

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 สมบัติของน้ำผึ้งดอกทานตะวัน

การศึกษาเปรียบเทียบการผลิตน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลว โดยใช้ 2 เทคนิคในการผลิตคือ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและการอบแห้งแบบสุญญากาศ โดยเติมสารที่ช่วยลดการเกาะติดคือ มอลโทเด็กซ์ทรินที่มีระดับ DE 11 วิเคราะห์สมบัติของผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวที่ใช้ในการเตรียมน้ำผึ้ง (ตารางที่ 4.1) พบว่า ปริมาณความชื้น (%)  $a_w$  ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ( $^{\circ}$ Brix) ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสี  $a^*$  และค่าสี  $b^*$  ของน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวมีค่าเท่ากับ  $18.03 \pm 0.06\%$ ,  $0.569 \pm 0.00$ ,  $82 \pm 0.58^{\circ}$ Brix  $62.39 \pm 0.66$ ,  $-2.07 \pm 0.07$  และ  $20.03 \pm 0.56$  ตามลำดับ และสมบัติของผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันมีค่าเท่ากับ  $10.17 \pm 0.69\%$ ,  $0.541 \pm 0.01$ ,  $90.33 \pm 1.53^{\circ}$ Brix,  $67.68 \pm 1.54$ ,  $-3.00 \pm 0.27$ ,  $25.89 \pm 2.48$  ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 คุณภาพของน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวและผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวัน

น้ำผึ้งดอกทานตะวัน	ปริมาณความชื้น (%wet basis)	Water activity ( $a_w$ )	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ( $^{\circ}$ Brix)	ค่าสี		
				$L^*$	$a^*$	$b^*$
เหลว	$18.03 \pm 0.06$	$0.569 \pm 0.00$	$82 \pm 0.58$	$62.39 \pm 0.66$	$-2.07 \pm 0.07$	$20.03 \pm 0.56$
ผลึก	$10.17 \pm 0.69$	$0.541 \pm 0.01$	$90.33 \pm 1.53$	$67.68 \pm 1.54$	$-3.00 \pm 0.27$	$25.89 \pm 2.48$

#### 4.2 สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำผึ้งจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

น้ำผึ้งเตรียมได้จากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผสมกับมอลโทเด็กซ์ทริน โดยแปรระดับความเข้มข้นของมอลโทเด็กซ์ทรินในอัตราส่วน 30, 40 และ 50% ของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดในน้ำผึ้ง การใช้มอลโทเด็กซ์ทรินปริมาณต่ำกว่า 30% ในการเตรียมน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกกล้วยโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะไม่สามารถทำเป็น

น้ำผึ้งผงได้ (พีรพล, 2551) เนื่องจากความสามารถของมอลโทเด็กซ์ทรินในการจับกับน้ำผึ้งมีค่าต่ำ ตัวอย่างที่ได้จะมีลักษณะเหนียวเกาะกันเป็นก้อนและไม่สามารถบดให้มีลักษณะเป็นผงได้ แต่ถ้าปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินที่ใช้มากกว่า 50% จะทำให้น้ำผึ้งผงมีอัตราส่วนของน้ำผึ้งที่น้อยเกินไป (Bhandari *et al.*, 1997) นำของผสมที่ได้ไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ  $-20^{\circ}\text{C}$  เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง (Miao and Roos, 2006) และนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ  $-43^{\circ}\text{C}$  ภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ความดัน  $<133 \times 10^{-3}$  mbar เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมงและนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาบดให้ละเอียด จากนั้นนำน้ำผึ้งผงที่เตรียมได้มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.13

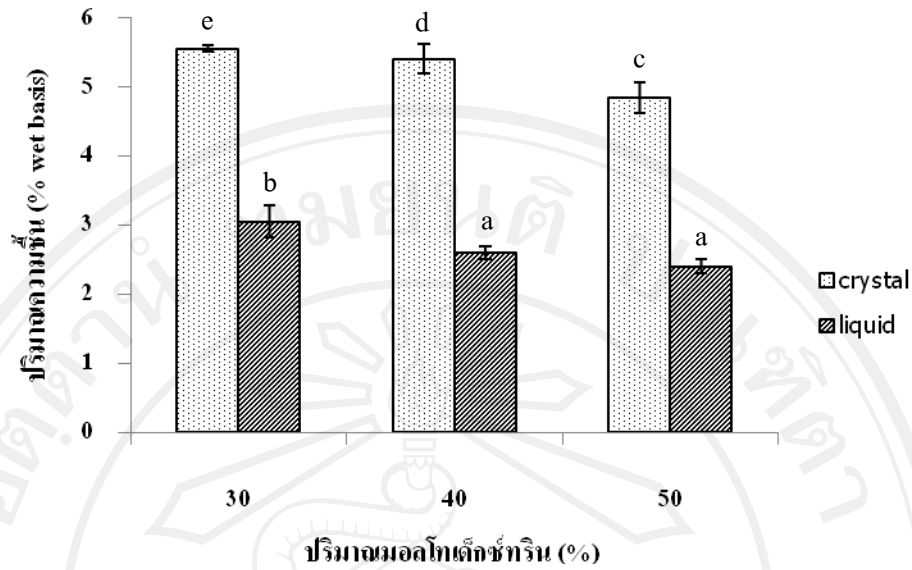
#### 4.2.1 สมบัติทางเคมีของน้ำผึ้งผงผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

สมบัติทางเคมีของน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผสมมอลโทเด็กซ์ทรินในอัตราส่วน 30, 40 และ 50% ของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดในน้ำผึ้งผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

##### 4.2.1.1 ปริมาณความชื้น

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของน้ำผึ้งผงผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่าปริมาณความชื้นของน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังรูปที่ 4.1 โดยน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง  $4.85 \pm 0.22$  ถึง  $5.65 \pm 0.04\%$  สูงกว่าน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวมีค่าอยู่ในช่วง  $2.41 \pm 0.10$  ถึง  $3.06 \pm 0.23\%$  เนื่องจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวมีลักษณะเป็นของแข็ง โครงสร้างมีการเกาะตัวกันอย่างหนาแน่น อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ใช้ในการระเหิดน้ำแข็งให้กลายเป็นไอน้ำในสภาวะสุญญากาศมีประสิทธิภาพลดลง (วิล, 2546) ส่งผลให้น้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่า

น้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวที่ผสมมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับที่แตกต่างกันส่งผลให้ปริมาณความชื้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) น้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผสมมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับ 40 และ 50% มีปริมาณความชื้นที่ต่ำที่สุดคือ  $2.60 \pm 0.10$  และ  $2.41 \pm 0.10\%$  ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) และน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผสมมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับ 50% โดยมีปริมาณความชื้นที่ต่ำที่สุดคือ  $4.85 \pm 0.22\%$  เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่ระดับมอลโทเด็กซ์ทริน 30 และ 40% ทั้งตัวอย่างน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวเมื่อเติมมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับที่สูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นมีค่าลดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-1 มีค่าเท่ากับ  $-0.862, -0.876$ )



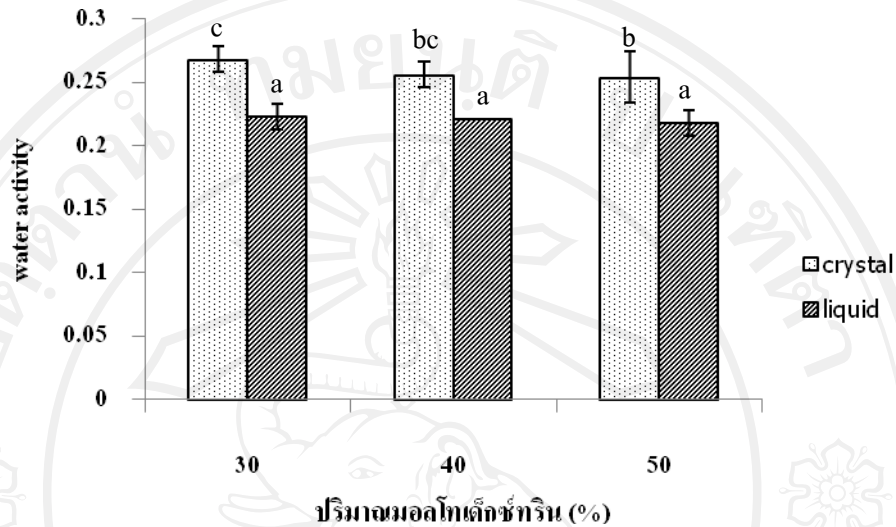
**รูปที่ 4.1** ปริมาณความชื้นของน้ำผึ้งผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลที่ต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ))

เนื่องจากปริมาณมอลโทเด็คซ์ทรินที่ผสมลงไปในน้ำผึ้งที่มีปริมาณมาก ทำให้โครงสร้างของน้ำสามารถจับกับอนุภาคของมอลโทเด็คซ์ทริน ได้มาก จึงส่งผลให้เกิดรูพรุนภายใน โครงสร้างได้มากเมื่อทำการระเหิดน้ำจากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ทำให้น้ำผึ้งที่ได้มีปริมาณความชื้นที่ต่ำ (Rahman, 1995) อีกทั้งสมบัติของมอลโทเด็คซ์ทรินที่มีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ (low hygroscopicity) (Madene *et al*, 2005) และยังเป็นสารที่ช่วยป้องกันการจับตัวกันเป็นก้อน (anticaking) และสามารถปลดปล่อยสารให้รสชาติได้เร็ว (Madene *et al*, 2005) ดังนั้นเมื่อใช้มอลโทเด็คซ์ทรินในปริมาณที่มากขึ้นจึงส่งผลให้น้ำผึ้งมีปริมาณความชื้นของน้ำผึ้งค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ )

#### 4.2.1.2 Water activity ( $a_w$ )

จากการวิเคราะห์ค่า  $a_w$  ของน้ำผึ้งผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่า  $a_w$  ของน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังรูปที่ 4.2 โดยน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวมี  $a_w$  ต่ำกว่าน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวัน ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณความชื้นของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวมีค่าต่ำกว่าน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (รูปที่ 4.1) น้ำผึ้ง

ผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองมีค่าอยู่ในช่วง  $0.218 \pm 0.01$  ถึง  $0.223 \pm 0.01$  และน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันมีค่า  $a_w$  อยู่ในช่วง  $0.254 \pm 0.02$  ถึง  $0.268 \pm 0.01$



**รูปที่ 4.2**  $a_w$  ของน้ำผึ้งผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง(ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลที่ต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ))

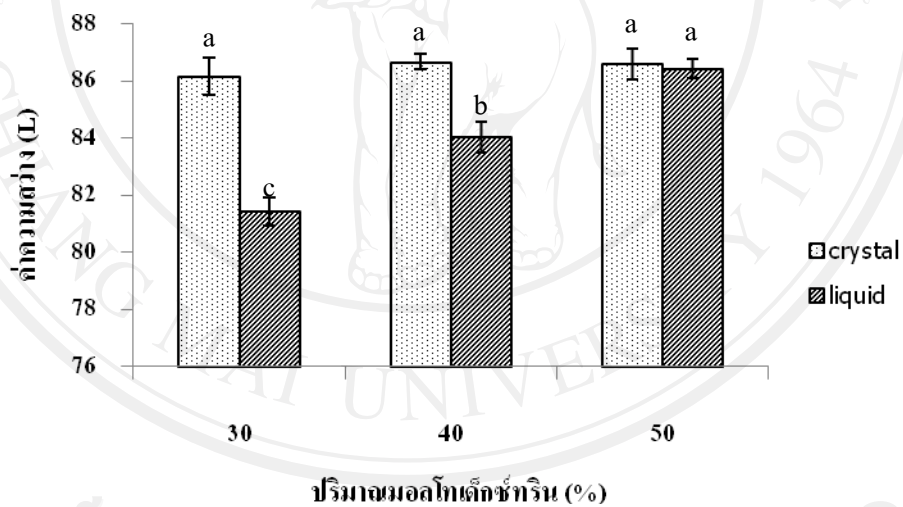
น้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองที่ผสมมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับที่แตกต่างกันส่งผลให้  $a_w$  มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) โดยการเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินส่งผลให้  $a_w$  มีค่าลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-1 มีค่าเท่ากับ  $-0.245$  และ  $-0.419$ ) สอดคล้องกับรายงานการวิจัยการทำแห้งน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกกล้วยผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งผสมมอลโทเด็กซ์ทรินในอัตราส่วน 30, 40 และ 50% มีค่า  $a_w$  ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (พีระพล, 2551) ซึ่งค่า  $a_w$  ของน้ำผึ้งที่เตรียมจากวัตถุดิบทั้ง 2 แบบมีค่าอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 0.5 ซึ่งปลอดภัยสำหรับการเก็บรักษาเนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ (Fennema, 2008)

#### 4.2.2 สมบัติทางกายภาพของน้ำผึ้งผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

##### 4.2.2.1 ค่าความสว่าง ( $L^*$ )

จากการวิเคราะห์สมบัติด้านสีของน้ำผึ้งผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่า ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินมีผลต่อค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งเหลว ( $P \leq 0.05$ ) แต่ไม่มีผลต่อค่าความสว่างของน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวัน ( $P > 0.05$ ) ดังรูปที่ 4.3 ค่าความสว่างของน้ำผึ้ง

ผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผสมมอลโทเด็กซ์ทรินที่ระดับ 30, 40 และ 50% และน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผสมมอลโทเด็กซ์ทรินที่ระดับ 50% มีค่าความสว่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) โดยมีค่าความสว่างอยู่ในช่วง  $86.17\pm 0.65$  ถึง  $86.17\pm 0.65$  ส่วนน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งเหลวผสมมอลโทเด็กซ์ที่ระดับ 40 และ 30% มีค่าความสว่างรองลงมาตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P\leq 0.05$ ) เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินส่งผลให้น้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P\leq 0.01$ ) และน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) น้ำผึ้งผงผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสว่างสูงกว่าผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวที่ใช้เป็นวัตถุดิบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P\leq 0.05$ ) เนื่องจากมอลโทเด็กซ์ทรินมีลักษณะเป็นผงสีขาวเมื่อผสมกับผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวทำให้สีอ่อนลง และมีค่าความสว่างมากขึ้นตามปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินที่เติมลงไป



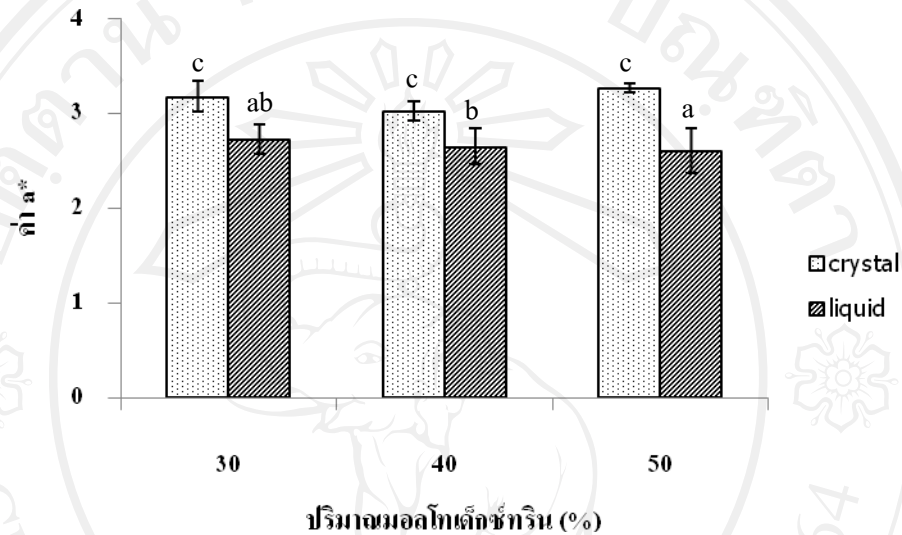
**รูปที่ 4.3** ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ของน้ำผึ้งผงผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลที่ต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P\leq 0.05$ ))

#### 4.2.2.2 ค่าสี $a^*$

จากการวิเคราะห์ค่าสี  $a^*$  อธิบายถึงค่าสีที่อยู่ระหว่างสีเขียว ( $-a^*$ ) ถึงสีแดง ( $+a^*$ ) ของตัวอย่างจากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่า ค่าสี  $a^*$  ของน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P\leq 0.05$ ) โดยน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันมีค่าอยู่ในช่วง  $(-3.27\pm 0.05)$  ถึง  $(-3.03\pm 0.10)$  และน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลว



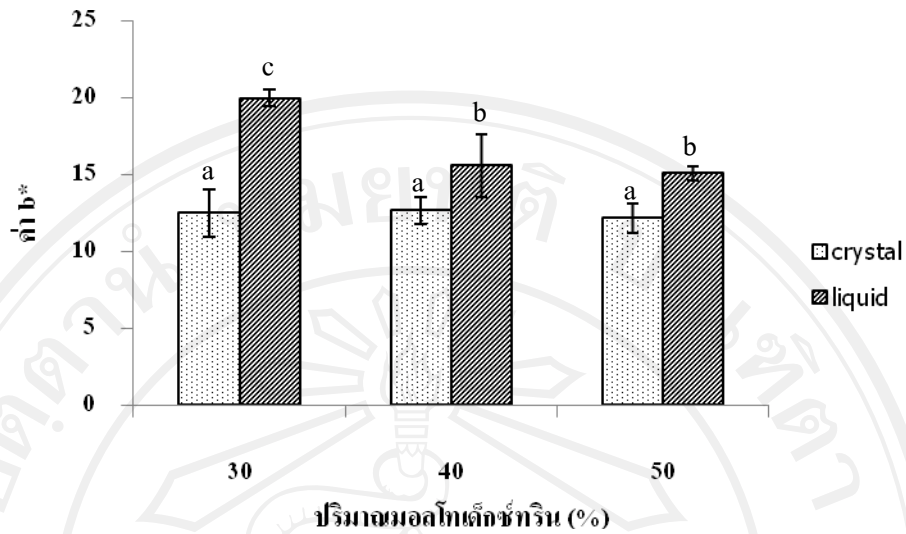
มีค่า  $a^*$  มีค่าอยู่ในช่วง  $(-)-2.73 \pm 0.16$  ถึง  $(-)-2.61 \pm 0.24$  ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินไม่มีผลต่อค่า  $a^*$  ( $P > 0.05$ ) ค่า  $a^*$  ของน้ำผึ้งมีค่าเป็นค่าลบ แสดงว่าตัวอย่างน้ำผึ้งมีสีที่ค่อนข้างเขียว โดยน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันจะมีสีค่อนข้างเขียวมากกว่าน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองเช่นเดียวกับค่า  $a^*$  ของวัตถุดิบเริ่มต้น



**รูปที่ 4.4** ค่า  $a^*$  ของน้ำผึ้งผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลที่ต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ))

#### 4.2.2.3 ค่า $b^*$

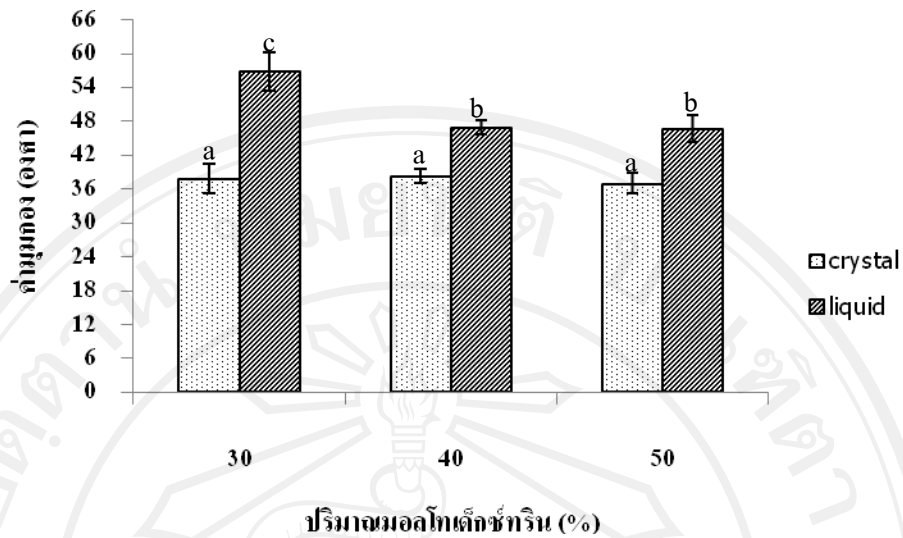
สำหรับการวิเคราะห์ค่า  $b^*$  ซึ่งอธิบายถึงค่าสีที่อยู่ระหว่างสีน้ำเงิน ( $-b^*$ ) ถึงสีเหลือง ( $+b$ ) ของตัวอย่างพบว่า ค่า  $b^*$  ของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังรูปที่ 4.5 โดยน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันมีค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง  $12.14 \pm 0.98$  ถึง  $12.64 \pm 0.87$  และน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองมีค่า  $b^*$  มีค่าอยู่ในช่วง  $15.06 \pm 0.44$  ถึง  $19.94 \pm 0.55$  ซึ่งตัวอย่างน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองผสมมอลโทเด็กซ์ทรินระดับ 30% มีค่า  $b^*$  สูงที่สุด เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินส่งผลให้น้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองมีค่า  $b^*$  ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ) และน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันมีค่า  $b^*$  ลดลงเพียงเล็กน้อย ( $P > 0.05$ ) ค่า  $b^*$  ของน้ำผึ้งมีค่าเป็นบวก แสดงว่าตัวอย่างน้ำผึ้งมีสีที่ค่อนข้างเหลือง โดยน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองจะมีสีค่อนข้างเหลืองมากกว่าน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวัน



รูปที่ 4.5 ค่าสี b\* ของน้ำผึ้งผงผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ))

#### 4.2.2.4 ความสามารถในการไหล (แสดงในรูปค่ามูกอง)

ความสามารถในการไหลของน้ำผึ้งผงที่ผลิตจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังรูปที่ 4.6 โดยน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันมีค่ามูกองต่ำกว่าน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลว ค่ามูกองของน้ำผึ้งผงที่เตรียมได้จากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันมีค่าอยู่ในช่วง  $37.00 \pm 1.79$  ถึง  $38.33 \pm 1.21$  องศา ซึ่งน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่ผสมมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่ามูกองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) สำหรับน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผสมมอลโทเด็กซ์ทรินที่ระดับ 50 และ 40% มีค่ามูกองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยมีค่ามูกองเท่ากับ  $46.67 \pm 2.42$  และ  $47.00 \pm 1.26$  องศา ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการไหลดีกว่าน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งเหลวผสมมอลโทเด็กซ์ทรินที่ระดับ 30% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ที่มีค่ามูกองเท่ากับ  $56.83 \pm 3.31$  องศา



รูปที่ 4.6 ค่ามูกองของน้ำผึ้งผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลที่ต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ))

Carr (1965, 1970) and Raymus (1985) ได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการไหลของผงและการวัดทางกายภาพอย่างง่ายว่า ค่ามูกองที่ต่ำกว่า 30 องศาแสดงว่ามีความสามารถในการไหลที่ดีมาก ซึ่งตัวอย่างน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันมีค่ามูกองอยู่ในช่วง 37.00-37.83 องศา แสดงว่าอนุภาคผงสามารถไหลได้ดี และมีความเกาะตัวกันระหว่างอนุภาคเล็กน้อย ส่วนน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวมีค่ามูกองอยู่ในช่วง  $46.67 \pm 2.42$  ถึง  $56.83 \pm 3.31$  องศา แสดงว่าตัวอย่างความสามารถในการไหลต่ำ อนุภาคผงมีความสามารถในการเกาะตัวกันระหว่างอนุภาคสูงมากและมีความสามารถในการไหลอย่างจำกัด (Geldart *et al.*, 2006) เห็นได้ว่าตัวอย่างน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันมีค่ามูกองต่ำกว่าน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลว แสดงถึงความสามารถในการไหลที่ดีกว่าน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลว ทั้งนี้เนื่องจากเทคนิคการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะก่อให้เกิดรูพรุนในระหว่างการทำแห้ง (Fellows, 2000) ซึ่งโครงสร้างน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวมีความเป็นรูพรุนมากกว่าน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันจึงสามารถดูดความชื้นเข้าไปได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ตัวอย่างเกิดการเกาะตัวกันซึ่งมีผลต่อความสามารถในการไหลที่ต่ำลงด้วย

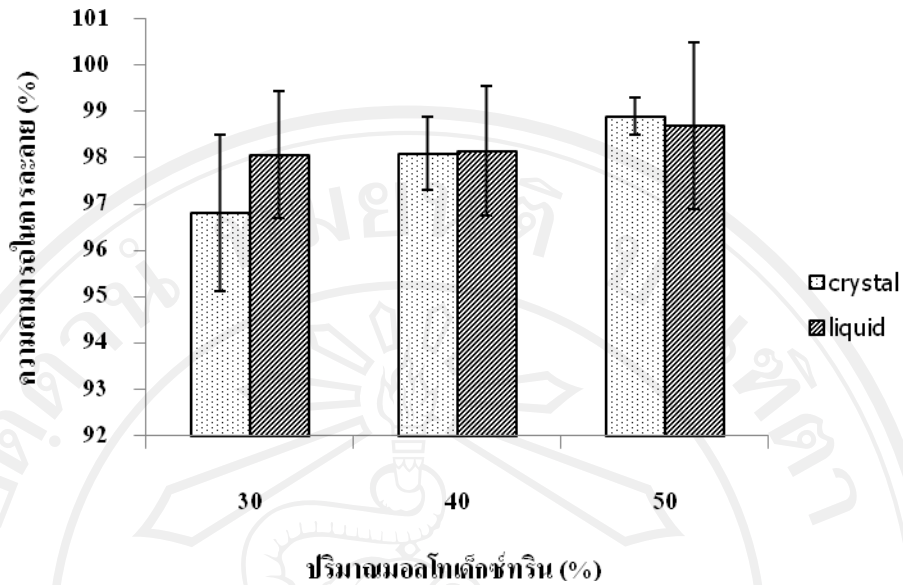
การเติมมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวมีค่ามูกองลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-1 มีค่าเท่ากับ -0.793) เนื่องจากสมบัติของมอลโทเด็กซ์ทรินที่เป็นสารที่ช่วยป้องกันการจับตัวกัน



(anticaking) และมีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ (low hygroscopicity) (Madene *et al*, 2005) ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินทำให้น้ำผึ้งดูดความชื้นได้น้อยลง ซึ่งส่งผลต่อค่าของมุมกอนที่บ่งบอกถึงความสามารถในการไหลของน้ำผึ้ง หากมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นของผงเพียงเล็กน้อยก็สามารถเพิ่มค่าของมุมกอนได้มากกว่า 100 องศา (Zou and Brusewitz, 2002) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองจากรูปที่ 4.1 ที่แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่มีการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินที่ระดับที่สูงมีปริมาณความชื้นที่ต่ำ ส่งผลให้ค่ามุมกอนของตัวอย่างมีค่าต่ำแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการไหลที่ดี อย่างไรก็ตามค่ามุมกอนของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันมีค่าลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-1 มีค่าเท่ากับ -0.184)

#### 4.2.2.5 ความสามารถในการละลาย

ความสามารถในการละลายมีความสำคัญสำหรับผลิตภัณฑ์ผงที่ซงละลายน้ำได้ทันที (instant powder) ผลิตภัณฑ์ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้ พื้นที่ในการดูดซับน้ำปริมาณมาก (wettability) ทำให้ความสามารถในการจมตัว (sinkability) และความสามารถในการกระจายตัว (dispersibility) ดีขึ้นส่งผลให้เกิดการละลายน้ำ (solubility) ตามมา (Masters, 1991) โดยปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการละลาย คือ ธรรมชาติของตัวถูกละลาย และตัวทำละลาย อุณหภูมิ ความดัน ขนาดของอนุภาค และการกวนผสม (Rahman, 1995) จากรูปที่ 4.7 แสดงความสามารถในการละลายของน้ำผึ้งผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่า น้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวัน และน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผสมมอลโทเด็กซ์ทริน ในระดับที่แตกต่างกันมีค่าความสามารถในการละลายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) โดยน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวัน ตกผลึกมีค่าความสามารถในการละลายอยู่ในช่วง  $96.82\pm 1.69$  ถึง  $98.90\pm 0.41\%$  และน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวมีค่าอยู่ในช่วง  $98.07\pm 1.37$  ถึง  $98.69\pm 1.81\%$  ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของพีรพล (2551) พบว่าความสามารถในการละลายของน้ำผึ้งที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกกล้วย โดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยแปรระดับมอลโทเด็กซ์ทรินในปริมาณ 30, 40 และ 50% พบว่าความสามารถในการละลายของน้ำผึ้งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) โดยความสามารถในการละลายของน้ำผึ้งมีค่าประมาณ 95% ซึ่งถือว่ามีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองที่ได้



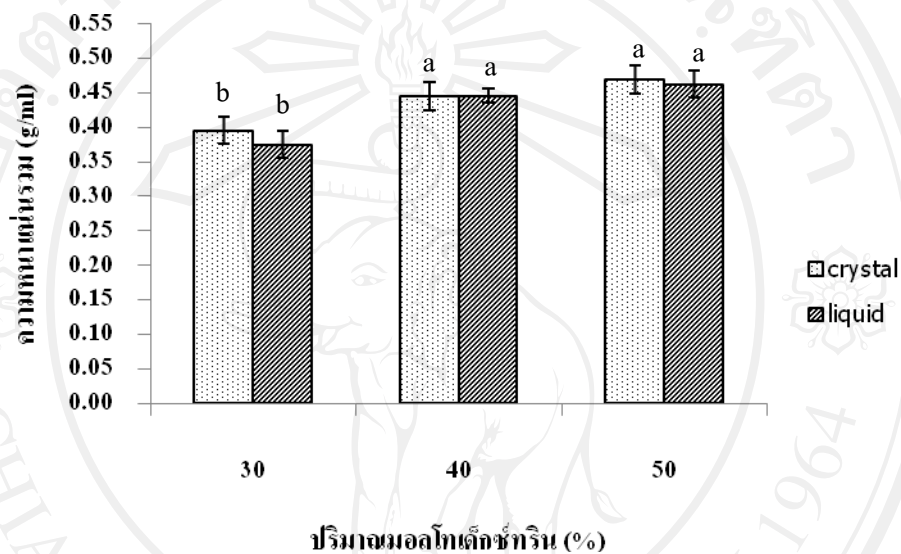
รูปที่ 4.7 ความสามารถในการละลายของน้ำผึ้งผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

น้ำผึ้งผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสามารถในการละลายที่สูงมากเกิดขึ้นเนื่องจากส่วนประกอบที่ใช้ในการเตรียมน้ำผึ้งทั้งน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองและน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกลีมีสมบัติในการละลายที่ดีและสมบัติในการละลายน้ำได้ดีที่อุณหภูมิห้องของมอลโทเด็กซ์ทรีน (Klinkesom *et al.*, 2004) รวมถึงน้ำผึ้งที่ผ่านการใช้เทคนิคการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การเคลื่อนย้ายของผลึกน้ำแข็งจะทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุน (Fellows, 2000) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่จะสามารถละลายน้ำได้เร็ว (Rahman and Perera, 1999) ส่งผลให้ตัวอย่างมีความสามารถในการละลายที่ดี

#### 4.2.2.6 ความหนาแน่นรวม

ความหนาแน่นรวมเป็นสมบัติเฉพาะอย่างหนึ่งของผลิตภัณฑ์ผงที่ผ่านการบดให้ละเอียดหรือผ่านการทำแห้ง การวัดความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ผงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการควบคุมคุณภาพในอุตสาหกรรมอาหารผง ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และการบรรจุผลิตภัณฑ์ เช่น ใช้ค่าความหนาแน่นรวมในการประเมินการเลือกให้ภาชนะในการผสมวัตถุดิบ หรือการบรรจุผลิตภัณฑ์ผง เป็นต้น จากรูปที่ 4.8 แสดงความหนาแน่นรวมของน้ำผึ้งผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่า น้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองมีความหนาแน่นรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) โดยน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง  $0.396 \pm 0.02$  ถึง  $0.469 \pm 0.02$  g/ml

และน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง  $0.375 \pm 0.02$  ถึง  $0.462 \pm 0.02$  g/ml โดยตัวอย่างน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองผสมมอลโทเด็กซ์ทรินที่ระดับ 40 และ 50% มีค่าความหนาแน่นสูงที่สุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ส่วนน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองผสมมอลโทเด็กซ์ทรินที่ระดับ 30% มีค่าความหนาแน่นรองลงมา

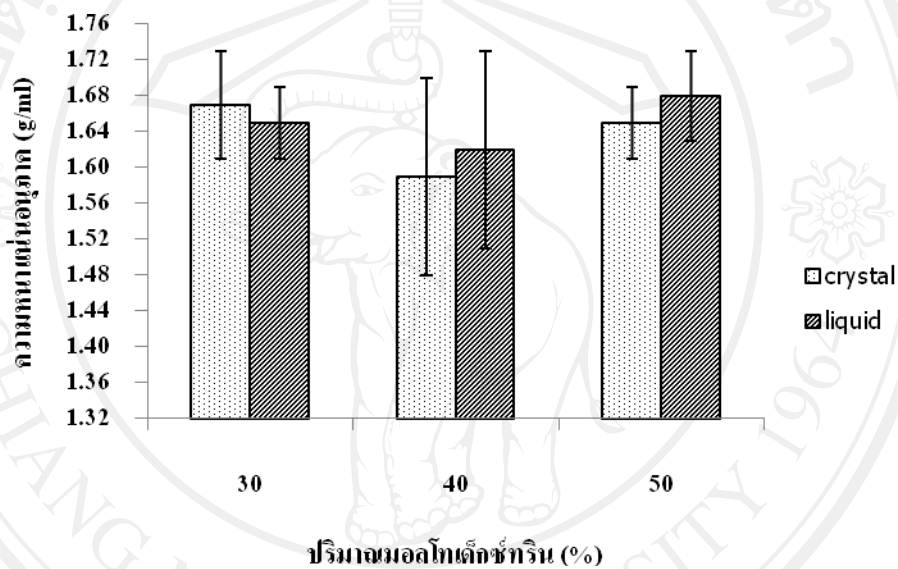


**รูปที่ 4.8** ความหนาแน่นรวมของน้ำผึ้งผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลที่ต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ))

แสดงให้เห็นว่าน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองที่ผสมมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับที่แตกต่างกันส่งผลให้ความหนาแน่นรวมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งการเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินทำให้ค่าความหนาแน่นรวมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-1 มีค่าเท่ากับ 0.853 และ 0.822 ตามลำดับ) เนื่องจากสมบัติของมอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารช่วยลดการเกาะติด (Klinkesom *et al.*, 2004) การเกิดการเกาะติดระหว่างอนุภาคผงลดลง อนุภาคผงจึงสามารถเรียงตัวได้อย่างเป็นระเบียบ และการเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินส่งผลให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคผงเล็กลง ผลึกน้ำตาลจึงมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น (Sablani *et al.*, 2008) ดังนั้นค่าความหนาแน่นรวมจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับที่เพิ่มขึ้น

#### 4.2.2.7 ความหนาแน่นอนุภาค

จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นอนุภาคของน้ำผึ้งผงผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่า น้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองผสมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับที่แตกต่างกันมีความหนาแน่นอนุภาคไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ดังรูปที่ 4.9 น้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองมีค่าความหนาแน่นอนุภาคอยู่ในช่วง  $1.59\pm 0.11$  ถึง  $1.67\pm 0.06$  g/ml ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผงเพคตินเจลที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งซึ่งมีความหนาแน่นอนุภาคเท่ากับ 1.56 g/ml (Tsami *et al*, 1998)

