

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ช
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ฐ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	7
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับการจากการวิจัย	7
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	8
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 คุณลักษณะของเครื่องวัดการไหล แบบช่องอ	9
2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของเครื่องวัดการไหล แบบช่องอ	12
2.3 สถานะการไหลภายในช่องอ	14
2.4 การตกตะกอนและแยกชั้นการไหล	17
2.5 การควบคุมค่าอัตราการไหล	20
2.6 ระบบพีซีลอคจิก	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	39
3.1 ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	39
3.2 องค์ประกอบ และคุณสมบัติของน้ำยิปซัม	40

3.3 การออกแบบระบบท่อทดลอง	41
3.4 การเตรียมการก่อนการทดลอง	45
3.5 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	49
3.6 ขั้นตอนการทดลอง และการบันทึกผล	53
3.7 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ จากผลการทดลอง	56
3.8 การวัดค่าอัตราการไหล ในช่วงที่ใช้งานจริง	57
3.9 การออกแบบระบบควบคุม ค่าอัตราการไหล	58
บทที่ 4 ผลการวิจัย และการวิจารณ์ผลการวิจัย	60
4.1 ค่าความดันแตกต่าง จากผลการทดลอง	60
4.2 ค่าสัมประสิทธิ์ข้อ่งอ จากผลการทดลอง	65
4.3 การกระจาย ค่าความหนาแน่นน้ำยิปซัม	68
4.4 ค่าอัตราการไหล ในระบบแยกน้ำออกจากยิปซัม	70
4.5 การวิจารณ์ผล ค่าความดันแตกต่าง จากผลการทดลอง	72
4.6 การวิจารณ์ผล ค่าสัมประสิทธิ์ข้อ่งอ จากผลการทดลอง	74
4.7 การวิจารณ์ผล การกระจาย ค่าความหนาแน่นน้ำยิปซัม	77
4.8 การวิจารณ์ผล ค่าอัตราการไหล ในระบบแยกน้ำออกจากยิปซัม	78
4.9 การออกแบบระบบควบคุม ค่าอัตราการไหล	79
4.10 การวิจารณ์ผล ระบบควบคุม ค่าอัตราการไหล	97
4.11 ปัญหา อุปสรรคและข้อควรระวัง	97
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	100
5.1 สรุปผลการวิจัย	100
5.2 ประโยชน์ ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ	101
บรรณานุกรม	103
ภาคผนวก	107
ภาคผนวก ก ข้อมูลผลการทดลอง และผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	108
ภาคผนวก ข ข้อมูลผลการทดลอง ที่แสดงในรูปของกราฟความสัมพันธ์	117
ภาคผนวก ค สรุปสาระจากเอกสารมาตรฐาน ที่นำมาใช้ในงานวิจัย	129
ภาคผนวก ง ข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณสมบัติ ของน้ำยิปซัมที่ใช้ในงานวิจัย	138

ภาคผนวก จ คุณสมบัติทางเทคนิค ของเครื่องมือวัดค่าความดันแตกต่าง พร้อมชุดหน้าแปลน	143
ภาคผนวก ฉ คุณสมบัติทางเทคนิค ของเครื่องมือบันทึกข้อมูล แบบไม่ใช้กระดาษ	148
ภาคผนวก ช ผลการสอบเทียบ เครื่องมือวัดค่าความดันแตกต่าง พร้อมชุดหน้าแปลน	150
ภาคผนวก ซ ขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณควบคุม ด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB	157
ภาคผนวก ฌ รายงานผลการคำนวณ ค่าความเร็วการไหลวิกฤติ	165
ภาคผนวก ญ รายงานผลการคำนวณเวลาที่ระบบสูบน้ำตอบสนองต่อการเปลี่ยนความเร็วรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำ	169
ภาคผนวก ฎ ผลงานนำเสนอในที่ประชุมวิชาการ	172
ภาคผนวก ฏ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ของอุปกรณ์ในการวิจัย	180
ประวัติผู้เขียน	183

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของช่องอ ของ Indian Standard Institution	13
2.2 ฐานกฎที่ใช้ในการตั้งการ ควบคุมความเร็วของพาหนะ ของตัวอย่างปัญหา	32
2.3 ผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะ ของวิธีการดีฟิซซิฟิเคชั่น	38
4.1 ข้อมูลสัญญาณอนาล็อก ความดันแตกต่าง และค่าอัตราการไหล ในช่วงใช้งาน	81
4.2 ข้อมูลของระดับน้ำยิปซัมในถังสะสม ค่าเสดของระบบ และค่าอัตราการไหล	82
4.3 ข้อมูลค่าเสดรวมของระบบฯ ความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ และมอเตอร์ ที่ค่าอัตราการไหลคงที่ 13.9 ลิตรต่อวินาที เทียบกับความเร็วมอเตอร์ และความถี่ ที่คำนวณได้จากสมการ (5.3)	85
4.4 ข้อมูล ค่าอัตราการไหล กับสัญญาณอนาล็อก และดิจิตอล ของสัญญาณอินพุท	86
4.5 ข้อมูล สัญญาณอนาล็อก และดิจิตอล กับความเร็วรอบมอเตอร์ ของเอาต์พุท	87
4.6 กฎการควบคุมเชิงภาษาอย่างง่าย P, N และ Z	94
4.7 กฎการควบคุมเชิงภาษาแบบพีซีลอจิก PB, PM, PS, NB, NM, NS และ ZE	94
4.8 กฎการควบคุมที่จะใช้ในระบบควบคุมอัตราการไหล ของเครื่องสูบน้ำยิปซัม	95

สารบัญรูป

รูป	หน้า
1.1 เครื่องวัดการไหลแบบช่องอ ของ Richard W. Miller	4
1.2 เครื่องวัดการไหลแบบช่องอ ของ สมศักดิ์ กิริตวิเศษชัย	4
2.1 หน้าตัดของเครื่องวัดการไหลแบบช่องอ	11
2.2 เส้นความเร็วตามแนวแกนที่เท่ากัน และการไหลซ้อนในหน้าตัดของช่องอ	14
2.3 การกระจายของความดันสถิตบนผนัง โค้ง ที่อยู่ในระนาบเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องอ เปรียบเทียบระหว่างผนังโค้งด้านนอกและด้านใน ที่มุมต่างๆ ของช่องมาตรฐาน 90 องศา	15
2.4 หลักการของไฮโดรไฮโคลอน และแรงกระทำต่ออนุภาค บนหน้าตัดไฮโดรไฮโคลอน	16
2.5 แผนภาพสภาวะการไหลของ ของผสมตามขนาด และความหนาแน่นของ ของแข็ง	18
2.6 แรงที่กระทำต่ออนุภาค ซึ่งเคลื่อนที่ลงอย่างอิสระ ภายในของเหลว	19
2.7 ตัวอย่าง ประกอบการอธิบาย คริสป์เซต	23
2.8 ตัวอย่าง ประกอบการอธิบาย ฟิชชีเซต	23
2.9 ตัวอย่างของ ฟังก์ชันสมาชิกรูปสามเหลี่ยม	24
2.10 ตัวอย่างของ ฟังก์ชันสมาชิกรูปสี่เหลี่ยมคางหมู	25
2.11 ตัวอย่างของ ฟังก์ชันสมาชิกรูปตัวเอส	26
2.12 ตัวอย่างของ ฟังก์ชันสมาชิกรูปประฆังคว่ำ	26
2.13 ตัวอย่างของ ฟังก์ชันสมาชิกรูปเกาส์เซียน	27
2.14 ตัวอย่าง กฎที่ใช้ในการควบคุม ทั้งในรูปแบบความสัมพันธ์ และในรูปตาราง	30
2.15 ฟังก์ชันสมาชิกฟิชชีเซต ความเร็วของพาหนะ	31
2.16 ฟังก์ชันสมาชิกฟิชชีเซต มุมของลูกตุ้มแกว่ง เทียบกับพาหนะ	31
2.17 ฟังก์ชันสมาชิกฟิชชีเซต ความเร็วเชิงมุมของลูกตุ้มแกว่ง เทียบกับพาหนะ	31
2.18 การหาค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต มุมของลูกตุ้มแกว่ง เทียบกับพาหนะ	33
2.19 การหาค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต ความเร็วเชิงมุมของลูกตุ้มแกว่ง เทียบกับพาหนะ	33
2.20 ค่าความเป็นสมาชิกของฟิชชีเซต zero สำหรับ ตัวแปรอินพุต actual angle และ actual velocity	33

2.21 ผลการหาค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุต speed สำหรับ ฟัซซี่เซต zero	34
2.22 ผลลัพธ์ของ Neg. low	34
2.23 ผลลัพธ์ของ Pos. low	34
2.24 ผลลัพธ์ของ Zero	34
2.25 การรวมผลลัพธ์ ฟัซซี่เซตเอาต์พุต	35
2.26 การหาสัญญาณเอาต์พุต ด้วยวิธี Center-of- area /gravity	35
2.27 การหาสัญญาณเอาต์พุต ด้วยวิธี Center-of-largest-area	36
2.28 การหาสัญญาณเอาต์พุต ด้วยวิธี Mean of Maxima	36
2.29 การหาสัญญาณเอาต์พุต ด้วยวิธี Middle-of-maxima	37
3.1 วงจรการทำงาน และองค์ประกอบ ของระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 8-11	40
3.2 องค์ประกอบ ของระบบฟอลต์ดอลง ที่ใช้ในงานวิจัย	42
3.3 โครงสร้าง ข้อมูลที่มีจุดวัดความดันที่แกนทำมุม 45 องศา และของจริงที่ใช้ในการวิจัย	44
3.4 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในข้องอ และของรูจุดวัดความดัน	44
3.5 ชุดต่อเพื่อใส่อากาศ และชะล้างตะกอนตกค้าง หน้าไดอะแฟรม ที่ใช้ในงานวิจัย	45
3.6 ภาชนะตรวจวัดปริมาตร น้ำยิปซัม ที่ออกแบบตามมาตรฐาน ISO 8316 ค.ศ. 1987	46
3.7 กราฟความสัมพันธ์ ปริมาตรและระดับ (Volume-Level Chart) ที่ได้จากการสอบเทียบ	47
3.8 ภาชนะเก็บตัวอย่างน้ำยิปซัม ภาชนะทรงกระบอกโสมีสเกลปริมาตร และการวัดค่า น้ำหนัก ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์	48
3.9 ภาชนะเก็บตัวอย่างน้ำยิปซัม ที่ได้จากระยะต่างๆ ของรูจุดวัดความดัน	48
3.10 เครื่องมือสอบเทียบ อุปกรณ์วัดค่าความดันแตกต่าง ที่ใช้ในการทดลอง	49
3.11 ชุดเครื่องมือวัดค่าความดันแตกต่าง และตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือ ในการทดลอง	50
3.12 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล แบบไม่ใช้กระดาษ ที่นำมาใช้ในงานวิจัย	50
3.13 คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย และซอฟต์แวร์สำเร็จรูปที่ ใช้อ่านข้อมูลที่บันทึก	51
3.14 เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล ตรวจวัดค่าด้วยรังสีอินฟราเรด ที่นำมาใช้ในงานวิจัย	51
3.15 ขนาด ลักษณะ และการติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำยิปซัม ในงานวิจัยนี้	52
3.16 เครื่องมือวัดค่าความเร็วรอบการหมุน ของเครื่องสูบน้ำยิปซัมและมอเตอร์ขับ	52
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความดันแตกต่าง และค่าอัตราการไหล แยกตามตำแหน่ง ข้องอในระบบท่อ และจุดวัดความดันบนข้องอ	61

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความดันแตกต่าง และค่าอัตราการไหล ของช่องในตำแหน่ง ที่ 1 มีจุดวัดความดันที่มุม 45 องศา เปรียบเทียบผล เมื่อสลับทิศทางไหลเข้าช่อง	62
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความดันแตกต่าง และค่าอัตราการไหล แยกตามตำแหน่ง ช่อง และเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นน้ำยิปซัม ของช่องที่มีจุดวัดความดัน ที่มุม 45 องศา	63
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความดันแตกต่าง และค่าอัตราการไหล ของน้ำยิปซัม ที่ เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น เทียบกับน้ำสะอาด ของช่องที่มีจุดวัดความดัน ที่มุม 45 องศา	64
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์ช่อง และค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์การไหลแยกตาม ตำแหน่งช่อง และจุดวัดความดัน ที่ความเข้มข้นน้ำยิปซัม 51 เปอร์เซ็นต์	66
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์ช่อง และค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์การไหลแยกตาม ตำแหน่งช่อง และเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นน้ำยิปซัม ของช่องที่มีจุดวัดความดันที่มุม 45 องศา	67
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์ช่อง และค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์การไหล เมื่อ ทดสอบช่องตำแหน่งที่ 2 มีจุดวัดความดันที่มุม 45 องศา ด้วยน้ำสะอาด	68
4.8 การกระจายความหนาแน่น ในแกนจุดวัดความดัน ของช่องตำแหน่งที่ 1	69
4.9 การกระจายความหนาแน่น ในแกนจุดวัดความดัน ที่มุม 45 องศา	70
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความดันแตกต่างจากเครื่องวัดแบบช่อง ติดตั้งในระบบ สูบน้ำยิปซัม กับเวลาที่ใช้เดินเครื่องสูบน้ำ 112 นาที	71
4.11 ผลการเปรียบเทียบ ค่าสัมประสิทธิ์ช่อง จากผลการทดลอง และจากสมการ (4.1)	76
4.12 องค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในวงจรควบคุมอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำยิปซัม	80
4.13 ความสัมพันธ์ ระหว่าง ค่าอัตราการไหลที่เปลี่ยนแปลง กับระดับน้ำยิปซัมในถัง	82
4.14 เส้นโค้งคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำจากผู้ผลิต และจากการทดสอบด้วยน้ำยิปซัม รวมทั้งผลการคำนวณด้วย Affinity laws	83
4.15 การแบ่งระดับเชิงภาษา (Linguistic Level) ของฟัซซี่เซต $E(t)$	88
4.16 การแบ่งระดับเชิงภาษา (Linguistic Level) ของฟัซซี่เซต $\Delta E(t)$	89
4.17 การแบ่งระดับเชิงภาษา (Linguistic Level) ของฟัซซี่เซต $S(t)$	90
4.18 การตอบสนองแบบขั้นบันไดของระบบควบคุม (System Step Response)	93
4.19 สัญญาณควบคุม ที่ได้จากการดีฟัซซิฟิเคชัน ด้วยวิธีค่ากลางของพื้นที่ (COA)	96
4.20 สัญญาณควบคุม ที่ได้จากการดีฟัซซิฟิเคชัน ด้วยวิธีเฉลี่ยค่าสูงสุด (MOM)	96

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
b	สัมประสิทธิ์การถดถอย	-
C_D	สัมประสิทธิ์ต้านทานการเคลื่อนที่	-
C_e	สัมประสิทธิ์ข้องอ	-
C_V	ความเข้มข้นเชิงปริมาตร	%
C_w	ความเข้มข้นเชิงน้ำหนัก	%
d	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค	m
D	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ, ข้องอ	m
g	ความเร่งแรงโน้มถ่วงของโลก	m / s ²
K	สัมประสิทธิ์ข้องอ	-
P	ความดัน	N / m ²
ΔP	ความดันแตกต่าง คร่อมจุดวัดฯ	N / m ²
Q	อัตราการไหลเชิงปริมาตร	m ³ / s
r	ระยะในแนวรัศมีท่อ	m
r_b	รัศมีความโค้งข้องอ	m
R_{ed}	ตัวเลขเรย์โนลด์	-
R^2	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ	-
S_b	ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ	-
Sp	ความคลาดเคลื่อนเชิงสุ่ม	-
u	ความเร็ว	m / s
U_c^2	ความไม่แน่นอนรวม	%
$\bar{V}$	ความเร็วเฉลี่ย	m / s
V_c	ความเร็วการไหลวิกฤติ	m / s
w_m	ความเร็วสุดท้ายของอนุภาค	m / s
W	แรงต้านการไหล	N

Z	แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	N
ρ	ความหนาแน่น	kg / m^3
μ	ความหนืด	$\text{N.s} / \text{m}^2$
θ	มุมในแกนจุดวัดความดัน ที่ทำกับระนาบ- ตั้งฉากกับแกนไหลเข้าช่องอ	Degree

อักษรย่อ

i, j, k	ทิศทางตามแนวแกน X, Y และ Z
s, p	ในสถานะของแข็ง
l	ในสถานะของเหลว
m	ในสถานะของผสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved