

การศึกษาพลศาสตร์การไหลเชิงคำนวณของใบกวนแบบตามแนวรัศมีในถังปฏิกรณ์ สำหรับผลิตเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน

Numerical CFD Simulation Flow of Radial Impellers in Reactor Tanks for Durian Peel Synthesis

อิบร่อเฮียง ปิยา¹, นิโอะ ปูซุ¹

Ibroheng Piya¹, Ni-oh Puzu¹

(Received: June 8, 2019; Revised: June 28, 2019; Accepted: July 12, 2019)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการไหลในถังปฏิกรณ์สำหรับปฏิกิริยาอัลคาไลเซชัน (Alkalization) สำหรับสังเคราะห์เปลือกทุเรียนแขวนลอยในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยทดลองด้วยใบพัดกวนแบบตามแนวรัศมี (Radial Impellers) สร้างการไหลหมุนเวียนด้วยมอเตอร์ที่ความเร็วรอบ 100 rpm ในถังปฏิกรณ์สี่เหลี่ยมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 230 mm มีการติดตั้งครีบกั้นทั้ง 4 ด้าน โดยได้ปรับระยะความสูงของใบพัดกวนเท่ากับ 0.1D และ 0.2D ใช้กล้องจับการกระจายของอนุภาคแข็งเคลื่อนที่โดยใช้เทคนิคฉายเลเซอร์แบบระนาบ (Laser Induced Fluorescence, LIF) จับอนุภาคแสดงทิศทางการไหลของอนุภาคเรืองแสงยืนยันผลการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ANSYS Fluent) เพื่อศึกษารูปแบบการไหลหมุนเวียนที่ส่งผลให้การกระจายของอนุภาคแข็งแขวนลอยอย่างทั่วถึงในถังปฏิกรณ์ จากการศึกษาที่ระยะความสูงของใบพัดเท่ากับ 0.1D เกิดการกระจายของอนุภาคของแข็งและแขวนลอยได้ดีกว่ากรณี 0.2D เนื่องจากผลของความเร็วในแนวแกน ความเร็วในแนวรัศมี และมีการกระจายตัวของความเร็วออกจากใบพัด (Iso-surface) มากกว่า

คำสำคัญ: พลศาสตร์การไหลเชิงคำนวณ ใบพัดกวนแบบตามแนวรัศมี การแขวนลอยของอนุภาคของแข็ง

Abstract

This research investigated flow of alkalization reaction for the synthesis of suspended durian peels mixed in NaOH solution. The experiment of reaction generated circulation flow using 100 rpm speed motor when radial impellers stirred the reactor diameter 230 mm and installed baffles four pieces. The propeller distances from bottom of reactor tank were set at 0.1D and 0.2D in order to investigate flow patterns. Laser Induced Fluorescence, LIF, technique was used to detect and capture the distribution of particles. Flow simulation method from the ANSYS Fluent software, which validate from experimental result, was also employed to examine the flow pattern that distribute particles of suspended thoroughly in the reactor. This study revealed that the experiment which was conducted with a propeller which was 0.1D height showed the distribution of particles, which was better than that of flow distribution at 0.2D. This result was offered by greater presenting of axial and radial speed flow.

Keywords: Computational flow dynamics, Stirring radial impellers, Suspension of solid particles

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

¹ Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University



บทนำ

ในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนภาคใต้มีผลผลิตทุเรียนต่อปีมากกว่า 3 หมื่นตัน ปัจจุบันได้มีบริษัทตั้งในพื้นที่รับซื้อทุเรียนมาแปรรูปแช่แข็งทำการส่งออกไปยังตลาด ประเทศมาเลเซีย จีนและ ออสเตรเลีย ซึ่งมีมูลค่าไม่ต่ำกว่า 60 ล้านบาทต่อปี การแปรรูปนั้นจะส่งผลให้เกิดขยะเป็นปริมาณมาก โดยพิจารณาจากบริษัทผลิทุเรียนแช่แข็งปีละ 5,000 ตัน ที่สัดส่วนของเนื้อทุเรียนต่อเปลือกทุเรียน (Durian Peel) ที่อัตราส่วนเท่ากับ 30:70 จะเห็นได้ชัดเจนว่าประเด็นปัญหาของขยะที่เกิดจากเปลือกทุเรียนมีผลกระทบอย่างมาก การใช้วิธีการแก้ปัญหาโดยการนำเปลือกทุเรียนไปกลบในหลุมบ่อในบริเวณพื้นที่ว่างนั้นไม่มีประสิทธิภาพ

