การศึกษาถังปฏิกรณ์แบบวนเวียนในการเติมออกซิเจน

นายกิตติคุณ ตรุยานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974-634-410-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 16893852

A STUDY OF THE LOOP REACTOR FOR OXYGENATION

Mr.KITTIKHUN TARUYANON

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-634-410-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาถังปฏิกรณ์แบบวนเวียนในการเติมออกซิเจน

โดย นายกิตติคุณ ตรุยานนท์

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

กิตติคุณ ตรุยานนท์ : การศึกษาถังปฏิกรณ์แบบวนเวียนในการเติมออกซิเจน
(A STUDY OF THE LOOP REACTOR FOR OXYGENATION)
อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สุรพล สายพานิช, 195 หน้า , ISBN 974-634-410-2

ในการทดลองศึกษาถังปฏิกรณ์แบบวนเวียนในการเติมออกซิเจน ใช้ถังปฏิกรณ์วนเวียนทำจากท่อพลาสติกใส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4.40 เซนติเมตร ต่อเป็นวงจรกว้าง 1.00 เมตร สูง 2.05 เมตร ปริมาตรภายในรวม 11.15 ลิตร

การดำเนินการวิจัยประกอบด้วยสองส่วน โดยส่วนแรกเพื่อศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมของถังปฏิกรณ์ (K_La) โดยกำหนดค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ คือ อัตราจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 25, 50, 75, 100, 150 ลิตรต่อชั่วโมง ความดันเกจภายในถังปฏิกรณ์ 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 บาร์ ความเร็วก๊าซในถังปฏิกรณ์ 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.10 เมตรต่อวินาที จากผลการทดลองส่วนแรก สรุปว่าอัตราจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์และความดันภายในถังปฏิกรณ์ไม่มีผลต่อค่า K_La ของถังปฏิกรณ์ และความเร็วก๊าซจะมีผลต่อค่า K_La ของถังปฏิกรณ์ โดยสามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปได้ดังนี้ $K_La\ (20^{\circ}C) = 0.1733\ U_G^{0.866}$ โดยที่ U_G หมายถึง ความเร็วก๊าซในถังปฏิกรณ์

ในส่วนที่สองใช้น้ำเสียจริงจากคลองแสนแสบและคลองข้างคณะรัฐศาสตร์ น้ำเสียที่ผ่านถังปฏิกรณ์จะมีค่าออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งคงที่โดยสามารถเขียนสมการทั่วไปเพื่อหาค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ออกจากถังปฏิกรณ์แบบวนเวียนได้คือ

$$x_A = \frac{y_A/H'P}{(Q/VK_La + 1)} + \frac{x_o}{(VK_La + 1)}$$

โดยที่ y_A หมายถึง สัดส่วนโมลออกซิเจนในอากาศ H' หมายถึง ค่าคงที่ของเฮนรี่ Q หมายถึง อัตราสูบน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ V หมายถึง ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ P หมายถึง ความดันสมบูรณ์ภายในถังปฏิกรณ์ x_A หมายถึง ค่าสัดส่วนโมลออกซิเจนละลายน้ำของน้ำที่ออกจากถังปฏิกรณ์ x_O หมายถึง ค่าสัดส่วนโมลออกซิเจนละลายน้ำของน้ำที่เข้าถังปฏิกรณ์

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

บทคัดย่อและบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้พิมพ์ลงรูปเล่มเดียว

C517471: MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD: LOOP REACTOR / OXYGENATION
MR.KITTIKHUN TARUYANON : A STUDY OF THE LOOP REACTOR FOR OXYGENATION.
THESIS ADVISOR : ASSO.PROF. SURAPOL SAIPANICH ,Dr.Ing.,
195 pp. ISBN 974-634-410-2

For this study of loop reactor for oxygenation, experiments were performed using a loop reactor which was consisted of transparent plastic pipes with the inside diameter of 4.40 cm. each, connected in loop. The overall reactor dimensions were : 1.0 m. wide, 2.05 m. high and the total volume of 11.15 l.

