## CST36



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25 19-21 ตุลาคม 2554 จังหวัดกระบี

# การจำลองการไหลผ่านใบพัดในระบบทำปฏิกิริยาของการเตรียมโพลิเมอร์ Simulation of Fluid Flow Through Propeller in Prepolymer Reactor

้<u>รัตนสุดา แนวเงินด</u>ี<sup>1,</sup>\*, ปฏิภาณ กนกบรรณกร<sup>2</sup> และ เสฏฐวรรธ สุจริตภวัตสกุล<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 <sup>2</sup> บริษัท ไทยโพลิโพรไพลีน จำกัด 271 ถนน สุขุมวิท ต. มาบตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง 21150 \* ผู้ติดต่อ: E-mail: <u>rattanan@mtec.or.th</u>, เบอร์โทรศัพท์: 02 564 6500 ต่อ 4582, เบอร์โทรสาร: 02 564 6370

#### บทคัดย่อ

ในกรณีที่ของไหลไหลเข้าสู่ใบพัดของป<sup>ั้</sup>ม ของไหลจะหมุนวน มีความเร็วสูงขึ้นและความดันต่ำลงเป็นช่วง ระยะเวลาหนึ่ง เป็นผลให้เกิดโพรงอากาศหรือโพรงช่องว่างทางด้านดูดของใบพัด ส่งผลให้เกิดการกระแทกอย่าง รุนแรงของไอภายในโพรงอากาศและเกิดการสั่นสะเทือน ซึ่งจะทำให้ใบพัดเกิดความเสียหายขึ้นได้ เพื่อป้องกัน ไม่ให้ของไหลกลายเป็นไออย่างทันทีทันใด ดังนั้นในขณะที่ไหลเข้าสู่ใบพัดจึงจำเป็นต้องป้องกันโดยการทำให้ความ ดันของของไหลสูงกว่าความดันไอ

ภายในระบบทำปฏิกิริยาของการเตรียมโพลิเมอร์จะมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ระบบท่อที่ใช้ในการทำ ปฏิกิริยาและใบพัดที่ใช้ในการขับเคลื่อนของไหลในระบบ ซึ่งในระบบทำปฏิกิริยานี้ของไหลที่ไหลผ่านใบพัดอยู่ใน ระดับต่ำและถูกสูบอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการหมุนวน เกิดความปั้นป่วน ซึ่งอาจทำให้เกิดโพรงอากาศเข้าสู่ใบพัด ได้ ดังนั้นการศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหลภายในระบบจำเป็นจะต้องใช้การคำนวณทางวิศวกรรม (CAE) เข้ามาช่วยในการจำลองพฤติกรรมการไหล เพื่อให้ทราบถึงความดัน ความเร็วและเส้นการไหลของของไหลที่ เกิดขึ้นในระบบ และในการวิเคราะห์นี้ได้เปรียบเทียบถึงผลกระทบของการติดตั้ง Vortex Breaker ที่มีต่อการไหล ของของไหลภายในระบบและพบว่า Vortex Breaker สามารถช่วยลดการหมุนวนของของไหลที่ด้านดูดของใบพัด ลงได้

้*คำหลัก:* ใบพัด, การคำนวณทางวิศวกรรม, การจำลองการไหล, Vortex Breaker

#### Abstract

When fluid flows through a pump's propeller, the flow velocity increases while its pressure decreases. These phenomena might lead to cavitation in front of the propeller, consequently inducing vibration in the system and possibly resulting in damage to the propeller. To prevent cavitation, one must prevent fluid vaporization as it passes the propeller, by ensuring that flow pressure near the propeller remains above the fluid's vapor pressure.



In the prepolymer reactor, the system consists of two main components –the reactor pipe system and a propeller for moving the fluid within the system. The fluid at the bottom of the reactor system is subject to suction by the propeller and flows through the propeller at high velocity, resulting in increased turbulence and vaporization. We use computer aided engineering (CAE) to study the properties of the flow and to simulate its pressure field, velocity field, and observe the behavior of fluid streamlines within the system. The focus of this study was to compare the effect of a vortex breaker on the fluid's behavior; we found that the vortex breaker can effectively reduce the fluid's velocity in front of the propeller.