โดยทั่วไปแล้วเปลือกทุเรียนมีส่วนประกอบที่เป็นเยื่อเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินและอื่นๆ การสกัดเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ เป็นสารเสริมแรงให้กับพอลิเมอร์รวมทั้งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์เป็นอนุพันธ์เซลลูโลส Carboxymethyl cellulose (CMC) การสกัดเซลลูโลสด้วยเชื้อจุลินทรีย์ใช้วิธีการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถสกัดเซลลูโลสได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งเซลลูโลสที่ถูกสกัดโดยเชื้อจุลินทรีย์จะเรียกว่า แบคทีเรียเซลลูโลส (Bacterial cellulose) (Chao, Sugano, Kouda, Yoshinaga & Shoda, 1997) แต่อย่างไรก็ตามวิธีการเลี้ยงเชื้อนี้ไม่เป็นที่นิยมในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากมีโอกาสสูงที่จะเกิดการสะสมของเชื้อที่ไม่สามารถสร้างเซลลูโลสได้ ส่วนกระบวนการระเบิดด้วยไอน้ำ (Steam Explosion) เป็นกระบวนการที่ใช้ไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูงไปแยกเอาส่วนของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินออกจากกัน โดยไอน้ำจะไปทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Abushammala, Goldsztnayn, Leao & Laborie, 2016) แต่ต้องมีกรออกแบบถึงปฏิกรณ์ให้รับอุณหภูมิและความดันสูงได้ ดังนั้นจึงได้ทำการวิจัยโดยวิธีการใช้สารเคมีที่สามารถละลายเฮมิเซลลูโลสกับลิกนินแยกออกจากเซลลูโลสได้ด้วยสารเคมีที่เป็นกรดและเบส เช่น การสกัดแยกเซลลูโลสจากผงเซลล์ของมันฝรั่งด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Dufresne, Dupeyre & Vignon, 2000) และการสกัดแยกเซลลูโลสจากซูกาบีต (Sugar beet pulp) ด้วยกรดซัลฟูริก (Samir, Alloin & Dufresne, 2005) เป็นต้น การสกัดเซลลูโลสด้วยสารเคมีสามารถที่จะแบ่งได้ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนเชิงกลใช้วิธีการตัดหรือบดเพื่อย่อยขนาดให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นทำการสกัดทางเคมีด้วยการใช้เบสแก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส รวมทั้งซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) (Li, Henriksson & Gellerstedt, 2007)

กระบวนการสังเคราะห์สารเซลลูโลสในถังปฏิกรณ์นั้นจะต้องกำหนดพารามิเตอร์ รูปร่างของถังปฏิกรณ์ เช่น รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปทรงกระบอก และพื้นผิวด้านล่างของถังที่มีผลกระทบต่อการไหลภายในถังปฏิกรณ์เป็นอย่างมาก รูปแบบของใบพัดซึ่งมีอยู่หลากหลายที่มีจำหน่ายในท้องตลาด สามารถเลือกให้มีความเหมาะสมสำหรับกระบวนการเฉพาอื่นๆ การเลือกใช้ใบพัดที่มีประสิทธิภาพในการกวนผสมอนุภาคของแข็งได้มีงานวิจัยของ Piya, Palasai Mansattha & Nuntadusit (2019) อธิบายสมรรถนะการผสมของเหลวและอนุภาคของแข็งมีการกระจายอย่างทั่วถึงในถังปฏิกรณ์ด้วยใบพัดแบบตามแนวรัศมี (Radial Impellers) เกิดการแขวนลอยของอนุภาคของแข็งมีการกระจายทั่วได้ดี

การออกแบบรูปทรงทางเรขาคณิตของถังปฏิกรณ์ โดยพื้นฐานในหลักการกำหนดขนาดมิติของถัง (Cabe, Smith & Harriott, 1993) ถังปฏิกรณ์สำหรับแขวนลอยอนุภาคของแข็งนั้นมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาหลายองค์ประกอบ โดยงานวิจัยของ (Kevin, Mark & Julian, 2002) ได้ศึกษาการผสมสำหรับอนุภาคของแข็งที่ต้องการให้มีการกระจายทั่วในถังปฏิกรณ์ ทำการทดสอบการกระจายอนุภาคของแข็งโดยใช้การนับจำนวนอนุภาคของแข็งศึกษาผลของการติดตั้งแผ่นกั้น พบว่า ขนาดของแผ่นกั้น T/12 และมีจำนวนแผ่นกั้นที่จำนวน 4 แผ่นมีประสิทธิภาพดีที่สุด.จากผลการทดลองของ Um & Thomas (2008) ได้แสดงให้เห็นว่าความเร็วในแนวแกนจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญต่อรูปทรงเรขาคณิตด้านล่างของถัง Shengchao Rijie, Xiaoxia & Yuefei (2015) ได้แสดงการเปลี่ยนความสูงของใบพัดกวนต่อการเปลี่ยนแปลงขอบเขตการไหลแบบไมโครสำหรับสารที่เป็นของเหลวผสม

Bakker, Myers, Ward & Lee (1996) ได้ทำการทดลองศึกษาลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นจากใบพัดแบบ 4-blade 45o pitched-blade turbine โดยใช้เทคนิค Laser Doppler Velocimetry (LDV) และ PIV เพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (CFD) ผลการทดลองในช่วงการไหลแบบราบเรียบพบว่า บริเวณรอบๆ ใบพัดมีลักษณะการไหลแบบแนวรัศมี (Radial Flow) มากกว่าการไหลแบบแนวแกน (Axial flow) (Ayranci, Kresta & Derksen, 2013) ได้ทำการทดลองการกวนผสมของของแข็งกับของเหลวโดยใช้ใบพัดแบบ 4-blade pitch-blade turbine กับใบพัดแบบ 3-blade propeller โดยของเหลวที่ใช้ในการกวนเป็นน้ำ ส่วนของแข็งที่ใช้เป็นอนุภาคของแก้วผสมกับสัมฤทธิ์ (Glass and Bronze particles) และใช้เทคนิคการถ่ายภาพความเร็วสูง (High Speed Photography) แสดงการกระจายตัวของอนุภาคของแข็งบริเวณกันถังที่ใกล้เคียงกัน งานวิจัยมุ่งเน้นศึกษาตัวแปรจำนวนใบพัดที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัวของของแข็งที่อยู่บริเวณกันถัง ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงระยะความสูงของใบพัดกวนที่ส่งผลต่อการกระจายของอนุภาคของแข็งทั่วทั้งถังปฏิกรณ์โดยบ่อนความเร็วรอบให้กับใบพัดกวนแบบตามแนวรัศมี (Radial Impellers) ทำการเทียบลักษณะการไหลจากการทดลองและการจำลองพลศาสตร์การไหลในถังปฏิกรณ์ตามวิธีการของ Bai, Jared, James, Chen & Thomas (2012) อธิบายการไหลสำหรับปฏิกิริยาอัลคาไลเซชัน (Alkalization) แสดงตัวแปรที่บ่งชี้ของอนุภาคของแข็งเกิดการกระจายทั่วทั้งในถังปฏิกรณ์ด้วยความเร็วในแนวแกน ความเร็วในแนวรัศมี ที่การกระจายตัวของความเร็วออกจากใบพัด (Iso-surface) เกิดจากระยะความสูงของใบพัดกวน

วัตถุประสงค์การวิจัย

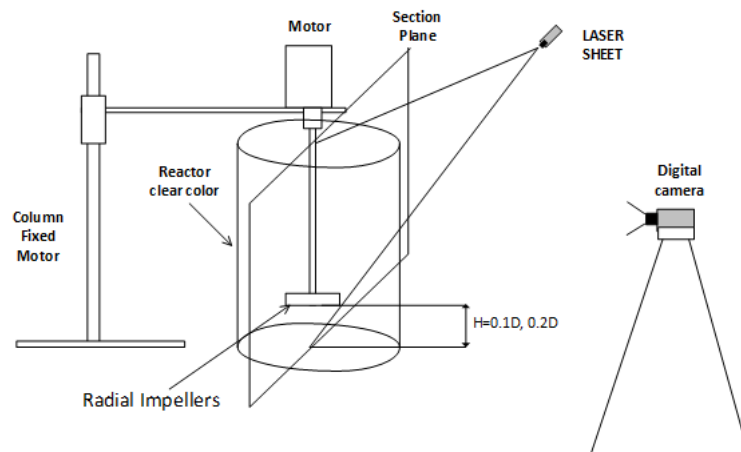
ศึกษาสถานะที่เหมาะสมของถังปฏิกรณ์สำหรับปฏิกิริยาอัลคาไลเซชัน (Alkalization) ล้างเคราะห์สกัดเซลล์ลูโลสจากเปลือกทุเรียน โดยการใช้ใบพัดกวนแบบตามแนวรัศมี (Radial Impellers) ต้องการให้อนุภาคของเปลือกแขวนลอยในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แสดงผลของความเร็วในแนวรัศมีและความเร็วในแนวแกน ที่สามารถกระจายของเปลือกทุเรียนกระจายไปทั่วบริเวณ กำหนดเงื่อนไขระยะสูงของใบพัดกวนที่ 0.1D และ 0.2D

ระเบียบวิธีวิจัย

1. ชุดการทดลอง

การทดลองเป็นการใช้ใบพัดกวนภายในถังปฏิกรณ์โสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 230 mm ภายในถังได้ทำการติดตั้งแผ่นกัน 4 แผ่น ตามที่แสดงในภาพที่ 1 แผ่นกันทำมาจากพลาสติกที่มีความหนา $W=2$ mm และยาว $L=250$ mm ในการทดลองได้กำหนดให้ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์เท่ากับ 613 สำหรับระบบพิกัดที่ใช้กำหนดให้แกน Z อยู่ในแนวตั้งขนานกับแกนเพลลาแกน Y อยู่ในแนวตั้งฉากกับแกนเพลลา และแกน X อยู่ในแนวที่ตั้งฉากกับแกน Y และ แกน Z โดยกำหนดให้จุดกำเนิดของระบบพิกัดอยู่ที่พื้นผิวด้านในของถัง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย ใบพัดกวนแบบตามแนวรัศมี (Radial Impellers) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดเท่ากับ 76 mm ทำการปรับระยะความสูงของใบพัด $x=0.1D$ และ $0.2D$ โดยที่ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของถังปฏิกรณ์



ภาพที่ 1 ชุดทดลองสำหรับแสดงการไหลของใบพัดแบบต่างๆ

ได้ทำการติดตั้งมอเตอร์ที่มีความเร็วรอบเท่ากับ 100 rpm สร้างการไหลด้วยใบพัดกวนแบบตามแนวรัศมี (Radial Impellers) ในถังปฏิกรณ์แบบใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 230 mm ทำการทดลองโดยการปรับระยะความสูงของใบพัดกวนที่ระดับเท่ากับ 0.1D และ 0.2D ตามลำดับ และทำการติดตั้งกล้องจับภาพเพื่อบันทึกภาพการเคลื่อนที่ของอนุภาคของแข็งและการกระจายของอนุภาคที่เคลื่อนโดยเทคนิคฉายเลเซอร์แบบระนาบ (Laser Induced Fluorescence) โดยจับอนุภาคแสดงทิศทางการไหลของอนุภาคเรืองแสง

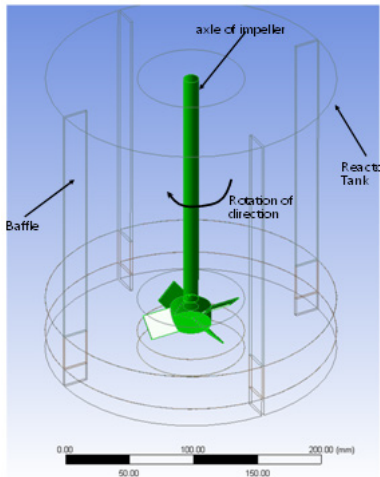
2. โมเดลที่ใช้ในการจำลองด้วยการคำนวณเชิงตัวเลข

วิธีการและขั้นตอนการใช้ CFD ในการจำลองการไหลสำหรับวิธีการและขั้นตอนการใช้ CFD ในการจำลองการไหลนั้นได้เริ่มจากการกำหนดโดเมนของถังปฏิกรณ์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 230 mm ที่ทำการบ่อนความเร็วรอบ 100 rpm ให้กับใบพัดกวนแบบตามแนวรัศมี (Radial Impellers) ในภาพที่ 2 แสดงโมเดลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการไหลโดยใช้โปรแกรม ANSYS Ver.15

การสร้างกริด (Meshing)

การสร้างกริด (Meshing) เป็นขั้นตอนต่อจากการสร้างโมเดล ดังแสดงในภาพที่ 2B โดเมนถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ บริเวณด้านบนของใบพัดกวน บริเวณแกนกลางของใบพัดกวน บริเวณในแนวรัศมีใบพัดกวน และบริเวณใบพัดกวน

กริดที่ใช้ในแบบจำลองจะมีลักษณะเป็น Tetrahedral ดังแสดงในภาพที่ 2B โดยจะทำการแบ่งบริเวณเป็น 3 ส่วน คือ บริเวณด้านล่างของใบพัดกวน และบริเวณใบพัดกวนและแกนหมุนมีความปั่นป่วนสูงมากและมีการไหลที่ซับซ้อน ดังนั้นจึงสร้างกริดแบบละเอียด



A) โมเดลที่ใช้สำหรับการจำลองการ

B) การแบ่งโดเมนสำหรับสร้างกริดแบบจำลอง

ภาพที่ 2 แสดงขนาดและการสร้างกริดโมเดลที่ใช้การคำนวณเชิงตัวเลขของใบพัดกวนแบบตามแนวรัศมี (Radial Impellers)

การจำลองทางพลศาสตร์การไหลเชิงคำนวณของการหมุนของใบพัดกวนในถังปฏิกรณ์นั้นเมื่ออยู่ 2 วิธี: Multiple Reference Frame (MRF) และ Sliding Mesh approach (SM) (Marshall & Bakker, 2002) งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการ MRF โดยกำหนดขอบเขตของโดเมน 2 บริเวณ คือบริเวณใบพัดกวนกำหนดให้เป็นบริเวณขอบเขตที่เกิดการหมุน (rotating domain) และขอบเขตทั้งหมดกำหนดให้เป็นขอบเขตหยุดนิ่ง (stationary domain) การจำลองการไหล 3 มิติ แบบคงตัว โดยที่โมเดลที่ใช้ในการคำนวณรวมทั้งเงื่อนไขขอบเขตได้ถูกจำลองให้เหมือนกับการทดลอง ใช้ SIMPLEC อัลกอริทึมในการแก้สมการความต่อเนื่องและสมการ Reynolds-Averaged Navier-Stoke และเลือกใช้ Spatial discretization แบบ second order-upwind ในการคำนวณโดยกำหนดค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 10^{-4}

สมการเชิงอนุพันธ์มวล

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0$$

สมการเชิงอนุพันธ์โมเมนตัม

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

แบบจำลองความปั่นป่วน SST

เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณชุดสมการ RANS ในปัญหาการไหลแบบปั่นป่วน โดยใช้หาค่า Reynolds Stress (τ_{ij}) ซึ่งเป็นตัวแปรที่แทนค่า Fluctuation แบบจำลองความปั่นป่วน SST $k-\omega$ ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีชุดสมการ 2 สมการ คือ สมการ k และสมการ ω

โดยค่า Reynolds Stress สามารถใช้หลักสมมติฐานของ Boussinesq สร้างความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

$$\tau_{ij} = -\overline{\rho u_i u_j} = \mu_i \left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho \overline{k} \delta_{ij}$$



โดยที่

μ_t คือ ค่าความหนืดของการไหลแบบปั่นป่วน

เมื่อ

$$S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}$$

a_1 คือ ค่าคงที่

F_2 คือ Blending Function

โดยที่ค่า k คือ พลังงานจลน์ของการปั่นป่วน (Turbulence Kinetic Energy) สามารถเขียนสมการได้

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \beta^* \rho k \omega$$

$$P_k = 2\mu S_{ij}S_{ij} - \frac{2}{3}\rho k \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \delta_{ij}$$

