

การศึกษาการถ่ายเทออกซิเจนในเครื่องปฏิกรณ์ของไหลล้นตัวด้วยลมแบบท่อร่วมศูนย์กลาง

นายมณฑล ใจกุล



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2536

ISBN 974-583-096-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019650

14 ๗ ๕ ๕ ๕ ๕ ๕ ๕

**A STUDY OF AN OXYGEN TRANSPORT IN THE CONCENTRIC DRAUGHT TUBE TYPE
OF AN AIR LIFT REACTOR**



MR. MONTHON JAIKUSON

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduate school

Chulalongkorn University

1993

ISBN 974-583-096-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาการถ่ายเทออกซิเจนในเครื่องปฏิกรณ์ของไหลลอสตัวด้วยลมแบบที่อ่วมศูนย์กลาง

โดย

นาย มณฑล ใจกุล

ภาควิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.มานิจ ทองประเสริฐ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

รศ.ดร.ธีระ เกรอด



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้เนบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรมหาบัณฑิต

[Handwritten signature]

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรภักดิ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

[Handwritten signature]

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมศรี จรุงเรือง)

[Handwritten signature]

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ)

[Handwritten signature]

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอด)

[Handwritten signature]

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์พร จรัญญากรณ์)

มณฑล ใจกุศล : การศึกษาการถ่ายเทออกซิเจนในเครื่องปฏิกรณ์ของไหลลอยตัวด้วยลมแบบ
ท่อร่วมศูนย์กลาง (A STUDY OF AN OXYGEN TRANSPORT IN THE CONCENTRIC
DRAUGHT TUBE TYPE OF AN AIR LIFT REACTOR) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.มานิจ
ทองประเสริฐ, รศ.ดร.ธีระ เกรอต, 204 หน้า. ISBN 974-583-096-8

วิทยานิพนธ์นี้กล่าวถึงการศึกษาการถ่ายเทออกซิเจนในเครื่องปฏิกรณ์ของไหลลอยตัวด้วยลมแบบ
ท่อร่วมศูนย์กลาง การศึกษาทางด้านไฮโดรไดนามิกและการถ่ายเทมวล กระทำทั้งทางทฤษฎีและการ
ทดลองซึ่งจะจำลองแบบของเครื่องปฏิกรณ์โดยมีความสูงและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อด้านนอกเท่ากับ
4 เมตร และ 0.76 เมตร ตามลำดับ ส่วนความสูงและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อด้านใน เท่ากับ
3 เมตร และ 0.36 เมตร ตามลำดับ ของเหลวที่นำมาทดลองในแต่ละครั้งมีความหนืดจากน้อยไปสู่มากคือ
1. น้ำ 2. ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.S และ 3. ของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.S

จากผลการทดลองพบว่า ในช่วงกำลังงานที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์เท่ากัน ของเหลวที่มีความหนืดน้อย
จะมีค่าเศษส่วนช่องว่าง ค่าความเร็วของของเหลว ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมด และ
ค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุล มากกว่าค่าดังกล่าวของของเหลวที่มีความหนืดมากกว่าเสมอ และผลการ
เปรียบเทียบจากการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เมื่ออัตราการไหลของอากาศในเครื่องปฏิกรณ์เท่ากันและความลึก
ของท่อเท่ากัน จะพบว่าความเร็วของของเหลวและความเร็วของก๊าซมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกของตัวพ่น
อากาศด้าน Downcomer ด้วย สำหรับค่าเศษส่วนช่องว่าง ค่าความเร็วของของเหลวและค่าความเร็วของ
ก๊าซจะลดลงตามความลึกของท่อเสมอ พร้อมกันนั้นความเร็วของก๊าซมากกว่าความเร็วของของเหลวด้าน
Riser แต่น้อยกว่าความเร็วของของเหลวด้าน Downcomer เสมอ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2535

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ทนง! วัฒน
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ธีระ เกรอต

C315727 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD: OXYGEN/TRANSPORT/AIRLIFT REACTOR/CONCENTRIC DRAUGHT TUBE

MONTHON JAIKUSON : A STUDY OF AN OXYGEN TRANSPORT IN THE CONCENTRIC DRAUGHT TUBE TYPE OF AN AIR LIFT REACTOR. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF. MANIT THONGPRASERT, Ph.D., ASSO.PROF. TEERA KAEROT, Ph.D. 204 PP.
ISBN 974-583-096-8

This thesis describes the study of an oxygen transport in the concentric draught tube type of an air lift reactor. This includes the theoretical and experimental study. The model of the concentric draught tube type of an air lift 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).

