

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

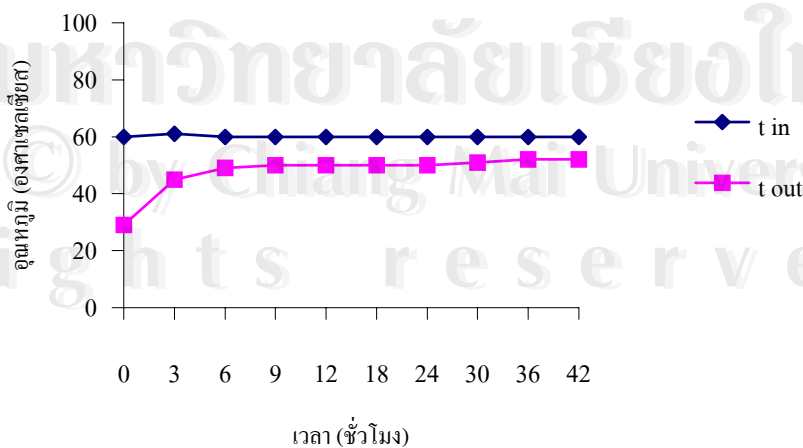
4.1 อุณหภูมิความร้อนและความเร็วลมในการทดลอง

อุณหภูมิขาเข้าในการทดลองมีความสำคัญอย่างมากในการลดความชื้น จึงต้องควบคุมให้คงที่มากที่สุดโดยใช้ชุดควบคุมแบบเทอร์โมสแตท (Thermostat) แผงควบคุมเป็นระบบ (Magnetic control)

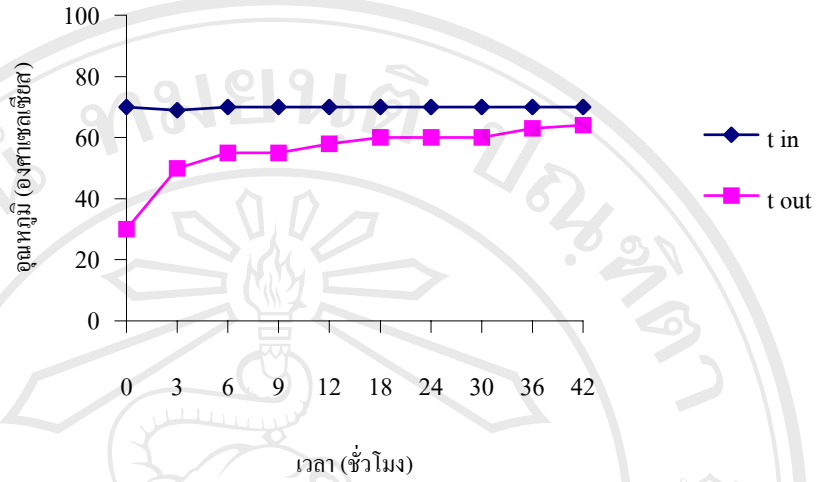
การทดลองที่ 1 ลดความชื้นลำไยด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิความร้อนที่เข้า plenum chamber ก่อนที่จะผ่านชั้นของลำไยมีค่าอยู่ที่ 60 ± 0.3 องศาเซลเซียส ความเร็วลมขาออกอยู่ที่ 0.6 ± 0 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิขาออกเมื่อสิ้นสุดการทดลองอยู่ที่ 50 องศาเซลเซียส

การทดลองที่ 2 ปรับอุณหภูมิในการลดความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 70 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิความร้อนที่เข้า plenum chamber ก่อนที่จะผ่านชั้นของลำไยมีค่าอยู่ที่ 70 ± 0.3 องศาเซลเซียส ความเร็วลมขาออกอยู่ที่ 0.6 ± 0.1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิขาออกในชั่วโมงที่ 42 คือ 62 องศาเซลเซียส

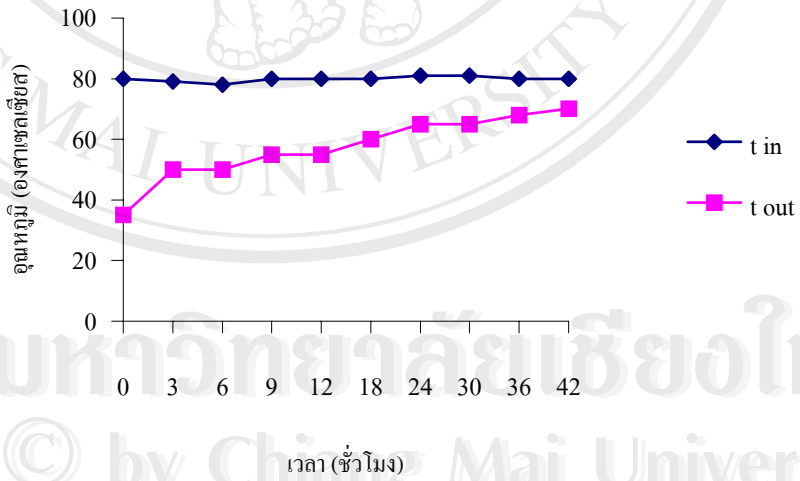
การทดลองที่ 3 ปรับอุณหภูมิในการลดความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 80 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิความร้อนที่เข้า plenum chamber ก่อนที่จะผ่านชั้นของลำไยมีค่าอยู่ที่ 80 ± 0.9 องศาเซลเซียส ความเร็วลมขาออกอยู่ที่ 0.6 ± 0.1 เมตรต่อวินาที ส่วนอุณหภูมิขาออกในชั่วโมงที่ 42 คือ 72 องศาเซลเซียส แสดงไว้ดัง (รูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3)



รูปที่ 4.1 อุณหภูมิความร้อนขาเข้า-ออกเมื่อใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในการลดความชื้น



รูปที่ 4.2 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า-ออกเมื่อใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในการลดความชื้น

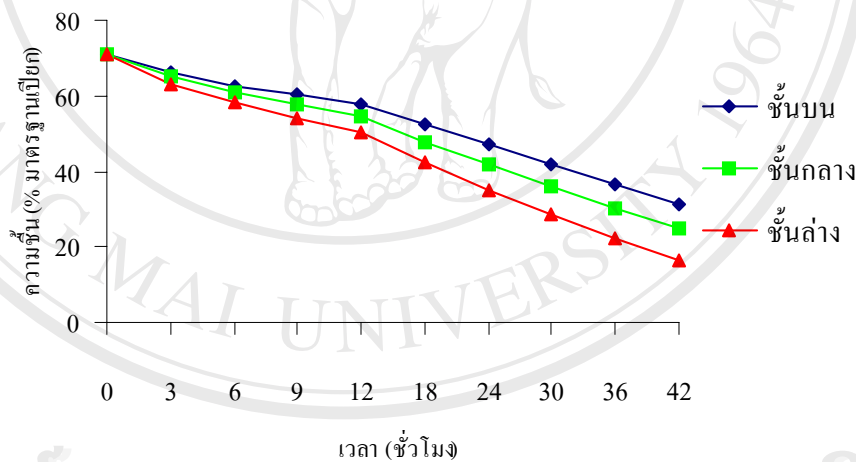


รูปที่ 4.3 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า-ออกเมื่อใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในการลดความชื้น

4.2 การลดความชื้นและอัตราการลดความชื้นของแต่ละการทดลอง

4.2.1 การลดความชื้นของลำไยอบแห้งทั้งเปลือกแต่ละอุณหภูมิ

จากการทดลองที่ 1 ลดความชื้นลำไยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสด้วยความเร็วลมเฉลี่ย 0.6 เมตรต่อวินาที ความชื้นเริ่มต้นของลำไยก่อนการทดลองมีค่าอยู่ที่ประมาณ 70.89 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (243.52 %db) ทำการลดความชื้นลำไยไปจนครบ 42 ชั่วโมง จึงสิ้นสุดการทดลอง เปอร์เซ็นต์ความชื้นของลำไยอบแห้งตลอดระยะเวลาในการอบ พบว่าความชื้นของลำไยในแต่ละชั้นจะแตกต่างกัน ชั้นบนจะใช้เวลา 42 ชั่วโมง ในการลดความชื้นจาก 70.89 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ให้เหลือ 30 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (45.99 %db) ในขณะที่ชั้นกลางจะใช้เวลา 36 ชั่วโมง ในการลดความชื้นให้เหลือ 30 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก และชั้นล่างจะใช้เวลาน้อยสุดในการลดความชื้นให้เหลือต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก คือ 30 ชั่วโมง



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (% มาตรฐานเปียก) ของลำไยอบแห้งแต่ละชั้นกับระยะเวลาในการอบแห้ง เมื่อใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

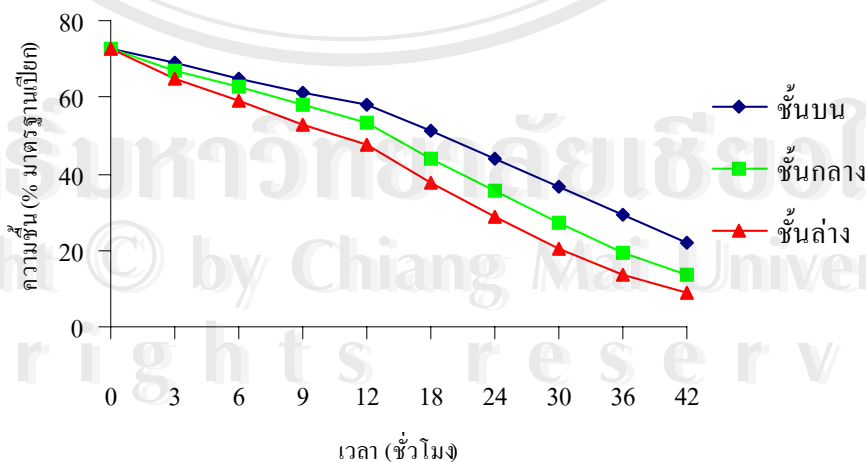
ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น และเวลาในการลดความชื้นแสดงไว้ในภาพที่ 4.4 เมื่อหาความสัมพันธ์แบบ Exponential และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในแต่ละชั้นความหนาของการอบจะได้สมการดังต่อไปนี้

ชั้นบน	$y = 82.535e^{-0.0873x}$	$R^2 = 0.9545$
ชั้นกลาง	$y = 86.717e^{-0.1133x}$	$R^2 = 0.9534$
ชั้นล่าง	$y = 94.005e^{-0.1549x}$	$R^2 = 0.9446$

โดยค่า y คือ ค่าความชื้นมาตรฐานเปียก
 x คือ ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง , ชั่วโมง
 e คือ ค่า Exponential มีค่าเท่ากับ 2.7183
 R^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์

จากการเปรียบเทียบการลดความชื้นในแต่ละชั้นและจากสมการ Exponential จะมีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.9446-0.9545 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการลดความชื้นกับความชื้น (% เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก) มีความสัมพันธ์กันไปตามทฤษฎีการลดความชื้น (Hall, 1980)

การทดลองที่ 2 ลดความชื้นลำไยด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 0.6 เมตรต่อวินาที จากความชื้นเริ่มต้นของลำไยก่อนที่จะนำมาลดความชื้นจะอยู่ที่ประมาณ 72.60 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (264.96 %db) การลดความชื้นใน 12 ชั่วโมง แรกความชื้นของลำไยลดลงต่างกัน ชั้นล่างจะลดลงเร็วกว่าชั้นกลาง และชั้นกลางจะลดลงเร็วกว่าชั้นบน เมื่อถึงชั่วโมงที่ 24 ชั้นล่างจะมีการลดความชื้นที่ช้าลงเนื่องจากปริมาณน้ำเริ่มมีน้อย ชั้นกลางเริ่มมีการลดความชื้นเพิ่มขึ้นจนมีความชื้นไม่ต่างจากชั้นล่าง อย่างไรก็ตามชั้นบนยังมีการลดความชื้นช้าที่สุด และยังมี ความชื้นแตกต่างจากชั้นกลาง และชั้นล่างไปจนถึงสิ้นสุดการทดลอง



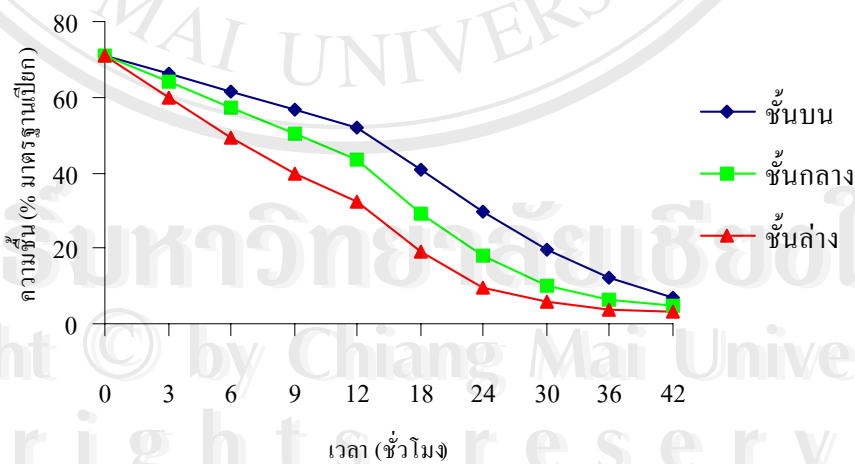
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (% มาตรฐานเปียก) ของลำไยอบแห้งแต่ละชั้นกับระยะเวลาในการอบแห้ง เมื่อใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เมื่อนำมาหาสมการ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่ามีความสัมพันธ์กันแบบ Polynomial เช่นเดียวกัน คือ

ชั้นบน	$y = 95.249e^{-0.1259x}$	$R^2 = 0.9097$
ชั้นกลาง	$y = 106.98e^{-0.1786x}$	$R^2 = 0.9149$
ชั้นล่าง	$y = 116.26e^{-0.2259x}$	$R^2 = 0.9261$

โดยค่า y คือ ค่าความชื้นมาตรฐานเปียก
 x คือ ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง , ชั่วโมง
 e คือ ค่า Exponential มีค่าเท่ากับ 2.7183
 R^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์

การทดลองที่ 3 เพิ่มอุณหภูมิในการลดความชื้นขึ้นเป็น 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.6 เมตรต่อวินาที จากความชื้นเริ่มต้นของลำไยก่อนที่จะนำมาลดความชื้นคือ 71.13 เปอร์เซ็นต์ มาตรฐานเปียก (246.38 %db) การลดความชื้นในช่วง 24 ชั่วโมงแรกจะแตกต่างกัน หลังจากนั้นในช่วงชั่วโมงที่ 30 ความชื้นของทั้งสามชั้นจะลดลงมาใกล้เคียงกันจนถึงสิ้นสุดการทดลองซึ่งจะสอดคล้องกันกับการทดลองที่สอง



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (% มาตรฐานเปียก) ของลำไยอบแห้งแต่ละชั้นกับระยะเวลาในการอบแห้ง เมื่อใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