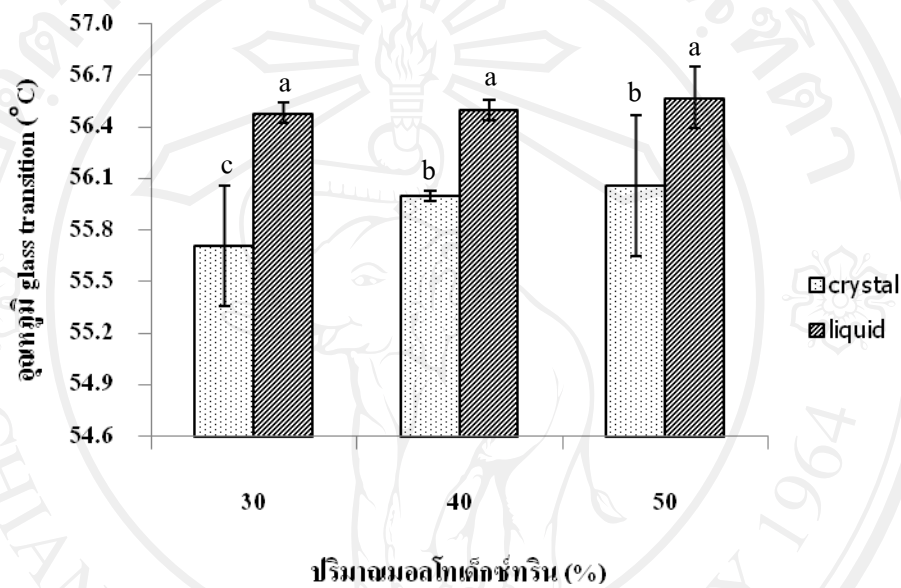


รูปที่ 4.9 ความหนาแน่นอนุภาคของน้ำผึ้งผงผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

#### 4.2.2.8 อุณหภูมิ glass transition ( $T_g$ )

การวิเคราะห์อุณหภูมิ glass transition ( $T_g$ ) และอุณหภูมิหลอมเหลวของน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันทำได้โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC (Differential scanning calorimeter) ซึ่งสมบัติเหล่านี้เป็นสมบัติเฉพาะของผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด ดังนั้นการทราบสมบัติเหล่านี้จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของอาหารระหว่างการแปรรูปอาหารและใช้ในการทำนายความคงตัวของผลิตภัณฑ์อาหารในระหว่างการเก็บรักษาได้ จากรูปที่ 4.10 แสดงอุณหภูมิ glass transition ( $T_g$ ) ของน้ำผึ้งผงผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่า  $T_g$  ของน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองมีค่า  $T_g$  ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P\leq 0.05$ ) โดยน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองมีค่า  $T_g$  สูงกว่าน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวัน โดยตัวอย่างน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองผสมอลโทเด็กซ์ทรินในแต่ละระดับ

ที่แตกต่างกันมีค่า  $T_g$  ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) โดยมีค่าอยู่ในช่วง  $56.48\pm 0.06$  ถึง  $56.57\pm 0.18^\circ\text{C}$  ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความชื้นของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวัน เหลวมีค่าต่ำกว่าผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวัน ส่งผลให้มีค่า  $T_g$  มีค่าสูงกว่า (ดังรูปที่ 4.1) ซึ่งปริมาณความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อค่า  $T_g$  ของผลิตภัณฑ์เป็นผลเนื่องมาจากค่า  $T_g$  ของน้ำมีค่าต่ำที่สุดอยู่ที่ประมาณ  $-135^\circ\text{C}$  ดังนั้นน้ำจึงมีผลทำให้ค่า  $T_g$  ของผลิตภัณฑ์ลดลง (Onwulata, 2005)



รูปที่ 4.10 อุณหภูมิ glass transition ของน้ำผึ้งผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลที่ต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P\leq 0.05$ ))

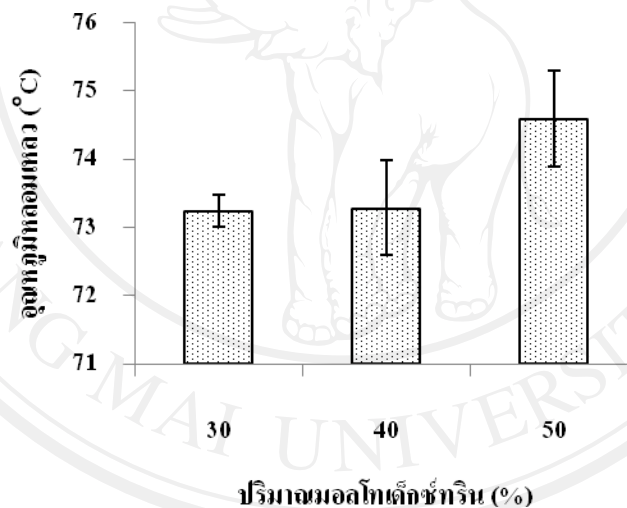
สำหรับตัวอย่างน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันมีค่า  $T_g$  อยู่ในช่วง  $55.71\pm 0.35$  ถึง  $56.06\pm 0.41^\circ\text{C}$  และเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเด็คซ์ทรินส่งผลให้มีค่า  $T_g$  เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P\leq 0.05$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-1 มีค่าเท่ากับ 0.531) ซึ่งน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกผลึกผสมมอลโทเด็คซ์ทรินที่ระดับ 40 และ 50% มีค่าสูงกว่า 30% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P\leq 0.05$ ) ค่า  $T_g$  ของผลิตภัณฑ์ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบและ  $T_g$  ของส่วนประกอบแต่ละตัว (Bhandari and Howes, 1999) มอลโทเด็คซ์ทรินเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีค่า  $T_g$  สูง ส่งผลให้  $T_g$  ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นด้วย (Kurozawa *et al.*, 2009) น้ำผึ้งประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีค่า  $T_g$  ที่ต่ำด้วยเช่นกัน การเติมมอลโทเด็คซ์ทรินที่ใช้เป็นสารลดการเกาะติดของน้ำผึ้งซึ่งมี  $T_g$  สูงส่งผลให้มีค่า  $T_g$



ของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้นด้วย ดังนั้นการเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินส่งผลให้ค่า  $T_g$  ของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันมีค่า  $T_g$  สูงขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน ส่งผลให้ค่า  $T_g$  ของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหล่านี้เพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-1 มีค่าเท่ากับ 0.417)

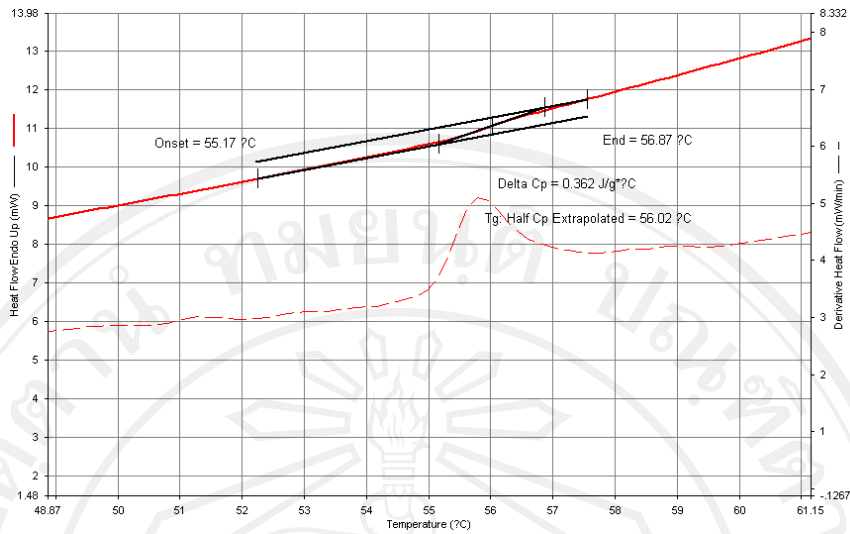
#### 4.2.2.9 อุณหภูมิหลอมเหลว

จากรูปที่ 4.11 แสดงอุณหภูมิหลอมเหลวของน้ำผึ้งผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่า น้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกผลึกที่มีการเติมปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับที่แตกต่างกัน มีค่าอุณหภูมิหลอมเหลวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) โดยอุณหภูมิหลอมเหลวมีค่าอยู่ในช่วง  $73.25\pm 0.23$  ถึง  $74.60\pm 0.70^\circ\text{C}$

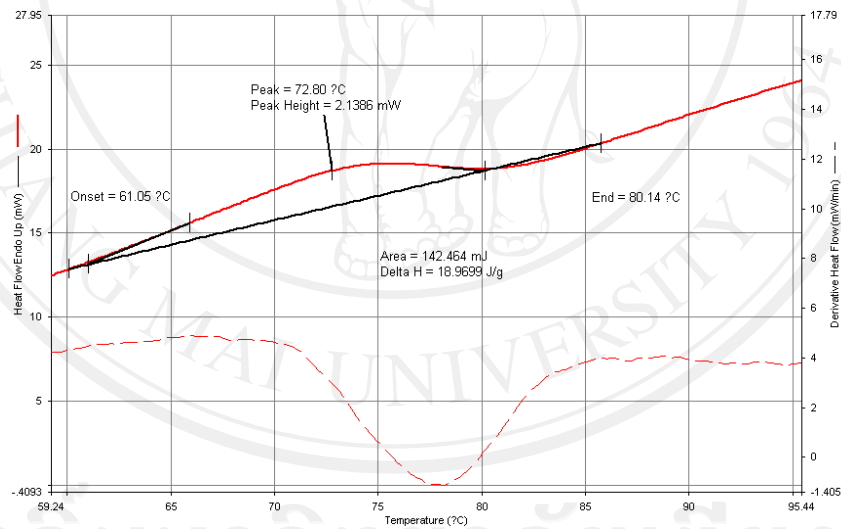


รูปที่ 4.11 อุณหภูมิหลอมเหลวของน้ำผึ้งผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

จากผลการทดลองดังกล่าวเห็นได้ว่าอุณหภูมิหลอมเหลวจะพบแค่ในตัวอย่างน้ำผึ้งที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกผลึกเท่านั้น แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกผลึกเป็นลักษณะผงที่เกิดการผสมกันระหว่างผงที่มีโครงสร้างอสัณฐาน (amorphous) กับ ผลึก (crystalline) (Bhandari and Hartel, 2005) เนื่องจากเมื่อนำน้ำผึ้งที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกผลึกมาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC (Differential Scanning Calorimetry) กราฟที่ได้มีทั้งจุดที่แสดงถึง  $T_g$  และอุณหภูมิหลอมเหลวของตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.12 และ 4.13



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างกราฟอุณหภูมิ glass transition ของน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง



รูปที่ 4.13 ตัวอย่างกราฟอุณหภูมิหลอมเหลวของน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

น้ำผึ้งที่มีกลูโคสปริมาณมากจะเกิดการตกผลึกได้เร็ว เนื่องจากกลูโคสมีความสามารถในการละลายต่ำกว่าฟรุกโทส (Zomora and Chirife, 2006) และผลึกที่เกิดขึ้นคือผลึกของกลูโคสบริสุทธิ์ (Escobedo *et al.*, 2006) จากรายงานการวิจัยของขนิษฐา (2550) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตกผลึกและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำผึ้งไทย โดยนำตัวอย่างผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่แยกได้นำไปล้างด้วยแอลกอฮอล์ 95% แล้วนำไปอบให้แห้งด้วยตู้อบแห้งแบบ

สูญญากาศที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์หาจุดหลอมเหลวด้วยเครื่อง DSC (Differential Scanning Calorimetry) พบว่าผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันมีการเปลี่ยนแปลง 2 จุด จุดแรกมีอุณหภูมิหลอมเหลวที่ 82.95°C เมื่อนำกราฟมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิหลอมเหลวของผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันจะพบว่าในผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันจะมีอุณหภูมิหลอมเหลวใกล้เคียงกับอุณหภูมิหลอมเหลวของกลูโคสบริสุทธิ์คือ 77.19°C และจุดที่ 2 แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิหลอมเหลวของน้ำตาลมอลโตส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 193.48°C ค่าที่วิเคราะห์ได้ในการทดลองนี้ต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวในน้ำตาลมอลโตสที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวเท่ากับ 219-220°C (Dutton, 1996) ซึ่งจากผลการทดลองรูปที่ 4.11 อุณหภูมิการหลอมเหลวของน้ำผึ้งผงที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกผลึกมีค่าอยู่ในช่วง 73.25-74.60°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิการหลอมเหลวเป็นของกลูโคส ซึ่งผลึกของน้ำผึ้งที่ได้จะเป็นกลูโคสโมโนไฮเดรต (Conforti *et al.*, 2006)

#### 4.3 สภาพที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันโดยการอบแห้งแบบสูญญากาศ

ผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่ผ่านการเหวี่ยงนำส่วนที่เป็นของเหลวออก ผสมกับมอลโทเด็กซ์ทรินโดยทำการแปรระดับความเข้มข้นของมอลโทเด็กซ์ทรินในอัตราส่วน 30, 40 และ 50% นำของผสมที่ได้ไปอบแห้งในตู้อบสูญญากาศ เพื่อหาระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งโดยแปรระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 3 ระดับคือ 35, 40 และ 45°C โดยใช้เวลาในการอบแห้งเป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่เตรียมได้มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.14 ถึง 4.27

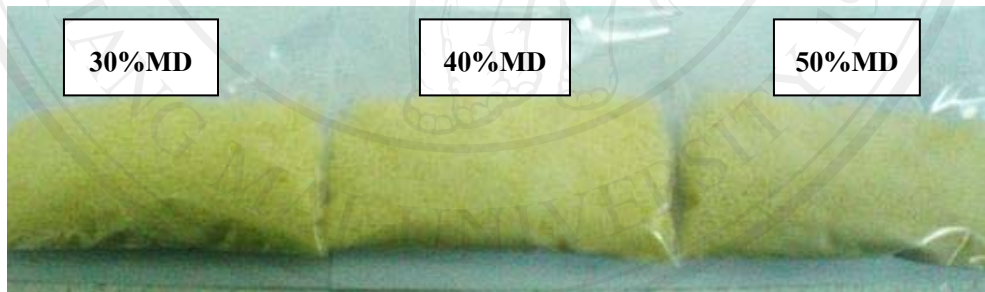
##### 4.3.1 สมบัติทางเคมีของน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสูญญากาศ

ลักษณะของตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35°C ทุกระดับมอลโทเด็กซ์ทรินระยะเวลาในการอบแห้งที่ 72 ชั่วโมง ไม่สามารถนำตัวอย่างมาบดให้มีลักษณะเป็นผงได้ ตัวอย่างมีลักษณะเกาะติดกันและมีความเหนียว ดังรูปที่ 4.14 เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่ำเกินไป ไม่สามารถเปลี่ยนสถานะของน้ำผึ้งที่เป็นของเหลวหนืดให้เป็นของแข็งได้ โมเลกุลของน้ำบางส่วนหลงเหลืออยู่ในตัวอย่าง ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นระหว่างการทำแห้งในผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลสูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเหนียว ถึงแม้ว่าตัวอย่างที่ได้จะมีความชื้นในปริมาณที่ต่ำ (Bhandari and Howes, 1999) สาเหตุเหล่านี้เกิดจากโมเลกุลของน้ำที่เป็นองค์ประกอบภายในน้ำผึ้ง ด้วยสมบัติเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ความหนาแน่นต่ำ dielectric constant สูง ความสามารถในการกักพันธะ

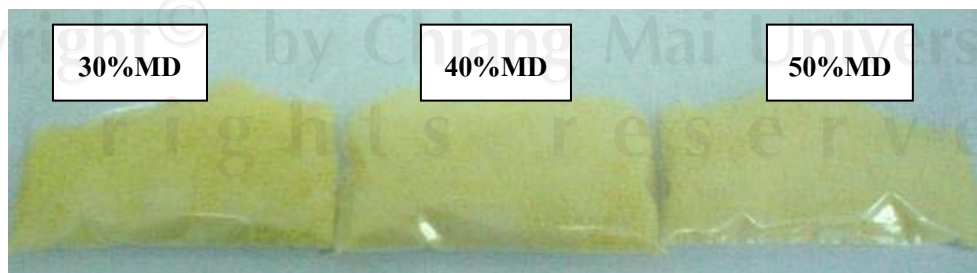
ไฮโดรเจนที่สูง และมีค่า  $T_g$  ต่ำ ( $-135^{\circ}\text{C}$ ) ของน้ำ น้ำจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิด plasticizer กับ โครงสร้าง macromolecular ในอาหาร (Tolstoguzov, 2000) ซึ่งมีผลทำให้ค่า  $T_g$  ของผลิตภัณฑ์ ลดลง ส่งผลให้ตัวอย่างที่ได้มีลักษณะเหนียวติดกันไม่สามารถนำมาบดและคงสภาพให้เป็นผงได้ ดังนั้นตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $35^{\circ}\text{C}$  จึงไม่สามารถวิเคราะห์สมบัติกายภาพบางอย่างได้ เช่น ความสามารถในการไหล ความสามารถในการละลาย ความหนาแน่นรวม ความหนาแน่น อนุภาค และอุณหภูมิ glass transition สำหรับลักษณะตัวอย่างน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวัน ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 และ  $40^{\circ}\text{C}$  แสดงดังรูปที่ 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.14 ลักษณะตัวอย่างผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $35^{\circ}\text{C}$  แบบสุญญากาศที่ระดับมอลโทเด็กซ์ทรินแตกต่างกัน



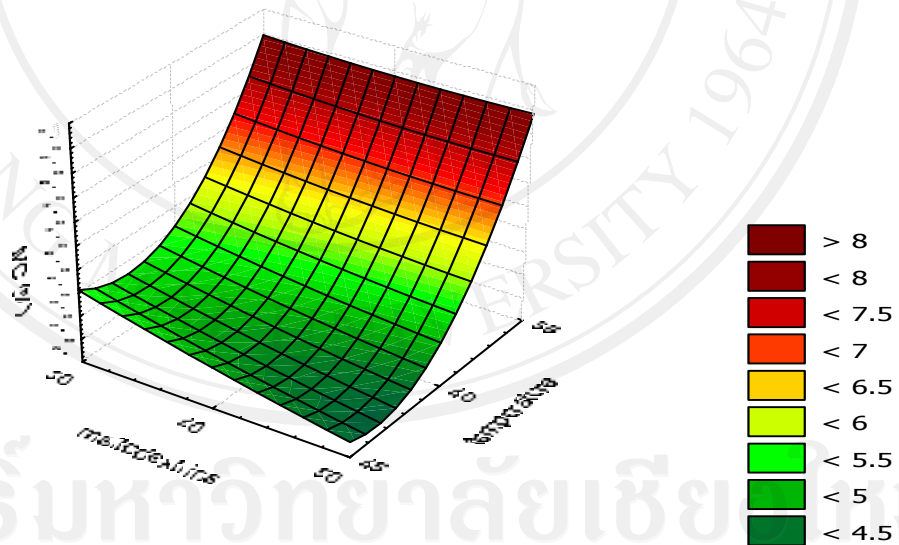
รูปที่ 4.15 ลักษณะตัวอย่างผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  แบบสุญญากาศที่ระดับมอลโทเด็กซ์ทรินแตกต่างกัน



