



วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

การออกแบบและวิเคราะห์การสนามการไหลของกังหันกวนผสมโดยวิธีเชิงตัวเลข

Design and flow field analysis of agitation turbine using numerical simulation

วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล*

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

Werayoot Lahamornchaiyakul*

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok
Campus Phitsanulok 65000

* Corresponding author.

E-mail: werayootrmutl@gmail.com; Telephone: 06 2062 1219

วันที่รับบทความ 9 กุมภาพันธ์ 2563; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 21 เมษายน 2563; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 5 พฤษภาคม 2563

วันที่ตอบรับบทความ 29 พฤษภาคม 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เสนอการออกแบบและวิเคราะห์ผลของสนามการไหลแบบปั่นป่วนภายในถังผสมเพื่อทำการเปรียบเทียบผลโดยใช้แบบจำลองกังหันกวนผสมแบบพิตช์ (Pitch blade turbine) และกังหันกวนผสมแบบไบโค้ง (Curved blade turbine) ซึ่งการวิเคราะห์ผลในงานวิจัยเป็นแบบ External Flow จากการศึกษาค่าความปั่นป่วนที่ได้รับจากการทำนายและการจำลองโดยใช้เทคนิคการจำลองผลเชิงตัวเลข และแบบจำลองความปั่นป่วนมีการนำมาใช้และถูกพัฒนาในโปรแกรมคำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหลโดยใช้หลักการพิจารณาทางทฤษฎีบทของนาเวียร์-สโตกส์ร่วมกับแบบจำลองมาตรฐานชนิด K-epsilon และได้เลือกใช้แบบจำลองการหมุนแบบ Local region (Sliding) ถูกนำมาใช้ในการจำลองผลเชิงตัวเลขในผสมของใบกวนในแนวแกนตั้งของถังผสม ในการสร้างโปรไฟล์ความเร็วของการไหลจากการจำลองผลเชิงตัวเลขโดยใช้หลักการทำนายและเปรียบเทียบวิธีการของสองแบบจำลอง การสอบเทียบผลลัพธ์ทางแบบจำลองจากพลศาสตร์ของไหล ผลจากการจำลองเชิงตัวเลขพบว่าวงล้อกังหันกวนผสมแบบไบโค้ง จะใช้เวลาในการกวนผสมน้อยที่สุดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับวงล้อกังหันกวนผสมแบบไบพิตช์

คำสำคัญ

การวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหล กังหันกวนผสมแบบไบพิตช์ กังหันกวนผสมแบบไบโค้ง

Abstract

This research presents the design and analyze of turbulence flow fields in agitation tank. The experiments are setup in order to compare the outcomes between a pitch blade turbine and curved blade turbine model. In this research, the system is assumed to be the external flow for flow field analyzed in agitation tank. The result show that the turbulence was numerically predicted using computational fluid dynamics technique. The turbulence model was developed in commercial software for fluid dynamic simulation using the NAVIER-Stokes and K-epsilon turbulent model. The rotation region for in this research using Local region (Sliding) approach which was used to simulate the agitation blade turbine action in the vertical plane of the agitation tank. Velocity profile generated from the numerical simulations were used to predict and compare the performance of the two designs. From the CFD model, the simulation results revealed that the CFD Simulation of curved blade turbine model can be the shortest mixing time when compare with pitch blade turbine.

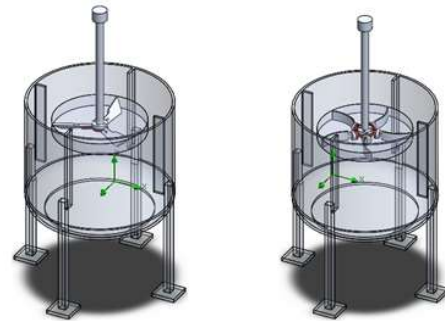
Keywords

computational fluid dynamics; pitch blade turbine; curved blade turbine

1. คำนำ

การออกแบบส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรม ทั้งในส่วนของการออกแบบอากาศยาน อาหาร และเครื่องสำอางค์ [1] ในการออกแบบของไหลในอุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบันมีความสำคัญมากถ้ามีการออกแบบระบบการผสมที่ดี การออกแบบผสมก็จะใช้เวลาในการกวนน้อย และสามารถประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายได้ การออกแบบที่มีประสิทธิภาพสามารถเกิดขึ้นได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงกำลังการผลิตและค่าความหนืดของของไหล [2] ระบบการทำงานที่มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีการออกแบบใบกวนผสมให้สามารถทำงานได้ตามข้อกำหนด โดยจะต้องอาศัยองค์ความรู้หลายด้าน ทั้งในส่วนการออกแบบชิ้นส่วนทางกล อาทิเช่น การออกแบบเพลลา การออกแบบระบบส่งกำลัง เป็นต้น การเลือกใช้หลักการทางพลศาสตร์ของไหลเข้ามาจำลองสนามการไหลขณะที่มีการกวนผสมภายในถังผสม เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการกวนผสมของใบกวนแต่ละประเภทให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3] หลักการทางพลศาสตร์ของไหลที่ถูกนำมาใช้ในการออกแบบใบกวนภายในถังผสมจะใช้รูปแบบการจำลองผลด้วยสมการนาเวียร์-สโตกส์เฉลี่ยเรย์โนลด์ร่วมกับแบบจำลองความปั่นป่วน K-epsilon [4,5] การทดสอบจริงเพื่อการศึกษาประสิทธิภาพของการผสมในถังปั่นกวนนั้นมีข้อเสียคือ ต้องใช้ระยะเวลานาน ค่าใช้จ่ายสูงและมีความยากลำบากในการเก็บผลลัพธ์ของตัวแปรบางตัว ในทางกลับกัน หลักการทางพลศาสตร์ของไหลจะใช้รูปแบบวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขและสามารถดำเนินการลำดับขั้นตอนในการแก้สมการควบคุมการไหลภายในถังผสม ซึ่งจะสามารถประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายได้มาก จากการศึกษาที่ผ่านมาไม่พบรายงานวิจัยเกี่ยวกับเรื่องการออกแบบและวิเคราะห์กังหันกวนผสมแบบระบบเปิด (External flow) โดยใช้หลักการทางพลศาสตร์ของไหล อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาบางส่วนได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของรูปร่างใบกวนผสมที่มีประสิทธิภาพการผสมด้วยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ [5] รายงานว่า แบบจำลองที่ศึกษาเป็นถังทรงกระบอกที่มีความจุ 21.2 ลิตร ใช้ใบพัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 เมตร แบบ Pitched Blade ทำมุมประทะ 45 องศา จำนวน 4

