สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญตาราง	ฌ
สารบาญภาพ	ฎ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	5
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎี	5
1.5 ขอบเขตการวิจัย	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 สมการสมดุลโมเมนตัม	6
2.2 ความหนืดและสมบัติของของไหล	7
2.3 หลักการทำงานของเครื่องอัดรีดพลาสติกชนิดสกรูเดี่ยว	12
2.4 ส่วนประกอบของสกรูในเครื่องอัดรีดพลาสติกชนิดสกรูเดี่ยว	14
บทที่ 3 ขั้นตอนการวิจัย	
3.1 ขั้นตอนหลักสำหรับการดำเนินการศึกษา	16
3.2 ตัวแปรในงานวิจัย	16

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 อุปกรณ์การวิจัย	17
3.4 ทดลองการวัดค่าพลังงานสุทธิที่ใช้	21
3.5 เปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลอง และการทดลอง	22
บทที่ 4 แบบจำลองการอัดรีด	
4.1 การเคลื่อนที่ของพลาสติกเหลว	23
4.2 ค่าพลังงานในการอัดรีดพลาสติก	23
4.3 การสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ของการคำนวณหาค่าพลังงานกลในการอัดรีดพลาสติก	25
4.4 การวัดค่าความหนืดของพลาสติก	37
4.5 การวัดค่าปริมาณพลาสติกที่ออกมาจากเครื่องอัดรีด	37
บทที่ 5 ผลและการวิจารณ์ผล	
5.1 ค่าความหนืดของพลาสติกเหลวที่อัตราการเฉือนต่างๆ	38
5.2 ผลการทดลองวัดพลังงานที่ใช้	42
5.3 แบบจำลองการอัดรีด	46
5.4 การวิเคราะห์ความไวของตัวแปร (Sensitivity Analysis)	47
5.5 ผลการคำนวณพลังงานที่ใช้	50
5.6 ผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ทดลอง กับค่าพลังงานที่คำนวณได้จากแบบจำลอง	51
5.7 การวิจารณ์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	53
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการวิจัย	54
6.2 ข้อเสนอแนะ	55
บรรณานุกรม	56

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

ภาคผนวก		หน้า
ภาคผนวก ก.	คุณสมบัติทางกายภาพของพลาสติก	59
ภาคผนวก ข.	คุณสมบัติการไหลของพลาสติก	61
ภาคผนวก ค.	ผลการทดลองวัดค่าปริมาณในการอัดรีดพลาสติกที่อุณหภูมิและความเร็วรอบต่างๆ	66
ภาคผนวก ง.	ข้อมูลการทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้าในการอัดรีดพลาสติก	71
ภาคผนวก จ.	วิธีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการหาค่าพลังงานกล	94
ภาคผนวก ฉ.	เอกสารตีพิมพ์	96
ประวัติผู้เขียน		101

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ความหนืดของวัสดุชนิดต่างๆ	7
2.2	แสดงรูปแบบต่างๆของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากเครื่องอัดรีด	13
3.1	ขนาดของสกรูในเครื่องอัดรีด	18
4.1	ค่าของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ	32
5.1	แสดงค่าคงที่ของความหนืดตามสมการยกกำลัง	41
5.2	ตารางที่ 4.2 ค่าของตัวแปร (Input value) ที่ถูกเปลี่ยนแปลงทั้งในรูปแบบมากกว่า และน้อยกว่าโดยกำหนดให้ค่าอ้างอิงเท่ากับ 100%	48
5.3	แสดงค่าความคลาดเคลื่อน (%) ระหว่างค่าพลังงานที่ทดลองกับค่าพลังงานที่คำนวณได้จากแบบจำลองในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ	51
5.4	แสดงค่าความคลาดเคลื่อน (%) ระหว่างค่าพลังงานที่ทดลองกับค่าพลังงานที่คำนวณได้จากแบบจำลองในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นสูง	52
ก.1	คุณสมบัติทางกายภาพของพลาสติกโพลิเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ	60
ก.2	คุณสมบัติทางกายภาพของพลาสติกโพลิเอททีลีนความหนาแน่นสูง	60
ข.1	ผลของความหนืดต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการเฉือนของพลาสติกโพลิเอททิลีนความหนาแน่นต่ำที่อุณหภูมิต่างๆ	62
ข.1	ผลของความหนืดต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการเฉือนของพลาสติกโพลิเอททิลีนความหนาแน่นต่ำที่อุณหภูมิต่างๆ (ต่อ)	63
ข.2	ผลของความหนืดต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการเฉือนของพลาสติกโพลิเอททิลีนความหนาแน่นสูงที่อุณหภูมิต่างๆ	64
ข.2	ผลของความหนืดต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการเฉือนของพลาสติกโพลิเอททิลีนความหนาแน่นต่ำที่อุณหภูมิต่างๆ (ต่อ)	65
ค.1	ผลการทดลองวัดค่าปริมาณในการอัดรีด (g/s) พลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นต่ำที่อุณหภูมิ และความเร็วรอบต่างๆ	67
ค.1	ผลการทดลองวัดค่าปริมาณในการอัดรีด (g/s) พลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นต่ำที่อุณหภูมิ และความเร็วรอบต่างๆ (ต่อ)	68

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
ค.2	ผลการทดลองวัดค่าปริมาณในการอัดรีด (g/s) พลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นสูง ที่อุณหภูมิ และความเร็วรอบต่างๆ	69
ค.2	ผลการทดลองวัดค่าปริมาณในการอัดรีด (g/s) พลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นสูงที่อุณหภูมิ และความเร็วรอบต่างๆ (ต่อ)	70
ง.1	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการหมุนสกรูเปล่า	72
ง.1	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการหมุนสกรูเปล่า (ต่อ)	73
ง.2	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ ที่อุณหภูมิ 150°C	74
ง.2	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ ที่อุณหภูมิ 150°C (ต่อ)	75
ง.3	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ ที่อุณหภูมิ 160°C	76
ง.3	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ ที่อุณหภูมิ 160°C (ต่อ)	77
จ.4	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ ที่อุณหภูมิ 170°C	78
ง.4	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ ที่อุณหภูมิ 170°C (ต่อ)	79
ง.5	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ ที่อุณหภูมิ 180°C	80
ง.5	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ ที่อุณหภูมิ 180°C (ต่อ)	81
ง.6	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ ที่อุณหภูมิ 190°C	82
ง.6	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ ที่อุณหภูมิ 190°C (ต่อ)	83

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
ง.7	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีน ความหนาแน่นสูง ที่อุณหภูมิ 190°C	84
ง.7	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีน ความหนาแน่นสูง ที่อุณหภูมิ 190°C (ต่อ)	85
ง.8	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีน ความหนาแน่นสูง ที่อุณหภูมิ 200°C	86
ง.8	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีน ความหนาแน่นสูง ที่อุณหภูมิ 200°C (ต่อ)	87
ง.9	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีน ความหนาแน่นสูง ที่อุณหภูมิ 210°C	88
ง.9	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีน ความหนาแน่นสูง ที่อุณหภูมิ 210°C (ต่อ)	89
ง.10	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีน ความหนาแน่นสูง ที่อุณหภูมิ 220°C	90
ง.10	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีน ความหนาแน่นสูง ที่อุณหภูมิ 220°C (ต่อ)	91
ง.11	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีน ความหนาแน่นสูง ที่อุณหภูมิ 230°C	92
ง.11	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีน ความหนาแน่นสูง ที่อุณหภูมิ 230°C (ต่อ)	93

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ความแตกต่างระหว่างของเหลวนิวโตเนียน และของเหลวนอนนิวโตเนียน	9
2.2	ลักษณะการไหล และการผิดรูปของพลาสติกเหลวจากความเค้นเฉือน	10
2.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเฉือน และความหนืด ในรูปแบบแกนล๊อก-ล๊อก ของของไหลนอนนิวโตเนียน	11
2.4	แสดงหลักการทำงานของเครื่องคาปิลลารีริโอมิเตอร์	11
2.5	แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอัดรีดพลาสติกชนิดสกรูเดี่ยว	13
2.6	แสดงลักษณะของสกรู	14
3.1	เครื่องอัดรีดพลาสติกชนิดสกรูเดี่ยว	17
3.2	หัวดายวงกลมขนาด 3 มิลลิเมตร จำนวน 2 รู	18
3.3	แสดงขนาดของสกรูในหน่วยมิลลิเมตร	18
3.4	เม็ดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ	19
3.5	เม็ดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นสูง	19
3.6	มัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ Circutor รุ่น AR 5 Vision	20
3.7	คาปิลลารี ริโอมิเตอร์ (Capillary rheometer) ยี่ห้อ Kayeness รุ่น LCR5000	20
4.1	แสดงแนวร่องเกลียวสกรู	24
4.2	แสดงบริเวณช่องว่างระหว่างกระบอกกับสันเกลียว	25
4.3	แสดงแบบจำลองของเครื่องอัดรีดพลาสติกชนิดสกรูเดี่ยว	25
4.4	การกำหนดแกน x y z และความเร็วของพลาสติกภายในเครื่องอัดรีด	26
4.5 ก-ค.	แสดงเงื่อนไขขอบเขตในการเคลื่อนที่ของพลาสติกเหลวภายในเครื่องอัดรีด	27
4.6	แสดงแผนผังการทำงานของแบบจำลองเพื่อคำนวณค่าพลังงานในการอัดรีดพลาสติก	35
4.7	แสดงรายละเอียดของแบบจำลองในการพลังงานของเครื่องอัดรีด	36
5.1	แสดงค่าความหนืดของโพลีเอททิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	39
5.2	แสดงค่าความหนืดของโพลีเอททิลีนชนิดความหนาแน่นสูง	40
5.3	แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ในการหมุนสกรูเปล่า ณ ความเร็วรอบต่างๆ	42

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ (ต่อ)

5.4	แสดงค่าความถี่ไฟฟ้าระหว่างอินเวอร์เตอร์กับมอเตอร์ในการหมุนสกรูเปล่า ณ ความเร็วรอบต่างๆ	43
5.5	แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ	44
5.6	แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นสูง	44
5.7	แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ	45
5.8	แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิที่มอเตอร์ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นสูง	46
5.9	ความไวของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการใช้พลังงาน	49
5.10	แสดงผลการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ	50
5.11	แสดงผลการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ในการอัดรีดพลาสติกชนิดโพลิเอททีลีนความหนาแน่นสูง	51
จ.1	แสดงลักษณะทั่วไปของโปรแกรม	95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
a	ค่าคงที่ตามสมการยกกำลังของของไหลหนืด	1/°C
b	ระยะสันเกลียวตามแนวแกนของสกรู	m
B	ความกว้างของเกลียวตามแนวแกนของสกรู	m
D_b	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอก	m
D_i	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนสกรู	m
D_s	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวสกรู	m
e	ความหนาของสันเกลียว	m
H	ความสูงจากพื้นผิวสกรูถึงกระบอก	m
K_1	ค่าคงที่สำหรับสมการที่ 3.13	-
K_2	ค่าคงที่สำหรับสมการที่ 3.13	-
L	ความยาวของหัวดาย	m
m	ค่าคงที่ตามสมการยกกำลังของของไหลหนืด	$Pa.s^n$
m_0	ค่าคงที่ตามสมการยกกำลังของของไหลหนืด	$Pa.s^n$
n	ค่าคงที่ตามสมการยกกำลังของของไหลหนืด	-
N	ความเร็วรอบของสกรู	1/s
P	ความดัน	N/m^2
R	รัศมีของคาปิลลารี	m
S	ระยะระหว่างเกลียวสกรูตามแนวแกนสกรู	m
T	อุณหภูมิ	°C
T_0	อุณหภูมิอ้างอิง	°C
V_b	ความเร็วเชิงเส้นของกระบอก	m/s
V_{bx}	ความเร็วเชิงเส้นของกระบอกตามแนวแกน x	m/s
V_{bz}	ความเร็วเชิงเส้นของกระบอกตามแนวแกน z	m/s
V_x	ความเร็วตามแนวแกน x	m/s
V_y	ความเร็วตามแนวแกน y	m/s
V_z	ความเร็วตามแนวแกน z	m/s
W_b	ระยะตั้งฉากระหว่างสันเกลียวที่ฉายลงบนกระบอก	m

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รายการอักษรย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
W_s	ระยะตั้งฉากระหว่างสันเกลียว ณ พื้นผิวสกรู	m
$\overline{W}$	ระยะตั้งฉากระหว่างสันเกลียวเฉลี่ย	m
x	ระยะตามแนวแกน x	m
y	ระยะตามแนวแกน y	m
z	ระยะตามแนวแกน z	m
Z_{ch}	ค่าพลังงานในการอัดรีดที่เกิดขึ้น ณ ช่องว่างระหว่างสกรูกับกระบอก	W
Z_{cl}	ค่าพลังงานในการอัดรีดที่เกิดขึ้น ณ ช่องว่างระหว่างสันเกลียวกับกระบอก	W

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
δ	ระยะระหว่างกระบอกกับสันเกลียว (clearance)	m
ϕ^*	ตัวแปรไร้มิติ	-
$\dot{\gamma}$	อัตราการเฉือน	1/s
Γ_R	ตัวแปรไร้มิติของความดัน	-
ρ	ความหนาแน่น	kg/m^3
η	ความหนืดปรากฏ ณ ช่องว่างระหว่างร่องสกรูกับกระบอก	Pa.s
η_{cl}	ความหนืดปรากฏ ณ ช่องว่างระหว่างสกรูกับกระบอก	Pa.s
μ	ความหนืดของของไหลนิวโตเนียน	Pa.s
θ_b	มุมเอียงของสันเกลียวที่ฉายลงบนกระบอก	°
θ_s	มุมเอียงของสันเกลียว ณ พื้นผิวของสกรู	°
$\overline{\theta}$	มุมเอียงของสันเกลียวเฉลี่ย	°
τ	ความเค้นเฉือน	N/m^2
ξ	ตัวแปรไร้มิติของระยะตามแนว y	-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved