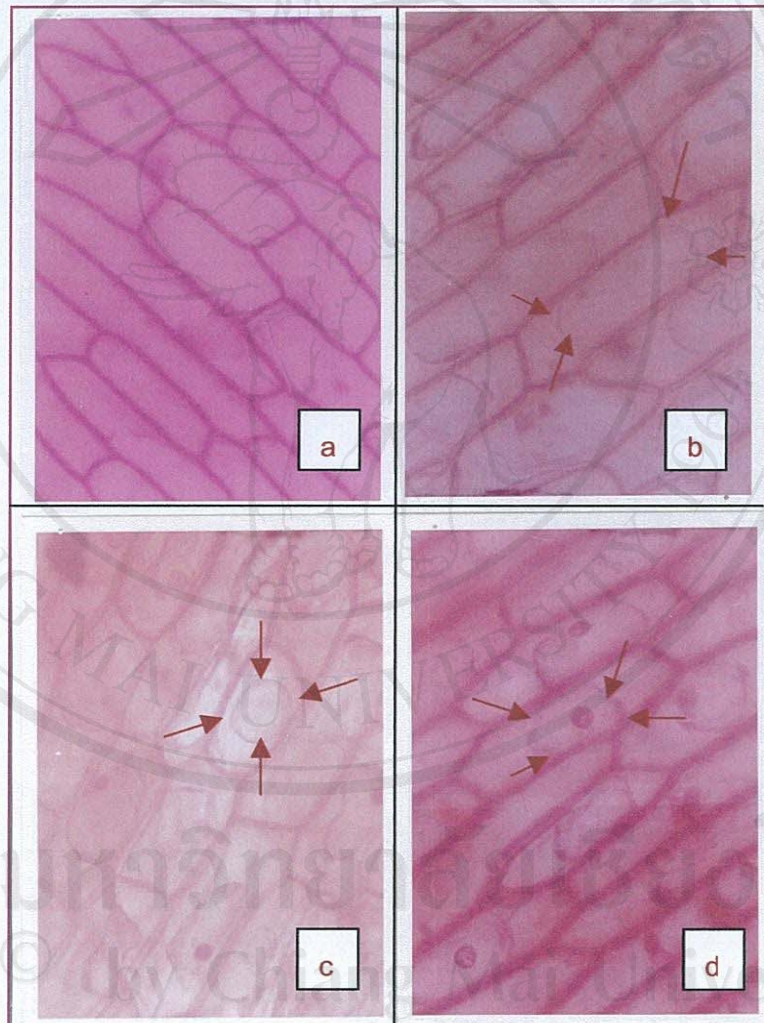


## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 การหาระดับความเข้มข้นของสารละลายเกลือแกงและเวลาที่เหมาะสมในการลดความชื้นของหอมหัวใหญ่

##### 4.1.1 การเปลี่ยนแปลงเซลล์ของหอมหัวใหญ่ที่แช่ในสารละลายเกลือแกง



รูป 4.1 Plasmolysis ของเซลล์เยื่อหอมหัวใหญ่ (Epidermal cells of Onion) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายเกลือแกงต่างๆ ที่กำลังขยาย 10 เท่า

4.1 a Epidermal cells of Onion , 0% NaCl (Control)

4.2 b Epidermal cells of Onion , 5% NaCl

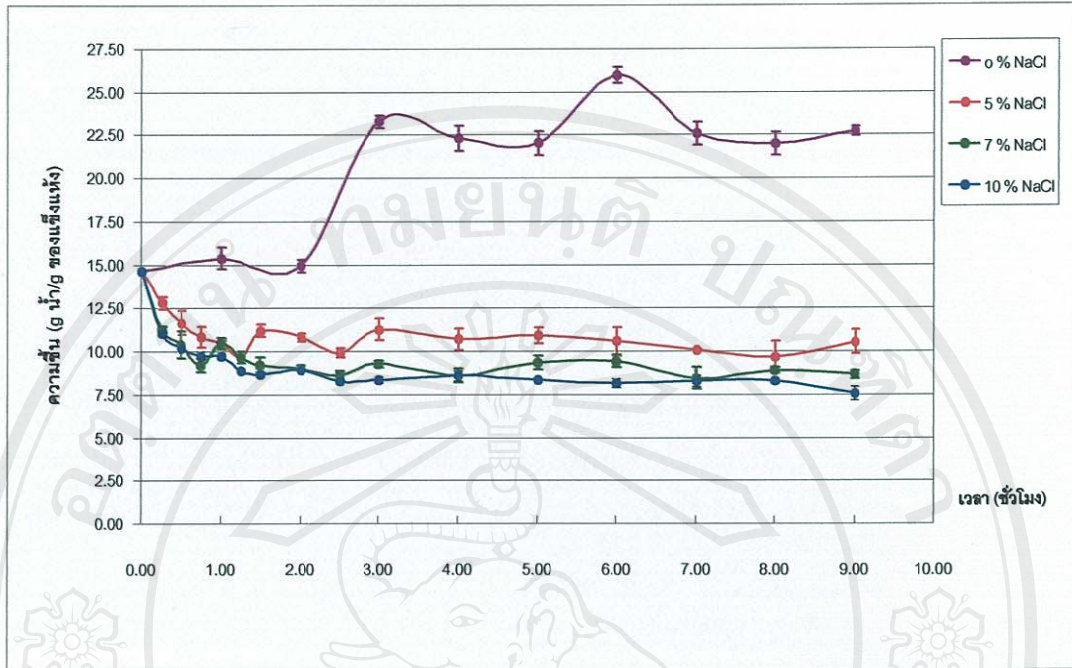
4.3 c Epidermal cells of Onion , 7% NaCl

4.4 d Epidermal cells of Onion ,10% NaCl

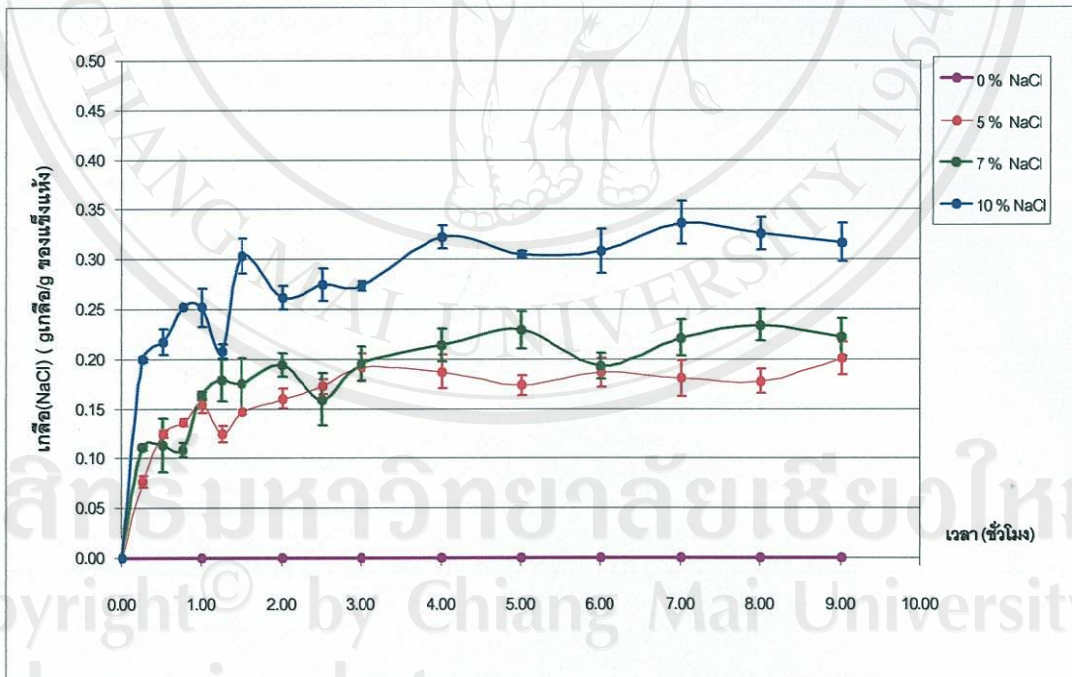
การตัดและย้อมสีเซลล์หอมหัวใหญ่ด้วยสารละลาย 0.1% Neutral Red แสดงในรูป 4.1 จากรูป 4.1 a เซลล์หอมหัวใหญ่ในสภาวะปกติเป็นเหลี่ยม โดยโมเลกุลของสีย้อม Neutral Red ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้น้อยจึงปรากฏสีแดงเข้มภายนอกเซลล์ แต่เมื่อนำเซลล์หอมหัวใหญ่มาแช่ในสารละลายเกลือแกง 5%,7%,10% พบว่าเมื่อเซลล์อยู่ในสารละลายเกลือแกง ความเข้มข้นสูง เกลือแกงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยประมาณแล้วน้อยกว่า 1 nm ( $10 \text{ \AA}$ ) สามารถผ่านรูผนังเซลล์พืชที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยประมาณ 3.5 nm ( $35 \text{ \AA}$ ) (Mauro *et al.*, 2002) การแพร่ของเกลือแกงเข้าไปในเซลล์หอมหัวใหญ่ทำให้ความเข้มข้นของเกลือแกงในเซลล์เพิ่มมากขึ้น เซลล์จึงปรับสภาวะเพื่อให้ความเข้มข้นของสารละลายเกลือแกงภายในและภายนอกเซลล์ให้ใกล้เคียงกันด้วยการสูญเสียน้ำส่งผลให้องค์ประกอบภายในเซลล์หดตัวและชักนำให้เยื่อหุ้มเซลล์แยกออกจากผนังเซลล์ ปริมาตรภายในเซลล์ลดลงและก่อให้เกิดช่องว่างภายในเซลล์ (เกษม, มปป.; นิพนธ์, 2534; สมาน, มปป.; Arsdell, 1973; Mauro *et al.*, 2002, 1991; Ferrando and Spiess, 2001) จากรูป 4.1b, 4.1c, 4.1d การหดตัวของเยื่อหุ้มเซลล์และปริมาณน้ำที่สูญเสียออกมานอกเซลล์มีแนวโน้มมากขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายเกลือแกงที่เพิ่มขึ้น การหดตัวของเยื่อหุ้มเซลล์ในระบบสารละลายเกลือแกง 5% สามารถแยกจากผนังเซลล์ได้ง่ายทำให้เยื่อหุ้มเซลล์คงสภาพกว่าในระบบสารละลายเกลือแกง 7% และ 10% ที่การหดตัวเกิดขึ้นโดยเร็ว (Osmotic Shock) ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เสียรูปร่าง โดย Plasmolysis นี้ ไม่มีผลต่อโครงร่างของเซลล์เพราะเซลล์พืชมีผนังเซลล์ที่แข็งแรง การเกิด Plasmolysis ทำให้สี Neutral Red ผ่านเข้าไปสะสมภายในเซลล์ โดยสภาวะปกติโมเลกุล Neutral Red ไม่มีประจุแต่ที่ pH ต่ำ (น้ำคั้นหอมหัวใหญ่มี pH  $5.56 \pm 0.12$  อุณหภูมิ  $27^\circ \text{C}$ ) สีแตกตัวเป็น Ions ได้ดีโดยเฉพาะภายในเซลล์ที่สูญเสียน้ำทำให้ pH เปลี่ยนไป ปริมาตรของเซลล์ที่ลดลงทำให้สีมาสะสมมากขึ้นและการติดสีภายในเซลล์ชัดเจน นอกจากนี้พบ Nucleus ที่เล็กกลมและมีสีแดงเข้มภายในเซลล์ (Meyer *et al.*, 1960; Mauro *et al.*, 2002)

ปรากฏการณ์ Plasmolysis เซลล์หอมหัวใหญ่ในสารละลายเกลือแกงทำให้ปริมาตรภายในเซลล์ลดลง การลดปริมาตรนี้เกิดจากเซลล์สูญเสียน้ำซึ่งการสูญเสียน้ำมีแนวโน้มเพิ่มตามความเข้มข้นของสารละลายเกลือแกงที่ใช้จาก 5-10% หลักการแพร่ถ่ายเทน้ำออกจากเซลล์นี้ได้นำมาประยุกต์ใช้กับวิธีทำแห้งที่ชื่อว่า Osmotic Dehydration โดยใช้สารละลายเกลือแกงเข้มข้น ชักนำให้เกิด Plasmolysis ถ่ายเทความชื้นออกจากเซลล์หอมหัวใหญ่ก่อนการอบแห้งเพื่อลดเวลาอบแห้งที่ต้องระเหยความชื้นที่มีมากถึง 90% w.b. ของหอมหัวใหญ่ให้ใช้เวลาสั้นลง

#### 4.1.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นและปริมาณเกลือแกงของหอมหัวใหญ่ในระหว่างการอบไมติก



รูป 4.2 ความชื้นของหอมหัวใหญ่ที่เปลี่ยนแปลงตามระดับความเข้มข้นของสารละลายเกลือแกงและเวลา



รูป 4.3 ปริมาณเกลือแกงในหอมหัวใหญ่ที่เปลี่ยนแปลงตามระดับความเข้มข้นของสารละลายเกลือแกงและเวลา

การออสโมติกหอมหัวใหญ่ด้วยสารละลายเกลือแกง 5%,7%,10% อุณหภูมิ  $22\pm 1^{\circ}\text{C}$  ทำให้ความชื้นหอมหัวใหญ่เปลี่ยนแปลงดังรูป 4.2 การแช่หอมหัวใหญ่ในน้ำ ความชื้นหอมหัวใหญ่เริ่มต้น  $14.64\pm 0.72$  gน้ำ/ g ของแข็งแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาโดยเฉพาะในช่วง 3-9 ชั่วโมง ความชื้นโดยเฉลี่ยเพิ่มเป็น  $22.59\pm 0.19$  gน้ำ/ g ของแข็งแห้งหรือความชื้นโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.54 เท่า คล้ายกับ *Torrington et al.* (2001) ศึกษาการออสโมติกเห็ดด้วยสารละลายเกลือแกงอุณหภูมิ  $20^{\circ}\text{C}$  พบว่าการแช่เห็ดในน้ำ เห็ดสามารถดูดซับน้ำกลับได้เพิ่มขึ้นภายในเวลา 2 ชั่วโมง จากความชื้นเริ่มต้น  $13$  g น้ำ/ g ของแข็งแห้ง เพิ่มเกือบ 2 เท่า ( $23$  g น้ำ/ g ของแข็งแห้ง) โดยประมาณเพราะเห็ดมีโครงสร้างเป็นรูพรุนเมื่อแช่เห็ดในน้ำกลับเกิดแรง *Capillary* ดูดน้ำกลับเข้าไปในเนื้อเยื่อเช่นเดียวกับหอมหัวใหญ่เป็นพืชที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน (*Rapusas and Driscoll, 1955 b*) เมื่อแช่หอมหัวใหญ่ในน้ำเกิดการดูดน้ำกลับ เซลล์พืชที่แช่ในน้ำที่มีแรงดันออสโมติกต่ำกว่าสารละลายภายในเซลล์ที่มีแรงดันออสโมติกสูง น้ำแพร่เข้าเซลล์มากขึ้น ในทางตรงกันข้ามหอมหัวใหญ่ที่แช่ในสารละลายเกลือแกง 5%,7%,10% เกิด *Plasmolysis* แทน ความชื้นหอมหัวใหญ่มีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นของสารละลายเกลือแกงที่สูงขึ้นและเวลา ความชื้นที่ลดลงเปลี่ยนแปลงมากในช่วง 1 ชั่วโมงแรกและหลังจากชั่วโมงที่ 1 พบว่าหอมหัวใหญ่ที่แช่ในสารละลายเกลือแกง 5% มีความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย คล้ายกับ *Baroni and Hubinger (1999)* ศึกษาการออสโมติกหอมหัวใหญ่หั่นทรงลูกบาศก์พันธุ์ *Balia Periforme* ด้วยสารละลายเกลือแกง พบว่าความชื้นหอมหัวใหญ่เพิ่มขึ้นหลังจากการออสโมติกผ่านไป 2 ชั่วโมง สันนิษฐานว่าเวลานั้นความชื้นในหอมหัวใหญ่ที่ถ่ายเทออกมาจากเซลล์ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเกลือแกง 5% เจือจางลงจึงลดแรงขับออสโมติก (*Osmotic Driving Force*) แต่ในเซลล์หอมหัวใหญ่ขณะนั้นมีปริมาณเกลือแกงเพิ่มขึ้นเช่นกันทำให้เซลล์มีพฤติกรรมปรับเข้าสู่สภาวะสมดุล การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าหอมหัวใหญ่ที่แช่ในละลายเกลือแกง 5%,7%,10% ใช้เวลาเข้าสู่สมดุล 2,3,4 ชั่วโมง ตามลำดับ จากรูป 4.3 การออสโมติกก่อให้เกิดการถ่ายเทเกลือแกงเข้าไปในหอมหัวใหญ่ การแช่หอมหัวใหญ่ในน้ำไม่ปรากฏเกลือแกงในหอมหัวใหญ่ตลอดการออสโมติก แต่หอมหัวใหญ่ที่แช่ในสารละลายเกลือแกง 5%,7%,10% เกลือแกงมีแนวโน้มเข้าไปในหอมหัวใหญ่เพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของละลายเกลือแกงที่สูงและเวลา ซึ่งสอดคล้องกับการออสโมติกหอมหัวใหญ่ของ *Baroni and Hubinger (1999)*

