วศ วพ
18

เอกสารผลงานวิจัย

เรื่อง

การวิจัยและพัฒนาเนื้อดินหล่อและเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ ของเครื่องปั้นดินเผา จังหวัดราชบุรี

ของ

นางวรรณา ต.แสงจันทร์ นักวิทยาศาสตร์ 7 ว.

กลุ่มวิจัยและพัฒนา
ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เอกสารผลงานวิจัย

เรื่อง

การวิจัยและพัฒนาเนื้อดินหล่อและเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ ของเครื่องปั้นดินเผา จังหวัดราชบุรี

ของ

นางวรรณา ต.แสงจันทร์ นักวิทยาศาสตร์ 7 ว.

เลขหมู่ วค ดพช
18
เลขทะเบียน 11577
วันที่ 16 ธ.ค. 46

ด้วยอภินันทนาการ
จาก
วค.
.....

กลุ่มวิจัยและพัฒนา
ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กรมวิทยาศาสตร์บริการ ผู้บังคับบัญชาทุกท่านที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยและพัฒนาเนื้อดินหล่อและเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนา และขอขอบคุณข้าราชการและเจ้าหน้าที่ฝ่ายต่าง ๆ ที่ได้ให้ความร่วมมืออย่างดียิ่งในการศึกษาวิจัยและจัดทำรายงานฉบับนี้

บทคัดย่อ

การวิจัยและพัฒนาเนื้อดินหล่อและเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ของเครื่องปั้นดินเผา จังหวัดราชบุรี เป็นส่วนหนึ่งของโครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จังหวัดราชบุรี การศึกษาวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเนื้อดินหล่อจากดินขาวด่านทับตะโก และดินเหนียวแหล่งสมถะ ซึ่งเป็นวัตถุดิบของจังหวัดราชบุรี โดยมีส่วนประกอบดังนี้คือ ดินขาวด่านทับตะโก 80 ส่วนโดยน้ำหนัก, ดินเหนียวแหล่งสมถะ 20 ส่วนโดยน้ำหนัก, น้ำ 40 ส่วนโดยน้ำหนัก และโซเดียมซิลิเกต 0.22 ส่วนโดยน้ำหนัก สามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ ๆ เช่น ของประดับตกแต่ง ของใช้ ของที่ระลึก ฯลฯ โดยวิธีการหล่อแบบ และได้พัฒนาเคลือบชนิดไลม์ซิงค์ ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้คือ แร่ฟันม้า ร้อยละ 41.1, หินปูน ร้อยละ 18.5, ซิงค์ออกไซด์ ร้อยละ 9.0, ดินขาว ร้อยละ 4.8 และควอรตซ์ ร้อยละ 26.6 ใช้กับผลิตภัณฑ์ดังกล่าว เผาที่อุณหภูมิ 1180°ซ. ได้เคลือบใส มันวาว หลอมตัวดี และได้พัฒนาเป็นเคลือบสีต่าง ๆ

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ

บทคัดย่อ

สารบัญตาราง **ก**

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัยและพัฒนา 1

1.2 ข้อมูลเบื้องต้นจากเอกสารทางวิชาการ 1

1.3 วัตถุประสงค์ 3

1.4 ขอบเขตของการวิจัยและพัฒนา 3

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 4

1.6 ระยะเวลาดำเนินการ 4

บทที่ 2 การศึกษาทดลองเนื้อดินหล่อสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ 5

2.1 วิธีดำเนินการทดลอง 5

2.1.1 วัตถุดิบ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ 5

2.1.2 การศึกษาสมบัติของดินขาวและดินเหนียว 6

2.1.3 การเตรียมน้ำดิน 7

2.1.4 การทดสอบสมบัติกายภาพของน้ำดิน 7

2.1.5 การทดสอบสมบัติกายภาพของเนื้อดิน 8

2.1.6 การทดลองทำเป็นผลิตภัณฑ์ 8

2.2 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 8

2.2.1 ผลการทดสอบสมบัติกายภาพของน้ำดิน 8

2.2.2 ผลการทดสอบสมบัติกายภาพของเนื้อดิน 9

2.2.3 ผลการทดลองทำเป็นผลิตภัณฑ์ 9

2.3 สรุปผลการทดลองเนื้อดินหล่อ 9

บทที่ 3 การศึกษาทดลองเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ 10

3.1 วิธีดำเนินการทดลอง 10

3.1.1 วัตถุดิบ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ 10

3.1.2 การทดลองเคลือบใส 11

3.1.3 วิธีการทดลองเคลือบ 14

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
3.1.4	การทดสอบการเข้ากันได้ของเนื้อดินกับเคลือบ	14
3.1.5	การพัฒนาสูตรเคลือบใสให้เป็นเคลือบสีต่าง ๆ	14
3.1.6	การพัฒนาสูตรเคลือบใสให้เป็นเคลือบทึบ	15
3.1.7	การทดลองนำเคลือบไปใช้กับผลิตภัณฑ์	16
3.2 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง		16
3.2.1	ผลการทดลองเคลือบใส	16
3.2.2	ผลการทดสอบการเข้ากันได้ของเนื้อดินกับเคลือบ	17
3.2.3	ผลการทดลองเคลือบสีต่าง ๆ	17
3.2.4	ผลการทดลองเคลือบทึบ	18
3.2.5	ผลการทดลองทำเคลือบไปใช้กับผลิตภัณฑ์	18
3.2.6	สรุปผลการทดลองเคลือบ	19
บทที่ 4 วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย		20
เอกสารอ้างอิง		22
ภาคผนวก		
ก	ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงวิธีการวิจัยและพัฒนาเนื้อดินหล่อ	24
	ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงวิธีการวิจัยและพัฒนาเคลือบ	25
	ภาพที่ 3 แสดงการขยายตัวเมื่อร้อนของเนื้อดินและเคลือบ	26
ข	สูตรคำนวณสำหรับการทดสอบต่าง ๆ	27
ค	ภาพที่ 1 แสดงเคลือบสีต่าง ๆ จากออกไซด์ของโคบอลต์, คอปเปอร์ และเหล็ก	28
	ภาพที่ 2 แสดงเคลือบสีต่าง ๆ จากสีเซรามิกสีเหลือง, สีฟ้า และสีแดง	28
	ภาพที่ 3 แสดงเคลือบทึบสีต่าง ๆ จากตัวทำทึบเซอร์โคเนียมซิลิเกต, ไทเทเนียมออกไซด์ และเถ้ากระดูก	29
	ภาพที่ 4 แสดงผลิตภัณฑ์ใหม่จากเนื้อดินหล่อ เคลือบด้วยเคลือบสีต่าง ๆ	30

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวและดินเหนียว	6
2	แสดงร้อยละของการกระจายความละเอียดของดินขาวและดินเหนียว	6
3	แสดงสมบัติกายภาพของดินขาวและดินเหนียว	6
4	แสดงสูตรเนื้อดิน	7
5	แสดงสมบัติกายภาพของน้ำดิน	8
6	แสดงสมบัติกายภาพของเนื้อดิน	9
7	สูตรเอ็มพิริกัลของเคลือบที่ทดลอง	12
8	สูตรวัตถุดิบของเคลือบ	13
9	แสดงปริมาณของคอปเปอร์, โคบอลต์ และเหล็กออกไซด์ ในการเตรียมเคลือบสีต่าง ๆ	15
10	แสดงปริมาณของสีเซรามิกสีเหลือง, สีฟ้า และสีแดง ในการเตรียมเคลือบสีต่าง ๆ	15
11	ผลการทดลองเคลือบใส	16
12	ผลการทดลองเคลือบสีจากโคบอลต์, คอปเปอร์ และเหล็กออกไซด์	17
13	ผลการทดลองเคลือบสีจากสีเซรามิกสีเหลือง, สีฟ้า และสีแดง	18
14	ผลการทดลองเคลือบสีจากออกไซด์ของโคบอลต์, คอปเปอร์ และเหล็กในปริมาณต่าง ๆ	18

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัยและพัฒนา

ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จังหวัดราชบุรี ได้แก่ผลิตภัณฑ์ประเภท โอ่งมังกร อ่างบัว กระถาง และไหประเภทต่าง ๆ ซึ่งทำมาจากดินเหนียว ขึ้นรูปโดยการปั้นและเคลือบด้วยเคลือบขี้เถ้า ผลิตภัณฑ์มีลักษณะผิวเนื้อหยาบ สีน้ำตาลและมีปัญหาแตกร้าวรั่วซึม เนื่องจากดินเหนียวที่นำมาปั้นผลิตภัณฑ์ดังกล่าว มีปริมาณแร่เหล็กสูง มีก้อนกรวด และหินปูนปนมา ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ ๆ โครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จังหวัดราชบุรี จึงได้ทำการวิจัยและพัฒนาเนื้อดินหล่อและเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยทำให้เนื้อดินมีความละเอียดมากขึ้น สามารถขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อแบบ และเคลือบให้มีสีสันสวยงามหลากหลาย นำไปใช้ในการทำผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ ๆ เช่น ของชำร่วย ของประดับตกแต่ง ของใช้และของที่ระลึก เป็นการเพิ่มศักยภาพการผลิต และเพิ่มโอกาสในการแข่งขันกับสินค้าที่ผลิต วิธีหล่อแบบมีข้อดี คือ สามารถทำผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อนและมีรายละเอียดได้ดี สามารถทำผลิตภัณฑ์ซ้ำ ๆ กันได้จำนวนมาก โดยใช้เพียงแรงงานฝีมือธรรมดาและวัตถุดิบที่นำมาใช้ไม่จำเป็นต้องมีความเหนียวมาก