Keywords: Propeller, computer aided engineering, fluid flow simulation, Vortex Breaker

#### 1. บทนำ

ในขั้นตอนการเตรียมโพลิเมอร์ของการผลิตโพลิ โพรไพลีนนั้นสามารถผลิตได้ด้วยการใช้เครื่องทำ ปฏิกิริยาที่มีอยู่หลากหลายชนิด เช่น เครื่องปฏิกรณ์ แบบ autoclave. ถังกวนแบบต่อเนื่อง (continuous stirred tank), เครื่องปฏิกรณ์แบบ fluidized bed หรือ เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหลวนเวียน (tubular loop reactor) [1] ซึ่งในการวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงระบบการผลิต โพลิโพรไพลีนด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหลวนเวียน โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมโพลิเมอร์ คือ slurry ซึ่งเกิดขึ้นจากการผสมกันของโพรไพลีน (Propylene) และตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ที่ไหล ้วนเวียนอย่างต่อเนื่องภายในเครื่องปฏิกรณ์ ขนาดท่อ ที่ใช้ในเครื่องปฏิกรณ์โดยทั่วไปจะมีขนาดใหญ่และมี ใบพัดแบบ axial เป็นอุปกรณ์ในการขับเคลื่อนของ ไหลภายในระบบ

เนื่องจากในระบบทำปฏิกิริยามีใบพัดเป็นอุปกรณ์ ในการขับเคลื่อนของไหลดังนั้นในการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้น ในการพิจารณาการไหลของของไหลที่ไหลผ่านใบพัด โดยปรากฏการณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อใบพัด แบบ axial คือ โพรงอากาศ (cavitation) โดยโพรง อากาศที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้ประสิทธิภาพของใบพัด ลดลงอย่างมาก ทำให้ใบพัดเกิดการกัดกร่อน รวมถึง ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนและเสียงดังเกิดขึ้นในระบบ อีกด้วย [2,3] แต่เนื่องจากในการศึกษาพฤติกรรมการ เกิดโพรงอากาศในระบบด้วยวิธีการทดลองนั้นทำได้ ยากและมีค่าใช้จ่ายสูงมาก ดังนั้นการจำลองการไหล ของของไหลในระบบด้วยการใช้การคำนวณทาง วิศวกรรม (Computer Aided Engineering, CAE) ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) เป็น เครื่องมือในการทำนายพฤติกรรมการไหลของของ ไหลภายในระบบจึงเป็นวิธีที่เหมาะสม [4] เพื่อทำให้ เข้าใจพฤติกรรมของของไหลบริเวณใบพัดและ ผลกระทบของการติดตั้ง vortex breaker ที่มีต่อการ ไหลของของไหลภายในระบบ

#### 2. ทฤษฎีและหลักการ

# 2.1 Reynolds – Averaged Navier – Stokes (RANS) equations

สมการความต่อเนื่อง (continuity equation)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \tag{1}$$

สมการโมเมนตัม (momentum equation)

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \otimes U)$$

$$= -\nabla p + \nabla \cdot \{\tau - \rho \overline{u \otimes u}\} + S_{M}$$
(2)

- เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล,
  - U คือ ค่าความเร็ว
  - p คือ ค่าความดัน

 ${\rm S}_{\rm M}$  คือ momentum source

τ คือ molecular stress tensor

ρ<mark>u⊗u</mark> คือ ความเค้นเรย์โนลด์ (Reynolds stress)

2.2 The Shear Stress Transport (SST) model เป็นวิธีการที่ [5,6]



1. รวม  $k-\omega$  model ภายในชั้นขอบเขต (inner boundary layer) กับ  $k-\varepsilon$  model ด้านนอกชั้น ขอบเขต (outer region of the boundary layer)

