

การศึกษาผลการอบปูนปลาสเตอร์ที่ใช้แล้ว จากอุตสาหกรรมเซรามิก

Effect of Calcining Temperatures on the Properties of Used Ceramic Plaster Molds

ลดา พันธุ์สุนทร

พิณพวลักษ์ วัฒนินาส

บทคัดย่อ

แบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ที่ใช้แล้วจากอุตสาหกรรมเซรามิกมีเป็นปริมาณสูง มีการนำมาถมทิ้ง ซึ่งนำมาสู่ปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการอบปูนปลาสเตอร์ที่ใช้แล้วจากอุตสาหกรรมเซรามิกที่อุณหภูมิ 120-200 องศาเซลเซียส ต่อสมบัติกายภาพคือ ความชื้นเหลือมาตรฐาน เวลาการก่อตัว อุณหภูมิการก่อตัว และความต้านแรงอัด ผลการทดลองพบว่าปูนปลาสเตอร์ที่ใช้แล้วจากงานปั้นและงานหล่อหลังอบที่อุณหภูมิ 140-160 องศาเซลเซียส ปรากฏผลึกของ Calcium Sulfate Hemihydrate สมบัติความชื้นเหลือมาตรฐานสำหรับการทดสอบหาเวลาการก่อตัว ระยะปลาย และเวลาการก่อตัวระยะปลายของปูนปลาสเตอร์จากงานปั้นมีค่า 75-80 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ปูน 100 กรัม และ 15-35 นาที ตามลำดับ ส่วนของปูนปลาสเตอร์จากงานหล่อมีค่า 55 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ปูน 100 กรัม และ 30-40 นาที ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาณน้ำต่อปูนเท่ากันของตัวอย่างหลังอบที่ 160 องศาเซลเซียส พบว่าปูนปลาสเตอร์จากงานปั้นมีอุณหภูมิการก่อตัวต่ำกว่า และเวลาการก่อตัวและความต้านแรงอัดสูงกว่าของปูนปลาสเตอร์จากงานหล่อ คือที่ปริมาณน้ำต่อปูน 100 กรัม ที่ 65-80 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปูนปลาสเตอร์จากงานปั้นมีเวลาการก่อตัว 55-63 นาที อุณหภูมิการก่อตัว 42.5-44.3 องศาเซลเซียส ค่าความต้านแรงอัด $6.2 \pm 0.6 - 9.1 \pm 0.4$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร และปูนปลาสเตอร์จากงานหล่อมีเวลาการก่อตัว 43-46 นาที อุณหภูมิการก่อตัว 42.1 - 46.2 องศาเซลเซียส ค่าความต้านแรงอัด $4.4 \pm 0.4 - 8.4 \pm 0.7$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

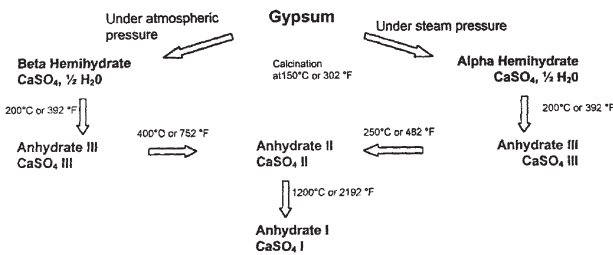
Abstract

Used plaster molds from ceramic industries are abundant every year. They were landfilled and may create global warming in the future. This paper studied the effect of calcining temperatures, 120-200 °C, on the properties of the used ceramic plaster mold, slip casting mold and jiggering mold. It was found that after calcined the used plaster at 140-160°C, the Calcium Sulfate Hemihydrate was formed. The normal consistency and setting time of the calcined used jiggering mold were 75-80 cm³/100 g plaster and 15-35 minutes consecutively. While the normal consistency and setting time of the calcined used slip casting mold were 55 cm³/100g plaster and 30-40 minutes consecutively. At the same consistency of the samples calcined at 160°C, the used jiggering mold had lower setting temperature, higher setting time and higher compressive strength than the used slip casting mold. At the consistency of 65-80 cm³, the used jiggering mold had setting temperature of 42.5-44.3°C, setting time of 55-63 minutes, and compressive strength of $6.2 \pm 0.6-9.1 \pm 0.4$ N/mm². The used slip casting mold had setting temperature of 42.1-46.2°C, setting time of 43-46 minutes, and compressive strength of $4.4 \pm 0.4 - 8.4 \pm 0.7$ N/mm².