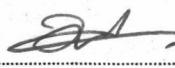
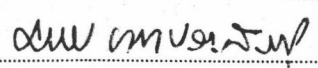
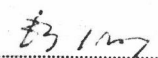
From the experiment, the less viscous fluid has void fraction, liquid velocity, mass transfer coefficient and a fractional approach to equilibrium higher than those of the more viscous fluid in the same input power. Those values measured from the experiment and the ones predicted from the proporsal mathmatical model are almost equal.

From the mathematical program, air flow rate is equal and the depth of the shaft is equal, liquid velocity and gas velocity increase depending upon the depth of the gas sparger in downcomer section. Void fraction, liquid velocity and gas velocity also decrease depending upon the depth of the shaft. Gas velocity is higher than liquid velocity in riser section but lower than liquid velocity in downcomer section.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2535

ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม 



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร. วีระเกรรอต อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้ได้รับมาจาก บัณฑิตวิทยาลัยและภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านของ โรงฝึกงานภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยเหลือเป็นอย่างดีในระหว่างทำการทดลอง

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

๕
หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	๖
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	๖
กิตติกรรมประกาศ.....	๗
สารบัญตาราง.....	๘
สารบัญภาพ.....	๙
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	๑๑
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความนำ.....	1
1.2 ข้อมูลและรายละเอียดของเครื่องปฏิกรณ์.....	2
1.3 ปัญหาของการวิจัย.....	5
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.5 ความสำคัญหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยครั้งนี้.....	6
1.6 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.7 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและการวิจัย.....	8
2.1 การถ่ายเทมวลของก๊าซกับของเหลว.....	8
2.2 ไฮโดรไดนามิกของก๊าซกับของเหลว.....	16
บทที่ 3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.1 เครื่องมือทดลอง.....	30
3.2 การวัดข้อมูลและเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง.....	37

	๕
บทที่ 4	ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง.....44
4.1	การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง กับค่ากำลังงานที่ใส่.....44
4.2	การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง True Linear Liquid Velocity กับค่ากำลังงานที่ใส่.....45
4.3	การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของ ปริมาตรทั้งหมด กับค่ากำลังงานที่ใส่45
4.4	การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนเข้าใกล้ผู้สมดุล กับเวลาใน กำลังงานที่ใส่และความหนืดของเหลวที่ต่างกัน.....46
บทที่ 5	ผลการศึกษาและผลการทดลอง.....47
บทที่ 6	สรุปผลการทดลอง.....67
6.1	สรุปวิธีการทดลอง.....67
6.2	ข้อเสนอแนะ.....74
เอกสารอ้างอิง.....	75
ภาคผนวก ก	รูปเครื่องปฏิกรณ์ของไหลสองตัวด้วยลมแบบท่อร่วมศูนย์กลาง.....78
ภาคผนวก ข	แผนภูมิโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....80
ภาคผนวก ค	โปรแกรมคอมพิวเตอร์.....82
ภาคผนวก ง	กราฟของข้อมูลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....92
ภาคผนวก จ	ข้อมูลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....107
ประวัติผู้เขียน.....	204

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
6.1 ก	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮโดรไดนามิกและสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทมวลกับกำลังงานที่ใส่ของน้ำ.....69
6.1 ข	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮโดรไดนามิกและสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทมวลกับกำลังงานที่ใส่ของของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s.....70
6.1 ค	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฮโดรไดนามิกและสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทมวลกับกำลังงานที่ใส่ของของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s.....71
ง.13	แสดงค่าความเร็วของของเหลวและค่าความเร็วของก๊าซในความลึก ของตัวพ่นอากาศด้าน Downcomer และความลึกของท่อใด ๆ ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.01 kg/s.....105
ง.14	แสดงค่าความเร็วของของเหลวและค่าความเร็วของก๊าซในความลึก ของตัวพ่นอากาศด้าน Downcomer และความลึกของท่อใด ๆ ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.02 kg/s.....106

