อิทธิพลของ อุณหภูมิ ความเร็ว และความสูงเบดนิ่งที่มีต่ออัตราการอบแห้งของเมล็ดทานตะวันโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

Effects of Temperature, Velocity, and Static Bed Height on Drying Rate of Sunflower Seeds using Fluidized Bed Technique

อารีย์ อัจฉริยวิริยะ, ศิวะ อัจฉริยวิริยะ*, ไพโรจน์ จันทร์แก้ว, กรรณิการ์ แดงหม่อง
รุ่งทิวา บุญมาโตน และ วัชรพล ไอยรัตน์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200
*ติดต่อ: siva@dome.eng.cmu.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 0-66-5394-4146, เบอร์โทรสาร: 0-66-5394-4145

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการอบแห้งเมล็ดทานตะวันด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดเพื่อศึกษาผลของเงื่อนไขที่มีต่ออัตราการอบแห้งจำเพาะ(SDR) รวมทั้งหาความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด(U_{mf}) โดยใช้เมล็ดทานตะวันพันธุ์ Chinese sunflower seed 5009 ที่ผ่านการแช่น้ำเกลือประมาณ 17 ชั่วโมง โดยความชื้นเริ่มต้น 90.65 ± 5.37% มาตรฐานแห้ง ทำการทดลองหาความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไดซ์เบดที่ความสูงเบดนิ่งของเมล็ดทานตะวัน 5 – 20 cm โดยวิธีความดันลดในเบด จากนั้นทำการทดลองในช่วงของอุณหภูมิลม 110 – 170°C ความเร็วลม $0.5U_{mf}$ – $2.5U_{mf}$ และความสูงเบดนิ่ง 5 – 20 cm อบแห้งจนเหลือความชื้นประมาณ 5 % มาตรฐานแห้ง พบว่าเมล็ดทานตะวันที่ระดับความสูงเบดนิ่ง 5, 10, 15 และ 20 cm ให้ค่า U_{mf} เท่ากับ 2 m/s, 2.1 m/s, 2.4 m/s และ 2.8 m/s ตามลำดับ โดยผลของเงื่อนไขการอบแห้งพบว่าอัตราการอบแห้งจำเพาะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลมร้อน แต่ถ้าความสูงเบดนิ่งเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการอบแห้งจำเพาะลดลง สำหรับความเร็วลมที่ทำให้อัตราการอบแห้งจำเพาะมากสุดที่ 1.5 U_{mf} หากใช้ความเร็วลมต่ำหรือสูงกว่านี้จะทำให้อัตราการอบแห้งจำเพาะลดลง

คำหลัก: เมล็ดทานตะวัน, เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด, อัตราการอบแห้งจำเพาะ, ความสูงเบดนิ่ง

Abstract

The influence of drying conditions on specific drying rate (SDR) of salted sunflower seeds drying by fluidized bed technique and minimum velocity of fluidized bed (U_{mf}) were investigated. The samples were Chinese sunflower seed 5009 which soaked in brine about 17 hour. They had initial moisture content 90.65 ± 5.37 %dry basis. The U_{mf} of static bed heights (5 to 20 cm) were determined by pressure drop method. Then, the drying experiments were carried out at drying air temperatures of 110 to 170 °C, the superficial air velocity of $0.5U_{mf}$ to $2.5U_{mf}$ and static bed height of 5 to 20 cm. Samples were dry until the final moisture content of about 5 %dry basis. It was found that the static bed of sunflower seeds of 5, 10, 15 and 20 cm depth gave the data of the U_{mf} 2, 2.1, 2.4 and 2.8 m/s, respectively. The results of drying condition, it was found that SDR increased with increasing the drying air temperature, but SDR decreased with increasing static bed height. For air velocity, the $1.5U_{mf}$ gave the maximum SDR. The SDR decreased when air velocity was used lower or higher than $1.5U_{mf}$.

Keywords: Sunflower seed, Fluidized Bed Techniques, Specific Drying Rate, Static bed height

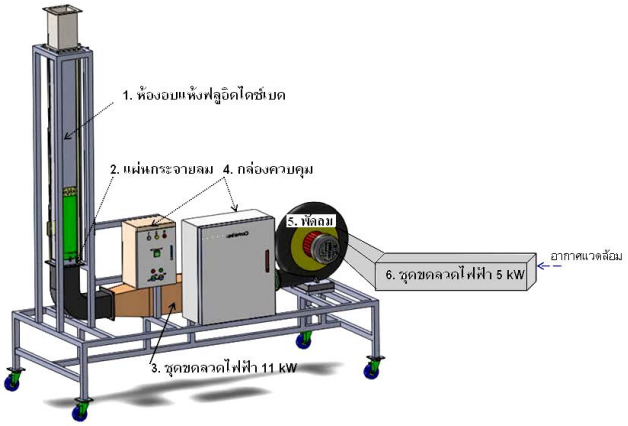
1. บทนำ

ทานตะวัน หรือชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ Helianthus Annus L ในประเทศไทยมีแหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ จังหวัดลพบุรี เพชรบุรี และสระบุรี เมล็ดทานตะวัน แบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ คือ เมล็ดใช้สกัดน้ำมัน เมล็ดใช้รับประทาน และเมล็ดใช้เลี้ยงนก เมล็ดทานตะวันถือเป็นธัญพืชที่นับว่าเป็นที่นิยมในการนำมาเป็นส่วนประกอบในการทำขนมพวกคุกกี้หรือนำมาอบเป็นขนมขบเคี้ยวโดยตรงโดยเฉพาะเมล็ดทานตะวันคั่วเกลือ ซึ่งถือเป็นของทานเล่นของคนทุกวัย [1] สามารถทำได้โดยนำเมล็ดทานตะวันที่ไม่ได้กะเทาะเปลือกไปแช่ในน้ำเกลือเป็นเวลา 1 คืนจากนั้นนำเมล็ดไปผึ่งให้แห้ง แล้วนำไปคั่วในกระทะร้อนที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 30 นาที [2] ฟลูอิดไดซ์เบดคือ การทำให้เมล็ดของแข็งมีพฤติกรรมคล้ายกับของไหล [3] ปัจจุบันมีนักวิจัยหลายท่านนำเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด มาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งเมล็ดพืชหลายชนิดเช่น ข้าว [4], พริกไทย [5], พริก [6] เป็นต้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดมาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งเมล็ดทานตะวันชนิดใช้รับประทาน เพื่อหาความเป็นไปได้ในการเปลี่ยนจากการคั่วในกระทะร้อนมาใช้เทคนิคการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด แต่ทั้งนี้ยังคงขาดข้อมูลที่เป็นเงื่อนไขในการอบแห้งที่ทำให้อัตราการอบแห้งสูงสุด (เช่น อุณหภูมิ ความเร็ว และความสูงของเบดนิ่ง) ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาต่อไปนี้

2. วัสดุและวิธีการ

2.1 อุปกรณ์ทดลอง

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดสำหรับห้องปฏิบัติการดังรูปที่ 1 มีรายละเอียดดังนี้ 1) ห้องอบแห้งมีพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 15 cm x 15 cm และสูง 150 cm 2) ตะแกรงด้านล่างของห้องอบ (แผ่นกระจายลม) ขนาดรูเจาะ 4.5 mm คิดเป็นพื้นที่เปิด 33.31% [7] 3) ชุดขดลวดไฟฟ้าขนาด 11 kW พร้อมด้วยตัวควบคุมอุณหภูมิแบบ PID สามารถเพิ่มอุณหภูมิลมสูงสุด170°C 4) กล่องควบคุมระบบการทำงาน 5) พัดลมแบบโค้งหลังขับด้วยมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าควบคุมความเร็วรอบด้วยอินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วลมในห้องอบแห้งได้สูงสุด 8 m/s และ 6) ชุดขอลวดไฟฟ้า 5 kWพร้อมด้วยตัวควบคุมอุณหภูมิแบบ PID ใช้เพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าพัดลมกรณีใช้อุณหภูมิและความเร็วลมสูง



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดสำหรับห้องปฏิบัติการ

ระบบการทำงานเริ่มจากอากาศแวดล้อมถูกดูดเข้าพัดลมให้ไหลไปตามท่อผ่านขดลวดไฟฟ้า 11 kW แล้วไหลเข้าผ่านตะแกรงด้านล่างของห้องอบแห้ง หลังจากผ่านชั้นวัสดุแล้วอากาศจะถูกปล่อยออกที่ด้านบนสุดของท่อ (ยกเว้นกรณีสภาวะใช้อุณหภูมิ 150 °C ที่ความเร็ว2.5U_{mf}, สภาวะ 170 °Cที่ความเร็ว1.5U_{mf} และ170 °Cที่ความเร็ว1.23U_{mf}กับความสูงเบดนิ่ง 10 cm อากาศแวดล้อมจะถูกเพิ่มอุณหภูมิ 45-60 °C โดยผ่านขดลวด 5 kW ก่อน)

