

# การพัฒนาเครื่องทอดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยกระบวนการออกแบบใบบวก และระบบตรวจจับสีของการทอดที่เหมาะสม

## Development of a Cashew Nut Fryer with a Suitable Agitator Design Process and Frying Color Detection System

อำนาจ ตงตีบ, อภิศักดิ์ พรหมฝ้าย

Amnad Tongtib, Apisak Phromfaiy

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ อุดรดิตถ์ ประเทศไทย

Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit, Thailand

ประพล รัตนไตร

Prapon Ruttanatri

คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ ประเทศไทย

Faculty of Education, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand

ชวลิต คณากรสุขสันต์\*

Chawalit Khanakornsuksan\*

คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม ประเทศไทย

Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus,

Nakhon Pathom, Thailand

\* Corresponding author E-mail: chawalit.kh@ku.th

Received 12 December 2024; Revised 5 March 2025.; Accepted 13 March 2025

### บทคัดย่อ

**ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ :** การทอดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในน้ำมันร้อนด้วยแรงงานคนต้องอาศัยทักษะในการกวนเพื่อให้ความร้อนกระจายอย่างทั่วถึง และยังต้องการความชำนาญในการตัดสินใจหยุดกระบวนการทอดโดยพิจารณาจากความเข้มสีของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เพื่อลดการสูญเสียผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการทอดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยการออกแบบใบบวกที่เหมาะสมและบูรณาการระบบตรวจจับสีของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ขณะทอด

**วิธีดำเนินการวิจัย :** สร้างแบบจำลองใบบวกเพื่อตรวจสอบลักษณะการกระจายตัวของของไหล จากนั้นจึงยืนยันผลการกระจายตัวจากแบบจำลองด้วยการหาสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน เพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมในการกวนทอด ในส่วนของระบบตรวจจับสี ใช้วิธีถ่ายภาพเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ขณะทอดในกระชงประมวลผลภาพด้วยระดับค่าสีตามมาตรฐาน CIE  $L^*a^*b^*$  เพื่อจัดกลุ่มระดับความสุก

**ผลการวิจัย :** การสร้างแบบจำลองด้วยการเพิ่มชุดใบพัดในการหมุนบริเวณต่ำกว่าใบพัดหลักที่แกนหมุนทำมุมเอียงจากแกนหมุนของใบพัดหลักโดยให้ชุดใบพัดแนบกับกระชงสามารถลดการกระจุกตัวของของไหลบริเวณกลางกระชงได้ เมื่อทดสอบจริง พบว่า สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของความเร็วทั้ง 5 ระดับค่อย ๆ

ลดลงและต่ำกว่าร้อยละ 30 ตั้งแต่นาทีที่ 1 และผลการทดสอบระบบตรวจจับสีจากการถ่ายภาพ พบการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสีจากระดับเริ่มต้นการทอดไปถึงระดับการทอดเสร็จสิ้น โดยค่า  $a^*$  และ  $b^*$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่า  $L^*$  มีแนวโน้มลดลง

**สรุป :** การเพิ่มชุดใบพัดกวนในแบบจำลองทำให้ลดการกระจุกตัวของของไหลในกระทะ และเมื่อนำไปทดสอบจริงด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน พบว่า สัมประสิทธิ์ดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 30 ภายในเวลา 1 นาทีที่ทุกความเร็วของการทอดสอบ ในส่วนของระบบตรวจจับสีสามารถแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ ระดับที่ 1 คือระดับเริ่มต้นการทอด ระดับที่ 2 คือการทอดอยู่ในระดับปานกลาง และระดับที่ 3 คือระดับการทอดที่เหมาะสม เมื่อทอดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ผ่านระบบควบคุมอุณหภูมิร่วมกับการใช้ระบบตรวจจับสีพบว่า เวลาที่ควรใช้ในการทอดคือ 8 นาที ซึ่งให้สีของผลิตภัณฑ์ที่น่ารับประทาน

**การนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงปฏิบัติ :** ข้อมูลผลของงานวิจัยนี้มีประโยชน์ในการประยุกต์ใช้กับเครื่องทอดเครื่องกวน ที่ใช้สีเป็นเกณฑ์บอกระดับความสุกของผลิตภัณฑ์

**คำสำคัญ :** เครื่องทอด, เมล็ดมะม่วงหิมพานต์, การออกแบบ, ใบกวน, ระบบตรวจจับสี

## Abstract

**Background and Objectives:** Frying cashew nuts requires experienced workers to stir the nuts in hot oil to maintain the nut temperature in the frying pan and to determine when to stop the process based on the desired nut color, hence reducing the risk of poor-tasting products. The objective of this research was therefore to develop a cashew nut fryer by designing a suitable agitator arrangement and integrating a color detection system to monitor the color of the nuts.

**Methodology:** A model that can be used to simulate the agitator to determine the fluid distribution pattern was devised. Then, the appropriate agitator rotational speed for frying was determined by calculating the coefficient of variation. The color measurement system was developed and utilized to capture the nut color in CIE  $L^*a^*b^*$  color space to classify the level of fried cashew nuts from the images collected during the frying process.

**Main Results:** Installing an additional agitator beneath the main agitator and adjusting its orientation angle relative to the main agitator axis, bringing it closer to the pan surface, could improve the fluid distribution around the center of the pan. The results from testing the prototype show that the coefficient of variation at all five agitator rotation speeds dropped below 30 percent within the first minute. The color measurement system results indicate that the  $a^*$  and  $b^*$  values tended to increase as frying progressed toward completion, while

the  $L^*$  value tended to decrease.

**Conclusions:** The additional agitator improved fluid distribution across the pan. The coefficient of variation from testing on the prototype was below 30 percent within the first minute at all agitator rotation speeds. The color measurement system successfully classified the fried cashew nuts into three levels: beginning, medium, and proper frying. When cashew nuts were fried with the aid of the temperature control system and color detection system, the recommended frying time was found to be 8 minutes, resulting in a suitable product color for consumption.

**Practical Application:** The results from this research can be applied to other fryers or stirring machines that require product classification based on color.

