

ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ  
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน  
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

ของ

นางสาวลดา พันธุ์สุขุมธนา

เรื่องที่ 1

ผลของสมบัตินำดินต่อการขึ้นรูปและสมบัติภายหลังการเผา

ผู้ดำเนินการ

นางสาวลดา พันธุ์สุขุมธนา

นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

กลุ่มวิจัยและพัฒนา

ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

2541

ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ  
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารราชการ พ.ศ. 2540  
กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการ ผู้บังคับบัญชาทุกท่าน ข้าราชการและเจ้าหน้าที่  
ฝ่ายต่างๆที่ได้ให้ความสนับสนุนและความร่วมมืออย่างดียิ่งในการศึกษาวิจัยและจัดทำรายงานนี้

๑๗  
เลขที่ ๑๗๖  
๑๐/๑๔  
เลขทะเบียน 10003  
วันที่ 14 พฤศจิกายน ๒๕๖๓

ด้วยอภินันทนาการ  
จาก  
กฟ.

## บทคัดย่อ

การศึกษานี้ ได้ทดลองหาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติน้ำดิน ความสัมพันธ์ของสมบัติน้ำดินต่อการขึ้นรูปและสมบัติภายหลังการเผา ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการใช้ปริมาณน้ำและสารช่วยลดยกระจายตัว (Deflocculant) ที่เหมาะสม เพื่อปรับสมบัติของน้ำดินให้เหมาะสำหรับการหล่อ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติน้ำดิน (ความหนืดและทีโซโทรปี) กับสมบัติการขึ้นรูป (อัตราการหล่อของน้ำดิน ปริมาณน้ำในงานหล่อ คุณภาพของงานหล่อ และ มอดูลัสแตกร้าวก่อนเผา) และสมบัติภายหลังการเผา (การดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา การหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผา มอดูลัสแตกร้าวหลังเผา และความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผา)

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	1
1.5 ระยะเวลาดำเนินการ	2
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	3
2.1 วัตถุประสงค์และอุปกรณ์ที่ใช้	3
2.2 ขั้นตอนการทดลอง	3
2.2.1 การเตรียมเนื้อดิน	4
2.2.2 การทดสอบหาขนาดของอนุภาค	4
2.2.3 การทดสอบหากราฟดีฟลอกคูเลชัน	5
2.2.4 การเตรียมน้ำดินที่ใช้ในการทดลอง	5
2.2.5 การทดสอบทีโซโทรปี	6
2.2.6 การทดสอบอัตราการหล่อ	6
2.2.7 การทดสอบหาค่าปริมาณของน้ำในงานหล่อ	6
2.2.8 การทดสอบหามอดูลัสแตกร้าวก่อนและหลังเผา	6
2.2.9 การทดสอบปริมาณของการหดตัวรวม	6
2.2.10 การทดสอบการดูดซึมน้ำและความหนาแน่นรวมของตัวอย่าง หลังเผา	6
บทที่ 3 ผลการทดลอง	7
3.1 ผลการทดสอบขนาดของอนุภาค	7
3.2 ผลการทดสอบหากราฟดีฟลอกคูเลชัน	7
3.3 ผลการทดสอบทีโซโทรปี	8

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 ผลการทดสอบอัตราการหล่อ ปริมาณของน้ำในงานหล่อ ปริมาณการ ดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา และปริมาณของการหดตัวของตัวอย่าง หลังเผา	9
3.5 ผลการทดสอบหามอดูลัสแตกร้าวก่อนและหลังเผา และความหนาแน่น รวมของตัวอย่างหลังเผา	10
3.6 คุณภาพของงานหล่อ	11
บทที่ 4 วิจัยผลการทำงาน	12
4.1 การทดสอบขนาดของอนุภาค	12
4.2 การทดสอบหากกราฟดีฟลอกคูเลชัน	13
4.3 การทดสอบทีโซโทรปี	16
4.4 การทดสอบอัตราการหล่อของน้ำดิน ปริมาณน้ำในงานหล่อ ปริมาณ การดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา และปริมาณของการหดตัวของ ตัวอย่างหลังเผา	17
4.5 การทดสอบหามอดูลัสแตกร้าวก่อนและหลังเผา และความหนาแน่น รวมของตัวอย่างหลังเผา	22
4.6 คุณภาพของงานหล่อ	27
บทที่ 5 สรุปผลการทำงาน	29
เอกสารอ้างอิง	31
ภาคผนวก	32

## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	แสดงรหัส (31A 31B 36A 36B 41A 41B และ 46A ) ของตัวอย่างที่ทำการทดลอง	5
ตารางที่ 2	แสดงผลการทดสอบหาขนาดของอนุภาค	7
ตารางที่ 3	แสดงผลการทดสอบหากราฟดีฟล็อกคูเลชันของน้ำดิน	8
ตารางที่ 4	แสดงผลการทดสอบหาค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา หรือทีโซโทรปีของน้ำดิน 31A 31B 36A 36B 41A 41B และ 46A	9
ตารางที่ 5	แสดงผลของอัตราการหล่อของน้ำดิน ปริมาณน้ำในงานหล่อ ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา และปริมาณของการหดตัว รวมของตัวอย่างหลังเผา ของตัวอย่าง 31A 31B 36A 36B 41A 41B และ 46A	10
ตารางที่ 6	แสดงผลของมอดูลัสแตกร้าวก่อนและหลังเผา และความหนาแน่นรวม ของตัวอย่างหลังเผา (ตัวอย่าง 31A 31B 36A 36B 41A 41B และ 46A)	10
ตารางที่ 7	แสดงคุณภาพของงานหล่อ	11
ตารางที่ 8	แสดงค่าความหนืดที่ต่ำสุดของน้ำดินที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 31 36 41 และ 46	14

## สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	ขนาดอนุภาคของเนื้อดินตัวอย่าง	12
ภาพที่ 2	กราฟฟลอคคูเลชันของน้ำดินที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 31 36 41 และ 46	13
ภาพที่ 3	ความหนืดต่ำสุดและปริมาณน้ำของน้ำดินตัวอย่าง	15
ภาพที่ 4	ทีโซโทรปีของน้ำดินตัวอย่าง	16
ภาพที่ 5	อัตราการหล่อของน้ำดินตัวอย่าง	17
ภาพที่ 6	ปริมาณน้ำในงานหล่อ	18
ภาพที่ 7	ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา	19
ภาพที่ 8	ปริมาณการหดตัวของตัวอย่างหลังเผา	20
ภาพที่ 9	มอดูลัสแตกร้าวของตัวอย่างก่อนเผา	23
ภาพที่ 10	มอดูลัสแตกร้าวของตัวอย่างหลังเผา	24
ภาพที่ 11	ความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผา	25

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

การขึ้นรูปทางเซรามิกมีหลายวิธี การขึ้นรูปโดยการหล่อเนื้อดินในแบบปูนปลาสเตอร์เป็นวิธีหนึ่งที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปไม่สูงมาก และสามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบซับซ้อนได้ การหล่อเนื้อดินจึงเป็นวิธีการขึ้นรูปที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตของขนาดใหญ่ เช่น เครื่องสุญญากาศ จนถึงเครื่องประดับ (Ornament) ต่างๆ ในอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดเล็กและขนาดกลาง ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจกระบวนการผลิตโดยการหล่อของอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดเล็กในประเทศ พบว่าโรงงานส่วนใหญ่นิยมซื้อเนื้อดินสำเร็จรูปมาใช้งาน และทำการเตรียมเนื้อดินที่ใช้หล่อโดยการเติมน้ำและสารช่วยลอยกระจายตัวโดยอาศัยประสบการณ์เฉพาะตัว เป็นผลให้ไม่สามารถควบคุมกระบวนการผลิตให้มีมาตรฐาน (เช่น ใช้เวลาในการหล่อนานกว่าปกติ) และทำให้เกิดความเสียหายในการผลิต (เช่น ผลิตภัณฑ์ที่หล่อนั้นไม่สามารถถอดแบบได้ ผลิตภัณฑ์ที่หล่อแข็งทำให้ตัดต่อแต่งยาก เป็นต้น)

ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกจึงได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อหาปัจจัยคือปริมาณน้ำและปริมาณสารช่วยลอยกระจายตัว ที่มีผลต่อสมบัติเนื้อดิน สมบัติการขึ้นรูปและสมบัติภายหลังการเผา เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเนื้อดิน โดยใช้ดินสำเร็จรูปที่ศูนย์วิจัยวิจัยขึ้นเพื่อใช้ในศูนย์ศิลปาชีพเป็นตัวอย่างเนื้อดินมาตรฐานแทนเนื้อดินสำเร็จรูปที่มีขายในท้องตลาด ผลจากการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการหาสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมเนื้อดินสำเร็จรูปที่ใช้ในโรงงานต่างๆ เพื่อทำให้สามารถควบคุมกระบวนการผลิตให้เป็นมาตรฐานได้

#### 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อหาสภาวะของการเตรียมเนื้อดิน โดยใช้เนื้อดินสำเร็จรูปที่ศูนย์วิจัยวิจัยขึ้นเพื่อใช้ในศูนย์ศิลปาชีพเป็นวัตถุประสงค์มาตรฐาน

#### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

- ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของเนื้อดิน
- ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของเนื้อดินและสมบัติของชิ้นงานที่หล่อและเผา

#### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- ได้ข้อมูล ความรู้ และเทคโนโลยีในการเตรียมเนื้อดินที่มีสภาพเหมาะสมสำหรับงานหล่อ



- ได้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของน้ำดินและสมบัติของงานหล่อก่อนและ  
หลังเผา
- ได้ข้อมูลใช้เป็นแนวทางการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตในโรงงาน

#### 1.5 ระยะเวลาดำเนินการ

ตุลาคม 2540 - กันยายน 2541

## บทที่ 2

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 2.1 วัตถุประสงค์และอุปกรณ์ที่ใช้

##### วัตถุประสงค์ที่มีดังนี้

แร่ฟันม้า จังหวัดเพชรบุรี

แร่ควอร์ตซ์ จังหวัดระยอง

ดินขาว จังหวัดนครราชสีมา

ดินคำลานสกา จังหวัดสุราษฎร์ธานี

โซเดียมซลิเกต 50 โบเม

##### อุปกรณ์ที่ใช้มีดังนี้

หม้ออบและลูกบด

แรงขนาด 150 เมช

เครื่องแยกเหล็ก

บ่อปูนพลาสติกสำหรับเกรอะดิน

เตาอบ

เครื่องวัดขนาดของอนุภาค (Sedigraph) รุ่น 5100 ของบริษัท Micromeritics

เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Viscometer)

แบบปูนพลาสติกสำหรับงานหล่อ

เครื่องชั่งไฟฟ้า

เครื่องทดสอบมอดูลัสแตกร้าว (Autograph) รุ่น AGS-500D ของบริษัท Shimadzu

#### 2.2 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองประกอบด้วย ขั้นตอนหลักดังนี้ การเตรียมเนื้อดิน การทดสอบหาขนาดของอนุภาค การทดสอบหากราฟดีฟลอกคูเลชัน การเตรียมน้ำดิน การทดสอบพีโซโทรปี การทดสอบอัตราการหล่อ การทดสอบปริมาณน้ำในงานหล่อ การทดสอบมอดูลัสแตกร้าวก่อนและหลังเผา การทดสอบหาปริมาณของการหดตัวรวม และการทดสอบการดูดซึมน้ำและความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผา

### 2.2.1 การเตรียมเนื้อดิน

เนื้อดินทดลองที่ใช้เป็นเนื้อดินที่ได้จากโครงการ “การศึกษาวิจัยและพัฒนาดินในท้องถิ่นของศูนย์ศิลปาชีพเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบการผลิต” โดยมีสูตรและวิธีการเตรียมดังนี้

สูตรเนื้อดิน	แร่ฟันม้า	ร้อยละ	20
	แร่ควอร์ตซ์	ร้อยละ	20
	ดินขาวราธิวาส	ร้อยละ	36
	ดินดำลานสกา	ร้อยละ	24
วิธีการเตรียมเนื้อดิน	1) หม้ออบไล่ลูกบดครึ่งหม้อ		
	2) เติมแร่ฟันม้า	20	กก
	แร่ควอร์ตซ์	20	กก
	ดินขาวราธิวาส	6	กก
	น้ำ	50	กก
	บด	20	ชั่วโมง
	3) เติมดินขาวราธิวาส	30	กก
	ดินดำลานสกา	24	กก
	น้ำ	50	กก
	บดต่อ	10	ชั่วโมง
	4) เอาออกจากหม้ออบร้อนผ่านแรง	150	เมฆ
	5) ผ่านเครื่องแยกเหล็ก		
	6) เกรอะดินให้แห้งหมาดในอ่างปูนพลาสติก		
	7) นำดินเข้าเตาอบให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิ 100 °ซ		

เนื้อดินที่ใช้ในการทดลองเตรียมได้โดยการบดผสมวัตถุดิบที่มีความหยาบคือ แร่ฟันม้าทราย และดินบางส่วนในหม้ออบเป็นเวลา 20 ชั่วโมง แล้วจึงเติมดินที่เหลือลงบดผสมต่ออีก 10 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำน้ำดินที่ได้ไปผ่านเครื่องแยกเหล็กก่อนนำไปทำให้แห้งเพื่อเก็บไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

### 2.2.2 การทดสอบหาขนาดของอนุภาค

ใช้เครื่องวัดขนาดของอนุภาคทดสอบหาการกระจายตัวของขนาดอนุภาคตามกฎของ Stokes โดยขนาดของอนุภาคจะมีผลต่ออัตราในการตกตะกอนของอนุภาคในตัวกลาง ใช้ x-ray ช่วยในการวัดความเข้มข้นเพื่อหาอัตราในการตกของอนุภาค อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีอัตราในการตกเร็วกว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า

### 2.2.3 การทดสอบหากราฟ ดีฟลอคคูเลชัน (Deflocculation curve)

การทดสอบหากราฟดีฟลอคคูเลชันเป็นการทดสอบเพื่อหาผลของสาร โขเดียมซลิเกตที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำดิน การทดสอบทำได้โดยการเติมโซเดียมซลิเกตลงในน้ำดิน ครั้งละประมาณ 0.2 กรัม นำน้ำดินเข้าเครื่องปั่น 5 นาที ก่อนวัดค่าความหนืดโดยเครื่องวัดความหนืดที่อัตราการหมุน 20 รอบต่อนาที บันทึกค่าความหนืดที่ 15 วินาที หน่วยที่วัดเป็นเซนติพอยส์ (cps) ทำการทดสอบซ้ำโดยการเติมโซเดียมซลิเกตลงในน้ำดินและหาค่าความหนืด ทำการทดลองจนได้ค่าความหนืดที่ต่ำที่สุดหรือมีค่าคงที่ นำค่าความหนืดและปริมาณ โซเดียมซลิเกตที่ใช้มาวาดกราฟดีฟลอคคูเลชัน

### 2.2.4 การเตรียมน้ำดินที่ใช้ในการทดลอง

เตรียมน้ำดินทดลองโดยการผสมเนื้อดินแห้งและน้ำเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่ต้องการ หมักทิ้งไว้หนึ่งคืน แล้วจึงนำเข้าเครื่องปั่นน้ำดินพร้อมเติมสาร โขเดียมซลิเกตหรือสารช่วยลดยกระจายตัว เพื่อปรับให้ได้ความหนืดตามต้องการ ใช้เครื่องวัดความหนืดที่อัตราการหมุน 20 รอบต่อนาที อ่านค่าความหนืดที่ 15 วินาที

ได้ทดลองเตรียมน้ำดินที่มีสัดส่วนของ เนื้อดิน น้ำ และ สารช่วยลดยกระจายตัวต่างๆกัน เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อน้ำดิน เนื่องจากปริมาณโซเดียมซลิเกตที่ใช้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความหนืด จึงได้ใช้ปริมาณของน้ำและความหนืดเป็นปัจจัยหลักที่ใช้ในการควบคุมสมบัติของตัวอย่างที่ใช้ทดลอง รหัสของตัวอย่างที่ทำการทดลองแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงรหัส (31A 31B 36A 36B 41A 41B 46A) ของเตรียมน้ำดินตัวอย่างที่ทำการทดลอง

ปริมาณน้ำในน้ำดิน (ร้อยละ)	31	36	41	46
ความหนืดต่ำสุด	31A	36A	41A	46A
ความหนืด 800 cps	31B	36B	41B	-

ในการทดลองได้เลือกทดลองน้ำดินที่ความหนืดต่ำสุดและที่ 800 cps เนื่องจากเป็นช่วงของความหนืดที่น้ำดินมีสมบัติไหลได้สามารถนำมาเทหล่อในแบบปูนพลาสติก

### 2.2.5 การทดสอบทิโซโทรปี (Thixotropy)

การทดสอบทิโซโทรปี เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา ทำได้โดยการนำน้ำดินเข้าเครื่องปั่น 5 นาที ก่อนนำเข้าเครื่องวัดความหนืดทันที บันทึกค่าความหนืดที่แรงเฉือน 0.5 รอบต่อนาที ทุก 30 วินาที เป็นเวลา 5 นาที นำค่าความหนืดและเวลามาเขียนกราฟทิโซโทรปี

### 2.2.6 การทดสอบอัตราการหล่อ

อัตราการหล่อทดสอบโดยการหล่อน้ำดินในแบบปูนพลาสติกเรซินที่มีความชื้นโดยน้ำหนักประมาณร้อยละ 5 เป็นเวลา 20 นาที เมื่อเนื้อดินที่หล่อร้อนจึงแกะแบบ สุ่มวัดความหนาของถ้วยหล่อที่ตัดครึ่งได้ 6 ตำแหน่ง นำมาหาค่าความหนาเฉลี่ยของถ้วยที่หล่อ

### 2.2.7 การทดสอบหาค่าปริมาณของน้ำในงานหล่อ

ใช้วิธีเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักของตัวอย่างที่หล่อเมื่อแกะแบบและน้ำหนักของตัวอย่างที่หล่อเมื่อแห้ง แล้วคำนวณเป็นร้อยละ สูตรที่ใช้คำนวณแสดงในภาคผนวก

### 2.2.8 การทดสอบหามอดูลัสแตกร้าวก่อนและหลังเผา

ใช้เครื่องทดสอบมอดูลัสแตกร้าวก่อนและหลังเผาของหัวกด 0.05 มิลลิเมตรต่อนาที สูตรที่ใช้คำนวณแสดงในภาคผนวก ตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวอย่างที่หล่อแห้งก่อนเผาหรือตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1200°C ในเวลา 6 ชั่วโมง และเย็นไฟนาน 30 นาที (ได้เลือกอุณหภูมิการเผาที่ 1200°C เนื่องจากเป็นจุดที่เนื้อดินมีความสุกตัวพอเหมาะ คือมีค่าปริมาณการดูดซึมน้ำประมาณร้อยละ 9 ทำให้สามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณการดูดซึมน้ำหรือปริมาณการสุกตัวที่สภาวะการเปลี่ยนแปลงสมบัติน้ำดินได้)

### 2.2.9 การทดสอบหาปริมาณของการหดตัวรวม

ใช้วิธีเปรียบเทียบความแตกต่างของความยาวเมื่อแกะแบบกับความยาวหลังเผา สูตรที่ใช้คำนวณแสดงในภาคผนวก ตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1200°C ในเวลา 6 ชั่วโมง และเย็นไฟนาน 30 นาที

### 2.2.10 การทดสอบการดูดซึมน้ำและความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผา

การทดสอบการดูดซึมน้ำและความหนาแน่นรวมใช้วิธีตาม ASTM C373-88 (reapproved, 1994) สูตรที่ใช้คำนวณแสดงในภาคผนวก ตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1200°C ในเวลา 6 ชั่วโมง และเย็นไฟนาน 30 นาที

### บทที่ 3

#### ผลการทดลอง

#### 3.1 ผลการทดสอบหาขนาดของอนุภาค

ผลการทดสอบหาขนาดของอนุภาคแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบหาขนาดของอนุภาค

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (ไมโครเมตร)	ปริมาณเล็กกว่า (Cumulative Mass Finer) (ร้อยละ)
50	100.0
40	98.3
30	97.2
25	97.4
20	96.4
15	93.4
10	86.4
8	79.9
6	72.6
5	67.5
4	60.5
3	45.0
2	16.7

#### 3.2 ผลการทดสอบหาค่าพีพีลอคคูลชัน

ผลการทดสอบหาค่าพีพีลอคคูลชันของน้ำดินที่มีปริมาณน้ำที่ร้อยละ 31 36 41 และ 46 แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบหากราฟฟีฟลอกูเลชันของน้ำดิน

โซเดียมซี ลิเกต (กรัม/100 กรัม ดิน แห้ง)	ความหนืด ของน้ำดิน ปริมาณน้ำ ร้อยละ 31 (cps)	โซเดียมซี ลิเกต (กรัม/100 กรัม ดิน แห้ง)	ความหนืด ของน้ำดิน ปริมาณน้ำ ร้อยละ 36 (cps)	โซเดียมซี ลิเกต (กรัม/100 กรัม ดิน แห้ง)	ความหนืด ของน้ำดิน ปริมาณน้ำ ร้อยละ 41 (cps)	โซเดียมซี ลิเกต (กรัม/100 กรัม ดิน แห้ง)	ความหนืด ของน้ำดิน ปริมาณน้ำ ร้อยละ 46 (cps)
-	-	0	-	0	8600	0	8600
-	-	0.03	14400	0.02	7200	0.05	5800
-	-	0.06	12000	0.08	8100	0.10	2680
0.34	1970	0.19	2650	0.11	6050	0.14	950
0.36	1460	0.23	940	0.16	2460	0.16	525
0.38	910	0.28	192	0.18	1430	0.18	237
0.40	795	0.31	135	0.21	575	0.20	111
0.42	580	0.34	109	0.23	292	0.23	43
0.44	494	0.42	101	0.25	102	0.27	28
0.46	420	0.51	111	0.30	53	0.30	27
0.49	388	0.59	120	0.34	46	0.33	26
0.51	362	3.51	-	0.35	41	0.37	25
0.53	372	3.51	-	0.39	39	0.43	26
0.55	336	3.51	-	0.41	38	0.51	27
0.58	328	-	-	0.42	38	0.59	27
0.60	332	-	-	0.44	38	-	-
-	-	-	-	0.48	37	-	-

### 3.3 ผลการทดสอบทีโซโทรปี

ผลการทดสอบทีโซโทรปีของน้ำดินที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 31 36 41 46 ที่ความหนืดต่ำสุด และ ที่ความหนืด 800 cps แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบหาค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลาหรือทีโซ-  
โทรปีของน้ำดิน 31A 31B 36A 36B 41A 41B และ 46A

เวลา (วินาที)	31A (cps)	31B (cps)	36A (cps)	36B (cps)	41A (cps)	41B (cps)	46A (cps)
15	1040	5040	-	7520	60	21600	-
30	1100	12000	160	10980	60	30200	60
60	1140	27400	180	30000	80	33200	60
90	1140	32000	180	32000	60	35200	60
120	1160	33400	200	34400	60	36400	60
150	1180	35200	200	36000	80	37200	60
180	1180	36800	200	37400	80	37800	80
210	1160	38000	200	38400	80	38000	80
240	1160	39000	220	39200	80	38000	100
270	1160	40200	240	39600	80	38000	100
300	1160	41200	220	39800	100	38400	120
330	1180	42200	240	39800	100	38800	120
360	1160	42800	240	40200	80	38800	160
390	1160	43600	220	40600	80	38800	180
420	1160	44000	240	41000	100	39000	180
450	1180	44400	240	41600	100	39200	180
480	1160	44400	240	42000	100	39000	200
510	1180	44400	240	42600	100	39000	240
540	1200	44400	240	42400	100	39200	260
570	1200	44600	260	42600	100	39000	280
600	1180	44400	260	43000	100	38800	320

**3.4 ผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำดิน ปริมาณน้ำในงานหล่อ ปริมาณการดูดซึมน้ำของ  
ตัวอย่างหลังเผา และ ปริมาณของการหดตัวของตัวอย่างหลังเผา**

ผลของอัตราการไหลของน้ำดิน ปริมาณน้ำในงานหล่อ ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่าง  
หลังเผา และปริมาณของการหดตัวของตัวอย่างหลังเผา ของตัวอย่างที่เตรียมจากน้ำดินที่มี  
ปริมาณน้ำร้อยละ 31 36 41 46 ที่ความหนืดต่ำสุด (31A 36A 41A 46A) และที่ความหนืด 800  
cps (31B 36B 41B) แสดงในตารางที่ 5



ตารางที่ 5 แสดงผลของอัตราการหล่อของน้ำดิน ปริมาณน้ำในงานหล่อ ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา และปริมาณของการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผา ของตัวอย่าง 31A 31B 36A 36B 41A 41B และ 46A

ตัวอย่าง	อัตราการหล่อของน้ำดิน (ม.ม.)	ปริมาณน้ำในงานหล่อ (ร้อยละ)	ปริมาณการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ปริมาณของการหดตัวรวม (ร้อยละ)
31A	3.4	26.3	7.4	10.3
31B	5.3	32.7	8.5	13.7
36A	4.4	29.2	8.6	10.8
36B	7.1	34.9	10.0	13.6
41A	5.5	32.1	9.8	11.9
41B	8.0	35.5	10.6	14.6
46A	3.6	29.0	10.1	10.5

### 3.5 ผลการทดสอบหามอดูลัสแตกร้าวก่อนและหลังเผา และความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผา

ผลของมอดูลัสแตกร้าวก่อนและหลังเผา และความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผา จากตัวอย่างที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 31 36 41 46 ที่ความหนืดต่ำสุดและที่ความหนืด 800 cps แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงผลของมอดูลัสแตกร้าวก่อนและหลังเผา และความหนาแน่นของตัวอย่างหลังเผา (ตัวอย่าง 31A 31B 36A 36B 41A 41B และ 46A)

ตัวอย่าง	มอดูลัสแตกร้าวก่อนเผา (เมกะพาสคัล)	มอดูลัสแตกร้าวหลังเผา (เมกะพาสคัล)	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)
31A	0.2	3.1	2.12
31B	0.2	3.0	2.08
36A	0.1	2.6	2.07
36B	0.1	2.4	2.03
41A	0.1	2.3	2.03
41B	0.1	2.2	1.76
46A	0.1	2.7	1.94

### 3.6 คุณภาพของงานหล่อ

ผลของคุณภาพของงานหล่อแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงคุณภาพของงานหล่อ

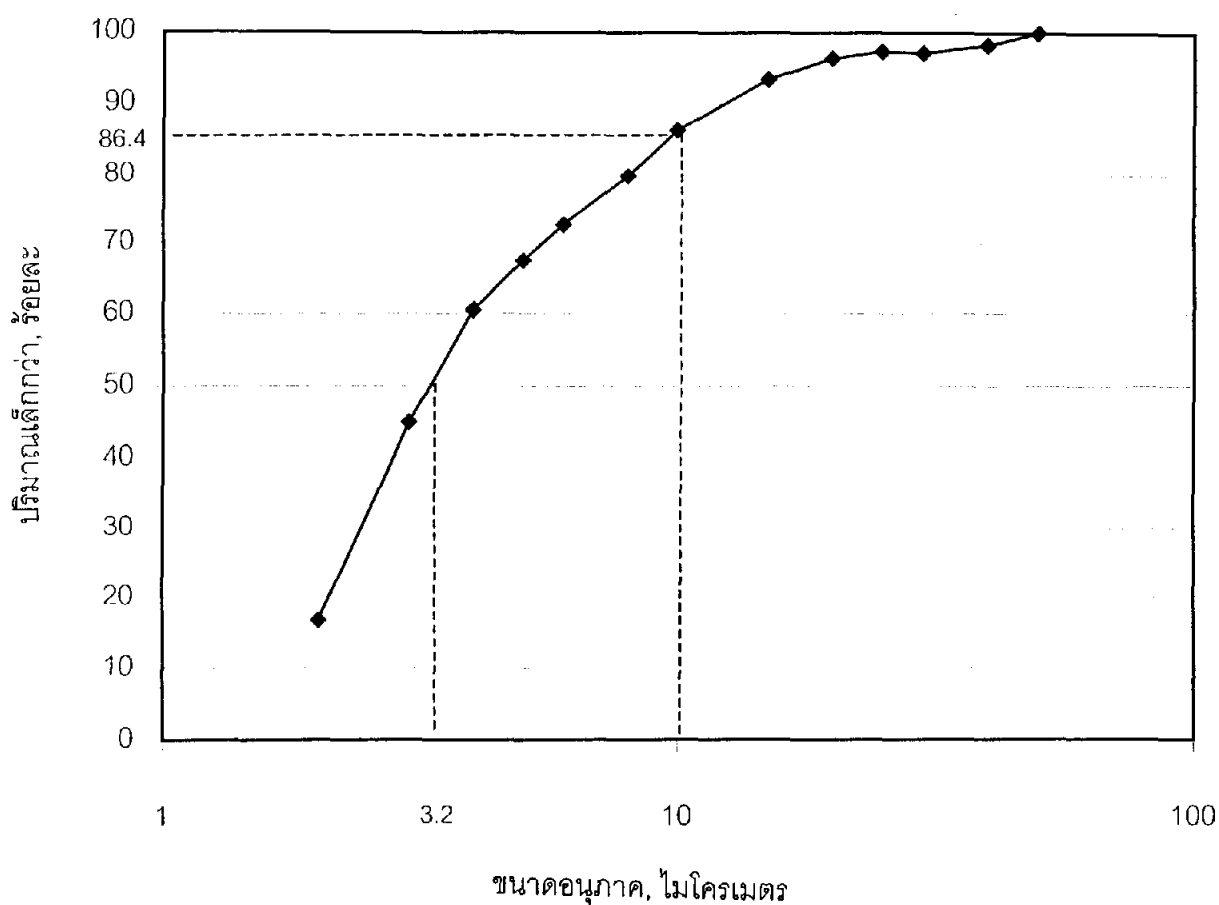
ตัวอย่าง	ลักษณะของชิ้นงาน
31A	หนาสม่ำเสมอ ( $3.4 \pm 0.2$ ม.ม.) แข็ง ตัดได้
31B	หนาสม่ำเสมอ ( $5.3 \pm 0.4$ ม.ม.) แข็ง (น้อยกว่า31A) ตัดได้
36A	หนาสม่ำเสมอ ( $4.4 \pm 0.2$ ม.ม.) แข็ง ตัดได้
36B	หนาสม่ำเสมอ ( $7.1 \pm 0.4$ ม.ม.) แข็ง (น้อยกว่า36A) ตัดได้
41A	หนาสม่ำเสมอ ( $5.5 \pm 0.3$ ม.ม.) แข็ง ตัดได้
41B	หนาสม่ำเสมอ ( $8.0 \pm 0.3$ ม.ม.) นิ่ม ตัดได้แต่เสียรูป
46A	ส่วนกันถ้วยหนา ( $3.6 \pm 0.5$ ม.ม.) ปากถ้วยบาง

## บทที่ 4 วิจารณ์ผลการทดลอง

### 4.1 การทดสอบขนาดของอนุภาค

ภาพที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตัวอย่าง

ภาพที่ 1 ขนาดอนุภาคของเนื้อดินตัวอย่าง

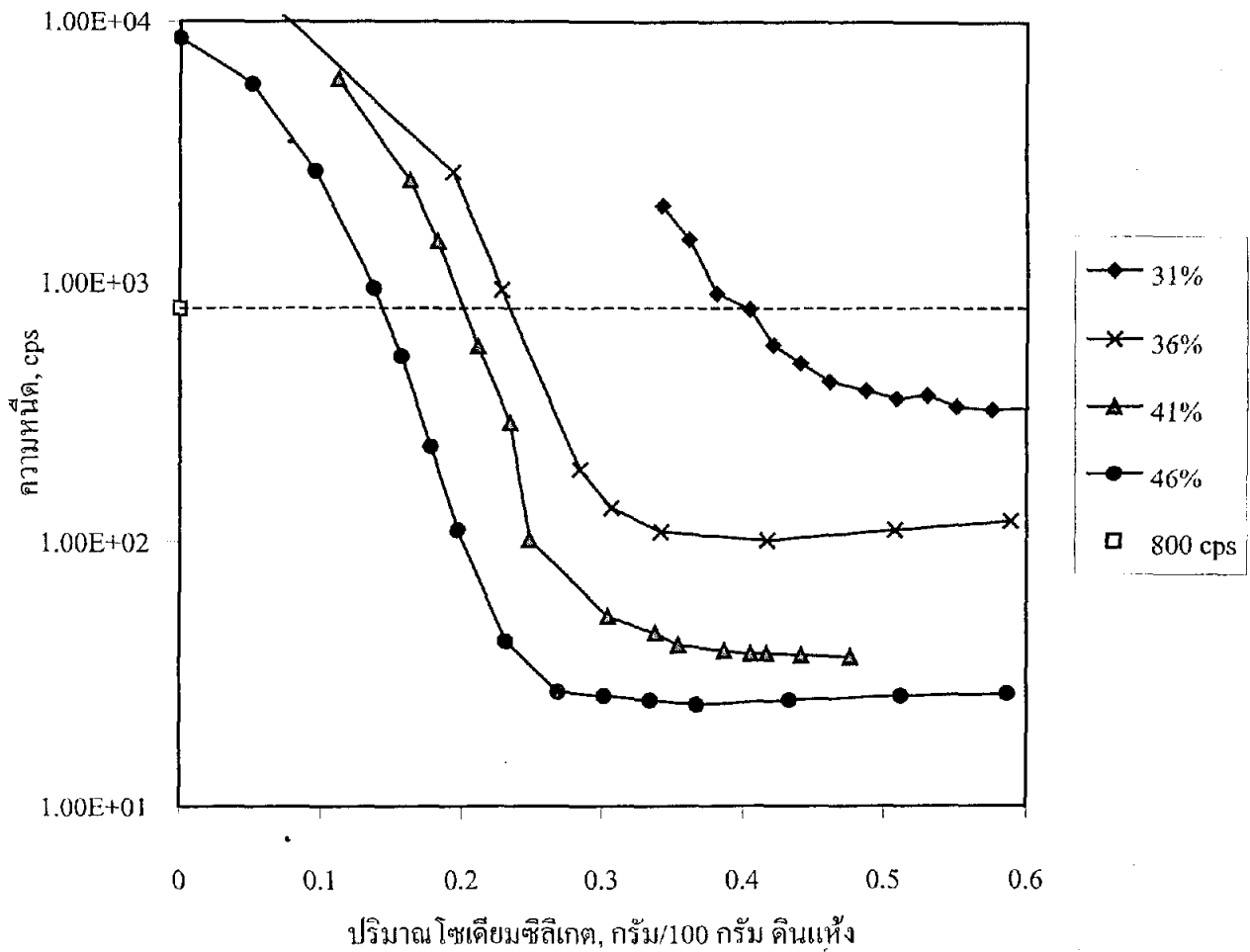


ขนาดอนุภาคเป็นสมบัติหนึ่งที่สำคัญ ซึ่งสามารถแสดงถึงแนวโน้มของปริมาณน้ำหรือสารช่วยลอยกระจายตัวที่ต้องใช้ในการเตรียมน้ำคั้น ผลการวิเคราะห์เนื้อดินแสดงว่ามีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร อยู่ร้อยละ 86.4 และอนุภาคมีขนาดมัธยฐาน (median) ที่ 3.2 ไมโครเมตร จัดได้ว่าตัวอย่างมีอนุภาคค่อนข้างละเอียดเมื่อเทียบกับเนื้อดินหล่อสำเร็จรูปที่ขายในตลาดซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร อยู่ร้อยละ 22 - 90 และอนุภาคมีขนาดมัธยฐานที่ 1.2 - 3.8 ไมโครเมตร (เช่น ตัวอย่างดินสำเร็จรูป จากบริษัท คอมพาวด์เคลย์ จำกัด)

#### 4.2 การทดสอบหากราฟดีฟลอกดูเลชัน

ผลการทดสอบหากราฟดีฟลอกดูเลชันของน้ำดินที่มีปริมาณน้ำที่ร้อยละ 31 36 41 และ 46 แสดงในภาพที่ 2

ภาพที่ 2 กราฟดีฟลอกดูเลชันของน้ำดินที่มีปริมาณน้ำที่ร้อยละ 31 36 41 และ 46



ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า

การเพิ่มปริมาณสารไซเดียมซิลิเกตในช่วง 0 - 0.6 กรัม/100 กรัม น้ำหนักดินแห้ง จะลดความหนืดของน้ำดินทุกตัวอย่าง ความหนืดของน้ำดินจะลดลงจนถึงจุดหนึ่งที่มีค่าต่ำสุดหรือมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงแม้มีการเพิ่มปริมาณสารไซเดียมซิลิเกต

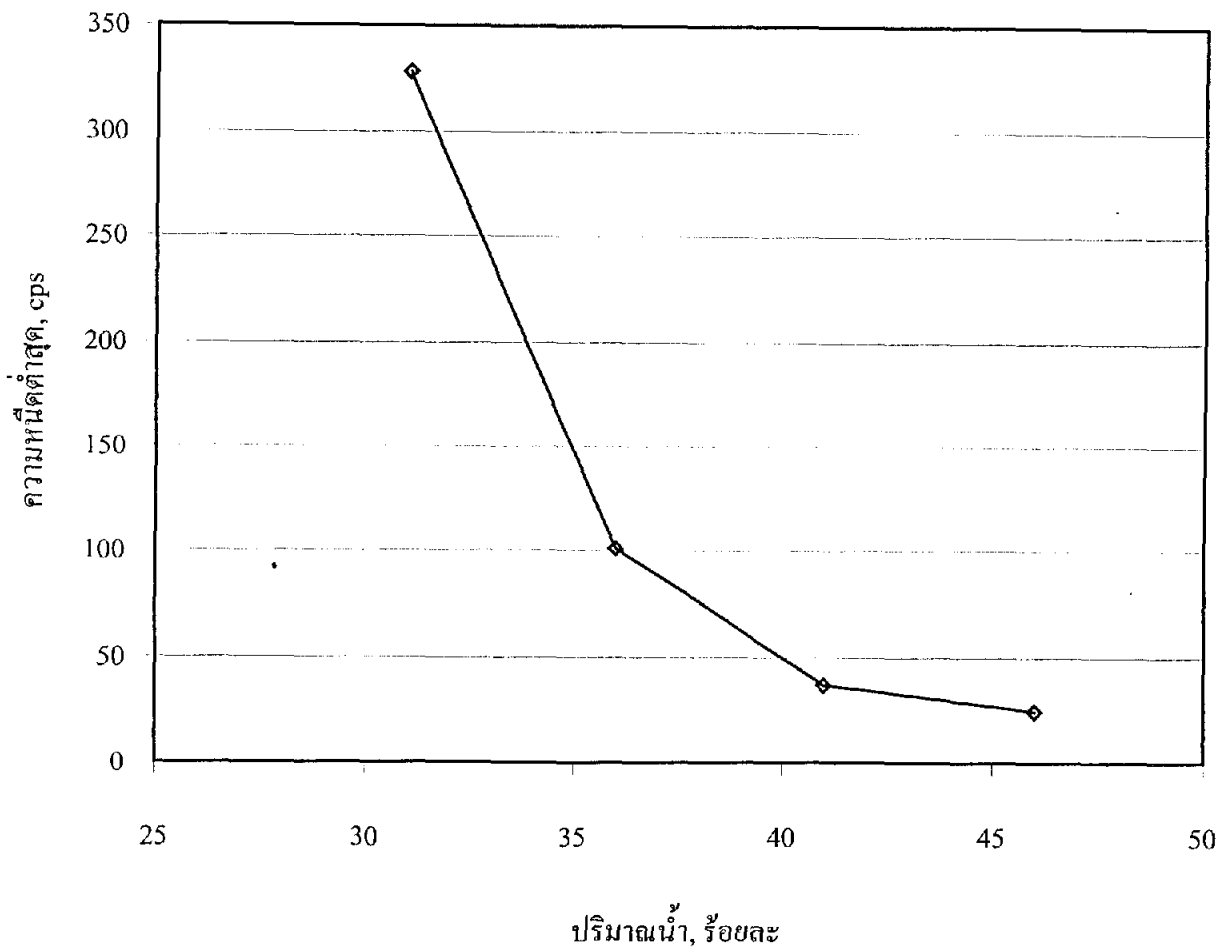
- เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้สารโซเดียมซัลไฟด์ของน้ำดินที่มีปริมาณน้ำต่างกันที่ความหนืดคงที่ เช่นที่ 800 cps น้ำดินที่มีปริมาณน้ำมากกว่าจะมีปริมาณการใช้สารโซเดียมซัลไฟด์น้อยกว่า
- ค่าความหนืดที่ต่ำสุดของน้ำดินที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 31 36 41 46 แสดงในตารางที่ 8 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณน้ำในน้ำดินทำให้น้ำดินมีความหนืดลดลง
- น้ำดินที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 46 มีการแยกชั้นหรือตกตะกอน แสดงว่าน้ำดินมีปริมาณน้ำมากเกินไป

ตารางที่ 8 แสดงค่าความหนืดที่ต่ำสุดของน้ำดินที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 31 36 41 และ 46

ร้อยละน้ำ	ความหนืดต่ำสุด (cps)
31	328
36	101
41	37
46	25

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดต่ำสุดและปริมาณน้ำแสดงในภาพที่ 3

ภาพที่ 3 ความหนืดต่ำสุดและปริมาณน้ำของน้ำดินตัวอย่าง

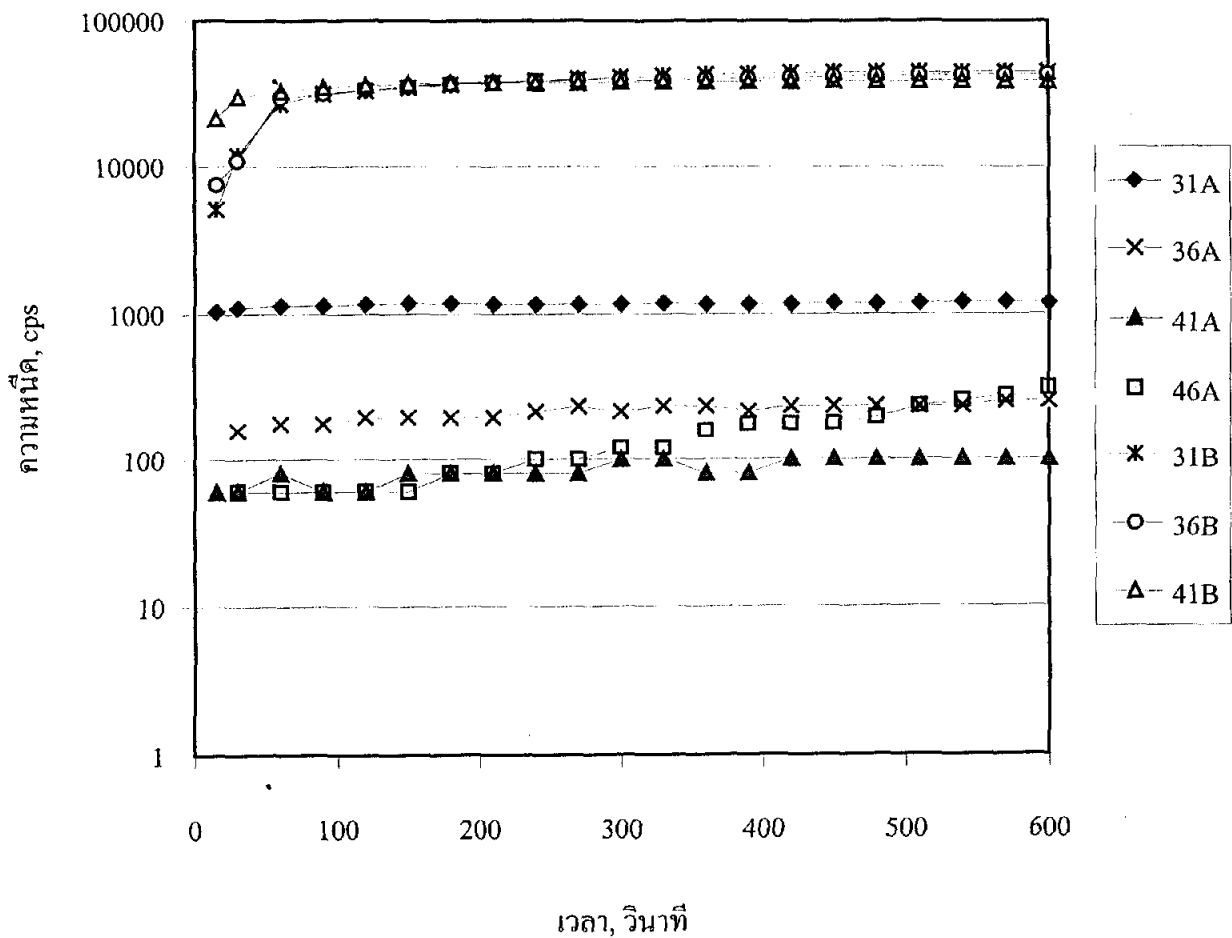


จะเห็นว่าความหนืดต่ำสุดขึ้นกับปริมาณน้ำในน้ำดิน เมื่อปริมาณน้ำมีค่าลดลงความหนืดต่ำสุดมีค่าเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ไม่ได้เป็นในลักษณะกราฟเส้นตรงแต่ความหนืดของน้ำดินจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อปริมาณน้ำในน้ำดินมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 35 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าควรเตรียมน้ำดินตัวอย่างที่ปริมาณน้ำไม่ต่ำกว่าร้อยละ 35 เช่นที่ปริมาณน้ำร้อยละ 36, 41, และ 46

### 4.3 การทดสอบทีโซโทรปี

ผลการทดสอบทีโซโทรปีของน้ำคินที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 31 36 41 46 ที่ความหนืดต่ำสุด และ ที่ความหนืด 800 cps แสดงในภาพที่ 4

ภาพที่ 4 ทีโซโทรปีของน้ำคินตัวอย่าง

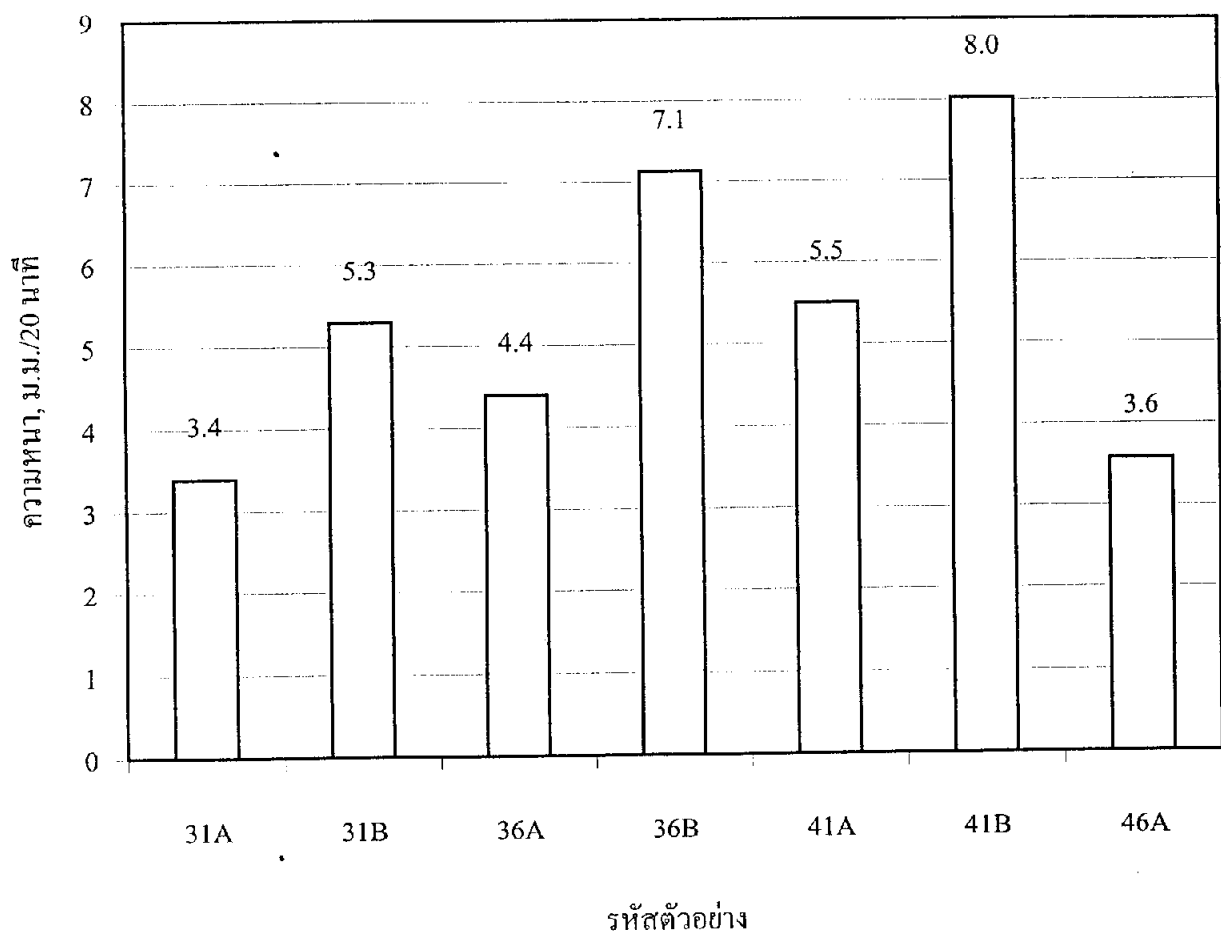


ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความหนืดของน้ำคินที่ความหนืดต่ำสุด (31A 36A 41A 46A) มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลาน้อยคือมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 100 – 1180 cps ในขณะที่ความหนืดของน้ำคินที่มีความหนืด 800 cps (31B 36B 41B) มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลามากกว่ามากคือในช่วงกว่า 38800 - 44400 cps การเปลี่ยนแปลงความหนืดกับเวลา แสดงถึงความเสถียรของอนุภาคในระบบ น้ำคินที่ความหนืดสูง (800 cps) มีปริมาณการใช้สารโซเดียมซิลิเกตน้อยกว่าน้ำคินที่ความหนืดต่ำสุด อนุภาคจึงมีความเสถียรน้อยกว่าและเป็นผลทำให้ความหนืดมีการเปลี่ยนแปลงกับเวลามากกว่าหรือมีค่าทีโซโทรปีสูงกว่านั่นเอง

#### 4.4 การทดสอบอัตราการหล่อของน้ำดิน ปริมาณน้ำในงานหล่อ ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา และ ปริมาณของการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผา

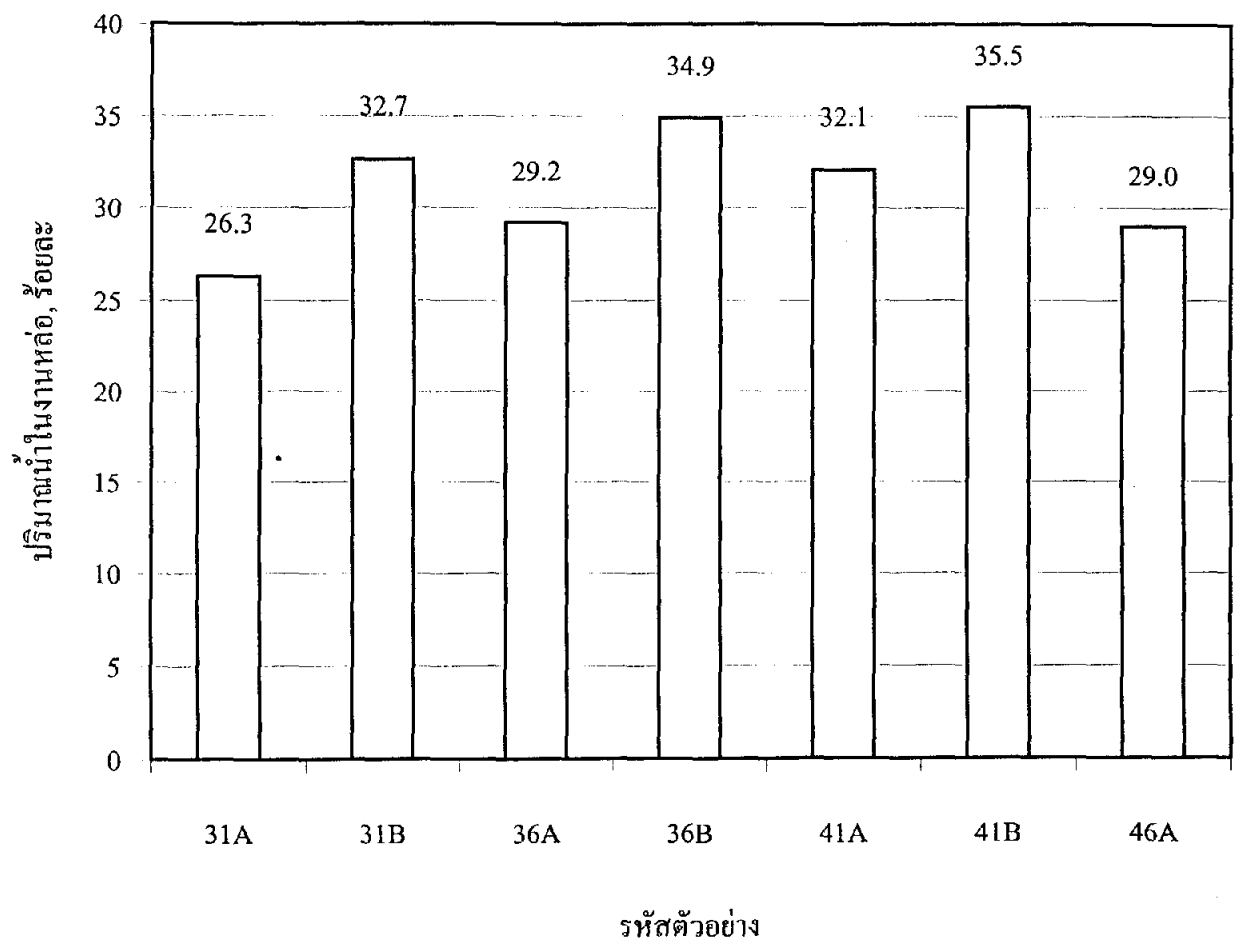
ผลของอัตราการหล่อของน้ำดิน ปริมาณน้ำในงานหล่อ ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา และปริมาณของการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผา ของตัวอย่างที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 31 36 41 และ 46 ที่ความหนืดต่ำสุด (31A 36A 41A 46A) และที่ความหนืด 800 cps (31B 36B 41B) แสดงในภาพที่ 5 - 8 ตามลำดับ

ภาพที่ 5 อัตราการหล่อของน้ำดินตัวอย่าง

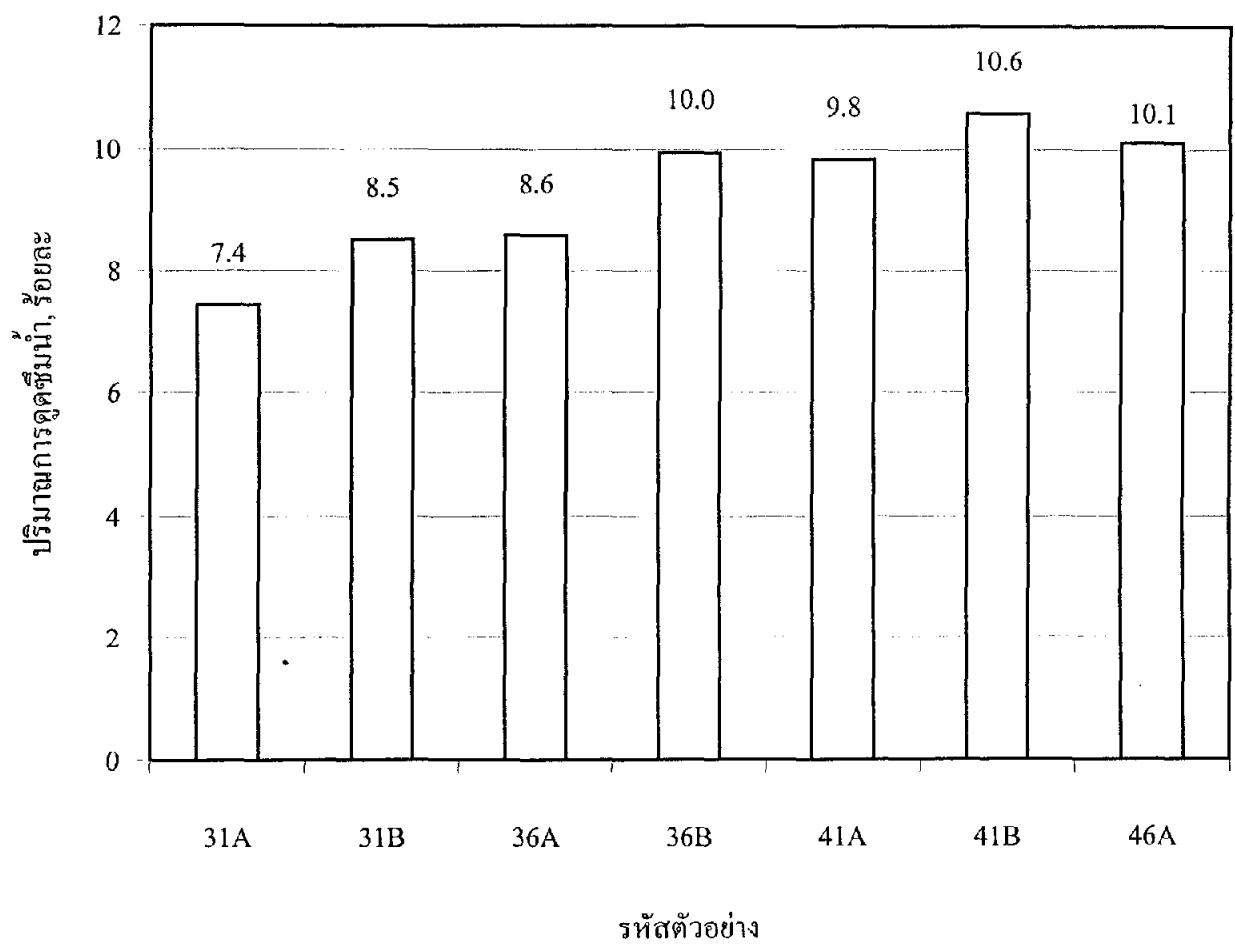




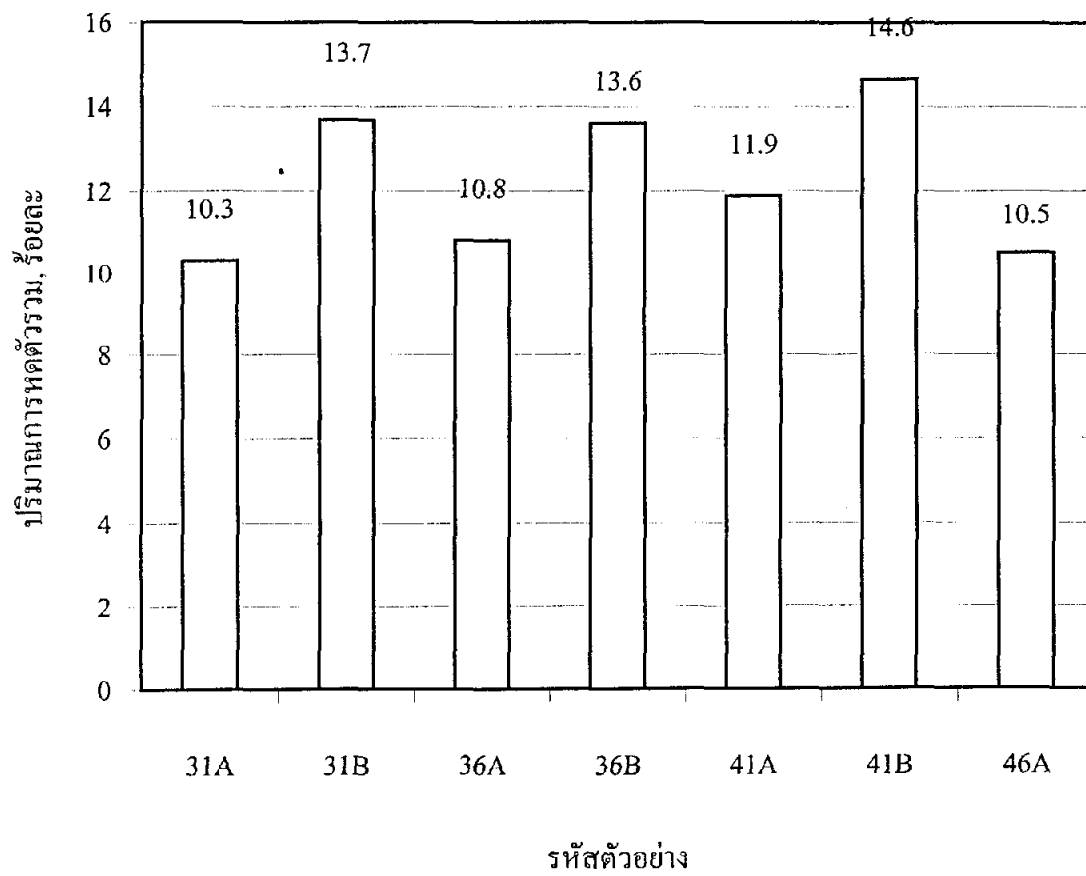
ภาพที่ 6 ปริมาณน้ำในงานหล่อ



ภาพที่ 7 ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา



ภาพที่ 8 ปริมาณการหดตัวของตัวอย่างหลังเผา



ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำและความหนืดของน้ำดินมีผลต่อสมบัติอัตราการหล่อ ปริมาณน้ำในงานหล่อ การดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา และการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผาในแนวโน้มเดียวกันคือ

น้ำดิน 31A มีอัตราการหล่อที่ 3.4 มม./20นาทีก่อน ในขณะที่น้ำดิน 31B มีอัตราการหล่อที่ 5.3 มม./20นาทีก่อน และสมบัติของงานหล่อจากน้ำดิน 31A มีปริมาณน้ำในงานหล่อร้อยละ 26.3 ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผาร้อยละ 7.4 ปริมาณการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผาร้อยละ 10.3 ในขณะที่สมบัติของงานหล่อจากน้ำดิน 31B มีปริมาณน้ำในงานหล่อร้อยละ 32.7 ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผาร้อยละ 8.5 ปริมาณการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผาร้อยละ 13.7 การเปรียบเทียบสมบัติระหว่าง 36A กับ 36B และ 41A กับ 41B ให้ผลการทดลองในแนวโน้มเดียวกัน แสดงให้เห็นว่า กรณีการเปรียบเทียบน้ำดินที่มีปริมาณน้ำเท่ากันที่ความหนืดต่างกัน น้ำดินที่มีความหนืดสูงกว่า (31B 36B 41B) จะมีอัตราการหล่อ ปริมาณน้ำในงานหล่อ การดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา และการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผา สูงกว่าน้ำดินที่มีความหนืดต่ำกว่า (31A 36A 41A )

น้ำดิน 31A มีอัตราการหล่อที่ 3.4 มม./20นาทีก่อน ในขณะที่น้ำดิน 36A มีอัตราการหล่อที่ คือ 4.4 มม./20นาทีก่อน และสมบัติของงานหล่อจากน้ำดิน 31A มีปริมาณน้ำในงานหล่อร้อยละ 26.3 ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผาร้อยละ 7.4 ปริมาณการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผาร้อยละ 10.3 ในขณะที่สมบัติของงานหล่อจากน้ำดิน 36A มีปริมาณน้ำในงานหล่อร้อยละ 29.2 ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผาร้อยละ 8.6 ปริมาณการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผาร้อยละ 10.8 การเปรียบเทียบระหว่าง 31A กับ 41A หรือ 36A กับ 41A ให้ผลการทดลองในแนวโน้มเดียวกัน แสดงให้เห็นว่า กรณีการเปรียบเทียบน้ำดินที่มีปริมาณน้ำต่างกันที่ความหนืดต่ำสุดของระบบ (31A 36A 41A) น้ำดินที่มีปริมาณน้ำต่ำมีอัตราการหล่อ ปริมาณน้ำในงานหล่อ ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา และการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผา ต่ำกว่าน้ำดินที่มีปริมาณน้ำสูงกว่า

กรณีน้ำดินที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 46 (46A) แสดงอัตราการหล่อ ปริมาณน้ำในงานหล่อ ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา และการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผา มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงสมบัติเมื่อเทียบกับน้ำดินอื่นต่างจากที่กล่าวมาข้างต้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่น้ำดินอยู่ในสภาพตกตะกอน

อัตราการหล่อของน้ำดิน ปริมาณน้ำในงานหล่อ ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา และปริมาณของการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผา เป็นสมบัติที่สำคัญต่อกระบวนการผลิต ยกตัว

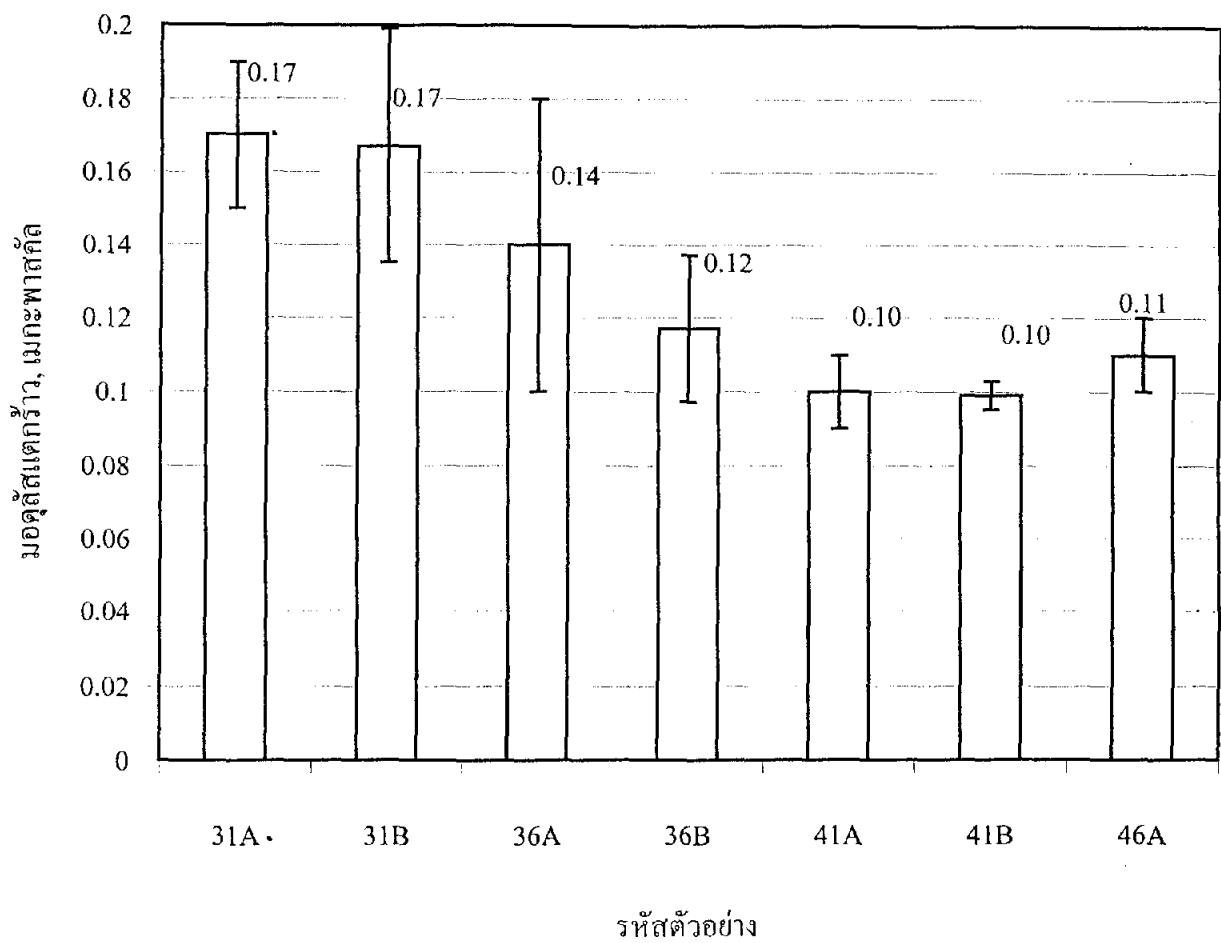
อย่างเช่นอัตราการหล่อมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการหล่อหรือเวลาที่ใช้ในการทำงาน หากมีอัตราในการหล่อสูงพอเหมาะกับการผลิตจะช่วยลดเวลาในการหล่อขึ้นรูป ปริมาณน้ำในงานหล่อมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง หากมีปริมาณน้ำในงานหล่อต่ำจะช่วยลดเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผาแสดงถึงปริมาณความสุกตัว หากมีปริมาณการดูดซึมน้ำต่ำเข้าใกล้ศูนย์แสดงว่าตัวอย่างมีความสุกตัวดี และปริมาณของการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผามีความสัมพันธ์กับแนวโน้มของการแตกเนื่องจากการหดตัว หากตัวอย่างมีการหดตัวรวมต่ำอาจช่วยลดปัญหาการสูญเสียที่เกิดจากการแตกเนื่องจากการหดตัวได้ ดังนั้นโดยปกติแล้วควรมีอัตราการหล่อสูง และปริมาณน้ำในงานหล่อ ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา ปริมาณของการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผาต่ำ

ในการทดลองนี้ตัวอย่าง 31A มีอัตราการหล่อ ปริมาณน้ำในงานหล่อ ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา และปริมาณของการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผาต่ำสุด และตัวอย่าง 41B มีอัตราการหล่อ ปริมาณน้ำในงานหล่อ ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา และปริมาณของการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผาสูงสุด สำหรับตัวอย่าง 46A ไม่เหมาะแก่การใช้งานเนื่องจากเกิดการตกตะกอน ประกอบกับสมบัติน้ำดินที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 31 มีความหนืดสูงมากทำให้ตัวอย่าง 36A 36B 41A และ 41B มีแนวโน้มเหมาะแก่การใช้งาน โดยเฉพาะตัวอย่าง 36B ที่ให้อัตราการหล่อสูงพอควร และมีปริมาณน้ำในงานหล่อ ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา และปริมาณของการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผาต่ำพอควร

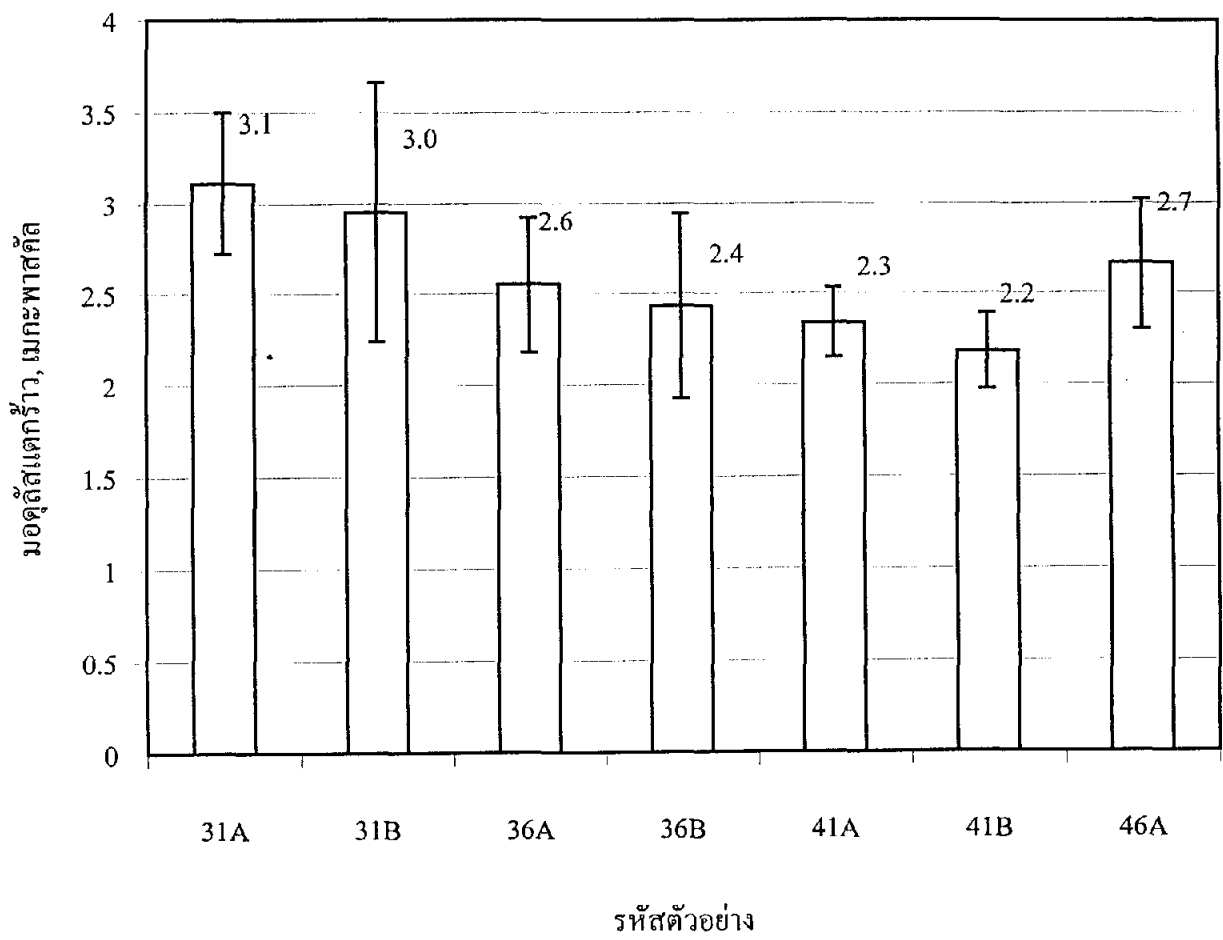
#### 4.5 การทดสอบหามอดูลัสแตกร้าวก่อนและหลังเผา และความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผา

ผลของมอดูลัสแตกร้าวก่อนและหลังเผา และความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผา จากตัวอย่างที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 31 36 41 46 ที่ความหนืดต่ำสุดและที่ความหนืด 800 cps แสดงในภาพที่ 9 - 11 ตามลำดับ

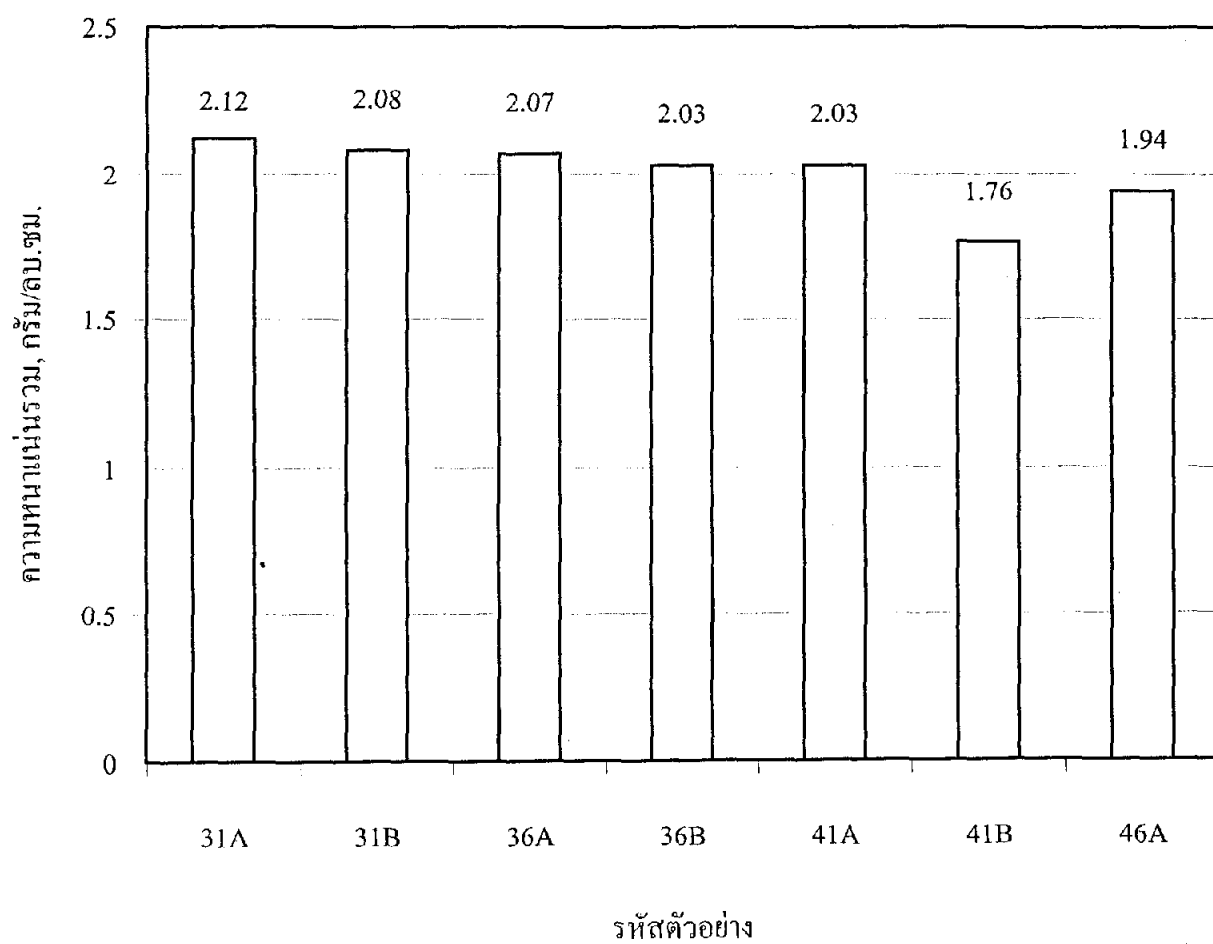
ภาพที่ 9 มอดูลัสแตกร้าวของตัวอย่างก่อนเผา



ภาพที่ 10 มอดูลัสแตกร้าวของตัวอย่างหลังเผา



ภาพที่ 11 ความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผา





ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลของปริมาณน้ำและความหนืดของน้ำดินต่อมอดูลัสแตก ร้าวก่อนและหลังเผา และความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผามีการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้ม เดียวกันคือ

- ตัวอย่างที่เตรียมจากน้ำดิน 31A มีค่ามอดูลัสแตกร้าวก่อนเผา 0.2 เมกะพาสคัล มอดูลัสแตกร้าวหลังเผา 3.1 เมกะพาสคัล ความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผา 2.12 กรัม/ลบ.ซม. ในขณะที่ตัวอย่างที่เตรียมจากน้ำดิน 31B มีค่ามอดูลัสแตก ร้าวก่อนเผา 0.2 เมกะพาสคัล มอดูลัสแตกร้าวหลังเผา 3.0 เมกะพาสคัล ความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผา 2.08 กรัม/ลบ.ซม. การเปรียบเทียบระหว่าง 36A กับ 36B และ 41A กับ 41B ให้ผลการทดลองในแนวโน้มเดียวกัน แสดงให้เห็นว่า กรณี การเปรียบเทียบน้ำดินที่มีปริมาณน้ำเท่ากันที่ความหนืดต่างกัน จะมีค่ามอดูลัสแตกร้าว ก่อนและหลังเผาใกล้เคียงกัน แต่ตัวอย่างที่เตรียมจากน้ำดินที่มีความหนืดสูงกว่า (31B 36B 41B) จะมีความหนาแน่นรวมหลังเผา ต่ำกว่าตัวอย่างที่เตรียมจากน้ำดินที่มี ความหนืดต่ำกว่า (31A 36A 41A)
- ตัวอย่างที่เตรียมจากน้ำดิน 31A มีค่ามอดูลัสแตกร้าวก่อนเผา 0.2 เมกะพาสคัล มอดูลัสแตกร้าวหลังเผา 3.1 เมกะพาสคัล ความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผา 2.12 กรัม/ลบ.ซม. ในขณะที่ตัวอย่างที่เตรียมจากน้ำดิน 36A มีค่ามอดูลัสแตก ร้าวก่อนเผา 0.1 เมกะพาสคัล มอดูลัสแตกร้าวหลังเผา 2.6 เมกะพาสคัล ความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผา 2.07 กรัม/ลบ.ซม. การเปรียบเทียบระหว่าง 31A กับ 41A หรือ 36A กับ 41A ให้ผลการทดลองในแนวโน้มเดียวกัน แสดงให้เห็นว่า การ เปรียบเทียบกรณีที่มีน้ำดินที่มีปริมาณน้ำต่างกันที่ความหนืดต่ำสุดของระบบ (31A 36A 41A) น้ำดินที่มีปริมาณน้ำต่ำจะมีมอดูลัสแตกร้าวก่อนและหลังเผา และความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผา สูงกว่าน้ำดินที่มีปริมาณน้ำสูงกว่า
- กรณีน้ำดินที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 46 (46A) แสดงสมบัติมอดูลัสแตกร้าวก่อน และหลังเผา และความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผา มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงสมบัติเมื่อเทียบกับน้ำดินอื่นต่างจากที่กล่าวมาข้างต้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่ น้ำดินอยู่ในสภาพตกตะกอน

สมบัติมอดูลัสแตกร้าวก่อนเผาเป็นค่าที่นิยมนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบความเหนียวของเนื้อดินใน การขึ้นรูป หรือความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ดิบก่อนเผา ตัวอย่างที่มีค่ามอดูลัสแตกร้าวก่อนเผาสูง แสดงว่ามีความเหนียวสูง หรือผลิตภัณฑ์ดิบก่อนเผามีความทนทานต่อการแตกหักขณะเคลื่อนย้าย ส่วนสมบัติของมอดูลัสแตกร้าวหลังเผาหรือความหนาแน่นรวมหลังเผาแสดงถึงความแข็งแรงของ

ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ตัวอย่างที่มีค่ามอดูลัสแตกร้าวหลังเผาหรือความหนาแน่นรวมหลังเผาสูงแสดงว่ามีความแข็งแรงสูง

ในการทดลองนี้ตัวอย่างที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 31 (31A และ 31B) มีค่ามอดูลัสแตกร้าวก่อนและหลังเผาสูงสุด ตัวอย่างที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 41 (41A และ 41B) มีค่ามอดูลัสแตกร้าวก่อนและหลังเผต่ำสุด และตัวอย่าง 31A มีความหนาแน่นรวมหลังเผาสูงสุด และตัวอย่าง 41B มีความหนาแน่นรวมหลังเผต่ำสุด

#### 4.6 คุณภาพของงานหล่อ

จากสมบัติของน้ำดินที่ต่างกัน ทำให้งานหล่อก็มีคุณภาพต่างกันด้วย ดังแสดงเปรียบเทียบในตารางที่ 7 ทุกตัวอย่างมีความหนาแน่นสม่ำเสมอเกินตัวอย่าง 46A เนื่องมาจากการตกตะกอนของน้ำดิน เมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติปริมาณน้ำในงานหล่อในภาพที่ 6 งานหล่อที่หล่อจากน้ำดินที่มีความหนืดสูงกว่า (31B 36B 41B) มีสภาพนิ่มกว่างานหล่อที่หล่อจากน้ำดินที่มีความหนืดต่ำกว่า (31A 36A 41A) ในขณะที่ปริมาณน้ำในงานหล่อจากน้ำดิน 31A 36A 41A คือร้อยละ 26.3 29.2 32.1 และปริมาณน้ำในงานหล่อจากน้ำดิน 31B 36B 41B คือร้อยละ 32.7 34.9 35.5 ตามลำดับ แสดงว่าคุณภาพของงานหล่อที่มีปริมาณน้ำในงานหล่อมักกว่าจะมีลักษณะนิ่มกว่า

ผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของน้ำดิน (ปริมาณน้ำของน้ำดิน ความหนืดของน้ำดิน ทีโซโทรปี) ต่อสมบัติการขึ้นรูป (อัตราการหล่อของน้ำดิน ปริมาณน้ำในงานหล่อ คุณภาพของงานหล่อ และ มอดูลัสแตกร้าวก่อนเผา) และสมบัติหลังเผา (ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา ปริมาณของการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผา มอดูลัสแตกร้าวหลังเผา และความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผา) ดังนี้ กรณีน้ำดินมีปริมาณน้ำเท่ากัน น้ำดินที่มีสารโซเดียมซิลิเกตต่ำ จะมีความหนืดสูงและมีค่าทีโซโทรปีสูง แสดงถึงอนุภาคมีความเสถียรต่ำ ส่งผลให้อนุภาคมีการจัดเรียงตัวระหว่างการหล่อน้อย ทำให้มีอัตราการหล่อสูงกว่า ปริมาณน้ำในงานหล่อสูง คุณภาพของงานหล่อนิ่ม การที่ปริมาณน้ำในงานหล่อสูงแสดงว่าตัวอย่างที่หล่อมีความพรุนตัวสูง ซึ่งส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผาสูง ค่าความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผต่ำ แม้มีมอดูลัสแตกร้าวก่อนและหลังเผาใกล้เคียงกัน แต่การหดตัวรวมสูงกว่าตัวอย่างที่เตรียมจากน้ำดินที่มีความหนืดต่ำกว่าหรือมีปริมาณโซเดียมซิลิเกตสูงกว่า

กรณีน้ำดินมีปริมาณน้ำต่างกันที่ความหนืดต่ำสุดของระบบ น้ำดินที่มีปริมาณน้ำต่ำจะมีความหนืดสูง แต่การที่ค่าทีโซโทรปีไม่แตกต่างกันมากและมีค่าต่ำ แสดงว่าอนุภาคมีความเสถียรสูงทำให้ระบบที่มีปริมาณน้ำน้อยหรือระบบที่อนุภาคมีความหนาแน่นรวมสูงมีการจัดเรียงตัวที่หนาแน่น จึงให้อัตราการหล่อต่ำและมีปริมาณน้ำในงานหล่อต่ำ หรือมีความพรุนตัวน้อย ซึ่งทำ

ให้ค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผาต่ำ ค่าความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผาสูง มอดุลัส  
แตกร้าวก่อนและหลังเผาสูง และการหดตัวรวมต่ำกว่าตัวอย่างที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณน้ำสูง

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

- 5.1 เมื่อดินทดลองมีขนาดที่เล็กกว่า 10 ไมโครเมตร อยู่ร้อยละ 86.4 และอนุภาคมีขนาดมัธยฐาน (median) ที่ 3.2 ไมโครเมตร
- 5.2 การเพิ่มปริมาณสาร โซเดียมซัลไฟด์และน้ำจะลดความหนืดของน้ำดินทุกตัวอย่าง ความหนืดของน้ำดินจะลดลงจนถึงจุดหนึ่งที่มีค่าต่ำสุดหรือมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงแม้มีการเพิ่มปริมาณสาร โซเดียมซัลไฟด์ น้ำดินที่มีปริมาณน้ำมากกว่าจะมีปริมาณการใช้สาร โซเดียมซัลไฟด์น้อยกว่า น้ำดินที่มีปริมาณน้ำมากเกินไป (ร้อยละ 46) จะเกิดการแยกชั้นหรือตกตะกอน และน้ำดินที่มีปริมาณน้ำน้อยเกินไป (ร้อยละ 31) ไม่เหมาะสำหรับงานหล่อเนื่องจากมีความหนืดสูงและต้องใช้สาร โซเดียมซัลไฟด์มาก
- 5.3 ความหนืดของน้ำดินที่ความหนืดต่ำสุด (31A 36A 41A 46A) มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลาน้อย ในขณะที่ความหนืดของน้ำดินที่มีความหนืด 800 cps (31B 36B 41B) มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลามากกว่ามาก
- 5.4 การเปรียบเทียบน้ำดินที่มีปริมาณน้ำเท่ากันที่ความหนืดต่างกัน น้ำดินที่มีความหนืดสูงกว่า (31B 36B 41B) จะมีอัตราการหล่อ ปริมาณน้ำในงานหล่อ การดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา และการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผา สูงกว่าน้ำดินที่มีความหนืดต่ำกว่า (31A 36A 41A) กรณีการเปรียบเทียบน้ำดินที่มีปริมาณน้ำต่างกันที่ความหนืดต่ำสุดของระบบ (31A 36A 41A) น้ำดินที่มีปริมาณน้ำต่ำมีอัตราการหล่อ ปริมาณน้ำในงานหล่อ ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา และการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผา ต่ำกว่าน้ำดินที่มีปริมาณน้ำสูงกว่า
- 5.5 การเปรียบเทียบน้ำดินที่มีปริมาณน้ำเท่ากันที่ความหนืดต่างกัน จะมีค่ามอดูลัสแตกร้าวก่อนและหลังเผาใกล้เคียงกัน แต่ตัวอย่างที่เตรียมจากน้ำดินที่มีความหนืดสูงกว่า (31B 36B 41B) จะมีความหนาแน่นรวมหลังเผา ต่ำกว่าตัวอย่างที่เตรียมจากน้ำดินที่มีความหนืดต่ำกว่า (31A 36A 41A) ว่า กรณีการเปรียบเทียบกรณีที่มีปริมาณน้ำต่างกันที่ความหนืดต่ำสุดของระบบ (31A 36A 41A) น้ำดินที่มีปริมาณน้ำต่ำจะมีมอดูลัสแตกร้าวก่อนและหลังเผา และความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผา สูงกว่าน้ำดินที่มีปริมาณน้ำสูงกว่า
- 5.6 คุณภาพของงานหล่อที่มีปริมาณน้ำในงานหล่อมากกว่าจะมีลักษณะนุ่มกว่า
- 5.7 สมบัติของน้ำดิน (ปริมาณน้ำของน้ำดิน ความหนืดของน้ำดิน ทีโซโทริปี) มีผลต่อสมบัติการขึ้นรูป (อัตราการหล่อของน้ำดิน ปริมาณน้ำในงานหล่อ คุณภาพของงานหล่อ และ มอดูลัสแตกร้าวก่อนเผา) และสมบัติหลังเผา (ปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา ปริมาณของการหดตัวรวมของตัวอย่างหลังเผา มอดูลัสแตกร้าวก่อนเผา และความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังเผา)

5.8 ควรเตรียมน้ำคั้นโดยประมาณที่ปริมาณน้ำร้อยละ 36 ให้มีความหนืด 800 cps เนื่องจากให้อัตราการหล่อสูง (7.1 มม/20 นาที) โดยยังคงมีคุณภาพของงานหล่อที่ดีคืองานหล่อมีสภาพแข็งพอควร โดยมีปริมาณน้ำในงานหล่อประมาณร้อยละ 34.9 ค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผา (1200<sup>o</sup>ซ) ประมาณร้อยละ 10.0 ค่าความหนาแน่นรวมของตัวอย่างอยู่ในช่วง 2.03 กรัม/ลบซม มอดูลัสแตกร้าวก่อนเผาประมาณ 0.1 เมกะพาสคัล มอดูลัสแตกร้าวหลังเผาประมาณ 2.4 เมกะพาสคัล และการหดตัวรวมประมาณร้อยละ 13.6

## เอกสารอ้างอิง

Phelps, G.W., et al. **Rheology and rheometry of clay-water system**. Sandersville, GA: Cyprus Industrial Minerals, 1983.

Shaw, Duncan. J. **Introduction to colloid and surface chemistry**. 4<sup>th</sup> ed. London : Butterworth-Heinemann, 1992

พิมพ์วัลลค์ วัฒนภาส สุทธิชัย ที่ปประสาน เทพสุวรรณ จิตรวัชรโกมล. โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาดินในท้องถิ่นของศูนย์ศิลปาชีพเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบการผลิต รายงานการวิจัยและพัฒนาของศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก พ.ศ. 2535-2536 รวม 36 หน้า อ้างอิงหน้าที่ 36

## ภาคผนวก

### น้ำในของหล่อ

$$\text{น้ำในของหล่อ, ร้อยละ} = \frac{\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}}$$

### มอดูลัสแตกร้าว

$$\text{มอดูลัสแตกร้าว, เมกะพาสคัล} = \frac{3WL}{2bd^3}$$

W = แรงที่ทำให้ชิ้นทดสอบแตกร้าว เป็นนิวตัน

L = ระยะช่วงระหว่างแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร

b = ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

d = ความหนาของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

### การหดตัวรวมหลังเผา

$$\text{การหดตัวรวม, ร้อยละ} = \frac{\text{ความยาวคอนกรีตรูป} - \text{ความยาวหลังเผา}}{\text{ความยาวคอนกรีตรูป}} \times 100$$

### การดูดซึมน้ำ

$$\text{การดูดซึมน้ำ, ร้อยละ} = \frac{\text{น้ำหนักอิ่มตัว} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100$$

### ความหนาแน่นรวม

$$\text{ความหนาแน่น, กรัม/ลบ.ซม.} = \frac{\text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{ปริมาตรภายนอก}} = \frac{\text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักอิ่มตัว} - \text{น้ำหนักเขวณลอย}}$$