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

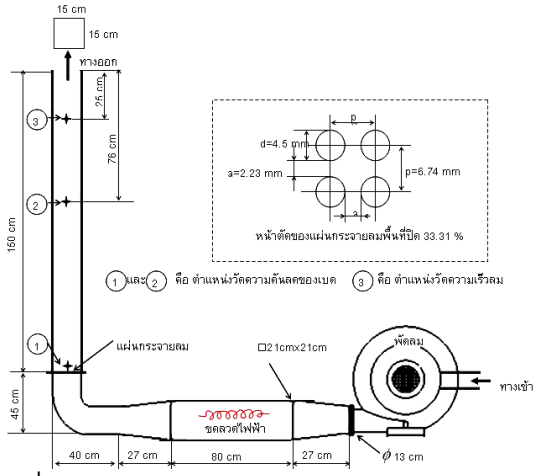
ตัวอย่างที่ใช้เป็นเมล็ดทานตะวันชนิดใช้รับประทานพันธุ์ Chinese sunflower seed 5009 (ซื้อมาจากตลาดแม่สาย จังหวัดเชียงราย) มีความชื้น 9.81 ± 0.14%มาตรฐานแห้ง จากการสุ่มวัดขนาดของเมล็ดทานตะวันจำนวน 50 เมล็ด พบว่ามีความยาว 18.2 ± 1.3 mm ความกว้าง 10.1 ± 1.3 mm และความหนา 10.1 ± 1.3 mm กระบวนการแช่น้ำเกลือมีสัดส่วนโดยปริมาตรระหว่างเมล็ดทานตะวัน : น้ำ : เกลือเท่ากับ16 ลิตร: 20 ลิตร: 1.66 ลิตร แช่เป็นเวลา

17 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเมล็ดทานตะวันขึ้นวางบนตะแกรงเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตัวอย่างจะมีความชื้น 90.65 ±5.37% มาตรฐานแห้ง และความหนาแน่นปรากฏ 380.08±43.2 kg/m^3 แล้วจึงเก็บไว้ในถุงพลาสติกปิดให้มิดชิดแล้วเก็บไว้ในตู้เย็นก่อนเพื่อรอนำไปทดสอบ

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 หาความเร็วลมต่ำสุดของสภาวะฟลูอิดไดเซชั่น (Minimum velocity of fluidized bed, U_{mf})

การหาค่า U_{mf} ใช้วิธีความดันลด เริ่มจากนำตัวอย่างที่ความชื้นเริ่มต้นมาใส่ในห้องอบแห้งมีความสูงเบดนิ่งต่างๆ(5, 10, 15 และ 20 cm) แล้วเป่าลม (อุณหภูมิปกติ)ให้ไหลในห้องอบแห้งจากล่างผ่านเบดตัวอย่างแล้วปล่อยลมออกข้างบน โดยขนาดความเร็วลมจะถูกปรับให้ค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ พร้อมทั้งมีการบันทึกค่าผลต่างของความดันระหว่างความสูงเบดของตัวอย่างด้วยมาโนมิเตอร์แบบเอียงยี่ห้อ KIMO ที่สามารถวัดได้ 0-100 mm (red oil) และอ่านค่าความเร็วลมจากตัววัดความเร็วลมรุ่น DA-40 ซึ่งตำแหน่งจุดวัดตามรูปที่ 2 ความดันที่วัดได้จะค่อยเพิ่มขึ้น แล้วความดันคงที่ชั่วขณะหนึ่ง หลังจากนั้นจะลดลง ซึ่งความดันเริ่มลดลงจะหยุดการทดลอง แต่ละการทดลองทำ 3 ซ้ำ หลังจากนั้นวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับค่าความดันลดแล้วหาค่า U_{mf} ที่แต่ละความสูงเบดนิ่ง



รูปที่ 2 ตำแหน่งจุดวัดความดันลดของเบดและความเร็วลมสำหรับหา U_{mf}

2.3.2 หาอัตราการอบแห้ง

ทำการทดลองอบแห้งตัวอย่างแบบทำลาย โดยเปลี่ยนตัวอย่างใหม่ทุกครั้งสำหรับการทดสอบในช่วงเวลาถัดไปของแต่ละเงื่อนไขการอบแห้ง ด้วยเครื่องอบแห้งฯดังรูปที่ 1 ภายใต้เงื่อนไขต่อไปนี้

ก) อุณหภูมิลม 150 °C และความสูงเบดนิ่ง 5 cm โดยแปรค่าความเร็วลม (ที่ 0.5 U_{mf}, U_{mf}, 1.5 U_{mf}, 2 U_{mf} และ2.5 U_{mf})

ข) อุณหภูมิลมร้อน 150 °C และความเร็วลม 1.5 U_{mf} โดยแปรค่าความสูงเบดนิ่ง (5, 10, 15 และ 20 cm)

ค) ความสูงเบดนิ่ง 5 cm และความเร็วลม 1.5 U_{mf} โดยแปรค่าอุณหภูมิลม (110, 130, 150 และ 170 °C)

การทดลองเริ่มจากเปิดเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดให้ทำงานตัวเปล่าเป็นเวลา 40 นาที เพื่อให้ปรับสภาวะอากาศในเครื่องให้เป็นไปตามเงื่อนไข ก่อนจะเทตัวอย่างใส่ตะแกรงในห้องอบแห้งทางด้านบนสุดของห้องอบแห้ง สำหรับการเก็บข้อมูลจากเงื่อนไขการอบแห้ง ทำการบันทึกน้ำหนักตัวอย่างหลังอบเป็นเวลา 2 , 4, 6, 8,10 นาทีและใช้ช่วงเวลามากกว่า 2 นาทีถ้าความชื้นเข้าใกล้ 5%มาตรฐานแห้ง (ยกเว้นที่อุณหภูมิ 170 °C ใช้ช่วงเวลาบันทึกน้ำหนักเพิ่มขึ้นทีละ 1 นาที เนื่องจากใช้เวลาอบสั้นมาก) ในแต่ละช่วงการอบแห้งต้องหยุดเครื่องเพื่อนำตัวอย่างออกมาชั่งภายนอกห้องอบแห้ง เนื่องจากเครื่องอบแห้งไม่มีระบบชั่งน้ำหนักตัวอย่างในขณะอบแห้ง เครื่องชั่งมีความละเอียด ±0.1 g สำหรับการอบแห้งในช่วงเวลาถัดไปต้องเปลี่ยนตัวอย่างใหม่ จากนั้นทำการอบแห้งจนตัวอย่างเหลือความชื้นต่ำกว่า 5.2 %มาตรฐานแห้งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเมล็ดทานตะวันอบ [8] แต่ละเงื่อนไขทำการทดสอบ 3ซ้ำ สำหรับการหาความชื้นของตัวอย่างให้นำตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 10-13 g เข้าตู้อบแห้งลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงเพื่อหามวลแห้งจากนั้นก็นำข้อมูลไปคำนวณหาความชื้นมาตรฐานแห้ง ตามมาตรฐานของ ASAE [9]

จากข้อมูลการลดลงของความชื้นขณะอบแห้งจะถูกนำมาคำนวณหาค่า อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) และอัตราการอบแห้งจำเพาะ (Specific drying rate, SDR) โดยใช้สมการ (1) และ (2) ตามลำดับ การวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA and Duncan's test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถูกนำมาใช้สำหรับการพิจารณาผลของอุณหภูมิอากาศ ความเร็วอากาศ และความสูงเบดนิ่ง ที่มีต่ออัตราการอบแห้งจำเพาะของตัวอย่าง

$$MR = \frac{M_t}{M_{in}} \quad (1)$$

$$SDR = \frac{m_w}{DT.m_{dp}} \quad (2)$$

เมื่อ

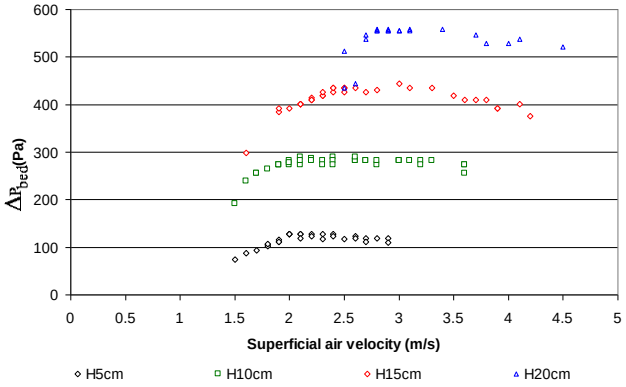
M_{in} , M_t คือ ความชื้นตัวอย่างเริ่มต้นและความชื้นขณะเวลาใดๆ, %มาตรฐานแห้ง

m_w , m_{dp} คือ มวลของน้ำที่ระเหยจากตัวอย่าง และมวลแห้งของตัวอย่าง, kg

DT คือ เวลาอบแห้ง, min

3. ผลและวิจารณ์

ผลการวัดค่าความดันลดที่ความสูงเบดต่างๆ ถูกนำมาแสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 3 จะเห็นว่าลักษณะเส้นกราฟจะมี 3 ช่วงคือ ช่วงแรกที่ความเร็วยังมีค่าน้อยหรือตัวอย่างยังไม่เกิดสภาวะฟลูอิดไดเซชั่น ค่าความดันลดจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วลม จนถึงช่วงที่สองซึ่งเป็นสภาวะฟลูอิดไดเซชั่น ซึ่งค่าความดันลดจะมีค่าที่ค่อนข้างคงที่ในช่วงความเร็วหนึ่ง แต่หลังจากค่าความดันลดจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นซึ่งเริ่มเข้าสู่ช่วงที่ 3 คือ ฟลูอิดไดเซชั่นเริ่มเปลี่ยนเป็นช่วงขนถ่าย (Pneumatic transport) เนื่องจากเมล็ดทานตะวันไหลออกไปจากคอลัมน์พร้อมกับของไหล การหาค่า U_{mf} จะพิจารณาที่จุดเริ่มต้นของค่าความดันลดในช่วงคงที่ โดยพบว่าที่ความสูงเบดนิ่ง 5, 10, 15 และ 20 cm มีค่า U_{mf} เท่ากับ 2, 2.1, 2.4 และ 2.8 m/s ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องตามการศึกษาที่ผ่านมา [7,10]



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดกับความเร็วที่ความสูงเบดนิ่งต่างๆ

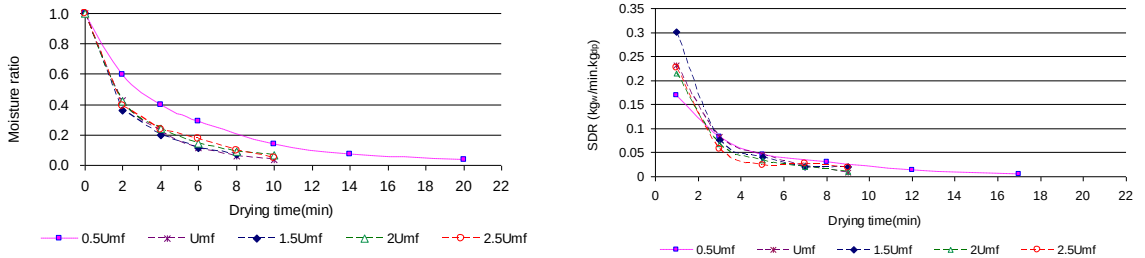
การลดลงของความชื้น(MR) ขณะอบแห้งและค่า SDR ในแต่ละช่วงเวลาถูกนำมาแสดงด้วยกราฟดังรูปที่ 4 ส่วนตารางที่ 1 แสดงเงื่อนไขการอบแห้งและค่า SDR ตลอดช่วงเวลาอบแห้งจากรูปกราฟจะเห็นว่าทั้งความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของ MR กับเวลา มีลักษณะเป็นเส้นโค้งลดลงอย่างต่อเนื่อง(Exponential curve) โดยจะปรากฏช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น รูป 4(ก) เป็นการอบแห้งที่ 150 $^{\circ}$C และความสูงเบดนิ่ง5 cm โดยแปรค่าความเร็วลม 0.5 U_{mf} - 2.5 U_{mf}พบว่าการอบแห้งที่ความเร็วลม 1.5U_{mf}ให้ค่า SDR_{ave} มากสุดเท่ากับ 0.091 $kg_w/min.kg_{dp}$, ที่ U_{mf}, 2.0 U_{mf} และ 2.5 U_{mf} จะให้ค่า SDR_{ave} ที่มีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยมีค่า SDR_{ave} เท่ากับ 0.078, 0.085 และ 0.071 $kg_w/min.kg_{dp}$ ตามลำดับ แต่ที่ 0.5U_{mf} ให้ค่า SDR_{ave} ที่ต่ำกว่ามาก (SDR_{ave} =0.040 $kg_w/min.kg_{dp}$) เนื่องจากยังไม่เกิดสภาพฟลูอิดไดซ์เบดในกระบวนการอบแห้ง การใช้ความเร็วลมที่เกิน1.5 U_{mf} ทำให้อัตราการอบแห้งยิ่งลดลงเนื่องจากตัวอย่างที่อยู่ในห้องอบแห้งจะมีความสูงเบดที่เพิ่มขึ้นแปรตามความเร็วลม ยิ่งความสูงเบดมากอุณหภูมิของลมและตัวอย่างจะลดลงเพราะมีความร้อนบางส่วนสูญเสียไปกับผนังห้องอบแห้ง ส่วนเวลาการอบแห้ง(DT) ในช่วงฟลูอิดไดซ์เบดจะใช้เวลาเท่ากันซึ่งเห็นได้ชัดจากผลของอัตราการอบแห้งของเมล็ดทานตะวันในช่วงความชื้นต่ำๆในเวลา 5 นาทีเป็นต้นไปไม่แตกต่างกัน

เพราะว่าการแพร่ของน้ำออกมาที่ผิวเมล็ดในช่วงนี้จะเป็นผลจากอิทธิพลของอุณหภูมิมากกว่าอิทธิพลของความเร็วลม

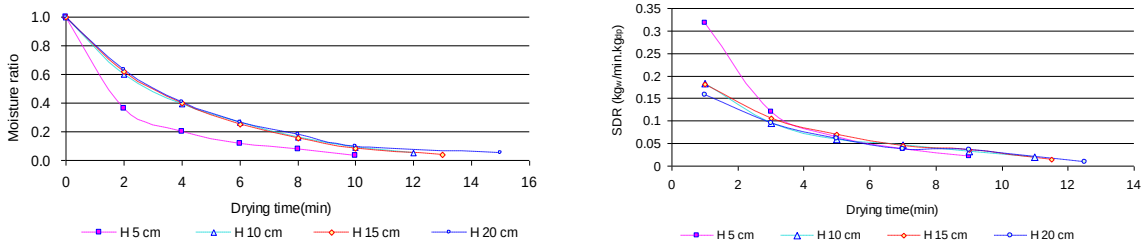
รูป4(ข) เป็นการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 150 $^{\circ}$C และความเร็วลม 1.5 U_{mf}จะเห็นว่าค่า SDR_{ave} จะลดลงตามเวลาอบแห้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 4 นาทีแรกของการอบแห้ง โดยที่ความสูงเบดนิ่ง 5, 10, 15 และ 20 cm มีค่า SDR_{ave} เท่ากับ0.091, 0.073, 0.071 และ 0.054 ตามลำดับ ที่ความสูงเบดนิ่ง 5 cm จะให้ค่า SDR_{ave} ที่มากกว่าความสูงเบดนิ่งที่สูงกว่าอย่างเด่นชัด แต่หลังจากนั้นลักษณะเส้นกราฟมีค่า SDR_{ave} ที่ใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากเบดนิ่งที่สูงขึ้นเมื่อใช้ความเร็วลมในช่วงสภาวะฟลูอิดไดเซชั่นเท่ากันความสูงของฟลูอิดไดซ์เบดจะสูงตามความสูงเบดนิ่งด้วยทำให้อัตราการอบแห้งยิ่งลดลงเพราะว่าตัวอย่างที่อยู่ในห้องอบจะมีความสูงเบดที่เพิ่มขึ้นแปรตามเบดนิ่งที่สูงขึ้น และเมื่อความสูงฟลูอิดไดซ์เบดเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิของลมและตัวอย่างจะลดลง เนื่องจากมีความร้อนบางส่วนสูญเสียไปกับผนังห้องอบแห้งส่งผลให้เวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้นตามความสูงเบดนิ่งที่เพิ่มขึ้น

รูป 4(ค) เป็นการอบแห้งที่ความสูงเบดนิ่ง 5 cm และความเร็วลม 1.5 U_{mf} จะเห็นว่าอัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น และใช้เวลาการอบแห้งลดลง เมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นเพราะว่าอุณหภูมิเมล็ดทานตะวันจะสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอากาศร้อน ทำให้ความดันไอน้ำในเมล็ดสูงขึ้นส่งผลให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น โดยที่110, 130,150 และ 170°C มีค่า SDR_{ave} เท่ากับ 0.0305, 0.0382, 0.091, และ0.125 $kg_w/min.kg_{dp}$ และ DT เท่ากับ 30, 24, 10 และ 7 นาที ตามลำดับ