บทนำ

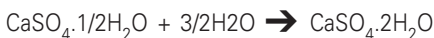
ยิปซัม คือ แคลเซียมซัลเฟตซึ่งมีน้ำอยู่ 2 โมเลกุล (Dihydrate) สูตรเคมีคือ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ประกอบด้วย ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ร้อยละ 46.5 แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 32.6 น้ำ (H_2O) ร้อยละ 20.9

เมื่ออบยิปซัมภายใต้บรรยากาศปกติได้ Beta Hemihydrate และภายใต้แรงอัดไอน้ำได้ Alpha Hemihydrate



ภาพจาก G.Seng, 2001

ในการผลิตปลาสเตอร์สำหรับใช้ทำแบบพิมพ์มีการใช้ Beta Hemihydrate และ Alpha Hemihydrate โดยปลาสเตอร์ที่มีส่วนผสมของ Beta Hemihydrate มีสมบัติใช้น้ำต่ำ ความแข็งแรงต่ำ ความพรุนสูง การขยายตัวต่ำ และปลาสเตอร์ที่มีส่วนผสมของ Alpha และ Beta Hemihydrate มีสมบัติใช้น้ำสูง ความแข็งแรงสูง ความพรุนต่ำ การขยายตัวสูง ทำให้ปลาสเตอร์มีสมบัติเหมาะสมกับการขึ้นด้วยวิธีต่างๆ เช่น การปั้นจิกเกอร์แบบพิมพ์ ต้องมีความแข็งแรงสูง และในการขึ้นรูปด้วยการหล่อแบบพิมพ์ต้องสามารถดูดซึมน้ำ (G. Seng, 2001) เมื่อใช้งาน Hemihydrate จะทำปฏิกิริยากับน้ำเปลี่ยนเป็น Dihydrate (A.J.Lewry et al., 1994)



ในปัจจุบันพบว่าปริมาณปูนปลาสเตอร์ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเซรามิกมีปริมาณสูงถึง 38,000 ตันต่อปี (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 25 กค. 2551) อีกทั้งความตระหนักถึงสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น (H.L. Nielsen, 2008) พบมีการศึกษาเกี่ยวกับแบบพิมพ์

ปูนปลาสเตอร์ใช้แล้ว เช่น การศึกษาใช้แบบพิมพ์ที่หมดอายุการใช้งานผสมกับทราย ซิลิกา และซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อผลิตเป็นอิฐประสาน ผึ่งสำเร็จรูปหรือผลิตภัณฑ์ประดับตกแต่งอาคาร (เกรียงศักดิ์ เขียวมัน, 2549) การศึกษาผลของการอบแบบพิมพ์ใช้แล้วจากงานหล่อแบบอัดภูมิณีต่อสมบัติการไหลตัวและการก่อตัว (สุทิน คุณาเรืองรอง และคณะ, 2549) แต่การศึกษาสมบัติของแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ใช้แล้วจากอุตสาหกรรมเซรามิกยังไม่เป็นที่แพร่หลายนัก จึงเป็นที่มาของการศึกษาผลของการอบต่อสมบัติกายภาพของปูนปลาสเตอร์ใช้แล้วจากอุตสาหกรรมเซรามิก เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับนำปูนปลาสเตอร์ใช้แล้วจากอุตสาหกรรมเซรามิกกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีก

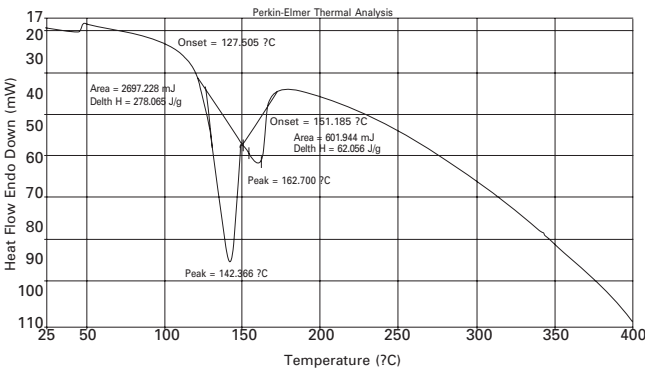
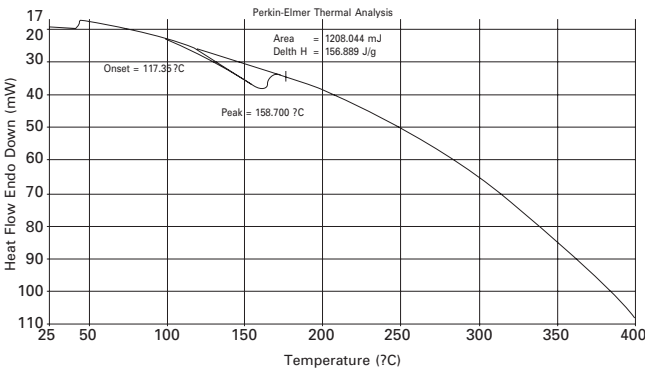
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

วัตถุดิบที่ใช้เป็นแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ใช้แล้วจาก บริษัท รอยัล ปอร์ซเลน จำกัด (มหาชน) นำมาคัดแยกเป็นปูนปลาสเตอร์ใช้แล้วจากการปั้น (RPJ) และจากการหล่อ (RPC) นำมาบดด้วยโม่และคัดขนาดด้วยตะแกรง 100 เมช ทดสอบปฏิกิริยาทางความร้อนของตัวอย่างด้วย Differential Thermal Analysis (Perkin Elmer DSC 7) แล้วจึงนำมาอบที่อุณหภูมิ 120-200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ผ่านการอบมาทดสอบหาเฟสด้วย X-ray Diffractometer (Bruker D8 Advance) ทดสอบความชื้นเหลวมาตรฐานสำหรับการทดสอบเวลาการก่อตัวระยะปลายและเวลาการก่อตัวระยะปลาย ตาม มอก.188-2547 และความชื้นเหลวมาตรฐานสำหรับหาเวลาการก่อตัวระยะต้นและความต้านแรงอัด ตาม มอก.188-2547

หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง มาทดสอบเวลาการก่อตัวโดยการวัดอุณหภูมิ ซึ่งใช้วิธีการทดสอบตาม ASTM C 472-99 ทดสอบความหนาแน่นจากอัตราส่วนของมวลต่อปริมาตรซึ่งรวมรูพรุนด้วย และความต้านแรงอัดที่ปริมาณน้ำตอปูน 100 กรัม ที่ 65-80 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตาม มอก.188-2547

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบปฏิกิริยาทางความร้อนของตัวอย่างด้วย Differential Thermal Analysis แสดงดังภาพที่ 1 พบว่าตัวอย่าง RPJ และ RPC เริ่มเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 117-127 องศาเซลเซียส โดยมีจุดสูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ 160 องศาเซลเซียส แต่ RPC เกิดปฏิกิริยาดูดความร้อนที่มีจุดสูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียส ด้วย



ภาพที่ 1 ผลการทดสอบปฏิกิริยาทางความร้อนด้วย Differential Thermal Analysis (A) RPJ (B) RPC

ผลการทดสอบเฟสของตัวอย่าง RPJ และ RPC ที่ไม่ผ่านการอบและผ่านการอบที่อุณหภูมิ 140-160 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 1 ผลการทดสอบความชื้นเหลวมาตรฐานสำหรับการทดสอบหาเวลาการก่อตัวระยะปลายและเวลาการก่อตัวระยะปลายของตัวอย่าง RPJ และ RPC ที่ผ่านการอบที่ 120-200 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 2 ผลทดสอบความชื้นเหลวมาตรฐานสำหรับหาเวลาการก่อตัวระยะต้นและความต้านแรงอัด