การวิจัยและพัฒนาเนื้อดินหล่อและเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ของเครื่องปั้นดินเผา จ.ราชบุรี ได้ทำการวิจัยและพัฒนาเนื้อดินหล่อ โดยใช้ดินขาวด่านทับตะโก ซึ่งเป็นแหล่งดินที่ยังไม่เป็นที่นิยมใช้กันในโรงงานเครื่องปั้นดินเผา จังหวัดราชบุรี และดินเหนียวแหล่งสมถะที่ใช้ทำโอ่ง มาทำเป็นเนื้อดินสำหรับใช้หล่อผลิตภัณฑ์ และได้ทำการวิจัยและพัฒนาเคลือบสำหรับเนื้อดินหล่อ โดยใช้เคลือบซนิดไลม์-ซิงค์ หลอมตัวที่อุณหภูมิ 1180^{o}ซ. การวิจัยและพัฒนาดังกล่าวทำให้เกิดการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จังหวัดราชบุรี ให้มีความหลากหลายมากขึ้น เป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการสามารถนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป

1.2 ข้อมูลเบื้องต้นจากเอกสารทางวิชาการ

ผลิตภัณฑ์เซรามิกสามารถจำแนกตามคุณภาพเนื้อดินได้เป็นชนิดใหญ่ ๆ คือ พอร์ซเลน (porcelain), เออร์เทนแวร์ (earthenware), สโตนแวร์ (stoneware), โบนไชนา (bone china), และเทอราคอตตา (terra cotta)

พอร์ซเลน หมายถึง ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีเนื้อสีขาว โปร่งแสง เนื้อมีความแข็งแกร่งเหมือนแก้ว ไม่ดูดซึมน้ำ เมื่อเคาะจะมีเสียงดังกังวาน เคลือบผิวเป็นมัน ส่วนผสมหลักของเนื้อดินพอร์ซเลนคือ ดินขาว ดินเหนียวหรือบอลเคลย์ ไซนาสโตน แร่ฟันม้า และแร่ควอรตซ์

เออร์แทนแวร์ เป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกเคลือบผิวทึบแสง มีความพรุนตัว สามารถดูดซึมน้ำได้ โดยทั่วไปมีเนื้อละเอียดสีขาว เนื้อดินปั้นนี้อาจใช้ดินขาวอย่างเดียวหรือผสมแร่ควอรตซ์ แร่ฟันม้า และดินเหนียวก็ได้

สโตนแวร์ เป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกเคลือบผิวมีความพรุนตัวต่ำ ทึบแสง และเนื้อโดยทั่วไปไม่เป็นสีขาว เนื้อมีความแข็งแกร่ง และมักจะมีความหนากว่าพอร์ซเลน เนื้อดินปั้นอาจเป็นดินจากธรรมชาติตัวเดียวหรือเป็นดินผสมหิน ส่วนมากใช้พอตตอรีสโตน (pottery stone) แร่ควอรตซ์ และดินเชื้อ (grog)

โบนไชนา เป็นเครื่องปั้นชั้นดีที่สุด ราคาแพงที่สุด มีความขาว และเคลือบเป็นมันวาวมาก เนื้อละเอียดบางเบา มีความโปร่งแสงมาก และมีความแข็งแกร่งดีมาก กระบวนการผลิตยุ่งยากซับซ้อน วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะต่างจากผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น คือมีกระดูกสัตว์ซึ่งเป็นสารประกอบของแคลเซียมฟอสเฟตเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย ส่วนผสมโดยทั่วไปประกอบด้วยเถ้ากระดูก, ดินขาว, แร่ฟันม้า ใช้แร่ควอรตซ์ผสมบ้างเล็กน้อย

เทอราคอตตา เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีดินเหนียวผิวดิน เช่น ดินท้องนาผสมในเนื้อดินปั้นเผาแล้วมักมีสีแดง เนื้อไม่แกร่ง มีความพรุนตัวสูง มักไม่เคลือบผิว ชนิดเคลือบผิวนิยมเคลือบด้วยสีต่าง ๆ

ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จังหวัดราชบุรี จัดเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทสโตนแวร์ เนื่องจากเนื้อมีความทึบแสงและความพรุนตัวต่ำ

การหล่อแบบ (slip casting) เป็นวิธีการขึ้นรูปวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทของชำร่วย, ของที่ระลึก, ของตกแต่ง ฯลฯ โดยเทน้ำดินลงในแบบปูนปลาสเตอร์ เพื่อให้ได้รูปร่างและขนาดที่ต้องการ เนื่องจากปูนปลาสเตอร์มีรูพรุนอยู่มากมาย จะดูดน้ำออกจากน้ำดิน ทำให้เกิดชั้นของดินเกาะติดอยู่กับแบบปูนปลาสเตอร์ เมื่อเวลาผ่านไปชั้นของดินก็จะหนาเพิ่มขึ้น ทิ้งน้ำดินไว้ในแบบจนได้ความหนาตามต้องการ จากนั้นปล่อยให้เนื้อดินหล่อแห้งหมาด ๆ เกิดการหดตัวและหลุดล่อนออกจากแบบ สามารถถอดแบบและตกแต่งได้

วิธีการขึ้นรูปโดยการหล่อแบบได้ใช้กันมาประมาณ 200 ปีแล้ว ในสมัยเริ่มต้น ยังไม่มีการเติมสารเคมี ทำให้ต้องใช้ปริมาณน้ำมาก ผลิตภัณฑ์แห้งช้า เกิดการหดตัวมากและแตกได้ง่ายในแบบหรือระหว่างการอบแห้ง ต่อมาได้มีการพัฒนาและปรับปรุงให้น้ำดินไหลตัวดี ใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุด โดยการเติมสารเคมีที่เรียกว่า สารช่วยกระจายลอยตัว (deflocculant) ตัวที่นิยมใช้กันมากคือ โซเดียมซิลิเกต การใช้ปริมาณน้ำและสารช่วยกระจายลอยตัวไม่เหมาะสม จะทำให้ไม่สามารถควบคุมความหนืดของน้ำดินได้

ได้มีผู้ทดลองศึกษาสมบัติของน้ำดินพบว่า น้ำดินที่มีปริมาณน้ำต่ำ มีอัตราการหล่อแบบ ปริมาณน้ำในชิ้นงานหล่อ ปริมาณการดูดซึมน้ำหลังเผา และการหดตัวรวมหลังเผา ต่ำกว่าน้ำดินที่

มีปริมาณน้ำสูงกว่า การเตรียมน้ำดินที่มีส่วนผสมของดินดำหรือดินที่มีความละเอียดมากขึ้น จะทำให้น้ำดินมีความหนืดสูงขึ้นต้องใช้น้ำและสารช่วยกระจายลอยตัวในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น

น้ำดินหล่อที่ดีควรมีสมบัติดังนี้ คือ การไหลตัวดีหรือมีความหนืดพอควร ทำให้สามารถเทน้ำดินลงในแบบและสามารถระบายน้ำดินออกจากแบบได้ดี ไม่เกิดการตกตะกอนแยกชั้นของอนุภาค ใช้เวลาในการหล่อแบบน้อย และเหมาะสมกับการทำงาน มีการหดตัวเมื่อแห้งพอควร ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่หล่อล่อน ถอดแบบได้ง่าย ผลิตภัณฑ์ที่หล่อมีความเหนียวและแข็งแรง สามารถจับถือและตัดตกแต่งได้ดี

เคลือบ คือชั้นบาง ๆ ของแก้วที่ฉาบอยู่บนผิวผลิตภัณฑ์เซรามิก โดยทั่วไปเตรียมได้จากการหลอมส่วนผสมของสารประกอบซิลิเกต มีลักษณะโปร่งใส แข็งแกร่ง ทนต่อกรดและด่างได้เป็นอย่างดี โดยทั่วไปแล้วเคลือบมีสมบัติทางกายภาพและเคมีคล้ายแก้ว คือ มีความแข็ง แข็งแรง ไม่ละลายหรือละลายได้น้อยมากในสารละลายเคมี นอกจากกรดกัดแก้ว (HF) และเบสแก่ (strong base) และไม่ยอมให้ของเหลวและก๊าซซึมผ่านได้ แต่เคลือบจะมีองค์ประกอบทางเคมีซับซ้อนกว่าแก้ว

เคลือบที่มีความมันวาวและสะท้อนแสงได้สามารถมองเห็นเนื้อดินที่เคลือบ เคลือบชนิดนี้เรียกว่า เคลือบใส (clear glaze) แต่ถ้าผิวไม่มันเรียกว่า เคลือบด้าน (matt glaze) ส่วนเคลือบที่สามารถปิดบังผิวได้เรียกว่า เคลือบทึบ (opaque glaze) จะมีสีหรือไม่มีสีขึ้นอยู่กับส่วนผสมของเคลือบ

ซึ่งเคลือบสามารถจำแนกเป็นชนิดต่าง ๆ ตามวัตถุดิบที่ใช้ เช่น เคลือบชนิดไลม์ (lime glaze) นิยมใช้ในการทำเคลือบอุณหภูมิสูงและเคลือบชนิดไลม์ซิงค์ (lime-zinc glaze) ซึ่งมีซิงค์ออกไซด์เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิการหลอมตัว เคลือบชนิดนี้หลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าเคลือบชนิดไลม์ เหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1200°ซ.

