

๕ ๑ ๑ ๑
๕ ๑ ๑ ๑
๕ ๑

การทดลองนำกากตะกอนโลหะหนักของโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า
อลูมินา ควอตซ์ และดินขาวระนอง ใช้เป็นวัตถุดิบ สำหรับทำสีผงสำเร็จรูปที่ใช้ผสมในเคลือบใส

ปริญญานิพนธ์

ของ

จตุโชติ บุญโชติ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา

พฤษภาคม 2541

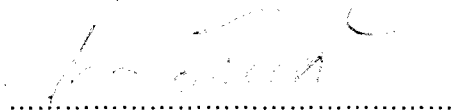
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

๒๗๒

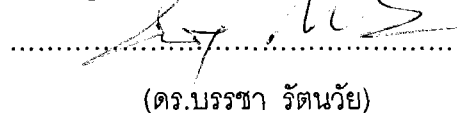
๑๑ ๑๑ ๒๕๔๑

คณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการสอบได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการควบคุม

.....ประธาน

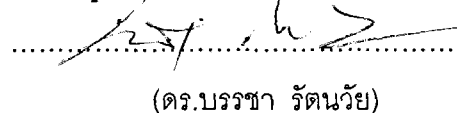
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ โทมัส รักษ์วงศ์)

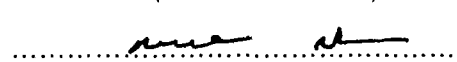
.....กรรมการ
(ดร.บรรชา รัตนชัย)

คณะกรรมการสอบ

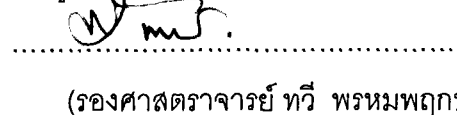
.....ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ โทมัส รักษ์วงศ์)

.....กรรมการ
(ดร.บรรชา รัตนชัย)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ณอมสิน ดิสภาพร)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(รองศาสตราจารย์ ทวี พรหมพฤษ)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิชาลาภรณ์)

วันที่ 14 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2541

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย
จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ทุน “พระพรหมคุณาภรณ์”

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับความอนุเคราะห์ให้คำแนะนำ แก่ไข ดุแล และให้กำลังใจอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์โกมล รัชชวงศ์ ประธานกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ดร.บรรชา รัตนชัย กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ถนอมสิน ดิสภาพร ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ. ที่นี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วี พรหมพฤกษ์ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบพร้อมกับให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สมทรง ชีมาภรณ์ อาจารย์พนมศักดิ์ สุวิสุทธิ และอาจารย์สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์ ที่กรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ผลการวิจัย และคุณสุรียพร แก้วแสนตอ ที่กรุณาวิเคราะห์ผลการชะโละหนัก ทำให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุความมุ่งหมายโดยสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา สถาบันราชภัฏพระนคร และห้องปฏิบัติการทางเคมี บริษัท เจนโก จำกัด ที่ศูนย์กักตักกากอุตสาหกรรมแสมดำ ที่อนุเคราะห์สถานที่ พร้อมทั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการดำเนินการวิจัย

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ที่ให้ทุนอุดหนุนการทำปริญญานิพนธ์ “ทุนพระพรหมคุณาภรณ์” เป็นจำนวนเงิน 5,000 บาท (ห้าพันบาทถ้วน)

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ เพื่อนนิสิต ปริญญาโทอุตสาหกรรมศึกษา ที่ให้กำลังใจและบุคคลอื่นที่ไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมดที่มีส่วนช่วยเหลือ แนะนำ สนับสนุน และเป็นกำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ท้ายสุดนี้ หากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อส่วนรวม ผู้วิจัยขอแสดงความดีทั้งปวงให้แก่ บิดา มารดา คณาจารย์ ที่ช่วยส่งเสริมให้ผู้วิจัยได้มีความรู้ ความสามารถ และประสบผลสำเร็จในการศึกษา

จตุโชติ บุญโชติ

สารบัญ

บทที่

หน้า

1 ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า	3
ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า	3
ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า	4
นิยามศัพท์เฉพาะ	6
สมมติฐานของการวิจัย	8
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
คำมาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัย	10
ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ บางขุนเทียน	10
ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการชุบโลหะ และกระบวนการแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสีย ของโรงงานชุบโลหะ	11
ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับกากตะกอนโลหะหนัก	15
ลักษณะของกากตะกอนโลหะหนัก	15
การทำให้กากตะกอนโลหะหนักอยู่ในสภาวะมีเสถียรภาพ	16
การนำกากทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ใหม่ ..	17
การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการนำกากตะกอนโลหะหนักมาใช้ประโยชน์ใหม่	17
สีผงสำเร็จรูปและเคลือบ	20
สีผงสำเร็จรูป	20
คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ผสมกับกากตะกอนโลหะหนักเพื่อใช้ใน การผลิตสีผงสำเร็จรูป	25
การเตรียมน้ำเคลือบและทดลองน้ำเคลือบ	29
เคลือบสโตนแวร์อุณหภูมิสูง	33
การเผาเคลือบและเตาเผาอุณหภูมิสูง	37
แนวทางการป้องกันโลหะหนักปนเปื้อนในอากาศจากการเผา	42
การทดสอบ	43

ความบกพร่องของเคลือบ	43
ความปลอดภัย	47
3 วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า	50
วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลอง	50
เครื่องมือ อุปกรณ์ในการทดลอง	51
ตัวแปรที่ศึกษา	52
การดำเนินการทดลอง	53
สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง	59
การวิเคราะห์ข้อมูล	59
เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	61
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	63
ผลการวิเคราะห์หาข้อดี	63
ผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาที่มีผลต่อเคลือบใส	67
ผลการวิเคราะห์การชะลอหินน้ำ	86
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	89
ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า	89
ตัวแปรที่ศึกษา	89
วัตถุประสงค์ที่นำมาใช้ในการวิจัย	90
เครื่องมืออุปกรณ์ในการทดลอง	90
การดำเนินการทดลอง	91
การวิเคราะห์ข้อมูล	92
สรุปผลการทดลอง	93
อภิปรายผล	95
ข้อเสนอแนะ	98

บรรณานุกรม	99
ภาคผนวก	104
ภาคผนวก ก. ตาราง แบบวิเคราะห์ผลการทดลองของผู้เชี่ยวชาญ	106
ตาราง วัตถุที่ใช้ในงานเซรามิกส์	110
ตาราง พูนวัดไฟ ออร์ตัน	115
ตาราง พูนวัดไฟ เซกเกอร์	116
ตาราง ซีเอส อุนหภูมิ บรรยากาศ และเบอร์ลี	117
ภาคผนวก ข. ภาพประกอบการผลิตสิ่งสำเร็จรูป	121
ภาคผนวก ค. ภาพประกอบการบำบัดกากของเสียศูนย์กำจัดกาก	
อุตสาหกรรมแอมดำ	124
ภาคผนวก ง. ภาพประกอบผลการทดลองการเผาเคลือบในบรรยากาศ	
ออกซิเดชัน และรีดักชัน	131
ภาคผนวก จ. ภาพประกอบแบบเทียบสีของบริษัท โอเรียลด์ล เซราเทค จำกัด	134
ภาคผนวก ฉ. ภาพแสดงการเผาในระดับอุณหภูมิ 800 และ 1,250 องศาเซลเซียส.	138
ภาคผนวก ช. กราฟมาตรฐานของธาตุ 5 ธาตุ	142
ภาคผนวก ซ. ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในกากตะกอนแห้ง และผลการวิเคราะห์	
การชะโลหะหนักออกจากชิ้นทดสอบของบริษัท Genco	148
ภาคผนวก ณ. หนังสือขอความอนุเคราะห์และประวัติผู้เชี่ยวชาญ	152
ประวัติย่อของผู้วิจัย	161

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	ช่วงของความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำทิ้งของโรงงานชุบโลหะ	13
2	ค่าความเข้มข้นมากที่สุดของสารปนเปื้อนที่ยอมให้ถูกชะออกมาซึ่งกำหนด โดยหน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมแห่งอเมริกา	17
3	สัดส่วนวัตถุดิบ A, B, C และ D ใน Quadraxial Blend ขนาด 36 จุด	54
4	สัดส่วนวัตถุดิบ A, B, C และ D 16 ส่วนผสม	55
5	ผลวิเคราะห์การหาซัลเฟอร์ในบรียากาออกซิเดชัน	64
6	ผลวิเคราะห์การหาซัลเฟอร์ในบรียากาครีตักชัน	66
7	ผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาที่มีผลต่อเคลือบใส เมาในบรียากาออกซิเดชัน	68
8	ผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาที่มีผลต่อเคลือบใส เมาในบรียากาครีตักชัน	77
9	ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนแห้ง	86
10	ผลการวิเคราะห์การชะโลหะหนักออกจากชิ้นทดสอบ	87
11	แบบวิเคราะห์หาซัลเฟอร์ของผู้เชี่ยวชาญ เมาในบรียากาออกซิเดชัน	106
12	แบบวิเคราะห์หาซัลเฟอร์ของผู้เชี่ยวชาญ เมาในบรียากาครีตักชัน	107
13	แบบวิเคราะห์ปฏิกิริยาที่มีผลกระทบต่อเคลือบใส โดยผู้เชี่ยวชาญ เมาในบรียากาออกซิเดชัน	108
14	แบบวิเคราะห์ปฏิกิริยาที่มีผลกระทบต่อเคลือบใส โดยผู้เชี่ยวชาญ เมาในบรียากาครีตักชัน	109
15	วัตถุดิบที่ใช้ในงานเซรามิกซ์ (common ceramic raw materials)	110
16	ทุนวัดไฟ ออร์ตัน	115
17	ทุนวัดไฟ เชกเกอร์	116
18	ซัลเฟอร์ อุณหภูมิ บรียากา และเบอร์ลี	117

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

1	วิธีการวางพ่นวัดไฟ และการลัมของพ่นวัดไฟ	40
2	การลัมของพ่นวัดไฟ เทียบกับการอ่านเวลาตามเข็มนาฬิกา	41
3	ขั้นตอนการทดสอบการชะของสารพิษโดยวิธีการสกัด	49
4	Quadraxial blend ขนาด 36 จุด ของ Hopper	53
5	กรรมวิธีการเตรียมกากตะกอนโลหะหนัก	57
6	แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินการทดลอง	58
7	ขั้นตอนการทดสอบการชะของโลหะหนักออกจากชิ้นทดสอบตามวิธีของการสกัด	60
8	กรรมวิธีการผลิตสีผงสำเร็จรูปสำหรับใช้ผสมในเคลือบ	122
9	การผลิตสีผงสำเร็จรูปของ บริษัท โอเรี่ยนดัล เซราเทค จำกัด	123
10	แนวทางการดำเนินงานของศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม	125
11	ขั้นตอนการทำลายฤทธิ์กากสารพิษและกำจัดกากอุตสาหกรรม	126
12	ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะของศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม ..	127
13	ขั้นตอนการชุบโลหะและแหล่งกำเนิดน้ำเสียของโรงชุบโลหะ	128
14	ลักษณะของเครื่องเก็บแบบเปียกแบบต่าง ๆ	129
15	แผนภูมิการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านออกมาจากเครื่องเก็บแบบเปียก	130
16	ผลการทดลองการเผาเคลือบในบรรยากาศออกซิเดชัน	132
17	ผลการทดลองการเผาเคลือบในบรรยากาศรีดักชัน	133
18	สี และเบอร์สีผงสำเร็จรูป	135
19	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและเวลาในการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส	139
20	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและเวลาในการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศแบบรีดักชัน	140
21	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและเวลาในการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศแบบออกซิเดชัน	141

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

22	กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของทองแดง และค่าอัตราการดูดกลืน	143
23	กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของโครเมียม และค่าอัตราการดูดกลืน	144
24	กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของนิกเกิล และค่าอัตราการดูดกลืน	145
25	กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของของสังกะสี และค่าอัตราการดูดกลืน	146
26	กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของตะกั่ว และค่าอัตราการดูดกลืน	147

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

การขยายตัวทางอุตสาหกรรมของประเทศได้สร้างปัญหาด้านสภาพแวดล้อมมากมายอันเนื่องมาจากวัตถุดิบที่ใช้ผลิต เทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิต รวมทั้งผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหลายอย่าง ก่อให้เกิดของเสียที่เป็นอันตราย (hazardous waste) เป็นจำนวนมาก ซึ่งของเสียที่เป็นอันตรายมีลักษณะโดยทั่วไปคือ ที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน (corrosivity) ไวไฟหรือติดไฟได้ (ignitability) เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย (reactivity) ทำให้เกิดความเป็นพิษ (toxicity) ถูกชะล้างได้ง่าย (leachability) มีกัมมันตรังสี (radioactivity) ทำให้เกิดโรค (pathogenicity) (จินตนา กรมน้อย. 2538 : 112)

จากการศึกษาปริมาณของเสียที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นทั่วประเทศไทย โดยบริษัทเอนจิเนียริงไซน์ (engineering science) ได้รายงานไว้ใน "The National Hazardous Waste Management Plan " (NHWMP) ในปี พ.ศ. 2532 ซึ่งกรมโรงงานอุตสาหกรรมและกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ประเมินไว้ว่า ในปี พ.ศ. 2534 จะมีของเสียอันตรายเกิดขึ้นทั่วประเทศและทุกกิจกรรมรวมประมาณ 9.3 แสนตัน และพยากรณ์ว่า ในปี พ.ศ. 2544 จะมีถึง 2.8 ล้านตัน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม ม.ป.ป. : 3) ซึ่งตามกฎหมายเป็นหน้าที่ของโรงงานจะต้องรับผิดชอบในการกำจัดกากสารพิษรวมทั้งจัดหาที่ฝังของตนเอง โรงงานต่าง ๆ จึงดำเนินการขจัดตามมาตรการที่ทางราชการเห็นชอบ โดยมีระบบกำจัดและจัดหาที่ฝังของตน ซึ่งได้ฝังกันอย่างจัดกระจายกันทั่วไปทั้งในกรุงเทพมหานคร และจังหวัดใกล้เคียง นอกจากนี้ไม่เป็นการประหยัด ยังยากต่อการควบคุมดูแล (บุญยงค์ โล่ห้วงศ์วัฒน์. 2534 : 61)

เพื่อแก้ปัญหาการฝังกากของเสียอันตรายอย่างจัดกระจาย และการรวมกากของเสียอันตรายมาทำลายฤทธิร่วมกันจะได้มีประสิทธิภาพสูง กรมโรงงานอุตสาหกรรมจึงได้สร้างศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมที่แขวงแสมดำ เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร เป็นศูนย์บริการกำจัดกากแห่งแรกของไทยโดยขณะนี้ทางกรมโรงงานได้ให้เอกชนเช่าเหมาไปดำเนินการซึ่งบริการภายใต้การกำกับดูแลของรัฐ (การกำจัดกากของเสียจากกิจการอุตสาหกรรม. 2538 : 38) กระบวนการบำบัดของเสียของศูนย์ฯ นั้นเป็นระบบการบำบัดการทำลายฤทธิด้วยวิธีเคมี-ฟิสิกส์

(chemical-physical method) มีความสามารถสูงสุดในการบำบัดน้ำเสียจากโรงชุบโลหะได้ 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และทำลายพิษกากตะกอนและของแข็งได้วันละ 100 ตัน หลังจากผ่านระบบทำลายฤทธิ์แล้ว กากที่มีสภาพเป็นสารประกอบเกลือที่คงรูปก็จะถูกนำไปฝังดินตามหลักวิชาการในจังหวัดราชบุรี (บุญยงค์ โลหะวงศ์วัฒน์. 2534 : 62) โดยเป็นพื้นที่เก็บรวบรวมกากตะกอนแห่งที่ทำให้คงตัวแล้วจาก ศูนย์ แสมดำ ในลักษณะการฝังกลบ (engineering secure landfill) ปัจจุบันศูนย์ราชบุรีมีระบบเก็บฝังกากในอัตราปีละประมาณ 20,000 ตัน (สมาน ตั้งทองทวี. 2537 : 65)

ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงชุบโลหะด้วยไฟฟ้าจะได้กากตะกอนโลหะหนักซึ่งเป็น กากของน้ำเสียที่ตกตะกอนทางเคมีในรูปของสารประกอบโลหะไฮดรอกไซด์ (จินตนา กรมน้อย. 2538 : 5) และก่อนที่จะนำไปฝังจะเก็บตัวอย่างตะกอน เพื่อทดสอบคุณสมบัติว่าได้ผ่านการทำลายฤทธิ์สมบูรณ์แล้ว หรือไม่ละลายน้ำอีก (บุญยงค์ โลหะวงศ์วัฒน์. 2535 : 7) แล้วจึงจะนำไปฝัง แต่ภายใต้สภาพ พีเอช (pH) ต่ำ ๆ จะทำให้เกิดปัญหาการชะเอาโลหะหนักออกจากกากตะกอนที่ฝังได้จึงทำให้เกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ หรือดินชั้น (Peters and Ferg. 1987 : 325-355) และลักษณะของตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์จะเป็นตะกอนที่ยากต่อการแยกน้ำออก (dewatering) เนื่องจากตะกอนส่วนมากมีลักษณะคล้ายวุ้น (gelatinous sludge) (Lanouette. 1977 : 73-80) เพราะมีโมเลกุลของน้ำหุ้มอยู่โดยรอบอนุภาคตะกอน ดังนั้นก่อนแยกน้ำออกจากตะกอนจึงต้องมีการเติมสารเคมีลงไปเพื่อปรับสภาพของตะกอน สารเคมีที่ใช้ เช่น ปูนขาว เพอร์ริคคลอไรด์ เพอร์ริคซัลเฟต เพอร์ริสซัลเฟต หรือพอลิเมอร์ เพื่อให้ตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์เกาะตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้การแยกน้ำออกจากตะกอนได้ง่ายและกากตะกอนที่ได้มีความหนาแน่นของตะกอนสูง

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น แนวคิดที่น่าจะให้ความสนใจเป็นอย่างยิ่งในการที่จะแก้ปัญหาการกำจัดความเป็นพิษของกากตะกอนโลหะหนักนั้น คือ การนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่อีกครั้ง (กองสิ่งแวดล้อมโรงงาน. 2526 : 49) ซึ่งกากตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการปรับสภาพด้วยพอลิเมอร์ จะมีลักษณะใกล้เคียงกับดินเหนียวและในกากตะกอนนี้จะมีโลหะหนักที่สำคัญปะปนอยู่ 5 ชนิด คือ โครเมียม (chromium : Cr) นิกเกิล (nickel : Ni) ทองแดง (copper : Cu) สังกะสี (zinc : Zn) ตะกั่ว (lead : Pb) (Ohshima. 1985: 473-480)

ในการผลิตสีผงสำเร็จรูป (stains) จะใช้ออกไซด์ของโลหะ เป็นตัวทำให้เกิดสีต่าง ๆ โดยการนำไปเผาเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา ซึ่งจะได้ผลิตผลสุดท้ายคือสีผงสำเร็จรูป ลักษณะการเกิดของผงสีสำเร็จรูปนั้น เกิดจากธาตุทรานสิชั่นแทรกตัวเข้าไปในผลึกของสารที่ปราศจากสีในลักษณะการละลายกัน เป็นผลทำให้ผลึกนั้นเกิดสีขึ้นได้ ดังนั้นในการผลิตสีผงสำเร็จรูป สีที่เกิดจะมี

ธาตุทราชนลิขัณเป็นส่วนประกอบหลัก (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2535; 232-234) จากคุณสมบัติดังกล่าวของสีผงสำเร็จรูป จึงสามารถนำกากตะกอนโลหะมาผลิตเป็นสีผงสำเร็จรูปได้ โดยการนำกากตะกอนโลหะหนักไปเผา เพื่อให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปออกไซด์ของโลหะ และนำไปผสมกับดินขาวระนอง อลูมินา ควอตซ์ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม เมื่อผ่านกระบวนการผลิตสีผงสำเร็จรูป ก็จะได้สีผงสำเร็จรูปที่สามารถควบคุมความเป็นพิษของโลหะหนักที่มีอยู่ในตะกอนได้ เพราะออกไซด์ของโลหะจะละลายตัวรวมกับควอตซ์ทำให้เปลี่ยนรูปไป เช่น จากสังกะสีออกไซด์ เป็นสังกะสีซิลิเกต และเมื่อนำสีผงสำเร็จรูปไปใช้โดยผสมลงไปในเคลือบสี ใช้เคลือบตัวผลิตภัณฑ์แล้ว โอกาสที่โลหะหนักจะปนเปื้อนสู่สภาพแวดล้อมยิ่งเป็นไปได้ยากยิ่งขึ้น เพราะเคลือบจะละลายตัวรวมกับสีผงสำเร็จรูปไว้อีกชั้น สำหรับการผลิตสีผงสำเร็จรูปโดยใช้กากตะกอนโลหะหนักเป็นวัตถุดิบนั้นยังไม่มีผู้วิจัยไว้ ผู้วิจัยจึงไม่มีเอกสารที่เกี่ยวข้องโดยตรงมานำเสนอ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวคิดโดยการนำกากตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า จากศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ บางขุนเทียน มาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับใช้ในการผลิตสีผงสำเร็จรูป เพื่อเป็นการลดปริมาณกากตะกอนโลหะหนักที่จะต้องนำไปกำจัดโดยการฝัง อีกทั้งยังเป็นการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่อีกหนทางหนึ่ง

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่าง กากตะกอนโลหะหนักจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า อลูมินา ควอตซ์ ดินขาวระนอง สำหรับทำสีผงสำเร็จรูป ที่เผาในอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส
2. เพื่อทดสอบการนำไปใช้งานโดยผสมลงในเคลือบสีแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ทั้งบรรยากาศ รีดักชัน และออกซิเดชัน

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

อัตราส่วนผสม และคุณสมบัติของสีผงสำเร็จรูป ที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อสถานศึกษา สถานประกอบการอุตสาหกรรมเซรามิกส์ และผู้สนใจทั่วไป ซึ่งสามารถนำสีผงสำเร็จรูปไปใช้งานได้ตามความเหมาะสมต่อไปและเป็นแนวทางในการศึกษาวิธีทำลายพิษของกากตะกอนโลหะหนักที่ได้จากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า โดยการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

เพื่อให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุผลตามความมุ่งหมายที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยไว้ดังต่อไปนี้

1. การทดลอง ในการทดลองครั้งนี้ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน

1.1 การทดลองตอนที่ 1 เป็นการทดลองหาอัตราส่วนผสมของสีผงสำเร็จรูป

1.2 การทดลองตอนที่ 2 นำสีผงสำเร็จรูปไปทดลองใช้โดยผสมกับเคลือบใสใน

อัตราส่วนร้อยละ 10

1.3 การทดลองตอนที่ 3 เป็นการตรวจสอบคุณสมบัติของสีผงสำเร็จรูป หลังการนำไปเผา

2. วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

2.1 วัสดุที่ใช้ผลิตสีผงสำเร็จรูป

2.1.1 กากตะกอนโลหะหนักของโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง 8 โรงงาน จากศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม แสมดำ บางขุนเทียน

2.1.2 ดินขาวระนอง

2.1.3 อลูมินา

2.1.4 หินควอตซ์

2.2 วัสดุที่ใช้ผลิตเคลือบหินพื้นน้ำ ชนิดเคลือบใส

2.2.1 หินพื้นน้ำชนิดโพแตส

2.2.2 หินปูน

2.2.3 โดโลไมท์

2.2.4 สังกะสีออกไซด์

2.2.5 ซิลิกา

3. ตัวแปรที่ศึกษา

3.1 ตัวแปรต้น ได้แก่

3.1.1 อัตราส่วนผสม ซึ่งประกอบด้วย กากตะกอนโลหะหนักของโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ดินขาวระนอง อลูมินา หินควอตซ์ โดยสุ่มอย่างมีระบบจากแผนภาพสี่เหลี่ยมจัตุรัส จำนวน 16 อัตราส่วนผสม จำนวน 8 ชุด

3.1.2 เคลือบใสชนิดเคลือบหินพื้นน้ำ โดยมีสูตรดังนี้

หินพื้นน้ำชนิดโพแตส ร้อยละ 59.7

หินปูน	ร้อยละ	14.3
โดโลไมต์	ร้อยละ	6.6
สังกะสีออกไซด์	ร้อยละ	2.9
ดินขาวระนอง	ร้อยละ	4.8
ซิลิกา	ร้อยละ	11.7

3.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

3.2.1 สีที่ได้หลังจากการเผา

3.2.2 ปฏิกริยาที่มีผลกระทบต่อเคลือบโลหะเมื่อเผาในอุณหภูมิ 1,250

องศาเซลเซียส โดยเคลือบโลหะที่ใช้เป็นเคลือบหินพื้นผิว

3.2.2.1 ความสามารถในการหลอมละลาย

3.2.2.2 ความสม่ำเสมอของสี

3.2.2.3 การเกิดรูเข็ม

3.2.2.4 การร้าวตัว

3.2.2.5 การดัดตัว

3.2.2.6 ความมัน

3.2.2.7 ความต้าน

3.2.3 การชะของโลหะหนัก

4. ตัวอย่างกากตะกอนโลหะหนักของโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ได้มาจากการเก็บตัวอย่างจากศูนย์บริการฯ รวม 8 ตัวอย่างจาก 8 โรงงาน

5. วิเคราะห์ผลค่าโลหะหนักที่ปะปนอยู่ในกากตะกอน 1 ครั้งต่อตัวอย่าง 8 ตัวอย่าง โดยเจ้าหน้าที่ประจำห้องทดลองศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมแถมดำ บางขุนเทียน

6. นำกากตะกอนโลหะหนักไปเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส และนำไปบดให้มีขนาด 80 เมช (mesh) ก่อนแล้วจึงนำไปผสมกับดินขาวระนอง อลูมินา และหินควอตซ์ เพื่อหาอัตราส่วนทำสีผงสำเร็จรูป โดยไฮดรอลิกจากการเผาผ่านเครื่องเก็บแบบเปียกก่อนปล่อยออก

7. วิเคราะห์ส่วนผสมโดยใช้ตารางสีเหลี่ยมจัตุรัส แบบ Quadraxial Blend ขนาด 36 จุด ของ Hopper และจะนำมาใช้ในการทดลองเพียง 16 จุดคือ จุดที่ 8-11, 14-17, 20-23, 26-29 เพราะเป็นจุดที่มีส่วนผสมครบทั้ง 4 ชนิด

8. นำอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ที่ได้จากตารางสีเหลี่ยมจัตุรัส ไปเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส บรรยากาศ ออกซิเดชัน (OF, oxidation firing)

9. ขนาดของสีผงสำเร็จรูปเมื่ออบจะมีขนาด 200 เมช

10. การนำสีผงสำเร็จรูปไปใช้ โดยจะผสมกับเคลือบใสในอัตราส่วนร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส บรรยากาศ ออกซิเดชัน และรีดักชัน

11. นำตัวอย่างเคลือบสีที่มีสีผงสำเร็จรูปผสมอยู่มาเปรียบเทียบกับสีจากมาตรฐานสีของบริษัท โอเรียลตัล เซราเทค จำกัด วิเคราะห์ปฏิกิริยาที่มีผลต่อเคลือบสีและหาข้อดีโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

12. นำตัวอย่างชิ้นทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ผลวิเคราะห์ค่า ตะกั่ว สูงสุดจากตัวอย่าง 8 ตัวอย่าง มาทดสอบหาการชะของโลหะหนัก ได้แก่ โครเมียม นิเกิล สังกะสี ทองแดง และตะกั่ว ออกจากตัวอย่างชิ้นทดสอบตามวิธีการสกัด(extraction procedure) (พ.ศ.2540) เรื่องการกำจัดสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6

13. เตรียมกราฟมาตรฐาน (standard curve) โดยการเตรียมความเข้มข้นของโครเมียม, นิเกิล,ทองแดง,สังกะสี และตะกั่วที่มีความเข้มข้นต่างๆนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) โดยเครื่องมือวัดความเข้มข้นของสาร (atomic absorption spectrophotometer : aas) ยี่ห้อ GBC รุ่น 932 AA

14. เก็บน้ำตัวอย่างที่ได้จากการทดสอบตามวิธีการสกัด ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) เรื่องการกำจัดสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องมือวัดความเข้มข้นของสาร เพื่อดำเนินการหาความเข้มข้นของโลหะหนักในหน่วย มิลลิกรัม/ลิตร

15. เปรียบเทียบปริมาณของโลหะหนักที่ถูกชะออกจากชิ้นทดสอบกับปริมาณโลหะหนักที่กำหนดให้มีได้ในมาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 พ.ศ.2539

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. กากตะกอนโลหะหนัก หมายถึง กลุ่มตัวอย่างที่นำมาใช้ในการวิจัยที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ โดยเก็บตัวอย่างจาก ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมแถมดำ รวม 8 ตัวอย่าง

2. สีผงสำเร็จรูป หมายถึง ของผสมระหว่างกากตะกอนโลหะหนักของโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ดินขาวระนอง ควอตซ์ อลูมินา ที่ผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยผ่านกรรมวิธีผลิตสีผงสำเร็จรูป

3. เคลือบใส หมายถึง เคลือบหินพื้นม้า ตามสูตรที่กำหนดไว้ในงานวิจัย
4. การถูกระ หมายถึง การที่มีของเหลวไหลซึมผ่านเคลือบใสผสมสีผงสำเร็จรูปแล้วพาเอาสารปนเปื้อนต่าง ๆ อาจจะเป็นสารที่ละลายอยู่ หรือสารแขวนลอยที่มีอยู่ภายในเคลือบใสผสมสีผงสำเร็จรูปออกสู่สภาพแวดล้อม
5. อัตราส่วนผสม หมายถึง วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัยแต่ละตัวนำมาผสมด้วยกัน ปริมาณของวัตถุดิบคิดเป็นอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก
6. ตารางสีเหลี่ยมจัตุรัส หมายถึง วิธีการสุ่มตัวอย่างเพื่อหาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ทำสีผงสำเร็จรูป เมื่อรวมอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบแต่ละมุมของสีเหลี่ยมจะมีค่าเท่ากับ 100
7. ฟันวัดไฟ หมายถึง เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิภายในเตาเผา เป็นแท่งสามเหลี่ยมปลายแหลมคล้ายปิรามิด ชนิดเชกเกอร์ เบอร์ 8
8. ออกซิเดชัน หมายถึง การเผาขึ้นทดสอบเคลือบใสผสมสีผงสำเร็จรูปที่มีการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ คือ ไม่มีกลุ่มควันและเขม่าอยู่ในห้องเผาไหม้ของเตา
9. ริดักชัน หมายถึง การเผาขึ้นทดสอบเคลือบใสผสมสีผงสำเร็จรูป ที่มีการเผาแบบไม่สมบูรณ์ หรือมีควัน
10. เมช หมายถึง หน่วยความถี่ของตะแกรงต่อนิ้ว เช่น 200 เมช คือ วัตถุดิบที่ผ่านตะแกรงมาได้ในตะแกรงที่มีความถี่ 200 ช่องต่อนิ้ว
11. ออกไซด์ หมายถึง สารประกอบของธาตุกับออกซิเจน เมื่อผ่านการเผาจะอยู่ในรูปออกไซด์ของธาตุ ซึ่งรวมตัวกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกันแล้วแต่ชนิดโลหะ เช่น 1 : 2 หรือ 2 : 3 ตัวอย่างเช่น โครเมียมออกไซด์ นิกเกิลออกไซด์ เหล็กออกไซด์ ตะกั่วออกไซด์ สังกะสีออกไซด์ ทองแดงออกไซด์ เป็นต้น
12. ความสามารถในการหลอมละลาย หมายถึง เคลือบใสที่ใช้ในงานวิจัย ละลายได้มากน้อยเพียงใด
13. ความสม่ำเสมอของสี หมายถึง การที่สีของเคลือบมีสีเหมือนกันทั้งขึ้นทดสอบในงานวิจัย
14. รูเข็ม หมายถึง การเกิดรูเล็ก ๆ บริเวณผิวเคลือบของขึ้นทดสอบในงานวิจัย
15. การรানตัว หมายถึง ลายเส้นคล้ายตาข่าย บริเวณผิวเคลือบของขึ้นทดสอบในงานวิจัย
16. การดึงตัว หมายถึง ผิวเคลือบที่เคลือบผิวขึ้นทดสอบในงานวิจัย แยกออกจากกัน หรือเป็นก้อนรวมกัน

17. ความมัน หมายถึง ผิวเคลือบชั้นทดสอบในงานวิจัย มีความแวววาว คล้ายแก้ว และสะท้อนแสงได้ดี

18. ความด้าน หมายถึง ผิวเคลือบชั้นทดสอบในงานวิจัย ไม่มีความแวววาว คล้ายแก้ว และสะท้อนแสงได้ไม่ดี

สมมติฐานการวิจัย

อัตราส่วนผสมของสีผงสำเร็จรูประหว่าง กากตะกอนโลหะหนักของโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า อลูมินา ควอทซ์ ดินขาวระนอง เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศแบบออกซิเดชัน และนำไปผสมลงในเคลือบใสอัตราส่วนร้อยละ 10 ของเคลือบใสแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ทั้งบรรยากาศแบบออกซิเดชัน และรีดักชัน จะทำให้เกิดสีในเคลือบ และขจัดความเป็นพิษในกากตะกอนโลหะหนักของโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้รวบรวมหัวข้อเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ไว้ดังต่อไปนี้

1. ค่ามาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัย
2. ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ บางขุนเทียน
3. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการชุบโลหะ และกระบวนการแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสียของ

โรงงานชุบโลหะ

4. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับกากตะกอนโลหะหนัก
 - 4.1 ลักษณะของกากตะกอนโลหะหนัก
 - 4.2 การทำให้กากตะกอนโลหะหนักอยู่ในสภาวะเสถียรภาพ
 - 4.3 วิธีทดสอบการชะโลหะหนักออกจากตัวอย่างขึ้นทดสอบ
 - 4.4 การนำกากอุตสาหกรรม จากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ใหม่
 - 4.5 การศึกษาเกี่ยวข้องกับการนำกากตะกอนโลหะหนักมาใช้ประโยชน์ใหม่
5. สິงสำเร็จรูป และเคลือบ
 - 5.1 สິงสำเร็จรูป
 - 5.2 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ผสมกับกากตะกอนโลหะหนักเพื่อใช้ในการผลิตสິงสำเร็จรูป
 - 5.3 การเตรียมน้ำเคลือบ และทดลองน้ำเคลือบ
 - 5.4 เคลือบอุณหภูมิสูง
 - 5.5 การเผาเคลือบและเตาเผาอุณหภูมิสูง
 - 5.6 แนวทางการป้องกันโลหะหนักปนเปื้อนในอากาศจากการเผา
6. การทดสอบ
 - 6.1 ความสมบูรณ์ของเคลือบ และตำหนิของเคลือบ
 - 6.2 ความปลอดภัย

1. ค่ามาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการชะโละหนักรอกออกจากชั้นทดสอบ ดังนี้

ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับ 2 พ.ศ. 2539

(กรมโรงงานอุตสาหกรรม. ม.ป.ป. : ไม่มีเลขหน้า)

สังกะสี	ไม่มากกว่า	5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
โครเมียม	ไม่มากกว่า	0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
ทองแดง	ไม่มากกว่า	2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
ตะกั่ว	ไม่มากกว่า	0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
นิกเกิล	ไม่มากกว่า	1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ บางขุนเทียน

ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ บางขุนเทียน เป็นโครงการต้นแบบ (pilot project) และเป็น 1 ใน 3 ของศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมมีแผนจะจัดสร้างโดยได้รับการสนับสนุนทางด้านงบประมาณ เพื่อจัดซื้อที่ดิน และจัดสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกพื้นฐาน ตลอดจนระบบบำบัดน้ำเสียและระบบทำลายฤทธิ์กากสารพิษโรงงาน ส่วนการดำเนินงานเพื่อให้บริการนั้น กรมโรงงานอุตสาหกรรมก็จะเปิดให้เอกชนเข้าเช่าเหมาดำเนินการตั้งแต่การจัดเก็บรวบรวม การขนถ่าย การบำบัดหรือทำลายฤทธิ์ ตลอดจนการนำไปฝังในบ่อฝังที่ออกแบบอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ โดยเรียกเก็บค่าบริการจากโรงงานผู้แจ้งขอใช้บริการในอัตราค่าบริการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมเห็นชอบ (บุญยงค์ โล่ห์วงศ์วัฒน์ 2534 : 60- 66)

2.1 การขนส่งกากสารพิษ การขนส่งกากสารพิษจากโรงงานไปยังศูนย์บริการ ฯ หรือการขนส่งกากของแข็งที่ผ่านการทำลายฤทธิ์แล้วจากศูนย์บริการฯ ไปยังที่ฝังกากขั้นสุดท้าย จะเป็นการขนส่งโดยรถยนต์บรรทุก ในอนาคตหากมีโรงงานที่มีปัญหาน้ำเสียปนเปื้อนสารพิษที่มีปริมาณมากและก่อสร้างใกล้ศูนย์บริการฯ เช่น น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม พิมพ์ผ้า ฯลฯ กรมโรงงานอุตสาหกรรมก็จะส่งเสริมและประสานงาน เพื่อให้ใช้ระบบท่อหรือรางเปิดท่อลำเลียงน้ำเสียมาบำบัดที่ศูนย์บริการฯ ด้วย

2.2 ขบวนการทำลายฤทธิ์ ศูนย์บริการฯ แสมดำ บางขุนเทียน จะประกอบไปด้วย

2.2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงชุบโลหะขนาด 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งน้ำเสียประเภทนี้จะบำบัดยากและมีพิษค่อนข้างมาก ในการบำบัดจึงต้องแยกประเภทบำบัดโดยแยกเป็น 3 ประเภท ดังนี้ น้ำเสียที่มีการปนเปื้อนไซยาไนด์แต่ไม่มีโครเมียม น้ำเสียที่ไม่มีไซยาไนด์แต่มีโครเมียม และน้ำเสียที่ไม่มีทั้ง ไซยาไนด์ และโครเมียม

2.2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมขนาด 800 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

2.2.3 ระบบทำลายฤทธิ์กากสารพิษได้วันละ 100 ตัน จากนั้นกากที่มีสภาพเป็นสารประกอบเกลือที่คงรูปก็จะนำไปฝังดินตามหลักวิชาการในจังหวัดราชบุรีต่อไป

นอกจากการทำลายฤทธิ์โดยการทำให้มีสภาพเป็นสารประกอบเกลือที่คงรูป การเผาด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง เพื่อทำลายพิษพวกยารักษาโรค เคมีภัณฑ์ ยาฆ่าแมลง ตลอดจนพืชไร่ ก็นับว่ามีความเหมาะสม แต่ระบบเผาดังกล่าวจะมีราคาแพงมาก ด้วยเหตุนี้ศูนย์บริการฯ จึงพิจารณาเลือกใช้ระบบทำลายฤทธิ์ด้วยวิธีการทางเคมีจนกว่าจะดำเนินการได้ระยะหนึ่ง เมื่อทุกฝ่ายมีประสบการณ์เพิ่มขึ้น และเมื่อทราบปริมาณกากสารพิษที่จะต้องให้บริการเป็นที่แน่นอนแล้ว ก็จะพิจารณาถึงความเหมาะสมของระบบเผารวมทั้งระบบการสกัด กลั่น หรืออดลุงเพื่อนำโลหะหนักกลับมาใช้งานอีก

2.3 การฝังกาก สถานที่ฝังกากจำเป็นจะต้องคำนึงถึงปัญหาสภาพภูมิประเทศ การระบายน้ำฝน ตลอดจนผลกระทบต่อคุณภาพน้ำใต้ดิน หากมีผลกระทบต่อน้ำใต้ดินสูงจะไม่เหมาะสำหรับใช้เป็นที่ฝังกากที่ผ่านการทำลายฤทธิ์แล้ว พื้นที่สูง หรือเนินเขาที่ใกล้ศูนย์บริการฯ แสมดำ บางขุนเทียน มากที่สุด ที่มีดินเหนียว และปัญหาน้ำใต้ดินน้อยก็คือ พื้นที่ในจังหวัดราชบุรี ซึ่งกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้มอบหมายให้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำรวจ และศึกษา เพื่อหาสถานที่ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นที่ฝังกากอุตสาหกรรมในปี 2528

3. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการชุบโลหะ และกระบวนการแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะ

ในการชุบโลหะ และกระบวนการแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะนั้น ผู้วิจัยได้แบ่งเป็นหัวข้อไว้ดังต่อไปนี้

3.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการชุบโลหะ

3.1.1 ขั้นตอนในการชุบโลหะ รูปแบบขั้นตอนในการชุบโลหะอย่างง่ายประกอบไปด้วยการเตรียมชิ้นงาน ซึ่งหมายถึง การขัดผิวชิ้นงานจนได้ขนาด และความเรียบตามต้องการ ทำความสะอาดชิ้นงานเพื่อกำจัดไขมัน จากนั้นนำไปจุ่มกรดเพื่อกัดเอาสนิมออก แล้วนำชิ้นงานไปชุบในน้ำยา ซึ่งควบคุมสภาวะการชุบตามกำหนด หลังจากเสร็จแล้วนำไปอบแห้ง สุดท้ายจะได้ชิ้นงานตามต้องการ

3.1.2 แหล่งที่มาและลักษณะน้ำทิ้งของโรงงานชุบโลหะ น้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะมาจากสาเหตุหลักดังต่อไปนี้ คือ น้ำล้างจากขั้นตอนการกำจัดไขมันและน้ำมัน น้ำล้างจากขั้นตอนการกำจัดสนิม น้ำล้างชิ้นงานภายหลังการชุบน้ำยา การเทน้ำยาเคมีที่เสื่อมคุณภาพ หรือสารเคมีที่ใช้แล้วหลังจากการทำทำความสะอาดชิ้นงานทิ้ง (Nemerow. 1978 : 31) นอกจากนี้ยังมีน้ำยาเคมีที่อาจไหลออกมาโดยอุบัติเหตุ และน้ำล้างทำความสะอาดเครื่องมือและบริเวณสถานที่ (Francisco. 1977 : 52) หลังจากทำความสะอาดชิ้นงานแล้ว ชิ้นงานก็จะถูกนำไปชุบน้ำยาตามที่ต้องการ เช่น ชุบทองแดง นิกเกิล โครเมียม เป็นต้น น้ำยาเคมีที่ใช้ในการชุบโดยเฉพาะจะเจือจางลงมากและหมดสภาพที่จะใช้ชุบครั้งต่อไป เช่นเดียวกับสารเคมีที่ใช้ในการทำทำความสะอาดชิ้นงานเมื่อใช้ไปนานๆ จะมีความสกปรกมากขึ้นทางโรงงานจึงต้องเททิ้งเพื่อเปลี่ยนน้ำยาเคมีหรือสารเคมีใหม่ (กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2522 : 15) นอกจากนี้ น้ำทิ้งของโรงงานอาจเกิดจากอุบัติเหตุได้ เช่น น้ำยาจากถังชุบโลหะต่างชนิดกันเกิดไหลล้นหรือรั่วออกจากถังในระหว่างการชุบ หรือในระหว่างการเติมสารหรือน้ำยาเคมี หรือบางที่เกิดจากการหยดในระหว่างการเคลื่อนย้ายวัตถุที่กำลังชุบจากถังหนึ่งไปยังถังอื่นๆ (สุภา. 2520 : 75) น้ำทิ้งส่วนต่าง ๆ เหล่านี้ แม้จะมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับ น้ำทิ้งส่วนที่เป็นน้ำล้างผิวชิ้นงานทั้งหมด ซึ่งน้ำล้างนี้จะต้องเปลี่ยนน้ำสะอาดบ่อย ๆ แต่ก็เป็น้ำทิ้งที่มีโลหะต่าง ๆ และสารเคมีอื่น ๆ เจือปนอยู่ในปริมาณที่สูงมาก

อัตราการไหลของน้ำทิ้ง และลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานแต่ละโรงงานจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีทำงานและอัตราการผลิต อัตราการไหลของน้ำทิ้งจะขึ้นอยู่กับอัตราการใช้น้ำในกระบวนการผลิตซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 5-100 ลูกบาศก์เมตร/วัน สำหรับคุณลักษณะของน้ำทิ้งของโรงงานชุบโลหะ เทย์ (Tay 1986 : 11) ได้สรุปในรูปของความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำทิ้งดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ช่วงของความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำทิ้งของโรงงานชุบโลหะ

สารปนเปื้อน	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)
ไซยาไนด์	1 - 150
โครเมียม	0.25 - 2,600
ทองแดง	0.74 - 75
นิกเกิล	0.07 - 125
สังกะสี	0.12 - 140
ตะกั่ว	0.45 - 20
ดีบุก	1.0 - 20
เหล็ก	0.17 - 300

ที่มา : Tay. Waste Minimization and Recycle in Electroplating workshop. 11, 1986

3.2 กระบวนการแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะ

กระบวนการบำบัดน้ำเสียเพื่อแยกเอาโลหะหนักต่าง ๆ ออกจากน้ำเสียนั้นมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ การตกตะกอนทางเคมี (chemical precipitation) การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การระเหย (evaporation) กระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ (reverse osmosis) และการดูดซับ (absorption) เป็นต้น (Dean, Bosqui and Lanouette. 1972 : 518-522)

3.2.1 การตกตะกอนทางเคมี การตกตะกอนทางเคมีเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสารที่อยู่ในรูปสารละลายให้อยู่ในรูปตะกอน ซึ่งขึ้นอยู่กับภาวะสมดุลทางเคมีที่มีผลต่อการละลายน้ำของสารนั้น ๆ เป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสียนั้นโดยนิยมใช้สารประกอบหลายชนิด ได้แก่ ไฮดรอกไซด์ คาร์บอเนต และซัลไฟด์ ซึ่งแต่ละชนิดจะตกตะกอนโลหะในรูปที่แตกต่างกัน การใช้สารเคมีเหล่านี้สามารถใช้แยกกันหรือใช้ร่วมกันในปริมาณที่เพียงพอที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างโลหะหนักที่ละลายในน้ำเสียนั้นกับสารเคมีที่ใช้เกิดเป็นตะกอนเคมี ซึ่งสามารถแยกออกจากน้ำโดยการตกตะกอนและการกรอง ความสามารถในการตกตะกอนจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าพีเอช ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของไอออนของโลหะ และรูปแบบต่าง ๆ ของเกลือของโลหะที่ไม่ละลายน้ำ (ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของเกลือของโลหะที่ค่าพีเอชต่าง ๆ)

การตกตะกอนทางเคมีในรูปโลหะไฮดรอกไซด์ เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดโดยใช้ปูนขาว หรือโซดาไฟ ในปริมาณที่มากเกินไปเพื่อทำให้เกิดตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะเกิดตะกอนได้ดีเมื่อสารละลายมีพีเอชสูง ๆ หรืออยู่ในสภาพที่เป็นด่าง

3.2.2 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน ใช้กันมากในการกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะเพราะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการแยกโลหะหนักออกจากน้ำทิ้ง ถึงแม้ว่าขนาดของระบบจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้งมากกว่าความเข้มข้นของไอออนของโลหะที่ต้องการกำจัดก็ตาม ในปัจจุบันมีเรซินอยู่หลายชนิดสำหรับการเลือกนำไปใช้ให้เหมาะสมกับไอออนของโลหะชนิดต่าง ๆ เมื่อเรซินเหล่านี้หมดประสิทธิภาพ จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพเรซิน เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้สารเคมีที่เป็นกรดหรือน้ำเกลือ ทำการล้างเรซิน เพื่อแยกเอาไอออนของโลหะที่ถูกแลกเปลี่ยนมาออกจากเรซิน ซึ่งจะทำได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของโลหะหนักสูงมากออกมาและอาจนำกลับมาแยกเอาโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ออกมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้

3.2.3 การระเหย (Evaporation) การแยกโลหะออกจากน้ำเสียสามารถทำได้ง่ายโดยวิธีการระเหย ในการระเหยนั้น ของเหลวทุกชนิดจะเกี่ยวข้องกับความดันไอ (vapor pressure) ของของเหลว ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงความยากง่ายในการระเหยของของเหลวนั้น โดยของเหลวที่มีความดันไอสูงจะสามารถระเหยได้ดี ในขณะที่ของเหลวที่มีความดันไต่ำจะระเหยได้ช้าจึงต้องใช้การเพิ่มความร้อนให้แก่ของเหลว ซึ่งเป็นการเพิ่มความดันไอของของเหลวเพื่อเพิ่มอัตราการระเหยให้มากขึ้น หากความดันไอของของเหลวมีค่าเพิ่มขึ้นจนเท่ากับความดันบรรยากาศ จะทำให้ของเหลวเกิดการเดือดขึ้น เกลือต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำหรือสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียนั้น เป็นสาเหตุทำให้ความดันไอของของเหลวมีค่าลดลงจากเดิม จึงทำให้จุดเดือดของของเหลวนั้นมีค่าสูงขึ้นกว่าเดิม เมื่อส่วนที่เป็นของเหลวเกิดการระเหยขึ้น ส่วนที่เหลือจากการระเหยจะเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงมากขึ้น หรือเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นมากขึ้นหรือได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลึกของแข็ง ซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการตกตะกอนที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยลง

3.2.4 กระบวนการออสโมซิสแบบย้อนกลับ (Reverse Osmosis) ออสโมซิสแบบย้อนกลับ เป็นวิธีการหนึ่ง ซึ่งใช้สำหรับแยกไอออนต่าง ๆ ออกจากสารละลาย ในทางปฏิบัติจะนำไปใช้สำหรับแยกสารปนเปื้อนอินทรีย์ออกจากน้ำดื่มและน้ำเสีย นอกจากนี้ยังเป็นวิธีการที่ต้องให้แรงดันที่สูงกว่าแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) แก่น้ำเสียซึ่งเป็นสารละลายที่มีสิ่งปนเปื้อนอยู่มากเพื่อผลักดันให้ส่วนที่เป็นของเหลวไหลซึมผ่านแผ่นเยื่อบาง ๆ ซึ่งมีขนาดรูพรุนเล็กมาก กลายเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นของสารปนเปื้อนต่ำ ส่วนสารละลายส่วนที่เหลือจะมีความเข้มข้น

สารปนเปื้อนสูงมาก หลักการของออสโมซิสแบบย้อนกลับจะตรงข้ามกับหลักการออสโมซิสในธรรมชาติ

การทำงานโดยระบบนี้จะใช้ความดันไม่เกิน 600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และสามารถใช้อย่างมีประสิทธิภาพในโรงงานชุบโลหะสำหรับการแยกเอานิกเกิลออกจากน้ำทิ้งของโรงงานกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบออสโมซิสแบบย้อนกลับเพื่อนำมาใช้สำหรับการแยกเอาโลหะชนิดอื่นๆ ออกจากน้ำทิ้งของโรงงาน การใช้ออสโมซิสแบบย้อนกลับหลังจากการผ่านวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนมาแล้ว จะทำให้น้ำที่ได้มีความบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น

3.2.5 การดูดซับ การดูดซับโดยใช้คาร์บอนที่ก่อกัมมันต์แบบเกล็ด (granular activated carbon, gac) เป็นตัวดูดซับเป็นวิธีที่นิยมใช้สำหรับทำการดูดซับสารปนเปื้อนนินทรีย์ต่าง ๆ โดยเฉพาะโลหะที่เป็นพิษ (Sigworth. 1972 : 386) ถึงแม้ว่าตามหลักวิชาการจะมีความเป็นไปได้ในการแยกไอออนของโลหะออกจากน้ำเสียโดยการใช้ GAC แต่การใช้ GAC ยังไม่เป็นที่แพร่หลายเนื่องจากมีประสิทธิภาพต่ำและมีปัญหาเรื่องการนำ GAC ที่ใช้แล้วมาปรับปรุงคุณภาพเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

4. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับกากตะกอนโลหะหนัก

เพื่อความเข้าใจในคุณสมบัติ และที่มาของกากตะกอนโลหะหนัก ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการวิจัย ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกากตะกอนโลหะหนักไว้เป็นหัวข้อดังนี้

4.1 ลักษณะของกากตะกอนโลหะหนัก

โดยทั่วไป การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะจะใช้วิธีการทางฟิสิกส์ - เคมีให้เกิดตะกอนในรูปของตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ ซึ่งลักษณะของตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์จะเป็นตะกอนที่ยากต่อการแยกน้ำออก เนื่องจากตะกอนส่วนมากมีลักษณะคล้ายวุ้น (Lanouette.1977 : 74) เพราะมีโมเลกุลของน้ำหุ้มอยู่โดยรอบอนุภาคตะกอน ดังนั้น ก่อนการแยกน้ำออกจากตะกอน จึงต้องมีการเติมสารเคมีลงไปเพื่อปรับสภาพของตะกอนโดยสารเคมีทั่วไปที่เติมลงไปเพื่อปรับสภาพตะกอนให้ดีขึ้น ได้แก่ ปูนขาว เฟอร์ริคคลอไรด์ เฟอร์ริคซัลเฟต เฟอร์รัสซัลเฟต หรือ พอลิเมอร์ เพื่อให้ตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ เกาะตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้การแยกน้ำออกจากตะกอนได้ง่ายขึ้น และกากตะกอนที่ได้จะมีความหนาแน่นของตะกอนสูง

กากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยพอลิเมอร์ จะมีลักษณะใกล้เคียงกับดินเหนียวมากกว่ากากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยปูนขาว สำหรับศูนย์บริการฯ ได้ใช้พอลิเมอร์ในการปรับสภาพตะกอนก่อนการแยกน้ำออกจากตะกอน ดังนั้นกากตะกอนที่ได้จึงมีสภาพใกล้เคียงกับ

ดินเหนียวด้วยเช่นกัน (Ohshima. 1985 : 473)

4.2 การทำให้กากตะกอนโลหะหนักอยู่ในภาวะมีเสถียรภาพ (stabilization)

เทคนิคอย่างหนึ่งที่ใช้ในการลดความเสี่ยง หรืออันตรายที่เกิดขึ้นจากการเก็บฝังของเสียที่เป็นอันตรายในระยะยาว ก็คือ การป้องกันแก้ไขเกี่ยวกับการเคลื่อนตัวของสารพิษที่จะออกมาจากของเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเคลื่อนตัวของโลหะหนักที่ออกมาจากกากตะกอนจากโรงงานชุบโลหะ ตามข้อกำหนดของ หน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมแห่งอเมริกา กล่าวว่า ผลจากการทดสอบการชะเอาโลหะหนักออกจากกากตะกอนที่นำไปฝัง ตามกรรมวิธีการทดสอบที่เรียกว่า การสกัด หากพบว่ามีค่าความเข้มข้นของสารชนิดใดชนิดหนึ่งมากกว่า 100 เท่าของปริมาณของสารชนิดนั้นที่กำหนดในมาตรฐานน้ำดื่มสากล (the national interim primary drinking water standards) ซึ่งมีค่าแสดงดังตาราง 2 จึงจัดว่ากากตะกอนนั้นเป็นของเสียที่เป็นพิษ (toxic waste) (Penland and Steward. 1981:188)

ดังนั้นวิธีการทำให้ของเสียที่เป็นพิษอยู่ในภาวะเสถียรก็คือ วิธีการทำของเสียให้เป็นก้อนของแข็ง (solidification) วิธีดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นการป้องกันการละลายของสารพิษจากของเสียที่จะออกมาปะปนในสิ่งแวดล้อม ซึ่งวิธีนี้จะได้ผลก็ต่อเมื่อของเสียที่เป็นอันตรายเมื่ออยู่ในสภาพที่ถูกทำให้แข็งแล้วมีความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านต่ำ (low permeability) และมีความมั่นคงแข็งแรง (integrity) โดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ ก็คือ

- เพื่อปรับปรุงการจัดการและลักษณะทางกายภาพของของเสีย
- เป็นการลดพื้นที่ผิวที่ทำให้เกิดการแพร่ของสารพิษที่อาจเกิดขึ้นได้
- เป็นการกำจัดความสามารถในการละลายของสารพิษจากของเสีย
- เป็นการทำลายความเป็นพิษของของเสีย

ตาราง 2 ค่าความเข้มข้นมากที่สุดของสารปนเปื้อนที่ยอมให้ถูกชะออกมาซึ่งกำหนดโดย
หน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมแห่งอเมริกา

หมายเลขของเสีย	สารปนเปื้อน	ค่าสูงสุดที่ยอมรับ มิลลิกรัม/ลิตร
D004	สารหนู	5.0
D005	แบเรียม	100.0
D006	แคดเมียม	1.0
D007	โครเมียม	5.0
D008	ตะกั่ว	5.0
D009	ทองแดง	0.2
D010	ซีลีเนียม	1.0
D011	เงิน	5.0

ที่มา : Wentz, C.A. Hazardous Waste Management. 104, 1989

4.3 การนำกากทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ใหม่

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาในทางเทคโนโลยี และอุตสาหกรรมมากขึ้น จึงก่อให้เกิดปัญหาที่สำคัญได้แก่ การขาดแคลนวัตถุดิบธรรมชาติและเสื่อมโทรมลงอย่างรวดเร็วของสิ่งแวดล้อม ดังนั้น แนวความคิดที่น่าจะให้ความสนใจเป็นอย่างยิ่งในการที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว คือ การนำกากอุตสาหกรรมบางประเภทนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ เพราะการทำเช่นนั้น นอกจากจะมีส่วนช่วยให้วัตถุดิบคืนมาแล้ว ในขณะเดียวกันจะทำให้ปริมาณของเสียที่ต้องการกำจัดน้อยลงหรือไม่มีเลยซึ่งย่อมเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย กรมโรงงานอุตสาหกรรมจึงได้นำแนวคิดดังกล่าวมาใช้กับโครงการกำจัดกากพิษอุตสาหกรรมที่เป็นของแข็งขึ้น ซึ่งถ้าปริมาณกากพิษที่มีจากโรงงานต่าง ๆ รวมกันมากพอ ก็จะทำให้สะดวกประหยัดและอาจจะสามารถนำของเสียเหล่านี้กลับมาใช้ประโยชน์ได้ อันจะเป็นผลดีในทางเศรษฐกิจอีกด้วย โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมจะให้การส่งเสริมหรือสนับสนุนให้ส่วนราชการอื่นดำเนินศึกษาเพื่อนำของเสียกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์มากที่สุด (กองสิ่งแวดล้อมโรงงาน. 2526 : 44)

4.4 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการนำกากตะกอนโลหะหนักมาใช้ประโยชน์ใหม่

เนื่องจากเรื่องนี้เป็นเรื่องที่ยังไม่แพร่หลาย ดังนั้นเอกสารที่เกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวจึงยังไม่มากนัก

สำหรับการนำกากตะกอนไปกำจัดโดยการเผานั้นเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ แต่ก็เป็นการสร้างปัญหาในการกำจัดเถ้าที่เหลือจากการเผาเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุดังกล่าวจึงได้มีผู้วิจัยจากมหาวิทยาลัยนานาชาติสิงคโปร์ ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนดังกล่าวมาใช้สำหรับการผลิตมวลรวมของคอนกรีต (concrete aggregates) และผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ เช่น กระเบื้องดินเผา (tiles) อิฐ (bricks) และบล็อกสำหรับทำทางเท้า (paving blocks) เป็นต้น

ก่อนที่จะนำกากตะกอนดังกล่าวมาใช้ ต้องนำกากตะกอนมาอบให้แห้ง ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปเผาที่ 550 องศาเซลเซียส เพื่อสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในกากตะกอนให้หมด กากตะกอนที่เหลือจากการเผาจะเป็นก้อนแข็ง ซึ่งจะต้องทำการบดให้เป็นผงโดยจะเรียกว่า เถ้าของตะกอน (sludge ash) เถ้าของกากตะกอนซึ่งได้รับการปรับปรุงสภาพด้วยปูนขาวก่อนแยกน้ำออกจะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูงและแข็งตัวเร็ว ดังนั้นจึงนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินชนิดต่างๆ ในด้านการเพิ่มความแข็งแรง

การผลิตมวลรวมของคอนกรีต

ส่วนผสมที่ 1 : เถ้าของกากตะกอนร้อยละ 20 + ดินเหนียวร้อยละ 80

ส่วนผสมที่ 2 : เถ้าของกากตะกอนร้อยละ 30 + ดินเหนียวร้อยละ 70

ส่วนผสมที่ 3 : เถ้าของกากตะกอนร้อยละ 20 + ดินเหนียวร้อยละ 75

+ ปูนซีเมนต์ร้อยละ 5

นำส่วนผสมที่ได้มาผลิตเป็นแท่งตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร ทิ้งไว้ให้แห้ง หลังจากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,000-1,100 องศาเซลเซียส แล้วนำแท่งตัวอย่างนั้นไปบดเป็นมวลรวมขนาดต่าง ๆ ทำการทดสอบหาคคุณสมบัติต่าง ๆ ของมวลรวมเหล่านั้น เช่น การคละกั้นของมวลรวม ความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อเมริกาหมวด C330-80 ซึ่งผลที่ได้ปรากฏว่า มวลรวมทั้งหมดที่ผลิตได้นี้ มีคุณสมบัติได้ตามมาตรฐานดังกล่าว

การผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

คุณสมบัติของเถ้าของกากตะกอนซึ่งได้รับการปรับสภาพด้วยพอลิเมอร์ก่อนรีดน้ำออก นั้นใกล้เคียงกับดินเหนียว ดังนั้นพอลิเมอร์ก่อนรีดน้ำออก จึงได้ถูกนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ เซรามิกส์ โดยใช้ส่วนผสมดังนี้

ส่วนผสมที่ 1 : เถ้าของกากตะกอนร้อยละ 20 + ดินเหนียวร้อยละ 75
+ สารเพิ่มความเหนียวร้อยละ 5

ส่วนผสมที่ 2 : เถ้าของกากตะกอนร้อยละ 25 + ดินเหนียวร้อยละ 70
+ สารเพิ่มความเหนียวร้อยละ 5

ส่วนผสมที่ 3 : เถ้าของกากตะกอนร้อยละ 30 + ดินเหนียวร้อยละ 65
+ สารเพิ่มความเหนียวร้อยละ 5

ในการผสมกันนั้นจะต้องคลุกเคล้าให้ส่วนผสมเข้ากัน โดยใช้น้ำในปริมาณที่เพียงพอที่จะทำให้ได้ส่วนผสมมีความเหนียวที่เหมาะสม และสามารถใช้งานได้ แล้วนำไปผลิตให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ขนาดมาตรฐานของกระเบื้อง หรืออิฐ เป็นต้น เมื่อได้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ปลอมให้แห้ง หลังจากนั้นจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และก่อนที่จะนำเอาตัวอย่างนั้นไปเผาที่อุณหภูมิ 1,000-1,100 องศาเซลเซียส ได้ทำการเคลือบผิวของตัวอย่างด้วย เคลือบตะกั่ว เมื่อผ่านขั้นตอนดังกล่าวแล้ว จึงนำเอาผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งหมดมาทำการทดสอบหาคุณสมบัติต่าง ๆ ซึ่งปรากฏว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อังกฤษหมวด 540-1974

เทย์ (Tay. 1987a : 278-284) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำกากตะกอนที่มีโลหะหนักปนมาใช้ในการผลิตอิฐ โดยเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้กากตะกอนแห้ง (dried sludge) กับเถ้าของกากตะกอน (sludge ash) พบว่าปริมาณสูงสุดของกากตะกอนแห้ง และเถ้าของกากตะกอนที่ใช้ผสมกับดินเหนียวเพื่อผลิตอิฐเป็น ร้อยละ 40 และร้อยละ 50 ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่าอิฐที่มีเถ้าของกากตะกอนผสมจะมีความแข็งแรงมากกว่าอิฐที่มีกากตะกอนแห้งผสมที่มีปริมาณส่วนผสมเดียวกัน และเมื่อใช้ปริมาณของทั้งกากตะกอนแห้งและเถ้าของกากตะกอนเพิ่มขึ้น จะทำให้อิฐมีความแข็งแรงลดลง

เทย์ (Tay. 1987b : 345) ศึกษาการนำเถ้าของกากตะกอนที่มีโลหะเป็นส่วนประกอบมาใช้เป็นการทดแทนซีเมนต์ในคอนกรีต พบว่าการใช้เถ้าของกากตะกอนแทนซีเมนต์ ร้อยละ 10 ในคอนกรีตยังคงให้ความแข็งแรงใกล้เคียงกับคอนกรีตทั่วไป และหากใช้ปริมาณเถ้าของกากตะกอนแทนซีเมนต์เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความแข็งแรงของคอนกรีตลดลง

เทย์และยิป (Tay and Yip. 1989 : 56) ศึกษาการนำเถ้าของกากตะกอนที่มีโลหะเป็นส่วนประกอบมาผลิตเป็นมวลรวมน้ำหนักเบาของคอนกรีต (lightweight concrete aggregate) โดยนำกากตะกอนมาเผาที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เป็นผลให้ได้เป็นก้อนของแข็งมีลักษณะพรุน ซึ่งทำให้น้ำหนักเบา น้ำหนักของแข็งนี้ไปบดให้เป็นมวลรวมขนาดต่างๆ ทั้งมวลรวมหยาบ และมวลรวมละเอียด แล้วนำมาคละกันในส่วนที่เหมาะสม หลังจากนั้นนำไปผสมกับซีเมนต์ผลิตเป็นคอนกรีตที่มีน้ำหนักเบา (lightweight concrete) ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบนั้น ปรากฏว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจตามคุณสมบัติทางกายภาพที่ต้องการของคอนกรีต น้ำหนักเบาในรูปของความหนาแน่น ความแข็งแรง การกันความร้อน การทนไฟ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เถ้าของกากตะกอนที่มีโลหะเป็นส่วนประกอบ สามารถนำมาใช้ในการผลิตเป็นมวลรวมน้ำหนักเบา (lightweight aggregates) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับการผลิตสำเร็จรูป โดยใช้กากตะกอนโลหะหนักเป็นวัตถุดิบ ยังไม่มีผู้วิจัยดังนั้นผู้วิจัยจึงยังไม่มีเอกสารที่เกี่ยวข้องโดยตรงมานำเสนอ

5. สีผงสำเร็จรูปและเคลือบ

5.1 สีสำเร็จรูป (color stains)

ในอดีตนักเซรามิกส์ผลิตเคลือบสีโดยการผสมออกไซด์ที่ทำให้เกิดสีลงไปในส่วนผสมของเคลือบ ปัจจุบันนักเซรามิกส์ก็ยังคงใช้สารประกอบเหล่านี้เป็นตัวทำให้เคลือบมีสี แต่สีส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสีผงสำเร็จ (ปริดา พิมพ์ขาวขำ. 2530 : 216) โดยสามารถนำไปใช้ได้ทั้งในเคลือบ บนเคลือบ ใต้เคลือบ และผสมกับเนื้อดินปั้น ซึ่งจะทำให้ดินและเคลือบที่ใช่เกิดเป็นสีขึ้น หรือไว้เป็นสีสำหรับตกแต่งสลีป สีผงสำเร็จรูปนี้ จะให้ค่าสีมาตรฐานคงที่ สีเรียบดีกว่าสีที่เกิดจากออกไซด์ที่ให้สีซึ่งบางครั้งได้สีไม่เรียบเปลี่ยนแปลงง่าย อีกทั้งออกไซด์บางประเภทละลายน้ำได้หรือสลายตัวได้ด้วย การใช้งานในลักษณะการผลิตจำนวนมากที่ต้องการค่าสีคงที่สม่ำเสมอ จึงนิยมใช้สีผงสำเร็จรูปมากกว่าสีที่เกิดจากออกไซด์ให้สี (ศักดิ์ชัย เกียรตินาคินทร์. 2537 : 19) ซึ่งปกติจะใช้อัตราส่วนของสีผงสำเร็จรูป ร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 15 ในเคลือบสี

5.1.1 การเตรียมสีผงสำเร็จรูป เป็นการนำสารที่ให้สีตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมกัน โดยคำนึงถึงการบดสาร อุณหภูมิ และบรรยากาศในการเผาช่วงเวลาในการเผา การเตรียมสีสำเร็จรูปสามารถเตรียมได้ดังนี้ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2531 : 20)

1. การผสมสาร เป็นการผสมสารให้สีคลุกเคล้ากันได้ดี โดยการใช้หม้อบด

(jar mill) ซึ่งจะเป็นการผสมสารและบดสารในเวลาเดียวกันเพื่อให้สารต่าง ๆ ละเอียด ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และทำปฏิกิริยาขณะเผาได้อย่างสมบูรณ์ สีที่ได้จึงจะสม่ำเสมอ การผสมสารที่ไม่เข้ากันดี จะทำให้สีไม่ตรงตามความต้องการ การผสมสารทำได้ 2 วิธี คือ

1.1 การผสมแห้ง เป็นการผสมและบด โดยไม่ใช้น้ำเป็นตัวช่วยทำละลาย เป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว เพราะไม่ต้องนำกลับมาทำให้แห้งอีกครั้งหนึ่ง

1.2 การผสมเปียก เป็นการผสมและบด โดยใช้น้ำเป็นตัวช่วยทำละลาย สารบางอย่างละลายน้ำได้ เมื่อนำมาบดเปียกจะทำให้บดง่ายกว่าการบดแห้ง เมื่อบดแล้วต้องทำให้แห้ง ก่อนนำไปเผา ขณะที่รอสารผสมแห้ง สารที่ละลายน้ำได้จะแยกตัวจับกันอยู่บนผิวหน้าของสารที่ผสมนั้น จึงต้องนำกลับมาบดแห้งอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้สารคลุกเข้ากันได้ดี เพื่อจะนำไปเผาต่อไป

5.1.2 การเผา สารที่ผสมกันเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจะบรรจุใส่ภาชนะดินเผาที่มีฝาปิด เรียกว่า ถ้วยกระเบื้อง โดยจะนำไปเผา ณ อุณหภูมิหนึ่งที่จะทำปฏิกิริยากัน รวมตัวเข้ากันเป็นสารประกอบชนิดใหม่ มีสีใหม่เกิดขึ้น การเผาจะเกิดปฏิกิริยาสองอย่างคือ

1. การสลายตัว เมื่อสารถูกความร้อนแก๊สต่าง ๆ จะสลายตัวระเหยออกมา เช่น คาร์บอนेट ซัลเฟต การที่แก๊สระเหยออกจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้งาน เพราะถ้ามีสารพวกนี้อยู่จะทำให้ผิวเคลือบเกิดฟอง หรือเป็นจุดได้

2. การรวมตัว สารที่ให้สีและสารที่ไม่ให้สี จะมีการรวมตัวกัน ขณะเผาเมื่อแก๊สต่าง ๆ ระเหยออกไปแล้ว จะก่อให้เกิดสารใหม่ที่มีสีเกิดขึ้น การเผาสารให้สีแต่ละสีจะมีช่วงอุณหภูมิในการเผาต่างกัน การนำไปใช้จริง ๆ จึงควรระวังการไม่คงที่ของสี เช่นการเผาในอุณหภูมิที่ไม่สูงพอจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ทำให้ได้สีไม่ดีพอ หรือการเผาที่อุณหภูมิสูงเกินไป สีก็จะเปลี่ยนไปเช่นกัน รวมทั้งบรรยากาศในการเผาก็มีส่วนสำคัญ เช่น สารที่มีส่วนผสมของ คาร์บอนेट บรรยากาศในการเผาควรเผาแบบการออกซิเดชัน ใช้ความดันต่ำ เพื่อให้แก๊สระเหยออกมาได้สะดวก (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2535 : 21)

5.1.3 การบด สารผสมเมื่อผ่านการเผาแล้วจะจับตัวกันเป็นก้อน จึงต้องนำมาบดอีกครั้งหนึ่งก่อน การบดในช่วงนี้นิยมบดด้วยวิธีบดเปียก ด้วยหม้อบด ซึ่งจะทำให้สารละเอียดและสะอาดกว่าการบดด้วยวิธีอื่น

5.1.4 การล้าง สารที่บดแล้วจะต้องนำมาล้างให้สารละลายหรือสิ่งเจือปนละลายออกมา เพื่อให้สีที่แน่นอน คงตัว ถ้าล้างไม่สะอาด พวกสารละลายและสิ่งเจือปนอื่นๆ จะมีผลทำให้เกิดพรมัวบนผิวเคลือบ หรือสีที่ตบแต่งไว้ การล้างสาร ทำได้โดยนำสารใส่ลงในภาชนะที่เป็นแก้วใส เติมน้ำร้อนหรือน้ำธรรมดาลงไป คนให้ทั่ว แล้วปล่อยให้สารตกตะกอนจนน้ำใสจะเห็นมีสีฝ้าลอยอยู่

ที่ผิวหน้า จึงนำไปอบแห้งต่อไป สีสางชนิดเวลาล้างครั้งแรกอาจต้องใช้กรด เพื่อขจัดสารละลายให้ดีขึ้น โดยการหยอดกรดลงในน้ำที่ใช้ล้าง 2-3 หยด คนให้ทั่ว ปล่อยทิ้งไว้จนใส แล้วรินออก หลังจากนั้นจึงล้างด้วยน้ำธรรมดาต่อไปจนน้ำใสไม่มีฝ้า

