สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบาญตาราง	ฐ
สารบาญรูป	ฑ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	บ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การกำเนิดและวัฏจักรของหิน	3
2.2 การกำเนิดของดิน	7
2.3 โครงสร้างผลึกของดิน	8
2.3.1 โครงสร้างพื้นฐานของดิน	8
2.3.2 โครงสร้างผลึกของดินเคโอลิน	11
2.3.3 โครงสร้างผลึกของสะเมคไทท์	16
2.3.4 โครงสร้างผลึกของไมกาและอิลไลท์	18
2.3.5 โครงสร้างผลึกของคลอไรท์	20
2.3.6 โครงสร้างผลึกของเวอร์มิคูไลท์	21
2.4 โครงสร้างผลึกของควอตซ์และเฟลด์สปาร์	22
2.4.1 โครงสร้างผลึกของควอตซ์	22
2.4.2 โครงสร้างผลึกของเฟลด์สปาร์	23
2.5 การเกิดประจุและไอโซมอร์ฟัสซับสะติติวชัน (Isomorphous substitution) บนโครงสร้างผลึกของดิน ควอตซ์ และเฟลด์สปาร์	24
2.5.1 การเกิดประจุและไอโซมอร์ฟัสซับสะติติวชันบนโครงสร้างผลึกของดิน	24
2.5.2 การเกิดประจุบนโครงสร้างผลึกของควอตซ์ และเฟลด์สปาร์	25
2.6 อิเล็กทริคคอลดับเบิลเลเยอร์ (Electrical double layer)	26
2.7 จลศาสตร์ไฟฟ้าหรือศักย์ไฟฟ้าซีต้า (Electrokinetic or Zeta potential)	30

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 การรวมตัวและการกระจายตัวของอนุภาคดินในสารแขวนลอย	34
2.8.1 การรวมตัวของอนุภาคดินในสารแขวนลอย	34
2.8.2 การกระจายตัวของอนุภาคดินในสารแขวนลอย	35
2.9 พฤติกรรมการไหลของของไหล	36
2.9.1 ทฤษฎีการไหลของของไหล	36
2.9.2 พฤติกรรมการไหลของของไหล	37
2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืด	41
2.11 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าทิกโซโทรปี	46
2.12 ผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน	49
2.13 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยวิธีการหล่อแบบ	50
2.13.1 กระบวนการหล่อแบบ	50
2.13.2 คุณสมบัติน้ำดินที่ใช้ในการหล่อแบบ	52
2.13.3 ขั้นตอนการหล่อแบบ	53
2.13.4 ทฤษฎีในการหล่อแบบ	53
2.14 สาระสำคัญของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	55
2.15 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	58
2.16 ขอบเขตของงานวิจัย	58
2.17 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎี และเชิงประยุกต์	58
บทที่ 3 เครื่องมือ อุปกรณ์ วัตถุดิบ สารเคมี และวิธีการทดลอง	59
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	59
3.2 วัตถุดิบและสารเคมี	59
3.3 วิธีการทดลอง	60
3.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ	60
3.3.2 การวัดขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาคของดินขาว เคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ ด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค	60

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.3 การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ ด้วยเครื่องวัดพื้นที่ผิว	60
3.3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ ด้วยเครื่องวัดปริมาณสารอินทรีย์	62
3.3.5 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์	62
3.3.6 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางแร่ของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน	62
3.3.7 ศึกษาสัณฐานวิทยาของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน	63
3.3.8 ศึกษาค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ ด้วยเครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าซีต้า	63
3.3.9 การวัดพฤติกรรมการไหลของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ ด้วยเครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer	64
3.3.10 การวัดพฤติกรรมการไหลของวัตถุดิบผสมระหว่างควอตซ์กับดินขาวเคโอลินนราธิวาส โซเดียมเฟลด์สปาร์กับดินขาวเคโอลินนราธิวาส และเนื้อดินผสมพอร์ซเลน ด้วยเครื่องวัดความหนืด Rion viscometer	67
3.3.11 การหล่อแบบของดินขาวเคโอลินนราธิวาส และเนื้อดินผสมพอร์ซเลน	69