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาหาส่วนผสมของเนื้อดินหล่อ สำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ของเครื่องปั้นดินเผา จังหวัดราชบุรี

1.3.2 เพื่อศึกษาหาส่วนผสมของเคลือบใช้กับเนื้อดินหล่อ สำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ของเครื่องปั้นดินเผา จังหวัดราชบุรี

1.4 ขอบเขตของการวิจัยและพัฒนา

1.4.1 ศึกษาทดลองหาส่วนผสมของเนื้อดินหล่อโดยใช้วัตถุดิบในท้องถิ่น

1.4.2 ศึกษาทดลองหาส่วนผสมของเคลือบชนิดไลม์ซิงค์ที่เข้ากันได้กับเนื้อดิน หลอมตัวที่อุณหภูมิ 1180°ซ.

1.4.3 ศึกษาทดลองขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์โดยวิธีการหล่อแบบ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทำให้เกิดการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จังหวัดราชบุรีหลากหลายมากขึ้น เป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการนำไปใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์

2. เป็นการใช้วัตถุดิบในท้องถิ่น เช่น ดินขาวด่านทับตะโก จังหวัดราชบุรี ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น

1.6 ระยะเวลาดำเนินการ

สิงหาคม 2542 – ตุลาคม 2544

บทที่ 2

การศึกษาทดลองเนื้อดินหล่อสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่

การศึกษาทดลองนี้เป็นการทดลองทำเนื้อดินหล่อ โดยใช้ดินขาวด่านทับตะโกและดินเหนียวแหล่งสมถะ ซึ่งเป็นวัตถุดิบในท้องถิ่นของจังหวัดราชบุรี ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจังหวัดราชบุรี ส่วนใหญ่แล้วมีสีน้ำตาลเนื้อแกร่งเผาที่อุณหภูมิ 1180^{o}ซ. ดังนั้นการทดลองนี้จึงได้ทำการเผาเนื้อดินที่อุณหภูมิเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ราชบุรี โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้ คือ การศึกษาสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ กำหนดส่วนผสม เตรียมน้ำดินหล่อ และทำเป็นแท่งทดสอบทดสอบสมบัติของน้ำดิน ทดสอบสมบัติภายภาพของเนื้อดินหลังเผา ทดลองทำเป็นผลิตภัณฑ์และคัดเลือกสูตรที่จะนำไปทดลองเคลือบ

2.1 วิธีดำเนินการ

2.1.1 วัตถุดิบ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

<u>วัตถุดิบที่ใช้</u>

ดินขาวด่านทับตะโก จังหวัดราชบุรี

ดินเหนียวแหล่งสมถะ จังหวัดราชบุรี

โซเดียมซิลิเกต 50 โบเม่ ใช้เกรดอุตสาหกรรม จากบริษัท เซอร์นิค จำกัด

<u>เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้</u>

เครื่องชั่งไฟฟ้า

เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer)

เครื่องหาขนาดอนุภาค (X-ray sedigraph)

เครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscosimeter)

เครื่องวัดค่าความแข็งแรง (universal testing machine)

เตาเผาไฟฟ้าและเตาแก๊ส

หม้อบด

ตะแกรงขนาด 100 เมช

เวอร์เนีย

แท่นให้ความร้อน (hot plate)

2.1.2 **การศึกษาสมบัติของดินขาวและดินเหนียว**

ก. **ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางวิทยาแร่ โดยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์**

- ดินขาว ประกอบด้วย แร่เคโอลิไนต์, ควอรตซ์ และไมกา
- ดินเหนียว ประกอบด้วย แร่เคโอลิไนต์ ควอรตซ์ และอิลไลต์

ข. **ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวและดินเหนียว แสดงในตารางที่** 1

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของดินขาวและดินเหนียว

วัตถุดิบ	องค์ประกอบทางเคมี, ร้อยละ								
	LOI	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O
ดินขาว	3.5	71.0	16.6	1.7	0.9	0.3	0.9	0.1	4.7
ดินเหนียว	8.0	64.1	19.6	4.8	1.1	0.5	0.4	0.1	1.0

ค. **การกระจายความละเอียดของดินขาวและดินเหนียว แสดงในตารางที่** 2

ตารางที่ 2 แสดงร้อยละของการกระจายความละเอียดของดินขาวและดินเหนียว

วัตถุดิบ	ความละเอียด, ร้อยละ				
	<40 ไมครอน	<20ไมครอน	<10 ไมครอน	<5 ไมครอน	<2 ไมครอน
ดินขาว	99.5	90.7	75.8	64.9	44.0
ดินเหนียว	98.8	95.3	84.0	70.5	57.2

ง. **สมบัติกายภาพของดินขาวและดินเหนียว แสดงในตารางที่** 3

ตารางที่ 3 แสดงสมบัติกายภาพของดินขาวและดินเหนียว

	ดินขาว		ดินเหนียว	
	1150°ซ.	1200°ซ.	1150°ซ.	1200°ซ.
สีหลังเผา	น้ำตาล	น้ำตาลคล้ำ	น้ำตาลแดง	น้ำตาลแดงคล้ำ
การหดตัวรวม, ร้อยละ	11.95	12.05	12.74	13.26
การดูดซึมน้ำ,ร้อยละ	0.42	0.18	3.68	3.45

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าดินขาวด่านทับตะโกเป็นดินเคโอลินที่มีความเหนียวน้อยเมื่อเผาแล้วมีสีน้ำตาล มีความทนไฟต่ำ คือ ที่อุณหภูมิประมาณ 1150°ซ. มีการดูดซึมน้ำต่ำเข้าใกล้

ศูนย์ เนื่องจากดินขาวดังกล่าวมีปริมาณเหล็กสูง จึงทำให้ดินหลังเผามีสีน้ำตาล และปริมาณอัลคาไลสูง ทำให้หลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำ และการที่ดินขาวมีปริมาณไมกาปนอยู่จะช่วยในการขึ้นรูปโดยการหล่อแบบได้ดี ดังนั้นดินขาวด่านทับตะโกจึงเหมาะที่จะนำมาทำผลิตภัณฑ์เนื้อสโตนแวร์ด้วยวิธีการหล่อ

2.1.3 **การเตรียมน้ำดิน**

ในการทดลองได้ใช้ดินขาวด่านทับตะโก และใช้ดินเหนียวผสมด้วยในปริมาณร้อยละ 20 และ 40 เตรียมเป็นน้ำดิน ทดลองหาปริมาณน้ำและสารช่วยกระจายลอยตัว (โซเดียมซิลิเกต) ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้น้ำดินที่มีการไหลตัวดี ไม่ตกตะกอนเร็ว ได้สูตรดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงสูตรเนื้อดิน

	ส่วนผสมโดยน้ำหนัก		
	NWR 1	NWR 2	NWR 3
ดินขาว	100	80	60
ดินเหนียว	-	20	40
น้ำ	30	40	45
โซเดียมซิลิเกต	0.13	0.22	0.63

บดในหม้อบดเป็นเวลา 8 ชม. แล้วร่อนผ่านตะแกรง 100 เมช ทิ้งไว้ประมาณ 1-2 วัน ก่อนนำมาใช้งาน

2.1.4 **การทดสอบสมบัติกายภาพของน้ำดิน**

นำน้ำดินมาวัดค่าความถ่วงจำเพาะ ความหนืด อัตราการหล่อแบบ และปริมาณน้ำของชิ้นงานหล่อ

2.1.4.1 **ความถ่วงจำเพาะ** ใช้วิธีชั่งน้ำหนักของน้ำดินที่บรรจุอยู่ในกระบอกตวง 100 มิลลิลิตร แล้วนำมาคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะ สูตรที่ใช้ในการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข

2.1.4.2 **ความหนืด** โดยใช้เครื่อง Brookfield viscosimeter อัตราการเฉือน 20 รอบต่อนาที อ่านค่าความหนืดเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที

2.1.4.3 **อัตราการหล่อแบบ** ทดสอบโดยการหล่อน้ำดินในแบบปูนปลาสเตอร์รูปถ้วยที่มีความชื้นโดยน้ำหนักประมาณร้อยละ 5 เป็นเวลา 20 นาที เมื่อเนื้อดินหล่อล่อน จึงแกะแบบ สุ่มวัดความหนาของถ้วยหล่อที่ตัดครึ่งได้ 6 ตำแหน่ง นำมาหาค่าความหนาเฉลี่ยของถ้วยที่หล่อ

2.1.4.4 **หาปริมาณน้ำของชิ้นงานหล่อ** โดยใช้วิธีเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักของชิ้นงานหล่อเมื่อแกะออกจากแบบ และน้ำหนักของชิ้นงานหล่อเมื่อแห้ง แล้วคำนวณเป็นร้อยละ สูตรที่ใช้คำนวณแสดงในภาคผนวก ข

2.1.5 **การทดสอบสมบัติกายภาพของเนื้อดิน**

นำน้ำดินมาหล่อเป็นแท่งทดสอบโดยใช้แบบปูนปลาสเตอร์ แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1180°ซ. เพื่อทดสอบค่าการหดตัว การดูดซึมน้ำและค่าความแข็งแรง

2.1.5.1 **การหดตัว** ใช้วิธีเปรียบเทียบความแตกต่างของความยาวตอนขึ้นรูป และความยาวหลังเผา แล้วคำนวณเป็นร้อยละ สูตรที่ใช้คำนวณแสดงในภาคผนวก ข

2.1.5.2 **การดูดซึมน้ำ** ใช้วิธีตาม ASTM C373-88 (reapproved, 1994) สูตรที่ใช้ในการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข

2.1.5.3 **การทดสอบค่าความแข็งแรง** ใช้เครื่องวัดค่าความแข็งแรง โดยให้อัตราการเคลื่อนที่ของหัวกด 0.05 มิลลิเมตรต่อนาที สูตรที่ใช้คำนวณแสดงในภาคผนวก ข

2.1.6 **การทดลองทำเป็นผลิตภัณฑ์**

- เทน้ำดินลงในแบบปูนปลาสเตอร์ให้เต็ม คอยเติมน้ำดินให้เต็มอยู่เสมอ ทิ้งไว้จนได้ความหนาของชั้นดินตามต้องการ จึงเทน้ำดินที่เหลือออก
- ทิ้งให้ชิ้นงานในแบบปูนปลาสเตอร์ค่อย ๆ แห้งและล่อนออกจากแบบ จึงแกะชิ้นงานออกจากแบบ และตกแต่งให้เรียบร้อย นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1180°ซ.

2.2 **ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง**

2.2.1 **ผลการทดสอบสมบัติกายภาพของน้ำดิน แสดงในตารางที่ 5**

ตารางที่ 5 แสดงสมบัติกายภาพของน้ำดิน

รายการ	NWR1	NWR2	NWR3
ความถ่วงจำเพาะ	1.71	1.54	1.38
ความหนืด,เซนติพอยส์	104	411	1310
อัตราการหล่อแบบ, มม./ 20 นาที	7.3	5.9	3.3
ปริมาณน้ำของชิ้นงานหล่อ, ร้อยละ	20.3	21.4	27.6

เนื้อดินที่มีปริมาณดินเหนียวมากจะมีค่าความถ่วงจำเพาะลดลง เนื่องจากดินเหนียวเป็นดินที่มีความละเอียดสูงต้องใช้ปริมาณน้ำมากในการเตรียมน้ำดินและให้อัตราการหล่อแบบช้า นอกจากนั้นแล้วปริมาณน้ำของชิ้นงานหล่อก็จะสูงด้วย

2.2.2 ผลการทดสอบสมบัติกายภาพของเนื้อดิน แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงสมบัติกายภาพของเนื้อดิน

รายการ	NWR1	NWR2	NWR3
สีหลังเผา	น้ำตาล	น้ำตาลแดง	น้ำตาลแดง
ความแข็งแรงก่อนเผา,เมกะพาสคัล	0.36	1.11	1.95
การหดตัวรวม, ร้อยละ	13.58	14.59	14.87
การดูดซึมน้ำ,ร้อยละ	0.31	0.76	0.94
ความแข็งแรงหลังเผา, เมกะพาสคัล	7.60	5.11	3.96

เนื้อดินทุกตัวอย่างมีการดูดซึมน้ำเข้าใกล้ศูนย์ที่อุณหภูมิ 1180°ซ. แสดงว่าเนื้อดินสุกตัวแล้ว เนื้อดินที่มีดินเหนียวผสม จะมีค่าความแข็งแรงก่อนเผาเพิ่มขึ้นเนื่องจากความเหนียวเพิ่มขึ้น และมีสีหลังเผาเป็นสีน้ำตาลแดง ค่าการหดตัวและการดูดซึมน้ำก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนค่าความแข็งแรงหลังเผาจะลดลง

2.2.3 ผลการทดลองทำเป็นผลิตภัณฑ์

เนื้อดินทั้ง 3 สูตร สามารถนำมาหล่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบต่าง ๆ ได้ เมื่อนำชิ้นงานที่หล่อได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 1180°ซ. จะได้ผลิตภัณฑ์สีน้ำตาลและน้ำตาลแดง เนื้อแกร่ง โดยสูตร NWR1 จะใช้เวลาในการหล่อน้อยที่สุด ชิ้นงานที่หล่อได้จะแห้งและตกแต่งได้เร็ว แต่จะมีความแข็งแรงน้อยต้องตกแต่งด้วยความระมัดระวัง ป้องกันการแตก เนื่องจากเนื้อดิน NWR1 ทำจากดินขาวล้วน จึงมีความเหนียวน้อย เนื้อดินสูตร NWR2 ใช้เวลาในการหล่อมากขึ้น ชิ้นงานที่หล่อได้แห้งช้ากว่าเนื้อดิน NWR1 แต่มีความแข็งแรงกว่า ตกแต่งได้ง่าย ส่วนเนื้อดิน NWR3 จะใช้เวลาในการหล่อนานที่สุด ชิ้นงานที่หล่อได้แห้งช้าต้องทิ้งไว้เป็นเวลานานจึงจะตกแต่งได้ ดังนั้นจึงได้เลือกเนื้อดินสูตร NWR2 ไปทำการทดลองเคลือบ

2.3 สรุปผลการทดลองเนื้อดินหล่อ

เนื้อดินหล่อที่สามารถนำไปหล่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบต่าง ๆ ได้ดี คือ ใช้เวลาในการหล่อและตกแต่งไม่นาน ชิ้นงานหล่อมีความแข็งแรง ตกแต่งได้ง่าย คือ สูตร NWR2 มีส่วนผสมดังนี้ คือ

ดินขาวด่านทับตะโก	80	ส่วนโดยน้ำหนัก
ดินเหนียวแหล่งสมถะ	20	ส่วนโดยน้ำหนัก
น้ำ	40	ส่วนโดยน้ำหนัก
โซเดียมซิลิเกต	0.22	ส่วนโดยน้ำหนัก

บทที่ 3

การศึกษาทดลองเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่

โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จังหวัดราชบุรี เผาที่อุณหภูมิ 1180°ซ. ดังนั้น การศึกษาทดลองเคลือบจึงได้เลือกเคลือบชนิดมีซิงค์ออกไซด์มาทำการทดลอง เนื่องจากซิงค์ออกไซด์เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิการหลอมที่ดี และได้แปรเปลี่ยนปริมาณของ Al_2O_3 และ SiO_2 ในสูตรให้ได้เคลือบใสมีลักษณะมันวาว หลอมตัวดี ที่อุณหภูมิ 1180°ซ. นำเคลือบไปทดสอบการเข้ากันได้ของเนื้อดินกับเคลือบ จากนั้นจึงนำเคลือบที่ได้ไปพัฒนาเป็นเคลือบสีต่าง ๆ และเคลือบทึบ

3.1 วิธีดำเนินการทดลอง

3.1.1 วัตถุดิบ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

วัตถุดิบ

แร่ฟันม้า จังหวัดตาก	จากบริษัท เคลย์ แอนด์มินเนอรัล จำกัด
หินปูน จังหวัดสระบุรี	จากบริษัท เซอร์นิค จำกัด
ควอรตซ์ จังหวัดระยอง	จากบริษัท เคลย์ แอนด์มินเนอรัล จำกัด
ดินขาว จังหวัดนราธิวาส	จากบริษัท เคลย์ แอนด์มินเนอรัล จำกัด
ซิงค์ออกไซด์ ใช้เกรดอุตสาหกรรม	จากบริษัท เซอร์นิค จำกัด
คอปเปอร์ออกไซด์, โคบอลต์ออกไซด์, เหล็กออกไซด์ ใช้เกรดอุตสาหกรรม	จากบริษัท เซอร์นิค จำกัด
สีเซรามิกสีฟ้า, สีเหลืองและสีแดง	จากบริษัท เซอร์เดค จำกัด

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

เครื่องชั่งไฟฟ้า

เครื่องวัดการขยายตัวเมื่อร้อน (dilatometer)

หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave)

เตาเผาไฟฟ้าและเตาแก๊ส

หม้อบดความเร็วสูง

หม้อบดพอร์ซเลน

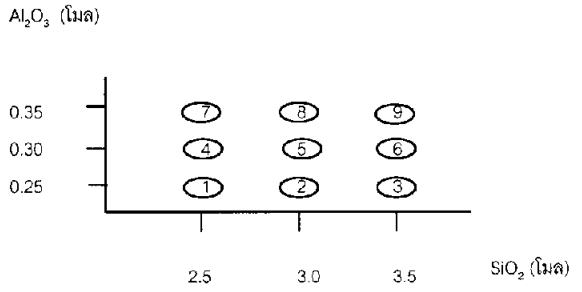
3.1.2 การทดลองเคลือบใส

ได้ทำการทดลองเคลือบใสพื้นฐานจากสูตรเคลือบชนิดมีซิงค์ออกไซด์ โดยเริ่มจากสูตรเอ็มพิริกัลของเคลือบ 2 กลุ่ม มีสูตรเคลือบดังนี้

<u>กลุ่มที่ 1</u> 0.2 KNaO

0.5 CaO $0.25 - 0.35\ Al_2O_3$ $2.5 - 3.5\ SiO_2$

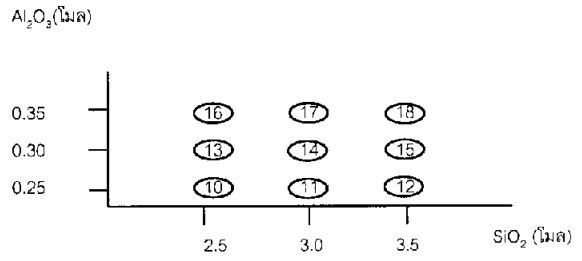
0.3 ZnO



<u>กลุ่มที่ 2</u> 0.2 KNaO

0.4 CaO $0.25 - 0.35\ Al_2O_3$ $2.5 - 3.5\ SiO_2$

0.4 ZnO



สูตรเอ็มพิริกัลของเคลือบที่ทำการทดลอง แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สูตรเอ็มพิริกัลของเคลือบที่ทดลอง

หมายเลข	KNaO โมล	CaO โมล	ZnO โมล	Al_2O_3 โมล	SiO_2 โมล
1.	0.2	0.5	0.3	0.25	2.5
2.	0.2	0.5	0.3	0.25	3.0
3.	0.2	0.5	0.3	0.25	3.5
4.	0.2	0.5	0.3	0.30	2.5
5.	0.2	0.5	0.3	0.30	3.0
6.	0.2	0.5	0.3	0.30	3.5
7.	0.2	0.5	0.3	0.35	2.5
8.	0.2	0.5	0.3	0.35	3.0
9.	0.2	0.5	0.3	0.35	3.5
10.	0.2	0.4	0.4	0.25	2.5
11.	0.2	0.4	0.4	0.25	3.0
12.	0.2	0.4	0.4	0.25	3.5
13.	0.2	0.4	0.4	0.30	2.5
14.	0.2	0.4	0.4	0.30	3.0
15.	0.2	0.4	0.4	0.30	3.5
16.	0.2	0.4	0.4	0.35	2.5
17.	0.2	0.4	0.4	0.35	3.0
18.	0.2	0.4	0.4	0.35	3.5

คำนวณเป็นสูตรวัตถุดิบได้ดัง ตารางที่ 8

ตารางที่ 8 สูตรวัตถุดิบของเคลือบ

วัตถุดิบ / หมายเลข	แร่ฟันม้า ร้อยละ	หินปูน ร้อยละ	ซิงค์ออกไซด์ ร้อยละ	ดินขาว ร้อยละ	ควอรตซ์ ร้อยละ
1	41.11	18.48	9.02	4.77	26.63
2	37.01	16.63	8.12	4.29	33.95
3	33.65	15.12	7.38	3.90	39.95
4	40.09	18.02	8.79	9.29	23.80
5	36.18	16.26	7.93	8.39	31.24
6	32.96	14.81	7.23	7.64	37.36
7	39.12	17.58	8.58	13.60	21.11
8	35.39	15.90	7.76	12.30	28.65
9	32.30	14.52	7.08	11.23	34.87
10	41.40	14.89	12.10	4.80	26.81
11	37.24	13.39	10.89	4.32	34.16
12	33.84	12.17	9.89	3.92	40.18
13	40.37	14.51	11.80	9.36	23.96
14	36.40	13.09	10.64	8.44	31.43
15	33.14	11.92	9.69	7.68	37.56
16	39.38	14.16	11.51	13.69	21.25
17	35.60	12.80	10.41	12.38	28.82
18	32.48	11.68	9.50	11.29	35.06

3.1.3 **วิธีการทดลองเคลือบ** เตรียมเคลือบตัวอย่างละ 100 กรัม โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ชั่งวัตถุดิบ
2. บดเปียกในหม้อบดความเร็วสูง โดยใช้น้ำ : วัตถุดิบ 1:1 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 นาที
3. เคลือบบนชิ้นทดลองซึ่งเตรียมจากเนื้อดินสูตร NWR2 เผาดิบที่อุณหภูมิ 750°ซ.
4. นำชิ้นทดลองไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1180°ซ. โดยมีอัตราเร่ง 200°ซ. ต่อชั่วโมง ยืนไฟที่อุณหภูมิสูงสุด 30 นาที

3.1.4 **การทดสอบการเข้ากันได้ของเนื้อดินกับเคลือบ**

3.1.4.1 **ทดสอบการรานตัว** นำชิ้นงานมาทดสอบการรานตัวภายใต้ความดันของไอน้ำ เพื่อดูว่าเคลือบสามารถเข้ากันได้กับเนื้อดิน โดยไม่เกิดการรานตัวเมื่อนำไปใช้งาน โดยทดสอบตาม มอก.602-2529 ซึ่งเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์ภาชนะอาหารชนิดสโตนแวร์ นำชิ้นทดสอบ มาทดสอบในหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave) ที่ระดับความดัน 0.5 เมกะพาสคัล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบมาย้อมสีด้วยสารละลายของสีย้อมอินทรีย์ บันทึกลายเส้นของการรานที่ปรากฏบนผิวเคลือบ

3.1.4.2 **ทดสอบการขยายตัวเมื่อร้อน** วัดการขยายตัวเมื่อร้อนของเนื้อดินกับเคลือบเปรียบเทียบกัน ซึ่งเคลือบจะต้องมีการขยายตัวต่ำกว่าเนื้อดินจึงจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์และไม่ทำให้เคลือบเกิดการรานตัว โดยทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนด้วยเครื่องวัดการขยายตัวเมื่อร้อนของ Adamel Lhomargy รุ่น DL20 ชิ้นทดสอบของเนื้อดินเป็นแท่งเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6 มิลลิเมตร ความยาวประมาณ 25 มิลลิเมตร ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1180°ซ. ส่วนชิ้นทดสอบของเคลือบเตรียมโดยนำผงเคลือบแห้งมาหลอมที่อุณหภูมิ 1180°ซ. แล้วตัดให้เป็นแท่งยาวประมาณ 25 มิลลิเมตร สูตรที่ใช้ในการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก

3.1.5 **การพัฒนาสูตรเคลือบใสให้เป็นเคลือบสีต่าง ๆ**

ได้นำสูตรเคลือบใสหมายเลข 1 มาพัฒนาเป็นเคลือบสีต่าง ๆ โดยใส่ออกไซด์ให้สี เช่น โคบอลต์ออกไซด์ ร้อยละ 0.25-5 คอปเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 1-5 และเหล็กออกไซด์ ร้อยละ 4-12 หรือใส่สีเซรามิก ในปริมาณต่าง ๆ หรืออาจนำออกไซด์ หรือสีเซรามิกมากกว่า 1 สี มาผสมกันเพื่อให้เกิดสีต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 9 และ 10

ตารางที่ 9 แสดงปริมาณของคอปเปอร์, โคบอลต์ และเหล็กออกไซด์ ในการเตรียมเคลือบสีสีต่าง ๆ

จุด	โคบอลต์ออกไซด์	คอปเปอร์ออกไซด์	เหล็กออกไซด์
1.	-	3	-
2.	0.33	2	-
3.	-	2	2
4.	0.66	1	-
5.	0.33	1	2
6.	-	1	4
7.	1.0	-	-
8.	0.66	-	2
9.	0.33	-	4
10.	-	-	6

ตารางที่ 10 แสดงปริมาณของสีเซรามิกสีเหลือง, สีฟ้าและสีแดง ในการเตรียมเคลือบสีต่าง ๆ

จุด	สีเหลือง	สีฟ้า	สีแดง
1.	6	-	-
2.	4	2	-
3.	4	-	2
4.	2	4	-
5.	2	2	2
6.	2	-	4
7.	-	6	-
8.	-	4	2
9.	-	2	4
10.	-	-	6

3.1.6 การพัฒนาสูตรเคลือบใสให้เป็นเคลือบทึบ

เนื่องจากเนื้อดินจากการทดลองมีสีน้ำตาล ในกรณีที่ต้องการปิดบังสีของเนื้อดิน จะต้องใช้เคลือบทึบ โดยนำเคลือบใสหรือเคลือบสีมาใส่ตัวทำทึบ เช่น เซอร์โคเนียมซิลิเกต ร้อยละ 8 หรือดีบุก ร้อยละ 5 หรือไทเทเนียมออกไซด์ ร้อยละ 6 หรือเถ้ากระดูก ร้อยละ 6

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

3.1.7 การทดลองนำเคลือบไปใช้กับผลิตภัณฑ์

เตรียมเคลือบใสและเคลือบทึบสีต่าง ๆ ตัวอย่างละ 2 กิโลกรัม ทดลองเคลือบกับผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ ๆ ที่หล่อโดยใช้เนื้อดินสูตร NWR2 เช่น แจกันรูปแบบต่าง ๆ ของตกแต่ง ของใช้ และของที่ระลึก ที่ผ่านการเผาดิบแล้ว นำไปเผาในเตาไฟฟ้าและเตาแก๊สที่อุณหภูมิ 1180°ซ.

3.2 ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

3.2.1 ผลการทดลองเคลือบใส

ผลการทดลองเคลือบใส แสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการทดลองเคลือบใส

หมายเลข	ลักษณะทั่วไปของเคลือบ		
1.	ใส	มันวาวมาก	หลอมตัวดี
2.	ใส	มันวาว	หลอมตัวดี
3.	ใส	ด้าน	หลอมตัว
4.	ใส	มันวาว	หลอมตัวดี
5.	ใส	มันวาว	หลอมตัวดี
6.	ใส	มันวาว	หลอมตัวดี
7.	สีขาว	กึ่งด้าน	หลอมตัวดี
8.	ใส	มันวาว	หลอมตัวดี
9.	ใส	มันวาว	หลอมตัว
10.	ใส	มันวาว	หลอมตัว
11.	ใส	มันวาว	หลอมตัว
12.	สีขาว	ด้าน	หลอมตัวเล็กน้อย
13.	ใส	มันวาว	หลอมตัวดี
14	ใส	มันวาว	หลอมตัว
15.	สีขาว	ด้าน	หลอมตัว
16.	สีขาว	กึ่งด้าน	หลอมตัว
17.	ใส	มันวาว	หลอมตัว
18.	ใส	มันวาว	หลอมตัว

เคลือบหมายเลข 1 ได้เคลือบมีลักษณะใส มันวาวมาก หลอมตัวดี เนื่องจากสูตรเคลือบมีปริมาณของอะลูมินาและซิลิกาต่ำ คือ 0.25 โมล และ 2.5 โมล ทำให้เคลือบหลอมตัวที่อุณหภูมิ

ต่ำกว่า 1200°ซ. และการที่มีซิงค์ออกไซด์เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมตัวยิ่งช่วยทำให้เคลือบหลอมตัวได้ง่ายขึ้น เนื่องจากซิงค์ออกไซด์เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมตัวที่แรง จึงได้เลือกเคลือบหมายเลข 1 ไปทดสอบ ว่าเข้ากันได้กับเนื้อดินหรือไม่

3.2.2 ผลทดสอบการเข้ากันได้ของเนื้อดินกับเคลือบ

3.2.2.1 การราน

ผลทดสอบ การรานตัวภายใต้ความดันของไอน้ำปรากฏว่า เคลือบสามารถทนความดันไอที่มากกว่า 0.5 เมกาพาสคัล โดยไม่ปรากฏรอยราน แสดงว่าเคลือบกับเนื้อดินเข้ากันได้ดี (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมภาชนะรับประทานอาหาร : สโตนแวร์ มอก. 602 - 2529)

3.2.2.2 การขยายตัวเมื่อร้อน

ผลทดสอบ การขยายตัวเมื่อร้อนของเนื้อดินและเคลือบปรากฏว่าเคลือบมีการขยายตัวต่ำกว่าเนื้อดิน ดังภาพแสดงในภาคผนวก ก แสดงว่า เนื้อดินและเคลือบเข้ากันได้ดี และช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเคลือบอยู่ในภาวะแรงอัด

3.2.3 ผลการทดลองเคลือบสีต่าง ๆ

ผลการทดลองเคลือบสีต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 12, 13 และ 14 และภาพในภาคผนวก ค

ตารางที่ 12 ผลของการทดลองเคลือบสีจากคอปเปอร์, โคบอลต์ และเหล็กออกไซด์

ตัวอย่าง	ลักษณะทั่วไป		
1	สีเขียวอ่อน	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี
2	สีเขียวน้ำเงิน	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี
3	สีเขียวน้ำตาล	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี
4	สีน้ำเงินเขียว	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี
5	สีเขียวน้ำตาล	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี
6	สีน้ำตาลอ่อน	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี
7	สีน้ำเงิน	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี
8	สีน้ำเงินน้ำตาล	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี
9	สีน้ำเงินน้ำตาล	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี
10	สีน้ำตาล	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี

ตารางที่ 13 ผลการทดลองเคลือบสีจากสีเซรามิกสีเหลือง, สีฟ้าและแดง

ตัวอย่าง	ลักษณะทั่วไป		
1	สีเหลือง	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี
2	สีเหลืองปนเขียว	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี
3	สีส้มอ่อน	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี
4	สีเขียว	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี
5	สีกากี	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี
6	สีส้มเข้ม	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี
7	สีฟ้า	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี
8	สีเทา	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี
9	สีม่วง	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี
10	สีแดง	ผิวเคลือบมันวาว	หลอมตัวดี

ตารางที่ 14 ผลการทดลองเคลือบสีจากออกไซด์ของโคบอลต์, คอบเปอร์ และเหล็กในปริมาณต่าง ๆ

โคบอลต์, ร้อยละ	0.25	0.5	0.75	1.0	1.5
สีที่ได้	น้ำเงินอ่อน	น้ำเงิน	น้ำเงิน	น้ำเงินเข้ม	น้ำเงินเข้ม
คอปเปอร์, ร้อยละ	1	2	3	4	5
สีที่ได้	เขียวอ่อน	เขียว	เขียว	เขียวเข้ม	เขียวเข้ม
เหล็ก, ร้อยละ	4	6	8	10	12
สีที่ได้	น้ำตาลอ่อน	น้ำตาล	น้ำตาล	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม

3.2.4 ผลการทดลองเคลือบทึบ

ผลการทดลองนำเคลือบใสและเคลือบสีไปพัฒนาเป็นเคลือบทึบและเคลือบทึบสี โดยใส่ตัวทำทึบเซอร์โคเนียมซิลิเกต, ไทเทเนียมออกไซด์, ดีบุก และเถ้ากระดูก จะได้เคลือบทึบขาวและเคลือบทึบสี ผิวเคลือบมันวาว สามารถปิดบังสีของเนื้อดินได้ ภาพแสดงในภาคผนวก ค

3.2.5 **ผลการทดลองนำเคลือบไปใช้กับผลิตภัณฑ์** ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเคลือบสีต่าง ๆ หลอมตัวดี และมันวาว สวยงาม ภาพแสดงในภาคผนวก ค

3.2.6 สรุปผลการทดลองเคลือบ

จากการศึกษาทดลองเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ เคลือบชนิดมีซิงค์ออกไซด์ ที่สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ใช้เนื้อดินหล่อ เผาที่อุณหภูมิ 1180°ซ. ได้เคลือบใสมันวาวและหลอมตัวดี สรุปสูตรได้ดังนี้

แร่ฟันม้า	ร้อยละ	41.1
หินปูน	ร้อยละ	18.5
ซิงค์ออกไซด์	ร้อยละ	9.0
ดินขาว	ร้อยละ	4.8
ควอรตซ์	ร้อยละ	26.6

สูตรเคลือบดังกล่าวสามารถนำไปพัฒนาเป็นเคลือบสีต่าง ๆ โดยใส่ออกไซด์ให้สี เช่น โคบอลต์ออกไซด์, คอปเปอร์ออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ในปริมาณ ร้อยละ 0.25-12 หรือสีเซรามิกในปริมาณร้อยละ 1-10 หรือใส่ออกไซด์หรือสีเซรามิกมากกว่า 1 สี ส่วนเคลือบทึบหรือเคลือบทึบสีสามารถเตรียมได้โดยใส่ตัวทำทึบเซอร์โคเนียมซิลิเกตร้อยละ 8 หรือดีบุก ร้อยละ 5 หรือไทเทเนียมออกไซด์หรือเถ้ากระดูกร้อยละ 6

บทที่ 4

วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

4.1 วิจารณ์ผลการวิจัย

เนื้อดินหล่อ NWR 2 เป็นเนื้อดินที่เหมาะแก่การนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบต่างๆ โดยวิธีการหล่อแบบ เนื่องจากในสูตรส่วนผสมจะมีดินขาวในปริมาณมากคือ 80 ส่วนโดยน้ำหนักและดินเหนียว 20 ส่วนโดยน้ำหนัก จึงทำให้เนื้อดินมีความเหนียวมากกว่าการใช้ดินขาวล้วน เมื่อนำไปหล่อชิ้นงานจะทำให้ชิ้นงานที่หล่อได้มีความแข็งแรง การตกแต่งทำได้ง่าย นอกจากนั้นแล้วยังใช้เวลาในการหล่อและตกแต่งเร็ว ผลิตภัณฑ์หลังเผาที่อุณหภูมิ 1180°ซ. มีสีน้ำตาล เนื่องจากดินขาวและดินเหนียวดังกล่าวมีปริมาณเหล็กสูง จึงเหมาะที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสโตนแวร์

เคลือบชนิดมีซิงค์ออกไซด์ที่ใช้กับเนื้อดินหล่อ NWR 2 เผาที่อุณหภูมิ 1180°ซ. จะได้เคลือบใสมันวาวและหลอมตัวดี เนื่องจากซิงค์ออกไซด์เป็นตัวช่วยหลอมที่ดีและช่วยทำให้เคลือบมีความมันวาวดี นอกจากนั้นการที่เคลือบไม่เกิดการรานตัว เมื่อนำไปใช้งาน เนื่องจากเคลือบมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวน้อยกว่าเนื้อดิน และช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเคลือบอยู่ในภาวะแรงอัด จึงเหมาะที่จะนำไปใช้กับเนื้อดิน NWR 2

4.2 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาทดลองเนื้อดินหล่อและเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ ได้เนื้อดินหล่อที่สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์โดยวิธีการหล่อแบบ ใช้เวลาในการหล่อและตกแต่งเร็ว ชิ้นงานหล่อมีความแข็งแรง ซึ่งเมื่อนำไปเคลือบด้วยเคลือบที่วิจัยและพัฒนาขึ้นใหม่เผาที่อุณหภูมิ 1180°ซ. จะได้ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ที่มีเนื้อแกร่ง ความพรุนตัวต่ำ มีสีสันสวยงาม สามารถสรุปสูตรของเนื้อดินหล่อและเคลือบ ได้ดังนี้

เนื้อดินหล่อ (NWR2)

