

การทดลองเนื้อดินนั้น ไฮ-อะลูมินา  
สำหรับผลิตภัณฑ์ Thermocouple Tube

รายงานการวิจัย  
ของ  
นิวัตร พัฒนะ

เสนอต่อสถาบันราชภัฏทิบุรีดงคราม ตามโครงการพัฒนางานวิจัย  
ทางวิทยาศาสตร์ประยุกต์ แผนงานวิจัย งบประมาณ บำรุงการศึกษา 2540

พฤษภาคม 2541

ลิขสิทธิ์เป็นของสถาบันราชภัฏทิบุรีดงคราม จังหวัดพิษณุโลก

## สารบัญ

บทที่		หน้า
1.	บทนำ	1
	ภูมิหลัง	1
	จุดมุ่งหมายของการวิจัย	1
	ความสำคัญของการวิจัย	1
	ขอบเขตของการวิจัย	2
	ข้อตกลงเบื้องต้น	2
	นิยามศัพท์เฉพาะ	2
2	เอกสารที่เกี่ยวข้อง	4
	โครงสร้างของอะลูมินา	4
	วัตถุดิบที่มีอะลูมินาเป็นส่วนประกอบ	5
	ผลิตภัณฑ์ ไฮ-อะลูมินา	12
3	วิธีการดำเนินการวิจัย	16
	กลุ่มตัวอย่าง	16
	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	16
	สถานที่และระยะเวลาในการวิจัย	17
	วิธีการดำเนินการวิจัย	17
	การวิเคราะห์ข้อมูล	18
4.	สรุปผลการวิจัย	20
	บรรณานุกรม	
	ภาคผนวก	
	บทคัดย่อ	

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ภูมิหลัง

เนื้อดินปั้นไฮอะลูมินา (High alumina bodies) เป็นเนื้อดินปั้นที่วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมก็คือ สารประกอบของอะลูมินาเป็นตัวหลัก นอกจากนั้นจะเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบตัวอื่นๆ ได้แก่ ทัลค์ (Talc), โดโลไมท์ (Dolomite), หินปูน (Whiting), แบเรียมคาร์บอเนต (Barium carbonate), ฟลูออรสปาร์ (Fluorspar), โครมออกไซด์ (Chrome oxide), เบอริลเลียมซิลิเกต (Beryllium silicate) และดิน (Clay) เป็นเนื้อดินปั้นที่ทนความร้อนได้ดี ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดี เป็นตัวนำความร้อนที่ดี เเผาในอุณหภูมิสูง (โกลด รัชวังศ์, 2531 : 173)

เนื้อดินปั้นที่มีอะลูมินาเป็นส่วนผสม ใช้มากในอุตสาหกรรมวัตถุดิบไฟ สามารถนำไปทำ วัตถุขัดถู (Abrasive) นอกจากนั้นยังนำไปทำวัตถุอื่นๆ เช่น Thermocouple tube, Kiln wash, Valve seats, หัวเทียนเครื่องยนต์ เป็นต้น (โกลด รัชวังศ์, 2531 : 31)

ทางผู้วิจัยมีความสนใจในเนื้อดินปั้นไฮอะลูมินา จึงทำการศึกษาและทดลองหาส่วนผสมของเนื้อดินปั้นไฮอะลูมินาที่เหมาะสมสำหรับทำ Thermocouple tube เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการวัดอุณหภูมิที่สูงกว่า 1,600 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาในอุณหภูมิสูง อันจะส่งผลดีต่อการพัฒนางานในสาขาเซรามิกส์ให้ก้าวหน้าขึ้นอีกระดับหนึ่ง

#### จุดมุ่งหมายของการวิจัย

การที่วิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อ สร้างส่วนผสมเนื้อดินปั้นไฮอะลูมินาที่เหมาะสมกับการทำผลิตภัณฑ์ Thermocouple tube อุณหภูมิ 1,700 องศาเซลเซียส

#### ความสำคัญของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้จะทำให้มีข้อมูลเพียงพอสำหรับการผลิต Thermocouple tube ในระบบอุตสาหกรรม โดยใช้วัตถุดิบหลักภายในประเทศ และเป็นการช่วยลดการนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศได้อีกทางหนึ่ง

## ขอบเขตของการวิจัย

### 1. กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้มาจากการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive sampling) จำนวน 2 ตัวอย่าง คือ

1.1 อะลูมินา 1 โมเลกุล และซิลิกา 1 โมเลกุล ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ )

1.2 อะลูมินา 2 โมเลกุล และซิลิกา 1 โมเลกุล ( $2Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ )

### 2. ตัวแปรที่จะศึกษา การวิจัยครั้งนี้จะศึกษาตัวแปรต่างๆ จากคุณสมบัติทางกายภาพของ

เนื้อดินหลังจากผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,700 องศาเซลเซียส ดังนี้

2.1 ความทนไฟ

2.2 ความหดตัว

2.3 ความแข็งแรง

2.4 ประสิทธิภาพในการใช้วัตถุดิบ

## ข้อคถงเบืองต้น

เพื่อให้การวิจัยมีความเชื่อมั่นในระดับสูง จึงได้กำหนดตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่ออยู่ในสถานะคงที่ ดังนี้

### 1. วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นจะใช้เพียง 2 ชนิด คือ

1.1 ดินขาวจากจังหวัดระนอง ( $Al_2O_3 = 37.30\%$ ,  $SiO_2 = 47.10\%$ ,  $K_2O = 1.42\%$ ,  $Na_2O = 0.08\%$ ,  $Fe_2O_3 = 0.88\%$ ,  $CaO = 0.04\%$ ,  $MgO = 0.05\%$ ,  $TiO_2 = 0.05\%$ ,  $LOI = 13.06\%$ )

1.2 อะลูมินาจากแหล่งทั่วไป ( $Al_2O_3 = 100\%$ )

### 2. บดผสมวัตถุดิบด้วยหม้อบด ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 ชั่วโมง

### 3. ขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อพิมพ์ น้ำดินมีความถ่วงจำเพาะ 1.7 ความหนา 1 มม.

### 4. เผาด้วยเตาแก๊สทางเดินลมร้อนขึ้น อุณหภูมิ 1,700 องศาเซลเซียส

## นียมค้ำท้เฉพาะ

Thermocouple tube หมายถึง หลอดที่ทำหน้าที่หุ้มป้องกันเปลวไฟและการกระทบกระแทกเส้นโลหะ ที่เป็นตัววัดอุณหภูมิ ส่วนที่ยื่นเข้าไปรับพลังงานความร้อนภายในเตาเผา ซึ่งจะ



ต้องเป็นหลอดที่มีความทนความร้อนได้สูง มีความแข็งแรง และสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉียบพลันได้เป็นอย่างดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม  
Pibulsongkram Rajabhat University

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวกับอะลูมินาจากเอกสารตำรา และงานวิจัย ดังนี้

อะลูมินา (Alumina) หรืออะลูมิเนียมออกไซด์ เป็นสารประกอบที่มีอยู่ในธรรมชาติทั้งในลักษณะสารประกอบเดี่ยว และสารประกอบแร่ ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและนับวันจะมีบทบาทมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในงานเซรามิกส์ยุคใหม่ อะลูมินา ได้ชื่อว่าเป็นวัสดุมหัศจรรย์ทีเดียว ทั้งนี้ ด้วยคุณสมบัติที่พิเศษหลายประการ เช่น ทนความร้อนสูง มีความแข็งแรงมาก ความแข็งอยู่ในระดับสูง เป็นต้น จึงใช้มากในอุตสาหกรรมวัตถุทนไฟ (Refractory) วัสดุขัดถู (Abrasive) และเป็นส่วนประกอบหลักของเนื้อดินปั้นทุกชนิดที่มีดิน หรือ เฟลด์สปาร์เป็นวัตถุดิบของส่วนผสม เนื่องจากวัตถุดิบทั้งสองชนิดนี้มีอะลูมินาเป็นสารประกอบหลัก ดังนั้นในผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาทุกประเภท จึงมี อะลูมินาอยู่ด้วยเสมอ เนื้อเซรามิกส์บางชนิดใช้อะลูมินามากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมักจะเรียกว่า เนื้อดินปั้น ไฮ-อะลูมินา (High Alumina Body)

#### โครงสร้างของอะลูมินา (Structure of Alumina)

สูตรทางเคมีของอะลูมินาคือ  $Al_2O_3$  มีน้ำหนักโมเลกุล 101.94 ซึ่งในธรรมชาติเป็นสารประกอบเดี่ยวของคอร์ันดัม (Corundum) และเป็นสารประกอบไฮเดรตของบอกไซต์ (Bauxite) ไดอะสปอร์ (Diaspore) ยิบบ์ไซต์ (Gibbsite) ในโครงสร้างของอะลูมินาจะมีรูปผลึกอยู่ 2 ลักษณะใหญ่ คือ  $\alpha-Al_2O_3$  และ  $\gamma-Al_2O_3$  ในบางครั้งอาจเป็น  $\beta-Al_2O_3$  ได้ เมื่อผสมกับโซเดียมออกไซด์ เป็น  $Na_2O \cdot 11-12 Al_2O_3$  ซึ่งเป็นอะลูมินาเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป (Commercial Grade)  $\alpha-Al_2O_3$  เป็นรูปผลึกของอะลูมินาที่มีคุณสมบัติคงที่ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแม้อุณหภูมิจะเปลี่ยนไป ส่วน  $\gamma-Al_2O_3$  นั้น มักจะเป็นพวกสารประกอบไฮเดรตซึ่งถ้าได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส จะสูญเสียน้ำในโครงสร้างและเมื่อเพิ่มความร้อนถึงอุณหภูมิ 1,150-1,200 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนรูปร่างเป็น  $\alpha-Al_2O_3$

ตาราง 1 แสดงการเปลี่ยนรูปผลึกของอะลูมินาเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

(Sonja S. Singer. 1960 : 114)

$\gamma$ -Series (Low Temperature)	Composition	(31-Series (High Temperature)
Gibbsite, Hydraygillite	$Al_2O_3 \cdot 3H_2O$	Bayerite
Bauxite	$Al_2O_3 \cdot H_2O$	Diaspore
$\gamma$ -Alumina	$Al_2O_3$	Corundum

ตาราง 2 รูปผลึกของแร่ต่างๆ เป็นสารประกอบอะลูมินาและอะลูมินาไฮดรอกไซด์

(Sonja S. Singer. 1960 :114)

สูตรทางเคมี	ชื่อแร่	สัญลักษณ์ของอังกฤษ	สัญลักษณ์ของอเมริกา
$Al_2O_3$	Corundum	$\alpha$	$\alpha$
$Al_2O_3$		$\gamma$	$\gamma$
$Al_2O_3 \cdot H_2O$	Boehmite	$\gamma$	$\alpha$
$Al_2O_3 \cdot H_2O$	Diaspore	$\alpha$	$\beta$
$Al_2O_3 \cdot 3H_2O$	Gibbsite	$\gamma$	$\alpha$
$Al_2O_3 \cdot 3H_2O$	Bayerite	$\alpha$	$\beta$

ตาราง 3 แสดงคุณสมบัติเฉพาะของอะลูมินาทั้งชนิด  $\gamma-Al_2O_3$  และ  $\alpha-Al_2O_3$

( Sonja S. Singer. 1960 : 115)

คุณสมบัติ	$\gamma$ -Alumina	$\alpha$ -Alumina
ความถ่วงจำเพาะ (S.G.)	3.5-3.9	4.0
รูปผลึก (Crystalline Form)	เฮกซะ โกนอล	ไตรโกนอล
น้ำหนักโมเลกุล (M.W.)	101.94	101.94
จุดหลอมละลาย (M.P.)	2,050°C	2,050°C
จุดเดือด (B.P.)	2,250°C	2,250°C
ละลายที่อุณหภูมิ 29°C	0.000098	0.000098

## วัตถุดิบที่มีอะลูมินาเป็นสารประกอบ

1. แร่กอรันดัม หรืออะลูมิน (Corundum) สูตรเคมีคือ  $Al_2O_3$  มีรูปผลึกระบบเฮกซะโกนอล เป็นรูปหกเหลี่ยม มีหลายสี ซึ่งนิยมนำมาใช้เป็นเครื่องประดับ เช่น สีแดงหรือสีม่วง จะเรียกว่าทับทิม (Ruby) สีฟ้าหรือน้ำเงิน เรียกว่า แซปไฟร์ (Sapphire) เป็นต้น มีความแวววาวคล้ายกับเพชร ความแข็งระดับ 9 ความถ่วงจำเพาะ 4.0-4.1 มีทั้งโปร่งแสงและโปร่งใส ส่วนมากจะพบในหินแปร เช่น หินปูนที่เป็นผลึกหรือหินปกมาไทต์ ในประเทศไทยพบแร่ชนิดนี้เกิดในหินบะซอลต์ ที่จังหวัดบุรีรัมย์ กาญจนบุรี เพชรบุรี และศรีสะเกษ ต่างประเทศพบมากที่สุดที่พม่า ศรีลังกา ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา กรีซ และแอฟริกาใต้ เป็นต้น

2. หินบอกไซต์ (Bauxite) เป็นชื่อเรียกตามแหล่งที่พบ คือเมืองบอกซ์ (Baux) ในประเทศฝรั่งเศส เป็นสารผสมลักษณะเม็ดกลมๆ ขนาดเท่าเม็ดถั่วเขียวถึงผลส้ม เนื้อสีน้ำตาลเข้มเหมือนดิน มีความแข็งระดับ 1 ความถ่วงจำเพาะ 2-2.5 มีสีขาว เทา เหลืองและแดง ปกติสีจะคล้ายสนิมเหล็ก มักเกิดในแถบภูมิอากาศเขตร้อน โดยมีการผุสลายของซิลิกา หรืออัลลูมิโนซิลิเกตที่ปะปนอยู่ออกไป ซึ่งอาจเกิดจากแร่ดินหรือเฟลด์สปาร์ก็ได้ หินบอกไซต์นี้ใช้เป็นวัตถุดิบที่มี  $Al_2O_3$  อยู่ระหว่าง 60-80 เปอร์เซ็นต์ ตั้งชื่อปนที่มักพบในบอกไซต์ คือ  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  และ  $TiO_2$  ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งที่พบ ในหินบอกไซต์ประกอบด้วยแร่ยิปซัม แร่เบอห์ไมต์ และโคอะสเปอร์ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้ง 3 ชนิด

ตาราง 4 แสดงคุณสมบัติของแร่ประกอบหินบอกไซต์ (กรมทรัพยากรธรณี. 2537 : 28)

ชนิดของแร่ประกอบหินบอกไซต์	เปอร์เซ็นต์ $Al_2O_3$	เปอร์เซ็นต์ $H_2O$	ระดับความแข็ง	ความถ่วงจำเพาะ
แร่ยิปซัม ( $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ )	65.4	34.6	2.3-3.5	2.3-2.4
แร่เบอห์ไมต์ ( $Al_2O_3 \cdot H_2O$ )	85.0	15.0	3.5-5.0	3.01-3.06
แร่โคอะสเปอร์ ( $Al_2O_3 \cdot H_2O$ )	85	15	6.5-7	3.3-3.5



**สำนักวิทยบริการสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม  
พิษณุโลก**

ตาราง 5 แสดงคุณสมบัติของบอไซด์ที่ผลิตจำหน่ายจากแหล่งต่างๆ  
(กรมทรัพยากรธรณี. 2526 : 29-30)

แหล่ง	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	S.G.
China	89.0	6.0	3.3	13	0.05	3.15
USA	70.5	253	2.7	14		2.85
Guyana	883	6.5	3.2	1.8	025	3.1
Vietnam	36-39	5-9	4-9	25-29	-	

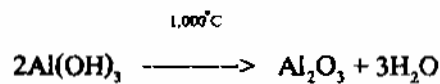
อะลูมินาที่นำมาใช้งานทั่วๆ ไปนั้น ได้มาจากการสกัดหินบอไซด์ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้กระบวนการเบเยอร์ (Bayer Method) คือ เป็นการนำบอไซด์มาละลายตัวด้วยสารประกอบโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ภายใต้ความดันและอุณหภูมิประมาณ 160-170 องศาเซลเซียส จะได้โซเดียมอะลูมิเนต ดังสมการ



หลังจากนั้นนำโซเดียมอะลูมิเนตมาทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) เนื่องจากโซเดียมอะลูมิเนตเป็นสารที่ไม่คงตัว (Unstable) จึงสามารถทำปฏิกิริยากับ CO<sub>2</sub> ได้ง่าย และเมื่อละลายในน้ำจะสามารถแยกอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ [2Al(OH)<sub>3</sub>] ออกมาได้



เมื่อได้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์แล้ว ก็ไม่เป็นการยากที่จะทำให้เหลือเป็น Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> อย่างเดียว เพียงแต่นำอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ไปเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส บางครั้งเผาสูงถึง 1,200 องศาเซลเซียส ก็จะสามารถสกัดเอา Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> จากหินบอไซด์มาใช้งานได้



การสกัดอะลูมินาจากบอไซด์ ตามวิธีการเบเยอร์นี้จะสามารถนำอะลูมินามาใช้งานได้ 2 ลักษณะตามความเหมาะสม คือ อะลูมินาไฮดรต และอะลูมินาแคลไซน์

124240

๓  
๖๖.๕๖  
๕๓๑๐

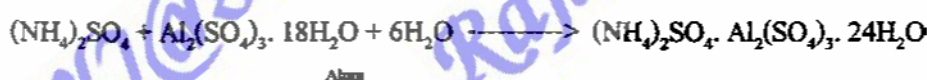


อะลูมินาไฮดรต (Alumina Hydrate) มีน้ำอยู่ในส่วนประกอบ 3 โมเลกุลหรือประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก โครงสร้างเป็นรูปผลึกแบบชิบิไซต์ ความแข็งเพียง 2.4-3.0 ความถ่วงจำเพาะ 2.4 เป็นเกรดที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ทั่วไป

อะลูมินาแคลไซน์ (Calcined Alumina) ซึ่งได้จากการนำอะลูมินาไฮดรตมาเผาที่อุณหภูมิ 1,000-1,200 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของวิธีการเบเซอร์นั่นเอง จะได้อะลูมินา 98-99 เปอร์เซ็นต์ โดยโครงสร้างจะมีรูปผลึกแบบ  $\alpha$  ความถ่วงจำเพาะ 3.3-3.9 จะใช้ในงานที่ต้องการความบริสุทธิ์สูง เช่น ผลิตภัณฑ์อะลูมินา นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเติมเต็มในเคลือบและแก้วเป็นต้น

นอกจากนี้ยังสามารถนำอะลูมินามาใช้ได้อีก 2 ลักษณะ คือ อะลูมินาแทบูลาร์ (Tabular Alumina) ซึ่งเป็นอะลูมินาความหนาแน่นสูง มีปริมาณ  $\alpha$ - $Al_2O_3$  มากกว่า อะลูมินาแคลไซน์ เนื่องจากผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงถึง 1,650 องศาเซลเซียส นิยมนำมาใช้ผสมวัสดุทนไฟ และอีกลักษณะหนึ่งคือ อะลูมินาฟิวส์ (Fused Alumina) เป็นการหลอมอะลูมินาแคลไซน์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 2,000 องศาเซลเซียส รูปผลึกจะเป็น  $\alpha$  ที่สมบูรณ์ นำมาใช้เป็นสารขัดถู (Abrasive)

การสกัดออกไซด์เพื่อให้ได้อะลูมินานั้นยังไม่สามารถสร้างอะลูมินาบริสุทธิ์ได้ มักจะมีไฮดรอกไซด์ปะปนอยู่ ซึ่งจะมีผลต่อผลิตภัณฑ์อะลูมินาอย่างมาก ในปัจจุบันสามารถสร้าง  $Al_2O_3$  บริสุทธิ์กว่าวิธีการเบเซอร์ คือ ใช้กระบวนการทางเคมีที่เรียกว่าอะลัม (Alum) อาศัยหลักการละลาย และตกผลึกซ้ำ โดยใช้น้ำแอมโมเนียมซัลเฟต  $(NH_4)_2SO_4$  ทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมซัลเฟต  $[Al_2(SO_4)_3]$  ไฮดรต ดังสมการ



