การออกแบบและจำลองพลศาสตร์ของไหลของใบกวนผสมในถังสำหรับของไหลผสม

Design and CFD Simulation of Agitating Blade in Tank for Mixing Fluids

วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก

Werayoot Lahamornchaiyakul

Department of Mechanical Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok Campus.

***Corresponding author E-mail:** werayootrmutl@gmail.com

Received: December 23, 2019 **Revised:** March 20, 2020 **Accepted:** March 25, 2020

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ทำการวิจัยเรื่องการผสมของน้ำแอปเปิ้ลและน้ำ และทำการวิเคราะห์เพื่อหาเวลาและประสิทธิภาพในการผสมที่ใช้ใบกวนในกระบวนการทำน้ำผลไม้โดยใช้ระเบียบวิธีการทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ตัวแปรที่สำคัญในงานวิจัยนี้คือ ใบกวนที่ทำมุม 30, 35, 40 และ 45 องศา หมุนด้วยรอบการหมุนเท่ากันคือ 60 รอบต่อนาที ผลการทดสอบการผสมของน้ำแอปเปิ้ลและน้ำเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาตร พบว่าที่มุม 30 องศาของใบกวนที่ใช้ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที สามารถผสมกันได้ 60 % ที่เวลา 8 วินาที และการใช้ใบกวนแบบ 35, 40 และ 45 องศา น้ำแอปเปิ้ลสามารถเคลื่อนที่ไปผสมกับน้ำได้ 30 % ที่ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที นอกจากนี้การใช้ใบกวนที่มุม 30 องศาจะให้ค่าการหมุนวนของของเหลวได้ดีกว่ามุม 35, 40 และ 45 องศาเมื่อทำการเปรียบเทียบกัน

คำสำคัญ: เทคนิคการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหล ใบกวนผสม การจำลองเชิงตัวเลข

Abstract

This study aims to research the characteristics of mixing between apple water with water fluids and analysis for find of optimum time and evaluate the performance of mixing tank using 30, 35, 40 and 45-degree angle of agitating blade for apple juice processing. In numerical simulations of agitating blade at 30, 35, 40 and 45-degree angle is tested in the range operate is 60 rpm. It is found from numerical results that mixing is enhanced when rotating speed increases. Apple water can be mixing with water by 60 % at use 30-degree angle of the agitating blade by using time is 8 second and Apple water can be mixing with water by 30 % at operate 60 rpm by using 35, 40 and 45-degree angle. In addition, swirling mixing fluid by 30-degree angle is higher when compare using 35, 40 and 45-degree angle.

Keywords: Computational Fluid Dynamics, Impeller Blade, Numerical Simulation

1. บทนำ

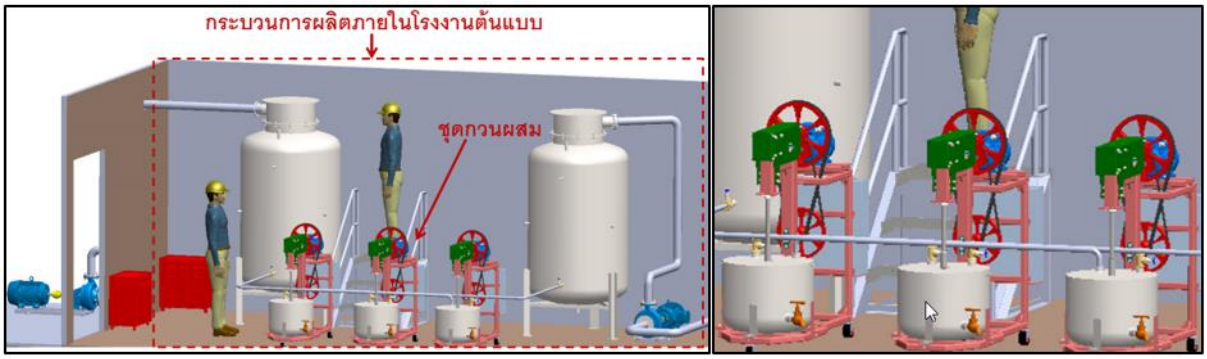
น้ำผลไม้ที่มีให้บริโภคในปัจจุบันมีมากมายหลากหลายชนิด และได้ผ่านกรรมวิธีทางอุตสาหกรรมอาหารทั้งในเรื่องของการปรุงแต่งรส การใช้สารเติมแต่งต่าง ๆ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนาน ทำให้น้ำผลไม้ดังกล่าว ขาดความสดที่ผู้บริโภคต้องการ เพราะพฤติกรรมการบริโภคของคนเปลี่ยนไป ซึ่งหันมาบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้นทุกปี ทำให้ความต้องการของอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพนั้นมีความต้องการที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการกระจายตัวของอุตสาหกรรมอาหารด้านนี้ โดยกระจายไปยังอุตสาหกรรมครัวเรือนที่อยู่ในรูปของกลุ่มเกษตร และสินค้าดังกล่าวจึงถูกผลิตออกมาในรูปของหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ ทำให้กลุ่มแม่บ้านภาคเหนือที่ทำสวนผลไม้หลากหลายชนิด พยายามคิดค้นสูตรและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เป็นของตัวเองเพื่อใช้เป็นแนวทางในการแปรรูปน้ำผลไม้เพื่อเพิ่มมูลค่าของสินค้าเกษตรที่มีมากและอาจล้นตลาดได้ในอนาคต ทำให้ปัจจุบันการพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรด้านต่าง ๆ ทั้งอาหาร ขนม เครื่องดื่ม ฯลฯ ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในภาคอุตสาหกรรมครัวเรือนของประเทศมากขึ้นทุกปี เพราะประเทศไทยเป็นศูนย์กลางในด้านอาหารที่สำคัญต่อตลาดทั้งในเอเชียและและถูกนำไปส่งออกในหลากหลาย ๆ ประเทศในแถบยุโรป [1] อีกทั้งรัฐบาลยังกำหนดนโยบายหลักของแผนพัฒนาประเทศโดยให้เน้นงานด้านอุตสาหกรรมเกษตร เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี มาพัฒนานวัตกรรมไปพร้อมกับการพัฒนาต้นแบบในธุรกิจอาหารและกลุ่มงานเกษตร และวิสาหกรรม เพื่อการแข่งขันและการดำเนินการใช้ภายในประเทศและส่งออก