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	72
4.1 ผลการวัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ ด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค	72
4.2 ผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ ด้วยเครื่องวัดพื้นที่ผิว	73
4.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ ด้วยเครื่องวัดปริมาณสารอินทรีย์	74
4.4 ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์	75
4.5 ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางแร่ของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน	76
4.6 ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน	79
4.7 ผลการศึกษาค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้า ของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ ด้วยเครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าซีต้า	83
4.8 ผลการวัดพฤติกรรมการไหลของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ ด้วยเครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer	95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

หน้า

4.9 ผลการวัดพฤติกรรมการไหลของวัตถุดิบผสมระหว่างควอตซ์กับดินขาวเคโอลินนราธิวาส โซเดียมเฟลด์สปาร์กับดินขาวเคโอลินนราธิวาส และเนื้อดินผสมพอร์ซเลน (ควอตซ์ 25 เปอร์เซ็นต์โดยนำหนัก โซเดียมเฟลด์สปาร์ 25 เปอร์เซ็นต์โดยนำหนัก และดินขาวนราธิวาส 50 เปอร์เซ็นต์โดยนำหนัก) ด้วยเครื่องวัดความหนืด Rion viscometer 119

4.10 การหล่อแบบของดินขาวเคโอลินนราธิวาส และเนื้อดินผสมพอร์ซเลน 127

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง ประโยชน์ของงานวิจัย และข้อเสนอแนะ 142

5.1 สรุปผลการทดลอง 142

5.2 ประโยชน์ของงานวิจัย 143

5.3 ข้อเสนอแนะ 143

บรรณานุกรม 145

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก วัตถุดิบในการเตรียมน้ำดินและการเตรียมน้ำดินหล่อแบบ 151

ภาคผนวก ข ส่วนประกอบ การทำงาน การเตรียมการวัดตัวอย่าง เทคนิค และข้อระวังของเครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer 157

ภาคผนวก ค เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 161

ภาคผนวก ง งานวิจัยที่ตีพิมพ์ใน Chiang Mai Journal of Science 170

ประวัติผู้เขียน 179

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง

ตาราง		หน้า
4.1	พื้นที่ผิวของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์	74
4.2	ปริมาณสารอินทรีย์ของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์	74
4.3	องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์	75

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญรูป

รูป		หน้า
2.1	วัฏจักรของหิน	1
2.2	วัฏจักรของหิน	2
2.3	โครงสร้างของเตตระฮีดรอน	8
2.4	โครงสร้างของชั้นเตตระฮีดรอน	9
2.5	โครงสร้างของออกตะฮีดรอน	10
2.6	โครงสร้างของชั้นออกตะฮีดรอน	10
2.7	โครงสร้างของดินเคโอลิน	11
2.8	การเชื่อมโยงของพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาล์วระหว่างผลึกดินเคโอลิน	12
2.9	ผลึกดินเคโอลิน	12
2.10	โครงสร้างผลึกของนาไครท์ (a) ดิกไคท์ (b) และเคโอลิไนท์ (c)	13
2.11	ลักษณะรูปร่างผลึกของนาไครท์ (a) ดิกไคท์ (b) และเคโอลิไนท์ (c)	14
2.12	โครงสร้างผลึกของฮาล์ลอยไซท์	15
2.13	ลักษณะรูปร่างผลึกของฮาล์ลอยไซท์	15
2.14	โครงสร้างผลึกของสะเมคไทท์	16
2.15	ลักษณะรูปร่างผลึกของสะเมคไทท์	17
2.16	การเชื่อมโยงของแรงแวนเดอร์วาล์วระหว่างผลึกสะเมคไทท์	17
2.17	โครงสร้างผลึกของไมกาและอิลไลท์	19
2.18	ลักษณะรูปร่างผลึกของอิลไลท์	19
2.19	โครงสร้างผลึกของคลอไรท์	20
2.20	ลักษณะรูปร่างผลึกของคลอไรท์	20
2.21	โครงสร้างผลึกของเวอร์มิคูไลท์	21
2.22	ลักษณะรูปร่างผลึกของเวอร์มิคูไลท์	21
2.23	โครงสร้างผลึกของควอตซ์	22
2.24	ลักษณะรูปร่างผลึกของควอตซ์	22
2.25	โครงสร้างผลึกของเฟลด์สปาร์	23
2.26	ลักษณะรูปร่างผลึกของเฟลด์สปาร์	24
2.27	อนุภาคทองเกาะที่โครงสร้างผลึกของดินเคโอลิน	25

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
2.28	แบบจำลองดิฟฟิวส์ดับเบิลเลเยอร์ของ Gouy	27
2.29	การกระจายของประจุบวก (n+) และลบ (n-) ในแบบจำลองดิฟฟิวส์ดับเบิลเลเยอร์	27
2.30	การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้า และความเข้มข้นของไอออนบวก เมื่อมีระยะห่างจากพื้นผิวอนุภาคที่ความแรงของไอออนต่ำและสูง	29
2.31	แบบจำลองดิฟฟิวส์ดับเบิลเลเยอร์ของ Stern	30
2.32	ค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าที่แสดงถึงความเสถียรหรือความไม่เสถียรของน้ำดิน และประจุที่ผิวของอนุภาคดิน	32
2.33	การหาจุดไอโซอิเล็กทริคที่พลอตกราฟระหว่างพีเอชกับค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าที่เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลท์	33
2.34	การหาจุดไอโซอิเล็กทริคที่พลอตกราฟระหว่างพีเอชกับค่าความเค้นของ Bingham ที่ เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลท์	33
2.35	การกระจายตัว (a) และการรวมกันของอนุภาคดิน (b-g)	34
2.36	ลักษณะการไหลของของไหลเมื่อมีแรงมากระทำ	36
2.37	พฤติกรรมการไหลของของไหลแบบนิวโทเนียนและแบบนอนนิวโทเนียน	38
2.38	พฤติกรรมไดลาแทนต์	40
2.39	พฤติกรรมการไหลของของไหลแบบนอนนิวโทเนียนชนิดทิกโซโทรปี	40
2.40	พฤติกรรมการไหลของของไหลแบบนอนนิวโทเนียนชนิดรีโอเปกซี	41
2.41	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืด โดยเปรียบเทียบกับขนาดอนุภาคเล็กและใหญ่	42
2.42	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของของแข็งในสารแขวนลอย กับความหนืด	43
2.43	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือน โดยเปรียบเทียบกับรูปร่างของอนุภาค	44
2.44	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับค่าความหนืด และ Yield value	45
2.45	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยกระจายตัวกับค่าความหนืด	45
2.46	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลท์กับค่าความหนืด	46
2.47	ค่าทิกโซโทรปีที่เปรียบเทียบกับปริมาณของของแข็งในสารแขวนลอย	47
2.48	ค่าทิกโซโทรปีที่เปรียบเทียบกับพีเอช	48

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
2.49	ค่าทิกโซโทรปีที่เปรียบเทียบกับปริมาณสารช่วยกระจายตัว	48
2.50	ค่าทิกโซโทรปีที่เปรียบเทียบกับปริมาณความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลท์	49
2.51	การหล่อแบบชนิด Solid casting, (a) แบบที่ประกอบแล้ว (b) เทน้ำดินลงแบบ (c) ปล่อยน้ำดินไว้ในแบบพิมพ์ (d) ผลิตภัณฑ์ที่ตกแต่งเรียบร้อยแล้ว	51
2.52	การหล่อแบบชนิด Drain casting, (a) แบบที่ประกอบแล้ว (b) เทน้ำดินลงแบบ (c) เทน้ำดินที่เหลือออกจากแบบพิมพ์ (d) ตัดแต่งปากผลิตภัณฑ์ (e) ผลิตภัณฑ์หลังถอดแบบ	51
2.53	การหล่อแบบของน้ำดินที่มีลักษณะการรวมตัวกันของอนุภาค	52
2.54	การหล่อแบบของน้ำดินที่มีลักษณะการกระจายตัวที่ดีของอนุภาค	52
2.55	ลักษณะการเกิดชั้นต่างๆ ขณะทำการหล่อแบบ	54
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับปริมาตรของขนาดอนุภาค	72
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายของขนาดอนุภาคกับปริมาตรของขนาดอนุภาค	73
4.3	องค์ประกอบทางแร่ของดินขาวเคโอลินนราธิวาส	77
4.4	องค์ประกอบทางแร่ของดินขาวเคโอลินลำปาง	77
4.5	องค์ประกอบทางแร่ของดินขาวเคโอลินระนอง	78
4.6	องค์ประกอบทางแร่ของควอตซ์	78
4.7	องค์ประกอบทางแร่ของโซเดียมเฟลด์สปาร์	79
4.8	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของดินขาวเคโอลินนราธิวาส	80
4.9	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของดินขาวเคโอลินลำปาง	80
4.10	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของดินขาวเคโอลินระนอง	81
4.11	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของดินขาวเคโอลินระนองที่มีลักษณะเป็นท่อ	81
4.12	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของควอตซ์	82
4.13	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของโซเดียมเฟลด์สปาร์	82
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับศักย์ไฟฟ้าซีต้าของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง ควอตซ์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์	85

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.15	แบบจำลองการดูดซับของซิลิเกตไอออนที่บริเวณขอบของอนุภาคดินขาวเคโอลิน	86
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับศักย์ไฟฟ้าซีต้าของดินขาวเคโอลินนราธิวาสที่มีการเติมโซเดียมซิลิเกต 4 ไมโครลิตร	86
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับศักย์ไฟฟ้าซีต้าของดินขาวเคโอลินลำปางที่มีการเติมโซเดียมซิลิเกต 4 ไมโครลิตร	87
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับศักย์ไฟฟ้าซีต้าของดินขาวเคโอลินระนองที่มีการเติมโซเดียมซิลิเกต 4 ไมโครลิตร	87
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับศักย์ไฟฟ้าซีต้าของควอตซ์ที่มีการเติมโซเดียมซิลิเกต 4 ไมโครลิตร	88
4.20	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับศักย์ไฟฟ้าซีต้าของโซเดียมเฟลด์สปาร์ที่มีการเติมโซเดียมซิลิเกต 4 ไมโครลิตร	88
4.21	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับศักย์ไฟฟ้าซีต้าของวัตถุดิบผสมระหว่างควอตซ์กับดินขาวเคโอลินนราธิวาส	90
4.22	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับศักย์ไฟฟ้าซีต้าของวัตถุดิบผสมระหว่างควอตซ์กับดินขาวเคโอลินลำปาง	91
4.23	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับศักย์ไฟฟ้าซีต้าของวัตถุดิบผสมระหว่างควอตซ์กับดินขาวเคโอลินระนอง	91
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับศักย์ไฟฟ้าซีต้าของวัตถุดิบผสมระหว่างโซเดียมเฟลด์สปาร์กับดินขาวเคโอลินนราธิวาส	92
4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับศักย์ไฟฟ้าซีต้าของวัตถุดิบผสมระหว่างโซเดียมเฟลด์สปาร์กับดินขาวเคโอลินลำปาง	92
4.26	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับศักย์ไฟฟ้าซีต้าของวัตถุดิบผสมระหว่างโซเดียมเฟลด์สปาร์กับดินขาวเคโอลินระนอง	93
4.27	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับศักย์ไฟฟ้าซีต้าของวัตถุดิบผสมระหว่างควอตซ์กับโซเดียมเฟลด์สปาร์กับดินขาวเคโอลินนราธิวาส	93