รูปที่ 4.16 ลักษณะตัวอย่างผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $45^{\circ}\text{C}$  แบบสุญญากาศที่ระดับมอลโทเด็กซ์ทรินแตกต่างกัน

#### 4.3.1.1 ปริมาณความชื้น

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศพบว่า น้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็คซ์ทรินแตกต่างกันส่งผลให้ปริมาณความชื้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยตัวอย่างผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35°C ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง  $8.29 \pm 0.15$  ถึง  $8.57 \pm 0.08\%$  น้ำผึ้งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง  $4.72 \pm 0.11$  ถึง  $5.79 \pm 0.08\%$  และน้ำผึ้งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง  $4.40 \pm 0.13$  ถึง  $5.43 \pm 0.19\%$  น้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C ที่ระดับมอลโทเด็คซ์ทริน 50% มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดเท่ากับ  $4.40 \pm 0.13\%$  ส่วนตัวอย่างผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35°C ทุกระดับมอลโทเด็คซ์ทรินตัวอย่างมีความเหนียวไม่สามารถนำมาบดให้มีลักษณะเป็นผงได้ เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีระดับที่ต่ำเกินไปส่งผลให้ปริมาณความชื้นของตัวอย่างจึงมีค่าสูงที่สุด



รูปที่ 4.17 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็คซ์ทรินต่อปริมาณความชื้นของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ

จากรูปที่ 4.17 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็คซ์ทรินต่อปริมาณความชื้นของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ ซึ่งพิจารณาเฉพาะตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผงเท่านั้นพบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณ

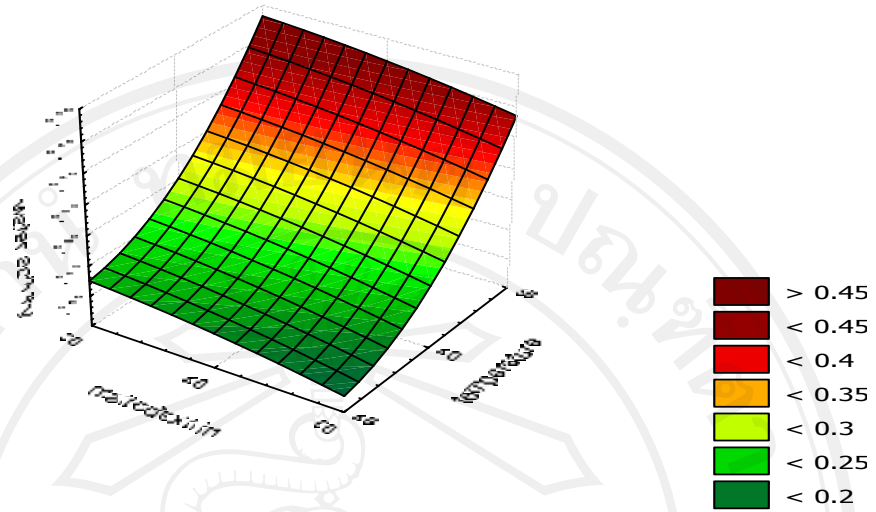


มอลโทเด็กซ์ทรินสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และ ( $P \leq 0.01$ ) ตามลำดับ (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-2 มีค่าเท่ากับ -0.338 และ -0.896) อุณหภูมิในการอบแห้งที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้โมเลกุลน้ำที่มีในของผสมระหว่างผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันกับมอลโทเด็กซ์ทรินเกิดการระเหยตัวได้เร็วขึ้นที่ระยะเวลาการอบแห้งเท่ากัน และสมบัติของมอลโทเด็กซ์ทรินมีความสามารถในการก่อฟิล์มได้เร็วและฟิล์มที่ได้ค่อนข้างมีความชื้นต่ำและสามารถกระจายตัวได้ดี (Adhikari *et al.*, 2003) และมีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ (low hygroscopicity) (Madene *et al.*, 2005) ส่งผลให้ปริมาณความชื้นมีค่าลดลงเมื่อมีเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินสูงขึ้น

#### 4.3.1.2 Water activity ( $a_w$ )

จากการวิเคราะห์ค่า  $a_w$  ของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศพบว่า น้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินแตกต่างกันส่งผลให้  $a_w$  มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยตัวอย่างผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35°C มีค่า  $a_w$  อยู่ในช่วง 0.444±0.01 ถึง 0.474±0.00 น้ำผึ้งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C จะมีค่า  $a_w$  อยู่ในช่วง 0.239±0.02 ถึง 0.316±0.01 และน้ำผึ้งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C จะมีค่า  $a_w$  อยู่ในช่วง 0.210±0.00 ถึง 0.250±0.01 ซึ่งน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C ระดับมอลโทเด็กซ์ทริน 50% มีค่า  $a_w$  ต่ำที่สุด สอดคล้องกับผลของปริมาณความชื้นข้างต้น เนื่องจาก  $a_w$  แปรผันตามปริมาณความชื้น (ลักษณะและนิธิยา, 2544)

จากรูปที่ 4.18 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินต่อค่า  $a_w$  ของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ ซึ่งพิจารณาเฉพาะตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผงเท่านั้นพบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-2 มีค่าเท่ากับ -0.626 และ -0.626 ตามลำดับ) ค่า  $a_w$  ของน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศทั้ง 3 ระดับอุณหภูมินั้นเป็นช่วงที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาเนื่องจากค่า  $a_w$  ต่ำกว่า 0.5 ซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ (Fennema, 2008)

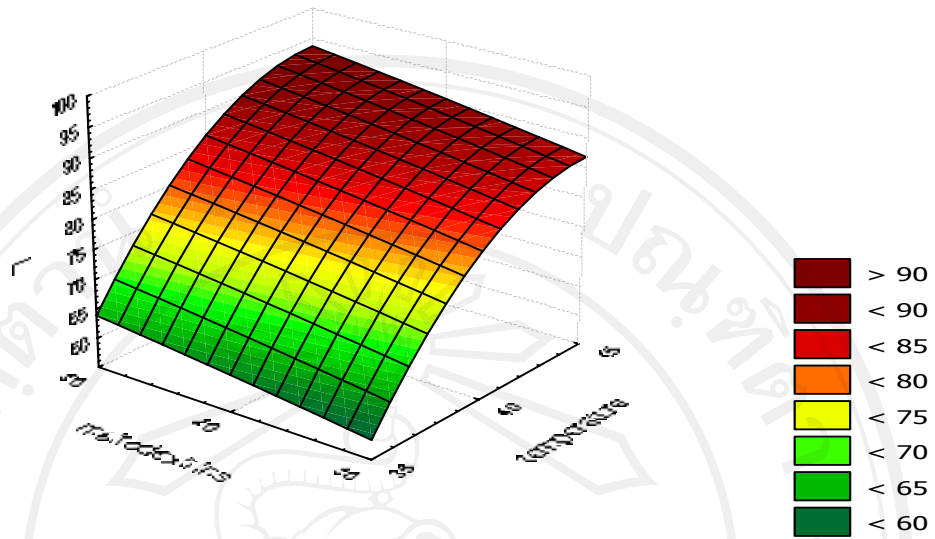


รูปที่ 4.18 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินต่อ  $a_w$  ของน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ

#### 4.3.2 สมบัติทางกายภาพของน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ

##### 4.3.2.1 ค่าความสว่าง ( $L^*$ )

จากการวิเคราะห์ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ของน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศพบว่า ค่าความสว่างของน้ำผึ้งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35°C มีค่าความสว่างอยู่ในช่วง  $58.43 \pm 0.94$  ถึง  $64.04 \pm 0.64$  น้ำผึ้งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C มีค่าความสว่างอยู่ในช่วง  $80.08 \pm 0.68$  ถึง  $86.26 \pm 0.78$  และน้ำผึ้งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C มีค่าความสว่างอยู่ในช่วง  $79.05 \pm 0.93$  ถึง  $86.73 \pm 0.34$  เห็นได้ว่าค่าความสว่างของตัวอย่างผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35°C มีค่าต่ำกว่าค่าความสว่างของน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 และ 45°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เนื่องจากลักษณะของตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35°C ไม่สามารถบดตัวอย่างให้มีลักษณะเป็นผงได้ ตัวอย่างมีลักษณะโครงสร้างยึดเกาะกันแน่นส่งผลให้ค่าความสว่างมีค่าต่ำ น้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 และ 45°C ระดับมอลโทเด็กซ์ทริน 50% มีค่าความสว่างสูงที่สุด

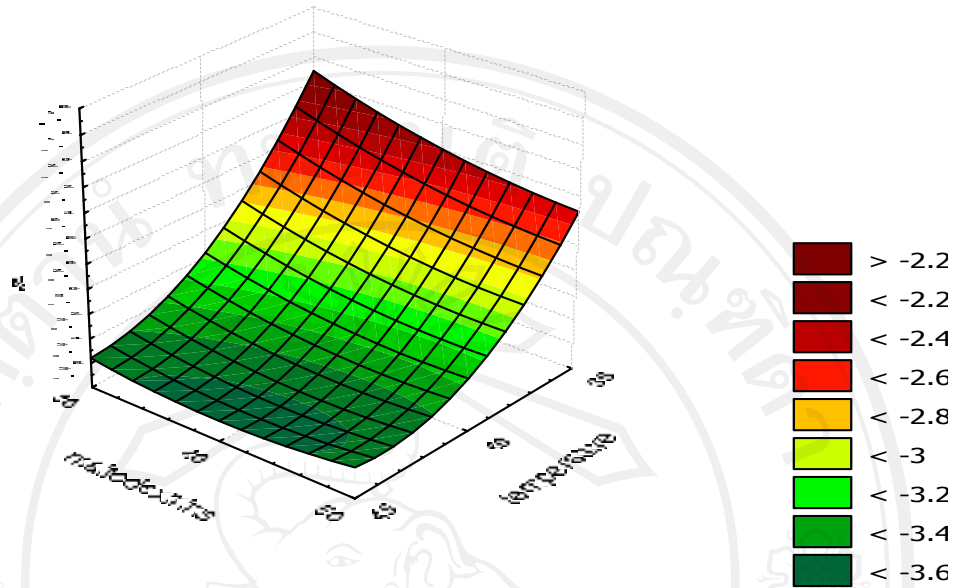


รูปที่ 4.19 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินต่อค่าความสว่างของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์ผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ

จากรูปที่ 4.19 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินต่อค่าความสว่างของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์ผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ ซึ่งพิจารณาเฉพาะตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผงเท่านั้นพบว่า อุณหภูมิในการอบแห้งไม่มีผลต่อค่าความสว่างของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์ผึ้งดอกทานตะวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) และเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-2 มีค่าเท่ากับ 0.948) เนื่องจากมอลโทเด็กซ์ทรินมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวเมื่อนำมาผสมกับน้ำผึ้งทำให้สีของน้ำผึ้งอ่อนลง และมีความสว่างมากขึ้นตามปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินที่เติมลงไป

#### 4.3.2.2 ค่าสี $a^*$

สำหรับการวิเคราะห์ค่าสี  $a^*$  ซึ่งอธิบายถึงค่าสีที่อยู่ระหว่างสีเขียว ( $-a^*$ ) ถึงสีแดง ( $+a$ ) ของตัวอย่างพบว่า ค่าสี  $a^*$  ของตัวอย่างผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $35^{\circ}\text{C}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $(-2.90 \pm 0.41$  ถึง  $-1.82 \pm 0.49$  ส่วนน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $(-3.63 \pm 0.15$  ถึง  $-3.11 \pm 0.22$  และตัวอย่างน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $45^{\circ}\text{C}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $(-3.24 \pm 0.17$  ถึง  $-3.11 \pm 0.35$

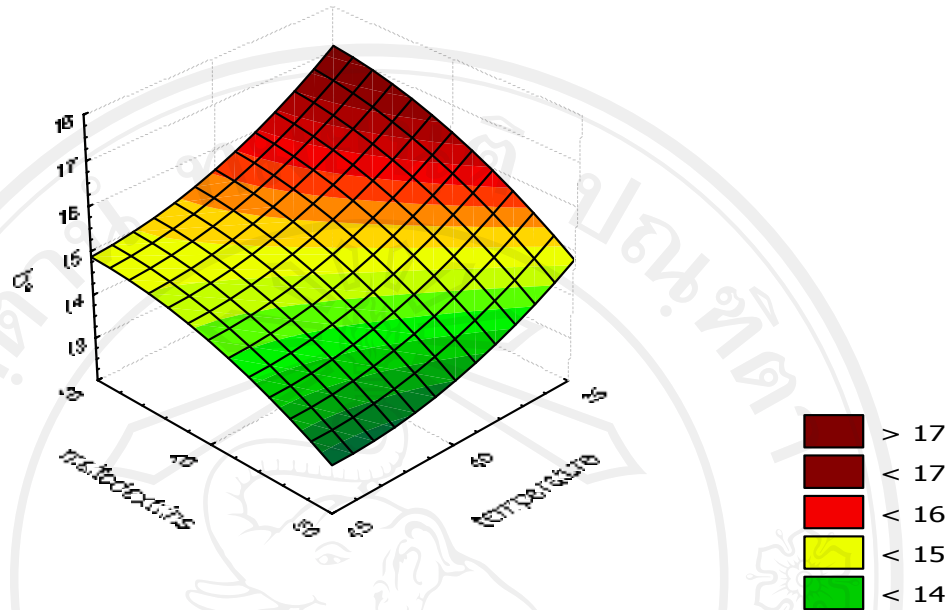


รูปที่ 4.20 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินต่อค่า  $a^*$  ของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ

จากรูปที่ 4.20 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินต่อค่า  $a^*$  ของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ เมื่อพิจารณาเฉพาะตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผงเท่านั้นพบว่า อุณหภูมิในการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า  $a^*$  มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-2 มีค่าเท่ากับ 0.415) ส่วนปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินไม่มีผลต่อค่า  $a^*$  ของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) โดยตัวอย่างน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันมีค่า  $a^*$  เป็นค่าลบ แสดงให้เห็นว่าน้ำผึ้งมีสีค่อนข้างซีดในช่วงสีเขียวเพียงเล็กน้อย

#### 4.3.2.3 ค่า $b^*$

สำหรับการวิเคราะห์ค่า  $b^*$  ซึ่งอธิบายถึงค่าสีที่อยู่ระหว่างสีน้ำเงิน ( $-b^*$ ) ถึงสีเหลือง ( $+b^*$ ) ของตัวอย่างพบว่า ค่า  $b^*$  ของตัวอย่างผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $35^\circ\text{C}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $14.59 \pm 1.27$  ถึง  $17.58 \pm 2.30$  น้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $40^\circ\text{C}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $13.87 \pm 2.02$  ถึง  $15.20 \pm 0.85$  และน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $45^\circ\text{C}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $13.50 \pm 1.88$  ถึง  $15.32 \pm 1.58$



รูปที่ 4.21 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินต่อค่าสี  $b^*$  ของน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ

จากรูปที่ 4.21 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินต่อค่าสี  $b^*$  ของน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ ซึ่งพิจารณาเฉพาะตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผงเท่านั้นพบว่า อุณหภูมิในการอบแห้งไม่มีผลต่อค่าสี  $b^*$  ของน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) และเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าสี  $b^*$  มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-2 มีค่าเท่ากับ  $-0.378$ ) ตัวอย่างน้ำผึ้งที่ได้มีสีค่อนข้างซีดเหลืองเมื่อมีการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้สีเหลืองของน้ำผึ้งอ่อนลง

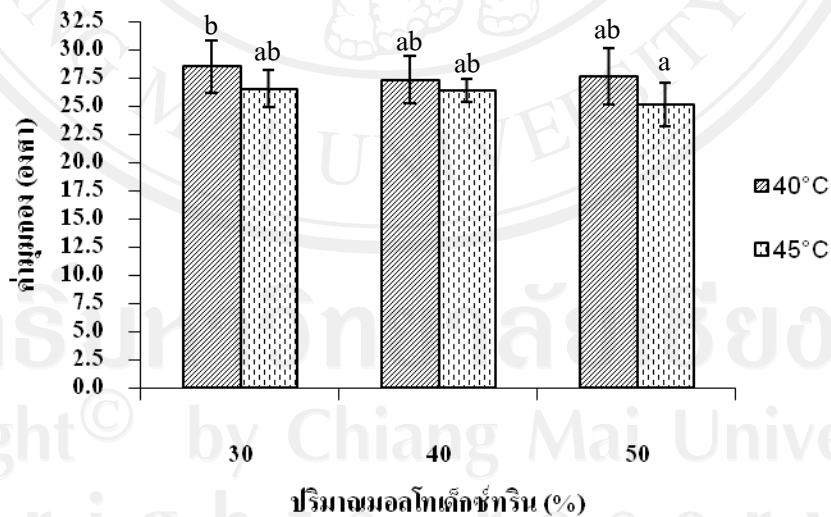
#### 4.3.2.4 ความสามารถในการไหล (แสดงในรูปค่ามุมกอง)

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการไหลของน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศแสดงในรูปของค่ามุมกอง (angle of repose) พบว่าน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิแตกต่างกันส่งผลให้ค่ามุมกองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังรูปที่ 4.22 ตัวอย่างน้ำผึ้งผ่านการอบที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  มีค่ามุมกองอยู่ในช่วง  $27.33 \pm 2.07$  ถึง  $28.50 \pm 2.35$  องศา และตัวอย่างน้ำผึ้งผ่านการอบที่อุณหภูมิ  $45^{\circ}\text{C}$  มีค่ามุมกองอยู่ในช่วง  $25.17 \pm 1.94$  ถึง  $26.50 \pm 1.64$  องศา ซึ่งน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่าน



การอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C ที่ระดับมอลโทเด็กซ์ทริน 50% มีค่ามูมกอนที่ต่ำที่สุดแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการไหลที่ดีที่สุด จากผลการทดลองดังกล่าวเห็นได้ว่าค่ามูมกอนของน้ำผึ้งผงที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกลึกที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 40 และ 45°C มีค่ามูมกอนต่ำกว่า 30 องศา แสดงให้เห็นว่าน้ำผึ้งผงที่เตรียมได้จากดอกทานตะวันตกลึกมีความสามารถในการไหลที่ดี (Geldart *et al.*, 2006)

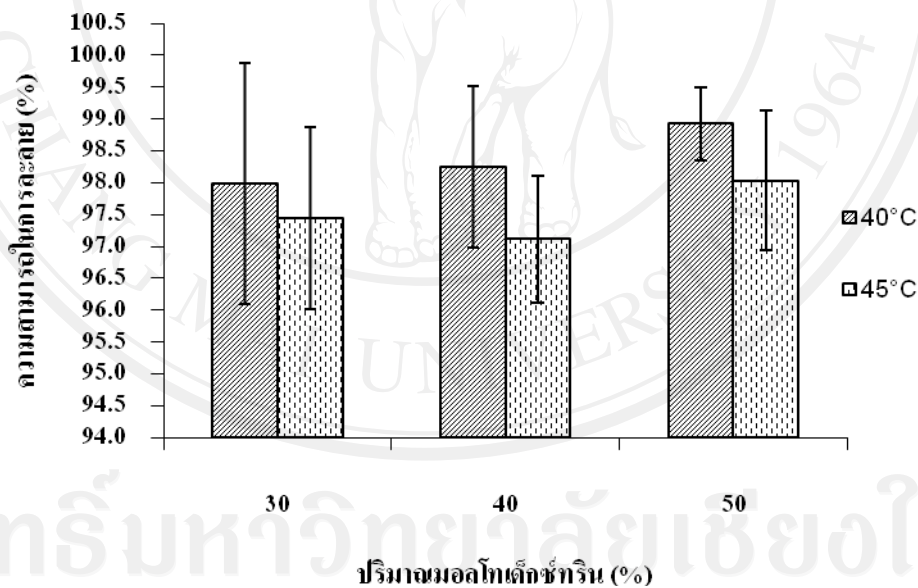
เมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่ามูมกอนมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-2 มีค่าเท่ากับ -0.437) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการไหลที่ดีขึ้นของตัวอย่างน้ำผึ้งผงเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้น ส่วนปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินไม่มีผลต่อค่ามูมกอนของน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ปริมาณความชื้นเป็นปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถในการไหลของตัวอย่างน้ำผึ้งผง การใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นของตัวอย่างมีค่าลดลง การเกิดการเกาะตัวกันระหว่างอนุภาคจึงมีน้อยเนื่องจากปริมาณของเหลวที่อยู่ระหว่างอนุภาคมีน้อย (Barbosa-Canovas and Juliano, 2005) ส่งผลให้ค่ามูมกอนของตัวอย่างมีค่าที่ต่ำด้วยเช่นกัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการไหลที่ดีของตัวอย่าง



**รูปที่ 4.22** ความสามารถในการไหลของน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสูญญากาศ (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลที่ต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ))

#### 4.3.2.5 ความสามารถในการละลาย

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการละลายของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศพบว่า อุณหภูมิการอบแห้งและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินไม่มีผลต่อความสามารถในการละลายของน้ำผึ้งที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกผลึกอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) ดังรูปที่ 4.23 โดยน้ำผึ้งที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  มีความสามารถในการละลายอยู่ในช่วง  $97.98\pm 1.89$  ถึง  $98.92\pm 0.58\%$  และตัวอย่างน้ำผึ้งที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ  $45^{\circ}\text{C}$  มีความสามารถในการละลายอยู่ในช่วง  $97.11\pm 0.99$  ถึง  $98.03\pm 1.10\%$  จากผลการทดลองข้างต้นเห็นได้ว่าความสามารถในการละลายของน้ำผึ้งที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกผลึกมีค่าอยู่ในช่วงที่สูงมากแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างมีความสามารถในการละลายที่ดีมาก เนื่องจากองค์ประกอบของน้ำผึ้งประกอบด้วยน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกผลึกที่ผ่านการเหวี่ยงนำส่วนที่เป็นของเหลวออกและมอลโทเด็กซ์ทริน ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ทั้งหมด ส่งผลทำให้น้ำผึ้งสามารถละลายน้ำได้ทั้งหมดจึงทำให้มีค่าความสามารถในการละลายที่ดีมากด้วยเช่นกัน

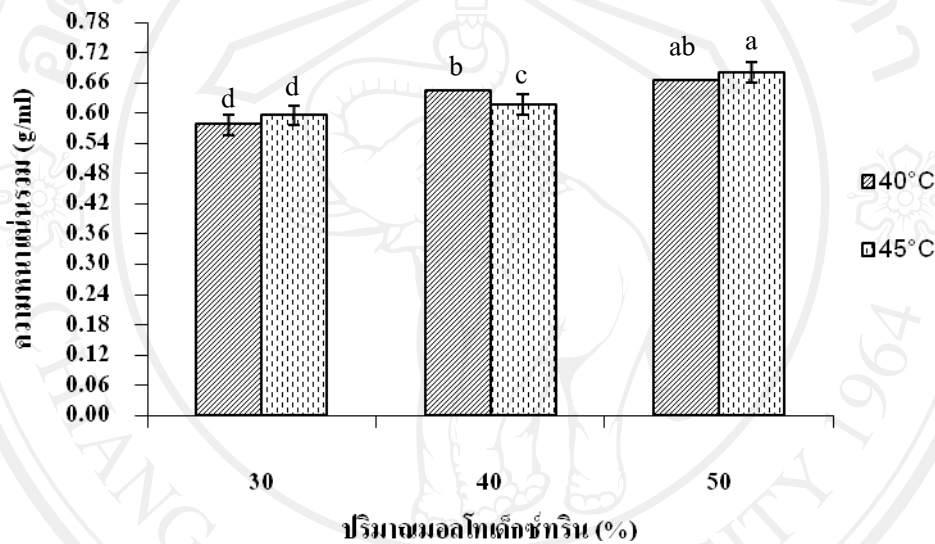


รูปที่ 4.23 ความสามารถในการละลายของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ

#### 4.3.2.6 ความหนาแน่นรวม

จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศดังรูปที่ 4.24 พบว่า ความหนาแน่นรวมของตัวอย่างน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $0.577\pm 0.02$  ถึง  $0.664\pm 0.00$  g/ml และตัวอย่างน้ำผึ้งที่ผ่าน

การอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C มีค่าอยู่ในช่วง 0.596±0.02 ถึง 0.681±0.02 g/ml น้ำผึ้งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C ระดับมอลโทเด็กซ์ทริน 50% มีความหนาแน่นรวมสูงที่สุดเท่ากับ 0.681±0.02 g/ml ซึ่งมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดคือ 4.40±0.13% ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับเครื่องตีผงโกโก้ที่สำรวจจากท้องตลาด 10 ชนิด มีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง 0.49 ถึง 0.81 g/ml และความหนาแน่นรวมของเครื่องตีผงโกโก้มีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นในเชิงลบ แสดงให้เห็นว่าปริมาณความชื้นมีผลต่อความหนาแน่นรวมของตัวอย่างผงโกโก้พร้อมดื่ม (Shittu and Lawal, 2007)

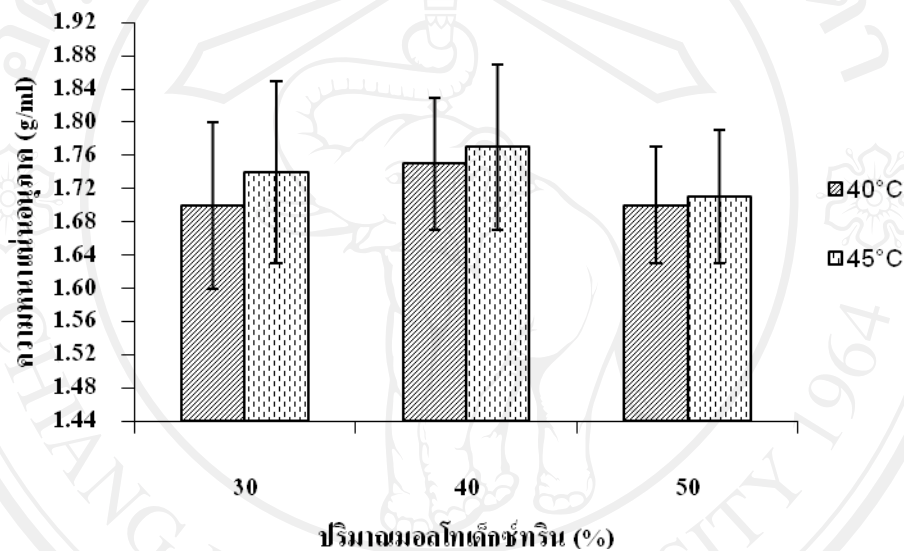


**รูปที่ 4.24** ความหนาแน่นรวมของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลที่ต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ))

เมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งไม่มีผลต่อความหนาแน่นรวมของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) และเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับสูงขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นรวมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-2 มีค่าเท่ากับ 0.886) การเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินส่งผลให้เกิดการเกาะติดระหว่างอนุภาคผงลดลง อนุภาคผงจึงสามารถเรียงตัวได้อย่างเป็นระเบียบ รวมทั้งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคผงเล็กลง ตัวอย่างผงจึงมีความหนาแน่นรวมเพิ่มมากขึ้น (Sablani *et al.*, 2008)

#### 4.3.2.7 ความหนาแน่นอนุภาค

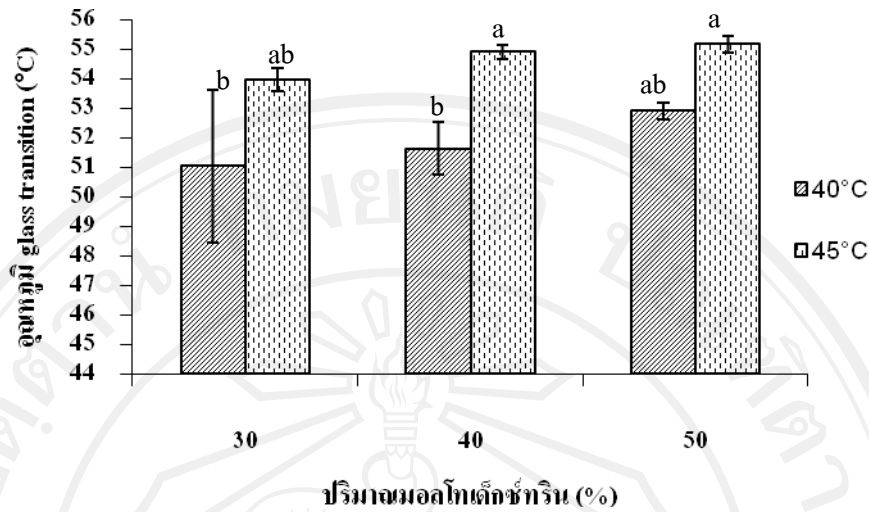
จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นอนุภาคของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสูญญากาศพบว่า อุณหภูมิการอบแห้งและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินไม่มีผลต่อความหนาแน่นอนุภาคของน้ำผึ้งที่เตรียมได้จากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ดังรูป 4.25 โดยน้ำผึ้งที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  ความหนาแน่นอนุภาคอยู่ในช่วง  $1.70\pm 0.10$  ถึง  $1.75\pm 0.08$  g/ml และตัวอย่างน้ำผึ้งที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ  $45^{\circ}\text{C}$  ความหนาแน่นอนุภาคอยู่ในช่วง  $1.71\pm 0.08$  ถึง  $1.77\pm 0.10$  g/ml



รูปที่ 4.25 ความหนาแน่นอนุภาคของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสูญญากาศ

#### 4.3.2.8 อุณหภูมิ glass transition ( $T_g$ )

จากรูป 4.26 แสดงผลของอุณหภูมิการอบแห้งและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินต่อ  $T_g$  ของน้ำผึ้งที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันตผลิตภัณฑ์ พบว่า  $T_g$  ของตัวอย่างน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $51.04\pm 2.57$  ถึง  $52.90\pm 0.28^{\circ}\text{C}$  และตัวอย่างน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $45^{\circ}\text{C}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $53.97\pm 0.39$  ถึง  $55.17\pm 0.27^{\circ}\text{C}$  ค่า  $T_g$  ของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $45^{\circ}\text{C}$  ที่ระดับมอลโทเด็กซ์ทริน 50% มีค่า  $T_g$  สูงที่สุดเท่ากับ  $55.17\pm 0.27^{\circ}\text{C}$  รองลงมาคือน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $45^{\circ}\text{C}$  ที่ระดับมอลโทเด็กซ์ทริน 40% มีค่าเท่ากับ  $54.90\pm 0.25^{\circ}\text{C}$  ( $P>0.05$ )



**รูปที่ 4.26** อุณหภูมิ glass transition ของน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ))

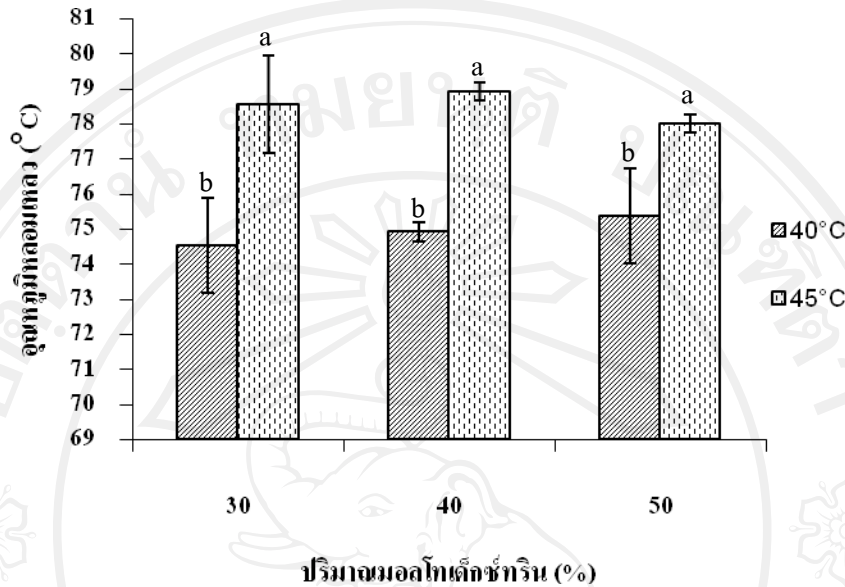
พิจารณาค่า Pearson's correlation พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้นส่งผลให้  $T_g$  มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-2 มีค่าเท่ากับ 0.805) เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นของตัวอย่างน้ำผึ้งผงมีค่าลดลง ( $P \leq 0.01$ ) ซึ่งปริมาณความชื้นของตัวอย่างมีผลต่อ  $T_g$  ของตัวอย่างเนื่องจากอิทธิพลของ  $T_g$  ที่ต่ำของน้ำ (-135°C) ดังนั้นปริมาณความชื้นที่สูงจึงมีผลทำให้ค่า  $T_g$  ของน้ำผึ้งผงลดลงด้วย (Onwulata, 2005) ส่วนปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรีนมีผลต่อ  $T_g$  ของน้ำผึ้งผงที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกผลึกด้วยเช่นกัน เนื่องจากมอลโทเด็กซ์ทรีนที่ใช้เป็นสารลดการเกาะติดเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีค่า  $T_g$  สูง ส่งผลให้  $T_g$  ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นด้วย (Kurozawa *et al.*, 2009) อย่างไรก็ตามการใช้มอลโทเด็กซ์ทรีนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้  $T_g$  ของตัวอย่างน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

#### 4.3.2.9 อุณหภูมิหลอมเหลว

อุณหภูมิหลอมเหลวของน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 และ 45°C แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังรูปที่ 4.27 โดยอุณหภูมิหลอมเหลวของน้ำผึ้งผงผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C มีค่าอยู่ในช่วง  $74.54 \pm 1.34$  ถึง  $75.38 \pm 1.36$ °C และตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C มีค่าอยู่ในช่วง  $78.00 \pm 0.26$  ถึง  $78.93 \pm 0.27$ °C



สำหรับปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน ไม่มีผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลวของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ )



**รูปที่ 4.27** อุณหภูมิหลอมเหลวของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P\leq 0.05$ ))

เมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้นส่งผลให้  $T_m$  มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P\leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-2 มีค่าเท่ากับ 0.915) จากผลการทดลองเห็นได้ว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C มีอุณหภูมิหลอมเหลวสูงกว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่ 40°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P\leq 0.05$ ) เนื่องจากตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C มีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C ซึ่งน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันมีอุณหภูมิหลอมเหลวที่ค่อนข้างสูงและใกล้เคียงกับอุณหภูมิหลอมเหลวของน้ำตาลกลูโคสบริสุทธิ์ที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวเท่ากับ 77.19°C (ขนิษฐา, 2550) ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ของน้ำผึ้งดอกผลิตภัณฑ์เป็นผลิตภัณฑ์ของน้ำตาลกลูโคสโมโนไฮเดรต เช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำผึ้งที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันผลิตภัณฑ์โดยการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวัน พบว่า น้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C ระดับมอลโทเด็กซ์ทริน 50% เป็นสภาวะการผลิตที่ดีที่สุด เนื่องจากน้ำผึ้งที่ได้มี ปริมาณความชื้น  $a_w$  ค่ามอดุล ที่ต่ำ

ที่สุด เนื่องจากปริมาณความชื้นของตัวอย่างต่ำส่งผลให้ค่า  $T_g$  และอุณหภูมิหลอมเหลวมีค่าสูงที่สุด เมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ

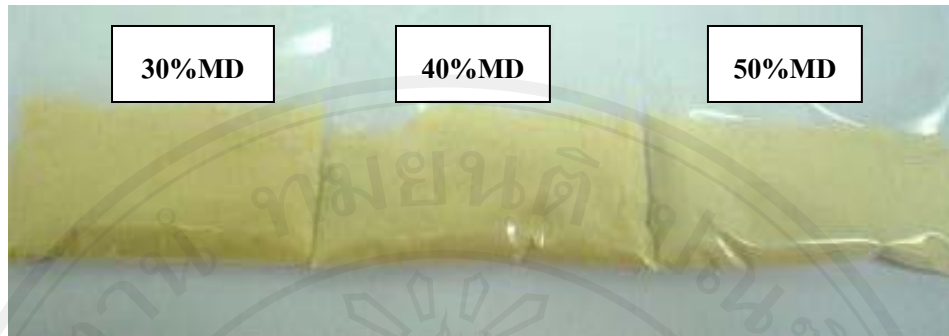
#### 4.4 สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวโดยการอบแห้งแบบสุญญากาศ

น้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผสมกับมอลโทเด็กซ์ทริน โดยทำการแปรระดับความเข้มข้นของมอลโทเด็กซ์ทรินในอัตราส่วน 30, 40 และ 50% ต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดในน้ำผึ้ง นำของผสมที่ได้ไปอบแห้งในตู้อบสุญญากาศ เพื่อหาระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้ง โดยแปรระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 3 ระดับคือ 60, 70 และ 80°C โดยใช้เวลาในการอบแห้งเป็นเวลา 72 ชั่วโมง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sahu (2008) ศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมที่มีผลต่อสมบัติของน้ำผึ้งผงโดยการอบแห้งแบบสุญญากาศใช้อุณหภูมิการอบแห้งที่  $70 \pm 2^\circ\text{C}$  จากนั้นน้ำผึ้งผงที่เตรียมได้มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.28 ถึง 4.39

จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C ทุกระดับมอลโทเด็กซ์ทริน ระยะเวลาในการอบแห้งนาน 72 ชั่วโมง ตัวอย่างที่ได้มีลักษณะเกาะติดกันและมีความเหนียว ดังนั้นจึงไม่สามารถนำตัวอย่างมาบดให้มีลักษณะเป็นผงได้ เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่ำเกินไป ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำบางส่วนหลงเหลืออยู่ในตัวอย่าง เช่นเดียวกับตัวอย่างผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35°C ที่กล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้นตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C จึงไม่สามารถวิเคราะห์สมบัติกายภาพบางอย่างได้เช่น ความสามารถในการไหล ความสามารถในการละลาย ความหนาแน่นรวม ความหนาแน่นอนุภาค และอุณหภูมิ glass transition สำหรับลักษณะน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งเหลวผ่านการทำแห้งแบบสุญญากาศระดับอุณหภูมิการอบแห้ง 80°C ดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.28 ลักษณะตัวอย่างผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C แบบสุญญากาศที่ระดับมอลโทเด็กซ์ทรินแตกต่างกัน

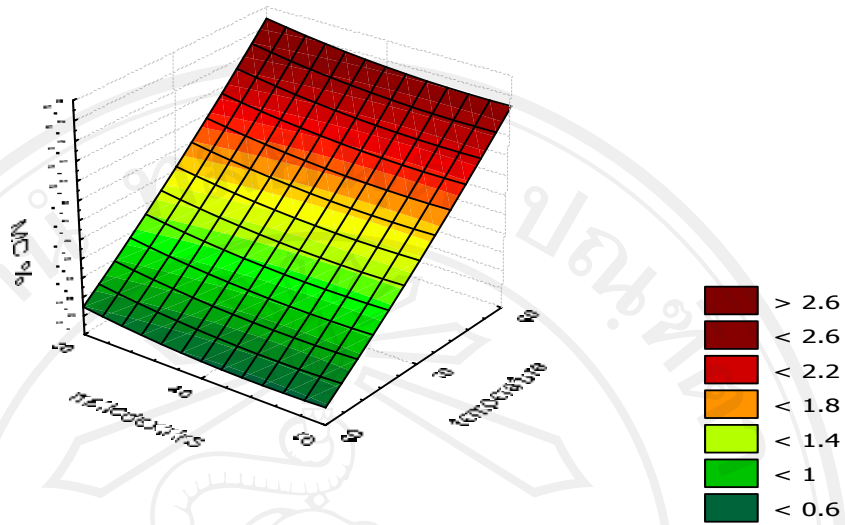


**รูปที่ 4.29** ลักษณะตัวอย่างผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C แบบสุญญากาศที่ระดับมอลโทเด็กซ์ทรินแตกต่างกัน

#### 4.4.1 สมบัติทางเคมีของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ

##### 4.4.1.1 ปริมาณความชื้น

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวพบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง  $2.54 \pm 0.04$  ถึง  $2.63 \pm 0.03\%$  ส่วนน้ำผึ้งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง  $1.41 \pm 0.10$  ถึง  $1.72 \pm 0.09\%$  และน้ำผึ้งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ปริมาณความชื้นจะอยู่ในช่วง  $0.59 \pm 0.04$  ถึง  $0.65 \pm 0.14\%$  ตัวอย่างน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ทุกระดับมอลโทเด็กซ์ทรินมีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )



**รูปที่ 4.30** อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินต่อปริมาณความชื้นของน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ

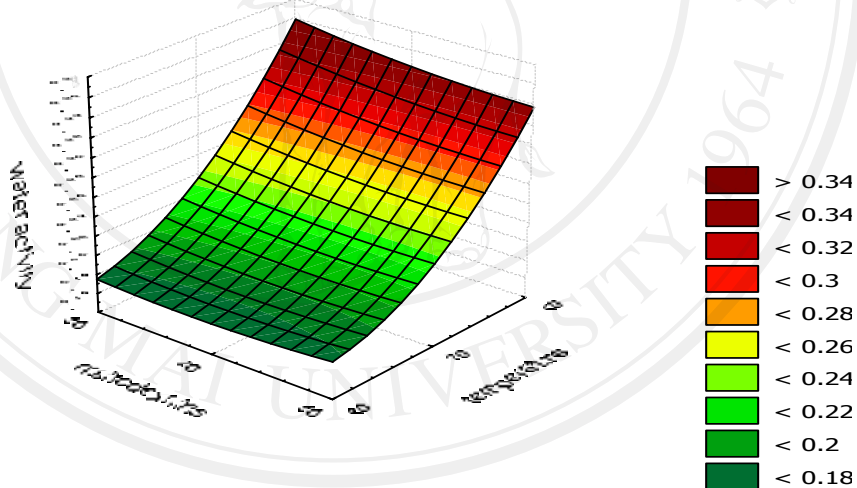
จากรูปที่ 4.30 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินต่อปริมาณความชื้นของน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ เมื่อพิจารณาเฉพาะตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผงเท่านั้นพบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-3 มีค่าเท่ากับ -0.963) การใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้นส่งผลให้โมเลกุลของน้ำเกิดการระเหยได้เร็วขึ้นที่ระยะเวลาการอบแห้งที่เท่ากัน ส่งผลให้ปริมาณความชื้นของตัวอย่างน้ำผึ้งผงมีค่าลดลง ส่วนมอลโทเด็กซ์ทรินมีสมบัติในการดูดซับความชื้นได้ดี โดยสามารถดูดซับความชื้นจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวเอาไว้ได้ส่งผลให้ปริมาณความชื้นมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตามการใช้ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับที่สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นของน้ำผึ้งผงที่เตรียมได้จากดอกทานตะวันเหลวมีค่าลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-3 มีค่าเท่ากับ -0.148)

#### 4.4.1.2 Water activity ( $a_w$ )

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวพบว่า ตัวอย่างผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$   $a_w$  อยู่ในช่วง  $0.335 \pm 0.01$  ถึง  $0.365 \pm 0.01$  ส่วนน้ำผึ้งผงผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $70^\circ\text{C}$   $a_w$  อยู่ในช่วง  $0.225 \pm 0.01$  ถึง  $0.232 \pm 0.01$  และน้ำผึ้งผงที่ผ่านการอบที่

อุณหภูมิ 80 °C  $a_w$  อยู่ในช่วง 0.172±0.01 ถึง 0.179±0.01 น้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ทุกระดับมอลโทเด็กซ์ทรินมี  $a_w$  ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ )

จากรูปที่ 4.31 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินต่อปริมาณความชื้นของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ เมื่อพิจารณาเฉพาะตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผงเท่านั้นพบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้นส่งผลให้  $a_w$  มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P\leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-3 มีค่าเท่ากับ -0.961) ส่วนปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลว ( $P>0.05$ ) ซึ่ง  $a_w$  ของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศทั้ง 3 ระดับอุณหภูมินั้นเป็นช่วงที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาเนื่องจากค่า  $a_w$  ต่ำกว่า 0.5 ซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ (Fennema, 2008)



รูปที่ 4.31 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินต่อ  $a_w$  ของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ

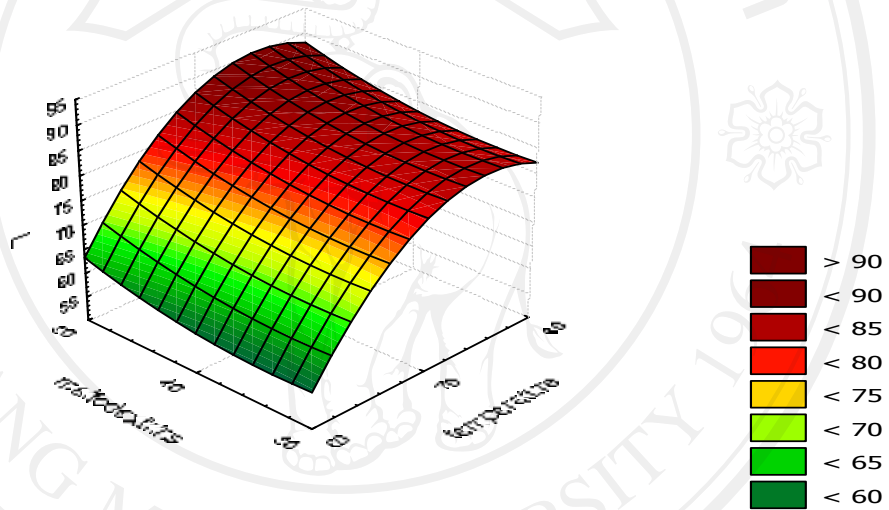
#### 4.4.2 สมบัติทางกายภาพของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ

##### 4.4.2.1 ค่าความสว่าง ( $L^*$ )

จากการวิเคราะห์ค่าความสว่างของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวพบว่า ตัวอย่างผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C ค่าความสว่างจะอยู่ในช่วง 52.28±1.25 ถึง 64.92±0.56 ส่วนน้ำผึ้ง



ผ่งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C ค่าความสว่างจะอยู่ในช่วง  $81.71 \pm 0.82$  ถึง  $85.66 \pm 0.30$  และ น้ำผึ้งผ่งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C ค่าความสว่างอยู่ในช่วง  $80.93 \pm 0.43$  ถึง  $87.96 \pm 0.70$  เห็นได้ว่า ค่าความสว่างของตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 และ 80°C มีค่าความสว่างที่ใกล้เคียงกัน ส่วนตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C มีค่าความสว่างที่ต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ ( $P \leq 0.05$ ) เนื่องจากตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C ไม่สามารถอบตัวอย่างให้มีลักษณะเป็นผ่งได้ ตัวอย่างจึงมีลักษณะยึดเกาะกันแน่นส่งผลให้ค่าความสว่างมีค่าที่ต่ำ ซึ่งน้ำผึ้งผ่งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันแห้งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ที่ระดับมอลโทเด็กซ์ทริน 50% มีค่าความสว่างสูงที่สุด

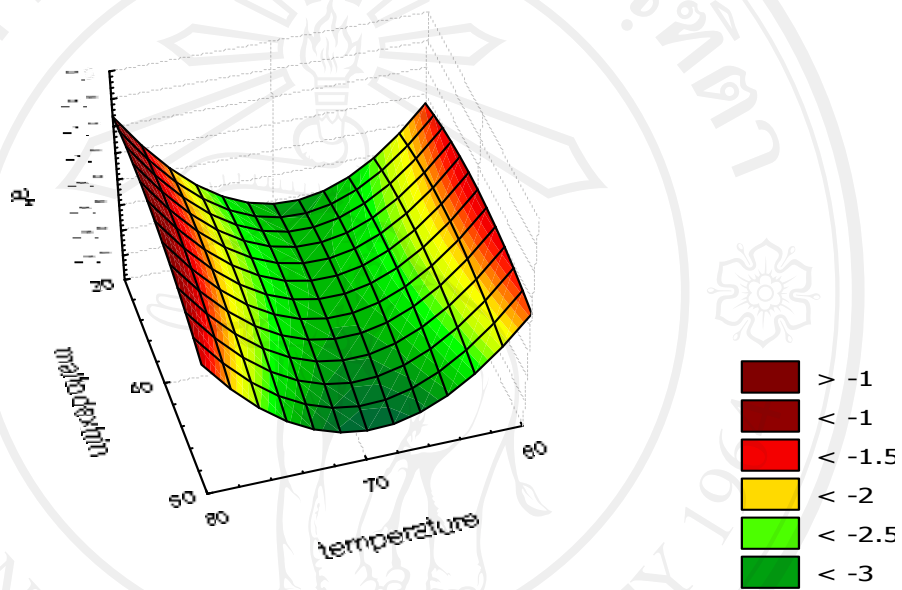


**รูปที่ 4.32** อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินต่อค่าความสว่างของน้ำผึ้งผ่งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันแห้งผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ

รูปที่ 4.32 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินต่อค่าความสว่างของน้ำผึ้งผ่งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันแห้งผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ เมื่อพิจารณาเฉพาะตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผ่งเท่านั้นพบว่า อุณหภูมิในการอบแห้งไม่มีผลต่อค่าความสว่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) เนื่องจากมอลโทเด็กซ์ทรินมีลักษณะเป็นผ่งสีขาวจึงส่งผลให้ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินมีผลต่อค่าความสว่างของน้ำผึ้งผ่งที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันแห้ง เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-3 มีค่าเท่ากับ 0.918)

#### 4.4.2.2 ค่าสี $a^*$

สำหรับการวิเคราะห์ค่าสี  $a^*$  ซึ่งอธิบายถึงค่าสีที่อยู่ระหว่างสีเขียว ( $-a^*$ ) ถึงสีแดง ( $+a^*$ ) ของตัวอย่างพบว่า ค่าสี  $a^*$  ของตัวอย่างผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $(-2.08 \pm 0.40$  ถึง  $(-1.43 \pm 0.22$  น้ำผึ้งผงผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $70^{\circ}\text{C}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $(-3.61 \pm 0.18$  ถึง  $(-2.81 \pm 0.06$  และน้ำผึ้งผงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $80^{\circ}\text{C}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $(-1.69 \pm 0.32$  ถึง  $(-0.52 \pm 0.38$

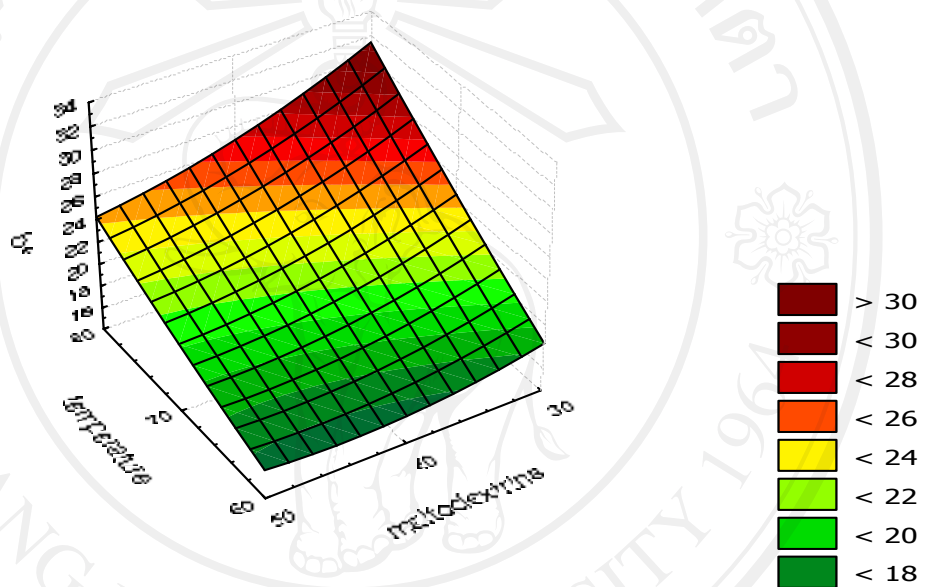


รูปที่ 4.33 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็คซ์ทรินต่อค่าสี  $a^*$  ของน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันแห้งผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ

รูปที่ 4.33 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็คซ์ทรินต่อค่าสี  $a^*$  ของน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันแห้งผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ เมื่อพิจารณาเฉพาะตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผงเท่านั้นพบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นส่งผลให้ค่า  $a^*$  มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-3 มีค่าเท่ากับ 0.887) เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบที่ไม่ใช่เอนไซม์ (nonenzymatic browning reaction) (Vaikousi *et al.*, 2009) สำหรับปริมาณมอลโทเด็คซ์ทรินไม่มีผลต่อค่าสี  $a^*$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ตัวอย่างน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันแห้งมีค่าสี  $a^*$  ติดลบ ดังนั้นน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันแห้งมีสีค่อนข้างเขียว

4.4.2.3 ค่าสี  $b^*$ 

สำหรับการวิเคราะห์ค่าสี  $b^*$  ซึ่งอธิบายถึงค่าสีที่อยู่ระหว่างสีน้ำเงิน ( $-b^*$ ) ถึงสีเหลือง ( $+b^*$ ) ของตัวอย่างพบว่า ค่าสี  $b^*$  ของตัวอย่างผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $16.10 \pm 2.47$  ถึง  $18.73 \pm 2.63$  ตัวอย่างน้ำผึ้งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $70^{\circ}\text{C}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $20.67 \pm 0.99$  ถึง  $24.04 \pm 1.52$  และตัวอย่างน้ำผึ้งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $80^{\circ}\text{C}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $23.48 \pm 0.81$  ถึง  $31.54 \pm 1.10$

