สีผงเซอร์คอน : สีเหลือง

กรมวิทยาศาสตร์บริการได้รายงานผลการศึกษาเรื่องการพัฒนาเทคโนโลยีการทำสีผงเซอร์คอน ในวารสารติดต่อกันมาแล้ว 2 ฉบับ ในฉบับที่ 127 เกี่ยวกับเทคโนโลยีการทำสีชมพูปะการังและในฉบับที่ 128 เกี่ยวกับเทคโนโลยีการทำสีฟ้า สำหรับฉบับนี้จะเกี่ยวกับเทคโนโลยีการทำสีเหลืองซึ่งเป็นชุดสุดท้ายของการศึกษาวิจัยเรื่องสีผงเซอร์คอนที่กรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน

สีผงเซอร์คอนสีเหลือง มีส่วนผสมหลักคล้ายคลึงกับส่วนผสมสีชมพูปะการังและสีฟ้าที่ได้กล่าวมาแล้ว กล่าวคือ ประกอบด้วย ZrO_2 และ SiO_2 เป็นวัตถุดิบหลัก สำหรับรวมตัวเป็นโครงสร้างเซอร์คอนโดยมีสารให้สี และสารเติมแต่งผสมอยู่ด้วยเล็กน้อย สารให้สีจะช่วยให้เกิดสีเหลืองและสารเติมแต่งจะช่วยลดระดับอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาระหว่าง ZrO_2 กับ SiO_2 ให้ต่ำลงทำให้สารให้สีแทรกเข้าไปในโครงสร้างเซอร์คอนได้ง่ายขึ้น สำหรับสีเหลือง สารให้สีที่นิยมใช้มาก คือสารประกอบที่ให้พราซิโอดิเมียมออกไซด์หลังเผา ส่วนสารเติมแต่ง ได้แก่ สารประเภท สารอัลคาไล สารฟลูออไรด์ และสารคลอไรด์ เป็นต้น

อัตรส่วนผสมสีผง รวมทั้งชนิดของสารให้สี สารเติมแต่งและระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์มีผลต่อความเข้มของสี และปฏิกิริยาการรวมตัวระหว่าง ZrO_2 และ SiO_2 เกิดเป็นเซอร์คอนจึงจำเป็นต้องศึกษาวิจัยเพื่อหาส่วนผสมและสภาวะที่เหมาะสมในการทำสีผงดังกล่าว

1. วัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา

1.1 วัตถุประสงค์ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสังเคราะห์สีผงเซอร์คอนสีเหลือง ผลกระทบของปริมาณสารให้สี (Pr_6O_{11}) ชนิดสารเติมแต่งระหว่าง NaF กับ NaCl และ NaF กับ NH_4Cl และระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์ต่อปฏิกิริยาการเกิดเป็นเซอร์คอน และความเข้มของสี

1.2 ขอบเขตการศึกษา

1.2.1 ส่วนผสมสีผงที่ทำการศึกษากำหนดให้อยู่ในขอบเขตต่อไปนี้ ส่วนผสมของวัตถุดิบหลัก

ZrO_2 67.2%

SiO_2 32.8%

ปริมาณสารให้สีและสารเติมแต่ง

Pr_6O_{11} 4-10%

NaF 3%

NaCl หรือ NH_4Cl 4%

1.2.2 ระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์สีผง ระหว่าง 750°-1,150°ซ.

1.2.3 เคลือบเซรามิกที่นำสีผงไปทดลองใช้เป็นเคลือบชนิด lime-zinc อุณหภูมิ 1,200°ซ.

2. วิธีการทดลอง

2.1 ส่วนผสมที่ทดลอง ส่วนผสมที่ทดลองแสดงในตารางที่ 1 ประกอบด้วย อัตราส่วน ZrO_2 : SiO_2 = 1 : 1 โมลคงที่ ผันแปรปริมาณสารให้สี Pr_6O_{11} 4,6 และ 10% ผันแปรชนิดสารเติมแต่งระหว่างการใช้ NaF 3% กับ NaCl 4% และการใช้ NaF 3% กับ NH_4Cl 4%

ตารางที่ 1 ส่วนผสมสีเหลือง

สัญลักษณ์	ส่วนผสม (กรัม)					
	ZrO_2	SiO_2	Pr_6O_{11}	NaF	NaCl	NH_4Cl
Y1	67.2	32.8	4	3	4	—
Y2	67.2	32.8	6	3	4	—
Y3	67.2	32.8	10	3	4	—
Y4	67.2	32.8	4	3	—	4
Y5	67.2	32.8	6	3	—	4
Y6	67.2	32.8	10	3	—	4

2.2 การเตรียมสีผง เตรียมตัวอย่างครั้งละ 50 กรัม มีขั้นตอนการเตรียม ดังนี้

ก. การบดผสม นำตัวอย่างที่ชั่งเรียบร้อยแล้ว มาบดแห้งให้เข้ากันในเครื่องบดอัตโนมัติ (ครกและสากทำด้วย agate) ประมาณ 5 นาที

ข. การเผาสังเคราะห์ นำตัวอย่างที่บดผสมเข้ากันดีแล้ว มาเทใส่เบ้าดินเผาปิดฝาให้สนิท เผาในเตาเผาไฟฟ้า อุณหภูมิ 750°-1,150°ซ. ในอัตราเร่ง 200°ซ./ชั่วโมง

ค. การบดและล้าง นำสีผงที่ได้จากการเผาสังเคราะห์มาบดแห้งในเครื่องบดอัตโนมัติ ประมาณ 15 นาที จะได้สีผงละเอียด จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำร้อนประมาณ 3 ครั้ง เพื่อกำจัดเกลือส่วนเกินที่ละลายน้ำกรองแยกผงสี แล้วนำไปอบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 80°ซ. นำสีผงที่อบแห้งแล้วมาบดให้ละเอียดอีกครั้งประมาณ 2 นาที จะได้สีผงที่พร้อมจะนำไปใช้งาน และทดสอบคุณสมบัติต่อไป

2.3 การเตรียมเคลือบสี นำสีผงที่เตรียมได้มาทดลองใช้กับเคลือบเพื่อดูว่าจะให้สีเป็นอย่างไรเคลือบที่ใช้ คือ เคลือบชนิด lime-zinc อุณหภูมิ 1,200°ซ. มีส่วนผสมดังนี้

เคลือบ :

แร่ฟันม้า	35.2%
หินปูน	13.6%
ควอรตซ์	28.5%
ดินขาวนราธิวาส	11.1%
ซิงค์ออกไซด์	6.8%
ทัลก์	4.8%

เติมสารทำทึบและสีผง :

เซอร์โคเนียมซิลิเคต	8%
สีผง	6%

บดเปียกส่วนผสมข้างต้นในหม้อบด 8 ชั่วโมง นำมาเคลือบบนแผ่นดินเผาเนื้อเออร์เทนแวร์ ขนาด 3 x 3 ซม. โดยวิธีจุ่ม เผาในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1,200°ซ. ใช้อัตราเร่ง 150°ซ./ชั่วโมง ยืนไฟที่อุณหภูมิสูงสุด 30 นาที

2.4 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางวิทยาแร่ นำสีผงที่ผ่านการล้างให้สะอาดแล้วมาวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางวิทยาแร่ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ เพื่อศึกษาปฏิกิริยาการเกิดเป็นเซอร์คอน (ใช้คลื่นรังสีโคบอลกระทำที่มุม 2 θ: 10°-60° ความเร็ว 0.05°/วินาที ความต่างศักย์ 35 กิโลโวลต์ กระแสร์ 25 มิลลิแอมแปร์ จำนวนนับเต็มสเกล 10,000 counts)

2.5 การวัดสี นำตัวอย่างสีผงที่ได้จากการสังเคราะห์และแผ่นเคลือบสีที่เตรียมจากสีผงดังกล่าวมาวัดค่าสี L,a,b ตามระบบ Hunter L,a,b ด้วยเครื่อง Elrepho 2000 โดยที่

L เป็นค่าแสดงความขาว (+L) และความมืด (-L) ของสี

a เป็นค่าแสดงปริมาณของสีแดง (+a) และสีเขียว (-a)

b เป็นค่าแสดงปริมาณของสีเหลือง (+b) และสีฟ้า (-b)

3. ผลการศึกษา

3.1 ผลการทดสอบสีผง ลักษณะทั่วไปของสีผง Y1-Y6 เผาสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 750°, 850°, 950°, 1,050°, และ 1,150°ซ. ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางวิทยาแร่ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ และผลการวัดค่า L,a,b ตามระบบ Hunter L,a,b ด้วยเครื่อง Elrepho 2000 แสดงในตารางที่ 2,3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ลักษณะทั่วไปของสีผง

ระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์, °ซ.	ลักษณะทั่วไปของสีผง					
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
750°	สีขาว สีสม่ำเสมอร่วน	สีขาว สีสม่ำเสมอร่วน	สีขาว สีสม่ำเสมอร่วน	สีเหลืองอ่อน สีสม่ำเสมอร่วน	สีเหลืองอ่อน สีสม่ำเสมอร่วน	สีเหลืองอ่อน สีสม่ำเสมอร่วน
850°	สีขาวนวล สีสม่ำเสมอร่วน	สีเหลืองอ่อน สีสม่ำเสมอร่วน	สีเหลืองอ่อน สีสม่ำเสมอร่วน	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน
950°	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน
1,050°	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน
1,150°	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน, ค่อนข้างแข็ง	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน, แข็ง	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน, แข็ง	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน, แข็ง	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน, แข็ง	สีเหลือง สีสม่ำเสมอร่วน, แข็ง

ตารางที่ 2

Y1 ที่อุณหภูมิ 750°ซ. จะให้สีขาว อุณหภูมิ 850°ซ. จะให้สีขาวนวล อุณหภูมิ 950°, 1,050° และ 1,150°ซ. จะให้สีเหลือง สีสม่ำเสมอและร่วนทุกอุณหภูมิ