5.1.5 การทำให้แห้ง สีที่ล้างแล้วจะต้องทำให้แห้ง ควรทำให้แห้งอย่างช้าๆ ในอุณหภูมิต่ำ เพื่อไม่ให้น้ำที่อยู่ในสีเดือด การทำให้ร้อนเร็วเกินไปจะทำให้เกิดฟองอากาศในสี โดยเฉพาะในการใช้สีการพิมพ์จะทำให้น้ำมันที่ผสมสีเข้ากันได้ไม่ค่อยดีนัก เป็นต้น

5.1.6 การบด สีที่ผ่านการล้างและทำให้แห้งแล้วจะต้องผ่านการบดให้ละเอียดในขั้นสุดท้ายอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้สีละเอียดที่สุด เพื่อนำไปตบแต่งจะได้สีที่เรียบสวยงาม การบดขั้นสุดท้ายนี้จะใช้วิธีบดแห้งสีที่ผ่านขบวนการทั้งหมดขั้นที่ได้เรียกว่า สีผงสำเร็จรูป เมื่อผ่านขั้นตอนดังกล่าวแล้วจะได้สีที่คงตัว แต่ทั้งนี้ต้องระมัดระวังขั้นตอนในการเตรียมสีเป็นอย่างดีทุกขั้นตอน

5.1.7 ข้อควรระวังในการผลิตสีผงสำเร็จรูป (ปริดา พิมพ์ขาวชา. 2535 : 233-234) การผลิตสีผงสำเร็จรูปจะต้องทำอย่างพิถีพิถันทุกขั้นตอน การผลิตจะต้องมีการควบคุมอย่างดี ขั้นตอนในการผลิตสีผงสำเร็จรูปที่ควรให้ความสนใจอย่างยิ่งคือ

1. วัตถุดิบ วัตถุดิบทุกอย่างควรรู้ความบริสุทธิ์ และต้องรู้ว่าเป็นออกไซด์ คาร์บอนเนต หรือเกลืออื่นๆ ของอนุมูลบวกที่ต้องการ บางกรณีอาจใช้แร่จากธรรมชาตินอกจากส่วนประกอบทางเคมีแล้วสิ่งสำคัญที่ต้องรู้ต่อมาก็คือ คุณสมบัติทางฟิสิกส์ เป็นต้นว่า ลักษณะและขนาดของผลึก และการกระจายขนาดของอนุภาค

2. การผสม วัตถุดิบทั้งหลายจะต้องผสมกันเป็นอย่างดี โดยอาศัยเครื่องบดชนิดหม้อบด การบดผสมควรใช้วิธีบดเปียก แต่บางกรณีการบดแห้งก็ใช้ได้

3. การเผา เมื่อวัตถุดิบผสมกันดีแล้วอาจจะนำมาเผา ฟริต หรือหลอมเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาซึ่งจะได้ผลิตผลสุดท้าย ปฏิกิริยาอาจเกิดระหว่างของแข็งกับของแข็งในขณะที่ยังไม่ถึงจุดหลอมตัวของวัตถุดิบ และบางครั้งปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีขึ้น เมื่อมีของเหลวร่วมอยู่ด้วย บ่อยครั้งที่ผู้ผลิตจะผสมบอแรกซ์ เพื่อทำให้เกิดการหลอมเหลว ซึ่งจะเป็นการกระตุ้นให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น เมื่อได้ผลเรียบร้อยแล้วก็ล้างเอาบอแรกซ์ทิ้งไป อุณหภูมิในการเผาจะต้องควบคุมให้แน่นอนเพราะว่าถ้าอุณหภูมิต่ำไปปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ และถ้าอุณหภูมิสูงไปผลิตผลอาจเกิดการสลายตัว ในบางกรณีจะต้องควบคุมบรรยากาศของการเผาด้วย

4. การบด และการควบคุมขนาดของสีผงสำเร็จรูป เมื่อเผาเรียบร้อยแล้วนำมาบดด้วยหม้อบดและควบคุมขนาดให้อยู่ระหว่าง 1-5 ไมครอน สีผงสำเร็จรูปบางชนิดจะให้ความเข้มมากที่สุดเมื่อมีขนาด 1 ไมครอน และบางชนิดจะให้ความเข้มมากเมื่อมีขนาดระหว่าง 3-5 ไมครอน

5. การล้าง เมื่อสีสำเร็จรูปผ่านการบดชั้นสุดท้ายแล้ว จะต้องล้างให้สะอาดเพื่อขจัดพวกเกลือที่ละลายน้ำได้ เพราะว่าถ้ามีเกลือพวกนี้หลงเหลืออยู่ มันจะลอยตัวขึ้นมาบนผิวเคลือบ ทำให้เกิดคราบเกลือ หรือรุกรุนบนผิวเคลือบ บางกรณีต้องล้างด้วยสารละลายเจือจางของกรด บางกรณีล้างด้วยน้ำร้อนก็พอ

5.1.8 สารที่ให้สีทางเซรามิกส์ (ceramic colorants) ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์จะมีความสวยงามและมีคุณค่ามากยิ่งขึ้น เมื่อมีการตกแต่งด้วยสีสันทาสวยงาม สีในทางเซรามิกส์ เกิดขึ้นได้จากออกไซด์ของโลหะต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติในการให้สี ซึ่งสามารถนำไปใช้ในลักษณะต่าง ๆ กัน คือ นำไปผสมในน้ำเคลือบ เนื้อดินปั้น หรือนำไปทำเป็นสีสำเร็จรูปก็ได้ รายละเอียดของออกไซด์ให้สีต่าง ๆ นั้นมีดังนี้ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธุ์, 2531 : 16-18)

1. พลวงออกไซด์ (antimony oxide) ใช้ในรูปของแอนติโมนีออกไซด์ (Sb_2O_3) ถ้านำไปใช้เดี่ยวๆ จะไม่ให้สี แต่เมื่อนำไปใช้ร่วมกับเหล็กออกไซด์ หรือตะกั่วออกไซด์ จะให้สีส้มหรือสีเหลือง ใช้ประมาณร้อยละ 3-5

2. ทองแดงออกไซด์ (copper oxide) เป็นสารให้สีที่สำคัญตัวหนึ่ง โดยทั่วไปจะเป็นสารที่ให้สีเขียว เมื่อเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชัน ถ้าใช้กับเคลือบตะกั่วร้อยละ 1-6 จะได้สีเขียวแอปเปิ้ล หรือสีเขียวใบหญ้า ถ้าใช้ในเคลือบแอลคาไลน์ที่มี โซเดียมออกไซด์มาก อลูมินา น้อย เผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชัน จะได้สีแดง ซึ่งจะใช้ปริมาณไม่เกินร้อยละ 3 จึงเป็นผลดี และถ้าใช้เกินร้อยละ 6 ทองแดงออกไซด์จะทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ในเคลือบเล็กน้อย สูตรทางเคมี คือ CuO

3. แมงกานีสไดออกไซด์ (manganese dioxide) สูตรทางเคมี คือ MnO_2 ใช้ประมาณร้อยละ 5-10 จะให้สีม่วงถึงสีน้ำตาล ถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดเป็นฟองอากาศ ถ้าใช้ในเคลือบแอลคาไลน์จะได้สีม่วง ถ้าใช้ร่วมกับทองแดงออกไซด์ หรือ โคบอลต์ออกไซด์ (cobalt oxide) จะได้สีดำ และถ้าใช้ในเคลือบที่มีเหล็กออกไซด์สูงจะได้เคลือบที่มีมันวาว

4. โคบอลต์ออกไซด์ สูตรทางเคมี คือ CoO เป็นสารที่ให้สีรุนแรงที่สุด ใช้ในเคลือบประมาณร้อยละ 0.5 จะให้สีน้ำเงิน ไม่ควรใช้เกินร้อยละ 3 เพราะจะกลายเป็นตัวทนไฟ และมีราคาแพง ถ้าใช้ร่วมกับเหล็กออกไซด์ และแมงกานีสออกไซด์จะให้สีดำ

5. โครมิกออกไซด์ (chromic oxide) เป็นสารที่ให้สีรุนแรงตัวหนึ่ง ถ้านำไปใช้ในเคลือบที่มีสังกะสีออกไซด์ จะให้สีน้ำตาล ถ้าใช้ในเคลือบไฟดำจะให้สีแดง ถ้าเป็นเคลือบไฟสูงจะให้สีเขียว ใช้กันประมาณร้อยละ 2-5

6. เหล็กออกไซด์ (iron oxide) ที่ใช้กันมากคือ ออกไซด์เหล็กสีแดง (red iron oxide) สูตรทางเคมี คือ Fe_2O_3 และออกไซด์เหล็กสีดำ (black iron oxide) สูตรทางเคมี คือ Fe_3O_4

ซึ่งถ้าใช้ในเคลือบทั่วไปจะทำให้สีน้ำตาลแดงเลือนจนจนถึงแดงน้ำตาล ถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไป ออกไซด์ จะทำให้เคลือบเกิดผลึกเล็ก ๆ เป็นจุดสีทองอยู่ใต้เคลือบ หรือสีม่วง หรืออาจเกิดเป็นเกล็ดทองเล็ก ๆ แต่ถ้าเผาเคลือบในบรรยากาศแบบรีดักชัน เหล็กออกไซด์จะให้สีเขียวแบบเซลาดอน หรือเขียวปนเทา

7. ยูเรเนียมออกไซด์ (uranium oxide) เป็นสารที่มีราคาแพงมากจึงไม่นิยมใช้กัน สีที่ได้จากยูเรเนียมออกไซด์ คือ สีส้มแกมทอง ถ้าใช้ในปริมาณร้อยละ 5-8 ถ้าใช้ในเคลือบตะกั่วจะให้สีแดง ถ้าใช้กับเคลือบแอลคาไลน์จะให้สีเหลือง ถ้าใช้กับดีบุก (tin) และเซอร์โคเนียมออกไซด์ (zirconium oxide) จะได้สีเหลืองอร่ามไปจนถึงสีส้มและสีแดงสด

8. ไทเทเนียมไดออกไซด์ สูตรทางเคมี คือ TiO_2 ใช้ในปริมาณร้อยละ 3-5 จะให้สีน้ำตาลแดง และจะให้สีที่แตกต่างออกไปเมื่อนำไปใช้ร่วมกับทองแดงออกไซด์ หรือโคบอลต์ออกไซด์

9. นิกเกิลออกไซด์ (nickel oxide) สูตรทางเคมี คือ NiO ซึ่งจะเป็นออกไซด์ที่อยู่ในรูปผงสีเขียว หรือผงสีดำมีสูตรทางเคมี คือ Ni_2O_3 ถ้าใช้ในปริมาณร้อยละ 2-5 ในเคลือบที่มีแมกนีเซีย (magnesia) จะให้สีเขียว เคลือบที่มีแบเรียมจะให้สีน้ำตาล เคลือบที่มีหินปูนจะให้สีน้ำตาลแดง ถ้าใช้กับสังกะสีออกไซด์จะให้สีน้ำเงิน แต่สีที่เกิดขึ้นจะไม่ค่อยสดใสเพราะนิกเกิลออกไซด์จะเป็นตัวที่ทำให้สีจางหรืออ่อนลง ถ้าใช้ในปริมาณร้อยละ 5-10 จะทำให้เคลือบตกผลึกได้

การเติมออกไซด์ของสารลงในเคลือบเพื่อให้เกิดสีนั้น นอกจากจะได้สีจากออกไซด์ตัวเดียวแล้ว อาจจะได้จากการใช้ออกไซด์ของสารมาผสมกันตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปก็ได้ เพื่อจะให้เกิดขึ้นหลาย ๆ สี ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับส่วนผสมของเคลือบ อุณหภูมิ ตลอดจนสภาวะในการเผาอีกด้วย (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2531 : 18-19)

5.1.9 การนำสีผงสำเร็จรูปไปใช้ สีผงสำเร็จรูปที่เตรียมขึ้นเอง หรือซื้อมาจากโรงงานสามารถนำมาใช้ในลักษณะต่าง ๆ กัน ดังนี้ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2531 : 22)

1. ใช้ผสมในเคลือบ (inglaze stains) สีที่ใช้ผสมในน้ำเคลือบสามารถใช้ได้ทั้งออกไซด์ให้สีและสีผงสำเร็จรูป ผสมลงในน้ำเคลือบ ตามร้อยละที่กำหนดขึ้น ซึ่งจะให้สีแก่อ่อนหรือเปลี่ยนแปลงได้บ้างตามอุณหภูมิ และบรรยากาศที่เผา บางครั้งสี และน้ำเคลือบอาจจะไม่เข้ากัน ทำให้สีเปลี่ยนได้

2. ใช้เป็นสีตกแต่งใต้เคลือบ (underglaze stains) ใช้สำหรับตกแต่งบนผลิตภัณฑ์ดิบ (green ware) หรือผลิตภัณฑ์ที่เผาดิบแล้ว (biscuit ware) โดยเขียนเป็นลวดลายต่าง ๆ ตาม

ต้องการโดยการนำผงสีผสมน้ำ หรือผสมน้ำมันกลีเซอริน เพื่อให้เขียนได้ลื่นสะดวก ต่อจากนั้นจึงนำไปชุบเคลือบใส (clear glaze) และเผาต่อไป เมื่อเผาเสร็จแล้วสีจะติดคงทนถาวรอยู่ใต้เคลือบ

3. ใช้เป็นสีทับแต่งบนเคลือบ (overglaze stains) เป็นการตกแต่งลวดลายบนผลิตภัณฑ์หลังจากการเผาเคลือบแล้ว จึงนำไปเผาอีกครั้งหนึ่ง ด้วยอุณหภูมิประมาณ 700 - 900 องศาเซลเซียส สีจะติดบนผิวเคลือบได้แนบสนิท แต่มีความทนทานน้อยกว่าสีใต้เคลือบ

4. ใช้ผสมในเนื้อดินปั้น (body stains) เป็นการใช้ผงสีผสมในเนื้อดินปั้นเพื่อให้เนื้อดินมีสีแปลกไปจากเดิม การใช้สีผสมในเนื้อดินต้องใส่ในอัตราส่วนที่สูงเมื่อเทียบเป็นร้อยละ จึงจะให้สีเข้มชัดตามต้องการ

5.2 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ผสมกับภาคตะกอนโลหะหนักเพื่อใช้ในการผลิตสีผงสำเร็จรูป

วัตถุดิบแต่ละชนิดย่อมมีคุณสมบัติแตกต่างกัน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาก่อนนำไปใช้งาน สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

5.2.1 อลูมินา (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2531 : 10-12)

สูตรทางเคมีคือ Al_2O_3 อลูมินาเป็นตัวช่วยปรับการไหลตัวของน้ำเคลือบ คือ ถ้าใช้อลูมินาจำนวนมากขึ้น ความหนืดของน้ำเคลือบก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไปจะทำให้เคลือบด้านและต้านทานการตกผลึกในเคลือบด้วย (ถ้าใช้อลูมินาในปริมาณมากจะทำให้เคลือบมีความหนืดมาก ผลึกใหญ่ จะเกิดขึ้นได้อย่างยากลำบาก) นอกจากนั้นปริมาณของอลูมินาในเคลือบยังมีผลต่อความทนไฟและจุดสุกตัวของเคลือบด้วย คือ ในเคลือบไฟต่ำควรมีอลูมินาในปริมาณต่ำ ตัวอย่าง เช่น เคลือบตะกั่วที่หุนวัดไฟ อุณหภูมิ 1,050 - 1,060 องศาเซลเซียส

0.8 PbO

0.1 Al_2O_3 0.2 SiO_2

0.2 K_2O

จากสูตรจะเห็นว่าใช้อลูมินาเพียง 0.1 โมล (molecular equivalent)

แต่ในเคลือบไฟสูงจะใช้อลูมินาถึง 0.9 โมล ตัวอย่างเช่น เคลือบปอร์ซเลน (porcelain) ที่หุนวัดไฟ เบอร์ 10 อุณหภูมิ 1,285 - 1,294 องศาเซลเซียส

0.3 KNaO

0.9 Al_2O_3 7.2 SiO_2

0.7 CaO

นอกจากที่กล่าวมาข้างต้น อลูมินา ยังมีผลต่อเคลือบดังต่อไปนี้ คือ

ก. เพิ่มความแข็งแรงให้กับเคลือบ

ข. เพิ่มความทนไฟของเคลือบ

ค. ใช้อธิบายว่าเป็นเคลือบชนิดใด โดยดูที่อัตราส่วนของอลูมินา : ซิลิกา สามารถบอก

ลักษณะของผิวเคลือบได้ เช่น

อลูมินา : ซิลิกา	ชนิดของน้ำเคลือบ
1 : 2.5-5	เคลือบด้าน
1 : 7-12	เคลือบผิวมัน
1 : 15-20	เคลือบผลึก

ตัวอย่าง $0.3 \text{ K}_2\text{O}$

$0.3 (\text{Al}_2\text{O}_3)$ $2.1 (\text{SiO}_2)$

0.7 CaO

จากตัวอย่างนี้จะเห็นว่า อัตราส่วนของ อลูมินา : ซิลิกา เป็น 1 : 7 ฉะนั้นสรุปได้ว่าเป็นเคลือบผิวมัน (glossy glaze)

ง. มีอิทธิพลต่อสีในเคลือบ เช่น สีของโคบอลต์ออกไซด์ ซึ่งปกติจะให้สีน้ำเงินฟ้า แต่ถ้าใช้ในเคลือบที่ไม่มีอลูมินาออกไซด์อาจจะได้สีชมพู (rose pink) เป็นต้น อลูมินาบริสุทธิ์จะหลอมละลายที่อุณหภูมิประมาณ 2,050 องศาเซลเซียส

สารที่ให้อลูมินา เช่น

- อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (aluminium hydrate) สูตรทางเคมี คือ $\text{Al}(\text{OH})_3$ เมื่อผ่านการเผาแล้วจะได้อลูมินา สารประกอบทั้งสองรูปนี้มีความบริสุทธิ์สูง แต่นิยมใช้ในรูปแบบของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์มากกว่า เพราะมีคุณสมบัติทำให้เคลือบลอยตัวได้ดีและการเกาะติดผิวผลิตภัณฑ์ก็ดีด้วย แต่อาจทำให้เกิดผิวเคลือบที่บวมหรือเป็นเคลือบด้านได้

- หินฟันม้า (feldspar) สูตรทางเคมี มีหลายชนิดแล้วแต่จะเป็น หินฟันม้าชนิดใด เช่น $\text{KNaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6 \text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6 \text{SiO}_2$, $\text{K}_2\text{O} \cdot 3 \text{Na}_2\text{O} \cdot 4 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 9 \text{SiO}_2$

ในการทำเคลือบใสควรจะมีจำนวนเหล็กออกไซด์ และไทเทเนียมออกไซด์น้อยที่สุด เพราะถ้ามีสาร 2 ตัวนี้ จะทำให้เคลือบหม่น ฉะนั้นเราจึงใช้ดินขาวหรือดินเคโอลิน ในการทำน้ำเคลือบ ปริมาณของดินที่ใช้ในน้ำเคลือบจะอยู่ระหว่าง 0.05-0.15 โมล

- ไครโอไลต์ (cryolite) สูตรทางเคมี Na_3AlF_6

- เบนโทไนต์ (bentonite) สูตรทางเคมี คือ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4 \text{SiO}_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ใช้ผสมในเคลือบเพียงเล็กน้อย ประมาณร้อยละ 3 จะเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผิวเคลือบ และช่วยให้การตกตะกอนของน้ำเคลือบข้าง คุณสมบัติอีกข้อหนึ่งก็คือเป็นตัวเพิ่มความเหนียว (plasticizer)

นอกจากนี้อลูมินายังช่วยให้เคลือบมีความต้านทานต่อการกระทำของสารเคมี ซึ่งรวมถึงการผุกร่อนโดยบรรยากาศ (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2530 : 20) เป็นวัตถุดิบกลุ่มที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง (Intermediates or Neutrals group) ทำหน้าที่เป็นตัวทนไฟ และตัวให้สี ในทางเซรามิกซ์ ใช้สัญลักษณ์ R_2O_3

5.2.2 ดินขาว (Kaolin or China clay ,สูตรเคมี คือ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

ส่วนใหญ่เป็นดินที่เกิดในที่ราบสูง เนื้อดินหยาบ มีความทนไฟสูง (1,800 องศาเซลเซียส) นำมาขึ้นรูปโดยตรงยากแก่การทรงตัว และมีความเหนียวน้อยการนำไปใช้ในผลิตเครื่องปั้นดินเผาต้องนำไปผสมกับวัตถุดิบอื่น เป็นดินที่มีการหดตัวน้อย

ดินขาวที่นิยมนำมาทำผลิตภัณฑ์และใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ นั้นเป็นดินขาวที่เกิดจากสารประกอบของอลูมิเนียมซิลิเกต เป็นดินที่เกิดจากการแปรสภาพของหินแกรนิต และหินฟีนมา กลายมาเป็นดินขาว มีส่วนประกอบของอลูมินา ซิลิกา และน้ำ นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอย่างอื่นสิ่งเจือปนที่เกิดตามธรรมชาติปะปน เช่น เหล็กออกไซด์ คัลเซียมออกไซด์ มักนิยมนำเหล็กออกไซด์ อัลคาลีไปแตสเซียม และโซเดียม เป็นต้น (ทวี พรหมพฤษฯ. 2523:58-59)

นอกจากนี้ดินขาวเป็นวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง ทำหน้าที่เป็นตัวทนไฟ และตัวทำให้เกิดสี ในทางเซรามิกซ์ใช้สัญลักษณ์ R_2O_3 เขียนแทนวัตถุดิบกลุ่มนี้ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2531 : 3)

5.2.3 หินเขี้ยวหนุมาน (quartz , SiO_2)

เป็นสารที่เกิดจากการตกผลึกของซิลิกา หินเขี้ยวหนุมานเป็นวัตถุดิบที่ให้ซิลิกาสูงมาก ถึงร้อยละ 99 มีความถ่วงจำเพาะ 2.7 มีความแข็ง 7 โครงสร้างเป็นรูปผลึก 6 เหลี่ยม จุดหลอมละลายที่อุณหภูมิ 1,728 องศาเซลเซียส ใช้ผสมในน้ำเคลือบ และเนื้อดินปั้น การนำเอาหินเขี้ยวหนุมานผสมในเนื้อดินปั้นจะทำให้ดินปั้นแข็งแรง ป้องกันการหดตัว การบิดเบี้ยวของผลิตภัณฑ์ และยังเปลี่ยนสภาพเป็นแก้วได้ ทำให้เนื้อดินโปร่งแสงดี ถ้าผสมน้ำเคลือบจะทำให้เคลือบมีความแข็ง และเป็นแก้ว มีความมันแวววาวดีขึ้น (โกลด์ รักษ์วงศ์. 2531:25)

หินเขี้ยวหนุมาน เป็นวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นกรด (acids group) เมื่อผสมในน้ำเคลือบจะเปลี่ยนสภาพเป็นแก้วในเคลือบ (glass forming) ในทางเซรามิกซ์ใช้สัญลักษณ์ RO_2 เขียนแทนวัตถุดิบกลุ่มนี้ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2531 : 3)

5.2.4 หินปูน

เป็นสารประกอบจำพวกแคลเซียมคาร์บอเนต มีสูตรทางเคมี คือ CaCO_3 พบอยู่ทั่วไปในประเทศไทยและมีมากที่จังหวัดสระบุรีและจังหวัดราชบุรี เมื่อนำมาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 900 องศาเซลเซียส จะสลายตัวให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนสภาพเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) นอกจากหินปูนแล้วยังเกิดจากหินอ่อน หินปะการัง เปลือกหอย และดินสอพอง เป็นต้น (อนันต์ภักดี โชติมงคล. 2531 : 20) การนำหินปูนไปผสมในเคลือบไฟสูง ถ้าผสมในเนื้อดินจะช่วยลดความพรุนตัว (porosity) (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2531 : 8) หินปูนมีความถ่วงจำเพาะ 2.7 มีความแข็ง 2.3 ในขบวนการปรับสภาพของตะกอนที่มีโลหะหนักปนเปื้อนนั่นจะต้องเติมสารเคมีลงไปเพื่อปรับสภาพของตะกอนจะทำให้ตะกอนสามารถแยกน้ำออกได้ง่ายขึ้น สารเคมีที่ใช้ต้องเติมลงไป ได้แก่ ปูนขาว ดังนั้นในกากตะกอนจึงมีปูนขาวปนอยู่ด้วยเช่นกัน

5.2.5 หินฟันม้า

เป็นวัตถุดิบที่เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลาย เป็นสารประกอบอลูมิเนียมซิลิเกตของแอลคาไลน์ และแอลคาไลน์เอิร์ท (โกลด์ รักษ์วงศ์. 2531 : 35) ซึ่งเกิดจากการแปรสภาพของหินแกรนิตมาเป็นหินฟันม้า มีสีขาวนวล หรืออาจมีสีเหลืองชมพูปนอยู่ด้วย (ดำรงศรี สุขโขง. 2527 : 11) ข้อดีในการนำหินฟันม้าใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ คือ มีราคาถูก และเป็นแอลคาไลน์ที่ไม่ละลายน้ำ โดยทั่วไปหินฟันม้ามี 3 ชนิด คือ

1. หินฟันม้าชนิดโพแทส (potash feldspar) มีสูตรทางเคมี คือ $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ เป็นหินฟันม้าที่มีสารประกอบโพแทสเซียมอลูมิเนียมซิลิเกต (potassium aluminium silicate) มีความแข็ง 6 ความถ่วงจำเพาะ 2.56 มีจุดหลอมละลายประมาณ 1,200 - 1,250 องศาเซลเซียส ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้น และน้ำเคลือบได้ดี มีส่วนประกอบทางเคมี ดังนี้

ซิลิกา	ร้อยละ	65.7
อลูมินา	ร้อยละ	18.4
โซเดียม	ร้อยละ	16.4

แหล่งที่สำคัญ ได้แก่ หินฟันม้าที่ตำบลสวนผึ้ง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี

2. หินฟันม้าชนิดโซดา (soda feldspar) ได้แก่ หินอัลไบท์ (albite) มีสูตรทางเคมี คือ $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ เป็นหินฟันม้าที่มีสารประกอบของ โซเดียมอลูมิเนียมซิลิเกต (sodium aluminium silicate) มีความแข็ง 6.5 ความถ่วงจำเพาะ 2.64 เป็นผลึกสี่เหลี่ยม หรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ใช้ผสมในน้ำเคลือบไฟสูง เพื่อช่วยลดอุณหภูมิ หินฟันม้าชนิดนี้ช่วยทำให้อุณหภูมิของเคลือบต่ำกว่าหินฟันม้าชนิดโพแทส หินฟันม้าชนิดโซดา มีส่วนประกอบทางเคมี ดังนี้

ซิลิกา	ร้อยละ	68.8
อลูมินา	ร้อยละ	19.4
โซเดียม	ร้อยละ	11.8

แหล่งที่สำคัญ ได้แก่ หินฟันม้าที่ตำบลทุ่งนางหรง อำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี

3. หินฟันม้าชนิดแคลเซียม (calcium feldspar) หรือ หินไลม์สปาร์ (Limespar) ใช้ผสมในเคลือบ มีส่วนประกอบทางเคมี คือ

ซิลิกา	ร้อยละ	43.3
อลูมินา	ร้อยละ	36.6
โซเดียม	ร้อยละ	20.1 (โกลด์ รักษ์วงศ์. 2531 : 35-37)

5.3 การเตรียมน้ำเคลือบและทดลองน้ำเคลือบ (ไพจิตร อิงศิริวัฒน์. 2537 : 41-47)

ในขั้นตอนการเตรียมน้ำเคลือบ และทดลองน้ำเคลือบ จำเป็นที่จะต้องเตรียมสิ่งเหล่านี้ไว้ให้พร้อม กล่าวคือ

5.3.1 การทำถ้วยทดสอบวัตถุดิบ

วัตถุดิบทุกชนิดที่ใช้ในการเตรียมน้ำเคลือบ ควรผ่านการทดสอบโดยการเผาเพื่อเก็บไว้เป็นตัวอย่างในการตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบเปรียบเทียบกับวัตถุดิบที่ส่งมาครั้งใหม่และจะต้องศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบทุกตัวหลังการเผาเพื่อให้ทราบถึงจุดหลอมละลาย สี ความเปลี่ยนแปลงหรือความทนไฟของวัตถุดิบหลังการเผาผ่านความร้อนในอุณหภูมิต่าง ๆ ควรเขียนชื่อวัตถุดิบ และวันเดือนปีที่ทำการทดสอบกำกับไว้ข้างถ้วยทุกครั้งวัตถุดิบที่หลอมละลายในอุณหภูมิต่ำ เช่น พวกตะกั่ว บอแรกซ์ และลิเทียมคาร์บอเนต เมื่อนำถ้วยทดสอบเข้าเตาเผาควรวางไว้บนเศษแผ่นรองเตาเผาชั้นที่แตก ซึ่งใช้อลูมินาผงโรยไว้บนแผ่นที่แตกด้วย เนื่องจากเผาแล้วจะหลอมละลายกลายเป็นแก้วไหลล้นขึ้นจากขอบปากถ้วย การเผาเกินอุณหภูมิไปมาก ทำให้มีปัญหาในการไหลติดแผ่นรองเตาเผาเสียหาย ต้องระวังในการเผาทุกครั้ง

5.3.2 การทำแท่งทดสอบเนื้อดินเพื่อทดสอบเคลือบอุณหภูมิสูง

เนื้อดินที่ใช้กันในโรงงานแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ 1.ดินสโตนแวร์ 2. ดินขาวปอร์ซเลน ส่วนใหญ่โรงงานใช้ดินเพียงชนิดเดียวเท่านั้น เพื่อไม่ให้ยุ่งยากกับอุปกรณ์ เครื่องจักรที่ใช้เตรียมดิน และลดปัญหาการปนเปื้อนของเนื้อดิน ซึ่งขั้นตอนการผลิตและการเผาต้องควบคุมให้ละเอียด

มากยิ่งขึ้นในระบบโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ถ้าต้องการให้ดินหลายประเภท จะแยกโรงงานผลิตคนละโรงไม่ให้ดิน และกระบวนการต่าง ๆ มาปะปนกัน

5.3.3 การทำแผ่นทดสอบเคลือบ

แผ่นทดสอบเคลือบโดยทั่วไปนิยมทำได้ 3 แบบ แล้วแต่ความประสงค์ของการทำ ตัวอย่างว่าจะเก็บตัวอย่างน้ำเคลือบแบบไหน

1. แผ่นทดสอบตามแนวตั้ง

นิยมใช้เนื่องจากมีข้อดีอยู่หลายอย่าง คือ สามารถเรียงชิ้นงานเข้าเตาเผาได้จำนวนมากในชั้นวางแต่ละชั้น ทำให้ประหยัดเนื้อที่ในการใช้แผ่นรองเตาเผา และแผ่นเคลือบตามแนวตั้งสามารถเห็นการไหลของเคลือบได้อย่างชัดเจน แผ่นเคลือบตามแนวตั้งหยิบได้ถนัดเมื่อชุบเคลือบและสามารถติดบน chart ได้สวยงาม แต่มีข้อเสียอยู่ที่ถ้าทำฐานตั้งไม่ได้จากกับพื้นวางแล้วจะมีปัญหาล้มไปโดนผลิตภัณฑ์อื่นหรือล้มทับกันทั้งแถว ขนาดของแผ่นทดสอบตามแนวตั้งก่อนเผา ใช้ขนาด 3 เซนติเมตร คูณ 5 เซนติเมตร ฐานหนา 1.5 เซนติเมตร การเตรียมแผ่นทดสอบทำตัวอย่าง ด้วยดินเหนียว 1 ชิ้น แล้วทำพิมพ์กดด้วยปูนพลาสเตอร์

2. แผ่นทดสอบตามแนวนอน

แผ่นแบบเป็นรูปวงกลม หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า แผ่นทดสอบชนิดนี้สามารถติดกับแผ่นกระดาษหรือแผ่นกระดาษแข็งได้ง่ายแต่ถ้าผู้ดูแลแผ่นทดสอบไม่ชำนาญจะไม่สามารถเดาการไหลของเคลือบไม่แม่นยำ จะสังเกตยากกว่าแผ่นทดสอบตามแนวตั้งแผ่นทดสอบตามแนวนอนต้องขีดเคลือบที่ด้านข้างของแผ่นออกโดยรอบทั้งหมด และด้านบนจะต้องทำลายนูนเป็นสันขึ้นมาด้วยเพื่อสังเกตหลังเผา ถ้าเคลือบบางบริเวณที่เป็นสันนูนแสดงว่าเคลือบไหลเล็กน้อย หรือเคลือบไหลย้อยลงไปที่ขอบของเนื้อดินทางด้านล่างรอบ ๆ แผ่นทดสอบ ก็แสดงว่าเคลือบไหลมาก

3. แผ่นทดสอบชนิดที่เจาะรูแขวน

แผ่นทดสอบชนิดแบนและเจาะรูสำหรับแขวนกับถังเคลือบเพื่อเป็นตัวอย่าง หรือเพื่อการเก็บแผ่นทดสอบโดยวิธีร้อยเก็บไว้เป็นพวงได้

เนื้อดินที่ใช้ทำแผ่นทดสอบนี้ควรใช้ดินหลักที่ใช้อยู่ในโรงงาน หรือสถานศึกษาเป็นมาตรฐานในการทำแผ่นทดสอบ หรือถ้าต้องการทดลองเคลือบบนดินหลาย ๆ ชนิดเพื่อดูความแตกต่างหลังเผาเคลือบก็สามารถทดลองได้จากดินหลาย ๆ ชนิด

5.3.4 การชุบเคลือบบนแผ่นทดสอบ

แผ่นทดสอบที่ทำเตรียมไว้จำนวนมากโดยการกดพิมพ์ ควรผึ่งให้แห้ง และเผาดิบให้เรียบร้อยก่อนนำไปชุบเคลือบ การทดลองควรทำดังนี้

1. เขียนชื่อเคลือบและหมายเลขของแผ่นทดสอบให้เห็นชัดเจน ทางด้านล่างของแผ่นทดสอบ
2. เรียงแผ่นทดสอบที่เขียนชื่อ และรหัสหมายเลข ตามลำดับให้เป็นระเบียบบนแผ่นไม้กระดาน
3. ถ้าทำเคลือบครั้งละสองเนื้อดิน ใช้แผ่นทดสอบดินสโตนแวร์ 1 แผ่นและดินขาวปอร์ซเลนอีก 1 แผ่น รวมเป็น 2 แผ่น
4. ถ้าต้องการเผาไร้ดักชั้นให้เขียน RF. กำกับไว้ด้านล่างของแผ่นทดสอบด้วยหรือเผาออกซิเดชันให้เขียน OF. ถ้าทดลองเคลือบกับเนื้อดิน 2 ชนิด ต้องทำแผ่นทดสอบ 4 แผ่น ใช้วัตถุดิบเคมี เคลือบประมาณ 30-40 กรัม ในการชุบแผ่นทดสอบ 4 แผ่น
5. คำนวนปริมาณสารเคมีที่จะใช้บดในแต่ละสูตร ว่ามีน้ำหนักของสารเคมีแต่ละชนิดรวมกี่กรัม
6. ชั่งสารเคมีมีไว้เป็นถุง ๆ เขียนรหัสให้ชัดเจนด้วยปากกาเคมีที่เขียนบนถุงพลาสติกได้
7. บดน้ำยาเคลือบที่ใช้ทดสอบให้ละเอียด ใช้เวลาบดสูตรประมาณ 30 นาที โดยสังเกตว่าวัตถุดิบเนียนละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันไม่เป็นเม็ดเมื่อใช้นิ้วขยี้
8. ชุบเคลือบบนแผ่นทดสอบให้มีความหนา 1-1.5 มิลลิเมตร อย่าชุบเคลือบหนาหรือบางเกินไป ผลการเผาอาจเปลี่ยนแปลงได้
9. ชุบเคลือบให้ครบทั้ง 4 ด้าน แล้วขีดเคลือบด้านหลังของแผ่นทดสอบ ให้สะอาด ถ้าเป็นแผ่นทดสอบเคลือบชนิดวางนอน
10. แบ่งกลุ่มเคลือบไว้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เผาออกซิเดชัน 1 กลุ่มด้วยเตาไฟฟ้า และกลุ่มไร้ดักชั้นที่เผาด้วยเตาแก๊สอีก 1 กลุ่ม ต้องเขียน OF. และ RF. ไว้ให้ชัดเจนบนแผ่นทดสอบที่ทำการทดลองเผาเคลือบ

5.3.5 สรุปรายงานผลหลังการเผา

ในการทดลองเคลือบทุกสูตร สิ่งที่จะต้องบันทึกไว้ คือ ชื่อเคลือบ อุณหภูมิในการเผา เนื้อดิน สูตรส่วนผสมที่ใช้ตามลำดับ และเนื้อที่รายงานผลหลังการเผาไว้ด้วย ดูตามตัวอย่าง

ชื่อเคลือบ เซลาดอน เคลือบเคมีสีเขียวใสเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส เผาบรรยากาศไร้ดักชั้น ใช้เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ มีส่วนผสมดังนี้

1. โซดาเฟลด์สปาร์ ร้อยละ 33

2. หินปูน	ร้อยละ	16
3. ทัลคัม	ร้อยละ	4
4. แบเรียมคาร์บอเนต	ร้อยละ	7
5. แก้วกระดูก	ร้อยละ	1
6. ดินขาวลำปาง	ร้อยละ	16
7. ซิลิกา	ร้อยละ	23
8. ผงแม่เหล็กสีดำ	ร้อยละ	2 - 3

ผลหลังการเผา (วันที่ - เดือน - ปี)

- ลักษณะของเคลือบ

1. เป็นเคลือบใส
2. ผิวเคลือบมัน กึ่งด้านกึ่งมัน เคลือบด้าน
3. การร้าวตัวของเคลือบ
4. การเกิดรูเข็มในเคลือบ
5. การไหลตัวของเคลือบ

สรุปผล

- สีที่เกิดขึ้น

- การปรับปรุงสูตรเคลือบ
- การนำไปเคลือบไปใช้

ตัวอย่างเคลือบ

ภายหลังการเผาให้รวมกันไว้เป็นกลุ่ม กลุ่มละ 6-8 ชิ้นนำมาถ่ายรูปเก็บไว้และตัดติดไว้กับสูตรทุกสูตรในสมุดรายงานผลการทดลอง เพื่อสะดวกในการค้นหาครั้งต่อไป

5.3.6 การนำสูตรเคลือบมาใช้

หลังการทดลองเคลือบแล้วถ้าได้ผลดีตามต้องการในครั้งที่หนึ่งจะต้องทดลองซ้ำอีกอย่างน้อย 2 ครั้ง ถ้าได้ผลดีเหมือนเดิมไม่ผิดเพี้ยนแสดงว่าสูตรเคลือบนั้นให้ผลการเปลี่ยนแปลงหลังการเผามีน้อยก่อนจะนำสูตรเคลือบไปคำนวณไปผสมเพิ่มเติมให้เพียงพอต่อการใช้งานจริงควรทดลองให้แน่ใจก่อนว่าสูตรเคลือบลงตัวดีแล้วหรือทดลองบดจำนวนน้อยประมาณ 1 กิโลกรัมเคลือบงานชิ้นเล็กดูก่อน ถ้าได้ผลดีจึงผสมใช้งานจริงต่อไป

5.3.7 การพัฒนาสูตรเคลือบใสให้เป็นเคลือบสีอื่น

วัตถุดิบที่ให้สีในเคลือบแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1. ออกไซด์ของโลหะต่าง ๆ ซึ่งมีสีไม่ครบทุกสีและบางสีเมื่อเผาในอุณหภูมิสูงจะหายไปได้ง่าย เช่น นิกเกิลออกไซด์ แต่พวกสีน้ำเงินเช่น โคบอลออกไซด์ เหล็กออกไซด์ สีน้ำตาลและคอปเปอร์ออกไซด์ สีเขียวสามารถเผาได้ดีในอุณหภูมิสูง ส่วนสีเหลืองสีส้มมักจางหายไป

2. สีผงสำเร็จรูป ทำให้ขายสำเร็จรูปมีสีสด ๆ ทุกสีให้เลือก เช่น สีชมพู สีส้ม สีแดง สีเหลือง ฯลฯ เป็นสีที่ใช้ได้ผลดีในการเผาแบบสันดาปสมบูรณ์ แต่ถ้าเผาแบบบริดจ์ชั้นสีจะซีดจางหายไป สีที่เผาในอุณหภูมิต่ำกว่า 1,150 องศาเซลเซียส เป็นสีสดใสกว่ามีสีให้เลือกมากกว่า ส่วนสีที่เผาในอุณหภูมิสูง มีสีให้เลือกน้อย

3. ออกไซด์ที่ให้สีขาวทึบในเคลือบ ได้แก่ ดีบุกออกไซด์ ร้อยละ 7 - 8 เซอร์โคเนียมซิลิเกต ร้อยละ 10 - 15 หรือโซโคแพค ร้อยละ 10 - 15 ไทเทเนียมไดออกไซด์ หรือรูไทล์ (rutile) ร้อยละ 8 - 10 ได้สี ครีมนั้น ๆ

ตัวอย่างที่ 1 สีน้ำตาลเดิม แมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 4 - 10 ส่วนการเติมสีผงสำเร็จรูปในเคลือบมักใส่ในปริมาณน้อยกว่า เดิมออกไซด์ของโลหะ จะใช้ คิดเป็นปริมาณร้อยละ 10-15 ในเคลือบให้เป็นเคลือบสีสด นิยมใช้กับเคลือบฟritเผาในอุณหภูมิไม่เกิน 1,200 องศาเซลเซียส เช่นเคลือบสีเครื่องสุขภัณฑ์ ประเภทต่าง ๆ และกระเบื้องปูห้องน้ำ

ตัวอย่างที่ 2 สีผงสำเร็จรูป สีชมพู ร้อยละ 10-15 ในเคลือบใช้ได้เฉพาะกับบางเคลือบเท่านั้นบางเคลือบทดลองแล้วไม่ได้ผลเนื่องจากเคลือบสูตรพื้นฐาน ทำปฏิกิริยากับสีชมพูไม่มีตัวช่วยเร่งทำปฏิกิริยาทำให้เกิดสี สีชมพูไม่นิยมเผาออกซิเดชัน เกิน 1,200 องศาเซลเซียส เคลือบสีขาวทึบ และเคลือบที่ผสมด้วยสีผงสำเร็จรูปตามตัวอย่าง เป็นหลักการทดลองเบื้องต้นของการเปลี่ยนสีเคลือบ ถ้าต้องการเตรียมน้ำยาเคลือบไม่มีปฏิกิริยาพิเศษและมีสีแปลกออกไปมักจะใช้ออกไซด์หลายตัวช่วยกันเป็นตัวให้สีเคลือบที่ผสมด้วยสีผงสำเร็จรูปต้องเผาแบบสันดาปสมบูรณ์หรือเผาแบบออกซิเดชัน สีจะสดใสดี แต่ถ้าเผาแบบบริดจ์ชั้นสีจะเปลี่ยนแปลงไปสีที่ได้อาจจะไม่ได้ตามต้องการด้วยเหตุนี้จึงไม่เผาเคลือบที่ผสมสีสำเร็จรูปแบบบริดจ์ชั้น

5.4 เคลือบสโตนแวร์ (ไพจิตร อิงศิริวัฒน์. 2537 : 93-96) สูตรเคลือบที่เผาในอุณหภูมิสูงนั้น แบ่งการเผาได้เป็น 2 บรรยากาศ คือ

- เคลือบที่เผาแบบออกซิเดชัน
- เคลือบที่เผาแบบบริดจ์ชั้น

เคลือบที่เผาในอุณหภูมิสูง มีอุณหภูมิในการเผาอยู่ในระหว่าง 1,230 องศาเซลเซียส ถึง 1,300 องศาเซลเซียส หรือถ้าเรียกตามเนื้อดินสามารถเรียกว่า เคลือบสโตนแวร์เมื่อไปเคลือบเนื้อดินชั้นสโตนแวร์

5.4.1 คุณสมบัติของเคลือบอุณหภูมิสูง

1. ผิวเคลือบมีความแข็งแรง มีความทนต่อรอยขีดข่วนและแรงกระแทกได้ดี
2. เคลือบสามารถทนต่อฤทธิ์กรดและด่างได้ดี สามารถนำมาเคลือบภาชนะใส่อาหารทุกชนิดได้อย่างปลอดภัย
3. เผาได้ทั้งในบรรยากาศการเผาสันดาปสมบูรณ์ และสันดาปไม่สมบูรณ์

5.4.2 เนื้อดินในอุณหภูมิสูง

1. เนื้อดินสโตนแวร์ (stoneware clay) สีน้ำตาลอ่อนทึบแสงเผาสุกตัวที่อุณหภูมิประมาณ 1,250 องศาเซลเซียส เนื้อดินหลอมตัวแน่น การดูดซึมน้ำต่ำไม่เกินร้อยละ 2 นิยมใช้ทำผลิตภัณฑ์ถ้วยชาม และแจกันต่าง ๆ
2. เนื้อดินขาวอุตสาหกรรม (white bodis) หรือดินคอมพาวด์เนื้อดินมีสีขาวทึบแสงดินขาวที่ใช้มีเปอร์เซ็นต์ของแร่เหล็กเจือปนอยู่บ้างทำให้เห็นเป็นสีเขียวอมเทา หลังการเผาเนื้อดินเมื่อสุกตัวไม่ดูดซึมน้ำ มีความแข็งแรงมากที่นำมาล้างกระທกกันบ่อย ๆ ไม่บิ่นหรือแตกร้าวง่าย นิยมใช้ในการผลิตถ้วยชามในระบบอุตสาหกรรม
3. เนื้อดินปอร์ซเลน (porcelain body) เนื้อดินสีขาวโปร่งแสง ลักษณะการปั้นบางเพื่อเน้นความโปร่งแสงเป็นผลิตภัณฑ์คุณภาพดี เผาดินหลอมตัวกลายเป็นแก้ว โปร่งแสงมีความแข็งแรงมากเมื่อเคาะจะมีเสียงดังกังวานคล้ายเสียงโลหะ นิยมชุบเคลือบด้วยเคลือบใส เพื่อเน้นความโปร่งแสงของเนื้อดิน

5.4.3 วัตถุดิบที่เป็นเคลือบตามธรรมชาติ

วัตถุดิบหลายชนิดสามารถหลอมละลายได้เคลือบในอุณหภูมิสูง 1,250 องศาเซลเซียส เช่น หินฟันม้า ถ้านำมาเผาในอุณหภูมิเกิน 1,200 องศาเซลเซียส สามารถหลอมละลายได้แก้วหรือที่เรานิยมเรียก " เคลือบหิน " แกรชนิดทุกชนิดสามารถเผาให้หลอมละลายเป็นเคลือบในอุณหภูมิสูงได้ เนื่องจากหินแกรนิตได้มีโครงสร้างของหินคล้ายหินฟันม้า หินฟันม้ามีสีขาวบริสุทธิ์มากกว่า มีมลทินเจือปนอยู่น้อยกว่า สามารถใช้ทำเคลือบขาวหรือเคลือบใสได้ดี จึงนิยมใช้หินฟันม้าทำเคลือบอุณหภูมิสูงกันอย่างแพร่หลาย วัตถุดิบที่เตรียมจากหินซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติมีอยู่มากมายในแหล่งต่างๆ ทั่วโลกมีราคาถูกกว่าวัตถุดิบที่ต้องเตรียมโดยสังเคราะห์ขึ้นมาใช้ ดังนั้นวัตถุดิบที่เตรียมเคลือบในอุณหภูมิสูงพวกหิน เช่น หินฟันม้า ควอตซ์ หรือซิลิกา และหินปูน จึงเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูก นอกจากนี้ยังมีซีเมนต์ และเกลือปรุงอาหารซึ่งสามารถใช้เป็นเคลือบนำมาเผาหลอมละลายในอุณหภูมิสูงได้ดี

วัตถุดิบในเคลือบอุณหภูมิสูง คือ หินฟันม้า มีประมาณร้อยละ 40-50 ในสูตรเคลือบ และตัวหลอมละลายหลัก คือ หินปูน ประมาณร้อยละ 15-20 นอกนั้นเป็น ซิลิกา ร้อยละ 20-25

ดินขาว ร้อยละ 10-12 และต่างหรือตัวเร่งอื่น ๆ ประกอบ ในสูตรเคลือบ

การเลือกใช้ดินขาวในสูตรเคลือบ

ปกติดินขาวที่ใช้สูตรเคลือบนิยมใช้ดินขาวบริสุทธิ์ เพื่อให้ไม่ทำให้สีเคลือบเปลี่ยนสี ถ้าดินขาวมีมลทินของแร่ธาตุปนอยู่ทำให้สีของเคลือบใส และเคลือบสีขาวที่บ่มมีมลทินเปลี่ยนไปได้ นิยมใช้ดินขาวที่หาได้ง่าย เช่น ดินขาวลำปาง ถ้าไม่มีดินขาวเฟลด์สปาร์สามารถใช้ดินขาวอย่างอื่นแทนได้

5.4.4 การเผาเคลือบอุณหภูมิสูง

1. เเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน โดยสันดาปสมบูรณ์ เเผาออกซิเดชันจากอุณหภูมิห้องถึง 900 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 5-6 ชั่วโมง และจาก 900 องศาเซลเซียส ถึง 1,250 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3 ชั่วโมง รวมระยะเวลาในการเผารวม 8-9 ชั่วโมง (เป็นขนาดเล็กกว่า 1 ลูกบาศก์เมตร ถ้าเตาขนาดใหญ่ชั่วโมงการเผายาวนานมากขึ้น)

2. เเผาในบรรยากาศรีดักชัน เเผาออกซิเดชัน จากอุณหภูมิห้องถึง 950 องศาเซลเซียส หลังจาก 950 องศาเซลเซียส ถึง 1,250 องศาเซลเซียส เเผาแบบรีดักชัน และควรเผาแซ่ไว้ต่อเพื่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

5.4.5 สูตรเคลือบอุณหภูมิสูงที่เผาในบรรยากาศสันดาปสมบูรณ์

เคลือบสูตรต่าง ๆ ต่อไปนี้ส่วนใหญ่เผาแบบสันดาปสมบูรณ์โดยเตาไฟฟ้าถ้านำไปเผาในเตาแก๊สผลจะแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ในบรรยากาศออกซิเดชัน เคลือบสีเขียวที่ใช้คอปเปอร์ออกไซด์ ถ้าเผาโดยเตาแก๊สอาจเปลี่ยนสีเป็นสีแดงได้ถ้าเผาไม่ถูกวิธี

เคลือบใส 1,230 องศาเซลเซียส เเผาบรรยากาศออกซิเดชัน ดินสโตนแวร์-ปอร์ซเลนเคลือบหนา 1 มิลลิเมตร

โซดาเฟลด์สปาร์	ร้อยละ	40
หินปูน	ร้อยละ	15
ซิงค์ออกไซด์	ร้อยละ	11
ดินขาวระนอง	ร้อยละ	8
ซิลิกา	ร้อยละ	26

หมายเหตุ 1. เคลือบใสโดยปกติถ้าเคลือบทับดินหล่อ หรือดินขาวจะไม่มีรอยร้าว แต่ถ้านำไปเคลือบบนดินสโตนแวร์จะร้าวมาก

2. เคลือบใสที่ดีต้องไม่ไหลโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เคลือบใสที่ใช้เคลือบทับสีเขียนลายได้เคลือบ ถ้าเคลือบไหลจะทำให้ลายเขียนเลอะเลือน

3. เคลือบใสเผาในบรรยากาศรีดักชันจะมีสีฟ้าอ่อน แต่เคลือบใสที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชัน มีสีขาวครีม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับดินขาวในสูตรเคลือบ ต้องไม่มีแร่เหล็กเจือปน

เคลือบใส 1,230 องศาเซลเซียส เผาบรรยากาศออกซิเดชัน ดินสโตนแวร์-ปอร์ซเลน
เคลือบหนา 1 มิลลิเมตร

หินฟันม้าชนิดโซดา	ร้อยละ	35
หินปูน	ร้อยละ	7
แบเรียมคาร์บอเนต	ร้อยละ	8
ซิงค์ออกไซด์	ร้อยละ	10
ดินขาวระนอง	ร้อยละ	12
ซิลิกา	ร้อยละ	28

เคลือบใส 1,230 องศาเซลเซียส เผาบรรยากาศออกซิเดชัน ดินสโตนแวร์-ปอร์ซเลน
เคลือบหนา 1 มิลลิเมตร

หินฟันม้าชนิดโซดา	ร้อยละ	38
หินปูน	ร้อยละ	15
แบเรียมคาร์บอเนต	ร้อยละ	7
ซิงค์ออกไซด์	ร้อยละ	4
ดินขาว	ร้อยละ	13
ซิลิกา	ร้อยละ	23

หมายเหตุ ถ้าต้องการทำเป็นสีขาวทึบเต็ม เซอร์โคเนียมซิลิกเกต ร้อยละ 12 สีนํ้าตาล
เดิมาเนเดียมเพนออกไซด์ร้อยละ 3

เคลือบใส 1,230 องศาเซลเซียส เผาบรรยากาศออกซิเดชัน ดินสโตนแวร์-ปอร์ซเลน
เคลือบหนา 1 มิลลิเมตร

หินฟันม้าชนิดโซดา	ร้อยละ	48
หินปูน	ร้อยละ	5
โดโลไมต์	ร้อยละ	4
แบเรียมคาร์บอเนต	ร้อยละ	3
ซิงค์ออกไซด์	ร้อยละ	7
ดินขาว	ร้อยละ	10

หมายเหตุ เคลือบใสโดยปกติ ถ้าเผาในบรรยากาศออกซิเดชันจะได้สีครีมใส ถ้าเผาในบรรยากาศรีดักชันจะได้สีขาวอมฟ้าเล็กน้อย

5.5 การเผาเคลือบและเตาเผาอุณหภูมิสูง

5.5.1 การเผาเคลือบ หมายถึง การเผาให้น้ำเคลือบที่ชุบบนผลิตภัณฑ์ละลายเป็นเนื้อเดียวกันมีความมันวาว บางชนิดเป็นเคลือบด้าน ผิวเรียบมีความแข็งแรงสามารถต้านทานกรดและด่างได้เป็นอย่างดี (ทวี พรหมฤกษ์. 2523 : 155)

1. การวางผลิตภัณฑ์ในการเผาเคลือบจะต้องวางให้ห่างกันเล็กน้อย ขาหรือก้นของผลิตภัณฑ์ต้องเช็ดเคลือบออกก่อนเผาเคลือบ

2. ก่อนบรรจุภัณฑ์เข้าเตาเผา ควรทำความสะอาดภายในเตาเสียก่อนทุกครั้ง เช่น หลังคาเตา กำแพงเตา พื้นเตา ตลอดจนชั้นรองผลิตภัณฑ์ เพื่อป้องกันเศษหินเศษละอองหล่นลงมาติดผลิตภัณฑ์ได้ในขณะทำการเผาเคลือบ ทำให้เสียหายและหมดคุณค่า

3. การเผาเคลือบที่ดี ควรให้อัตราการเผา 50-100 องศาเซลเซียส แต่ถ้าผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่และค่อนข้างหนา ควรยืดเวลาในการเผาให้ช้ากว่านี้ และไม่ควรเร่งรัดการเผาให้รวดเร็วเกินไป

4. การเผาที่ใช้ทุนวัดไฟ (pyrometric cone) เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิภายหลังจากที่โคนล้นแล้ว ควรเผาแช่ (soaking) จะทำให้การเผาสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

5. การปิดเตา ภายหลังจากการเผาเคลือบได้ที่แล้ว ควรปล่อยให้เตาทิ้งไว้ จนเตาเผาเย็นตัว จะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เสียหาย

5.5.2 บรรยากาศในการเผาเคลือบ การเผาเคลือบแบ่งภาวะการเผาออกเป็น 2 แบบ คือ การเผาแบบออกซิเดชัน และการเผาแบบรีดักชัน

1. การเผาแบบออกซิเดชัน หรือการเผาแบบสันดาปสมบูรณ์ คือ การเผาที่ปริมาณออกซิเจนในอากาศภายในเตาเผา ทำปฏิกิริยาได้พอกับเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผานั้น การเผาแบบนี้มีอิทธิพลต่อสีของน้ำเคลือบบางชนิดบนผลิตภัณฑ์มาก เป็นการเผาชนิดที่ไม่มีควัน

2. การเผาแบบรีดักชัน หรือการเผาแบบสันดาปไม่สมบูรณ์ คือ การเผาที่ปริมาณของออกซิเจนในอากาศภายในเตาเผา มีน้อยกว่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ ทำให้เกิดแก๊สต่าง ๆ เช่น แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ขึ้นมา และการเผาแบบนี้มีอิทธิพลต่อเคลือบบางอย่าง เช่น เคลือบเซลาดอน หรือเคลือบสีแดงจากสนิมทองแดง การเผาแบบนี้เป็นการเผาแบบมีควัน (Nelson. 1966 :91)

5.5.3 เตาเผาอุณหภูมิสูง เตาเผาอุณหภูมิสูงมีหลายแบบ ในที่นี้จะกล่าวถึงเตา 2 ชนิด ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย คือ เตาแก๊สทางเดินลมร้อนลง และเตาไฟฟ้า

1. เตาแก๊สทางเดินลมร้อนลง (down draft gas kiln) เป็นเตาชนิดที่ให้ความร้อนสูง เนื่องจากการออกแบบเตา ให้ความร้อนไหลหมุนเวียนภายในเตา แล้วไหลออกสู่ปล่องทำให้เพิ่มความร้อนภายในเตาให้สูงขึ้น (ทวี พรหมฤกษ์. 2523 : 144) เตาชนิดนี้ส่วนใหญ่ออกแบบสร้างให้เป็นเตาขนาดใหญ่

2. เตาไฟฟ้า (electric kiln) ทวี พรหมฤกษ์. (2525 : 148) ได้กล่าวถึงเตาไฟฟ้าไว้ว่า "เตาไฟฟ้าเป็นเตาที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในโรงเรียน และวงการอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา เพราะมีความสะดวกต่อการเผาเป็นอันมาก ได้ผลแน่นอน และควบคุมอุณหภูมิได้ดี แต่การลงทุนค่อนข้างสูง ตั้งแต่ราคาเตา ค่ากระแสไฟฟ้า"

การทำงานของเตาไฟฟ้านั้น จะให้พลังงานจากการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในขดลวดต้านทาน ซึ่งขดลวดต้านทานนี้จะมีความต้านทานสูง และสามารถให้ความร้อนได้ที่อุณหภูมิสูงมาก เตาไฟฟ้าเป็นเตาที่ไม่มีปล่องระบายความร้อน มีเพียงช่องเล็ก ๆ สำหรับให้แก๊สออกมาบ้าง หรือสำหรับใช้มองดูสีไฟ และผลิตภัณฑ์เท่านั้น การที่เตาไฟฟ้าไม่มีปล่องระบายความร้อนก็เนื่องจากเตาไฟฟ้าไม่มีเปลวไฟ และไม่มีควัน เรียกภาวะการเผาเช่นนี้ว่า การเผาแบบออกซิเดชัน (ทวี พรหมฤกษ์. 2525 : 149)

ข้อดีของเตาไฟฟ้า (ทวี พรหมฤกษ์. 2525 : 151)

1. ให้อุณหภูมิสม่ำเสมอ
2. ควบคุมการเผาและอุณหภูมิได้สะดวก
3. เป็นเตาเผาที่เผาได้สะอาดที่สุด
4. สามารถติดตั้งและเคลื่อนย้ายได้ง่าย
5. บรรยากาศในการเผาเป็นออกซิเดชัน จึงไม่สามารถทำให้ผิวเคลือบ หรือสีของเคลือบเปลี่ยนแปลง

5.5.4 อุปกรณ์เตาเผาและเครื่องมือวัดอุณหภูมิในเตาเผา เตาเผาจำเป็นจะต้องมีวัสดุอุปกรณ์เพื่ออำนวยความสะดวกต่อการบรรจุผลิตภัณฑ์ดังนี้

1. ชั้นวางผลิตภัณฑ์ (shelf) เป็นแผ่นสำหรับรองผลิตภัณฑ์ในเตาเผา เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีหลายขนาด การทำผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องมีชั้นวางโดยเฉพาะในเตาแก๊ส และเตาไฟฟ้าส่วนในเตาน้ำมันหรือเตาพื้นใช้หีบทนไฟแทน และการใช้ชั้นรองยังเป็นการใช้เนื้อที่ภายในห้องเผาอย่างเต็มที่อีกด้วย

2. ขาตั้ง (posts) เป็นขาสำหรับวางชั้นรองในการเผาเคลือบ สามารถรับน้ำหนัก และทนความร้อนได้สูง

3. วัสดุสำหรับทาชั้นรองผลิตภัณฑ์ (kiln wash) ก่อนวางผลิตภัณฑ์ลงบน ชั้นรองควรทาชั้นรองผลิตภัณฑ์ก่อนเสมอ เพื่อป้องกันการไหลตัวของเคลือบ ที่จะไหลลงมากองที่ ก้นของผลิตภัณฑ์และติดกับชั้นรอง เมื่อเคลือบเย็นลง ทำให้ผลิตภัณฑ์และชั้นรองติดกันเป็นผลให้ เสียหายทั้งผลิตภัณฑ์และชั้นรอง วัสดุสำหรับทาชั้นรองผลิตภัณฑ์ทำได้โดยนำอลูมินาผสมกับดิน ละลายน้ำแล้วทาบนชั้นรองตามต้องการ

4. ขาตั้งผลิตภัณฑ์ (stilts) ทำด้วยวัสดุทนไฟมีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กัน ปลาย ขาตั้งจะถูกออกแบบให้แหลม เพื่อสัมผัสผิวผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด

5. ที่วางหุ่นวัดไฟ ชนิดที่ทำด้วยดิน (cone plaques) ใช้สำหรับตั้งหุ่นวัดไฟใน เตาเผาซึ่งจะต้องใช้ดินที่มีความทนไฟสูง (ทวิ พรหมฤกษ์ 2523 : 168-169)

6. เครื่องมือวัดอุณหภูมิในเตาเผากการวัดอุณหภูมิในเตาเผาทำได้หลายวิธี เช่น การวัดอุณหภูมิด้วย เทอร์โมคัพเพิล (thermocouple) การดูด้วยตาโดยประมาณจากสีของไฟ การ วัดด้วย ออปติคัลไฟโรมิเตอร์ (optical pyrometer) เป็นต้น แต่มีวิธีการวัดอุณหภูมิในเตาเผาที่ ให้ความเที่ยงตรงแม่นยำ และเป็นที่ยอมรับกันมากในปัจจุบันนี้ คือ การวัดอุณหภูมิด้วย เทอร์โม อิเล็กทริก ไฟโรมิเตอร์ (thermo electric pyrometer) และการวัดอุณหภูมิด้วยหุ่นวัดไฟ ซึ่งมี รายละเอียดดังนี้

เทอร์โม อิเล็กทริก ไฟโรมิเตอร์ เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่อาศัยหลักการเกิดกระแส ไฟฟ้าจากความร้อน โดยนำเอาโลหะสองชนิดมาเชื่อมให้ปลายติดกัน เรียก ฮอทจังชัน (hot junction) ส่วนปลายอีกด้านหนึ่ง ต่อเข้ากับเครื่องมือวัดอุณหภูมิ (indicator) แล้วเข็มจะชี้บอกอัตรา ความร้อนตามความมากน้อยของกระแสไฟ จะมีตัวเลขเทียบอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส และ ฟาเรนไฮต์ ปลายของโลหะที่ต่อไปยังหน้าปัดเรียกว่า คอลด์จังชัน เทอร์โมคัพเพิล (cold junction thermocouple) ที่วัดอุณหภูมิสูง ๆ จะมีเครื่องป้องกันโปรเทคเตอร์ (protectue) ทำด้วยวัสดุทนไฟ ป้องกันอีกชั้นหนึ่ง (ทวิ พรหมฤกษ์. 2525 : 107)

หุ่นวัดไฟ มีลักษณะเป็นรูปปิรามิด สามารถใช้วัดการเผาที่มีอุณหภูมิต่ำจนถึง อุณหภูมิสูงได้อย่างเหมาะสมโดยมีหมายเลขต่าง ๆ กัน ซึ่งสามารถใช้วัดอุณหภูมิในระดับต่าง ๆ ในแต่ละหมายเลขนั้นจะมีค่าหลอมละลายในอุณหภูมิที่แน่นอน (Rado. 1988 : 115-116) หุ่นวัดไฟ เรียกสั้น ๆ ว่า โคน เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิภายในเตาเผา ใช้งานง่าย และสะดวก ผู้ที่ คิดทำหุ่นวัดไฟเป็นครั้งแรก คือ ชาวเยอรมันชื่อ เซกเกอร์ (Segger) ตั้งชื่อว่า หุ่นวัดไฟ เซกเกอร์

(segger cone) โดยนำเอาวัตถุดิบทางเซรามิกส์มาทำเป็นแท่งปิรามิดใช้วัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 585 องศาเซลเซียส ขึ้นไปจนถึง 2,015 องศาเซลเซียส และแบ่งออกเป็นหมายเลขต่าง ๆ ถึง 42 หมายเลข ระบบการจัดหมายเลขอุณหภูมิจะทำให้ตัวเลขศูนย์นำหน้า เช่น อุณหภูมิต่ำที่สุด 022 อุณหภูมิสูงสุดหมายเลข 42 เป็นต้น ท่อนวัดไฟที่ใช้มาตรฐานในปัจจุบัน คือ ท่อนวัดไฟเชกเกอร์ และท่อนวัดไฟ ออร์ตัน (orton cone) (ทวี พรหมฤทธิ์. 2525 : 107)

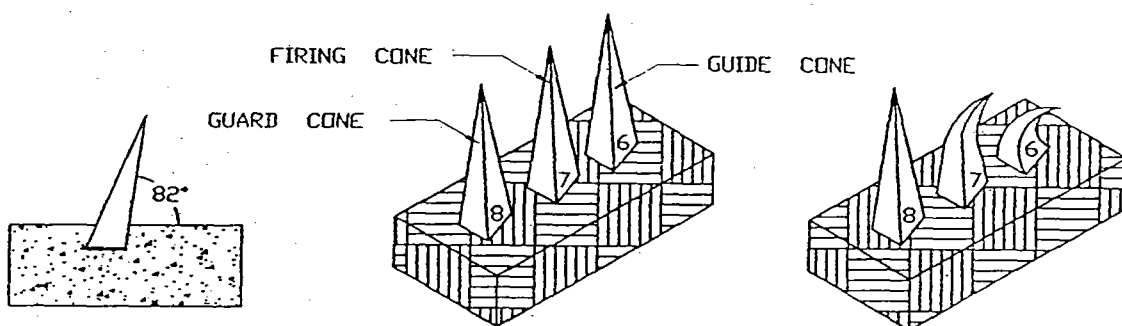
หมายเลขท่อนวัดไฟมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมเซรามิกส์โดยเฉพาะ คือ

ช่วงที่ 1 หมายเลข 01 ถึงหมายเลข 05 หรืออุณหภูมิ 894 องศาเซลเซียส ถึง อุณหภูมิ 1,046 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมินี้เป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการเผากระเบื้องประดับ และ กระเบื้องมุงหลังคาที่เคลือบด้วยเคลือบตะกั่ว เคลือบบอแรกซ์ เป็นต้น

ช่วงที่ 2 หมายเลข 6 ถึงหมายเลข 10 หรืออุณหภูมิ 1,222 องศาเซลเซียส ถึง อุณหภูมิ 1,305 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิของการเผาถ้วยชาม และผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาทั่วไป

ช่วงที่ 3 หมายเลข 26 ถึงหมายเลข 28 หรืออุณหภูมิ 1,595 องศาเซลเซียส ถึง อุณหภูมิ 1,651 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่มีความสำคัญในการทดสอบวัสดุทนไฟของโรงงานที่ผลิตวัสดุทนไฟ

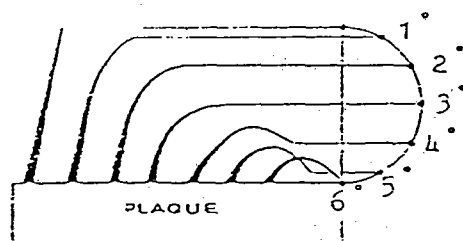
ทวี พรหมฤทธิ์. (2523 : 168-169) ได้อธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับการใช้ท่อนวัดไฟไว้ว่า "การวางท่อนวัดไฟเป็นสิ่งสำคัญ ถ้าวางไม่ถูกจะทำให้ค่าของอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปได้ต้องวางท่อนวัดไฟ 3 ตัว เช่น 8, 7 และ 6 ตามลำดับ ท่อนวัดไฟแต่ละตัวต้องหันด้านแบนของท่อนวัดไฟทำมุมกับฐานประมาณ 82 องศา โดยวางเรียงเป็นแถว " รูปภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 วิธีการวางท่อนวัดไฟ และการล้มของท่อนวัดไฟ

การวางท่อนวัดไฟภายในเตา ต้องวางในที่สามารถมองเห็นได้สะดวก ท่อนวัดไฟแต่ละตัวมีความทนความร้อนในจุดต่างๆ กัน เมื่อเผาอุณหภูมิถึงจุดสุกตัว (virtrity) ของท่อนวัดไฟตัวใดแล้ว ท่อนวัดไฟนั้นจะล้มลงมาติดที่ฐานรองจากท่อนวัดไฟ 3 ตัวที่เป็นตัวอย่างนี้ ท่อนวัดไฟหมายเลข 7

เป็นจุดอุณหภูมิที่ต้องการจะเอียงไม่มากนัก อาจอ่านตามเข็มนาฬิกา เช่น หนึ่งนาฬิกา สองนาฬิกา สามนาฬิกา ก็ได้



ภาพประกอบ 2 การลัมของหุ่นวัดไฟ เทียบกับการอ่านเวลาตามเข็มนาฬิกา

5.5.5 เครื่องบด โดยทั่วไปแล้วแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. โกร่งบด (apoth cary's mortar) เป็นเครื่องมือที่ค่อนข้างหาได้ง่าย และราคาไม่แพงนัก ใช้กำลังคนในการบดทำด้วยเนื้อพอร์สเลนซึ่งมีความแข็งแกร่งมาก มีขนาดปากกว้าง 6 นิ้ว และ 12 นิ้ว ภายนอกนิยมเคลือบด้วยสีขาวทึบ ส่วนภายในไม่เคลือบ เพื่อต้องการให้มีผิวหยาบและช่วยในการบดได้ดี

2. หม้อบด (ball mill) มีหลายขนาด เช่น ขนาดบรรจุครั้งกิโลกรัม 5 กิโลกรัม หรือ 100 กิโลกรัม เป็นต้น

ก. หม้อบดขนาดเล็ก (jar mill) คือ หม้อบดที่มีขนาดบรรจุตั้งแต่ 5 กิโลกรัม ลงมาทำจากเนื้อพอร์สเลนหนา ประมาณ 1-1.5 นิ้ว เคลือบทั้งภายในและภายนอก เพื่อสะดวกในการทำความสะอาด

ข. หม้อบดขนาดใหญ่ (ball mill) เป็นหม้อบดที่มีขนาดบรรจุตั้งแต่ 50 กิโลกรัม ขึ้นไป ลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ภายนอกเป็นโลหะ ภายในกรุด้วยวัสดุที่ทนต่อแรงกระแทก และแรงเสียดสีได้สูง เช่น ยาง ไส้เหล็ก (silex) พอร์ซเลน (porcelain) เป็นต้น

ทั้งหม้อบดขนาดเล็ก และหม้อบดขนาดใหญ่ หมุนโดยกำลังไฟฟ้าด้วยความเร็วประมาณ 30 รอบต่อนาที ภายในบรรจุด้วยลูกบด (balls) ขนาดต่าง ๆ กัน การบดของหม้อบดเกิดขึ้นโดยการขัดสีระหว่างวัตถุบด กับลูกบด ซึ่งจะไถลและกลิ้งไปในขณะที่ หม้อบดหมุนไป ลูกบดในขณะบดควรมี 3 ขนาด ซึ่งขนาดของลูกบดที่เล็กสุดกับใหญ่สุดไม่ควรแตกต่างกันมากนัก โดย

ทั่วไปจะใส่ลูกบดแต่ละขนาดในอัตราส่วนดังนี้ คือ

ลูกบดขนาดใหญ่	ประมาณ	ร้อยละ 20-25
ลูกบดขนาดกลาง	ประมาณ	ร้อยละ 50-60
ลูกบดขนาดเล็ก	ประมาณ	ร้อยละ 20-25

3. เครื่องกรอง คือ อุปกรณ์ที่ใช้กรองขนาดของวัตถุดิบ ในการทดลองครั้งนี้จะใช้ ตะแกรงร่อน (ieve) ทำด้วยทองเหลือง หรือสแตนเลส สำหรับกรองน้ำเคลือบประมาณ 80-150 เมช (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2531:69)

5.6 แนวทางป้องกันโลหะหนักปนเปื้อนในอากาศจากการเผา

ปริมาณโลหะหนักที่กลายเป็นแก๊สเนื่องจากการเผาผลิตภัณฑ์ผสมจากตะกอนโลหะหนัก ที่อุณหภูมิสูง อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ได้ ดังนั้นในการเผจึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือป้องกัน คือ เครื่องควบคุมมลภาวะอากาศโดยเฉพาะ ก่อนที่จะปล่อยให้อากาศที่ผ่านการบำบัด แล้วออกไปสู่บรรยากาศ เครื่องมือดังกล่าว คือ เครื่องเก็บแบบเปียก (scrubbers or wet collectors) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้น้ำหรือของเหลวอื่น ๆ ที่อาจจะอยู่ในสภาพของความเป็นกรดหรือด่าง เข้าช่วยในการกำจัดร่วมด้วย วิธีนี้สามารถจัดได้ ร้อยละ 75 ถึงร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก โดยออกแบบให้อากาศเสียต้องผ่านส่วนที่เป็นน้ำหรือของเหลว เพื่อให้ได้อากาศที่ไม่เป็นอันตราย วิธีการดังกล่าวนี้ใช้กำจัดพวกมลสารที่ปะปนมากับอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ (พิชิต สกุลพราหมณ์. 2535 : 28.)