 2. ปรับปรุงขีดจำกัดของ shear stress ใน ขอบเขตที่เกิดเกรเดียนท์ความดันที่ไม่พึงประสงค์ (adverse pressure gradient)

ดังนั้น SST model จึงเป็นแบบจำลองที่นำข้อเด่น
 ของ k – ω และ k – ε มาผนวกเข้าด้วยกันและแปลง
 ให้อยู่ในรูปของตัวแปร k และ ω โดยสมการควบคุม
 SST model ประกอบด้วยสมการพลังงานจลน์ของ
 ความป<sup>ั่</sup>นปวน k และสมการอัตราการสลายพลังงาน
 จลน์ป<sup>ั่</sup>นปวนจำเพาะ ω ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_{i}k)}{\partial x_{i}} = P_{k} - \beta^{*}\rho\omega k + \frac{\partial}{\partial x_{i}} \left[ \left(\mu + \sigma_{k}\mu_{t}\right)\frac{\partial k}{\partial x_{i}} \right]$$
(3)

$$\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_{i}\omega)}{\partial x_{i}} = \alpha \rho S^{2} - \beta \rho \omega^{2} + \frac{\partial}{\partial x_{i}} \left[ \left( \mu + \sigma_{\omega} \mu_{t} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_{i}} \right] + 2 (1 - F_{1}) \rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_{i}} \frac{\partial \omega}{\partial x_{i}}$$
(4)

โดย

$$\arg_{1} = \min\left[\max\left(\frac{\sqrt{k}}{\beta^{*}\omega y};\frac{500\nu}{y^{2}\omega}\right);\frac{4\rho\sigma_{\omega 2}k}{CD_{k\omega}y^{2}}\right] \quad (6)$$

 $F_1 = tanh(arg_1^4)$ 

เมื่อ y คือ ระยะที่อยู่ใกล้ผนังที่สุด และ  $CD_{k\omega}$  คือ positive portion of the cross-diffusion term

$$CD_{k\omega} = \max\left(2\rho\sigma_{\omega 2}\frac{1}{\omega}\frac{\partial k}{\partial x_{i}}\frac{\partial \omega}{\partial x_{i}}, 10^{-10}\right)$$
(7)

 $F_l=0$  เมื่อห่างจากผิว ( k -  $\epsilon$  model) และ  $F_l=1$  เมื่ออยู่ในชั้นชิดผิว ( k -  $\omega$  model)

และความหนึดป<sup>ั้</sup>นปวน (turbulent Eddy – Viscosity) มีนิยามคือ

$$v_{t} = \frac{a_{1}k}{\max\left(a_{1}\omega, SF_{2}\right)}$$
(8)

$$F_{2} = \tanh\left(\max\left(\frac{2\sqrt{k}}{\beta^{*}\omega y}, \frac{500\nu}{y^{2}\omega}\right)^{2}\right)$$
(9)

k คือ พลังงานจลน์ของความป<sup>ั้</sup>นป่วน

ω คือ อัตราการสลายพลังงานจลน์ปั่นป่วน
 จำเพาะ

S คือ invariant measure of the strain rate

 $F_1$  และ  $F_2$  คือ blending function

v คือ ความหนืดจลน์

เมื่อแทนค่าคงที่ของ SST model ด้วย φ ดังนั้นค่า φ จะคำนวณได้จากค่าคงที่ φ<sub>1</sub> และ φ<sub>2</sub>

$$\phi = \phi_1 F_1 + \phi_2 \left( 1 - F_1 \right)$$
 (10)

โดยที่ค่าคงที่  $\phi_1$  จาก  $k - \varepsilon$  model (Wilcox):

