

# การศึกษาเพื่อหาลักษณะของทางออกกากที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันรำข้าวโดยใช้เครื่องสกัดน้ำมันแบบสกรูอัด

## A Study to Determine an Optimal Die Configuration for Rice Bran Oil Extraction Using a Screw Press Machine

เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์<sup>1\*</sup> และ เบญจพร ทุมโคตร<sup>1</sup>  
Chouw Inprasit<sup>\*</sup> and Benjaporn Tumkode<sup>1</sup>

### ABSTRACT

The objective of this research was to study and test die configuration of a screw press machine for oil extraction. The single straight screw press machine with five replaceable die plates was operated at 25 rpm for dry rice bran oil extraction. The effect of die plate configuration on rice bran feeding capacity, compression ratio, percentage of oil content in cake, percentage of oil yield, extraction efficiency, oil recovery and specific mechanical energy were studied. The best condition was chosen by considering the least percentage oil content in cake. The result showed that the optimum die plate configuration 4 holes, 1.5 mm hole diameter, 22 mm hole length and 0.023 mm<sup>3</sup> of die constant. The rice bran feeding capacity and compression ratio were  $72 \pm 0.10.29$  g/min and  $6.55 \pm 0.27$ . The oil content in cake and oil yield were  $11.01 \pm 0.70$  % and  $12.56 \pm 0.70$  %. The extraction efficiency and specific mechanical energy were  $53.74 \pm 2.98$  % and  $4.33 \pm 0.43$  kw-hr/l.

**Keywords:** Rice bran oil, Extraction, Screw press, Die

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและทดสอบลักษณะของทางออกกากที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันโดยใช้เครื่องสกัดน้ำมันแบบสกรูอัด ชนิด Straight screw shaft ที่ความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาที และลักษณะของทางออกกาก 5 แบบ โดยใช้รำข้าวอบแห้งเป็นวัตถุดิบในการทดสอบ ศึกษาลักษณะของทางออกกากที่มีผลต่ออัตราการบดน้ำมัน อัตราส่วนการบีบอัดน้ำมัน เปอร์เซนต์น้ำมันที่เหลืออยู่ในกาก เปอร์เซนต์น้ำมันที่สกัดได้ ประสิทธิภาพของการสกัด และพลังงานกลจำเพาะ เพื่อเลือกสภาวะที่ดีที่สุดในการสกัดน้ำมันโดยพิจารณาจากเปอร์เซนต์น้ำมันที่เหลืออยู่ในกากน้อยที่สุดจากผลการทดสอบเมื่อพิจารณาจากเปอร์เซนต์น้ำมันที่เหลืออยู่ในกากน้อยที่สุด พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดของเครื่องสกัดน้ำมันนี้คือลักษณะของทางออกกากที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู 1.5 มิลลิเมตร ความยาวรู 22 มิลลิเมตร จำนวน 4 รู มีค่าคงที่ของ Die เท่ากับ 0.023 ลูกบาศก์ มิลลิเมตร ซึ่งมีอัตราการบดน้ำมัน  $72 \pm 0.10.29$  กรัมต่อนาที อัตราส่วนการบีบอัดน้ำมันเป็น  $6.55 \pm 0.27$  มี

<sup>1\*</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Associate Professor, Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University Kamphaengsaen, Nakhon Prathom, 73140, Thailand.

<sup>\*</sup> Corresponding Author. Tel: 034-281-098, Fax: 034-281-098, E-mail: fengchi@ku.ac.th

เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลืออยู่ในกาก  $11.01 \pm 0.70$  เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดได้  $12.56 \pm 0.70$  เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพของการสกัด  $53.74 \pm 2.98$  เปอร์เซ็นต์ และพลังงานกลจำเพาะ  $4.33 \pm 0.43$  กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อ ลิตร

**คำสำคัญ:** น้ำมันรำข้าว การสกัด สกรูอัด รูปพิมพ์

### บทนำ

รำข้าวคือ ส่วนที่ได้จากการขัดสีข้าวกล้อง ให้เป็นข้าวสาร โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ รำหยาบ ซึ่งได้จากการขัดผิวเมล็ดข้าวกล้อง และรำละเอียด ได้จากการขัดขาวและขัดมัน ซึ่งแต่เดิมจะขายไปเป็นอาหารสัตว์เท่านั้น แต่ในปัจจุบันการแปร รูปผลิตภัณฑ์จากรำข้าวเริ่มพัฒนาขึ้น เช่นการนำรำข้าวไปใช้เป็นอาหารเสริมและส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เช่น อาหารเด็กอ่อน ในรำข้าวมี ปริมาณน้ำมันค่อนข้างสูงถึง  $17.9-25.4$  เปอร์เซ็นต์ (Villareal and Juliano, 1989) จึงได้มีการนำรำข้าว ไปสกัดเป็นน้ำมันรำข้าวเพื่อการบริโภคในเชิง พาณิชยกรรม อีกทั้งยังมีการสกัดสารอาหารในน้ำมันรำ ข้าวเพื่อเป็นอาหารเสริม เครื่องสำอาง เพราะน้ำมัน รำข้าวเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพดี ประกอบไปด้วยกรด ไขมันที่มีประโยชน์และจำเป็นต่อร่างกาย นอกจากนี้ กากรำข้าวที่เหลือจากการสกัดน้ำมันออกแล้วยัง สามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้

การสกัดน้ำมันมีอยู่หลายวิธี โดยวิธีการ หลักๆ ที่ใช้ในการสกัดน้ำมันแบ่งได้เป็น 2 วิธี ได้แก่ วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายซึ่งสามารถสกัดได้ ปริมาณน้ำมันที่สูง แต่มีค่าใช้จ่ายมากและอาจมี อันตรายเนื่องจากการใช้สารเคมี อีกทั้งวิธีการ ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน และอีกวิธีการหนึ่งคือ วิธีการสกัดเชิงกล เช่น การใช้เครื่องไฮดรอลิคและ สกรูอัด (Screw Press) ในการสกัดน้ำมัน เป็นการ ใช้แรงกดเมล็ดพืชน้ำมันให้เมล็ดแตกแล้วบีบน้ำมัน ออกมา ข้อดีของวิธีการนี้ คือน้ำมันที่ได้จากวิธีการ นี้สามารถนำน้ำมันมาใช้ได้เลย (ดารณี, 2554) ใช้ ต้นทุนการสกัด เครื่องจักร และเชื้อเพลิงต่ำ สามารถ ทำเป็นอุตสาหกรรมภายในครอบครัวได้ (อาชัยและ คณะ, 2546)

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการ ออกแบบเครื่องสกัดน้ำมันโดยใช้หลักการสกรูอัด

(Screw Press) ซึ่งมีรำข้าวเป็นวัตถุดิบ และเพื่อให้ เครื่องสกัดน้ำมันนี้สามารถทำงานได้อย่างมี ประสิทธิภาพจึงต้องศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการ สกัดน้ำมันรำข้าว ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อความเร็ว รอบของสกรูและความชื้นของวัตถุดิบลดลง จะมีผล ทำให้สามารถสกัดน้ำมันได้ปริมาณเพิ่มมากขึ้น (ศุภกิตต์และคณะ, 2553) ตลอดจนอุณหภูมิและ ความดันที่เกิดขึ้นในระหว่างการบีบอัดที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมัน (Beerens, 2007) โดยลักษณะของทางออกกากเป็นปัจจัยอย่างหนึ่ง ที่ทำให้อุณหภูมิและความดันในระหว่างการบีบอัด แตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้จึงทำการศึกษาลักษณะของ ทางออกกาก และเลือกสภาวะที่ดีที่สุดในการสกัด น้ำมันที่มีผลทำให้ได้เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลืออยู่ใน กากน้อยที่สุด

### อุปกรณ์และวิธีการ

#### 1. วัตถุดิบ

เลือกใช้รำข้าวหอมมะลิ ซึ่งได้มาจากโรงสี ข้าวเมืองบน เลขที่ 5/3 หมู่ที่ 8 ตำบลท่าน้ำอ้อย อำเภอพยุหะคีรี จังหวัดนครสวรรค์ ปีการผลิต 2557/58

#### 2. อุปกรณ์ในการทดลอง

ตู้อบลมร้อน (Binder redLINE FED 115, Germany) มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ  $1.25$  องศาเซลเซียส), เครื่องชั่งไฟฟ้า (Sartorius รุ่น AC 210S, Germany) มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ  $\pm 0.0001$  กรัม), เครื่องชั่งไฟฟ้า (Sartorius รุ่น BS A3202S - CW, Germany) มีค่าความคลาดเคลื่อน เท่ากับ  $\pm 0.01$  กรัม), เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Clamp Multimeter) (Chauvin Arnoux รุ่น F 09, France) มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ  $0.03$  เปอร์เซ็นต์ วัดแรงดันได้  $600\text{Vac/dc}$  วัดกระแสได้  $400\text{Iac/dc}$

### 3. วิธีการทำงานของเครื่อง

ออกแบบเครื่องสกัดน้ำมันแบบสกรูอัด ดังแสดงใน Figure 1 เมื่อใส่วัตถุดิบลงไปจนถึงใส่วัตถุดิบ (Hopper) วัตถุดิบจะถูกพาให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยสกรูที่หมุนอยู่ภายในห้องสกัดน้ำมัน (Vessel) จนกระทั่งถึงทางออกกาก (Die) และถูกปล่อยให้ออกผ่านรูเล็กๆ ที่หน้าทางออกกากในปริมาณที่จำกัด ทำให้รำข้าวที่ถูกดันมานั้นถูกบีบอัดตลอดระยะความยาวภายในสกรู ส่งผลให้น้ำมันไหลออกมาทางรูระบายน้ำมันที่มีอยู่ตลอดผนัง Vessel ส่วนกากจะออกที่ทางออกกากซึ่งอยู่บริเวณปลายของสกรู โดยเจาะเป็นรูตามแนวเส้นรอบวงขนาดต่างๆ กัน 5 แบบ เพื่อศึกษาลักษณะของทางออกกากที่มีผลต่อการสกัดน้ำมัน

### 4. การออกแบบส่วนประกอบของเครื่องสกัดน้ำมันแบบสกรูอัด

#### 4.1 การออกแบบสกรูอัด (Screw press)

ออกแบบสกรูอัดเป็นชนิด Straight screw shaft ซึ่งมีระยะพิทช์ ความลึกของร่องสกรู และเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาคงที่ตลอดความยาวของสกรู มีรายละเอียดดังแสดงใน Figure 2 ทำให้การเคลื่อนที่ของวัตถุดิบมีความต่อเนื่อง ความดันจะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามความยาวของสกรู เหมือนกับการบีบอัดแบบไฮดรอลิก (Sari, 2006) โดยใช้เกลียวชนิดฟันเลื่อย (Buttress thread) ซึ่งด้านหน้าของเกลียวจะตั้งฉากกับแกนสกรู เพื่อก่อให้เกิดแรงมากที่สุดในการขับวัตถุดิบไปด้านหน้า ส่วนด้านหลังของเกลียวลาดเอียงทำมุม  $30^{\circ}$  กับแกน สกรู เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับสันเกลียว

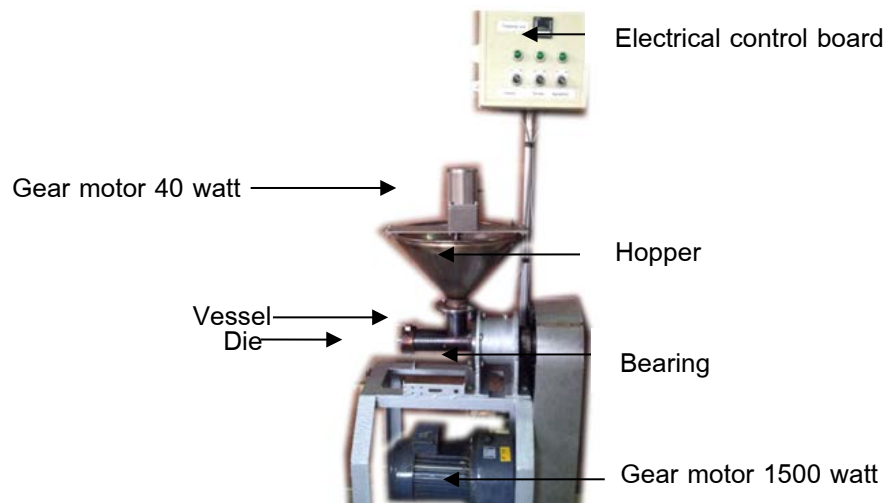
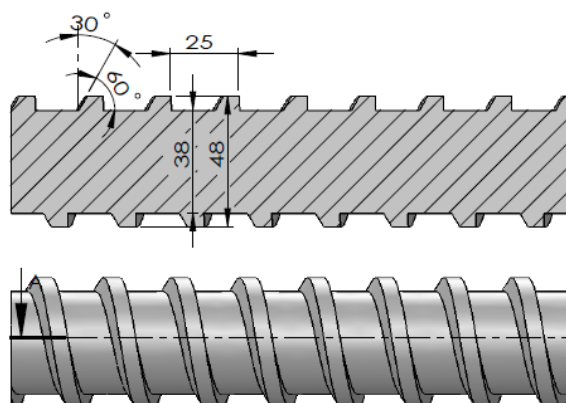


Figure 1 Components of the screw press machine for oil extraction

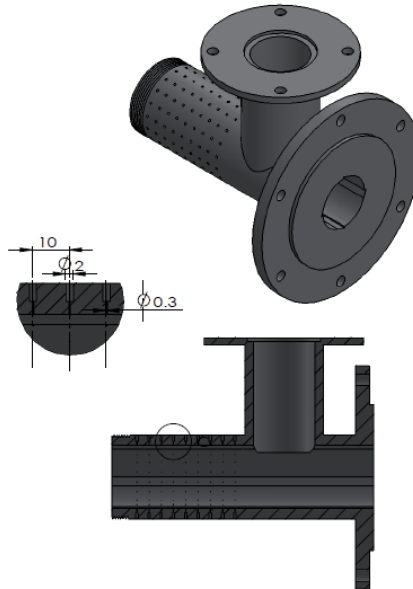


**Figure 2** Illustration of the straight screw shaft and buttress threads (Dimension in mm)

#### 4.2 การออกแบบขนาดรูระบายน้ำมันของห้องสกัดน้ำมัน (Vessel)

นำวัตถุดิบไปร่อนผ่านเครื่องคัดแยกขนาดโดยวิธี Sieve analysis ใช้การเขย่าแบบ Horizontal และ Circular with tap ตามวิธีการของ Rohit Badal (Badal, 2002) แบ่งขนาดอนุภาคของวัตถุดิบตามขนาดของตะแกรงร่อนออกเป็น 2 ส่วน คือ วัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงร่อนขนาด 25 เมช (0.71 มิลลิเมตร) และวัตถุดิบที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงร่อนขนาด 25 เมช พบว่าวัตถุดิบ (รำข้าว) ที่มีขนาด

ใหญ่กว่าตะแกรงร่อนขนาด 25 เมชนั้น ได้แก่ รำหยาบ, เศษเมล็ดข้าว, แกลบ และหิน ส่วนรำข้าวที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงร่อนขนาด 25 เมชนั้น จะลอดผ่านช่องตะแกรงตกไปค้างอยู่ที่ตะแกรงร่อนขนาด 50 เมช (0.3 มิลลิเมตร) ซึ่งจะทำให้ทราบว่าขนาดอนุภาคของรำข้าวมีขนาดใหญ่กว่า 0.3 มิลลิเมตร แต่เล็กกว่า 0.71 มิลลิเมตร ดังนั้นในการออกแบบจึงเลือกขนาดของรูระบายน้ำมัน 0.3 มิลลิเมตร และมีระยะห่างระหว่างรู 10 มิลลิเมตร ดังแสดงใน Figure 3

**Figure 3** Illustration of the vessel and oil hole (Dimension in mm)

#### 4.3 การออกแบบลักษณะของทางออกกาก (Characteristic of die)

ออกแบบเป็นรูปทรงกระบอก มีลักษณะเป็นฝาเกลียวเพื่อสวมเข้ากับปลายของห้องสกัดน้ำมันสามารถถอดออกได้เพื่อปรับเปลี่ยนขนาดให้เหมาะสมกับวัตถุดิบที่ต้องการสกัดน้ำมัน และทำ

ความสะอาดได้ง่าย พร้อมกันนี้กำหนดให้มีการคายกากในแนวรัศมีวงกลมของทางออกกาก โดยเจาะรูไว้ในตำแหน่งเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของรำข้าวซึ่งอยู่ในช่องว่างระหว่างสกรูและห้องสกัดน้ำมัน ทั้งนี้จะกำหนดให้แต่ละทางออกกาก มีความยาวรูและจำนวนรูแตกต่างกัน 5 แบบ ดังแสดงใน Figure



Figure 4 Die configuration

อย่างไรก็ดีในการกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูควรจะให้มีความใหญ่กว่า 0.71 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดอนุภาคของรำข้าวที่ใหญ่ที่สุด เพื่อป้องกันการอุดตันของรูทางออกกาก ในขณะที่เกี่ยวกับการกำหนดความยาวของรูและจำนวนรูนั้น จะสังเกตจากลักษณะของกากโดยดูจากการอัดเป็นแท่ง รวมถึงพิจารณาลักษณะการไหลของกากที่ต่อเนื่องไม่เกิดการอุดตัน และเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลืออยู่ในกาก เนื่องด้วยลักษณะของทางออกกากที่แตกต่างกันจะมีผลต่อการสกัดน้ำมัน

ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยค่าคงที่ของทางออกกาก (Die constant;  $k_d$ ) โดยอธิบายถึงความสัมพันธ์ของลักษณะทางออกกากที่มีผลต่อแรงเสียดทานและแรงดัน กล่าวคือเมื่อลักษณะของทางออกกากมีค่า  $k_d$  มาก จะมีแรงเสียดทานน้อย ส่งผลให้แรงดันที่เกิดใน Vessel น้อยด้วย จึงทำให้มีอัตราการไหลสูง ทั้งนี้สามารถหาค่าคงที่ของทางออกกาก (พรพรรณ, 2555) ได้จากสมการ

$$k_d = n \frac{\pi r^4}{8L} \quad (1)$$

เมื่อ  $n$  คือจำนวนรูทางออกกาก (รู),  $r$  คือรัศมีรูของทางออกกาก (มิลลิเมตร),  $L$  คือความยาวของรูทางออกกาก (มิลลิเมตร)

ดังนั้นเมื่อนำตัวแปรต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 4 มาคำนวณด้วยสมการที่ (1) จะได้  $k_d$  เป็น 0.023, 0.028, 0.034, 0.040 และ 0.045 ลูกบาศก์ มิลลิเมตรตามลำดับ และเนื่องด้วยความสามารถการบีบอัดขึ้นอยู่กับลักษณะของทางออกกาก (Libura *et al.*, 2005) ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษา ลักษณะของทางออกกากซึ่งมีค่า  $k_d$  แตกต่างกันไป เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานสำหรับการบีบอัดน้ำมันจากวัตถุดิบแต่ละประเภท และเพิ่มความสามารถในการบีบอัด ซึ่งจะทำให้เครื่องสกัดน้ำมันมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด โดยพิจารณาจากแรงอัดของสกรูและแรงดันในระหว่างกระบวนการบีบอัดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับระยะเวลาที่วัตถุดิบจะอยู่ในช่วงของการถูกบีบอัดนาน ด้วยเหตุนี้การออกแบบให้ลักษณะของทางออกกากมีค่า  $k_d$  น้อย จะมีผลให้วัตถุดิบมีความต้านทานการไหลมาก เกิดการสะสมอยู่

บริเวณทางออกนาน วัตถุดิบจะถูกบีบอัดไปเรื่อยๆ ระหว่างรอเคลื่อนที่ออกจากรูทางออกกาก ช่วงเวลานี้อนุภาคของวัตถุดิบจะถูกกระทำโดยแรงเค้นจากสกรูมากที่สุด เซลล์น้ำมันจะยิ่งแตกแยกตัวออกมาจากกากมากขึ้น เป็นเช่นนั้นจนกระทั่งเคลื่อนที่ออกจากรูทางออกกากไป

## 5. การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ รำข้าว เตรียมโดยนำรำข้าวไปร่อนด้วยเครื่องคัดแยกขนาด ใช้ตะแกรงร่อนขนาด 25 เมช (0.71 มิลลิเมตร) เพื่อกำจัดรำหยาบ, เศษเมล็ดข้าว, แกลบ และหินออกไปจากรำข้าว จากนั้นจึงนำรำข้าวที่ค้างบนตะแกรงร่อนขนาด 50 เมช (0.3 มิลลิเมตร) ไปอบด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ

115 องศาเซลเซียส ให้เหลือความชื้น 4-7 เปอร์เซ็นต์ และหาเปอร์เซ็นต์น้ำมันเริ่มต้นที่มีในรำข้าวจากเครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxtherm) (Gerhardt รุ่น S 306 AK, Germany) ตามวิธี AOAC (AOAC, 2000) โดยใช้ตัวอย่างรำข้าวจำนวน 6 ตัวอย่าง ทดลอง 2 ซ้ำ จะได้เปอร์เซ็นต์น้ำมันเริ่มต้นที่มีอยู่ในรำข้าวเฉลี่ยเท่ากับ  $23.36 \pm 0.07$  เปอร์เซ็นต์ จึงนำรำข้าวที่ได้มาเป็นวัตถุดิบใช้ทดสอบเครื่องจักร

## 6. การศึกษาอิทธิพลของลักษณะของทางออกกากที่มีผลต่อการสกัดน้ำมัน เพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในการสกัดน้ำมัน

$$RC = \frac{W_{ricebran}}{t_{ricebran}} \quad (2)$$

เมื่อ  $W_{ricebran}$  คือน้ำหนักของรำข้าวที่ป้อนเข้าสู่เครื่อง (กรัม)  
 $t_{ricebran}$  คือเวลาในการป้อนรำข้าว (นาที)

จากนั้นจึงหาอัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างปริมาตรเริ่มต้นของรำข้าวที่บริเวณป้อนวัตถุดิบต่อปริมาตรสุดท้ายของกากที่บริเวณทางออกกาก โดยนำตัวอย่างรำข้าว 3 ตัวอย่างที่ยังไม่ผ่านการบีบอัดไปบรรจุจนเต็มในภาชนะที่ทราบปริมาตร จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก จะคำนวณหาความหนาแน่นโดยเฉลี่ยของรำข้าวได้ สำหรับการหาปริมาตรของกากรำข้าว ทำโดยสูมตัวอย่างกากที่ได้ในแต่ละทางออกกาก ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอก ทำ

6.1 การศึกษาอิทธิพลของลักษณะของทางออกกากที่มีผลต่ออัตราการป้อนของรำข้าว (Rice bran feeding capacity; RC) และอัตราส่วนการบีบอัด (Compression ratio; CR) โดยพิจารณาความสามารถในการป้อนวัตถุดิบในช่วงระยะเวลาหนึ่ง (หน่วยเป็นกรัมต่อนาที) ซึ่งในการทดสอบเครื่องสกัดน้ำมันจะใช้ตัวอย่างรำข้าวครั้งละจำนวน 100 กรัม ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ จับเวลาในการทดสอบ เพื่อคำนวณหาอัตราการป้อนรำข้าวจากสมการ

การวัดด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ หาปริมาตรของกาก แล้วจึงนำกากนั้นไปชั่งน้ำหนัก คำนวณหาค่าความหนาแน่นของกาก จากนั้นจึงนำค่าความหนาแน่นที่ได้ทั้งหมดไปคำนวณเพื่อหาปริมาตรของรำข้าวและกากที่ออกจากเครื่องสกัดน้ำมัน โดยคำนวณจากน้ำหนักของรำข้าวที่ป้อนเข้าสู่เครื่องคือ 100 กรัม และน้ำหนักของกากที่ชั่งได้ในแต่ละทางออกกาก ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ คำนวณหาอัตราส่วนการบีบอัดจากสมการ

$$CR = \frac{V_{ricebran}}{V_{cake}} = \frac{\left(\frac{W}{\rho}\right)_{ricebran}}{\left(\frac{W}{\rho}\right)_{cake}} \quad (3)$$

เมื่อ  $V_{ricebran}$  คือปริมาตรของรำข้าว (ลูกบาศก์เมตร),  $V_{cake}$  คือปริมาตรของกากรำข้าว (ลูกบาศก์เมตร),  $\rho_{ricebran}$  คือความหนาแน่นของรำข้าว (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร),  $W_{cake}$  คือน้ำหนักของกากรำข้าว (กรัม),  $\rho_{cake}$  คือความหนาแน่นของกากรำข้าว (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

6.2 การศึกษาอิทธิพลของลักษณะของทางออกกากที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลืออยู่ในกาก (%Oil content in cake; %OIC), เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดได้ (%Oil yield; %Oil<sub>yield</sub>) และประสิทธิภาพของการสกัด

(Extraction efficiency;  $\eta$ ) โดยทำการทดสอบเพื่อหาร้อยละของปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่ในกากรำข้าว ซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่างกากรำข้าวในแต่ละทางออกกากไปวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลือในกากด้วยเครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxtherm) ตามวิธี

AOAC ทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลืออยู่ในกากจากสมการ

$$\%OIC = \left( \frac{W_{OIC}}{W_{cake}} \right) \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ  $W_{OIC}$  คือน้ำหนักของน้ำมันในกาก (กรัม)

จากนั้นจึงหาผลต่างของเปอร์เซ็นต์น้ำมันเริ่มต้นที่มีอยู่ในรำข้าวและเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลืออยู่ในกากเพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดได้ ดังสมการนี้

$$\%Oil_{yield} = \%Oil_{ricebran} - \%OIC \quad (5)$$

เมื่อ  $\%Oil_{ricebran}$  คือเปอร์เซ็นต์น้ำมันเริ่มต้นที่มีอยู่ในรำข้าว

ต่อมา นำค่าที่ได้จากสมการข้างต้นไปคำนวณหาประสิทธิภาพของการสกัด ( $\eta$ ) ซึ่งจะแสดงถึงความสามารถในการสกัดน้ำมันที่ทำให้

เกิดผลสำเร็จ โดยพิจารณาจากผลผลิตที่ได้ (ปริมาณน้ำมัน) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดได้ต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมันเริ่มต้นที่มีอยู่ในรำข้าว

$$\eta = \left( \frac{\%Oil_{yield}}{\%Oil_{ricebran}} \right) \times 100 \quad (6)$$

**6.3 การศึกษาอิทธิพลของลักษณะของทางออกกากที่มีผลต่อค่าพลังงานกลจำเพาะ (Specific mechanical energy, SME)** โดยค่าพลังงานกลจำเพาะนั้นเป็นปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ซึ่งจะเปลี่ยนไปเป็น

พลังงานกลเพื่อส่งกำลังขับให้สกรูหมุนและเกิดการสกัดน้ำมันต่ออัตราการไหลของน้ำมันที่สกัดได้ในหนึ่งหน่วยเวลา ทำการทดสอบในแต่ละลักษณะของทางออกกากจำนวน 3 ซ้ำ หาพลังงานกลจำเพาะจากสมการ

$$SME = \frac{Power_{in} \times \rho_{oil}}{M_{oil}} \quad (7)$$

เมื่อ  $Power_{in}$  คือปริมาณของพลังงานที่ใช้ในการหมุนสกรู (กิโลวัตต์) วัดจากเครื่องแคลมป์มิเตอร์ (Clamp multimeter),  $\rho_{oil}$  คือความหนาแน่นของน้ำมันรำข้าว; 0.9185 (กรัมต่อลิตร),  $M_{oil}$  คืออัตราการไหลของน้ำมันที่สกัดได้ (กรัมต่อนาที)

นำค่าที่คำนวณได้ทั้งหมดจากสมการข้างต้นไปวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธีวิเคราะห์ของต้นแคณ

(Duncan's new multiple rang test, DMRT) หรือ เกมส์-โฮเวล (Games-Howell) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

### ผลและวิจารณ์

จากการศึกษาและทดสอบลักษณะของทางออกกากในการสกัดน้ำมันรำข้าวโดยใช้เครื่องสกัดน้ำมันรำข้าวแบบสกรูอัด ซึ่งแรกเริ่มรำข้าวจะมี

ลักษณะร่วน สีอ่อนนวล แล้วเมื่อสกัดน้ำมันออกด้วยลักษณะของทางออกกากทั้ง 5 แบบ กากรำข้าวที่ได้จะมีลักษณะเป็นแท่งรูปทรงกระบอกยาว สีน้ำตาลเข้ม และค่อนข้างเปราะ สำหรับน้ำมันจะมีสีเหลือง

เข้ม ดังแสดงใน Figure 5 และเพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในการสกัดน้ำมันจากรำข้าว จะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของทางออกกากและ

พารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยมีดัชนีชี้วัดผลการทดสอบคือเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลืออยู่ในกากน้อยที่สุด รายละเอียดดังกล่าวในหัวข้อย่อย



Figure 5 Rice bran cake and oil

1. อิทธิพลของลักษณะของทางออกกาก (Die constant;  $k_d$ ) ต่ออัตราการป้อน (Rice bran feeding capacity;  $RC$ ) ของรำข้าวเข้าเครื่องสกัดน้ำมันรำข้าวแบบสกรูอัด และอัตราส่วน

การบีบอัด Compression ratio ( $CR$ ) ของรำข้าวที่ทางออกของเครื่องสกัดน้ำมันรำข้าวแบบสกรูอัด

Table 1 Comparison of rice bran feeding capacity and compression ratio with different die constant at 25 rpm of screw press machine

$k_d$ (mm <sup>3</sup> )	$RC$ (g/min)	$CR$
0.023	10.72 ± 0.29 <sup>a</sup>	6.55 ± 0.27 <sup>ab</sup>
0.028	11.55 ± 0.98 <sup>a</sup>	6.84 ± 0.08 <sup>b</sup>
0.034	11.76 ± 1.08 <sup>a</sup>	6.73 ± 0.13 <sup>b</sup>
0.040	13.25 ± 0.70 <sup>ab</sup>	5.94 ± 0.85 <sup>a</sup>
0.045	19.97 ± 1.88 <sup>b</sup>	5.33 ± 0.09 <sup>a</sup>

Note Means in column followed by the same superscript were not significantly different at 0.05 significance level according to Duncan's multiple range test.