หลักการดังกล่าว คือ ต้องการนำนวัตกรรมสมัยใหม่พร้อมกำลังงานคนทุกภาคส่วนมาพัฒนาต้นแบบธุรกิจเกษตร เพื่อเพิ่มมูลค่าของสินค้าให้สูงขึ้นเพื่อให้สินค้าเกษตรที่ผลิตมีมาตรฐานสากลเป็นไปตามตลาดต่างประเทศที่ต้องการ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ภายในประเทศจึงมีความสำคัญมากในปัจจุบัน ทั้งผลิตผลที่ได้จากกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร กลุ่มวิสาหกิจชุมชน และอื่น ๆ [2] กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ถือว่าเป็นหัวใจหลักที่ช่วยแปรรูปผลผลิตเกษตรในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อการค้าในชุมชน ประเทศ และการส่งออกที่สำคัญ โดยเฉพาะในปัจจุบัน น้ำผลไม้สดกำลังเป็นที่นิยมมากในกลุ่มผู้บริโภคที่ต้องการรักษาสุขภาพ เพราะเป็นอีกหนึ่งผลิตผลทางการเกษตรที่ได้จากการแปรรูปจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่ก่อตั้งขึ้นของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร รูปแบบการบริโภคที่เปลี่ยนไปของประชากรที่รักษาสุขภาพจึงทำให้ธุรกิจด้านนี้เข้ามีบทบาทในอุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบัน การนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการออกแบบรูปทรงของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ทั้งในส่วนการออกแบบบรรจุภัณฑ์ การออกแบบเครื่องจักรในการแปรรูป ตลอดจนกระบวนการผลิตต่าง ๆ ให้มีระบบการทำงานที่เหมาะสม ด้วยเหตุนี้ผู้ผลิตต้องคำนึงถึงมาตรฐานในผลผลิตที่ได้แปรรูปด้วย ดังนั้นการออกแบบจึงมีความสำคัญมากในการผลิตสินค้า การออกแบบใบกวนผสมให้เหมาะสมกับงานที่ใช้ จะส่งผลทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพ ซึ่งการออกแบบใบกวนผสมที่เหมาะสมกับงาน จำเป็นต้องอาศัยเทคนิคด้านพลศาสตร์ของไหลเข้ามาช่วยในการออกแบบและจำลองสนามการไหลของของไหลที่ผสมเพื่อตรวจเช็คข้อดี ข้อเสียในกระบวนการก่อนการผลิตจริง

การออกแบบใบกวนผสมได้ถูกนำไปใช้ในงานวิจัยในด้านต่าง ๆ ทั้งในส่วนของการกวนผสมน้ำมันพืชและเมทานอล [3] และการผสมวัตถุที่เป็นของแข็งและของเหลว จากการศึกษาและออกแบบใบกวนผสมที่พบมากในงานวิจัยส่วนใหญ่คือทำการศึกษาในเรื่องของการผสมเชิงปริมาณ (Quantitative mixing) ในถังผสมโดยวิธีการคำนวณหาค่าการกระจายตัวของอนุภาค [4] ทำการศึกษาการผสมของของไหลในถังผสมโดยใช้ใบกวนพบว่าลักษณะการผสมอย่างมีประสิทธิผลเกิดขึ้นบริเวณใกล้กับใบกวน [5]

ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแอปเปิ้ลที่ได้จากอุตสาหกรรมครัวเรือน โดยงานวิจัยได้อ้างอิงแบบจำลองกระบวนการผลิตโรงงานผลิตน้ำแอบเปิ้ลจากงานวิจัยเรื่อง การจำลองของไหลผสมในอุตสาหกรรมอาหารโดยใช้เทคนิคทางพลศาสตร์ของไหล ดังรูปที่ 1 ซึ่งผลของงานวิจัยพบว่าค่า

ความเร็วในแนวรัศมีที่ใช้ใบกวนผสมแบบ Helix Blade และ Curve Blade จะมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญต่อรูปทรงใบกวนและรูปทรงของถังผสม [1] ในการจำลองเชิงตัวเลขได้แสดงการเปลี่ยนความสูงของใบพัดกวนต่อการเปลี่ยนแปลงขอบเขตของการไหลสำหรับสารที่เป็นของผสม [6] การศึกษาลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นกับรูปทรงใบพัดแบบ 4 ใบที่ทำมุม 45 องศา โดยใช้เทคนิคแบบ (Laser Doppler Velocimetry, LDV) สำหรับเปรียบเทียบกับการจำลองเชิงตัวเลข ผลวิจัยพบว่า ในช่วงการไหลแบบราบเรียบที่บริเวณใบพัดจะมีการไหลแบบแนวรัศมีมากกว่าการไหลแบบแนวแกน [7] ในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นที่จะทำการออกแบบและทำการศึกษาตัวแปรของโมเดลต้นแบบของใบกวนผสมที่ทำมุม 30, 35, 40 และ 45 องศา เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเลือกใช้ใบกวนผสมที่เหมาะสมในการกวนผสมอัตราส่วนของน้ำแอปเปิ้ลกับน้ำที่ต้องการ



รูปที่ 1 แสดงองค์ประกอบของกระบวนการผลิตจำลอง [1]

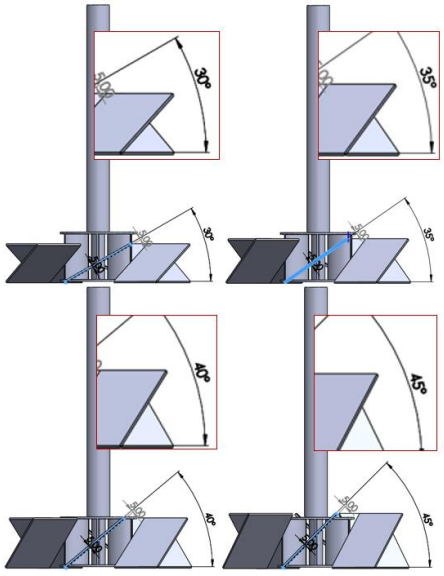
2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

ทำการออกแบบมุมใบกวนผสมที่เหมาะสมในการผสมน้ำแอปเปิ้ลกับน้ำ

3. ระเบียบวิธีวิจัย

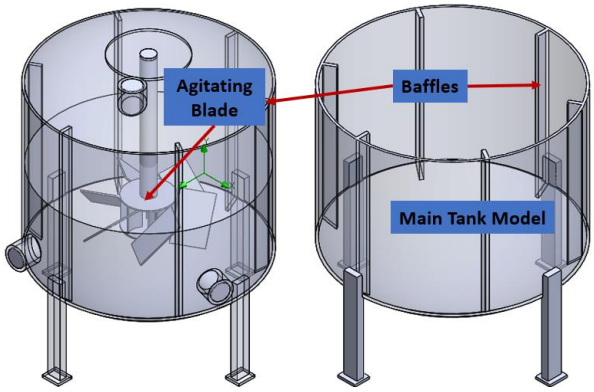
3.1 ออกแบบแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์

ทำการออกแบบรูปทรงใบกวนผสมโดยใช้โปรแกรม Solidworks ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปทรงใบกวนผสมที่ทำการออกแบบ [9]

จากรูปที่ 2 แบบจำลองใบกวนผสมที่ทำการออกแบบจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 498 มิลลิเมตรที่เท่ากัน ส่วนใบกวนผสมที่ทำมุม 30, 35, 40 และ 45 องศาจะมีความสูงของใบพัด 103, 118, 131 และ 144 มิลลิเมตรตามลำดับ ในงานงานวิจัยได้ทำการติดตั้ง Baffles ที่มีขนาด 14x50 มิลลิเมตร ทั้งหมด 6 อันดังรูปที่ 3



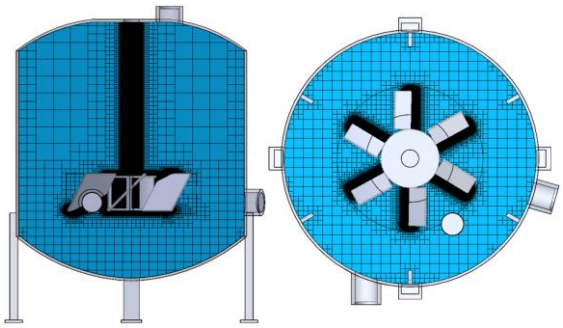
รูปที่ 3 ถังผสมที่ติดตั้ง Baffles และใบกวนผสม [9]

สำหรับระบบพิกัดในการวิเคราะห์ กำหนดให้แกน Y อยู่ในแนวแกนตั้งที่มีทิศทางเดียวกันกับแกนเพลาของใบกวนผสม โดยกำหนดให้จุดพิกัดของระบบพิกัดในการวิเคราะห์อยู่ที่ผิวด้านในของถังผสม ได้ทำการติดตั้งชุดมอเตอร์ที่มีค่าความเร็วรอบการหมุน 60 รอบต่อนาที

สร้างการไหลด้วยใบกวนผสมในถังผสมที่มีขนาด 880 มิลลิเมตร ทำการทดสอบระบบการทำงานโดยการปรับมุมองศาของใบกวนผสมที่ทำมุม 30, 35, 40 และ 45 องศา ตามลำดับ

3.2 โมเดลในการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหล

การวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหล เป็นเครื่องมือหลักสำหรับงานวิจัย โดยมีขั้นตอนในการวิจัยคือ นำชิ้นงาน 3 มิติที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรม Solidworks เข้ามาสู่โหมดฟังก์ชันของ Solidworks Flow Simulation หลังจากนั้นจึงนำชิ้นงานที่นำเข้ามา นำไปทำการสร้างเมชเอลิเมนต์จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 เมชเอลิเมนต์ขององค์ประกอบการวิเคราะห์

แล้วทำการกำหนดปริมาตรการไหลของน้ำที่ทางเข้าที่ 1 มีค่า 0.02 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยน้ำมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 999.79 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่าความหนืดเท่ากับ 0.0017912 ปาสคาล-วินาที และกำหนดปริมาตรการไหลของน้ำแอปเปิ้ลที่ทางเข้าที่ 2 มีค่า 0.015 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยน้ำแอปเปิ้ลมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่าความหนืดเท่ากับ 2.92 ปาสคาล-วินาที เพื่อให้ของไหลไหลเข้าไปในถังผสมในอัตราส่วนที่เท่ากัน โดยเป็นการผสมแบบต่อเนื่อง (Continuous mixing) และทำการกำหนดรอบการหมุนของใบกวนผสมที่รอบการหมุนคงที่ 60 รอบต่อนาที ซึ่งรูปแบบการหมุนในงานวิจัยเป็นแบบ (Local Region Sliding) การจำลองการไหลเป็นแบบระบบ 3 มิติ แบบคงตัว โดยแบบจำลองความปั่นป่วนที่ใช้ในงานวิจัยเป็นแบบ k-epsilon model

3.3 แบบจำลองความปั่นป่วน k-epsilon model

สมการอนุรักษ์มวล

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla.(\rho u) = 0 \quad (1)$$

สมการเชิงอนุรักษ์โมเมนตัม

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i}\left[\mu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\right] \quad (2)$$

แบบจำลอง k-epsilon model

k-epsilon model เป็นเทอมของ Reynolds Stress, จะถูกสร้างเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ Mean Stress Rate โดย Eddy Viscosity จะกำหนดให้มีความสัมพันธ์กับ Turbulent Kinetic Energy, (K) และ Dissipation Rate (ε) โดยใช้ Bossiness's approximation [7] คือ

$$t_{ij} = -\frac{2}{3}\delta_{ij}(\rho k) + u_t\left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right] \quad (3)$$

โดยที่ $u_t = \rho c_u k^2/\varepsilon$ คือ Turbulent Eddy Viscosity สมการของ Turbulent Kinetic Energy (TKE) (k) จะอยู่ในรูป [6]

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\frac{u_e}{\sigma_k} + \frac{\partial_k}{\partial x_j}\right] + G - \rho\varepsilon \quad (4)$$

สมการของ Dissipation Rate ของ Turbulent Kinetic Energy [7] จะได้

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\frac{u_e}{\sigma_k} + \frac{\partial_k}{\partial x_j}\right] + \frac{\varepsilon}{k}(C_{\varepsilon 1}G - C_{\varepsilon 2}\rho\varepsilon) \quad (5)$$

ซึ่ง G แทน Generation Rate of Turbulent Kinetic Energy ขณะที่ $\rho\varepsilon$ เป็น Dissipation Rate โดย G จะเป็น

$$G = u_e\left[\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right] \quad (6)$$

ค่าตัวแปรขอบเขตต่าง ๆ ของ Turbulent ที่ใกล้ผนังสามารถหาค่าได้จาก Wall Function โดยมีค่าคงที่ ที่เกี่ยวข้องกับค่าสมการต่าง ๆ ที่ผ่านมาดังนี้คือ

σ_k =1.0, σ_ε =1.3, $c_{\varepsilon 1}$ =1.44, $c_{\varepsilon 2}$ =1.92, และ c_u =0.09 เป็นค่าคงที่ [6,7] โดยที่ $u_e = u_t + u$

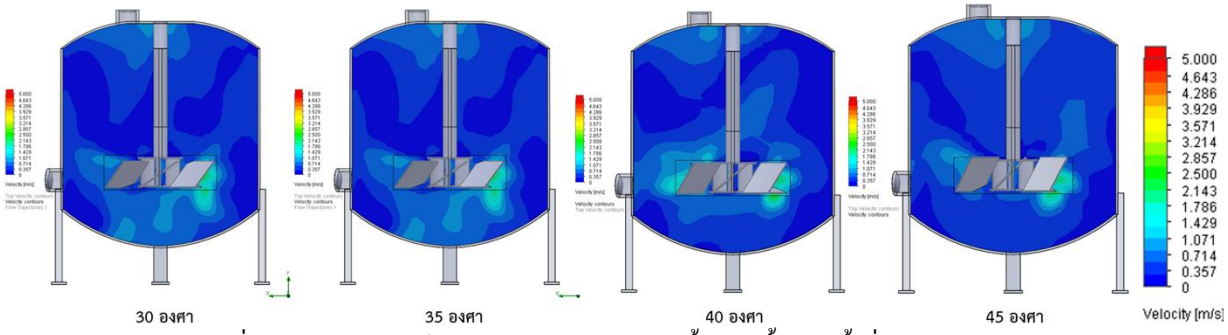
4. ผลการทดลอง

จากการจำลองผลสำหรับการผสมของน้ำแอปเปิ้ลและน้ำในงานวิจัยนี้ ซึ่งขั้นตอนและวิธีการจะทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการทดสอบจากมุมองศาของใบกวนผสมดังรูปที่ 2 และทำการกำหนดรอบการหมุนของใบกวนผสมที่ 60 รอบต่อนาที เพื่อทำการแสดงสนามการไหลของของผสมระหว่างน้ำแอปเปิ้ลและน้ำโดยใช้โปรแกรม Solidworks Flow Simulation โดยทำการยืนยัน

ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย เพื่อแสดงความเร็วสนามการไหล, ความเร็วในแต่ละระนาบในทิศทางแกน Y, การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบใบกวนผสม และความเร็วในแนวรัศมี ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหลสามารถแสดงได้ดังนี้

4.1 ผลลัพธ์ Plot Contour ของความเร็วในถังผสม

จากการวิเคราะห์สามารถแสดงสนามการไหลของของอัตราการผสมระหว่างน้ำแอปเปิ้ลและน้ำภายในถังผสมที่ใช้ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ส่งผ่านมาที่ใบกวนผสม 60 รอบต่อนาที ที่เวลา 8 วินาที ดังรูปที่ 5

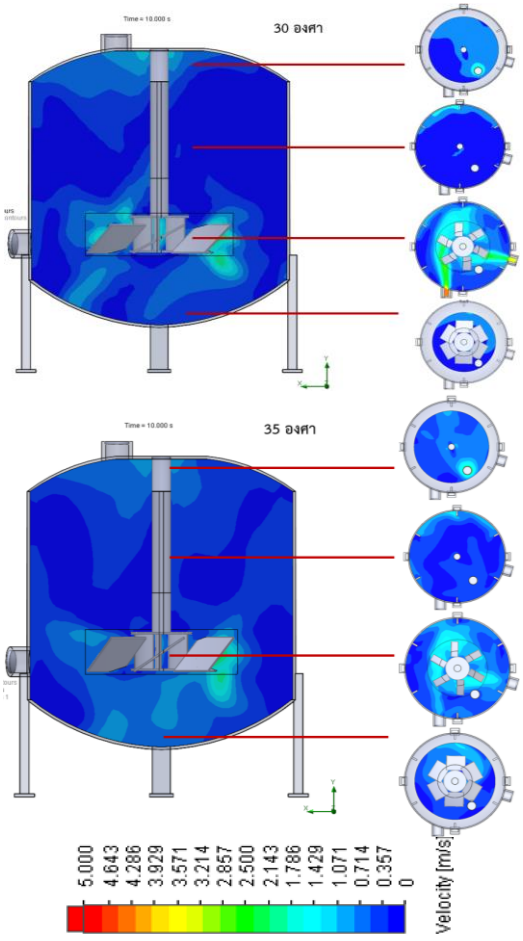


รูปที่ 5 แสดงสนามการไหลของของผสมระหว่างน้ำแอปเปิ้ลและน้ำที่เวลา 8 วินาที

4.2 ความเร็วในแต่ละระนาบในทิศทางแกน Y

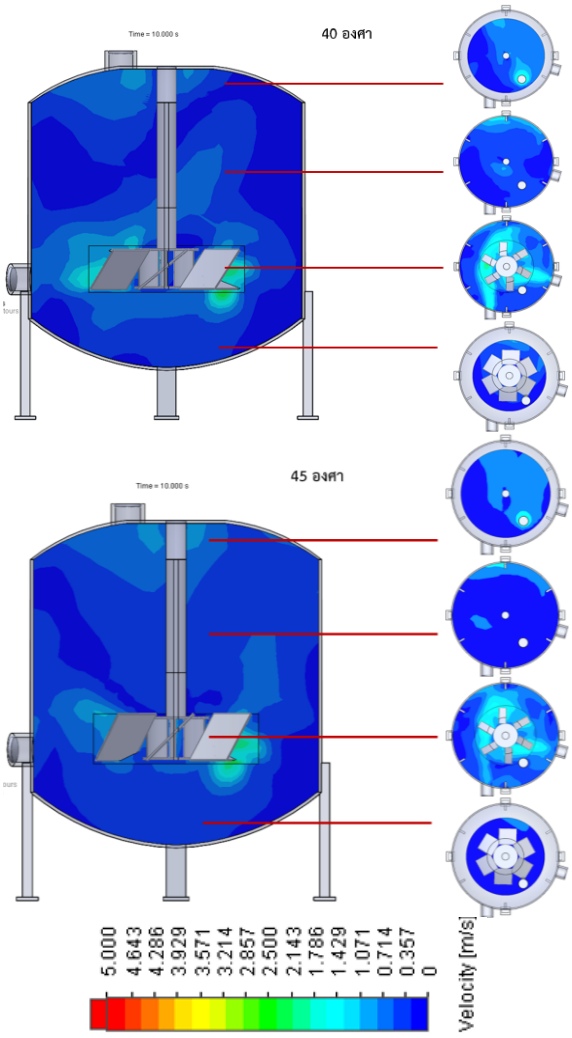
แสดงความเร็วในแต่ละระนาบในทิศทางแกน Y ระหว่างน้ำแอปเปิ้ลและน้ำภายในถังผสมที่ความเร็วใบกวนผสม 60 รอบต่อนาที ที่เวลา 8 วินาที

- ที่มุม 30 และ 35 องศา ความเร็ว 60 รอบต่อนาที



รูปที่ 6 ความเร็วที่มุม 30 และ 35 องศา

- ที่มุม 40 และ 45 องศา ความเร็ว 60 รอบต่อนาที



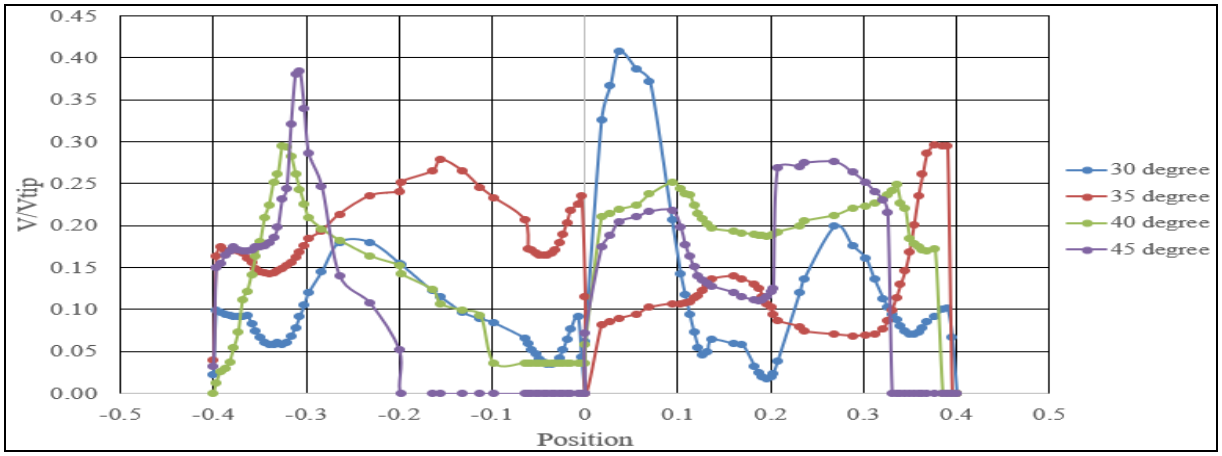
รูปที่ 7 ความเร็วที่มุม 40 และ 45 องศา

รูปที่ 6-7 แสดงค่าความเร็วของสนามการไหลในระนาบต่าง ๆ ในรูปแบบการแสดงผลแบบ Cut plot โดย

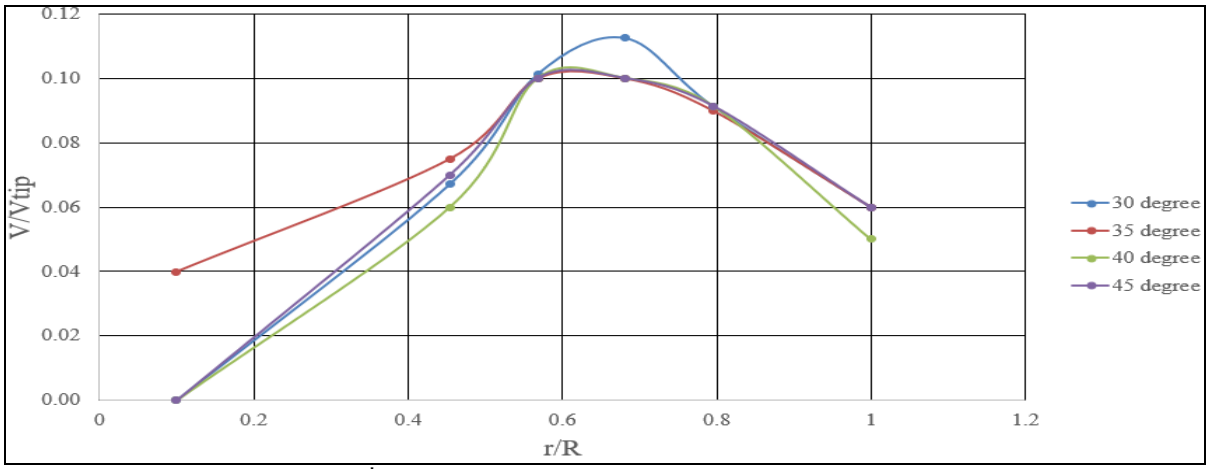
ทำการตัดระนาบในทิศทางแกน Y และมีการกำหนดให้ใบกวนผสมหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา โดยมีการสร้างอัตราการไหลในแนวรัศมีของใบกวนผสม ส่งผลทำให้เกิดค่าความเร็วของการเคลื่อนที่ในการไหลของของไหลผสมสูงสุดได้ที่มุม 30 องศา และเมื่อทำการพิจารณาในบริเวณโดยรอบใบกวนผสมในแต่ละมุมองศาพบว่าใบกวนผสมจะสร้างความเร็วที่มีความแตกต่างกันระหว่างการจำลอง และความเร็วที่เกิดขึ้นในแต่ละ มุมองศาจากการทดลองก็สามารถยอมรับได้ในทางวิศวกรรม เนื่องจากความเร็วที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงเดียวกัน

4.3 ผลลัพธ์ความเร็วสูงของใบกวนผสมที่มีผลต่อความเร็วในแนวแกน

การแสดงค่าความเร็วในแนวแกนตามแนวรัศมีของถังผสมทรงกระบอก โดยทำการตัดระนาบในทิศทางแกน Y โดยทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการทดสอบการหมุนของใบกวนผสมที่มุม 30, 35, 40 และ 45 องศา ตามลำดับ เมื่อทำการพิจารณาบริเวณพื้นที่ด้านล่างของใบกวนผสม ดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่าที่มุมองศา 30 จะให้ค่าระดับความเร็วของสนามการไหลของของไหลสูงกว่ามุมองศาของใบกวนผสมอื่น และส่งผลให้เกิดการผสมตัวได้ดี



รูปที่ 8 ผลรวมของความเร็วในแนวแกนตามแนวรัศมี



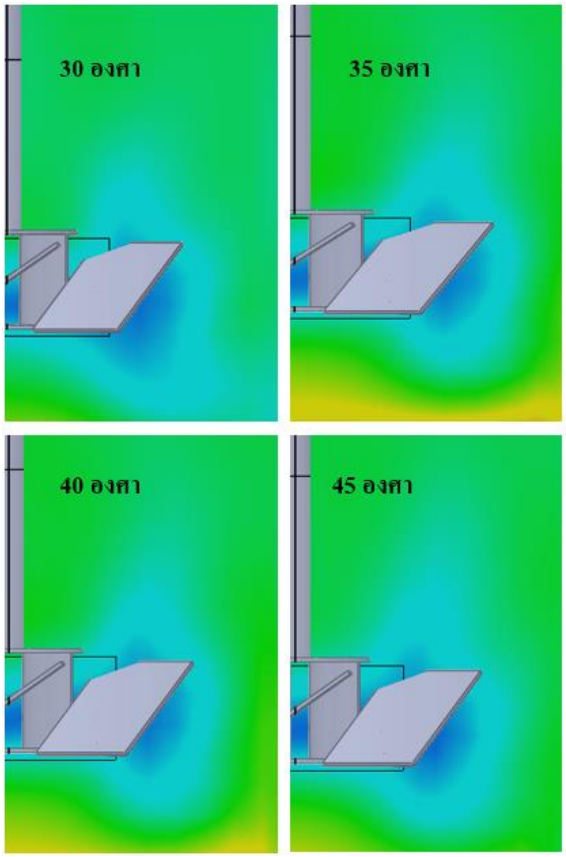
รูปที่ 9 ผลรวมของค่าความเร็ว V/V_{tip} ของมุมองศาต่าง ๆ

จากรูปที่ 9 จะเห็นว่าที่ r/R น้อยกว่า 0.6 ค่าความเร็ว V/V_{tip} จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ r/R เพิ่มขึ้น และที่ r/R มากกว่า 0.5 ค่าความเร็ว V/V_{tip} จะมีค่าลดลงซึ่งค่าที่ทำนายสามารถแสดงแนวโน้มเช่นเดียวกับผลการทดลอง นอกจากนี้ความแตกต่างระหว่างการจำลองและการทดลองอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองของถังผสมและใบกวนผสมที่ทำมุม 30 องศานี้สามารถนำมาใช้เพื่อใช้ศึกษาอิทธิพลของรูปร่างของใบกวนผสมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผสมได้

เมื่อทำการพิจารณาแบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหลและทำการศึกษาประสิทธิภาพการผสมที่มุมองศาของใบกวนผสม 30 35 40 และ 45 องศา พบว่า เวลาผสมเฉลี่ยของใบกวนผสม คือ 8 9 9.5 และ 10 วินาที ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุของความแตกต่างที่

เกิดขึ้นในเวลาของการผสมของน้ำแอปเปิ้ลกับน้ำ สามารถทำการอธิบายรูปแบบการกระจายตัวของความเข้มข้นได้ดังรูปที่ 10

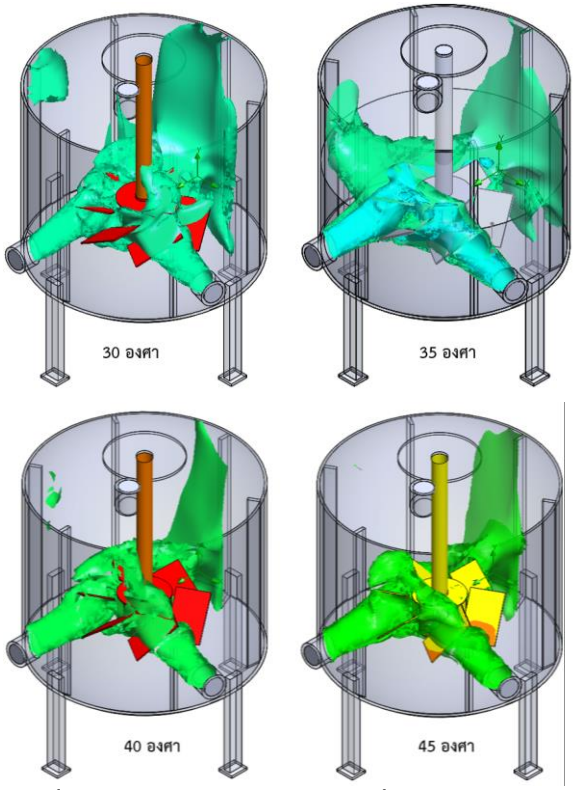
เวลา 8 นาที



รูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นในการผสมน้ำแอปเปิ้ลกับน้ำที่เวลา 8 นาที

จากรูปที่ 10 พบว่าที่มุม 30 องศาของใบกวนผสม จะสร้างการกระจายตัวของความเข้มข้นในการผสมน้ำแอปเปิ้ลกับน้ำให้เข้ากันได้ดีสุดที่เวลา 8 นาที เนื่องจากมุมองศาใบกวนผสมที่ 30 องศาจะสามารถสร้างความเร็วในการตีผสมและมีการสัมผัสระหว่างใบกวนผสมกับของไหลสองชนิดที่มีรูปแบบการผสมแบบต่อเนื่องมากขึ้น จึงส่งผลทำให้เกิดการผสมของมวลสารที่เพิ่มขึ้น ทำให้ได้อัตราการผสมของน้ำแอปเปิ้ลที่เคลื่อนที่ไปผสมกับน้ำได้ 60 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 8 วินาที ส่วนการเลือกใช้ใบกวนผสมที่ทำมุม 35, 40 และ 45 องศา น้ำแอปเปิ้ลสามารถเคลื่อนที่ไปผสมกับน้ำได้ 60 เปอร์เซ็นต์แต่จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ไปผสมเพิ่มเป็น 10 วินาที เนื่องจากค่าระดับความเร็วในการกระจายตัวในแนวแกนและรัศมีมีค่าลดลง

4. การกระจายตัวของความเร็วที่ออกจากใบกวนผสม



รูปที่ 11 การกระจายตัวของความเร็วที่ออกจากใบกวนผสม (Iso-Surface)

จากรูปที่ 11 เมื่อทำการพิจารณาการกระจายตัวของความเร็วที่ออกจากใบกวนผสมแบบ (Iso-Surface) การทดสอบกระทำโดยการปรับมุมองศาของใบกวนผสม พบว่า เมื่อทำการปรับมุมองศาให้สูงขึ้นค่าระดับความเร็วที่กระจายตัวออกจากใบกวนผสมจะมีค่าลดลง และที่มุม 30, 35 องศาใบกวนผสมจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

5. อภิปรายและสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบในการผสมน้ำแอปเปิ้ลและน้ำที่มุมใบกวนผสม 30 องศา พบว่าสามารถสร้างการกระจายตัวของความเข้มข้นในการผสมน้ำแอปเปิ้ลกับน้ำให้เข้ากันได้ดีสุดที่เวลา 8 นาที และมีกระกระจายตัวในการผสมกันของน้ำแอปเปิ้ลและน้ำที่เหมาะสม เพราะความเร็วในสนามการไหลจะมีค่าที่สูงบริเวณรอบใบกวนผสมและพื้นที่การหมุนวนด้านล่างใบกวนผสม และค่าความเร็วในแนวดิ่งจะมีค่าความเร็วทั้งค่าบวกและค่าลบ จะส่งผลโดยตรงต่อการกระจายตัวของของไหลผสมไปทั่วทั้งบริเวณถังผสม และการเลือกใช้งานใบกวนผสมที่สามารถกวนผสมของไหลให้เข้ากันได้ดีและใช้เวลาที่ไม่มาก จะส่งผลดีและสามารถประหยัดในเรื่องของ

พลังงานและการสิ้นเปลืองได้ การจำลองผลเชิงตัวเลขโดยการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหลในงานวิจัยนี้เป็นเพียงตัวอย่างหนึ่งที่ใช้แสดงรูปแบบแนวคิดด้านการออกแบบ ควรจะต้องทำการทดสอบจริงเพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จาก CFD ไปเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการทดสอบ และทำการประเมินความแม่นยำในผลการทดลองและสรุปผลเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาใบกวนผสมสำหรับอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ได้รับการสนับสนุนจากสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก และขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่มอบทุนในการนำเสนอในงานวิจัยวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] L. Werayoot, B. Pinich and K. Nuttapong, “Simulation of Fluid Mixing in Food Industry using Computational Fluid Dynamics” The 4th National Food Engineering Conference pp.10-15, Apr., 2018.

[2] L. Werayoot, “Fluid Mechanics”, Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok Campus, No. 1, pp.10-15, Sept., 2016.

[3] W. Worawit. “Tamarind Mixing Machine” Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, No. 1, Oct., 2007

[4] O. Shengchao, W. Rijie, Y. Xiaoxia and Y. Yuefei, “CFD Prediction of mean Flow Field and ImpellerCapacity for Pitched Blade Turbine”, Thansections of Tianjin University, Vol.21 No.3, pp. 250-258, Oct., 2015.

[5] A. Bakker, J. Myers, R. W. Ward and C. K. Lee, “The laminar and turbulent flow pattern of a pitchedBlade turbine”. Trans IChemE, Part A, Chemical Engineering Research and Design, Vol. 74, pp. 485-491, Sept., 1996.

[6] L. Werayoot, “Mechanical Design System of Vertical Axis Micro Water Turbine Generator using Computational Fluid Dynamics (CFD)”, The 25th Conference Mechanical of Engineering, pp. 85-91, Oct., 2011.

[7] B.S. Choi, B. Wan, S. Philyaw, K. Dhanasekharan and T.A. Ring, “Residence time distributions in a stirred tank: comparison of CFD predictions with experiment”, Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 43, pp. 6548-6556, Sept., 2004.

[8] J. M. Zalc, M. M. Alvarez and F. J. Muzzio, “Extensive Validation of Computed Laminar Flow in a Stirred Tank with Three Rushton”, AIChE Journal, Vol. 47, No. 10, pp. 2144-2154 Oct.,2001.

[9] L. Werayoot, Inventor; Rajamangala University of Technology Lanna., assignee. Part of Water Aerator. Thailand patent Thai 6288. 2018 May 9.