 $\sigma_{k1} = 0.85, \ \sigma_{\omega 1} = 0.5,$ 

 $\beta_1 = 0.075, \quad \phi_1 = 5 / 9$ 

ค่าคงที่  $\phi_2$  จาก  $k-\omega$  model:

$$\sigma_{k2} = 1.0, \quad \sigma_{\omega 2} = 0.856,$$

$$B_2 = 0.0828, \quad \phi_2 = 0.44$$

#### 2.3 Rotational Forces

สำหรับการไหลผ่านระบบที่มีการเคลื่อนที่ด้วย ความเร็วเชิงมุมคงที่ momentum source เนื่องจากผล ของแรงที่เกิดจากการหมุนของโลก (Coriolis force) และ แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal force) ได้ ถูกเพิ่มเข้ามา

$$\mathbf{S}_{\mathrm{M,rot}} = \mathbf{S}_{\mathrm{Cor}} + \mathbf{S}_{\mathrm{cfg}} \tag{11}$$

โดยที่

(5)

$$S_{cor} = -2\rho\omega \times U \tag{12}$$

$$S_{cfg} = -\rho\omega \times (\omega \times r)$$
(13)

เมื่อ r คือ location vector และ U คือ relative frame velocity

#### 2.4 Multicomponent Flow

เนื่องจากของไหลแต่ละชนิดในระบบมีสมการ อนุรักษ์มวลเฉพาะของของไหลนั้น ดังนั้นสมการ Reynolds – averaging คือ

$$\frac{\partial \rho_{i}}{\partial t} + \frac{\partial \left(\rho_{i} U_{j}\right)}{\partial x_{j}}$$

$$= -\frac{\partial}{\partial x_{j}} \left(\rho_{i} \left(U_{ij} - U_{j}\right) - \overline{\rho_{i} "U_{j}"}\right) + S_{i}$$
(14)

เมื่อ ρ<sub>i</sub> คือความหนาแน่นเชิงมวลเฉลี่ยของของไหล i



$$U_j = \sum \left( 
ho_i \, U_{ij} 
ight) / \stackrel{-}{
ho}$$
 คือสนามความเร็วเชิงมวล  
เฉลี่ย

- U<sub>ij</sub> คือความเร็วเชิงมวลเฉลี่ยของของไหล i
- $\mathbf{S}_{\mathbf{i}}$  คือ source term ของของไหล  $\mathbf{i}$

เมื่อรวมสมการของของไหลแต่ละชนิดในระบบจะได้ สมการความต่อเนื่องเป็น

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial \left( \bar{\rho} U_{j} \right)}{\partial x_{j}} = 0$$
 (15)

#### 2.5 เฮดของระบบ (System Head)

พลังงานที่ปั้มจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลว เพื่อ ก่อให้เกิดการไหลนั้น บอกเป็นความสูงของแท่ง ของเหลวหรือเฮด โดยที่

#### System Head = [Total Discharge Head]

- [Total Suction Head]

$$H = \left[\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + Z\right]_D - \left[\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + Z\right]_S$$
(16)

เมื่อ  $\mathbf{P}_{\mathrm{D}}$  คือ ค่าความดันด้านหน้าใบพัด

 $\mathrm{P}_{\mathrm{S}}$  คือ ค่าความดันด้านหลังใบพัด

- V<sub>D</sub> คือ ค่าความเร็วของของไหลบริเวณด้านหน้า ใบพัดตามทิศทางการไหล
- V<sub>S</sub> คือ ค่าความเร็วของของไหลบริเวณด้านหลัง ใบพัดตามทิศทางการไหล
- Z<sub>D</sub> และ Z<sub>S</sub> คือระดับของไหลด้านหน้าและหลัง ใบพัด

#### 3. วิธีการวิจัย

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการทาง CAE/CFD นั้น กำหนดให้การไหลเกิดขึ้นในสภาวะคงตัวและของไหล เป็นแบบอัดตัวไม่ได้ ในการสร้างแบบจำลองได้ใช้ แบบจำลอง 3 มิติของของไหลในระบบทำปฏิกิริยา ตามขนาดจริงด้วยโปรแกรมทาง CAD ในส่วนที่เป็น ระบบท่อ และส่วนใบพัดได้ทำการสแกนจากใบพัดที่ใช้ ในระบบจริง และกำหนดเงื่อนไขให้ความเร็วรอบของ ใบพัดในระบบเป็น 1000, 1250, 1478, 1750 และ 2000 รอบ/นาที มีทิศทวนเข็มนาฬิกาเมื่อพิจารณา ตามทิศทางการไหลของของไหลและในการจำลองได้ ใช้แบบจำลองความป<sup>ั้</sup>นป่วนแบบ SST โดยในการวิเคราะห์ได้แบ่งเป็น 2 กรณี คือ (1) แบบที่มี Vortex breaker และ (2) แบบที่ไม่มี Vortex breaker ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ คุณสมบัติของของไหลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่

1) บริเวณแกนใบพัด มีการเติมโพรไพลีน

- ความหน็ด 0.0833 cP
- ความหนาแน่น 495 kg/m<sup>3</sup>
- อัตราการใหลเข้า 0.650 ตัน/ชั่วโมง

 บริเวณที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผสมกับโพรไพ ลีนเหลว

- ความหน็ด 0.101 cP
- ความหนาแน่น 545 kg/m<sup>3</sup>
- อัตราการไหลเข้า 2.73 ตัน/ชั่วโมง

 บริเวณทางออกของของไหล (Out Flow) กำหนดให้ความดันของไหลด้านทางออก 40.3 kg/cm<sup>2</sup>

ของไหลภายในเครื่องปฏิกรณ์เป็น slurry ซึ่งสาร ผสมระหว่างโพรไพลีนและ catalyst

- ความหน็ด 0.148 cP

- ความหนาแน่น 552 kg/m<sup>3</sup>

ของไหลในระบบมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่

20 °C และความดันไอของของไหลในระบบที่ 20 °C คือ 1.01 MPa



ตารางที่ 1 จำนวน node และ element ที่ใช้ในการ จำลอง

252	จำนวน	จำนวน	
1199149	node	element	
1) มี Vortex Breaker	641,613	2,140,884	
2) ไม่มี Vortex Breaker	631,876	2,102,610	
2) เมม Vortex Breaker	631,876	2,102,6	

4. ผลการวิเคราะห์

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีการ ติดตั้ง Vortex breaker และไม่มีการติดตั้ง Vortex breaker ในทุกความเร็วรอบใบพัด พบว่า

 ค่าความดันของของไหลในบริเวณที่ของไหล ไหลผ่านใบพัดในระบบที่ไม่ได้ติดตั้ง Vortex breaker จะมีค่าสูงกว่า ดังนั้นโอกาสที่ความดันของไหลจะต่ำ กว่าความดันไอจึงน้อยกว่า ทำให้การเกิดโพรงอากาศ ของของไหลในระบบต่ำกว่าด้วย

 ความดันของของไหลที่กระทำกับใบพัดในกรณี ที่ติดตั้ง Vortex breaker นั้นต่ำกว่า ดังนั้นการติดตั้ง Vortex breaker จึงเป็นการช่วยลดความเสียหายที่จะ เกิดขึ้นกับใบพัดเนื่องจากความดันของของไหลที่ กระทำกับใบพัดสูงเกินไป

 ๑วามเร็วของของไหลตามทิศทางการไหล บริเวณด้านหน้าใบพัดในระบบที่ติดตั้ง Vortex breaker จะมีค่ามากกว่า แต่ความเร็วเฉลี่ยในทุก ทิศทางในกรณีที่ไม่ได้ติดตั้ง Vortex breaker จะมีค่า มากกว่า เนื่องจากเกิดการหมุนวนของของไหลบริเวณ ด้านหน้าใบพัดทำให้ความเร็วของไหลตามทิศทางการ ไหลลดต่ำลง ดังนั้นการติดตั้ง Vortex breaker จึงช่วย ลดการหมุนวนของของไหลให้ลดลงก่อนไหลผ่าน ใบพัด

4) เมื่อเปรียบเทียบอัตราการไหลหรือการวนเวียน ของของไหลภายในระบบพบว่า อัตราการไหลของของ ไหลในกรณีที่ติดตั้ง Vortex breaker สูงกว่า เนื่องจาก การสูญเสียพลังงานในการไหลต่ำกว่า

5) เฮดของระบบในกรณีที่ติดตั้ง Vortex breaker สูงกว่า ตัวอย่างผลทาง CAE ที่ได้จากการจำลองการไหล ในระบบที่ความเร็วรอบใบพัด 1478 รอบ/นาที ดัง แสดงในรูปที่ 2-7







(ก)มี Vortex breaker (ข)ไม่มี Vortex breaker รูปที่ 5 การกระจายความเร็วของการไหล



(ก)มี Vortex breaker (ข)ไม่มี Vortex breaker รูปที่ 6 เวกเตอร์ความเร็วของการไหล



(ก)มี Vortex breaker (ข)ไม่มี Vortex breaker รูปที่ 7 เส้นการไหลของของไหลที่ไหลผ่านใบพัด

ในการเปรียบเทียบผลการจำลองความดัน ความเร็ว อัตราการไหลและเฮดของของไหลในระบบ ในกรณีที่มีการติดตั้ง vortex breaker และไม่มีการ ติดตั้ง vortex breaker ที่ความเร็วรอบใบพัด 1000, 1250, 1478, 1750 และ 2000 รอบ/นาที ได้ผลดัง แสดงในตารางที่ 2 – 6 และรูปที่ 8

ตารางที่ 2 ความดันเฉลี่ยของของไหลที่กระทำกับ

#### ใบพัด (MPa)

ความเร็วรอบใบพัด	มี่ Vortex breaker	ไม่มี Vortex
		breaker
1000	3.95489	3.95544
1250	3.95359	3.95451
1478	3.95217	3.95338
1750	3.95016	3.95184
2000	3.94799	3.95028

d		<u>م</u>	ν		ด	é	
ตารางท	3	ความดนของขอ	1.1	หลารเวก	นไข	เพด	(MPa)
	~	11010010020020	•••				(

ความเร็ว	มี่ Vortex breaker		ไม่มี ง	ไม่มี Vortex breaker		
รอบ	หน้า	กลาง	หลัง	หน้า	กลาง	หลัง
ใบพัด	ใบพัด	ใบพัด	ใบพัด	ใบพัด	ใบพัด	ใบพัด
1000	3.953	3.957	3.959	3.955	3.958	3.959
1250	3.951	3.957	3.960	3.954	3.959	3.959
1478	3.949	3.957	3.962	3.952	3.959	3.960
1750	3.946	3.957	3.963	3.950	3.960	3.962
2000	3.942	3.957	3.965	3.948	3.961	3.963

### ตารางที่ 4 ความเร็วของของใหลในระบบบริเวณ

#### ด้านหน้า Vortex breaker (m/s)

ความเร็ว	มี่ Vortex breaker		ไม่มี Vortex breaker	
รอบ	ความเร็ว	ความเร็ว	ความเร็ว	ความเร็ว
ใบพัด	เฉลี่ยทุก	ตามทิศ	เฉลี่ยทุก	ตามทิศ
	ทิศทาง	การไหล	ทิศทาง	การไหล
1000	1.438	0.3535	3.408	0.3001
1250	1.778	0.4547	4.243	0.3887
1478	2.087	0.5470	5.005	0.4697
1750	2.456	0.6570	5.916	0.5663
2000	2.729	0.7583	6.754	0.6551

#### ตารางที่ 5 อัตราการไหลของของไหลภายในระบบ

ความเร็ว	มี Vortex breaker		ไม่มี Vortex breaker	
รอบ	Mass	Volume	Mass	Volume
ใบพัด	flow	flow	flow	flow
	(kg/s)	(m <sup>³</sup> /hr)	(kg/s)	(m <sup>3</sup> /hr)
1000	6.918	40.42	5.361	34.97
1250	7.978	52.03	6.943	45.28
1478	9.604	62.63	8.387	54.70
1750	11.54	75.27	10.11	65.92
2000	13.33	86.91	11.69	76.26

#### ตารางที่ 6 เฮดของระบบ (m)

ความเร็วรอบ	มี Vortex	ไม่มี Vortex
ใบพัด	breaker	breaker
1000	1.002	0.702
1250	1.504	1.103
1478	2.206	1.405
1750	3.108	2.007
2000	4.011	2.609





#### **5**. สรุป

ในการพิจารณาว่าของไหลในระบบที่มีการติดตั้ง ใบพัดเพื่อเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนของไหลจะ เกิดโพรงอากาศ (Cavitation) ในระบบหรือไม่นั้น พิจารณาได้จากค่าความดันในระบบเปรียบเทียบกับ ค่าความดันไอของของไหล (ความดันไอของของไหล ในระบบนี้เท่ากับ 1.01 MPa) ซึ่งในการจำลองการไหล

ภายในระบบทำปฏิกิริยาของการเตรียมโพลิเมอร์นี้ พบว่าความดันของของไหลที่ไหลผ่านใบพัดมีค่าสูง กว่าความดันไอของของไหลทั้งในกรณีที่ติดตั้งและ ไม่ได้ติดตั้ง Vortex breaker ในระบบ ซึ่งในกรณีที่ ไม่ได้ติดตั้ง Vortex breaker นั้นความดันที่คำนวณได้ มีค่าสูงกว่าจึงมีโอกาสที่จะเกิดโพรงอากาศในระบบต่ำ กว่า นอกจากนี้เนื่องจากความดันของของไหลที่ กระทำกับใบพัดในกรณีที่ติดตั้ง Vortex breaker นั้น ด่ำกว่า ดังนั้นการติดตั้ง Vortex breaker จึงเป็นการ ช่วยลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับใบพัดเนื่องจาก ความดันของของไหลที่กระทำกับใบพัดสูงเกินไป

การติดตั้ง Vortex breaker ช่วยลดการหมุนวน ของของไหลบริเวณหน้าใบพัดให้ลดลง ทำให้การ สูญเสียพลังงานในการไหลต่ำลงด้วย ส่งผลให้อัตรา การไหลหรือการวนเวียนของของไหลภายในระบบและ เอดของระบบมีค่าสูงกว่ากรณีที่ไม่ได้ติดตั้ง Vortex breaker

#### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ไทยโพลิโพรไพลีน จำกัด ที่ได้ ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการวิจัย

#### 7. เอกสารอ้างอิง

Luo, Z.H., Su, P.L. Shi, D.P. and Wu, J.C.
 Steady-State Particle Size Distribution
 Modeling of Polypropylene Produced in Tubular
 Loop Reactors, Chemical Engineering Journal,
 Vol. 146(3), February 2009, pp. 466-476.

[2] Achkinadze, A.S. and Fridman, G.M. (1995).
On Some Aspects of Design of Super-Cavitating
Foils and Propellers Variation and Asymtotic
Approach. In PROPCAV'95: An International
Conference on Propeller Cavitation, Newcastle
Upon Tyne, United Kingdom, pp. 163-174.

[3] ประชากร แก้วเขียว, ยอดชาย เตียเปิ้น, ปราโมทย์ เดชะอำไพ และ วรางค์รัตน์ จันทสาโร (2552). การ จำลองการเกิดคาวิเตชันของใบจักรด้วยวิธีพลศาสตร์ ของไหลเชิงคำนวณ, การประชุมวิชาการเครือข่าย วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, จังหวัดเซียงใหม่

[4] ปราโมทย์ เดซะอำไพ (2550). ไฟไนต์เอลิเมนต์ใน งานวิศวกรรม, ISBN : 9789740319344, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

 [5] Versteeg, H.K. and Malalasekera, W. (2007).
 An Introduction to Computational Fluid Dynamics the Finite Volume Method, 2<sup>nd</sup> edition, ISBN: 978-7-5100-0557-2, Peason Prentice Hall, Hong Kong.

[6] Menter, F.R. (1994). Two – Equation Eddy
Viscosity Turbulence Models for Engineering
Applications, AIAA Journal, Vol. 32(8), pp. 1598 –
1605.