ของตัวอย่าง RPJ และ RPC ที่ผ่านการอบที่ 120-200 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 3 และผลการทดสอบเวลาการก่อตัวโดยการวัดอุณหภูมิ ความหนาแน่น และความต้านแรงอัด ของตัวอย่าง RPJ และ RPC ที่ผ่านการอบที่ 160 องศาเซลเซียส และปริมาณน้ำต่อปูน 100 กรัม ที่ 65-80 ลูกบาศก์เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 2-3

ตารางที่ 1 แสดงเฟสของตัวอย่าง RPJ และ RPC ที่ไม่ผ่านการอบและผ่านการอบที่ 140 และ 160 องศาเซลเซียส

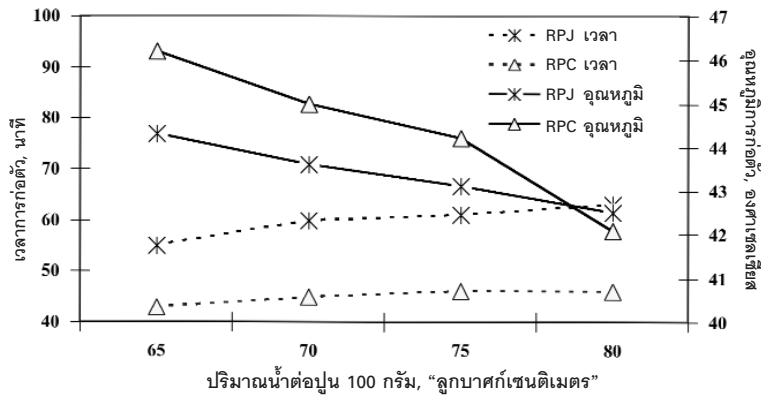
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	RPJ	RPC
-	Gypsum (CaSO ₄ 2H ₂ O)	Gypsum (CaSO ₄ 2H ₂ O)
140	Calcium sulfate hydrate (CaSO ₄ 0.5H ₂ O)	Calcium Sulfate Hydrate (CaSO ₄ 0.5H ₂ O)
160	Calcium sulfate hydrate (CaSO ₄ 0.5H ₂ O)	Calcium Sulfate Hydrate (CaSO ₄ 0.5H ₂ O)

ตารางที่ 2 แสดงความชื้นเหลวมาตรฐานสำหรับการทดสอบหาเวลาการก่อตัวระยะปลายและเวลาการก่อตัวระยะปลายของตัวอย่าง RPJ และ RPC ที่ผ่านการอบที่ 120-200 องศาเซลเซียส

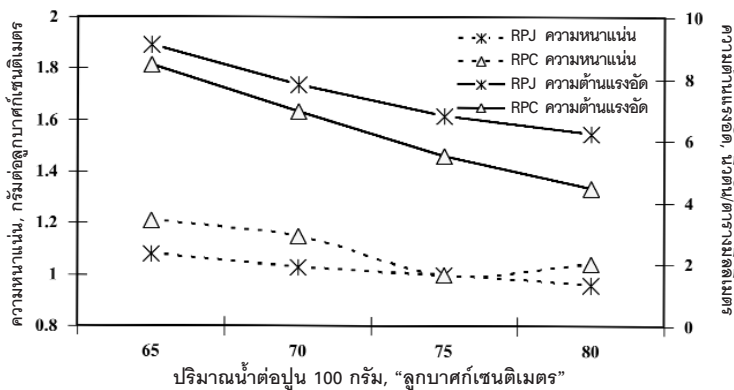
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	RPJ		RPC	
	ความชื้นเหลว (ลูกบาศก์เซนติเมตร/ปูน 100 กรัม)	เวลาการก่อตัวระยะปลาย (นาที)	ความชื้นเหลว (ลูกบาศก์เซนติเมตร/ปูน 100 กรัม)	เวลาการก่อตัวระยะปลาย (นาที)
120	75	35	55	ไม่ก่อตัว
140	80	15	55	35
160	75	30	55	30
180	80	40	55	>50
200	80	>60	-	-