**Keywords:** Frying Machine, Cashew Nuts, Design, Agitator, Color Detection System

## Introduction

มะม่วงหิมพานต์เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีแหล่งเพาะปลูกอยู่ในบางภูมิภาคของประเทศไทย โดยพื้นที่อำเภอท่าปลาเป็นแหล่งเพาะปลูกมะม่วงหิมพานต์มากที่สุดในจังหวัดอุตรดิตถ์ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนสามารถผลิตและแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้หลายรูปแบบ เช่น การอบในน้ำเกลือ การทอด หรือปรุงรสชาติ เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ทอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถทำรายได้ให้กับกลุ่มได้เป็นอย่างดี โดยกระบวนการทอดที่ทำอยู่ในปัจจุบันนั้นยังใช้แรงงานคนในการทอดด้วยการใช้ตะหลิวกวนเพื่อให้เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้รับความร้อนอย่างทั่วถึงซึ่งในบางกรณีการทอดด้วยแรงงานคนอาจไม่สามารถทำให้เกิดการกระจายความร้อนได้อย่างทั่วถึงส่งผลให้สีของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์แตกต่างกันตามความเชี่ยวชาญของแรงงานแต่ละคน สีที่เข้มหรือขาวเกินไปจะไม่มารับประทานและเกิดการแตกหักเสียหาย จะเห็นได้ว่าปัจจัยในกระบวนการทอดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ให้ออกมาสมบูรณ์นั้นประกอบไปด้วยอย่างน้อย 3 ปัจจัยด้วยกันคือ ความร้อนของน้ำมัน การกระจายตัวของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ขณะทอดและสีของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

การวิเคราะห์หาพฤติกรรมของของไหลจากการออกแบบใบพัดกวนโดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) จะช่วยในการประเมินการเคลื่อนที่ของของไหลได้สะดวกมากขึ้น [1-4] และยังช่วยในการศึกษาผลกระทบจากการออกแบบรูปร่างใบกวนหรือตำแหน่งการติดตั้งที่ให้ผลการเคลื่อนที่ของของไหลที่เหมาะสมกับแต่ละประเภทงานได้ดีที่สุด [5-6] การยืนยันผลการศึกษาจากแบบจำลองดังกล่าวสามารถทำการทดสอบจริงโดยใช้สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Coefficient of Variation:  $CV$ ) ในการทดสอบหาการกระจายตัวของของไหล [7-8]

นอกจากปัจจัยจากการออกแบบการกระจายตัวของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในน้ำมันสำหรับทอดแล้วระบบควบคุมความสูงของการทอดก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อรสชาติและความน่ารับประทานของ

ผลิตภัณฑ์ การทอดจากผู้มีประสบการณ์จะไม่อาศัยเพียงแค่เวลาในการทอดอย่างเดียวแต่จะสังเกตจากสีของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ขณะทอดร่วมด้วย จากวิธีการนี้สามารถพัฒนาเป็นการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายได้โดยการเก็บข้อมูลของภาพถ่ายในระบบ RGB แล้วแปลงค่าตัวแปรสีให้เป็นระบบมาตรฐาน CIE  $L^*a^*b^*$  เพื่อหาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของระดับสี [9] จากนั้นจึงนำไปจำแนกระดับความเข้มของสี [10] ผลที่ได้เป็นระดับความเข้มของสีที่สามารถนำไปใช้เป็นเงื่อนไขในการออกแบบระบบควบคุมต่อไปได้

จากปัญหาที่กล่าวมานั้น จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่มีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องทอดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยการออกแบบโครงสร้างใบกวนให้เหมาะสมกับการทอด โดยสามารถทำให้เมล็ดมะม่วงหิมพานต์กระจายได้อย่างทั่วถึงทั้งกระทะและออกแบบระบบตรวจจับสีของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์จากการทอดเพื่อนำไปใช้ในการควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วแก๊สซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาการเสียหายที่เกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็นสีและความร้อนที่ไม่เหมาะสม รวมไปถึงการประหยัดพลังงานและเวลาที่ใช้ในการทอดซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในด้านเชื้อเพลิง [11] และเพิ่มกำลังการผลิตให้กับวิสาหกิจชุมชนในพื้นที่โดยงานวิจัยนี้แบ่งเป็นสองส่วนคือการออกแบบโครงสร้างใบพัดกวนและการออกแบบระบบตรวจจับสี

## Objectives

- พัฒนาและออกแบบใบกวนที่ใช้ในการทอดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์
- ออกแบบระบบตรวจจับสีของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ใช้ควบคุมระบบเปิด-ปิดวาล์วแก๊ส

## Methodology

ในส่วนของวิธีการวิจัยในงานนี้แบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการพัฒนาและออกแบบชุดใบพัดกวนและทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Coefficient of Variation, CV) เพื่อวัดการกระจายของไหล และส่วนที่สองเป็นการออกแบบระบบตรวจจับสีของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ขณะทอดเพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการควบคุมระบบเปิด-ปิดวาล์วแก๊ส

### การพัฒนาและออกแบบใบพัดกวน

การพัฒนาและออกแบบใบพัดกวนที่ใช้ในงานหมุนกวนของของไหลสำหรับใช้ทอดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ควรพิจารณาจากพลศาสตร์ของไหล [1,5,12] โดยอาศัยลักษณะและรูปร่างของการเคลื่อนที่ซึ่งอธิบายได้จากสมการเชิงอนุพันธ์มวล (Conservation Equation of Mass) คือผลรวมของมวลที่ไหลเข้าและออกปริมาตรควบคุมจะเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของของไหลในปริมาตรควบคุมนั้นและเมื่อพิจารณาเป็นของไหลที่บีบอัดตัวไม่ได้ สมการเชิงอนุพันธ์มวลแสดงเป็น (1)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \bar{\nabla} \cdot (\rho \bar{V}) \quad (1)$$

เมื่อ  $\rho$  คือ ความหนาแน่นของของไหลทำงาน ( $\text{kg/m}^3$ ),  $\bar{V}$  คือ เวกเตอร์ความเร็วของของไหล ( $\text{m/s}$ ) และพิจารณาแรงและโมเมนตัมของของไหลจากสมการเชิงอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation Equation of Momentum) โดยผลรวมของแรงทั้งหมดที่กระทำบนปริมาตรควบคุมจะเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของของไหลในปริมาตรควบคุมและเมื่อพิจารณาเป็นของไหลที่บีบอัดตัวไม่ได้ สมการเชิงอนุรักษ์โมเมนตัมแสดงเป็น (2) - (4)

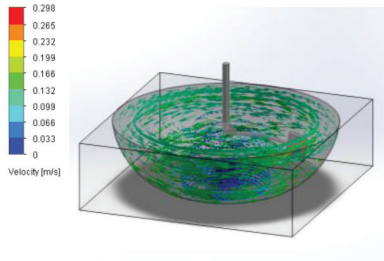
$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \bar{\nabla} \cdot (\rho u \bar{V}) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \rho f_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \bar{\nabla} \cdot (\rho v \bar{V}) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \rho f_y \quad (3)$$

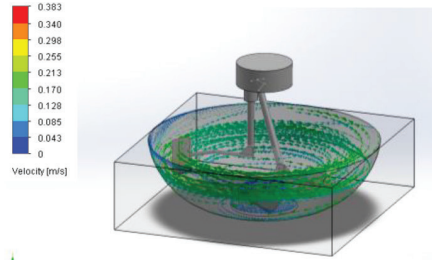
$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \bar{\nabla} \cdot (\rho w \bar{V}) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \rho f_z \quad (4)$$