Y2 ที่อุณหภูมิ 750°ซ. จะให้สีขาว อุณหภูมิ 850°ซ. จะให้สีเหลืองอ่อน อุณหภูมิ 950°, 1,050° และ 1,150°ซ. จะให้สีเหลือง สีสม่ำเสมอและร่วนทุกอุณหภูมิ

Y3 ที่อุณหภูมิ 750°ซ. จะให้สีขาว อุณหภูมิ 850°ซ. จะให้สีเหลืองอ่อน อุณหภูมิ 950°, 1,050° และ 1,150°ซ. จะให้สีเหลือง สีสม่ำเสมอและร่วนทุกอุณหภูมิ

Y4 ที่อุณหภูมิ 750°ซ. จะให้สีเหลืองอ่อน อุณหภูมิ 850°, 950°, 1,050° และ 1,150°ซ. จะให้สีเหลือง สีสม่ำเสมอและร่วนทุกอุณหภูมิ

Y5 ที่อุณหภูมิ 750°ซ. ให้สีเหลืองอ่อน อุณหภูมิ 850°, 950°, 1,050° และ 1,150°ซ. จะให้สีเหลือง สีสม่ำเสมอและร่วนทุกอุณหภูมิ

Y6 ที่อุณหภูมิ 750°ซ. ให้สีเหลืองอ่อน อุณหภูมิ 850°, 950°, 1,050° และ 1,150° ซ. จะให้สีเหลือง สีสม่ำเสมอและร่วนทุกอุณหภูมิ

3.2 **ผลการทดสอบเคลือบสี** ลักษณะทั่วไปของเคลือบสีที่เตรียมจากสีผง Y1-Y6 เผาสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 750°, 850°, 950°, 1,050° และ 1,150°ซ. แสดงในตารางที่ 5 ผลการวัดค่าสีตามระบบ Hunter L,a,b แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบทางวิทยาแร่ของสีผง

ระดับอุณหภูมิ เผาสังเคราะห์ °ซ	ส่วนประกอบทางวิทยาแร่**																	
	Y1			Y2			Y3			Y4			Y5			Y6		
	$ZrSiO_4$	ZrO_2	SiO_2	$ZrSiO_4$	ZrO_2	SiO_2	$ZrSiO_4$	ZrO_2	SiO_2	$ZrSiO_4$	ZrO_2	SiO_2	$ZrSiO_4$	ZrO_2	SiO_2	$ZrSiO_4$	ZrO_2	SiO_2
750°	–	4.2*	2.5	–	3.8	2.3	–	4.1	1.8	1.2	4.2	3.4	0.9	4.3	3.7	0.7	3.6	3.4
850°	–	5.3	2.5	1.1	2.7	1.9	3.2	3.5	1.8	5.3	2.2	1.8	8.2	0.7	0.8	6.0	0.8	1.1
950°	4.7	1	0.5	4.3	1.1	0.4	4.9	1.1	–	6.3	0.8	0.7	6.5	0.2	–	5.7	0.3	–
1050°	4.7	–	–	5.9	0.5	–	3.7	0.4	–	5.8	0.6	–	6.1	0.4	–	5.5	0.3	–
1150°	7.9	–	–	6.7	0.2	–	6.2	0.4	–	7.9	0.2	–	9.0	–	–	6.2	0.4	–

*ความสูงของ peak บนสเกล 10 หน่วย

**$ZrSiO_4$ หมายถึง เซอร์คอน (Zircon)

ZrO_2 หมายถึง แบดดีลิไยต์ (Baddeleyite)

SiO_2 หมายถึง ควอรตซ์ (Quartz)

ตารางที่ 4 ผลการวัดค่าสีระบบ Hunter L,a,b ของสีผง

ระดับอุณหภูมิ เผาสังเคราะห์ °ซ	ค่าสีระบบ Hunter L,a,b																	
	Y1			Y2			Y3			Y4			Y5			Y6		
	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
750°	90.04	-2.53	10.97	90.07	-2.02	9.03	90.11	-3.09	10.73	89.21	-8.08	33.08	90.16	-7.54	29.22	90.45	-7.42	26.38
850°	90.52	-6.66	21.55	88.99	-8.81	37.26	87.95	-7.77	43.57	87.65	-7.36	46.19	86.19	-5.55	47.29	87.56	-7.03	43.64
950°	85.80	-5.65	49.09	85.22	-5.29	48.85	84.13	-4.38	49.37	85.92	-4.97	49.92	85.03	-4.97	48.34	85.54	-5.57	46.70
1050°	85.56	-5.70	49.94	84.52	-4.75	49.86	84.16	-5.21	48.97	85.07	-5.21	48.82	84.02	-4.09	47.94	85.41	-6.43	45.31
1150°	86.20	-8.65	47.85	85.59	-8.04	48.20	84.59	-7.39	48.04	87.71	-8.92	44.57	89.33	-9.89	40.41	86.65	-8.47	44.21

