การประชุมวิชาการเครือข่ายวิสวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17 15-17 ตุลาคม 2546 จังหวัดปราจีนบุรี

การศึกษาการถ่ายเทออกซิเจนในเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft A Study of an Oxygen Transport in Deep Shaft Reactor

มณฑล ใจกุศล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถ.ฉถองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร 0-2326-4197 โทรสาร 0-2326-4198 E-mail: kjmonton@kmitl.ac.th

Monton Jaikuson

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Chalongkrung Rd, Ladkrabang Bangkok 10520 Thailand Tel: 0-2326-4197 Fax: 0-2326-4198 E-mail: kjmonton@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึง การศึกษาทางด้านไฮโดรไดนามิคและการ ถ่ายเทมวลออกซิเจนในเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft โดยกระทำ ทั้งทางทฤษฎีและการทดลอง ซึ่งจะทำการจำลองแบบของเครื่องบำบัด น้ำเสียแบบ Deep Shaft ให้มีความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ ท่อด้านนอกเท่ากับ 4 เมตร และ 0.76 เมตร ตามลำดับ ส่วนความสูง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อด้านในเท่ากับ 3 เมตร และ 0.36 เมตร ตามลำดับ ของเหลวที่นำมาทดลองในแต่ละครั้งมีความหนืดจาก น้อยไปสู่มากคือ 1. น้ำ 2. ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s และ 3 ของเหลวที่มีความหนืด 0.52 Pa.s

จากการทดลองพบว่า ในช่วงกำลังงานที่ใส่ในแบบจำลอง Deep Shaft เท่ากัน ของเหลวที่มีความหนืดน้อยจะมีค่าเศษส่วนช่องว่าง ค่า ความเร็วของของเหลว ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตร ทั้งหมด และค่าเศษส่วนเข้าใกล้สมดุลมากกว่าค่าดังกล่าวสำหรับ ของเหลวที่มีความหนืดมากกว่าเสมอและยังพบว่าค่าเศษส่วนช่องว่างจะ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ค่าการถ่ายเทมวลของก๊าซออกซิเจนกับของเหลว แต่จะไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ค่าการถ่ายเทมวลของเก็าซออกซิเจนกับของเหลว กำลังงานที่ใส่สูง ผลการเปรียบเทียบจากการทดลองและจากทาง คณิตศาสตร์พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

Abstract

This research describes the study of an oxygen transport in the theoretical and experimental study. The model of the Deep Shaft reactor has the outside circular cross section of 0.76 m diameter, an overall height of 4 m and the inside circular cross section of 0.36 m diameter, an overall height of 3 m. The experimental fluid with the least to the most viscosity was water, liquid (viscosity 0.023 Pa.S) and liquid (viscosity 0.052 Pa.S).

From the experiment, the less viscous fluid has void fraction, liquid velocity, mass transfer coefficient and a fractional approach to equilibrium higher than those of the more viscous fluid in the same input power. The void fraction is proportional to the mass transfer coefficient, but is not proportional to the liquid velocity. Those values measured from the experiment and the ones predicted from the proposal mathematical model are almost equal.

1. บทนำ

ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft Process หรือระบบ บำบัดน้ำเสียแบบของไหลลอยตัวด้วยลมแบบท่อร่วมศูนย์กลาง ซึ่งในที่นี้ ใช้คำว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft แทน จะเป็นท่อลึกตาม แนวดิ่งประมาณ 40-150 เมตร ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ Upflow และ Downflow Section จึงทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำอันผลมาจากความ แตกต่างของความหนาแน่นของของไหลด้าน Upflow และ Downflow Section ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งจากข้อความข้างต้นทำให้ระยะเวลาที่ ฟองอากาศสัมผัสกับน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft มี มากกว่าแบบ Conventional Activated Sludge Process จึงทำให้ไม่ ต้องใช้พื้นที่ตามแนวราบมาก



รูปที่ 1 ระบบบำบัดน้ำเสีย Deep Shaft

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การถ่ายเทมวลของก๊าซออกซิเจนกับของเหลว

การเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากฟองอากาศไปสู่ของเหลวพบว่าความ ต้านทานบริเวณพื้นที่สัมผัสระหว่างก๊าซกับของเหลวมีผลมากที่สุด ซึ่ง พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวบ่งบอกการถ่ายเทมวลของก๊าซออกซิเจนกับ ของเหลวคือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมด (k_La_L)

สมมติให้อัตราการถ่ายเทมวลบริเวณพื้นที่สัมผัสระหว่างฟองอากาศ กับของเหลวคงที่ตลอด จากกฎข้อที่หนึ่งของ Fick [1]

$$\ln\left(\frac{c^* - c_{LO}}{c^* - c_L}\right) = k_L a_L t \tag{1}$$

2.2 ทฤษฎีทางด้านไฮโดรไดนามิคของก๊าซกับของเหลว

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับค่าไฮโดรไดนามิกในเครื่องบำบัดน้ำเสีย แบบ Deep Shaft มีหลายตัว เช่น เศษส่วนช่องว่างทั้งหมด (E) ความลึก ของของเหลว (h_L) และการหมุนเวียนของของเหลว โดยเศษส่วน ช่องว่างทั้งหมดก็คือ อัตราส่วนของปริมาตรก๊าซต่อปริมาตรทั้งหมดและ แทนด้วยสมการ

$$\varepsilon = \frac{V_{G}}{V_{G} + V_{L}}$$
(2)

สำหรับเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft เศษส่วนช่องว่างมี 2 ด้านก็กือ เศษส่วนช่องว่างด้าน Riser (E_r) และเศษส่วนช่องว่างด้าน Downcomer (E_d) โดยเศษส่วนช่องว่างทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับ เศษส่วนช่องว่างด้าน Riser และด้าน Downcomer ดังสมการ

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\rm r} A_{\rm r} + \varepsilon_{\rm d} A_{\rm d}}{\left(A_{\rm r} + A_{\rm d}\right)} \tag{3}$$

ซึ่งความสำคัญของเศษส่วนช่องว่างมีหลายอย่างเช่น กำหนด ระยะเวลาของฟองอากาศในของเหลว กำหนดขนาดของฟองอากาศ (d_B) และกำหนดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างฟองอากาศกับของเหลวต่อปริมาตร ของเหลว (a_L) โดยพารามิเตอร์เหล่านี้มีความสัมพันธ์กันก็คือ

$$a_{L} = \frac{6\varepsilon}{d_{B}(1-\varepsilon)}$$
(4)

นอกจากนั้น ความลึกของของเหลวในเกรื่องบำบัดแบบ Deep Shaft ยังเป็นตัวแปรสำคัญอีกตัวหนึ่งที่มีผลต่อเสษส่วนช่องว่างและมี ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{\epsilon(H)}{\epsilon(H=O)} = \frac{P_{atm}}{P_{atm} + \rho_L gH}$$
(5)

สุดท้าย การหมุนเวียนของของเหลวในท่อทางด้าน Riser และด้าน Downcomer ในเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft ความเร็วของ ของเหลวทั้งสองด้านมีความสัมพันธ์เป็น

$$U_{Lr} A_r = U_{Ld} A_d$$
 (6)

ในสภาวะจริง การไหลของของเหลวทั้งสองด้านนั้น มีบางส่วนเกิด ฟองอากาศภายในท่อด้วยดังนั้น จึงใช้ความเร็วของของเหลวจริง (True Linear Liquid Velocity) แทน

$$V_{Lr} = \frac{U_{Lr}}{(1 - \varepsilon_r)}$$
 สำหรับทางด้าน Riser (7)

ແລະ

$$V_{Ld} = \frac{U_{Ld}}{(1 - \varepsilon_d)}$$
 สำหรับทางด้าน Downcomer (8)

ของเหลวภายในเครื่องบำบัดน้ำเสียสามารถไหลวนตามท่อทางด้าน Riser และ Downcomer ได้ ก็เนื่องมาจากกำลังงานที่ได้จาการ ขยายตัวของก๊าซ (เมื่อสมมติให้อุณหภูมิของของเหลวกงที่) และกำลังงาน จากพลังงานจลน์ที่ตัวพ่นอากาศ โดยปกติพลังงานจลน์ที่ตัวพ่นอากาศมีก่า ไม่เกิน 5% ของกำลังงานที่ใส่ทั้งหมด [2]