ดินขาวด่านทับตะโก	80	ส่วนโดยน้ำหนัก
ดินแดงแหล่มสมถะ	20	ส่วนโดยน้ำหนัก
น้ำ	40	ส่วนโดยน้ำหนัก
โซเดียมซิลิเกต	0.22	ส่วนโดยน้ำหนัก

เคลือบ

แร่ฟันม้า	ร้อยละ	41.1
หินปูน	ร้อยละ	18.5
ซิงค์ออกไซด์	ร้อยละ	9.0
ดินขาว	ร้อยละ	4.8
ควอรตซ์	ร้อยละ	26.6

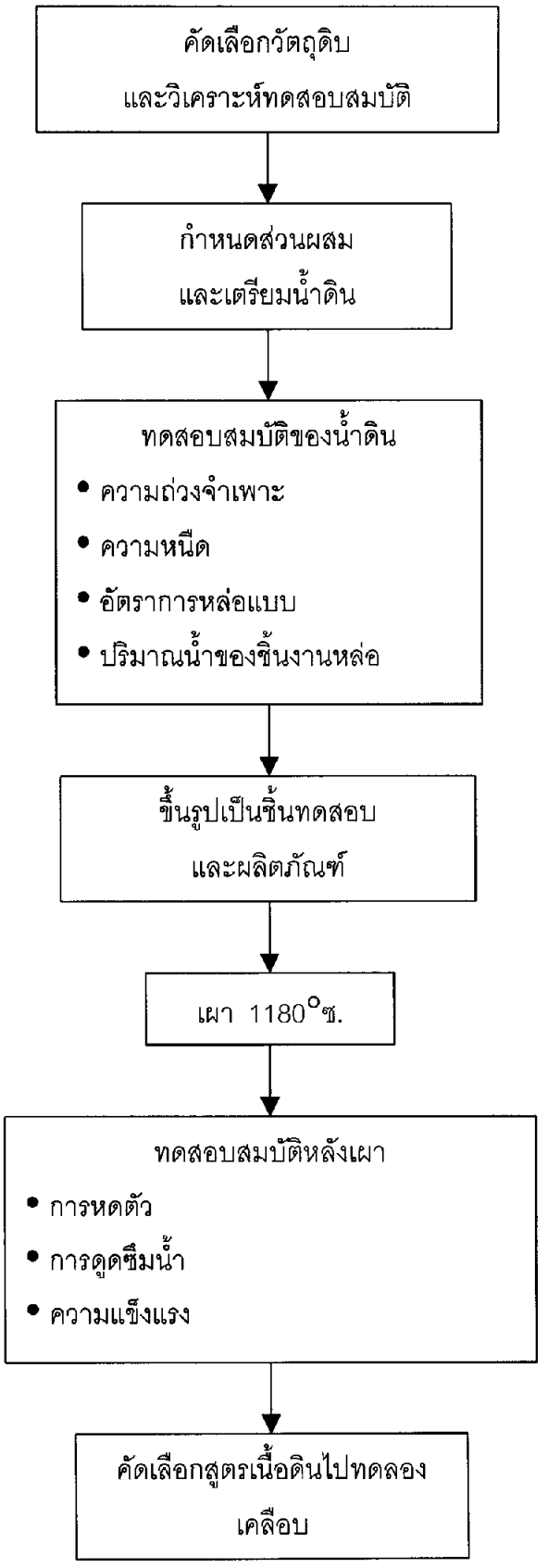
สูตรเคลือบดังกล่าวสามารถนำไปพัฒนาเป็นเคลือบสีต่าง ๆ โดยใส่ออกไซด์ให้สี เช่น โคบอลต์ออกไซด์, คอปเปอร์ออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ในปริมาณ ร้อยละ 0.25-12 หรือสีเซรามิกในปริมาณ ร้อยละ 0.25-12 หรือสีสำเร็จรูปเซรามิกในปริมาณร้อยละ 1-10 หรือใส่ออกไซด์หรือสีสำเร็จรูปเซรามิกมากกว่า 1 สี ส่วนเคลือบทึบหรือเคลือบทึบสีสามารถเตรียมได้โดยใส่ตัวทำทึบเซอร์โคเนียมซิลิเกตร้อยละ 8 หรือดีบุก ร้อยละ 5 หรือไทเทเนียมออกไซด์หรือเถ้ากระดูก ร้อยละ 6

เอกสารอ้างอิง

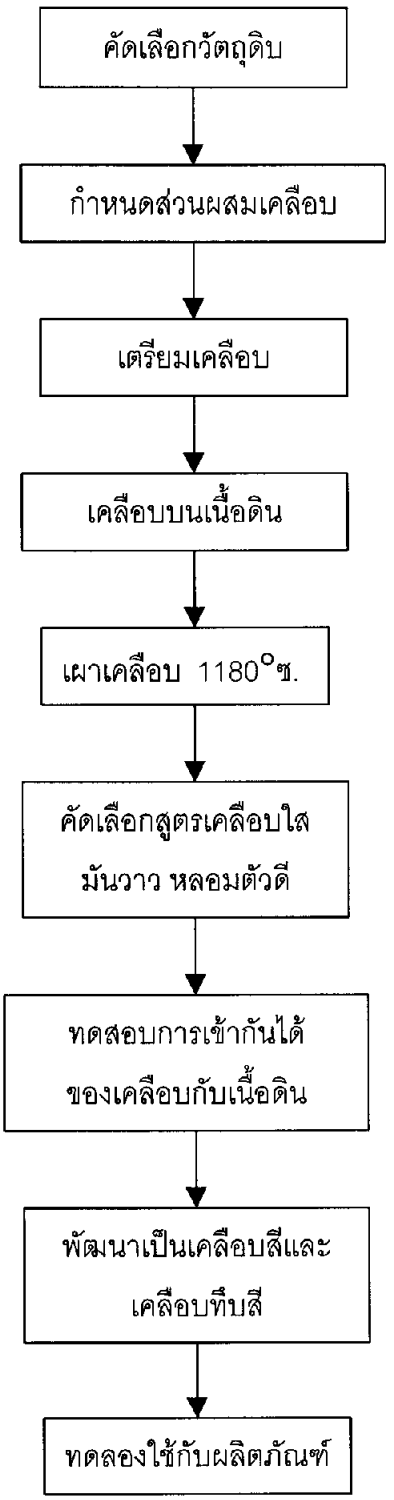
1. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, **ภาชนะรับประทานอาหาร : สโตนแวร์**, มอก.602-2529
2. ดนัย อารยะพงษ์, "**ทฤษฎีของน้ำดินและกระบวนการหล่อแบบ**", การฝึกอบรมเซรามิก ณ ห้อง 305 อาคารศศปาชศาลา สถาบันบัณฑิตบริหารธุรกิจศศินทร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 27 สิงหาคม 2540
3. กลุ่มวิจัยแร่อุตสาหกรรม, กรมทรัพยากรธรณี, "**เนื้อดินปั้นจากโรงงานโอ่งมังกร**", ธันวาคม 2540
4. ลดา พันธ์สุขุมธนา, "ความหนืดกับการควบคุมคุณภาพงานหล่อน้ำสลิปทางเซรามิก", วาร**สารกรมวิทยาศาสตร์บริการ** ปีที่ 46 ฉบับที่ 146 มกราคม 2541
5. สุทธิชัย ทีปประเสน, "กระบวนการผลิตเซรามิก", **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ** ปีที่ 47 ฉบับที่ 151 กันยายน 2542
6. Nogoya International Training Center (NITC) "Glaze and Color in Ceramics, Nagoya : Nagoya International Training Center, 1983.
7. Parmelee, C.W., **Ceramic Glaze**, Massachuseets, CBI Publishing Company Inc., 1975.
8. Robin Hopper, **The Ceramic Spectrum, A Simplified Approach to Glaze Color Development,** 2nd edition, Krause publications 2001.