The experimental study consisted of two parts. The objective of the first part was to study the effect of each parameter on the coefficient of the reactor mass transfer (K_La). While the objective of the second part was to test the general equation of the reactor K_La, which was the result of the first part experiment, with wastewater.

The first part experiment was performed using the followings parameters values : the influent flow rates of 25, 50, 75, 100 and 150 l/hr, the reactor gauge pressures of 0.25, 0.50, 0.75 and 1.00 bar, the reactor gaseous velocities of 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05 and 0.10 m/s. The results for the experiment were concluded that the reactor influent flow rate and internal pressure had no effect on the reactor K_La. The gaseons velocity had a direct effect on the reactor K_La, the general equation of which can be written as follows : $K_La(20\ ^{\circ}C) = 0.1733\ U_G^{0.866}$, where U_G is the reactor gaseous velocity.

The second part experiment, was performed using wastewater collected from Klong San Saeb and the drainage canal adjacent to the Faculty of Political Science, Chulalongkorn University. The results of the experiment revealed that wastewater flowing through the reactor had a sharp increase of dissolved oxygen values until reached a constant valve. The general equation for the loop reactor effluent dissolved oxygen valve can be written as follows:

$$x_A = \frac{y_A/H'.P}{(Q/VK_La + 1)} + \frac{x_o}{(VK_La + 1)}$$

where y_A is the oxygen to air mole fraction, H' is Henry's Constant, Q is the reactor inflow rate, V is the reactor volume, P is the reactor absolute pressure, x_A is the effluent oxygen mole fraction, x_o is the influent oxygen mole fraction.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ซึ่งให้คำแนะนำให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยโดยตลอดจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน อีกทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้กรุณาถ่ายทอดวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ได้มอบทุนอุดหนุนในการทำการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบิดา - มารดาและทุกท่านที่มิได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ พร้อมทั้งกำลังใจและข้อคิดเห็นในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูป ..... ฏ
บทที่ 1. บทนำ 1
1.1 กล่าวนำทั่วไป 1
1.2 วัตถุประสงค์ 1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
บทที่ 2. ทฤษฎีและแนวความคิด 3
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานการถ่ายเทมวลออกซิเจน 3
2.1.1 สมดุลระหว่างสถานะ 3
2.1.2 กลไกการถ่ายเทมวลออกซิเจนจากสถานะก๊าซไปสถานะของเหลว 6
2.1.2.1 ทฤษฎีสองความต้านทาน 6
2.1.2.2 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลย่อย 9
2.1.2.3 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวม 11
2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล 16
2.2 ถังปฏิกิริยาแบบวนเวียน 16
2.2.1 หลักการทำงานของถังปฏิกิริยาแบบวนเวียน 16
2.2.2 ตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของถังปฏิกรณ์ 18
2.2.2.1 ความเร็วของการหมุนเวียนของเหลวในถังปฏิกรณ์ 18
2.2.2.2 ความดันภายในถังปฏิกรณ์ 19
2.2.2.3 ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ของเหลวอยู่ในถังปฏิกรณ์ 21
2.3 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา 22
บทที่ 3. การดำเนินการวิจัย 24
3.1 แผนการวิจัย 24
3.2 การดำเนินการวิจัย 24
3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย 24
3.2.2 ตัวแปรในการทดลอง 31
3.2.3 การเตรียมน้ำและสารเคมี 32
3.2.4 วิธีการทดลอง 32

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.2.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำ 33

บทที่ 4. ผลการทดลองและการวิจารณ์ 35

4.1 การรายงานผลการทดลอง 35

4.2 การศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆที่มีผลต่อค่า K_La ของ ถังปฏิกรณ์แบบวนเวียน 35

4.2.1 อิทธิพลของอัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่มีผลต่อค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบวนเวียน 35

4.2.2 อิทธิพลของความดันในถังปฏิกรณ์ที่มีผลต่อค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบวนเวียน 36

4.2.3 อิทธิพลของความเร็วก๊าซในถังปฏิกรณ์ที่มีผลต่อค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบวนเวียน 53

4.2.4 อิทธิพลของความเร็วก๊าซในถังปฏิกรณ์ที่มีผลต่อขนาดฟองก๊าซ 64

4.3 ผลการทดลองที่ใช้กับน้ำเสียจริงจากแหล่งต่าง ๆ 77

4.4 ประโยชน์ทางวิศวกรรม 91

บทที่ 5. สรุปผลการทดลอง 92

บทที่ 6. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 94

รายการอ้างอิง 95

ภาคผนวก 98

ประวัติผู้วิจัย 182

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของเฮนรี่กับชนิดก๊าซที่ละลายน้ำ	6
ตารางที่ 2.2	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของโมเลกุลของสารต่าง ๆในน้ำ	8
ตารางที่ 2.3	ความเข้มข้นของก๊าซชนิดต่าง ๆ (%) ในอากาศ	20
ตารางที่ 3.1	แสดงความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรที่กำหนด	31
ตารางที่ 3.2	การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์สักษณะสมบัติต่าง ๆของน้ำในการทำวิจัย ..	34

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	เส้นโค้งสมดุลแสดงความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสถานะก๊าซ และสถานะของเหลวที่อุณหภูมิคงที่	3
รูปที่ 2.2	แสดงการถ่ายเทมวลจากสถานะก๊าซไปยังสถานะของเหลว	7
รูปที่ 2.3	แสดงการถ่ายเทมวลผ่านฟิล์มของก๊าซและของเหลว	9
รูปที่ 2.4	การหาค่าความเข้มข้นที่ผิวระหว่างเฟส	11
รูปที่ 2.5	แสดงค่าแรงขับดันที่เกี่ยวข้อง เมื่อมีการถ่ายเทมวลจากสถานะก๊าซ ไปยังสถานะของเหลว	12
รูปที่ 2.6	แสดงค่าความชันของเส้นโค้งสมดุล	14
รูปที่ 2.7	ส่วนประกอบของถังปฏิกรณ์แบบบวนเวียน	17
รูปที่ 2.8	แสดงขนาดฟองก๊าซ และความเร็วในการลอยตัวของฟองก๊าซ	18
รูปที่ 2.9	แสดงลักษณะการไหลของผสมของสองสถานะ	19
รูปที่ 2.10	แสดงความเร็วในวงจรกับความเร็วในการลอยตัวของฟองก๊าซ	19
รูปที่ 3.1	ถังปฏิกรณ์แบบบวนเวียนที่ใช้ในการวิจัย	26
รูปที่ 3.2	รายละเอียดส่วนประกอบต่าง ๆของถังปฏิกรณ์แบบบวนเวียนและการติดตั้ง	27
รูปที่ 3.3	รายละเอียดส่วนประกอบต่าง ๆของถังปฏิกรณ์แบบบวนเวียนและการติดตั้ง	28
รูปที่ 3.4	รายละเอียดส่วนประกอบต่าง ๆของถังปฏิกรณ์แบบบวนเวียนและการติดตั้ง	29
รูปที่ 3.5	รายละเอียดส่วนประกอบต่าง ๆของถังปฏิกรณ์แบบบวนเวียนและการติดตั้ง	30
รูปที่ 4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบบวนเวียนกับ อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ความดัน 0.25 บาร์	36
รูปที่ 4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบบวนเวียนกับ อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ความดัน 0.50 บาร์	37
รูปที่ 4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบบวนเวียนกับ อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ความดัน 0.75 บาร์	38
รูปที่ 4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบบวนเวียนกับ อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ความดัน 1.00 บาร์	39
รูปที่ 4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบบวนเวียนกับความดัน ในถังปฏิกรณ์ที่อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 25 ลิตรต่อชั่วโมง	42
รูปที่ 4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบบวนเวียนกับความดัน ในถังปฏิกรณ์ที่อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 50 ลิตรต่อชั่วโมง	43
รูปที่ 4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบบวนเวียนกับความดัน ในถังปฏิกรณ์ที่อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 75 ลิตรต่อชั่วโมง	44

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบวนเวียนกับความดันในถังปฏิกรณ์ที่อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 100 ลิตรต่อชั่วโมง 45

รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบวนเวียนกับความดันในถังปฏิกรณ์ที่อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 150 ลิตรต่อชั่วโมง 46

รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ถ่ายเทกับเวลาที่อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 150 ลิตรต่อชั่วโมง, ความเร็วก๊าซ 0.01 เมตรต่อวินาที 47

รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ถ่ายเทกับเวลาที่อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 150 ลิตรต่อชั่วโมง, ความเร็วก๊าซ 0.02 เมตรต่อวินาที 48

รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ถ่ายเทกับเวลาที่อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 150 ลิตรต่อชั่วโมง, ความเร็วก๊าซ 0.03 เมตรต่อวินาที 49

รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ถ่ายเทกับเวลาที่อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 150 ลิตรต่อชั่วโมง, ความเร็วก๊าซ 0.04 เมตรต่อวินาที 50

รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ถ่ายเทกับเวลาที่อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 150 ลิตรต่อชั่วโมง, ความเร็วก๊าซ 0.05 เมตรต่อวินาที 51

รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ถ่ายเทกับเวลาที่อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 150 ลิตรต่อชั่วโมง, ความเร็วก๊าซ 0.10 เมตรต่อวินาที 52

รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบวนเวียนกับความเร็วก๊าซที่อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 25 ลิตรต่อชั่วโมง 54

รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบวนเวียนกับความเร็วก๊าซที่อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 50 ลิตรต่อชั่วโมง 55

รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบวนเวียนกับความเร็วก๊าซที่อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 75 ลิตรต่อชั่วโมง 56

รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบวนเวียนกับความเร็วก๊าซที่อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 100 ลิตรต่อชั่วโมง 57

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบวนเวียนกับความเร็วก๊าซที่อัตราการจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 150 ลิตรต่อชั่วโมง 58

รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบวนเวียนกับความเร็วก๊าซที่ความดัน 0.25 บาร์ 59

รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบวนเวียนกับความเร็วก๊าซที่ความดัน 0.50 บาร์ 60

รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบวนเวียนกับความเร็วก๊าซที่ความดัน 0.75 บาร์ 61

รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_La ของถังปฏิกรณ์แบบวนเวียนกับความเร็วก๊าซที่ความดัน 1.00 บาร์ 62

รูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วก๊าซในถังปฏิกรณ์กับขนาดฟองก๊าซที่ความดัน 0.25 บาร์ 65

รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วก๊าซในถังปฏิกรณ์กับขนาดฟองก๊าซที่ความดัน 0.50 บาร์ 66

รูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วก๊าซในถังปฏิกรณ์กับขนาดฟองก๊าซที่ความดัน 0.75 บาร์ 67

รูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วก๊าซในถังปฏิกรณ์กับขนาดฟองก๊าซที่ความดัน 1.00 บาร์ 68

รูปที่ 4.29 ลักษณะของฟองก๊าซในถังปฏิกรณ์ที่ความเร็วก๊าซ 0.01 เมตรต่อวินาที 69

รูปที่ 4.30 ลักษณะของฟองก๊าซในถังปฏิกรณ์ที่ความเร็วก๊าซ 0.02 เมตรต่อวินาที 69

รูปที่ 4.31 ลักษณะของฟองก๊าซในถังปฏิกรณ์ที่ความเร็วก๊าซ 0.03 เมตรต่อวินาที 70

รูปที่ 4.32 ลักษณะของฟองก๊าซในถังปฏิกรณ์ที่ความเร็วก๊าซ 0.04 เมตรต่อวินาที 70

รูปที่ 4.33 ลักษณะของฟองก๊าซในถังปฏิกรณ์ที่ความเร็วก๊าซ 0.05 เมตรต่อวินาที 71

รูปที่ 4.34 ลักษณะของฟองก๊าซในถังปฏิกรณ์ที่ความเร็วก๊าซ 0.10 เมตรต่อวินาที 71

รูปที่ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า OXYGEN TRANSFER EFFICIENTCY OTE) (%) ค่าความเร็วก๊าซ (U_G) ที่ความดันต่าง ๆ 72

รูปที่ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า AERATION EFFICIENTCY (SAE) (kg O_2/kw.hr) กับความเร็วก๊าซ (U_G) ที่ความดันต่าง ๆ 73

รูปที่ 4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า OXYGEN TRANSFER RATE ต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์ที่ความดันต่าง ๆ (kg O_2/m3.hr) 74

รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของ K_La กับความเร็วก๊าซในถังปฏิกรณ์ 76

หน้า

รูปที่ 4.39 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำจากคลองแสนแสบ เมื่อผ่านถังปฏิกรณ์ที่อัตราจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 100 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วก๊าซ 0.02 เมตรต่อวินาที ความดันในถังปฏิกรณ์ 0.25 บาร์ 78

รูปที่ 4.40 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำจากคลองแสนแสบ เมื่อผ่านถังปฏิกรณ์ที่อัตราจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 100 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วก๊าซ 0.03 เมตรต่อวินาที ความดันในถังปฏิกรณ์ 0.25 บาร์ 79

รูปที่ 4.41 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำจากคลองแสนแสบ เมื่อผ่านถังปฏิกรณ์ที่อัตราจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 100 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วก๊าซ 0.04 เมตรต่อวินาที ความดันในถังปฏิกรณ์ 0.25 บาร์ 80

รูปที่ 4.42 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำจากคลองแสนแสบ เมื่อผ่านถังปฏิกรณ์ที่อัตราจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 100 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วก๊าซ 0.05 เมตรต่อวินาที ความดันในถังปฏิกรณ์ 0.25 บาร์ 81

รูปที่ 4.43 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำจากคลองข้างคณะรัฐศาสตร์ เมื่อผ่านถังปฏิกรณ์ที่อัตราจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 100 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วก๊าซ 0.02 เมตรต่อวินาที ความดันในถังปฏิกรณ์ 0.25 บาร์ 82

รูปที่ 4.44 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำจากคลองข้างคณะรัฐศาสตร์ เมื่อผ่านถังปฏิกรณ์ที่อัตราจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 100 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วก๊าซ 0.03 เมตรต่อวินาที ความดันในถังปฏิกรณ์ 0.25 บาร์ 83

รูปที่ 4.45 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำจากคลองข้างคณะรัฐศาสตร์ เมื่อผ่านถังปฏิกรณ์ที่อัตราจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 100 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วก๊าซ 0.04 เมตรต่อวินาที ความดันในถังปฏิกรณ์ 0.25 บาร์ 84

รูปที่ 4.46 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำจากคลองข้างคณะรัฐศาสตร์ เมื่อผ่านถังปฏิกรณ์ที่อัตราจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 100 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วก๊าซ 0.05 เมตรต่อวินาที ความดันในถังปฏิกรณ์ 0.25 บาร์ 85

รูปที่ 4.47 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำจากคลองข้างคณะรัฐศาสตร์ เมื่อผ่านถังปฏิกรณ์ที่อัตราจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 175 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วก๊าซ 0.02 เมตรต่อวินาที ความดันในถังปฏิกรณ์ 0.25 บาร์ 86

รูปที่ 4.48 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำจากคลองข้างคณะรัฐศาสตร์ เมื่อผ่านถังปฏิกรณ์ที่อัตราจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 250 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วก๊าซ 0.02 เมตรต่อวินาที ความดันในถังปฏิกรณ์ 0.25 บาร์ 87

หน้า

รูปที่ 4.49 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำจากคลองข้างคณะรัฐศาสตร์ เมื่อผ่านถังปฏิกรณ์ที่อัตราจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 250 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วก๊าซ 0.05 เมตรต่อวินาที ความดันในถังปฏิกรณ์ 1.00 บาร์ 88

รูปที่ 4.50 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำจากคลองข้างคณะรัฐศาสตร์ เมื่อผ่านถังปฏิกรณ์ที่อัตราจ่ายน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ 250 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วก๊าซ 0.05 เมตรต่อวินาที ความดันในถังปฏิกรณ์ 1.00 บาร์ 89