ใบพัด ทำการกวนที่ความเร็วรอบการหมุน 80, 100 และ 120 รอบต่อนาที ผลจากการศึกษาพบว่า ลักษณะการไหลภายในถังผสมเป็นแบบการไหลในแนวแกน มีทิศทางการไหลลงสู่ก้นถัง และเกิดกระแสไหลวนภายในถังบริเวณด้านข้างและด้านล่างของบัต ดังนั้นจึงได้ยึดแนวทางการศึกษาที่สำคัญที่ได้ทำการศึกษาผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและวิเคราะห์รูปร่างกังหันกวนผสม ผู้วิจัยจึงได้ตัดสินใจที่จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและวิเคราะห์สนามการไหลของกังหันกวนผสมโดยใช้วิธีเชิงตัวเลข



ก. Pitched Blade

ข. Curved Blade

รูปที่ 1 ต้นแบบกังหันกวนผสมสำหรับการวิเคราะห์ [4]

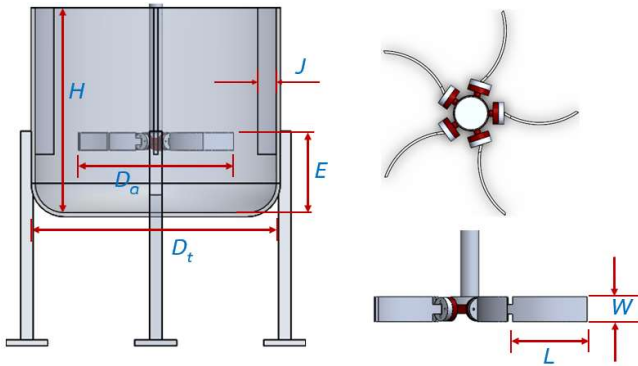
2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบการผสมของกังหันกวนผสมแบบพิตช์และแบบใบโค้ง
- 2.2 เพื่อหาจุดที่เหมาะสมของระบบการผสม เช่น เวลา ความลึกในการติดตั้งวงล้อกังหันน้ำกวนผสม
- 2.3 เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบการจำลองสนามการไหลภายในถังผสมแบบเปิด
- 2.4 เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและออกแบบถังผสมต่อไป

3. หลักการและทฤษฎีสำหรับการออกแบบ

3.1 การออกแบบขนาดของมิติภายในถังผสม

ในการออกแบบระบบการทำงานโดยรวมของถังกวนผสมเพื่อช่วยในการลดระยะเวลาในการออกแบบ และค่าใช้จ่ายงานวิจัยนี้จึงอาศัยหลักการทางทฤษฎีพื้นฐานในการกำหนดขนาดมิติของถัง [6] ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 อัตราส่วนการออกแบบถังผสมทางทฤษฎี

จากรูปที่ 2 สามารถแจกแจงค่าตัวแปรอัตราส่วนทั่วไปทางทฤษฎีในการออกแบบถังผสมได้ดังนี้ [5]

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \quad (1)$$

$$\frac{H}{D_t} = 1 \quad (2)$$

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \quad (3)$$

$$\frac{E}{D_t} = \frac{1}{3} \quad (4)$$

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad (5)$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \quad (6)$$

เมื่อ D_a	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด
D_t	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางของถัง
H	คือ	ความสูงของถังผสม
E	คือ	ความสูงของใบพัดจากก้นถัง
J	คือ	ความหนาของครีบ (Baffle)
W	คือ	ความกว้างของใบพัด
L	คือ	ความยาวใบพัด
t	คือ	ความหนาของใบพัด

3.2 Navier-Stokes Equation

3.2.1 สมการอนุรักษ์มวล [5,6]

เมื่อทำการพิจารณารูปแบบของอัตราการเปลี่ยนแปลงของมวลของไหลภายในปริมาตรควบคุมจะเท่ากับผลต่างของการไหลของมวลของไหลที่ไหลเข้าและออกจากระบบควบคุม รูปแบบของสมการระบบคือ

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{V}) = 0 \quad (7)$$

3.2.2 สมการอนุรักษ์โมเมนตัม

เมื่อทำการพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมของของไหลจะเท่ากับผลรวมของแรงที่ของไหล ซึ่งมีรูปแบบของสมการดังนี้

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \vec{V}) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx} \quad (8)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \vec{V}) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My} \quad (9)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \vec{V}) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + S_{Mz} \quad (10)$$

3.2.3 สมการอนุรักษ์พลังงาน

เมื่อทำการพิจารณาอัตราการเพิ่มขึ้นของพลังงานของของไหลซึ่งจะเท่ากับอัตราของความร้อนสุทธิที่เพิ่มขึ้นในของไหล และบวกกับอัตราของงานสุทธิที่กระทำบนของไหล ซึ่งมีรูปแบบของสมการระบบสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \rho \frac{D}{Dt} \left(e + \frac{V^2}{2} \right) = & \rho \dot{q} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \\ & - \left(\frac{\partial(u p)}{\partial x} + \frac{\partial(v p)}{\partial y} + \frac{\partial(w p)}{\partial z} \right) + \frac{\partial(u \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(u \tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u \tau_{zx})}{\partial z} \\ & + \frac{\partial(v \tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(v \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(v \tau_{zy})}{\partial z} + \frac{\partial(v \tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(v \tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(w \tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(w \tau_{yz})}{\partial y} \\ & + \frac{\partial(w \tau_{zz})}{\partial z} + \rho \vec{f} \cdot \vec{y} \end{aligned} \quad (11)$$

3.2.4 รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงพลังงาน

เมื่อทำการพิจารณารูปแบบของกำลังงานที่เกิดจากการกวนผสมของของเหลวแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของค่าความหนาแน่นของของไหล (ρ) ค่าความหนืดสัมบูรณ์ (μ) ขนาดและชนิดของใบพัดที่ใช้ ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถังผสม ความสูงของใบพัด และค่าความเร็วรอบการหมุน ซึ่งในการพิจารณาระบบการวิเคราะห์ของการทำงาน ส่วนมากจะอยู่ในรูปแบบของตัวแปรไร้มิติ เช่น ตัวเลขกำลัง (Power Number, N_p) และเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number, N_{Re}) [5,6] ซึ่งรูปแบบสมการเป็นดังนี้ [7]

$$N_p = \frac{P}{N^3 D_a^5 \rho} \quad (12)$$

$$N_{Re} = \frac{\rho N D_a^5}{\mu} \quad (13)$$

ในการพิจารณาลักษณะของการไหลโดยใช้ตัวเลขเรย์โนลด์ เป็นการแบ่งรูปแบบการไหลหรือช่วงการไหลต่าง ๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้คือ ถ้าเป็นรูปแบบการไหลแบบปั่นป่วน ($N_{Re} > 10,000$) และเป็นการไหลแบบราบเรียบจะอยู่ในช่วง ($N_{Re} < 10 - 20$) และช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการไหลผสม Transition zone ($N_{Re} 20 - 10,000$) ดังนั้น ค่ากำลังงานที่ใช้ในการกวนผสมแบบปั่นป่วนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 14 และกำลังงานที่ใช้ในการกวนผสมแบบราบเรียบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 15 [5,6,7]

$$P = K_T N^3 D_a^5 \rho \quad (14)$$

$$P = K_L N^2 D_a^3 \mu \quad (15)$$

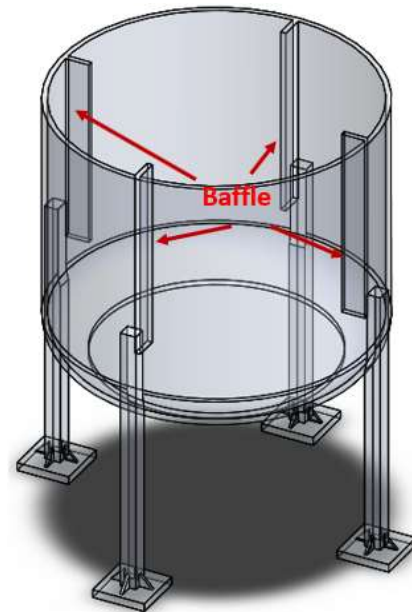
3.3 การออกแบบถังกวนผสมแบบเปิด

เป็นการแสดงลักษณะของแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหล ซึ่งถังที่ใช้เป็นถังผสมแบบเปิดสู่บรรยากาศ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงเท่ากับ 600 มิลลิเมตร สูง 500 มิลลิเมตร และมีความจุ 141.3 ลิตร และภายในถังผสมจะถูกติดตั้งด้วยครีป (Baffle) [5,8] เพื่อลดสถานะของมุมอับของการกวนผสม ซึ่งครีปที่ทำการติดตั้งมีขนาดความกว้าง 35 มิลลิเมตร มีความหนา 10 มิลลิเมตร สูง 350 มิลลิเมตร โดยปกติการออกแบบถังผสมไม่มีหลักการตายตัว ซึ่งจะขึ้นจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการทำงานและลักษณะของงานที่นำไปใช้จริง ถังผสมที่ออกแบบในงานวิจัยนี้แสดงในรูปที่ 3

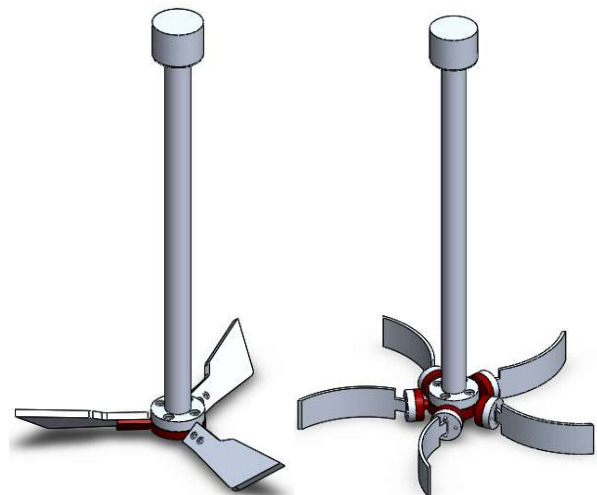
3.4 การออกแบบก้านกวนผสม

การออกแบบใบพัดกวนผสมในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถแบ่งได้ตามลักษณะการทำงานและการไหลของของไหล คือ การไหลแบบแนวแกน การไหลแบบแนวรัศมี และการไหลแบบแนวสัมผัส สำหรับรูปแบบของใบพัดจะแบ่งได้ 3 แบบ คือ Propeller, Paddles และ Turbines ซึ่งพฤติกรรมการไหลภายในถังผสมจะขึ้นอยู่กับชนิดและรูปร่างของใบพัดที่ทำการเลือกใช้ ตัวอย่างเช่น ลักษณะของใบพัดที่มีการไหลแบบ

แนวแกนคือใบพัด Propeller เช่น Pitched blade turbine เป็นต้น ใบพัดที่มีการไหลแบบแนวรัศมี คือ ใบพัด Paddles เช่น Rushton turbine และใบพัดที่ทำงานแบบแนวสัมผัส เช่น Anchor paddle [5,9] และในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบก้านกวนผสมไว้ 2 แบบ เพื่อใช้ในการจำลองสนามการไหล ในการเพื่อศึกษาโปรไฟล์ความเร็วในแนวรัศมีและแนวแกน ลักษณะใบพัดที่ทำการออกแบบแสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 ถังกวนผสมที่มีการติดตั้งครีป (Baffle)