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1	รูปแบบทั่วไปของน้ำเสียแบบเครื่องปฏิกรณ์ของไหลลอยตัวด้วยลมแบบท่อร่วมศูนย์กลาง.....2
1.2	ภาพตัดขวางของเครื่องปฏิกรณ์.....3
1.3	แสดงความสามารถของการละลายน้ำของฟองอากาศที่ความดันแตกต่างกัน.....4
1.4	แสดงความสามารถของการบำบัดภาวะไหลของเครื่องปฏิกรณ์.....4
2.1	การถ่ายเทออกซิเจนจากฟองอากาศไปสู่เซลล์ของจุลินทรีย์.....8
2.2	แสดงทิศทางการแพร่บริเวณพื้นผิวระหว่างก๊าซกับของเหลว.....11
3.1(a)	ภาพจำลองของเครื่องปฏิกรณ์ในการทดลอง.....33
3.1(b)	แผนภาพรวมของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ทำการทดลอง.....34
3.2(a)	ภาพการตัดขวางของของเหลวเมื่อตัวพ่นอากาศติดตั้งสูงกว่าช่วงต่อ.....36
3.2(b)	ภาพการตัดขวางของของเหลวเมื่อตัวพ่นอากาศติดตั้งต่ำกว่าช่วงต่อ.....36
3.3	มิเตอร์วัดอัตราการไหลของอากาศแบบ Orific Plate with D and D/2 tapping.....38
3.4	หัววัดค่า PH ของ PH-Meter.....39
3.5	ภาพ PH-Meter.....39
3.6	ภาพเทคนิคการวัดแบบ U-Tube มาโนมิเตอร์.....41
5.1	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่างกับกำลังงานที่ใส่ของสมการคณิตศาสตร์และจากการทดลอง.....49
5.2	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่างกับกำลังงานที่ใส่เมื่อของเหลวมีความหนืดต่างกัน.....50
5.3	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า True Linear Liquid Velocity กับกำลังงานที่ใส่ของสมการคณิตศาสตร์และจากการทดลอง.....53
5.4	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า True Linear Liquid Velocity กับกำลังงานที่ใส่เมื่อของเหลวมีความหนืดต่างกัน.....54
5.5	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมดกับกำลังงานที่ใส่ของสมการคณิตศาสตร์และจากการทดลอง.....57

5.6	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมด กับกำลังงานที่ใส่เมื่อของเหลวมีความหนืดต่างกัน.....	58
5.7	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุล กับเวลาเมื่อของเหลวมีความหนืดต่างกันในการำลังงานที่ใส่เท่ากับ 117 วัตต์.....	61
5.8	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุล กับเวลาเมื่อของเหลวมีความหนืดต่างกันในการำลังงานที่ใส่เท่ากับ 147 วัตต์.....	62
5.9	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุล กับเวลาเมื่อของเหลวมีความหนืดต่างกันในการำลังงานที่ใส่เท่ากับ 220 วัตต์.....	63
5.10	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุล กับเวลาเมื่อมีการำลังงานที่ใส่ต่างกันในการของเหลว คีล น้ำ.....	64
5.11	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุล กับเวลาเมื่อมีการำลังงานที่ใส่ต่างกันในการของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s.....	65
5.12	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุล กับเวลาเมื่อมีการำลังงานที่ใส่ต่างกันในการของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s.....	66
ก.1	ภาพแสดงเครื่องปฏิกรณ์ของไหลสองตัวด้วยลมแบบท่อร่วมศูนย์กลาง.....	78
ก.2	รายละเอียดของเครื่องปฏิกรณ์ของไหลสองตัวด้วยลมแบบท่อร่วมศูนย์กลาง.....	79
ข.1	แผนภูมิของโปรแกรมหลักของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	80
ง.1	ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่างกับความลึกของท่อ 40 เมตร ที่ความลึกของตัวพ่นอากาศใดๆ เมื่ออัตราการไหลของอากาศ 0.01 kg/s.....	93
ง.2	ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่างกับความลึกของท่อ 60 เมตร ที่ความลึกของตัวพ่นอากาศใดๆ เมื่ออัตราการไหลของอากาศ 0.01 kg/s.....	94
ง.3	ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่างกับความลึกของท่อ 80 เมตร ที่ความลึกของตัวพ่นอากาศใดๆ เมื่ออัตราการไหลของอากาศ 0.01 kg/s.....	95
ง.4	ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่างกับความลึกของท่อ 40 เมตร ที่ความลึกของตัวพ่นอากาศใดๆ เมื่ออัตราการไหลของอากาศ 0.02 kg/s.....	96
ง.5	ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่างกับความลึกของท่อ 60 เมตร ที่ความลึกของตัวพ่นอากาศใดๆ เมื่ออัตราการไหลของอากาศ 0.02 kg/s.....	97
ง.6	ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่างกับความลึกของท่อ 80 เมตร ที่ความลึกของตัวพ่นอากาศใดๆ เมื่ออัตราการไหลของอากาศ 0.02 kg/s.....	98