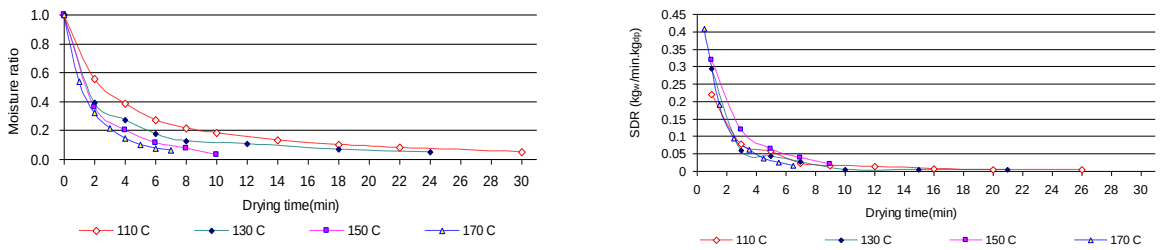
ทั้งนี้จากการวิเคราะห์สถิติ ANOVA and Duncan's test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลมร้อน ความสูงเบดนิ่ง และความเร็วลมที่เกิดฟลูอิดไดซ์เบด มีผลต่ออัตราการอบแห้งจำเพาะเฉลี่ยซึ่งเห็นได้จากความแตกต่างของอักษรมุมขวาบนในตารางที่ 1



(ก) T=150°C, H=5 cm



(ข) T=150°C, U_o/U_{mf}=1.5



(ค) H=5 cm , U_o/U_{mf} =1.5

รูปที่ 4 การเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นและอัตราการอบแห้งจำเพาะ(SDR) ขณะอบแห้ง

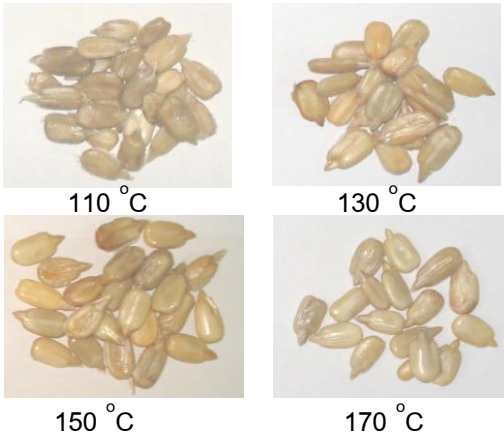
ตารางที่ 1 ข้อมูลการทดลองอบแห้ง

T(°C)	U_o/U_{mf}	H (cm)	M_{in}(%มาตรฐานแห้ง)	M_f(%มาตรฐานแห้ง)	DT(min)	SDR_{ave}(kg_w/min kg_{dp})
110	1.5	5	95.99±1.13	4.58±0.15^{a}	30	0.0305±0.0004^{a}
130	1.5	5	95.99±1.13	4.43±0.10^{a}	24	0.0382±0.00049^{a}
150	1.5	5	94.00±0.00	3.08±0.75^{a}	10	0.091±0.00073^{f}
170	1.5	5	87.29±7.47	4.88±0.09^{a}	7	0.125±0.02302^{g}
170	1.23	10	84.00±0.00	3.83±0.14^{a}	12	0.0668±0.0001^{c}
150	1.5	5	94.00±0.00	3.08±0.75^{a}	10	0.091±0.00073^{f}
150	1.5	10	92.13±0.00	4.51±0.12^{a}	12	0.073±0.00010^{cd}
150	1.5	15	95.89±0.00	3.46±1.60^{a}	13	0.071±0.00130^{c}
150	1.5	20	87.33±1.89	4.32±1.73^{a}	15	0.054±0.00083^{b}
150	0.5	5	83.73±0.00	2.98±2.05^{a}	20	0.0403±0.0010^{a}
150	1	5	81.00±4.24	3.02±2.17^{a}	10	0.078±0.0064^{cde}
150	1.5	5	94.00±0.00	3.08±0.75^{a}	10	0.091±0.00073^{f}
150	2	5	94.22±0.00	4.22±0.25^{a}	10	0.085±0.00034^{ef}
150	2.5	5	88.66±2.22	3.62±1.5^{a}	10	0.071±0.0010^{def}

$^{a-g}$ Means in the same column with different superscripts are significantly difference ($p<0.05$)

M_f means final moisture content

รูปที่ 5 ลักษณะเมล็ดเนื้อในของทานตะวันหลังการอบแห้งที่ความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 5 %มาตรฐานแห้งพบว่าที่อุณหภูมิลมร้อน 110 °C มีสีเทาปนเหลืองอ่อนเนื่องจากอุณหภูมิต่ำและจะมีเยื้อบางๆหุ้มเมล็ดเนื้อในอยู่ ส่วน 130 °C สีเมล็ดเนื้อในเริ่มออกเหลืองแดง และเหลืองแดงมากขึ้นที่ 150 °C แต่เยื้อบางๆหุ้มเมล็ดเนื้อในยังหุ้มติดอยู่ซึ่งสาเหตุจากอิทธิพลของอุณหภูมิและระยะเวลาอบแห้ง แต่ที่ 170 °C สีออกเหลืองอ่อนซึ่งสีเหลืองแดงจะน้อยกว่า 130 °C และ 150 °Cเนื่องจากเยื้อบางๆหุ้มเมล็ดเนื้อในหลุดติดกับเปลือกนอกของเมล็ดทานตะวัน



รูปที่ 5 ลักษณะสีเมล็ดเนื้อในของทานตะวันหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศอบแห้งต่างๆ

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดในห้องปฏิบัติสำหรับการเมล็ดทานตะวันแช่น้ำเกลือที่มีความชื้น 90.65±5.37 % มาตรฐานแห้ง โดยมีเงื่อนไขการอบในช่วงอุณหภูมิลมร้อน110 – 170 °C ความเร็วลม $0.5U_{mf}$ - $2.5U_{mf}$ และความสูงเบดนิ่ง 5 – 20 cm อบจนเหลือความชื้น 5 %มาตรฐานแห้ง พบว่าการหาค่า U_{mf} โดยใช้วิธีความดันลด ของตัวอย่างที่ความชื้นเริ่มต้น และที่ความสูงเบดนิ่ง 5, 10, 15 และ 20 cm มีค่า U_{mf} เท่ากับ 2, 2.1, 2.4 และ 2.8 m/s ตามลำดับ การอบแห้งทุกเงื่อนไขจะปรากฏช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น สำหรับอุณหภูมิลมร้อนและความสูงเบดนิ่งที่เพิ่มขึ้นมีผลอย่างมากต่ออัตราการอบแห้งจำเพาะโดยอัตราการอบแห้งจำเพาะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลมร้อน ในทางกลับกันอัตราการอบแห้งจำเพาะลดลงเมื่อความสูงเบดนิ่งเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในช่วงฟลูอิดไดซ์เบด U_{mf} - $2.5U_{mf}$ พบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราการอบแห้งจำเพาะเช่นเดียวกัน ซึ่งอัตราการอบแห้งจำเพาะมากสุดที่ 1.5 U_{mf} ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเมล็ดทานตะวันแช่เกลือควรใช้ความสูงเบดนิ่ง 5cm

ความเร็วลม 1.5U_{mf} และอุณหภูมิ 170 °C เนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดและให้อัตราการอบแห้งจำเพาะสูงสุด ส่วนคุณภาพด้านสีเมล็ดเนื้อในของทานตะวันมีสีเหลืองอ่อน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] National Sunflower Association (2013). *How to roast in shell sunflower seeds*, URL: http://www.sunflowernsa.com/health/recipes/recipe.asp?rid=53, access on 27/ 02/2013).

[2] Wikihow (2013). *How to roast sunflower seeds*, URL: http://www.wikihow.com/Roast-Sunflower-Seeds , access on 27/02/2013.

[3] Wen-Ching Yang. (2003). *Handbook of fluidization and fluid-particle system*, Siemens Westinghouse Power Corporation Pittsburgh, Pennsylvania, U.S.A.

[4] Taechapairoj, Ch., Prachayawarakorn, S. and Soponronnarit, S. (2006). Modelling of parboiled rice in superheated-steam fluidized bed, *Journal of Food Engineering*, vol. 76, pp. 411–419.

[5] Promvonge, P., Boonloi, A., Pimsarn, M. and Thianpong, Ch. (2011). Drying characteristics of peppercorns in a rectangular fluidized-bed with triangular wavy walls, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 38, pp 1239–1246.

[6] กิตติ สิทธิประภาพร และ กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย (2547). คุณลักษณะการอบแห้งพริกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18*, จังหวัด-ขอนแก่น

[7] Chunkaew, P., Achariyaviriya, S. and Achariyaviriya, A. (2012). Hydrodynamic behavior of a fluidized bed containing sun flower seed, paper presentsd in *the10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium*, Ubon ratchathani, Thailand.

[8] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2548). *มผช.739/2548 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เมล็ดทานตะวันอบ*, [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.sunflowernsa.com/health/recipes/recipe.asp?rID=53, เข้าดูเมื่อวันที่ 20/07/2554.

[9] ASAE standards (1999). *Moisture measurement -unground grain and seeds*, URL : http://140.112.94.11/~dsfon/graindrying/ASAE/511.pdf, access on 7/07/2012

[10] Sánchez-Delgado , S., Almendros-Ibáñez, J.A., García-Hernando, N. and Santana, D. (2011). On the minimum fluidization velocity in 2D fluidized beds. *Powder Technology*, vol. 207, pp. 145-153.