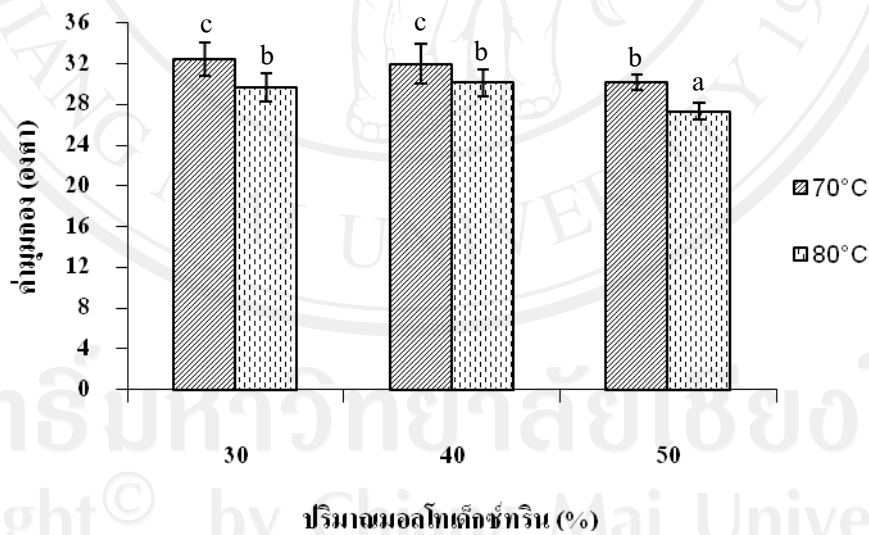


รูปที่ 4.34 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรีนต่อค่าสี  $b^*$  ของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันแห้งผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ

รูปที่ 4.34 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรีนต่อค่าสี  $b^*$  ของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันแห้งผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ เมื่อพิจารณาเฉพาะตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผงเท่านั้นพบว่า พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นส่งผลให้ค่า  $b^*$  มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-3 มีค่าเท่ากับ 0.702) และเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรีนในระดับที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าสี  $b^*$  มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-3 มีค่าเท่ากับ -0.562) เนื่องจากมอลโทเด็กซ์ทรีนมีลักษณะเป็นผงสีขาว เมื่อมีการใช้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สีของน้ำผึ้งมีความอ่อนลง โดยน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันแห้งมีค่าเป็นบวก ดังนั้นน้ำผึ้งที่ได้มีสีอ่อนไปทางสีเหลือง

#### 4.4.2.4 ความสามารถในการไหล (แสดงในรูปค่ามุมกอง)

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการไหลของตัวอย่างน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวัน เหลวแสดงในรูปของค่ามุมกอง (angle of repose) ผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศพบว่า น้ำผึ้งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C ค่ามุมกองอยู่ในช่วง 30.17±0.75 ถึง 32.50±1.64 องศา และน้ำผึ้งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ค่ามุมกองอยู่ในช่วง 27.33±0.82 ถึง 30.17±1.33 องศา โดยตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C และเติมมอลโทเด็กซ์ทรินที่ระดับ 50% มีค่ามุมกองที่ต่ำที่สุดแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการไหลที่ดีที่สุด (ดังรูปที่ 4.35) จากผลการทดลองดังกล่าวเห็นได้ว่าค่ามุมกองของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C ระดับมอลโทเด็กซ์ทริน 50% และน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งอุณหภูมิ 80°C ระดับมอลโทเด็กซ์ทริน 30, 40 และ 50% ตามลำดับ มีค่ามุมกองต่ำกว่า 30 องศา แสดงให้เห็นได้ว่าตัวอย่างมีความสามารถในการไหลที่ดีมาก และตัวอย่างน้ำผึ้งที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกผลึกที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70°C มอลโทเด็กซ์ทรินที่ระดับ 30 และ 40% มีค่ามุมกองมากกว่า 30 องศาเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างมีความสามารถในการไหลได้ดี แต่มีการเกาะตัวกันระหว่างอนุภาคเล็กน้อย (Geldart *et al.*, 2006)



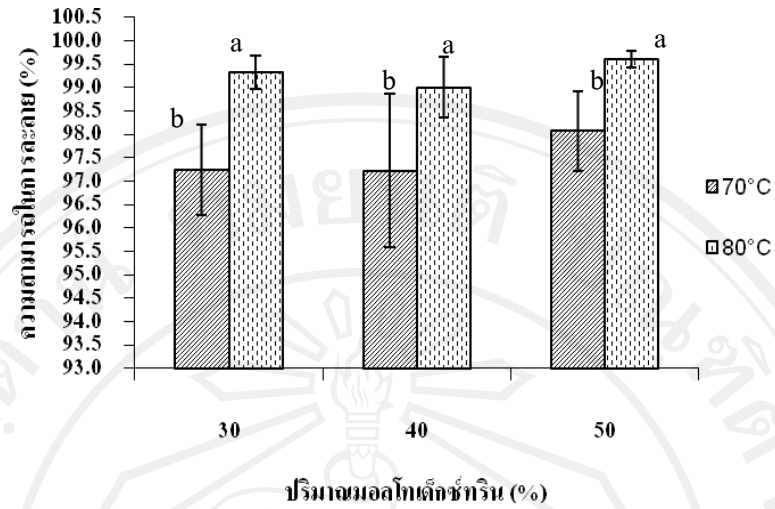
**รูปที่ 4.35** ความสามารถในการไหลของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลที่ต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ))

เมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นส่งผลให้ค่ามูกองลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-32 มีค่าเท่ากับ -0.594) เนื่องจากการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นของตัวอย่างมีค่าลดลง เกิดการเกาะตัวกันระหว่างอนุภาคต่ำเนื่องจากปริมาณของเหลวที่อยู่ระหว่างอนุภาคพวงมีน้อย (Barbosa-Canovas *et al.*, 2005) ส่งผลให้ตัวอย่างมีความสามารถในการไหลที่ดี จากสมบัติการเป็นสารลดการเกาะติดเพื่อช่วยลดความเหนียวของน้ำผึ้งและความสามารถในการดูดซับความชื้นต่ำ (low hygroscopicity) (Madene *et al.*, 2005) ของมอลโทเด็คซ์ทริน ส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำผึ้งเกิดการเกาะตัวกันต่ำ ดังนั้นเมื่อมีการใช้ปริมาณมอลโทเด็คซ์ทรินในระดับที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่ามูกองมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-3 มีค่าเท่ากับ -0.452) แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิและปริมาณมอลโทเด็คซ์ทรินมีผลต่อค่ามูกองของน้ำผึ้งที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลว

#### 4.4.2.5 ความสามารถในการละลาย

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการละลายของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลว ผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศพบว่า น้ำผึ้งผ่านการอบที่อุณหภูมิ 70°C มีความสามารถในการละลายอยู่ในช่วง  $97.25 \pm 0.96$  ถึง  $98.08 \pm 0.82\%$  และน้ำผึ้งผ่านการอบที่อุณหภูมิ 80°C มีความสามารถในการละลายอยู่ในช่วง  $99.01 \pm 0.65$  ถึง  $99.60 \pm 0.18\%$  ซึ่งความสามารถในการละลายของน้ำผึ้งที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวที่ได้เป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่สูงมาก (ดังรูป 4.36) แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างมีความสามารถในการละลายที่ดีมาก เนื่องจากองค์ประกอบของน้ำผึ้งประกอบด้วยน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวและมอลโทเด็คซ์ทรินซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดีที่อุณหภูมิห้อง (Klinkesorn *et al.*, 2004) ส่งผลทำให้น้ำผึ้งสามารถละลายน้ำได้ทั้งหมดจึงทำให้มีค่าความสามารถในการละลายที่ดีมากด้วยเช่นกัน เมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-3 มีค่าเท่ากับ 0.711) เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้ปริมาณความชื้นของตัวอย่างมีค่าต่ำ เมื่อนำตัวอย่างมาบดละเอียดขนาดอนุภาคผงที่ได้จะมีขนาดเล็กกว่าสามารถดูดซับโมเลกุลของน้ำได้ดีกว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า จึงส่งผลให้มีความสามารถในการละลายที่ดีขึ้น ส่วนปริมาณมอลโทเด็คซ์ทรินไม่มีผลต่อความสามารถในการละลาย ( $P > 0.05$ )

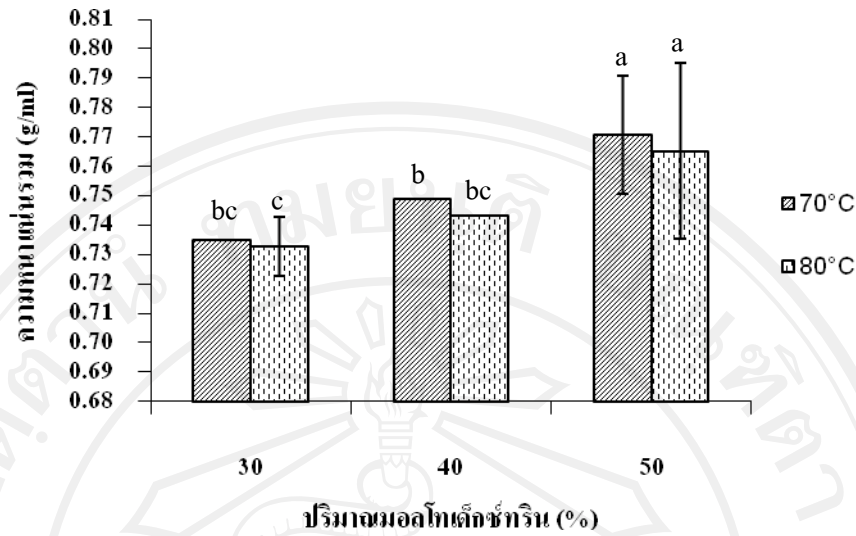




**รูปที่ 4.36** ความสามารถในการละลายของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลที่ต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ))

#### 4.4.2.6 ความหนาแน่นรวม

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการไหลของตัวอย่างน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศพบว่า น้ำผึ้งผ่านการอบที่อุณหภูมิ 70°C มีความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง  $0.735 \pm 0.00$  ถึง  $0.771 \pm 0.02$  g/ml และน้ำผึ้งที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 80°C มีความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง  $0.733 \pm 0.01$  ถึง  $0.765 \pm 0.03$  g/ml โดยตัวอย่างน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 และ 80°C ระดับมอลโทเด็กซ์ทริน 50% มีค่าความหนาแน่นรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) มีค่าเท่ากับ  $0.771 \pm 0.02$  และ  $0.765 \pm 0.03$  g/ml ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4.37)

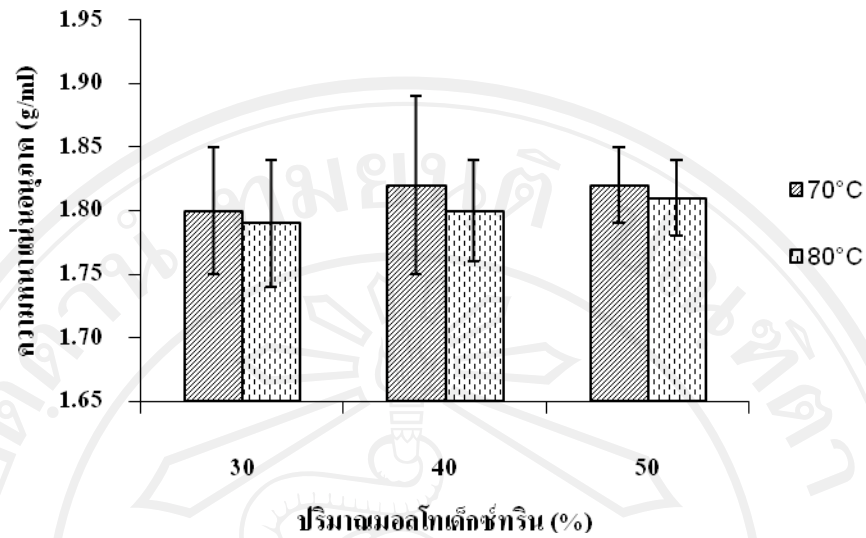


**รูปที่ 4.37** ความหนาแน่นรวมของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลที่ต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ))

เมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation พบว่า อุณหภูมิในการอบแห้งไม่มีผลต่อความหนาแน่นรวมของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลว ( $P > 0.05$ ) และเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับที่สูงขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นรวมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-3 มีค่าเท่ากับ 0.704) เนื่องจากสมบัติการลดการเกาะติดของอาหารผงที่มีปริมาณน้ำตาลสูงของมอลโทเด็กซ์ทริน อนุภาคผงจึงมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ การเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินส่งผลให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคผงเล็กลงผลิตภัณฑ์จึงมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น (Sablani *et al.*, 2008) ส่งผลให้ความหนาแน่นรวมมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินในระดับที่สูงขึ้น

#### 4.4.2.7 ความหนาแน่นอนุภาค

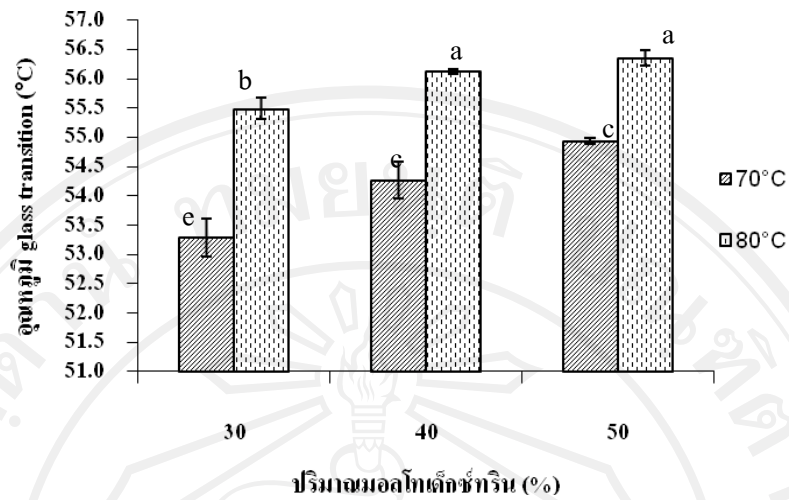
จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นอนุภาคของตัวอย่างน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศพบว่า อุณหภูมิการอบแห้งและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินไม่มีผลต่อความหนาแน่นอนุภาคของน้ำผึ้งที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (ดังรูป 4.38) โดยน้ำผึ้งที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 70°C มีความหนาแน่นอนุภาคอยู่ในช่วง  $1.80 \pm 0.05$  ถึง  $1.82 \pm 0.03$  g/ml และตัวอย่างน้ำผึ้งที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 80°C มีความหนาแน่นอนุภาคอยู่ในช่วง  $1.79 \pm 0.05$  ถึง  $1.81 \pm 0.03$  g/ml



**รูปที่ 4.38** ความหนาแน่นอนุภาคของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสูญญากาศ

#### 4.4.2.8 อุณหภูมิ glass transition ( $T_g$ )

จากการวิเคราะห์  $T_g$  ของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสูญญากาศดังรูป 4.39 พบว่า  $T_g$  ของตัวอย่างน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C มีค่าอยู่ในช่วง  $53.29 \pm 0.32$  ถึง  $54.94 \pm 0.06$ °C และตัวอย่างน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C มีค่าอยู่ในช่วง  $55.49 \pm 0.18$  ถึง  $56.35 \pm 0.13$  °C เห็นได้ว่าค่า  $T_g$  ของตัวอย่างน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C และเติมมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับ 50% มีค่า  $T_g$  สูงที่สุด เมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นส่งผลให้  $T_g$  มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ) (ค่า Pearson's correlation ตาราง ข-3 มีค่าเท่ากับ 0.850) เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่สูงขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นของตัวอย่างน้ำผึ้งมีค่าลดลง ส่งผลให้  $T_g$  มีค่าสูงขึ้น มอลโทเด็กซ์ทรินที่ใช้เป็นสารลดการเกาะติดของน้ำผึ้ง เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีค่า  $T_g$  สูง ส่งผลให้  $T_g$  ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นด้วย (Kurozawa *et al.*, 2009) อย่างไรก็ตามการใช้ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับที่สูงขึ้นส่งผลให้  $T_g$  มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )



**รูปที่ 4.39** อุณหภูมิ glass transition ของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลที่ต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ))

**4.5 การเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในสภาวะการผลิตที่เหมาะสม**

คัดเลือกตัวอย่างน้ำผึ้งที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกผลึกและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวจากสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุดจากการอบแห้งแบบสุญญากาศและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งได้ 4 ตัวอย่างดังนี้

1. น้ำผึ้งที่เตรียมได้จากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่มีการเติมมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับ 50% ผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิ 45°C
2. น้ำผึ้งที่เตรียมได้จากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่มีการเติมมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับ 50% ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง
3. น้ำผึ้งที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวที่มีการเติมมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับ 50% ผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิ 80°C
4. น้ำผึ้งที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวที่มีการเติมมอลโทเด็กซ์ทรินในระดับ 40% ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

จากตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจากสภาวะการผลิตเหมาะสมที่สุด พบว่าตัวอย่างน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศมีสมบัติที่ดีกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยพิจารณาจากปริมาณความชื้น เท่ากับ 4.40%  $a_w$  เท่ากับ 0.210 ความสามารถในการไหลแสดงในรูปของค่ามูกองมีค่าเท่ากับ 25.17 องศา ความหนาแน่นรวมมีค่าเท่ากับ 0.681 g/ml ความหนาแน่นอนุภาคมีค่าเท่ากับ 1.71 g/ml อุณหภูมิหลอมเหลวเท่ากับ 78.00°C ส่วนความสามารถในการละลายมีค่าไม่แตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) ค่า  $T_g$  ของน้ำผึ้งที่ได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันผลิตภัณฑ์ผ่านการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่า  $T_g$  สูงกว่าน้ำผึ้งที่ได้จากการอบแห้งแบบสุญญากาศเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

จากตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจากสภาวะการผลิตเหมาะสมที่สุด พบว่าตัวอย่างน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศมีสมบัติที่ดีกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยพิจารณาจากปริมาณความชื้น เท่ากับ 0.62%  $a_w$  เท่ากับ 0.174 ความสามารถในการไหลแสดงในรูปของค่ามูกองมีค่าเท่ากับ 27.33 องศา ความสามารถในการละลายเท่ากับ 99.60% ความหนาแน่นรวมเท่ากับ 0.7652 g/ml ความหนาแน่นอนุภาคมีค่าเท่ากับ 1.81 g/ml

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.2 และ 4.3 แสดงให้เห็นว่าน้ำผึ้งที่ได้จากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวที่ผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศมีสมบัติทั้งทางเคมีและกายภาพดีกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เนื่องจากตัวอย่างที่เตรียมได้จากการอบแห้งแบบสุญญากาศมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ส่งผลให้ค่า  $a_w$  ของตัวอย่างมีค่าต่ำ และ  $T_g$  มีค่าสูง จากเทคนิคการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้โครงสร้างของตัวอย่างมีลักษณะเป็นรูพรุน (Fellows, 2000) ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นรวมของตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าต่ำ (Koc *et al.*, 2008) และตัวอย่างสามารถดูดซับความชื้นจากภายนอกได้ง่าย ทำให้ค่ามูกองของตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าที่สูงมาก เกิดการเกาะกันระหว่างอนุภาคผง แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการไหลอย่างจำกัด (Geldart *et al.*, 2006) ของตัวอย่าง ส่วนความหนาแน่นอนุภาคของตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศกับทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าต่างกัน ไม่มากนัก (Tsami *et al.*, 1998)



**ตารางที่ 4.2** เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำผึ้งผงจากผลิตภัณฑ์ผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจากสถานะการผลิดที่เหมาะสมที่สุด

วิธีการทำแห้ง	ปริมาณความชื้น	$a_w$	มูมกอง	ความสามารถในการละลาย <sup>ms</sup>	bulk density	particle density	$T_g$	$T_m$
ตู้อบสุญญากาศ	4.40±0.13 <sup>a</sup>	0.210±0.00 <sup>a</sup>	25.17±1.94 <sup>a</sup>	98.92±0.58	0.681±0.02 <sup>a</sup>	1.71±0.08 <sup>a</sup>	55.17±0.27 <sup>b</sup>	78.00±0.26 <sup>a</sup>
แช่เยือกแข็ง	4.85±0.22 <sup>b</sup>	0.254±0.02 <sup>b</sup>	37.00±1.79 <sup>b</sup>	98.90±0.41	0.469±0.02 <sup>b</sup>	1.65±0.04 <sup>b</sup>	56.06±0.41 <sup>a</sup>	74.60±0.70 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลในแนวตั้งต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.3** เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจากสถานะการผลิดที่เหมาะสมที่สุด

วิธีการทำแห้ง	ปริมาณความชื้น	$a_w$	มูมกอง	ความสามารถในการละลาย	bulk density	particle density	$T_g$
ตู้อบสุญญากาศ	0.62±0.04 <sup>a</sup>	0.174±0.01 <sup>a</sup>	27.33±0.82 <sup>a</sup>	99.60±0.18 <sup>a</sup>	0.765±0.03 <sup>a</sup>	1.81±0.03 <sup>a</sup>	56.35±0.13 <sup>b</sup>
แช่เยือกแข็ง	2.60±0.10 <sup>b</sup>	0.221±0.00 <sup>b</sup>	47.00±1.26 <sup>b</sup>	98.15±1.40 <sup>b</sup>	0.447±0.01 <sup>b</sup>	1.62±0.11 <sup>b</sup>	56.50±0.06 <sup>a</sup>

หมายเหตุ ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลในแนวตั้งต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองและผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศจากสภาวะการผลิตเหมาะสมที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีระดับที่ไม่เท่ากัน น้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C เพราะหากทำการอบแห้งผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่อุณหภูมิสูงกว่า 45°C จะทำให้ผลึกน้ำผึ้งเกิดการละลายได้ ส่วนน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C จึงส่งผลให้สมบัติของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองมีสมบัติที่ดีกว่าน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยพิจารณาจากปริมาณความชื้น เท่ากับ 0.62%  $a_w$  เท่ากับ 0.174 ความหนาแน่นรวมมีค่าเท่ากับ 0.7652 g/ml และ  $T_g$  เท่ากับ 56.35°C ความสามารถในการไหลแสดงในรูปของมุมกึ่งและความสามารถในการละลายมีค่าไม่แตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) อุณหภูมิหลอมเหลวจะพบในน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันเท่านั้น เนื่องจากน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันเป็นลักษณะผงที่เกิดการผสมกันระหว่างผงที่มีโครงสร้างอสัณฐาน (amorphous) กับ ผลึก (crystalline) (Bhandari and Hartel, 2005) เมื่อนำน้ำผึ้งที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกผลึกมาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC กราฟที่ได้มีทั้งจุดที่แสดงถึง  $T_g$  และอุณหภูมิหลอมเหลว ส่วนน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองจะพบแค่จุดที่แสดงถึง  $T_g$  เท่านั้น แสดงว่าผงที่ได้มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน (amorphous) เพียงอย่างเดียว

จากตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองและผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจากสภาวะการผลิตเหมาะสมที่สุด พบว่าตัวอย่างน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองมีสมบัติที่ดีกว่าน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ( $P \leq 0.05$ ) เนื่องจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองมีลักษณะเป็นของแข็ง โครงสร้างมีการเกาะตัวกันอย่างหนาแน่น อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ใช้ในการระเหิดน้ำแข็งให้กลายเป็นไอน้ำในสภาวะสุญญากาศมีประสิทธิภาพลดลง (วิไล, 2546) น้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่า ซึ่งปริมาณความชื้นเท่ากับ 2.60%  $a_w$  เท่ากับ 0.221 ส่งผลให้  $T_g$  ของน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองมีค่าสูงกว่าน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันมีค่าเท่ากับ 56.50°C ส่วนความสามารถในการละลาย ความหนาแน่นรวม และความหนาแน่นอนุภาคมีค่าไม่แตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 จึงสามารถสรุปได้ว่า วัตถุประสงค์ที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและการอบแห้งแบบสุญญากาศคือ น้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลือง เนื่องจากน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองมีสมบัติทางกายภาพและเคมีดีกว่าน้ำผึ้งจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวัน

**ตารางที่ 4.4** เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันและผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสูญญากาศ จากสถานะการผลิตที่เหมาะสมที่สุด

ลักษณะน้ำผึ้ง	ปริมาณความชื้น	$a_w$	มูมกอน <sup>ns</sup>	ความสามารถในการละลาย <sup>ns</sup>	bulk density	particle density	$T_g$	$T_m$
ผลึก	4.40±0.13	0.210±0.00	25.17±1.94 <sup>a</sup>	98.92±0.58	0.681±0.02 <sup>b</sup>	1.71±0.08 <sup>b</sup>	55.17±0.27 <sup>b</sup>	78.00±0.26
เหลว	0.62±0.04 <sup>a</sup>	0.174±0.01 <sup>a</sup>	27.33±0.82 <sup>b</sup>	99.60±0.18	0.765±0.03 <sup>a</sup>	1.81±0.03 <sup>a</sup>	56.35±0.13 <sup>a</sup>	-

หมายเหตุ ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลในแนวตั้งต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.5** เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวและผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จากสถานะการผลิตที่เหมาะสมที่สุด

ลักษณะน้ำผึ้ง	ปริมาณความชื้น	$a_w$	มูมกอน	ความสามารถในการละลาย <sup>ns</sup>	bulk density	particle density <sup>ns</sup>	$T_g$	$T_m$
ผลึก	4.85±0.22 <sup>b</sup>	0.254±0.02 <sup>b</sup>	37.00±1.79 <sup>a</sup>	98.90±0.41	0.469±0.02 <sup>a</sup>	1.65±0.04	56.06±0.41 <sup>b</sup>	74.60±0.70 <sup>b</sup>
เหลว	2.60±0.10 <sup>a</sup>	0.221±0.00 <sup>a</sup>	47.00±1.26 <sup>b</sup>	98.15±1.40	0.447±0.01 <sup>b</sup>	1.62±0.11	56.50±0.06 <sup>a</sup>	-

หมายเหตุ ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าข้อมูลในแนวตั้งต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

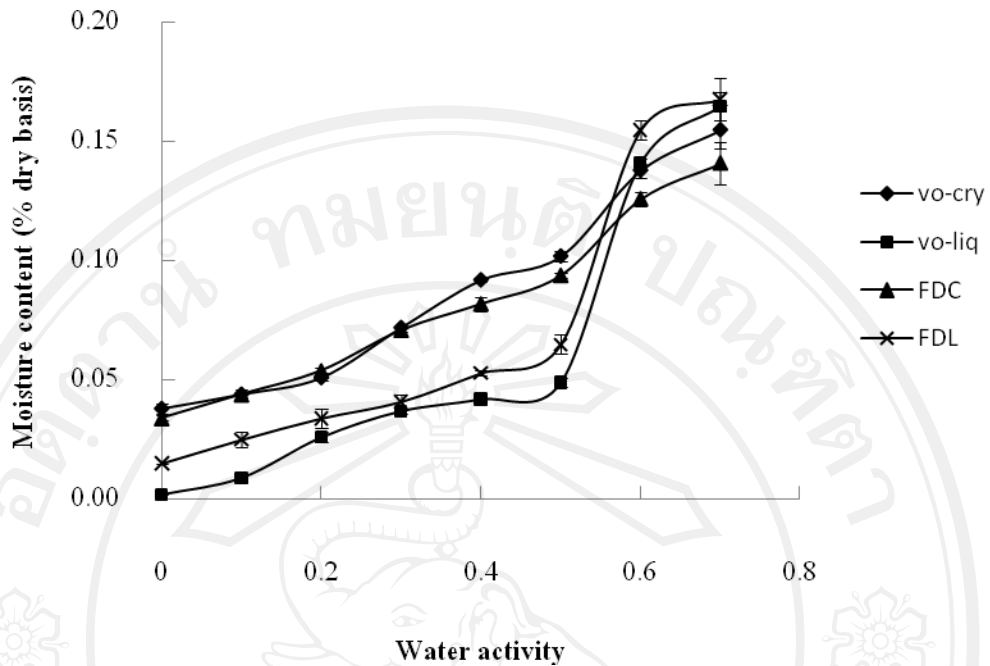
ดังนั้นสูตรที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันคือ การผลิตน้ำผึ้ง  
 ผงที่เตรียมจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ระดับมอลโทเด็กซ์ทริน  
 50%

#### 4.6 การวิเคราะห์ Sorption Isotherm

คัดเลือกตัวอย่างน้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวจาก  
 สถานะการผลิตที่เหมาะสมที่สุดจากการอบแห้งแบบสุญญากาศและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เพื่อ  
 ศึกษา sorption isotherm ด้วยวิธี gravimetric method โดยตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ sorption  
 isotherm มีทั้งหมด 4 ตัวอย่างคือ

1. น้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิ  
 45°C ระดับมอลโทเด็กซ์ทริน 50% (vo-cry)
2. น้ำผึ้งจากผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระดับมอลโทเด็กซ์  
 ทริน 50% (FDC)
3. น้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิ  
 80°C ระดับมอลโทเด็กซ์ทริน 50% (vo-liq)
4. น้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระดับมอลโทเด็กซ์  
 ทริน 40% (FDL)

โดยเก็บรักษาตัวอย่างน้ำผึ้งระดับ  $a_w$  เท่ากับ 0.0-0.7 ที่อุณหภูมิห้องจนตัวอย่างเข้าสู่  
 สถานะสมดุล (Bell and Labuza, 2000) จากนั้นนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น  
 (% dry basis) และ  $a_w$  ได้ sorption isotherm ของตัวอย่างน้ำผึ้งแบบต่างๆ ดังรูปที่ 4.40



**รูปที่ 4.40** ลักษณะ sorption isotherm ของน้ำผึ้งผงที่เตรียมได้จากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองและน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกลูกโดยเทคนิคการอบแห้งแบบสุญญากาศและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (vo-cry คือน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิ 45°C ระดับมอลโทเด็คซ์ทริน 50%, FDC คือน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระดับมอลโทเด็คซ์ทริน 50%, vo-liq คือน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิ 80°C ระดับมอลโทเด็คซ์ทริน 50%, FDL คือน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลืองผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระดับมอลโทเด็คซ์ทริน 40%)

Sorption isotherm ใช้ทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นและการกำหนดสถานะการอบแห้งคัดเลือกรบรจุภัณฑ์ ทำนายอายุระหว่างการเก็บรักษาอาหารแห้ง (Stencl, 2004) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างเนื้อสัมผัสที่ดี เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาเคมีและให้ปลอดภัยจากการเจริญของจุลินทรีย์ (นักสิทธิ์, 2546) การเกาะตัวกันของอาหารเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพจากกลาส (amorphous glass) ไปเป็นของเหลวหนืด (amorphous rubber) ปริมาณความชื้นหรือ  $a_w$  มีผลต่อการเกาะติดกันของอนุภาค โดยทั่วไปอาหารที่มีน้ำตาลปริมาณสูง อัตราการเปลี่ยนแปลงเฟสระหว่างการเก็บรักษาจะเห็นได้ชัดเจนที่อุณหภูมิห้อง ถ้าผลิตภัณฑ์ได้รับความชื้น โดยมี  $a_w$  มากกว่า 0.4 การเชื่อมโยงระหว่างอนุภาคจะเกิดขึ้นเป็นผลทำให้เกิดการเกาะตัวกันของอนุภาค ดังนั้นเพื่อป้องกัน



ปัญหาการเกาะตัวกันจึงต้องมีการศึกษา sorption isotherm ของส่วนผสมอาหาร (Bell and Labuza, 2000) โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษา sorption isotherm น้ำผึ้งผงที่ระดับอุณหภูมิห้องเพื่อศึกษาถึงความคงตัวของน้ำผึ้งผง

จากรูปที่ 4.40 แสดงลักษณะ sorption isotherm ของตัวอย่างน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันและน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่า ลักษณะ sorption isotherm ของน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีลักษณะที่คล้ายกัน เห็นได้ว่าช่วง  $a_w$  เท่ากับ 0.0-0.3 เส้นกราฟมีลักษณะซ้อนทับกัน และเมื่อระดับ  $a_w$  สูงขึ้นคือที่ระดับ  $a_w$  ในช่วง 0.4-0.7 ลักษณะของเส้นกราฟจะมีความชันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงให้เห็นถึงปริมาณความชื้นของตัวอย่างน้ำผึ้งผงจากผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันมีค่าเพิ่มขึ้นที่ระดับ  $a_w$  เพิ่มสูงขึ้น สำหรับลักษณะ sorption isotherm ของน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเส้นกราฟจะมีลักษณะคล้ายกัน เห็นได้ว่าช่วง  $a_w$  เท่ากับ 0.0-0.5 เส้นกราฟมีลักษณะแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน โดยตัวอย่างน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศจะมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และเมื่อระดับ  $a_w$  สูงขึ้นคือที่ระดับ  $a_w$  ในช่วง 0.6-0.7 ลักษณะของเส้นกราฟจะมีความชันเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นถึงปริมาณความชื้นของตัวอย่างน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันเหลวมีค่าเพิ่มขึ้นที่ระดับ  $a_w$  เพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นควรเก็บรักษาน้ำผึ้งผงที่ได้จากการเตรียมทั้ง 4 สภาวะที่ระดับ  $a_w$  ต่ำกว่า 0.5 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ahmed *et al.* (2005) ศึกษา sorption isotherm ของผลอินธผลาล์มที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม พบว่าผลอินธผลาล์มที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะดูดความชื้นอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม เนื่องมาจากรูพรุนของผลอินธผลาล์มที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยอัตราการดูดซึมความชื้นของผลอินธผลาล์มที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ที่ระดับ  $a_w$  ตั้งแต่ 0.55 ขึ้นไป เห็นได้ว่าปริมาณความชื้นของตัวอย่างน้ำผึ้งผงทั้ง 4 ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อระดับ  $a_w$  สูงขึ้น เนื่องจากโมเลกุลน้ำจะเกิดปฏิสัมพันธ์ (interaction) กับหมู่ไฮดรอกซิล บนผิวของอนุภาคน้ำผึ้งผงผ่านทางพันธะไฮโดรเจน ส่งผลทำให้โมเลกุลน้ำแทรกซึมเข้าไปและทำให้เกิดการเกาะติดกันระหว่างอนุภาคผง จึงทำให้ความชื้นของน้ำผึ้งผงเพิ่มขึ้นสูง (Bell and Labuza, 2000) จากสมบัติเฉพาะตัวของอาหารที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูงจะมีสามารถดูดซับความชื้น (hygroscopicity) ได้สูง เนื่องจากมี capillary adsorption ต่ำ ดังนั้นอาหารผงที่มีสมบัติเป็น hygroscopicity เมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จะทำให้ปริมาณความชื้นในอาหารเพิ่มขึ้นอย่าง

รวดเร็ว (นิธิยา, 2549) จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพจากกลาส (amorphous glass) ไปเป็นของเหลวหนืด (amorphous rubber) อัตราการเปลี่ยนแปลงเฟสระหว่างการศึกษาจะเห็นได้ชัดเจนที่อุณหภูมิห้อง (Bell and Labuza, 2000) จากรายงานการวิจัยของ Yan *et al.* (2007) ศึกษาลักษณะ sorption isotherm ของกล้วย พบว่าปริมาณความชื้นสมดุลของกล้วยจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับ  $a_w$  สูงขึ้นที่ระดับอุณหภูมิการทำ sorption isotherm เดียวกัน ซึ่งลักษณะ sorption isotherm ประเภทนี้ (รูปที่ 4.37) จะเกิดกับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง ซึ่งจัด sorption isotherm นี้เป็นประเภทที่ 3 คือ flory-Huggins isotherm เมื่อจำแนกตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นสมดุลของอาหาร ซึ่งใช้ในการอธิบายสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีของแข็งที่ละลายน้ำได้ เช่น เกลือหรือน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ (Rahman, 1995)