เมื่อ  $u, v$  และ  $w$  คือ ความเร็วย่อยในทิศแกน  $x, y$  และ  $z$  ตามลำดับ ( $\text{m/s}$ ),  $P$  คือ ความดันที่กระทำกับปริมาตรควบคุม ( $\text{N/m}^2$ ),  $\sigma$  คือ ความเค้นตั้งฉากกับพื้นผิว ( $\text{N/m}^2$ ),  $\tau$  คือ ความเค้นเฉือน ( $\text{N/m}^2$ ) และ  $f$  คือ อัตราส่วนของแรงกระทำบนพื้นผิวของปริมาตรควบคุมต่อน้ำหนักของของไหล ( $\text{N/kg}$ )

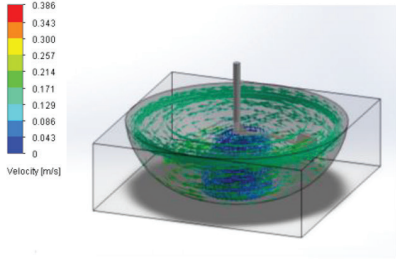
จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองเพื่อทดสอบลักษณะการเคลื่อนตัวของของไหล ( $\rho = 1,000 \text{ kg/m}^3$ ) ที่อยู่ในกระโหลกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 76.2 เซนติเมตร (30 นิ้ว) ซึ่งมาจากขนาดจริงที่ใช้ทอดในวิสาหกิจชุมชน โดยทำการสร้างแบบจำลองของใบกวานเพื่อใช้กวาดของไหลขนาด 13.5 เซนติเมตร  $\times$  7.5 เซนติเมตรหนา 1.27 เซนติเมตร ที่มีลักษณะเป็นแผ่นหนามีความลาดเอียงแบบใบกวาด (Curved blade) ซึ่งมีใบกวาน 1 ใบเป็นแบบจำลองชุดที่หนึ่ง (First model) และเพิ่มใบพัดเอียง (Pitched blade) ที่มีขนาดเล็กกว่าใบพัดหลักจำนวน 1 คู่ โดยแต่ละใบมีขนาด 11.5 เซนติเมตร  $\times$  7.5 เซนติเมตรหนา 1.27 เซนติเมตรโดยติดตั้งที่ตำแหน่งต่ำกว่าใบพัดหลักที่แกนหมุนทำมุมเอียงกับแกนหมุนของใบพัดแบบกวาดให้ชุดใบพัดแนบกับกระโหลกเป็นแบบจำลองชุดที่สอง (Second model) จากนั้นจึงทำการทดสอบการหมุนเพื่อศึกษาแนวโน้มการเคลื่อนที่ของของไหลที่ความเร็ว 5 ระดับ (หน่วยของความเร็วคือรอบต่อนาที, rpm) คือ 8.9 rpm, 11.9 rpm, 14.9 rpm, 17.9 rpm และ 20.9 rpm ผลที่ได้แสดงดัง Figure 1 ซึ่งเห็นว่าแบบจำลองชุดที่หนึ่งมีการกระจายตัวของของไหลที่สม่ำเสมอในบริเวณที่มีใบกวาดเคลื่อนที่ผ่าน (แสดงด้วยลูกศรสีเขียวแทนความเร็วของการไหล) แต่บริเวณกึ่งกลางของกระโหลกเกิดการกระจุกตัวของของไหล (แสดงด้วยลูกศรสีน้ำเงินแทนความเร็วของของไหลมีค่าเข้าใกล้ศูนย์) เนื่องจากบริเวณดังกล่าวไม่เกิดการสัมผัสกับใบกวานโดยตรงถึงแม้จะเพิ่มความเร็วในการหมุนของใบกวานก็ไม่สามารถทำให้การกระจุกตัวของของไหลลดลง (Figure 1a, 1c, 1e, 1g และ 1i) แต่เมื่อเพิ่มชุดใบพัดเอียงในแบบจำลองชุดที่หนึ่งกลายเป็นแบบจำลองชุดที่สองพบว่าสามารถแก้ปัญหาการกระจุกตัวของอนุภาคของไหลได้ดังแสดงใน Figure 1b, 1d, 1f, 1h และ 1j เมื่อของไหลกระจายตัวได้ทั่วถึงเปรียบเสมือนการกระจายตัวของความร้อนในน้ำมันทอดทำให้เมล็ดมะม่วงหิมพานต์สุกอย่างทั่วถึง



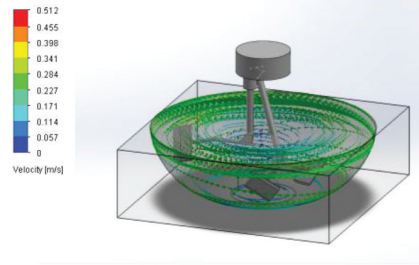
a. first model (8.9 rpm)



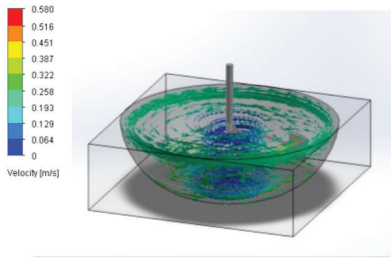
b. second model (8.9 rpm)



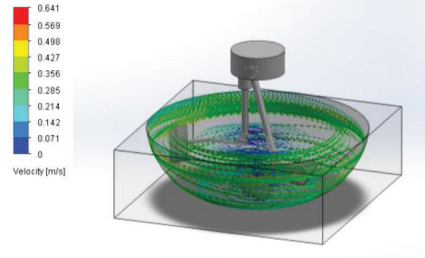
c. first model (11.9 rpm)



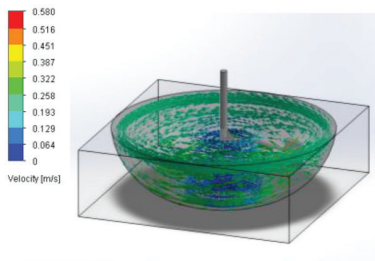
d. second model (11.9 rpm)



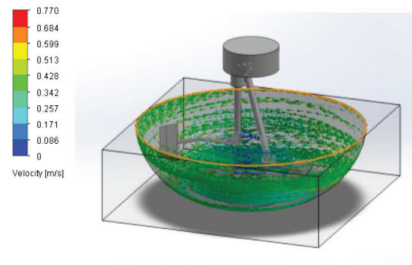
e. first model (14.9 rpm)



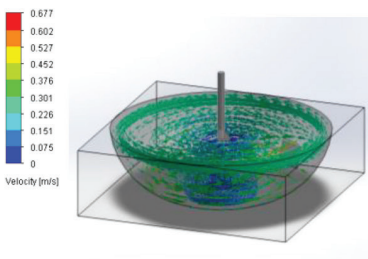
f. second model (14.9 rpm)



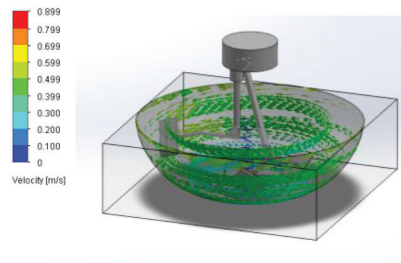
g. first model (17.9 rpm)



h. second model (17.9 rpm)



i. first model (20.9 rpm)



j. second model (20.9 rpm)

**Figure 1** Results of the first and second models at 5 speeds

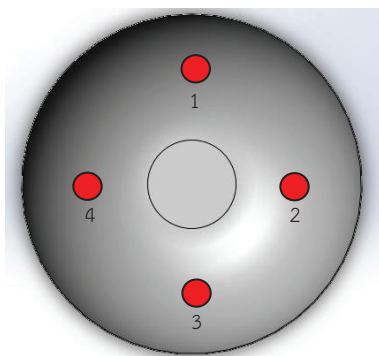
จากผลการจำลองทางของไหลจึงทำการสร้างชุดทดสอบและทำการทดลองการกระจายตัวในลักษณะการผสมกวนตามโครงสร้างแบบจำลองที่ 2 โดยใช้ลูกปัดสีส้มเป็นตัวอย่างในการพิจารณาการกระจายตัวในกลุ่มเมล็ดข้าวซึ่งจำลองให้เป็นน้ำมันที่ใช้ทอด เนื่องจากในการทดสอบการกระจายหากใช้ของเหลวลูกปัดจะจมลงสู่ก้นกระทะไม่สามารถสุ่มตักเพื่อนับจำนวนลูกปัด ณ ตำแหน่งนั้นได้ จากนั้นทดสอบการกวนผสมโดยใช้ความเร็ว 5 ระดับคือ 8.9 rpm, 11.9 rpm, 14.9 rpm, 17.9 rpm และ 20.9 rpm แล้วจึงสุ่มตักในตำแหน่งที่กำหนด 4 ตำแหน่ง (Figure 2a) ที่ความลึกจากผิวข้าวด้านบนลงไป 5 เซนติเมตร (Figure 2b) โดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480, 540, 600, 660 และ 720 วินาที ตามลำดับ [13] แล้วจึงนับจำนวนลูกปัดที่ได้โดยการคัดแยกจากตะแกรงร่อนในตำแหน่งที่กำหนดแล้วบันทึกผลการนับจำนวนลูกปัดเพื่อนำมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Coefficient of Variation,  $CV$ ) จากสมการ (5)

$$CV = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ  $CV$  คือ สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (%)  $SD$  คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งหาได้จากสมการที่ (6) และ  $\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (6)$$

เมื่อ  $X_i$  คือ ข้อมูลแต่ละจำนวน ส่วน  $n$  คือ จำนวนข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง



a. 4 sampling locations



b. Data collection example

Figure 2 Sampling and data collection locations

### การออกแบบระบบตรวจจับสีของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

การออกแบบระบบตรวจจับสีของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ขณะทอดด้วยการประมวลผลภาพเพื่อตรวจ

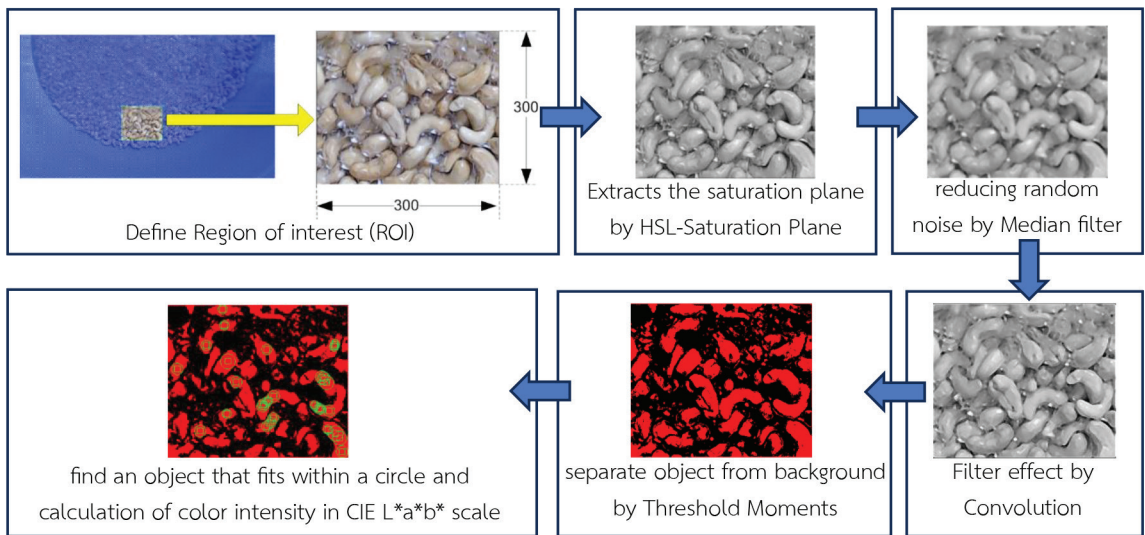
สอบระดับค่าสีที่เหมาะสมและใช้เป็นเงื่อนไขในการเปิด-ปิดวาล์วแก๊สที่ใช้ในกระบวนการทอดโดยออกแบบและติดตั้งกล้องถ่ายภาพเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ขณะทอดภาพที่จัดเก็บนั้นเป็นภาพเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ขณะทอดซึ่งสามารถอธิบายเป็นขั้นตอน (Figure 3) คือ 1) รับภาพดิจิทัลจากกล้องโดยกำหนดให้ภาพมีขนาด 1920 x 1080 พิกเซล 2) กำหนดขนาดกรอบ ROI (Region of Interest) เพื่อระบุบริเวณที่ต้องการวิเคราะห์หรือประมวลผลเป็นพิเศษภายในภาพ โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดขนาดกรอบ ROI เป็น 300 x 300 พิกเซล 3) ปรับภาพให้เป็นภาพสีเทาด้วยวิธี HSL-Saturation Plane เพื่อแปลงภาพสีให้เป็นภาพสีเทาโดยการใช้ค่าความอิ่มตัวของสีในระบบสี HSL (Hue, Saturation, Lightness) 4) การตัดสัญญาณรบกวนด้วย Median filter 5) ปรับปรุงภาพด้วยวิธี Convolution เป็นการใช้อนิตศาสตร์ฟิลเตอร์เพื่อนำรายละเอียดของภาพหรือเพิ่มความคมชัดของภาพ 6) การตัดส่วนของวัตถุด้วย Threshold moments เพื่อแยกวัตถุออกจากพื้นหลังโดยการกำหนดค่าความเข้มของพิกเซล (Threshold) เพื่อแบ่งแยกพิกเซลที่เป็นส่วนของวัตถุและพิกเซลที่เป็นส่วนของพื้นหลัง 7) ค้นหาวัตถุที่มีพื้นที่รองรับวงกลมขนาดรัศมีมากกว่า 8 พิกเซลขึ้นไปเพื่อนำตำแหน่งพิกัดของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาใช้ในการประมวลผล 8) นำตำแหน่งพิกัดของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์จากขั้นตอนที่ 7 มาปรับขนาดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 8 x 8 พิกเซลไปคำนวณความเข้มสีและค่าเฉลี่ยของความเข้มสีตามมาตรฐาน CIE  $L^*a^*b^*$  จากภาพต้นฉบับ วิธีดังกล่าวแสดงใน Figure 3 เมื่อนำข้อมูลความเข้มสีมาแสดงในระบบพิกัด  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  แล้วใช้วิธี K-means clustering ในการแบ่งกลุ่มตามระดับการทอดและให้จุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่มเป็นจุด Centroid ของกลุ่ม

เทคนิค K-means clustering เป็นหนึ่งในวิธีการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning) ที่ใช้สำหรับการจัดกลุ่มข้อมูล ซึ่งถือว่าเป็นวิธีที่เข้าใจง่าย ประมวลผลได้เร็ว และนิยมใช้อย่างแพร่หลาย โดยเซตของข้อมูล  $X = \{x_1, \dots, x_N\}$  ซึ่งประกอบด้วยเวกเตอร์ข้อมูล  $(x_{i1}, \dots, x_{id})^T \in \mathcal{R}^d$  จำนวน  $N$  ข้อมูล และแต่ละข้อมูลมี  $d$ -dimension [14] จะถูกจัดเข้ากลุ่มจำนวน  $K$  กลุ่ม โดยวิธีการหนึ่งในการหาระยะห่างหรือการพิจารณาความแตกต่างของข้อมูล (Dissimilarity function)  $D_{ik}$  (สมการ (7)) ของแต่ละเวกเตอร์  $x_i$  กับจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่ม (Centroid)  $C = \{c_k\}$  โดย  $k=1, \dots, K$  นิยมใช้วิธีระยะห่างยูคลิเดียน (Euclidean distance) [15]

$$D_{ik} = \sqrt{\sum_{l=1}^d (x_{il} - c_{kl})^2} \quad (7)$$

โดยขั้นตอนการดำเนินการเริ่มจากการระบุจำนวนกลุ่ม ( $K$ ) ที่ต้องการแบ่ง จากนั้นจึงกระจายข้อมูลออกเป็น  $K$  กลุ่ม โดยการกำหนดจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่ม ( $C_k$ ) ซึ่งได้มาจากการคำนวณค่าเฉลี่ยของข้อมูลในกลุ่ม การพิจารณาว่าข้อมูลควรอยู่ในกลุ่มใดขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างข้อมูลกับจุดศูนย์กลางของกลุ่มแต่ละกลุ่ม ( $D_{ik}$ ) โดยข้อมูลจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มที่มีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของกลุ่มน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางของกลุ่มอื่น



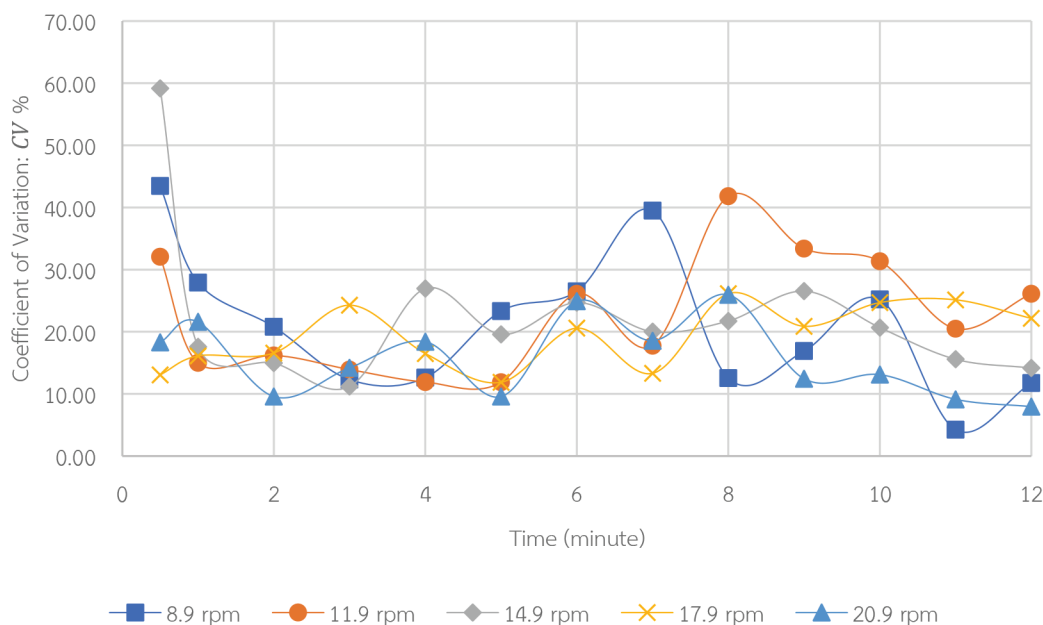


**Figure 3** Sampling location and data collection for color intensity calculation

เมื่อจัดกลุ่มข้อมูลทั้งหมดแล้วจะมีการคำนวณจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่มอีกครั้ง หากจุดศูนย์กลางมีการเปลี่ยนแปลงจากจุดเดิม โปรแกรมจะดำเนินการจัดกลุ่มซ้ำตามจุดศูนย์กลางใหม่จนกว่าจะได้ค่าจุดศูนย์กลางที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ผลลัพธ์ที่ได้คือข้อมูลที่มีความคล้ายคลึงกันจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันและข้อมูลที่มีความแตกต่างกันจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่ต่างกัน

## Result

จากผลการทดสอบการกระจายตัวของเครื่องทอดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยใช้ลูกปัดสีส้มเป็นตัวอย่างของข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่ความเร็วในการกวน 5 ระดับสามารถแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการทอดกับสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของแต่ละความเร็วในการหมุนกวนดังแสดงใน Figure 4



**Figure 4** Relationship between frying time and distribution of coefficient of variation for each rotational speed

จาก Figure 4 พบว่าเมื่อเริ่มการทดสอบที่เวลา 30 วินาที สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของความเร็วที่สามระดับแรกคือ 8.9 rpm, 11.9 rpm และ 14.9 rpm มีค่ามากกว่าร้อยละ 30 จากนั้นจึงค่อย ๆ ลดลงและต่ำกว่าร้อยละ 30 ตั้งแต่นาทีที่ 1 เป็นต้นไป โดยจะสังเกตเห็นว่าในช่วงเวลานาทีที่ 6-10 นั้น ที่ความเร็ว 8.9 rpm และ 11.9 rpm ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนมีการผันผวนเกิดขึ้น โดยมีค่าสูงขึ้นเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ขึ้นไปถึงร้อยละ 40 โดยประมาณและจะค่อย ๆ ลดลงอีกครั้งในช่วงหลังนาทีที่ 10 เป็นต้นไป ในขณะที่ความเร็ว 14.9 rpm ในช่วง 12 นาทีแรกไม่เกิดลักษณะที่สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนที่มีค่าสูงเกินค่าที่ยอมรับ (30%) โดยลักษณะที่เกิดขึ้นกับการทดสอบที่ความเร็วสองระดับแรกมีความผันผวนซึ่งต่างจากที่ความเร็วสองระดับสุดท้ายที่ 17.9 rpm และ 20.9 rpm ที่มีสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนต่ำกว่าร้อยละ 30 ตั้งแต่ 30 วินาทีแรก

เมื่อทดสอบการทอดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์กับน้ำมันและทดสอบตรวจจับความเข้มสีจากภาพถ่ายของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ขณะทอดในตำแหน่งเดียวกันทุก ๆ 2 นาที โดยจัดเก็บข้อมูลความเข้มสี  $CIE L^*a^*b^*$  จากภาพต้นฉบับของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์และได้เก็บตัวอย่างเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในขณะนั้นมาพักให้เย็น (Figure 5a) และตรวจวัดความเข้มสีด้วยเครื่องมือ Color meter (Figure 5b) โดยผลการตรวจวัดแสดงใน Table 1



a. Cashew nut samples



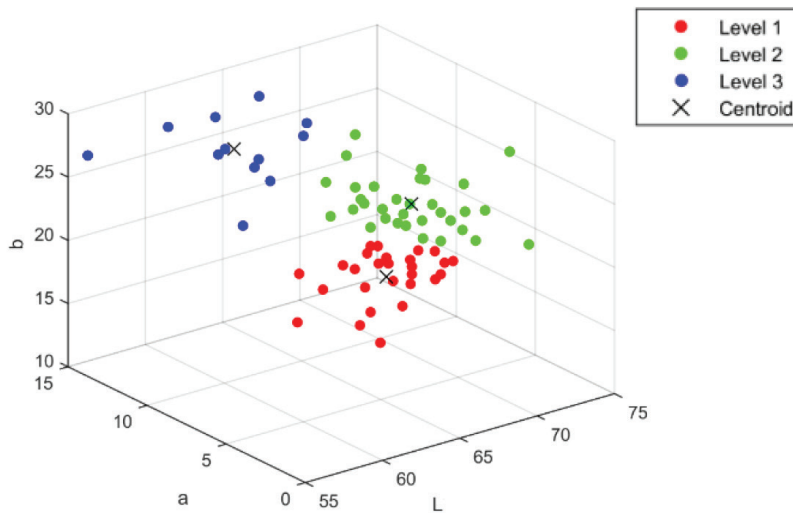
b. Color meter

Figure 5 Cashew nut samples and color meter

Table 1 Color intensities of cashew nuts at different times

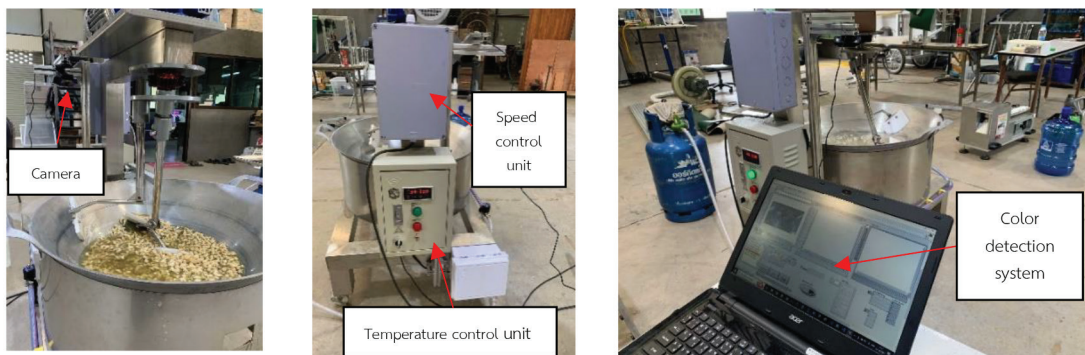
Time (minute)	Replication	Examples 1			Examples 2			Examples 3			Examples 4		
		L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
2	T1_1	66.25	5.14	23.41	66.09	5.28	18.81	62.52	6.24	18.81	66.31	4.7	23.46
	T1_2	64.47	4.61	21.17	68.37	4.87	20.63	68.38	4.87	18.4	66	4.59	17.27
	T1_3	67.34	4.92	21.03	70.38	4.27	21.12	73.52	3.97	19.91	67.86	4.54	24.71
4	T2_1	70.15	3.44	24.12	66.15	5.13	25.34	59.11	4.5	18.49	61.34	6.57	20.27
	T2_2	63.92	5.59	20.35	66.79	4.13	24.05	68.48	4.6	18.92	63.9	4.92	19.31
	T2_3	62.79	4.16	17.15	64.65	4.67	14.81	59.2	8.05	23.93	69.53	4.27	22.27
6	T3_1	68.63	4.74	23.69	65.15	4.8	21.3	67.41	5.51	19.9	68.37	5.62	21.16
	T3_2	69.56	4.2	25.92	68.93	5.05	21.11	64	4.67	17.47	64.9	5.55	23.3
	T3_3	68.71	4.22	23.32	64.09	6.5	20.01	65.69	5.19	20.4	65.78	5.94	21.28
8	T4_1	65.35	6.21	20.71	66.69	6.53	23.53	66.96	4.95	19.87	69.11	4.44	19.86
	T4_2	66.84	4.91	18.56	69.29	6.64	25.72	66.48	6.14	23.1	65.37	6.4	24.51
	T4_3	70.85	5.39	22.55	66.04	4.59	24.54	69.26	5.14	19.25	67.15	5.13	19.08
10	T5_1	65.98	7.69	23.03	69.97	7.05	24.4	65.61	9.05	24.49	73.62	5.28	26.39
	T5_2	66.46	8.05	24.39	69.72	7.14	24.51	68.84	6.93	22.94	64.32	7.5	23.2
	T5_3	67.26	7.64	24.44	66.29	7.53	23.83	62.05	10.11	26.27	65.01	5.64	21.73
12	T6_1	66.45	11.3	26.49	66.82	8.96	26.26	61.75	9.53	27.39	55.12	13.88	27.34
	T6_2	60.91	11.28	26.99	62.15	12.66	28.67	64.6	12.31	29.66	67.89	9.44	27.22
	T6_3	59.27	12.83	28.8	62.44	9.49	25.43	61.95	11.85	26.71	65.84	10.51	28.21

จากนั้นจึงทำการนำข้อมูลที่ได้มาจัดกลุ่มความเข้มสีของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยวิธี K-means clustering โดยกลุ่มข้อมูลความเข้มสีของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในแต่ละช่วงเวลารวมทั้งสิ้น 72 ตัวอย่าง ซึ่งได้กำหนดจำนวนการแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 3 กลุ่มดังแสดงใน Figure 6



**Figure 6** Cashew nut color intensity clustering graph using K-means

จาก Figure 6 พบว่ากลุ่มข้อมูลความเข้มสีของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ ระดับที่ 1 (Level 1) คือระดับเริ่มต้นการทอด ระดับที่ 2 (Level 2) คือการทอดอยู่ในระดับปานกลาง และระดับที่ 3 (Level 3) คือระดับการทอดที่เหมาะสมแสดงถึงการทอดเสร็จสิ้น นอกจากนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสีของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในขณะทอดจากระดับที่ 1 ถึงระดับที่ 3 ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่า  $L^*$  มีแนวโน้มลดลง และมีพิกัดจุด Centroid ของแต่ละระดับคือ (65.52444, 5.163704, 19.43852), (67.98606, 5.967273, 23.81636) และ (61.81083, 11.15, 27.1575) ตามลำดับ จากนั้นจึงนำระบบตรวจจับสีที่ได้ติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบการกวนเพื่อใช้ในการทอดจริงดังแสดงใน Figure 7 ผลที่ได้พบว่า การทอดด้วยเวลา 8 นาที ที่ความเร็ว 8.9 rpm ทำให้เมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีสีที่น่ารับประทาน



**Figure 7** Frying test of temperature control system using color detection system

## Discussion

ในการออกแบบชุดใบพัดกวนและทดสอบการหมุนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เมื่อกำหนดให้ใบพัดกวนอยู่ในระดับความสูงกึ่งกลางของกระทะแล้วปรับระดับความเร็วในการหมุนกวนเช่นเดียวกับงานวิจัยของ ภาณุวัฒน์ เพิ่มกร และคณะ [1] พบว่าเมื่อทำการผสมกวนอย่างต่อเนื่องลักษณะการไหลของของไหลจะเข้าสู่สภาวะคงตัว เมื่อความเร็วในการหมุนเพิ่มขึ้นการไหลของของไหลที่ใช้ทอดจะมีค่าเฉลี่ยความเร็วเพิ่มขึ้นแต่เกิดการกระจุกตัวของน้ำมันบริเวณใต้ชุดใบพัดกวน (Figure 1a, 1c, 1e, 1g และ 1i) ผู้วิจัยจึงได้เพิ่มชุดใบพัดกวนอีก 1 ชุดที่บริเวณตำแหน่งต่ำลงจากชุดแรก ผลที่ได้ทำให้สามารถลดการกระจุกตัวของของการไหล (Figure 1b, 1d, 1f, 1h และ 1j) ซึ่งสอดคล้องกับงานของ อิบรอ-เฮ็ง ปิยาและ นิโอะ ปูซู [6] ที่ทำการปรับระดับความสูงของชุดใบพัดทำให้การกระจายตัวของอนุภาคของแข็งแขวนลอยดีขึ้นเมื่อปรับระดับใบพัดกวนให้ต่ำลงจากนั้นเมื่อนำโครงสร้างใบกวนที่ได้จากการจำลองไปสร้างและทดสอบจริงด้วยความเร็ว 5 ระดับ (8.9 rpm, 11.9 rpm, 14.9 rpm, 17.9 rpm และ 20.9 rpm) แล้วสุ่มตัวอย่างเพื่อหาค่า  $CV$  เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การกระจายตัวโดยค่า  $CV$  ต่ำแสดงถึงการกระจายตัวที่ดี ( $CV$  ต่ำกว่าร้อยละ 30 เป็นค่าที่ยอมรับได้, อำนาจ ตงดีบ และพงษ์ธร วิจิตรกุล [13]) ผลที่ได้พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปการกระจายตัวของลูกบดที่ถูกกวนมีค่าดีขึ้นดังแสดงใน Figure 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการทอดกับสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของแต่ละความเร็วในการหมุนกวน ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของอำนาจ ตงดีบ และพงษ์ธร วิจิตรกุล [13] ที่ได้ทำการออกแบบเครื่องผสมข้าวที่มีใบกวนแบบริบบอนและใช้ค่า  $CV$  ในการทดสอบการกระจายตัว โดยแนวโน้มการกระจายตัวของการผสมข้าวดีขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการผสมนานขึ้น แต่ขณะที่การกระจายตัวในช่วงนาที่ที่ 6 ถึง 10 ของความเร็ว 8.9 rpm และ 11.9 rpm ค่า  $CV$  สูงเกินร้อยละ 30 เนื่องจากขณะทดสอบ ช่วงเวลาขณะหนึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวระนาบของใบกวนทั้ง 2 ชุดหมุนมาอยู่ในระนาบเดียวกัน ในรอบการหมุนที่ต่ำจะทำให้เกิดช่วงเวลาของการอยู่ในระนาบเดียวกันนานกว่ารอบการหมุนที่สูง ในส่วนของระบบตรวจจับระดับความเข้มข้นของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เพื่อแบ่งระดับผลการทอดพบว่าเมื่อทดสอบด้วยการถ่ายภาพแล้วนำมาวิเคราะห์ผลด้วยวิธี K-means clustering สามารถจำแนกกลุ่มข้อมูลได้ 3 กลุ่ม คือ ระดับที่ 1 (Level 1) คือระดับเริ่มต้นการทอด ระดับที่ 2 (Level 2) คือระดับการทอดอยู่ในระดับปานกลาง และ ระดับที่ 3 (Level 3) คือระดับการทอดที่เหมาะสมแสดงถึงการทอดเสร็จสิ้น ผลการแบ่งระดับการทอดสอดคล้องกับงานวิจัยในการแบ่งระดับความเข้มข้นในการคั่วเมล็ดกาแฟของวรพล มะโนสร้อย และคณะ [10] ที่สามารถแบ่งระดับการคั่วเป็น 3 ระดับคือ คั่วอ่อน คั่วกลาง และคั่วเข้ม แต่ละช่วงของการแบ่งระดับความเข้มข้นของการคั่วสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการหาระดับความสุกจากการทอดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในงานวิจัยนี้ และในส่วนสุดท้ายเป็นส่วนของการนำเครื่องทอดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไปใช้งานจริง ผลที่ได้พบว่าเวลาที่ใช้ในการทอดคือ 8 นาที ซึ่งเมื่อเทียบกับกระบวนการทอดจริงในวิสาหกิจชุมชนด้วยการใช้แรงงานคนในการ

กวนทอดที่ใช้เวลาประมาณ 10-12 นาที ต่อการทอดหนึ่งครั้งต่างกันว่าร้อยละ 20 ส่วนสีที่ได้จากเครื่องทอดมีความทั่วถึงและสม่ำเสมอมากกว่าคนทอด

## Conclusions

จากผลการวิจัยเครื่องทอดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยกระบวนการออกแบบใบกวนและระบบตรวจจับสีของการทอดที่เหมาะสมพบว่าในการออกแบบชุดใบพัดกวนทอดและจำลองผลของการกวนโดยอาศัยหลักการพลศาสตร์ของไหลพบว่าการติดตั้งใบพัดเพียงชุดเดียวบริเวณกลางกระทะทำให้เกิดการกระจุกตัวของน้ำมันบริเวณกลางกระทะ แต่เมื่อเพิ่มใบพัดอีกชุดในตำแหน่งที่ต่ำกว่าชุดแรกที่มีลักษณะเอียงเป็นแบบจำลองชุดที่สองสามารถลดการกระจุกตัวของของไหลบริเวณกลางกระทะได้ จากผลการจำลองจึงนำมาสร้างชุดทดสอบผลที่ได้พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของแต่ละความเร็วในการหมุนกวนลดลงต่ำกว่าร้อยละ 30 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ และที่ความเร็ว 17.9 rpm และ 20.9 rpm ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 30 ตั้งแต่ 30 วินาทีหลังจากเริ่มทดสอบ แต่ในการนำไปใช้ทอดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์จริงความเร็วดังกล่าวมีมากเกินไปจนอาจส่งผลให้เมล็ดมะม่วงหิมพานต์เกิดการแตกหักเสียหายได้จึงแนะนำให้ใช้ความเร็ว 8.9 rpm ในการกวนเนื่องจากสามารถทำให้การกระจายตัวต่ำกว่าร้อยละ 30 ได้ในช่วง 1 นาทีแรกหลังจากเริ่มการทอดซึ่งไม่ต่างจากที่สองความเร็วสุดท้ายที่ใช้เวลา 30 วินาที ในส่วนของการตรวจจับสีจากการถ่ายภาพของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ระหว่างทอดโดยใช้วิธี K-means clustering พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ ระดับที่ 1 (Level 1) คือระดับเริ่มต้นการทอด ระดับที่ 2 (Level 2) คือการทอดอยู่ในระดับปานกลาง และ ระดับที่ 3 (Level 3) คือระดับการทอดที่เหมาะสมแสดงถึงการทอดเสร็จสิ้นโดยการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสีของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในขณะทอดจากระดับที่ 1 ถึงระดับ 3 ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่า  $L^*$  มีแนวโน้มลดลงและมีพิกัดจุด Centroid ( $L, a, b$ ) ของกลุ่มข้อมูลความเข้มสีของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ระดับที่ 1, ระดับที่ 2 และระดับที่ 3 เป็น (65.52444, 5.163704, 19.43852), (67.98606, 5.967273, 23.81636) และ (61.81083, 11.15, 27.1575) ตามลำดับ ในการทอดหากสีของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีค่าสีถึงระดับที่ 3 จะทำการหยุดกระบวนการทอดทันที และในส่วนของการทอดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ผ่านระบบควบคุมอุณหภูมิร่วมกับการใช้ระบบตรวจจับสีพบว่าเวลาที่ใช้ในการทอด คือ 8 นาที ที่ระดับความเร็วที่ 1 (8.9 rpm) ซึ่งเป็นความเร็วที่แนะนำในการใช้ทอดเนื่องจากการออกแบบใบกวนสองใบทำให้เกิดการกระจายตัวของการทอดดีขึ้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ความเร็วในการทอดสูงและช่วยลดการแตกหักของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ระหว่างทอด

## Acknowledgements

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) : งบประมาณด้าน ววน. ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2567 และคณะวิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการจัดการวัฏกรรมเพื่อสังคมมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และทรัพยากรในการทำวิจัย

## References

1. Phermkorn, P., Khunatorn, Y. and Attanatho, L., 2021, "Analysis of Mixing Capability in Stirred Tank Reactor Using Computational Fluid Dynamics," *Engineering Journal Chiang Mai University*, 28 (1), pp. 30-44. (In Thai)
2. Chandrasekaran, M., Santhanam, V. and Venkateshwaran, N., 2021, "Impeller Design and CFD Analysis of Fluid Flow in Rotodynamic Pumps," *Proceedings of Materials Today*, 37, pp. 2153-2157.
3. Torotwa, I. and Changying, J., 2018, "Mixing Performance of Counter-Axial Flow Impeller Using Computational Fluid Dynamics," *International Journal of Current Engineering and Technology*, 8 (2), pp. 283-289.
4. Jingze, L., Dongrong, M. and Xun, Q., 2020, "Numerical Investigation of Flow Field and Energy Loss in a Centrifugal Pump as Turbine," *Hindawi: Shock and Vibration*, 2020 (1), pp. 1-12. <http://doi.org/10.1155/2020/8884385>.
5. Lahamornchaiyakul, W., 2021, "Designing and Flow Field Analysis of Agitation Turbine Using Numerical Simulation," *Journal of Engineering and Innovation*, 14 (1), pp. 105-144. (In Thai)
6. Ibroheng, P. and Ni-oh, P., 2019, "Numerical CFD Simulation Flow of Radial Impellers in Reactor Tanks for Durian Peel Synthesis," *Princess of Naradhiwas University Journal*, 11 (3), pp. 128-139. (In Thai)
7. Adebukola, A.A. and Patrick, O.A., 2019, "Development and Evaluation of a Fish Feed Mixer," *CIGR Journal*, 21 (3), pp. 226-233.

8. Balami, A.A., Adgidzi, D. and Mua'zu, A., 2013, "Development and Testing of an Animal Feed Mixing Machine," *International Journal of Basic and Applied Science*, 1 (3), pp. 491-503.
9. Apisak, P. and Pitak, K., 2017, "Use of Image Processing to Classify Ripeness Level of Long Lub-Lae Durian via Evaluation of Its Peel Color," *KMUTT Research and Development Journal*, 40 (2), pp. 189-202. (In Thai)
10. Worapon, M., Apisak, P. and Wattanapong, J., 2024, "Classification of Coffee Beans Color Level during Roasting by Feed Forward Back Propagation Neural Network," *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 34 (3), pp. 1-11. <http://doi.org/10.14416/j.kmutnb.2022.09.006>. (In Thai)
11. Chantasit, K., Muisee, K. and Jittapatanakhun, S., 2021, "Development of Mangosteen Stirrer Machine with Semi – Automatic Temperature Controller for Ban Tha Sara Community Enterprise, Thamai District, Chanthaburi Province," *Rajabhat Rambhai Barni Research Journal*, 12 (1), pp. 58-67. (In Thai)
12. Dechaumphai, P., 2016, *Computational Fluid Dynamics by Finite Element and Finite Volume Methods*, 3<sup>rd</sup> ed., Chula Press, Bangkok, pp. 37-43.
13. Amnad, T. and Pongtorn, W., 2022, "Design and Test of Horizontal Rice Mixer with Ribbon Stirring Blade," *Academic Journal Uttaradit Rajabhat University*, 17 (2), pp. 37-54. (In Thai)
14. Xu, R. and Wunsch, D., 2005, "Survey of Clustering Algorithms," *IEEE Transactions on Neural Networks*, 16 (3), pp. 645-678. <http://doi.org/10.1109/TNN.2005.845141>.
15. Jain, A.K., 2010, "Data Clustering: 50 Years Beyond K-means," *Pattern Recognition Letters*, 31 (8), pp. 651-666. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2009.09.011>.