จากข้อมูลของความชื้นข้างต้นที่ลดลงดังรูปที่ 4.6 เมื่อนำมาหาสมการ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่ามีความสัมพันธ์กับแบบ Exponential เช่นเดียวกับสองการทดลองแรก คือ

$$\text{ชั้นบน} \quad y = 129.3e^{-0.2463x} \quad R^2 = 0.8789$$

$$\text{ชั้นกลาง} \quad y = 145.44e^{-0.3216x} \quad R^2 = 0.9284$$

$$\text{ชั้นล่าง} \quad y = 144.87e^{-0.3803x} \quad R^2 = 0.9621$$

โดยค่า y คือ ค่าความชื้นมาตรฐานเปียก

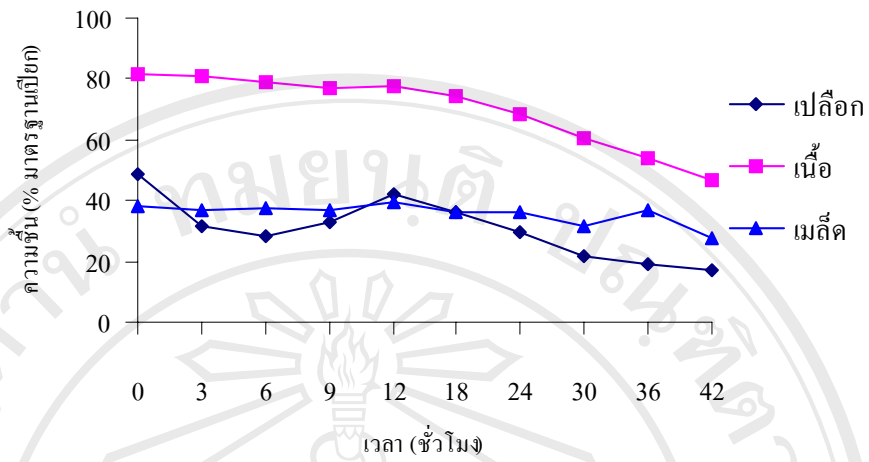
x คือ ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, ชั่วโมง

e คือ ค่า Exponential มีค่าเท่ากับ 2.7183

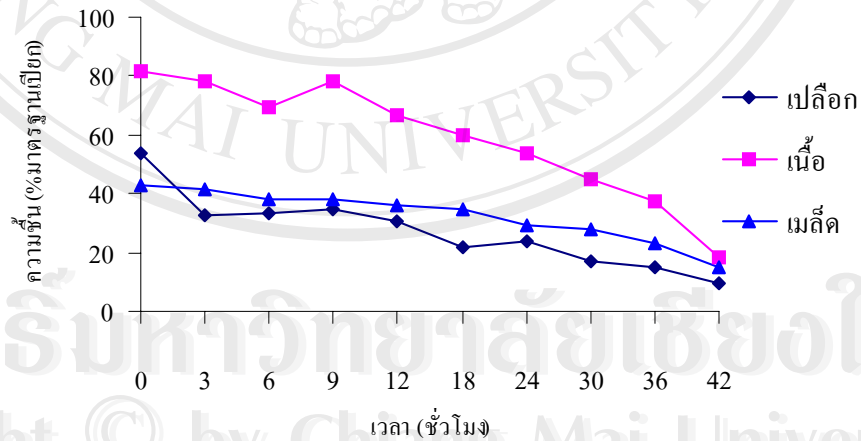
R^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์

จากข้อมูลทั้งสองการทดลองจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการลดความชื้นให้สูงขึ้นความชื้นวัสดุจะลดลงมากกว่าเมื่อใช้เวลาในการลดความชื้นเท่ากัน นอกจากนี้ในแต่ละชั้นจะมีความชื้นแตกต่างกัน เนื่องจากอัตราการลดความชื้นชั้นล่าง จะสูงกว่าชั้นบน โดยเฉพาะในช่วงต้นๆของการลดความชื้น

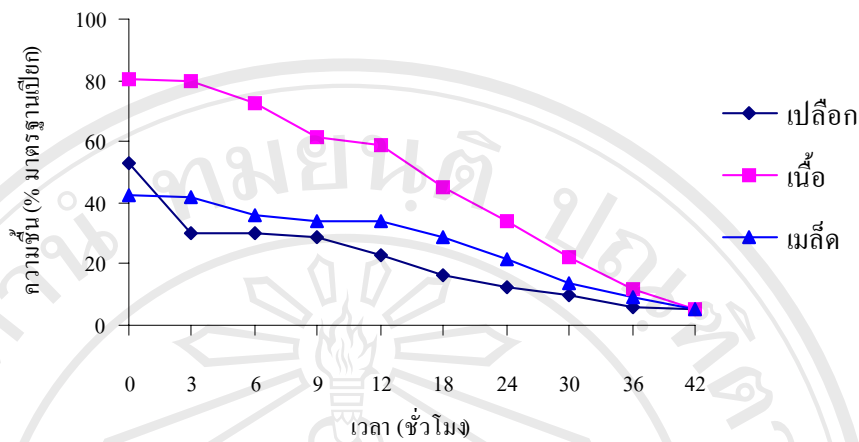
ในระหว่างการทดลองได้ทำการแยกหาความชื้นในแต่ละส่วนของลำไยอบแห้ง แบ่งออกเป็น ส่วนของ เปลือก เนื้อ และเมล็ด ของการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส โดยจัดให้มีการเก็บตัวอย่างไปพร้อมกับการเก็บข้อมูลความชื้นคือทุกๆ 3 ชั่วโมง ไปจนถึงชั่วโมงที่ 12 หลังจากนั้นทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 6 ชั่วโมง ไปจนครบ 42 ชั่วโมง จึงสิ้นสุดการทดลอง ดังรูปที่ 4.7(ก) ความชื้นในแต่ละส่วนจะแตกต่างกันออกไปโดยในส่วนของเนื้อที่มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นช่วงต้นอยู่มากกว่าในส่วนอื่น เมื่อสิ้นสุดการทดลองความชื้นในส่วนเนื้อก็ยังคงมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงกว่าในส่วนอื่น ซึ่งต่างจากการทดลองที่ 2 และ 3 จะเห็นว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองความชื้นในส่วนต่างๆ ของผลลำไย จะมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะการทดลองที่ 3 จะพบว่าในชั่วโมงที่ 36 ของการทดลอง รูปที่ 4.7(ค) ความชื้นทั้งสามส่วนจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน คือที่ประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (5.26 - 11.11 %db)



รูปที่ 4.7(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของลำไยอบแห้งแต่ละส่วนกับระยะเวลาในการอบแห้งเมื่อใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.7(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของลำไยอบแห้งแต่ละส่วนกับระยะเวลาในการอบแห้งเมื่อใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



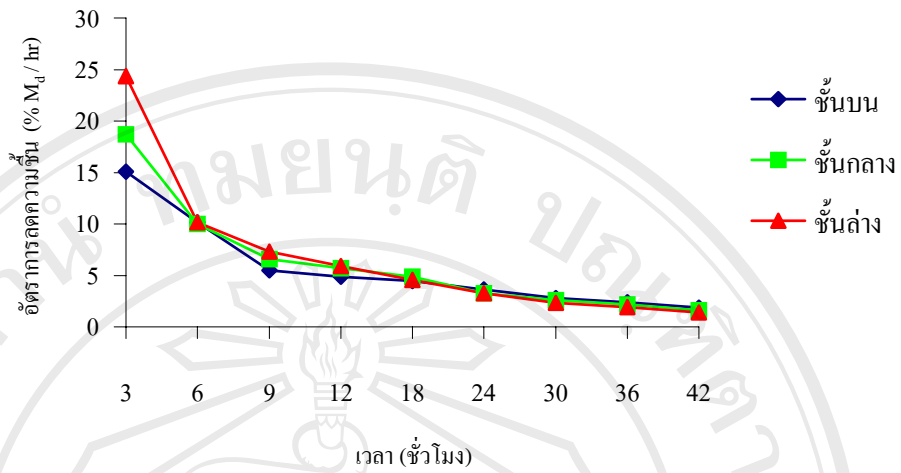
รูปที่ 4.7(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของลำไยอบแห้งแต่ละส่วนกับระยะเวลาในการอบแห้งเมื่อใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

การหาความชื้นแบบแยก ของลำไยอบแห้งทั้ง 3 ส่วนสามารถสรุปได้ดังนี้ จากรูป 4.7(ก) เส้นกราฟความชื้นของเนื้อลำไยเมื่อลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 81.88 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (451.87 %db) เมื่อเทียบกับในส่วนของเปลือก และเมทัลลิก เส้นความชื้นของเนื้อลำไยจะมีการลดลงอย่างต่อเนื่อง และความชื้นสุดท้ายของเนื้อเมื่อลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อยู่ที่ประมาณ 47.02 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (88.75 %db) การทดลองที่สองใช้อุณหภูมิในการลดความชื้น 70 องศาเซลเซียส จากความชื้นของเนื้อเริ่มต้นที่ 81.33 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (435.61 %db) ดังรูป 4.7(ข) การลดลงของความชื้นเนื้อก็ยังมี การลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกันตลอดการทดลอง ในส่วนของการทดลองที่สามลดความชื้นโดยใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ดังรูป 4.7(ค) ซึ่งมีความชื้นของเนื้อเริ่มต้นที่ 80.41 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (410.46 %db) จะมีลักษณะของเส้นกราฟคล้ายกับการลดความชื้นที่ใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แต่จะมีช่วงเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้นเมื่อเทียบกับสองการทดลองแรก อันเนื่องมาจากอากาศที่ใช้ในการลดความชื้นมีอุณหภูมิต่างกันความชื้นสัมพัทธ์จึงต่างกัน ประสิทธิภาพในการรับน้ำที่ระเหยออกมามีผลผลิตไม่เท่ากันความชื้นสุดท้ายของการลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียสคือ 18.15 และ 5.26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (22.17 - 5.55 %db) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเส้นกราฟความชื้นในส่วนเปลือก และเนื้อทั้ง 3 การทดลองนั้นมีแนวโน้มค่อนข้างใกล้เคียงกัน และมีทิศทางไปในทางเดียวกันคือค่าความชื้นเริ่มต้นในส่วนของ เปลือกลำไย คือ 48.83, 53.56 และ 52.96 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (95.43, 115.33, 112.59 %db) ความชื้นสุดท้ายของเปลือก

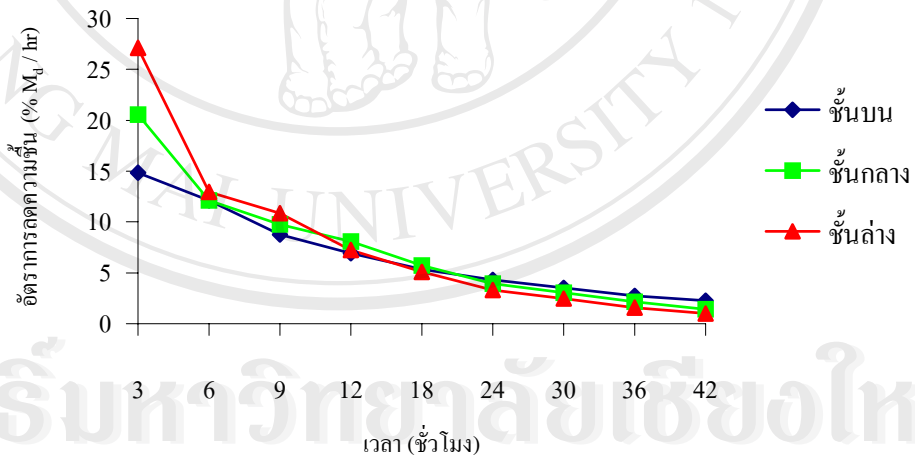
ลำไย คือ 17.37, 9.36 และ 5.10 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (21.02, 10.33, 5.37 %db) จะต่างกันในช่วงท้ายเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ส่วนของเมล็ดนั้นมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ 38.39, 42.62 และ 42.71 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (62.31, 74.28, 74.55 %db) ได้ความชื้นสุดท้ายเมื่อสิ้นสุดการทดลองชั่วโมงที่ 42 อยู่ที่ 27.62, 14.95 และ 5.24 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (38.16, 17.58, 5.53 %db) สรุปได้ว่าเมื่อเริ่มการทดลองพบว่าความชื้นในส่วนของเนื้อจะมีเปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่าในส่วนของเปลือกและเนื้อซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันในช่วงแรก แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ความชื้นในส่วนของเนื้อก็ยังมีเปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่าส่วนของเมล็ดกับเปลือกที่มีความชื้น น้อยกว่าเมื่อเทียบกับส่วนของเมล็ด ใน 2 การทดลองแรกที่ลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ในการทดลองที่ 3 กลับได้ผลที่แตกต่างออกไปจากสองการทดลองแรก คือ ความชื้นสุดท้ายของทั้ง 3 ส่วนจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.26(เนื้อ) 5.10(เปลือก) และ 5.24(เมล็ด) เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (5.55, 5.37, 5.53 %db) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นใกล้เคียงกัน

4.2.2 อัตราการลดความชื้น

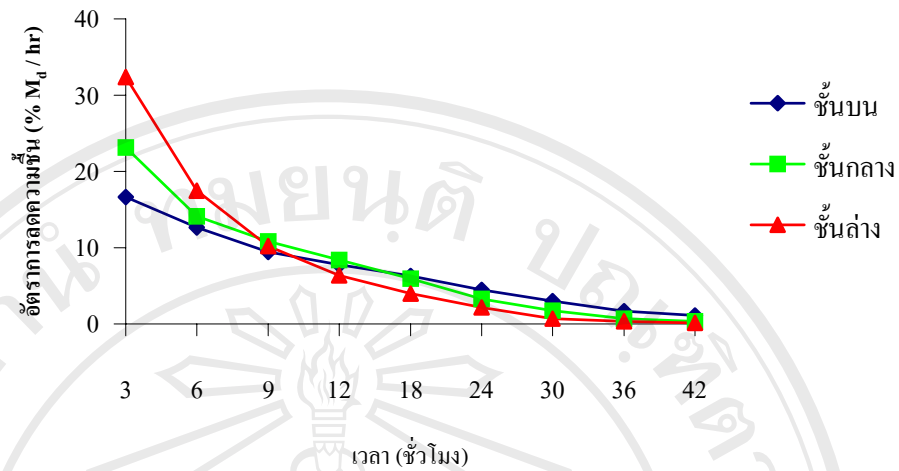
จากรูปที่ 4.8(ก), 4.8(ข) และ 4.8(ค) อัตราการลดความชื้นลำไยทั้งเปลือก ที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ในแต่ละชั้นความหนาจะมีแนวโน้มของอัตราการลดความชื้นไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่การทดลองที่หนึ่ง มีอัตราการลดความชื้นเริ่มต้นในชั้นบนอยู่ที่ 15.08 ชั้นกลาง 18.72 และชั้นล่าง 24.33 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้งต่อชั่วโมง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีอัตราการลดความชื้นอยู่ที่ 1.86, 1.63 และ 1.39 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้งต่อชั่วโมง ตามลำดับ แสดงว่าเมื่อเวลาผ่านไปอัตราการลดความชื้นในชั้นล่างมีค่าลดลง แต่ ชั้นกลางกับชั้นบนยังมีความชื้นอยู่มากกว่าจึงมีอัตราการลดความชื้นที่สูงอยู่เมื่อเทียบกับชั้นล่าง การทดลองที่สองมีอัตราการลดความชื้นเริ่มต้นในชั้นบนอยู่ที่ 14.82 ชั้นกลาง 20.58 และชั้นล่าง 27.11 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้งต่อชั่วโมง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีอัตราการลดความชื้นอยู่ที่ 2.24, 1.39 และ 0.9839 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้งต่อชั่วโมง ตามลำดับเช่นเดียวกับการทดลองแรก ส่วนการทดลองที่สามนั้นมีอัตราการลดความชื้นเริ่มต้นในชั้นบนอยู่ที่ 16.62 ชั้นกลาง 23.16 และชั้นล่าง 32.39 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้งต่อชั่วโมง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีอัตราการลดความชื้นอยู่ที่ 1.11, 0.34 และ 0.14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้งต่อชั่วโมง ตามลำดับเช่นเดียวกับสองการทดลองแรกแต่จะมีค่าค่อนข้างต่ำกว่าสองการทดลองแรก เพราะความชื้นของลำไยเหลือน้อย



รูปที่ 4.8(ก) อัตราการลดความชื้นของลำไยอบแห้งในแต่ละชั้นเมื่อใช้อุณหภูมิจึง 60 องศาเซลเซียส



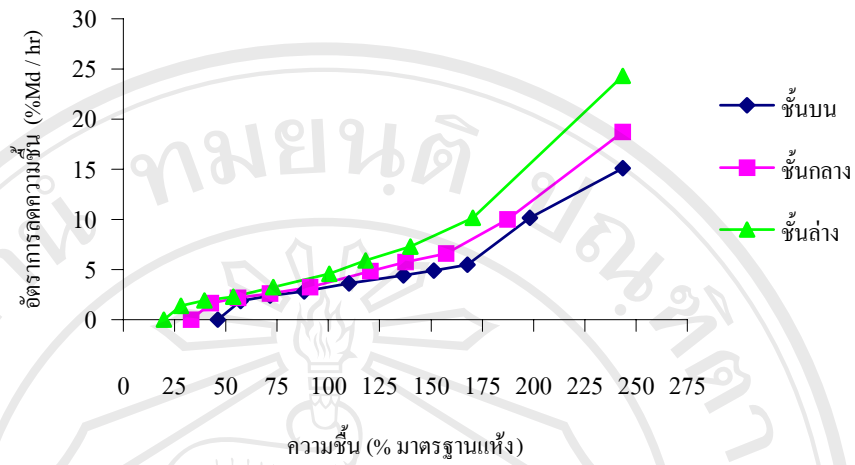
รูปที่ 4.8(ข) อัตราการลดความชื้นของลำไยอบแห้งในแต่ละชั้นเมื่อใช้อุณหภูมิจึง 70 องศาเซลเซียส



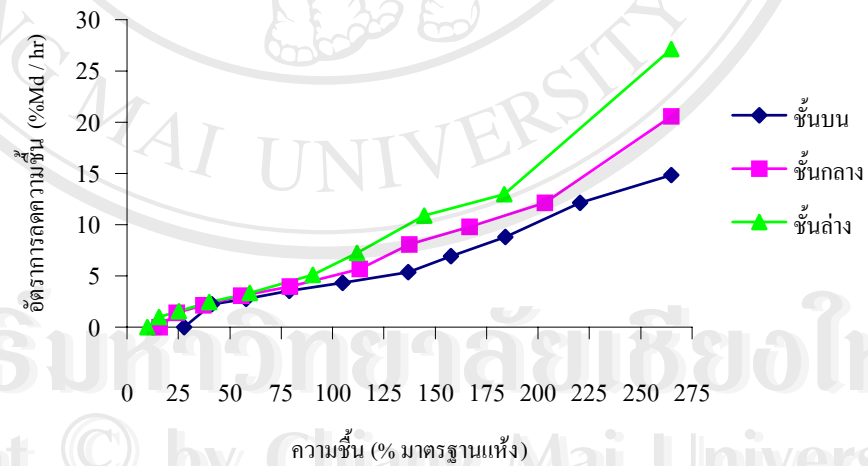
รูปที่ 4.8(ค) อัตราการลดความชื้นของลำไยอบแห้งในแต่ละชั้นเมื่อใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

4.2.3 ความสัมพันธ์ของอัตราการลดความชื้นกับความชื้นของลำไย

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดความชื้นกับความชื้นของการลดความชื้นลำไยแต่ละชั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.9(ก), 4.9(ข) และ 4.9(ค) แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการลดความชื้นกับความชื้นของลำไยอบแห้งในแต่ละชั้น ของแต่ละการทดลอง จากการทดลองพบว่าที่ระดับความชื้นเริ่มต้นของลำไยประมาณ 72 เปอร์เซ็นต์ มาตรฐานเปียก (265 %db) อัตราการลดความชื้นของลำไยชั้นล่างของการทดลอง จะมีอัตราการลดความชื้นที่สูงกว่าในชั้นกลาง และชั้นบน คือ 24.33, 27.11, และ 32.39 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้งต่อชั่วโมง หลังจากนั้นเมื่อความชื้นของลำไยในแต่ละชั้นเริ่มต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (100 %db) ในการทดลองที่ 1 อัตราการลดความชื้นในแต่ละชั้นจะเริ่มใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 และการทดลองที่ 3 เมื่อความชื้นเริ่มต่ำกว่า 45 และ 30 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (81, 42 %db) ตามลำดับ อัตราการลดความชื้นของลำไยในแต่ละชั้นจะมีอัตราการลดความชื้นใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าในทุกๆ ระดับความชื้นที่เท่ากัน ลำไยในแต่ละชั้นจะมีอัตราการลดความชื้นที่แตกต่างกัน ในส่วนล่างที่ได้รับลมร้อนก่อนจะมีอัตราการลดความชื้นที่สูงกว่าในช่วงแรก และเมื่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงการระเหยออกของน้ำในผลิตภัณฑ์ทำได้ยากกว่า จึงทำให้อัตราการลดความชื้นลดลงตาม เมื่อเทียบกับในชั้นกลาง และชั้นบนที่ยังมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่สูงกว่าการระเหยน้ำในผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างต่อเนื่องอัตราการลดความชื้นจึงเพิ่มขึ้นจนมาถึงจุดที่มีความชื้นใกล้เคียงคือในช่วง 50, 45 และ 30 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (100, 80, 50 %db) ตามลำดับ ลำไยในแต่ละชั้นจึงมีอัตราการลดความชื้นใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะในส่วนล่างจะเป็นส่วนที่ได้รับลมร้อนก่อนจะมีการลดลงของความชื้นเร็วกว่าส่วนบน

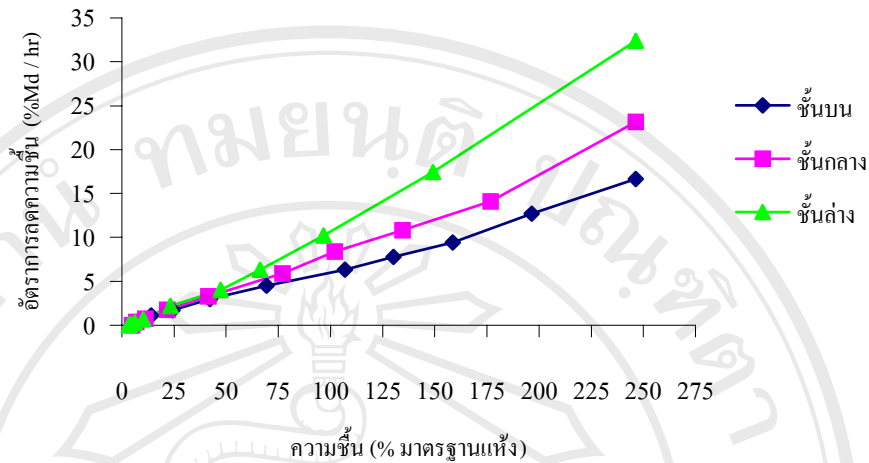


รูปที่ 4.9(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดความชื้นกับความชื้นของลำไยอบแห้งในแต่ละชั้น เมื่อใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.9(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดความชื้นกับความชื้นของลำไยอบแห้งในแต่ละชั้น เมื่อใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

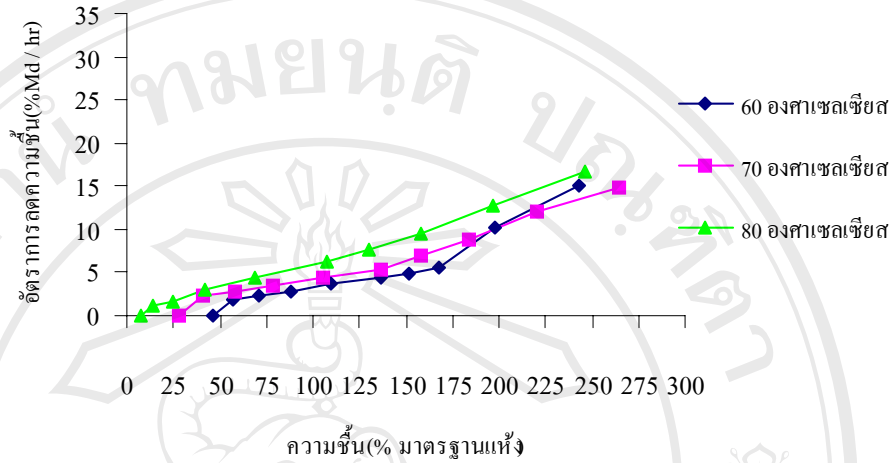
ลิขสิทธิ์บทความวิจัยสงวนลิขสิทธิ์โดย Chiang Mai University
 Copyright © by Chiang Mai University
 All rights reserved



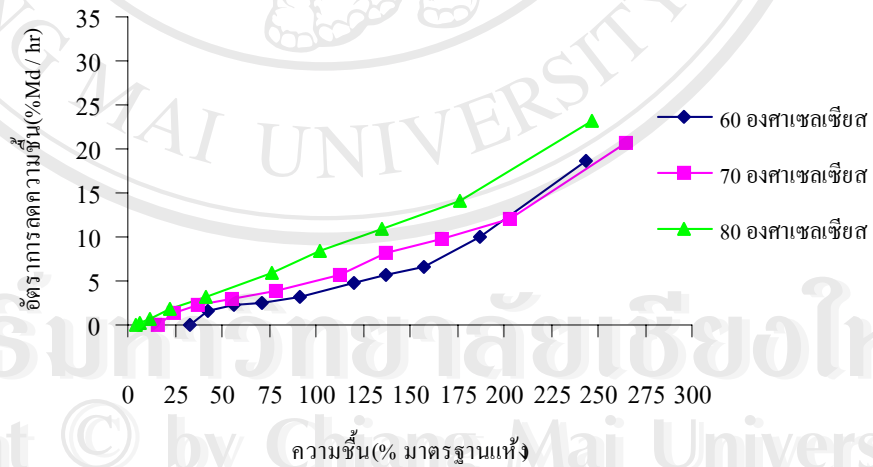
รูปที่ 4.9(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดความชื้นกับความชื้นของลำไยอบแห้งในแต่ละชั้นเมื่อใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

ดังนั้นพอสรุปได้ว่า อัตราการลดความชื้นของลำไยจะมีสูงในช่วงที่ความชื้นในผลิตภัณฑ์สูง และจะลดลงเมื่อความชื้นในผลิตภัณฑ์มีปริมาณที่น้อยลง การที่ในช่วงแรกอัตราการลดความชื้นในชั้นล่างจะสูงกว่าในชั้นกลาง และชั้นบนเป็นเพราะ ลมร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากผลลำไยจะผ่านในส่วนล่างก่อนและเมื่อลมร้อนเคลื่อนที่ผ่านไปยังชั้นที่สูงกว่าประสิทธิภาพการรับน้ำของอากาศจะน้อยลงตามไปด้วยทำให้ความชื้นในผลลำไยของชั้นกลาง และชั้นบนถูกถ่ายเทออกไปอย่างช้าๆ แต่เมื่อลดความชื้นไปได้ระยะหนึ่งลำไยที่สูญเสียความชื้นจะเกิดการหดตัวและเกิดช่องว่างภายในผลลำไยปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ส่วนใหญ่มักจะเป็นน้ำที่อยู่ในเซลล์ไม่ใช่ น้ำอิสระ จึงทำให้อัตราการลดความชื้นในชั้นล่างมีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับชั้นกลาง และชั้นบนที่ยังมีการระเหยน้ำออกไปอย่างต่อเนื่องจึงมีอัตราการลดความชื้นที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชั้นล่าง และเมื่อความชื้นของลำไยถึงจุดหนึ่งก็จะเกิดปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับชั้นล่างเช่นเดียวกันจึงทำให้อัตราการลดความชื้นลดลงเช่นกัน และมีทิศทางไปในแนวเดียวกันในที่สุด

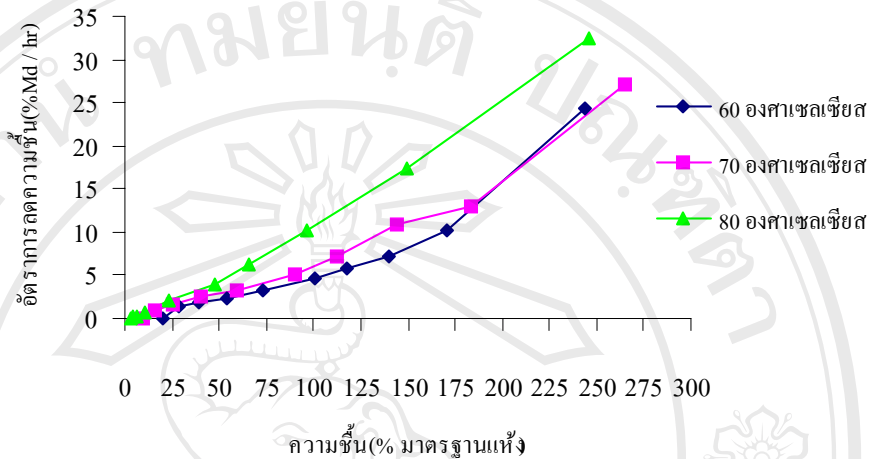
ปัจจัยอีกประการหนึ่งก็คืออุณหภูมิในการลดความชื้นจะมีผลต่อ อัตราการลดความชื้นของลำไยจะสังเกตได้จาก รูปที่ 4.10(ก), 4.10(ข) และ 4.10(ค) ได้เปรียบเทียบอัตราการลดความชื้นในแต่ละชั้นที่ใช้อุณหภูมิในการลดความชื้นที่ต่างกัน การใช้อุณหภูมิในการลดความชื้นที่สูงสามารถดึงความชื้นออกมาจากผลผลิตได้มากกว่า



รูปที่ 4.10(ก) เปรียบเทียบอัตราการลดความชื้นกับความชื้นของลำไยในชั้นบนที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.10(ข) เปรียบเทียบอัตราการลดความชื้นกับความชื้นของลำไยในชั้นกลางที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.10(ค) เปรียบเทียบอัตราการลดความชื้นกับความชื้นของลำไยในชั้นล่างที่อุณหภูมิต่างๆ

รูปที่ 4.10(ก) เมื่อพิจารณาเส้นกราฟจะเห็นถึงความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในชั้นบนเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่เท่ากันในแต่ละช่วง อัตราการลดความชื้นจะแตกต่างกันออกไปอย่างชัดเจน รูปที่ 4.10(ข) คือชั้นกลาง อัตราการลดความชื้นเมื่อใช้อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียสจะมีเส้นกราฟที่ใกล้เคียงกันคืออัตราการลดความชื้น และเปอร์เซ็นต์ความชื้นในแต่ละจุดที่ได้จะใกล้เคียงกันมาก ต่างจากการลดความชื้นที่ใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่มีอัตราการลดความชื้นที่สูงกว่า และมีการลดลงของเปอร์เซ็นต์ความชื้นอย่างต่อเนื่องเส้นกราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง เช่นเดียวกับในชั้นล่าง รูปที่ 4.10(ค) แต่จะมาใกล้เคียงกันในช่วงท้ายที่มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นเหลืออยู่ไม่มากนัก พอสรุปได้ว่าชั้นความหนา และอุณหภูมิที่ต่างกันมีผลต่ออัตราการลดความชื้น และมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นของลำไยที่ได้ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Klongpanich, (1991) และอุมาพร, (2542) ที่กล่าวว่าชั้นความหนามีผลต่ออัตราการลดความชื้นของลำไยโดยที่ชั้นบางจะลดความชื้นได้ดีกว่าชั้นที่หนา

4.3 ผลของอัตราการลดความชื้นต่อปริมาตร

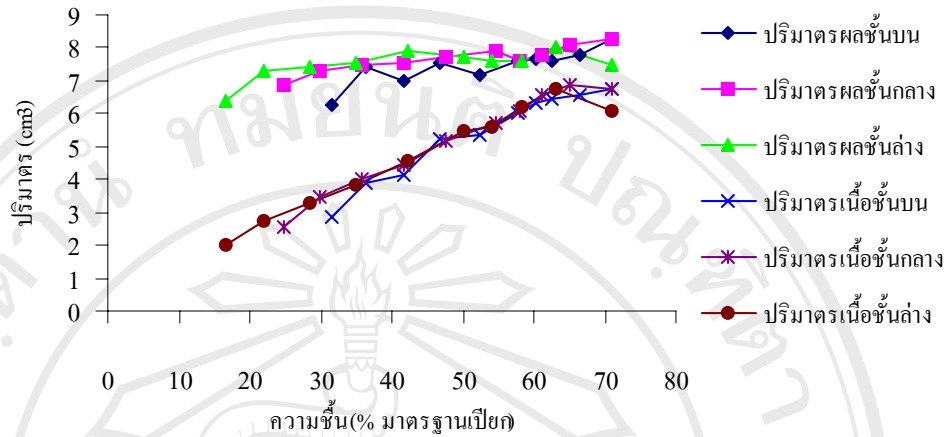
4.3.1 การหัดตัวของผลลำไย และเนื้อลำไย

เมื่อลดความชื้นลำไยทั้งเปลือกด้วยลมร้อนขนาดผลจะเสีกลงเนื่องจากการคลายความชื้น และเปลือกเริ่มแห้งนอกจากนั้นเนื้อลำไยซึ่งอยู่ภายในก็มีการเปลี่ยนแปลง คือจะหัดตัวเข้าหาขั้วผลเมื่อความชื้นลดลงดังตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของผลลำไยที่ชั่วโมงแรกไปจนถึงสิ้นสุดการทดลองในชั่วโมงที่ 42 และปริมาตรของเนื้อลำไยภายในผลโดยใช้อุณหภูมิต่ำในการลดความชื้นที่ 60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.1 ปริมาตรของผลลำไย และปริมาตรเนื้อลำไยแต่ละชั้นเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำในการลดความชื้นที่ 60 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาตร (cm ³)					
	ชั้นบน		ชั้นกลาง		ชั้นล่าง	
	ผลลำไย	เนื้อลำไย	ผลลำไย	เนื้อลำไย	ผลลำไย	เนื้อลำไย
0	8.29±0.44a	6.74±0.51ก	8.30±0.65a	6.77±0.63ก	7.51±0.56b	6.06±0.15ข
3	7.81±0.38a	6.58±0.42ก	8.07±0.49a	6.89±0.46ก	8.03±0.50a	6.76±0.21ก
6	7.61±0.64a	6.43±0.5กข	7.80±0.40a	6.59±0.33ก	7.63±0.41a	6.22±0.47ข
9	7.65±0.60a	6.31±0.53ก	7.61±0.41a	6.06±0.41ก	7.61±0.38a	5.60±0.30ข
12	7.62±0.39a	6.02±0.36ก	7.93±0.27a	5.72±0.29กข	7.70±0.50a	5.46±0.59ข
18	7.19±0.47a	5.38±0.32ก	7.71±0.28b	5.19±0.36ก	7.88±0.32b	4.55±0.60ข
24	7.56±0.27a	5.21±0.35ก	7.53±0.68a	4.46±0.68ข	7.57±0.54a	3.84±0.59ก
30	6.98±0.48a	4.12±0.46ก	7.49±0.37b	4.03±0.66ก	7.41±0.39ab	3.26±0.69ข
36	7.40±0.65a	3.91±0.67ก	7.29±0.43a	3.48±0.41ข	7.28±0.58a	2.72±0.71ค
42	6.26±0.68a	2.87±0.63ก	6.86±0.83a	2.53±0.23ก	6.39±0.47a	2.01±0.36ข
% การเปลี่ยนแปลงจากเริ่มต้น	24.28% ±1.05	57.41% ±1.32	17.34% ±0.41	62.62% ±1.50	14.91% ±0.45	66.83% ±1.62

หมายเหตุ : ตัวเลขในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษ หรือ ภาษาไทยที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของผลลำไย และเนื้อลำไยเทียบกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นเมื่อใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในการลดความชื้น

ผลลำไยทั้งลูกมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากเดิม 24, 17 และ 15 % ในชั้นบน, ชั้นกลาง และชั้นล่างตามลำดับ จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ การหดตัวเฉลี่ยในชั้นบนมีสูงกว่าชั้นกลาง และชั้นล่าง อันเนื่องมาจากปริมาตรเริ่มต้นของผลลำไยในชั้นล่างจะมีค่าเฉลี่ยของขนาดผลที่เล็กกว่าในชั้นกลาง และชั้นบน จึงทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาตรที่น้อยกว่า แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองจะเห็นว่า ปริมาตรสุดท้ายของค่าที่วัดได้จะใกล้เคียงกันทั้งสามชั้น การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของผลลำไยตั้งแต่ชั่วโมงแรกไปจนถึงสิ้นสุดการทดลองจะค่อยๆ หดตัวลงเมื่อเปรียบเทียบแล้วจะมีความแตกต่างกันของปริมาตรผลลำไยในช่วงชั่วโมงแรกกับช่วงชั่วโมงท้ายของการทดลอง ในช่วงกลางของการลดความชื้นจะจัดว่ามีปริมาตรใกล้เคียงกัน คือจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ส่วนเนื้อลำไยในชั้นบน, ชั้นกลาง และชั้นล่างมีการลดลงของปริมาตรถึง 57, 63 และ 67 % ตามลำดับ

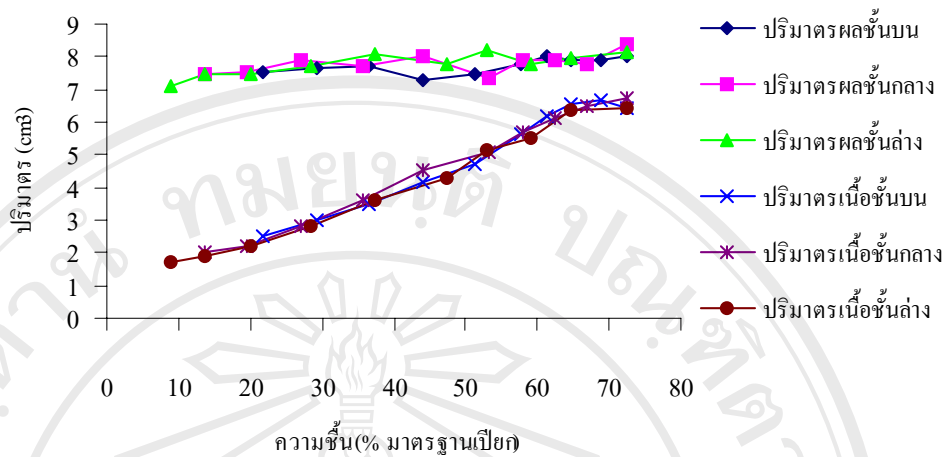
ความชื้น และปริมาตรของผลจะมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดจากรูปที่ 4.11 แสดงการหดตัวเชิงปริมาตรของผลลำไย และเนื้อลำไยที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นต่างๆ เมื่อใช้อุณหภูมิในการลดความชื้นที่ 60 องศาเซลเซียส ผลที่ได้คือปริมาตรผลในช่วงแรกก่อนการลดความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 8.03 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ความชื้นเริ่มต้น 70.89 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (243.52 %db) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในชั่วโมงที่ 42 ปริมาตรของผลลำไยเมื่อผ่านการลดความชื้นจะหดตัวลงเหลือประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรผลสดหรือเฉลี่ยที่ประมาณ 6.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ความชื้นต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (42 %db)

การเปลี่ยนแปลงในส่วนของเนื้อลำไยทั้ง 3 ชั้นในช่วงแรกที่มีความชื้นที่สูงจะยังคงไม่เปลี่ยนแปลงมากนักแนวโน้มของการหดตัวจะยังไม่เกิดขึ้น เมื่อความชื้นลดลงมาถึงที่ประมาณ 61.53 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (160 %db) หลังจากนั้นเส้นกราฟจะเริ่มลดลงอย่างเห็นได้ชัดในทุกชั้นของการทดลอง แสดงว่าเนื้อลำไยได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น และเริ่มคลายความชื้นอย่างรวดเร็วทำให้มีการหดตัวเนื่องจากสูญเสียความชื้นมากขึ้นนอกจากนั้นเส้นกราฟที่ทับกันของทั้งสามชั้นแสดงว่าความแตกต่างของปริมาณเนื้อมีน้อย ถ้าลำไยมีความชื้นเท่ากันแม้ว่าอาจใช้เวลาต่างกันในการลดความชื้นลงมาถึงความชื้นเดียวกัน

ตารางที่ 4.2 ปริมาตรของผลลำไย และปริมาณเนื้อลำไยแต่ละชั้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการลดความชื้นที่ 70 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาตร (cm ³)					
	ชั้นบน		ชั้นกลาง		ชั้นล่าง	
	ผลลำไย	เนื้อลำไย	ผลลำไย	เนื้อลำไย	ผลลำไย	เนื้อลำไย
0	8.05±0.30a	6.42±0.29ก	8.37±0.59a	6.74±0.52ก	8.13±0.66a	6.44±0.62ก
3	7.91±0.40a	6.65±0.44ก	7.79±0.54a	6.47±0.48ก	7.95±0.50a	6.39±0.21ก
6	7.92±0.61a	6.54±0.62ก	7.87±0.52a	6.12±0.41ข	7.79±0.46a	5.51±0.44ก
9	7.99±0.64a	6.19±0.62ก	7.89±0.59a	5.67±0.55ข	8.20±0.32a	5.13±0.68ก
12	7.78±0.68a	5.64±0.57ก	7.33±0.45a	5.07±0.40ข	7.76±0.28a	4.27±0.67ก
18	7.46±0.57a	4.73±0.62ก	8.02±0.27b	4.51±0.49ก	8.06±0.39b	3.59±0.84ข
24	7.30±0.46a	4.14±0.63ก	7.74±0.49a	3.60±0.48ข	7.74±0.70a	2.79±0.84ก
30	7.69±0.53a	3.52±0.78ก	7.92±0.32a	2.81±0.67ข	7.45±0.35b	2.18±0.52ก
36	7.68±0.37a	3.03±0.49ก	7.52±0.50a	2.21±0.60ข	7.44±0.34a	1.87±0.37ข
42	7.55±0.39a	2.53±0.74ก	7.49±0.47a	2.01±0.36ข	7.13±0.47a	1.73±0.25ก
% การเปลี่ยนแปลงจากเริ่มต้น	6.21% ±0.24	60.59% ±1.56	10.51% ±0.30	70.18% ±1.77	12.30% ±0.34	73.14% ±1.82

หมายเหตุ : ตัวเลขในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษ หรือ ภาษาไทยที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของผลลำไย และเนื้อลำไยเทียบกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นเมื่อใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในการลดความชื้น

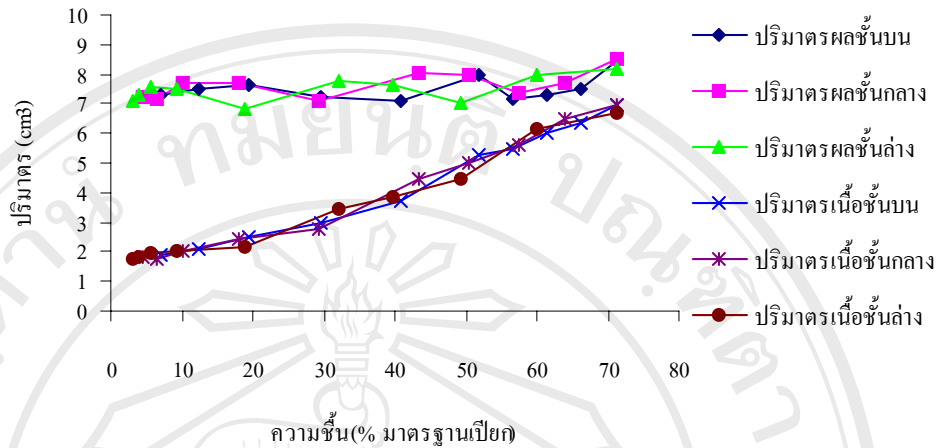
เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการลดความชื้นขึ้นเป็น 70 องศาเซลเซียสการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรของผลลำไยจะเป็นไปอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ต้นจนถึงสิ้นสุดการทดลองจากรูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงจากเริ่มที่มีความชื้น 72.60 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (264.96 %db) ปริมาตรเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 8.18 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะเห็นว่าปริมาตรเริ่มต้นจะใกล้เคียงกับการทดลองแรก จนถึงสิ้นสุดการทดลองจะเหลือปริมาตรเฉลี่ยอยู่ที่ 7.39 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ความชื้นต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (25 %db) และปริมาตรของผลลำไยเมื่อผ่านการลดความชื้นจะหดตัวลงเหลือประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรผลสด (ตารางที่ 4.2) ซึ่งน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงในการทดลองแรกเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการลดความชื้นให้สูงขึ้นในช่วงต้นน้ำในเปลือกลำไยซึ่งได้รับความร้อนก่อนจะระเหยออกไปอย่างรวดเร็วทำให้เปลือกแข็งตัวเร็ว และคงรูปเดิมทำให้ปริมาตรผลไม่ลดลงต่อไปทั้งๆ ที่ความชื้นสุดท้ายมีค่าต่ำกว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของผลลำไยตั้งแต่ชั่วโมงแรกไปจนถึงสิ้นสุดการทดลองจะค่อยๆ หดตัวลง และเมื่อเปรียบเทียบแล้วจะมีความแตกต่างกันของปริมาตรผลลำไยในช่วงชั่วโมงแรกกับช่วงชั่วโมงท้ายของการทดลอง ในช่วงกลางของการลดความชื้นปริมาตรของผลลำไยจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และจัดได้ว่าอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