- ง.7 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตร
ทั้งหมดกับความลึกของท่อ 40 เมตร ที่ความลึกของตัวพ่นอากาศใดๆ
เมื่ออัตราการไหลของอากาศ 0.01 kg/s.....99
- ง.8 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตร
ทั้งหมดกับความลึกของท่อ 60 เมตร ที่ความลึกของตัวพ่นอากาศใดๆ
เมื่ออัตราการไหลของอากาศ 0.01 kg/s.....100
- ง.9 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตร
ทั้งหมดกับความลึกของท่อ 80 เมตร ที่ความลึกของตัวพ่นอากาศใดๆ
เมื่ออัตราการไหลของอากาศ 0.01 kg/s.....101
- ง.10 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตร
ทั้งหมดกับความลึกของท่อ 40 เมตร ที่ความลึกของตัวพ่นอากาศใดๆ
เมื่ออัตราการไหลของอากาศ 0.02 kg/s.....102
- ง.11 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตร
ทั้งหมดกับความลึกของท่อ 60 เมตร ที่ความลึกของตัวพ่นอากาศใดๆ
เมื่ออัตราการไหลของอากาศ 0.02 kg/s.....103
- ง.12 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตร
ทั้งหมดกับความลึกของท่อ 80 เมตร ที่ความลึกของตัวพ่นอากาศใดๆ
เมื่ออัตราการไหลของอากาศ 0.02 kg/s.....104

คำอธิบายสัญลักษณ์และค่าย่อ

A	-	พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด (m^2)
A_b	-	พื้นที่ว่างช่วง Draught-tube (m^2)
A_D	-	พื้นที่หน้าตัดของตัวพ่น (m^2)
A_d	-	ภาคตัดขวางสม่ำเสมอทางด้าน Downcomer (m^2)
A_F	-	พื้นที่ว่างสำหรับการไหลของของเหลวผ่านตัวพ่นอากาศ (m^2)
A_L	-	พื้นที่สัมผัสระหว่างก๊าซกับของเหลว (m^2)
A_r	-	ภาคตัดขวางสม่ำเสมอทางด้าน Riser (m^2)
a_D	-	พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างก๊าซกับของเหลวต่อปริมาตรทั้งหมดของก๊าซกับของเหลว (m^{-1})
a_L	-	พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างก๊าซกับของเหลวต่อปริมาตรของของเหลว (m^{-1})
a	-	พื้นที่ผิวต่อปริมาตรเซลล์ของจุลินทรีย์ (m^{-1})
C	-	ความแตกต่างของความเข้มข้นของออกซิเจนในของเหลว (kgm^{-3})
C^*	-	ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในของเหลว (kgm^{-3})
C_F	-	ส.ป.ส. ความเสียดทานของของไหล (-)
C_L	-	ความเข้มข้นของออกซิเจนในของเหลวขณะหนึ่งๆ (kgm^{-3})
C_{L0}	-	ความเข้มข้นของออกซิเจนในของเหลวขณะหนึ่งที่เวลาศูนย์ (kgm^{-3})
C_S	-	ตัวประกอบของการไหลของไหลผ่านตัวพ่นอากาศ (-)
D	-	การแพร่โมเลกุลของออกซิเจนในฟิล์ม (m^2s^{-1})
d_b	-	เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของฟองอากาศ (m)
d	-	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (m)
d_r	-	เส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิกทางด้าน Riser (m)
E	-	ค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุล (-)
E_b	-	การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทานของของไหลทางช่วงล่าง (W)
E_D	-	การสูญเสียพลังงานเนื่องจากก๊าซที่อยู่หนึ่งในของเหลว (W)
E_F	-	การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทานจากผนังท่อ (W)
E_1	-	พลังงานที่ให้แก่เครื่องปฏิกรณ์ (W)
E_r	-	การสูญเสียพลังงานเนื่องจากกระเจาศลินของฟองอากาศในของเหลว (W)