จากนั้นนำอะลัมที่บริสุทธิ์มาให้ความร้อน จะเกิดการสลายตัวเป็นอะลูมินาไฮดรต และถ้าอุณหภูมิสูงถึง 1,000-1,200 องศาเซลเซียส จะได้  $\alpha$  อะลูมินาที่มีความบริสุทธิ์ถึง 99.995 เปอร์เซ็นต์

3. แร่กลุ่มซิลลิมาไนต์ (Sillimanite Group) เป็นแร่ที่ประกอบด้วยอะลูมินา และซิลิกา ( $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ ) ในธรรมชาติจะมีแร่อยู่ 3 ชนิด ที่มีส่วนประกอบเหมือนกัน จะมีความแตกต่างกันที่คุณสมบัติเฉพาะ ได้แก่

3.1 ซิลลิมาไนต์ (Sillimanite) มีรูปผลึกระบบออร์โทโรมบิก มีลักษณะเป็นแท่งเล็กยาว ความแข็งระดับ 6-7 ความถ่วงจำเพาะ 3.23 แว้ววาวคล้ายแก้ว มีสีน้ำตาล เขียวอ่อน ขาว โปร่งใสถึงโปร่งแสง ไม่ละลายในกรด นับเป็นแร่ที่หายาก พบอยู่ในหินแปร พวกไนต์และชีสต์ มักเกิด

ร่วมกับพวกคอร์ันดัม ในประเทศไทยพบบริเวณภาคเหนือ ส่วนต่างประเทศที่มีคุณภาพดีจะพบที่ อินเดีย สหรัฐอเมริกา โบฮีเมีย บาวาเรีย บราซิลและแอฟริกาใต้

3.2 ไคยาไนต์ (Kyanite) เป็นรูปผลึกระบบไตรคลินิก มีลักษณะยาวแบนเป็นแผ่น คล้ายใบมีด ความแข็งระดับ 5-7 ความถ่วงจำเพาะ 3.55-3.66 แวววาวคล้ายแก้วหรือมุก มีสีน้ำเงินขาว เทาหรือเขียว พบในหินแปรพวกไนส์และชีสต์ มักเกิดร่วมกับการ์เนต (Garnet) สตอโรไลต์ (Staurolite) และคอร์ันดัม ในประเทศจะพบในแถบภาคใต้และภาคเหนือทั่วไป แหล่งสำคัญในต่างประเทศ คือ สวิตเซอร์แลนด์ ฝรั่งเศส สหรัฐอเมริกา (ที่รัฐคาโรไลนา และเวอร์จิเนีย) แอฟริกา รัสเซียและเคนยา

3.3 แอนดาลูไซต์ (Andalusite) เป็นชื่อของเมืองแอนดาลูเซียในประเทศสเปน รูปผลึกระบบออร์โธโรมบิก (Orthorhombic) ความแข็งระดับ 7.5 ความถ่วงจำเพาะ 3.16-3.20 แวววาวคล้ายแก้ว มีสีแดงเข้ม สีส้มตาล หรือสีเขียวมะกอก โปร่งแสงถึงโปร่งใส เกิดจากการแปรสภาพของหินดินดาน (Shale) หรือหินชนวน (Slate) ที่มีอะลูมิเนียมสูง ในประเทศไทยจะพบตามบริเวณที่หินแปรถูกเปลี่ยนแปลงมาจาก หินแกรนิต แถบจังหวัดพังงา ภูเก็ต และระนอง สำหรับในต่างประเทศแหล่งที่สำคัญคือ สเปน ออสเตรเลียทางตอนใต้ บราซิล สวีเดน ฝรั่งเศส รัสเซีย เยอรมนี และที่ รัฐเนวาดา แคลิฟอร์เนียและแมสซาชูเซตของสหรัฐอเมริกา

ตาราง 6 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของแร่แอนดาลูไซต์และไคยาไนต์บางแหล่ง (Sonja S. Singer. 1960 : 112)

	Theoretical	Andalusite			Kyanite		
		California	Massachusetts	Brazil	N. Carolina	Kenya	Virginia, U.S.A.
SiO <sub>2</sub>	37.07	33.78	39.78	37.24	37.70	By difference	37.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	62.93	56.89	58.56	62.07	61.40	58-60	58.72
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			0.6 I	2.30	0.15	not exceeding 0.75	1.17
Ignition loss		3.67			0.10	TiO <sub>2</sub> not exceeding 1.5	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0.20
Others		5.74			0.28	Fluxes not exceeding 0.5	TiO <sub>2</sub> 1.25
	100.00	100.08	98.26	101.61	99.78		MgO Trace KNaO 0.59 Ignition loss 0.38 P.C.E. cone 36-37

นอกจากแร่ทั้ง 3 ชนิดในกลุ่มซิลลิมาไนต์แล้ว ยังมีวัตถุอีกชนิดหนึ่งซึ่งเป็นสารประเภท อะลูมิโนซิลิเกตเช่นเดียวกัน เพียงแต่มีความแตกต่างกันที่สัดส่วนของ  $Al_2O_3 \cdot SiO_2$  เป็นสารสังเคราะห์ที่มีชื่อว่ามุลไลต์ (Synthetic Mullite) ได้จากการนำอะลูมินาและซิลิกาบริสุทธิ์มาผสมกันแล้วเผาที่อุณหภูมิ 1,800 องศาเซลเซียส จะได้อะลูมิโนซิลิเกตที่มีความบริสุทธิ์มาก สูตรเคมีของมุลไลต์ คือ  $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  มีความถ่วงจำเพาะ 3.16

ตาราง 7 สรุปคุณสมบัติของแร่กลุ่มซิลลิมาไนต์ (Sonja S. Singer. 1960 : 111)

Name	Site	Kyanite	Andalusite	Mullite
Formula	$Al_2O_3 \cdot SiO_2$	$Al_2O_3 \cdot SiO_2$	$Al_2O_3 \cdot SiO_2$	$3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$
Crystal system	Rhombic	Triclinic	Rhombic	Rhombic
From	Slender prismatic crystal-felted mass of fibres	Broad elongated plates-tabular parallel to 100	Euhedral crystals or coarse columnar aggregates. Cross-section nearly square	Long prismatic habit with nearly square cross-section
Refractive indices :				
alpha	1.680	1.728	1.643	1.654/1.673
beta	1.660	1.720	1.639	1.644
gamma	1.659	1.712	1.634	1.640, 1.652
2V (Axial angle)	20°	82°	84°	45-50°
Optic sign	+			+
Colour	Colourless	Colourless to pale blue	Usually colourless	Colourless
Birefringence	0.021 Rather strong and up to second-order blue	0.016 Moderate, up to first-order red	0.019 Moderate, first-order yellow	0.012 to 19 Moderate, first-order yellow
Extinction	Parallel	On 100 is about 30° with length of crystals	Parallel in most sections	Parallel
Specific gravity	3.23	3.60	3.15-3.16	3.16
Hardness	6-7	4-5 parallel, 6-7 across the blades	7.5	



ตาราง 7 (ต่อ)

Name	Silimanite	Kyanite	Andalusite	Mullite
Temperature of decomposition:				
1) to give mullite and vitreous silica	1,545°C	1,350-1,380°C	1,380-1,400°C	
2) to give corundum and liquid silica	1,810°C	1,810°C	1,810°C	1,810°C

4. โทเปซ (Topaz) มีสูตรทางเคมีคือ  $Al_2(SiO_3)(F, OH)$ , เป็นชื่อมาจากเกาะโทปาเซียน (Topazion) ในทะเลแดง เป็นแร่ที่มีรูปผลึกแบบออร์โธโรมบิก มีลักษณะเป็นมวลเมล็ด เนื้อสมานแน่น ความแข็งระดับ 8 ความถ่วงจำเพาะ 3.4-3.6 แนววากคล้ายแก้ว มีทั้งไม่มีสี มีสี เช่นสีเหลือง ชมพู น้ำเงินและเขียว ซึ่งชนิดสีเหลืองหมายถึงรัตนชาติบุษราคัม มักเกิดปะปนกับแร่ดีบุก อะพาไทต์ ควอตซ์ ไมกาและเฟลด์สปาร์ ในประเทศไทยพบที่ อำเภอฉวาง จังหวัดภูเก็ต หาดส้มแป้น อำเภอเมือง จังหวัดระนอง ตำบลคลองจิ่งและร้อนหินบุต จังหวัดนครศรีธรรมราช สำหรับในต่างประเทศนั้นแหล่งที่สำคัญได้แก่ รัสเซีย เทือกเขาคอราลในบราซิล ญี่ปุ่น ศรีลังกา เม็กซิโก ออฟริกา และที่เซาต์คาโรไลนา แคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา

ตัวอย่างผลวิเคราะห์ส่วนประกอบและคุณสมบัติบางประการจากแหล่งเซาต์คาโรไลนา (Sonja S. Singer, 1960: 113)

SiO <sub>2</sub>	372 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	532 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4 %
F	14.1 %
LOI	09 %

ความแข็งระดับ 8 ความถ่วงจำเพาะ 3.4 - 3.6

ตามปกติโทเปซที่ผสมในเนื้อดินปั้นนั้นจะเริ่มเปลี่ยนแปลงผลึกที่อุณหภูมิ 815 องศาเซลเซียส และซิลิกาจะเริ่มกลายเป็นแก้วพร้อมกับเกิดมุลไลต์ที่อุณหภูมิ 1,090 - 1260 องศาเซลเซียส โดยจะเกิดผลึกมุลไลต์ที่สมบูรณ์เมื่ออุณหภูมิ 1,650 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะจะลดลงเหลือ 3.1 มี Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และ ซิลิกา ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

เซตเซียส โดยจะเกิดผลึกมุลไลต์ที่สมบูรณ์เมื่ออุณหภูมิ 1,650 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะจะลดลงเหลือ 3.1 มี  $Al_2O_3$  ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และ ซิลิกา ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

5. **คูมอริเทอไรต์ (Dumortierite)** เป็นวัสดุที่มีส่วนประกอบทางเคมีดังนี้ คือ  $8Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot B_2O_3 \cdot H_2O$  ซึ่งจัดว่าเป็นมุลไลต์อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 1,230 องศาเซลเซียส) มีความถ่วงจำเพาะ 3.2-3.3 ความแข็งอยู่ในระดับ 7 พบที่เนวาดา สหรัฐอเมริกา

อะลูมินานั้นยังปรากฏอยู่ในส่วนประกอบของแร่อีกหลายชนิดในปริมาณที่แตกต่างกันไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นสารประกอบหลักของแร่ดิน ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ) แร่เฟลด์สปาร์ ( $KNaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ ) และ โฟโรฟิลไลต์ ( $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ ) ซึ่งเป็นแร่ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในงานด้านเซรามิกส์ รายละเอียดจะได้กล่าวถึงในบทต่อๆ ไป ส่วนแร่อื่นๆ ที่มีอะลูมินาอยู่ในส่วนประกอบนั้นมีหลายชนิด เช่น สตอโรไลต์ (Staurolite)  $Fe_2Al_3O_7 (SiO_2)_4 (OH)$  เอพิโดต (Epidote)  $Ca_2(Al, Fe) Al_2O (SiO_2) (Si_2O_7) (OH)$  เบริล (Beryl)  $Be_3Al_2 (Si_6O_{18})$  แกมมेट (Garnet)  $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$  และลาซูลิต (Lazulite)  $Al_2(PO_4)_2 (OH)$  , ซึ่งเป็นที่ไม่นิยมนำมาใช้ในงานด้านนี้

#### ผลิตภัณฑ์ ไฮ-อะลูมินา (High-Alumina Ceramics)

เป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่มีอะลูมินาอยู่ในส่วนผสมมากกว่า 80-90 เปอร์เซ็นต์ มีความแข็งแรงเชิงกลสูงกว่าผลิตภัณฑ์ออกไซด์เซรามิกส์ชนิดอื่นๆ ซึ่งนิยมใช้ทำพวกวัสดุขัดถู (Alumina Abrasive) เครื่องมือตัด (Cutting Tool) หัวเทียน (Alumina Sparking Plug) ลูกบอล (Alumina Ball) กระสวยนำร่องเส้นค้ำย (Alumina Tactite Treadguide) ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ แผ่นรองวงจรรีเลย์ทรอนิก (Alumina Substrates) หลอดไฟโซเดียม (Sodium Vapor Lamp) ฟิลเตอร์น้ำ (Alumina Filter) ครุฑีเบ็ต (Alumina Crucible) เป็นต้น ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ ไฮอะลูมินาแบ่งได้เป็น 12 กลุ่ม ตามปริมาณของอะลูมินา ดังแสดงในตาราง 8



ตาราง 8 แสดงผลิตภัณฑ์อะลูมินาทั้ง 12 กลุ่ม ที่เหมาะสมกับการใช้งานในลักษณะแตกต่างกัน  
(R. Morrell. 1987 : 3)

Group	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> content, %	Grain size**	Porosity	IEC class	Type of product and application
<b>Fine-grained, dense, impervious materials:</b>					
A1	>99.6	fine	closed	799	Electrical, engineering, biomedical
A2	>99.8	fine-medium	closed (very low)		Translucent materials, high-pressure sodium vapour lamps, other optical applications
A3	>99.5	v. fine medium	closed		Hot-pressed, limited engineering use, such as machine-tool tips
A4	>99.6	medium	nominally closed	799 (if gas tight)	'Recrystallized' materials, high-temperature uses
A5	99-99.6	fine	closed	799	Sintered, general electrical and engineering
A6	96.5-99	fine	closed	795	Sintered, general electrical and engineering
A7	94.5-96.5	fine	closed	786,795	Sintered, general electrical and engineering
A8	86-94.5	fine	closed	786	Sintered, general electrical and engineering
A9	80-86***	fine	closed	780	Sintered, general electrical and engineering
<b>Fine-to coarse-grained, open-porous materials:</b>					
A10	>99.6	fine-coarse	open	530 (?)	Sintered, refractory material, fine-grained versions have electrical and electronic uses
A11	90-99.6	fine-coarse	open	530(?)	Sintered, controlled porosity, refractory uses, filter media
A12	80-90	medium-	open	530(?)	Sintered, refractory uses, filter media <i>abrasive</i> media

ตาราง 9 แสดงข้อมูลสำหรับเป็นแนวทางในการเลือกใช้งานผลิตภัณฑ์ ไฮ-อะลูมินาและ ผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดอื่นๆ (R. Morrell, 1987 : 11)

Requirement	Criterion	Type of high-alumina ceramic*			Other type of ceramic**
		Best	Alternative	Avoid	
<b>Properties:</b>					
Thermal Expansion	high	***	-		ZrO <sub>2</sub> , forsterite, glass-ceramics
	low	***	A9 (high mullite)		Cordierite, SiC, Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , mullite, glass-ceramics
Thermal conductivity	high	A1, A2, A3	A5	A8-A12	BeO, SiC, WC
	low	A8-A12		A1-A6	ZrO <sub>2</sub> , most silicates
Elastic moduli	high	A1-A3	A5	A4, A9-A12	SiC, WC
	low	A9-A12	A8	A1-A7	ZrO <sub>2</sub> , most silicates
Strength, 25°C	high	A1, A3	A5	A4, A8-A12	ZrO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /ZrO <sub>2</sub> , HPSN, sialons
	low	A10-A12		A1-A9	Porous alumino-silicates
Strength, high temperatures	high	A1-A4	A5	A7-A9	SiC, RBSN, some sialons
Fracture toughness	high	A1, A3	A7 (1)	A7 (2)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /ZrO <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub>
Static Fatigue resistance		A1	A2, A3	A6-A9	Non-oxides
Creep resistance		A2, A4	A5	A8, A9	SSC, RBSN
Hardness	high	A1-A3	A5	A4, A9-A12	SiC, B <sub>4</sub> C, Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>
Wear resistance	abrasion	most		-	SiC, B <sub>4</sub> C, Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>
	sliding	A5-A5-A7	A8		SiC, Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , ZrO <sub>2</sub>
	impact	A1, A5-A7		A7 (2)	ZrO <sub>2</sub> , SiC, Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , WC
Thermal shock resistance	high	***			SiC, RBSN, HPSN, glass-ceramics, mullite, cordierite

Requirement	Criterion	Type of high-alumina ceramic*			Other type of ceramic**
		Best	Alternative	Avoid	
Thermal shock resistance	high	***			SiC, RBSN, HPSN, glass-ceramics, mullite, cordierite
	low		A9	A1-A8	SiC, TiO <sub>2</sub> , **** WC, some glass, carbon
Permittivity	high	A1, A5		A8, A9	TiO <sub>2</sub> , titanates
	low	A8, A9		A1-A7	Silicates
Dielectric loss	low	A1, A2, A5	A6	A8-A9	BeO
Dielectric loss	low	A1, A2, A5	A6	A8-A9	BeO
Dielectric breakdown resistance	high	A1, A2	A5-A9	A4	BeO, porcelains
Translucence	-	A2		most	Glasses, sapphire, glass-ceramics, quartz
Coloration	-	A6-A9	-	A1	
Corrosion resistance	acids	A1, A2, A7 (2)		many	RBSC, SSC
	alkalis		A1, A2	most	SSC, some zirconias
	reactive metals	A4 (for some)	A10-A12	A6, A7	ZrO <sub>2</sub> , ThO <sub>2</sub> , carbon
	hot gases	A1, A2, A4		A6-A9	
	melts	A1, A4		most	Carbon
<b>Processing characteristics:</b>					
Size	large	A4-A6	A7-A12	A1-A3	Porcelains
	small	most			
Green shape complexity	good	A7-A9	A6	A1-A5	Steatites, porcelains
Grindability	good	A7-A9	A6	A1, A3	
Metallizing	good	A1, A5, A6	A7-A9	A3, A4, A10-A12	
Cost/unit	low	A7-A9	A4, A6	A1-A3	

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินการวิจัย

เพื่อให้งานวิจัยครั้งนี้บรรลุตามวัตถุประสงค์ ได้ดำเนินการตามรายละเอียดต่อไปนี้

1. กลุ่มตัวอย่าง
2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย
3. สถานที่และระยะเวลา
4. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
5. การวิเคราะห์ข้อมูล

#### กลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจง 2 กลุ่มดังนี้

1.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  :  $\text{SiO}_2$   
1 : 1
2.  $2\text{Al}_2\text{O}_3$  :  $\text{SiO}_2$   
2 : 1

#### เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ซึ่งแบ่งเป็น 2 หัวข้อ do

1. วัสดุดิบ
  - 1.1 ดินขาว
  - 1.2 อะลูมินา
2. เครื่องมือและอุปกรณ์
  - 2.1 เครื่องชั่ง
  - 2.2 หม้ออบขนาด 3 กิโลกรัม
  - 2.3 พิมพ์หล่อแท่งทดลองและผลิตภัณฑ์
  - 2.4 เตาแก๊ส
  - 2.5 แก๊ส L.P.G.