ภาคผนวก

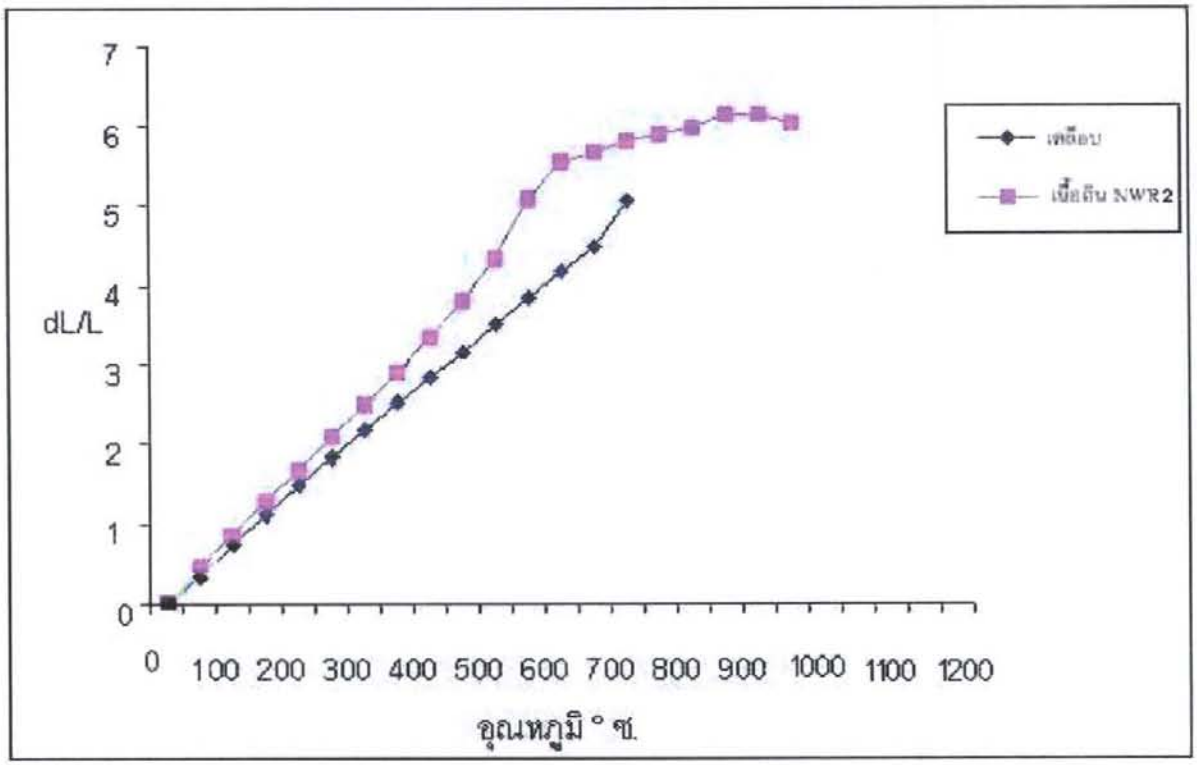
ภาคผนวก ก



ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงวิธีการวิจัยและพัฒนาเนื้อดินหล่อ



ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงวิธีการวิจัยและพัฒนาเคลือบ



ภาพที่ 3 แสดงการขยายตัวเมื่อร้อนของเนื้อดินและเคลือบ

ภาคผนวก ข

สูตรคำนวณสำหรับการทดสอบต่าง ๆ

1. **การหดตัวหลังเผา**

$$\text{การหดตัว, ร้อยละ} = \frac{\text{ความยาวตอนขึ้นรูป} - \text{ความยาวหลังเผา}}{\text{ความยาวตอนขึ้นรูป}} \times 100$$

2. **การดูดซึมน้ำ**

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

3. **ปริมาณน้ำของชิ้นงานหล่อ**

$$\text{ปริมาณน้ำของชิ้นงานหล่อ, ร้อยละ} = \frac{\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100$$

4. **ความถ่วงจำเพาะ =** $\dfrac{\text{น้ำหนักของน้ำดิน}}{\text{ปริมาตร}}$

5. **ความแข็งแรง**

$$\text{มอดุลัสแตกร้าว, เมกาพาสคัล} = \frac{3\,WL}{2\,bd^2}$$

W = แรงที่ทำให้ชิ้นทดสอบแตกหัก เป็นนิวตัน

L = ระยะระหว่างแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร

b = ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

d = ความหนาของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

6. **การขยายตัวเมื่อร้อน**

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนจากอุณหภูมิ T_1 ถึง T_2 , มม./มม.$^{\circ}$ซ.

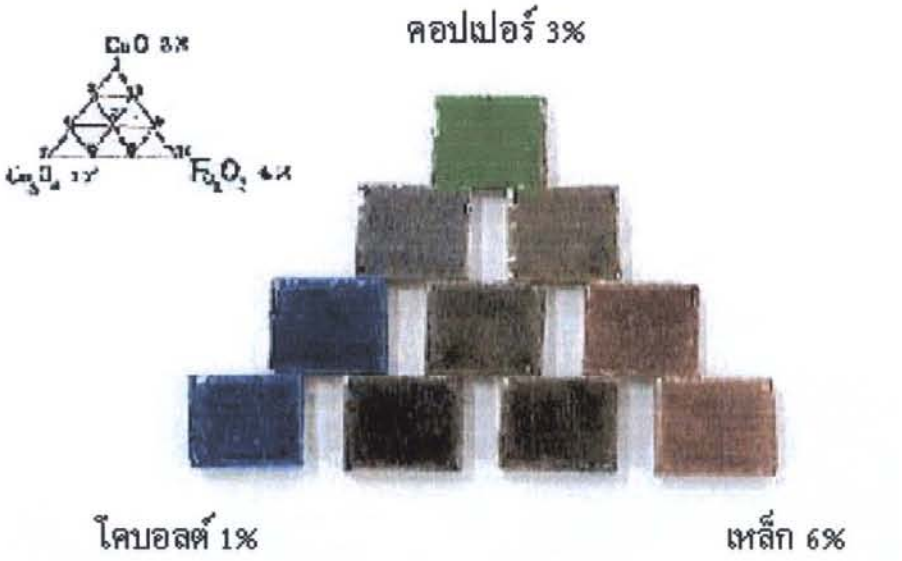
$$= \frac{L_2 - L_1}{L_o(T_2 - T_1)}$$

L_o = ความยาวของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ T_o (20°ซ.)

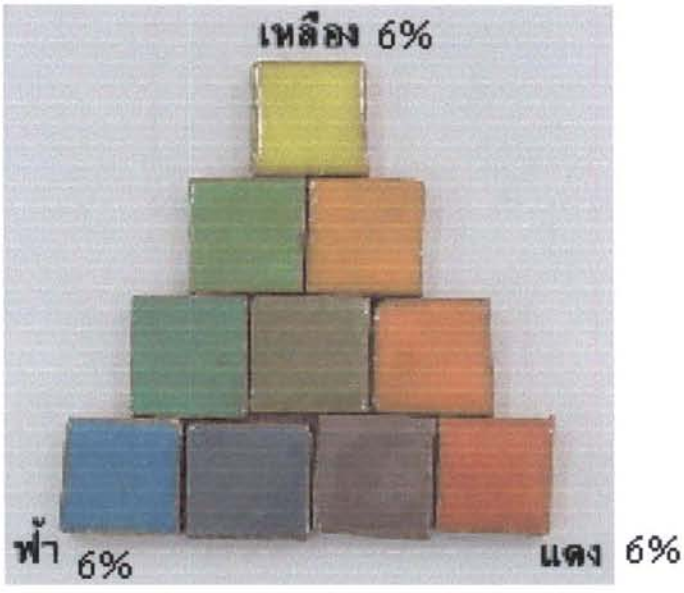
L_1 = ความยาวของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ T_1

L_2 = ความยาวของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ T_2

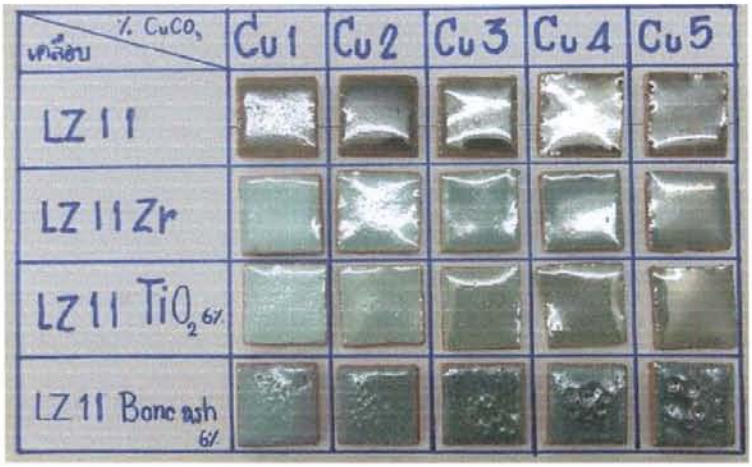
ภาคผนวก ค

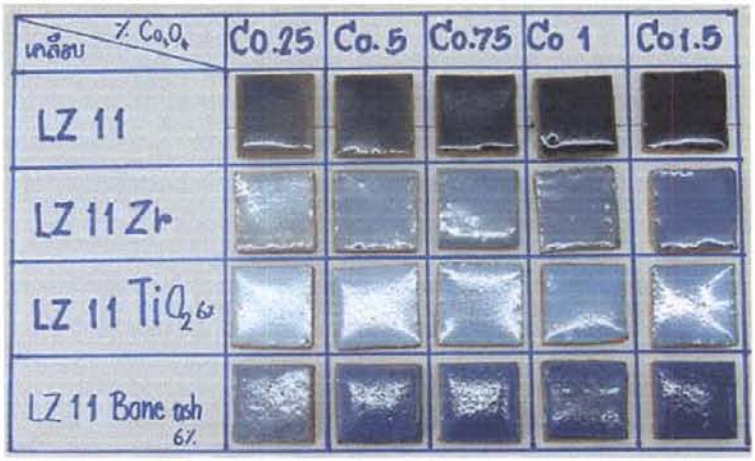


ภาพที่ 1 แสดงเคลือบสีต่าง ๆ จากออกไซด์ของโคบอลต์, คอปเปอร์ และเหล็ก ตามตารางที่ 11



ภาพที่ 2 แสดงเคลือบสีจากสีเซรามิกสีเหลือง, สีฟ้าและสีแดง ตามตารางที่ 12





ภาพที่ 3 แสดงเคลือบทึบสีต่าง ๆ จากตัวทำทึบเซอร์โคเนียมซิลิเกต ไทเทเนียมไดออกไซด์ และเถ้ากระดูก

ภาพที่ 4 แสดงภาพผลิตภัณฑ์ใหม่จากเนื้อดินหล่อเคลือบด้วยเคลือบสีต่าง ๆ