จาก Table 1 จะเห็นว่าเมื่อลักษณะของทางออกกากมีค่า  $k_d$  ที่มากขึ้น อัตราการป้อนเฉลี่ยของรำข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย นั่นเป็นเพราะรำข้าวมีความต้านทานในการไหลลดลง จึงเคลื่อนที่ออกจากรูทางออกกากได้เร็ว จากงานวิจัยของ Venkitasamy *et al.* (2014) ได้รายงานผลการศึกษานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูในของ Die ที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันจากเมล็ดตองุ่นไว้ว่า อัตราการป้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูในของ Die ซึ่งทำให้อุณหภูมิภายใน Die ลดลงจนความดันในบาร์เรลดลง เนื่องจากการเพิ่มขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลางรูในของ Die จะทำให้เมล็ดตองุ่นไหลออกจากรูได้ง่ายขึ้น นอกจากนั้น Sokhey *et al.* (1997) ยังได้กล่าวอ้างถึง Harmann and Harper (1973) ไว้ว่าการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Die พร้อมกับลดความยาวของรูลง จะทำให้อัตราการไหลมากขึ้น ซึ่งนำไปสู่อัตราการป้อนที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าลักษณะของทางออกกากที่มีค่า  $k_d$  มากจะมีผลทำให้อัตราการป้อนของรำข้าวเพิ่มขึ้น

ขณะที่อัตราการป้อนของรำข้าวเพิ่มตามค่า  $k_d$  แต่อัตราส่วนการบีบอัดเฉลี่ยกลับมีแนวโน้ม



ลดลง เนื่องจากการเพิ่มค่า  $k_d$  ส่งผลให้รำข้าวมีความต้านทานในการไหลลดลง ทำให้เคลื่อนที่ออกจากรูของทางออกกักได้อย่างรวดเร็ว จึงไม่คงค้างอยู่ในเครื่องสกัดนานพอที่จะถูกบีบอัดจนมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น (Levine and Slade, 1980) จากรายงานของ Reddy et al. (2010) ได้อธิบายผลไว้ว่าการขยายขนาดของช่องทางออกกักทำให้อัตราส่วนการบีบอัดน้อยลง เนื่องด้วยค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ลดลงจะช่วยให้กากไหลได้สะดวก และ Bargale (1997) กล่าวว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้น จะทำให้มีการอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรเริ่มต้นและปริมาตรสุดท้ายสูงขึ้น เนื่องมาจากความเครียดของเมล็ดทานตะวันในการถูกบีบอัดนั้นมากขึ้น โดยพิจารณาจากปริมาตรที่ลดลงต่อหน่วยการเพิ่มขึ้นของความเครียด เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของค่า  $k_d$  มีผลทำให้อัตราส่วนการบีบอัดของรำข้าวลดลง

เพื่อศึกษาอิทธิพลของลักษณะของทางออกกักที่มีผลทำให้อัตราการป้อนและอัตราส่วนการบีบอัดของรำข้าวแตกต่างกัน โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ เปรียบเทียบความแตกต่างของลักษณะของทางออกกักทั้ง 5 แบบ จะเห็นว่าลักษณะของทางออกกักที่มีค่า  $k_d$  เท่ากับ 0.023, 0.028, 0.034 และ 0.040 ลูกบาศก์มิลลิเมตร จะมีอัตราการป้อนเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน โดยที่ลักษณะของทางออกกักที่มีค่า  $k_d$  เท่ากับ 0.040 ลูกบาศก์มิลลิเมตรไม่แตกต่างกันกับลักษณะของทางออกกักที่มีค่า  $k_d$  เท่ากับ 0.045 ลูกบาศก์มิลลิเมตรเช่นกัน และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนการบีบอัดของรำข้าวเฉลี่ย พบว่าลักษณะของทางออกกักที่มีค่า  $k_d$  เท่ากับ 0.023 ลูกบาศก์มิลลิเมตร จะมีอัตราส่วนการบีบอัดของรำข้าวเฉลี่ยไม่แตกต่างกับลักษณะทางออกกักที่มีค่า  $k_d$  เท่ากับ 0.028, 0.034, 0.040 และ 0.045 ลูกบาศก์มิลลิเมตรอย่างน้อยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยเครื่องสกัดน้ำมันแบบสกรูอัดของ Matouk et al. (2009) ที่ได้ทำการสกัดน้ำมันจากรำข้าวด้วยเครื่องน้ำมันสกัดน้ำมันแบบสกรูอัด โดยสกรูเป็นชนิดเพลลาตรง (Straight screw shaft) ห้องสกัดน้ำมันมีลักษณะเป็นแท่งเหล็กรีดน้ำมัน (Barrel) ซึ่งมีช่องว่างลดลงตั้งแต่ช่วง 0.125–0.5 มิลลิเมตร ไปจนถึง ช่วง 0.08–0.15 มิลลิเมตร สกัดน้ำมันด้วยทางออกกักที่ออกแบบให้มีการคายกากในลักษณะเป็นวงแหวนที่มีความหนา 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วรอบของสกรูอัดที่ 30 รอบต่อนาที ทั้งนี้รำข้าวมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นอยู่ที่ 6.99 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ผลการทดสอบพบว่าเมื่อกากมีความหนา 0.8 มิลลิเมตร จะได้อัตราการป้อนจะสูงที่สุดนั้นคือ 60.18 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (1003 กรัมต่อนาที)นอกจากนี้ศุภกิตต์ และคณะ (2553) ได้สร้างเครื่องสกัดน้ำมันรำข้าวแบบสกรูอัดขึ้นด้วยเช่นกัน โดยออกแบบให้ห้องสกัดมีลักษณะเป็นแท่งเหล็กรีดน้ำมัน ซึ่งมีช่องว่างขนาด 0.03 มิลลิเมตร ทางออกกักมีลักษณะการคายกากเป็นวงแหวน มีระยะการคายกากที่มีความหนา 1, 1.3, 1.5, 1.7 และ 1.9 เซนติเมตร ทดสอบที่ความเร็วรอบของสกรูอัดที่ 8.4, 11.3, 14.1, 16.9 และ 19.8 รอบต่อนาที ใช้รำข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์ความชื้น 6 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อใช้ความเร็วรอบ 19.8 รอบต่อนาที ด้วยระยะอัดที่ 1.9 เซนติเมตร จะได้อัตราการป้อนสูงสุดคือ 8.57 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งจากที่กล่าวมานี้สังเกตได้ว่าอัตราการป้อนจะสูงที่สุดเมื่อทางออกกักมีการคายกากที่มีความหนามาก ทั้งนี้อัตราการป้อนมีความแตกต่างกันก็เนื่องมาจากการออกแบบเครื่องสกัดน้ำมันที่มีขนาดและลักษณะที่แตกต่างกันผลที่ได้จึงต่างกัน