E_T	-	การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทานของของไหลทางขวางบน (W)
f	-	ตัวประกอบความเสียดทาน (-)
G	-	การไหลของมวลทั้งหมด (kg s^{-1})
g	-	แรงโน้มถ่วงของโลก (ms^{-2})
h_D	-	ความสูงการกระจายของก๊าซ-ของเหลวทั้งหมด (m)
h_L	-	ความลึกของของเหลว (m)
Δh	-	ช่วงความลึกของของเหลว (m)
Δh_D	-	ช่วงความลึกของของไหล (m)
dh_m	-	ระยะที่แตกต่างตามแนวตั้งของของเหลวในมาโนมิเตอร์ (m)
J_o	-	Mass Flux ของการแพร่ ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
K_B	-	ส.ป.ส. ความเสียดทานทางขวางล่าง (-)
$K.E$	-	พลังงานจลน์ (W)
K_T	-	ส.ป.ส. ความเสียดทานทางขวางบน (-)
k_a	-	ส.ป.ส. การถ่ายเทมวลในฟิล์มของก๊าซ (ms^{-1})
k_L	-	ส.ป.ส. การถ่ายเทมวลในฟิล์มของของเหลว (ms^{-1})
H	-	น้ำหนักโมล (kg/kmol)
N	-	จำนวนฟองอากาศ (-)
n	-	จำนวนโมล (kmol)
P	-	ความดันที่กระทำต่อของไหล (Pa)
P_F	-	ความแตกต่างของความดันในของไหล (Pa)
P_h	-	ความดันบรรยากาศ (Pa)
Q_m	-	อัตราการไหลของอากาศ (mol/s)
q	-	ส.ป.ส. การเติบโตบนออกซิเจน (-)
R	-	ค่าคงที่ของอากาศ (J/kmol.K)
r_o	-	อัตราการบริโภคออกซิเจนต่อเซลล์ ($\text{kg O}_2 \text{ m}^{-3} \text{ s}^{-1}$)
T	-	อุณหภูมิ (K)
t	-	เวลา (S)

U_G	-	Superficial Velocity ของก๊าซ (ms^{-1})
U_{GR}	-	Superficial Velocity ของก๊าซด้าน Riser (ms^{-1})
U_L	-	Superficial Velocity ของของเหลว (ms^{-1})
U_{LC}	-	ความเร็วเฉลี่ย 1 รอบ (ms^{-1})
U_{Ld}	-	Superficial Liquid Velocity ทาง Downcomer
U_{Lr}	-	Superficial Liquid Velocity ทาง Riser
U_o	-	ความเร็วของก๊าซที่ผ่านตัวพ่นก๊าซ (ms^{-1})
u	-	พลังงานภายในของของไหล (J.kg^{-1})
\tilde{V}	-	ปริมาตร (m^{-3})
V	-	อัตราการไหลของปริมาตร (m^3s^{-1})
V_b	-	ปริมาตรเริ่มต้น (m^3)
V_L	-	ปริมาตรของของเหลว (m^3)
V_{Ld}	-	ปริมาตรของของเหลวด้าน Downcomer (m^3)
V_{Lr}	-	ปริมาตรของของเหลวด้าน Riser (m^3)
V_L	-	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})
V_c	-	ปริมาตรสุดท้าย (m^3)
W	-	กำลังงาน (W)
ΔX	-	ความหนาของฟิล์ม (m)
ΔX_L	-	ความหนาของฟิล์มของของเหลว (m)
X_c	-	ความยาวของการหมุนเวียน (m)
dz	-	ระยะที่แตกต่างตามแนวตั้งของของไหล (m)
τ	-	แรงตึงผิว (Nm^{-2})
Ω	-	แฟกเตอร์ของประสิทธิภาพ
ϵ	-	ค่าเศษส่วนที่ช่องว่าง (-)
J_G	-	ความหนาแน่นของก๊าซ (kgm^{-3})

- ρ_L - ความหนาแน่นของของเหลว (kgm^{-3})
- σ - ความตึงผิว (kg s^{-2})
- ตัวห้อยท้าย (subscript)
- d - ด้าน Downcomer
- G - ก๊าซ
- L - ของเหลว
- H - มาโนมิเตอร์
- r - ด้าน Riser
- 1 - หน้าตัดที่ 1
- 2 - หน้าตัดที่ 2
- ตัวยกกำลัง (superscript)
- C_u - ความเข้มข้นของแข็ง (dry wt/vol % , g/100ml)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย