

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

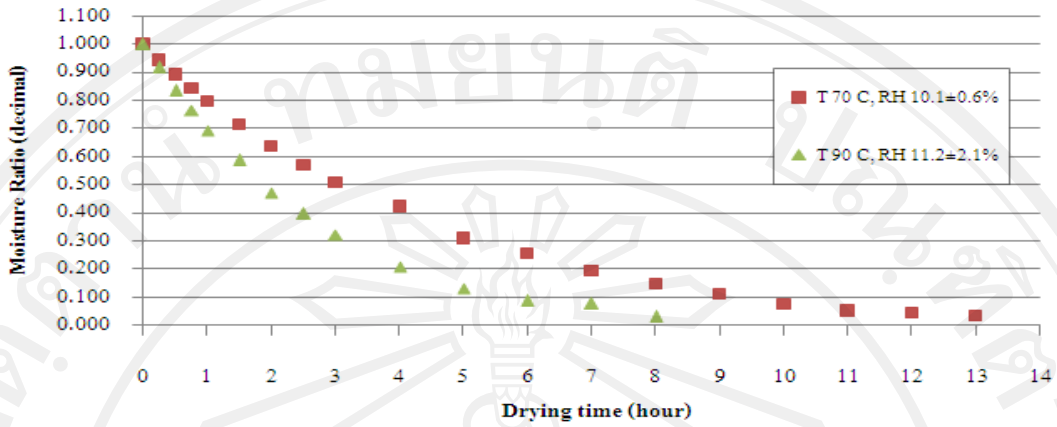
จากการทดลองเพื่อปัจจัยของลมร้อนที่มีต่อการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ด คือ อุณหภูมิ ลมร้อน ความเร็วลมร้อน และความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน และการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ ความชื้นโดยรวมของการอบแห้งในรูปแบบสมการทางทฤษฎีและค่าคงที่การอบแห้งในรูปแบบ สมการการอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎีของลำไยคว้านเมล็ด พร้อมทั้งพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดเพื่อทำนายการอบแห้งเปรียบเทียบกับผลการทดลอง และหาสภาวะ การอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดที่เหมาะสม ได้ผลดังต่อไปนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์การอบแห้งที่มีต่อการอบลำไยแบบคว้านเมล็ด

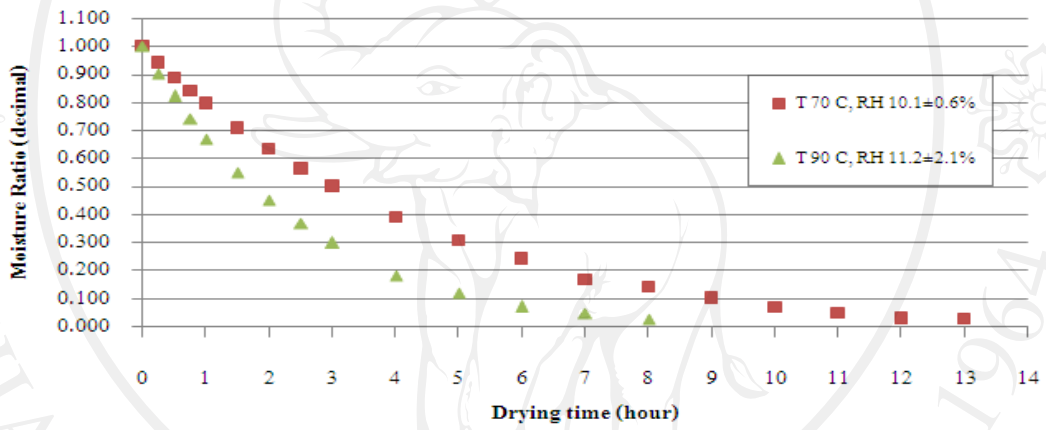
จากการทดลองอบแห้งลำไยคว้านเมล็ด ที่อุณหภูมิลมร้อน $50-90^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ ลมร้อน 3-62% และความเร็วลมร้อน 0.5-1.5 m/s ซึ่งเป็นการอบแห้งแบบชั้นบาง (ข้อมูลการทดลอง แสดงในภาคผนวก ข) พบว่าการลดลงของความชื้นอยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น และ นำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์ได้ผลดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลของอุณหภูมิลมร้อนที่มีการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ด

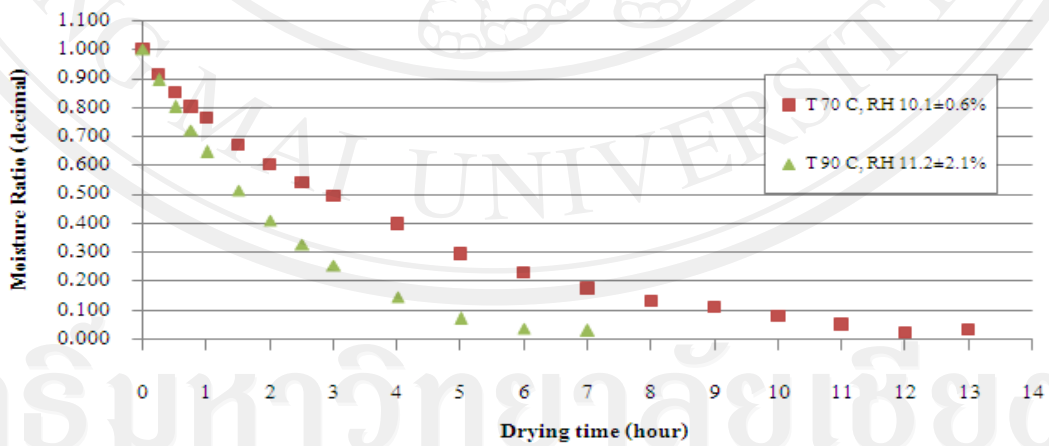
เลือกพิจารณาที่เงื่อนไขการทดลองที่ อุณหภูมิ 70°C ค่าความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนประมาณ $10.1 \pm 0.6\%$ อุณหภูมิ 90°C ค่าความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนประมาณ $11.2 \pm 2.1\%$ เนื่องจากมีค่าความชื้น สัมพัทธ์ลมร้อนที่ใกล้เคียงกัน ที่แต่ละความเร็วลม โดยนำผลการทดลองมาแสดงความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.1 พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้อัตราการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดสูงขึ้น ซึ่งทำให้เวลาที่ ใช้ในการอบแห้งลดลง โดยเมื่อพิจารณาการลดลงของอัตราส่วนความชื้นที่แต่ละอุณหภูมิต่างกัน พบว่าในช่วงแรกความชื้น จะลดลงอย่างรวดเร็วแล้วเปลี่ยนเป็นลดลงอย่างช้าๆ จนลำไยคว้านเมล็ด มีความชื้นประมาณ 18 %db. เนื่องจากในช่วงแรกของการอบแห้ง ลำไยมีความชื้นสูง ซึ่งความร้อน ของลมร้อนสามารถทำให้น้ำระเหยออกจากลำไยคว้านเมล็ดได้ดี จึงทำให้ความชื้นลดลงเร็ว และ เมื่อทำการอบแห้งไปได้ระยะหนึ่ง ความชื้นในลำไยคว้านเมล็ดมีน้อยลง และน้ำเคลื่อนที่ออกมา จากข้างในลำไยคว้านเมล็ดยากขึ้นจึงทำให้การลดของอัตราส่วนความชื้นช้าลง อธิบายได้ว่าเมื่อ อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างวัสดุและกระแสอากาศร้อนมีมากขึ้น เป็น ผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น



(ก) ความเร็วลมร้อน 0.5 m/s



(ข) ความเร็วลมร้อน 1.0 m/s



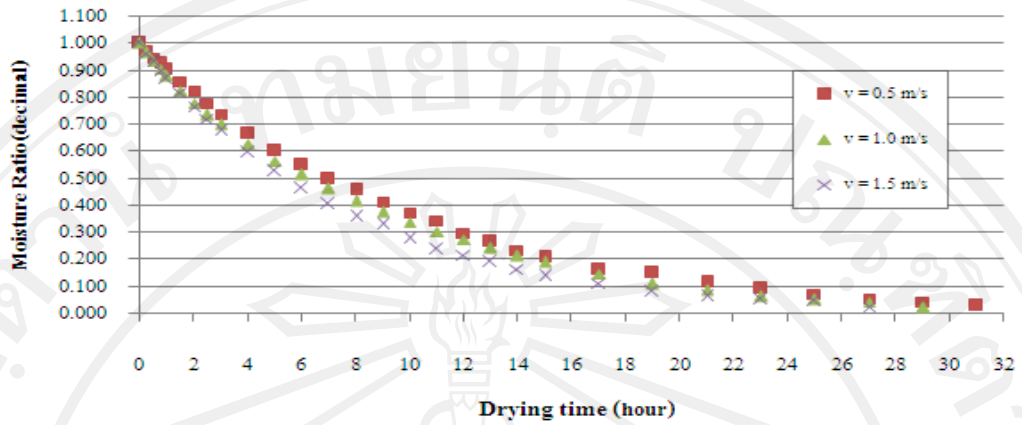
(ค) ความเร็วลมร้อน 1.5 m/s

รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นที่ลดลงกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ด ที่อุณหภูมิ 70 °C และ 90 °C ที่แต่ละความเร็วลมร้อน

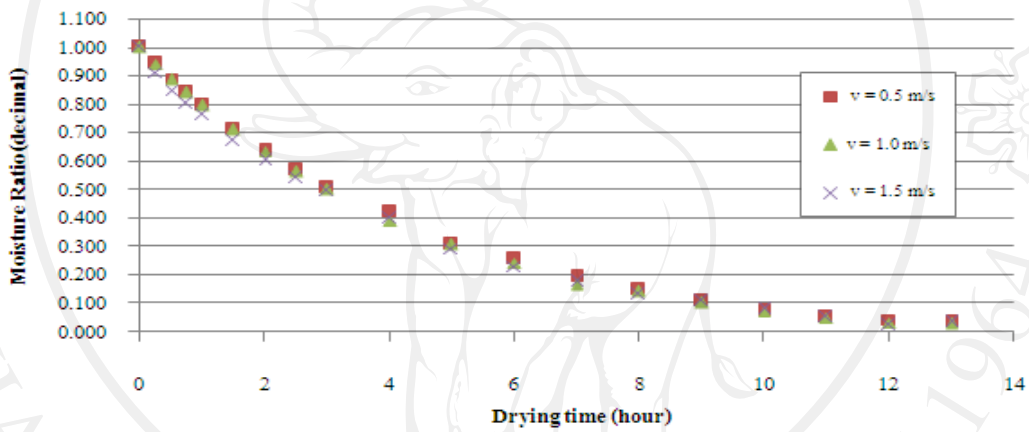
4.1.2 ผลของความเร็วลมร้อนที่มีการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ด

จากการทดลองอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดที่ความเร็วลมร้อน 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s ที่แต่ละอุณหภูมิ ซึ่งความเร็วลมร้อนมีผลต่อการลดลงของอัตราส่วนความชื้นของลำไยคว้านเมล็ดแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.2 แสดงอัตราส่วนความชื้นที่ลดลงกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ พิจารณาที่อุณหภูมิลมร้อน 50°C ความชื้นสัมพัทธ์ 19.7±0.6% รูปที่ 4.2 (ก) ความเร็วลมร้อนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การลดลงของอัตราส่วนความชื้นมีค่าสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย ทำให้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลง ในขณะที่เดียวกันนั้นเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิลมร้อน 70°C และ 90°C ความชื้นสัมพัทธ์ 10.1±0.6% และ 11.2±2.1% แสดงในรูปที่ 4.2 (ข) และ รูปที่ 4.2 (ค) ตามลำดับ พบว่าความเร็วลมร้อนที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการลดลงของอัตราส่วนความชื้นและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่ค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า อุณหภูมิลมร้อนที่มีค่าต่ำ เมื่อความเร็วลมร้อนที่ไหลผ่านวัสดุที่สูงขึ้นจะทำให้ฟิล์มอากาศที่มีความหนาลดลง เป็นผลให้ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนและมวลลดลง เป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้นทำให้ระยะเวลาการอบแห้งเร็วขึ้น และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิลมร้อนที่มีค่าสูง ปัจจัยที่เกิดจากอุณหภูมิของลมร้อนมีผลต่อการลดลงของอัตราส่วนความชื้นมากกว่าปัจจัยที่เกิดจากความเร็วลมร้อน ทำให้อัตราการลดลงของความชื้นและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งใกล้เคียงกัน

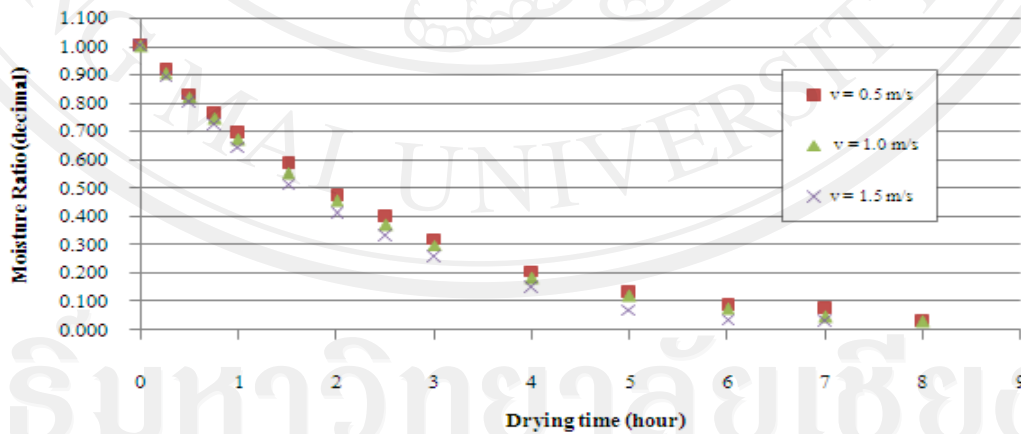
และจากการพิจารณาการลดลงของความชื้นและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลำไยคว้านเมล็ดแสดงดังรูปที่ 4.3 จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 70°C ความชื้นสัมพัทธ์ 24.6 ± 3.6% ที่ความเร็วลมร้อนต่างๆ จะเห็นว่า ความเร็วลมร้อนจะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิลำไยคว้านเมล็ด อย่างไรก็ตามเมื่อความชื้นของลำไยคว้านเมล็ดลดลงจนเข้าใกล้ความชื้นประมาณ 18 %d.b. ความเร็วลมร้อนจะมีผลต่อการอบแห้งเพียงเล็กน้อย



(ก) อุณหภูมิลมร้อน 50 °C, RH 19.7±0.6%

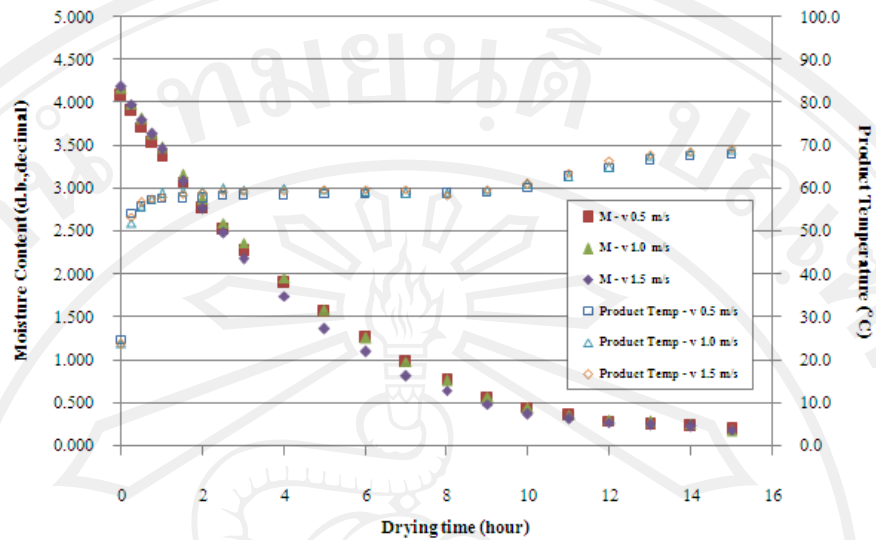


(ข) อุณหภูมิลมร้อน 70 °C, RH 10.1±0.6%



(ค) อุณหภูมิลมร้อน 90 °C, RH 11.2±2.1%

รูปที่ 4.2 ผลของความเร็วมที่มีผลต่อการลดลงของความชื้นในการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ด



รูปที่ 4.3 การลดลงของความชื้นและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลำไยคว้านเมล็ด จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 70 °C ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน 24.6 ± 3.6% ที่ความเร็วลมต่างๆ

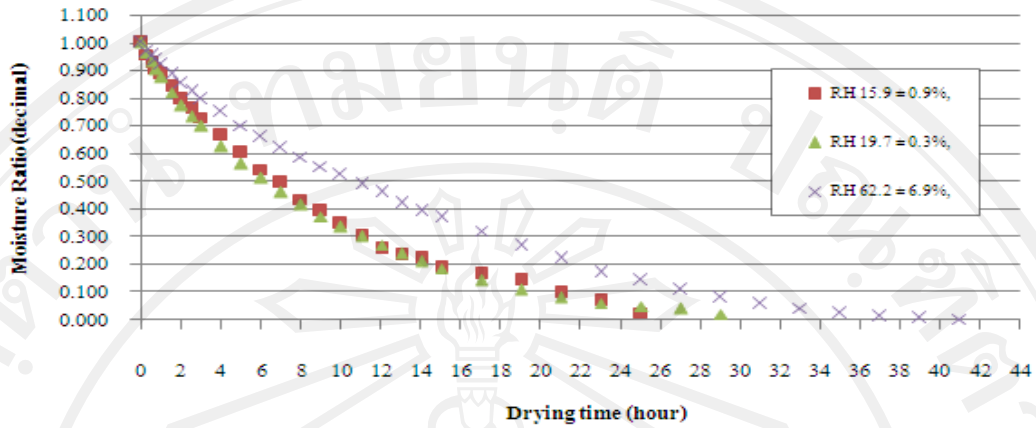
4.1.3 ผลของความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนที่มีการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ด

จากการทดลองอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดที่อุณหภูมิลมร้อน 50-90°C ที่แต่ละความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนต่างๆ ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนมีผลต่อการลดลงของอัตราส่วนความชื้น แสดงดังรูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบการลดลงของอัตราส่วนความชื้นในการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ด ที่ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนต่างๆ อุณหภูมิลมร้อน 50 70 และ 90°C ความเร็วลมร้อน 1 m/s พบว่าถ้าอุณหภูมิของลมร้อนคงที่ ความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงขึ้นจะทำให้เวลาการอบแห้งช้าลง ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งที่สูงขึ้นจะทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำจากผิววัสดุเป็นไปได้ยากขึ้น เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นที่วัสดุและของอากาศร้อนน้อยลง จึงส่งผลให้น้ำที่อยู่ภายในวัสดุเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวได้ช้าลง อีกทั้งความชื้นสัมพัทธ์ยังทำให้ความชื้นสมดุลที่แต่ละอุณหภูมิอบแห้งเปลี่ยนแปลงไป ดังตาราง 4.1

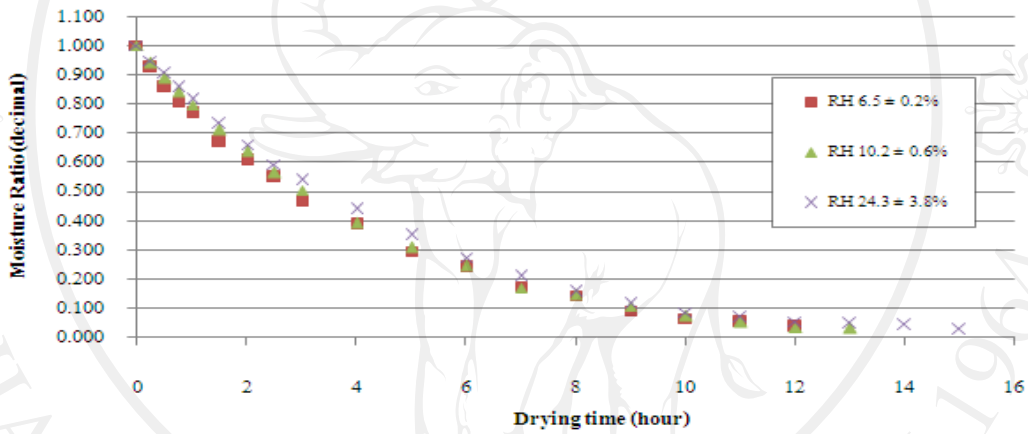
ตาราง 4.1 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของลำไยคว้านเมล็ดที่อุณหภูมิลมร้อน 50-90°C ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนต่างๆ (ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของลำไยคว้านเมล็ดคำนวณจากสมการ (2.13))

อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	M _{eq} (%db.)
50.4 ± 0.3	16.1 ± 0.9	7.4 ± 0.9
	19.7 ± 0.6	8.7 ± 0.2
	*62.0 ± 6.8	30.8 ± 3.8
70.4 ± 0.3	6.4 ± 0.3	4.0 ± 0.2
	10.1 ± 0.6	5.5 ± 0.2
	24.6 ± 3.6	10.8 ± 1.3
90.4 ± 0.3	3.1 ± 0.1	2.7 ± 0.1
	4.8 ± 0.4	3.5 ± 0.2
	11.2 ± 2.1	6.2 ± 0.9

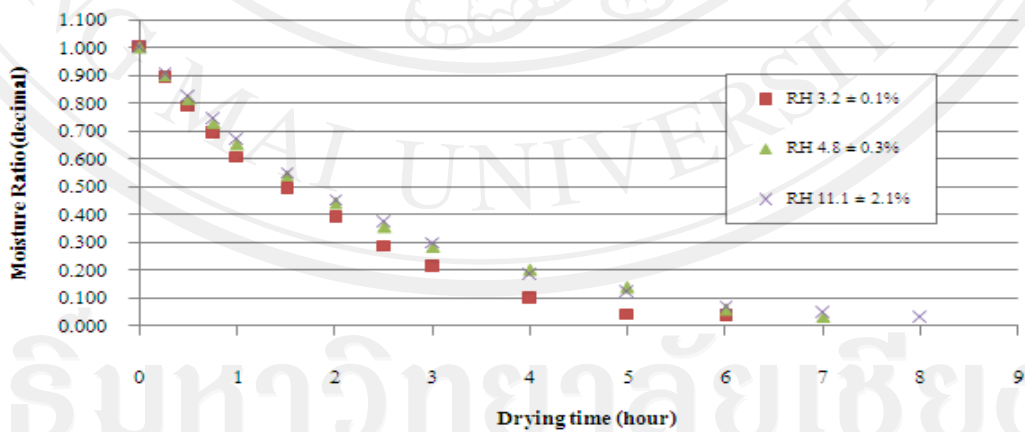
จากตาราง 4.1 จะพบว่าความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนที่สูงขึ้นจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของลำไยคว้านเมล็ดออกสูงขึ้น ทำให้ที่บางอุณหภูมิมอบแห้งไม่สามารถที่จะอบแห้งได้ถึงความชื้นสุดท้ายที่ 18 %db. เช่นการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 50°C เมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนความชื้นสัมพัทธ์ 16.1±0.9 % และ 19.7±0.6 % สามารถอบแห้งจนลำไยคว้านเมล็ดมีความชื้นสุดท้ายที่ 18 %db. ได้ แต่เมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนความชื้นสัมพัทธ์ 62.0 ± 6.8 % กลับไม่สามารถอบแห้งจนลำไยคว้านเมล็ดมีความชื้นสุดท้ายที่ 18 %db. ได้ เพราะลำไยคว้านเมล็ดมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 18 %db. ส่วนอุณหภูมิลมร้อน 70-90°C สามารถอบลำไยคว้านเมล็ดมีความชื้นสุดท้ายที่ 18 %db. ได้ทุกๆ ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน เนื่องจากลำไยมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 18 %db. ทุกเงื่อนไขความชื้นสัมพัทธ์



(ก) อุณหภูมิลมร้อน 50 °C

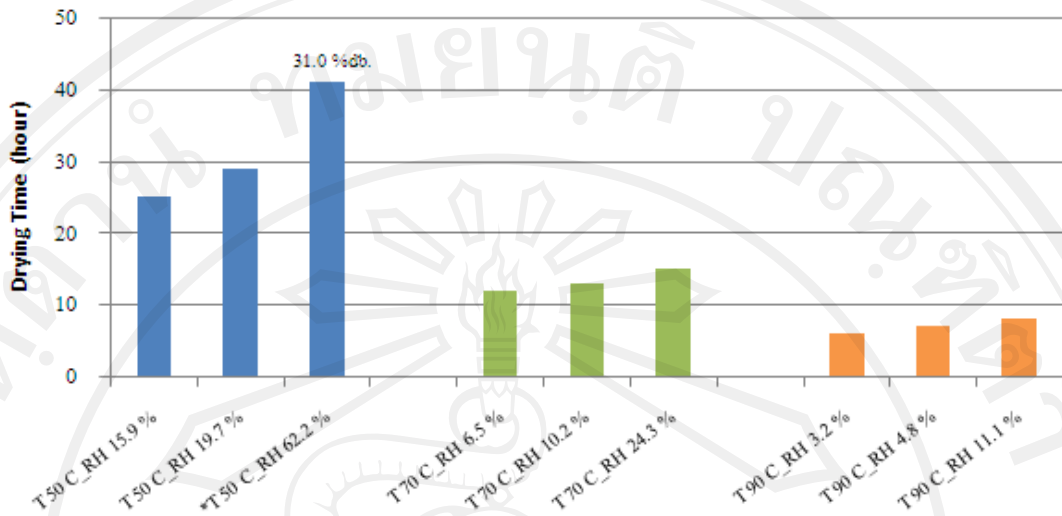


(ข) อุณหภูมิลมร้อน 70 °C



(ค) อุณหภูมิลมร้อน 90 °C

รูปที่ 4.4 การลดลงของความชื้นในการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 50 70 และ 90 °C ความเร็วลมร้อน 1.0 m/s ที่ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนต่างๆ



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดจนมีความชื้นประมาณ 18 %db. ที่ความเร็วลมร้อน 1.0 m/s อุณหภูมิลมร้อนและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

หมายเหตุ * หมายถึง เงื่อนไขการทดลองที่ไม่สามารถอบแห้งจนลำไยมีความชื้น 18 %db. ได้โดยจะแสดงความชื้นสมดุลไว้บนกราฟ

จากการวิเคราะห์ผลพารามิเตอร์การอบแห้งที่มีผลต่อการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ด โดยนำผลการทดลองการลดลงของอัตราส่วนความชื้นมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน โดย ANOVA Analysis ที่เวลาการอบแห้งเดียวกัน ที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง พบว่า ความเร็วของลมร้อนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $p \leq 0.05$ ส่วนอุณหภูมิลมร้อนและความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ด (แสดงผลดังภาคผนวก จ)

4.2 ผลการวัดค่าสีของลำไยคว้านเมล็ด

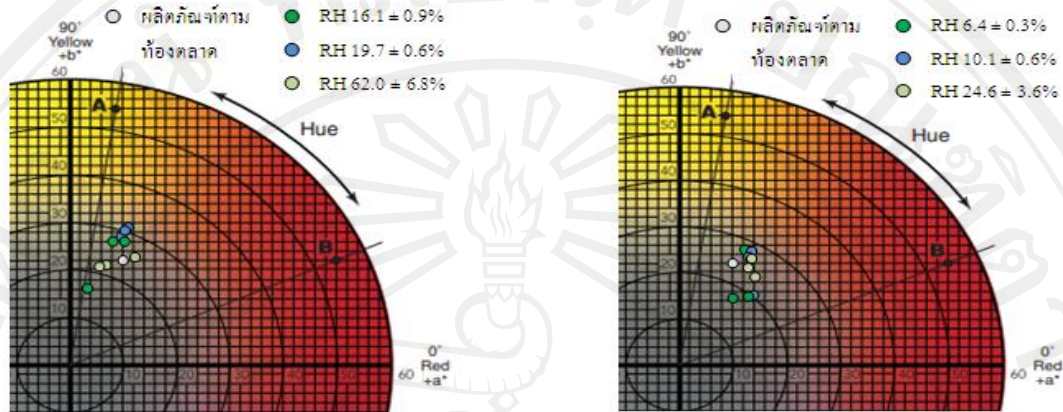
จากการวัดค่าสีของเนื้อลำไยแบบคว้านเมล็ดและนำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยค่าสีเริ่มต้นของเนื้อลำไยแบบคว้านเมล็ดมีค่า L^* ประมาณ 49.03 ± 2.29 ค่า a^* ประมาณ 1.02 ± 0.49 และค่า b^* ประมาณ 13.71 ± 2.01 ส่วนค่า Chroma ประมาณ 13.75 ± 2.07 และ Hue angle ประมาณ 85.74 ± 4.27 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของเนื้อลำไยคว้านเมล็ด หลังการอบแห้งและเนื้อลำไยอบแห้งตามท้องตลาด แสดงผลดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของลำไยหวานเมล็ดหลังการอบแห้งและเนื้อลำไยอบแห้งตาม
ห้องตลาดโดยระบบ CIE Lab

Condition			Color Parameter				
T (°C)	RH (%)	v (m/s)	L*	a*	b*	Chroma	Hue angle
50.4 ± 0.3	16.1 ± 0.9	0.5	38.9±3.36 ^m	8.3±2.51 ^c	24.6±2.51 ^{m,n,o}	26.0±2.72 ^j	71.5±3.22 ^{j,k}
		1.0	35.9±3.44 ^k	3.1±1.45 ^a	16.4±2.37 ^g	16.8±2.51 ^d	79.4±3.99 ^m
		1.5	37.3±2.94 ^l	10.2±1.83 ^h	25.2±2.72 ^o	28.2±2.94 ^k	67.9±3.10 ⁱ
	19.7 ± 0.6	0.5	38.7±2.43 ^m	8.9±1.79 ^{d,e}	27.3±2.35 ^p	27.3±2.94 ^l	72.0±2.70 ^k
		1.0	41.1±2.56 ⁿ	10.3±1.97 ^h	29.6±2.22 ^r	31.3±2.55 ⁿ	70.8±2.74 ^j
		1.5	40.34±2.70 ^o	10.0±2.46 ^{g,h}	28.2±2.67 ^q	30.0±30.7 ^m	70.6±3.67 ^j
	62.0 ± 6.8	0.5	31.2±2.06 ⁱ	6.4±2.50 ^b	21.4±2.67 ^j	22.4±3.49 ^g	73.6±6.30 ^l
		1.0	30.1±2.15 ^h	6.0±1.55 ^b	21.1±2.91 ^j	21.9±2.97 ^g	74.1±3.60 ^l
		1.5	30.3±2.15 ^h	12.9±1.22 ^l	23.5±2.67 ^{k,l}	26.9±2.55 ^k	61.1±3.06 ^g
70.4 ± 0.3	6.4 ± 0.3	0.5	35.5±3.85 ^k	12.4±1.93 ^{j,k}	25.2±3.17 ^{n,o}	28.1±3.34 ^l	63.7±3.27 ^h
		1.0	30.0±2.99 ^h	8.5±1.21 ^{c,d}	14.4±3.05 ^e	16.7±3.14 ^d	58.9±3.35 ^f
		1.5	28.2±2.10 ^g	13.5±1.17 ^{l,m}	15.9±2.96 ^{f,g}	20.8±3.25 ^f	49.2±2.95 ^{a,b}
	10.1 ± 0.6	0.5	33.5±2.91 ^j	13.1±1.55 ^l	23.1±3.71 ^k	26.6±3.77 ^{j,k}	60.3±2.99 ^g
		1.0	34.2±4.15 ^j	13.6±1.81 ⁿ	24.4±4.16 ^{m,n}	28.0±4.26 ^l	60.5±3.27 ^g
		1.5	28.2±2.10 ^g	13.5±1.73 ^{m,n}	15.8±2.96 ^{f,g}	20.8±3.25 ^f	49.2±2.95 ^{a,b}
	24.6 ± 3.6	0.5	29.9±2.37 ^h	12.9±1.53 ^l	19.8±2.85 ⁱ	23.6±3.06 ^h	56.7±2.61 ^e
		1.0	30.2±2.11 ^h	12.7±1.60 ^{k,l}	21.4±2.35 ^j	24.9±2.34 ⁱ	59.1±2.71 ^f
		1.5	27.2±2.24 ^{e,f}	14.6±1.46 ^o	18.5±2.99 ^h	23.6±3.4 ^h	51.5±3.28 ^c
90.4 ± 0.3	3.1 ± 0.1	0.5	26.6±2.17 ^e	12.1±1.45 ^j	15.1±2.57 ^{e,f}	19.4±2.66 ^e	50.9±3.82 ^c
		1.0	27.2±2.46 ^{e,f}	9.2±1.84 ^{e,f}	10.9±3.17 ^b	14.3±3.46 ^b	49.3±4.75 ^{a,b}
		1.5	24.8±2.42 ^c	8.9±1.76 ^{d,e}	11.4±3.71 ^{b,c}	14.5±3.88 ^b	51.2±5.08 ^c
	4.8 ± 0.4	0.5	24.1±1.71 ^b	9.6±1.27 ^{f,g}	11.9±2.21 ^c	15.3±2.21 ^c	50.7±4.79 ^c
		1.0	27.6±2.90 ^{f,g}	12.8±1.98 ^l	18.1±3.39 ^h	22.3±3.47 ^g	54.3±4.69 ^d
		1.5	29.6±2.87 ^h	12.2±2.10 ^j	17.9±3.82 ^h	21.8±3.93 ^g	55.2±5.11 ^d
	11.2 ± 2.1	0.5	25.6±2.21 ^d	11.3±1.21 ⁱ	13.0±2.81 ^d	17.3±2.82 ^d	48.5±3.78 ^a
		1.0	27.6±2.90 ^{f,g}	12.9±1.98 ^l	18.1±3.39 ^h	22.3±3.47 ^g	54.3±4.69 ^d
		1.5	22.1±1.54 ^a	8.5±2.41 ^{c,d}	10.1±2.63 ^a	13.2±3.48 ^a	49.8±3.69 ^b
เนื้อลำไยอบแห้งตามห้องตลาด			37.5±3.88 ^l	10.0±1.44 ^b	23.9±1.90 ^{l,m}	26.0±1.81 ^j	67.1±3.44 ⁱ

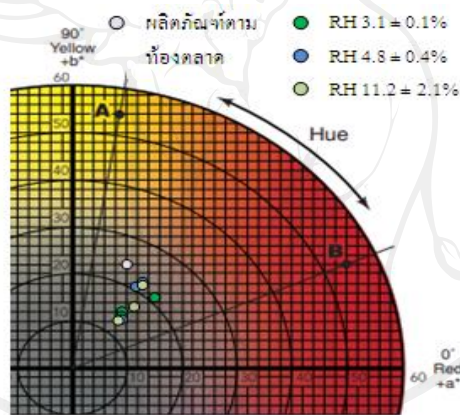
หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในรูปของค่าเฉลี่ย ± ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแถวตั้งเดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $p \leq 0.05$



(ก) อุณหภูมิความร้อน 50 °C

(ข) อุณหภูมิความร้อน 70 °C



(ค) อุณหภูมิความร้อน 90 °C

รูปที่ 4.6 แสดงค่าสีบนแกน Chroma และ Hue angle ของลำไยคว้านเมล็ดที่อบด้วยอุณหภูมิต่ำร้อน 50-90 °C ความเร็วลมร้อน 0.5-1.5 m/s ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าสีของเนื้อลำไยแบบคว้านเมล็ดโดยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) Chroma และ Hue angle หลังการอบแห้งทุกเงื่อนไข พบว่า เมื่ออุณหภูมิร้อนเพิ่มสูงขึ้นทำให้ค่าความสว่างลดลง เนื่องจากอุณหภูมิต่ำสูงขึ้นทำให้น้ำที่อยู่ในเนื้อลำไยเกิดการระเหยได้อย่างรวดเร็วเนื้อลำไยส่วนใหญ่มีน้ำตาลเป็นสารประกอบ เมื่อน้ำตาลได้รับความร้อนสูง น้ำตาลจะกลายเป็นสีน้ำตาลเข้มจนเป็นสีดำ จึงทำให้ค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกแล้วค่อยๆ ลดลง

จากรูปที่ 4.6 (ก) และ 4.6 (ข) ลำไยคว้านเมล็ดที่อบด้วยอุณหภูมิความร้อน 50-70°C จะเห็นว่าสีของเนื้อลำไยคว้านเมล็ดมีสีอยู่ในโทนใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาด ส่วนรูปที่ 4.6 (ค) ลำไยคว้านเมล็ดที่อบด้วยอุณหภูมิความร้อน 90°C จะมีสีอยู่ในโทนสีที่ค่อนข้างคล้ำกว่าผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาด ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้สีของลำไยคว้านเมล็ดเปลี่ยนจากโทนสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น

เมื่อวิเคราะห์ค่าสีของเนื้อลำไยหลังการอบแห้งที่ความเร็วลมร้อนต่างกัน โดยวิธีทางสถิติ (ANOVA Analysis) พบว่าที่อุณหภูมิร้อนและค่าความชื้นสัมพัทธ์เดียวกัน ความเร็วลมร้อนมีผลต่อค่าสีเล็กน้อยทำให้สีของเนื้อลำไยมีสีใกล้เคียงกันมาก และเมื่อวิเคราะห์ค่าสีของเนื้อลำไยที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างกัน ที่อุณหภูมิและความเร็วลมเดียวกัน พบว่าเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความเป็นสีเหลืองของเนื้อลำไยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่มีผลต่อค่าความสว่าง



(ก) อุณหภูมิ 50 °C, RH 16.1±0.9%



(ข) อุณหภูมิ 70 °C, RH 10.1±0.6%



(ค) อุณหภูมิ 90 °C, RH 11.2±2.1%

รูปที่ 4.7 คุณภาพสีลำไยคว้านเมล็ดหลังการอบแห้งที่ความเร็วลมร้อน 0.5 m/s



(ก) ความเร็วลมร้อน 0.5 m/s



(ข) ความเร็วลมร้อน 1.0 m/s



(ค) ความเร็วลมร้อน 1.5 m/s

รูปที่ 4.8 คุณภาพสีลำไยคว้านเมล็ดหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 24.6±3.6% ที่แต่ละความเร็วลมร้อน



(ก) ความชื้นสัมพัทธ์ $3.1 \pm 0.1\%$



(ข) ความชื้นสัมพัทธ์ $4.8 \pm 0.4\%$



(ค) ความชื้นสัมพัทธ์ $11.2 \pm 2.1\%$

รูปที่ 4.9 คุณภาพสีลำไยคว้านเมล็ดหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90°C ความเร็วลม 1.5 m/s

4.3 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ด

จากผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน โดยรวมและค่าคงที่ของการอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎีของลำไยคว้านเมล็ดในแต่ละเงื่อนไขการอบแห้ง โดยการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งใช้สมการ (2.6) และ (2.17) มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน โดยรวมและค่าคงที่ของการอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎีที่เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิลมร้อน ความเร็วลมร้อน และความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนโดยรวม (D) และค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีของลำไยคว้านเมล็ด (k)

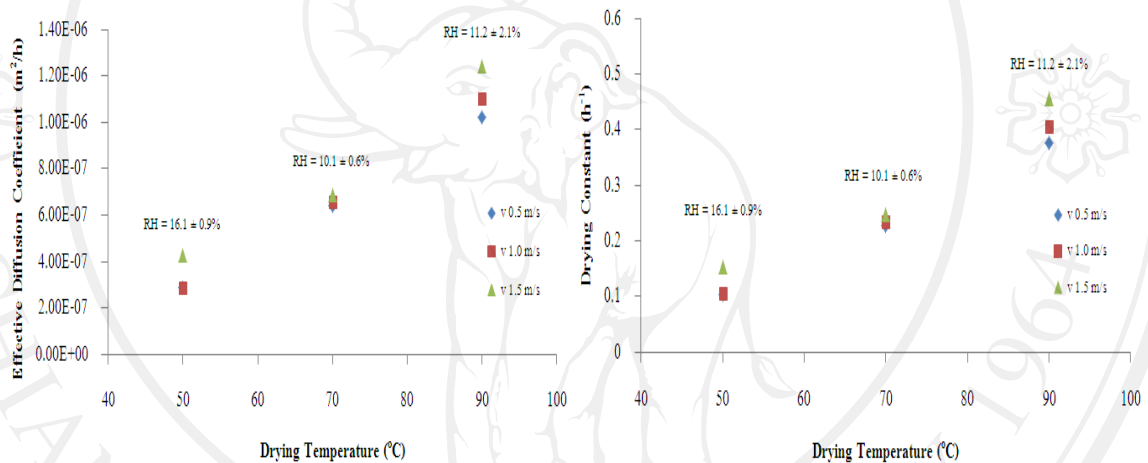
ทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน โดยรวม (D) ของลำไยคว้านเมล็ดที่เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ โดยนำผลการทดลองการลดลงของความชื้นมาวิเคราะห์สมการถดถอยโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยใช้สมการ (2.6) จำนวน 20 เทอม ซึ่งที่เวลาเริ่มต้น ($t=0$) วัสดุจะมีอัตราส่วนความชื้น (MR) เท่ากับ 0.979 และทำการวิเคราะห์หาค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีของลำไยคว้านเมล็ด (k) ที่เงื่อนไขการอบแห้งต่าง ๆ โดยนำผลการทดลองการลดลงของความชื้นมาวิเคราะห์สมการถดถอยโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยใช้สมการ (2.17) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน โดยรวม และค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีของลำไยคว้านเมล็ดที่แต่ละการทดลอง ดังตารางที่ 4.3

จากตาราง 4.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน โดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีที่ได้จากการทดลองที่เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ ตามลำดับ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน โดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้น ส่วนความเร็วลมร้อนที่มีค่าสูงขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน โดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน โดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีจะมีค่าลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนมีค่าสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง

ตาราง 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม (D) และค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎี (k)

Condition			Effective Diffusion Coefficient (m ² /h)			Drying Constant (h ⁻¹)		
T (°C)	RH (%)	V (m/s)	1	2	3	1	2	3
50.4±0.3	16.1±0.8	0.5	3.03×10 ⁻⁷	2.71×10 ⁻⁷	2.84×10 ⁻⁷	0.111	0.098	0.103
	15.9±0.9	1.0	2.83×10 ⁻⁷	2.94×10 ⁻⁷	2.94×10 ⁻⁷	0.105	0.109	0.108
	16.4±0.9	1.5	4.27×10 ⁻⁷	4.22×10 ⁻⁷	4.29×10 ⁻⁷	0.153	0.152	0.155
	19.7±0.9	0.5	2.92×10 ⁻⁷	2.72×10 ⁻⁷	2.74×10 ⁻⁷	0.104	0.102	0.098
	19.7±0.3	1.0	2.93×10 ⁻⁷	2.69×10 ⁻⁷	2.78×10 ⁻⁷	0.106	0.096	0.103
	19.5±0.5	1.5	3.70×10 ⁻⁷	3.31×10 ⁻⁷	3.74×10 ⁻⁷	0.131	0.127	0.136
	61.5±6.5	0.5	1.85×10 ⁻⁷	1.79×10 ⁻⁷	1.97×10 ⁻⁷	0.070	0.066	0.072
	62.2±6.9	1.0	1.84×10 ⁻⁷	1.92×10 ⁻⁷	1.96×10 ⁻⁷	0.070	0.072	0.073
	62.2±7.3	1.5	2.20×10 ⁻⁷	2.21×10 ⁻⁷	2.19×10 ⁻⁷	0.085	0.084	0.084
70.4±0.3	6.3±0.3	0.5	6.58×10 ⁻⁷	6.73×10 ⁻⁷	6.60×10 ⁻⁷	0.236	0.243	0.238
	6.5±0.2	1.0	6.91×10 ⁻⁷	7.02×10 ⁻⁷	6.76×10 ⁻⁷	0.253	0.254	0.245
	6.4±0.5	1.5	7.77×10 ⁻⁷	7.41×10 ⁻⁷	7.60×10 ⁻⁷	0.282	0.268	0.276
	10.1±0.2	0.5	6.42×10 ⁻⁷	6.26×10 ⁻⁷	6.45×10 ⁻⁷	0.227	0.225	0.229
	10.2±0.6	1.0	6.64×10 ⁻⁷	6.64×10 ⁻⁷	6.47×10 ⁻⁷	0.240	0.234	0.229
	10.1±0.9	1.5	6.76×10 ⁻⁷	7.06×10 ⁻⁷	6.75×10 ⁻⁷	0.243	0.255	0.244
	24.7±3.5	0.5	5.73×10 ⁻⁷	5.90×10 ⁻⁷	5.93×10 ⁻⁷	0.200	0.206	0.206
	24.4±3.8	1.0	5.71×10 ⁻⁷	5.70×10 ⁻⁷	6.00×10 ⁻⁷	0.200	0.196	0.208
	24.7±3.8	1.5	6.17×10 ⁻⁷	6.45×10 ⁻⁷	6.30×10 ⁻⁷	0.217	0.226	0.225
90.4±0.3	3.1±0.2	0.5	1.29×10 ⁻⁶	1.23×10 ⁻⁶	1.33×10 ⁻⁶	0.474	0.454	0.487
	3.2±0.1	1.0	1.38×10 ⁻⁶	1.38×10 ⁻⁶	1.34×10 ⁻⁶	0.506	0.507	0.492
	3.1±0.1	1.5	1.39×10 ⁻⁶	1.37×10 ⁻⁶	1.41×10 ⁻⁶	0.514	0.510	0.521
	4.7±0.2	0.5	1.09×10 ⁻⁶	1.14×10 ⁻⁶	1.10×10 ⁻⁶	0.403	0.418	0.405
	4.8±0.3	1.0	1.07×10 ⁻⁶	1.14×10 ⁻⁶	1.15×10 ⁻⁶	0.400	0.423	0.425
	4.9±0.6	1.5	1.30×10 ⁻⁶	1.26×10 ⁻⁶	1.24×10 ⁻⁶	0.479	0.466	0.458
	11.3±2.1	0.5	1.01×10 ⁻⁶	1.01×10 ⁻⁶	1.06×10 ⁻⁶	0.372	0.371	0.388
	11.2±2.1	1.0	1.08×10 ⁻⁶	1.11×10 ⁻⁶	1.11×10 ⁻⁶	0.399	0.406	0.409
	11.2±2.3	1.5	1.25×10 ⁻⁶	1.19×10 ⁻⁶	1.28×10 ⁻⁶	0.459	0.437	0.470

รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎี กับอุณหภูมิ 70°C ค่าความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนประมาณ 10.1±0.6% และอุณหภูมิ 90°C ค่าความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนประมาณ 11.2±2.1% เนื่องจากมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนที่ใกล้เคียงกัน ที่แต่ละความเร็วลม พบว่าอุณหภูมิลมร้อนมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและมวลสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าความเร็วลมร้อนจะมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้อบแห้งเดียวกัน



(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวม

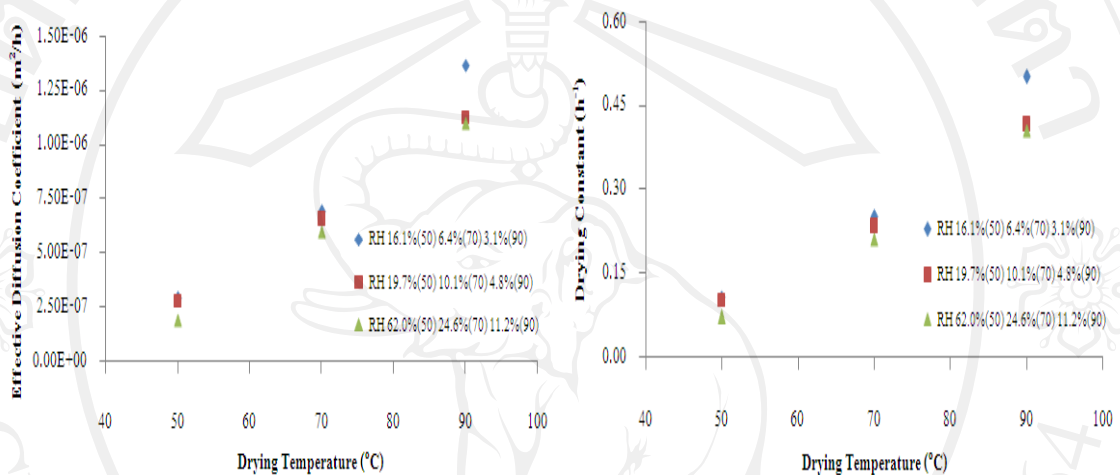
(ข) ค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎี

รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีกับอุณหภูมิลมร้อน ที่ความเร็วลมร้อน 0.5 1.0 และ 1.5 m/s

จากรูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีที่อุณหภูมิลมร้อน 50°C 70°C และ 90°C ความเร็วลมร้อน 1.0 m/s ที่แต่ละความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนต่างๆ พบว่าที่อุณหภูมิลมร้อนเดียว ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีมีค่าลดลง เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและมวลมีค่าลดลง

นอกจากนั้นยังพบอีกว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนมีค่าต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนจะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีน้อย โดยความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนจะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวมมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิลมร้อน

สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งจะเห็นว่าที่ความเร็วลม 1.0 m/s อุณหภูมิ 50°C ความชื้นสัมพัทธ์ 16.1, 19.7 และ 62.0% มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ 90°C ความชื้นสัมพัทธ์ 4.1 4.8 และ 11.2% จะพบความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดกว่า



(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวม

(ข) ค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎี

รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีที่อุณหภูมิลมร้อน 50°C 70°C และ 90°C ความเร็วลมร้อน 1.0 m/s ที่แต่ละความชื้นสัมพัทธ์

สมการแบบจำลองของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎี

จากการวิเคราะห์ผลพารามิเตอร์การอบแห้งที่มีผลต่อการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ด โดย ANOVA Analysis พบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ด คือ อุณหภูมิลมร้อนและความชื้นสัมพัทธ์ ดังนั้นสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดที่ทำการศึกษามีรูปแบบความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีที่เป็นฟังก์ชันกับ อุณหภูมิลมร้อน และความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน

เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมของลำไยคว้านเมล็ดที่แต่ละการทดลอง มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิลมร้อน และความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน ด้วยสมการรูปแบบ อาร์เรเนียนส New Modified Arrhenius โพลีโนเมียล สมการเอกโพเนนเชียลและสมการเส้นตรง ด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอย โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ได้ผลดังตารางที่ 4.4 และค่าคงที่ การอบแห้งกึ่งทฤษฎีดังตารางที่ 4.5

ตาราง 4.4 สมการแบบจำลองของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม

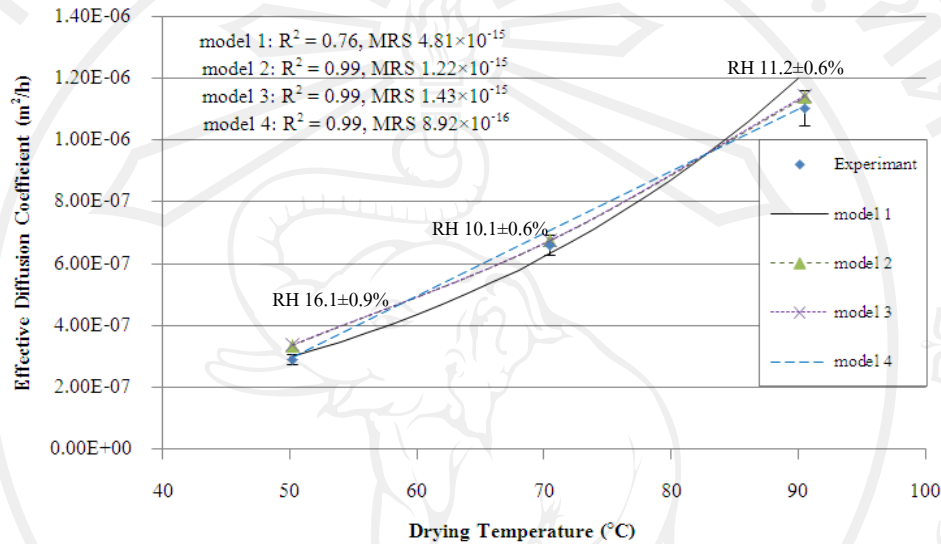
Model	Developed Model	R ²	MRS	รูปแบบสมการ
1	$D = (0.094 \exp(-34021.76/RT_{abs}))$ (4.1)	0.92	8.867×10^{-15}	Arrhenius
2	$D = (1.240 \times 10^{-6} RH^2 - 1.906 \times 10^{-4} RH + 1.375 \times 10^{-2}) \exp(27948.36/RT_{abs})$ (4.2)	0.96	4.865×10^{-15}	Arrhenius
3	$D = 1.413 \times 10^{-2} \exp((-3374.28/T_{abs}) - ((1.278RH)/100))$ (4.3)	0.96	4.890×10^{-15}	New Modified Arrhenius
4	$D = (3.812 \times 10^{-3} T_{abs}^2 - 1.363 T_{abs} + 62.857)(2.362 \times 10^{-12} RH^2 - 2.874 \times 10^{-10} RH + 1.852 \times 10^{-8})$ (4.4)	0.96	5.080×10^{-15}	โพลีโนเมียล

จากตาราง 4.4 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 2-4 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ใกล้เคียงกัน แต่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 2 (สมการ 4.2) ในรูปแบบสมการอาร์เรเนียนสที่เป็นฟังก์ชันอุณหภูมิลมร้อนและความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน สามารถทำนายผลได้ใกล้เคียงกับการทดลองมากที่สุด โดยค่า R² และ MRS เท่ากับ 0.96 และ 4.865×10^{-15} ตามลำดับ

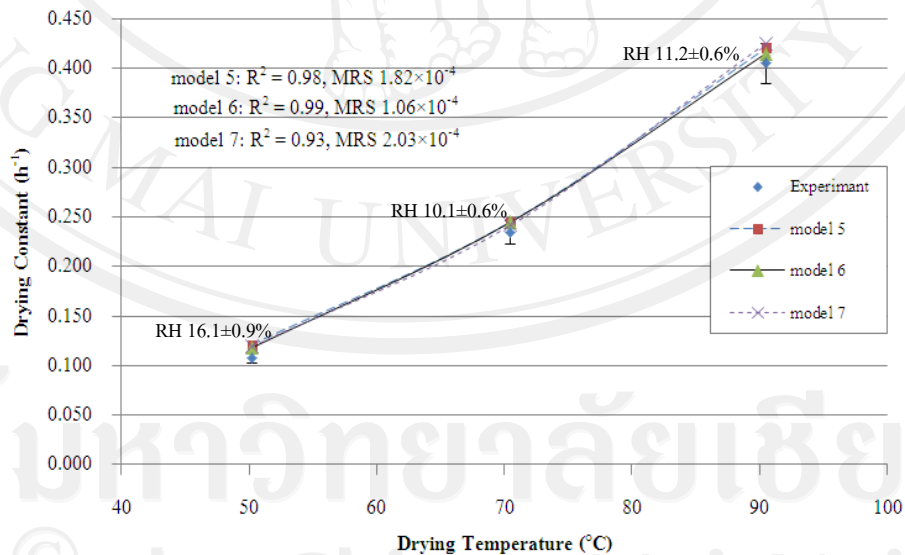
ตาราง 4.5 สมการแบบจำลองของค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎี

Model	Developed Model	R ²	MRS	รูปแบบสมการ
5	$k = (9.824 \times 10^{-5} T_{abs}^2 - 5.912 \times 10^{-2} T_{abs} + 8.995) \exp(-1.322 \times 10^{-2} RH)$ (4.5)	0.98	6.315×10^{-4}	เอกโพเนนเชียล
6	$k = (-9.994 \times 10^{-3} T_{abs}^2 + 5.939 T_{abs} - 891.89) (-1.128 \times 10^{-6} RH^2 + 1.428 \times 10^{-4} RH - 9.172 \times 10^{-3})$ (4.6)	0.98	6.203×10^{-4}	โพลีโนเมียล ดีกรีกำลังสอง
7	$k = (4.461 \times 10^{-5} T_{abs}^2 - 2.705 \times 10^{-2} T_{abs} + 4.143) (-2.055 \times 10^{-2} RH + 2.299)$ (4.7)	0.98	6.834×10^{-4}	เส้นตรง

จากตาราง 4.5 พบว่าค่าคงที่การอบแห้งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 5-6 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ใกล้เคียงกัน แต่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 6 ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลดีกรีกำลังสองสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด โดยค่า R^2 และ MRS เท่ากับ 0.98 และ 6.203×10^{-4} ตามลำดับ

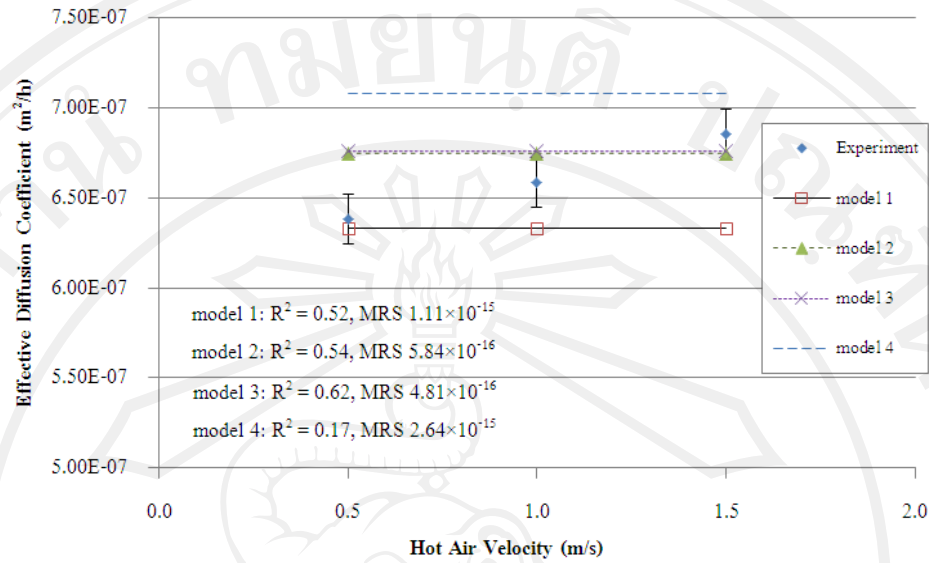


(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม

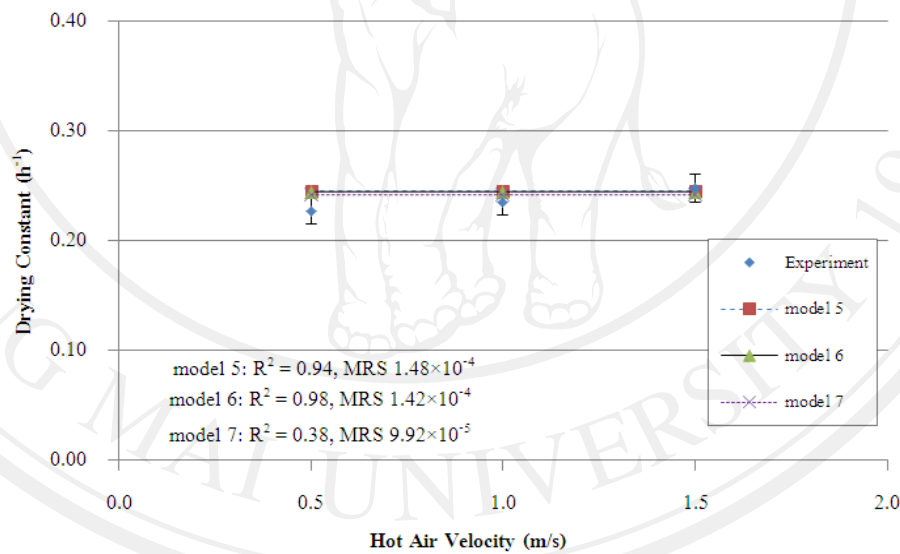


(ข) ค่าคงที่การอบแห้งกึ่งกฤษฎี

รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งกฤษฎีกับอุณหภูมิลมร้อน ที่ความเร็วลมร้อน 1.0 m/s

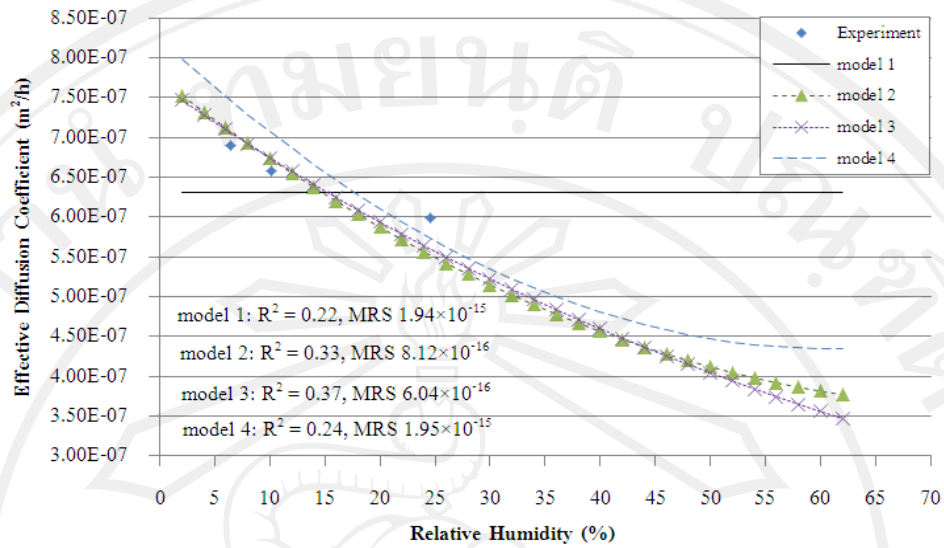


(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม

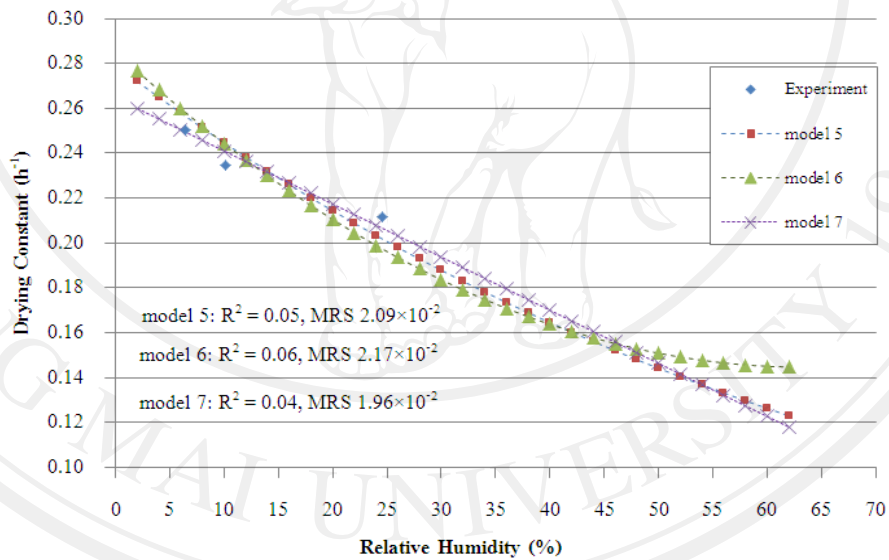


(ข) ค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎี

รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีกับความเร็วลมร้อน ที่อุณหภูมิลมร้อน 70°C ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน 10.1%



(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวม



(ข) ค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎี

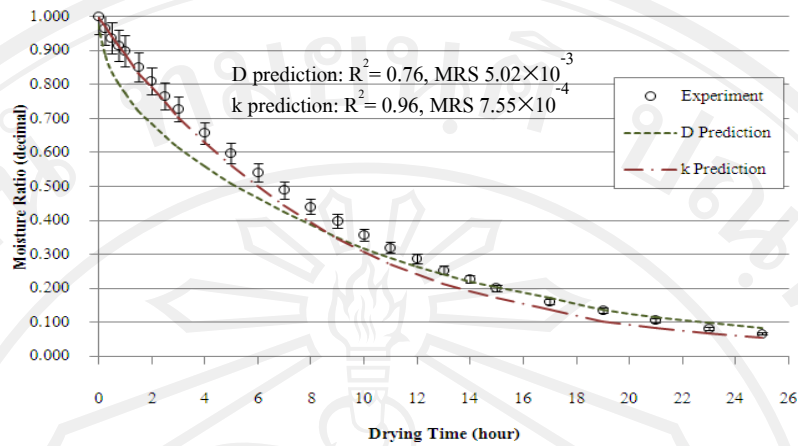
รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีกับความชื้นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิลมร้อน 70°C ความเร็วลม 1.0 m/s

รูปที่ 4.12-4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวมและค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีจากการทดลองกับแบบจำลองที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆ จะเห็นว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 6 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ดีในทุกๆ เงื่อนไขการทดลองซึ่งสอดคล้องกับค่า R^2 และ MRS

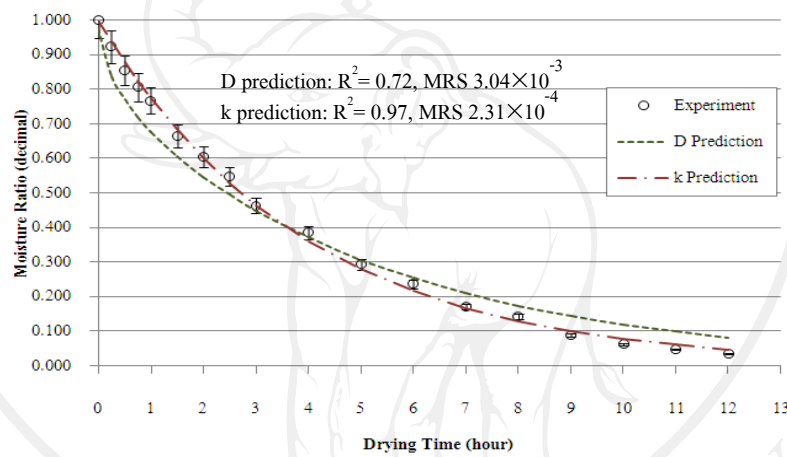
การเปรียบเทียบการลดลงของอัตราส่วนความชื้นในการอบแห้งที่ได้จากการทดลองกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การเปรียบเทียบการลดลงของอัตราส่วนความชื้นในการอบแห้งที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมเลือกใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 2 (สมการ 4.2) และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีเลือกใช้แบบจำลองที่ 6 (สมการ 4.6) เนื่องจากสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ใกล้เคียงกับผลการทดลอง เพื่อใช้ทำนายการลดลงของอัตราส่วนความชื้นในการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ด

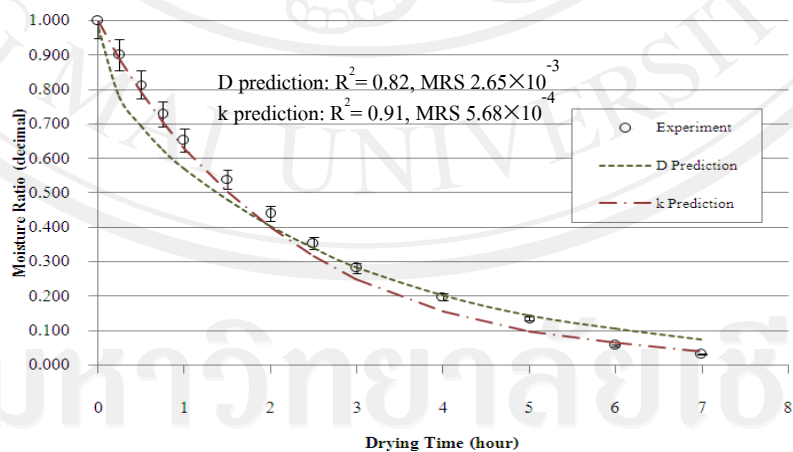
รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบการลดลงของอัตราส่วนความชื้นในการอบแห้งที่ได้จากการทดลองกับแบบจำลองที่อุณหภูมิ 50.0±0.1 °C มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน 15.9±0.9% อุณหภูมิ 70.0±0.1 °C มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน 6.5±0.2% และอุณหภูมิ 90.5±0.2 °C มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน 11.2±2.1% ที่ความเร็วลมร้อน 1.0 m/s รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบการลดลงของอัตราส่วนความชื้นในการอบแห้งที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองที่อุณหภูมิ 70.5±0.2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน 10.1±0.6% ความเร็วลมร้อน 0.5 m/s 1.0 m/s และ 1.5 m/s รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบการลดลงของอัตราส่วนความชื้นในการอบแห้งที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองที่อุณหภูมิ 90.4±0.3 °C ความเร็วลม 1.0 m/s ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน 3.2±0.1% 4.8±0.3% และ 11.2±2.1% จากรูปที่ 4.15-4.17 พบว่าแบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีสามารถทำนายผลการทดลองได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองมาก ขณะที่แบบจำลองค่าสัมประสิทธิ์การอบแห้งโดยรวมมีการทำนายผลการทดลองลดลงเร็วกว่าค่าจากการทดลองอย่างมากในช่วงเริ่มต้นจากนั้นผลการทำนายจะลู่เข้าหาชุดข้อมูลการทดลอง



(ก) อุณหภูมิลมร้อน 50.0 ± 0.1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน $15.9 \pm 0.9\%$

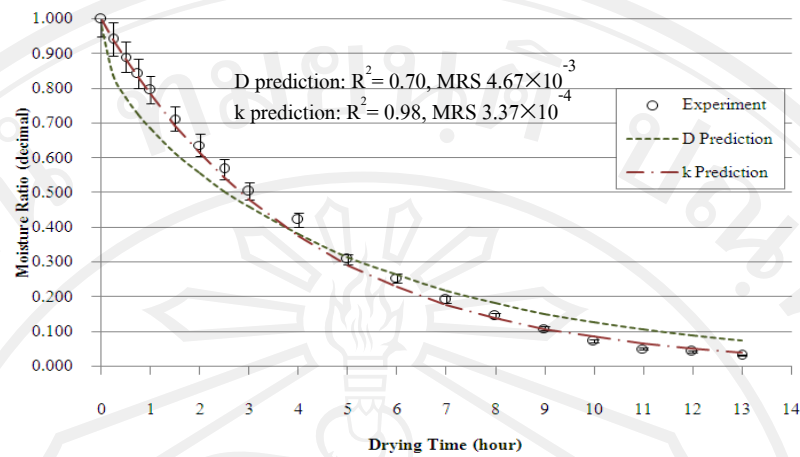


(ข) อุณหภูมิลมร้อน 70.0 ± 0.1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน $6.5 \pm 0.2\%$

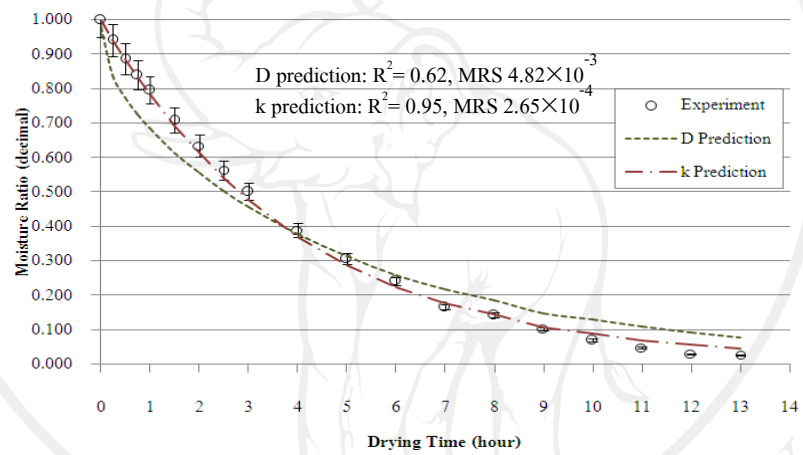


(ค) อุณหภูมิลมร้อน 90.5 ± 0.2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน $11.2 \pm 2.1\%$

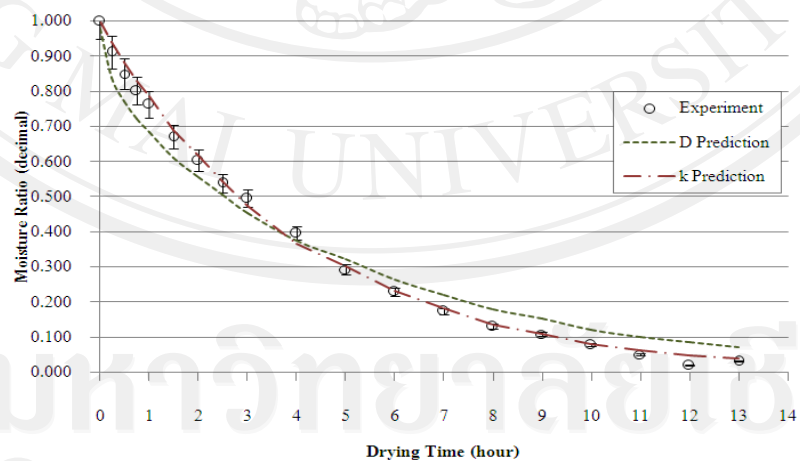
รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในการอบแห้งจากการทดลองและจากแบบจำลอง
 ที่ความเร็วลมร้อน 1.0 m/s



(ก) ความเร็วลมร้อน 0.5 m/s

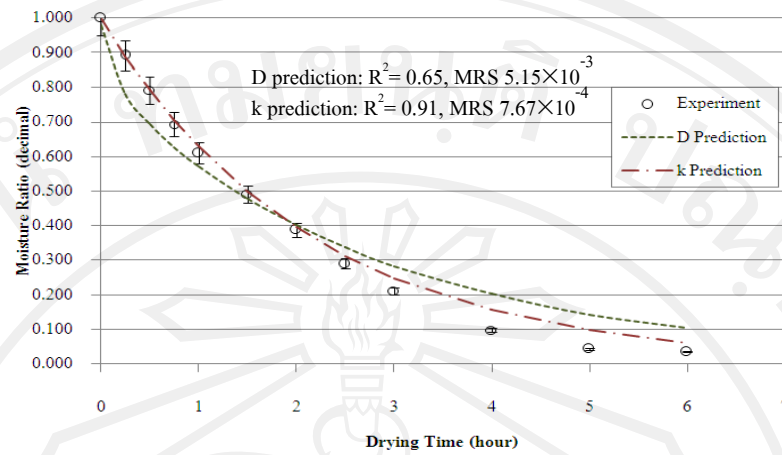


(ข) ความเร็วลมร้อน 1.0 m/s

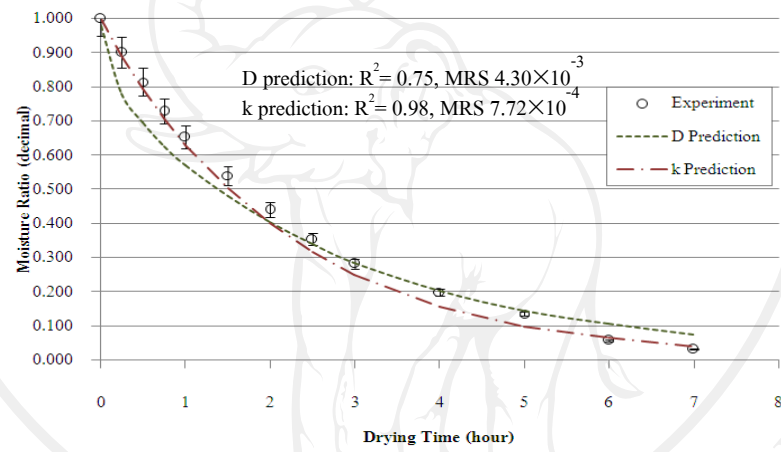


(ค) ความเร็วลมร้อน 1.5 m/s

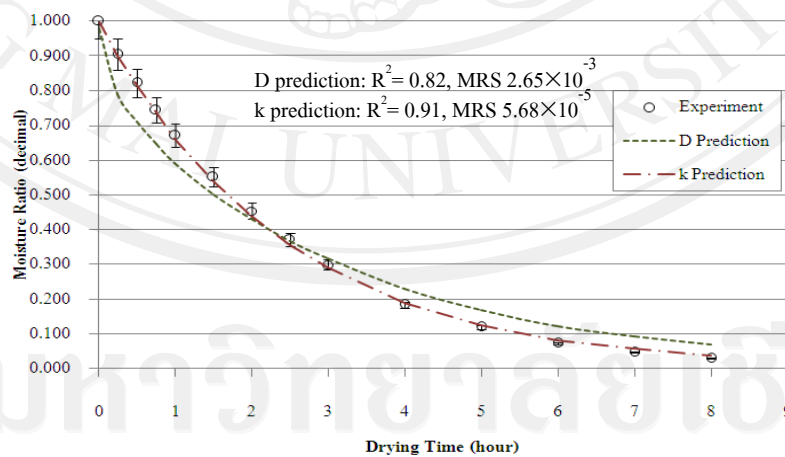
รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในการอบแห้งจากการทดลองและจากแบบจำลอง
 ที่อุณหภูมิ $70.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน $10.1 \pm 0.6\%$



(ก) ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน $3.2 \pm 0.1\%$



(ข) ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน $4.8 \pm 0.3\%$



(ค) ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อน $11.2 \pm 2.1\%$

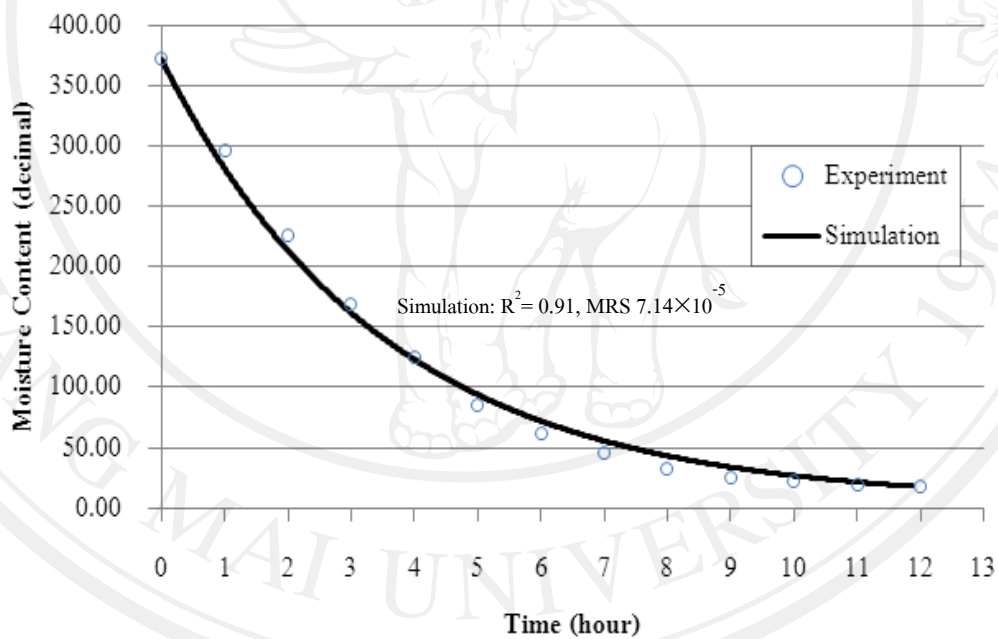
รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในการอบแห้งจากการทดลองและจากแบบจำลอง ที่อุณหภูมิ $90.4 \pm 0.3^\circ\text{C}$ ความเร็วลม 1.0 m/s

4.4 ผลการจำลองสภาพการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ด

ในการจำลองสภาพการอบแห้ง เพื่อทำนายการลดลงของความชื้นของลำไยคว้านเมล็ดออกที่อบแห้งที่เงื่อนไขการอบแห้งคือ

อุณหภูมิอบแห้ง 70.3°C ความเร็วลม 1.0 m/s ความชื้นสัมพัทธ์ 10.6% น้ำหนักเริ่มต้นวัสดุอบแห้ง 1.02 kg ความชื้นเริ่มต้น $372.2\% \text{db.}$ ความชื้นสุดท้าย $18\% \text{db.}$ ไม่มีการนำอากาศที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่

อบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบปรับสภาวะอากาศ ซึ่งเป็นการอบแห้งแบบชั้นหนา (ข้อมูลการทดลองแสดงในภาคผนวก ง) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสมการจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง จะเลือกใช้แบบจำลอง 6 เป็นแบบจำลองสมการจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งกึ่งทฤษฎีมาใช้ในการจำลองสภาพ เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่นิยามผลการอบแห้งแบบชั้นบางได้ดีที่สุด



รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยลมร้อนระหว่างการทดลองกับการจำลองสภาพการอบแห้งที่ $T = 70.3^{\circ}\text{C}$, $v = 1.0\text{ m/s}$, $\text{RH} = 10.6\%$, $M_{\text{in}} = 372.2\% \text{db.}$, $M_{\text{f}} = 18\% \text{db.}$, $\text{RC} = 0$

ในส่วนของการทดลองพบว่าการลดลงของความชื้นในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น และในส่วนของการจำลองสภาพ ดังรูปที่ 4.18 ซึ่งได้แสดงการเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นจากการทดลองและจากการจำลองสภาพ พบว่าการจำลองสภาพสามารถทำนายผลการอบแห้งได้ดีมาก ส่วนในช่วงแรกของการอบแห้งมีความแตกต่างกันระหว่างผลการทดลองและการจำลองสภาพเล็กน้อย โดยความชื้นที่ได้จากการจำลองสภาพจะลดลงเร็วกว่าผลการทดลอง ซึ่งอาจ

เนื่องจากสมมติฐานที่ตั้งขึ้นไม่ตรงกับการทดลองจริง ได้แก่ การสมมติว่าไม่มีความร้อนสูญเสียเนื่องจากผนังห้องอบแห้ง วัสดุอบแห้งไม่มีการหดตัวระหว่างการอบแห้ง และไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายในจากเครื่องอบแห้งและวัสดุ ซึ่งสมมติฐานเหล่านี้มีผลให้ความชื้นจากการจำลองสภาพลดลงเร็วกว่าการทดลองได้ เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดจนมีความชื้นสุดท้ายที่ 18 %db. ระหว่างการทดลองและการจำลองสภาพการอบแห้ง พบว่าในการทดลองใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 12.00 ชั่วโมง ในการจำลองสภาพการอบแห้งเวลาที่ใช้เท่ากับ 11.87 ชั่วโมง ซึ่งผลจากการทดลองและการจำลองสภาพการอบแห้งมีค่าใกล้เคียงกันมาก

4.5 ผลการวิเคราะห์หาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมของลำไยคว้านเมล็ด

การวิเคราะห์หาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมของลำไยคว้านเมล็ด ได้ทำการจำลองสภาพที่เงื่อนไขต่อไปนี้

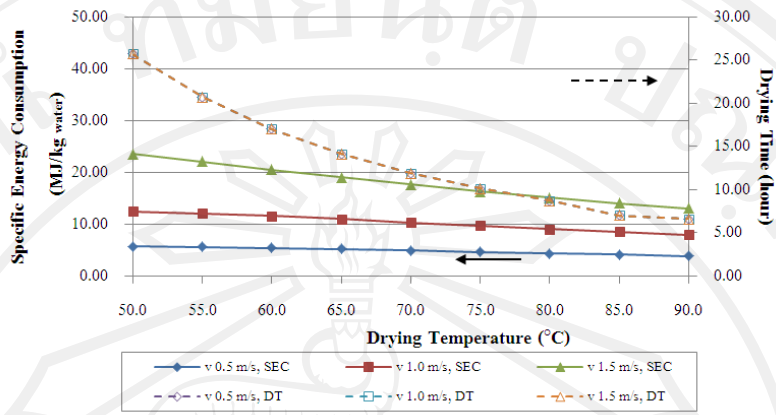
- 1) อุณหภูมิลมร้อน 50-90°C
- 2) ความเร็วลมร้อน 0.5-1.5 m/s
- 3) สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 0-90%

ซึ่งจะพิจารณาเลือกสภาวะที่เหมาะสมจากค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและเวลาอบแห้งที่ต่ำ โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขว่าสภาวะการอบแห้งนั้นต้องสามารถอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดจนมีความชื้นสุดท้ายได้ถึง 18 %db. (ผลการจำลองสภาวะที่แต่ละเงื่อนไข แสดงในภาคผนวก จ)

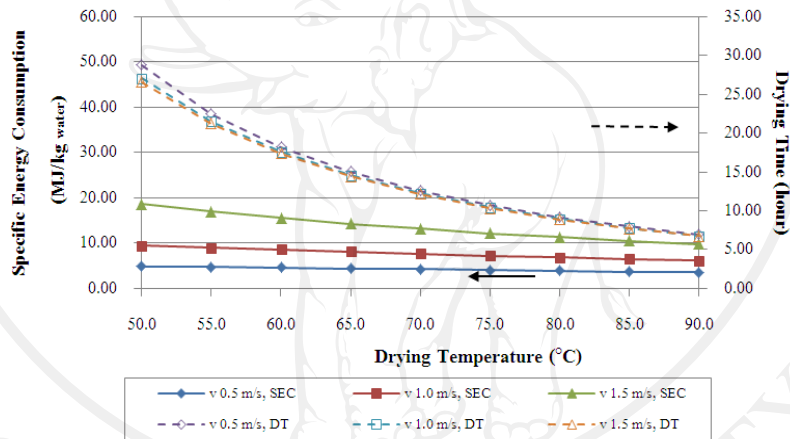
4.5.1 ผลของอุณหภูมิและความเร็วลม

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความเร็วลมมีผลต่อค่าความสิ้นเปลืองพลังงานและเวลาอบแห้ง นอกจากนั้นยังส่งผลถึงความชื้นสุดท้ายของลำไยคว้านเมล็ดด้วย

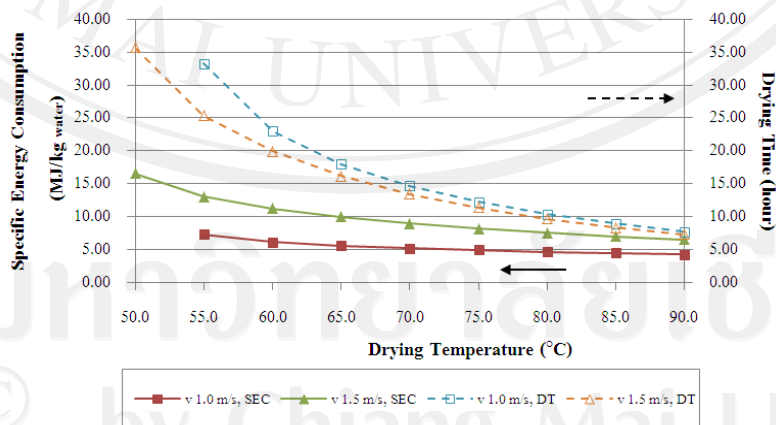
รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับเวลาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-90 °C ความเร็วลมร้อน 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 0% 40% และ 80% ตามลำดับ จะเห็นว่า ที่สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่คงที่ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและเวลาอบแห้งลดลง ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ความชื้นของลำไยคว้านเมล็ดลดลงอย่างรวดเร็วจึงทำให้ใช้พลังงานในการอบแห้งน้อยกว่าอุณหภูมิลมร้อนที่ต่ำกว่า ส่วนความเร็วลมร้อนที่สูงขึ้นจะทำให้ความชื้นของลำไยคว้านเมล็ดสามารถออกจากวัสดุได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้เวลาอบแห้งลดลงเล็กน้อย แต่จะต้องใช้พลังงานมากขึ้นเพื่อทำให้ความเร็วของลมร้อนเพิ่มสูงขึ้นจึงทำให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงขึ้น



(ก) สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 0%



(ข) สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 40%



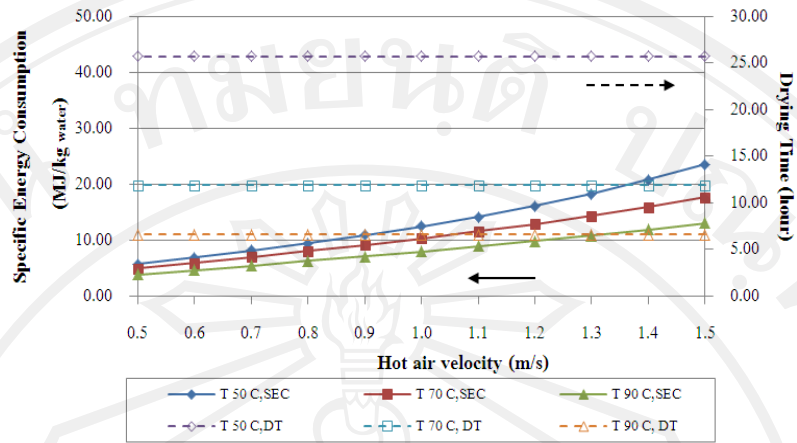
(ค) สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 80%

รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบเวลาอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับอุณหภูมิลมร้อนจากการจำลองสภาพที่อุณหภูมิลมร้อน 50-90°C

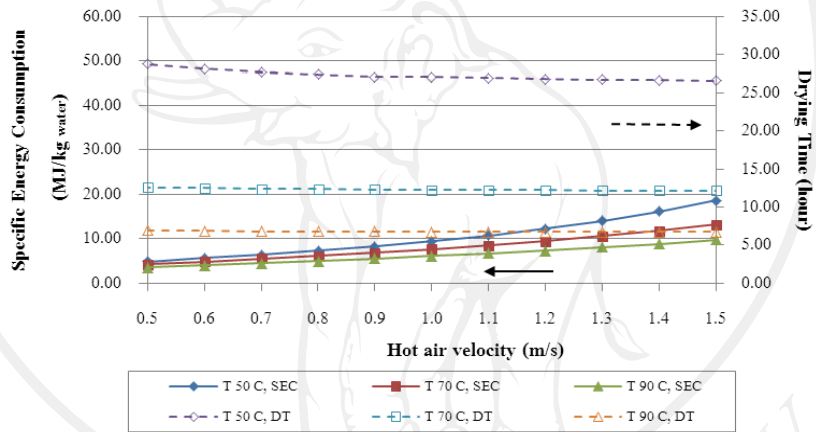
รูปที่ 4.19 (ก) และ (ข) ที่สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 0% และ 40% ที่สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่เดียวกันและความเร็วลมเดียวกัน พบว่าช่วงอุณหภูมิ 50-90 °C สามารถรอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดได้จนความชื้นสุดท้ายได้ถึง 18 %db. และเมื่อพิจารณา รูปที่ 4.19 (ค) สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 80% พบว่าที่ความเร็วลมร้อน 0.5 m/s ทุกอุณหภูมิการอบแห้งไม่สามารถรอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดได้จนความชื้นสุดท้ายได้ถึง 18 %db.

รูปที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบเวลาอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับความเร็วมร้อนจากการจำลองสภาพที่อุณหภูมิลมร้อน 50 °C 70 °C และ 90 °C เมื่อพิจารณารูปที่ 4.20 (ก) และ(ข) ที่สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 0% และ 40% พบว่าที่อุณหภูมิลมร้อน 50, 70 และ 90 °C สามารถรอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดจนความชื้นสุดท้ายได้ถึง 18 %db. ทุกความเร็วมร้อน โดยที่อุณหภูมิตอบแห้งลมร้อนเดียวกัน ถ้าเพิ่มความเร็วมร้อนขึ้น เวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าใกล้เคียงมาก แต่ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วมร้อนเดียวกัน อุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลง ทำให้ค่าความสิ้นเปลืองลดลง

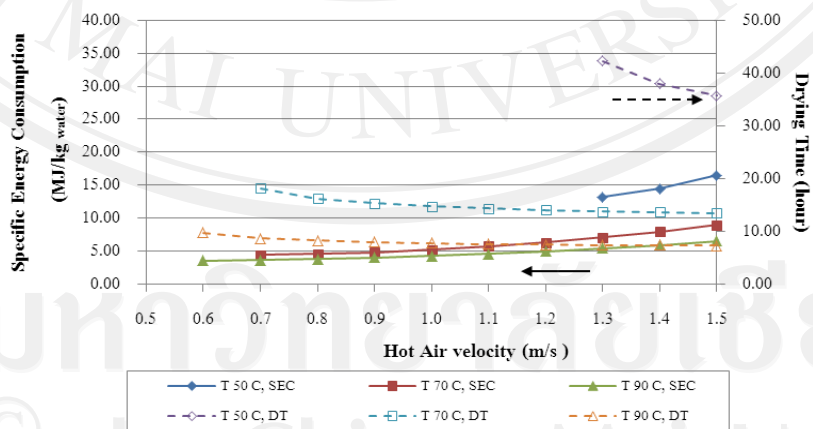
รูปที่ 4.20 (ค) ที่สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 80% ที่อุณหภูมิ 50 °C สามารถรอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดจนความชื้นสุดท้ายได้ถึง 18 %db. ได้ที่ช่วงความเร็วมร้อนประมาณ 1.3-1.5 m/s อาจเนื่องมาจากผลของสัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่สูงขึ้น เมื่อใช้ความเร็วมร้อนที่ต่ำเกินไปทำให้การพาความร้อนออกจากวัสดุและห้องอบแห้งได้ช้า ทำให้ความชื้นภายในห้องอบแห้งมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนทำให้ไม่สามารถรอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดจนความชื้นสุดท้ายได้ถึง 18 % ส่วนอุณหภูมิ 70 และ 90 °C สามารถรอบแห้งได้ที่ความเร็วมร้อนประมาณ 0.6-1.5 m/s และ 0.7-1.5 m/s ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขึ้น ก็จะสามารถใช้ความเร็วมร้อนที่สูงขึ้นได้ เพื่อที่จะทำให้ความชื้นสุดท้ายของลำไยคว้านเมล็ดเท่ากับ 18%db. ซึ่งจะทำให้เวลาการอบแห้งลดลง ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิตั้งขึ้นทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างวัสดุและกระแสน้ำร้อนมีมากขึ้น เป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น



(ก) สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 0%



(ข) สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 40%



(ค) สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 80%

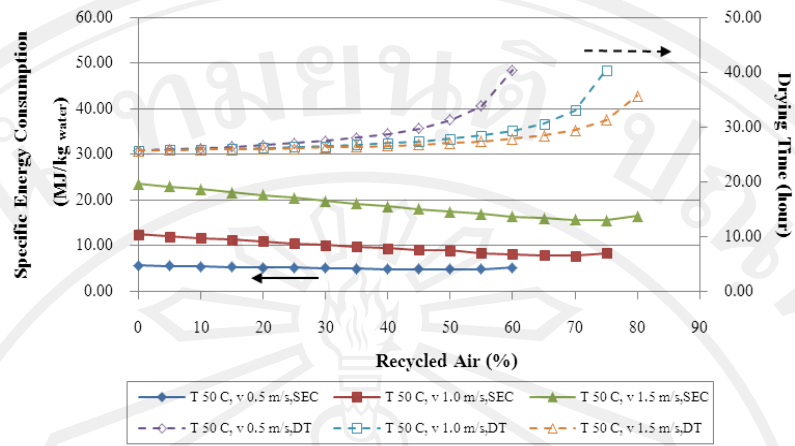
รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบเวลาอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับความเร็วมร้อนจากการจำลองสภาพที่อุณหภูมิลมร้อน 50 °C 70 °C และ 90 °C

4.5.2 ผลของสัดส่วนการนำอากาศที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่

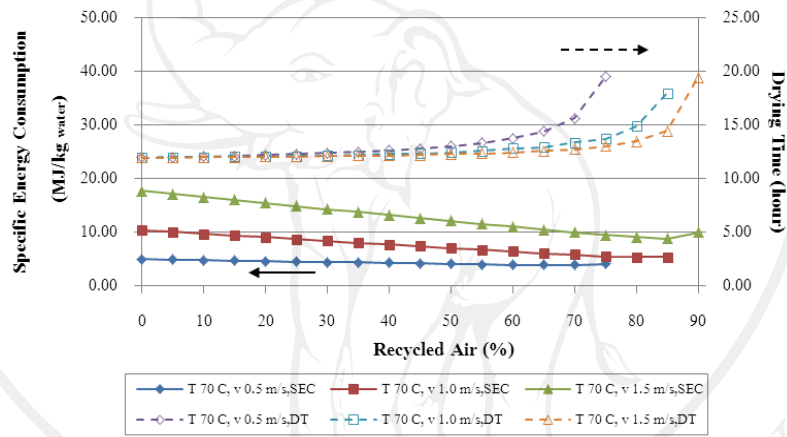
การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการนำอากาศที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่มีผลต่อค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและเวลาอบแห้ง นอกจากนี้ยังส่งผลถึงความชื้นสุดท้ายของลำไยคว้านเมล็ด เช่นเดียวกับอุณหภูมิและความเร็วลม

รูปที่ 4.21-4.22 แสดงการเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับเวลาอบแห้งที่สัดส่วนการนำอากาศที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ 0-90% ความเร็วลม 0.5, 1.0 1.5 m/s อุณหภูมิลมร้อน 50, 70 และ 90°C ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิและความเร็วลมคงที่ เมื่อสัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่อง ส่วนเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อสัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้แหล่งให้ความร้อน (Heater) ใช้พลังงานให้การให้ความร้อนแก่อากาศน้อยลง เพราะอากาศที่วนกลับมามีอุณหภูมิสูง จึงทำให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลง แต่ความชื้นในอากาศมีค่าสูงจึงต้องใช้เวลาอบแห้งนานขึ้น

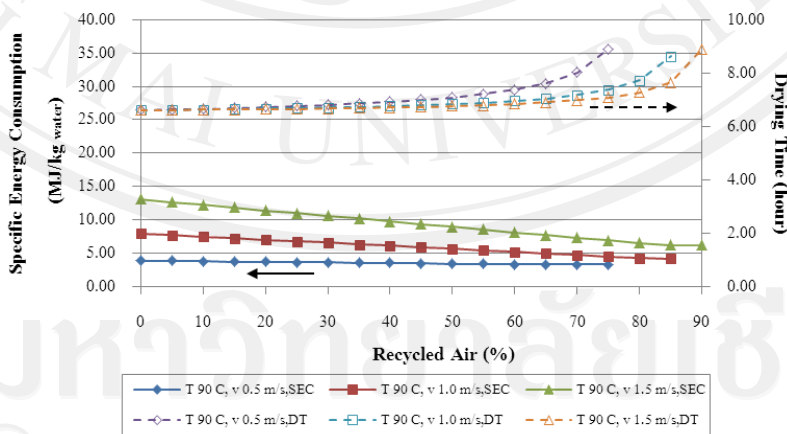
จากรูปที่ 4.21 (ก) พบว่าที่อุณหภูมิลมร้อน 50°C ความเร็วลมร้อน 0.5 m/s เมื่อสัดส่วนการนำอากาศที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่มากกว่า 60% จะทำให้เวลาอบแห้งเพิ่มขึ้นอย่างมาก และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากที่สัดส่วนการนำอากาศที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่มีค่าสูง จะทำให้ความชื้นของอากาศที่วนกลับมามีค่าสูง จึงต้องใช้เวลาอบแห้งนานมากและทำให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากอากาศในห้องอบแห้งมีความชื้นสูง และอากาศดังกล่าวอิมตัวไปด้วยไอน้ำ ทำให้การดึงความชื้นออกจากลำไยคว้านเมล็ดทำได้ยากขึ้น ส่งผลให้ใช้เวลาอบแห้งนานขึ้นและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานสูงขึ้นตาม และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิลมที่พบว่าความเร็วลมที่สูงขึ้น จะสามารถใช้สัดส่วนการนำอากาศที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ในปริมาณที่สูงขึ้นได้ เพื่อช่วยลดค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ รูปที่ 4.21 (ก) อุณหภูมิลมร้อน 50°C ความเร็วลมร้อน 0.5 m/s แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้สัดส่วนการนำอากาศที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ได้สูงสุดที่ 60% เพื่อทำให้ความชื้นสุดท้ายของลำไยคว้านเมล็ดลดลงถึง 18%db. แต่เมื่อเพิ่มความเร็วมขึ้น ก็สามารถนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ได้สูงสุดที่ 80% ทั้งนี้เพราะความเร็วลมที่สูงขึ้นหมายถึงอัตราการไหลของอากาศในห้องอบแห้งสูงขึ้น ทำให้สามารถนำความชื้นออกไปจากห้องอบได้ดีขึ้นนั่นเอง



(ก) อุณหภูมิลมร้อน 50 °C

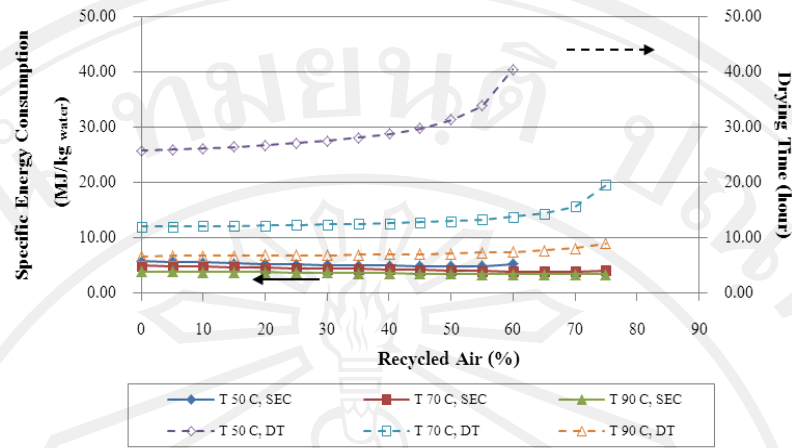


(ข) อุณหภูมิลมร้อน 70 °C

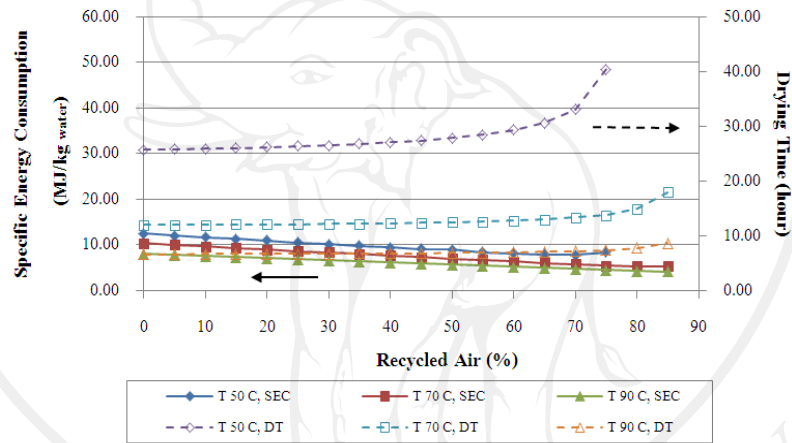


(ค) อุณหภูมิลมร้อน 90 °C

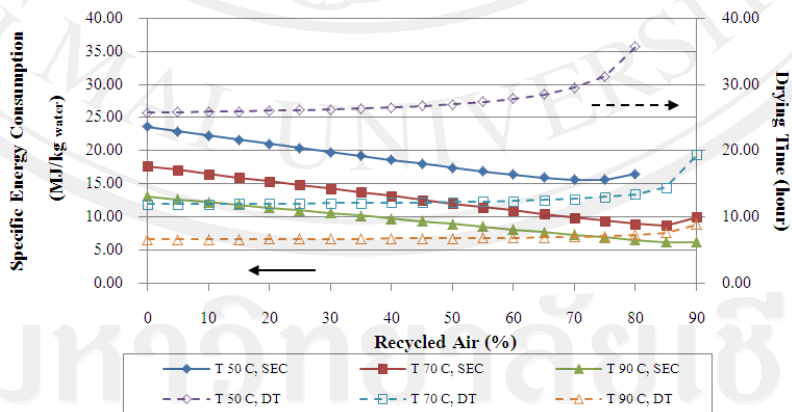
รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบเวลาอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับสัดส่วนการนำอากาศใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่จากการจำลองสภาพที่ความเร็วลมร้อน 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s ที่แต่ละอุณหภูมิลมร้อน



(ก) ความเร็วลมร้อน 0.5 m/s



(ข) ความเร็วลมร้อน 1.0 m/s



(ค) ความเร็วลมร้อน 1.5 m/s

รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบเวลาอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับสัดส่วนการนำอากาศใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่จากการจำลองสภาพที่อุณหภูมิ 50, 70 และ 90°C ที่แต่ละความเร็วลมร้อน

รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบเวลาอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับ สัดส่วนการนำอากาศใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่จากการจำลองสภาพที่อุณหภูมิ 50, 70 และ 90 °C ที่แต่ ละความเร็วลมร้อน เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลมร้อนคงที่ พบว่าความอุณหภูมิลมที่สูงขึ้น จะสามารถ ใช้สัดส่วนการนำอากาศที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ในปริมาณที่สูงขึ้นได้ รูปที่ 4.22 (ก) ความเร็วลมร้อน 0.5 m/s อุณหภูมิลมร้อน 50 °C แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้สัดส่วนการนำอากาศที่ ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ได้สูงสุดที่ 60% แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งที่สูงขึ้นเป็น 70 และ 90 °C พบว่าสามารถใช้สัดส่วนการนำอากาศใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ได้สูงสุดเพิ่มขึ้นที่ 70-75% ทำให้ช่วย ลดค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ดังนั้น หากพิจารณาสถานะการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดที่เหมาะสม จากเวลาและค่าความ สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ พบว่าจากการจำลองสถานะการอบแห้งที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิ 70°C ความเร็วลมร้อน 0.5 m/s สัดส่วนการนำอากาศที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ 60 % ใช้เวลาการอบแห้ง 13.71 ชั่วโมง ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 3.86 MJ/kg_{water} ซึ่งเป็นสถานะการอบแห้งที่ให้ค่าสี โทไลต์เคียงหรือดีกว่าลำไยอบแห้งตามท้องตลาด และใช้เวลาการอบแห้งน้อยและมีค่าความสิ้นเปลือง พลังงานจำเพาะต่ำเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสถานะการอบแห้งที่เงื่อนไขอื่นๆ ที่อุณหภูมิเดียวกัน ภายใต้อุณหภูมิที่สถานะการอบแห้งการอบแห้งนั้นต้องสามารถอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดจนมี ความชื้นสุดท้ายได้ถึง 18 %db.