ตารางที่ 4

L เป็นค่าแสดงความขาว (+L) และความมืด (-L) ของสี

a เป็นค่าแสดงปริมาณของสีแดง (+a) และสีเขียว (-a)

b เป็นค่าแสดงปริมาณของสีเหลือง (+b) และสีฟ้า (-b)

Y1 ที่อุณหภูมิ 750°-850°ซ. จะให้ค่าสีเหลือง (+b) ต่ำ และจะให้ค่าสีเหลืองสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ 950°ซ. ขึ้นไป

Y2 ที่อุณหภูมิ 750° และ 850°ซ. จะให้ค่าสีเหลือง (+b) ต่ำ และจะให้ค่าสีเหลืองสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ 950°ซ. ขึ้นไป

Y3 ที่อุณหภูมิ 750°ซ. จะให้ค่าสีเหลือง (+b) ต่ำ และจะให้ค่าสีเหลืองสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ 850°ซ. ขึ้นไป

Y4 ที่อุณหภูมิ 750°ซ. จะให้ค่าสีเหลือง (+b) ต่ำ และจะให้ค่าสีเหลืองสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ 850°ซ. ขึ้นไป

Y5 ที่อุณหภูมิ 750°ซ. จะให้ค่าสีเหลือง (+b) ต่ำ และจะให้ค่าสีเหลืองสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ 850°ซ. ขึ้นไป

Y6 ที่อุณหภูมิ 750°ซ. จะให้ค่าสีเหลืองต่ำ และจะให้ค่าสีเหลืองสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ 850°ซ. ขึ้นไป

ตารางที่ 5 ลักษณะทั่วไปของเคลือบสี

ระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์,°ซ.	ลักษณะทั่วไปของเคลือบสี					
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
750°	ไม่มีสี เคลือบผิว เป็นมันแวว	ไม่มีสี เคลือบผิว เป็นมันแวว	ไม่มีสี เคลือบผิว เป็นมันแวว	ไม่มีสี เคลือบผิว เป็นมันแวว	ไม่มีสี เคลือบผิว เป็นมันแวว	ไม่มีสี เคลือบผิว เป็นมันแวว
850°	ไม่มีสี เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลืองอ่อน เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลืองอ่อน เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลืองอ่อน เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลืองอ่อน เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลืองอ่อน เคลือบผิว เป็นมันแวว
950°	สีเหลือง เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลือง เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลือง เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลือง เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลือง เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลือง เคลือบผิว เป็นมันแวว
1,050°	สีเหลือง เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลือง เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลือง เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลือง เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลือง เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลือง เคลือบผิว เป็นมันแวว
1,150°	สีเหลือง เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลือง เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลือง เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลือง เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลือง เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีเหลือง เคลือบผิว เป็นมันแวว

ตารางที่ 5

Y1 ที่อุณหภูมิ 750° และ 850°ซ. ได้เคลือบใส ไม่มีสี ที่อุณหภูมิ 950°ซ. ขึ้นไป ได้เคลือบสีเหลือง ทุกอุณหภูมิเคลือบผิวเป็นมันแวว

Y2 ที่อุณหภูมิ 750°ซ. ได้เคลือบใส ไม่มีสี อุณหภูมิ 850°ซ. ได้เคลือบสีเหลืองอ่อน อุณหภูมิ 950°ซ. ขึ้นไป ได้เคลือบสีเหลือง ทุกอุณหภูมิเคลือบผิวเป็นมันแวว

Y3 ที่อุณหภูมิ 750°ซ. ได้เคลือบใส ไม่มีสี อุณหภูมิ 850°ซ. ได้เคลือบสีเหลืองอ่อน อุณหภูมิ 950°ซ. ขึ้นไป ได้เคลือบสีเหลือง ทุกอุณหภูมิเคลือบผิวเป็นมันแวว

Y4 ที่อุณหภูมิ 750°ซ. ได้เคลือบใส ไม่มีสี อุณหภูมิ 850°ซ. ได้เคลือบสีเหลืองอ่อน อุณหภูมิ 950°ซ. ขึ้นไป ได้เคลือบสีเหลือง ทุกอุณหภูมิเคลือบผิวเป็นมันแวว

Y5 ที่อุณหภูมิ 750°ซ. ได้เคลือบใส ไม่มีสี อุณหภูมิ 850°ซ. ได้เคลือบสีเหลืองอ่อน อุณหภูมิ 950°ซ. ขึ้นไป ได้เคลือบสีเหลือง ทุกอุณหภูมิเคลือบผิวเป็นมันแวว

Y6 ที่อุณหภูมิ 750°ซ. ได้เคลือบใส ไม่มีสี อุณหภูมิ 850°ซ. ได้เคลือบสีเหลืองอ่อน อุณหภูมิ 950°ซ. ขึ้นไป ได้เคลือบสีเหลือง ทุกอุณหภูมิเคลือบผิวเป็นมันแวว

ตารางที่ 6 ผลการวัดค่าสีระบบ Hunter L,a,b ของเคลือบสี

ระดับอุณหภูมิ เผาสังเคราะห์สีผง. °ซ.	ค่าสีระบบ Hunter L,a,b																	
	Y1			Y2			Y3			Y4			Y5			Y6		
	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
750°	89.51	-2.35	12.74	89.32	-2.64	13.51	89.14	-3.64	15.52	88.90	-5.37	20.26	89.20	-4.63	17.96	89.15	-4.59	17.56
850°	89.15	-4.73	17.98	88.76	-7.67	26.21	88.29	-9.61	33.28	88.11	-10.28	35.58	87.23	-10.38	40.02	87.42	-10.45	38.39
950°	88.62	-11.03	39.88	87.88	-10.28	40.32	86.89	-9.81	42.10	87.19	-10.04	41.66	86.30	-9.55	42.99	87.47	-10.87	42.75
1050°	88.70	-11.91	40.68	88.47	-11.36	39.15	87.95	-11.15	41.04	87.65	-10.79	42.04	86.99	-9.81	43.09	88.05	-11.11	41.70
1150°	87.69	-11.16	42.09	87.62	-11.08	42.34	87.97	-11.26	42.52	88.27	-11.05	39.83	88.78	-11.16	37.96	88.03	10.89	39.94

ตารางที่ 6

Y1 ที่อุณหภูมิ 750° และ 850°ซ. จะให้ค่าสีเหลือง (+b) ต่ำ และจะให้ค่าสีเหลืองสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ 950°ซ. ขึ้นไป

Y2 ที่อุณหภูมิ 750° และ 850°ซ. จะให้ค่าสีเหลือง (+b) ต่ำ และจะให้ค่าสีเหลืองสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ 950°ซ. ขึ้นไป

Y3 ที่อุณหภูมิ 750°ซ. จะให้ค่าสีเหลือง (+b) ต่ำ และจะให้ค่าสีเหลืองสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ 850°ซ. ขึ้นไป

Y4 ที่อุณหภูมิ 750°ซ. จะให้ค่าสีเหลือง (+b) ต่ำ และจะให้ค่าสีเหลืองสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ 850°ซ. ขึ้นไป

Y5 ที่อุณหภูมิ 750°ซ. จะให้ค่าสีเหลือง (+b) ต่ำ และจะให้ค่าสีเหลืองสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ 850°ซ. ขึ้นไป

Y6 ที่อุณหภูมิ 750°ซ. จะให้ค่าสีเหลือง (+b) ต่ำ และจะให้ค่าสีเหลืองสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ 850°ซ. ขึ้นไป

4. สรุปผลการศึกษา

จากการทดลองสังเคราะห์สีผง โดยนำสาร ZrO_2, SiO_2, Pr_6O_{11}, NaF, NaCl หรือ NH_4Cl มาผสมกันตามอัตราส่วนแสดงในตารางที่ 1 และเผาสังเคราะห์ที่ระดับอุณหภูมิ 750°-1,150°ซ. ยืนไฟที่อุณหภูมิสูงสุด 3 ชั่วโมง ปรากฏว่าได้สีเป็นสีเหลืองมะนาว เมื่อนำสีผงดังกล่าวไปใช้เป็นสีในเคลือบ (in glaze) กับเคลือบเซรามิกชนิด lime-zinc อุณหภูมิ 1,200°ซ. ได้เคลือบสีเป็นสีเหลือง พร้อมกันนั้นจากการศึกษาดูผลกระทบของปริมาณสารให้สี Pr_6O_{11} 4-10% ชนิดของสารเติมแต่งระหว่างการใช้สาร NaF กับ NaCl (Y1-Y3) และการใช้สาร NaF กับ NH_4Cl (Y4-Y6) รวมทั้งการศึกษาดูผลกระทบของระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์ต่อปฏิกิริยาการเกิดเป็นสีผงเซอร์คอนและความเข้มของสี ทั้งในสภาพที่เป็นสีผงและสีเคลือบ สรุปผลได้ดังนี้

4.1 ผลกระทบของระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์ จากการศึกษาพบว่าระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์ในช่วง 750°-1,150°ซ. มีผลต่อปฏิกิริยาการเกิดเป็นเซอร์คอนและความเข้มของสี

การเกิดเป็นเซอร์คอน ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางวิทยาแร่ของสีผงที่เผาที่ระดับอุณหภูมิ 750°-1,150°ซ. ในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ที่ระดับอุณหภูมิต่ำกว่า 750°ซ. สีผง Y1-Y3 ซึ่งใช้ NaF กับ NaCl เป็นสารเติมแต่งยังไม่ทำปฏิกิริยาเกิดเป็นเซอร์คอนที่ระดับอุณหภูมิ 850°ซ. สามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นเซอร์คอนได้เล็กน้อย ยังมี ZrO_2 และ SiO_2 เหลืออยู่มาก และที่ระดับอุณหภูมิสูงกว่า 950°ซ. สามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นเซอร์คอนได้เพิ่มมากขึ้น จนแทบจะไม่มี ZrO_2 และ SiO_2 เหลืออยู่เลย ส่วนสีผง Y4-Y6 ซึ่งใช้ NaF กับ NH_4Cl เป็นสารเติมแต่ง สามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นเซอร์คอนได้ดีกว่าส่วนผสม Y1-Y3 ที่ใช้ NaF กับ NaCl เป็นสารเติมแต่ง กล่าวคือ ปฏิกิริยาเกิดเป็นเซอร์คอนจะเริ่มที่ระดับอุณหภูมิ 750°ซ. และที่ระดับอุณหภูมิสูงกว่า 850°ซ. ขึ้นไป จะสามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นเซอร์คอนได้เต็มที่มี ZrO_2 และ/หรือ SiO_2 เหลืออยู่เล็กน้อย หรือไม่มีเลย

ความเข้มของสี จากการศึกษาดูลักษณะทั่วไปของสีผงและสีในเคลือบในตารางที่ 2 และ 5 ประกอบกับผลการวัดค่าสี L, a,b ตามระบบ Hunter L,a,b ในตารางที่ 4 และ 6 และภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของค่าสีเหลือง (+b) กับระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์ในภาพที่ 1 และ 2 พบว่า สีผงซึ่งเผาที่ระดับอุณหภูมิต่ำกว่า 850°ซ. ซึ่งยังทำปฏิกิริยาเกิดเซอร์คอนได้น้อยมาก จะไม่ให้สีเหลืองเข้มให้สีเป็นเพียงสีเหลืองอ่อน และในบางตัวอย่างก็ยังไม่ให้สี วัดค่าสีเหลือง (+b) ได้ต่ำ เมื่อเผาที่ระดับอุณหภูมิ 950°-1,150°ซ. จึงจะให้สีเหลืองเข้ม และมีค่าสีเหลือง (+b) สูง ทั้งนี้เพราะที่ระดับอุณหภูมิสูงกว่า 950°ซ. ส่วนผสมสามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นเซอร์คอนได้ดี มีไอออนของสารให้สีเข้าไปแทรกในโครงสร้างเซอร์คอนได้มาก

4.2 ผลกระทบของปริมาณสารให้สี จากการศึกษาเปรียบเทียบดูความเข้มของสีเหลืองในส่วนผสม Y1-Y3 และ Y4-Y6 ซึ่งมีปริมาณ

สารให้สี Pr_6O_{11} 4,6 และ 10% พบว่าการเพิ่มปริมาณสารให้สีในช่วงดังกล่าวไม่ว่าจะในส่วนที่มี NaF กับ NaCl หรือ NaF กับ NH_4Cl เป็นสารเติมแต่งไม่ได้ทำให้สีเข้มขึ้น ความเข้มของสีใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นในการทำสีเหลือง เติมสารให้สี Pr_6O_{11} เพียง 4% ก็เพียงพอแล้ว ไม่จำเป็นต้องเติมสูงถึง 6 หรือ 10% ให้เปลืองค่าใช้จ่าย

4.3 ผลกระทบของชนิดสารเติมแต่ง ในการทำสีผงจะต้องเลือกสารเติมแต่งให้เหมาะสม สารเติมแต่งที่ดีจะต้องช่วยให้ ZrO_2 และ SiO_2 ทำปฏิกิริยาเกิดเป็นเซอร์คอน และให้สีเหลืองเข้มที่ระดับอุณหภูมิต่ำ จากการศึกษาเพื่อดูผลการใช้สารเติมแต่งต่างชนิดกัน 2 กลุ่ม คือระหว่าง NaF กับ NaCl และ NaF กับ NH_4Cl ว่าจะมีผลทำให้ระดับอุณหภูมิที่จะให้ปฏิกิริยาการเกิดเป็นเซอร์คอนได้เต็มที่และให้สีเหลืองเข้มแตกต่างกันหรือไม่จากการทดลองพบว่าระดับอุณหภูมิที่จะให้สีเหลืองเข้มและเกิดเซอร์คอนได้มาก ของสารเติมแต่งทั้ง 2 กลุ่มใกล้เคียงกัน คืออยู่ที่ระดับอุณหภูมิประมาณ 950°ซ.

จากผลการทดลองที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น สรุปส่วนผสมและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับสังเคราะห์สีเหลืองได้ดังนี้

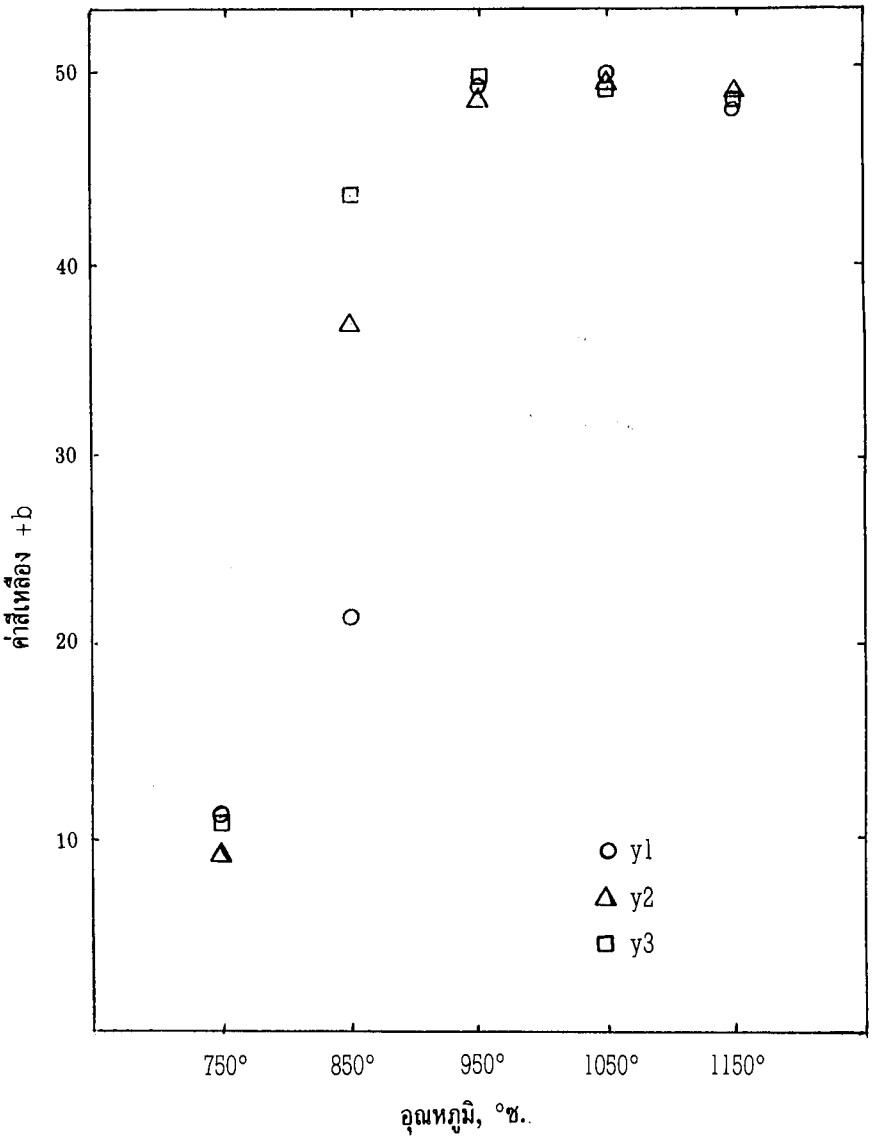
ส่วนผสม :

ZrO_2	67.2	กรัม
SiO_2	32.8	กรัม
Pr_6O_{11}	4	กรัม
NaF	3	กรัม
NaCl หรือ NH_4Cl	4	กรัม

อุณหภูมิเผาสังเคราะห์ 950°ซ. ยืนไฟ 3 ชั่วโมง

ผู้สนใจต้องการทราบรายละเอียดเพิ่มเติม หรือต้องการรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำสีผงเซอร์คอน ติดต่อได้ที่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ หรือผ่านทาง ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้ทุกวันในเวลาราชการ

ภาพที่ 1 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเหลือง (+b) ของสีผง y1, y2, y3 กับ ระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์



ภาพที่ 1

ที่ระดับอุณหภูมิ 750°ซ. y1, y2 และ y3 จะให้ค่าสีเหลือง (+b) ต่ำและค่า-ค่อนข้างใกล้เคียงกัน

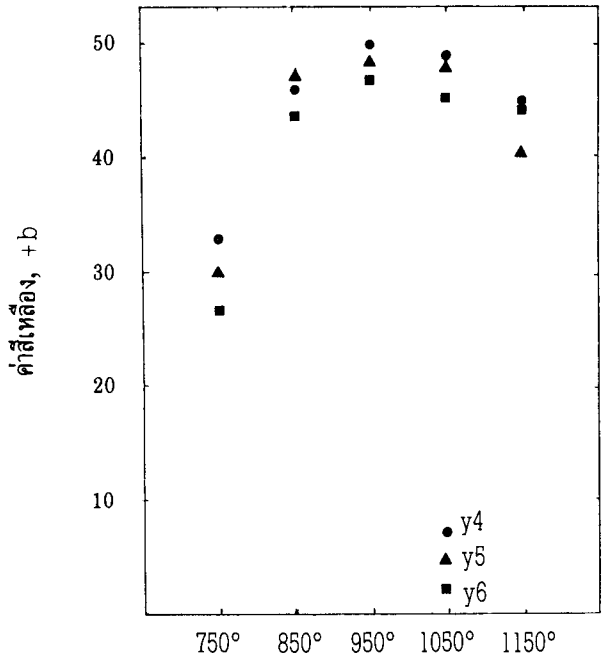
ที่ระดับอุณหภูมิ 850°ซ. y1 จะให้ค่าสีเหลือง (+b) ต่ำ, y2 และ y3 ให้ค่าสีเหลือง (+b) สูง

ที่ระดับอุณหภูมิ 950°ซ. y1, y2 และ y3 จะให้ค่าสีเหลือง (+b) สูง และค่า-ใกล้เคียงกัน

ที่ระดับอุณหภูมิ 1050°ซ. y1, y2 และ y3 จะให้ค่าสีเหลือง (+b) สูง และค่าใกล้เคียงกัน

ที่ระดับอุณหภูมิ 1150°ซ. y1, y2 และ y3 จะให้ค่าสีเหลือง (+b) สูง และค่าใกล้เคียงกัน

ภาพที่ 2 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเหลือง (+b) ของสีผง y4, y5, y6 กับระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์



ภาพที่ 2

ที่ระดับอุณหภูมิ 750°ซ. y4 จะให้ค่าสีเหลือง (+b) สูงที่สุด y5 ให้ค่าสีเหลืองรองลงมา และ y6 ให้ค่าสีเหลืองน้อยที่สุด

ที่ระดับอุณหภูมิ 850°ซ. y5 จะให้ค่าสีเหลือง (+b) สูงที่สุด y4 ให้ค่าสีเหลืองรองลงมา และ y6 ให้ค่าสีเหลืองน้อยที่สุด

ที่ระดับอุณหภูมิ 950°ซ. y4 ให้ค่าสีเหลือง (+b) สูงที่สุด y5 ให้ค่าสีเหลืองรองลงมา และ y6 ให้ค่าสีเหลืองน้อยที่สุด

ที่ระดับอุณหภูมิ 1050°ซ. y4 ให้ค่าสีเหลือง (+b) สูงที่สุด y5 ให้ค่าสีเหลืองรองลงมา และ y6 ให้ค่าสีเหลืองน้อยที่สุด

ที่ระดับอุณหภูมิ 1150°ซ. y4 และ y6 ให้ค่าสีเหลือง (+b) สูงใกล้เคียงกัน และ y5 ให้ค่าสีเหลืองต่ำกว่า

เอกสารอ้างอิง

1. Ahna, H.D. and Gonna, R. Praseodymium containing ceramic pigments, **U.S.Pat. 3,899,347,** 1975-08-12.
2. Batchelor, R.W. Modern inorganic pigments, **Transaction of the British Ceramics Society,** 1974 vol.73, no.8, p.298-301.
3. Beretka, J. ; Bowman, R.G., and Brown, T. Studies on zircon pigments for ceramic glazes. **Journal of the Australian** Ceramic Society, 1981, vol.17, no.2, p.37-43.
4. Booth, F.T., and Peel, G.N. The Preparation and properties of some zirconium stains. **Transaction of the British Ceramics Society,** 1962, vol.61, no.7, p.359-400.
5. Carter, R. Ceramic colors-problems past and present. **Ceramics Industries Journal,** 1985, vol.94, no. 1050, p.19-26.
6. Carter, R. Zircon ceramic pigments. **Ceramic Engineering and Science Proceedings,** 1987, vol.8, no.11-12, p.1156-1161.
7. Eppler, R.A. Mechanism of formation of zircon stains, **Jounral of the American Ceramic Society,** 1970, vol.53, no.8, p.457-462.
8. Eppler, R.A. Zirconia based colors for ceramic glazes. **American Ceramic Society Bulletin,** 1977, vol.56, no.2, p.213-215, 218, 224.
9. Eppler, R.A. Selecting ceramic pigments, **Ceramics Engineering and Science Proceedings,** 1987, vol. 8, no. 11-12, p. 1139-1149.
10. Harshaw Chemical Company. Ceramic pigments. **Brit. Pat. 965, 863,** 1963-01-11.
11. Kato, Etouzo. Studies on ceramic pigments abstracts, **Interceram,** 1962, vol.11, no.1, p.22-31.
12. Khan, M, and Schejbal, F. Some aspects for color measurement in ceramics, **Interceram,** 1982, vol.31, no,1, p.19-20.
13. Ray, E. H ; Carnahan, T.D., and Sullivan, R.M. Tin-vanadium yellows and praseodymium yellows, **American Ceramics Society Bulletin,** 1961, vol.40, no.1, p.13-16.
14. Seabright, C.A. "Yellow pigments for ceramic ware," **U.S. Pat. 2,992,123,** 1961-07-11.
15. Seabright, C.A. "Yellow ceramic pigments," **U.S. Pat. 3,012,898,** 1961-12-12.
16. Tcheichvili, L., and Weyl, W.A. The Synthesis of ceramics pigments in the light of modern high-temperature crystal Chemistry. **The Glass Industry,** 1963, vol.44, no.3, p.145-148.
17. Wildblood. N.C. Fluorine in ceramic colors, **Transactions of the British Ceramic Society,** 1973, vol.72, no.1, p.31-33.