หลักการการทำงานของเครื่องเก็บแบบเปียก

5.6.1 หอพ่นน้ำ (spray tower) หอพ่นน้ำอาจมีโครงสร้างเป็นทรงกลม หรือสี่เหลี่ยมก็ได้มีหัวพ่นหนึ่งหัวหรือมากกว่า หอพ่นน้ำนี้มีการออกแบบหลายแบบ แก๊สอาจไหลเข้าหอได้โดยตรง หรืออาจมีแผ่นกั้นบังคับทิศทางไหลของแก๊สเพื่อให้เกิดโอกาสที่ ฝุ่น ละอองไอ หรือฟุ้ง (fume) จะสัมผัสกับน้ำได้มากขึ้นแรงดันของน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 20 - 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ใช้น้ำประมาณ 0.5- 5 แกลลอนต่ออากาศ 1000 ลูกบาศก์ฟุต การสูญเสียความดันค่อนข้างต่ำคือ 1 นิ้ว น้ำ ใช้จับอนุภาคที่มีขนาด 10 ไมครอน หรือใหญ่กว่า ถ้าเพิ่มแรงดันน้ำที่ใช้เป็น 300-450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะสามารถกำจัดอนุภาคขนาด 1-2 ไมครอนได้ น้ำจะถูกพ่นเข้าทางด้านบน อากาศจะไหลเข้าทางด้านล่างทำให้เกิดอัตราการไหลที่สมดุลย์ให้อากาศเย็นตัวลง ดังเช่น ภาพประกอบ 14 (ก) ภาคผนวก ซึ่งจัดว่าเป็นหอน้ำชนิดหนึ่ง

5.6.2 ไซโคลนสครับเบอร์ (cyclone scrubble) อากาศจะไหลเข้าด้านล่างในแนวสัมผัส ทำให้อนุภาคแยกออกจากแก๊สด้วยแรงเหวี่ยงและในตอนนี้จะมีหัวพ่นน้ำอยู่มากมายในตำแหน่งต่าง ๆ บางชนิดอาจติดอยู่กับใบพัด เพื่อให้เกิดการกระจายของน้ำในการกำจัดฝุ่น ละอองไอน้ำ หรือ ฟุ้ง ไซโคลนสครับเบอร์ นี้มีความสามารถกำจัดอากาศเสียได้ 50,000 ลูกบาศก์ฟุตต่ออนาที ใช้ น้ำ 2-10 แกลลอนต่ออากาศ 1,000 ลูกบาศก์ฟุต มีประสิทธิภาพ ร้อยละ 90 ในการกำจัดอนุภาคขนาด 5 ไมครอน หรือใหญ่กว่า ความดันลดลง 1.5-3 นิ้วน้ำ ขึ้นอยู่กับไซโคลนสครับเบอร์แต่ละชนิด สำหรับ ภาพประกอบ 14 (ข) ภาคผนวก จัดว่าเป็น ไซโคลนสครับเบอร์ชนิดหนึ่ง

5.6.3 อิมพิงเมนต์สครับเบอร์ (impingement scrubber) เป็นหอที่วางอยู่ในแนวตั้ง มีแผ่นกั้นอยู่ 1 ชั้นหรือมากกว่า มีลักษณะเช่นภาพประกอบ 14 (ค) ภาคผนวกแผ่นกั้นนี้มีรูประมาณ 600 ถึง 3,000 รูต่อตารางฟุต อากาศจะไหลเข้าสู่ทางด้านล่างไหลผ่านหัวพ่นน้ำ ชนิดแบบมีแผ่นกั้นชั้นเดียวมีประสิทธิภาพ ร้อยละ 97, ร้อยละ 92 และร้อยละ 85 สำหรับกำจัดอนุภาคขนาด 5, 2 และ 1 ไมครอน ตามลำดับ สูญเสียความดันประมาณ 1.5-8 นิ้วน้ำ

5.6.4 เวนตูรีสครับเบอร์ (venturi scrubber) ลักษณะของเวนตูรีสครับเบอร์แสดงดังภาพประกอบ 14 (ง) ภาคผนวก เครื่องเก็บเปียกชนิดนี้ออกแบบให้มีความเร็วของอากาศที่คอคอดประมาณ 12,000 ถึง 42,000 ฟุตต่ออนาที น้ำจะถูกพ่นออกบริเวณใกล้เคียง ๆ กับคอคอดด้วยอัตรา 3 ถึง 10 แกลลอนต่ออากาศ 1,000 ลูกบาศก์ฟุต ที่บริเวณคอคอดทำให้เกิดความปั่นป่วนขึ้น ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดขึ้น น้ำที่พ่นเข้าก่อนคอคอดทำให้เกิดการเคลือบผิวบริเวณคอคอดเพื่อป้องกันการเกาะของสารที่เหนียว ๆ ที่อาจเกาะกับผนังของคอคอดได้ ความดันที่สูญเสีย้นประมาณ 60-80 นิ้วน้ำ จึงต้องใช้พัดลมที่มีกำลังม้าสูงมาก กำจัดอากาศได้ 3,500 ถึง 113,000 ลูกบาศก์ฟุตต่ออนาที

6. การทดสอบ

ในการวิจัย สิ่งที่จะวัดความน่าเชื่อถือของงาน คือ การทดสอบในด้านต่าง ๆ ดังตัวแปรตามที่ได้กำหนดไว้ในเบื้องต้น ผู้วิจัยจึงได้รวบรวมหัวข้อที่สำคัญไว้ดังนี้

6.1 ความบกพร่องของเคลือบ

สาเหตุที่ทำให้มีตำหนิ หรือข้อบกพร่อง เกี่ยวกับการเคลือบนั้น มีหลายอย่าง ซึ่งนับว่าเป็นสิ่งสำคัญ และมีหัวข้อควรพิจารณาดังต่อไปนี้

6.1.1 การเกิดรูเข็มบนผิวเคลือบ หรือรูตามคคือ การที่ผิวเคลือบมีรอยตำหนิ เป็นรู ลึกลงไปถึงผิวของเนื้อดินปั้น การที่ผิวเคลือบไม่เรียบนี้จะมีปัญหาในการตกแต่งผลิตภัณฑ์ โดยการติรูปลอกหรือการเขียนลาย ทำให้ผลิตภัณฑ์ด้วยคุณภาพขายไม่ได้ราคา (ไพจิตร อิงศิริวัฒน์. 2537 : 32)

สาเหตุ 1. เกิดจากน้ำดินหล่อมีฟองอากาศอยู่มาก เนื่องจากดินเพิ่งกวนเสร็จใหม่ยัง ไม่ได้หมักแต่รีบนำไปใช้ เมื่อเทพิมพ์หล่อจึงมีฟองอากาศอยู่ในผลิตภัณฑ์ หลังการเผาฟองอากาศ นี้จะดันตัวออกจากเนื้อดินขึ้นมาแตกบนผิวเคลือบเป็นรู ๆ

2. เกิดจากเนื้อดินปั้นที่บดใช้เอง โดยดินไม่ได้ผ่านกรรมวิธีการล้างดินมาก่อน ดินที่ขุดจากแหล่งนำมาบดละเอียดอย่างเดียว แล้วนำมาใช้ปั้นผลิตภัณฑ์โดยตรง ยังมีสิ่งเจือปน อยู่ในดินอยู่มาก ทำให้มีปัญหาหลังการเผา ในบางครั้งการบดดินโดยหม้อบดมีปัญหาถูกบดน้อย เกินไป บดไม่ค่อยละเอียดทำให้ดินมีปัญหาเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เคลือบเป็นตำหนิมากหลัง เผา ถ้าเนื้อดินมีความละเอียดดี ปัญหาของเคลือบจะลดน้อยลงได้

3. เกิดจากผลิตภัณฑ์เผาเคลือบ ที่มีความหนามาก ๆ และผิวแห้งสนิท เมื่อ นำไปชุบเคลือบจะดูดเคลือบอย่างรวดเร็วเกินไป เมื่อดูดเคลือบไม่ทันชั้นของเคลือบจะเกิดรูเป็น ฟองอยู่ทั่วไป หลังการเผาจะเกิดเป็นรู ๆ ตรงที่ฟองอากาศ เคลือบจะเหวี่ยงหายไปเกิดเป็นรูเข็มบนผิว เคลือบ

4. สารซัลเฟตในเนื้อดิน (ละลายน้ำได้) สารซัลเฟตนี้ถ้ามีอยู่ในเนื้อดินมาก เกินไปจะกลับขึ้นรวมตัวกันบนผิวผลิตภัณฑ์ตอนแห้ง เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปเคลือบในขณะเผาสารนี้ จะพยายามหนีออกมา โดยดันทะลุผิวเคลือบออกมา ทำให้เคลือบเป็นรูได้ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2534 : 73)

5. ปูนพลาสติกที่ใช้ในการหล่อแบบเก่า หรือเสื่อมคุณภาพ ซึ่งเป็นเหตุให้ ผิวผลิตภัณฑ์เป็นรูเข็ม

6. การสันดาปของสิ่งเจือปนในเนื้อดิน เช่น พวกอินทรีย์สาร หรือพวกคาร์บอน ที่มีอยู่ในเนื้อดิน

วิธีแก้ไข

1. ดินหล่อที่ผสมเสร็จใหม่ ๆ ควรกวนในถังเก็บ หมักไว้ประมาณ 2 วันก่อนใช้ ไม่ ควรนำดินที่กวนเสร็จใหม่ ๆ มาใช้ในทันที เนื่องจากมีฟองอากาศมาก และก่อนใช้ดินหล่อทุกครั้ง ต้องเปิดเครื่องกวนน้ำดินให้เข้ากันประมาณ 15 นาที เพื่อลดฟองอากาศ

2. เนื้อดินปั้นที่เตรียมเอง ควรมีการควบคุมคุณภาพอย่างใกล้ชิดควรทดสอบ

ความละเอียดของเนื้อดินให้คงที่ สามารถทดสอบโดยใช้ดิน 100 กรัม ละลายน้ำ 1 แก้ว นำไปกรองผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ตรวจสอบว่ามีเศษทรายค้างตะแกรงอยู่เท่าไร นำไปชั่งน้ำหนัก ต้องได้ค่าคงที่ทุกครั้งไม่ให้มีเม็ดทรายมากผิดปกติกว่าค่าน้ำหนักเดิม ถ้ามีทรายมากกว่าเดิมต้องนำไปบดต่อ

3. ผลิตภัณฑ์เผาที่มีขนาดชิ้นงานใหญ่ มีความหนา ควรนำไปล้างน้ำก่อน 1 ครั้ง ให้ได้รับความชื้นก่อนนำไปเคลือบ จึงสามารถดูดย่น้ำยาเคลือบได้สม่ำเสมอ ไม่เกิดฟองอากาศ และไม่ดูดเคลือบหนาเกินไป

4. โดยการเติมสารแบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) ในเนื้อดิน ประมาณ ร้อยละ 2 และเผาด้วยวิธีลดออกซิเจน (reduction) คือ เผาให้เกิดควันไปจนถึงจุดที่เคลือบเริ่มหลอมละลาย เพื่อขจัดฟองอากาศเหล่านั้นออกไป

5. ไม่ควรใช้แบบพิมพ์ที่เก่ามาก หรือที่เสื่อมคุณภาพ

6. โดยการล้างดินให้สะอาดก่อนนำมาใช้งาน

6.1.2 การราน เป็นตำหนิเคลือบที่เรามักพบกันอยู่เสมอ มีลักษณะเป็นลายเส้นตาข่าย หรือที่เรียกกันว่า เคลือบแตกลายงา สาเหตุที่ทำให้เคลือบเกิดการราน คือ เนื้อดินมีการหดตัวหรือขยายตัวไม่เท่ากัน ลักษณะการรานมี 2 อย่าง คือ

1. การรานเป็นเส้นฝอย เนื่องจากน้ำเคลือบมีสัมประสิทธิ์แห่งการขยายตัวต่างจากเนื้อดินปั้นมาก

2. การรานเป็นเส้นห่าง เนื่องจากน้ำเคลือบมีสัมประสิทธิ์แห่งการขยายตัวเกือบจะเท่าเนื้อดินปั้นอยู่แล้ว

การรานของผิวเคลือบมีทั้งชนิดรานทันที และชนิดที่รานหลังจากทิ้งไว้สักระยะหนึ่ง อาจจะเป็น 3 เดือน 6 เดือน หรือ 1 ปีก็ได้

วิธีการแก้รานของผิวเคลือบ

1. แก้ที่ส่วนผสมของน้ำเคลือบหรือเนื้อดินปั้น โดย

- เพิ่มหรือลดปริมาณของฟลักซ์ (flux) หรือ
- เพิ่มหรือลดปริมาณของซิลิกา หรืออลูมินาออกไซด์

วิธีนี้เราสามารถจะเลือกได้ว่าจะแก้ที่น้ำเคลือบหรือเนื้อดินปั้น แต่ส่วนมากมักนิยมแก้ที่น้ำเคลือบจะสะดวกกว่า คือ ลดฟลักซ์ เพิ่มซิลิกา

2. แก้ด้วยการเผาขึ้นไฟสักระยะหนึ่ง ประมาณ 30 - 60 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ แต่เพิ่มเวลาในการเผาออกไปเพื่อเปิดโอกาสให้เคลือบละลายโดยทั่วกัน

3. เพิ่มอุณหภูมิการเผาโดยไม่ต้องขึ้นไฟ แต่ต้องไม่เกินช่วงหลอมละลาย (firing range) ของน้ำเคลือบ เช่น การหลอมละลายของเคลือบสูตรหนึ่งอยู่ในช่วง 1,150 - 1,200 องศาเซลเซียส แทนที่เราจะเผาแค่ 1,150 องศาเซลเซียส เราสามารถที่จะเผาได้ถึง 1,200 องศาเซลเซียส เคลือบก็ยังไม่ไหลลงมาอยู่บนผลิตภัณฑ์

4. เมื่อเผาเคลือบเสร็จแล้วทั้งผลิตภัณฑ์ให้เย็นในเตา อย่าเอาผลิตภัณฑ์ออกในขณะที่ยังร้อนจัดอยู่ คือ อุณหภูมิไม่ควรเกิน 100 องศาเซลเซียส

การแก้ปัญหาการร้าวของเคลือบนี้อาจจะใช้วิธีใดวิธีหนึ่งก็ได้ คือ ถ้าร้าวมากก็แก้ที่ส่วนผสมของน้ำเคลือบ หรือเนื้อดินปั้น แต่ถ้ารavnน้อย ๆ สามารถแก้ได้ด้วยวิธีการเผาดังกล่าว

6.1.3 การดึงตัว คือ การที่เคลือบหดตัวรวมกันเป็นกระจุกหรือเป็นก้อน ทำให้เกิดบริเวณช่องว่างบนผิวผลิตภัณฑ์ห่างปราศจากเคลือบเป็นหย่อม ๆ

สาเหตุ

1. บดเคลือบนานเกินไป ทำให้เคลือบมีความละเอียดมากเกินไป ไม่สามารถยึดเกาะติดผิวผลิตภัณฑ์ได้ดี

2. เนื้อผลิตภัณฑ์บางเกินไป ไม่สามารถจะรองรับเคลือบหนา ๆ ได้

3. ชุบเคลือบหนาเกินไป กว่า 2 มิลลิเมตร เคลือบจะรวมตัวเป็นก้อนได้ง่าย

4. ชุบเคลือบด้านนอก ในขณะที่เคลือบด้านในยังไม่แห้งดี

วิธีแก้เคลือบหดตัว

1. ใช้เวลาบดเคลือบให้น้อยลงจาก 6 ชั่วโมง เหลือ 4 ชั่วโมง

2. ปั่นเนื้อผลิตภัณฑ์ให้หนาพอดี อย่าให้บางเกินไป

3. อย่าชุบเคลือบหนาเกิน 2 มิลลิเมตร ถ้าเคลือบหนามากขึ้น การหดตัวหลังการเผาของเคลือบจะมีมากขึ้นด้วย

4. ผลิตภัณฑ์ชิ้นใหญ่ เมื่อเคลือบด้านในแล้วต้องทิ้งไว้ให้นานสักครู่ จนกว่าผิวดินด้านนอกหายชื้นจึงนำมาพ่นด้านนอก ผิวดินแห้งเคลือบจะสามารถยึดติดได้ดีกว่าดินชื้น ดินชื้นมากเคลือบจะหลุดร่วงได้ง่ายเป็นตำหนิหลังการเผา

6.1.4 สีเคลือบต่างสีไม่สม่ำเสมอ (flashing) คือ การที่เคลือบมีสีไม่สม่ำเสมอทั้งหมด อาจจะมีส่วนหนึ่งที่มีรอยต่าง หรือมีสีซีดกว่าบริเวณอื่น

สาเหตุ

1. เกิดจากการเผาผลิตภัณฑ์ด้วยเตาแก๊ส แล้วเปลวไฟจากหัวเผาเลยไปโดนด้านข้างของผลิตภัณฑ์ที่อยู่แถวริมสองข้างของเตาเผา

2. เกิดจากบรรยากาศในการเผา บางครั้งบริเวณชั้นล่างของเตาเผา ควบคุมบรรยากาศการเผาไม่ดี กลายเป็นออกซิเดชัน

3. เกิดจากหัวเผาเสื่อมประสิทธิภาพ ทำให้ควบคุมความดันลม และแก๊ส ไม่ได้ตามความต้องการ ผลิตภัณฑ์ในบริเวณนั้นจะต่างทั้งหมด

วิธีแก๊สไม่สม่ำเสมอ

1. อย่าวางผลิตภัณฑ์ยื่นออกมาเกินขอบแผ่นรองเตาเผาด้านข้างเตา

2. ควบคุมบรรยากาศให้ดีโดยสังเกตจากเปลวไฟ ความสว่าง และความมืดในบรรยากาศแบบรีดักชัน

3. หัวแก๊ส ที่แรงมากผิดปกติจนปรับไม่ได้ ก็ควรเปลี่ยนใหม่

6.1.5 ผิวเคลือบด้าน เนื่องจากเคลือบบางเกินไป หรือเผาไม่ถึงจุดหลอมละลาย และเป็นตำหนิเคลือบที่เกิดจากการสูญเสียของส่วนผสมของเคลือบ ซึ่งอาจจะเกิดจากการเผาไฟเกิน ทำให้สารบางอย่างที่ระเหยได้ง่ายระเหยไปหมด เช่น บอแรกซ์ และตะกั่ว เป็นต้น วิธีแก้ ก็โดยอย่าเผาให้เกินอุณหภูมิที่กำหนด (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2534 : 75)

ถ้าผลิตภัณฑ์มีความพรุนตัวมาก โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มี ซิลิกา สูง ชั้นของเคลือบ โดยเฉพาะเคลือบที่มีจุดสูงตัวต่ำ และไหลตัวได้ดี อาจจะถูกดูดกลืนโดยเนื้อผลิตภัณฑ์ และจะเหลือเนื้อแก้วอยู่บนผลิตภัณฑ์เพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ออกไซด์ที่มีฤทธิ์เป็นด่างทุกตัว จะระเหยกลายเป็นไอได้ไม่มากนักน้อย ออกไซด์ของตะกั่วจะระเหยกลายเป็นไอได้ดีที่สุด ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยเคลือบตะกั่วจะสูญเสียความเงามันไปบ้าง วัสดุบางอย่างที่ไม่ละลายในเคลือบถ้าใช้ในปริมาณมาก และโดยเฉพาะถ้าอยู่ใต้ผิว หรือที่ผิวเคลือบจะทำให้เคลือบด้านได้ รวมทั้งการตกผลึกในเคลือบผลึกถ้าเกิดผลึกขนาดเล็กจะเป็นผลให้เกิดเคลือบด้านได้เช่นเดียวกัน(ปรีดา พิมพ์ขาวำ. 2530 : 248)

6.2 ความปลอดภัย

วิธีการทดสอบการชะโลหะหนักออกจากตัวอย่างขึ้นทดสอบ (กระทรวงอุตสาหกรรม. ม.ป.ป. : 43-44)

6.2.1 วิธีการสกัด ขั้นตอนการทดสอบโดยวิธีมาตรฐานการสกัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (2540) เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ดัง (ภาพประกอบ 3)

1. บดตัวอย่างให้เป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูกรอง 9.5 มิลลิเมตร

2. นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1 หนัก 100 กรัม เติมด้วยน้ำสกัด (leachant) หรือน้ำฝนกรดสังเคราะห์ (synthetic acid rain extraction fluid) ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดกำมะถัน และกรดไนตริก (ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) จนค่าความเป็นกรดต่าง หรือพีเอช (pH) ของส่วนผสม มีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงปรับปริมาตรของส่วนผสมให้อัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง

3. เขย่าบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (rotary agitator) ที่มีอัตราหมุน 30 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

4. กรองสารละลายจากการสกัด (leachate) ด้วยแผ่นกรองใยแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของรูกรอง 0.6 ถึง 0.8 ไมครอน

5. นำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวิเคราะห์หาสารต่าง ๆ ที่ละลายในของเหลวนั้นตามวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ลงวันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2539

วิธีการดำเนินการศึกษาค้นคว้า

ในการทดลองครั้งนี้ ได้จัดขั้นตอนการทดลองเป็นลำดับขั้นตามรายละเอียด ดังหัวข้อต่อไปนี้ คือ

1. วัตถุประสงค์ที่นำมาใช้ในการทดลอง
2. เครื่องมือ อุปกรณ์ในการทดลอง
3. ตัวแปรที่ศึกษา
4. การดำเนินการทดลอง
5. สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง
6. การวิเคราะห์ข้อมูล
7. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. วัตถุประสงค์ที่นำมาใช้ในการวิจัย

วัตถุประสงค์ที่ใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างในการทดลองครั้งนี้ คือ

- 1.1 กากตะกอนโลหะหนัก จากศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม แสมดำ บางขุนเทียน โดยเป็นกากตะกอนที่ผ่านการบำบัดแล้วเสร็จมาจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า จำนวน 8 โรงงาน
- 1.2 อลูมินา
- 1.3 ดินขาวระนอง
- 1.4 หินควอทซ์
- 1.5 วัตถุประสงค์ที่ใช้ทำเคลือบใส (เคลือบหินพื้นน้ำ)
- 1.6 เนื้อดินปั้นสีดำชนิด สโตนแวร์

2. เครื่องมือ อุปกรณ์ในการทดลอง

เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง ผู้ทดลองได้ทำการแบ่งเป็น 2 หัวข้อ คือ

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน

2.1.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก

2.1.2 ตะแกรงมาตรฐาน เส้นผ่าศูนย์กลางรูกรอง 9.5 มิลลิเมตร

2.1.3 แผ่นกรองใยแก้วขนาดรูพรุน 0.6 ถึง 0.8 ไมครอน

2.1.4 เครื่องมือวัดความเข้มข้นของสาร (atomic absorption spectrophotometer)

2.1.5 เครื่องวัดพีเอชรุ่น TOA

2.1.6 เครื่องมือสำหรับกรองชนิด (vacuum filter)

2.1.7 สารละลายเบสิกฟุคซินดาย (basic fuchsin dye)

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองทำสีผงสำเร็จรูป

2.2.1 เครื่องผสมวัตถุดิบ ขนาด 200 เมช

2.2.2 เตาเผาใช้แก๊ส

2.2.3 เตาเผาใช้ไฟฟ้า

2.2.4 หม้อบดขนาดเล็ก (jar mill)

2.2.5 หม้อบด (ball mill)

2.2.6 โกร่งบด (apothecary's mortar) ขนาด 6"

2.2.7 ตะแกรงขนาด 80 - 100 เมช

2.2.8 เครื่องกวนเคลือบ (rapid mixer)

2.2.9 ภาชนะดินเผาที่มีฝาปิด (crucible)

2.2.10 ท่อนวัดไฟ

2.2.11 ขึ้นทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร หน้า 1 เซนติเมตร ผ่านการ

เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จำนวน 512 ชิ้น

3. ตัวแปรที่ศึกษา

ในการทดลองครั้งนี้ผู้ทดลองได้แบ่งตัวแปรไว้ 2 ตัวแปร ดังนี้

3.1 ตัวแปรต้น ได้แก่

3.1.1 อัตราส่วนผสม ซึ่งประกอบด้วย กากตะกอนโลหะหนักของโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ดินขาวระนอง อลูมินา หินควอทซ์ โดยสุ่มอย่างมีระบบจากตารางสีเหลี่ยมจัตุรัสจำนวน 16 อัตราส่วนผสม จำนวน 8 ชุด

3.1.2 เคลือบใสชนิดเคลือบหินพื้นม้า โดยมีสูตรดังนี้

หินพื้นม้าชนิดโฟเตส	ร้อยละ	59.7
หินปูน	ร้อยละ	14.3
โดโลไมต์	ร้อยละ	6.6
สังกะสีออกไซด์	ร้อยละ	2.9
ดินขาวระนอง	ร้อยละ	4.8
ซิลิกา	ร้อยละ	11.7

3.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

3.2.1 สีที่ได้หลังจากการเผา

3.2.2 ปฏิกริยาที่มีผลกระทบต่อเคลือบใสเมื่อเผาในอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส โดยเคลือบใสที่ใช้เป็นเคลือบหินพื้นม้า บรรยากาศ ออกซิเดชัน และรีดักชัน

3.2.2.1 ความสามารถในการหลอมละลาย

3.2.2.2 ความสม่ำเสมอของสี

3.2.2.3 การเกิดรูเข็ม

3.2.2.4 การร้าวตัว

3.2.2.5 การดัดตัว

3.2.2.6 ความมัน

3.2.2.7 ความด้าน

3.2.3 การชะของโลหะหนัก

4. การดำเนินการทดลอง

ในการดำเนินการทดลอง ผู้ทดลองได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินการทดลองเป็นขั้นตอนเป็น 4 ขั้นตอน คือ

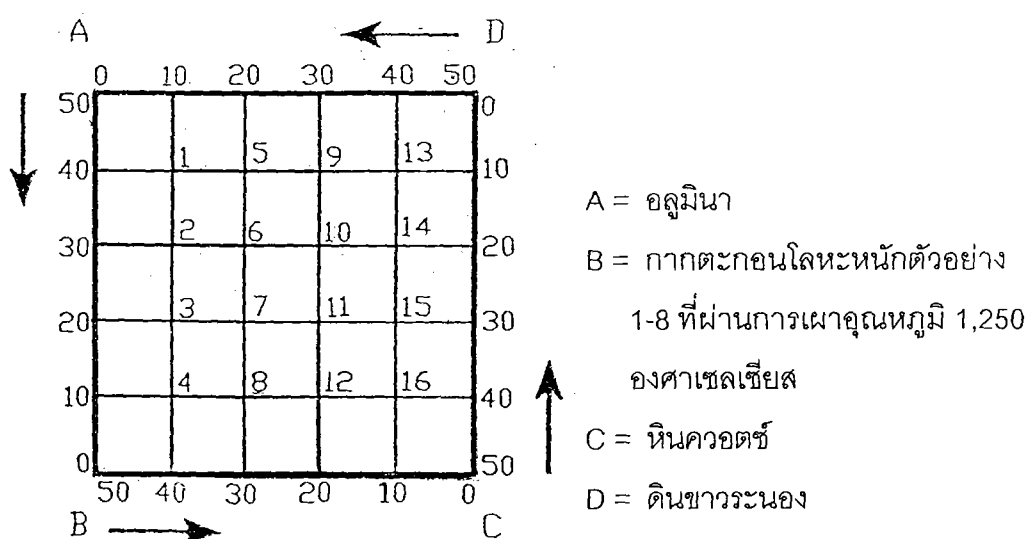
4.1 การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของกากตะกอนโลหะหนัก

4.1.1 นำกากตะกอนมาทดสอบหาปริมาณของโลหะที่สำคัญ ที่ประกอบอยู่ในกากตะกอน คือ โครเมียม นิกเกิล สังกะสี ทองแดง และตะกั่ว ตามวิธีการของวิธีมาตรฐาน โดยเจ้าหน้าที่ศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรม สมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร เป็นผู้วิเคราะห์ให้ในเบื้องต้น

4.2 การผลิตสีผงสำเร็จรูป

4.2.1 นำกากตะกอนโลหะหนักไปเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน และบดจนมีขนาด 80 เมช

4.2.2 นำกากตะกอนโลหะหนักผสมกับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสีผงสำเร็จรูปให้ได้อัตราส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้ตารางแบบ Quadraxial Blend ขนาด 36 จุด ดังภาพประกอบ 4 โดยจะเลือกนำไปทดลองเฉพาะ จุดที่มีส่วนผสมครบทั้ง 4 ชนิด คือ จุดที่ 8-11, 14-17, 20-23, 26-29 ดังตาราง 3 ซึ่งจะได้อัตราส่วนผสมดังตารางที่ 4 โดยจะนำกากตะกอนโลหะหนักที่ได้เก็บตัวอย่างทั้ง 8 โรงงาน มาทดลอง ครั้งละ 1 ตาราง



ภาพประกอบ 4 Quadraxial Blend ขนาด 36 จุด ของ Hopper

ตาราง 3 สัดส่วนของวัตถุดิบ A,B,C และ D ใน Quadraxial Blend ขนาด 36 จุด

	2	3	4	5	6
A 50 B 50 — 100	A 50 B 40 D 10 100	A 50 B 30 D 20 100	A 50 B 20 D 30 100	A 50 B 10 D 40 100	A 50 D 50 — 100
7	8	9	10	11	12
A 40 B 50 C 10 — 100	A 40 B 40 C 10 D 10 100	A 40 B 30 C 10 D 20 100	A 40 B 20 C 10 D 30 100	A 40 B 10 C 10 D 40 100	A 40 C 10 D 50 — 100
13	14	15	16	17	18
A 30 B 50 C 20 — 100	A 30 B 40 C 20 D 10 100	A 30 B 30 C 20 D 20 100	A 30 B 20 C 20 D 30 100	A 30 B 10 C 20 D 40 100	A 30 C 20 D 50 — 100
19	20	21	22	23	24
A 20 B 50 C 30 — 100	A 20 B 40 C 30 D 10 100	A 20 B 30 C 30 D 20 100	A 20 B 20 C 30 D 30 100	A 20 B 10 C 30 D 40 100	A 20 C 30 D 50 — 100
25	26	27	28	29	30
A 10 B 50 C 40 — 100	A 10 B 40 C 40 D 10 100	A 10 B 30 C 40 D 20 100	A 10 B 20 C 40 D 30 100	A 10 B 10 C 40 D 40 100	A 10 C 40 D 50 — 100
31	32	33	34	35	36
B 50 C 50 — 100	B 40 C 50 D 10 100	B 30 C 50 D 20 100	B 20 C 50 D 30 100	B 10 C 50 D 40 100	C 50 D 50 — 100

4.2.3 การผสมผสาน จะผสมวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิดโดยใช้หม้อบด เพื่อให้สารต่าง ๆ ผสมกัน โดยผสมแบบแห้ง

4.2.4 การเผา นำสารที่ผสมกันเป็นเนื้อเดียวดีแล้วใส่ภาชนะ ดินเผาที่มีฝาปิด เผา ที่ อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส โดยเผาบรรยากาศแบบออกซิเดชัน

4.2.5 การบด เมื่อได้สารผสมที่ผ่านการเผา แล้วก็นำมาบดด้วยวิธีบดเปียก ด้วย หม้อบด

4.2.6 การล้าง ล้างสารที่ได้จากการบด โดยการนำไปใส่ภาชนะที่เป็นแก้วใส เทน้ำ ลงไปแล้วคนให้ทั่ว ปลอ่ยให้ตกตะกอน แล้วรินน้ำทิ้งจนกว่าผิวน้ำไม่มีฝ้ายเหลืออยู่

4.2.7 การทำให้แห้ง นำสีที่ได้มาอบด้วยเครื่องอบสี ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่างไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส เพื่อไม่ให้น้ำในสีเดือด

ตาราง 4 สัดส่วนของวัตถุดิบ A, B, C และ D 16 ส่วนผสม

ส่วนผสมที่	วัตถุดิบ			
	อลูมินา	กากตะกอนโลหะหนัก	หินควอทซ์	ดินขาวระนอง
1	40	40	10	10
2	30	40	20	10
3	20	40	30	10
4	10	40	40	10
5	40	30	10	20
6	30	30	20	20
7	20	30	30	20
8	10	30	40	20
9	40	20	10	30
10	30	20	20	30
11	20	20	30	30
12	10	20	40	30
13	40	10	10	40
14	30	10	20	40
15	20	10	30	40
16	10	10	40	40

4.2.8 การบด สีที่อบแห้งแล้ว ก็จะนำมาบดอีกครั้งโดยจะบดให้ได้ขนาด 200 เมช

4.3 การนำสีผงสำเร็จรูปไปใช้

4.3.1 ทำชั้นทดสอบจากดินสีดำชนิดสโตนแวร์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4

เซนติเมตร หน้า 1 เซนติเมตร จำนวน 512 ชั้น แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

4.3.2 ชุบเคลือบบนชิ้นทดสอบ โดยนำชิ้นทดสอบที่ทำการเผาดิบแล้วมาชุบเคลือบตัวอย่างเคลือบใสผสมสีผงสำเร็จรูป ในอัตราส่วนร้อยละ 10 ของเคลือบใส จำนวน 128 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 4 ชิ้น เมาแบบออกซิเดชัน 256 ชิ้น และเมาแบบรีดักชัน 256 ชิ้น รวม 512 ชิ้น อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

4.4 ลำดับขั้นตอนในการทดสอบ

4.4.1 วิเคราะห์หาข้อดีโดยเปรียบเทียบที่ได้หลังจากการเผากับแบบเปรียบเทียบสำเร็จรูป ของบริษัท โอเรียลทัลเซราเทค จำกัด

4.4.2 ศึกษาปฏิกิริยาที่มีผลต่อเคลือบใสหลังการเผา 1,250 องศาเซลเซียส

4.4.2.1 ความสามารถในการหลอมละลาย

4.4.2.2 ความสม่ำเสมอของสี

4.4.2.3 การเกิดรูเข็ม

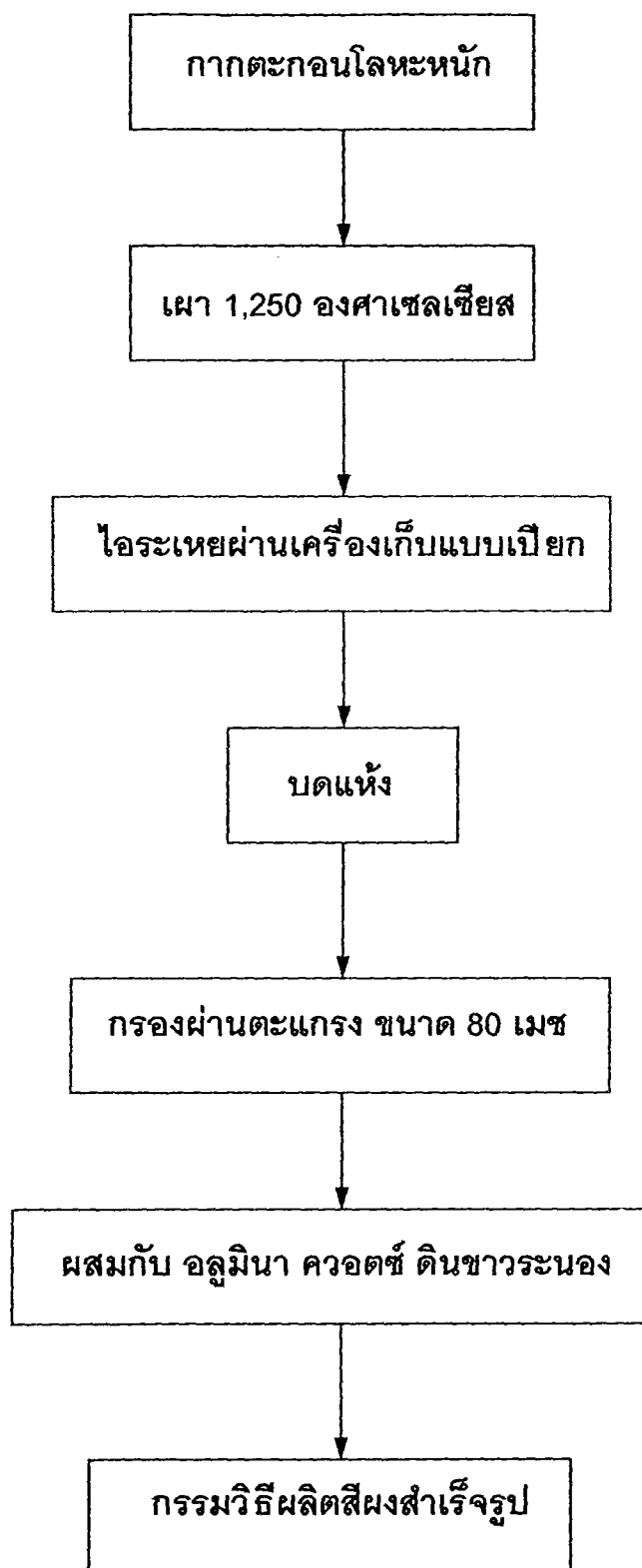
4.4.2.4 การรานตัว

4.4.2.5 การดิ่งตัว

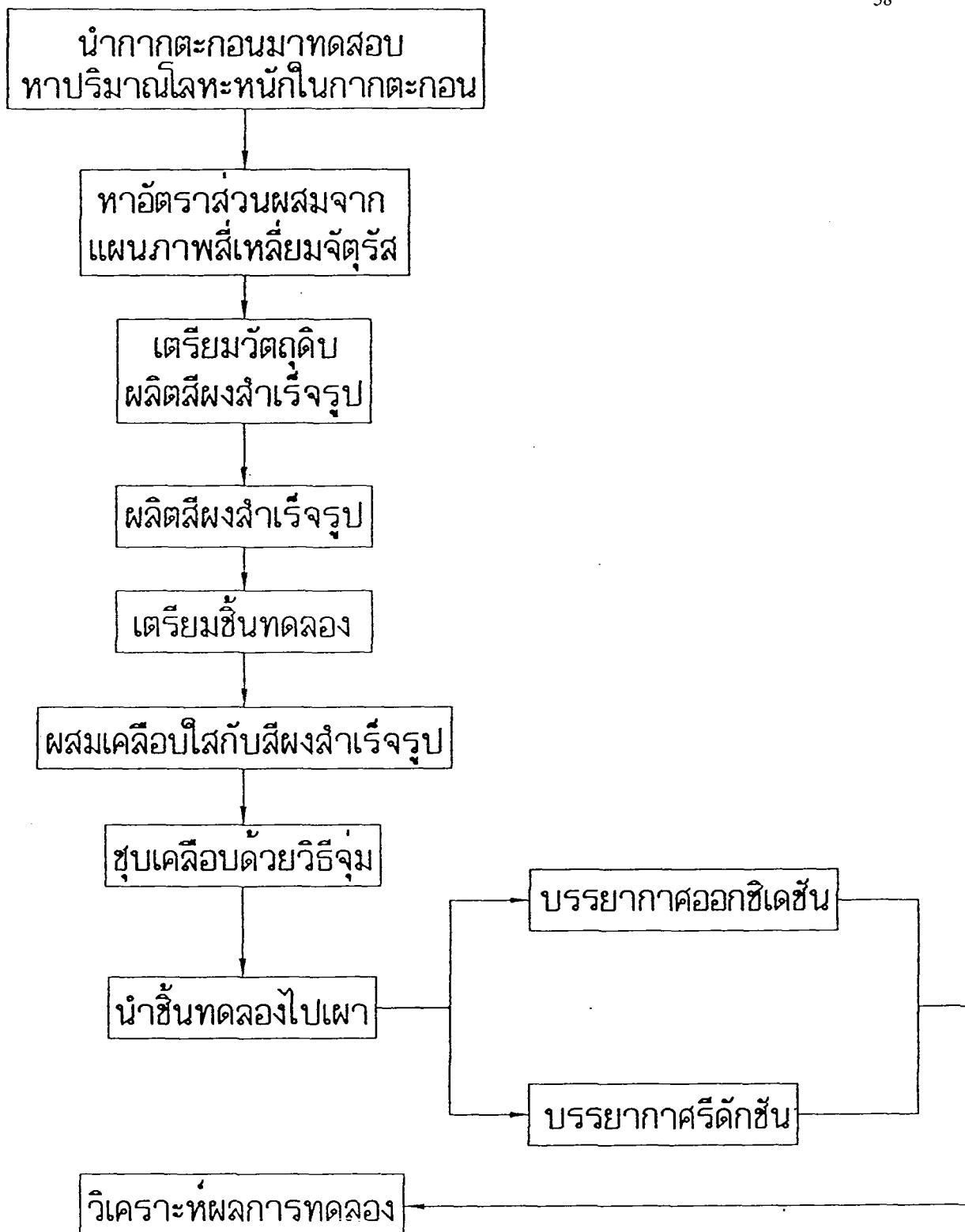
4.4.2.6 ความมัน

4.4.2.7 ความด้าน

4.4.3 การชะโลมหน้าออกจากชิ้นทดสอบ โดยเปรียบเทียบผลกับมาตรฐานน้ำทิ้ง ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับ 2 พ.ศ. 2539



ภาพประกอบ 5 กรรมวิธีการเตรียมกากตะกอนโลหะหนักเพื่อใช้ในการผลิตสีผงสำเร็จรูป



ภาพประกอบ 6 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

5. สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง

5.1 สถานที่ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือ ภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะอุตสาหกรรมศึกษา สถาบันราชภัฏพระนคร ห้องปฏิบัติการทางเคมีของ บริษัท เจนโก้จำกัด ที่ศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรม แสมดำ

5.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง เริ่มตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2540 - มกราคม 2541

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

6.1 การวิเคราะห์มาตรฐานของขั้นตอนทดสอบในด้านเซรามิกส์

การวิเคราะห์ข้อมูลในการทดลองครั้งนี้จะทำการวิเคราะห์โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน มีประสบการณ์ ไม่น้อยกว่า 7 ปี ซึ่งเป็นผู้สอน ในสาขาวิชาเซรามิกส์ หรือเป็นผู้สอนในสาขาวิชาเซรามิกส์ และทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมด้วย โดยวิเคราะห์ผลการทดลองตามตาราง 5 - 8

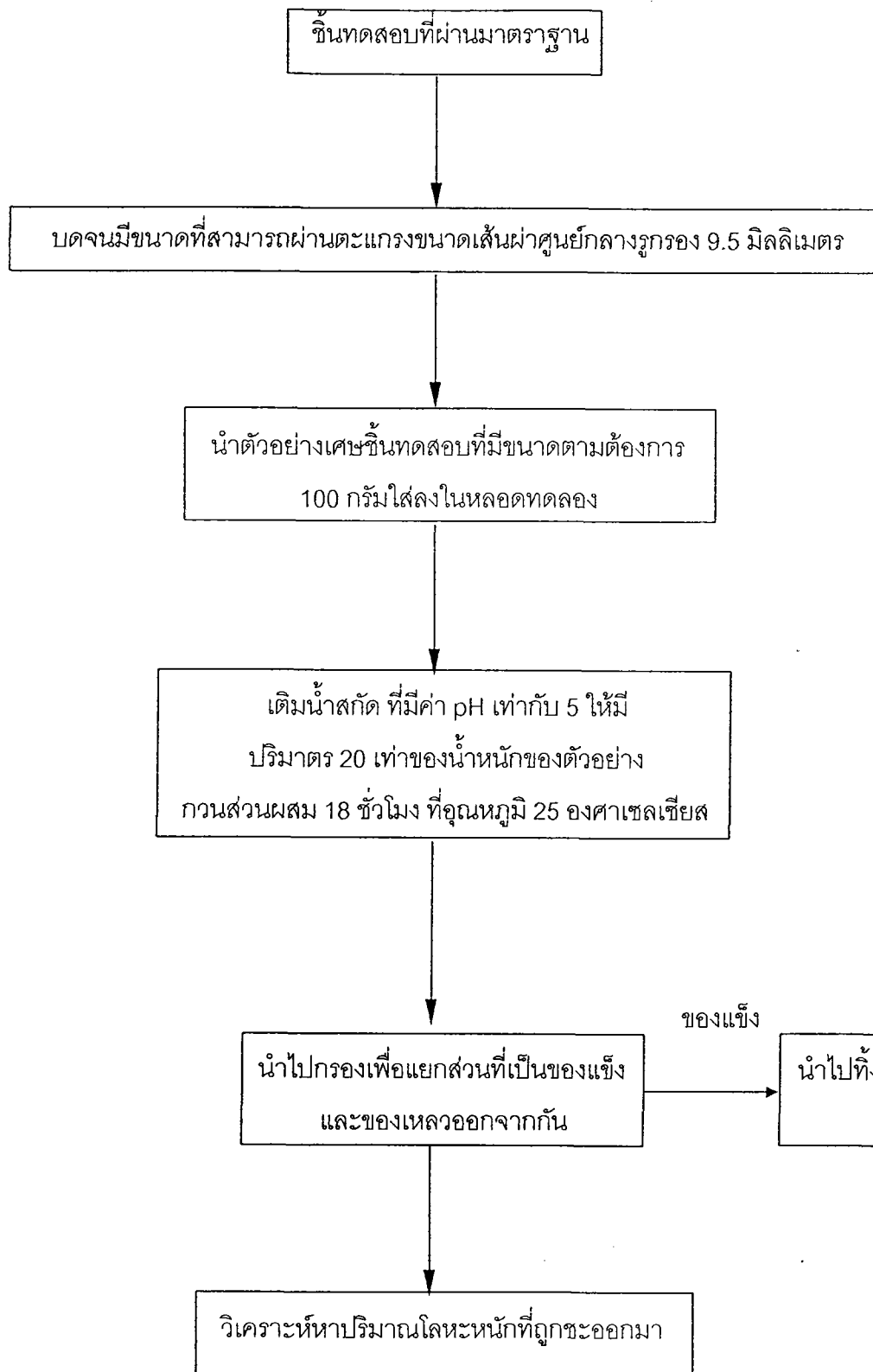
6.2 การวิเคราะห์ข้อมูล ในด้านความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมโดยการทดสอบการชะของโลหะหนัก เฉพาะตัวอย่างกากตะกอนโลหะหนัก ที่มีผลวิเคราะห์ในเบื้องต้น ก่อนการนำมาผลิตเป็นสีผงสำเร็จรูป มีปริมาณตะกั่วสูงสุดจากจำนวน 8 ตัวอย่าง

6.2.1 วิธีทดสอบการชะของโลหะหนักออกจากขั้นตอนทดสอบที่ผ่านมาตรฐานจากการวิเคราะห์ในข้อ 6.1 วิธีทดสอบใช้ตามวิธีของการสกัด ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6(พ.ศ. 2540) เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูล หรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (ดังภาพประกอบ 7)

6.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะออกมา

1. เตรียมกราฟมาตรฐาน โดยการเตรียมความเข้มข้นของ โคโรเมียม นิกเกิล ทองแดง สังกะสี และตะกั่ว ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยเครื่องมือวัดความเข้มข้นของสาร ยี่ห้อ GBC รุ่น 932 AA จะได้ค่าการดูดกลืนแสงที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ

2. เก็บน้ำตัวอย่างที่ได้จากการทดสอบตามวิธีการของการสกัดในข้อ 6.2.1 ไปวัดค่าดูดกลืนแสงโดยเครื่องมือวัดความเข้มข้นของสาร ซึ่งเครื่องแยกสารนี้สามารถหาค่าการดูดกลืนแสง ที่อ่านได้คำนวณออกเป็นค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในหน่วย มิลลิกรัม/ลิตร ได้จากกราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้



ภาพประกอบ 7 ขั้นตอนการทดสอบการชะของโลหะหนักออกจากขั้นตอนทดสอบตาม
วิธีการสกัด

7. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการทดลองครั้งนี้ผู้ทดลองได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูล มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

7.1 วิเคราะห์หาข้อดีโดยเปรียบเทียบที่ได้หลังจากการเผากับตารางเทียบสำเร็จรูปของบริษัท ไอ์เรลด์สเตราเทค จำกัด

7.2 วิเคราะห์ปฏิกิริยาที่มีผลต่อเคลือบสีหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

7.2.1 วิเคราะห์ความสามารถในการหลอมละลาย

1. เครื่องหมาย ✓ หมายถึง ความสามารถในการหลอมละลายดี
2. เครื่องหมาย ✕ หมายถึง ความสามารถในการหลอมละลายไม่ดี

7.2.2 วิเคราะห์ความสม่ำเสมอของสี

1. เครื่องหมาย ✓ หมายถึง สีมีความสม่ำเสมอ
2. เครื่องหมาย ✕ หมายถึง สีไม่มีความสม่ำเสมอ

7.2.3 วิเคราะห์การเกิดรูเข็ม

1. เครื่องหมาย ✓ หมายถึง ไม่พบการเกิดรูเข็ม
2. เครื่องหมาย ✕ หมายถึง มีการเกิดรูเข็ม

7.2.4 วิเคราะห์การรานตัว

1. เครื่องหมาย ✓ หมายถึง ไม่พบการรานตัว
2. เครื่องหมาย ✕ หมายถึง มีการรานตัว

7.2.5 วิเคราะห์การดิ่งตัว

1. เครื่องหมาย ✓ หมายถึง ไม่พบการดิ่งตัว
2. เครื่องหมาย ✕ หมายถึง มีการดิ่งตัว

7.2.6 วิเคราะห์ความมันวาว

1. เครื่องหมาย ✓ หมายถึง มีความมัน
2. เครื่องหมาย ✕ หมายถึง ไม่พบความมันวาว

7.2.7 วิเคราะห์ความดำ

1. เครื่องหมาย ✓ หมายถึง ไม่พบความดำ
2. เครื่องหมาย ✕ หมายถึง มีความดำ

7.3 การชะโลหะหนักออกจากชั้นทดสอบ ใช้เปรียบเทียบผลกับค่า มาตรฐานน้ำทิ้ง
ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับ 2 พ.ศ. 2539

สังกะสี	ไม่มากกว่า	5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
โครเมียม	ไม่มากกว่า	0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
ทองแดง	ไม่มากกว่า	2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
ตะกั่ว	ไม่มากกว่า	0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
นิกเกิล	ไม่มากกว่า	1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองทำสีผงสำเร็จรูปโดยใช้ส่วนผสมระหว่างกากตะกอนโลหะหนักจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า อลูมินา ควอตซ์ ดินขาวระนอง ซึ่งได้ดำเนินการทดลองตามกระบวนการแล้วได้ข้อมูล คือ ชื่อสี ปฏิกริยาที่มีผลต่อเคลือบสี และการชะโลหะหนัก ของสีผงสำเร็จรูป จำนวน 8 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 16 สูตร รวมจำนวน 128 สูตร โดยเผา 2 บรรยากาศ คือ การเผาแบบออกซิเดชัน และการเผาแบบรีดักชัน รวมจำนวนขั้นตอนทดสอบทั้งหมด 256 ขั้นตอน ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ แบ่งออกเป็นตอน ๆ ดังต่อไปนี้

- ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์หาชื่อสี
- ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์หาปฏิกริยาที่มีผลต่อเคลือบสี
- ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์การชะโลหะหนัก

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์หาชื่อสี

การทดลองหาชื่อสี โดยการตรวจสอบของผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน จากการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน จำนวน 128 สูตร เผาในบรรยากาศรีดักชัน 128 สูตร ปรากฏผลการวิเคราะห์ตามตาราง 5 และ ตาราง 6

ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์หาข้อดีของผู้เชี่ยวชาญ เฝ้าเฝ้าบรรยากาศออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

สีผงตำรึ่รูป ร้อยละ 10 ของเคลือบใส เฝ้าบรรยากาศออกซิเดชัน									
ตัวอย่างกากตะกอนสี	ตรงกับเบอรสีของโรงงานโอเรียลคัล เซราเทค เลขที่								หมายเหตุ
	1	2	3	4	5	6	7	8	
ตัวอย่างสีที่									
1	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	-	-	-	-	-	21677	-	-	
4	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	-	-	-	-	-	-	21677	-	
7	21677	-	-	-	21677	-	-	-	
8	-	-	-	-	-	-	21677	-	
9	-	-	-	-	-	-	-	-	
10	-	-	-	-	-	-	-	-	
11	-	-	-	-	-	-	21677	-	
12	21677	-	-	-	-	-	-	-	
13	-	-	-	-	-	-	-	-	
14	-	-	-	-	-	-	-	-	
15	-	-	-	-	-	-	-	-	
16	-	-	-	-	-	21677	-	-	

ผู้ดูแลงาน

จากตาราง 5 แสดงให้เห็นว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ซ็อสี่ที่ได้ตรงกับโรงงาน ได้แก่ ตัวอย่างกากตะกอนโลหะหนัก ตัวอย่างที่ 1 สูตรที่ 7,12 ตรงกับสี่เบอร์ 21677 ตัวอย่างที่ 5 สูตรที่ 7 ตรงกับสี่เบอร์ 21677 ตัวอย่างที่ 6 สูตรที่ 3, 16 ตรงกับสี่ เบอร์ 21677 ตัวอย่างที่ 7 สูตรที่ 6, 8, 11 ตรงกับสี่เบอร์ 21677

ตาราง 6 ผลการวิเคราะห์หาข้อดีของผู้เชี่ยวชาญ ภายในบรรณานุกรมที่คัดค้านที่อุดมภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

สีผงสำเร็จรูป ร้อยละ 10 ของเคลือบไม้ เภาพรรยากาศไม้									
ตัวอย่างภาคตัดกอนที่	ตรงกับแบบวิธีของโรงงานโอเรียลดีล เซรามิค เลขที่								หมายเหตุ
	1	2	3	4	5	6	7	8	
ตัวอย่างสีที่									
1	-	20650A	-	-	-	-	-	-	
2	-	-	-	-	-	20650A	-	-	
3	-	20650A	-	-	-	-	-	-	
4	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	-	-	20749B	-	-	-	-	-	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	-	20630A	-	-	-	-	-	-	
8	-	20630A	-	-	-	-	-	-	
9	-	20630A	20749B	-	-	20749B	-	-	
10	-	-	20749B	-	-	20749B	-	-	
11	-	-	20749B	-	-	20749B	-	-	
12	-	20650A	-	-	-	-	-	-	
13	-	-	20749B	-	-	20749B	-	-	
14	-	-	-	-	-	-	-	-	
15	-	-	-	-	-	-	-	-	
16	-	-	20749B	-	-	-	-	-	

ชื่อเล่นของ...

จากตาราง 6 แสดงให้เห็นว่าการเผาในบรรยากาศสดักชั้น ที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียสนั้น ชื่อสีที่ได้ตรงกับโรงงาน ได้แก่ ตัวอย่างกากตะกอนโลหะหนัก ตัวอย่างที่ 2 สูตรที่ 1, 3 ตรงกับสีเบอร์ 20650A สูตรที่ 7-9 ตรงกับสีเบอร์ 20630A สูตรที่ 12 ตรงกับสีเบอร์ 20650A ตัวอย่างที่ 3 สูตรที่ 5, 9-11, 13, 16 ตรงกับสีเบอร์ 20749B ตัวอย่างที่ 6 สูตรที่ 2 ตรงกับสีเบอร์ 20650A สูตรที่ 9-11, 13 ตรงกับสีเบอร์ 20749B

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาที่มีผลต่อเคลือบสี การทดลองหาปฏิกิริยาที่มีผลต่อเคลือบสี

โดยการตรวจสอบของผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน จากการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน จำนวน 128 สูตร เผาในบรรยากาศสดักชั้น จำนวน 128 สูตร ปรากฏผลการวิเคราะห์ ตามตาราง 7 และ ตาราง 8

ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์ปฏิบัติการที่มีผลต่อเคลือบใส เมาในบรรยากาศออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

สิ่งส่งสำเนา ร้อยละ 10 ของเคลือบใส เมาบรรยากาศออกซิเดชัน ตัวอย่างที่ 1									
ตัวอย่างสี	ปฏิกิริยา	ความสามารถในการหลอมละลาย	ความสม่ำเสมอของสี	รูเข็ม	การร้าวตัว	การดึงตัว	ความมัน	ความต้าน	หมายเหตุ
1		✓	✓	✓	X	✓	X	✓	
2		✓	✓	✓	X	✓	X	✓	
3		✓	X	✓	X	✓	X	✓	
4		✓	✓	✓	X	✓	X	✓	
5		✓	X	✓	X	✓	X	✓	
6		✓	✓	✓	X	✓	X	✓	
7		✓	✓	✓	X	✓	X	✓	
8		✓	✓	✓	X	✓	X	✓	
9		✓	✓	✓	X	✓	X	✓	
10		✓	X	✓	X	✓	X	✓	
11		✓	X	✓	X	✓	X	✓	
12		✓	✓	✓	X	✓	X	✓	
13		✓	✓	✓	X	✓	X	✓	
14		✓	✓	✓	X	✓	X	✓	
15		✓	✓	✓	X	✓	X	✓	
16		✓	✓	✓	X	✓	X	✓	

ข้อเสนอแนะ.....

ตาราง 7 (ต่อ)

สิ่งสำเร็จรูปร้อยละ 10 ของเคลือบได้ เมื่อบรรยากาศออกกีดกัน ตัวอย่างที่ 2									
ตัวอย่างสี	ปฏิกิริยา	ความสามารถในการ การหลอมละลาย	ความสม่ำเสมอ ของสี	รูซึม	การรวมตัว	การตั้งตัว	ความมัน	ความดัน	หมายเหตุ
1		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
2		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
3		✓	X	X	✓	X	X	✓	
4		✓	X	X	✓	X	X	✓	
5		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
6		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
7		✓	X	X	✓	X	X	✓	
8		✓	X	X	✓	X	X	✓	
9		✓	X	X	✓	X	X	✓	
10		✓	X	X	✓	X	X	✓	
11		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
12		✓	X	X	✓	X	X	✓	
13		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
14		✓	X	X	✓	X	X	✓	
15		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
16		✓	✓	X	✓	X	X	✓	

ข้อมูลอื่นและ.....

ตาราง 7 (ต่อ)

ตีพิมพ์เรื่อง ร้อยละ 10 ของเคลือบได้ แผนบรรณานุกรมออกที่เด่นชัด ตัวอย่างที่ 3									
ตัวอย่างที่	ปฏิบัติ	ความสามารถในการลดผลกระทบ	ความคุ้มค่าของ	รวม	การรวมตัว	การตั้งตัว	ความมั่นคง	ความดี	หมายเหตุ
1	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓	
2	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓	
3	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓	
4	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓	
5	✓	✓	✓	X	✓	X	✓	✓	
6	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓	
7	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓	
8	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓	
9	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓	
10	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓	
11	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓	
12	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓	
13	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓	
14	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓	
15	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓	
16	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓	

ข้อเสนอแนะ.....

ตาราง 7 (ต่อ)

สิ่งตำราประจำ ร้อยละ 10 ของเคลือบได้ แผนบรรยากาตออกที่เดชั่น ตัวอย่างที่ 5									
ตัวอย่างที่	ปฏิกริยา	ความสามารถในการหลอมละลาย	ความสม่ำเสมอของสี	รูซึม	การรานตัว	การตั้งตัว	ความมัน	ความด้าน	หมายเหตุ
1		✓	X	X	✓	X	X	✓	
2		✓	X	X	✓	X	X	✓	
3		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
4		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
5		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
6		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
7		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
8		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
9		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
10		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
11		✓	X	X	✓	X	✓	✓	
12		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
13		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
14		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
15		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
16		✓	X	X	✓	X	X	✓	

ข้อเสนอนี้.....

ตาราง 7 (ต่อ)

สิ่งล้ำเรื้อรัง ร้อยละ 10 ของเคลือบได้ แผนบรรยากาศออกกิตติเด้น ตัวอย่างที่ 6									
ตัวอย่างสี่	ปฏิกริยา	ความสามารถในการหลอมละลาย	ความสม่ำเสมอของสี	รูเติม	การรวมตัว	การตั้งตัว	ความมัน	ความดัน	หมายเหตุ
1		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
2		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
3		✓	✓	X	✓	X	✓	✓	
4		✓	X	X	✓	X	✓	✓	
5		✓	X	X	✓	X	X	✓	
6		✓	X	X	✓	X	X	✓	
7		✓	X	X	✓	X	X	✓	
8		✓	X	X	✓	X	X	✓	
9		✓	X	X	✓	X	X	✓	
10		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
11		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
12		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
13		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
14		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
15		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
16		✓	✓	X	✓	X	X	✓	

ข้อเสนอแนะ.....

ตาราง 7 (ต่อ)

สิ่งสำเร็จรูป ร้อยละ 10 ของเคลือบโลหะ เมื่อบรรยากาศออกฤทธิ์ได้ขึ้น ตัวอย่างที่ 7									
ตัวอย่างสี	ปฏิบัติกริยา	ความสามารถในการหลอมละลาย	ความสม่ำเสมอของสี	รูเพิ่ม	การงานตัว	การตั้งตัว	ความมัน	ความต้าน	หมายเหตุ
1		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
2		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
3		✓	X	X	✓	X	✓	✓	
4		✓	X	X	✓	X	X	✓	
5		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
6		✓	X	X	✓	X	X	✓	
7		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
8		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
9		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
10		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
11		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
12		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
13		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
14		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
15		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
16		✓	✓	X	✓	X	X	✓	

ข้อมูลอื่นใดมี...

ตาราง 7 (ต่อ)

สิ่งสำเร็จรูป ร้อยละ 10 ของเคสต่อไปส แผนบรรยากาศออกกิตเดัน ตัวอย่างที่ 8									
ตัวอย่างสี่	ปฏิบัติการ	ความสามารถในการหลอมละลาย	ความสม่ำเสมอของสี	รูซึม	การรานตัว	การตั้งตัว	ความมัน	ความดัน	หมายเหตุ
1		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
2		✓	X	X	✓	X	X	✓	
3		✓	X	X	✓	X	X	✓	
4		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
5		✓	X	X	✓	X	X	✓	
6		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
7		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
8		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
9		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
10		✓	X	X	✓	X	X	✓	
11		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
12		✓	X	X	✓	X	X	✓	
13		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
14		✓	X	X	✓	X	X	✓	
15		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
16		✓	✓	X	✓	X	X	✓	

ข้อเสนอนี้

จากตาราง 7 แสดงให้เห็นว่าการเผาเคลือบในบรรยากาศออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส นั้น

ความสามารถในการหลอมละลายทั้งหมด มีความสามารถในการหลอมละลายดี ความสม่ำเสมอของสี สีที่มีความสม่ำเสมอดี ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1 สูตรที่ 1-2, 4 6-9, 12-16 ตัวอย่างที่ 2 สูตรที่ 1-2, 5-6, 11, 13, 15-16, ตัวอย่างที่ 3 สูตรที่ 2, 3-4, 7, 9, 15-16 ตัวอย่างที่ 4 สูตรที่ 1-4, 9-13, 15 ตัวอย่างที่ 5 สูตรที่ 3-10, 12-15 ตัวอย่างที่ 6 สูตรที่ 1-13, 10-16 ตัวอย่างที่ 7 สูตรที่ 1-2, 5, 7-16 ตัวอย่างที่ 8 สูตรที่ 1, 4, 6-9, 11, 13, 15-16

การเกิดรูเข็มบนเคลือบ ทุกสูตร ไม่พบการเกิดรูเข็ม

การร้าวตัวของเคลือบ ทุกสูตร มีการร้าวตัว

การดึงตัวของเคลือบ ทุกสูตร ไม่พบการดึงตัว

ความมันวาวของเคลือบ เคลือบที่มีความมันวาว ได้แก่ ตัวอย่างที่ 3 สูตรที่ 5 ตัวอย่างที่ 5 สูตรที่ 11 ตัวอย่างที่ 6 สูตรที่ 3, 4 ตัวอย่างที่ 7 สูตรที่ 3

ความต้านของเคลือบ ทุกสูตร ไม่พบความต้าน

ตาราง 8 ผลการวิเคราะห์ปฏิบัติการที่มีผลต่อเคือบไต้ เฝ้าเฝ้าบรรยากาศศรึดักชั้นที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

สัณเฝ้าเฝ้ารูป ร้อยละ 10 ของเคือบไต้ เฝ้าบรรยากาศศรึดักชั้น ตัวอย่างที่ 1									
ตัวอย่างที่	ปฏิบัติการ	ความสามารถเฝ้าการหัดอมละลาย	ความสัณเฝ้าเฝ้าของสัณ	อูเฝ้า	การรณดัว	การดิงดัว	ความมเฝ้า	ความดัว	หมายเหตุ
1		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
2		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
3		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
4		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
5		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
6		✓	✓	X	✓	X	✓	✓	เคือบไต้ดักบางส่วน
7		✓	✓	X	✓	X	X	✓	อาจเกิดจากการที่
8		✓	✓	X	✓	X	X	✓	ชั้นงานสกปรกหรือ
9		✓	✓	X	✓	X	X	✓	มีคราบมเฝ้าติดอยู่
10		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
11		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
12		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
13		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
14		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
15		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
16		✓	✓	X	✓	X	✓	✓	

ข้อมูลเฝ้าเฝ้าเฝ้า

ตาราง 8 (ต่อ)

สิ่งล้ำค่า 10 ของเคลือบใส เมทริกซ์ดักจับ ตัวอย่างที่ 2									
ตัวอย่างที่	ปฏิกิริยา	ความสามารถในการหลอมละลาย	ความสม่ำเสมอของสี	รูเข็ม	การฉาบน้ำ	การดึงตัว	ความมัน	ความดัน	หมายเหตุ
1	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓	
2	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓	
3	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓	
4	✓	✓	✓	X	✓	X	✓	✓	
5	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓	
6	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓	
7	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓	
8	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓	
9	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓	
10	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓	
11	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓	
12	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓	
13	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓	
14	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓	
15	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓	
16	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓	

ข้อเสนอแนะ.....

ตาราง 8 (ต่อ)

สิ่งส่งสำเนาเรื่องร้องเรียน 10 ของเครือข่ายภาคีที่ 3									
ตัวอย่าง ตัวอักษร	การยอมรับ การยอมรับ	การยอมรับ การยอมรับ	การยอมรับ การยอมรับ	การยอมรับ การยอมรับ	การยอมรับ การยอมรับ	การยอมรับ การยอมรับ	การยอมรับ การยอมรับ	การยอมรับ การยอมรับ	การยอมรับ การยอมรับ
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
16	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

ข้อเสนอแนะ

ตาราง 8 (ต่อ)

สิ่งสำเร็จรูป ร้อยละ 10 ของเคลือบได้ เมื่อบรรยากาศที่ติดตั้ง ตัวอย่างที่ 4									
ตัวอย่างที่	ปฏิกิริยา	ความสามารถในการหลอมละลาย	ความสม่ำเสมอของสี	รูซึม	การรวมตัว	การตั้งตัว	ความเงมัน	ความต้าน	หมายเหตุ
1		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
2		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
3		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
4		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
5		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
6		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
7		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
8		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
9		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
10		✓	✓	X	✓	X	✓	✓	
11		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
12		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
13		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
14		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
15		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
16		✓	✓	X	✓	X	X	✓	

ข้อมูลประกอบนี้

ตาราง 8 (ต่อ)

ตีพิมพ์แล้ว 10 ของเคลือบใส แผนปรอทยาการศึกษาค้น ตัวอย่างที่ 5									
ตัวอย่าง	ปฏิบัติ	ความสามารถในการลดผลกระทบ	ความคุ้มค่าของ	การเพิ่ม	การรวมตัว	การตั้งตัว	ความมั่นคง	ความมั่นคง	หมายเหตุ
1		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
2		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
3		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
4		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
5		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
6		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
7		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
8		✓	X	X	✓	X	X	✓	
9		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
10		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
11		✓	✓	X	✓	X	✓	✓	
12		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
13		✓	X	X	✓	X	X	✓	
14		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
15		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
16		✓	✓	X	✓	X	X	✓	

ข้อสังเกต

ตาราง 8 (ต่อ)

สิ่งล้ำจริยธรรม ร้อยละ 10 ของเคลือบใส แผนปรียกาศรีดักชัน ตัวอย่างที่ 6									
ตัวอย่างที่	ปฏิกิริยา	ความสามารถในการหลอมละลาย	ความสม่ำเสมอของสี	รูซึม	การจางตัว	การดึงตัว	ความมัน	ความดัน	หมายเหตุ
1		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
2		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
3		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
4		✓	X	X	✓	X	X	✓	
5		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
6		✓	✓	X	✓	X	✓	✓	
7		✓	✓	X	✓	X	✓	✓	
8		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
9		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
10		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
11		✓	✓	X	✓	X	✓	✓	
12		✓	X	X	✓	X	X	✓	
13		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
14		✓	X	X	✓	X	X	✓	
15		✓	X	X	✓	X	X	✓	
16		✓	X	X	✓	X	X	✓	

ข้อเสนอแนะ

ตาราง 8 (ต่อ)

สิ่งตำราฎ ร้อยละ 10 ของเคลือบใส เมาบรรยากาศรีดักชั้น ตัวอย่างที่ 7									
ตัวอย่างที่	ปฏิกิริยา	ความสามารถในการหลอมละลาย	ความสม่ำเสมอของสี	ดูเข้ม	การรวมตัว	การดึงดูด	ความมัน	ความดัน	หมายเหตุ
1		✓	✓	×	✓	×	×	✓	
2		✓	✓	×	✓	×	×	✓	
3		✓	✓	×	✓	×	✓	✓	
4		✓	✓	×	✓	×	✓	✓	
5		✓	✓	×	✓	×	×	✓	
6		✓	✓	×	✓	×	×	✓	
7		✓	✓	×	✓	×	✓	✓	
8		✓	✓	×	✓	×	×	✓	
9		✓	✓	×	✓	×	×	✓	
10		✓	✓	×	✓	×	×	✓	
11		✓	✓	×	✓	×	×	✓	
12		✓	✓	×	✓	×	×	✓	
13		✓	✓	×	✓	×	×	✓	
14		✓	✓	×	✓	×	×	✓	
15		✓	✓	×	✓	×	×	✓	
16		✓	✓	×	✓	×	✓	✓	

ข้อเสนอนี้.....

ตาราง 8 (ต่อ)

สิ่งสำเร็จรูป ร้อยละ 10 ของเคลือบใส เมื่อบรรยากาศที่ติดตั้ง ตัวอย่างที่ 8									
ตัวอย่างที่	ปฏิกิริยา	ความสามารถในการหลอมละลาย	ความสม่ำเสมอของสี	รูเข็ม	การรานตัว	การตั้งตัว	ความมัน	ความต้าน	หมายเหตุ
1		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
2		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
3		✓	✓	X	✓	X	✓	✓	
4		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
5		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
6		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
7		✓	X	X	✓	X	X	✓	
8		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
9		✓	X	X	✓	X	X	✓	
10		✓	X	X	✓	X	X	✓	
11		✓	✓	X	✓	X	✓	✓	
12		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
13		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
14		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
15		✓	✓	X	✓	X	X	✓	
16		✓	✓	X	✓	X	X	✓	

ข้อเสนอแนะ.....

