

## การวิเคราะห์สมบัติของดินตะกอนน้ำประปาสำหรับงานเครื่องปั้นดินเผา Characterization of sludge from water treatment plant for pottery

สุทธิดา การเวก<sup>1\*</sup> และ ศศิธร คนทน<sup>2</sup>  
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์<sup>1\*</sup>  
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร<sup>2</sup>

Sutthida Karawek<sup>1\*</sup> and Sasithorn Khonthon<sup>2</sup>  
Faculty of Industrial Technology, Rajanagarindra Rajabhat University<sup>1\*</sup>  
Faculty of Industrial Technology, Pranakorn Rajabhat University<sup>2</sup>  
E-mail: ksutthida@gmail.com<sup>1\*</sup>, sasithorn@pnru.ac.th<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

ดินตะกอนน้ำประปาจากกระบวนการผลิตน้ำประปาเป็นของเสียที่มีปริมาณสูง ส่วนมากกำจัดโดยการถมที่ จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD/XRF พบว่า ดินตะกอนน้ำประปาโรงผลิตน้ำประปาบางเขนมีองค์ประกอบหลักเป็นควอตซ์ เคโอลินไนท์และไบโอไทท์ โดยสารประกอบออกไซด์หลัก คือ  $\text{SiO}_2$  ร้อยละ 57 และ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 27.40 ซึ่งมีความใกล้เคียงกับส่วนผสมของเนื้อดิน จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพก่อนเผาของดินตะกอนน้ำประปา พบว่า ดินตะกอนน้ำประปามีการหดตัวเมื่อแห้งร้อยละ 7.00 และความแข็งแรงก่อนเผา 0.27 MPa และเมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 950 – 1200 องศาเซลเซียส พบว่า ดินตะกอนน้ำประปามีค่าการหดตัวเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น คือ ร้อยละ 10 – 24 มีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น คือ 0.09 – 6.04 MPa และมีค่าการดูดซึมน้ำลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น คือ ร้อยละ 7.53 – 28.70

**คำสำคัญ :** ดินตะกอนน้ำประปา, วิเคราะห์สมบัติ, เครื่องปั้นดินเผา

### Abstract

The amount of sludge from water treatment plant, mostly disposed by landfills, is high. From the characterization using XRD/XRF techniques, the water treatment sludge from Bangkok Water Treatment Plant in Bangkok is mainly composed of quartz kaolin and biotite. Silicon dioxide ( $\text{SiO}_2$ ) and aluminium oxide ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) constitute the main sludge components with the percentage of 57.0 and 27.40, respectively, which is similar to the pottery clay composite. According to the physical property before firing, the shrinkage of dry sludge was 7% whereas the body strength prior firing was 0.27 MPa. After firing at 950 - 1200 degree celsius, it was found that the shrinkage increases from 10% to 24% with higher firing temperature, also the body strength of treatment sludge increases from 0.09-6.04 MPa. These results prove that increasing the firing temperature had a probable effect of increasing shrinkage. In contrast, it was found that the water sludge's water absorption decreases when the firing temperature increases from 7.53% to 28.70%.

**Keywords:** water treatment sludge, characterization, pottery

## 1. บทนำ

ดินตะกอนน้ำประปาเป็นของเหลือทิ้งประเภทหนึ่งที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำประปา ข้อมูลในปี 2553-2559 ของโรงผลิตน้ำประปาบางเขน การประปานครหลวง มีปริมาณดินตะกอนน้ำประปาประมาณ 150 ตันต่อวัน ซึ่งกระบวนการกำจัดดินตะกอนน้ำประปา มี 2 วิธีหลักๆ คือ วิธีตามธรรมชาติ โดยการนำดินตะกอนน้ำประปาตากแห้งในลานกว้างๆ ใช้เวลาในการตากแห้งประมาณ 3-5 เดือน พื้นที่ในการตากแห้งประมาณ 750 ไร่ (เฉพาะโรงผลิตน้ำประปาบางเขน) และวิธีระบบรีดตะกอน เป็นตะกอนแผ่น (Sludge cake) โดยอาศัยเครื่องอัดรีดกรองดิน (Filter press) เมื่อได้ดินตะกอนน้ำประปาทั้ง 2 วิธี ทาง การประปาฯ ต้องหาวิธีการกำจัดโดยประมุลหาคนมารับจ้างขนดินไปทิ้งหลักๆ คือ นำไปถมที่ โดยเสียค่าจ้างเป็นรายปี ละไม่น้อยกว่า 10 ล้านบาท [1]

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ดินตะกอนน้ำประปา สามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมในงานเครื่องปั้นดินเผา [2] อิฐมอญ [3] กระเบื้องดินเผา [4] และน้ำเคลือบเซรามิก [5] เป็นต้น โดยสามารถใช้ดินตะกอนน้ำประปาในปริมาณร้อยละ 40-90 ในเครื่องปั้นดินเผา ร้อยละ 40 ในอิฐมอญ ร้อยละ 50-60 ในกระเบื้องดินเผา และมากกว่าร้อยละ 50 ในน้ำเคลือบเซรามิก ซึ่งขึ้นอยู่กับสมบัติของดินตะกอนน้ำประปา และมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปดินที่สามารถผลิตเป็นเครื่องปั้นดินเผาได้จะมีองค์ประกอบหลัก 8 ชนิด ได้แก่ ซิลิกา อะลูมินา เหล็ก โทเทเนียม หินปูน แมกนีเซียม โซเดียมและโพแทสเซียม

ดังนั้น การนำดินตะกอนน้ำประปามาใช้ในการผลิตเครื่องปั้นดินเผามีความจำเป็นต้องวิเคราะห์สมบัติตามกระบวนการทางเซรามิก เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นต่อการพัฒนาและวิจัยต่อไป ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี โครงสร้างของแร่ รวมถึงการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพก่อนและหลังเผา ที่อุณหภูมิ 950 – 1200 องศาเซลเซียส ได้แก่ การหดตัว ความแข็งแรง การดูดซึมน้ำและสีของดินตะกอนน้ำประปา

## 2. วิธีการวิจัย

ในการวิเคราะห์สมบัติของดินตะกอนน้ำประปาครั้งนี้ แบ่งการทดสอบสมบัติออกเป็น 2 ส่วน คือ สมบัติทางเคมี และสมบัติทางกายภาพ ดังนี้

### 2.1 การทดสอบสมบัติทางเคมีของดินตะกอนน้ำประปา

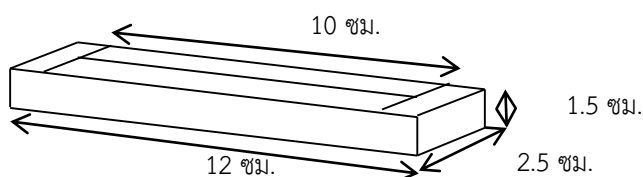
ดินตะกอนน้ำประปาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นดินตะกอนแผ่นที่ได้จากเครื่องอัดรีดกรองดิน ของโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน โดยนำดินตะกอนน้ำประปามาตากแห้ง ในอุณหภูมิปกติ เป็นเวลา 7 วัน นำไปบดและผ่านตะแกรงร่อนขนาด 200 เมช (74 ไมครอน) แล้วนำมาวิเคราะห์ดังนี้

วิเคราะห์หาโครงสร้างผลึก โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer: XRD) ด้วยเครื่องรุ่น Smart Lab ยี่ห้อ Rigaku

วิเคราะห์หาองค์ประกอบออกไซด์ โดยวิธีเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence: XRF) ด้วยเครื่องรุ่น Tiger S8 ยี่ห้อ Bruker

### 2.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของดินตะกอนน้ำประปา

2.2.1 นำดินตะกอนน้ำประปาผ่านตะแกรงร่อนขนาด 50 เมช นวดผสมกับน้ำ ขึ้นรูปเป็นแท่งทดสอบ ขนาดกว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 12 เซนติเมตรหนา 1.5 เซนติเมตร ชีดเส้นกลางยาว 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขนาดของแท่งทดสอบ

2.2.2 ผึ่งแท่งทดสอบให้แห้งก่อนนำมาทดสอบสมบัติก่อนเผา คือ การหดตัวเมื่อแห้ง ความแข็งแรงเมื่อแห้ง

2.2.3 นำแท่งทดสอบ ไปเผาที่อุณหภูมิ ต่างๆ คือ 900 - 1,200 องศาเซลเซียส แล้วนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ การหดตัวหลังเผา ความแข็งแรงหลังเผา การดูดซึมน้ำ และสีของดิน

การทดสอบสมบัติก่อนเผาของดินตะกอนน้ำประปา ได้แก่

การหดตัวก่อนเผาหรือการหดตัวเมื่อแห้ง (Drying shrinkage)

วิธีทดสอบ โดยนำแท่งทดสอบที่แห้งแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และวัดความยาวบันทึกเป็นความยาวเมื่อแห้ง (ชม.) แล้วคำนวณตามสูตร

$$\text{ร้อยละการหดตัวเมื่อแห้ง} = \frac{\text{ความยาวหลังการขึ้นรูป} - \text{ความยาวเมื่อแห้ง}}{\text{ความยาวหลังการขึ้นรูป}} \times 100 \quad (1)$$

% drying shrinkage

ความแข็งแรงก่อนเผา (Drying strength)

วิธีทดสอบ

1. นำแท่งทดสอบหลังอบแห้งวัดขนาด ความกว้าง และความหนา ของชิ้นทดสอบ บันทึกค่าเป็น b และ d ตามลำดับ

2. นำชิ้นงานไปวัดด้วยเครื่อง MOR TESTING MACHINE

3. บันทึกค่า Load ที่ขึ้นงานหัก เป็น (F)

4. คำนวณหาค่า MOR (Three point bending)

$$\text{MOR} = \frac{3FL}{2bd^2} \quad (2)$$

เมื่อ

F = แรงกดที่ทำให้แท่งทดสอบหัก (kgf)

L = ความกว้างของบารอง (Span Length) ซึ่งควรกำหนดให้มีความกว้าง เป็น 2/3 เท่าของความยาวแท่งทดสอบ (เซนติเมตร)

b = ความกว้างของแท่งทดสอบบริเวณที่หัก (เซนติเมตร)

d = ความหนาของแท่งทดสอบบริเวณที่หัก (เซนติเมตร)

หน่วย = ksc(kgf/cm<sup>2</sup>), MPa

การทดสอบสมบัติหลังเผาของดินตะกอนน้ำประปา ได้แก่

การทดสอบร้อยละการหดตัวหลังเผา (Firing shrinkage)

วิธีทดสอบ

1. นำแท่งทดสอบที่แห้ง วัดความยาว บันทึกเป็นความยาวเมื่อแห้ง (ชม.)

2. นำแท่งทดสอบ เผาที่อุณหภูมิ 900 - 1200 องศาเซลเซียส

3. วัดความยาวของชิ้นทดสอบหลังเผา บันทึกเป็นความยาวหลังเผา (ชม.)

4. คำนวณร้อยละการหดตัวจากสูตร

$$\text{ร้อยละการหดตัวหลังเผา} = \frac{\text{ความยาวหลังการขึ้นรูป} - \text{ความยาวหลังเผา}}{\text{ความยาวหลังการขึ้นรูป}} \times 100 \quad (3)$$

(%Firing Shrinkage)

การทดสอบค่าความแข็งแรงหลังเผา (Firing strength)

วิธีทดสอบเหมือนกับการทดสอบความแข็งแรงก่อนเผา (Drying strength)

การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption)

วิธีทดสอบ

1. นำแท่งทดสอบที่ผ่านการเผาแล้วมาชั่งน้ำหนัก บันทึกเป็น D (กรัม)
2. นำแท่งทดสอบไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นลง และแช่ไว้อีก 24 ชั่วโมง
3. นำแท่งทดสอบขึ้นมาจากน้ำ ใช้ผ้าหมาดๆ ซับผิวชิ้นทดสอบให้ทั่ว และชั่งน้ำหนัก บันทึกเป็น W (กรัม)

4. คำนวณตามสูตร

$$\text{ร้อยละของการดูดซึมน้ำ} = \frac{W - D}{D} \times 100 \quad (4)$$

(% Water absorption)

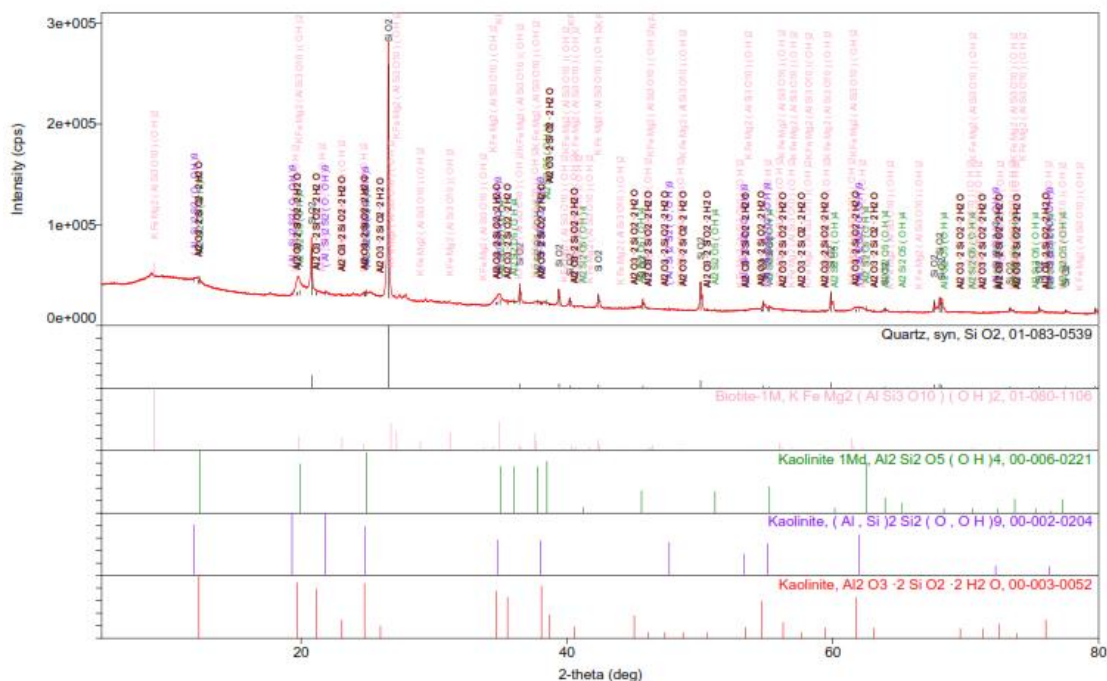
เมื่อ  $W =$  น้ำหนักหลังแช่น้ำ  
 $D =$  น้ำหนักก่อนแช่น้ำ

### 3. ผลการวิจัย

#### 3.1 ผลการทดสอบสมบัติทางเคมีของดินตะกอนน้ำประปา

##### 3.1.1 การวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกของดินตะกอนน้ำประปา

การวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer: XRD) พบว่า ดินตะกอนน้ำประปาประกอบด้วยแร่ควอตซ์ เคโอลินไนท์ และไบโอไทท์ เป็นองค์ประกอบหลักดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะโครงสร้างทางผลึกของดินตะกอนน้ำประปาด้วยเทคนิค XRD

### 3.1.2 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของดินตะกอนน้ำประปา

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบออกไซด์ ด้วยเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence: XRF) พบว่า ดินตะกอนน้ำประปาประกอบด้วยสารประกอบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบออกไซด์ของดินตะกอนน้ำประปา

องค์ประกอบออกไซด์	ร้อยละ
SiO <sub>2</sub>	56.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.78
K <sub>2</sub> O	2.15
CaO	1.18
MgO	1.24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.91
TiO <sub>2</sub>	0.89
SO <sub>3</sub>	0.22
MnO	0.19
Na <sub>2</sub> O	0.36
LOI	17.48

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของดินตะกอนน้ำประปาในตารางที่ 2 พบว่า ดินตะกอนน้ำประปามีองค์ประกอบหลักที่พบมากอยู่ 3 ชนิด คือ SiO<sub>2</sub> ร้อยละ 57, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ร้อยละ 27.40, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ร้อยละ 7.92 และองค์ประกอบอื่นๆ เจือปนเล็กน้อย

### 3.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของดินตะกอนน้ำประปา

#### 3.2.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพก่อนเผาของดินตะกอนน้ำประปา

จากการทดสอบสมบัติก่อนเผาของดินตะกอนน้ำประปา พบว่า ดินตะกอนน้ำประปา มีค่าการหดตัวก่อนเผาหรือเมื่อแห้งร้อยละ 7.00 และความแข็งแรงก่อนเผา 0.27 MPa ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบสมบัติก่อนเผาของดินตะกอนน้ำประปา

การทดสอบสมบัติก่อนเผา	ค่าที่วัดได้
การหดตัวเมื่อแห้ง (ร้อยละ)	7.00
ความแข็งแรง (MPa)	0.27

#### 3.2.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผาของดินตะกอนน้ำประปาที่อุณหภูมิ 950 – 1,200 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบสมบัติหลังเผาของดินตะกอนน้ำประปา

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การหดตัว (ร้อยละ)	ความแข็งแรง (MPa)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
950	10.00	0.90	28.70
1000	12.00	1.32	27.05
1050	15.00	2.57	21.76
1100	20.00	4.31	15.00
1150	22.00	4.56	11.08
1200	24.00	6.04	7.53

ผลการทดสอบสมบัติการหดตัวหลังเผาของดินตะกอนน้ำประปา ที่อุณหภูมิ 950 – 1200 องศาเซลเซียส พบว่า ดินตะกอนน้ำประปา มีค่าการหดตัวอยู่ระหว่าง ร้อยละ 10.00 – 24.00 โดยมีค่าการหดตัวเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าการหดตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส คือ ร้อยละ 24 และค่าการหดตัวต่ำสุดที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส คือ ร้อยละ 10

ผลการทดสอบสมบัติค่าความแข็งแรงของดินตะกอนน้ำประปา ที่อุณหภูมิ 950 – 1200 องศาเซลเซียส พบว่า ดินตะกอนน้ำประปา มีค่าความแข็งแรงอยู่ระหว่าง 0.90 – 6.04 MPa โดยมีค่าความแข็งแรงสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงสูงสุดที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส คือ 6.04 MPa และมีค่าความแข็งแรงต่ำสุดที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส คือ 0.90 MPa

ผลการทดสอบสมบัติค่าการดูดซึมน้ำของดินตะกอนน้ำประปา ที่อุณหภูมิ 950 – 1200 องศาเซลเซียส พบว่า ดินตะกอนน้ำประปา มีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ระหว่าง 7.53 – 28.70 โดยมีค่าการดูดซึมน้ำลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส คือ ร้อยละ 28.70 และมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุดที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส คือ ร้อยละ 7.53

#### 4. การอภิปรายผลหรือการวิจารณ์และสรุป

##### 4.1 อภิปรายผล

การทดสอบสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบมีความสำคัญ ซึ่งจากการศึกษาลักษณะองค์ประกอบทางเคมีและองค์ประกอบทางแร่ ของดินตะกอนน้ำประปาจากโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน พบว่า ดินตะกอนน้ำประปามีองค์ประกอบหลักที่พบมาก คือ  $\text{SiO}_2$  ร้อยละ 57 รองลงมา คือ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 27.40  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 7.92 สารประกอบที่เจือปนอยู่ในดิน มีผลต่อสมบัติของดิน โดย आयुर्वेद สว่างผล [6] ได้กล่าวว่า  $\text{SiO}_2$  เป็นสารประกอบที่สำคัญของดิน และมีผลต่อการหดตัวของดิน กล่าวคือ ดินที่มี  $\text{SiO}_2$  ที่หายาจะหดตัวน้อย แต่ถ้าดินมี  $\text{SiO}_2$  ที่ละเอียดมากๆ จะหดตัวมากด้วย  $\text{Al}_2\text{O}_3$  เป็นสารประกอบที่เกิดปะปนอยู่ในดิน และมีผลต่อความทนไฟของดิน กล่าวคือ ดินที่มีเปอร์เซ็นต์ของ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  สูง จะมีความทนไฟสูงด้วย ส่วน  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  เป็นสารประกอบที่พบในดินทั่วไป มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อดิน กล่าวคือ ดินที่มีเปอร์เซ็นต์ของ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  มาก เมื่อเผาจะปรากฏเนื้อดินที่มีสีแดงเข้ม จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผาของดินตะกอนน้ำประปา ที่อุณหภูมิ 950 – 1200 องศาเซลเซียส พบว่า ดินตะกอนน้ำประปามีค่าการหดตัว และค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และมีค่าการดูดซึมน้ำลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นปรากฏการณ์อย่างหนึ่งที่เกิดขึ้น ดังไพจิตร อังศิริวัฒน์ [7] กล่าวว่า เมื่อทำการเผาผลิตภัณฑ์หรือเนื้อดิน จะเกิดปรากฏการณ์การรวมตัวหลอมละลาย (Sintering) อนุภาคของเนื้อดินเดิมที่เป็นเม็ดๆ เมื่อได้รับความร้อนจนลดพื้นที่ผิว และลดความพรุนตัวลงมา การหดตัวจะมากขึ้น เนื้อดินจะมีความแกร่งหรือแข็งแรงมากขึ้น จนไม่ดูดซึมน้ำ

#### 4.2 สรุปผล

ดินตะกอนน้ำประปาโรงผลิตน้ำประปาบางเขนมีองค์ประกอบหลักเป็นควอตซ์ เคโอลินไนท์ และไบโอไทท์ โดยสารประกอบออกไซด์หลัก คือ  $\text{SiO}_2$  ร้อยละ 57 รองลงมา คือ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 27.40 และ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 7.92 จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพก่อนเผาของดินตะกอนน้ำประปา พบว่า ดินตะกอนน้ำประปามีการหดตัวเมื่อแห้งร้อยละ 7.00 และความแข็งแรงก่อนเผา 0.27 MPa และเมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 950 – 1200 องศาเซลเซียส พบว่า ดินตะกอนน้ำประปามีค่าการหดตัวเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น คือ ร้อยละ 10 – 24 มีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น คือ 0.90 – 6.04 MPa และมีค่าการดูดซึมน้ำลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น คือ ร้อยละ 7.53 – 28.70

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักวิชาการประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร และเจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์และปฏิบัติการทดสอบ ตัวอย่างจนกระทั่งสำเร็จ

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ณัฐ ดิลกเกียรติ. กองวิชาการและข้อมูลผลิตน้ำ; 15 กันยายน 2559
- [2] เกษม พุกกะวัน. (2546). การใช้ดินตะกอนประปา. [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 2560 เมษายน 2]. เข้าถึงได้จาก [https://www.mwa.co.th/art\\_takom.html](https://www.mwa.co.th/art_takom.html)
- [3] กฤษดา นุ่มนวล. การใช้ตะกอนจากระบบประปาทดแทนดินเหนียวในการผลิตอิฐมอญ [ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร; 2540.
- [4] ภาณุ ศิริพงศ์ไพโรจน์. เครื่องปั้นดินเผาจากดินตะกอนน้ำประปา. วารสารเซรามิกส์ ปีที่ 12 (ฉบับที่ 28) พฤษภาคม – สิงหาคม; 2551. หน้า 92-95.
- [5] อนุรักษ์ เอกราช กนกกัญญา รวมไมตรี และภัชราภรณ์ สุวรรณวิทยา. การใช้ตะกอนประปาเป็นส่วนผสมในน้ำเคลือบเซรามิก. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20; 8-10 กรกฎาคม พ.ศ. 2558. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2558. หน้า 1-7.
- [6] आयुวัฒน์ สว่างผล. วัตถุดิบที่ใช้แพร่หลายในงานเซรามิกส์. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์; 2543.
- [7] ไพจิตร อังศิริวัฒน์. เนื้อเซรามิก. กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮ้าส์; 2541.