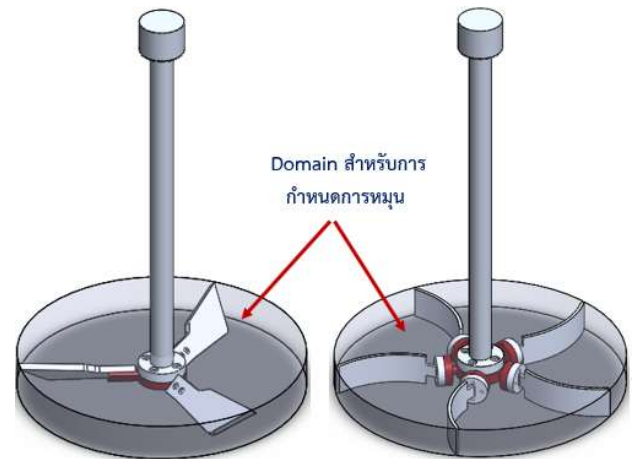
ก. Pitched Blade

ข. Curved Blade

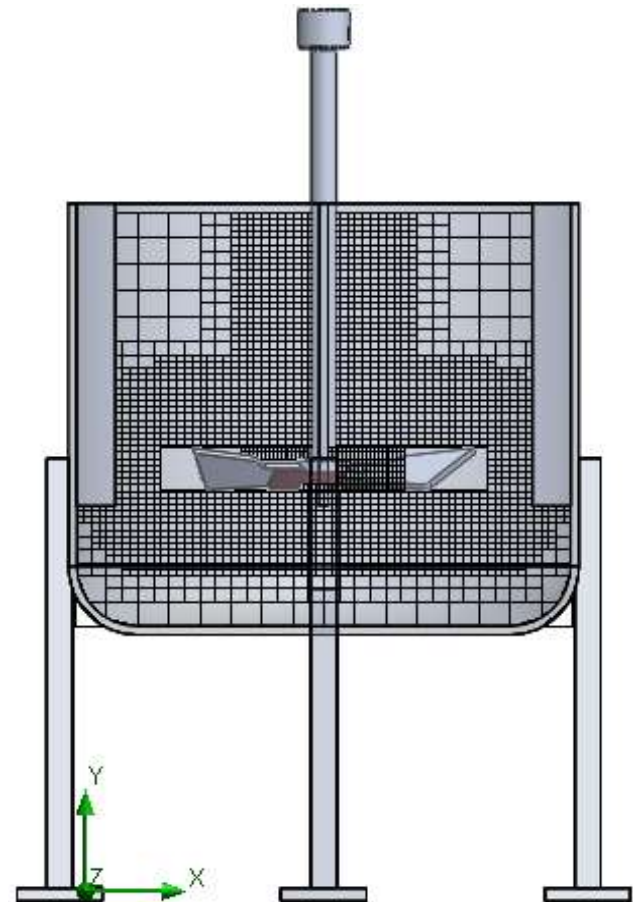
รูปที่ 4 ต้นแบบวงล้อก้านกวนผสม

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

ทำการสร้างรูปแบบการคำนวณ ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการจำลองเชิงตัวเลขของของไหล 2 ชนิด คือน้ำมันมะกอก (Olive oil) และน้ำ (Water) เพื่อทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมการไหลและทำการศึกษาสนามการไหลของวงล้อกังหันสำหรับกวนผสมทั้งสองชนิด โดยขั้นตอนจะประกอบไปด้วยการกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์เป็นแบบระบบเปิด (External flow) กำหนดให้ของไหลสองชนิดผสมกันอยู่โดยการกำหนดค่าเริ่มต้นการคำนวณโดยใช้ Initial condition เพื่อกำหนดให้ก่อนของไหลที่ใช้จำลองเป็นของไหลผสมกันอยู่ กำหนดการหมุนของวงล้อกังหันผสมเป็นแบบ Local region (Sliding) ที่มีค่าความเร็วรอบคงที่ 500 รอบต่อนาที หลังจากนั้นจึงการสร้าง Domain สำหรับทำการกำหนด Local region (Sliding) ดังแสดงในรูปที่ 6 และขั้นตอนสุดท้ายจึงทำการสร้างเมชเอลิเมนต์โดยทำการปรับคุณสมบัติเมชเอลิเมนต์เป็นแบบ Equidistant Refinement โดยทำการปรับ Maximum equidistant level เท่ากับระดับ 5 และปรับค่าตัวแปรของ Offset distance เท่ากับ 0.1 เมตร จะได้ผลลัพธ์ของเมชเอลิเมนต์ดังรูปที่ 7-8 ในการวิเคราะห์จะใช้รูปแบบการวิเคราะห์ที่มีเวลาเกี่ยวข้องกับ Time-Dependent โดยจะใช้เวลาในการวิเคราะห์ผลเชิงตัวเลขทั้งหมด 10 วินาที ซึ่งขั้นตอนและกระบวนการตั้งค่าการวิเคราะห์ผลทาง CFD สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 6 แบบจำลอง Domain สำหรับการวิเคราะห์



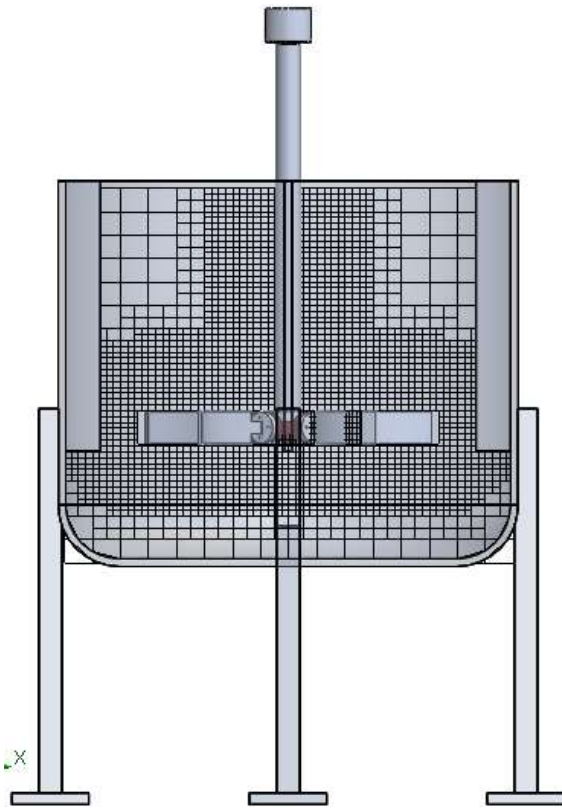
รูปที่ 7 เมชเอลิเมนต์ของกังหันกวนผสมแบบพิตช์

Boundary Conditions Setting

Step

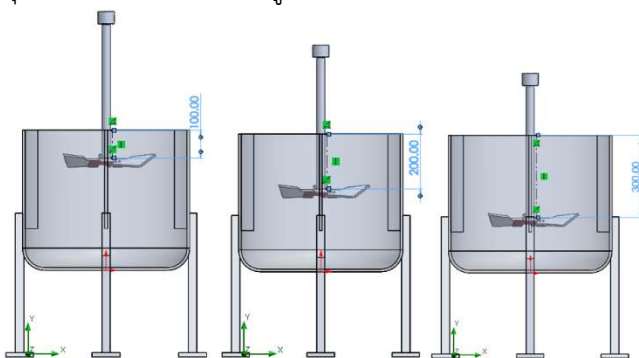
- 1 — Unit
- 2 — Analysis Type : External flow
- 3 — Physical Feature: Time-Dependent
- 4 — Material : Olive + Water
- 5 — Initial Condition
- 6 — Mesh element: Equidistant Refinement
- 7 — Rotation Type : Local region (Sliding)
- 8 — Goals Result Setting
- 9 — Solve

รูปที่ 5 ขั้นตอนการตั้งค่า Boundary Conditions



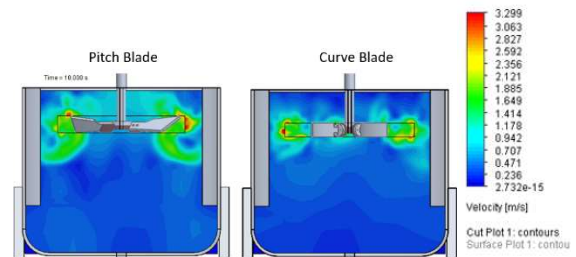
รูปที่ 8 เมชเอลิเมนต์ของกังหันผสมแบบใบโค้ง

ในการทดสอบได้ทำการกำหนดการตั้งค่าระดับความลึกของวงล้อกังหันผสมไว้ 3 ระดับคือ ระยะความลึก 100, 200 และ 300 มิลลิเมตร โดยทำการวัดจากปากถังผสมจนถึงดุมวงล้อกังหัน แสดงได้ดังรูปที่ 9

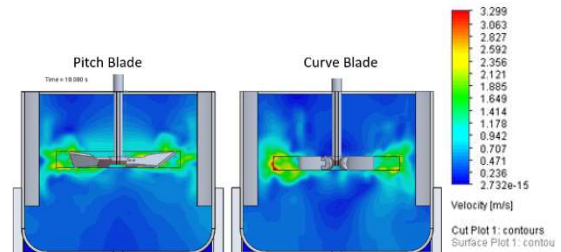


รูปที่ 9 ความลึกที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหล

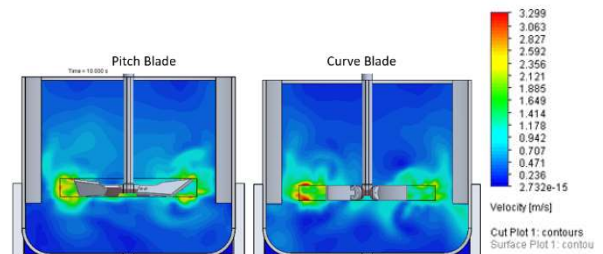
ในการศึกษาและวิเคราะห์ผลของการไหลผสมภายในถังผสมที่ได้จากการออกแบบจากค่าอัตราส่วนการออกแบบถึงทางทฤษฎี และทำการปรับค่าระดับความลึกในการกวนผสมดังรูปที่ 9 และกำหนดให้ค่าความเร็วรอบมอเตอร์มีค่าคงที่ ที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เมื่อทำการจำลองผลพบว่าที่วงล้อกังหันผสมแบบใบโค้งจะให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุดในระดับความลึก 200 มิลลิเมตร โดยของไหลสามารถผสมกันได้เร็วที่สุดที่เวลา 8.25 วินาที ผลการทดสอบในรูปแบบของ Cut-plot เพื่อทำการแสดงผลของสนามความเร็วในรูปแบบของ Contour velocity สามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 10



ก. การเปรียบเทียบความเร็วที่ระดับความลึก 100 มม.

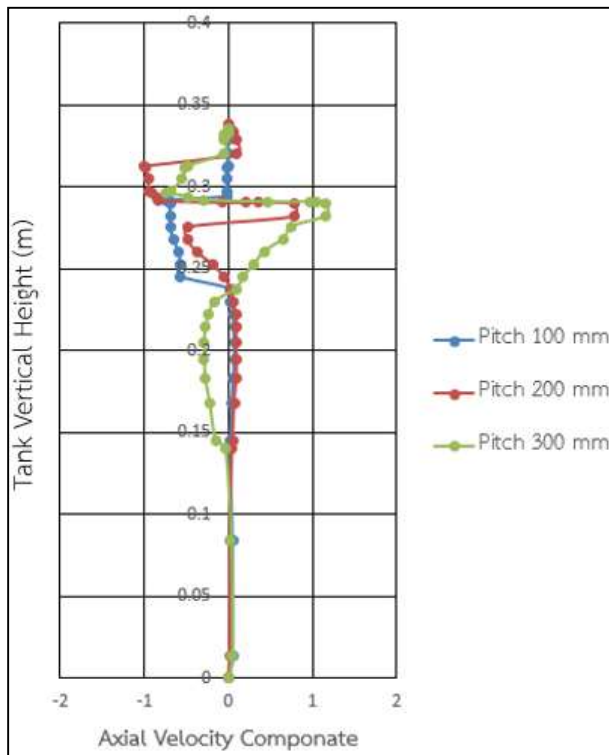


ข. การเปรียบเทียบความเร็วที่ระดับความลึก 200 มม.

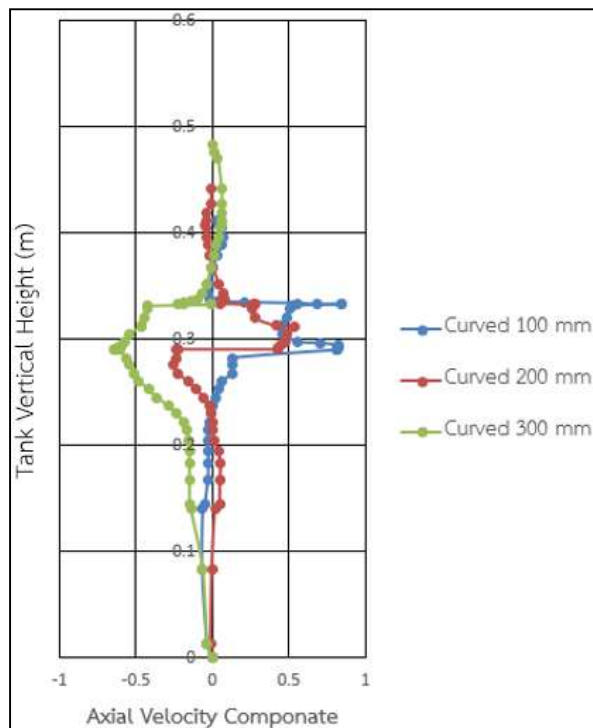


ค. การเปรียบเทียบความเร็วที่ระดับความลึก 300 มม.

รูปที่ 10 โปรไฟล์ความเร็วของสนามการไหลภายในถังผสมที่เวลา 10 วินาที

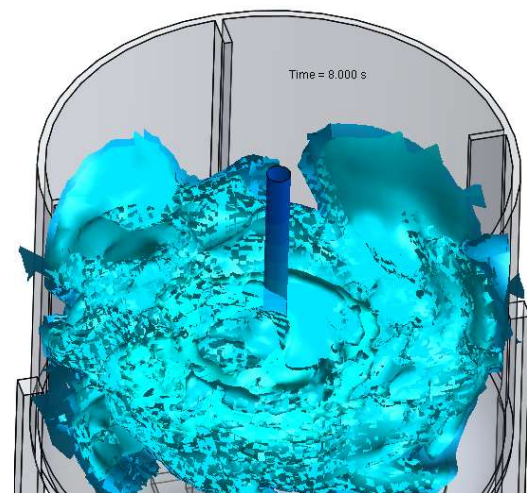


รูปที่ 11 โปรไฟล์ของความเร็วในแนวนอนที่ระดับความลึก ต่าง ๆ ที่เวลา 10 วินาทีของกังหันกวนผสมแบบพิตช์

