

การจำลองผลทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของใบกวนผสมรูปแพนอากาศในถังผสมของไหล

วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล^{1*}

werayootrmutl@gmail.com^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี กรุงเทพมหานคร

Received	: 11-Mar-2021
Revised	: 31-Mar-2022
Accepted	: 4-Apr-2022

บทคัดย่อ

ประเด็นหลักของบทความนี้คือการประยุกต์ใช้ใบกวนผสมรูปแพนอากาศที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของการกวนผสมและการจำลองสนามการไหลภายในถังผสมสำหรับกวนส่วนผสมของน้ำและน้ำส้ม จากนั้นทำการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพที่เหมาะสมในการผสมโดยใช้ใบกวนชนิดรูปทรงแพนอากาศ พร้อมทั้งทำการประเมินประสิทธิภาพของถังผสมโดยใช้ใบกวนผสมรูปแพนอากาศที่มุม 20, 25 และ 30 องศาสำหรับการแปรรูปร่างน้ำส้ม การจำลองเชิงตัวเลขของใบกวนผสมรูปแพนอากาศที่มุม 20, 25 และ 30 องศา จะถูกทดสอบเพื่อจำลองการทำงานของรอบการหมุนมอเตอร์ 100-380 รอบต่อนาที จากผลการจำลองพบว่า ผลลัพธ์เชิงตัวเลขการผสมจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วในการหมุนเพิ่มขึ้น น้ำส้มสามารถผสมกับน้ำได้ 30 เปอร์เซ็นต์ที่รอบการหมุน 350 รอบต่อนาที โดยใช้มุมของใบกวนผสมที่ 25 องศา และใช้เวลาสำหรับการผสม 12 วินาที และน้ำส้มสามารถผสมกับน้ำได้ 50-60 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้มุม 20 และ 30 องศาตามลำดับ นอกจากนี้ของไหลผสมแบบหมุนวนที่มุมใบกวนผสม 25 องศา จะให้ค่าการหมุนวนของการผสมได้ดีกว่ามุม 20 และ 30 องศาเมื่อทำการเปรียบเทียบกัน

คำสำคัญ: พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ใบกวนผสมรูปทรงแพนอากาศ การจำลองเชิงตัวเลข

CFD Simulation of Airfoil Shape Blade for Mixing in Tank for Mixing Fluid

Werayoot Lahamornchaiyakul^{1*}

werayootrmutl@gmail.com^{1*}

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

Received	: 11-Mar-2021
Revised	: 31-Mar-2022
Accepted	: 4-Apr-2022

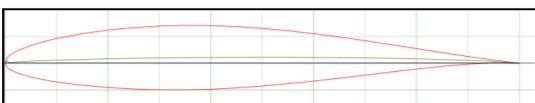
Abstract

The main point of this paper is to design the airfoils that could increase the overall efficiency of the agitation turbine blade and simulation of the flow field inside the mixing tank for stirring the water mixture and orange juice. After that, perform an analysis to find the right time and efficiency in the mix using agitated leaves type airfoil shape. After evaluating the performance of the mixing tank using 20, 25, and 30-degree angles of the agitating blade for orange juice processing. In numerical simulations of the agitating blade at 20, 25, and 30-degree angle is tested in the range operator is 100-380 rpm. It is found from numerical results that mixing is enhanced when the rotating speed increases. Orange water can be mixing with water by 30 % at operating 350 rpm of a motor using 25-degree angle of the airfoil blade for agitating by using time is 12 second and orange water can be mixing with water by 50-60 % at a 20, and 30-degree angle, respectively. Besides, swirling mixing fluid by 25-degree angle is higher when compare using 20, and 30-degree angle.

Keywords: Computational Fluid Dynamics, Airfoil Mixed Stirring Blades, Numerical Simulation

1. บทนำ

ในปัจจุบันน้ำผลไม้ประเภทต่าง ๆ ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด หรือจุดบริการนักท่องเที่ยว ล้วนได้ผ่านกรรมวิธีทางอุตสาหกรรมอาหารทั้งในเรื่องของการปรุงแต่งสี กลิ่นและรสชาติ และการใช้สารเติมแต่งต่าง ๆ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้นนั้น ทำให้น้ำผลไม้ดังกล่าว ขาดความสดที่ผู้บริโภคต้องการ เพราะพฤติกรรมการบริโภคของคนเปลี่ยนไปตามยุคสมัย ทำให้ผู้คนในสังคมเมืองได้หันมาบริโภคอาหาร น้ำดื่ม น้ำผักผลไม้เพื่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้นทุกปี ทำให้ความต้องการของอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพนั้นมีความต้องการที่สูงขึ้น [1] ในการศึกษาวิจัยทางด้านอุตสาหกรรมน้ำผลไม้สิ่งที่ขาดไม่ได้เลยคือชุดเครื่องมือในการผลิต โดยเฉพาะเครื่องกวนผสมน้ำผลไม้แบบต่าง ๆ ที่ได้มีการออกแบบและผลิตออกมาวางขายในท้องตลาดมากมายจากหลากหลายบริษัท แต่เครื่องกวนผสมเหล่านั้นอาจจะยังไม่เหมาะสมกับการกวนผสมของวัตถุดิบทุกประเภท จึงอาจนำมาประยุกต์ใช้งานไม่ได้ในกรณีที่ต้องการคุณภาพของสัดส่วนอาหารที่เที่ยงตรง ทั้งในส่วนของกลิ่น รสชาติ เป็นต้น ขั้นตอนการออกแบบใบกวนผสมได้มีหลักทางวิชาการเข้ามามีบทบาทสำคัญหลายทฤษฎี แต่ละทฤษฎีก็มุ่งเน้นไปในเรื่องการออกแบบใบกวนผสมให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จะเห็นได้จากงานวิจัยที่ผ่านมาแล้วว่า รูปร่างใบพัดกวนผสมที่เหมาะสม จะส่งผลต่อเวลาในการกวนผสม [2] ดังนั้นงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและประยุกต์รูปทรงแพนอากาศชนิด NACA 63-212 มาใช้ในการสร้างโปรไฟล์ของใบกวนผสมแบบกึ่งตัน เนื่องจากรูปทรงแพนอากาศชนิด NACA 63-212 มีรูปทรงที่สามารถสร้างแรงยกตัวได้สูงและมีอัตราของการต้านทานของการไหลที่ต่ำ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 รูปทรงแพนอากาศชนิด NACA 63-212 [3]