เมื่อ

อัตราการสูญเสียจำเพาะ (Specific Dissipation Rate) สามารถเขียนสมการได้ คือ

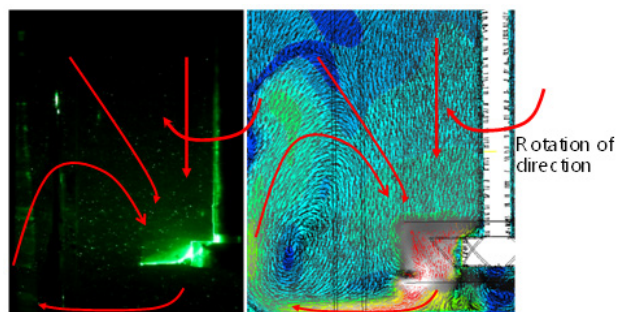
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\omega,1}} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + \gamma_2 P_\omega - \beta_2 \rho k \omega^2 + 2 \frac{\rho}{\sigma_{\omega,2} \omega} \frac{\partial k}{\partial x_k} \frac{\partial \omega}{\partial x_k}$$

$$P_\omega = 2\mu S_{ij}S_{ij} - \frac{2}{3}\rho \omega \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \delta_{ij}$$

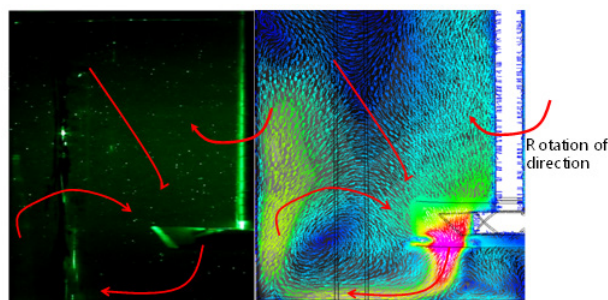
เมื่อ

โดยที่ $\sigma_k = 1.0, \sigma_{\omega,1} = 2.0, \sigma_{\omega,2} = 1.17, \gamma_2 = 0.44, \beta_2 = 0.083$ และ $\beta^* = 0.44$ เป็นค่าคงที่

การเทียบรูปแบบการไหลจากการทดลองและผลการคำนวณเชิงตัวเลข



A) ระยะความสูงของใบพัดกวน $H=0.1D$



B) ระยะความสูงของใบพัดกวน $H=0.2D$

ภาพที่ 3 ผลการไหลจากการทดลองและผลการคำนวณเชิงตัวเลขของใบพัดกวนแบบตามแนวรัศมี (Radial Impellers)

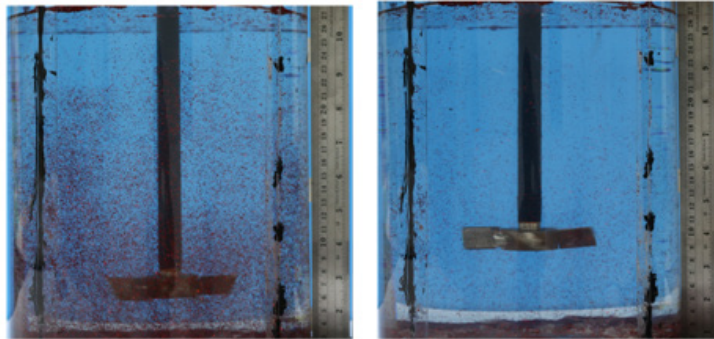
จากผลการทดลองอนุภาคของแข็งเกิดการไหลหมุนเวียนผ่านใบพัดแบบตามรัศมี (Radial Impellers) ไหลลงด้านล่างและไปกระทบกับพื้นผิวถังปฏิกรณ์ การเพิ่มความสูงของใบพัดกวนจะเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหล ส่วนผลการจำลองทางพลศาสตร์ของไหล การเพิ่มความสูงของใบพัดกวน จะส่งผลต่อลักษณะการไหลหมุนเวียน เมื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะรูปแบบการไหลจากการจำลองพลศาสตร์ของไหลและผลการทดลองมีลักษณะเหมือนกัน จึงอนุมานใช้ผลการจำลองทางพลศาสตร์ของไหลมีคุณสมบัติเหมือนกันสามารถอธิบายปรากฏการณ์การไหลสำหรับปฏิกิริยาอัลคาไลเซชัน (Alkalization) สำหรับสังเคราะห์เปลือกหุ้เรียนแขวนลอยในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ได้

ผลการวิจัย

การสังเคราะห์เปลือกหุ้เรียนแขวนลอยในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในถังปฏิกรณ์นั้น ได้ทำการแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองบ่อนความเร็วรอบ 100 rpm ให้กับใบพัดกวนที่ระดับความสูงของใบพัดกวน 0.1D และ 0.2D ตามลำดับ แสดงสมรรถนะการกระจายอนุภาคของแข็ง และผลการจำลองการไหลด้วยโปรแกรมคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ANSYS ver.15 (Fluent) โดยทำการยืนยันผลโดยใช้ลักษณะการไหลที่ได้จากการทดลอง แสดงลักษณะความเร็วในบริเวณด้านล่างของใบพัดกวน และผลที่การเปลี่ยนแปลงความเร็วในแนวรัศมี และความเร็วในแนวแกนที่ส่งผลต่อการกระจายของอนุภาคของแข็งที่สามารถประยุกต์ใช้ในการสังเคราะห์เซลล์โลสภายในถังปฏิกรณ์ได้



1. ผลการกระจายของอนุภาคของแข็งที่ระยะความสูงของใบพัดกวนแบบตามแนวรัศมี (Radial Impellers)

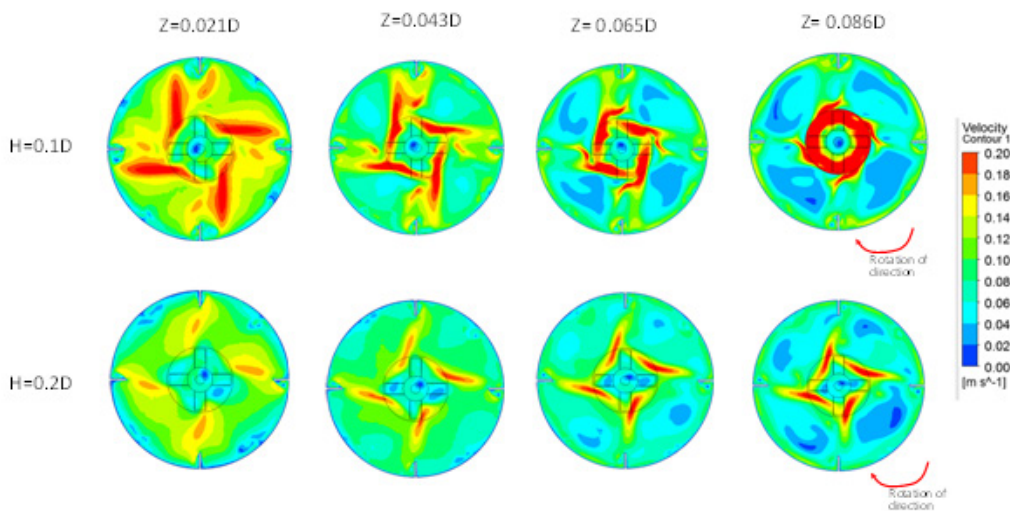


A) ระยะความสูงของใบพัดกวน $H=0.1D$ B) ระยะความสูงของใบพัดกวน $H=0.2D$

ภาพที่ 4 ผลการกระจายของอนุภาคของแข็งโดยการปรับความสูงของใบพัดกวนแบบตามรัศมี (Radial Impellers)

ผลการทดลองที่ทำการปรับความเร็วรอบ 100 rpm ให้กับใบพัดกวนแบบตามแนวรัศมี (Radial Impellers) โดยทำการปรับระดับความสูง 0.1D และ 0.2D ตามลำดับ ผลที่ได้แสดงการกระจายตัวของอนุภาคแข็งภายในถังกวนลดลงอย่างชัดเจน

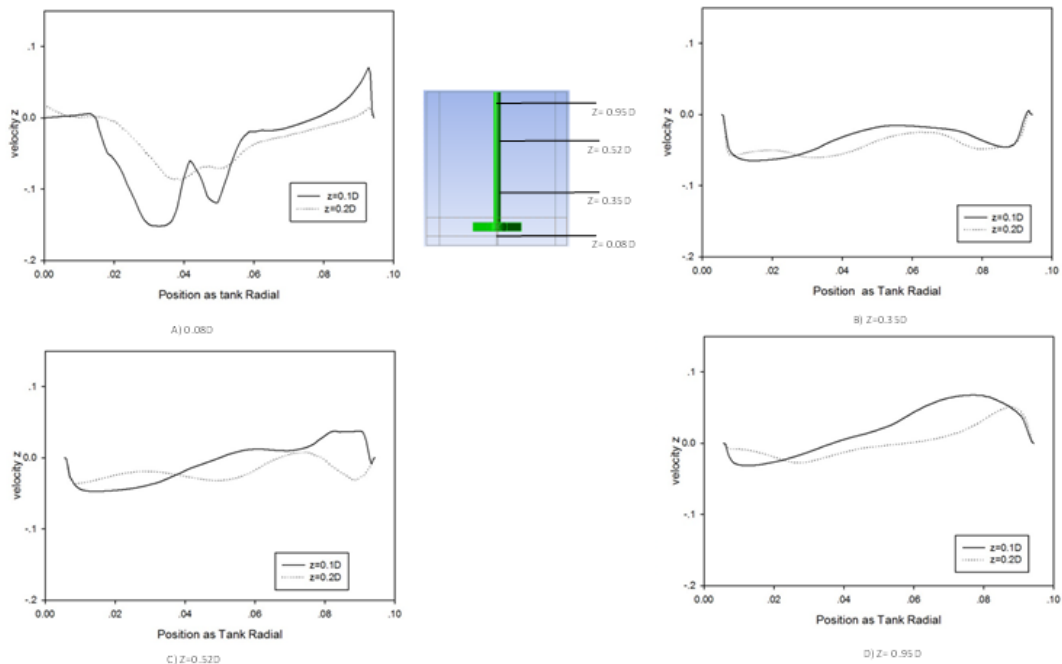
2. ผลของระยะความสูงใบพัดที่มีผลต่อความเร็วในแนวรัศมี ใบพัดกวนแบบตามแนวรัศมี (Radial Impellers)



ภาพที่ 5 ผลของความเร็วที่เกิดขึ้นในระนาบความสูงต่างๆ

ภาพที่ 5 แสดงค่าความเร็วบริเวณด้านล่างของใบพัดกวนจนถึงรูปทรงกระบอก โดยได้ทำการจัดระนาบในแนวแกน z มีค่าตั้งแต่ $z=0.021D$, $0.043D$, $0.065D$ และ $0.086D$ ตามลำดับ กำหนดให้ใบพัดหมุนตามเข็มนาฬิกาสร้างการไหลของเหลวกระจายในแนวรัศมี ใบพัดหมุนทำให้เกิดบริเวณค่าความเร็วสูงที่ตำแหน่งด้านหน้าและเกิดการบิดงอเมื่อปะทะกับแผ่นกั้น ในกรณีของระยะความสูง 0.1D ค่าความเร็วสูงจะสามารถเห็นได้ชัดเจนในระนาบ $z=0.021D$, $0.043D$ และ $0.065D$ แต่เมื่อพิจารณากรณี 0.2D บริเวณความเร็วสูงจะมีขนาดลดลงในระนาบ $z=0.021D$ แต่จะเกิดในบริเวณที่ใกล้กับใบพัดกวนระนาบ $z=0.065D$ และ $0.086D$

3. ผลของความสูงใบพัดที่มีต่อความเร็วในแนวแกน แบบตามแนวรัศมี (Radial Impellers)



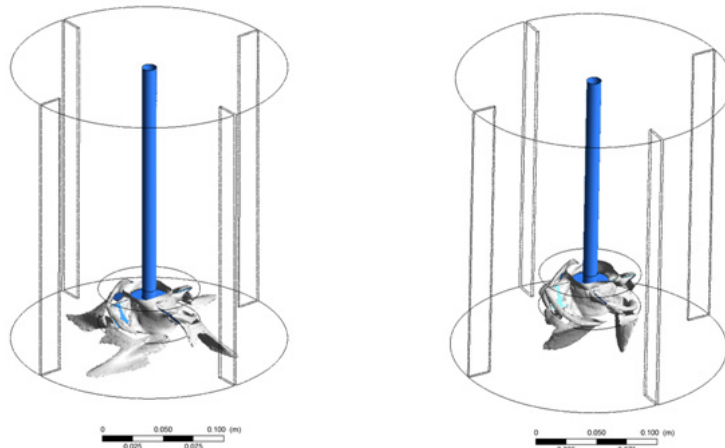
ภาพที่ 6 ผลของความเร็วในแนวตั้งจากการเพิ่มระยะความสูงของใบพัดกวนแบบตามแนวรัศมี (Radial Impellers)

แสดงค่าความเร็วในแกนตามแนวรัศมีถึงรูปทรงกระบอก โดยได้ทำการตัดระนาบในแนวแกน z มีค่าตั้งแต่ $z=0.08D$, $0.35D$, $0.52D$ และ $0.95D$ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาบริเวณที่ด้านล่างของใบพัดกวน แสดงดังภาพที่ 6A ระนาบตำแหน่ง $z=0.08D$ กรณีติดตั้งใบพัดกวนที่ระยะความสูงเท่ากับ $0.1D$ ความเร็วในทิศทางลบมากกว่ากรณีที่ติดตั้งใบพัดกวนที่ระยะความสูงเท่ากับ $0.2D$ ดังนั้นความเร็วในการปะทะที่พื้นถังปฏิกรณ์มีแรงการพัดพามากกว่า

ตำแหน่ง $z=0.52D$ และ $0.95D$ มีค่าความเร็วในแนวแกนบริเวณผนังของถังปฏิกรณ์เป็นบวก แต่บริเวณแกนกลางความเร็วมีขนาดเป็นลบในบริเวณตั้งแต่ $0-0.15D$ ดังนั้นการไหลจะมีลักษณะหมุนเวียนส่งผลให้เกิดการกระจายของอนุภาคของแข็งได้ดีและการพัดพาอนุภาคของแข็งให้กระจายทั่วชั้นด้านบนของใบพัดกวนได้



4. การกระจายตัวของความเร็วที่ออกจากใบพัดกวน(Iso-surface) แบบตามแนวรัศมี (Radial Impellers)



A) ระยะความสูงของใบพัดกวน $H=0.1D$

B) ระยะความสูงของใบพัดกวน $H=0.2D$

ภาพที่ 7 การกระจายตัวของความเร็วที่ออกจากใบพัดกวน(Iso-surface) จากการเพิ่มระยะความสูงของใบพัดกวนแบบตามแนวรัศมี (Radial Impellers) ที่ความเร็วเท่ากับ 2 m/s

เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของความเร็วที่ออกจากใบพัดกวน Iso-surface จากการปรับระดับความสูง 0.1D และ 0.2D ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความสูงของใบพัดกวนจะส่งผลให้เกิดการกระจายความเร็วจากใบพัดกวนนั้นมีขนาดลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อการกระจายของอนุภาคของแข็งในบริเวณด้านล่างของใบพัดกวน

อภิปรายผล

จากผลการวิจัยการไหลสำหรับปฏิกิริยาอัลคาไลเซชัน (Alkalization) สำหรับสังเคราะห์เปลือกทุเรียนแขวนลอยในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) พบว่าการกระจายของอนุภาคของแข็งได้ดีด้วยใบพัดกวนแบบตามแนวรัศมี (Radial Impellers) ที่สร้างการไหลในแนวรัศมีมีแรงบริเวณด้านล่างของใบพัดกวน และความเร็วในแนวตั้งมีค่าทั้งบวกและลบ จะทำให้การกระจายของอนุภาคของแข็งกระจายไปทั่วบริเวณที่อยู่ด้านบนของใบพัดกวนแต่การต้องศึกษาเพิ่มเติมในรายละเอียดการแพร่ของสารละลายทำปฏิกิริยากับเปลือกทุเรียนและอนุภาคของแข็งควรจะเป็นเปลือกทุเรียนแต่งานวิจัยนี้ใช้อนุภาคเรืองแสงต้องการจับการเคลื่อนที่ของอนุภาคของแข็งได้

สรุป

ถึงปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาอัลคาไลเซชัน (Alkalization) ต้องมีการแพร่กระจายของอนุภาคเปลือกทุเรียนแขวนลอยในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ด้วยใบพัดกวนแบบตามแนวรัศมี (Radial Impellers) มีสภาวะความเร็วในแนวรัศมีมีแรง และความเร็วในแนวแกนมีค่าบวกและค่าลบ ส่งผลให้เปลือกทุเรียนกระจายไปทั่วบริเวณถึงปฏิกิริยา การเพิ่มระยะความสูงของใบพัดกวนสามารถแสดงได้ดังนี้

1) การเปลี่ยนระดับความสูงของใบกวน เกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ตกกระทบบริเวณก้นถังปฏิกิริยาทำให้ความเร็วในแนวแกนลดลง

2) ความเร็วในแนวรัศมีจะมีการไหลที่รุนแรงตามระยะความห่างจากใบพัดกวน ดังนั้นที่ระดับความสูงที่ 0.1D จะแสดงความเร็วในแนวรัศมีไหลปะทะแผ่นก้นอย่างชัดเจน

ข้อเสนอแนะ

ปฏิกิริยาอัลคาไลเซชัน (Alkalization) สำหรับสังเคราะห์เปลือกทุเรียนแขวนลอยในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นปัจจัยที่มีผลต่อกำลัง (Power) ที่ต้องใช้ในการกวน ค่าความเร็วเกรเดียนท์ (Velocity gradient) หรือความเค้นเฉือนทำปฏิกิริยาที่ส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพในการสลายเฮมิเซลลูโลสและลิกนินเร็วขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนอุดหนุนจากโครงการวิจัยและพัฒนาภาคีร่วมเอกชนในเชิงพาณิชย์ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 และขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์ ที่มอบงบประมาณในการนำเสนองานวิจัยนี้

รายการอ้างอิง (References)

- Abushammala, H., Goldsztyan, R., Leao, A., & Laborie, M.P. (2016). Combining steam explosion with 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate treatment of wood yields lignincoated cellulose nanocrystals of high aspect ratio. *Cellulose*, 23, 1813-1823
- Ayranci, I., Kresta, S.M., & Derksen. J.J., (2013). Experiments and Simulation on Bidisperse Solids Suspension in a Mixing Tank. *Chemical Engineering Technology*, 11, 1958-1967.
- Bai, G., Jared S.B., James G. B., Chen, Q.W. & Thomas L., (2012) Computational fluid dynamics (CFD) insights into agitation stress methods in biopharmaceutical development. *International Journal of Pharmaceutics*, 423, 264-280.
- Bakker, A., Myers, J., Ward, R.W., & Lee, C.K. (1996). The laminar and turbulent flow pattern of a pitched blade turbine. *Trans IChemE, Part A, Chemical Engineering Research and Design*, 74, 485-491.
- Cabe, W.L., Smith, J.C. & Harriott, P. (1993). *Unit operations of chemical engineering*. New York: McGraw-Hill
- Chao Y.P., Sugano Y., Kouda T., Yoshinaga F., & Shoda M.,(1997). Production of bacterial cellulose by *Acetobacter xylinum* with an air-lift reactor. *Biotechnology Techniques*, 11, 829-832.
- Dufresne, A., Dupeyre, D., & Vignon, M.R., (2000). Cellulose microfibrils from potato tuber cell: processing and characterization of starch-cellulose microfibril composite. *Journal of Applied Polymer Science*, 76, 2080-2092.
- Kevin, J. M., Mark F. R., & Julian, B.F. (2002). *Optimize Mixing by Using the Proper Baffles*. Retrieved 3 February 2019 from www.cepmagazine.org.
- Li, J.B., Henriksson, G., & Gellerstedt, G. (2007). Lignin depolymerization repoly-merization and its critical role for delignification of aspen wood by steam explosion. *Bioresource Technology*, 98, 3061-3068.



- Marshall, E.M. & Bakker, A. (2002). *Computational Fluid Mixing*. Lebanon: Fluent Inc.
- Piya, I., Palasai, W., Mansattha, M., & Nuntadusit, C., (2019). Study on Characteristics of Reactor Tank for Duraion Peel synthesis. *Heat and mass energy transfer in thermal and process equipment*, 18th, pp 143-150.
- Samir, A.S.A., Alloin, F., & Dufresne, A. (2005). Review of recent research into cellulosic whiskers, their properties and their application in nanocomposite field. *Biomacromolecules*, 6, 612-626.
- Shengchao, Q., Rijie, W., Xiaoxia, Y., & Yuefei Y. (2015). CFD Prediction of Mean Flow Field and Impeller Capacity for Pitched Blade Turbine. *Transactions of Tianjin University*, 21(3), 250-258.
- Um, B.H. & Thomas R.H., (2008). A CFD model for predicting the flow patterns of viscous fluids in a bioreactor under various operating conditions. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 25(5), 1094-1102.