2.6 ออกซิเจน

2.7 เครื่องวัดอุณหภูมิ

### สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

สถานที่ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ โรงฝึกงานเทคโนโลยีเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยี อุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏสงคราม

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ตั้งแต่เดือน กรกฎาคม 2540 ถึง เดือนพฤษภาคม 2541 รวมทั้งสิ้น 10 เดือน

### วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ของเนื้อดินปั้นหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,700 องศาเซลเซียส

1.1 นำวัตถุดิบแต่ละตัวที่คำนวณไว้ มาซึ่งผสมกันตามสัดส่วนของแต่ละสูตร สูตรละ 3,000 กรัม

1.2 นำส่วนผสมมาบดด้วยหม้อบดขนาด 3 กิโลกรัม

1.3 นำมาหล่อเป็นแท่งทดลองในพิมพ์ที่เตรียมไว้

1.4 ทำสัญลักษณ์ที่แท่งทดลองแต่ละสูตร แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง

1.5 นำแท่งทดลองมาเผาที่อุณหภูมิ 1,700 องศาเซลเซียส

1.6 นำแท่งทดลองที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,700 องศาเซลเซียส มาทดสอบ ความหดตัว ความดูดซึมน้ำ ความแข็งแรง

2. การทดสอบคุณสมบัติการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อพิมพ์

2.1 สร้างแบบพิมพ์ที่ทำจากปูนปลาสเตอร์

2.2 นำน้ำดินเนื้อดินปั้นมาหล่อใน แบบพิมพ์ Tube ที่เตรียมไว้แล้วตกแต่งทิ้งไว้ให้แห้ง

2.3 นำผลิตภัณฑ์ที่ตกแต่งและแห้งสนิทแล้วไปเผาที่อุณหภูมิ 1,700 องศาเซลเซียส

2.4 นำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผา 1,700 องศาเซลเซียส มาวิเคราะห์ผลการทดลอง



## การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูล ดังต่อไปนี้

1. ความหดตัว วิเคราะห์โดยการวัดขนาดความยาวของแท่งดินเปียกก่อนเผา แล้วเปรียบเทียบกับความยาวของแท่งทดลองที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,700 องศาเซลเซียส แล้วนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความหดตัวโดยใช้สูตร ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความหดตัว} = \frac{\text{ความยาวดินเปียก} - \text{ความยาวดินหลังเผา}}{\text{ความยาวดินเปียก}} \times 100$$

2. ความดูดซึมน้ำ วิเคราะห์โดยการชั่งน้ำหนักแท่งทดลองที่ผ่านการเผา 1,700 องศาเซลเซียส และนำไปต้มในน้ำเดือดจนอิ่มตัว แล้วก็ชั่งน้ำหนักหลังการต้มอีกครั้ง นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความดูดซึมน้ำ ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักหลังต้ม} - \text{น้ำหนักก่อนต้ม}}{\text{น้ำหนักหลังต้ม}} \times 100$$

3. ความแข็งแรง วิเคราะห์โดยการนำแท่งทดลองที่ผ่านการเผาอุณหภูมิ 1,700 องศาเซลเซียส แล้วนำมารับน้ำหนักจนกระทั่งทดลองหัก แล้วคำนวณหาค่าความแข็งแรง โดยใช้สูตร ดังนี้

$$R = \frac{3 WL_2}{2 bh_2}$$

โดย R = ค่าความแข็งแรงของเนื้อดินปั้น (ก.ก. / ซม.)

W = แรงที่ทำให้แท่งทดลองหัก (ก.ก.)

L = ระยะห่างของที่รองรับแท่งทดลอง (ซ.ม.)

b = ความกว้างของแท่งทดลอง (ซ.ม.)

h = ความหนาของแท่งทดลอง (ซ.ม.)

4. ทดสอบประสิทธิภาพในการวัดอุณหภูมิ ด้วยการนำมาประกอบกับชุดวัดอุณหภูมิแล้ว  
ใช้วัดเปรียบเทียบกับ Thermocouple มาตรฐาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม  
Pibulsongkram Rajabhat University

บทที่ 4  
สรุปผลการวิจัย

ตอนที่ 1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,700 องศาเซลเซียส ซึ่งมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 10

ตาราง 10 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของ  
เนื้อดินปั้น หลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 1,700 องศาเซลเซียส

กลุ่มตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์การหดตัว เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ เฉลี่ย	ค่าความแข็งแรงเฉลี่ย (ก.ก./ซ.ม. <sup>2</sup> )
1	15.5	0.10	372.3
2	14.3	1.5	335.2

ตอนที่ 2 การทดสอบความสามารถในการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ ปรากฏว่าทั้งสองกลุ่มตัวอย่างสามารถขึ้นรูปได้ดี โดยไม่มีปัญหาใดๆ

ตอนที่ 3 การทดสอบความเที่ยงตรงในการวัดอุณหภูมิ จากการทดสอบด้วยการเปรียบเทียบกับ Thermocouple มาตรฐาน ปรากฏว่าทั้งสองกลุ่มตัวอย่างมีประสิทธิภาพการวัดอุณหภูมิ อยู่ที่ค่าความผิดพลาด 1-2 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ปกติ

สรุปผลการวิจัย

ภายหลังจากการดำเนินการวิจัย สามารถสรุปได้ว่า Thermocouple Tube ที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถ นำมาใช้งานประกอบกับชุดวัดอุณหภูมิสำหรับเตาเผาเซรามิกส์หรืองานเตาเผาอื่นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยทุกประการ

บรรณานุกรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา  
Pibulsongkram Rajabhat University

## บรรณานุกรม

โกมล รัชวงศ์. วัสดุที่ใช้ในงานเครื่องปั้นดินเผาและเนื้อดินปั้น . นนทบุรี : สำนักพิมพ์โรงเรียนมารดานุเคราะห์, 2531.

ปรีดา พิมพ์ขาวชา. เซรามิกส์, พิมพ์ครั้งที่ 3 . กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

R. Morrel. Handbook of properties of technical and engineering cermics, London : Her majesty's stationery office, 1985.

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม  
Pibulsongkram Rajabhat University

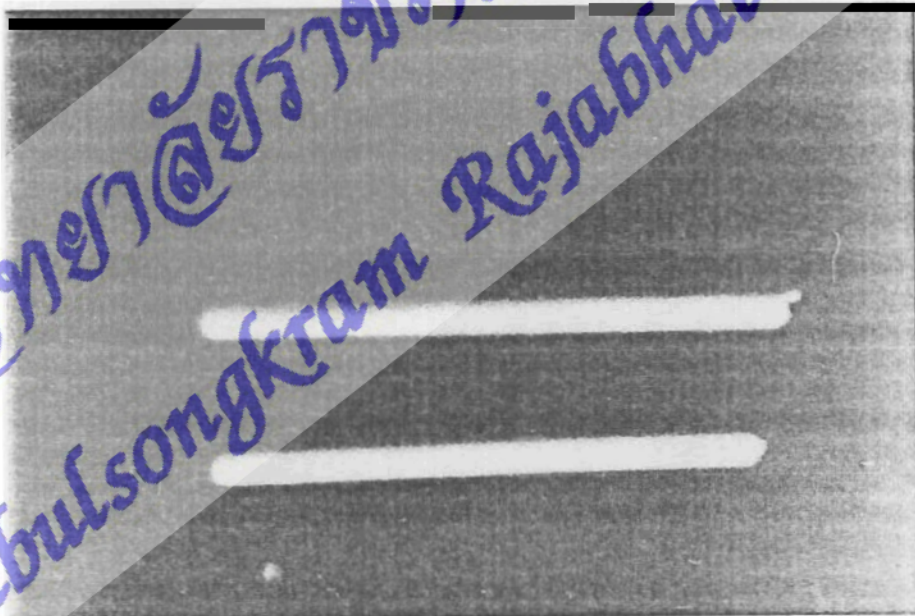


ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง  
Pibulsongkram Rajabhat University

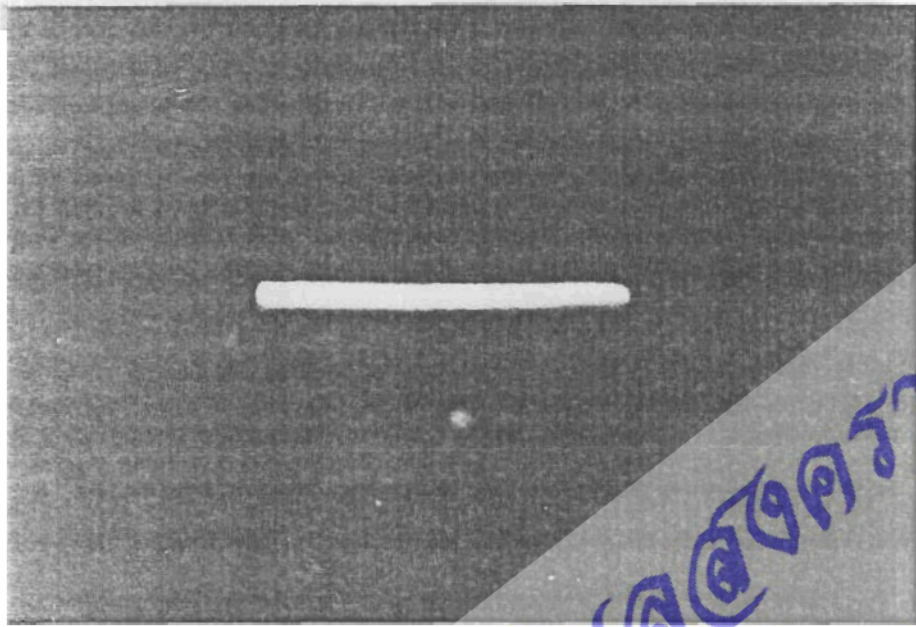


ภาพประกอบ 1 แสดงการหั่นเนื้อดินจากแบบพิมพ์พลาสติก

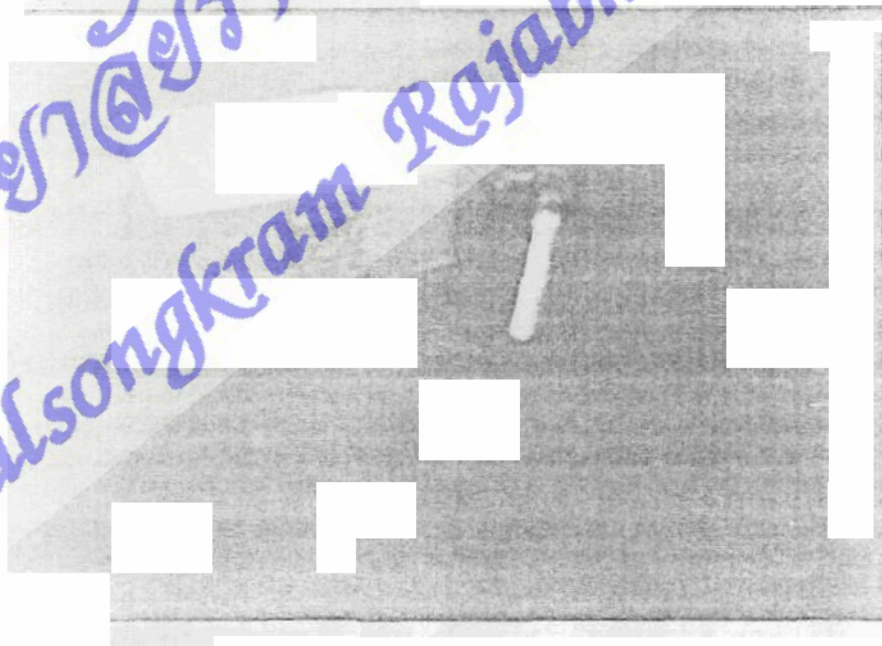


ภาพประกอบ 2 แสดงผลิตภัณฑ์ที่แห้งรอการเผา

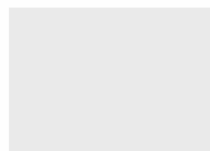
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา  
Pibulsongkram Rajabhat University



ภาพประกอบ 3 แสดง Thermocouple tube ภายหลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 1,700 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 4 แสดงการประกอบ Thermocouple tube กับชุดวัดอุณหภูมิ



การทดลองเนื้อดินปืนไฮ-อะมิโน  
สำหรับผลิตภัณฑ์ Thermocouple Tube

บทคัดย่อ  
ของ  
นิวัตร พัฒนะ

เสนอต่อสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม ตามโครงการพัฒนางานวิจัยทาง  
วิทยาศาสตร์ประยุกต์ แผนงานวิจัย งบประมาณ บำรุงการศึกษา 2540  
พฤษภาคม 2541

ลิขสิทธิ์เป็นของสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก



## บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่อง การทดลองเนื้อดินปั้น ไฮ-อะลูมินา สำหรับผลิตกัณฑ์ Thermocouple Tube ครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อ สร้างส่วนผสมเนื้อดินปั้นไฮ-อะลูมินาที่เหมาะสมกับการทำผลิตกัณฑ์ Thermocouple Tube โดยใช้กลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มแบบเจาะจงจำนวน 2 ตัวอย่าง คือ  $Al_2O_3 : SiO_2$  และ  $2Al_2O_3 : SiO_2$  นำมาคำนวณหาส่วนผสมที่เป็นวัตถุดิบประเภทดิน และอะลูมินา เข้าสู่กระบวนการบดผสม ขึ้นรูป และเผาที่อุณหภูมิ 1,700 องศาเซลเซียส แล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ด้าน ความหดตัว ความดูดซึมน้ำ ความแข็งแรง และความเหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยการหล่อพิมพ์ รวมทั้งประสิทธิภาพในการวัดอุณหภูมิ ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลปรากฏว่า เนื้อดินปั้นทั้ง 2 ตัวอย่างมีคุณสมบัติเหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการใช้ทำผลิตกัณฑ์ Thermocouple Tube เพื่อวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาได้เป็นอย่างดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร  
Pibulsongkram Rajabhat University