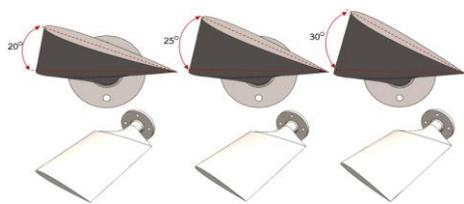
การเลือกรูปทรงแพนอากาศชนิด NACA 63-212 เพื่อทำการศึกษาและประเมินประสิทธิภาพของความเร็วเฉลี่ยภายในถังผสม ความเร็วในแนวแกน และความเร็วในแนวรัศมี เทียบกับใบกวนผสมจากงานวิจัยเรื่องการออกแบบและจำลองพลศาสตร์ของไหลของใบกวนผสมในถังสำหรับของไหลผสม [2] และสร้างโปรแกรมคำนวณที่สัมพันธ์กับสมการเพื่อคำนวณหาช่วงเวลาในการผสมเทียบกับรอบการหมุนของใบกวนผสม สำหรับใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและออกแบบใบพัดกวนผสมต่าง ๆ ต่อไปในอนาคต

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

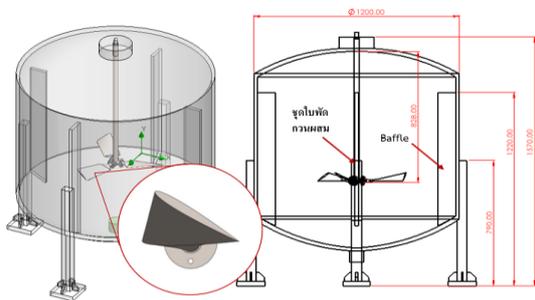
ทำการสร้างแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS โดยทำการออกแบบและขึ้นรูปใบพัดกวนผสมจากรูปทรงแพนอากาศในโหมดฟังก์ชัน Configuration ทั้งหมด 3 มุม คือ มุม 20, 25 และ 30 องศา ตามลำดับจนได้ใบพัดกวนผสมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 582 มิลลิเมตร พร้อมทั้งทำการออกแบบถังกวนผสมที่มีขนาด 1,200 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2 จากนั้นจึงนำแบบจำลองมาทำการประกอบ (Assembly) จะได้แบบจำลองการวิเคราะห์ดังรูปที่ 3

ก่อนสร้างเมชเอลิเมนต์ ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองโซลิด (Solid) เพื่อใช้อ้างอิงในการกำหนดวัสดุของน้ำและน้ำส้ม จากนั้นจึงสร้างแบบจำลองโซลิดสำหรับอ้างอิงการหมุนให้ใบพัดกวนผสมตามหลักวิธีการของ Multiple Reference Frame (MRF) เพื่อกำหนดการเคลื่อนที่เป็นแบบ Frozen Rotor Method ดังรูปที่ 4 จากนั้นทำการสร้างเมชเอลิเมนต์เพื่อใช้สำหรับแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยสร้างเมชให้กับชุดใบพัดกวนผสมเป็นแบบ Local mesh และทำการตั้งค่าในส่วนของการ Refining cells ของชุดใบพัดกวนผสม โดยกำหนดค่า level of refining fluid cell และ level of refining fluid cell ส่วนของพื้นที่ของไหล (Fluid) และรูปทรงของแข็ง (Solid body) เท่ากับ 4 และกำหนดค่าในส่วนของการ Equidistant refinement พร้อมทั้งทำการตั้งค่า Number of shells เท่ากับ 1 และ ตั้งค่า

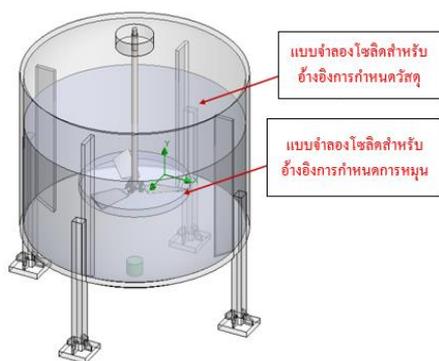
maximum equidistant level เท่ากับ 3 ตั้งค่า offset distance เท่ากับ 0.01 ส่วนแบบจำลองโซลิดสำหรับอ้างอิงของน้ำและน้ำส้ม ตั้งค่าในส่วนของ Refining cells โดยกำหนดค่า level of refining fluid cells และ level of refining cells at fluid ส่วนของพื้นที่ของไหลและรูปทรงของแข็งเท่ากับ 3 และกำหนดค่า Equidistant refinement ตั้งค่า Number of shells เท่ากับ 1 และตั้งค่า maximum equidistant level เท่ากับ 2 พร้อมทั้งตั้งค่า offset distance เท่ากับ 0.05 ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 5



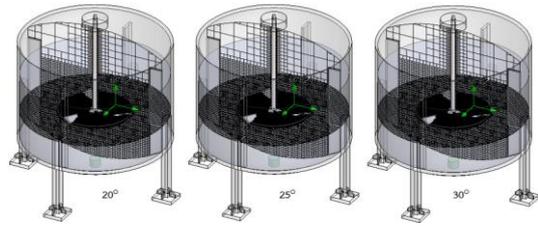
รูปที่ 2 ใบพัดกวนผสมที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยรูปทรงแพนอากาศ NACA 63-212



รูปที่ 3 แบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณที่ได้จากการประกอบขึ้นรูป



รูปที่ 4 สร้างแบบจำลองโซลิดสำหรับการหมุนและวัสดุ



รูปที่ 5 ขั้นตอนการสร้างเมชเอลิเมนต์ของแบบจำลองการวิเคราะห์ที่มุมมองต่าง ๆ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุในส่วนของน้ำและน้ำส้มดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุ [4,5]

ตัวแปร	น้ำ	น้ำส้ม
Density (kg/m ³)	998	1,040
Dynamics Viscosity (pa.s)	0.00179	0.0021
Specific heat (Cp) (J/kg.K)	4,219.9	3,640
Thermal Conductivity (W/m.K)	0.561	0.317

ในงานวิจัยได้ทำการกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์เป็นแบบ Internal flow และทำการกำหนดค่าการวิเคราะห์ในส่วนของ Physical feature เป็น Time-dependent, Rotation และ Free surface โดยทำการกำหนดตัวแปรช่วงเวลาในส่วน Time-dependent เป็น 15 วินาที และกำหนดค่า Output time step เท่ากับ 0.01 จากนั้นกำหนดรอบมอเตอร์เท่ากับ 350 รอบต่อนาที พร้อมกับการเปิดการคำนวณแบบ Free surface

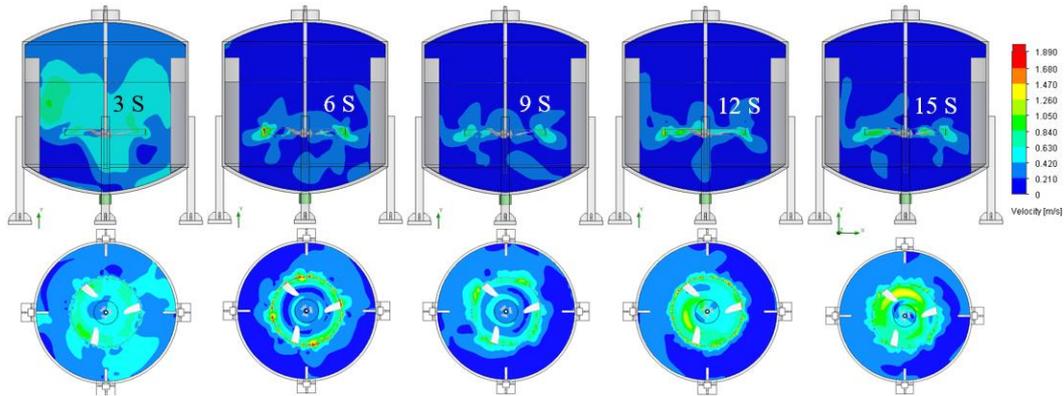
3. ระเบียบวิธีวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการจำลองผลลัพธ์ของสนามการไหลสำหรับการผสมระหว่างน้ำส้มและน้ำ ซึ่งจะประกอบไปด้วยขั้นตอนและวิธีการทำคือ จะทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการทดสอบจากมุมมองของใบกวนผสมรูปทรงแพนอากาศที่ได้ทำการออกแบบขึ้นมาใหม่ ดังรูปที่ 2 และทำการกำหนดรอบการหมุนของใบพัดกวนผสมสำหรับการทดสอบในครั้งนี้ด้วยรอบคงที่ 350 รอบต่อนาที เพื่อทำการแสดงสนามการ

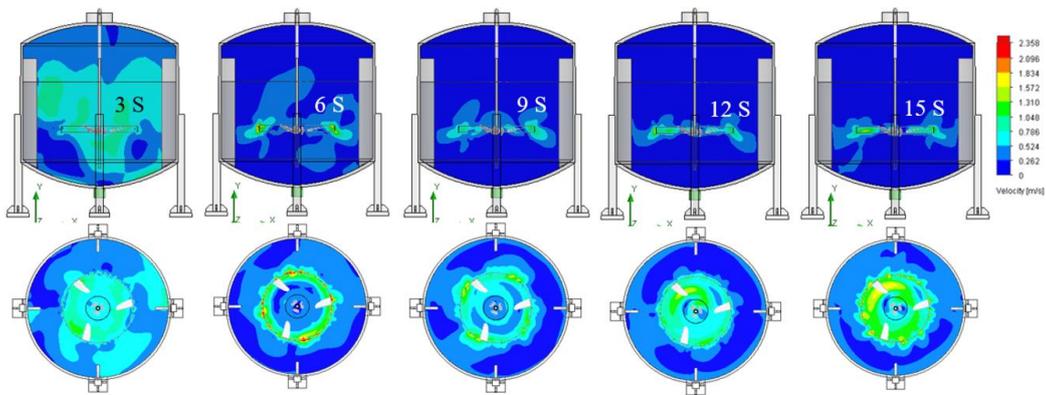
ไหลของของผสมระหว่างน้ำส้มและน้ำโดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation โดยทำการยืนยันที่ได้จากงานวิจัยเรื่องการออกแบบและวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลของใบกวนผสมในถังสำหรับของไหลผสม [2] เพื่อแสดงความเร็วสนามการไหล, ความเร็วในแต่ละระนาบในทิศทางแกน Y, การเปลี่ยนแปลง

ความเร็วในช่วงเวลาต่าง ๆ ของการไหลผสมที่รอบการหมุนใบพัดกวนผสมคงที่ที่ 350 รอบต่อนาที และความเร็วในแนวรัศมี ซึ่งผลการจำลองของสนามความเร็วที่ได้จากพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสามารถแสดงในรูปแบบของสนามความเร็ว Plot contour ได้ดังนี้

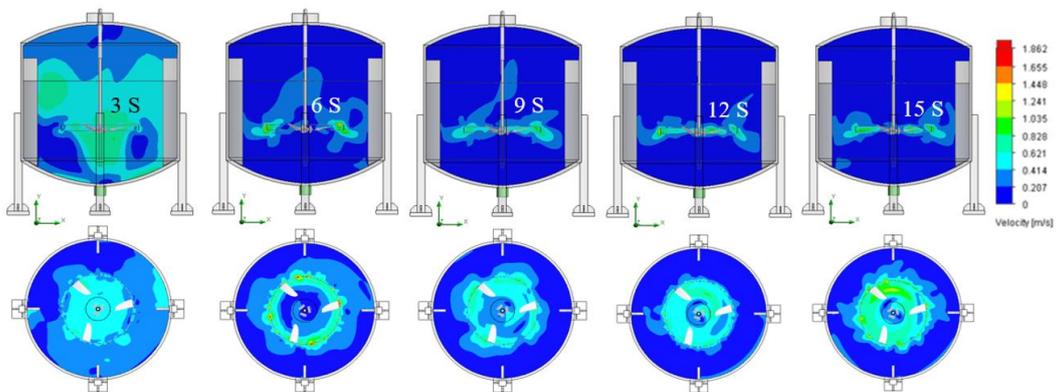
3.1 ผลลัพธ์ของสนามการไหลภายในถังผสม



รูปที่ 5 แสดงความเร็วของสนามการไหลที่มุม 20 องศาในรูปแบบ Plot Contour

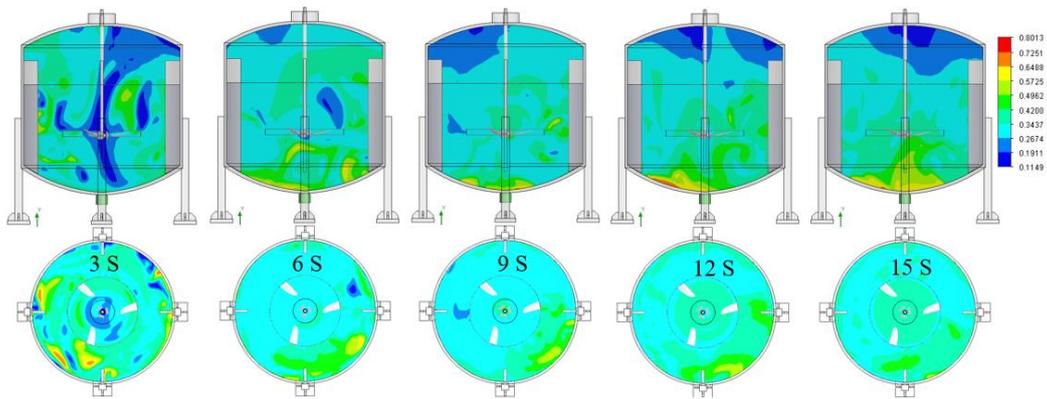


รูปที่ 6 แสดงความเร็วของสนามการไหลที่มุม 25 องศาในรูปแบบ Plot Contour

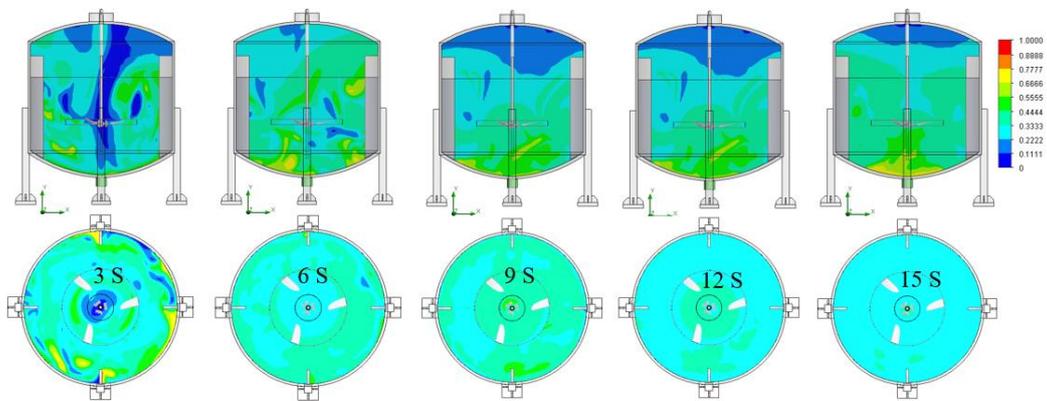


รูปที่ 7 แสดงความเร็วของสนามการไหลที่มุม 30 องศาในรูปแบบ Plot Contour

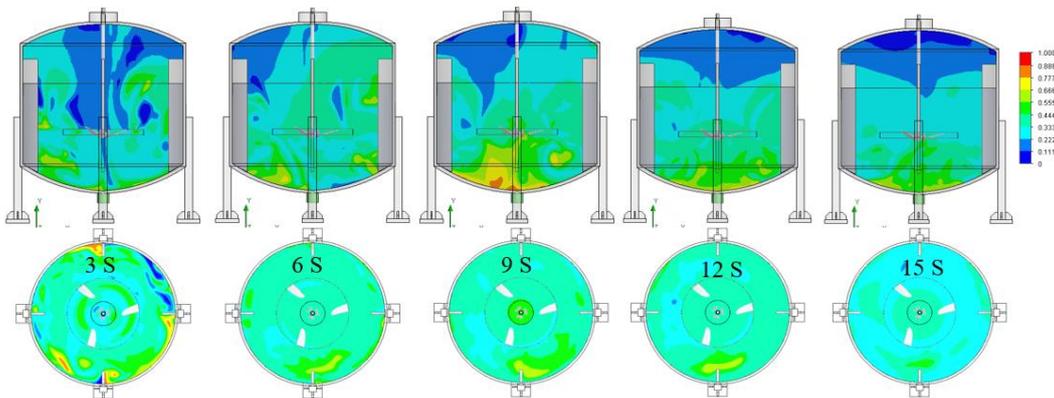
3.2 แสดงค่าผิวอิสระของการกวนผสมน้ำและน้ำส้มภายในถังผสม



รูปที่ 8 แสดงค่าผิวอิสระที่มุม 20 องศาในรูปแบบ Plot Contour



รูปที่ 9 แสดงค่าผิวอิสระที่มุม 25 องศาในรูปแบบ Plot Contour

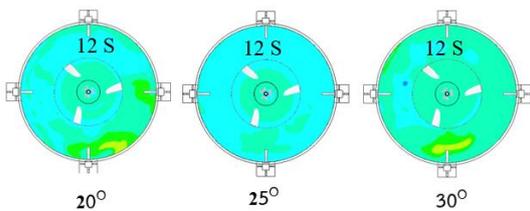


รูปที่ 10 แสดงค่าผิวอิสระที่มุม 30 องศาในรูปแบบ Plot Contour

รูปที่ 5 ถึงรูปที่ 7 แสดงรูปแบบของค่าความเร็วของสนามการไหลในรูปแบบการแสดงผลแบบ Plot contour โดยทำการตัดระนาบในทิศทางแกน Y และมีการกำหนดให้ใบพัดกวนผสมรูปทรงแพนอากาศ หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา โดยสร้างอัตราการไหลในแนวรัศมีของใบพัดกวนผสมรูปทรงแพนอากาศ ส่งผลทำให้เกิดค่าความเร็วของการเคลื่อนที่ในการไหลของ

ของไหลผสมสูงสุดได้ที่มุม 25 องศา ส่วนมุม 20 และ 30 องศา จะสร้างความเร็วของการเคลื่อนที่ในการไหลของของไหลผสมที่น้อยกว่า เนื่องมาจากมุมปะทะระหว่างใบพัดและของไหลที่ส่งผลโดยตรงในการสร้างแรงยกตัวและภาระที่เกิดจากการต้านของมวลของไหลที่กระทำต่อใบกวนผสม และเมื่อทำการพิจารณาระบบการทำงานของ การหมุนในบริเวณโดยรอบใบพัดกวน

ผสมในแต่ละมุมมองคาดว่า ใบพัดกวนผสมจะสร้างความเร็วที่มีความแตกต่างกันระหว่างการจำลอง และความเร็วที่เกิดขึ้นในแต่ละมุมมองจากการทดลองก็สามารถยอมรับได้ในทางวิศวกรรม เนื่องจากความเร็วที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงเดียวกัน ส่วนรูปที่ 8 ถึงรูปที่ 10 แสดงรูปแบบของค่าผิวอิสระของการผสมของไหล Volume of Fluid (VOF) กล่าวคือ เป็นรูปแบบการแบ่งเฟสของสถานะน้ำและน้ำส้มในแบบจำลอง มีค่าเท่ากับ 0.5 ในกระบวนการผสมที่เวลาต่าง ๆ ในแต่ละมุมมองคาดว่า ที่มุม 25 องศา มีการเคลื่อนตัวของชั้นผิวอิสระของน้ำส้มที่วิ่งเข้ามาผสมกับน้ำได้ดีที่สุดที่เวลา 12 วินาที โดยงานวิจัยนี้จะทำการแสดงและทำการพิจารณาที่ระนาบกึ่งกลางใบพัดกวนผสมดังรูปที่ 11

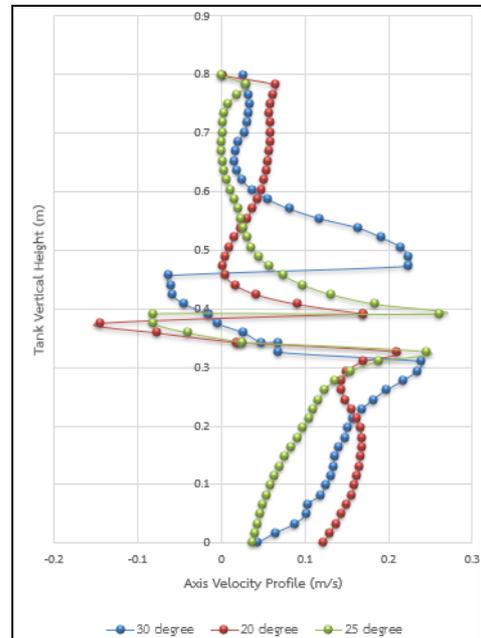


รูปที่ 11 การเคลื่อนตัวของชั้นผิวอิสระของน้ำส้มที่วิ่งมาผสมกับน้ำที่ระนาบกึ่งกลางใบพัดกวนผสม

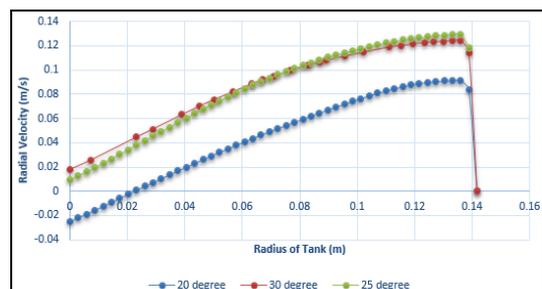
3.3 ผลลัพธ์ความเร็วสูงของใบกวนผสมที่มีผลต่อความเร็วในแนวแกน

ในงานวิจัยได้ทำการศึกษารูปแบบของความเร็วในแนวแกนและตามแนวรัศมีของถังผสมทรงกระบอกที่ทำการกวนผสมด้วยใบพัดกวนผสมรูปทรงแพนอากาศ ผลการศึกษาได้ทำการตัดระนาบในทิศทางแกน Y โดยทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการทดสอบการหมุนของใบพัดกวนผสมที่มุม 20, 25 และ 30 องศา ตามลำดับ เมื่อทำการพิจารณาในรูปที่ 12 พบว่าที่มุม 20 และ 25 องศา จะให้ค่าระดับความเร็วของสนามการไหลในแนวแกนที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าที่

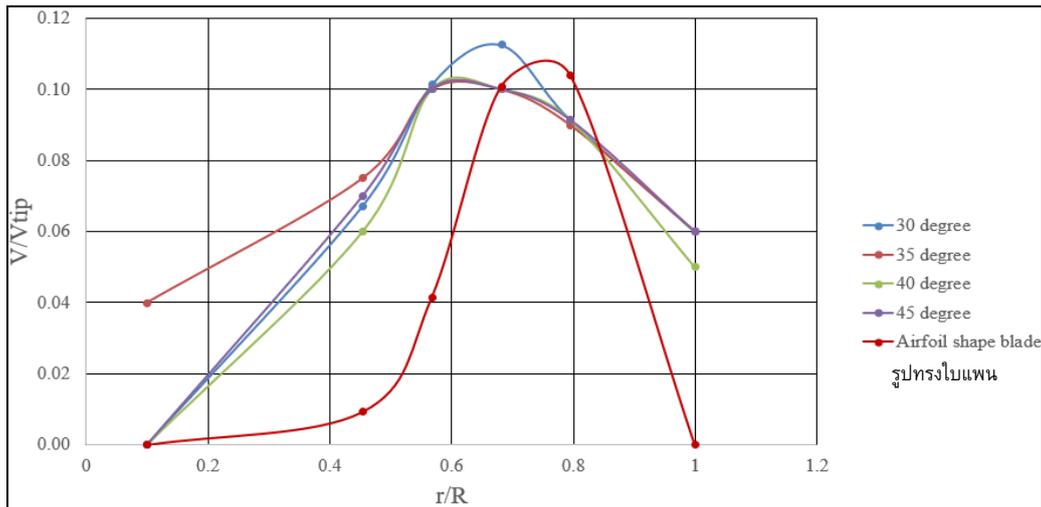
สูงกว่ามุม 30 องศา ผลการจำลองความเร็วในแนวรัศมีในรูปที่ 13 พบว่าที่มุม 25 องศา สามารถสร้างความเร็วในแนวรัศมีที่สูงกว่ามุมมองสไบกวนผสมอื่น ๆ และส่งผลให้เกิดการผสมตัวได้ดีที่เวลา 12 วินาที



รูปที่ 12 ความเร็วในแนวแกนของใบพัดกวนผสมรูปทรงแพนอากาศ



รูปที่ 13 ความเร็วในแนวรัศมีของใบพัดกวนผสมรูปทรงแพนอากาศ



รูปที่ 14 ผลการเปรียบเทียบใบพัดกวนผสมรูปทรงแพนอากาศกับค่าความเร็ว V/V_{tip} ของมุมองศาต่าง ๆ [2]

จากผลการเปรียบเทียบค่าความเร็ว V/V_{tip} ของใบพัดกวนผสมรูปทรงแพนอากาศ ในรูปที่ 14 จะมีค่าความเร็วสนามการไหลใกล้เคียงกับงานวิจัยเรื่องการออกแบบและจำลองพลศาสตร์ของไหลของใบกวนผสมในถังสำหรับของไหลผสม ที่มุม 30 องศา [2] ซึ่งงานวิจัยที่นำมาใช้เปรียบเทียบจะใช้แบบจำลองความปั่นป่วนเป็น k-epsilon เช่นเดียวกับงานวิจัย แต่วัสดุที่นำมาผสมกับน้ำจะเป็นน้ำแอปเปิ้ลซึ่งงานวิจัยที่ทำจะเป็นน้ำส้ม จากการศึกษาจะเห็นว่าที่ r/R ของใบพัดกวนผสมรูปทรงแพนอากาศ น้อยกว่า 0.8 ค่าความเร็ว V/V_{tip} จะมีค่าเพิ่มขึ้น และที่ r/R ของใบพัดกวนผสมรูปทรงแพนอากาศ มากกว่า 0.8 ค่าความเร็ว V/V_{tip} จะมีค่าลดลงตามลำดับ ซึ่งค่าที่ทำนายสามารถแสดงแนวโน้มเช่นเดียวกับผลการทดลองวิจัยที่ผ่านมา [1,2] นอกจากนี้ความแตกต่างระหว่างการจำลองและการทดสอบที่ได้จากงานวิจัยอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองของถังผสมและใบพัดกวนผสมรูปทรงแพนอากาศที่ทำมุม 25 องศาที่ทำการศึกษาค้นคว้าและออกแบบนี้สามารถนำมาใช้เพื่อใช้ศึกษาอิทธิพลของรูปร่างของใบพัดกวนผสมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผสมได้

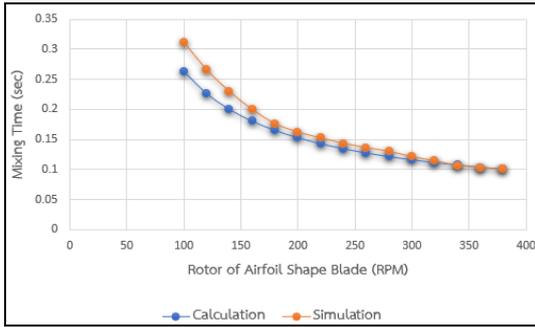
3.4 ผลลัพธ์ความเร็วรอบที่มีผลต่อการกวนผสม

ในส่วนแรกของงานวิจัยผู้วิจัยจะใช้รอบการหมุนครั้งที่ 350 รอบต่อนาที ในการจำลองผลเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ เพื่อจำลองความเร็วในสนามการไหลต่าง ๆ ในส่วนที่สองได้ทำการศึกษเกี่ยวกับรอบการหมุนของมอเตอร์ที่มีผลต่อช่วงเวลาในการกวนผสม โดยจะใช้ความเร็วที่ 100 ถึง 380 รอบต่อนาทีในการคำนวณ โดยงานวิจัยได้อาศัยโปรแกรมในการคำนวณหาเวลาเทียบกับการจำลองการหมุนมอเตอร์ โดยทำการสร้างสมการสำหรับการคำนวณ ดังสมการที่ 1.1 [6,7]

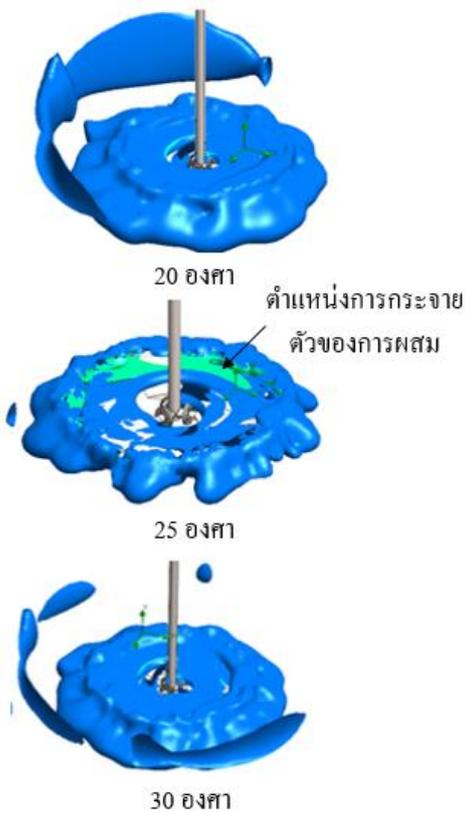
$$0.042 + \left(\frac{22.06}{N} \right) \quad (1)$$

โดยที่ N คือ รอบการหมุนของมอเตอร์ (RPM)

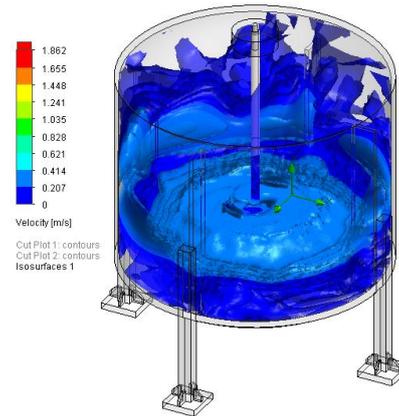
จากผลลัพธ์ทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและทำการคำนวณผลเพิ่มเติมเพื่อจำลองในส่วนการประมาณการของเวลาในการผสมเทียบกับความเร็วรอบการหมุนต่าง ๆ พบว่าค่าความเร็วการหมุนจะส่งผลโดยตรงต่อเวลาและอัตราการผสมของไหลผสม โดยได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 ผลการจำลองเวลาในการกวนผสม



รูปที่ 16 การแสดงผลในรูปแบบของผิวอิสระ (Free Surface) บริเวณรอบใบพัดกวนผสมที่การแบ่งเฟสของของไหลระหว่างน้ำและน้ำส้ม เท่ากับ 0.5



รูปที่ 17 การแสดงผลของผิวอิสระบริเวณรอบใบพัดกวนผสมรูปทรงแพนอากาศที่มุม 25 องศา

จากรูปที่ 16 แสดงพื้นผิวอิสระของของไหลบริเวณรอบใบพัดกวนผสมรูปทรงแพนอากาศ พบว่าที่มุม 25 องศาจะสามารถช่วยกระจายแรงที่เกิดในพื้นที่ผิวอิสระได้ดีกว่ามุมอื่น เนื่องจากมุมที่ออกแบบมีการต้านทานการไหลที่น้อยแต่สามารถสร้างแรงในการยกตัวได้ดี ทำให้ไม่มีการระเหยในการต้านทานการหมุน จึงส่งผลให้แรงจากการหมุนของชุดมอเตอร์สามารถสร้างการกระจายตัวให้กับของไหลได้ดีที่สุด

3.5 การวิเคราะห์ความแข็งแรงทางโครงสร้างใบพัดกวนผสมรูปทรงแพนอากาศ

งานวิจัยได้นำหลักการทางไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยในการออกแบบและทำการจำลองความแข็งแรงทางโครงสร้างโดยอาศัยผลกระทบที่เกิดจากการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหล (CFD) โดยอาศัยความสามารถในการส่งถ่ายแรงกระทำที่เกิดจากการกวนผสม (Export result to simulation) เข้ามายังโปรแกรมคำนวณผลทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งหลักการทางไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการออกแบบเพลลาทางทฤษฎีสามารถคำนวณด้วยหลักการดังนี้

3.5.1 ความเค้นดัด (Pure bending stress) คือ เพลลาหรือส่วนหลักของเพลลาที่ถูกกระทำด้วยแรงควมคู่หรือโมเมนต์ดัดที่ปลายทั้งสองข้าง จะกระทำให้เกิดแรงเฉือนมีค่าเป็นศูนย์ตลอดทั้งเพลลา งานวิจัยสามารถคำนวณโหนดของแรงไฮดรอลิกส์ของใบพัดกวนผสมได้จากสมการที่ 2 [8]

$$F_H = \frac{3.667(P)(CF)}{nd} \quad (2)$$

โดยที่ F_H คือ แรงไฮดรอลิกส์ที่เกิดขึ้นบนใบพัด
 กวน ผสม (N)
 P คือ พลังงานที่ต้องการใช้ในการกวนผสม
 ($N-m/s$, Watt, $kg.m/s$)
 n คือ รอบการหมุนของใบพัด (RPM)
 d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด
 CF คือ Material characteristic
 coefficient
 กำหนดให้เท่ากับ 1 [8]

หลักจากนั้นจะสามารถคำนวณหาค่าโมเมนต์
 ดัดของเพลลาใบพัดกวนผสมได้จากสมการที่ 3

$$M = \{F_{H1}(L_1)\} + \{F_{H2}(L_2)\} + \dots + \{F_{Hn}(L_n)\} \quad (3)$$

โดยที่ L คือ ความยาวของเพลลาใบพัดกวน
 ผสม (เมตร) หลังจากนั้นจะสามารถคำนวณหาค่า
 ความเครียดที่เกิดจากการดัด (σ_b) ได้จากสมการที่ 4

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{M}{\frac{\pi d^3}{32}} \quad (4)$$

โดยที่ M คือค่าโมเมนต์ดัดในระบบ ($N.m$)
 และ (Z) คือ โมดูลัสของหน้าตัดทรงกลม หลังจากนั้น
 จะสามารถคำนวณหาค่าความเครียดที่เกิดจากการบิดได้
 จากสมการที่ 5

$$\tau = \frac{T}{Z} = \frac{P(9.55 \times 10^{-3})}{\frac{n}{\frac{\pi d^3}{16}}} \quad (5)$$

จากความสัมพันธ์ของระบบสมการที่ 2-5
 สามารถคำนวณค่าความเค้นผสมสูงสุด (Maximum
 combine stress (σ_{max})) ที่เกิดขึ้นในเพลลาใบพัดกวน
 ผสมได้ดังสมการที่ 6 และ 7 โดยที่ τ_{max} คือ ความเค้น
 เฉือนสูงสุด (N/m^2)

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + (\tau)^2} \quad (6)$$

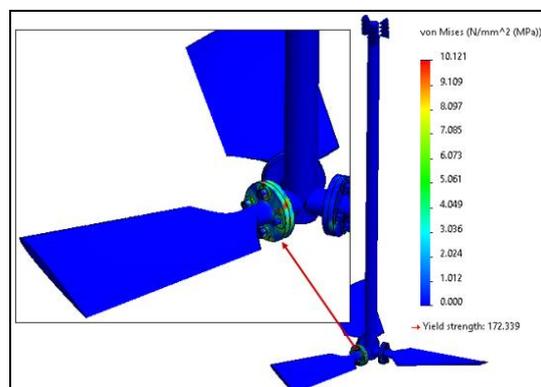
$$\sigma_{max} = \left(\frac{\sigma}{2}\right) + \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + (\tau)^2} \quad (7)$$

วัสดุในงานวิจัยที่ใช้ในการทำใบพัดกวนผสมรูปทรง
 แพนอากาศ คือ วัสดุสแตนเลส (Stainless steel)
 คุณสมบัติดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุ [6]

คุณสมบัติ	ตัวแปร
Yield strength (Mpa)	172.399
Elastic modulus (Mpa)	200,000
Poisson ratio	0.28
Density (kg/m^3)	7,800

แรง F_H ที่เกิดขึ้นที่ได้จากการคำนวณพบว่า
 ค่าประมาณ 27 N ที่กระทำต่อโครงสร้างใบพัดกวนผสม
 เมื่อนำมาทำการคำนวณจะได้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์
 ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ คือค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นใน
 โครงสร้างของเพลลาใบพัดกวนผสมรูปทรงแพนอากาศ ที่
 มุม 25 องศา มีค่าน้อยกว่าความแข็งแรงของวัสดุ ดังนั้น
 เพลลาใบพัดกวนผสมสามารถทำงานได้ที่ความเร็วรอบ
 การหมุนสูงสุด 350 รอบต่อนาทีคงที่ได้อย่างปลอดภัย
 ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณไฟไนต์เอลิเมนต์

4. อภิปรายผลและสรุป

ต้นแบบใบพัดกวนผสมรูปทรงแพนอากาศ ได้ถูกออกแบบและทำการพัฒนาต้นแบบมาจากสิทธิบัตรการออกแบบเรื่องชิ้นส่วนเครื่องกลเติมอากาศในน้ำ เลขที่ 62881 [9] หลังจากนั้นจึงนำมาทำการจำลองระบบการทำงานด้วยหลักการทางพลศาสตร์ของไหลเพื่อจำลองสนามการไหลภายในถังผสมน้ำส้ม และใช้หลักการทางไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับวิเคราะห์ความแข็งแรงทางโครงสร้าง จากผลการทดสอบในการผสมน้ำส้มและน้ำที่มูมิใบพัดกวนผสมรูปทรงแพนอากาศ 25 องศา พบว่าสามารถสร้างการกระจายตัวของความเข้มข้นในการผสมน้ำส้มกับน้ำให้เข้ากันได้ดีที่สุดใช้เวลา 12 นาที และมีกระจายตัวในการผสมกันของน้ำส้มและน้ำที่เหมาะสม เพราะความเร็วในสนามการไหลจะมีค่าที่สูงบริเวณรอบใบกวนผสมและพื้นที่การหมุนวนด้านล่างใบกวนผสม และค่าความเร็วในแนวตั้งจะมีค่าความเร็วทั้งค่าบวกและค่าลบ จะส่งผลโดยตรงต่อการกระจายตัวของของไหลผสมไปทั่วทั้งบริเวณถังผสม และการเลือกใช้งานใบพัดกวนผสมที่สามารถกวนผสมของไหลให้เข้ากันได้ดีและใช้เวลาที่ไม่มากจะส่งผลดี และสามารถประหยัดในเรื่องของพลังงานและการสิ้นเปลืองได้ การจำลองผลเชิงตัวเลขโดยการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหลและการวิเคราะห์ผลทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิจัยนี้เป็นเพียงตัวอย่างหนึ่งที่ใช้แสดงรูปแบบแนวคิดด้านการออกแบบและการคำนวณ ควรจะต้องทำการทดสอบจริงเพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณและไฟไนต์เอลิเมนต์ไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากการทดสอบจริง และทำการประเมินความแม่นยำในผลการทดลองและสรุปผลต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิศวกรรมศาสตรมหาวิทาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก ที่สนับสนุนทุนและอุปกรณ์ในงานวิจัยวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Lahamomchaiyakul W, Booiam P, Kamtubtim N. Simulation of fluid mixing in food industry using computational fluid dynamics. Proceeding of the 4th National Food Engineering Conference; 2018 Apr 3; RMUTT, Pathum Thani; 2018. P. 10-5. (in Thai).
- [2] Lahamornchaiyakul W. Design and CFD simulation of agitating blade in tank for mixing fluid. Ladkrabang Engineering Journal. 2020;37(1):13-7. (in Thai).
- [3] Airfoil Tool. Airfoil NACA 63-212 [Internet]. 2021. [cited 2021 January 3]. Available from: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=n63212-il>.
- [4] SOLIDWORK. SOLIDWORK Flow Simulation 2012 Tutorial [Internet]. 2012. [cited 2021 January 3]. Available from: https://www.academia.edu/3713889/Solidworks_flow_simulation_2012_tutorial.
- [5] Engineering ToolBox. Specific Heat of Food and Foodstuff [Internet]. 2003. [cited 2021 January 3]. Available from: https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html.
- [6] Jeffreg MZ, Mario MA, Fernando JM. Extensive validation of computed laminar flow in a stirred tank with three rushton. AIChE Journal. 2001 Oct 16;47(10):2144-10.
- [7] Byung SC, Baolin W, Philyaw S, Dhanasekharan K, Terry A R. Residence time distribution in a stirred tank: comparison of CFD predictions with experiment. Ind. Eng. Chem. Res. 2004 Sept 27; 43(20):6548-8.

- [8] Abbaszadeh A, Ghobadian B, Najafi G, Motevari A. Analytical and FEA design of mixing system in STR biodiesel production. AENSI Journals Advances in Environmental Biology. 2014 Jan 20; 8(1):325-9.
- [9] Lahamornchaiyakul W, Inventor; Rajamangala University of Technology Lanna., assignee. Part of Water Aerator. Thailand patent Thai 62881. 2018 May 9.