**2. อิทธิพลของลักษณะของทางออกกัก (Die constant;  $k_d$ ) ต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลืออยู่ในกาก (%OIC) เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดได้ (%Oil<sub>yield</sub>) และประสิทธิภาพของการสกัด ( $\eta$ )**

**Table 2** Comparison of %oil content in cake, (%OIC) %oil yield (%Oil<sub>yield</sub>) and extraction efficiency ( $\eta$ ) with different die constant at 25 rpm of screw press machine

$k_d$ (mm <sup>3</sup> )	%OIC (%)	%Oil <sub>yield</sub> (%)	$\eta$ (%)
0.023	11.01 ± 0.70 <sup>a</sup>	12.56 ± 0.70 <sup>b</sup>	53.74 ± 2.98 <sup>c</sup>
0.028	12.70 ± 1.41 <sup>ab</sup>	12.00 ± 1.41 <sup>b</sup>	48.57 ± 5.70 <sup>bc</sup>
0.034	15.17 ± 2.76 <sup>bc</sup>	9.53 ± 2.76 <sup>ab</sup>	38.58 ± 11.19 <sup>ab</sup>
0.040	15.24 ± 0.82 <sup>bc</sup>	9.46 ± 0.82 <sup>ab</sup>	38.29 ± 3.31 <sup>ab</sup>
0.045	17.78 ± 0.61 <sup>c</sup>	6.92 ± 0.61 <sup>a</sup>	28.01 ± 2.46 <sup>a</sup>

**Note** Means in column followed by the same superscript were not significantly different at 0.05 significance level according to Duncan's multiple range test.

จาก Table 2 เห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันเฉลี่ยที่เหลืออยู่ในกากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่า  $k_d$  เนื่องด้วยความต้านทานในการไหลของกากลดลง กากจึงเคลื่อนที่ออกจากรูทางออกกากได้อย่างรวดเร็ว และถูกบีบอัดน้อยลง ส่งผลให้ยังคงมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันหลงเหลืออยู่ในกากสูง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบในงานวิจัยของ Karaj and Muller (2011) ที่พบว่า การเพิ่มของขนาดรูทางออกกาก มีผลทำให้เหลือเปอร์เซ็นต์น้ำมันในกากของเมล็ดสับุดามาก เนื่องจากเวลาในการบีบอัดน้อย น้ำมันไม่สามารถแยกตัวออกจากอนุภาคของแข็งได้มากและเร็วพอก่อนที่กากจะไหลออกจากรูของทางออกกาก

นอกจากนี้สังเกตได้ว่าเมื่อลักษณะของทางออกกากมีค่า  $k_d$  เพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำมันเฉลี่ยที่สกัดได้และประสิทธิภาพของการสกัดมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลืออยู่ในกากมีมาก ซึ่งหมายความว่าสามารถสกัดน้ำมันได้น้อยแสดงถึงประสิทธิภาพของการสกัดที่ต่ำ โดยการเพิ่มขึ้นของค่า  $k_d$  จากงานวิจัยของ Mubarak *et al.* (2012) ที่พัฒนาเครื่องสกัดน้ำมันจากจมูกข้าวสาลี พบว่าเมื่อกากมีความหนามากขึ้น จะมีผลทำให้สกัดได้เปอร์เซ็นต์น้ำมันน้อยลง และ Matouk *et al.* (2009) ได้รายงานผลการออกแบบเครื่องสกัดน้ำมันรำข้าวไว้ว่าประสิทธิภาพของการสกัดน้ำมันจะมากขึ้นเมื่อลดขนาดความหนาของกากที่ออกมาจาก

ทางออกกาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าลักษณะของทางออกกากมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลืออยู่ในกาก เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดได้ และประสิทธิภาพของการสกัด โดยเมื่อลักษณะของทางออกกากมีค่า  $k_d$  เพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลืออยู่ในกากจะมากขึ้น ขณะที่เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดได้และประสิทธิภาพของการสกัดกลับลดลง

เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลืออยู่ในกาก เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดได้ และประสิทธิภาพของการสกัดที่เกิดจากอิทธิพลของลักษณะของทางออกกากทั้ง 5 แบบ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ สังเกตเห็นว่าสถานะในการสกัดที่สามารถสกัดน้ำมันจากรำข้าวให้มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันเฉลี่ยที่เหลืออยู่ในกากน้อยที่สุดคือ การสกัดที่ใช้ลักษณะของทางออกกากที่มีค่า  $k_d$  เท่ากับ 0.023 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกับลักษณะของทางออกกากที่มีค่า  $k_d$  เท่ากับ 0.028 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ในทางตรงกันข้ามลักษณะของทางออกกากที่มีค่า  $k_d$  เท่ากับ 0.045 ลูกบาศก์มิลลิเมตร จะมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันเหลืออยู่ในกากมากที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างกับลักษณะของทางออกกากที่มีค่า  $k_d$  เท่ากับ 0.034 และ 0.040 ลูกบาศก์มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดได้เฉลี่ย พบว่าลักษณะของทางออกกากที่มีค่า  $k_d$

เท่ากับ 0.023 ลูกบาศก์มิลลิเมตร จะสกัดได้เปอร์เซ็นต์น้ำมันสูงที่สุด ไม่แตกต่างกับลักษณะของทางออกกาทที่มีค่า  $k_d$  เท่ากับ 0.028, 0.034 และ 0.040 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ยกเว้นลักษณะของทางออกกาทที่มีค่า  $k_d$  เท่ากับ 0.045 ลูกบาศก์มิลลิเมตร นอกจากนี้ยังทราบว่าประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันของลักษณะของทางออกกาทที่มีค่า  $k_d$  เท่ากับ 0.023 ลูกบาศก์มิลลิเมตรจะมีค่ามากที่สุดอีกด้วย ไม่ต่างจากลักษณะของทางออกกาทที่มีค่า  $k_d$  เท่ากับ 0.028 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ขณะที่ลักษณะของทางออกกาทที่มีค่า  $k_d$  เท่ากับ 0.045 ลูกบาศก์มิลลิเมตร จะมีประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันไม่ต่างจาก 0.034 และ 0.040 ลูกบาศก์มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากการทดสอบเพื่อเลือกลักษณะของทางออกกาทที่เหมาะสมสำหรับการสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยเครื่องสกัดน้ำมันรำข้าวแบบสกรูอัดนี้ โดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลืออยู่ในกากน้อยที่สุด จะพบว่าลักษณะของทางออกกาทที่มีค่า  $k_d$  เท่ากับ 0.023 และ 0.028 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ให้ผลไม่แตกต่างทางสถิติ แต่ในทางปฏิบัติต้องการปริมาณน้ำมันที่สกัดมากที่สุด ดังนั้นลักษณะของทางออกกาทที่มีค่า  $k_d$  เท่ากับ 0.023 ลูกบาศก์มิลลิเมตร จึงเป็นลักษณะของทางออกกาทที่ควรใช้ในการสกัดน้ำมันจากรำข้าวโดยใช้เครื่องสกัดน้ำมันรำข้าวแบบสกรูอัดนี้