#### 4.1.3 สภาวะที่เหมาะสมในการออสโมติกหอมหัวใหญ่

ตาราง 4.1 เวลา ความชื้น ความสามารถลดความชื้นและปริมาณเกลือแกงในหอมหัวใหญ่ที่สภาวะสมดุล

ความเข้มข้นของสารละลายเกลือ	เวลาสมดุล (ชั่วโมง)	ความชื้นสมดุล gน้ำ/ gของแข็งแห้ง ( $m_e$ )	ความสามารถลดความชื้น (%ของความชื้นเริ่มต้น)	ปริมาณเกลือสมดุล gเกลือ/ gของแข็งแห้ง ( $S_e$ )	ค่า Water Loss/ Solid Gain (WL/SG)
เกลือแกง 5%	2	10.84±0.26	25.96±1.78	0.16±0.01	23.75±1.63
เกลือแกง 7%	3	9.26±0.20	36.75±1.26	0.19±0.02	28.32±1.06
เกลือแกง 10%	4	8.61±0.30	41.19±2.06	0.32±0.01	18.84±0.94

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตาราง 4.1 การออสโมติกหอมหัวใหญ่เมื่อความเข้มข้นของเกลือแกงในหอมหัวใหญ่ใกล้เคียงกับความเข้มข้นของสารละลายเกลือแกงภายนอกทำให้การถ่ายเทน้ำ เกลือแกงข้างและระบบปรับเข้าสู่สภาวะสมดุล ที่สภาวะสมดุล ความชื้นหอมหัวใหญ่ที่แช่ในละลายละลายเกลือแกง 10% มีความชื้นลดลงและระบบมีความสามารถลดความชื้นได้มากที่สุด แต่ปริมาณเกลือแกงในหอมหัวใหญ่มากที่สุดเช่นกัน ค่าอัตราส่วนระหว่างความชื้นที่สูญเสียไป (Water Loss, WL) ต่อปริมาณตัวถูกละลายในหอมหัวใหญ่ที่เพิ่มขึ้น (Solid Gain, SG) (WL/SG) เป็นค่าแสดงประสิทธิภาพของการออสโมติก (Lazarides *et al.*, 1995 a) โดยประสิทธิภาพของการออสโมติกลดลงมากเมื่อใช้สารละลายเกลือแกง 10% เพราะปริมาณเกลือแกงในหอมหัวใหญ่เพิ่มสูงมาก การใช้สารละลายเกลือแกงมากถึง 10% สิ้นเปลืองเกลือแกง ได้หอมหัวใหญ่อบแห้งที่มีรสเค็มและสวนแนวความคิดปัจจุบันที่ต้องการให้ลดการบริโภคเกลือแกง ส่วนการใช้สารละลายเกลือแกง 7% ใช้เวลาออสโมติกนานและประสิทธิภาพของการออสโมติกเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการใช้สารละลายเกลือแกง 5% การศึกษานี้เลือกสภาวะที่เหมาะสมในการออสโมติกหอมหัวใหญ่จากความชื้นที่ลดลงแต่มีปริมาณตัวถูกละลายที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด (Kowalska and Lenart, 2001; Lazarides *et al.*, 1997) คือ ใช้สารละลายเกลือแกงความเข้มข้น 5% เป็นสารละลายออสโมติก ใช้เวลาแช่ 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

สีของหอมหัวใหญ่ที่ผ่านการอบไมติกที่สภาวะเหมาะสมพบว่ามีสีคล้ำขึ้น โดยค่าสีของหอมหัวใหญ่สดมีค่า  $L^*, a^*, b^*$  เท่ากับ  $57.62 \pm 3.26, -4.92 \pm 0.41, 9.67 \pm 1.03$  ตามลำดับ เมื่อผ่านการอบไมติกที่สภาวะเหมาะสมหอมหัวใหญ่มีค่า  $L^*, a^*, b^*$  เท่ากับ  $55.37 \pm 4.04, -4.41 \pm 0.94, 7.90 \pm 1.72$  ตามลำดับ แต่หอมหัวใหญ่ก่อนและหลังผ่านการอบไมติกมีค่า  $L^*, a^*, b^*$  ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) การอบไมติกไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของหอมหัวใหญ่ การเปลี่ยนแปลงสีนี้อาจเกิดจากการตัดเนื้อเยื่อหอมหัวใหญ่ทำให้สารประกอบ Phenolic ที่อยู่ใน Vacuole และ  $O_2$  ที่แทรกอยู่ไหลออกมานอก Tonoplast ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ Polyphenoloxidase ที่อยู่นอก Vacuole เกิด Phenolic Oxidation ของปฏิกิริยา Enzymatic Browning ได้สารสีน้ำตาล (Butz et al., 1994) และเกลือที่สะสมอยู่ภายในเนื้อเยื่อหอมหัวใหญ่ทำให้สีทึบ (กล้านรงค์, 2521)

4.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นและเกลือแกงของการอบไมติกหอมหัวใหญ่

การหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นและเกลือแกงของการอบไมติกหอมหัวใหญ่ที่สภาวะไม่คงตัว (Unsteady State) สมมติให้ชิ้นหอมหัวใหญ่เป็นรูปทรงลูกบาศก์ที่มีขนาดประมาณ  $0.5 \times 0.5 \times 0.5$  cm การแพร่ของความชื้นและเกลือแกงเกิดได้ 3 ทิศทางทั้งด้านหนา (2a) กว้าง (2b) และยาว (2c) โดยไม่คิดความต้านทานที่ผิวสัมผัสระหว่างชิ้นหอมหัวใหญ่และสารละลายเกลือแกง พิจารณาการแพร่ของความชื้นและเกลือแกงในเวลา 30 นาทีก่อนถึงสภาวะสมดุล ใช้หลักการคำนวณในข้อ 2.2.1 และกำหนดตัวแปรที่ใช้คำนวณในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ค่าตัวแปรที่ใช้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของความชื้นและเกลือแกงที่สภาวะต่างๆ

ความเข้มข้นของสารละลายเกลือ	ความชื้นที่เวลา 30 นาที (g น้ำ/ g ของแข็งแห้ง)	ปริมาณเกลือที่เวลา 30 นาที (g เกลือ/ g ของแข็งแห้ง)	$E_m$ ที่เวลา 30 นาที	$E_s$ ที่เวลา 30 นาที
เกลือแกง 5%	$11.68 \pm 0.69$	$0.08 \pm 0.01$	0.23	0.50
เกลือแกง 7%	$10.40 \pm 0.82$	$0.11 \pm 0.03$	0.23	0.42
เกลือแกง 10%	$10.17 \pm 0.13$	$0.22 \pm 0.01$	0.21	0.32

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ความชื้นของหอมหัวใหญ่เริ่มต้น ( $m_0$ ) คือ  $14.64 \pm 0.72$  g น้ำ/ g ของแข็งแห้ง

ปริมาณเกลือแกงของหอมหัวใหญ่เริ่มต้น ( $S_0$ ) คือ  $0.00$  g เกลือ/ g ของแข็งแห้ง

นำค่า  $E_m$  และ  $E_s$  ที่คำนวณได้ในแต่ละสภาวะไปอ่านค่าแกน X ในรูป 2.4 แก่สมการหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของความชื้น ( $D_m$ ) สัมประสิทธิ์การแพร่ของเกลือแกง ( $D_s$ ) ที่สภาวะต่างๆ แสดงในตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของความชื้น ( $D_m$ ) และเกลือแกง ( $D_s$ ) และดัชนีประสิทธิภาพของการลดความชื้นด้วยการอบสไมติกที่สภาวะต่างๆ ที่เวลา 30 นาที

ความเข้มข้นของสารละลายเกลือ	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของความชื้น ( $D_m$ ) ที่เวลา 30 นาที	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเกลือ ( $D_s$ ) ที่เวลา 30 นาที	ดัชนีประสิทธิภาพของการลดความชื้น (The Dehydration Efficiency Index) ( $D_w/D_s$ ) ที่เวลา 30 นาที
เกลือแกง 5%	$1.65 \times 10^{-9}$	$1.19 \times 10^{-9}$	1.39
เกลือแกง 7%	$1.65 \times 10^{-9}$	$1.34 \times 10^{-9}$	1.23
เกลือแกง 10%	$1.69 \times 10^{-9}$	$1.50 \times 10^{-9}$	1.13

จากตาราง 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของความชื้นและเกลือแกงแสดงความสามารถในการแพร่ของน้ำและเกลือแกงระหว่างการอบสไมติก โดยค่า  $D_m$  และ  $D_s$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายเกลือที่เพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการแพร่ของเกลือแกงน้อยกว่าความชื้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเกลือแกงที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพของการลดความชื้นลดลง ซึ่งประสิทธิภาพของการลดความชื้นนี้เป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพของการอบสไมติกได้ ประสิทธิภาพของการอบสไมติกหอมหัวใหญ่ด้วยสารละลายเกลือแกงลดลงเมื่อใช้สารละลายเกลือแกงที่มีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นและเปรียบเทียบค่า  $D_m$  และ  $D_s$  กับของ Baroni and Hubinger (1999) ที่ได้หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและเกลือแกงของหอมหัวใหญ่พันธุ์ Balia Perifome ทรงลูกบาศก์ ความเข้มข้นของสารละลายเกลือแกง 5-15% ได้  $D_m$  อยู่ในช่วง  $0.9-3.73 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  และ  $D_s$  อยู่ในช่วง  $0.38-1.42 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  จากการคำนวณค่า  $D_m$  และ  $D_s$  ของการอบสไมติกขึ้นหอมหัวใหญ่ด้วยสารละลายเกลือแกงครั้งนี้พบว่าค่าอยู่ในช่วง  $D_m$  และ  $D_s$  ของ Baroni and Hubinger (1999)

การอบสไมติกหอมหัวใหญ่ด้วยสารละลายเกลือแกงช่วยลดความชื้นหอมหัวใหญ่ลงบางส่วน ทำการอบสไมติกได้ที่อุณหภูมิห้องจึงสะดวกแก่การปฏิบัติ ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า แต่ใช้เกลือแกงที่มีราคาถูกเป็นสารละลายอบสไมติกแทน และการอบสไมติกด้วยสารละลายเกลือแกงที่มีคุณสมบัติป้องกันการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดังนั้นจึงไม่ต้องเติมสารป้องกันการการสีน้ำตาลชนิดอื่น ตัวอย่างเช่น Ascorbic Acid, Citric Acid ที่มีราคาแพงและก่อให้เกิดรสเปรี้ยวแก่ผลิตภัณฑ์

## 4.2 การศึกษาผลของการออสโมติกต่อเวลาอบแห้งและคุณภาพหอมหัวใหญ่อบแห้ง

### 4.2.1 การเปรียบเทียบค่าทางเคมีของหอมหัวใหญ่สดที่ใช้อบแห้ง

ตาราง 4.4 ค่าทางเคมีของหอมหัวใหญ่สดแต่ละสายพันธุ์

พันธุ์หอมหัวใหญ่ (แหล่งเพาะปลูก)	ความชื้น (% w.b.)	ปริมาณ ของแข็งแห้ง (% w.b.)	°Brix	น้ำตาล (ในรูป Reducing ) (g น้ำตาล/ g ของแข็งแห้ง)	ปริมาณ Pyruvic Acid ( $\mu$ mole/ g ของแข็งแห้ง)
1.Soutport White Globe <sup>a</sup> (สหรัฐอเมริกาและออสเตรเลีย)	83	17	-	-	-
2.Bangalore <sup>b</sup> (อินเดีย)	82.4	17.6	11.9	-	96.02
3.Sweet Vidalia <sup>c</sup> (สหรัฐอเมริกา)	92	8	-	0.5	-
4.White Onion (เชียงใหม่)	93	7	8	0.2	15.14

หมายเหตุ : <sup>a</sup> Rapusas and Driscoll, 1995 b; Rapusas *et al.*, 1995

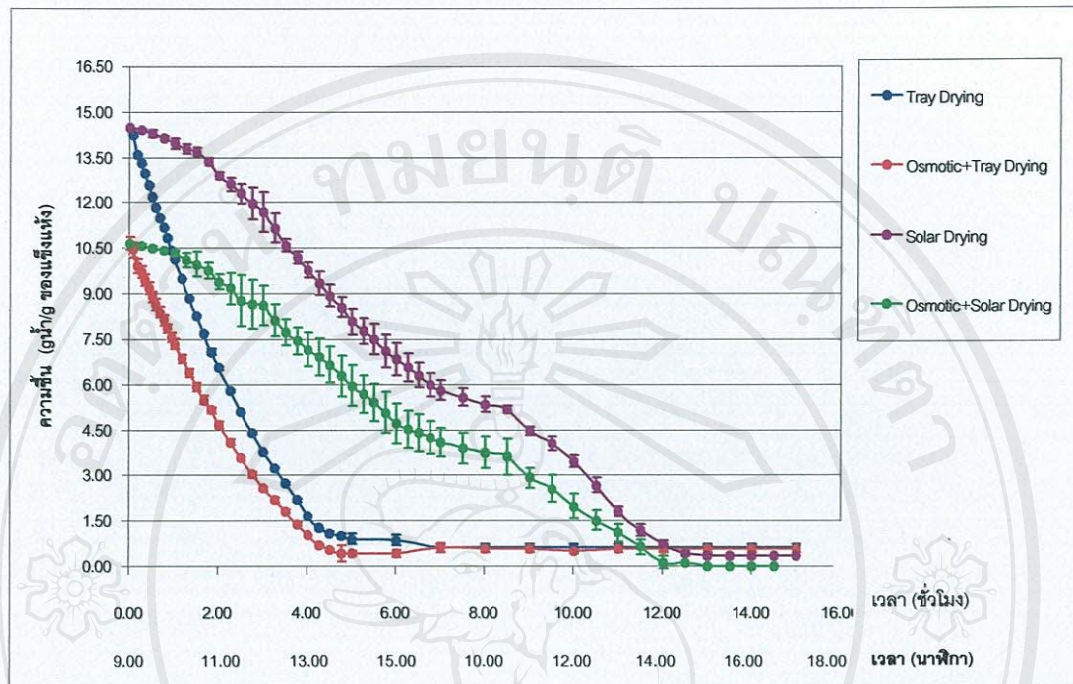
<sup>b</sup> Debnath *et al.*, 2002

<sup>c</sup> Abhayawick *et al.*, 2002

จากตาราง 4.4 เปรียบเทียบค่าทางเคมีของหอมหัวใหญ่สดแต่ละสายพันธุ์กับหอมหัวใหญ่สดที่ใช้อบแห้งครั้งนี้ พบว่าหอมหัวใหญ่ที่ใช้อบแห้งมีความชื้นสูง ปริมาณของแข็งแห้งน้อย ปริมาณน้ำตาล (ในรูป Reducing) และค่า °Brix ปานกลาง ปริมาณ Pyruvic Acid น้อย แนวโน้มหอมหัวใหญ่ที่ใช้อบแห้งเป็นหอมหัวใหญ่รสหวาน (Sweet Onion) และความจุน้อย หอมหัวใหญ่ในประเทศไทยที่เพาะปลูกส่วนใหญ่ใกล้เคียงกับกลุ่ม Sweet Onion ปริมาณน้ำตาล (ในรูป Reducing) ที่มีปานกลางอาจก่อให้เกิดปฏิกิริยา Non-enzymatic Browning ทำให้หอมหัวใหญ่อบแห้งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้ง่ายกว่าหอมหัวใหญ่อบแห้งของต่างประเทศที่มีสีครีม ขาวหรือเหลืองอ่อน (Rapusas and Driscoll, 1995 a) ซึ่งพันธุ์หอมหัวใหญ่ Soutport White Globe และ Bangalore จัดเป็นพันธุ์หอมหัวใหญ่ที่เหมาะสมสำหรับอบแห้งเพราะมีความชื้นต่ำ ปริมาณของแข็งแห้งสูงและมีความจุนมาก การอบแห้งหอมหัวใหญ่ที่ปลูกจังหวัดเชียงใหม่ควรกระทำอย่างเหมาะสมเพื่อลดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและสูญเสียความจุนของหอมหัวใหญ่อบแห้ง



#### 4.2.2 ผลของการออสโมติกที่มีต่อการลดเวลาอบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดและเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



รูป 4.4 ความชื้นของหอมหัวใหญ่ที่ลดลงตามเวลา

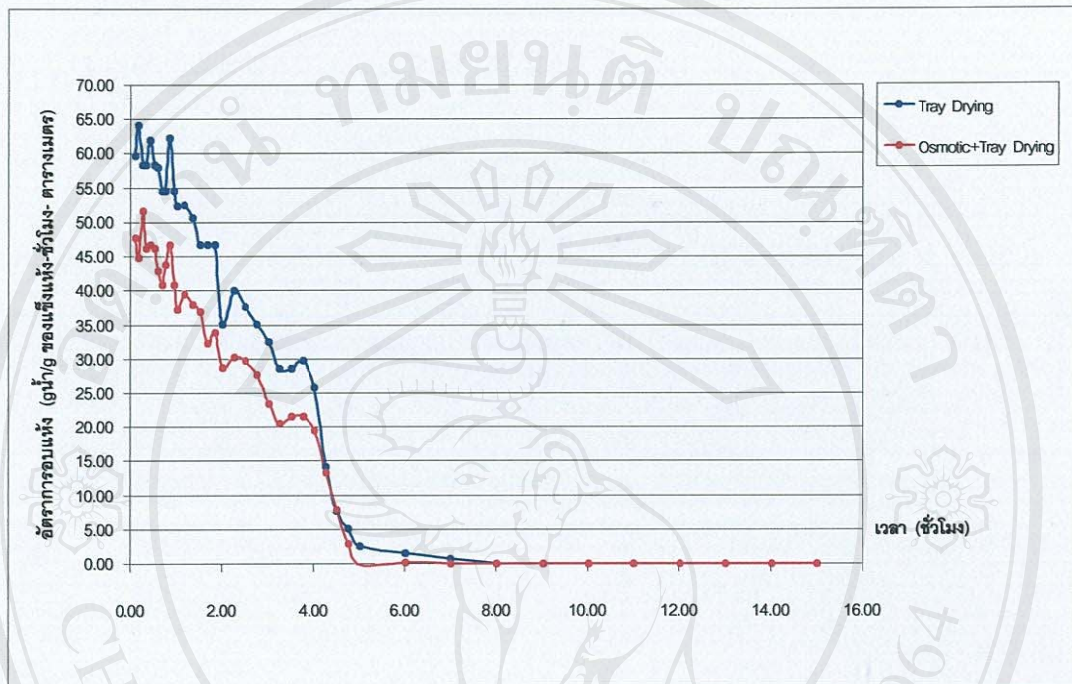
จากรูป 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของหอมหัวใหญ่ที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมติกที่ลดลงตามเวลาอบแห้งของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่สภาวะอุณหภูมิอากาศประมาณ  $60^{\circ}\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์อากาศประมาณ 25 % ความเร็วอากาศ 0.2-0.3 m/s และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเดือน มกราคม-เมษายน 2547 เวลาอบแห้ง 9.00–17.00 นาฬิกา ที่สภาวะอุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย  $58^{\circ}\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์อากาศโดยเฉลี่ย 27% ความเร็วอากาศ 0-0.3 m/s พิจารณาการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบเดียวกัน การออสโมติกด้วยสารละลายเกลือแกง ความเข้มข้น 5% เวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องเพื่อลดความชื้นหอมหัวใหญ่พบว่า การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดใช้เวลาอบแห้ง 6 ชั่วโมง แต่ถ้าผ่านการออสโมติกก่อนอบแห้งใช้เวลา 5 ชั่วโมง 30 นาที หอมหัวใหญ่ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 12% w.b. ในทางการค้ากำหนดความชื้นสุดท้ายให้ต่ำกว่า 10% w.b. (0.11 g น้ำ / g ของแห้งแห้ง) (บริษัททีทีไอเอส จำกัด , 2540) อย่างไรก็ตามการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดต่อเนื่องเป็นเวลา 15 ชั่วโมงไม่สามารถลดความชื้นให้ต่ำกว่า 10% w.b. ได้ ส่วนการอบแห้งหอมหัวใหญ่สดด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาอบแห้ง 14 ชั่วโมง ถ้าผ่านการออสโมติกก่อนอบแห้งใช้เวลา 13 ชั่วโมง หอมหัวใหญ่อบแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง

พลังงานแสงอาทิตย์มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 8% w.b. เมื่อปรับอัตราส่วนของน้ำนักหอมหัวใหญ่ต่อหน่วยพื้นที่อบแห้งคือ 4.5 kg/m<sup>2</sup> จากตาราง 4.1 การอบแห้งที่สภาวะเหมาะสมสามารถลดความชื้นได้ประมาณ 26% ทำให้น้ำนักหอมหัวใหญ่สดลดลงเช่นกันส่งผลให้อัตราส่วนน้ำนักหอมหัวใหญ่ต่อหน่วยพื้นที่อบแห้งเหลือประมาณ 3.0 kg/m<sup>2</sup> อัตราส่วนน้ำนักต่อหน่วยพื้นที่อบแห้งที่ลดลงทำให้หอมหัวใหญ่มีโอกาสสัมผัสกับอากาศร้อนได้ดี เวลาอบแห้งจึงลดลงมากขึ้น การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดใช้เวลาอบแห้งประมาณ 5 ชั่วโมง ส่วนเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลา 11 ชั่วโมง หอมหัวใหญ่อบแห้งมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 12% w.b. และ 8% w.b. ตามลำดับ อย่างไรก็ตามหอมหัวใหญ่ที่ผ่านการอบแห้งช่วยลดเวลาอบแห้งแต่เวลารวมทั้งหมดในการผลิตเพิ่มมากขึ้นกว่าการอบแห้งอย่างเดียว การอบแห้งก่อนอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการลดความชื้นของหอมหัวใหญ่ที่มีมากได้

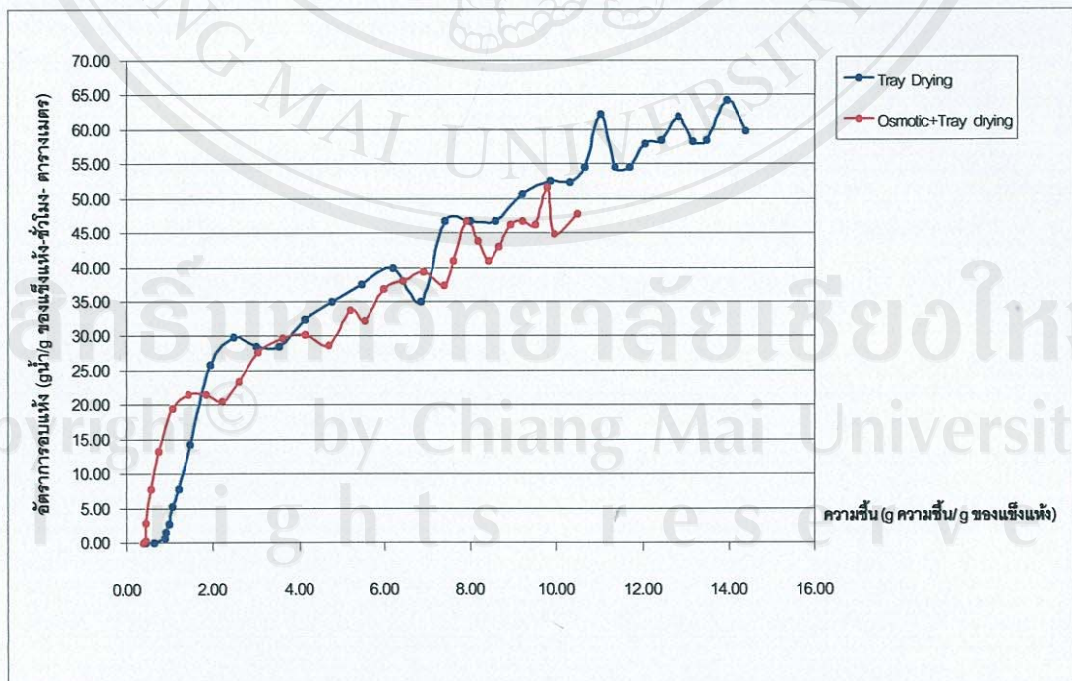
#### 4.2.3 การอบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด

รูป 4.5 และ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นหรืออัตราการอบแห้งของหอมหัวใหญ่กับเวลาและความชื้นที่ลดลงที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด ตามลำดับ ซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในรูป 4.7 และ 4.8 อัตราการอบแห้งของหอมหัวใหญ่ที่ไม่ผ่านและผ่านการอบแห้งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกัน เริ่มต้นการอบแห้งอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมประมาณ 26°C (ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศประมาณ 80%) ผ่านเข้าส่วนทำความร้อน (Heater) ทำให้อากาศที่เข้าเครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิประมาณ 60°C (ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เข้าเครื่องอบแห้งต่ำประมาณ 25%) อากาศถ่ายเทความร้อนให้กับหอมหัวใหญ่ ความร้อนเพิ่มอุณหภูมิพร้อมกับระเหยความชื้นของหอมหัวใหญ่ ในเวลา 2 ชั่วโมงแรกของการอบแห้ง การถ่ายเทความร้อนออกจากหอมหัวใหญ่ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ออกจากเครื่องอบแห้งลดลงเหลือ 43.5-49 °C (ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ออกเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้นจาก 25% และคงที่ประมาณ 35%) ขึ้นความหนาของหอมหัวใหญ่ที่บางมาก ทำให้การระเหยความชื้นเกิดที่ผิวหน้าของถาดและบริเวณขอบถาดได้ง่าย อากาศร้อนเข้ามาสัมผัส ถ่ายเทความร้อนและรับความชื้นจากหอมหัวใหญ่ได้ดี หลังจาก 2 ชั่วโมง อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 47-55°C (ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ออกเครื่องอบแห้งลดลงเป็น 22-26%) อัตราการอบแห้งลดลงมากในชั่วโมงที่ 3-5 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ออกจากเครื่องอบแห้งมีแนวโน้มคงที่ในชั่วโมงที่ 4-6 เมื่อการอบแห้งผ่านไป 5 ชั่วโมง อัตราการอบแห้งเปลี่ยนแปลงน้อยมากตามเวลาอบแห้ง อุณหภูมิของอากาศร้อนออกเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์ที่ออกจาก

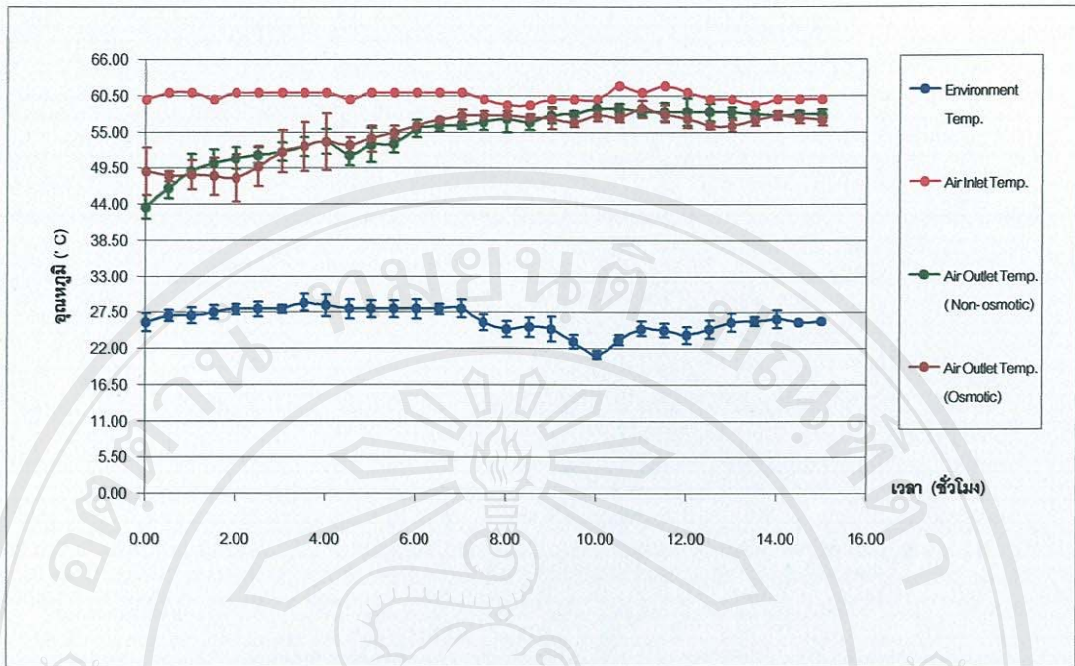
เครื่องอบแห้งลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศร้อนที่เข้าเครื่องอบแห้งและคงที่  
ที่ชั่วโมง 6-15 ซึ่งถือว่าสิ้นสุดการอบแห้งที่สภาวะนี้ การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดใช้เวลาอบ  
แห้ง 6 ชั่วโมง แต่ถ้าผ่านการออสโมติกก่อนอบแห้งใช้เวลา 5 ชั่วโมง 30 นาที ความชื้นสุดท้ายของ  
หอมหัวใหญ่อบแห้งประมาณ 12% w.b.



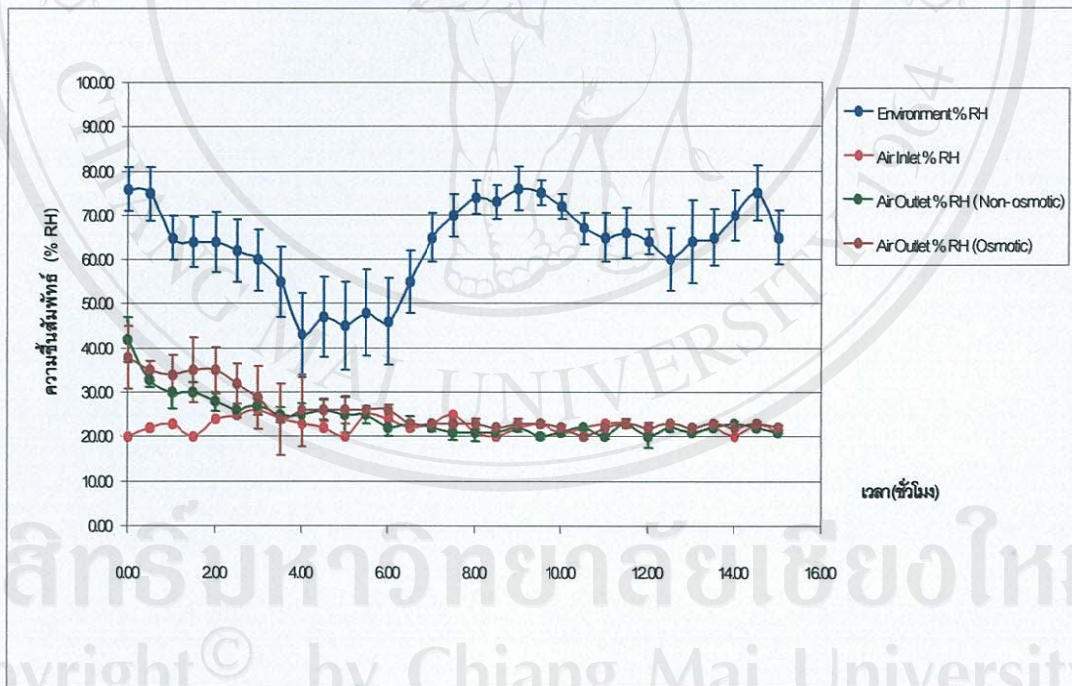
รูป 4.5 อัตราการอบแห้งของหอมหัวใหญ่ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดเทียบกับเวลา



รูป 4.6 อัตราการอบแห้งของหอมหัวใหญ่ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดเทียบกับความชื้น



รูป 4.7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศขณะอบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด



รูป 4.8 การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขณะอบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด

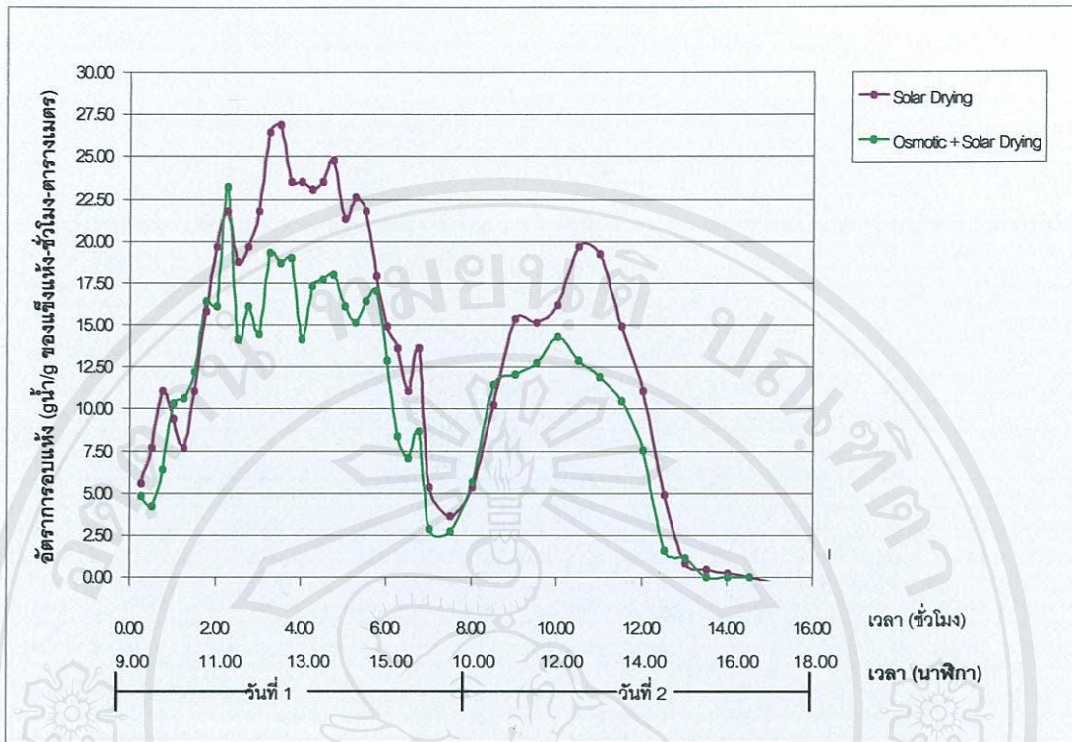
#### 4.2.4 การอบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

รูป 4.9 และ 4.10 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งหอมหัวใหญ่กับเวลาและความชื้นที่ลดลง ที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ตามลำดับ พบว่าอัตราการอบแห้งของหอมหัวใหญ่ที่ไม่ผ่านและผ่านการอบสโมคมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกัน ซึ่งอัตราการอบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สัมพันธ์กับช่วงเวลาที่มิแสงอาทิตย์ต่อวัน (ชั่วโมง/วัน) ในตาราง 2.2 และพลังงานแสงอาทิตย์ต่อชั่วโมง ( $\text{Cal/cm}^2\text{-h}$ ) ในตาราง 2.3 (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม, 2544) อุณหภูมิในรูป 4.11 และความชื้นสัมพัทธ์ในรูป 4.12 ซึ่งปัจจัยกลุ่มนี้ไม่สามารถควบคุมให้คงที่และสม่ำเสมอได้ การอบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์กระทำในช่วงเดือนมกราคม-เมษายน ซึ่งเป็นช่วงที่มีแสงอาทิตย์ต่อวันของจังหวัดเชียงใหม่ยาวนานมากกว่า 8 ชั่วโมง/วัน แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ต่อชั่วโมงของจังหวัดเชียงใหม่ ( $\text{Cal/cm}^2\text{-h}$ ) ในช่วงวันเพิ่มขึ้นจากเวลา 7.00 นาฬิกาจนมีพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดในช่วงเวลา 11.00-12.00 นาฬิกา หลังจากนั้นในเวลา 17.00 นาฬิกาพลังงานแสงอาทิตย์ลดลงจนมีพลังงานใกล้เคียงกับพลังงานแสงอาทิตย์ในเวลา 7.00 นาฬิกา และในรอบปีช่วงเดือนมกราคม-เมษายนพลังงานแสงอาทิตย์มีสูงมาก การเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ต่อชั่วโมงมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในเครื่องอบแห้งแตกต่างกันไปตามช่วงวัน เวลา 9.00 นาฬิกา อุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้งใกล้เคียงกับอุณหภูมิสภาวะแวดล้อมที่มีค่าต่ำสุดประมาณ  $27^{\circ}\text{C}$  (ความชื้นสัมพัทธ์สภาวะแวดล้อมภายนอกประมาณ 75%) และเพิ่มขึ้นจนมีอุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  รวมเวลาที่อุณหภูมิมีค่าสูงกว่า  $60^{\circ}\text{C}$  ประมาณ 4 ชั่วโมง (เวลาประมาณ 11.00-15.00 นาฬิกา) และอุณหภูมิมีค่าสูงสุดประมาณ  $74^{\circ}\text{C}$  (ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในเครื่องอบแห้งประมาณ 25%) ที่เวลา 12.00 นาฬิกา หลังจากนั้นอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งเริ่มลดลงและความชื้นสัมพัทธ์ภายในเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิสภาวะแวดล้อมที่เวลา 17.00 นาฬิกา

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เริ่มจากอากาศสภาวะแวดล้อมผ่านเข้าสู่พื้นที่สะสมความร้อน แนวโน้มพบว่าอุณหภูมิของอากาศเพิ่มมากขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์ลดต่ำลง อากาศผ่านพื้นที่สะสมความร้อนของเครื่องอบแห้งจนอากาศร้อนอุณหภูมิสูง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำผ่านเข้าสู่พื้นที่อบแห้ง จากนั้นอากาศร้อนถ่ายเทความร้อนและรับเอาความชื้นออกจากหอมหัวใหญ่ในเวลาเดียวกัน ทำให้อุณหภูมิของอากาศที่ออกพื้นที่อบแห้งลดลง และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ออกพื้นที่อบแห้งหอมหัวใหญ่เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายใน

ในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สัมพันธ์กับอัตราการอบแห้งหอมหัวใหญ่ในรูป 4.9 และ 4.10 อัตราการอบแห้งเริ่มต้นที่เวลา 9.00 นาฬิกา ในวันที่ 1 ต่ำ เพราะพลังงานแสงอาทิตย์ต่ำ หลังจากเวลานี้พลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มอุณหภูมิของอากาศบริเวณพื้นที่สะสมความร้อนและลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณพื้นที่สะสมความร้อนให้ต่ำลง ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณพื้นที่อบแห้งต่ำมากซึ่งช่วยระเหยความชื้นออกจากหอมหัวใหญ่และอากาศร้อนรับเอาความชื้นได้มากขึ้น ส่งผลต่ออัตราการอบแห้งที่เพิ่มขึ้น พลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดในช่วงเวลา 11.00-15.00 นาฬิกา เป็นช่วงอัตราการอบแห้งสูงสุด ส่วนอัตราการอบแห้งหลังจากเวลา 15.00 นาฬิกา ลดลงตามพลังงานแสงอาทิตย์ที่ลดลงทำให้อุณหภูมิของอากาศบริเวณพื้นที่สะสมความร้อนลดลงและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณพื้นที่สะสมความร้อนเพิ่มขึ้น จนเวลา 16.00 นาฬิกาอัตราการอบแห้งต่ำมากจึงถือว่าการอบแห้งสิ้นสุด เวลาอบแห้งในวันที่ 1 คือ 7 ชั่วโมง แต่ความชื้นในหอมหัวใหญ่ที่เหลืออยู่มีมากประมาณ 35 % w.b. ต้องอบแห้งต่อในวันที่ 2 อัตราการอบแห้งในวันที่ 2 มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ที่ลดลงตามเวลาเช่นเดียวกับวันที่ 1 แต่อัตราการอบแห้งสูงสุดในช่วงเวลา 11.00-13.00 นาฬิกาต่ำกว่าการอบแห้งในวันที่ 1 เพราะความชื้นของหอมหัวใหญ่เหลือน้อย ส่วนเวลาหลังจากนั้นอัตราการอบแห้งลดลงและการอบแห้งกระทำจนความชื้นของหอมหัวใหญ่ต่ำกว่า 10% w.b. จึงสิ้นสุดการอบแห้งในวันที่ 2 โดยการอบแห้งหอมหัวใหญ่ที่ไม่ผ่านการอบแห้ง 2 วันใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 14 ชั่วโมงและการอบแห้งหอมหัวใหญ่ที่ผ่านการอบแห้ง 2 วันใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 13 ชั่วโมง ความชื้นสุดท้ายของหอมหัวใหญ่อบแห้งประมาณ 8% w.b.

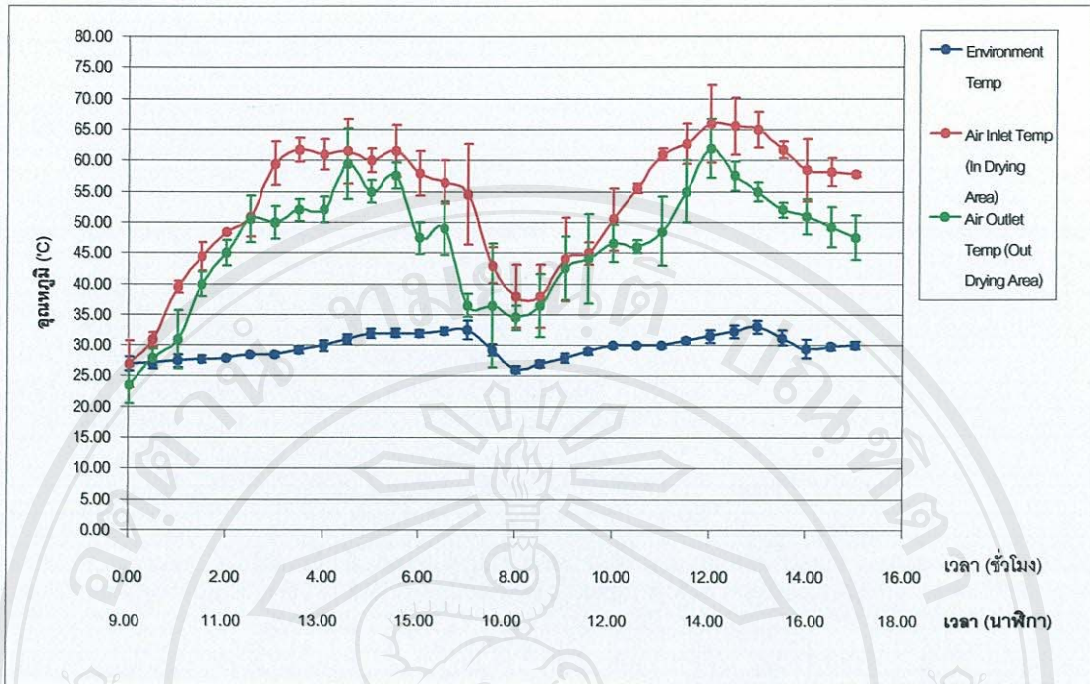
อัตราการอบแห้งหอมหัวใหญ่ที่ผ่านการอบแห้งต่ำกว่าหอมหัวใหญ่ที่ไม่ผ่านการอบแห้ง เพราะความชื้นในหอมหัวใหญ่ที่ผ่านการอบแห้งต่ำกว่า และอัตราการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดสูงกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพราะการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดสามารถควบคุมอุณหภูมิที่สูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำตลอดการอบแห้ง แต่อัตราการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์กำหนดจากช่วงเวลาที่แสงอาทิตย์รายวันและปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่สม่ำเสมอมีผลต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้แปรเปลี่ยนตลอดเวลาซึ่งมีผลต่ออัตราการอบแห้งที่ไม่สม่ำเสมอและเวลาอบแห้งที่เร็วหรือช้า



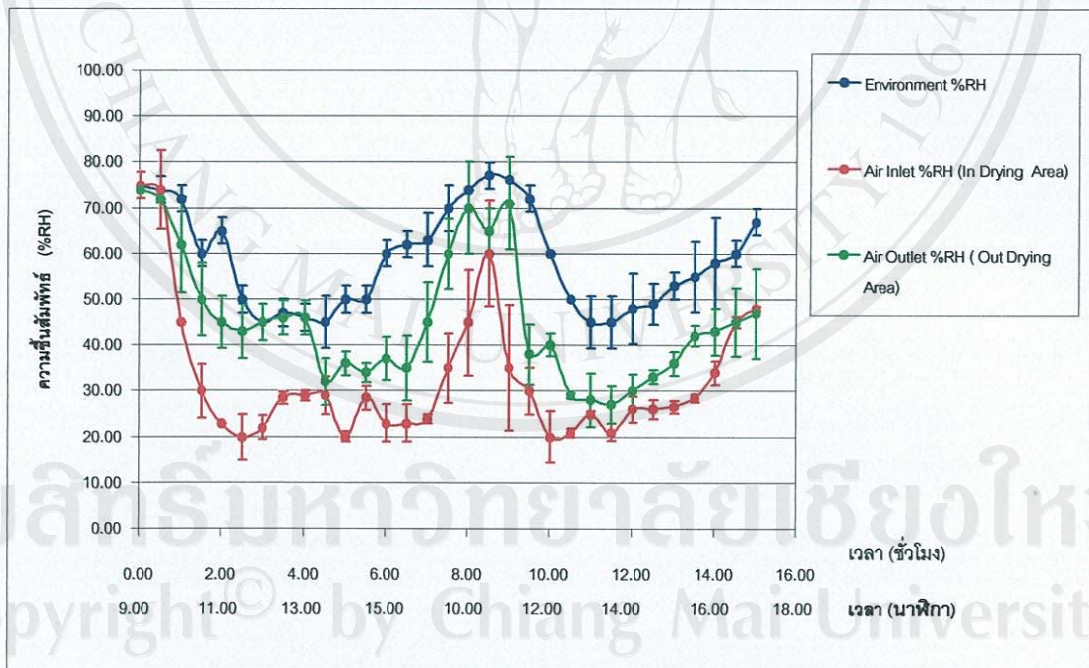
รูป 4.9 อัตราการอบแห้งของหอมหัวใหญ่ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เทียบกับเวลา



รูป 4.10 อัตราการอบแห้งของหอมหัวใหญ่ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เทียบกับความชื้น



รูป 4.11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศขณะอบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



รูป 4.12 การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขณะอบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



#### 4.2.5 การตรวจสอบคุณภาพของหอมหัวใหญ่อบแห้ง

การตรวจสอบหอมหัวใหญ่อบแห้งเพื่อทราบผลของการแปรรูปที่มีต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์เพื่อเลือกแนวทางในการอบแห้งหอมหัวใหญ่ที่เหมาะสม

ตาราง 4.5 ปริมาณผลผลิต ปริมาณเกลือ ความชื้นและค่า  $a_w$  ของหอมหัวใหญ่ก่อนอบแห้งและหอมหัวใหญ่อบแห้ง

ค่า	ก่อนอบแห้ง	Tray Drying	Osmotic+ Tray Drying	Solar Drying	Osmotic+ Solar Drying	Commercial
1. ปริมาณผลผลิต (% Yield)	78.54±5.50	7.13±0.41	9.14±0.47	6.28±0.48	8.83±0.61	-
2. ปริมาณเกลือ (%w.b.) (g เกลือ/ g ของแข็งแห้ง)	0.00	0.00	9.79±0.82 (0.22±0.02)	0.00	10.61±0.68 (0.24±0.01)	0.00
3. ความชื้น (%w.b.) (g น้ำ/ g ของแข็งแห้ง)	93.59±0.30 (14.60±0.00)	12.53 <sup>a</sup> ±2.00 (0.1253±0.02)	12.72 <sup>b</sup> ±1.84 (0.1272±0.02)	8.01 <sup>a</sup> ±0.21 (0.0801±0.00)	8.44 <sup>b</sup> ±0.41 (0.0844±0.00)	8.25 <sup>a</sup> ±0.18 (0.0825±0.00)
4. ค่า $a_w$	0.986±0.001	0.402±0.05	0.394±0.01	0.287±0.02	0.254±0.02	0.363±0.02

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันตามแถวแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตาราง 4.5 ปริมาณผลผลิต (%Yield) ของเนื้อหอมหัวใหญ่ที่ใช้อบแห้งลดลงเหลือประมาณ 80% เพราะตัดเอาเนื้อคอส่วนบน หัวส่วนล่างและเนื้อแกนกลางขนาดเล็กออกทิ้งไป หอมหัวใหญ่ที่ออสโมติกและอบแห้งมีปริมาณผลผลิตสุดท้ายมากกว่าหอมหัวใหญ่ที่อบแห้งเพียงวิธีเดียวเพราะมีเกลือเข้าไปขณะที่ออสโมติกทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณเกลือที่เติมเข้าไปเพื่อช่วยออสโมติกมีไม่มาก เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้หอมหัวใหญ่อบแห้งเป็นส่วนประกอบ ตัวอย่างเช่น บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีเกลือ 5-10% ซุปผง ซุปไก่ก่อนมีเกลือ 40% (% เกลืออ่านจากฉลาก) (ภาคผนวก ก รูป ก 8) จึงสามารถใช้หอมหัวใหญ่ที่ผ่านการออสโมติกและอบแห้งมาเป็นส่วนประกอบผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้เพราะท้ายสุดต้องปรับปริมาณเกลือให้ได้ตามฉลาก

ความชื้นสุดท้ายของหอมหัวใหญ่อบแห้งที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 60°C (ความชื้นสัมพัทธ์อากาศเข้าเครื่องอบแห้งประมาณ 25%) ไม่สามารถลดความชื้นหอมหัวใหญ่ให้ต่ำกว่า 10% w.b. หอมหัวใหญ่อบแห้งจึงไม่กรอบ ไม่เปราะ นุ่ม แต่การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถลดความชื้นในผลิตภัณฑ์หอมหัวใหญ่ให้ต่ำประมาณ 8 % w.b. และใกล้เคียงกับ

หอมหัวใหญ่อบแห้งทางการค้า การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถลดความชื้นของหอมหัวใหญ่อบแห้งได้ต่ำกว่าการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด อุณหภูมิโดยเฉลี่ยภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์บริเวณส่วนอบแห้งประมาณ 58 °C ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด แต่การอบด้วยอัตราการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ช้าทำให้ความชื้นจากภายในชั้นหอมหัวใหญ่สามารถแพร่ซึมขึ้นมาที่ผิวหน้าได้อย่างต่อเนื่องอย่างช้าๆและการสร้างสมดุลความชื้นในระหว่างเก็บรักษาหอมหัวใหญ่ในวันที่ 1 ก่อนอบแห้งต่อในวันที่ 2 เพื่อให้ความชื้นที่เหลือน้อยแพร่ซึมออกมาที่ผิวหน้าได้อีกจึงทำให้ความชื้นของหอมหัวใหญ่ที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต่ำกว่า 10 % และตรวจค่า  $a_w$  ของหอมหัวใหญ่อบแห้งทุกวิธีมีค่าต่ำกว่า 0.6

ตาราง 4.6 ค่าความชื้น Bulk Density Bulk Shrinkage Coefficient ค่าความพรุนและการคืนรูปของหอมหัวใหญ่

ค่า	ก่อนอบแห้ง	Tray Drying	Osmotic+ Tray Drying	Solar Drying	Osmotic+ Solar Drying
1. ความชื้น (%w.b.) (g น้ำ/ g ของแข็งแห้ง)	93.59±0.30 (14.60±0.02)	12.53 <sup>b</sup> ±2.00 (0.1253±0.02)	12.72 <sup>b</sup> ±1.84 (0.1272±0.02)	8.01 <sup>a</sup> ±0.21 (0.0801±0.00)	8.44 <sup>a</sup> ±0.41 (0.0844±0.00)
2. ค่า Bulk Density (g/ml)	0.45±0.01	0.26 <sup>a</sup> ±0.00	0.30 <sup>ab</sup> ±0.00	0.39 <sup>c</sup> ±0.04	0.32 <sup>b</sup> ±0.04
3. Bulk Shrinkage Coefficient ( $S_b$ ) *	1.00±0.00	0.13 <sup>a</sup> ±0.01	0.11 <sup>ab</sup> ±0.01	0.08 <sup>c</sup> ±0.01	0.10 <sup>bc</sup> ±0.02
4. ค่าความพรุน (%) **	54.58±0.05	81.00 <sup>a</sup> ±0.13	77.06 <sup>b</sup> ±0.77	71.93 <sup>c</sup> ±0.02	77.94 <sup>b</sup> ±0.59
5. การคืนรูปที่เวลา 2 ชั่วโมง (%)	-	93.08 <sup>a</sup> ±0.92	91.55 <sup>a</sup> ±0.08	87.56 <sup>b</sup> ±1.34	92.34 <sup>a</sup> ±0.70

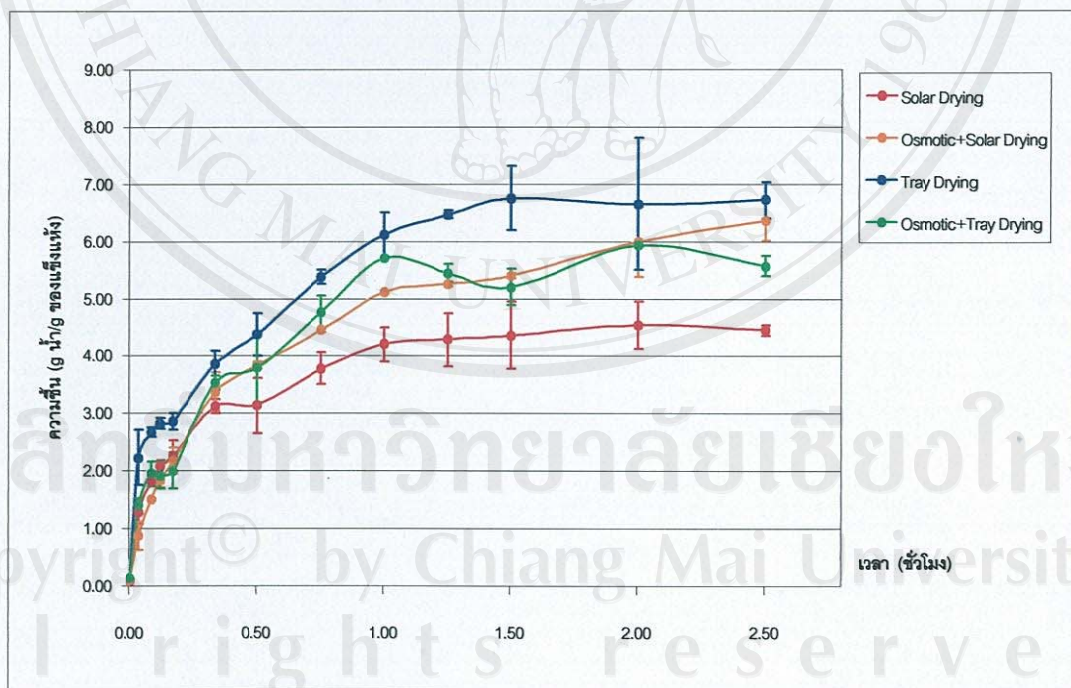
หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

\* คำนวณจากสมการ ข 2 ในภาคผนวก ข

\*\* คำนวณจากสมการ ข 3 และ ข 4 ในภาคผนวก ข

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันตามแถวแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตาราง 4.6 ค่า Bulk Density ของหอมหัวใหญ่สดมีค่ามากกว่าหอมหัวใหญ่อบแห้ง เพราะหอมหัวใหญ่สดมีความชื้นภายในขึ้นหอมหัวใหญ่มาก มีรายงานว่า การอบแห้งหอมหัวใหญ่ทำให้ค่า Bulk Density ของขึ้นหอมหัวใหญ่ที่มีความหนา 5 mm ความชื้นเริ่มต้นของหอมหัวใหญ่ 80 %w.b. ลดลงตามความชื้นของหอมหัวใหญ่จนถึง 12 %w.b. (Rapusas *et al.*, 1995) พิจารณาความชื้นและค่า Bulk Density ของหอมหัวใหญ่อบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมติกด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) เช่นเดียวกับความชื้นของหอมหัวใหญ่อบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมติกด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ความชื้นที่ต่ำประมาณ 8 %w.b. ของหอมหัวใหญ่อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้ค่า Bulk Density เพิ่มขึ้นมากกว่าหอมหัวใหญ่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่มีความชื้นประมาณ 12 %w.b. สอดคล้องกับการทดลองของ Rapusas *et al.* (1995) เพราะการอบแห้งหอมหัวใหญ่จนมีความชื้นต่ำมากก่อให้เกิดการหดและบีบตัวของโครงสร้างเซลล์หอมหัวใหญ่ไม่สม่ำเสมอในทุกทิศทาง โครงสร้างเซลล์ที่รวมกันแน่นเกิดการแยกตัว ฉีกขาดหรือแตกออกได้ง่าย โครงสร้างขึ้นหอมหัวใหญ่ที่มีขนาดเล็กกระจายตัวชิดกันได้ดีขึ้นทำให้ค่า Bulk Density เพิ่มขึ้น (Krokida and Kouris, 2003; Rapusas *et al.*, 1995) ซึ่งค่า Bulk Density เกี่ยวข้องกับการหดตัว ปริมาณรูพรุนและการคืนรูปของขึ้นหอมหัวใหญ่อบแห้ง



รูป 4.13 การคืนรูปของหอมหัวใหญ่อบแห้งเทียบกับเวลา

การคืนรูป (Rehydration) ของอาหารแห้งแสดงถึงโครงสร้างของเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการนำบัตก่อนอบแห้ง (Pre-drying Treatment) และการอบแห้ง (Lewicki, 1998) ในขณะที่คืนรูปเกิด 3 ขั้นตอนตามลำดับคือ การดูดซับน้ำเข้าไปในอาหารแห้ง การพองตัว (Swelling) และการไหลของสารละลาย (Krokida and Kouris, 2003) การพองตัวเป็นส่วนหนึ่งกับน้ำที่อาหารแห้งดูดซับเอาไว้ โครงสร้างของเซลล์ที่สูญเสียไม่สามารถคืนรูปได้ดั้งเดิมเพราะการสูญเสียคุณสมบัติการเลือกผ่านของ Plasma Membrane ทำให้รูพรุนในชั้นหุ้มหัวใจใหญ่ลดลงต้านทานการถ่ายเทน้ำเข้าสู่ภายในเซลล์ ลดคุณสมบัติ Hydrophilic และการพองตัว การคืนรูปจึงต่ำลง ไม่สามารถดูดน้ำกลับเข้าไปได้เต็มที่ และสมบูรณ์ (Lewicki *et al.*, 1998 a) การคืนรูปของหอมหัวใหญ่อบแห้งด้วยวิธีต่างๆแสดงในตาราง 4.6 และในรูป 4.13 พบว่าความชื้นสูงสุดที่หอมหัวใหญ่ดูดซับไว้ที่เวลา 2 ชั่วโมงไม่เท่ากับ ความชื้นเริ่มต้นในหอมหัวใหญ่สดและสามารถคืนรูปได้ประมาณ 90% กล่าวได้ว่าการอบแห้งเป็นกระบวนการที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ (Irreversible Process) การคืนรูปในชั่วโมงที่ 1 มีมาก โดยความสามารถในการคืนรูปของหอมหัวใหญ่อบแห้งขึ้นกับค่า Bulk Shrinkage Coefficient ที่แสดงถึงความสามารถในการหดตัวและส่งผลต่อค่าความพรุน (Porosity) ของหอมหัวใหญ่อบแห้ง พบว่าหอมหัวใหญ่สดมีความพรุนต่ำเพราะมีความชื้นอยู่ในเซลล์มาก เซลล์มีความเต่ง เมื่อผ่านการอบแห้ง หอมหัวใหญ่ที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมติกแล้วอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดและหอมหัวใหญ่ที่ผ่านการออสโมติกแล้วอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีการคืนรูปได้มากกว่าหอมหัวใหญ่ที่ไม่ผ่านการออสโมติกที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เพราะที่ความชื้นไม่ต่ำมากโครงสร้างของหอมหัวใหญ่ไม่ถูกอัดและบีบตัวอย่างแน่นหนา หอมหัวใหญ่หดตัวได้น้อยจึงมีความสามารถหดตัวได้ โครงสร้างไม่บิดเบี้ยวหรือแตกออกที่ส่งผลต่อรูพรุนที่ลดลงหรือแสดงด้วยค่า Bulk Shrinkage Coefficient และ ค่าความพรุนที่สูง ทำให้การคืนรูปทั้ง 3 กรณีที่เวลา 2 ชั่วโมงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ตาราง 4.7 ค่าสีของหอมหัวใหญ่สดและหอมหัวใหญ่อบแห้ง

ค่าสี	ก่อนอบแห้ง	Tray Drying	Osmotic+ Tray Drying	Solar Drying	Osmotic+ Solar Drying	Commercial
1. L*	68.03±1.18	63.64 <sup>a</sup> ±1.61	63.83 <sup>a</sup> ±1.86	60.28 <sup>b</sup> ±3.91	60.67 <sup>b</sup> ±1.78	62.25 <sup>ab</sup> ±1.80
2. a*	-4.11±0.39	-2.42 <sup>b</sup> ±0.58	-3.72 <sup>a</sup> ±0.45	1.56 <sup>c</sup> ±1.33	3.02 <sup>d</sup> ±1.00	2.01 <sup>d</sup> ±0.71
3. b*	7.75±0.82	32.18 <sup>c</sup> ±1.23	27.24 <sup>b</sup> ±0.57	25.78 <sup>a</sup> ±2.57	26.58 <sup>a</sup> ±1.83	31.31 <sup>c</sup> ±1.43

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแถวแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

สีเป็นลักษณะปรากฏของหอมหัวใหญ่ที่สำคัญ (ภาคผนวก ก รูป ก 5) การเกิดสีน้ำตาลของหอมหัวใหญ่ในระหว่างการอบแห้งสาเหตุหนึ่งมาจากปฏิกิริยา Non-enzymatic Browning ที่เกิดจากน้ำภายในอาหารพาเอากรดอะมิโนและน้ำตาลออกมาที่ผิวหน้า เมื่ออาหารสูญเสียความชื้นออกไปมากทำให้ความเข้มข้นของสารดังกล่าวที่ผิวหน้าเพิ่มมากขึ้นและอุณหภูมิอบแห้งที่สูงเร่งให้เกิดปฏิกิริยานี้ได้ดี (Arsdel,1973) การเกิดปฏิกิริยา Non-enzymatic Browning ในหอมหัวใหญ่เกิดได้สูงสุดเมื่อค่า  $a_w$  อยู่ในช่วง 0.6-0.7 ที่ความชื้น 20.4 %w.b. (Rapusas and Driscoll,1995 a) ศิริทรัพย์ (2544) พบว่าปฏิกิริยานี้เกิดเมื่อความชื้นในหอมหัวใหญ่มีค่าประมาณ 16.37-36.56 %w.b. ปฏิกิริยา Maillard เกิดเมื่อหอมหัวใหญ่สูญเสียความชื้นออกไป 40-50% และเกิด Caramelization เมื่อสูญเสียความชื้นประมาณ 60 % (Adam *et al.*,2000) การอบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อาจเกิดปฏิกิริยา Non-enzymatic Browning เมื่อหอมหัวใหญ่มีความชื้น ประมาณ 20 %w.b. หรือสูญเสียความชื้นประมาณ 78% วัดค่า  $a_w$  ได้ประมาณ 0.5 โดยค่าสี  $L^*, a^*, b^*$  ของหอมหัวใหญ่สดเป็น  $70.07 \pm 4.03, -4.11 \pm 0.39, 7.75 \pm 0.82$  เปลี่ยนเป็น  $68.03 \pm 1.18, -4.53 \pm 0.36, 22.49 \pm 1.30$  แนวโน้มการเกิดปฏิกิริยา Non-enzymatic Browning ทำให้ค่า  $L^*$  ลดลง ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  เพิ่มขึ้น โดยหอมหัวใหญ่อบแห้งเป็นสีน้ำตาลมากเมื่อค่า  $a^*$  มาก จากตาราง 4.7 การอบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ก่อให้เกิดปฏิกิริยา Non-enzymatic Browning ได้ง่ายและมากกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อนแบบถาดเพราะอัตราการอบแห้งในช่วงความชื้นและ  $a_w$  ที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา Non-enzymatic Browning เกิดได้นาน การอบแห้งไม่ติดช่วยลดเวลาอบแห้งและลดการเกิดสีน้ำตาลของหอมหัวใหญ่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดแต่ไม่มีผลต่อสีของหอมหัวใหญ่อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ตาราง 4.8 ปริมาณ Pyruvic Acid ของหอมหัวใหญ่สดและหอมหัวใหญ่อบแห้ง

Pyruvic Acid ( $\mu\text{mole/g}$ ของแข็งแห้ง)	กอบอบแห้ง	Tray Drying	Osmotic+ Tray Drying	Solar Drying	Osmotic+ Solar Drying
1.Total Pyruvic Acid	$63.49 \pm 0.00$	$3.13^d \pm 0.00$	$3.40^c \pm 0.00$	$4.04^b \pm 0.01$	$5.08^a \pm 0.08$
2.Enzymatically Pyruvic Acid	$16.54 \pm 0.06$	$0.31 \pm 0.09$	$1.03 \pm 0.05$	$0.15 \pm 0.14$	$0.32 \pm 0.02$

หมายเหตุ ; ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันตามแถว แนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตาราง 4.8 การอบแห้งทำให้ปริมาณ Total Pyruvic Acid และ Enzymatically Pyruvic Acid ของหอมหัวใหญ่ลดลง โดยเฉพาะ Enzymatically Pyruvic Acid ลดลงอย่างรวดเร็วและมีเหลือน้อยมากเพราะอุณหภูมิสูงลดการทำงานของเอนไซม์ Alliinase ที่มีผลต่อการสร้าง Enzymatically Pyruvic Acid (Arsdel, 1973; Pezzutti and Crapiste, 1997) อุณหภูมิในขณะอบแห้งหอมหัวใหญ่ 50-80°C ทำให้สูญเสียปริมาณ Pyruvic Acid ถึง 65% และองค์ประกอบของสารที่ระเหยได้มีจุดเดือดต่ำจะระเหยได้มาก ถ้าอบแห้งอุณหภูมิ 80°C จะทำลายองค์ประกอบของสารให้กลิ่นทั้งหมด (Adam *et al.*, 2000) ซึ่ง Total Pyruvic Acid ที่เหลืออยู่ใช้เป็นค่าแสดงความคุณค่า (Pezzutti and Crapiste, 1997) หอมหัวใหญ่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มี Total Pyruvic Acid มากกว่าอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดเพราะการอบแห้งแบบถาดใช้อุณหภูมิตลอดการอบแห้ง แต่การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงกว่า 60°C ประมาณ 4 ชั่วโมง การอบสโมคกลดการสูญเสียปริมาณ Total Pyruvic Acid เพราะช่วยลดเวลาอบแห้ง หอมหัวใหญ่ไม่ได้สัมผัสอากาศร้อนเป็นเวลานาน

#### 4.2.6 วิธีที่เหมาะสมในการอบแห้งหอมหัวใหญ่

การอบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดใช้เวลาอบแห้งสั้นเพราะอัตราการอบแห้งสูง สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้สม่ำเสมอตลอดการอบแห้ง อบแห้งได้ทุกฤดูกาลและช่วงเวลาทั้งกลางวันและกลางคืนอย่างต่อเนื่อง ผลผลิตต่อหน่วยเวลามาก สูญเสียพลังงานไฟฟ้าเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศ คุณภาพของผลิตภัณฑ์พบว่าความชื้นสุดท้ายของหอมหัวใหญ่อบแห้งประมาณ 12 %w.b. หอมหัวใหญ่อบแห้งไม่กรอบ ไม่เปราะ แต่มุม ทำให้บดเป็นผงได้ยาก หอมหัวใหญ่อบแห้งมีสีเขียวเหลืองและความคุณค่าการออกสโมคกกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดลดเวลาอบแห้งช่วยรักษาสีและความคุณค่าดีกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อนอย่างเดียว

การอบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาอบแห้งนานเพราะอัตราการอบแห้งต่ำ การอบแห้งไม่ต่อเนื่องเพราะจำกัดด้วยปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์จึงใช้เวลาอบแห้ง 2 วัน ผลผลิตต่อหน่วยเวลาน้อย แต่เป็นแนวทางเลือกหนึ่งเพราะปริมาณหอมหัวใหญ่มีมากในช่วงเดือนมกราคม-เมษายนซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าวมีปริมาณมาก ช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์ต่อวันนาน การอบแห้งด้วยวิธีนี้ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สม่ำเสมอตลอดได้ แต่สามารถปรับพื้นที่อบแห้งให้มากขึ้นและเกลี่ยให้ชั้นหอมหัวใหญ่ให้บาง เพื่อเพิ่มอัตราการอบแห้ง การเพิ่มความหนาของชั้นหอมหัวใหญ่ไม่ควรกระทำ ถ้าความหนาของชั้นหอมหัวใหญ่ที่ผ่านการออกสโมคกเป็น 0.5 cm, 1.0 cm และ 1.5 cm เวลาอบแห้งให้หอมหัวใหญ่มีความชื้นประมาณ 8%

w.b. ใช้เวลาเพิ่มมากขึ้นคือ 13, 22 และ 29 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งถ้าหอมหัวใหญ่สัมผัสกับอุณหภูมิสูง และแสงอาทิตย์เป็นเวลานานอาจสูญเสียกลิ่น เกิดสีน้ำตาลได้มาก วิธีอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ประหยัดพลังงาน คุณภาพของผลิตภัณฑ์พบว่าหอมหัวใหญ่อบแห้งมีความชื้นประมาณ 8 %w.b. ผลิตภัณฑ์กรอบ เปราะ หอมหัวใหญ่อบแห้งมีสีน้ำตาลอ่อนใกล้เคียงหอมหัวใหญ่อบแห้งทางการค้า การออกซิเดชันร่วมกับอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถลดเวลาอบแห้งได้ ช่วยเพิ่มการคืนรูป รักษาความชื้น ดีกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว

การอบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาแปรรูปหอมหัวใหญ่ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจท้องถิ่นของจังหวัดเชียงใหม่ที่มีมากในเดือนมกราคม-เมษายน และเป็นช่วงที่มีพลังงานแสงอาทิตย์มาก การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ประหยัดพลังงานไฟฟ้าและการออกซิเดชันหอมหัวใหญ่ด้วยสารละลายเกลือที่มีราคาถูกช่วยลดเวลาอบแห้ง ปรับปรุงโครงสร้างของหอมหัวใหญ่ไม่ให้หดตัว เพิ่มความสามารถในการคืนรูป รักษาปริมาณ Total Pyruvic Acid ที่เป็นค่าแสดงความชื้น หอมหัวใหญ่อบแห้งมีความชื้นและสีที่ใกล้เคียงกับหอมหัวใหญ่ทางการค้า และเมื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและพลังงานหอมหัวใหญ่อบแห้งที่ผ่านการออกซิเดชันและอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงในตาราง 4.9

ตาราง 4.9 คุณค่าทางโภชนาการและพลังงานของหอมหัวใหญ่สดและหอมหัวใหญ่อบแห้ง

คุณค่าทางโภชนาการ	หอมหัวใหญ่สด	หอมหัวใหญ่อบแห้ง (Osmotic+ Solar Drying)
	% w.b. (% d.b.)	% w.b. (% d.b.)
1. ไนโตรเจน (ในรูปไนโตรเจนทั้งหมด) (Total Nitrogen)	0.55±0.00 (383.12 <sup>a</sup> ±0.94)	7.06±0.28 (328.60 <sup>b</sup> ±0.47)
2. ไขมันทั้งหมด (Total Lipid)	0.86±0.00 (888.45 <sup>a</sup> ±0.84)	0.06±0.00 (818.17 <sup>b</sup> ±6.85)
3. คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (Total Carbohydrate)	4.18±0.11 (653.13 <sup>a</sup> ±1.74)	46.76±1.65 (645.90 <sup>b</sup> ±1.81)
4. เส้นใยทั้งหมด (Total Crude Fiber)	1.45±0.12 (1,121.05 <sup>a</sup> ±81.02)	17.07±0.51 (926.97 <sup>b</sup> ±40.11)
5. เถ้าทั้งหมด (Total Ash)	0.16±0.02 (239.48 <sup>a</sup> ±24.43)	19.40±1.83 (1,936.24 <sup>b</sup> ±174.25)
6. น้ำตาล (ในรูป Reducing)	1.42±0.14 (22.16 <sup>a</sup> ±2.22)	16.03±1.67 (17.58 <sup>b</sup> ±1.83)
7. พลังงาน (kcal/ 100 g หอมหัวใหญ่)	19.38±0.43 (302.54 <sup>a</sup> ±6.65)	222.97±5.62 (224.60 <sup>b</sup> ±6.17)

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันตามแถวแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

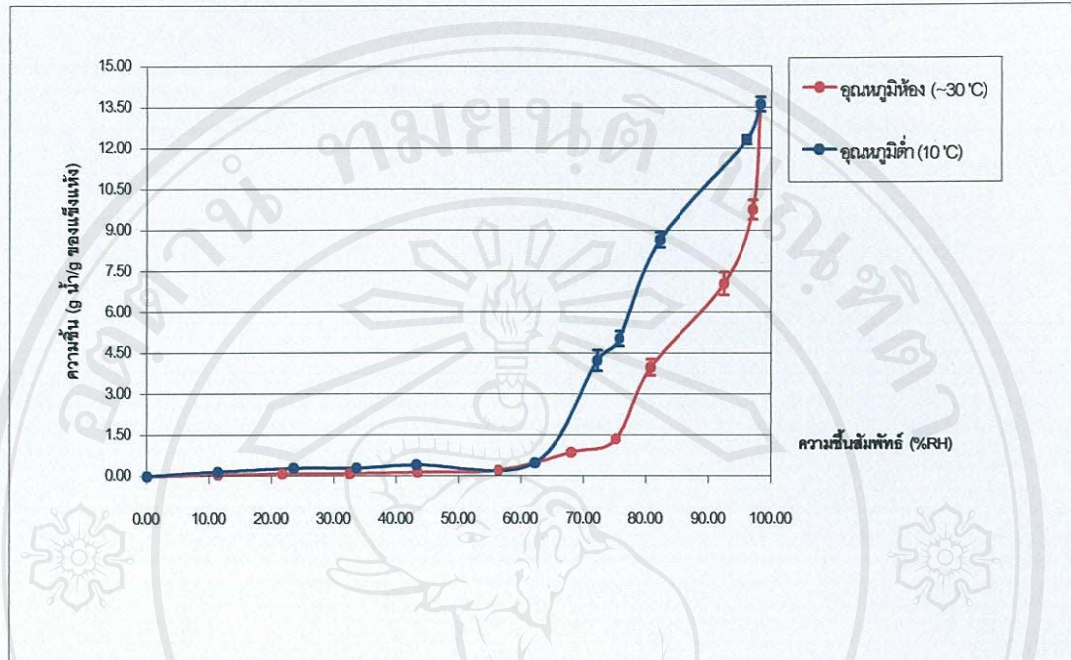
ทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตาราง 4.9 หอมหัวใหญ่ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นวิธีอบแห้งที่เหมาะสมจากการศึกษานี้ทำให้คุณค่าทางโภชนาการและพลังงานในหน่วย % d.b. ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ปริมาณเถ้าทั้งหมดในหน่วย % d.b. เพิ่มขึ้น เพราะมีเกลือที่เข้าไปในหอมหัวใหญ่อบแห้ง เกลือช่วยปรับสูตร ให้รสชาติแก่ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ หอมหัวใหญ่อบแห้งเป็นส่วนประกอบ เกลือที่เสริมธาตุไอโอดีนช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและป้องกันการขาดธาตุไอโอดีน

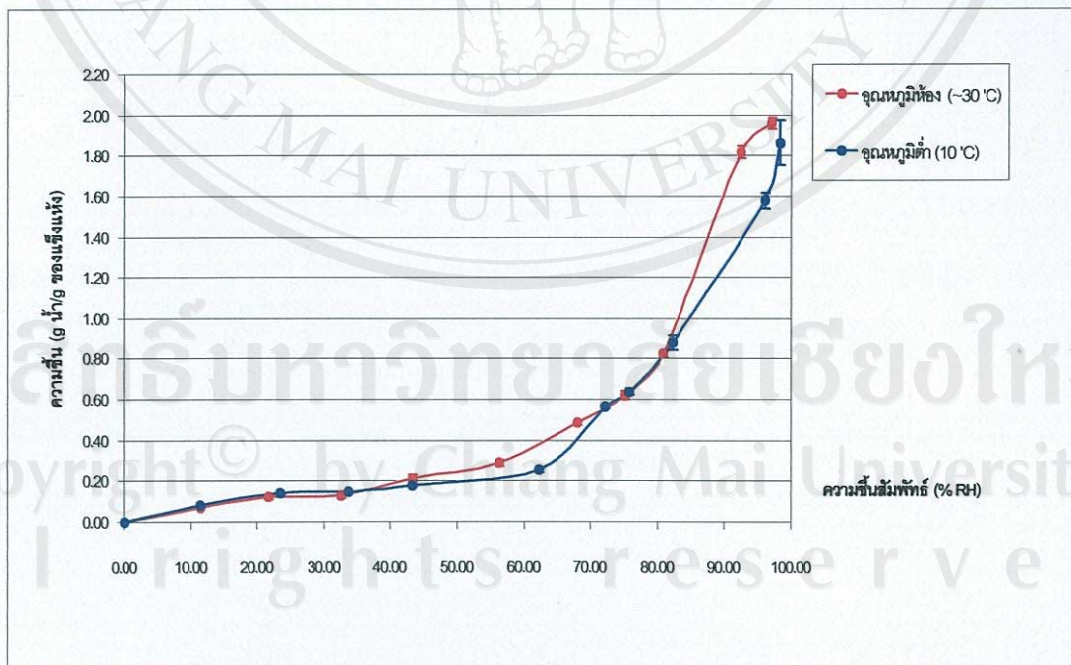


### 4.3 การศึกษา Sorption Isotherms ของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิห้อง

#### 4.3.1 Sorption Isotherms ของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิห้อง



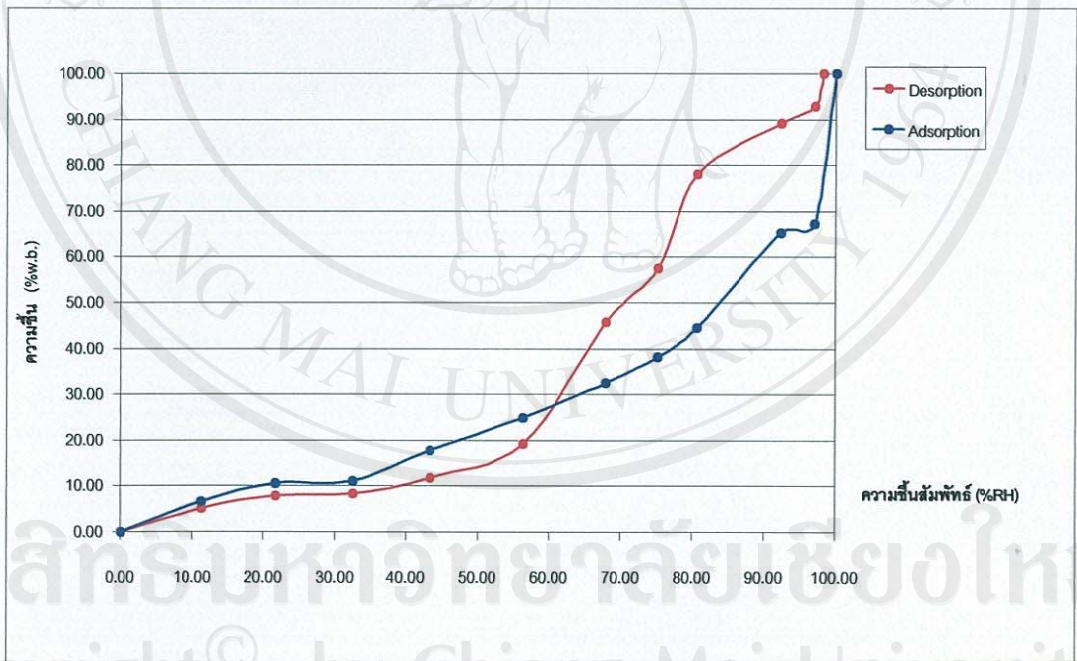
รูป 4.14 Desorption Isotherms ของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิห้อง



รูป 4.15 Adsorption Isotherms ของหอมหัวใหญ่อบแห้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิห้อง



รูป 4.16 Desorption และ Adsorption Isotherms ของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิต่ำ



รูป 4.17 Desorption และ Adsorption Isotherms ของหอมหัวใหญ่อบแห้งที่อุณหภูมิห้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

Desorption Isotherms ที่อุณหภูมิต่ำ ( $10 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) และอุณหภูมิห้อง (ประมาณ  $30^{\circ}\text{C}$ ) ในรูป 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลของหอมหัวใหญ่และความชื้นสัมพัทธ์สิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเป็นหอมหัวใหญ่ที่ผ่านการอบสโมคกิ้งด้วยสารละลายเกลือแกง 5% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าความชื้นของหอมหัวใหญ่ที่ลดลงไม่เป็นเส้นตรงกับความชื้นสัมพัทธ์ที่ลดลง จากกราฟพบว่า ความชื้นของหอมหัวใหญ่ลดลงมากเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ลดลงจาก 95% เป็น 55% ที่อุณหภูมิห้องความชื้นของหอมหัวใหญ่ลดลงมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 55% ความชื้นของหอมหัวใหญ่เปลี่ยนแปลงน้อยทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิห้อง ซึ่งคล้ายกับ Desorption Isotherms ที่อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  และ  $70^{\circ}\text{C}$  ของหอมหัวใหญ่ ที่ Krokida *et al.* (2003) สร้างขึ้น จาก Desorption Isotherm อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการลดความชื้นของหอมหัวใหญ่ โดยแนวโน้มอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสามารถลดความชื้นได้มาก และ Desorption ที่ความชื้นสัมพัทธ์เดียวกัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ความชื้นของหอมหัวใหญ่ลดลง

Adsorption Isotherms ที่อุณหภูมิต่ำ ( $10 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) และอุณหภูมิห้อง (ประมาณ  $30^{\circ}\text{C}$ ) ในรูป 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลของหอมหัวใหญ่และความชื้นสัมพัทธ์สิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเริ่มต้นเป็นหอมหัวใหญ่ที่ผ่านการอบสโมคกิ้งด้วยสารละลายเกลือแกง 5% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จนมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 8 %w.b. พบว่าลักษณะของกราฟที่ได้เป็นเส้นโค้งเช่นเดียวกับที่พบในอาหารหลายชนิด ที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิห้องลักษณะของเส้นกราฟใกล้เคียงกัน จากกราฟในช่วงความชื้นสัมพัทธ์สมดุล 11-35 % ความชื้นสมดุลของหอมหัวใหญ่เปลี่ยนแปลงไม่มาก หลังจากช่วงนี้ความชื้นสมดุลเพิ่มขึ้นรวดเร็วคล้ายกับ Adsorption Isotherms ที่อุณหภูมิ  $20 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  ของหอมหัวใหญ่ผง (Onion Powder) ที่ Debnath *et al.* (2002) สร้างขึ้นโดยความชื้นสมดุลเพิ่มขึ้นรวดเร็วเมื่อความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 50 %

Adsorption Isotherms ของหอมหัวใหญ่อบแห้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิห้องใช้กำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาหอมหัวใหญ่อบแห้งและทำนายการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเมื่อสภาวะการเก็บไม่เป็นไปตามที่กำหนด จาก Adsorption Isotherms ทราบว่าถ้าต้องการเก็บหอมหัวใหญ่อบแห้งที่มีความชื้นประมาณ 10%w.b. ให้มีความชื้นคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงจะต้องเก็บที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 35% ที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำเพื่อรักษาคุณภาพหอมหัวใหญ่อบแห้งให้มีความชื้นคงที่ คงความกรอบ เพราะ ลดการเกิดปฏิกิริยา Non-Enzymatic Browning ที่ทำให้หอมหัวใหญ่อบแห้งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลในขณะที่เก็บรักษา การทดลองพบว่าหอมหัวใหญ่อบแห้งในขณะเก็บรักษาจะเกิดสีน้ำตาลเมื่อ  $a_w$  มากกว่า 0.356 ความชื้นประมาณ 13 %w.b. และระงับการเจริญเติบโตของยีสต์และราที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสียและไม่ปลอดภัยแก่การบริโภค แต่ในทางการ

ค่าของต่างประเทศจะเก็บหอมหัวใหญ่ไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 30% (A rsdel,1973) Isotherms ของหอมหัวใหญ่มีลักษณะ Hygroscopic อย่างมาก จากรูป 4.16 และ 4.17 เมื่อ ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 35% ความชื้นของหอมหัวใหญ่อบแห้งเพิ่มขึ้นรวดเร็วมากและเกิดลักษณะ Hysteresis กล่าวคือเส้นกราฟ Desorption และ Adsorption Isotherms ทั้ง 2 อุณหภูมิไม่ใช่เส้นเดียวกัน และจากรูป 4.17 พบว่าในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ที่น้อยกว่า 50 % เส้นกราฟ Adsorption อยู่เหนือเส้นกราฟ Desorption แต่ที่ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่านี้เป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Intersection (Inversion) ซึ่งจะพบในอาหารที่มีน้ำตาล (Tsami *et al.*,1990) การเก็บรักษาหอมหัวใหญ่อบแห้งควรทำอย่างระวังเพราะลักษณะของหอมหัวใหญ่อบแห้งสามารถดูดความชื้นได้ดี

#### 4.3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอมหัวใหญ่อบแห้ง

การทำนาย Adsorption Isotherms ที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิห้องโดยใช้แบบจำลองของ GAB (Guggenheim-Anderson deBoer) และ Smith (Maskan and Göğüş, 1999) แสดงสมการได้ดังนี้

แบบจำลอง GAB

$$M = \frac{M_0 Cka_w}{[(1 - ka_w)(1 - ka_w + Cka_w)]} \quad (4.1)$$

แบบจำลอง Smith

$$M = A - B \ln(1 - a_w) \quad (4.2)$$

เมื่อ M คือ ความชื้น (g น้ำ/ g ของแข็งแห้ง)

$M_0$  คือ ความชื้นชั้นเดียวของอาหาร (The Monolayer Moisture)  
(g น้ำ/ g ของแข็งแห้ง)

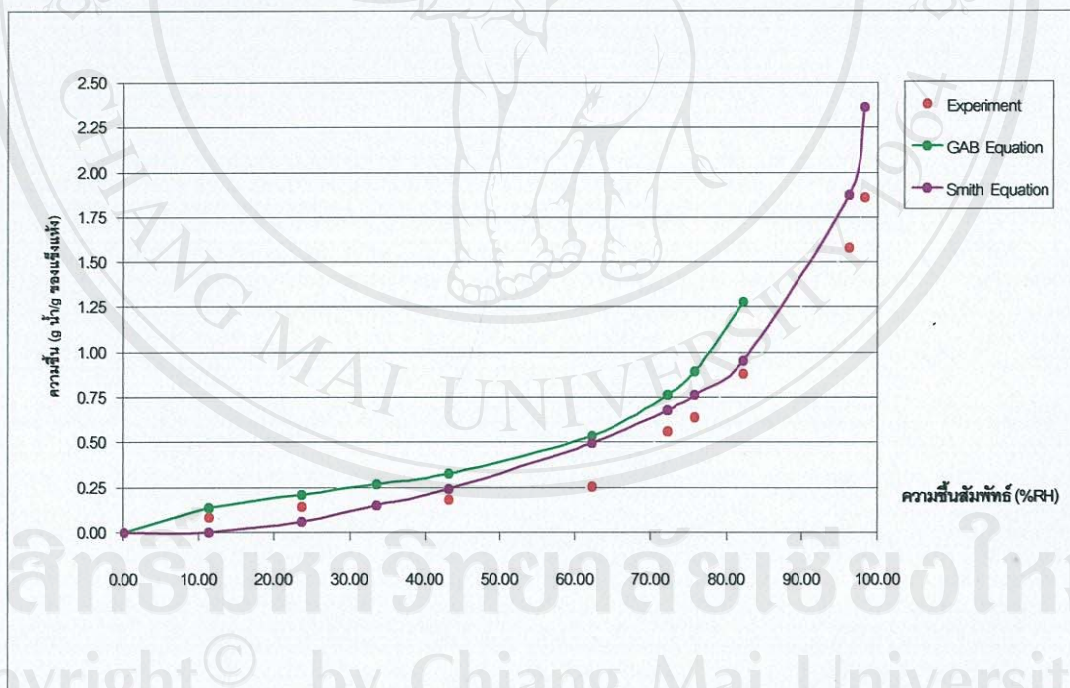
C,k,A,B คือ ค่าคงที่

ใช้วิธีการวิเคราะห์หาสมการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง (Non-linear Regression) ได้ค่าคงที่แสดงในตาราง 4.10 และแสดงเส้น Adsorption Isotherms ที่ได้จากแบบจำลอง GAB และแบบจำลอง Smith ในรูป 4.18 และ 4.19

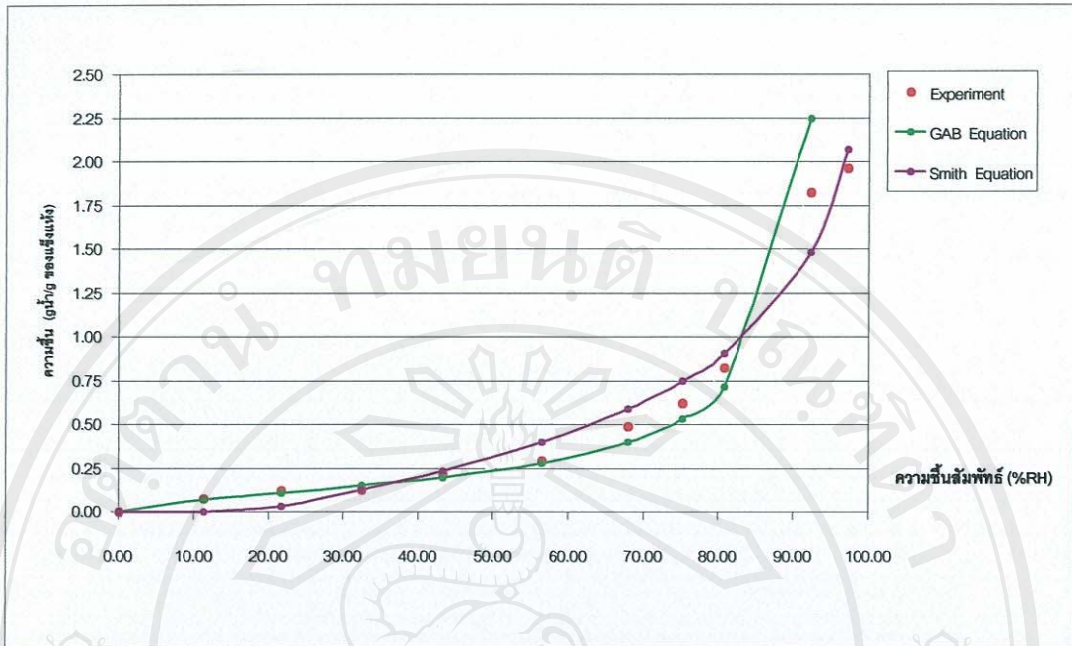
ตาราง 4.10 ค่าตัวแปรในสมการ GAB และ Smith

สมการ	อุณหภูมิ	ตัวแปร				
		$M_0$	C	k	A	B
GAB	ต่ำ	0.2035	11.3946	1.0275	-	-
	ห้อง	0.1299	6.9414	1.0214	-	-
Smith	ต่ำ	-	-	-	-0.1021	0.6136
	ห้อง	-	-	-	-0.1177	0.6232

จากรูป 4.18 พบว่าสมการของ Smith ทำนายเส้น Adsorption Isotherm ที่อุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 45% ได้ใกล้เคียงกว่าสมการ GAB และจากรูป 4.19 สมการของ Smith และสมการ GAB ทำนายเส้น Adsorption Isotherm ที่อุณหภูมิสูงได้ แต่สมการ GAB ทำนายได้ใกล้เคียงมากที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 60%



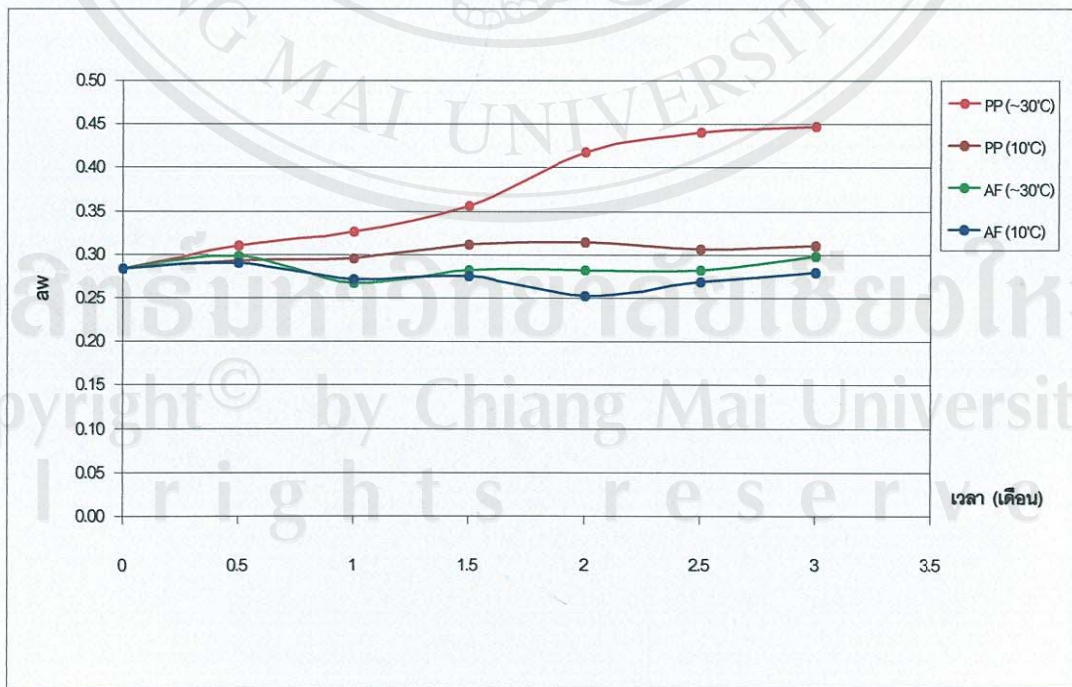
รูป 4.18 Adsorption Isotherms จากสมการ GAB และ Smith ของหอมหัวใหญ่อบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ



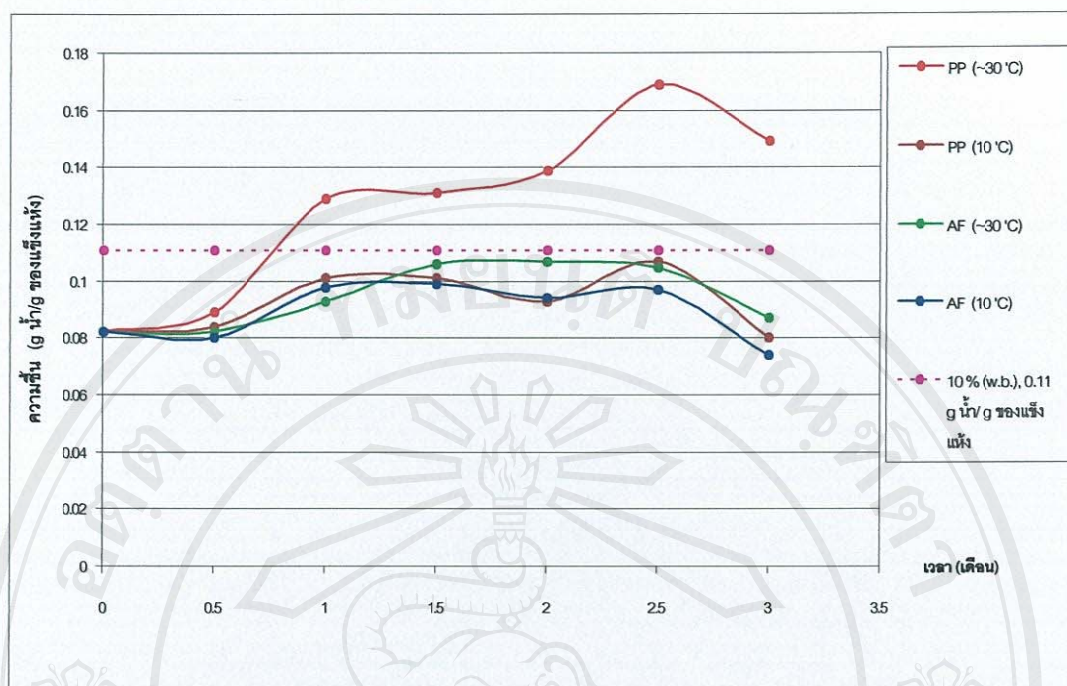
รูป 4.19 Adsorption Isotherms จากสมการ GAB และ Smith ของหอมหัวใหญ่อบแห้งที่อุณหภูมิห้อง

#### 4.4 การศึกษาผลของชนิดบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ของหอมหัวใหญ่อบแห้งที่เก็บรักษาในเวลา 3 เดือน

##### 4.4.1 การเปลี่ยนแปลงค่า $a_w$ และความชื้นของหอมหัวใหญ่อบแห้ง



รูป 4.20 การเปลี่ยนแปลงค่า  $a_w$  ของหอมหัวใหญ่อบแห้งที่เก็บรักษาด้วยวิธีต่างๆเป็นเวลา 3 เดือน



รูป 4.21 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของหอมหัวใหญ่อบแห้งที่เก็บรักษาด้วยวิธีต่างๆเป็นเวลา 3 เดือน

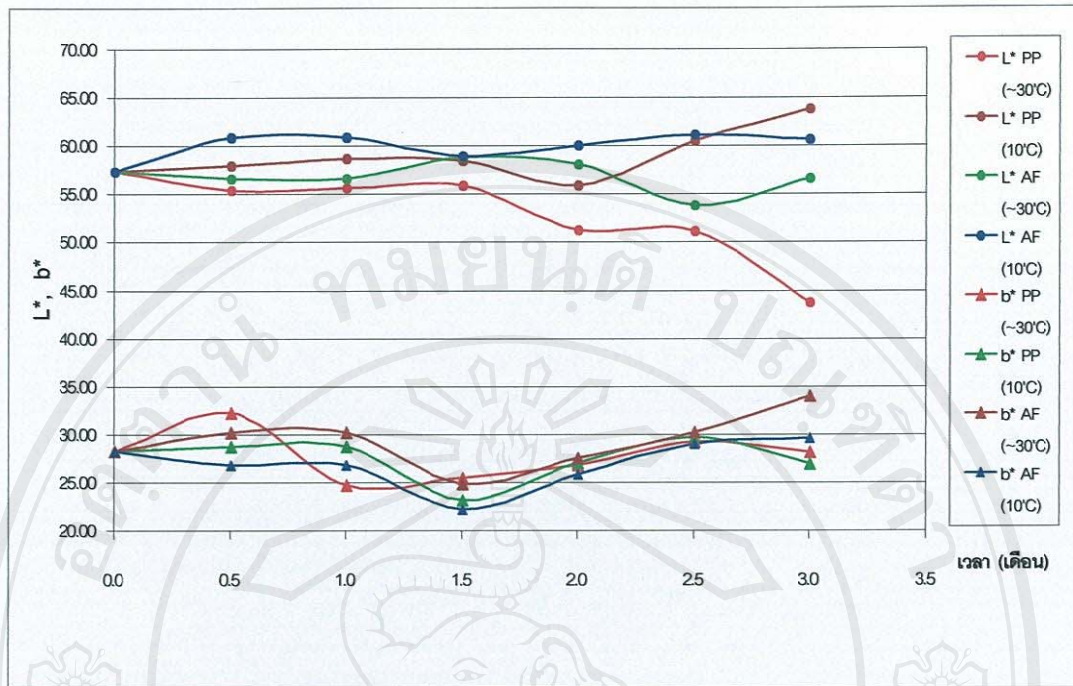
การเปลี่ยนแปลงค่า  $a_w$  และความชื้นของหอมหัวใหญ่อบแห้งที่บรรจุในถุง Polypropylene (PP) ในกล่องกระดาษลูกฟูก และถุง Aluminium Foil (AF) ที่อุณหภูมิต่ำ ( $10 \pm 1^\circ\text{C}$ ) และอุณหภูมิห้อง (ประมาณ  $30^\circ\text{C}$ ) ในระหว่างเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน แสดงในรูป 4.20 และรูป 4.21 พบว่าการเก็บรักษาด้วยถุง Polypropylene ในกล่องกระดาษลูกฟูก ที่อุณหภูมิห้อง ค่า  $a_w$  เพิ่มขึ้นจาก  $0.283 \pm 0.008$  เป็น  $0.447 \pm 0.000$  และ ความชื้นเพิ่มขึ้นจาก  $8.18 \pm 0.29\% \text{w.b.}$  เป็น  $14.93 \pm 0.12\% \text{w.b.}$  ตามเวลาเก็บรักษา 3 เดือน ถ้าเก็บที่อุณหภูมิต่ำ ค่า  $a_w$  และ ความชื้นเปลี่ยนแปลงน้อย เช่นเดียวกับการเก็บรักษาด้วยถุง Aluminium Foil ที่อุณหภูมิห้อง สาเหตุที่หอมหัวใหญ่อบแห้งเก็บรักษาด้วยถุง Polypropylene ในกล่องกระดาษลูกฟูก ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ  $30^\circ\text{C}$ ) มีค่า  $a_w$  และความชื้นเพิ่มขึ้นเพราะความชื้นสัมพัทธ์มีค่าประมาณ 70-90% ที่สูงกว่า 35% ที่กำหนดจาก Adsorption Isotherms ในรูป 4.15 ถ้ากำหนดให้ความชื้นหอมหัวใหญ่อบแห้งในขณะเก็บรักษาต้องไม่เกิน 10% w.b. การเก็บด้วยถุง Polypropylene ในกล่องกระดาษลูกฟูก ที่อุณหภูมิห้องเก็บรักษาได้ประมาณ 2 อาทิตย์เพราะถุง Polypropylene มีค่า Moisture Permeability  $4-10.8 \text{ g/m}^2/\text{วัน}$  (จันทร์สุตา, 2540) และกล่องกระดาษลูกฟูกมีความต้านทานต่อการแพร่ของความชื้นต่ำ ([www.fao.org.com](http://www.fao.org.com)) ส่วนถุง Aluminium Foil มีค่า Moisture Permeability  $< 1 \text{ g/m}^2/\text{วัน}$  ([www.reoamos.com](http://www.reoamos.com)) กล่าวได้ว่าความชื้นสามารถแพร่ซึมผ่านถุง Polypropylene และกล่องกระดาษลูกฟูกได้มากกว่าถุง Aluminium Foil ทำให้ความชื้นของหอมหัวใหญ่ที่เก็บด้วยถุง

Polypropylene ในกล่องกระดาษลูกฟูกเพิ่มมากและรวดเร็วกว่าหอมหัวใหญ่อบแห้งที่เก็บด้วยถุง Aluminium Foil ที่อุณหภูมิห้อง ส่วนการเก็บด้วยถุง Polypropylene ในกล่องกระดาษลูกฟูกและถุง Aluminium Foil ที่อุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 35 % สามารถเก็บเป็นเวลา 3 เดือนและรักษาความชื้นของหอมหัวใหญ่อบแห้งไม่เกิน 10 %w.b.

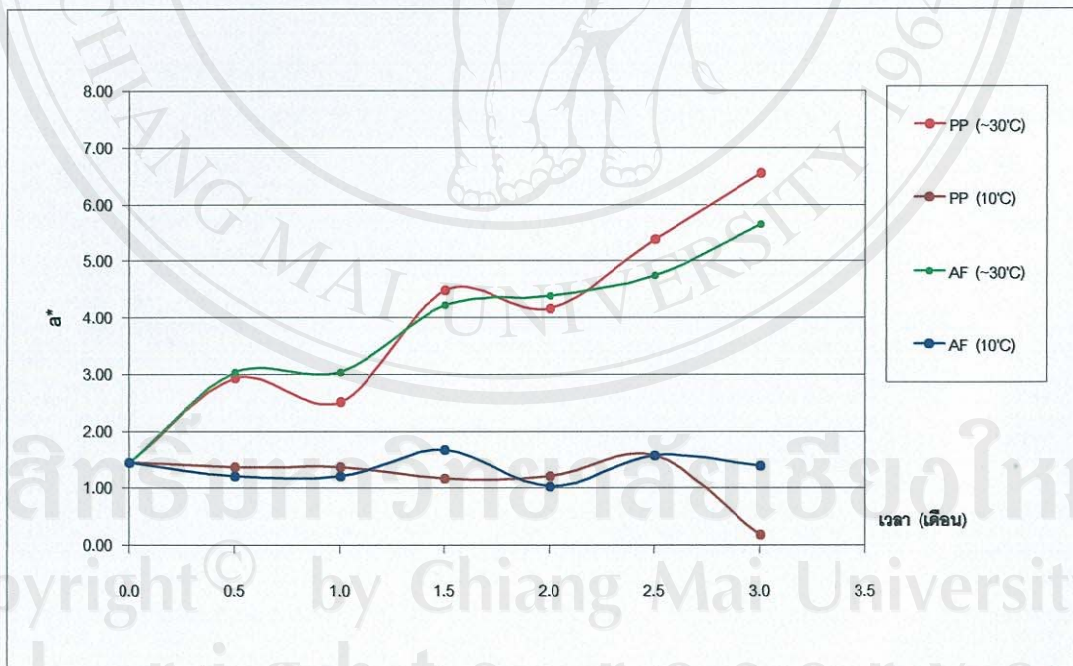
#### 4.4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าสี ปริมาณ Pyruvic Acid และจุลินทรีย์ของหอมหัวใหญ่อบแห้ง

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของหอมหัวใหญ่อบแห้งในระหว่างเก็บรักษาแสดงในรูป 4.22 , 4.23 และภาคผนวก ก รูป ก 7 ในเวลาเก็บรักษา 3 เดือน หอมหัวใหญ่อบแห้งที่เก็บด้วยถุง Polypropylene ในกล่องกระดาษลูกฟูก ที่อุณหภูมิห้อง ค่า  $L^*$  มีแนวโน้มลดลงจาก  $57.32 \pm 3.16$  เป็น  $43.78 \pm 5.25$  และค่า  $a^*$  ที่เพิ่มขึ้นจาก  $1.45 \pm 1.47$  เป็น  $6.56 \pm 1.18$  คล้ายกับ Ahmed and Shivhare (2001) พบว่า Onion Paste บรรจุในถุง HDPE (High-density-polyethylene Pouch) เก็บที่  $25^{\circ}\text{C}$  มีการเปลี่ยนแปลงค่า  $L$  ลดลงในเวลา 75 วัน กรณีหอมหัวใหญ่อบแห้งที่เก็บด้วยถุง Aluminium Foil ที่อุณหภูมิห้องมีแนวโน้มของค่า  $a^*$  ที่เพิ่มขึ้นจาก  $1.45 \pm 1.47$  เป็น  $5.64 \pm 1.34$  เพราะเก็บที่อุณหภูมิ  $25-45^{\circ}\text{C}$  ทำให้หอมหัวใหญ่อบแห้งมีสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น (Ahmed and Shivhare, 2001; Rapusas and Driscoll, 1995 a; Sa' and Sereno, 1999) และจากภาคผนวก ก รูป ก 7 การเก็บรักษาหอมหัวใหญ่อบแห้งที่อุณหภูมิห้องด้วยถุง Polypropylene ในกล่องกระดาษลูกฟูกมีสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นตามเวลาเก็บรักษาซึ่งเกิดได้เร็วและมากกว่าการเก็บด้วยถุง Aluminium Foil ที่อุณหภูมิเดียวกัน การแพร่ของความชื้นจากบรรยากาศภายนอกสามารถแพร่ผ่านถุง Polypropylene และกล่องกระดาษลูกฟูกได้ดีกว่าถุง Aluminium อาจทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในถุง Polypropylene เพิ่มขึ้นได้เร็วและมากขึ้นซึ่งมีรายงานว่า ความชื้นสัมพัทธ์ 33-53% ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาลในหอมหัวใหญ่อบแห้งได้ดี การเก็บรักษาด้วยถุง Polypropylene ในกล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิห้อง ถุงชนิดนี้ยอมให้ความชื้นจากสิ่งแวดล้อมแพร่ผ่านเข้าไปได้ง่ายทำให้หอมหัวใหญ่อบแห้งที่บรรจุภายในดูมีความชื้นมากขึ้นและความชื้นภายในถุงที่มากขึ้นก่อให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้ ในขณะที่การเก็บรักษาด้วยถุง Polypropylene ในกล่องกระดาษลูกฟูกและถุง Aluminium Foil ที่อุณหภูมิต่ำ ค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บเป็นเวลา 3 เดือน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

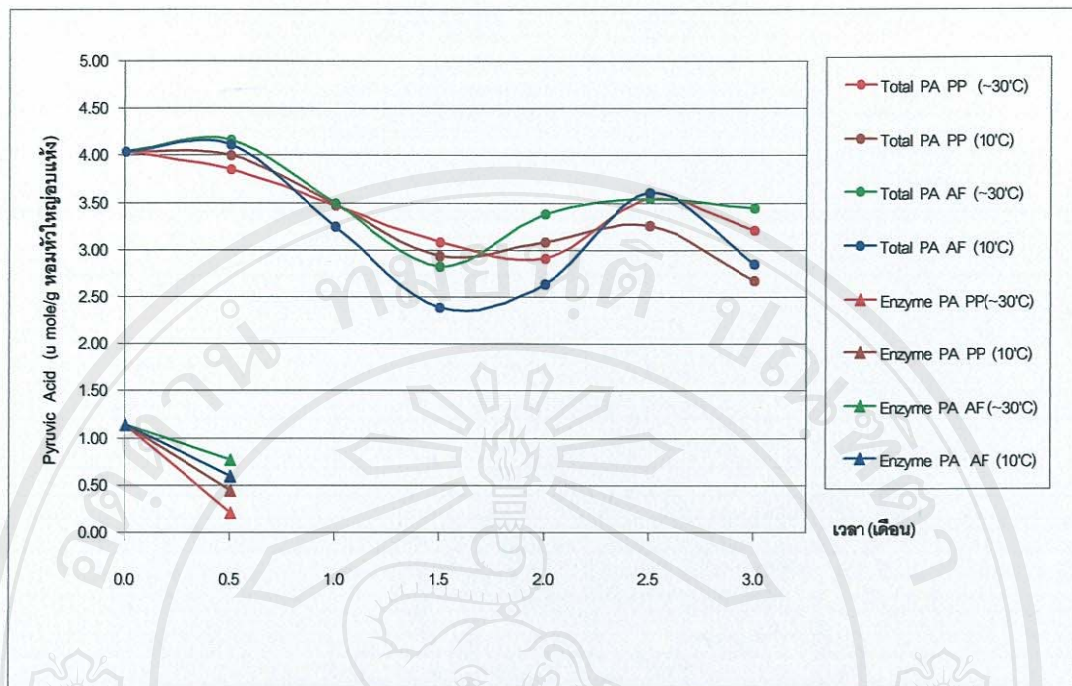




รูป 4.22 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L\*, b\* ของหอมหัวใหญ่อบแห้งที่เก็บรักษาด้วยวิธีต่างๆเป็นเวลา 3 เดือน



รูป 4.23 การเปลี่ยนแปลงค่าสี a\* ของหอมหัวใหญ่อบแห้งที่เก็บรักษาด้วยวิธีต่างๆเป็นเวลา 3 เดือน



รูป 4.24 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Pyruvic Acid ของหมักหัวใหญ่อบแห้งที่เก็บรักษาด้วยวิธีต่างๆเป็นเวลา 3 เดือน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Pyruvic Acid ของหมักหัวใหญ่อบแห้งในระหว่างเก็บรักษาแสดงในรูป 4.24 พบว่า ปริมาณ Enzymatically Pyruvic Acid ที่มีน้อยพบในช่วง 15 วันแรกของการเก็บรักษาเท่านั้น เพราะความชื้นและค่า  $a_w$  ของหมักหัวใหญ่อบแห้งที่ต่ำจำกัดการทำงานของเอนไซม์ Alliinase ทำให้พบ Enzymatically Pyruvic Acid ในช่วงแรก ส่วนปริมาณ Total Pyruvic Acid ที่เป็นค่าแสดงความฉุน (Pezzutti and Crapiste, 1997) ปรากฏอยู่แต่มีแนวโน้มลดลงในช่วงเดือนที่ 1-2 และคงที่ในช่วงเดือนที่ 2-3

ตาราง 4.11 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราของหมักหัวใหญ่อบแห้งที่เก็บรักษาด้วยวิธีต่างๆเป็นเวลา 3 เดือน

เวลาเก็บรักษา		ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด CFU/g หมักหัวใหญ่อบแห้ง	ปริมาณยีสต์และรา CFU/g หมักหัวใหญ่อบแห้ง
เริ่มต้น		$2.0 \times 10^3$	<10
3 เดือน	ถุง Polypropylene อุณหภูมิต่ำ	$3.8 \times 10^3$	<10
	ถุง Polypropylene อุณหภูมิห้อง	$5.9 \times 10^3$	
	ถุง Aluminium Foil อุณหภูมิต่ำ	$2.4 \times 10^3$	
	ถุง Aluminium Foil อุณหภูมิห้อง	$3.0 \times 10^3$	

การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์แสดงในตาราง 4.11 พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง  $10^3$ - $10^5$  CFU/ g อาหาร (Robert *et al.*,1995) หากปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่านี้แสดงว่าการแปรรูปไม่สะอาดหรือมีการปนเปื้อนในขณะที่เก็บรักษา และเกณฑ์ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2536) กำหนดมาตรฐานผักผลไม้แห้งระบุว่า ยีสต์ควรน้อยกว่า  $1 \times 10^4$  CFU/g อาหาร และรา  $< 500$  CFU /g อาหาร เปรียบเทียบกับหอมหัวใหญ่อบแห้งที่เก็บเป็นเวลา 3 เดือนคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานนี้

#### 4.4.3 วิธีที่เหมาะสมในการเก็บรักษาหอมหัวใหญ่อบแห้ง

หอมหัวใหญ่อบแห้งดูความชื้นกลับได้ง่ายดังนั้นความชื้นของหอมหัวใหญ่อบแห้งที่บรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ถ้ามากกว่า 10%w.b. ทำให้ค่า  $a_w$  เพิ่มขึ้นจึงมีผลต่อเนื้อสัมผัสจากที่กรอบ เพราะจะเปลี่ยนเป็นนุ่ม เหนียว สีเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลเพราะปฏิกิริยา Non-enzymatic Browning การเก็บรักษาด้วยวิธีที่เหมาะสมช่วยคงคุณลักษณะที่ต้องการไว้ได้ พิจารณาชนิดของบรรจุภัณฑ์ 1 และอุณหภูมิขณะเก็บรักษา การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องสะดวก แต่ไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้ต่ำได้ การบรรจุด้วยถุง Polypropylene ในกล่องกระดาษลูกฟูกเก็บรักษาหอมหัวใหญ่อบแห้งได้สั้น 2 อาทิตย์ ถุงชนิดนี้ใสจึงต้องนำกล่องกระดาษลูกฟูกมาซ้อนอีกชั้นเพื่อป้องกันแสงผ่านอันอาจก่อให้เกิดปฏิกิริยา Lipid Oxidation การเก็บด้วยถุง Aluminium Foil ใช้ได้กับที่อุณหภูมิห้องในเวลา 3 เดือน การเก็บด้วยถุง Polypropylene ในกล่องกระดาษลูกฟูกเหมาะสมกับที่อุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 35% เพราะคงคุณลักษณะที่ต้องการไว้ได้ในระยะเวลา 3 เดือน เช่นเดียวกับการบรรจุถุง Aluminium Foil ที่อุณหภูมิต่ำ หอมหัวใหญ่อบแห้งเป็นวัตถุดิบชั้นกลาง (Intermediate Product) มักบรรจุในปริมาณมาก (Bulk Packed) การเก็บด้วยถุง Polypropylene ในกล่องกระดาษลูกฟูก มีข้อดีคือถุงและกล่องกระดาษชนิดนี้มีราคาปานกลาง กล่องกระดาษที่ใช้บรรจุหากทนทานสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ได้หลายครั้งและการจัดเรียงกล่องในขณะที่เก็บทำได้ง่ายโดยซ้อนเป็นชั้นให้เป็นหน่วยเดียวกัน ส่วนถุง Aluminium Foil มีราคาสูงเมื่อเทียบกับถุง Polypropylene การจัดเรียงในขณะที่เก็บกระทำได้ยากเพราะไม่ได้บรรจุในกล่อง นอกจากนี้อุณหภูมิขณะเก็บรักษามีผลต่อค่าสี มีรายงานการเก็บหอมหัวใหญ่ผงในถุง Aluminium Foil พบว่าการเก็บที่อุณหภูมิ  $5^\circ\text{C}$  และ  $15^\circ\text{C}$  หอมหัวใหญ่ผงไม่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เมื่อเก็บเป็นเวลา 5 เดือน (Sa' and Sereno, 1999) การเลือกระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นจาก  $5^\circ\text{C}$  เป็น  $10^\circ\text{C}$  (อุณหภูมิตู้เย็น) เป็นแนวทางที่กระทำได้เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการเก็บรักษาหอมหัวใหญ่อบแห้งเป็นเวลา 3 เดือน