กำลังงานที่ใส่ =
$$E_i = Q_m RT \ln \left(1 + \frac{\rho_L gh_L}{P_{atm}} \right)$$
 (9)

2.3 สมการคณิตศาสตร์ของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft สมมติฐานที่ใช้กับสมการคณิตศาสตร์ของเครื่องบำบัดนี้ก็คือ 1. การใหลเป็นแบบสภาวะคงที่

2. อุณหภูมิของของเหลวคงที่

การไหลสม่ำเสมอสำหรับก๊าซกับของเหลวในแต่ละพื้นที่หน้าตัด

4. ความหนาแน่นของเหลวคงที่

5. ของเหลวมีพฤติกรรมแบบ Newtonian

จากสมการสมคุลพลังงาน [3]

กำลังที่ใส่ = กำลังที่สูญเสีย

 $E_{R}+E_{D}+E_{B}+E_{T}+E_{F}+E_{S} \qquad (10)$

เมื่อ E_R

Ei

พลังงานสูญเสียเนื่องจากการกระจายคลื่น
ของฟองอากาศในของเหลวด้าน Riser

$$= E_i + \sum (1-\varepsilon_r) \rho_L g \Delta h U_{Lr} A_r + \rho_L g h_L U_{Lr} A_r \quad (11)$$

$$E_{D}$$

พลังงานสูญเสียเนื่องจากการกระจายคลื่น ของฟองอากาศในของเหลวด้าน DownComer

$$-\sum$$
 (1- ε_{d}) $\rho_{L}g\Delta hU_{Ld}A_{d} + \rho_{L}gh_{L}U_{Ld}A_{d}$ (12)

E_B+E_T = พลังงานสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานของของไหล ทางช่วงล่างและช่วงบน

$$= \frac{\kappa_{B}\rho_{L}U_{Lr}^{3}A_{r}^{3}}{2(1-\varepsilon_{d})^{2}A_{d}^{2}}, \kappa_{B} = 11.4 \left(\frac{A_{d}}{A_{b}}\right)^{0.79} (13)$$

E_F = พลังงานสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานระหว่างของ ไหลไหลผ่านผนังท่อ [4]

=
$$\rho_L gh_L A_g U_L$$
, $h = f \left(\frac{h_L}{d}\right) \frac{U_L^2}{g}$ (14)

และ E_s = พลังงานสูญเสียเนื่องจากการไหลของของไหลผ่านตัว พ่นอากาศ

$$=\frac{1}{2}C_{s}\rho_{L}V_{Lr}^{3}A_{r}(1-\varepsilon_{r}), C_{s}=11.4\left(\frac{A_{B}}{A_{F}}\right)^{0.79}$$
(15)

3. การทดลอง

3.1 ชุดอุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 ตัวถังแบบจำลองเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft มีความสูง 4 เมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.76 เมตร โดยมีแผ่น ทรงกระบอกที่เรียกว่า Draught Tube ความสูง 3 เมตร และขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง 0.35 เมตร อยู่ที่ดำแหน่งกึ่งกลางท่อดังรูปที่ 1 ซึ่งขนาด ตัวถังของแบบจำลองที่ใช้ทดลองด้องไม่มีผลกระทบต่อค่าไฮโดรไดนา-มิกเลย [3] และแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft

3.1.2 ตัวพ่นอากาศในแบบจำลองเครื่องบำบัดแบบ Deep Shaft มีลักษณะเป็นวงแหวนเรียงซ้อนกันจำนวน 3 วง และติดตั้งไว้ ตอนล่างของแบบจำลอง

3.2 การวัดข้อมูล

)

3.2.1 การวัดก่าความเร็วของของเหลวจริง (True Linear Liquid Velocity) การวัดก่าความเร็วของของเหลวจริงจะใช้วิธีวัดแบบ Tracer Method [5] ซึ่งวิธีวัดแบบนี้จะมีความแม่นยำก่อนข้างสูง

3.2.2 การวัดค่าเศษส่วนช่องว่าง (E)

การวัดค่าเสษส่วนช่องว่างนี้จะใช้เทคนิคการวัดแบบ U-Tube Manometer [3] ดูรูปที่ 3 โดยการวัดแบบนี้จะใช้วัดทางด้าน Riser เท่านั้น สมการการหาค่าเสษส่วนช่องว่างมีสมการดังนี้

$$\varepsilon = \left(\frac{\rho_M - \rho_L}{\rho_L - \rho_G}\right) \frac{dh_M}{dz} \tag{16}$$



รูปที่ 3 เทคนิคการวัดแบบ U-Tube Manometer

 3.2.3 การวัดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมด (k_La_L)

การวัดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมดนั้น เกี่ยวข้องกับการวัดค่าดีโอ (Dissolved Oxygen) ด้วย การวัดค่าดีโอมีได้ หลายวิชี แต่ในการทดลองนี้ใช้วัดค่าดีโอแบบ Membrane Electrode Method [3] ซึ่งการวัดแบบนี้สามารถช่วยลดปัญหาที่เกี่ยวข้องกับ สิ่งรบกวนต่าง ๆ ได้

4. ผลการทดลอง

 4.1 ผลของค่าเศษส่วนช่องว่าง (E) และค่าความเร็วของของเหลว จริง (V_L) เมื่อมีการเปรียบเทียบระหว่างสมการคณิตศาสตร์และการ ทดลอง

4.1.1 จากรูปที่ 4 และ 5 พบว่า เมื่อกำลังที่ใส่มีค่าไม่สูงนัก ผล ที่ได้จาการคำนวณและจากการทคลองของค่าเสษส่วนช่องว่าง และค่า ความเร็วของของเหลวจริงมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อกำลังงานที่ใส่มีค่า สูงขึ้น ผลที่ได้จากการคำนวณและการทคลองของค่าเสษส่วนช่องว่างและ ค่าความเร็วของของเหลวจริงมีค่าแตกต่างกันบ้าง ทั้งนี้เนื่องจากของเหลว ที่ใหลภายในท่อมีการไหลแบบปั่นป่วนมากขึ้น

 4.1.2 ผลการทดลองในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า เศษส่วนช่องว่างกับกำลังงานที่ไส่ในรูปที่ 6 พบว่าของเหลวที่มีความหนืด ทั้ง 3 ชนิด จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่างสัมพันธ์กับค่า ของกำลังงานที่ไส่ให้มีลักษณะเป็นสัดส่วนกัน ในกรณีที่กำลังงานที่ใส่ เท่ากัน ของเหลวที่มีความหนืดมากสุด (0.052 Pa.S) จะให้ค่าเศษส่วน ช่องว่างน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับของเหลวทั้งสองชนิดที่มีความหนืด น้อยลงไป

4.1.3 จากรูปที่ 7 ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วของของเหลวจริงกับกำลังงานที่ใส่ทั้งของเหลว 3 ชนิด มี ลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งจะมีความชันมากในช่วงกำลังที่ใส่น้อย ทั้งนี้ เพราะขนาดของฟองอากาศมีขนาดเล็กและแรงเสียดทานระหว่างของไหล กับผนังท่อยังมีค่าน้อยอยู่ จึงทำให้ก่าความเร็วของของเหลวมีค่ามาก ส่วน ในช่วงหลัง ค่าความเร็วของของเหลวจริงมีความชันลดลงแม้กำลังงานที่ ใส่มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากฟองอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้น จึงทำให้การขัดขวาง การเดินทางของของเหลวเพิ่มขึ้น และแรงเสียดทานระหว่างของไหลกับ ผนังท่อมีค่ามากตามด้วย ในกรณีที่กำลังที่ใส่ให้เท่ากัน ความเร็วของ ของเหลวในน้ำจะมีค่ามากกว่าในของเหลวที่มีความหนืดมากกว่า เนื่องจากมีแรงเสียดทานระหว่างของไหลกับผนังท่อมีค่าสูงขึ้นนั้นเอง

4.2 ผลทางด้านการถ่ายเทมวลของก๊าซออกซิเจน เมื่อมีการ เปรียบเทียบระหว่างสมการคณิตศาสตร์ถึงกับการทดลอง

4.2.1 จากรูปที่ 8 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมด กับกำลังงานที่ใส่จากการ ทำลองและจากการคำนวณของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมดกับกำลังงานที่ใส่จากการทดลองและ จากสมการคณิตศาสตร์จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงกำลังงานที่ใส่มาก ๆ ปริมาณการให้ออกซิเจนของฟองอากาศสู่ของเหลวจะมีมากขึ้นจึงทำให้ เข็มมิเตอร์วัดค่า ดีโอ เคลื่อนที่เร็วและมีผลทำให้อ่านค่าดีโอผิดพลาดได้

4.2.2 จากการทดลองในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมดกับกำลังงานที่ใส่ของ น้ำ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s และของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s ดังรูปที่ 9 จะได้กราฟซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรงทั้ง น้ำ ของเหลวที่ มีความหนืด 0.023 Pa.s และของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s ทั้งนี้ เนื่องจากในช่วงกำลังงานที่ใส่น้อย ๆ นั้น จำนวนฟองอากาศและปริมาตร ของฟองอากาศยังน้อยอยู่ซึ่งจะทำให้พื้นผิวสัมผัสของฟองอากาศกับ ของเหลวมีค่าน้อยแต่ในช่วงกำลังงานที่ใส่มากขึ้นจะทำให้จำนวนของ ฟองอากาศและปริมาตรของฟองอากาศมีมากขึ้น ซึ่งสาเหตุเหล่านั้นจึงทำ ให้ปริมาณการถ่ายเทออกซิเจนจากฟองอากาศไปสู่ของเหลวมีค่ามากขึ้น และรวดเร็วกว่าในช่วงกำลังงานที่ใส่น้อย ๆ

จากรูปที่ 9 เมื่อกำลังงานที่ใส่เท่ากัน ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเท มวลของปริมาตรทั้งหมดของน้ำมีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเท มวลของของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s ทั้งนี้เนื่องจากของเหลวที่มี ความหนืดมากจะทำให้ค่าเสษส่วนช่องว่างของของเหลวมีค่าน้อยลงซึ่ง จากผลข้างต้นทำให้พื้นผิวสัมผัสของฟองอากาศกับของเหลวมีค่าน้อยลง ด้วยดังสมการต่อไปนี้ [2]

$$a_{L} = \frac{6\varepsilon}{d_{B}(1-\varepsilon)}$$
(17)

จากผลข้างค้นจึงทำให้ก่าสัมประสิทธิ์การถ่ายมวลของปริมาตร ทั้งหมด มีก่าน้อยลงไปด้วยในการทำนองเดียวกันก่าสัมประสิทธิ์การ ถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมดในของของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s มีก่าน้อยกว่าก่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมดใน ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s เนื่องจากเหตุผลในทำนองเดียวกับ ข้างต้น



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่างกับกำลังงานที่ใส่ของ สมการคณิตศาสตร์และการทดลอง



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วของของเหลวจริงกับกำลัง งานที่ไล่ของสมการคณิตศาสตร์และการทดลอง



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่างกับกำลังงานที่ไส่เมื่อ มีความหนึดต่างกัน



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วของของเหลวจริงกับกำลัง งานที่ไส่เมื่อมีความหนึดต่างกัน









4.2.3 จากรูปที่ 10, 11, และ 12 พบว่าค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่ สมดุลของของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s มีค่าน้อยกว่าค่าของ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s และค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุลของ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s มีค่าน้อยกว่าค่าของน้ำ ทั้งนี้ เนื่องจากของเหลวที่มีความหนืดน้อยจะทำให้พื้นผิวสัมผัสของฟองอากาศ กับของเหลวมีค่ามากขึ้นซึ่งเป็นผลทำให้การถ่ายเทออกซิเจนของ ฟองอากาศสู่ของเหลวมีค่ามากขึ้นตามซึ่งจากผลดังกล่าวจะทำให้ค่า เศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุล มีค่ามากขึ้นด้วย



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุลกับเวลาเมื่อ ของเหลวมีความหนึดต่างกันและกำลังงานที่ใส่ 117 วัดด์



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุลกับเวลาเมื่อ ของเหลวมีความหนืดต่างกันและกำลังงานที่ใส่ 147 วัดด์





5. สรุปผลการทดลอง

ค่าทางด้านไฮโดรไดนามิคและการถ่ายเทมวลที่ได้ทดลองสำหรับ ของเหลวที่มีความหนืดมากจะมีค่าน้อยกว่าก่าทางด้านไฮโดรไดนามิค และการถ่ายเทมวลสำหรับของเหลวที่มีความหนืดน้อยกว่าเสมอและยัง พบว่า ค่าเศษส่วนช่องว่างมีผลกระทบต่อความเร็วของของเหลวจริงและ การถ่ายเทมวลของก๊าซกับของเหลวด้วย ผลที่ได้จาการทดลองสามารถ นำมาใช้วิเคราะห์กับน้ำเสียที่มีความหนืดใกล้เคียงกันได้ อาทิ จำพวกน้ำ เสียที่มีน้ำตาลปนหรือกลีเซอรอล เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบค่าเศษส่วน ช่องว่าง ค่าความเร็วของของเหลวจริงและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล ที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลที่ได้จากการ ทดลอง พบว่าค่าที่ได้ดังกล่าวมีความใกล้เคียงกันมาก

6. รายการสัญลักษณ์

- A_{b} พื้นที่ว่างช่วง Draught-tube (m²)
- A_B พื้นที่หน้าตัดของตัวพ่น (m²)
- A_d ภาคตัดขวางสม่ำเสมอทางด้าน Downcomer (m²)
- A_F พื้นที่ว่างสำหรับการไหลของของเหลวผ่านตัวพ่นอากาศ (m²)
- A_r ภาคตัดขวางสม่ำเสมอทางด้าน Riser (m²)
- C ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในของเหลว (kgm⁻³)
- C_L ความเข้มข้นของออกซิเงนในของเหลวขณะที่เวลาใด ๆ (kgm⁻³)
- C_{LO} ความเข้มข้นของออกซิเจนในของเหลวที่เวลา 0 วินาที (kgm⁻³)
- d เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (m)
- h_L ความลึกของของเหลว (m)
- Δ h ช่วงความลึกของของเหลว (m)
- K_L ส.ป.ส.การถ่ายเทมวลในฟิล์มของของเหลว (ms¹)
- Q_m อัตราการใหลของอากาศ (mol/s)
- T อุณหภูมิ (K)
- t เวลา (S)
- U_L Superficial Velocity ของของเหถว (ms⁻¹)
- U_{Ld} Superficial Liquid Velocity ทาง Downcomer (ms⁻¹)
- $U_{Lr}\,$ Superficial Liquid Velocity ทาง Riser
- V_{Ld} True Linear Liquid Velocity (ms⁻¹)
- V_{Ld} True Linear Liquid Velocity ด้าน Downcomer (ms⁻¹)
- V_{Lr} True Linear Liquid Velocity ด้าน Riser (ms⁻¹)
- $ho_{\sf G}$ ความหนาแน่นของก้าซ (kgm⁻³)
- ρ_{L} ความหนาแน่นของของเหลว (kgm⁻³)

เอกสารอ้างอิง

- Moo. Young, M. and Blach, H.W., "Design of Biochemical Reactor", Adv. Biochem. Eng, Vol 19, 1981, 1-69.
- [2] Weiland, P. and Onken, U., "Differences in the Behaviour of Bubble Columns and Air Lift Loop Reactors", Ger. Chem. Eng, Vol 4, 1981.
- [3] Chisti, M.Y., Airlift Bioreactor, Elsevier Science Publishers LTD, 1989.
- [4] R.W. Fox and A.T. McDonald, "Introduction to Fluid Mechanics" John Wiley&Sons, 1985.