การหดตัวของเนื้อลำไยช่วงแรกของการลดความชื้นยังไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเช่นเดียวกับการทดลองแรกเนื่องจากเนื้อซึ่งอยู่ภายในยังไม่ได้รับความร้อนเต็มที่จนเมื่อความชื้นเริ่มลดลงมาที่ 63 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (175 %db) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของเนื้อลำไยของทั้งสามชั้นของการลดความชื้น มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว และต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าการลดความชื้นโดยใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นเดียวกัน จากเส้นกราฟของทั้งสามชั้นจะแสดงให้เห็นว่าความหนาที่แตกต่างของทั้งสามชั้น และอัตราการลดความชื้นที่ต่างกันจะไม่มีผลต่อการหดตัวของเนื้อลำไยภายในผล ดังรูปที่ 4.13 ความชื้นที่เท่ากันของลำไยในแต่ละชั้นแสดงการหดตัวของเนื้อลำไยที่ปริมาตรเดียวกันไปจนถึงสิ้นสุดการทดลอง

ตารางที่ 4.3 ปริมาตรของผลลำไย และปริมาตรเนื้อลำไยแต่ละชั้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการลดความชื้นที่ 80 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาตร (cm ³)					
	ชั้นบน		ชั้นกลาง		ชั้นล่าง	
	ผลลำไย	เนื้อลำไย	ผลลำไย	เนื้อลำไย	ผลลำไย	เนื้อลำไย
0	8.43±0.57a	6.98±0.53n	8.48±0.46a	6.95±0.35n	8.15±0.79a	6.66±0.66n
3	7.52±0.87a	6.34±0.84n	7.73±0.49a	6.52±0.38n	7.99±0.56a	6.13±0.57n
6	7.29±0.50a	6.02±0.52n	7.36±0.46a	5.60±0.50n	7.04±0.54a	4.44±0.33n
9	7.17±0.98a	5.48±0.83n	8.00±0.72b	5.02±0.54n	7.64±0.48ab	3.87±0.59n
12	7.99±0.38a	5.29±0.53n	8.07±0.55a	4.44±0.59n	7.75±0.32a	3.43±0.57n
18	7.08±0.80a	3.72±1.03n	7.11±0.73a	2.77±0.68n	6.82±0.43a	2.19±0.39n
24	7.23±0.30a	2.99±0.51n	7.68±0.42b	2.42±0.46n	7.47±0.65ab	2.03±0.47n
30	7.61±0.44a	2.47±0.65n	7.69±0.30a	2.02±0.25n	7.55±0.32a	1.97±0.18n
36	7.47±0.27a	2.07±0.27n	7.18±0.48a	1.73±0.28n	7.33±0.69a	1.83±0.31n
42	7.32±0.33a	1.90±0.11n	7.24±0.32a	1.80±0.16n	7.07±0.22a	1.78±0.22n
% การเปลี่ยนแปลงจากเริ่มต้น	13.17% ±0.42	72.78% ±1.91	14.62% ±0.44	74.10% ±2.02	13.25% ±0.43	73.27% ±1.82

หมายเหตุ : ตัวเลขในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษ หรือ ภาษาไทยที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของผลลำไย และเนื้อลำไยเทียบกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นเมื่อใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสในการลดความชื้น

การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรผลลำไยเมื่อลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 71.13 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (246 %db) มีปริมาตรของผลลำไยประมาณ 8.35 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในช่วงเวลาที่ 42 มีปริมาตรอยู่ที่ประมาณ 7.21 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ตารางที่ 4.3) ที่ความชื้นต่ำกว่า 7 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (7.5 %db) หรือคิดเป็นร้อยละ 86 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรผลสดที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากผ่านการลดความชื้นซึ่งสอดคล้องกับงานของ Aree *et al.* (2000) ซึ่งพบว่าการหดตัวของปริมาตรเนื้อลำไยหลังอบที่ความชื้น 20 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก มีประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองทั้งสามแสดงว่า อุณหภูมิในการลดความชื้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของลำไยทั้งผลไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้ปริมาตรของผลจะขึ้นกับความชื้นเป็นหลัก

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของเนื้อลำไยภายในผลเมื่อลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ก็มีรูปแบบเดียวกันกับสองการทดลองแรกที่ลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส คือในช่วงแรกปริมาตรของเนื้อลำไยภายในผลจะยังคงไม่เปลี่ยนแปลงมากนักจนความชื้นลำไยลดลงต่ำกว่า 64.28 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (180 %db) การเปลี่ยนแปลงจะมีมากขึ้นเห็นได้จากรูปที่ 4.13 เส้นกราฟจะโค้งต่ำลงทั้งสามชั้นไปในแนวเดียวกันเหมือนกับการทดลองแรก โดยจะมีการหดตัวของเนื้อลำไยที่เหมือนกับการลดความชื้นโดยใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส คือที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นเดียวกันการหดตัวของเนื้อลำไยจะเท่ากัน

จากการวิเคราะห์เส้นโค้งการลดลงของปริมาณเนื้อลำไยกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อลำไย (มาตรฐานเปียก) ด้วยวิธีสหสัมพันธ์ จะได้สมการดังนี้

การลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

$$\text{ชั้นบน} \quad y = 1.7715e^{0.0204x} \quad R^2 = 0.9124$$

$$\text{ชั้นกลาง} \quad y = 1.8111e^{0.0205x} \quad R^2 = 0.934$$

$$\text{ชั้นล่าง} \quad y = 1.7121e^{0.0212x} \quad R^2 = 0.917$$

การลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

$$\text{ชั้นบน} \quad y = 1.694e^{0.02x} \quad R^2 = 0.9766$$

$$\text{ชั้นกลาง} \quad y = 1.5626e^{0.0216x} \quad R^2 = 0.9794$$

$$\text{ชั้นล่าง} \quad y = 1.442e^{0.0225x} \quad R^2 = 0.9843$$

การลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

$$\text{ชั้นบน} \quad y = 1.6299e^{0.021x} \quad R^2 = 0.9936$$

$$\text{ชั้นกลาง} \quad y = 1.595e^{0.0217x} \quad R^2 = 0.9901$$

$$\text{ชั้นล่าง} \quad y = 1.6815e^{0.0203x} \quad R^2 = 0.9864$$

โดยค่า y คือ ค่าความชื้นมาตรฐานเปียก

x คือ ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, ชั่วโมง

e คือ ค่า Exponential มีค่าเท่ากับ 2.7183

R^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์

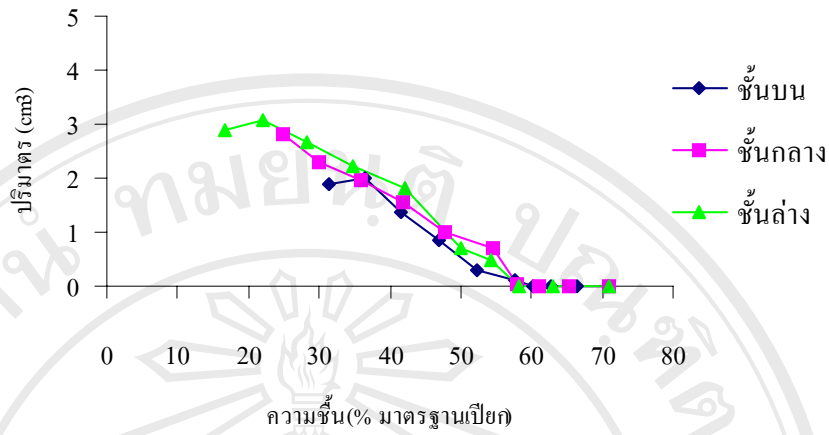
ความสัมพันธ์ของปริมาณเนื้อลำไยกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นมีความสัมพันธ์แบบ Exponential กำลังที่สอง และค่อนข้างใกล้เคียงกันทั้งสามชั้น ในแต่ละอุณหภูมิ

จากการทดลองสรุปได้ว่า อัตราการลดความชื้นที่แตกต่างกันในแต่ละชั้นจะมีผลกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณของผลลำไย และเนื้อลำไยภายในผล ชั้นล่างที่มีอัตราการลดความชื้นที่สูงกว่าในชั้นกลาง และชั้นบน ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงปริมาณของลำไยไม่เท่ากันในแต่ละชั้น โดยที่ชั้นล่างจะหดตัวเร็วกว่าชั้นกลาง และชั้นบน แต่เมื่อความชื้นลดลงจนมีค่าเท่ากับปริมาณของลำไยจะลดลงเท่ากัน ปริมาณผลที่ลดลงเพียงเล็กน้อยเนื่องจาก น้ำที่แทรกตัวอยู่ในชั้นเซลล์ของเปลือกลำไย เมื่อมีการระเหยออกไปจะทำให้ช่องว่างระหว่างเซลล์ลดลง จึงมีผลทำให้ปริมาณของผลลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อ เปรียบเทียบกับปริมาณของเนื้อภายในผลที่มีการลดลงมากกว่า

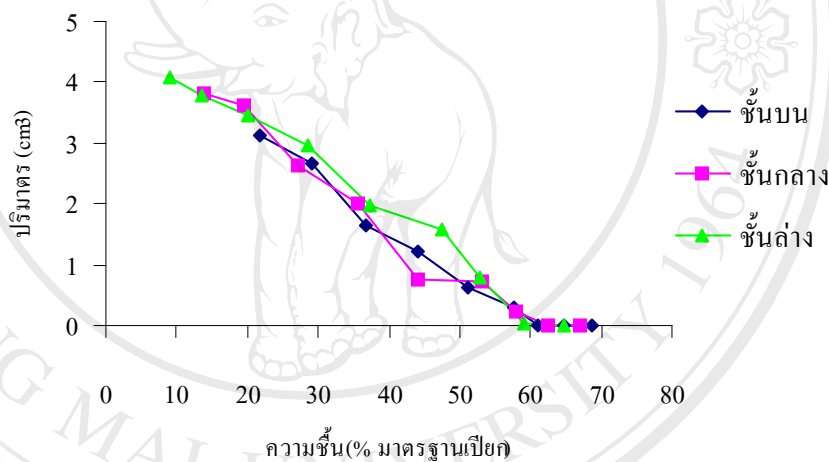
4.3.2 การเกิดช่องว่างภายในผลลำไย

การเกิดช่องว่างภายในผลของลำไยอบแห้งทั้งเปลือกเมื่อทำการลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.14, 4.15, และ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณช่องว่างที่เกิดขึ้นภายในผลลำไยของการลดความชื้นในแต่ละชั้นที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นต่างๆ

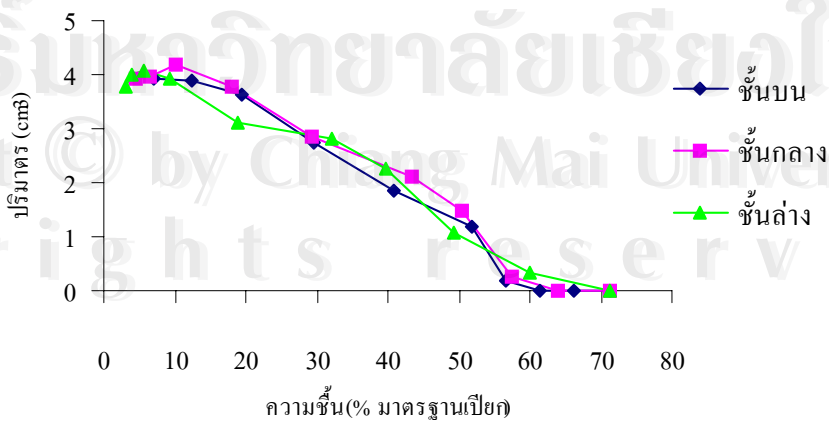
การเกิดช่องว่างภายในผลของลำไยอบแห้งทั้งเปลือกเมื่อทำการลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นั้นเมื่อทำการลดความชื้นในช่วงแรกการหดตัวของเนื้อลำไยภายในผลจะยังไม่เกิดขึ้นจนถึงชั่วโมงที่ 9 ของการทดลอง ความชื้นของลำไยในชั้นล่าง และชั้นกลางจะลดลงอยู่ที่ประมาณ 58 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (140 %db) ก็จะเริ่มเกิดช่องว่างภายในผลเกิดขึ้น ซึ่งจะอยู่ในช่วงเดียวกับการที่เนื้อลำไยเริ่มหดตัวดังรูปที่ 4.11 หลังจากนั้นจะเริ่มเกิดช่องว่างภายในผลกับทุกชั้นของการลดความชื้นดังรูปที่ 4.14, 4.15 และ 4.16 หลังจากนั้นการเกิดช่องว่างภายในผลลำไยจะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นไปจนถึงชั่วโมงที่ 42 พบว่าความชื้นสุดท้ายของลำไยในแต่ละชั้นจะอยู่ที่ 31.50, 24.78 และ 16.55 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (45.99, 32.94, 19.83 %db) ตามลำดับจะเกิดช่องว่างภายในผลลำไยคือ 1.88, 2.82 และ 2.88 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในชั้นบน, ชั้นกลาง และชั้นล่าง ตามลำดับ และจะยังคงมีแนวโน้มของการเกิดช่องว่างภายในผลขึ้นอีกถ้าทำการลดความชื้นต่อเนื่องจากเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ยังคงมีอยู่ในเนื้อลำไยของแต่ละชั้น ส่วนการลดความชื้นโดยใช้อุณหภูมิที่ 70 และ 80 องศาเซลเซียส จะเกิดช่องว่างภายในผลลำไยใกล้เคียงกัน คือในช่วงชั่วโมงที่ 3 คือเกิดในชั้นล่าง และจะเกิดขึ้นในชั้นกลาง และชั้นบน ในชั่วโมงที่ 6 ซึ่งความชื้นจะอยู่ในช่วง 60 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (150 %db) หลังจากนั้นจะเกิดช่องว่างภายในผลลำไยของทุกชั้น การลดความชื้นในช่วงท้ายของการทดลอง (ในชั่วโมงที่ 36 ไปจนถึงชั่วโมงที่ 42) โดยใช้อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ช่องว่างภายในผลของลำไยจะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ลักษณะของเนื้อลำไยมีลักษณะที่แห้งแข็งติดกับเมล็ด การระเหยน้ำออกในช่วงที่มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่ำทำได้ยากจึงทำให้การลดความชื้นแทบจะไม่เกิดขึ้นเลยในช่วงท้าย จากการทดลองพบว่า การหดตัวของเนื้อลำไยเกิดขึ้นพร้อมกับที่เปลือกนอกของลำไยเริ่มอ่อนนุ่ม เนื่องจากความร้อนและความชื้นที่ผิวสูง(ประมาณชั่วโมงที่ 6 ถึงชั่วโมงที่ 9 ของการลดความชื้น) จากการทดสอบแรงกดของผลลำไยในช่วงนี้พบว่าใช้แรงเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้เปลือกลำไยบอบได้ ดังนั้นการเกิดช่องว่างภายในผลพร้อมๆ กับการได้รับน้ำหนักกดทับน่าจะเป็นสาเหตุสำคัญ ของการบอบ ซึ่งจะได้กล่าวโดยละเอียดต่อไป



รูปที่ 4.14 ปริมาตรช่องว่างภายในผลล้าโยที่ใช้อุณหภูมิจึง 60 องศาเซลเซียสในการลดความชื้น



รูปที่ 4.15 ปริมาตรช่องว่างภายในผลล้าโยที่ใช้อุณหภูมิจึง 70 องศาเซลเซียสในการลดความชื้น



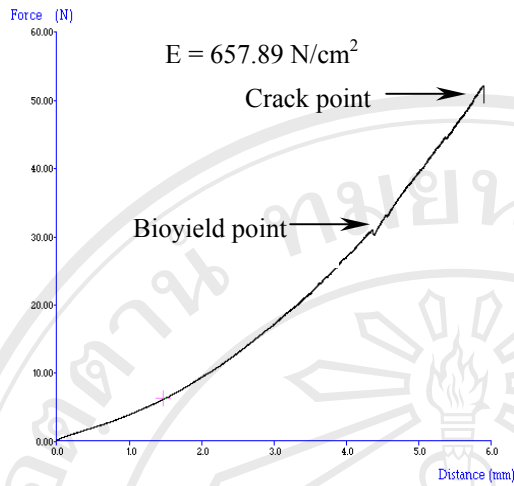
รูปที่ 4.16 ปริมาตรช่องว่างภายในผลล้าโยที่ใช้อุณหภูมิจึง 80 องศาเซลเซียสในการลดความชื้น

4.4 ความแข็งแรงของเปลือกลำไย

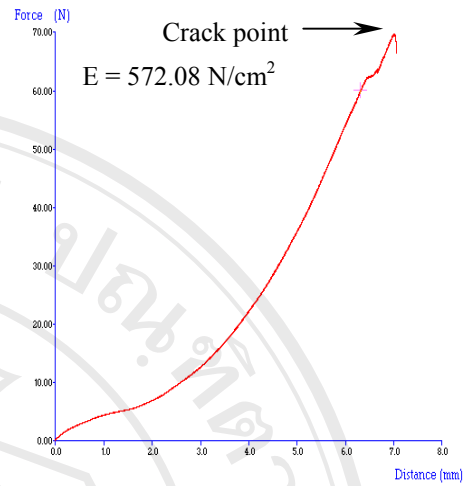
ในการทดสอบความแข็งแรงของเปลือกลำไย ทั้งสองตำแหน่งที่พบปัญหาเกิดขึ้นกับลำไย ออบแห้งมากที่สุด คือ ในตำแหน่งบนที่เยื้องถัดออกไปจากขั้วผล ที่พบว่าเกิดการแตกขึ้นเป็นประจำ และตำแหน่งด้านล่างของผล ที่พบการบุบตัวเกิดขึ้น จากการทดลองสามารถแบ่งสภาพเปลือกออกได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงสภาพเปลือกปกติ (ยังไม่เกิดโพรงภายในผล) สภาพเปลือกอ่อนนุ่ม (นับตั้งแต่เริ่มเกิดโพรงไปจนเปลือกเริ่มแข็งตัวซึ่งความชื้นลำไยจะอยู่ที่ประมาณ 60-33 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก หรือ 150-50 %db) และสภาพเปลือกแข็ง (คือความชื้นต่ำกว่า 33 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก หรือ 50 %db)

จากการใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในการลดความชื้นพบว่า ความแข็งแรงของเปลือกลำไยในช่วง 6 ชั่วโมงแรก ความชื้นของลำไยอยู่ในช่วง 70.89 ถึง 58.35 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (243.52 – 140.07 %db) แรงกดที่จะทำให้ผลลำไยแตกอยู่ที่ประมาณ 50 นิวตัน ในตำแหน่งบน ส่วนตำแหน่งล่างเฉลี่ยที่ 67 นิวตัน (ตารางที่ 4.4) ในช่วงต้นเนื้อลำไยภายในผลจะยังไม่มีกรหดตัว เมื่อมีแรงกดจะทำให้เนื้อลำไยถูกกดให้ดันออกด้านข้าง เมื่อมีแรงมากพอ ก็จะดันให้เปลือกของลำไยเกิดการฉีกขาด ระยะทางที่เครื่องทดสอบเคลื่อนที่นับจากสัมผัสผิวเปลือกของลำไยจนทำให้เปลือกลำไยแตกมีระยะทางเฉลี่ยอยู่ที่ 6 มิลลิเมตร ซึ่งระยะการยุบตัวดังกล่าวยังไม่ถึงเมล็ด ในชั่วโมงที่ 9 เริ่มมีความเปลี่ยนแปลงให้เห็นเกิดขึ้นเมื่อความชื้นต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (150 %db) จะเริ่มเกิดโพรงขึ้นทางด้านล่างของผลลำไยดังรูปที่ 4.14, 4.15 และ 4.16 เมื่อมีแรงกดก็จะทำให้เปลือกลำไยเกิดการยุบตัว แต่ในช่วงนี้เปลือกของลำไยจะไม่แตกเนื่องจากเปลือกยังอ่อนนุ่ม และมีความยืดหยุ่นสูง การที่เกิดช่องว่างขึ้นภายในผลลำไย ทำให้ไม่มีแรงดันจากเนื้อลำไยภายในจึงทำให้เปลือกลำไยยุบตัวลงได้ง่าย เมื่อมีแรงมากกดทับเพียงไม่กี่นิวตัน (ประมาณ 2 นิวตัน) จึงดูเหมือนว่าเปลือกลำไยเกิดการอ่อนตัวลงดังรูปที่ 4.17 (ค - ง) หลังจากนั้นพอเริ่มเข้าชั่วโมงที่ 36 คือในช่วงความชื้นต่ำกว่า 33 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (50 %Md) ลงมาเปลือกของลำไยก็จะเริ่มแข็งตัวเนื่องจากการสูญเสียน้ำไปมาก เมื่อคำนวณช่วงที่ถือว่าเปลือกลำไยอ่อนตัว และเกิดการบุบได้ง่ายจะพบว่ามีช่วงเวลาจากชั่วโมงที่ 9 ถึงชั่วโมงที่ 36 หรือเท่ากับ 27 ชั่วโมง (รูปที่ 4.18, 4.19)

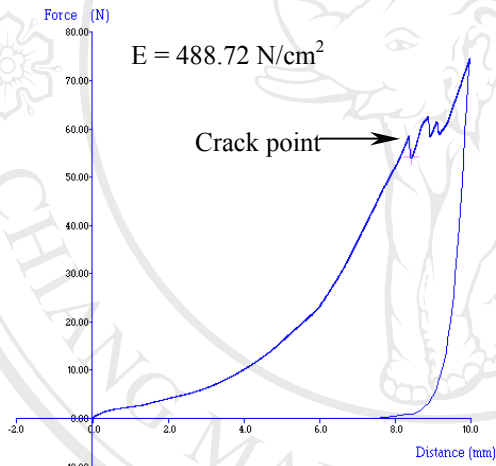
การลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสถือว่าต่ำมากในการทำลำไยอบแห้งทั้งเปลือก ต้องใช้ระยะเวลาจนถึงจะได้ความชื้นตามมาตรฐาน ผลที่ได้คือในช่วงท้ายของการทดลอง เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่มีอยู่ในผลลำไยยังสูงอยู่การแข็งตัวของเปลือกลำไยที่ลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จึงเป็นไปอย่างช้าๆ และการแข็งตัวของเปลือกลำไยในชั้นบนจึงยังแข็งตัวไม่เต็มที่เพราะความชื้นยังสูงอยู่



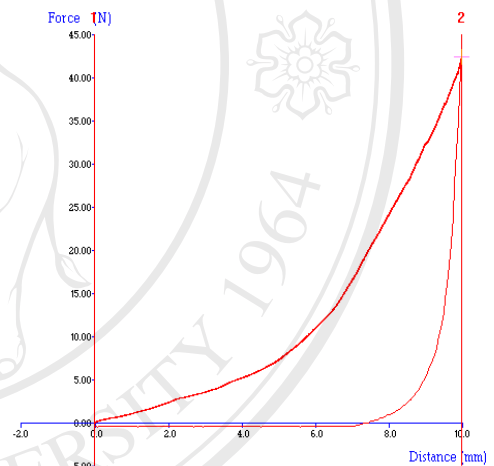
(น) 72.22 %(wb) หรือ 260 %(db)



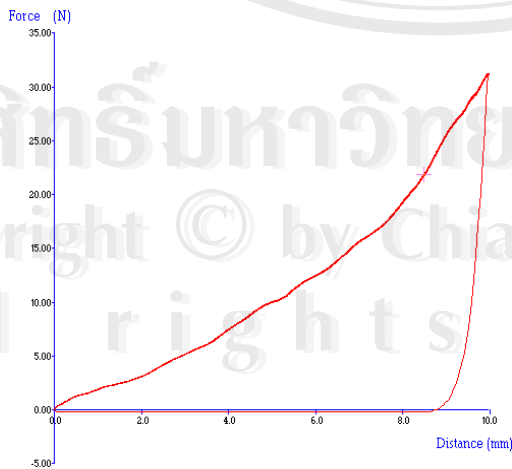
(ข) 66.66 %(wb) หรือ 200 %(db)



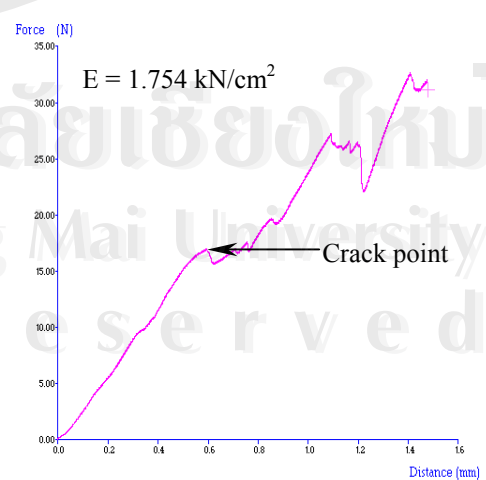
(ค) 60 %(wb) หรือ 150 %(db)



(ง) 50 %(db) หรือ 100 %(wb)



(จ) 33.33 %(wb) หรือ 50 %(db)



(ข) 20 %(wb) หรือ 25 %(db)

รูปที่ 4.17 กราฟแรงกดที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นต่างๆ ที่เปลือกกล้วยสามารถรับได้สูงสุด

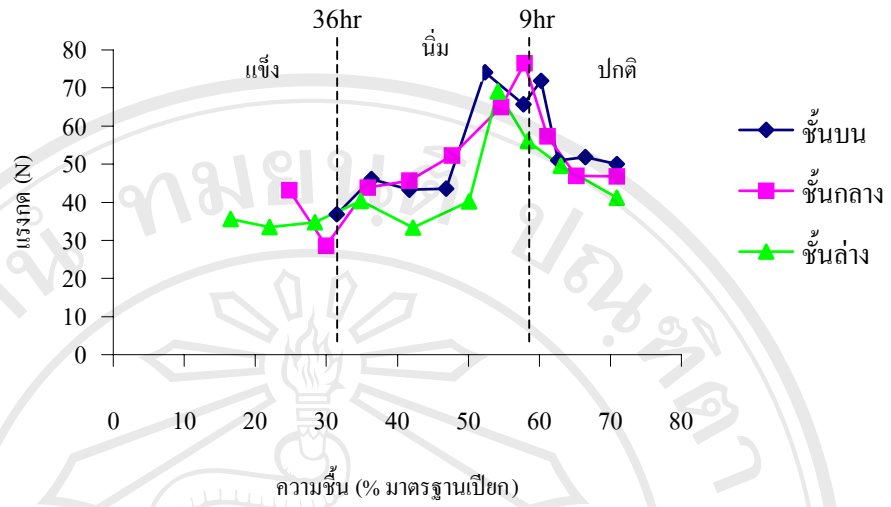
ตารางที่ 4.4 แรงกดสูงสุดจนทำให้ผลลำไยแตกเมื่อลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา (hr)	ตำแหน่งบนผล (N) (% Md)			ตำแหน่งล่างผล (N) (% Md)		
	ชั้นบน	ชั้นกลาง	ชั้นล่าง	ชั้นบน	ชั้นกลาง	ชั้นล่าง
0	50±4.4a (243.53)	46.7±9.5a (243.52)	41.2±1.7a (243.52)	64.6±14.7ก (243.53)	69.7±16.2ก (243.52)	71.4±28.2ก (243.52)
3	51.8±10.2a (198.27)	46.9±15.6a (187.34)	49.6±17.3a (170.53)	56.6±13.4ก (198.27)	59.4±13.1ก (187.34)	60.6±10.5ก (170.53)
6	51±12.4a (167.76)	57.3±6a (157.28)	56±20.1a (140.07)	63.4±15.5ก (167.76)	75.4±17.4กข (157.28)	81.7±18.5ข (140.07)
9	71.9±15.7a (151.31)	76.5±13.2a (137.53)	69±18.5a (118.19)	82.6±17.5ก (151.31)	88.4±30.7ก (137.53)	67.4±19.9ก (118.19)
12	65.7±11.2a (136.71)	65±12.2a (120.36)	40.2±21.1b (100.45)	78.1±37.1ก (136.71)	62.2±17.1ก (120.36)	65.8±28.6ก (100.45)
18	74.0±14.1a (110.04)	52.2±17.5b (91.15)	33.2±17.5c (73.07)	72.6±28.4ก (110.04)	83.8±29ก (91.15)	47.1±20.8ข (73.07)
24	43.6±21.7a (88.29)	45.6±16.1a (71.52)	40.3±23.7a (53.56)	56.2±24.5กข (88.29)	71±30.2ก (71.52)	44.6±17.5ข (53.56)
30	43.2±19.2a (71.46)	43.9±21.7a (55.86)	34.7±16.7a (39.66)	78.5±39.5ก (71.46)	65.2±27.4ก (55.86)	71.4±29.2ก (39.66)
36	46±23.6a (57.16)	28.6±8.9b (42.73)	33.4±14.1ab (28.20)	58.9±34.3ก (57.16)	61.9±15.9ก (42.73)	51.3±23.6ก (28.20)
42	36.8±12a (45.99)	43.1±23.7a (32.94)	35.5±7.7a (19.83)	64.4±28.7ก (45.99)	43.3±16.8ข (32.94)	45.3±17.9กข (19.83)
เฉลี่ย	53.03	50.55	43.84	68.03	67.94	60.43

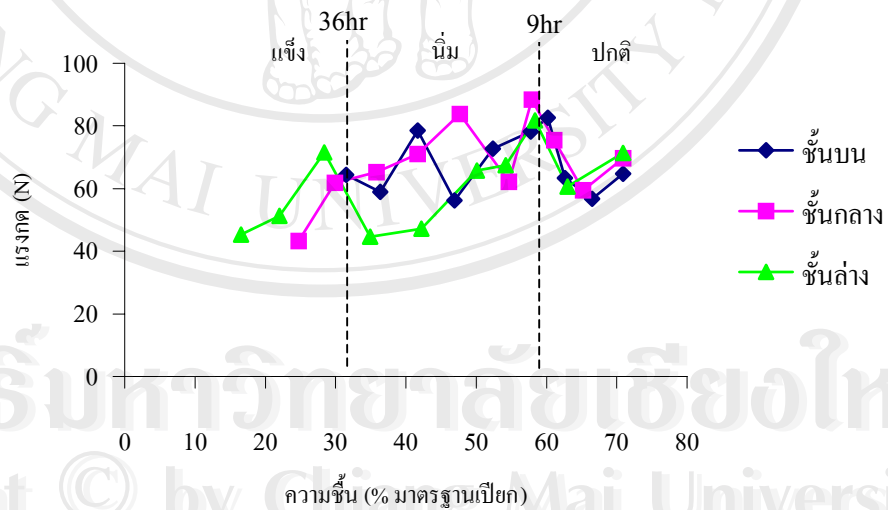
หมายเหตุ : ตัวเลขในแนวอนที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

เวลา (ชั่วโมง)	ตำแหน่งบนผล (N)			ตำแหน่งล่างผล (N)		
	ชั้นบน	ชั้นกลาง	ชั้นล่าง	ชั้นบน	ชั้นกลาง	ชั้นล่าง
0	50.06 b	46.73 cd	41.25 cd	64.67 ab	69.73 abc	71.46 ab
3	51.84 b	46.98 cd	49.65 bc	56.68 b	59.41 cd	60.63 bcd
6	51.03 b	57.31 bc	56.02 ab	63.42 ab	75.42 abc	81.70 a
9	71.92 a	76.54 a	69.07 a	82.65 a	88.40 a	67.46 abc
12	65.75 a	65.02 ab	40.21 cd	78.17 ab	62.22 bcd	65.83 abc
18	74.06 a	52.29 bcd	33.29 d	72.67 ab	83.88 ab	47.18 d
24	43.60 bc	45.65 cd	40.39 cd	56.24 b	71.02 abc	44.69 d
30	43.26 bc	43.90 d	34.73 cd	78.53 ab	65.25 bc	71.49 ab
36	46.07 bc	28.62 e	33.45 d	58.92 ab	61.90 cd	51.30 cd
42	36.80 c	43.13 d	35.59 cd	64.42 ab	43.30 d	45.38 d
เฉลี่ย	53.03±12.78	50.55±13.19	43.84±11.64	68.03±9.68	67.94±12.90	60.43±12.94

หมายเหตุ : ตัวเลขในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 4.18 แรงกดสูงสุดและการเปลี่ยนแปลงสภาพของเปลือกจากนุ่มเป็นแข็งที่ตำแหน่งบนของผลโดยใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในการลดความชื้น



รูปที่ 4.19 แรงกดสูงสุดและการเปลี่ยนแปลงสภาพของเปลือกจากนุ่มเป็นแข็งที่ตำแหน่งล่างของผลโดยใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในการลดความชื้น

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการลดความชื้นให้สูงขึ้นเป็น 70 องศาเซลเซียส ในช่วงแรกต้องใช้แรงที่จะทำให้ผลลำไยแตกอยู่ที่ประมาณ 45 นิวตันในตำแหน่งบน ส่วนตำแหน่งล่างเฉลี่ยที่ 65 นิวตัน (ตารางที่ 4.5) จากรูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.21 ความเปลี่ยนแปลงของปริมาตรเนื้อลำไยจะเริ่มในช่วงชั่วโมงที่ 6 กับชั้นล่างก่อน เมื่อความชื้นเริ่มลดลงต่ำกว่า 62.96 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (170 %db) เนื้อของลำไยภายในผลก็จะเริ่มหดตัวลงทำให้เริ่มที่จะเกิดช่องว่างภายในผลลำไยขึ้น เมื่อทดลองหาแรงกดผลปรากฏว่าเปลือกลำไยก็จะยุบตัวลง และไม่แตกเช่นเดียวกับการทดลองแรก หลังจากนั้นในชั่วโมงที่ 9 ก็เกิดโพรงขึ้นกับทุกชั้นของการทดลองเป็นเช่นนี้ไปจนกระทั่งชั่วโมงที่ 30 พบว่าเมื่อนำตัวอย่างของทั้งสามชั้นมาวัดแรงกดผลปรากฏว่าลำไยในชั้นล่างเริ่มที่จะมีการแข็งตัวของเปลือกเกิดขึ้นแล้วดังรูปที่ 4.17 (จ) หลังจากนั้นการแข็งตัวของเปลือกลำไยจะเริ่มเกิดกับลำไยในชั้นกลาง และชั้นบนตามมาในชั่วโมงที่ 36 และพบในทุกชั้นที่ชั่วโมงที่ 42 จากข้อมูลที่ได้จะพบว่า การแข็งตัวของเปลือกลำไยจนขาดความยืดหยุ่นเกิดเมื่อความชื้นต่ำกว่า 33 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (50 %db)

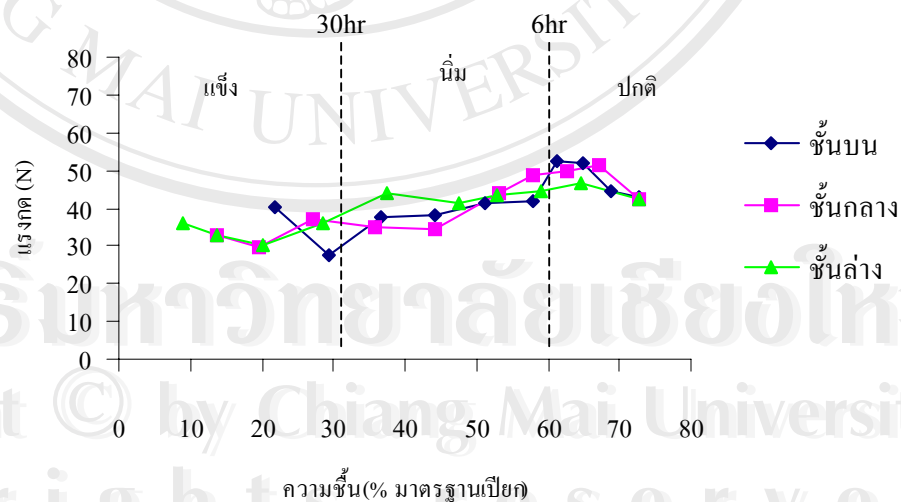
ตารางที่ 4.5 แรงกดสูงสุดจนทำให้ผลลำไยแตกเมื่อลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เวลา (hr)	ตำแหน่งบนผล (N) (% Md)			ตำแหน่งล่างผล (N) (% Md)		
	ชั้นบน	ชั้นกลาง	ชั้นล่าง	ชั้นบน	ชั้นกลาง	ชั้นล่าง
0	43±8.2a (264.96)	42.4±8.5a (264.96)	42.2±16.8a (264.96)	82.7±27.2n (264.96)	67.8±19.1n (264.96)	61.2±4.9n (264.96)
3	44.4±13.9a (220.49)	51.6±8.9a (203.21)	46.6±11.2a (183.63)	60.3±17.3n (220.49)	66±12.2n (203.21)	54.6±13.4n (183.63)
6	51.8±6.5a (184.07)	49.8±8.9a (166.83)	44.6±16.1a (144.69)	66.8±9n (184.07)	69.4±9.1n (166.83)	80.8±22.2n (144.69)
9	52.5±11.4a (157.73)	48.7±13.6a (137.49)	43.4±14.5a (112.05)	82.8±22.1n (157.73)	79.5±16.1n (137.49)	71.2±20.6n (112.05)
12	42±14.1a (136.95)	44±12.3a (113.24)	41.1±20.4a (90.32)	83.9±14.8n (136.95)	55.8±12.2n (113.24)	57±24.4n (90.32)
18	41.3±12.9a (104.87)	34.1±10.8a (79.09)	43.7±18.8a (59.78)	53.6±25.7n (104.87)	47±22.2n (79.09)	44±15.7n (59.78)
24	38.3±12.2a (79.03)	35.1±19.4a (55.45)	35.9±21.5a (39.86)	71.4±30.3n (79.03)	57.9±23.2n (55.45)	50.1±23.4n (39.86)
30	37.8±19.4a (57.86)	36.8±19.1a (37.08)	29.9±6.8a (25.21)	51.6±27.9n (57.86)	45.4±22.1n (37.08)	36.4±23.1n (25.21)
36	27.3±8.3a (41.31)	29.7±11.6a (24.24)	33±9.7a (15.70)	43±17.8n (41.31)	37.7±17.3n (24.24)	39.5±8.3n (15.70)
42	40±8.5a (27.84)	32.8±16.3a (15.90)	36.2±15.6a (9.81)	39.6±13.8n (27.84)	30.1±9.1n (15.90)	26.1±4.2n (9.81)
เฉลี่ย	41.83	40.57	39.75	62.39	56.00	53.07

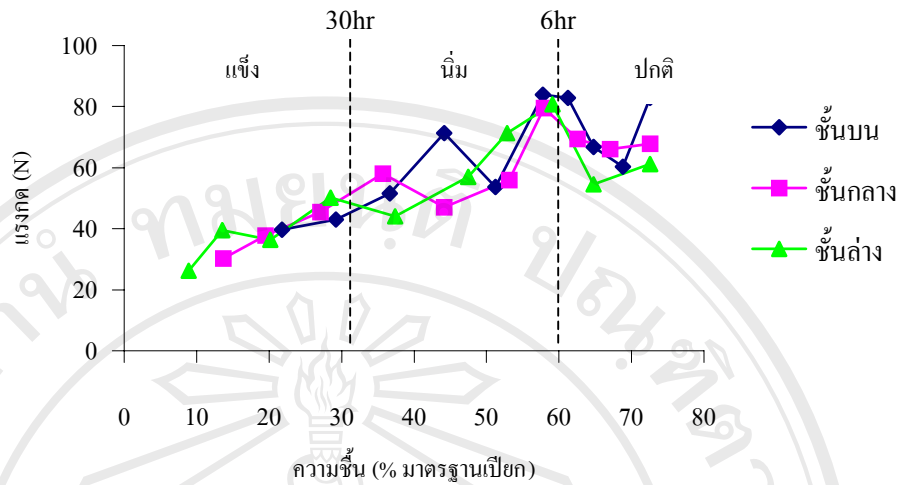
หมายเหตุ : ตัวเลขในแนวอนที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

เวลา (ชั่วโมง)	ตำแหน่งบนผล (N)			ตำแหน่งล่างผล (N)		
	ชั้นบน	ชั้นกลาง	ชั้นล่าง	ชั้นบน	ชั้นกลาง	ชั้นล่าง
0	43.09 ab	42.45 abc	42.28 ab	82.78 a	67.86 ab	61.22 b
3	44.41 ab	51.64 a	46.69 a	60.32 bcd	66.03 ab	54.63 cd
6	51.87 a	49.89 a	44.68 a	66.82 abc	69.41 ab	80.81 a
9	52.51 a	48.78 ab	43.48 ab	82.80 a	79.55 a	71.25 ab
12	42.02 ab	44.00 abc	41.12 ab	83.97 a	55.88 bc	57.04 bc
18	41.31 ab	34.19 cd	43.75 ab	53.67 bcde	47.06 cd	44.07 cde
24	38.33 ab	35.13 cd	35.97 ab	71.40 ab	57.99 bc	50.16 cde
30	37.85 bc	36.88 bcd	29.98 b	51.62 cde	45.47 cde	36.40 ef
36	27.33 c	29.72 d	33.02 ab	43.04 de	37.76 de	39.59 def
42	40.08 b	32.89 cd	36.20 ab	39.62 e	30.19 e	26.14 f
เฉลี่ย	41.83±7.19	40.57±7.84	39.75±5.56	62.39±16.58	56.00±15.52	53.07±16.50

หมายเหตุ : ตัวเลขในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 4.20 แรงกดสูงสุดและการเปลี่ยนสภาพของเปลือกจากนิ่มเป็นแข็งที่ตำแหน่งบนของผลโดยใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสในการลดความชื้น



รูปที่ 4.21 แรงกดสูงสุดและการเปลี่ยนสภาพของเปลือกจากนึ่งเป็นแข็งที่ตำแหน่งล่างของผลโดยใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสในการลดความชื้น

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการลดความชื้นเพิ่มขึ้นไปอีกเป็น 80 องศาเซลเซียส ที่ใช้กันทั่วไปในการทำให้ผลไม้แห้งแบบทั้งเปลือกนั้น รูปแบบของการเกิดการแตก และบุบตัวของเปลือกกล้วยจะคล้ายกับการลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในช่วงแรกของการทดลองต้องใช้แรงที่จะทำให้เปลือกกล้วยแตกอยู่ที่ประมาณ 48 นิวตันในตำแหน่งบน ส่วนตำแหน่งล่างเฉลี่ยที่ 55 นิวตัน (ตารางที่ 4.6) จากรูปที่ 4.22 และ 4.23 ในช่วงเวลาที่ 3 ของการทดลองเปลือกของกล้วยในชั้นล่างจะเริ่มนิ่มและเริ่มเกิดโพรงขึ้นเร็วกว่าสองการทดลองแรก เมื่อความชื้นเริ่มลดลงต่ำกว่า 63.63 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปลือก (175 %db) การหดตัวของเนื้อกล้วยภายในผลจะเริ่มเกิดขึ้นซึ่งจะเกิดกับชั้นล่าง และจะเกิดกับกล้วยในชั้นกลาง และชั้นบนในช่วงเวลาที่ 6 ของการลดความชื้น และเมื่อความชื้นของกล้วยอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 33 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปลือก (50 %db) การที่มีปริมาณน้ำของกล้วยลดน้อยลงการเคลื่อนที่ของน้ำภายในผลต้องเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ซึ่งจะเป็นไปได้ช้ามากจนน้ำเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่เพียงพอเปลือกของกล้วยจึงแห้ง และแข็ง การใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสในการลดความชื้น จากการทดสอบแรงกดในช่วงเวลาที่ 24 พบว่าเปลือกของกล้วยในชั้นล่าง และชั้นกลางเริ่มมีการแข็งตัว นั่นแสดงว่าเปลือกของกล้วยในชั้นล่างก็จะเริ่มแข็งตัวก่อนการสุ่มตัวอย่างในช่วงเวลาที่ 24 นั่นเอง เมื่อคำนวณช่วงเวลาการแข็งตัวของเปลือกกล้วยจากช่วงเปอร์เซ็นต์ความชื้นจะพบว่าอยู่ในช่วงชั่วโมงที่ 3 ไปจนเปลือกกล้วยเริ่มแข็งตัวในช่วงเวลาที่ 24 จะพบว่าใช้เวลา 18-24 ชั่วโมงโดยประมาณ (การแข็งตัวของเปลือกกล้วยในชั้นล่างเกิดขึ้นก่อนการสุ่มตัวอย่างในช่วงเวลาที่ 30) จากการทดลองหลังจากที่เปลือกแข็งตัวแล้วคุณสมบัติของเปลือกจะเปลี่ยนเป็นแข็งเปราะ และแตกง่าย

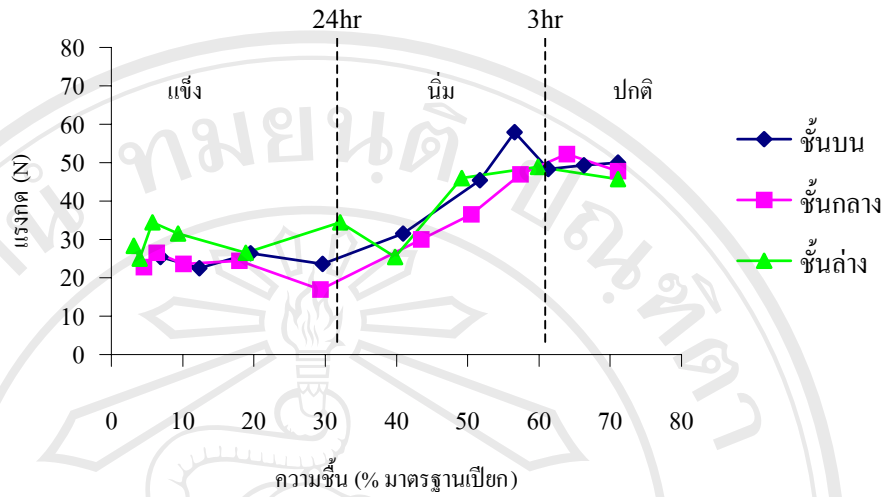
ตารางที่ 4.6 แรงกดสูงสุดจนทำให้ผลลำไยแตกเมื่อลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เวลา (hr)	ด้านบนผล (N) (% Md)			ด้านล่างผล (N) (% Md)		
	ชั้นบน	ชั้นกลาง	ชั้นล่าง	ชั้นบน	ชั้นกลาง	ชั้นล่าง
0	50±4.6a (246.38)	47.7±3.1a (246.38)	45.7±0.7a (246.38)	54.5±8n (246.38)	50.5±4.3n (246.38)	49.5±6.5n (246.38)
3	49.3±6a (196.52)	52.2±9a (176.89)	48.9±10.2a (149.19)	58.1±8.3n (196.52)	61.9±10.6n (176.89)	59.7±17.2n (149.19)
6	48.3±11.5a (158.50)	46.9±14.5a (134.59)	46±13.1a (96.80)	59.6±17n (158.50)	55.7±21n (134.59)	48.2±21n (96.80)
9	57.9±14.1a (130.27)	36.5±9.6b (102.05)	25.4±4.6c (66.25)	57.6±24.9n (130.27)	57.1±26.1n (102.05)	37.7±14.8n (66.25)
12	45.4±19.9a (107.01)	29.9±9.9b (76.92)	34.4±12.2ab (47.26)	71.6±17.1n (107.01)	43.8±27.4n (76.92)	39.4±20.8n (47.26)
18	31.5±23.6a (69.23)	16.9±4.4b (41.46)	26.4±11ab (23.25)	45.3±18.9n (69.23)	36.5±19.8n (41.46)	40.8±13.8n (23.25)
24	23.6±9.2a (42.14)	24.4±6.6a (21.84)	31.5±11.4a (10.28)	32.5±9.5n (42.14)	31.3±10n (21.84)	31.7±10.8n (10.28)
30	26.4±8.3ab (24.24)	23.5±5.4a (11.24)	34.4±12.3b (6.10)	28.8±5n (24.24)	25.8±5.5n (11.24)	26.2±10.4n (6.10)
36	22.4±6.5a (14.10)	26.5±17.5a (6.83)	24.9±9.5a (4.11)	27.9±8.9n (14.10)	24.3±6n (6.83)	30.8±12n (4.11)
42	25.4±8.8a (7.42)	22.8±4.9a (4.76)	28.2±6.8a (3.24)	26.4±5n (7.42)	27.8±8.1n (4.76)	31.5±15.7n (3.24)
เฉลี่ย	37.85	32.79	34.83	45.97	41.62	39.78

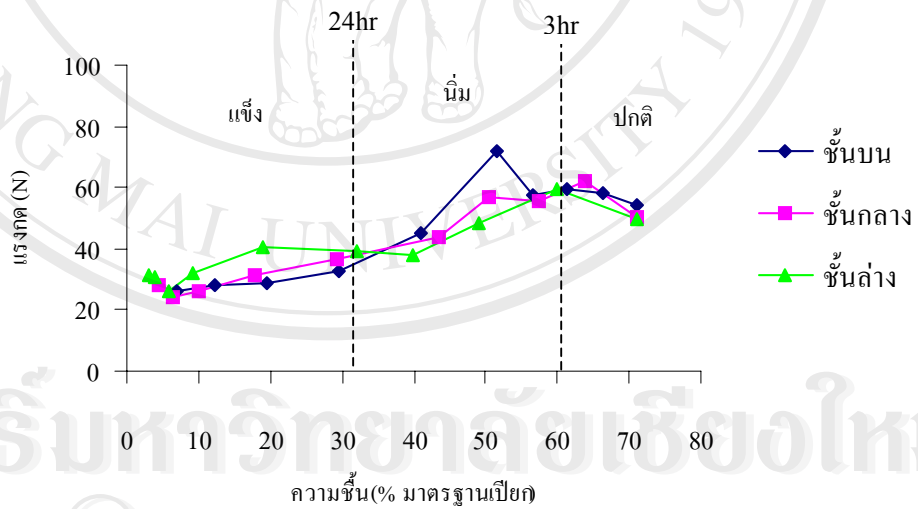
หมายเหตุ : ตัวเลขในแนวอนที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

เวลา (ชั่วโมง)	ด้านบนผล (N)			ด้านล่างผล (N)		
	ชั้นบน	ชั้นกลาง	ชั้นล่าง	ชั้นบน	ชั้นกลาง	ชั้นล่าง
0	50.01 ab	47.76 a	45.73 a	54.57 bc	50.50 abc	49.59 ab
3	49.32 ab	52.20 a	48.91 a	58.17 b	61.90 a	59.70 a
6	48.38 b	46.97 a	46.01 a	59.63 ab	55.79 ab	48.21 ab
9	57.95 a	36.56 b	25.47 b	57.61 bc	57.18 ab	37.72 bcd
12	45.45 b	29.96 bc	34.42 b	71.62 a	43.82 bcd	39.43 bcd
18	31.51 c	16.95 e	26.49 b	45.35 c	36.52 cde	40.84 bc
24	23.62 cd	24.47 cd	31.52 b	32.55 d	31.33 de	31.72 cd
30	26.45 cd	23.59 cd	34.40 b	28.83 d	25.88 e	26.20 d
36	22.47 d	26.53 c	24.96 b	27.94 d	24.38 e	30.82 cd
42	25.47 cd	22.84 cd	28.28 b	26.43 d	27.82 e	31.56 cd
เฉลี่ย	37.85±13.39	32.79±12.32	34.83±9.13	45.97±16.27	41.62±14.16	39.78±10.36

หมายเหตุ : ตัวเลขในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 4.22 แรงกดสูงสุดและการเปลี่ยนแปลงสภาพของเปลือกจากนุ่มเป็นแข็งที่ตำแหน่งบนของผลโดยใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสในการลดความชื้น



รูปที่ 4.23 แรงกดสูงสุดและการเปลี่ยนแปลงสภาพของเปลือกจากนุ่มเป็นแข็งที่ตำแหน่งล่างของผลโดยใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสในการลดความชื้น

การลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะให้ผลดีกว่าการลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส เพราะช่วงการแข็งตัวของเปลือกลำไยเกิดในช่วงสั้นกว่าการลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส คือ 27, 24 และ 21 ชั่วโมงตามลำดับ เมื่อพิจารณาความแข็งแรงของเปลือกลำไยขณะผลสดมีค่าความแข็งแรงของเปลือกลำไยต่ำสุด (min) ของแต่ละผลที่สามารถรับน้ำหนักได้โดยไม่ทำให้เปลือกลำไยแตกคือ 40 นิวตัน หรือ ประมาณ 4 กิโลกรัม ลำไย 1 กิโลกรัม จะมีทั้งหมดประมาณ 80 ผล ลำไยหนึ่งผลมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ถ้านำมาเรียงต่อกันในแนวตั้งจะได้ความสูงที่ระดับ 200 เซนติเมตร จึงจะได้น้ำหนัก 1 กิโลกรัม การที่จะทำให้ผลลำไยแตกได้ต้องมีน้ำหนักมากกดทับถึง 4 กิโลกรัม ซึ่งภายในเตอบลำไยส่วนใหญ่ของเกษตรกรจะมีความสูงอยู่ที่ไม่เกิน 60 เซนติเมตร และการลดความชื้นลำไยคือการระเหยน้ำออกจากผลลำไยฉะนั้นน้ำหนักของลำไยจะลดลงไปเรื่อยๆ ตามระยะเวลา ยิ่งเปอร์เซ็นต์ความชื้นของลำไยลดต่ำลงเท่าไรน้ำหนักของลำไยก็จะลดลงด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจะไม่เกิดการแตกของผลลำไยภายในเตอบเนื่องจากแรงกดทับระหว่างการลดความชื้น แต่การกดทับกันของผลลำไยภายในเตอบที่บรรจุลำไยมากเกินไปทำให้เกิดการบวมได้เนื่องจากแรงที่ทำให้ผลลำไยบวมมีค่าเพียง 2 นิวตัน (0.2 กิโลกรัม) หรือเทียบเท่ากับความสูงของชั้นลำไยเพียง 40 เซนติเมตร ถ้าลำไยได้รับการกดทับตั้งแต่เปลือกขี้มน (เกิดจากโพรงภายในผล) และน้ำหนักนั้นคงอยู่จนเปลือกแข็งตัวรอยกดก็จะเกิดขึ้นอย่างถาวร

จากการทดลองยังได้ตรวจวัดจำนวนตัวอย่างผลลำไยที่เสียหายเมื่อสิ้นสุดการทดลองทั้งสามการทดลองในแต่ละชั้นตรวจพบจำนวนผลลำไยที่มีลักษณะการแตกของเปลือกในแต่ละกล่องนับได้เป็นจำนวนไม่เกิน 3 ผล คิดเป็นร้อยละ 0.95 % และในบางกล่องจะไม่พบผลที่แตกเลย และจำนวนผลบวม ของในแต่ละกล่องจะมีไม่เกิน 5 ผลในหนึ่งกล่องซึ่งคิดเป็นร้อยละ 1.56 % ของจำนวนผลลำไยทั้งหมดที่บรรจุภายในหนึ่งกล่อง หรือประมาณ 4 กิโลกรัม โดยความหนาของชั้นลำไยเฉลี่ยประมาณ 20 เซนติเมตร โดยผลบวมที่พบจะมีรอยบวมเพียงเล็กน้อย และขนาดรอยบวมน้อยกว่า 15 % ของพื้นที่ผิว

4.5 ความหนาเปลือก

ในการวัดความหนาของเปลือกลำไยก่อนและหลังการอบ พบว่าเปลือกลำไยบางลงเล็กน้อย คือ ความหนาเฉลี่ยก่อนอบ 0.73 มิลลิเมตร และหลังอบลดลงไป 0.1 มิลลิเมตร หรือ มีความหนาเฉลี่ยทั้งผล 0.63 มิลลิเมตร และ เมื่อพิจารณาจากตัวเลขดังตารางที่ 4.7 แล้วจะเห็นว่าความหนาของเปลือกในส่วนบนจะหนากว่าในส่วนกลางและล่างของผลลำไย

ตารางที่ 4.7 ความหนาของเปลือกลำไยก่อนและหลังการอบ

ความหนาเปลือก (mm.)				
ด้านที่ใช้วัด	ก่อนอบ	60°C หลังอบ	70°C หลังอบ	80°C หลังอบ
ด้านบน	0.77±0.07a	0.69±0.09b	0.73±0.09ab	0.72±0.10b
ด้านข้าง	0.74±0.06a	0.63±0.08b	0.66±0.10b	0.62±0.10b
ด้านล่าง	0.69±0.05a	0.56±0.07b	0.61±0.10b	0.59±0.12b
เฉลี่ย	0.73±0.04	0.62±0.07	0.66±0.06	0.64±0.07

หมายเหตุ : ตัวเลขในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.6 ความหนาแน่นรวม (Bulk density) ของลำไยในระหว่างการลดความชื้น

Bulk density ของลำไยมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการลดความชื้นเนื่องจากน้ำหนัก และ ปริมาตรผลลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเปลือกนอกแข็งตัว เราสามารถหาความหนาแน่นรวมของ ลำไยได้จากสูตร

$$\text{Bulk density} = \frac{\text{น้ำหนักรวมของวัสดุ (kg)}}{\text{ปริมาตรรวมของวัสดุ (m}^3\text{)}}$$

ตารางที่ 4.8 Bulk density ที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการลดความชื้นลำไย

เวลา (ชั่วโมง)	Bulk density (kg/m ³)
0	554.63
3	515.56
6	481.04
9	454.23
12	402.87
18	329.87
24	276.05
30	234.65
36	217.25
42	207.04

จากตาราง 4.8 จะเห็นว่า Bulk density มีค่าน้อยลงอย่างต่อเนื่องเพราะน้ำหนักผลลำไยลดลงอย่างรวดเร็วแต่ปริมาตรของผลลำไยลดลงอย่างช้ากว่า จึงทำให้ค่า Bulk density ลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่หากปริมาตรผลลำไยลดลงเร็วกว่าการลดลงของน้ำหนักค่า Bulk density จะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากตัวหารลดลงมาก ในการทดลองนี้ค่า Bulk density หลังอบน้อยลงมากกว่าครึ่งจากค่าเริ่มต้น ซึ่งถ้าคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบจากค่าที่เริ่มต้นแล้วค่าความหนาแน่นรวมของลำไยแห่งที่มีความชื้นเฉลี่ย 14.65 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (18 %db) จะมีค่าประมาณ 62 % หรือใกล้เคียงกับ $\frac{2}{3}$ ของลำไยสด