ตารางที่ 3 แสดงผลทดสอบความชื้นเหลวมาตรฐานสำหรับหาเวลาการก่อตัวระยะต้นและความต้านแรงอัดของตัวอย่าง RPJ และ RPC ที่ผ่านการอบที่ 120-200 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	RPJ		RPC	
	ความชื้นเหลว (ลูกบาศก์เซนติเมตร/ปูน 100 กรัม)	ความต้านแรงอัด (นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร)	ความชื้นเหลว (ลูกบาศก์เซนติเมตร/ปูน 100 กรัม)	ความต้านแรงอัด (นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร)
120	115	2.2±0.0	95	5.1±0.4
140	115	3.7±0.2	88	5.4±0.1
160	110	4.4±0.2	93	4.4±0.1
180	110	2.7±0.1	-	-
200	110	2.5±0.1	-	-



ภาพที่ 2 แสดงเวลาการก่อตัวโดยการวัดอุณหภูมิของตัวอย่าง RPJ และ RPC ที่ผ่านการอบที่ 160 องศาเซลเซียส และมีปริมาณน้ำต่อปูน 100 กรัม ที่ 65-80 ลูกบาศก์เซนติเมตร



ภาพที่ 3 แสดงความหนาแน่นและความต้านแรงอัดของตัวอย่าง RPJ และ RPC ที่ผ่านการอบที่ 160 องศาเซลเซียส และมีปริมาณน้ำต่อปูน 100 กรัม ที่ 65-80 ลูกบาศก์เซนติเมตร

อภิปรายและสรุปผลการทดลอง

ผลการทดสอบ Differential Thermal Analysis ดังภาพที่ 1 และผลการทดสอบหาเฟสด้วย X-ray Diffractometer จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาที่ดูดความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 160 องศาเซลเซียสนั้น เกิดจากเฟส Calcium Sulfate Hemihydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$)

ผลการทดสอบความชื้นเหลือมาตรฐานสำหรับการทดสอบหาเวลาการก่อตัวระยะปลายและเวลาการก่อตัวระยะปลาย จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่าง RPJ หลังอบที่อุณหภูมิ 120-200 องศาเซลเซียส มีความชื้นเหลือมาตรฐานสูงกว่าตัวอย่าง RPC และ

การอบ ณ อุณหภูมิที่ 140-160 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ RPJ และ RPC มีเวลาการก่อตัวระยะปลายน้อยกว่าอุณหภูมิอื่น สอดคล้องกับผลการทดสอบความชื้นเหลือมาตรฐานสำหรับหาเวลาการก่อตัวระยะต้นและความต้านแรงอัด จากตารางที่ 3 ตัวอย่าง RPJ หลังอบที่อุณหภูมิ 120-200 องศาเซลเซียส มีความชื้นเหลือมาตรฐานสูงกว่าตัวอย่าง RPC และอุณหภูมิอบที่ 160 องศาเซลเซียส ตัวอย่าง RPJ มีความต้านแรงอัดสูงกว่าอุณหภูมิอื่น สำหรับตัวอย่าง RPC อุณหภูมิอบที่ 140 องศาเซลเซียส มีความต้านแรงอัดสูงกว่าอุณหภูมิอื่น และตัวอย่าง RPC ไม่ก่อตัวเมื่ออบที่อุณหภูมิ 120 และ 200 องศาเซลเซียส

การทดสอบที่ปริมาณน้ำคงที่ที่ปริมาณน้ำต่อปูน 100 กรัม ที่ 65-80 ลูกบาศก์เซนติเมตร ของตัวอย่าง RPJ และ RPC หลังอบที่ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากภาพที่ 2-3 พบว่า ตัวอย่าง RPJ มีเวลาการก่อตัวต่ำกว่าแต่อุณหภูมิการก่อตัวสูงกว่าตัวอย่างRPC คือ RPJ มีเวลาการก่อตัว 55-63 นาที อุณหภูมิการก่อตัว 42.5-44.3 องศาเซลเซียส ส่วน RPC มีเวลาการก่อตัว 43-46 นาที อุณหภูมิการก่อตัว 42.1-46.2 องศาเซลเซียส และเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นทั้งสองตัวอย่างมีค่าความต้านแรงอัดลดลง โดยตัวอย่าง RPJ มีความต้านแรงอัดสูงกว่าตัวอย่าง RPC คือ RPJ มีค่าความต้านแรงอัด $6.2 \pm 0.6 - 9.1 \pm 0.4$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร และ RPC มีค่าความต้านแรงอัด $4.4 \pm 0.4 - 8.4 \pm 0.7$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

การนำตัวอย่างหลังอบมาผสมน้ำจะเกิดปฏิกิริยา (Hydration) ระหว่าง Calcium Sulfate Hemihydrate กับน้ำ เปลี่ยนเป็น Calcium Sulfate Dihydrate ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาจะสัมพันธ์กับเฟสในตัวอย่าง การเกิดปฏิกิริยาจะทำให้อุณหภูมิของตัวอย่างเพิ่มขึ้น ซึ่ง อุณหภูมิสูงสุดแสดงว่าปฏิกิริยาลิ้นสุด เกิดเป็นผลึกรูปเข็ม (Needle-like Dihydrate Crystal) ทำให้สามารถเกิดการก่อตัวและค่าความต้านแรงอัดเพิ่มขึ้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวอย่าง RPC ซึ่งเป็นปูนใช้แล้วจากงานหล่อ มี

แนวโน้มของการใช้น้ำในการเกิดปฏิกิริยาน้อยกว่าตัวอย่าง RPJ รวมถึงมีสมบัติความต้านแรงอัดด้อยกว่า RPJ ซึ่งเป็นปูนใช้แล้วจากงานปั้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อพิจารณากระบวนการขึ้นรูป ในการขึ้นรูปด้วยดินเหนียวมักไม่มีส่วนผสมของสารเติม ส่วนการขึ้นรูปด้วยการหล่อ ในการเตรียมน้ำดินจะมีการเติมสารช่วยลอยกระจายตัว เมื่อใช้งานสารช่วยลอยกระจายตัวนี้จะเข้ามาปนเปื้อนเป็นผลให้ปูนใช้แล้วจากงานหล่อมลทินสูงกว่าปูนใช้แล้วจากงานปั้น ซึ่งผลจาก Differential Thermal Analysis ของ RPC ที่ปรากฏปฏิกิริยาจุดความร้อนที่มีจุดสูงสุดที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นปฏิกิริยาความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นกว่าที่พบในตัวอย่าง RPJ

ผลงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าปูนใช้แล้วจากอุตสาหกรรมเซรามิกมีสมบัติแตกต่างกันขึ้นกับมลทินที่เกิดจากการขึ้นรูป ซึ่งเมื่อผ่านการอบที่ 140-160 องศาเซลเซียส สามารถเกิดการก่อตัวและมีความแข็งแรงได้

กิตติกรรมประกาศ ขอขอบคุณโครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการที่ให้ความอนุเคราะห์ทดสอบปฏิกิริยาทางความร้อนด้วย Differential Thermal Analysis และทดสอบสมบัติความต้านแรงอัด รวมทั้งให้คำแนะนำด้านการทดสอบสมบัติกายภาพของปูนปลาสเตอร์

เอกสารอ้างอิง

- Lewry, A.J. and Williamson, J. The setting of gypsum plaster. Part I : The hydration of calcium sulphate hemihydrate. **Journal of Material Science**, 1994, Vol.29, p.5279-5284.
- Nielsen, H.L. **Recycle of plasterboard waste - from nice to have to necessity**. 8th ed. Dubai : Global Gypsum Conference & Exhibition, 2008, p. 12.1-12.8.
- Seng, G. Improving plaster moulds for the tableware industry. **Technical Conference "Ceramic@dvventure"**, 2001March , 30-31, Saraburi.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม. **ข้อมูลวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก**. กรุงเทพมหานคร : สำนักบริหารฯ, 2551.
- เกรียงศักดิ์ เขียวมัน. **การศึกษาการใช้ประโยชน์จาก working mold ที่เสื่อมสภาพ**. การแสดงศิลปะเครื่องปั้นดินเผาแห่งชาติ. ครั้งที่ 13. 2549, หน้า148-151.
- สุทิน คูหาเรืองรอง และคนอื่นๆ. การนำวัสดุเหลือทิ้งของ plaster ที่ใช้หล่ออัญมณี มาศึกษาเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่. **วารสารเซรามิกส์**, พฤษภาคม-สิงหาคม, 2549, ปีที่ 10, ฉบับที่ 22, หน้า 57-60.