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.28	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับศักย์ไฟฟ้าซีต้าของวัตถุดิบผสมระหว่างควอตซ์กับโซเดียมเฟลด์สปาร์กับดินขาวเคโอลินลำปาง	94
4.29	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับศักย์ไฟฟ้าซีต้าของวัตถุดิบผสมระหว่างควอตซ์กับโซเดียมเฟลด์สปาร์กับดินขาวเคโอลินระนอง	94
4.30	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของของแข็งในสารแขวนลอยกับค่าความหนืดแบบพลาสติกของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง โซเดียมเฟลด์สปาร์ และควอตซ์	96
4.31	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของดินขาวเคโอลินนราธิวาสที่เปรียบเทียบกับปริมาณของของแข็งในสารแขวนลอยต่างๆ	97
4.32	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของดินขาวเคโอลินลำปางที่เปรียบเทียบกับปริมาณของของแข็งในสารแขวนลอยต่างๆ	97
4.33	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของดินขาวเคโอลินระนองที่เปรียบเทียบกับปริมาณของของแข็งในสารแขวนลอยต่างๆ	98
4.34	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของควอตซ์ที่เปรียบเทียบกับปริมาณของของแข็งในสารแขวนลอยต่างๆ	98
4.35	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของโซเดียมเฟลด์สปาร์ที่เปรียบเทียบกับปริมาณของของแข็งในสารแขวนลอยต่างๆ	99
4.36	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ดินขาวเคโอลินลำปาง ดินขาวเคโอลินระนอง โซเดียมเฟลด์สปาร์ และควอตซ์ที่เปรียบเทียบกับปริมาณของของแข็งในสารแขวนลอยต่างๆ	99
4.37	การรวมตัวกันของอนุภาคแบบ Edge-Face	102
4.38	แบบจำลองอิเล็กทริคคอลดับเบิลเลเยอร์ที่ความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลท์แตกต่างกัน	102
4.39	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับค่าความหนืดแบบพลาสติกของดินขาวเคโอลินนราธิวาส	103
4.40	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับค่าความหนืดแบบพลาสติกของดินขาวเคโอลินลำปาง	103
4.41	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับค่าความหนืดแบบพลาสติกของดินขาวเคโอลินระนอง	104
4.42	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับค่าความหนืดแบบพลาสติกของควอตซ์	104
4.43	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับค่าความหนืดแบบพลาสติกของโซเดียมเฟลด์สปาร์	105

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.44	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ที่เปรียบเทียบกับพีเอช	105
4.45	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของดินขาวเคโอลินลำปาง ที่เปรียบเทียบกับพีเอช	106
4.46	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของดินขาวเคโอลินระนอง ที่เปรียบเทียบกับพีเอช	106
4.47	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของควอตซ์ที่เปรียบเทียบกับพีเอช	107
4.48	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของโซเดียมเฟลด์สปาร์ที่ เปรียบเทียบกับพีเอช	107
4.49	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยกระจายตัวกับค่าความหนืดแบบพลาสติกของ ดินขาวเคโอลินนราธิวาส	109
4.50	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยกระจายตัวกับค่าความหนืดแบบพลาสติกของ ดินขาวเคโอลินลำปาง	110
4.51	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยกระจายตัวกับค่าความหนืดแบบพลาสติกของ ดินขาวเคโอลินระนอง	110
4.52	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยกระจายตัวกับค่าความหนืดแบบพลาสติกของ ควอตซ์	111
4.53	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยกระจายตัวกับค่าความหนืดแบบพลาสติกของ โซเดียมเฟลด์สปาร์	111
4.54	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของดินขาวเคโอลินนราธิวาส ที่เปรียบเทียบกับปริมาณโซเดียมซิลิเกต	112
4.55	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของดินขาวเคโอลินลำปางที่ เปรียบเทียบกับปริมาณโซเดียมซิลิเกต	112
4.56	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของดินขาวเคโอลินระนองที่ เปรียบเทียบกับปริมาณโซเดียมซิลิเกต	113
4.57	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของควอตซ์ที่เปรียบเทียบกับ ปริมาณโซเดียมซิลิเกต	113

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.58	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของโซเดียมเฟลด์สปาร์ที่เปรียบเทียบกับปริมาณโซเดียมซิลิเกต	114
4.59	การรวมกันของอนุภาคแบบ Face-Face	116
4.60	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับค่าความเค้นของ Bingham ของดินขาวเคโอลินนราธิวาส	116
4.61	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับค่าความเค้นของ Bingham ของดินขาวเคโอลินลำปาง	117
4.62	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับค่าความเค้นของ Bingham ของดินขาวเคโอลินระนอง	117
4.63	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับค่าความเค้นของ Bingham ของควอตซ์	118
4.64	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับค่าความเค้นของ Bingham ของโซเดียมเฟลด์สปาร์	118
4.65	แบบจำลองของดินขาวเคโอลินนราธิวาสที่ไม่มีและมีการเติมควอตซ์และโซเดียมเฟลด์สปาร์	120
4.66	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของควอตซ์ต่อดินขาวเคโอลินนราธิวาสกับค่าความหนืด	120
4.67	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของโซเดียมเฟลด์สปาร์ต่อดินขาวเคโอลินนราธิวาสกับค่าความหนืด	121
4.68	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของวัตถุดิบกับค่าความหนืด	121
4.69	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับค่าความหนืดของวัตถุดิบผสมระหว่างควอตซ์กับดินขาวเคโอลินนราธิวาส	123
4.70	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับค่าความหนืดของวัตถุดิบผสมระหว่างโซเดียมเฟลด์สปาร์กับดินขาวเคโอลินนราธิวาส	124
4.71	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับค่าความหนืดของเนื้อดินผสมพอร์ซเลน	124
4.72	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยกระจายตัวกับค่าความหนืดของวัตถุดิบผสมระหว่างควอตซ์กับดินขาวเคโอลินนราธิวาส	126
4.73	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยกระจายตัวกับค่าความหนืดของวัตถุดิบผสมระหว่างโซเดียมเฟลด์สปาร์กับดินขาวเคโอลินนราธิวาส	126
4.74	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยกระจายตัวกับค่าความหนืดของเนื้อดินผสมพอร์ซเลน	127

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.75	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของของแข็งในสารแขวนลอยกับอัตราในการหล่อแบบของดินขาวเคโอลินนราธิวาส และเนื้อดินผสมพอร์ซเลน	128
4.76	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อแบบของดินขาวเคโอลินนราธิวาส โดยเปรียบเทียบที่ปริมาณของของแข็งในสารแขวนลอย 20 (a) 25 (b) และ 30 (c) เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	130
4.77	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อแบบของเนื้อดินผสมพอร์ซเลนโดยเปรียบเทียบที่ปริมาณของของแข็งในสารแขวนลอย 25 (a) 30 (b) 35 (c) และ 40 (d) เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	132
4.78	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอชกับอัตราในการหล่อแบบของดินขาวเคโอลินนราธิวาส	133
4.79	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอชกับอัตราในการหล่อแบบของเนื้อดินผสมพอร์ซเลน	133
4.80	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อแบบของดินขาวนราธิวาส โดยเปรียบเทียบที่พีเอช 2 (a) 7.1 (b) และ 10 (c)	135
4.81	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อแบบของเนื้อดินผสมพอร์ซเลนโดยเปรียบเทียบที่พีเอช 2 (a) 6 (b) และ 10 (c)	136
4.82	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยกระจายตัวกับอัตราในการหล่อแบบของดินขาวเคโอลินนราธิวาส	137
4.83	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยกระจายตัวกับอัตราในการหล่อแบบของเนื้อดินผสมพอร์ซเลนที่มีปริมาณของของแข็งในสารแขวนลอย 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	138
4.84	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อแบบของดินขาวเคโอลินนราธิวาส โดยเปรียบเทียบที่ปริมาณสารช่วยกระจายตัวที่มีค่า 0.65 (a) 0.70 (b) 0.75 (c) เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	139
4.85	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อแบบของดินขาวเคโอลินนราธิวาส โดยเปรียบเทียบที่ปริมาณสารช่วยกระจายตัวที่มีค่า 0.15 (a) 0.20 (b) 0.25 (c) เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	141
ข 1	ส่วนประกอบของเครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer	158
ค 1	เครื่องวัดขนาดอนุภาค	162

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
ค 2	เครื่องวัดพื้นที่ผิว	162
ค 3	เครื่องวัดปริมาณสารอินทรีย์	163
ค 4	เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์	163
ค 5	เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน	164
ค 6	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน	164
ค 7	เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าซีต้า	165
ค 8	เครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer	165
ค 9	หัวเข็มและภาชนะใส่สารของเครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer	166
ค 10	เครื่องวัดความหนืด Rion viscometer	166
ค 11	หัวเข็มของเครื่องวัดความหนืด Rion viscometer	167
ค 12	เครื่องวัดความชื้น	167
ค 13	เครื่องชั่ง	168
ค 14	เครื่องกวนสาร	168
ค 15	เครื่องวัดพีเอช	169
ค 16	ตะแกรงร่อน	169

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
ψ	ค่าศักย์ไฟฟ้า	mV
ψ_0	ค่าศักย์ไฟฟ้าที่พื้นผิวของอนุภาค	mV
k^{-1}	ความหนาของดับเบิลเลเยอร์	-
F	ค่าคงที่ของฟาราเดย์	-
c_i	ความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลท์	M
z_i	เวเลนซีของไอออน	-
ε_o	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริคของสุญญากาศ	-
R	ค่าคงที่ของแก๊ส	atm/molK
T	อุณหภูมิ	K
ψ_δ	ศักย์ไฟฟ้า Stern	mV
ν	ความเร็ว	m/s
E	สนามไฟฟ้า	V
ε_r	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริคในสารตัวกลาง	-
ζ	ค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้า	mV
η_l	ค่าความหนืดของน้ำ	cP
$f(ka)$	ค่าเคปปา	-
F	แรง	N
dv	ความแตกต่างของความเร็ว	m/s
dx	ระยะทาง	cm
γ	อัตราเฉือน	sec^{-1}
τ	ความเค้นเฉือน	N/m^2
η	ความหนืด	cP
η_{pl}	ค่าความหนืดพลาสติก	mPas
τ_B	ความเค้นเฉือนของ Bingham	N/m^2
L_M	ความหนาของแบบพิมพ์	cm
L_C	ความหนาของผลิตภัณฑ์	cm

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
W	น้ำหนัก	g
P	ความดัน	Pa
C	ค่าคงที่	-
S_{total}	พื้นที่ผิวทั้งหมด	m^2/g
N	เลขอาโวกาโดร์	-
A	พื้นที่	m^2
M	น้ำหนักโมเลกุล	g/mol
θ	มุมของการกระเจิง	-
λ	ความยาวคลื่น	m
d	ระยะห่างระหว่างระนาบผลึก	cm
n	เลขจำนวนเต็ม	-
W_l	น้ำหนักของน้ำ	ml
ρ_s	ความหนาแน่นของดิน	g/ml
ρ_l	ความหนาแน่นของน้ำ	g/ml
W_s	น้ำหนักของดิน	g

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved