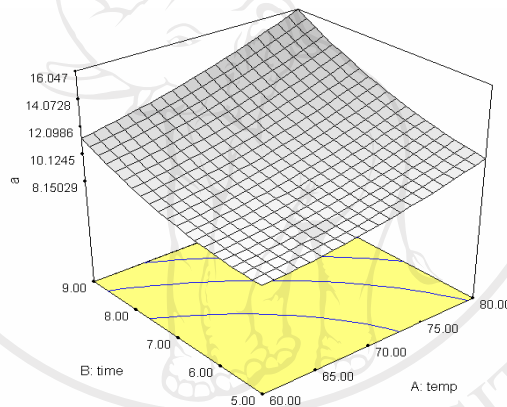
ภาพ 4.12 กราฟพื้นที่การตอบสนองต่อปริมาณความชื้นของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน



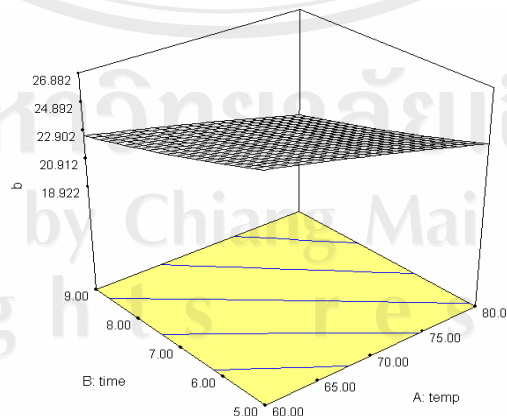
ภาพ 4.13 กราฟพื้นที่การตอบสนองต่อค่า A_w ของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน



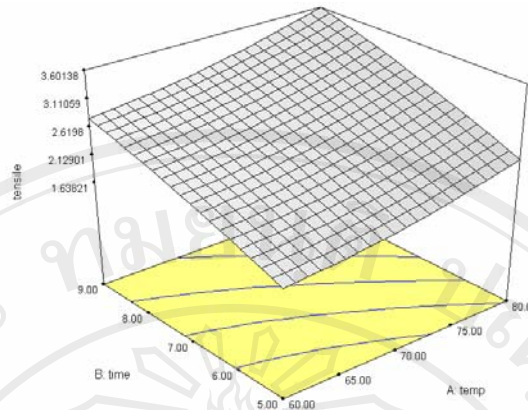
ภาพ 4.14 กราฟพื้นที่การตอบสนองต่อค่าสี L^* ของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน



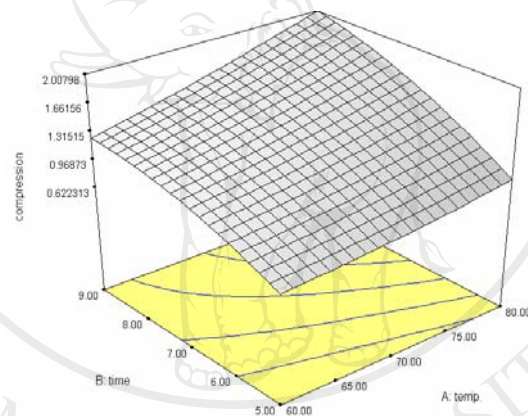
ภาพ 4.15 กราฟพื้นที่การตอบสนองต่อค่าสี a^* ของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน



ภาพ 4.16 กราฟพื้นที่การตอบสนองต่อค่าสี b^* ของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน



ภาพ 4.17 กราฟพื้นที่การตอบสนองต่อค่าแรงฉีกของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน



ภาพ 4.18 กราฟพื้นที่การตอบสนองต่อค่าแรงกดของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน

ในการหาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสม จะกำหนดช่วงของแต่ละค่าตอบสนองดังตาราง 4.5 และทำการ optimize ซึ่งจะได้กราฟ contour plot แสดงพื้นที่สภาวะการอบแห้งที่เหมาะสม ดังภาพ 4.19 และเพื่อเป็นการลดต้นทุนในกระบวนการอบแห้งและช่วยคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จะเลือกใช้สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำและระยะเวลาในการอบแห้งสั้น โดยทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน คือ นำลำไยแผ่นที่มีปริมาณความชื้นและค่า A_w เริ่มต้นเท่ากับ 182.75%db (64.63%wb) และ 0.874 ตามลำดับ มาอบแห้งโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์

เป็นเวลา 1 วัน ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 17.00 น. จนมีปริมาณความชื้นและค่า Aw เหลือเท่ากับ 41.60%db (29.38%wb) และ 0.572 ตามลำดับ นำมาอบแห้งต่อโดยใช้เตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง ทำให้ได้ปริมาณความชื้น ค่า Aw ค่าสี L* a* b* แรงนิกและแรงกด เท่ากับ 13.96%db (12.25%wb), 0.441, 53.78, 12.29, 21.22, 2.952 นิวตัน และ 1.573 นิวตัน ตามลำดับ

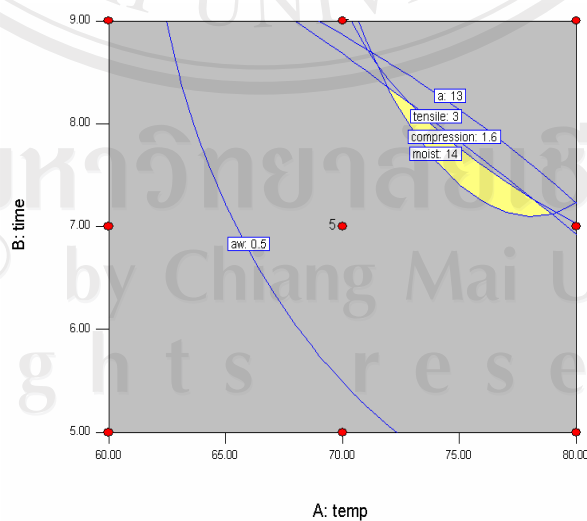
ตาราง 4.5 การกำหนดช่วงของค่าตอบสนองในการหาสถานะที่เหมาะสมของการอบแห้งลำไยแผ่น โดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน

ค่าตอบสนอง	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
1. ปริมาณความชื้น (%db) ¹	11	14
2. ค่า Aw ¹	0.4	0.5
3. ค่าสี L* ²	48	62
4. ค่าสี a* ²	8	13
5. ค่าสี b* ²	18	27
6. แรงนิก (N) ³	1.5	3
7. แรงกด (N) ³	0.9	1.5

ที่มา : 1 คัดแปลงจากรัตนา และคณะ (2549)

2 คัดแปลงจากรัตนา และคณะ (2547)

3 คัดแปลงจากอนุวัตร และคณะ (2543)



ภาพ 4.19 กราฟแสดงพื้นที่ที่เหมาะสมในการอบแห้งลำไยแผ่น โดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน

ตอนที่ 2 การศึกษาการอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

2.1 ผลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

นำลำไยแผ่นที่มีปริมาณความชื้นและค่า A_w เริ่มต้นเท่ากับ 186.06%db (65.04%wb) และ 0.875 ตามลำดับ มาอบแห้งโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 1 วัน ช่วงเวลาตั้งแต่ 9.00 น. - 17.00 น. ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นและค่า A_w เหลือเท่ากับ 40.63%db (28.89%wb) และ 0.570 ตามลำดับ นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบแห้งต่อด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศเพื่อกำจัดความชื้นส่วนที่เหลือออก โดยแปรผันปัจจัยในการอบแห้ง ได้แก่ กำลังไมโครเวฟ 3 ระดับ คือ 10% (480 วัตต์), 20% (960 วัตต์) และ 30% (1440 วัตต์) และอุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง 3 ระดับ คือ 30, 32 และ 34 องศาเซลเซียส โดยคงความดันของระบบสุญญากาศไว้ที่ 28 กิโลพาสคาล เปิดแมกนีตรอนจำนวน 6 ตัวโดยทำการวัดค่าปริมาณความชื้น ค่า A_w และค่าสี L^* a^* b^* ได้ผลแสดงดังตาราง 4.6 ลักษณะเนื้อสัมผัส คือ ค่าแรงจิกและแรงกด ได้ผลแสดงดังตาราง 4.7

ตาราง 4.6 ค่าปริมาณความชื้น ค่า Aw และค่าสีของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสูญญากาศ

ปัจจัย	ปริมาณความชื้น (%db)	Aw	ค่าสี					
			Lo	L	ao*	a*	bo*	b*
กำลังไมโครเวฟ (P)								
10% (P1)	25.25 ^a ±3.61	0.570 ^a ±0.03	48.66±0.93	57.91 ^a ±2.54	3.12±0.44	7.21 ^b ±1.11	12.31±0.69	22.49 ^a ±1.48
20% (P2)	18.34 ^b ±3.38	0.512 ^b ±0.05	49.15±1.90	55.98 ^a ±1.37	3.09±0.52	8.10 ^b ±0.83	11.94±0.99	20.77 ^a ±1.51
30% (P3)	13.67 ^c ±3.37	0.442 ^c ±0.06	48.79±0.91	52.82 ^b ±2.95	3.06±0.92	9.71 ^a ±2.04	11.99±1.79	18.32 ^b ±2.02
อุณหภูมิ (T)								
30°C (T1)	23.10 ^a ±5.22	0.555 ^a ±0.04	48.68±0.78	58.28 ^a ±2.33	3.14±0.27	5.29 ^b ±0.88	12.57±1.23	22.45 ^a ±1.50
32°C (T2)	18.99 ^{ab} ±4.38	0.517 ^a ±0.05	49.08±0.82	55.54 ^b ±1.61	3.05±0.36	6.43 ^b ±0.90	11.80±1.36	20.49 ^{ab} ±1.87
34°C (T3)	14.85 ^b ±5.06	0.450 ^b ±0.07	48.87±1.81	53.12 ^b ±2.91	3.11±0.28	9.46 ^a ±1.98	11.94±0.64	18.77 ^b ±2.13
PxT								
P1xT1	28.86 ^a ±1.15	0.593 ^a ±0.01	49.15±1.25	61.02 ^a ±0.42	3.26±0.20	6.26 ^d ±0.86	11.74±0.74	23.76 ^a ±0.71
P2xT1	23.15 ^c ±0.58	0.561 ^b ±0.01	48.10±0.30	57.86 ^b ±0.50	3.05±0.61	7.15 ^{cd} ±0.24	12.01±0.71	22.90 ^a ±0.97
P3xT1	17.30 ^c ±0.97	0.511 ^d ±0.01	48.79±0.50	55.96 ^c ±0.70	3.11±0.99	7.95 ^{bc} ±0.49	13.98±0.76	20.69 ^{bc} ±0.77
P1xT2	25.91 ^b ±0.45	0.577 ^a ±0.00	48.98±0.20	57.07 ^{bc} ±0.90	3.02±0.41	7.14 ^{cd} ±0.71	13.01±0.25	22.86 ^a ±1.00
P2xT2	18.27 ^c ±0.70	0.526 ^{cd} ±0.01	49.46±0.76	55.95 ^c ±0.45	3.07±0.64	8.10 ^{bc} ±0.69	11.91±1.34	20.57 ^{bc} ±0.71
P3xT2	13.87 ^f ±0.49	0.434 ^e ±0.01	48.23±0.87	52.99 ^d ±0.84	3.03±0.27	9.06 ^b ±0.44	10.31±0.88	17.92 ^{de} ±0.56
P1xT3	20.99 ^d ±0.47	0.540 ^c ±0.00	47.85±0.86	55.66 ^c ±0.52	3.08±0.99	8.22 ^{bc} ±0.37	12.19±1.00	20.84 ^b ±0.68
P2xT3	13.71 ^f ±0.23	0.427 ^e ±0.00	49.42±1.12	54.17 ^d ±0.58	3.19±0.21	9.04 ^b ±0.73	11.93±0.30	19.12 ^{cd} ±1.22
P3xT3	9.86 ^e ±0.40	0.383 ^f ±0.01	49.36±1.35	49.53 ^e ±0.93	3.05±0.89	12.13 ^a ±0.96	11.70±1.29	16.35 ^c ±0.52

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P≤0.05

Lo*, ao*, bo* และ L*, a*, b* คือ ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นก่อนการอบแห้งและหลังการอบแห้งตามลำดับ

ค่าข้อมูลของปัจจัยกำลังไมโครเวฟ (P) เป็นค่าเฉลี่ยของทั้งสามอุณหภูมิ (T) ที่กำลังไมโครเวฟเดียวกัน

ค่าข้อมูลของปัจจัยอุณหภูมิ (T) เป็นค่าเฉลี่ยของทั้งสามกำลังไมโครเวฟ (P) ที่อุณหภูมิเดียวกัน

ตาราง 4.7 ค่าแรงจิกและแรงกดของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

ปัจจัย	แรงจิก (N)	แรงกด (N)
กำลังไมโครเวฟ (P)		
10% (P1)	1.231 ^b ±0.13	0.588 ^b ±0.17
20% (P2)	1.881 ^b ±0.46	0.904 ^{ab} ±0.29
30% (P3)	2.980 ^a ±1.58	1.478 ^a ±0.90
อุณหภูมิ (T)		
30°C (T1)	1.301 ^b ±0.17	0.578 ^b ±0.13
32°C (T2)	1.863 ^b ±0.49	0.866 ^b ±0.24
34°C (T3)	2.938 ^a ±1.63	1.546 ^a ±0.86
PxT		
P1xT1	1.118 ^d ±0.82	0.460 ^d ±0.15
P2xT1	1.309 ^d ±0.10	0.582 ^d ±0.64
P3xT1	1.476 ^{cd} ±0.49	0.694 ^d ±0.21
P1xT2	1.213 ^d ±0.12	0.562 ^d ±0.66
P2xT2	1.843 ^c ±0.67	0.850 ^{cd} ±0.23
P3xT2	2.565 ^b ±0.16	1.212 ^{bc} ±0.60
P1xT3	1.362 ^d ±0.57	0.744 ^d ±0.17
P2xT3	2.552 ^b ±0.70	1.364 ^b ±0.30
P3xT3	4.900 ^a ±0.48	2.530 ^a ±0.64

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ค่าข้อมูลของปัจจัยกำลังไมโครเวฟ (P) เป็นค่าเฉลี่ยของทั้งสามอุณหภูมิ (T) ที่กำลังไมโครเวฟเดียวกัน

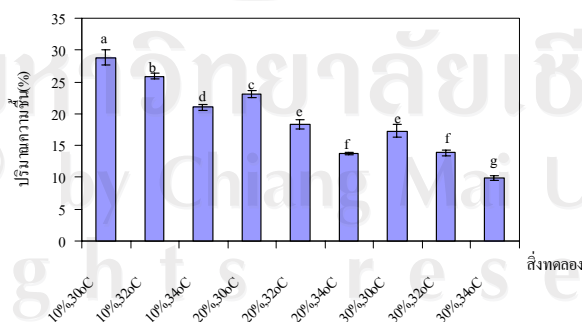
ค่าข้อมูลของปัจจัยอุณหภูมิ (T) เป็นค่าเฉลี่ยของทั้งสามกำลังไมโครเวฟ (P) ที่อุณหภูมิเดียวกัน

จากตาราง 4.6 และ 4.7 พบว่า การอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศมีผลต่อค่าสี L^* a^* b^* โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าสีของลำไยแผ่นที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง (L_0^* , a_0^* , b_0^*) อุณหภูมิสุดต่ำในการอบแห้งและกำลังไมโครเวฟมีผลต่อปริมาณความชื้น ค่า A_w ค่าสี L^* a^* b^* แรงจิกและแรงกด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) อุณหภูมิสุดต่ำในการอบแห้งและกำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นจะทำให้ปริมาณความชื้น ค่า A_w ค่าสี L^* ค่าสี b^* ลดลง ส่วนค่าสี a^* แรงจิกและแรงกดเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการอบแห้งขึ้นกับความเข้มสนามไฟฟ้าหรือกำลังไมโครเวฟเมื่อกำลังไมโครเวฟเพิ่มขึ้น จะทำให้น้ำที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์สามารถดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจาก

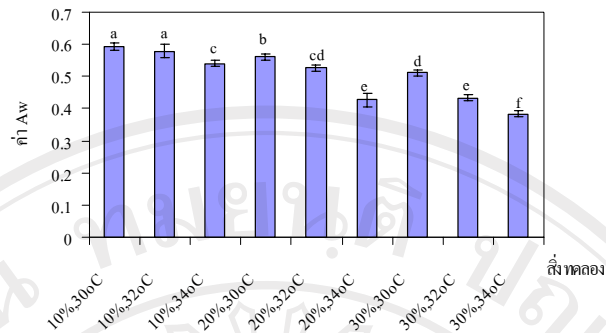
ไมโครเวฟได้มากขึ้น และจากคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของน้ำจะเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากไมโครเวฟไปเป็นพลังงานความร้อนอย่างรวดเร็วทำให้น้ำเกิดการระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็วเช่นกัน และมีผลให้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลในผลิตภัณฑ์มีค่ามากขึ้น ผลิตภัณฑ์จึงมีความเหนียวมากขึ้น และความร้อนที่เกิดขึ้นยังไปเร่งให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไมใช่เอนไซม์เกิดเร็วขึ้น (เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เตาอบลมร้อนในขั้นตอนสุดท้ายในตอนแรก) จึงเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นและมีสีเหลือง (b^*) ลดลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Maskan (2001) ในการอบแห้งผลกีวี (kiwifruit) พบว่า การอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟจะทำให้เกิดความร้อนสูงภายในผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์ โดยทำให้ค่าสี L^* ค่าสี b^* ลดลง ส่วนค่าสี a^* เพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสีของผลิตภัณฑ์สด เช่นเดียวกับ Howard *et al.* (1996) ได้รายงานว่าการแปรรูปโดยใช้ความร้อนสูง จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำขึ้น

จากการวิเคราะห์ปฏิกิริยาสัมพันธ์ของปัจจัยร่วมระหว่างกำลังไมโครเวฟกับอุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง ดังตาราง 4.6 และ 4.7 พบว่า กำลังไมโครเวฟและอุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง มีผลต่อปริมาณความชื้น ค่า A_w ค่าสี L^* a^* b^* แรงนิกและแรงกด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังนี้

ปริมาณความชื้นและค่า A_w มีค่าลดลงตามกำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้น เช่นเดียวกับอุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้งที่สูงขึ้น โดยมีค่าต่ำสุดที่กำลังไมโครเวฟ 30% อุณหภูมิสุดท้าย 34 องศาเซลเซียส และมีค่าสูงสุดที่กำลังไมโครเวฟ 10% อุณหภูมิสุดท้าย 30 องศาเซลเซียส ดังภาพ 4.20 และ 4.21

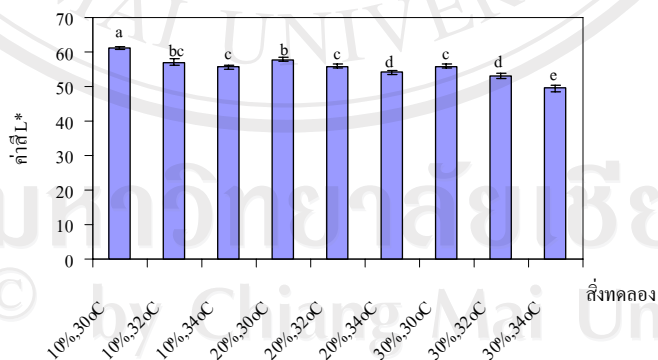


ภาพ 4.20 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างกำลังไมโครเวฟกับอุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้งต่อปริมาณความชื้นของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับบนกราฟแท่ง แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$)



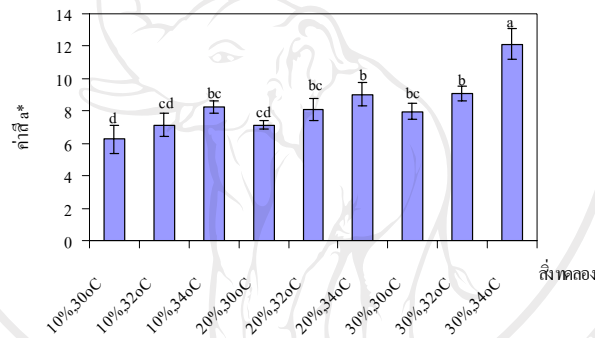
ภาพ 4.21 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างกำลังไมโครเวฟกับอุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้งต่อค่า Aw ของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสูญญากาศ (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับบนกราฟแท่งแสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$)

ค่าสี L^* หรือความสว่าง พบว่า กำลังไมโครเวฟและอุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า L^* ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าต่ำสุดที่กำลังไมโครเวฟ 30% อุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง 34 องศาเซลเซียส และมีค่าสูงสุดที่กำลังไมโครเวฟ 10% อุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง 30 องศาเซลเซียส ดังภาพ 4.22 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Maskan (2001) ในการอบแห้งผลกีวี (kiwifruit) พบว่า การอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



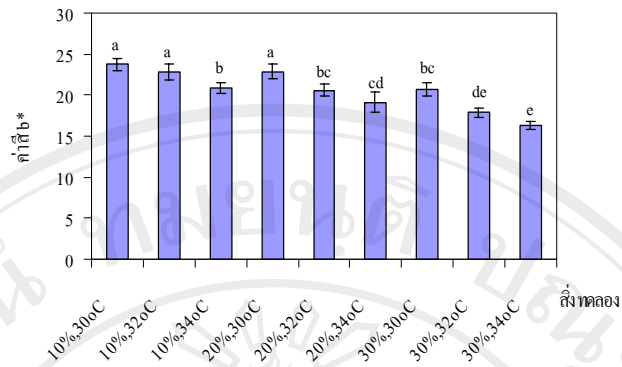
ภาพ 4.22 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างกำลังไมโครเวฟกับอุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้งต่อค่าสี L^* ของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสูญญากาศ (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับบนกราฟแท่งแสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$)

ค่าสี a* หรือสีแดง พบว่า กำลังไมโครเวฟและอุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a* เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าต่ำสุดที่กำลังไมโครเวฟ 10% อุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง 30 องศาเซลเซียส และมีค่าสูงสุดที่กำลังไมโครเวฟ 30% อุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง 34 องศาเซลเซียส ดังภาพ 4.23 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับ Maskan (2001) ในการอบแห้งผลกีวี (kiwifruit) โดยใช้เตอบไมโครเวฟ จะทำให้ค่าสี a* เพิ่มขึ้น เนื่องจากไมโครเวฟทำให้เกิดความร้อนสูง จึงเป็นผลให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ เกิดเป็นรงควัตถุสีน้ำตาลขึ้น เช่นเดียวกับ Funebo and Ohlsson (1998) ได้รายงานไว้ว่า เมื่อกำลังไมโครเวฟเพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าสี a* เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์เพิ่มขึ้นในแอปเปิ้ล



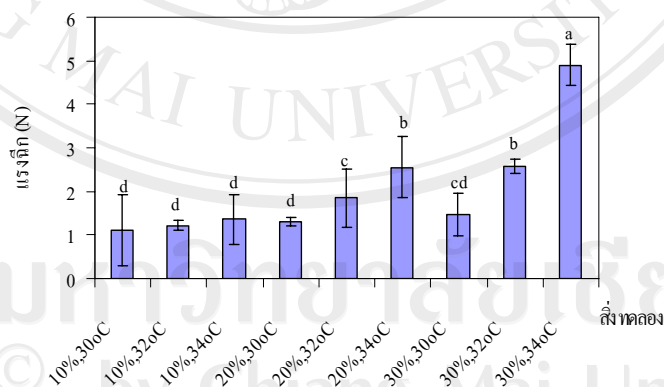
ภาพ 4.23 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างกำลังไมโครเวฟกับอุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้งต่อค่าสี a* ของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับบนกราฟแท่งแสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$)

ค่าสี b* หรือสีเหลือง พบว่า กำลังไมโครเวฟและอุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า b* ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าต่ำสุดที่กำลังไมโครเวฟ 30% อุณหภูมิสุดท้าย 34 องศาเซลเซียส และมีค่าสูงสุดที่กำลังไมโครเวฟ 10% อุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง 30 และ 32 องศาเซลเซียส และที่กำลังไมโครเวฟ 20% อุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง 30 องศาเซลเซียส ดังภาพ 4.24 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Ozkan *et al.* (2007) ในการอบแห้งผักโขม (spinach) โดยใช้เตอบไมโครเวฟ พบว่า ที่กำลังไมโครเวฟ 1,000 วัตต์ มีการสูญเสียค่าสี b* มากกว่าที่กำลังไมโครเวฟ 500, 650 และ 750 วัตต์ และ Sumnu *et al.* (2005) ได้รายงานไว้ว่า ระดับกำลังไมโครเวฟมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีในแครอท โดยทำให้ค่าสี a* เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



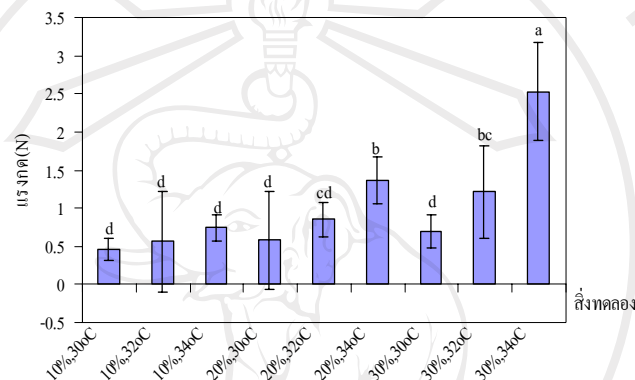
ภาพ 4.24 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างกำลังไมโครเวฟกับอุณหภูมิสุญญากาศในการอบแห้งต่อค่าสี b^* ของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับบนกราฟแท่ง แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$)

ค่าแรงจิกซึ่งแสดงถึงความเหนียว พบว่า กำลังไมโครเวฟและอุณหภูมิสุญญากาศในการอบแห้งต่างก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแรงจิกเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าต่ำสุดที่กำลังไมโครเวฟ 10% ทุกช่วงอุณหภูมิสุญญากาศในการอบแห้ง และมีค่าสูงสุดที่กำลังไมโครเวฟ 30% อุณหภูมิสุญญากาศในการอบแห้ง 34 องศาเซลเซียส ดังภาพ 4.25



ภาพ 4.25 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างกำลังไมโครเวฟกับอุณหภูมิสุญญากาศในการอบแห้งต่อค่าแรงจิกของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับบนกราฟแท่ง แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$)

ค่าแรงกดซึ่งแสดงถึงความแข็ง (hardness) พบว่า กำลังไมโครเวฟและอุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแรงกดเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าต่ำสุดที่กำลังไมโครเวฟ 10% ทุกช่วงอุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง ที่กำลังไมโครเวฟ 20% อุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง 30 องศาเซลเซียส และที่กำลังไมโครเวฟ 30% อุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง 30 องศาเซลเซียส และมีค่าสูงสุดที่กำลังไมโครเวฟ 30% อุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง 34 องศาเซลเซียส ดังภาพ 4.26



ภาพ 4.26 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างกำลังไมโครเวฟกับอุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้งต่อค่าแรงกดของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับบนกราฟแท่ง แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$)

2.2 การหาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ โดยวิธี Response Surface Methodology (RSM)

สภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศในขั้นตอนสุดท้าย พิจารณาจากกำลังไมโครเวฟและอุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง เนื่องจากเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งผลิตภัณฑ์ โดยใช้ RSM ด้วยโปรแกรม Design-Expert v.6.0.2 โดยนำค่าเฉลี่ยคุณภาพด้านต่างๆ มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ได้ผลดังตาราง 4.8 และผลการวิเคราะห์สมการถดถอยของสมการโพลิโนเมียลลำดับที่สอง (Second order model) ได้ผลดังตาราง 4.9

ตาราง 4.8 ANOVA สำหรับแต่ละค่าตอบสนองของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสูญญากาศ

Source	df	Sum of squares						
		ปริมาณความชื้น (%db)	Aw	L*	ค่าสี a*	b*	แรงฉีก (N)	แรงกด (N)
Model	5	307.59***	0.04300***	80.46***	22.01**	47.29***	11.43***	3.35***
Residual	7	3.64	1.68300x10 ⁻³	3.33	2.28	2.59	0.33	0.092
Lack-of-fit	3	1.66 ^{NS}	1.56800x10 ⁻³	2.53 ^{NS}	0.93 ^{NS}	0.58 ^{NS}	0.27	0.075 ^{NS}
Pure error	4	1.98	1.14800x10 ⁻⁴	0.80	1.36	2.01	0.054	0.017
R ²		0.9883	0.9626	0.9603	0.9060	0.9481	0.9721	0.9733
C.V.		3.83	3.03	1.24	6.91	2.96	10.95	12.02

หมายเหตุ : * แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$
 ** แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่งที่ $P \leq 0.01$
 *** แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่งที่ $P \leq 0.001$
 NS แสดงค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P > 0.05$

ตาราง 4.9 ค่า Regression coefficient ของสมการ โพลีโนเมียลลำดับที่สองสำหรับแต่ละค่าตอบสนองของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสูญญากาศ

Coefficient	ปริมาณความชื้น (%db)	Aw	ค่าสี			แรงจิก (N)	แรงกด (N)
			L	a*	b*		
β_0	47.00391	-3.18508	162.56000	68.99172	101.81011	64.66563	64.66563
β_1	-1.24525***	0.025371	0.45550***	-0.86791**	0.51318***	-1.24859	-1.24859***
β_2	1.41345***	0.24602	-5.50250***	-4.01549***	-4.34431***	-3.61196	-3.61196***
β_{11}	0.012360*	-4.34483×10^{-5}	-7.0500×10^{-3}	2.63103×10^{-3}	-3.83793×10^{-3}	1.60138×10^{-3}	1.60138×10^{-3}
β_{22}	-0.055991	-3.96121×10^{-3}	0.07000	0.064526	0.059052	0.050409	0.050409*
β_{12}	5.37500×10^{-3}	-9.37500×10^{-4}	-0.013375	0.027750	-0.017750	0.03975	0.03975***

หมายเหตุ : * แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$
 ** แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่งที่ $P \leq 0.01$
 *** แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่งที่ $P \leq 0.001$

จากตาราง 4.8 แสดงถึงผลของปัจจัยร่วมระหว่างกำลังไมโครเวฟกับอุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้งต่อค่าตอบสนองต่างๆ พบว่า โมเดลที่สร้างขึ้นในทุกค่าตอบสนองมีความเหมาะสม โดยพิจารณาจากค่า Variance Ratio (Significant), ค่า Lack of fit (Non-significant) และค่า R^2 (มีค่ามากกว่า 0.750) (Sharma and Prasad, 2006) ยกเว้น โมเดลของค่าตอบสนองของค่า Aw และค่าแรงจิก เนื่องจากให้ค่า Lack of fit เป็น Significant ซึ่งแสดงถึงความไม่เหมาะสมของโมเดล ดังนั้นค่าตอบสนองที่จะนำไปกำหนดช่วงในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ คือ ปริมาณความชื้น ค่าสี L^* a^* b^* และแรงกด

จากตาราง 4.9 แสดงค่า Regression coefficient ของสมการ โพลีโนเมียลลำดับที่สอง ซึ่งมีแบบพจน์ดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \varepsilon$$

เมื่อ

Y = ค่าตอบสนอง

X_1 = กำลังไมโครเวฟ (%)

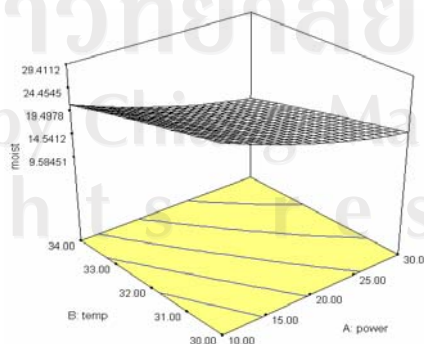
X_2 = อุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)

β_0 = ส่วนตัดแกน Y หรือค่าของ Y เมื่อ $X_1, X_2 = 0$

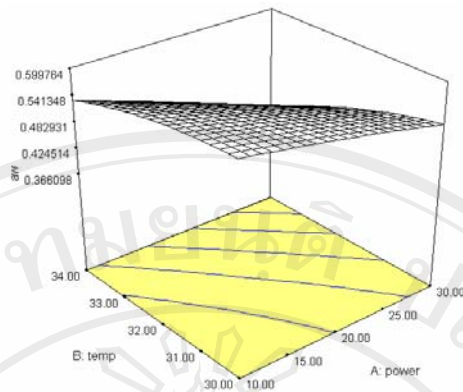
β_k = $\beta_1, \beta_2, \beta_{11}, \beta_{12}$ = สัมประสิทธิ์ความถดถอย (regression coefficient)

ε = ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม

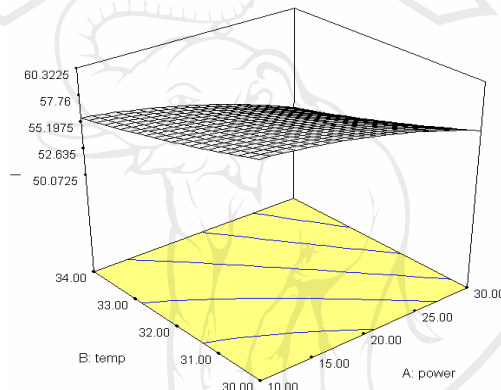
จากสมการ regression ของแต่ละค่าตอบสนองสามารถนำมาสร้างกราฟพื้นที่การตอบสนองได้ แสดงดังภาพ 4.27-4.33



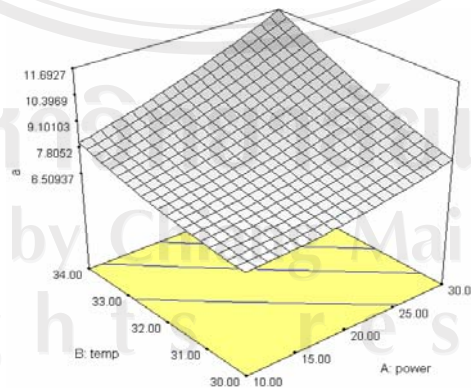
ภาพ 4.27 กราฟพื้นที่การตอบสนองต่อปริมาณความชื้นของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ



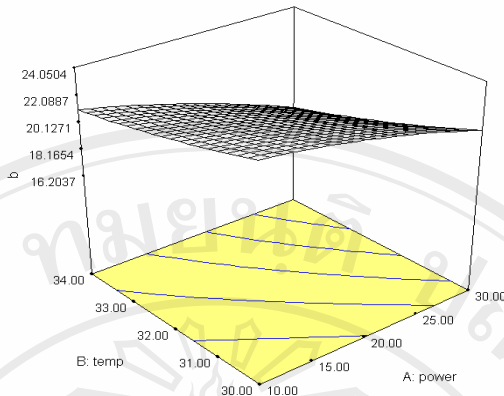
ภาพ 4.28 กราฟพื้นที่การตอบสนองต่อค่า A_w ของลำใยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ



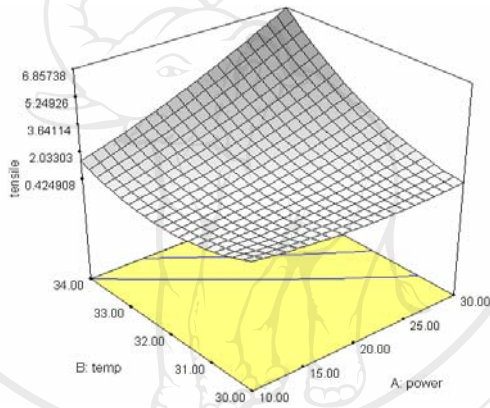
ภาพ 4.29 กราฟพื้นที่การตอบสนองต่อค่า L^* ของลำใยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ



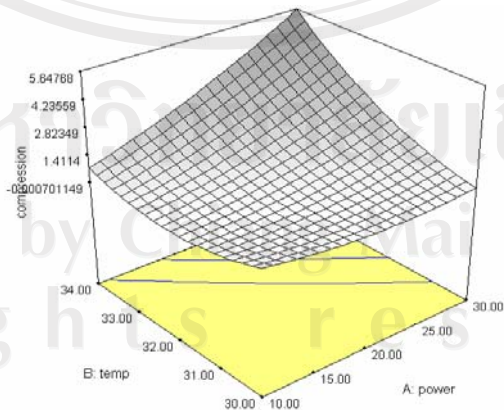
ภาพ 4.30 กราฟพื้นที่การตอบสนองต่อค่า a^* ของลำใยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ



ภาพ 4.31 กราฟพื้นที่การตอบสนองต่อค่า b^* ของลำใยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ



ภาพ 4.32 กราฟพื้นที่การตอบสนองต่อค่าแรงฉีกของลำใยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ



ภาพ 4.33 กราฟพื้นที่การตอบสนองต่อค่าแรงกดของลำใยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

ในการหาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสม จะกำหนดช่วงของแต่ละค่าตอบสนองดังตาราง 4.10 และทำการ optimize จะได้กราฟ contour plot แสดงพื้นที่สภาวะการอบแห้งที่เหมาะสม ดังภาพ 4.34 และเนื่องจากเครื่องไมโครเวฟสามารถตั้งค่ากำลังไมโครเวฟได้เป็นจำนวนเต็มเท่านั้น และพบว่า ที่กำลังไมโครเวฟ 20% (960 วัตต์) มีขนาดกำลังไฟฟ้าของแมกนีตรอนน้อยกว่าที่กำลังไมโครเวฟ 30% (1440 วัตต์) เพื่อเป็นการลดต้นทุนในขั้นตอนกระบวนการอบแห้ง และเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพจึงเลือกสภาวะการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 20% (960 วัตต์) และอุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง 34 องศาเซลเซียส

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งลำไยแผ่น โดยใช้เทคนิคสมระหว่างเตอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ คือ นำลำไยแผ่นที่มีปริมาณความชื้นและค่า A_w เริ่มต้นเท่ากับ 186.06%db (65.04%wb) และ 0.875 ตามลำดับ มาอบแห้งโดยใช้เตอบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 1 วัน ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 17.00 น. จนมีปริมาณความชื้นและค่า A_w เหลือเท่ากับ 40.63%db (28.89%wb) และ 0.570 ตามลำดับ นำมาอบแห้งต่อโดยใช้เตอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 20% (960 วัตต์) และอุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง 34 องศาเซลเซียส คงความดันของระบบไว้ที่ 28 กิโลพาสคาล ใช้เวลาในการอบแห้ง 52.79 นาที หรือ 0.88 ชั่วโมง ทำให้ได้ปริมาณความชื้น ค่า A_w ค่าสี $L^* a^* b^*$ แรงฉีกและแรงกด เท่ากับ 13.98%db (12.27%wb), 0.453, 53.59, 9.62, 19.03, 2.831 นิวตัน และ 1.490 นิวตัน ตามลำดับ

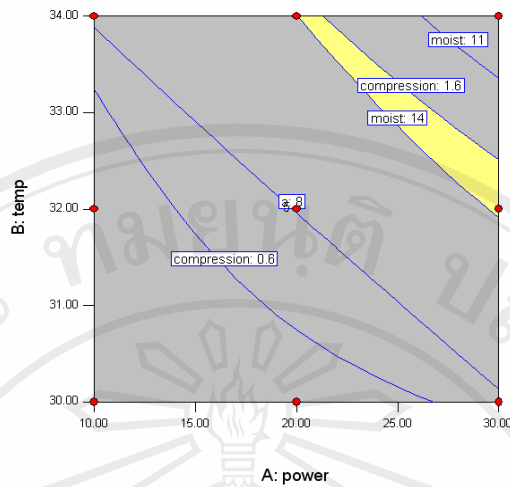
ตาราง 4.10 การกำหนดช่วงของค่าตอบสนองในการหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เทคนิคสมระหว่างเตอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

ค่าตอบสนอง	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
1. ปริมาณความชื้น (%db) ¹	11	14
2. ค่าสี L^* ²	48	62
3. ค่าสี a^* ²	8	13
4. ค่าสี b^* ²	14	27
5. ค่าแรงกด (N) ³	0.6	1.6

ที่มา : 1 ดัดแปลงจากรัตนา และคณะ (2549)

2 ดัดแปลงจากรัตนา และคณะ (2547)

3 ดัดแปลงจากอนุวัตร และคณะ (2543)



ภาพ 4.34 กราฟแสดงพื้นที่ที่เหมาะสมในการอบแห้งลำไยแผ่น โดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

ตอนที่ 3 การคัดเลือกสถานะและเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งลำไยแผ่น

ทำการอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เทคนิคผสม คือ อบแห้งโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 1 วัน และอบต่อด้วยเตาอบลมร้อนที่ 73 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง กับ อบต่อด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 20% (960 วัตต์) อุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง 34 องศาเซลเซียส คงความดันที่ 28 กิโลพาสกาล เป็นเวลา 52.79 นาที

3.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมีและผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

นำลำไยแผ่นที่ดีทั้งสองเทคนิคมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี ได้ผลแสดงดังตาราง 4.11 ภาพผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นที่เหมาะสมในตอนต้นที่ 1 และ 2 แสดงดังภาพ ง-3 และ ง-4 ในภาคผนวก ตามลำดับ และจากการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยให้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน ให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะ ได้ผลแสดงดังตาราง 4.12

ตาราง 4.11 ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งในแต่ละเทคนิค

คุณภาพผลิตภัณฑ์	เทคนิคการอบแห้งผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่น	
	เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน	เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ
ปริมาณความชื้น (%db)	13.81±0.25	13.87±0.12
ค่า Aw	0.447±0.00	0.442±0.01
ค่าสี L*	50.06 ^b ±1.15	54.32 ^a ±0.57
ค่าสี a*	13.25 ^a ±0.91	10.15 ^b ±0.50
ค่าสี b*	20.66±0.77	20.55±0.96
ค่าแรงฉีก (N)	3.010±0.17	2.830±0.36
ค่าแรงกด (N)	1.498±0.03	1.398±0.02

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวนอนเดียวกัน แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

จากตาราง 4.11 พบว่า ปริมาณความชื้น ค่า Aw ค่าสี b* ค่าแรงฉีกและแรงกดของผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งทั้งสองเทคนิคให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่พบว่า ค่าสี L* และ a* ของผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งทั้งสองเทคนิคให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยทั้งค่าสี L* และ a* ของผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน จะให้ค่าแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแตกต่างกัน โดยการอบแห้งที่ใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาอบลมร้อนใช้เวลานานกว่า ส่งผลให้ค่าสี L* มีค่าต่ำกว่าและค่าสี a* มีค่ามากกว่า ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากการอบแห้งลำไยแผ่นโดยเทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน เป็นกระบวนการอบแห้งแบบพาความร้อน (convectonal drying) ซึ่งมีการใช้ความร้อนสูงและใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน ทำให้ผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Maskan (2001) ที่พบว่า ค่าสี L* ลดลง และค่าสี a* เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาอบแห้งที่เพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีสีน้ำตาลเข้ม เช่นเดียวกันกับรายงานของ Lin *et al.* (1998) ที่พบว่า แครอทแห้งที่อบโดยใช้เตาอบลมร้อนมีสีคล้ำ มีค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) น้อยกว่าที่อบแห้งโดยใช้เครื่อง Freeze dry และเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ และสอดคล้องกับรายงานของ Hu *et al.*

(2005) พบว่า ถั่วเหลืองที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เตาอบลมร้อนมีสีคล้ำขึ้น (L^* ลดลง) และมีสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นมากกว่าถั่วเหลืองที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

สำหรับลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า ลำไยแผ่นที่อบแห้งโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อนมีค่าแรงฉีกและแรงกดมากกว่าลำไยแผ่นที่อบแห้งโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศเนื่องจากการอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อนโอกาสเกิด case hardening มีสูงมาก เนื่องจากในช่วงแรกความร้อนสูงจะทำให้ความชื้นที่ผิวผลิตภัณฑ์เกิดการระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว และเมื่อมีการให้ความร้อนต่อไปจนถึงช่วงสุดท้ายของการอบแห้งจะทำให้อัตราการเคลื่อนย้ายของน้ำจากภายในออกสู่ผิวภายนอกมีค่าน้อยกว่าอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวนอกสู่บรรยากาศ จึงทำให้ที่ผิวนอกผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนสูงและเกิดผิวนอกแข็ง (case hardening) (Krulis *et al.*, 2005) ผลการทดลองสอดคล้องกับ Lin *et al.* (1998) ที่พบว่า แครอทแห้งที่อบโดยใช้เตาอบลมร้อนมีค่าแรงกดมากกว่าแครอทแห้งที่อบโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

ตาราง 4.12 คะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งในแต่ละเทคนิค

คุณลักษณะ ทางประสาทสัมผัส	เทคนิคการอบแห้งผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่น	
	เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับ เตาอบลมร้อน	เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับ เตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ
สี	6.46 ^b ±1.52	7.08 ^a ±1.09
กลิ่น	6.42±1.43	6.56±0.99
รสชาติ	6.82±1.01	6.82±1.32
ความเหนียว	6.34±1.29	6.46±1.47
ความแข็ง	6.44±1.33	6.56±1.33
ความชอบรวม	6.62±1.09	6.92±1.01

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวนอนเดียวกัน แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

จากตาราง 4.12 พบว่า เทคนิคการอบแห้งไม่มีผลต่อคะแนนคุณลักษณะทางด้านกลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่มีผลต่อคะแนนคุณลักษณะทางด้านสี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดย

ผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศมีคะแนนความชอบด้านสีมากกว่าผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน และจากค่าคะแนนเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นในแต่ละคุณลักษณะ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 6-7 แสดงว่า ผู้ทดสอบชิมมีความพอใจผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

3.2 ระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง

ระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการอบแห้งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่น่าสนใจในการคัดเลือกเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งลำไยแผ่น โดยค่าใช้จ่ายในการอบแห้งคิดเป็นค่าไฟฟ้า (บาทต่อน้ำหนักลำไยแผ่น 1,200 กรัม) ตามสูตรดังนี้

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = \text{ขนาดกำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)} \times \text{ชั่วโมงการทำงาน (ชั่วโมง)} \times \text{ราคาต่อหน่วย (2.4649 บาทต่อหน่วย)}$$

ตาราง 4.13 ชั่วโมงการทำงานและค่าไฟฟ้ารวมของผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งในแต่ละเทคนิค

เทคนิคการอบแห้ง	ชนิดเตาอบ	ชั่วโมงการทำงาน	ค่าไฟฟ้ารวม (บาทต่อ 1,200 กรัม)
ตอนที่ 1	เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์	8	33.16
	เตาอบลมร้อน	8.75	
	เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์	8	31.58
ตอนที่ 2	เตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ	1.21	

หมายเหตุ : วิธีการคำนวณชั่วโมงการทำงานและค่าไฟฟ้ารวมแสดงในภาคผนวก ข

จากตาราง 4.13 แสดงระยะเวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมงการทำงาน) และค่าไฟฟ้ารวมในการอบแห้งลำไยแผ่นของแต่ละเทคนิค พบว่า การอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตา

อบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน (ตอนที่ 1) และเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (ตอนที่ 2) ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งเท่ากับ 16.75 และ 9.21 ชั่วโมง ตามลำดับ และมีค่าไฟฟ้ารวมในการอบแห้งเท่ากับ 33.16 และ 31.58 บาทต่อน้ำหนักลำไยแผ่น 1,200 กรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า เทคนิคการอบแห้งลำไยแผ่นในตอนที่ 2 ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าเทคนิคการอบแห้งในตอนที่ 1 เกือบ 2 เท่า ซึ่งอาจเนื่องมาจากในขั้นตอนสุดท้ายในการอบแห้งของตอนที่ 2 มีการใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ ซึ่งมีข้อดีคือ ทำให้ความร้อนเกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์ จึงทำให้น้ำเกิดการระเหยจากภายในสู่ผิวภายนอกผลิตภัณฑ์ อัตราการอบแห้งจึงเกิดเร็วขึ้น และทำให้กระบวนการอบแห้งเสร็จสิ้นในระยะเวลาสั้น (Hu *et al.*, 2005) ซึ่งแตกต่างจากเทคนิคการอบแห้งในตอนที่ 1 ที่มีการใช้เตาอบลมร้อนในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานกว่าการใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศประมาณ 7 เท่า เนื่องจากในช่วงท้ายอัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับอัตราการเคลื่อนย้ายของน้ำจากภายในสู่ผิวภายนอก ประกอบกับการใช้เตาอบลมร้อนจะทำให้เกิด case hardening ขึ้นที่ผิวผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงต้องใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Giri and Prasad (2007) ที่พบว่า การอบแห้งเห็ดกระดุมโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ 70-90% เมื่อเทียบกับการอบแห้งโดยใช้เตาอบลมร้อน และเมื่อพิจารณาค่าไฟฟ้ารวมในการอบแห้งลำไยแผ่นในแต่ละเทคนิค พบว่า เทคนิคการอบแห้งลำไยแผ่นในตอนที่ 1 มีค่าไฟฟ้ารวมในการอบแห้งสูงกว่าเทคนิคการอบแห้งในตอนที่ 2 ซึ่งถึงแม้ว่าในตอนที่ 2 จะมีขนาดกำลังไฟฟ้าของเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศสูงกว่าเตาอบลมร้อนมาก (แสดงในภาคผนวก ข) แต่เนื่องจากการอบแห้งโดยใช้เตาอบลมร้อนในขั้นตอนสุดท้ายมีชั่วโมงในการทำงานมากกว่า จึงส่งผลให้มีค่าไฟฟ้ารวมสูงกว่า ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของพิชญาและคณะ (2547) ในการอบแห้งเปปเปอร์มินท์ ยูเอสเอมินท์ และเลมอนไทม์ โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟแบบสุญญากาศ ซึ่งพบว่า มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 2.35, 83.48 และ 15.54 บาทต่อ 1,800 กรัม ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ระยะเวลาและค่าไฟฟ้ารวมในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่น พบว่า เทคนิคการอบแห้งลำไยแผ่นที่เหมาะสมที่สุด คือ การใช้เทคนิคเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นที่ได้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ และมีค่าใช้จ่ายในการอบแห้งน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามการใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์มีข้อจำกัด คือ สามารถใช้ได้เฉพาะในวันที่มีแสงแดดจัดเท่านั้น