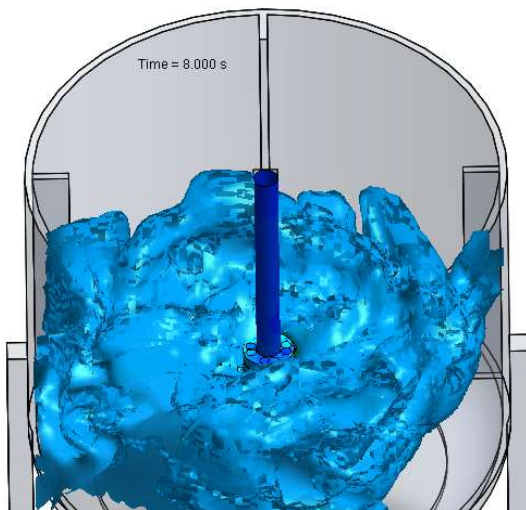


รูปที่ 12 โปรไฟล์ของความเร็วในแนวนอนที่ระดับความลึก ต่าง ๆ ที่เวลา 10 วินาทีของกังหันกวนผสมแบบไบโค้ง

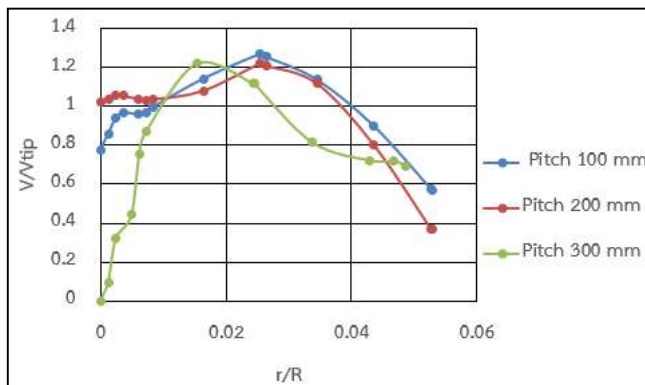
การแสดงผลค่าตัวแปรที่ได้จากสนามการไหลผสมของของไหลสองชนิดภายในถังผสมตามรูปที่ 11 จะแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของโปรไฟล์ความเร็วในแนวนอนตามความสูงของถังกวนผสมของวงล้อกังหันกวนผสมแบบพิตช์ที่ระยะเวลาในการวิเคราะห์ 10 วินาที และรูปที่ 12 จะแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของโปรไฟล์ความเร็วในแนวนอนตามความสูงของถังกวนผสมของวงล้อกังหันกวนผสมแบบไบโค้งที่เวลา 10 วินาที ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาการไหลตามแนวนอนพบว่าค่าระดับโปรไฟล์ความเร็วที่เกิดขึ้นภายในถังกวนผสมทั้งสองแบบจำลองจะมีการขยายออกมากขึ้นจากตำแหน่งของเพลาลูกก้านกวนผสมทั้งสองชนิด เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าระดับโปรไฟล์ความเร็วที่เกิดขึ้นของวงล้อกังหันทั้งสองชนิดสามารถสรุปได้ว่าที่วงล้อกังหันกวนผสมแบบไบโค้งจะให้อัตราการผสมที่ดีที่สุด และมีการกระจายตัวของความเร็วดีที่สุด เพราะการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอได้ส่งผลต่อการไหลวนที่ทำให้วัสดุสามารถผสมกันได้ดี และวงล้อกังหันกวนผสมแบบพิตช์จะมีรูปแบบกระจายตัวของความเร็วที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งได้ส่งผลต่อการผสมของวัสดุและต้องใช้เวลาในการผสมที่มากขึ้น เมื่อทำการพิจารณาอัตราการผสมในช่วงเวลา 10 วินาที พบว่าที่วงล้อกังหันกวนผสมแบบไบโค้งสามารถผสมน้ำมันมะกอกกับน้ำเข้าด้วยกันได้เร็วกว่าวงล้อกังหันกวนผสมแบบพิตช์ดัง แสดงในรูปที่ 13 และ 14



รูปที่ 13 แสดงอัตราการผสมกันที่เวลา 8 วินาทีของกังหันกวนผสมแบบพิตช์



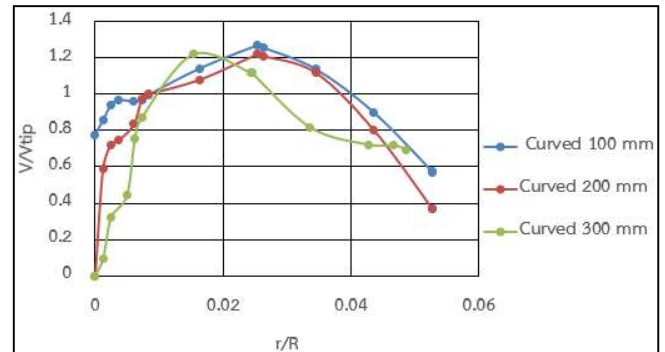
รูปที่ 14 แสดงอัตราการผสมกันที่เวลา 8 วินาทีของกังหันกวนผสมแบบใบโค้ง



รูปที่ 15 แสดงโปรไฟล์ความเร็วในแนวรัศมีไร้หน่วยของวงล้อกังหันกวนผสมแบบพิตช์ที่ระดับความลึกต่าง ๆ

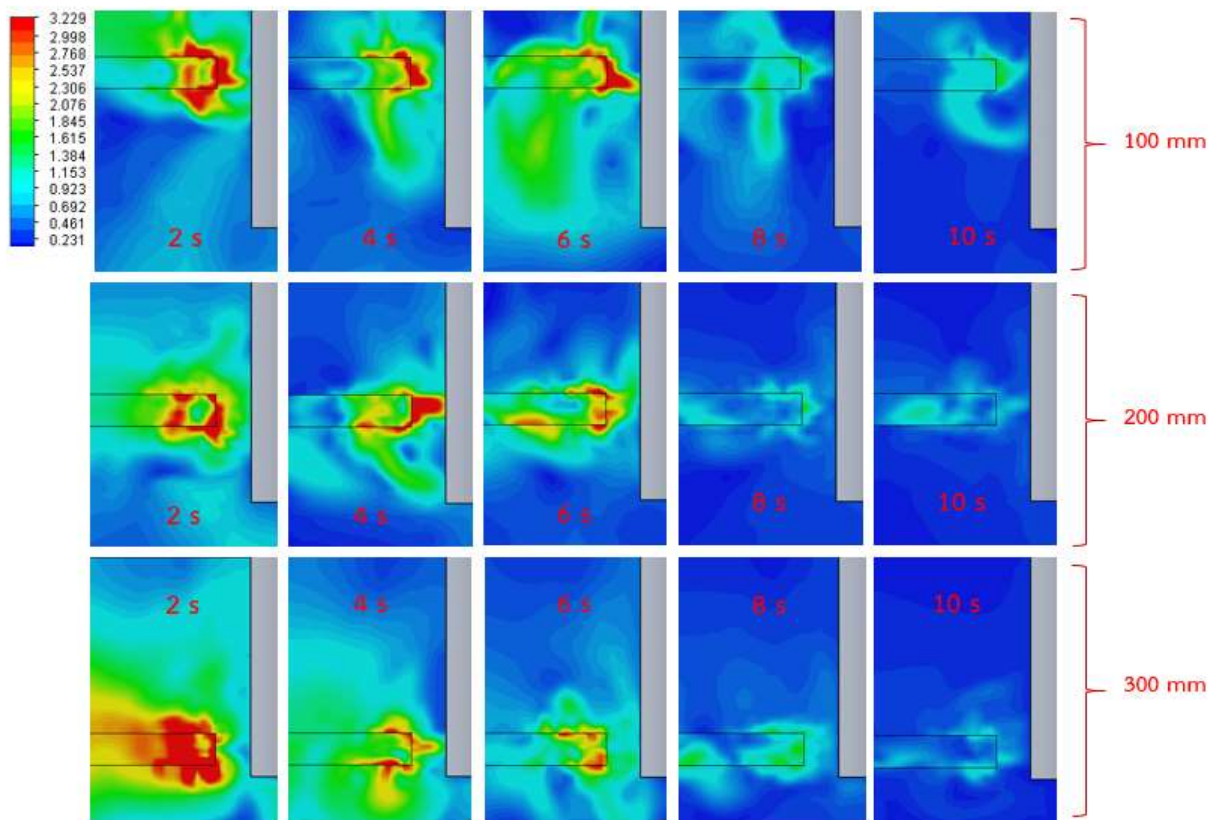
จากรูปที่ 15 และ 16 จะเห็นได้ว่าที่ r/R น้อยกว่า 0.03 ค่าความเร็วในแนวรัศมีไร้หน่วย (V/V_{tip}) จะมีค่าที่เพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันเมื่อค่า r/R มากกว่า 0.03 ค่าความเร็วในแนวรัศมีไร้หน่วยจะมีค่าที่ลดลง ซึ่งค่าที่ได้จากการจำลองผลเชิงตัวเลขแสดงแนวโน้มใกล้เคียงกับผลการทดลองจริง ซึ่งผลการทดสอบที่ได้จากการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหลเป็นที่น่าพอใจและยอมรับได้ในทางวิศวกรรม จากรูปที่ 15 และ 16 เมื่อทำการพิจารณาและทำการเปรียบเทียบช่วงของความเร็วในแนวรัศมีพบว่า มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นผลการศึกษาจึง

สามารถที่สรุปได้ว่าแบบจำลองทั้งสอง สามารถนำไปพัฒนาใช้สำหรับการศึกษาและพัฒนาต่อยอดในการใช้งานจริงต่อไปได้

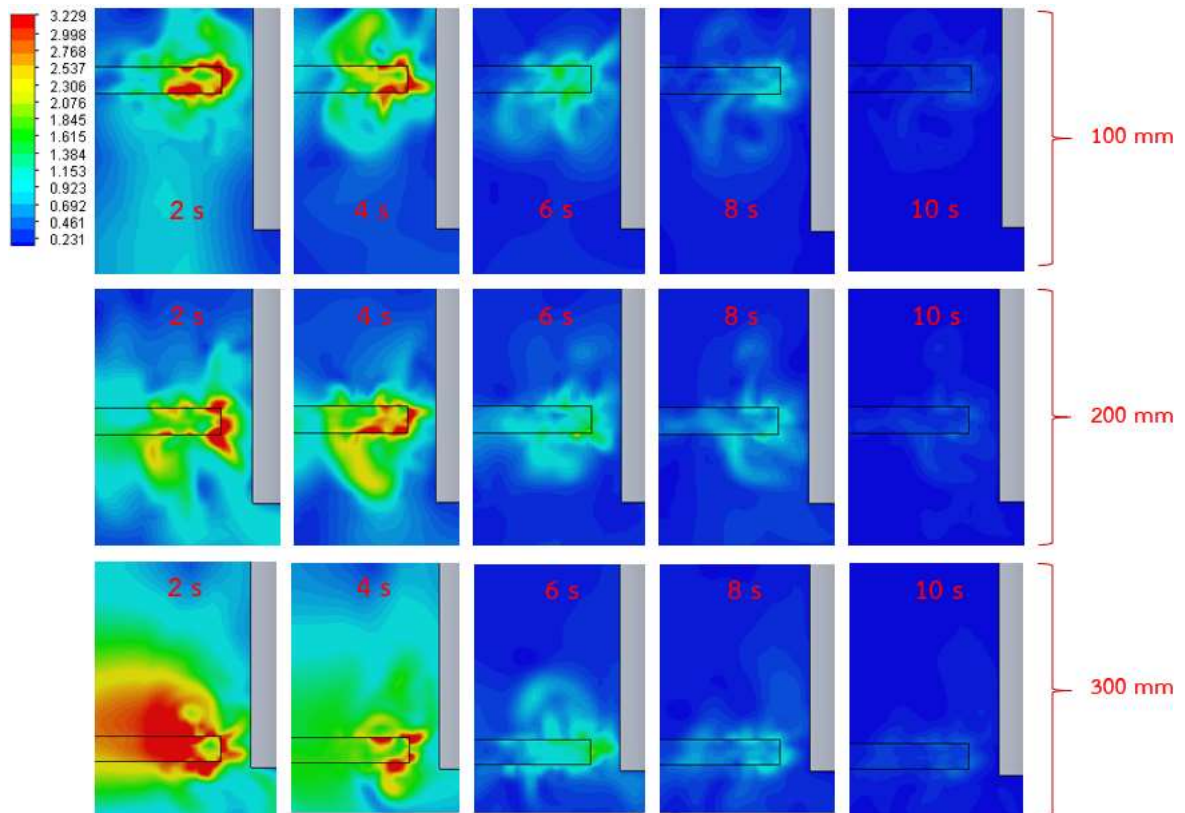


รูปที่ 16 แสดงโปรไฟล์ความเร็วในแนวรัศมีไร้หน่วยของวงล้อกังหันกวนผสมแบบใบโค้งที่ระดับความลึกต่าง ๆ

จากรูปที่ 17 การกวนผสมน้ำมันมะกอกกับน้ำโดยใช้โมเดลวงล้อกังหันน้ำกวนผสมแบบพิตช์ ที่ระดับความลึกในการติดตั้งทั้ง 3 ระดับ คือ 100, 200 และ 300 มม. พบว่าที่ระดับความลึก 200 มม. จะให้อัตราในการผสมได้ดีกว่าระดับความลึกในการติดตั้งอื่น ๆ และใช้เวลาในการตีกวนผสมอยู่ที่ 8 วินาทีที่ทำให้วัสดุสองชนิดผสมตัวได้ดี และในทำนองเดียวกันผลจากการวิเคราะห์การผสมน้ำมันมะกอกกลับน้ำด้วยใช้แบบจำลองของวงล้อกังหันกวนผสมแบบใบโค้ง ดังรูปที่ 18 พบว่าที่ระดับความลึก 200 มม. จะให้อัตราในการกวนผสมได้ดีกว่าระดับความลึกในการติดตั้งอื่น ๆ เมื่อทำการพิจารณาผลการทดสอบของวงล้อกังหันน้ำกวนผสมทั้งสองชนิด ตามรูปที่ 17 และ 18 และทำการเปรียบเทียบผล พบว่าวงล้อกังหันกวนผสมแบบใบโค้งจะมีประสิทธิภาพดีกว่าวงล้อกังหันกวนผสมแบบพิตช์ และเมื่อเปรียบเทียบผลที่ระดับการติดตั้งวงล้อกังหันน้ำกวนผสมที่ระดับความลึก 200 มม. ที่ระยะเวลาในการกวนผสม 10 วินาที ผลการทดสอบวงล้อกังหันกวนผสมแบบใบโค้ง จะทำการผสมน้ำมันมะกอกกับน้ำได้ดีกว่า เนื่องจากกังหันกวนผสมแบบใบโค้งจะมีอัตราการตีผสมของไหลได้สม่ำเสมอเพราะมีจำนวนใบพัดที่มากกว่า จึงนำไปสู่การแลกเปลี่ยนมวลการผสมของของไหลสองชนิดที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 17 การกระจายตัวของความเข้มข้นของการผสมน้ำมันมะกอกกับน้ำโดยใช้แบบจำลองของวงล้อกึ่งตันกวนผสมแบบพิตช์ที่เวลา 2 ถึง 10 วินาที



รูปที่ 18 การกระจายตัวของความเข้มข้นของการผสมน้ำมันมะกอกกับน้ำด้วยใช้แบบจำลองของวงล้อกึ่งตันกวนผสมแบบใบโค้งที่เวลา 2 ถึง 10 วินาที

6. สรุปผลการทดสอบ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อทำการออกแบบวงล้อกังหัน กวนผสมแบบพิตช์และแบบใบโค้งสำหรับการกวนผสมในถังผสมแบบเปิด เพื่อทำการจำลองสนามการไหลของของไหลสองชนิดคือน้ำมันมะกอกและน้ำในการผสมกัน โดยใช้การคำนวณผลเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหลโดยใช้หลักการพิจารณาทางทฤษฎีบทของสมการนาเวียร์-สโตกส์ร่วมกับการใช้แบบจำลองความปั่นป่วนมาตรฐาน K-Epsilon มาช่วยในการคำนวณเพื่อหาคำตอบ จากการเปรียบเทียบของแบบจำลองทั้งสองพบว่าแบบจำลองวงล้อกังหันกวนผสมแบบใบโค้งจะให้ค่าผลการทดลองใกล้เคียงกับผลการทดสอบจริง [10] และสามารถยอมรับได้ และนอกจากนี้ แบบจำลองวงล้อกังหันกวนผสมแบบใบโค้งยังใช้เวลาในการผสมของไหลสองชนิดน้อยที่สุด ที่เวลา 8.25 วินาที ซึ่งให้ผลการทดสอบดีกว่าแบบวงล้อกังหันกวนผสมแบบพิตช์ ผลกระทบที่ได้จากการจำลองผลเชิงตัวเลขในงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและออกแบบเพื่อต่อยอดในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการกวนผสมทั้งในส่วนของการอาหารและเครื่องสำอางค์ต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาช่างยนต์และสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก ที่อำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือวิจัยและเงินทุนต่าง ๆ ตลอดจนระยะเวลาที่ส่งผลให้งานวิจัยนี้บรรลุตามวัตถุประสงค์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ian T, Ji C. Mixing Performance of Counter-Axial Flow Impeller using Computational Fluid Dynamics. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 2018; 8(2): 283-289.
- [2] Delvigne F, Destain J, Thonart P. Structured Mixing Model for Stirred Bioreactors: An Extension to the Stochastic Approach. *Chemical Engineering Journal*, 2005; 113(1): 1-12.
- [3] Chun-Yun G, Jia-Jun W, Xue-Ping G, Lian-Fan F. CFD Simulation and PIV measurement of the flow field generated by modified pitched blade turbine impellers. *Chemical engineering research and design*, 2014; 38(8):1027-1036.
- [4] Werayoot L. Design and CFD Simulation of Agitating Blade in Tank for Mixing Fluid. *Ladkrabang Engineering Journal*, 2020; 37(1):13-20.
- [5] Satjaritanun P, Krunatorn Y. (2014). Computational Fluid Dynamics Modeling of Anaerobic Continuously Stirred Tank Reactor. In: *The 28th Conference of Mechanical Engineering Network*, 15- 17 October 2014, p.857-864.
- [6] Warren L. McCabe. Unit Operations of Chemical Engineering 7th Ed, McGraw-Hill: New York; 2004.
- [7] Vella C, Grisafi F, Micale G, Rizzuti L, Brucato A. Near impeller flow field in an unbaffled stirred tank. In: *Proceeding of the 11th European Conference on Mixing*, preprints- VDI- GVD- Bamberg, 14-17 October 2003, p. 623-636.
- [8] Nienow A. W. Mixing studies: comparison of Rushton turbine with some modern impeller, *Chem. Eng. Res. Des*, 1996;74(A): 417-423.
- [9] Vakili M. H, Esfaharry N. M. CFD analysis of turbulence in a baffled stirred tank, a three-compartment model, *Chem Eng Sci*, 2009;64(2): 351-362.
- [10] วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล, ผู้ประดิษฐ์; มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, ผู้ขอรับสิทธิบัตรการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกลเติมอากาศในน้ำ. สิทธิการออกแบบไทย เลขที่ 62881. 9 พฤษภาคม 2561.