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยเครื่องสกัดน้ำมันแบบสกรูอัดของศุภกิตต์ และคณะ (2555) พบว่าเมื่อความเร็วรอบเป็น 11.3 รอบต่อนาที และกากมีความหนา 1.3 เซนติเมตร จะสามารถสกัดได้เปอร์เซ็นต์น้ำมันเท่ากับ 3.02 เปอร์เซ็นต์ และ Chemirs *et al.* (n.d.) ได้ออกแบบเครื่องสกัดน้ำมันรำข้าวแบบสกรูอัด โดยสกรูอัดเป็นชนิด Tapered shaft ห้องสกัดน้ำมันเป็นแบบท่อทรงกระบอกเจาะรูที่มีการเจาะรู 7 และ 20 รู การคายกากเป็นแบบวงแหวน พบว่าจะได้เปอร์เซ็นต์น้ำมันเท่ากับ 9.38 และ 6.88 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลืออยู่ในกากเท่ากับ 4.625 และ 7.125 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันเป็น 66.96 และ 49.11 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ นอกจากนี้ Matouk *et al.* (2009) ได้ทดสอบการสกัดน้ำมันจากรำข้าว ณ ความเร็วรอบของสกรูอัดที่ 30 รอบต่อนาที พบว่าเมื่อกากมีความหนา 0.2 มิลลิเมตร จะมีประสิทธิภาพในการสกัดสูงสุดคือ 27.32 เปอร์เซ็นต์ จากที่กล่าวมานี้สังเกตได้ว่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดได้ เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลืออยู่ในกาก และประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันนั้นมีความแตกต่างกันตามแต่การออกแบบเครื่องสกัดน้ำมัน ซึ่งทำให้ได้ผลที่แตกต่างกันด้วยเช่นกัน

**3. อิทธิพลของลักษณะของทางออกกาท (Die Constant;  $k_d$ ) ต่อพลังงานกลจำเพาะ (SME) ที่ใช้ในการสกัดน้ำมัน โดยใช้เครื่องสกัดน้ำมันรำข้าวแบบสกรูอัด**

**Table 3** Comparison of Specific Mechanical Energy (*SME*) with different die constant at 25 rpm of screw press machine

$k_d$ (mm <sup>3</sup> )	<i>SME</i> <sup>ns</sup> (kw-hr/l)
0.023	4.33 ± 0.43
0.028	7.46 ± 1.71
0.034	8.31 ± 1.55
0.040	5.95 ± 2.17
0.045	9.26 ± 4.91

**Note** Means in column followed by the same superscript were not significantly different at 0.05 significance level according to Duncan's multiple range test.

จาก Table 3 พบว่าค่าพลังงานกลจำเพาะเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อลักษณะของทางออกกากมีค่า  $k_d$  เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของค่า  $k_d$  มีผลให้รำข้าวมีความต้านทานในการไหลลดลง จึงมีการเคลื่อนที่ออกจากรูทางออกกากได้เร็ว การบีบอัดน้ำมันจึงเป็นช่วงระยะเวลาสั้นๆ ทำให้ปริมาณการไหลของน้ำมันมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นเมื่อพิจารณาพลังงานกลจำเพาะซึ่งคือ อัตราส่วนของพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ จึงทำให้พลังงานกลจำเพาะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อลักษณะของทางออกกากมีค่า  $k_d$  มาก จากงานวิจัยของ Karaj and Muller (2011) ได้รายงานผลการทดสอบว่าเมื่อใช้สกรูที่มีระยะพิตซ์เท่ากับ 16 มิลลิเมตร ร่วมกับชุดสกัดน้ำมันที่มีขนาดรูระบายน้ำมันเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ทดสอบด้วยทางออกกากซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเท่ากับ 8, 10 และ 12 มิลลิเมตร มีผลให้พลังงานกลจำเพาะที่ใช้ในการสกัดน้ำมันเพิ่มขึ้นตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูทางออกกาก

เพื่อศึกษาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของพลังงานกลจำเพาะที่ได้จากการใช้ลักษณะของทางออกกากที่มีค่า  $k_d$  ทั้ง 5 แบบ ซึ่งได้จากอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่มอเตอร์เพื่อขับสกรูให้หมุนและบีบอัดน้ำมันพร้อมทั้งดันกากออกมาต่อปริมาณการสกัดน้ำมัน เมื่อพิจารณาพลังงานที่ใช้ในการสกัดน้ำมันก็พบว่าลักษณะของทางออกกากทั้ง 5 แบบ ไม่มีผลทำให้พลังงานกลจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความ

เชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของความแปรปรวนที่มาก ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้พลังงานกลจำเพาะไม่มีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Evon *et al.* (2013) ที่ได้รายงานผลศึกษาการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสับปะรด พบว่าพลังงานกลจำเพาะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ทั้งนี้นอกจากการทดสอบที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ผู้วิจัยได้ศึกษาลักษณะของทางออกกากที่มีค่า  $k_d$  ที่น้อยกว่า 0.023 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ได้แก่ 0.009, 0.013 และ 0.017 ลูกบาศก์มิลลิเมตร พบว่ากากรำข้าวมักจะแข็งตัวและอุดตันอยู่ภายในรูของทางออกกาก ทำให้ต้องยุติการทดสอบกลางคัน จึงทดสอบได้ไม่ต่อเนื่อง ฉะนั้นลักษณะของทางออกกากที่มีค่า  $k_d$  ที่น้อยกว่า 0.023 ลูกบาศก์มิลลิเมตรนี้ จึงไม่เหมาะสมสำหรับใช้ในการสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยเครื่องสกัดน้ำมันรำข้าวแบบสกรูอัดนี้ และนอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ศึกษาลักษณะของทางออกกากที่มีรูปทรงกรวย ซึ่งมีรูทางออกกากตรงกลางแบบรูเดี่ยว ผลการทดสอบพบว่าสกัดน้ำมันได้น้อยและมีการอุดตันของรูอยู่บ่อยครั้ง จึงเป็นเหตุผลให้ลักษณะของทางออกกากรูปทรงนี้ไม่เหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้ในการสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยเครื่องสกัดน้ำมันรำข้าวแบบสกรูอัด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบของ Epifancev *et al.* (2013) ที่พบว่าวัตถุดิบที่ถูกบีบอัดอยู่ภายในรูปทรงกระบอกจะมีความเค้นสูงสุด จึงทำให้วัตถุดิบเกิดการเสียรูปมากกว่ารูปทรงกรวย กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ

โครงสร้างของวัตถุดิบจะเกิดความเสียหายจนผนังเซลล์แตก เมื่อนำมาใช้ในการสกัดน้ำมันจึงมีผลให้สกัดได้ปริมาณน้ำมันมากกว่านั่นเอง ยิ่งไปกว่านั้น การวางตำแหน่งของรูทางออกกากให้อยู่ในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบก็เป็นสิ่งสำคัญ เนื่องด้วยการไหลออกของกากที่อยู่ในตำแหน่งเดียวกับการเคลื่อนที่ของรำข้าว สามารถทำให้การกำจัดกากไหลออกได้อย่างสะดวก ซึ่งต่างจากการใช้รูทางออกกากเพียงรูเดียวที่อยู่ในตำแหน่งจุดศูนย์กลางของทางออกกากที่มักจะถูกอุดตันอยู่บ่อยครั้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Libura and Rekas (2012) ที่ได้อธิบายไว้ว่าเมื่อรูทางออกกากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูทางออกกากเล็กและมีรูเดียว มีโอกาสที่รูจะถูกอุดตันสูงและเกิดความเสียหายเนื่องจากแรงดันในระบบสูงมาก ทั้งนี้จึงควรแก้ไขโดยการเพิ่มจำนวนรูให้มากขึ้น และออกแบบให้รูอยู่ในตำแหน่งเดียวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบภายในสกรูอัด นั่นเป็นเพราะบริเวณผนังท่อด้านในของห้องสกัดน้ำมันจะเป็นบริเวณที่มีความเค้นสูงที่สุด ขณะที่จุดกึ่งกลางของท่อจะเป็นบริเวณที่มีความเค้นต่ำที่สุด (Nikulin *et al.*, 2014) ด้วยเหตุนี้จึงอาจกล่าวได้ว่าลักษณะของทางออกกากที่มีรูปทรงกระบอก และมีรูทางออกกากที่อยู่ในตำแหน่งเดียวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบ รวมถึงการกำหนดให้มีค่า  $k_d$  ที่เหมาะสม ก็จะทำให้เครื่องสกัดน้ำมันรำข้าวแบบสกรูอัดนี้สามารถสกัดน้ำมันได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะทำให้รำข้าวที่ป้อนเข้าเครื่องไปถูกสกัดได้ปริมาณน้ำมันมากที่สุด ซึ่งนำไปสู่การแข่งขันด้านราคาในเชิงพาณิชย์ต่อไป

### สรุป

จากการทดสอบพบว่าสภาวะที่ดีที่สุดของเครื่องสกัดน้ำมันรำข้าวแบบสกรูอัดนี้คือ ลักษณะของทางออกกากที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู 1.5 มิลลิเมตร ความยาวรู 22 มิลลิเมตร จำนวน 4 รู มีค่า  $k_d$  เท่ากับ 0.023 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ซึ่งทำให้ได้อัตราการป้อนรำข้าว  $72 \pm 0.10.29$  กรัมต่อนาที อัตราส่วนการบีบอัดน้ำมันเป็น  $6.55 \pm 0.27$  มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลือในกากอยู่  $11.01 \pm 0.70$  เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดได้เป็น  $12.56 \pm$

0.70 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพของการสกัด  $53.74 \pm 2.98$  เปอร์เซ็นต์ และค่าพลังงานกลจำเพาะ  $4.33 \pm 0.43$  กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลิตร ซึ่งสามารถนำผลที่ได้นี้ไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการใช้งานเครื่องสกัดน้ำมันรำข้าวแบบสกรูอัดของผู้ประกอบการ รวมถึงใช้เป็นแนวทางสำหรับการออกแบบและสร้างเครื่องสกัดน้ำมันรำข้าวแบบสกรูอัดให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นในอนาคตได้

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ที่สนับสนุนทุนในการดำเนินการวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

- ดารณี เจริญสุข. 2554. น้ำมันเมล็ดยางพารากับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. ว. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง 5: 25.
- เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์ และ พรพรรณ จิ๋ว. 2555. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการขึ้นรูปสับประรดกวนโดยใช้เครื่อง Forming Extruder, น. 463-471. ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13, 4-5 เมษายน 2555 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ ประเทศไทย.
- ศุภกิตต์ สายสุนทร, สุดสายสิน แก้วเรือง, และ ปัทมธร ภัทรสถาพรกุล. 2553. การศึกษาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยเครื่องสกัดแบบสกรูอัด. ว.วิทยาศาสตร์เกษตร 41: 291-302.
- อชาญ พิทยภาคย์, นคร ทิพย์วงศ์, และ วสันต์ จอมภักดี. 2546. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการสกัดน้ำมันพืชเชิงกลสำหรับใช้ในชุมชนท้องถิ่น. Naresuan University Journal 11: 9-20.
- AOAC. 2000. Official methods of analysis. (17<sup>th</sup> edition), Official Method 920.39,

- Washington, D.C., Association of official analytical chemists.
- Ayadi, F.Y., Fallahi, P., Rosentrater, K.A. and K. Muthukumarappan. 2012. Modeling single-screw extrusion processing parameters and resulting extrudate properties of DDGS-Based Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) feeds. JFR 2: 11-28.
- Badal, R. 2002. Supercritical carbon dioxide extraction of lipids from raw and bio-converted rice bran. Thesis, Louisiana state university. p. 79.
- Bargale, P.C. 1997. Mechanical oil expression from selected oilseeds under uniaxial compression. Thesis, Saskatchewan University. p. 337.
- Beerens, P. 2007. Screw-pressing of jatropha seeds for fuelling purposes in less developed countries. Thesis, Eindhoven university of technology. p. 87.
- Chemirs, N., Dipalma T., Enz S. and R. Spiller. n.d. Rice bran oil extraction system. Available source: [https://www.csuchico.edu/mmem/capstone\\_design/past\\_projects/past\\_project\\_files/2008-2009/pres\\_rice\\_bran\\_oil\\_extractor.pdf](https://www.csuchico.edu/mmem/capstone_design/past_projects/past_project_files/2008-2009/pres_rice_bran_oil_extractor.pdf), July 7, 2016.
- Epifancev, K., A. Nikulin, S. Kovshov, S. Mozer and I. Brigadnov. 2013. Modeling of peat mass process formation based on 3D analysis of the screw machine by the code yade. American journal of mechanical engineering 1 (3): 73–75.
- Evon P., Amalia I., Cerny M. and L. Rigal. 2013. Extraction of oil from jatropha seeds using a twin-screw extruder: feasibility study. Industrial crops and products 47: 33–42.
- Harmann, D.V. and J.M. Harper. 1973. Effect of extruder geometry on torque and flow. ASAE 72: 1175 - 1178.
- Karaj, S. and J. Muller. 2011. Optimizing mechanical oil extraction of *Jatropha Curcas L. Seeds* with respect to press capacity, oil recovery and energy efficiency. IND CROP PROD 34: 1010–1016.
- Levine, H. and L. Slade. 1980. Water as a plasticizer: physicochemical aspects of low-moisture polymeric systems. Journal of water science 3: 79-185.
- Libura, W., Lesniak, D., Rekas, A. and J. Zasadzinski. 2005. Physical and numerical modeling of extrusion of flat sections from hard deformable aluminium alloys. 8<sup>th</sup> International conference on technology of plasticity (ICTP), Verona, Italy, 2005: 137-157.
- Libura, W. and A. Rekas. 2012. Numerical modeling in designing aluminium extrusion, pp. 137–157. In Z. Ahmad (ed) Aluminium alloys – new trends in fabrication and applications. CC BY 3.0 license.

- Matouk, A.M., El-Kholy, M.M., El-Sadany, M. and Y.T. Hendawy. 2009. Rice bran oil extraction using an expeller machine. ISAE 26: 324-342.
- Mubarak, M., El-Nono, M. and T.R. Owies. 2012. Evaluation of a locally made germ oil Extraction machine. ISAE 29: 16.
- Nikulin, A.N., K.V. Epifancev, S.V. Kovshov and G.I. Korshunov. 2014. The research of possibility to use the machine for biofuel production as a mobile device for poultry farm waste recycling. Life science journal 11 (4): 464–467.
- Sari, P. 2006. Preliminary design and construction of a prototype canola seed oil extraction machine. Thesis, Middle East Technical University. p. 129.
- Sokhey, A.S., Y. Ali and M.A. Hanna. 1997. Effects of die dimension on extruder performance. IJFE 31: 251–261.
- Reddy, S.S., S., Pandurangadu, Dr.V. and I. Srinivas. 2010 Studies on the effect of compression ratio and speed on oil recovery and energy consumption in mini oil expeller for *Pongamia* and *Jatropha* seed oil expulsion. eNREE A Quarterly electronic Newsletter on renewable energy and environment 5: 295-296.
- Venkatasamy, C., Teh, H.E., Atungula, G.G., McHugh, T.H. and Z. Pan. 2014. Optimization of mechanical extraction conditions for producing grape seed oil. IJABE 57: 1699–1705.
- Villareal, C.P. and B.O. Juliano. 1989. Variability in contents of thiamine and riboflavin in brown rice, crude oil in brown rice and bran-polish and silicon in hull of IR rice. Plant Foods Hum Nutr 39: 287-297.

**Received 6 December 2016**

**Accepted 3 February 2017**