จากตาราง 8 แสดงให้เห็นว่าการเผาเคลือบในบรรยากาศรีดักชัน ที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส นั้น

ความสามารถในการหลอมละลายทั้งหมด มีความสามารถในการหลอมละลายดี ความสม่ำเสมอของสี สีที่มีความสม่ำเสมอดี ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1 สูตรที่ 1-16 ตัวอย่างที่ 2 สูตรที่ 1-12, 16 ตัวอย่างที่ 3 สูตรที่ 1-16 ตัวอย่างที่ 4 สูตรที่ 1-16 ตัวอย่างที่ 5 สูตรที่ 1-7, 9-12, 14-16 ตัวอย่างที่ 6 สูตรที่ 1-3, 5-11, 13 ตัวอย่างที่ 7 สูตรที่ 1-16 ตัวอย่างที่ 8 สูตรที่ 1-6, 8, 11-16

การเกิดรูเข็มบนเคลือบ ทุกสูตร ไม่พบการเกิดรูเข็ม

การร้าวตัวของเคลือบ ทุกสูตร มีการร้าวตัว

การดึงตัวของเคลือบ ทุกสูตร ไม่พบการดึงตัว

ความมันวาวของเคลือบ เคลือบที่มีความมันวาว ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1 สูตรที่ 6 ตัวอย่างที่ 2 สูตรที่ 4 ตัวอย่างที่ 3 สูตรที่ 5 ตัวอย่างที่ 4 สูตรที่ 10 ตัวอย่างที่ 5 สูตรที่ 11 ตัวอย่างที่ 6 สูตรที่ 6, 7, 11 ตัวอย่างที่ 7 สูตรที่ 3, 4, 7 ตัวอย่างที่ 8 สูตรที่ 3, 11

ความต้านของเคลือบ ทุกสูตร ไม่พบความต้าน

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์การชะโละหนัก

การวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนักในกากตะกอนแห้งเบื้องต้น มีผลการวิเคราะห์ ดังตาราง 9

ตาราง 9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนแห้งจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

ตัวอย่าง กากตะกอนโลหะหนัก ที่	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	ทองแดง	ตะกั่ว	สังกะสี	โครเมียม	นิกเกิล
1	997.60	3,116.80	2,589.11	1,762.56	130.50
2	811.20	1,781.16	2,274.75	ไม่พบ	56.83
3	896.00	60.00	1,260.00	2,617.27	1,641.20
4	721.97	ไม่พบ	1,251.40	11,334.50	312.87
5	954.40	123.13	1,436.61	813.70	841.31
6	4,677.97	4,565.85	17,825.90	42,962.50	47,025.00
7	4,909.95	4,722.50	19,256.87	41,189.17	45,272.60
8	8,474.02	209.06	2,131.72	1,828.13	1,278.83

จากตาราง 9 แสดงให้เห็นว่า กากตะกอนโลหะหนัก ตัวอย่างที่ 7 มีปริมาณตะกั่วสูงสุด คือ 4,722.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้น จึงนำขึ้นทดสอบที่มีส่วนผสมของกากตะกอนโลหะหนัก ตัวอย่างที่ 7 มาทดสอบ โดยสูตรที่มีปริมาณกากตะกอนโลหะหนักในส่วนผสมสูงสุดที่สุด คือ สูตรที่ 1-4 ซึ่งจะมีกากตะกอนโลหะหนักอยู่ประมาณ ร้อยละ 40

การวิเคราะห์ผลการชะโละหนักออกจากชิ้นทดสอบ จำนวน 20 ชิ้น ทดสอบโดยห้องปฏิบัติการทางเคมี ศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรม แสมดำ บางขุนเทียน โดยใช้วิธีสกัด แล้วนำของเหลวที่ได้จากการสกัดไปวัดหาค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำไปอ่านโดยการคำนวณออกเป็นค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร ได้จากกราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้

ตาราง 10 ผลการวิเคราะห์ภาระหนี้สินออกจากรวมทดสอบที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นและรีดักชัน ที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

บรรยากาศ ที่ใช้ในการเผา ออกซิเดชั่น รีดักชัน	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ค่าโลหะหนักประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539)(มิลลิกรัมต่อลิตร)				
	ทองแดง	ตะกั่ว	สังกะสี	โครเมียม	นิกเกิล	ทองแดง	ตะกั่ว	สังกะสี	โครเมียม	นิกเกิล
ออกซิเดชั่น	0.036	-0.153	0.026	0.036	-0.032	ไม่มากกว่า	ไม่มากกว่า	ไม่มากกว่า	ไม่มากกว่า	ไม่มากกว่า
รีดักชัน	0.020	-0.146	0.020	0.036	0.000	2.0	0.2	5.0	0.25	1.0

หมายเหตุ ค่าที่ติดลบ คือ มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่เตรียมไว้ของแต่ละธาตุในภาคผนวก ข.

จากตาราง 10 แสดงให้เห็นว่า การเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส มีปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะ คือ ทองแดง 0.036 มิลลิกรัมต่อลิตร ตะกั่ว -0.153 มิลลิกรัมต่อลิตร สังกะสี 0.026 มิลลิกรัมต่อลิตร โครเมียม 0.036 มิลลิกรัมต่อลิตร นิกเกิล -0.032 มิลลิกรัมต่อลิตร และเผาในบรรยากาศรีดักชัน อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส มีปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะ คือ ทองแดง 0.020 มิลลิกรัมต่อลิตร ตะกั่ว -0.146 มิลลิกรัมต่อลิตร สังกะสี 0.020 มิลลิกรัมต่อลิตร โครเมียม 0.036 มิลลิกรัมต่อลิตร นิกเกิล 0.000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าเกณฑ์การยอมรับ คือ ทองแดง ไม่มากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตะกั่ว ไม่มากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สังกะสี ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โครเมียม ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร นิกเกิล ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการทดลองนำกากตะกอนโลหะหนัก จากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า อลูมินา ควอตซ์ ดินขาวระนอง มาผลิตเป็นสีผงสำเร็จรูปเพื่อใช้ผสมในเคลือบใส

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่าง กากตะกอนโลหะหนักจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า อลูมินา ควอตซ์ ดินขาวระนอง สำหรับทำสีผงสำเร็จรูป ที่เผาในอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส
2. เพื่อทดสอบการนำไปใช้งานโดยการผสมลงในเคลือบโดยผสมลงในเคลือบใส แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ทั้งบรรยากาศ รีดักชัน และออกซิเดชัน

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรต้น ได้แก่
 - 1.1 อัตราส่วนผสม ซึ่งประกอบด้วย กากตะกอนโลหะหนักจากโรงชุบด้วยไฟฟ้า ดินขาวระนอง อลูมินา ควอตซ์ โดยสุ่มอย่างมีระบบจากแผนภาพสี่เหลี่ยมจัตุรัส จำนวน 16 อัตราส่วน ผสม จำนวน 8 ชุด
 - 1.2 เคลือบใสชนิดเคลือบหินพื้นม้า โดยมีสูตรดังนี้
- | | | |
|---------------------|--------|------|
| หินพื้นม้าชนิดโพแตส | ร้อยละ | 59.7 |
| หินปูน | ร้อยละ | 14.3 |
| โคโลไมต์ | ร้อยละ | 6.6 |
| สังกะสีออกไซด์ | ร้อยละ | 2.9 |
| ดินขาวระนอง | ร้อยละ | 4.8 |
| ซิลิกา | ร้อยละ | 11.7 |
2. ตัวแปรตาม ได้แก่

2.1 สีที่ได้หลังจากการเผา ซึ่งประกอบด้วยสีที่ได้จากการเผาในบรรยากาศ ออกซิเดชัน และรีดักชัน ที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

2.2 ปฏิกริยาที่มีผลกระทบต่อเคลือบใสเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส เผา ในบรรยากาศออกซิเดชัน และรีดักชัน โดยเคลือบใสที่ใช้เป็นเคลือบหินพื้นม้า

2.2.1 ความสามารถในการหลอมละลาย

2.2.2 ความสม่ำเสมอของสี

2.2.3 การเกิดรูเข็ม

2.2.4 การรานตัว

2.2.5 การตั้งตัว

2.2.6 ความมัน

2.2.7 ความด้าน

2.3 การชะของโลหะหนัก ซึ่งวิเคราะห์ผลจากขั้นตอนทดสอบที่ได้จากการเผาใน บรรยากาศ ออกซิเดชัน และรีดักชัน เผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในงานวิจัย

วัตถุดิบที่ใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างในการทดลองครั้งนี้ คือ

1. กากตะกอนโลหะหนัก จากศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม แสมดำ บางขุนเทียน โดยเป็นกากตะกอนที่ผ่านการบำบัดมาแล้วเสร็จจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า จำนวน 8 โรงงาน
2. ดินขาวระนอง
3. อลูมินา
4. หินควอตซ์
5. วัตถุดิบที่ใช้ทำเคลือบใส (เคลือบหินพื้นม้า)
6. เนื้อดินปั้นสีดำชนิด สโตนแวร์

เครื่องมือ อุปกรณ์ในการทดลอง

เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง ผู้ทดลองได้ทำการแบ่งเป็น 2 หัวข้อ คือ

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน

- 1.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 1.2 ตะแกรงมาตรฐาน เส้นผ่าศูนย์กลางรูกลม 9.5 มิลลิเมตร
- 1.3 แผ่นกระดาดรองขนาดรูลง 0.6-0.8 ไมครอน
- 1.4 เครื่องมือวัดความเข้มข้นของสาร
- 1.5 เครื่องวัดพีเอช
- 1.6 เครื่องมือสำหรับกรอง
- 1.7 สารละลายเบสิกฟลูออรีน
2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองทำสิ่งสำเร็จรูป
 - 2.1 เครื่องผสมวัตถุดิบ ขนาด 200 เมช
 - 2.2 เตาเผาใช้แก๊ส
 - 2.3 เตาเผาใช้ไฟฟ้า
 - 2.4 หม้ออบขนาดเล็ก
 - 2.5 หม้ออบ
 - 2.6 โถร่งบด
 - 2.7 ตะแกรงขนาด 80, 200 เมช
 - 2.8 เครื่องกวนเคลือบ
 - 2.9 ภาชนะดินเผาที่มีฝาปิด
 - 2.10 ทุนวัดไฟ หมายเลข 8
 - 2.11 ขึ้นทดสอบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร หน้า 1 เซนติเมตร ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จำนวน 512 ชิ้น

การดำเนินการทดลอง

ในการดำเนินการทดลอง ผู้ทดลองได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินการทดลอง เป็นขั้นตอน 4 ขั้นตอน คือ

1. การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของกากตะกอนโลหะหนัก
2. ผลิตสิ่งสำเร็จรูป ดังนี้
 - 2.1 นำกากตะกอนโลหะหนักไปเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศออกซิเดชัน และบดจนมีขนาด 80 เมช.

2.2 กำหนดอัตราส่วนผสมจากแผนภาพสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยสุ่มอย่างมีระบบจะได้ อัตราส่วนผสมทั้งหมด 36 อัตราส่วนผสม เลือกมาใช้เฉพาะส่วนผสมที่มีครบทั้ง 4 วัตถุดิบ คือ อลูมินา ปากตะกอนโลหะหนัก ควอตซ์ ดินขาวระนอง ซึ่งจะได้อัตราส่วนผสม 16 อัตราส่วนผสม โดยจะนำ ปากตะกอนโลหะหนักมาทดลองครั้งละ 1 ตัวอย่างรวม 8 ตัวอย่าง

2.3 ผสมวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิดเข้าด้วยกัน

2.4 นำไปเผาโดยใส่ภาชนะดินเผาที่มีฝาปิด เเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส
บรรยากาศออกซิเดชัน

2.5 บดสารที่ได้หลังการเผา

2.6 ล้างสารที่บดแล้วจนกว่าจะไม่มีฝัาหลงเหลืออยู่บนผิวน้ำ

2.7 อบสารที่ได้ให้แห้ง ควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 100 องศาเซลเซียส

2.8 บดอีกครั้งหลังให้แห้งให้มีขนาด 200 เมช.

3. การนำสีผงสำเร็จรูปไปใช้

3.1 นำชิ้นทดสอบจากดินสีดำชนิดสโตนแวร์ จำนวน 512 ชิ้น แล้วนำไปเผาที่ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

3.2 ชุบเคลือบบนชิ้นทดสอบ โดยนำชิ้นทดสอบที่ทำการเผาเรียบร้อยแล้วมาชุบเคลือบ ตัวอย่างเคลือบสีผสมสีผงสำเร็จรูปในอัตราส่วนร้อยละ 10 ของเคลือบสี จำนวน 128 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 4 ชิ้น เเผาแบบ ออกซิเดชัน 256 ชิ้น และเผาแบบรีดักชัน 256 ชิ้น รวม 512 ชิ้น อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

4. ลำดับขั้นตอนในการทดสอบ

4.1 วิเคราะห์หาเบอริลโดยเปรียบเทียบสีที่ได้หลังจากการเผากับตารางเปรียบเทียบสี สำเร็จรูป ของบริษัทโอเรียลทัลเซราเทค จำกัด โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

4.2 ศึกษาปฏิกิริยาที่มีผลต่อเคลือบสีโดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน

4.3 นำชิ้นทดสอบไปวิเคราะห์หาการชะโลหะหนักออกจากชิ้นทดสอบ และนำไป เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้ง กระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับ 3 พ.ศ. 2540

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

1. การวิเคราะห์มาตรฐานของชิ้นทดสอบในด้านเซรามิกส์

การวิเคราะห์ข้อมูลในการทดลองครั้งนี้จะทำการวิเคราะห์โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน มีประสบการณ์ไม่น้อยกว่า 7 ปี ซึ่งเป็นผู้สอน ในสาขาวิชาเซรามิกส์ หรือเป็นผู้สอนในสาขาวิชาเซรามิกส์ และทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมด้วย โดยวิเคราะห์ผลการทดลอง ตามตาราง 5-8

2. การวิเคราะห์ข้อมูล ในด้านความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมโดยทดสอบ การชะของโลหะหนัก เฉพาะตัวอย่างกากตะกอนโลหะหนัก ที่มีผลวิเคราะห์ในเบื้องต้น ก่อนนำมาผลิตเป็นสิ่งสำเร็จรูป มีปริมาณตะกั่วสูงสุดจากจำนวน 8 ตัวอย่าง

2.1 ทดสอบโดยใช้วิธีสกัด ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะออกมา

1. เตรียมกราฟมาตรฐาน โดยการเตรียมความเข้มข้นของ โครเมียม นิกเกิล ทองแดง สังกะสี และตะกั่ว ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยเครื่องมือวัดความเข้มข้นของสาร ยี่ห้อ GBC รุ่น 932 AA จะได้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

2. เก็บตัวอย่างน้ำที่ได้จากการสกัด ไปวัดค่าดูดกลืนแสงโดยเครื่องมือวัดความเข้มข้นของสาร และได้ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเปรียบเทียบ กับกราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้

สรุปผลการทดลอง

การทดลองทำสิ่งสำเร็จรูปโดยใช้ส่วนผสมระหว่างกากตะกอนโลหะหนักจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า อลูมินา ควอตซ์ ดินขาวระนอง ในแต่ละขั้นตอนได้ผลการทดลองดังนี้ คือ

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์การหาข้อดี

จากการเผาในบรรยากาศออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส พบว่า ข้อดีที่ได้มี 1 ข้อดี คือ สีเบอร์ 21677 ซึ่งมีอยู่ 8 สูตร ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1 สูตรที่ 7, 12 ตัวอย่างที่ 5 สูตรที่ 7 ตัวอย่างที่ 6 สูตรที่ 3, 16 ตัวอย่างที่ 7 สูตรที่ 6, 8, 11

จากการเผาในบรรยากาศรีดักชันที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส พบว่า ข้อดีที่ได้มี 3 ข้อดี คือ สีเบอร์ 20630A ซึ่งมีอยู่ 3 สูตร ได้แก่ ตัวอย่างที่ 2 สูตรที่ 7-9 สีเบอร์ 20650A มีอยู่ 4 สูตร ได้แก่ ตัวอย่างที่ 2 สูตรที่ 1, 3, 12 ตัวอย่างที่ 6 สูตรที่ 2 สีเบอร์ 20749B มีอยู่ 10 สูตร ได้แก่ ตัวอย่างที่ 3 สูตรที่ 5, 9-11, 13, 16 ตัวอย่างที่ 6 สูตรที่ 9-11, 13

ตอนที่ 2 ผลวิเคราะห์ปฏิกิริยาที่มีผลต่อเคลือบใส

จากการเผาในบรรยากาศออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส พบว่า ความสามารถในการหลอมละลาย 128 สูตร มีความสามารถในการหลอมละลายดี สัมผัสความสม่ำเสมอ มีจำนวน 70 สูตร ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1 สูตรที่ 1-2,4,6-9,12-16 ตัวอย่างที่ 2 สูตรที่ 1-2,5-6,11,13, 15-16 ตัวอย่างที่ 3 สูตรที่ 2,3-4,7,9,15-16 ตัวอย่างที่ 4 สูตรที่ 1-4,9-13,15 ตัวอย่างที่ 5 สูตรที่ 3-10,12-15 ตัวอย่างที่ 6 สูตรที่ 1-3,10-16 ตัวอย่างที่ 7 สูตรที่ 1-2,5,7-16 ตัวอย่างที่ 8 สูตรที่ 1,4,6-9,11,13,15-16 การเกิดรูเข็มบนเคลือบทุกสูตร ไม่พบการเกิดรูเข็ม การรานตัวของเคลือบทุกสูตรมีการรานตัว การดึงตัวของเคลือบ ทุกสูตรไม่พบการดึงตัว ความมันวาวของเคลือบ เคลือบที่มีความมันวาว ได้แก่ ตัวอย่างที่ 3 สูตรที่ 5 ตัวอย่างที่ 5 สูตรที่ 11 ตัวอย่างที่ 6 สูตรที่ 3, 4 ตัวอย่างที่ 7 สูตรที่ 3 ความต้านของเคลือบ ทุกสูตรไม่พบความต้าน

จากการเผาในบรรยากาศรีดักชันที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส พบว่าความสามารถในการหลอมละลาย 128 สูตรมีความสามารถในการหลอมละลายดี สัมผัสความสม่ำเสมอ มีจำนวน 115 สูตร ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1 สูตรที่ 1-16 ตัวอย่างที่ 2 สูตรที่ 1-12,16 ตัวอย่างที่ 3 สูตรที่ 1-16 ตัวอย่างที่ 4 สูตรที่ 1-16 ตัวอย่างที่ 5 สูตรที่ 1-7,9-12,14-16 ตัวอย่างที่ 6 สูตรที่ 1-3,5-11,13 ตัวอย่างที่ 7 สูตรที่ 1-16 ตัวอย่างที่ 8 สูตรที่ 1-6,8,11-16 การเกิดรูเข็มบนเคลือบทุกสูตรไม่พบการเกิดรูเข็ม การรานตัวของเคลือบทุกสูตร มีการรานตัว การดึงตัวของเคลือบ ทุกสูตรไม่พบการดึงตัว ความมันวาวของเคลือบ เคลือบที่มีความมันวาว ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1 สูตรที่ 6 ตัวอย่างที่ 2 สูตรที่ 4 ตัวอย่างที่ 3 สูตรที่ 5 ตัวอย่างที่ 4 สูตรที่ 10 ตัวอย่างที่ 5 สูตรที่ 11 ตัวอย่างที่ 6 สูตรที่ 6, 7, 11 ตัวอย่างที่ 7 สูตรที่ 3, 4, 7 ตัวอย่างที่ 8 สูตรที่ 3, 11 ความต้านของเคลือบ ทุกสูตรไม่พบความต้าน

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์การชะโลหะหนัก

จากผลการวิเคราะห์กากตะกอนโลหะหนักแห้งของตัวอย่างที่ 7 ในเบื้องต้นพบว่ามีทองแดง 4,909.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกั่ว 4,722.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สังกะสี 19,256.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โครเมียม 41,189.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นิกเกิล 45,272.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อนำขึ้นทดสอบไปวิเคราะห์หาการชะโลหะหนักได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

ขึ้นทดสอบที่ได้จากการเผา ที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศออกซิเดชัน พบว่า มีปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะออกมา ได้แก่ ทองแดง 0.036 มิลลิกรัมต่อลิตร ตะกั่ว -0.153 มิลลิกรัมต่อลิตร สังกะสี 0.026 มิลลิกรัมต่อลิตร โครเมียม 0.036 มิลลิกรัมต่อลิตร นิกเกิล -0.032

มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าโลหะหนักทุกค่าไม่มากกว่า ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับ 2 (พ.ศ. 2539)

ขั้นตอนทดสอบที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน พบว่ามีปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะออกมา ได้แก่ ทองแดง 0.020 มิลลิกรัมต่อลิตร ตะกั่ว -0.146 มิลลิกรัมต่อลิตร สังกะสี 0.020 มิลลิกรัมต่อลิตร โครเมียม 0.036 มิลลิกรัมต่อลิตร นิกเกิล 0.000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าโลหะหนักทุกค่าไม่มากกว่า ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับ 2 (พ.ศ. 2539)

อภิปรายผล

จากการทดลองหาอัตราส่วนของกากตะกอนโลหะหนักจากโรงงานชุบโลหะหนักด้วยไฟฟ้า อลูมินา ควอตซ์ และดินขาวระนอง เพื่อผลิตสีผงสำเร็จรูป เเผาในอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศออกซิเดชัน และรีดักชัน การอภิปรายผลมีดังนี้

1. ด้านการหาชื่อสี จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า สีของเคลือบสีหลังจากผสมสีผงสำเร็จรูป ร้อยละ 10 ปรากฏว่าเป็นสีเบอร์ 21677 ชื่อสี คือ Dark Brown (น้ำตาลเข้ม) ในการเผาแบบออกซิเดชัน จากผลการวิเคราะห์กากตะกอนโลหะ มี โครเมียม และสังกะสี ทุกตัวอย่าง ซึ่ง โครเมียม เมื่อใช้เผา Calcine ในอุณหภูมิ โคน 7 จะเปลี่ยนเป็น โครเมียมออกไซด์ ซึ่งให้น้ำตาลเข้ม (โกลม รักษวงศ์. 2531 : 24) ซึ่งตรงกับ ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2530 : 219) ได้กล่าวไว้ว่า สีน้ำตาลปกติ จะเกิดจาก เหล็ก, นิกเกิล, แมงกานีส, โครเมียม และการผสมระหว่างธาตุเหล่านี้กับธาตุอื่น

ในการเผาแบบรีดักชัน ได้สีตรงกับเบอร์สี 3 สี คือ 20630A ชื่อสี Coffee Brown และเบอร์สี 20650A ชื่อสีคือ Dark Coffee Brown และเบอร์สี 20749B ชื่อสีคือ Dark Maroon ซึ่งทั้งหมดอยู่ในโทน น้ำตาลแดง ในผลการวิเคราะห์ กากตะกอนโลหะหนัก มีทองแดง โครเมียม และสังกะสี รวมอยู่ด้วย ทองแดงเมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะให้สีแดง (โกลม รักษวงศ์. 2531 : 33) แต่จากการที่มี โครเมียม และสังกะสีผสมอยู่ด้วย โทนสีจึงเป็นสีน้ำตาล (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2530 : 219)

จากผลการทดลองใช้สีผงสำเร็จรูปผสมในเคลือบสีพบว่าในสูตรเดียวกันจะให้สีแตกต่างกัน หากบรรยากาศที่ใช้ในการเผาเปลี่ยนไป โดยในการเผาแบบออกซิเดชัน โทนสีจะมีสีน้ำตาล-น้ำตาลเข้ม สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะ สังกะสีที่มีอยู่ในสีผงสำเร็จรูปและในน้ำเคลือบจะเป็นวัตถุดิบ

ที่ทำปฏิริยากับโครเมียมออกไซด์ สามารถเปลี่ยนสีเขียวของโครเมียมออกไซด์ให้เป็นสีน้ำตาลได้ (โกมล รักษ์วงศ์. 2531 : 76) แต่หากบรรยากาศที่ใช้ในการเผาเป็นแบบรีดักชัน โทนสีจะมีสีน้ำตาลแดง เนื่องจากทองแดงออกไซด์ ที่มีอยู่ในสีผงสำเร็จรูป ถูกดึงเอาออกซิเจนไปขณะเผาในบรรยากาศรีดักชัน เพื่อใช้ในการเผาไหม้ ทำให้ทองแดงออกไซด์เปลี่ยนเป็นสีแดง (ไพจิตร อิงศิริวัฒน์. 2537 : 136) ซึ่งตรงกับ โกมล รักษ์วงศ์.(2531 : 2) ได้กล่าวไว้ว่า ทองแดงออกไซด์เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะเกิดเป็นสีแดงได้ แต่เนื่องจากมีส่วนประกอบของโครเมียมออกไซด์และสังกะสีออกไซด์ รวมอยู่ในสีผงสำเร็จรูปด้วยจึงทำให้สีที่ได้เป็นสีน้ำตาลแดง (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2530 : 219)

2. ด้านปฏิริยาที่มีผลต่อเคลือบสี ในด้านการหลอมละลาย ในเคลือบสีที่ใช้ทดลองมี หินฟันม้า ชนิดโปแตส ประกอบอยู่ถึงร้อยละ 59.7 และหินปูนร้อยละ 14.3 ซึ่งคุณสมบัติของ หินฟันม้า และหินปูน จะเป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิ และเป็นตัวช่วยหลอมละลายวัตถุดิบอื่น ๆ ให้ อุณหภูมิการเผาต่ำลง (โกมล รักษ์วงศ์. 2531 : 35, 48) จึงมีผลทำให้เคลือบมีการหลอมละลายดี ในทุกสูตรที่ใช้ทดลอง

ในด้านความสม่ำเสมอของสี ในการเผาบรรยากาศออกซิเดชัน มี 70 สูตร ที่สีมีความสม่ำเสมอ การเผาในบรรยากาศรีดักชัน มี 115 สูตร ที่สีมีความสม่ำเสมอ และสูตรที่สีมีความสม่ำเสมอ ในการเผาทั้ง 2 บรรยากาศ มี 71 สูตร ซึ่งในด้านความสม่ำเสมอของสีนั้นในสูตรที่ ไม่มีความสม่ำเสมอมีสาเหตุจากหลายปัจจัยตั้งแต่ละลี่ย่อมมีช่วงอุณหภูมิในการเผาต่างกัน จึงต้องระมัดระวังการไม่คงที่ของสี เมื่อนำไปใช้ อาจเกิดจากการเผาที่อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดปฏิริยาที่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นเหตุให้ไม่ได้สีที่ติดพอ และถ้าเผาที่อุณหภูมิสูงเกินจุดเหมาะสม สีก็จะจางหายไปด้วยเหมือนกัน บรรยากาศภายในเตาขณะทำการเผาเป็นสิ่งสำคัญ และทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับส่วนผสมของเคลือบ และจำนวนสีผงสำเร็จรูปที่ใช้ผสมเคลือบด้วย (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 18-19 : 2531)

ในด้านการเกิดรูเข็มบนเคลือบ ทุกสูตรไม่พบว่ามีรูเข็มปรากฏ ทั้งนี้เนื่องจากขั้นตอนการนวดดินก่อนทำขึ้นทดสอบ ไม่มีฟองอากาศเหลืออยู่ในดิน รวมทั้งเคลือบที่ใช้มีความหนืดของเคลือบเหมาะสมและเคลือบที่ใช้ไม่ได้เก็บไว้นาน ซึ่งสารเสร็จแล้วใช้งานทันทีเพราะหากเก็บนาน น้ำเคลือบจะตกตะกอน และเกิดการสลายตัวของ คาร์บอนเนต เกิดแก๊สขึ้น รวมทั้งขึ้นทดสอบสะอาด ดังนั้นขึ้นทดสอบทั้งหมดจึงไม่เกิดรูเข็มบนผิวเคลือบ ซึ่งตรงกับ โกมล รักษ์วงศ์. (2531 : 99-102) ได้กล่าวไว้

ในด้านการร้าวตัวของเคลือบ ทุกสูตรมีการร้าวตัว เกิดจากการขยายตัวของน้ำเคลือบและ

เนื้อดินปั้นไม่เท่ากัน แกะไขน้ำเคลือบโดยลวดวัตถุที่ทำหน้าที่เป็นตัวหลอมละลาย และเติม flint ลงไป ส่วนเนื้อดินให้ลดหินแก้ว และเติมอลูมินาลงไป (ทวิ พรหมพฤษช์. 2523 : 119) รวมทั้งการนำผลิตภัณฑ์ออกจากเตาเร็วเกินไป ทำให้น้ำเคลือบหดตัวเกิดการร้าวตัวของเคลือบขึ้น (ทรงพันธ์ วรรณมาศ. 2530 : 154) และการเกิดแรงเค้นในเคลือบในระหว่างการหดตัวหากเคลือบและชิ้นของผลิตภัณฑ์มีการหดตัวเท่าๆ กันในระหว่างรอให้เย็น จะไม่เกิดแรงเค้นขึ้นแต่ถ้ามีการหดตัวไม่เท่ากันแรงเค้นจะเกิดขึ้นในเคลือบซึ่งหากเกิดมากก็จะทำให้เสียหายเพราะเคลือบมีความต้านทานต่อแรงอัดสูงแต่มีความต้านทานต่อแรงดึงต่ำ (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2539 : 35)

ในด้านการดึงตัวทุกสูตรไม่พบการดึงตัวทั้งนี้เพราะขณะทำการทดลองน้ำเคลือบที่ใช้มีการบดละเอียด 80 เมช ซึ่งไม่ละเอียดเกินไปรวมทั้งชุบเคลือบหนาพอเหมาะและผิวชั้นทดสอบสะอาดจึงมีผลทำให้ไม่พบการดึงซึ่งตรงกับ ทวิ พรหมพฤษช์ (2523 : 120) ได้กล่าวไว้

ในด้านความมันวาวของเคลือบ ในการเผาบรรยากาศออกซิเดชัน มี 15 สูตร ที่เคลือบมีความมันวาว ในการเผาบรรยากาศรีดักชันมี 5 สูตร ที่เคลือบมีความมันวาว และสูตรที่มีความมันวาวในการเผาทั้ง 2 บรรยากาศ มี 3 สูตร โดยเคลือบส่วนใหญ่จะมีลักษณะกึ่งมันกึ่งด้าน สาเหตุที่ทำให้เกิดผิวเคลือบลักษณะนี้มีหลายปัจจัย อาจเกิดจากการเผาที่ไม่ถึงอุณหภูมิทำให้เคลือบไม่สุก ส่วนผสมน้ำเคลือบบางชนิดระเหย (ทวิ พรหมพฤษช์. 2523 : 120) ซึ่งตรงกับ ปุณณรัตน์ พิชญ์ไพบูลย์. (131 : 2538) ได้กล่าวไว้ นอกจากนี้ถ้าชั้นทดสอบ มีความพรุนตัวมาก โดยเฉพาะชั้นทดสอบที่มีปริมาณ ซิลิกาสูง ชั้นของเคลือบอาจถูกดูดกลืนโดยเนื้อชั้นทดสอบ และจะเหลือเนื้อแก้วอยู่บนชั้นทดสอบน้อย ทำให้เคลือบขาดความมันวาวไป (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2539 : 362) จึงทำให้ผิวเคลือบที่ได้จะมีลักษณะกึ่งมันกึ่งด้านเกือบทั้งหมด มีเพียง 20 สูตร ที่มีผิวมัน จึงมีผลทำให้ไม่พบความมันในทุกสูตรที่ใช้ทดลองเช่นกัน

3. ด้านการชะโลหะหนัก จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าค่าโลหะหนักที่ถูกชะออกมาหลังทำการสกัดมีค่าต่ำกว่าประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 พ.ศ.2539 ทั้ง 5 ธาตุ ทั้งนี้เพราะในขั้นตอนการผลิตสีผงสำเร็จรูปมีส่วนผสมของดินขาวระนอง อลูมินา และควอดซ์ ผสมอยู่ด้วย หลังจากเผาที่ อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ควอดซ์จะละลายตัวรวมกับออกไซด์ของโลหะหนักในลักษณะของแข็งละลายกัน (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2535 : 233) และทำให้โลหะหนักเปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปสารประกอบซิลิเกต (โกมล รัชวงศ์. 2531 : 62) เมื่อนำสีผงสำเร็จรูปไปผสมเคลือบและทำการเผา หินฟันม้า และซิลิกาจะหลอมรวมตัวกับสีผงสำเร็จรูป นอกจากนี้อลูมินาก็ทำให้เคลือบทนต่อการกัดกร่อนของกรดต่างได้ดี ดังนั้นจึงทำให้โลหะหนักที่ถูกชะออกมามีน้อยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมอีกต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการทดลองไปใช้

1.1 สีส้มสำเร็จรูปที่ได้ ในอัตราส่วนที่ทำการทดลองนี้ จะได้สีที่ไม่คงที่ เพราะปริมาณโลหะหนักที่อยู่ในกากตะกอนต่างกัน ดังนั้นหากจะทำสีส้มสำเร็จรูปจากกากตะกอนโลหะหนักควรมีการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนทุกครั้ง และควรทำซ้ำในอัตราส่วนผสม และบรรยากาศการเผาเดิมเพื่อหาความคงตัวของสีส้มสำเร็จรูปก่อนนำสีส้มสำเร็จรูปนั้นไปใช้งาน

1.2 การนำเคลือบสีจากการทดลองนี้ไปใช้เคลือบกับเนื้อดินปั้นชนิดอื่น ควรมีการทดลองก่อนนำไปใช้งาน เนื่องจากเกิดความไม่เหมาะสมระหว่างเคลือบสีของผู้วิจัย และเนื้อดินปั้นของผู้ใช้ ทำให้ผลที่ได้ไม่เป็นไปตามความต้องการ

1.3 กากตะกอนโลหะหนักเป็นสารมีพิษ ทุกครั้งที่สัมผัสกากตะกอนที่เก็บมาจากโรงงาน ควรสวมถุงมือทุกครั้งเพื่อป้องกันสารพิษเข้าสู่ร่างกาย

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรศึกษาอัตราส่วนผสมของสีส้มสำเร็จรูป ในระดับอุณหภูมิอื่น ๆ เช่น 1,280 องศาเซลเซียส, 1,300 องศาเซลเซียส

2.2 ศึกษาวิธีการกำจัดความเป็นพิษของกากตะกอนโลหะหนัก โดยการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่วิธีอื่น ๆ เช่น การสกัดโลหะหนักที่มีผลตอบแทนคุ้มค่าในเชิงอุตสาหกรรมออกจากกากตะกอน

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กรกช วิเชษฐพิทยาพงษ์. การศึกษาการแพร่กระจายของโลหะหนักที่เป็นพิษในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างช่วงปากแม่น้ำถึงคลองเทเวศน์. วิทยานิพนธ์ วศ.ม.กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527. อัดสำเนา.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม,กรม. การกำจัดกากของเสียอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม. ม.ป.ป..
- กรมวิทยาศาสตร์บริการ. "น้ำทิ้งจากโรงงานชุบโครเมียม," ข่าวกรมวิทยาศาสตร์บริการ (91) : 14-18; กันยายน 2522.
- กระทรวงอุตสาหกรรม,กระทรวง. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539). กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.ม.ป.ป.
- _____. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540). กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.ม.ป.ป..
- "การกำจัดกากของเสียจากกิจการอุตสาหกรรม," สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. 5(25) : 37-41; พฤศจิกายน - ธันวาคม 2538.
- "การกำจัดน้ำเสีย สำหรับโรงชุบโลหะ," โรงงาน 1(3);มิถุนายน-กันยายน 2535.
- กองสิ่งแวดล้อมโรงงาน. "ศูนย์บริการกำจัดน้ำทิ้งและกากพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม," โรงงาน. 2(3) : 44-57; ธันวาคม 2526.
- โกมล รัชวงศ์. วัตถุดิบที่ใช้ในงานเครื่องเคลือบดินเผาและเนื้อดินปั้น นนทบุรี : สำนักพิมพ์โรงเรียนมารดานุเคราะห์, 2531.
- _____. งานทำสีสำเร็จรูป. กรุงเทพฯ : ม.ป.ท., 2531.
- จินตนา กรมน้อย. "การกำจัดกากของเสียอันตรายจากอุตสาหกรรม," เทคโนโลยี. 9 : 111-118; พฤษภาคม 2538.
- ดารี สุโชธนัง. "วัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์," วัสดุศาสตร์. 2(2) : 9-15; ธันวาคม 2522.
- ทรงพันธ์ วรรณมาศ. เครื่องปั้นดินเผา กรุงเทพฯ : ภาควิชาพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการหน่วยศึกษานิเทศก์ กรมการฝึกหัดครู, 2530.
- ทวี พรหมฤกษ์. เครื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น โอเดียนสโตร์, 2523.
- _____. เตาและการเผา. กรุงเทพฯ: ม.ป.ท., 2524.

- ทวี พรหมอุทิศ. เตาและการเผา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จงเจริญการพิมพ์, 2525.
- _____. วิชาเรื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2523.
- _____. เอกสารประกอบการสอนป็น 363 เตาและการเผา. กรุงเทพฯ : คณะวิชา
อุตสาหกรรมศิลป์ วิทยาลัยครูพระนคร, 2525.
- บุญยงค์ โหล่งศ์วัฒน์. "การจัดทากาสารพิษที่อันตรายต่อสิ่งแวดล้อม," โรงงาน. 10(1):60-66;
ตุลาคม - มกราคม 2534.
- _____. "การกำจัดกากของเสียที่อันตรายต่อสิ่งแวดล้อม," โรงงาน. 11(1):25-31; ตุลาคม -
มกราคม 2535.
- _____. การกำจัดกากของเสียอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม;
กันยายน 2535.
- ปณณรัตน์ พิชญ์ไพบูลย์. เครื่องเคลือบดินเผาเทคนิคและวิธีการสร้างสรรค์ กรุงเทพฯ :
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. เคลือบเซรามิกซ์. กรุงเทพฯ : อักษรเจริญทัศน์, 2530.
- _____. เซรามิกซ์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.
- _____. เซรามิกซ์. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- _____. เคลือบเซรามิกซ์. กรุงเทพฯ : อักษรเจริญทัศน์, 2530.
- พิชิต สกุลพราหมณ์. การสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัย
สิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2535.
- ไพจิตร อิงศิริวัฒน์. รวมสูตรเคลือบเซรามิกซ์. กรุงเทพฯ : โอ.เอส.พรินติ้งเฮาส์, 2537.
- "รวม.อุตสาหกรรมตรวจเยี่ยมศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมที่จังหวัดราชบุรี," กรมโรงงาน
อุตสาหกรรม. 1(3) : 2; กรกฎาคม - กันยายน 2538.
- รวมกฎหมายเกี่ยวกับโรงงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : บพิธการพิมพ์, 2533.
- โรงงาน, กรม. กากอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : กรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม, ม.ป.ป..
- วิระ มาวิจักขณ์. "มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับใหม่," โรงงาน. 14 (2) : 5;
กุมภาพันธ์ - พฤษภาคม 2539.
- สมาน ตั้งทองทวี. "บทบาทของศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมในการกำจัดกากของเสีย
อันตรายในปัจจุบันและอนาคต," โรงงาน. 13(3) : 63-77; มิถุนายน - กันยายน 2537.
- สุภา. "การกำจัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะในญี่ปุ่น," ข่าวสารการธรณี. 22(1) : 69-80; มีนาคม
2520.

- สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช, 2531.
- _____. น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช, 2534.
- _____. น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช, 2535.
- สรุปข่าวสิ่งแวดล้อมปี 2538. กรุงเทพฯ : กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2538.
- เสริมศักดิ์ นาคบัว. เคลือบซีเมนต์. กรุงเทพฯ : ม.ป.ท., ม.ป.ป..
- โสมณ เพชรแท้. "ท้ายปลก : ศูนย์กำจัดกากฯ เจนโก้ "อีกโครงการที่รัฐรวบรวบหางจิ้งเหลนด้าน
ชาวบ้านที่หวงตามความจริง," เนชั่นสุดสัปดาห์. 3-9 พฤศจิกายน 2538. หน้า 6.
- ศักดิ์ชัย เกียรติวนาคนิทร์. การออกแบบเครื่องปั้นดินเผา พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ม.ป.ท., 2537.
- อนันต์ภักดิ์ ไซติมงคล. "วัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์," เซรามิกส์ไทย. 5(1) : 20; ธันวาคม
2531.
- Dean, J.G., F.L. Bosqui and K.H. Lanouette. "Removing heavy metals from wastewater,"
Environ. Sci. Technol. 6(6) : 518 - 522; May, 1972.
- Francisco, A. An evaluation and treatment alternative. Bangkok : Thailand: M.S. thesis,
Asian Institute of Technology, 1977.
- Hopper, Robin. The Ceramics Spectrum. Pennsylvania : Chilton Book Company, 1984.
- Lanouette, K.H. "Heavy metals removal," Chem. Eng. 84(21) : 73-80; February, 1977.
- Nelson, Glenn C. Ceramics. New York : Holt, Rinehart and Winston Inc., 1960.
- Newerroom, N.L. Industrial Water Pollution. Original, Characteristics and Treatment
U.S.A. : Addison - Wesley Publishing, 1978.
- Office Of The National Environment Board. National Hazardous Waste Management
Plan. Kingdom Of Thailand : Ministry of Science, Technology and Energy, 1989.
- Ohshima, Y. Beneficial Utilization of incinerated ash and melted slag, Sewage
Sludge Treatment and Use. England : Elsevier Science Publishers LTD., 1985.
- Penland, J.L., F.A. Steward and L.E. Lancy. Modified leach test incorporating an
elutriation step for the evaluation of metal sludge American Society for
Testing and Materials. 1981
- Peters, R. W. and J. Ferg. "The dissolution/ leaching behavior of metal hydroxide/ metal
sulfide sludges from plating wastewaters," Hazardous Waste & Hazardous
Materials. 4(4) : 325-355; March, 1987.

- Rado Paul. An Introduction to the Technology of Pottery. 2nd ed. Worcester : The Worcester Royal Porcelain Company Ltd., 1988.
- Sigworth, E.A. and S.B. Smith. "Absorption of inorganic compounds by activated carbon," J. Am. Waterworks Assoc. 64(6) : 386-392; June, 1972.
- Tay, J.H. Waste Minimization and Recycling in Electroplating workshop. Singapore : Nanyang Technological Institute. 1986
- _____. "Bricks manufactured from sludge," J. Environ. Eng. Div., ASCE 113(2) : 278 - 284; 1987.
- _____. "Sludge ash as filler for portland Cement Concrete," J. Environ. Eng. Div., ASCE. 113(2) : 345 - 351; 1987.
- Tay, J.H. and W.K. Yip. "Sludge ash as lightweight concrete material." J. Environ. Eng. Div., ASCE., 115(1) : 56-64; January, 1989.
- Us.Environment Protection Agency. "Hazardous waste characteristics," Federal Register. 43 (243) : 58955-58957; June, 1978.
- Wentz, C.A. Hazardous Waste Management. New York : McGraw-Hill Book Company, 1989.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ตาราง วิเคราะห์ ผลการทดลอง

ของผู้เชี่ยวชาญ

ตาราง วัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานเซรามิกส์

ตาราง ท่อนวัดไฟ

ตาราง ชื่อสี อุณหภูมิ บรรยากาศ

และเบอร์สี

ตาราง 11 แบบวิเคราะห์หาข้อดีของผู้เชี่ยวชาญ เฝ้าในบรรยากาศออกซิเจนที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างสปีชีส์	สิ่งสำเร็กรูป ร้อยละ 10 ของเซลล์ปัส เฝ้าบรรยากาศออกซิเจน								หมายเหตุ
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									

ข้อสังเกตและ

ตาราง 12 แบบวิเคราะห์หาข้อดีของผู้เชี่ยวชาญ แผนในบรรยากาศที่ดักจับที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างภาคก่อนที่		สิ่งล้าเรื้อรูป ร้อยละ 10 ของเคลือบใส แผนบรรยากาศที่ดักจับ								หมายเหตุ	
ตัวอย่างสี่ที่		ตรงกับเบอรืสี่ของโรงงานโอเรียลตัล เทราเทค เลขที่									
		1	2	3	4	5	6	7	8		
		1									
		2									
		3									
		4									
		5									
		6									
		7									
		8									
		9									
		10									
		11									
		12									
		13									
		14									
		15									
		16									

ตาราง 13 แบบวิเคราะห์ปฏิบัติการที่มีผลต่อเคลือบใส เฝ้าในบรรยากาศออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

สิ่งสำร็จรูป ร้อยละ 10 ของเคลือบใส เฝ้าบรรยากาศออกซิเดชัน ตัวอย่างที่									
ตัวอย่างที่	ปฏิบัติการ	ความสามารถในการหลอมละลาย	ความสม่ำเสมอของสี	รูเข็ม	การรานตัว	การตั้งตัว	ความมัน	ความดัน	หมายเหตุ
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									

ข้อเสนอนี้

ตาราง 14 แบบวิเคราะห์ปฏิบัติการที่มีผลต่อเคลือบใส เฝ้าในบรรยากาศที่ดักจับที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

สิ่งจำเป็นรูป ร้อยละ 10 ของเคลือบใส เฝ้าบรรยากาศที่ดักจับ ตัวอย่างที่									
ตัวอย่างที่	ปฏิบัติการ	ความสามารถในการหลอมละลาย	ความสม่ำเสมอของสี	ความสม่ำเสมอของสี	การรวมตัว	การตั้งตัว	ความมัน	ความดัน	หมายเหตุ
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									

ข้อสังเกต

ตาราง 15 วัตถุดิบที่ใช้ในงานเซรามิกส์ (common ceramic raw materials)

ชื่อสามัญทั่วไป (common name)	ชื่อวิทยาศาสตร์ (chemical name)	สัญลักษณ์ประกอบธาตุ (formula)	น้ำหนักสมมูล (equivalent weight)	สัญลักษณ์ผ่านกระบวนการเผา (fired formula)
alumina	alumina hydroxide	$\text{Al}_2(\text{OH})_6$	156	Al_2O_3
antimony	antimony oxide	Sb_2O_3	292	Sb_2O_3
barium carbonate	barium carbonate	Ba CO_3	197	BaO
bone ash	calcium phosphate	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	103	CaO
borax	sodium tetraborate	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	382	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$
boric acid	boric acid	H_3BO_3	124	B_2O_3
calcite	calcium carbonate (whiting)	CaCO_3	100	CaO
china clay, kaolin	hydrous alumina-silicate	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	258	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$
chrome oxide	chromium oxide	Cr_2O_3	258	Cr_2O_3
chromic oxide				
cobalt oxide (black)	cobalto-cobaltio oxide	Co_3O_4	80	CoO

ตาราง 15 (ต่อ)

ชื่อสามัญทั่วไป (common name)	ชื่อวิทยาศาสตร์ (chemical name)	สัญลักษณ์ประกอบธาตุ (formula)	น้ำหนักสมมูล (equivalent weight)	สัญลักษณ์ผ่านกระบวนการเผา (fired formula)
cobalt blue	cobaltous oxide	$\text{Co}(\text{Al}_2)_2$	80	CoO
cobalt oxide	cobaltic-oxide	CO_2O_3	166	CoO
colemanite	calcium borate	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	206	$2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3$
copper oxide (red)	cuprous oxide	Cu_2O	72	CuO
copper oxide (green)	cupric oxide	CuO	80	CuO
cryolite	cryolite	Na_3AlF_6	420	$3\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
dolomite	calcium magnesium carbonate	$\text{Ca CO}_3\text{MgCO}_3$ or $\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$	184	CaOMgO
feldspar soda (albite)	sodium silica aluminate	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	524	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$

ชื่อสามัญทั่วไป (common name)	ชื่อวิทยาศาสตร์ (chemical name)	สัญลักษณ์ประกอบธาตุ (formula)	น้ำหนักสมมูล (equivalent weight)	สัญลักษณ์ผ่านกระบวนการเผา (fired formula)
feldspar potash (orthoelase)	potassium aluminum- silicates	KAlSi ₃ O ₈	557	K ₂ O:Al ₂ O ₃ .6SiO ₂
flint quartz	silica	SiO ₂	60	SiO ₂
silica				
fluorspar	calcium fluorite	CaF ₂	78	CaF
imenite	ferrous titanate	FeO TiO ₂		
iron oxide (red)	ferric oxide	Fe ₂ O ₃	160	Fe ₂ O ₃
iron scale	ferro-ferric oxide	FeO Fe ₂ O ₂ or Fe ₃ O ₄		
litharge (yellow)	lead oxide lead monoxide	PbO	223	PbO
lepidolite (lithiamina)	lithium aluminum silicate	K ₂ Li ₃ Al ₄ Si ₇ O ₂₁ (OH,F) ₃	356	LiF.KF.Al ₂ O ₃ . .3SiO ₂
lithium carbonate	lithium carbonate	Li ₂ CO ₃	74	Li ₂ O
magnesia	magnesium oxide	MgO	40	MgO

ตาราง 15 (ต่อ)

ชื่อสามัญทั่วไป (common name)	ชื่อวิทยาศาสตร์ (chemical name)	สัญลักษณ์ประกอบธาตุ (formula)	น้ำหนักสมมูล (equivalent weight)	สัญลักษณ์ผ่านกระบวนการ การเผา (fired formula)
magnesite	magnesium carbonate	MgCO ₃	84	MgO
manganese dioxide (black)	manganese dioxide	MnO ₂	87	MnO
nepheline syenite	asilicate of soda potash and alumina	(Na, K) (Al, Si) ₂ O ₄	477	1RO.1.04 Al ₂ O ₃ .4.53 SiO ₂
nickel oxide (green grey)	nickelous oxide	NiO	75	NiO
nickel oxide (black)	nickel protoxide nickel peroxide nickel sesquioxide nickelic oxide	Ni ₂ O ₃	83	NiO
nitre, saltpeter niter	potassium nitrate	KNO ₃	91	KNO ₃
pearl ash potash	potassium carbonate	K ₂ CO ₃ or K ₂ CO ₃ 1 1/2 H ₂ O	138	K ₂ O

ชื่อสามัญทั่วไป (common name)	ชื่อวิทยาศาสตร์ (chemical name)	สัญลักษณ์ประกอบธาตุ (formula)	น้ำหนักสมมูล (equivalent weight)	สัญลักษณ์ผ่านกระบวนการเผา (fired formula)
pyrolusite (black)	manganese dioxide	MnO ₂	87	MnO
red lead (red) minium	triplumbic tetroxide or plumboplumbic oxide	Pb ₃ O ₄	228	PbO
rutile, titanic oxide, titania, titanium white	titanium dioxide	TiO ₂	80	TiO ₂
soda ash	sodium carbonate	Na ₂ CO ₃	106	Na ₂ O
spodumene	lithium aluminum silicate	LiAl (SiO ₃) ₂	372	Li ₂ O.Al ₂ O ₃ .4SiO ₂
talc (steatite) talcum, mineral graphite	magnesium silicate	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ or 3MgO.4Si ₂ .H ₂ O	126	3MgO.4SiO ₂
tin oxide (stannic)	tin oxide, tin protoxide	SnO	151	SnO
whiting	calcium carbonate	CaCO ₃	100	CaO
zinc oxide (chinese white)	zinc oxide	ZnO	81	ZnO
zircon	zirconium silicate	ZrO ₂ .SiO ₂ or ZrSiO ₄	123	ZrO ₂

ตาราง 16 พุ่มวัดไฟ ออร์ตัน

Cone Number	Large Cones				Small Cones		Cone Number	P C E. Cones	
	(1)60°C	108°F	150°C	270°F	300°C	540°F		150°C	270°F
022	585°C	1085°F	600°C	1112°F			12	1337°C	2439°F
021	602	1116	614	1137	634°C	1189°F	13	1349	2460
							14	1398	2548
020	625	1157	635	1135	666	1231	15	1430	2606
019	668	1234	683	1261	723	1333			
018	696	1285	717	1323	752	1386	16	1491	2716
017	727	1341	747	1377	784	1443	17	1512	2754
016	767	1407	792	1458	825	1517	18	1522	2772
							19	1541	2806
015	790	1464	804	1479	843	1549	20	1564	2847
014	834	1533	838	1540					
013	869	1596	852	1566			23	1605	2921
012	866	1591	884	1623			26	1621	2950
011	886	1627	894	1641			27	1640	2984
							28	1646	2995
010	887	1629	894	1641	919	1686	29	1659	3018
09	915	1679	923	1693	955	1751			
08	945	1733	955	1751	983	1801	30	1665	3029
07	973	1783	984	1803	1008	1846	31	1683	3061
06	991	1816	999	1830	1023	1873	31½	1699	3090
							32	1717	3123
05	1031	1888	1046	1915	1062	1944	32½	1724	3135
04	1050	1922	1060	1940	1098	2008			
03	1086	1987	1101	2014	1131	2068	33	1743	3169
02	1101	2014	1120	2048	1148	2098	34	1763	3205
01	1117	2043	1137	2079	1178	2152	35	1785	3245
							36	1804	3279
1	1136	2077	1154	2109	1179	2154	37	1820	3308
2	1142	2088	1162	2124	1179	2154			
3	1152	2106	1168	2134	1196	2185	38	1850	3362
4	1168	2134	1186	2167	1209	2208	39	1865	3389
5	1177	2151	1196	2185	1221	2230	40	1885	3425
							41	1970	3578
6	1201	2194	1222	2232	1255	2291	42	2015	3659
7	1215	2219	1240	2264	1264	2307			
8	1236	2257	1263	2305	1300	2372			
9	1260	2300	1280	2336	1317	2403			
10	1285	2345	1294	2381	1330	2426			
11	1294	2361	1315	2399	1336	2437			
12	1306	2383	1326	2419	1355	2471			
13	1321	2410	1346	2455					
14	1388	2530	1366	2491					
15	1424	2528	1431	2608					
16	1455	2650	1473	2683					
17	1477	2691	1485	2705					
18	1500	2732	1506	2743					
19	1520	2768	1528	2782					
20	1542	2808	1549	2820					
23	1586	2887	1590	2894					
26	1589	2892	1605	2921					
27	1614	2937	1627	2961					
28	1614	2937	1633	2971					
29	1624	2955	1645	2993					
30	1636	2977	1654	3009					
31	1661	3022	1679	3054					
32	1706	3103	1717	3123					
32½	1718	3124	1730	3146					
33	1732	3150	1741	3166					
34	1757	3195	1759	3198					
35	1784	3243	1784	3243					
36	1798	3268	1796	3265					

ตาราง 17 ทุ่นวัดไฟ เซกเกอร์

No. S.K.	temp. C	No. S.K.	temp. C
022	600	8	1250
021	650	9	1280
020	670	10	1300
019	690	11	1320
018	710	12	1350
017	730	13	1380
016	750	14	1410
015 A	790	15	1435
014 a a	815	16	1460
013 a	835	17	1480
012 a	855	18	1500
011 a	880	19	1520
010 a	900	20	1530
09 a	920	26	1580
08 a	940	27	1610
07 a	960	28	1630
06 a	980	29	1650
05 a	1000	30	1670
04 a	1020	31	1690
03 a	1040	32	1710
02 a	1060	33	1730
01 a	1080	34	1750
1 a	1100	35	1770
2 a	1120	36	1790
3 a	1140	37	1825
4 a	1160	38	1850
5 a	1180	39	1880
6 a	1200	40	1920
7 a	1230	41	1960

ตาราง 18 ชื่อสี อุณหภูมิ บรรยากาศ และเบอร์สี

Sales No.	Color	System	Max. Temp.	Atmosphere
20101	Chrome Green	Al-Cr	1300 °C	Oxidation- Reduction
20102	Peacock Green	Al-Cr-Co	1300 °C	Oxidation- Reduction
20104	Green	Al-Cr	1300 °C	Oxidation- Reduction
20106	Peacock Green	Al-Cr-Co	1300 °C	Oxidation- Reduction
20202	Turquoise Blue	Zr-Si-V	1280 °C	Oxidation- Reduction
20234	Cobalt Blue	Al-Si-co	1300 °C	Oxidation- Reduction
20235	Royal Blue	Si-Co	1300 °C	Oxidation- Reduction
20236	Blue	Al-Si-co	1300 °C	Oxidation- Reduction
20266	Blue	Al-Co-Cr	1300 °C	Oxidation- Reduction
20281	Peacock Blue	Al-Co-Cr	1300 °C	Oxidation- Reduction
20303	Praseodymium Yellow	Zr-Si-Pr	1250 °C	Oxidation-
20313	Vanadium Yellow	Zr-V	1250 °C	Oxidation-
20315	Vanadium Yellow	Zr-V	1250 °C	Oxidation- Reduction

ตาราง 18 (ต่อ)

Sales No.	Color	System	Max. Temp.	Atmosphere
20323	Titanium Yellow	Ti-Sb-Cr	1250 °C	Oxidation
20333	Titanium Yellow	Ti-Sb-Cr	1250 °C	Oxidation
20402	Black	Co-Fe-Cr	1280 °C	Oxidation- Reduction
20404	Black	Co-Fe-Cr	1280 °C	Oxidation- Reduction
20505	Blue Grey	Zr-Co-Ni	1250 °C	Oxidation
20506	Brown Gray	Zr-Co-Ni	1280 °C	Oxidation
20507	Gray	Zr-Co-Ni	1280 °C	Oxidation- Reduction
20605	Brown	Al-Zn-Cr- Fe	1280 °C	Oxidation
20630	Coffee Brown	Al-Zn-Cr- Fe	1250 °C	Oxidation
20650	Dark Coffee Brown	Al-Zn-Cr- Fe	1250 °C	Oxidation
20706	Coral Pink	Zr-Si-Fe	1220 °C	Oxidation
20744	Coral Pink	Zr-Si-Fe	1220 °C	Oxidation
20747	Maroon	Sn-Cr-Ca	1250 °C	Oxidation

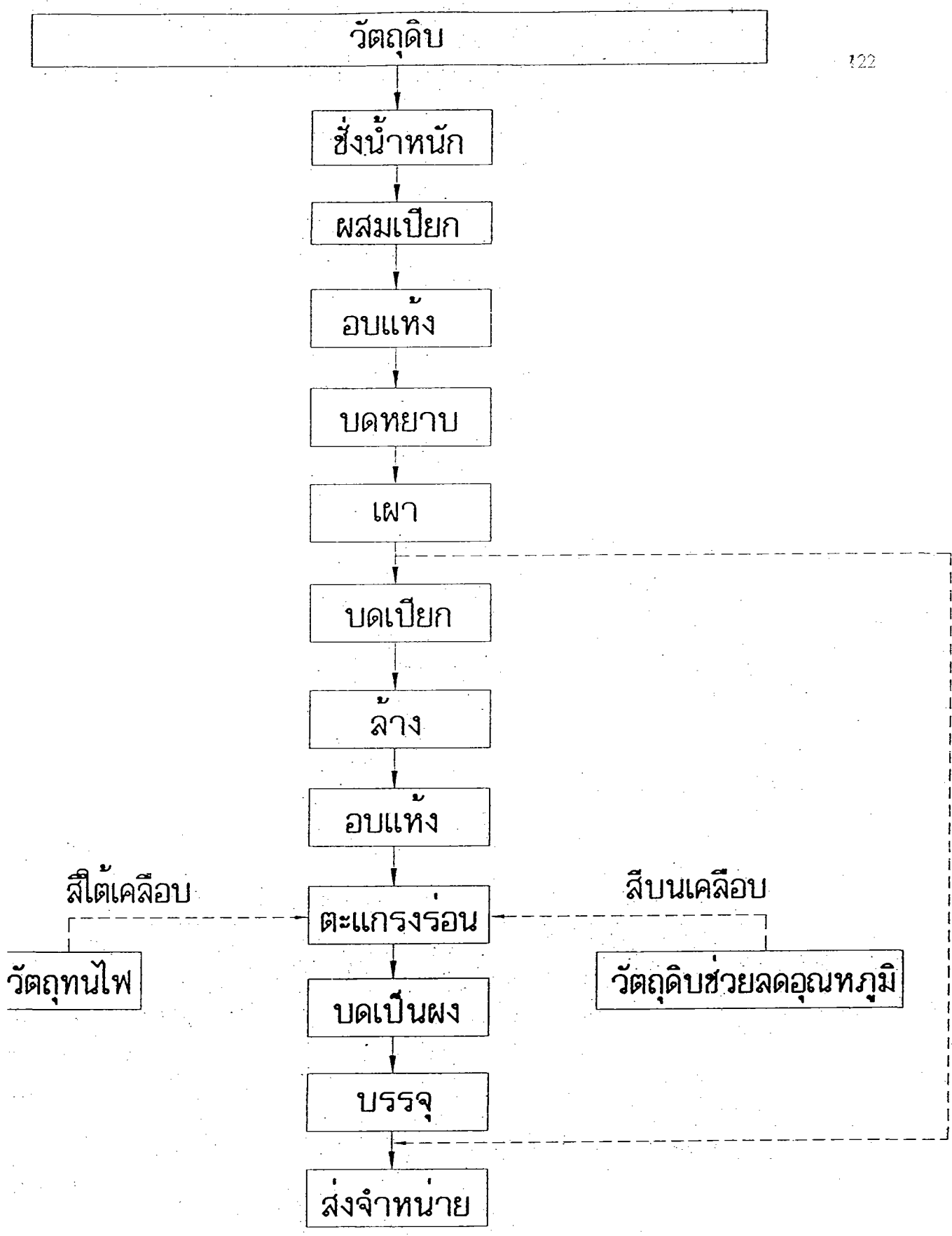
ตาราง 18 (ต่อ)

Sales No.	Color	System	Max. Temp.	Atmosphere
20757	Pink	Sn-Cr-Ca	1250 °C	Oxidation
20790	Oraange Red	Zr-Si-Cd-Se	1250 °C	Oxidation
20792	Oraange Red	Zr-Si-Cd-Se	1250 °C	Oxidation
20798	Oraange	Zr-Si-Cd-Se	1250 °C	Oxidation
20808	Vioolet	Sn-Cr	1250 °C	Oxidation
MG-4	Moss Green	Zr-Pr-V	1250 °C	Oxidation
21101	Chrome Green	Al-Cr	1300 °C	Oxidation
21104	Green	Al-Cr	1300 °C	Oxidation
21202	Turquoise Blue	Zr-Si-V	1280 °C	Oxidation
21236	Cobult Blue	Al-Si-Co	1300 °C	Oxidation
21238	Cobult Blue	Al-Si-Co	1300 °C	Oxidation
21315	Vanadium Yellow	Zr-V	1400 °C	Oxidation- Reduction
21323	Titanium Yellow	Ti-Sh-Cr	1280 °C	Oxidation

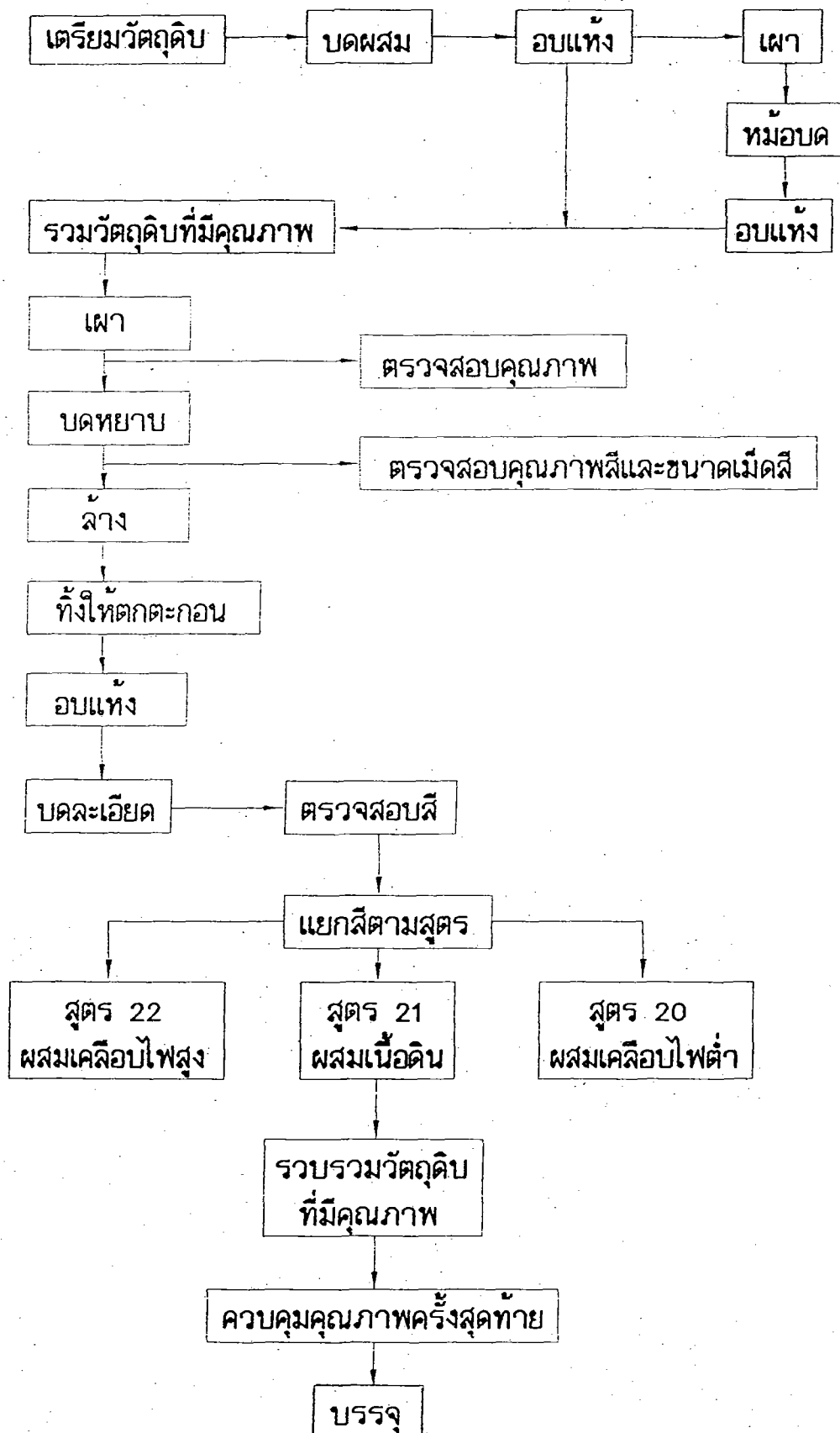
ตาราง 18 (ต่อ)

Sales No.	Color	System	Max. Temp.	Atmosphere
21345	Light Brown	Ti-Sh-Cr	1280 °C	Oxidation
21333	Titanium Yellow	Ti-Sh-Cr	1280 °C	Oxidation
21351	Brown	Ti-Sh-Cr	1280 °C	Oxidation
21407	Gray	Cr-Fe	1300 °C	Oxidation
21408	Black	Co-Cr-Fe	1300 °C	Oxidation
21409	Black	Co-Cr-Fe	1300 °C	Oxidation
21644	Coffee Black	Fe-Cr-Ni	1250 °C	Oxidation
21677	Dark Brown	Ti-Cr-Cb	1250 °C	Oxidation
21706	Iron Pink	Zr-Si-Fe	1250 °C	Oxidation
21721	Iron Red	Si-Fe	1200 °C	Oxidation
21737	Pink	Al-Mn	1400 °C	Oxidation

ภาคผนวก ข
ภาพประกอบ การผลิตสีผงสำเร็จรูป

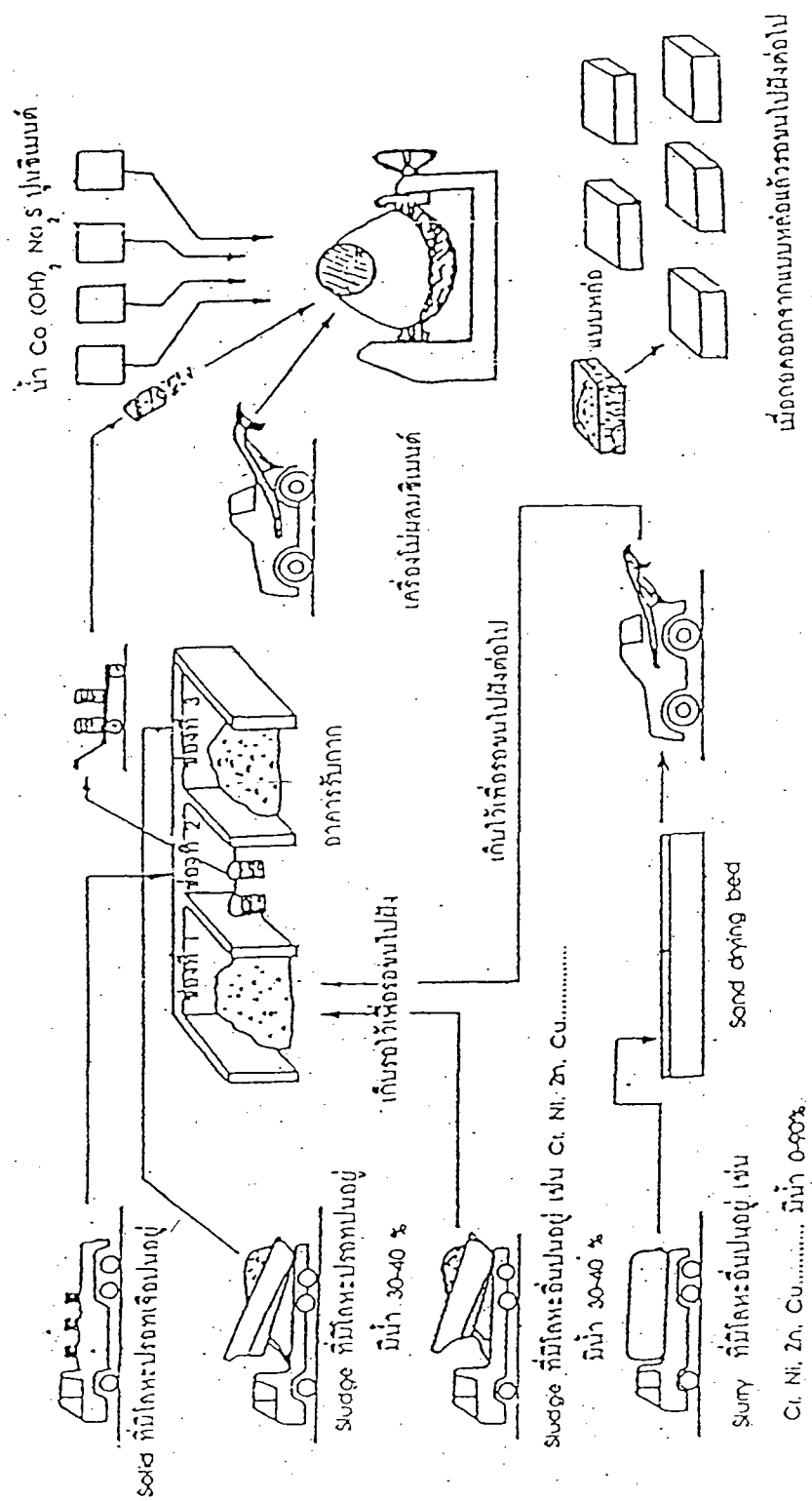


ภาพประกอบ 8 กรรมวิธีการผลิตสีผงสำเร็จรูปสำหรับใช้ผสมในเคลือบโดยทั่วไป

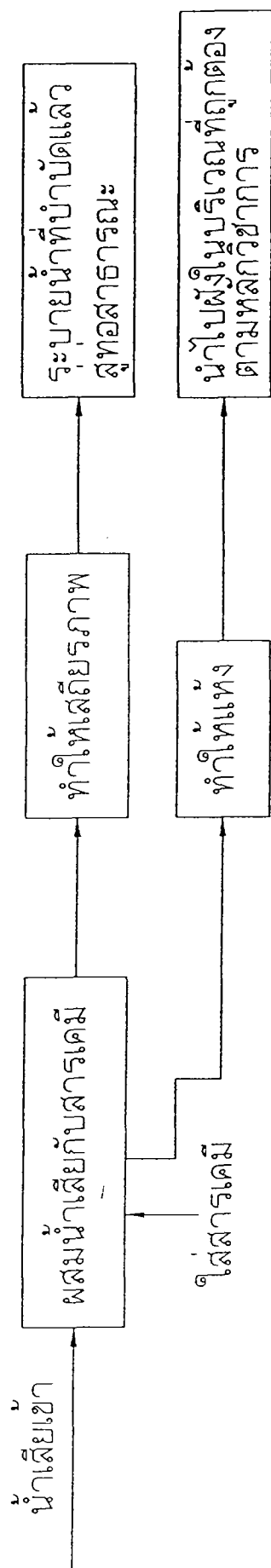


ภาคผนวก ค

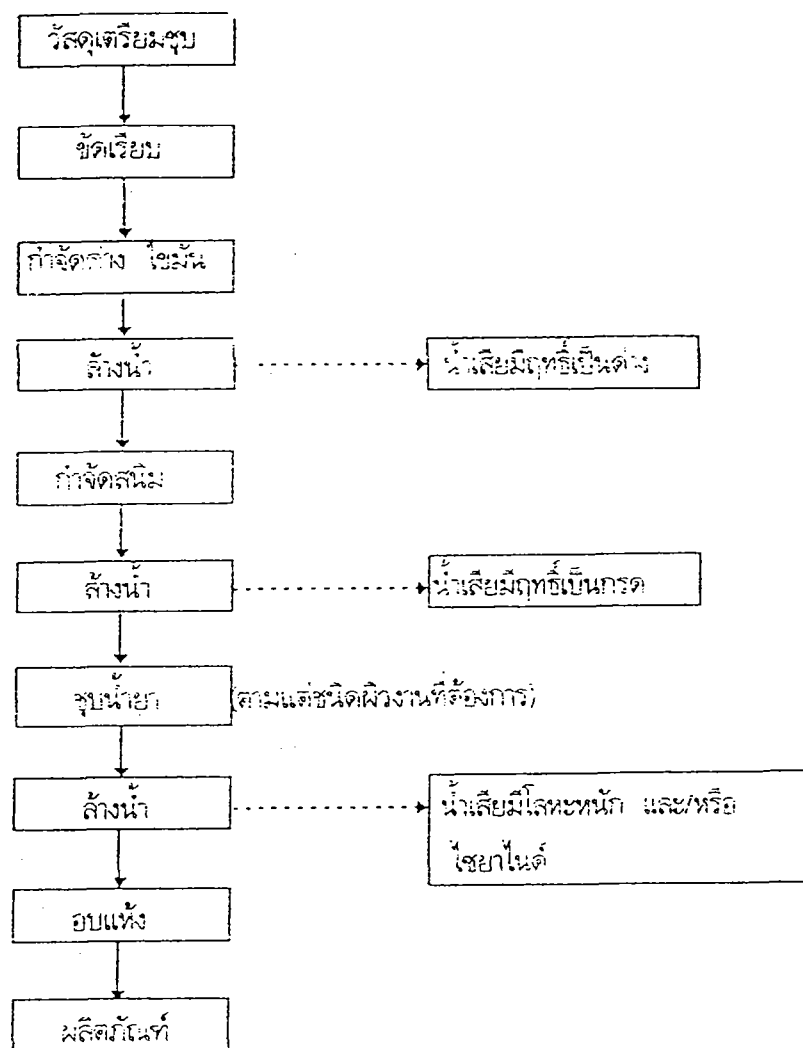
ภาพประกอบ การบำบัดกากของเสีย
ศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรม (แสมดำ)



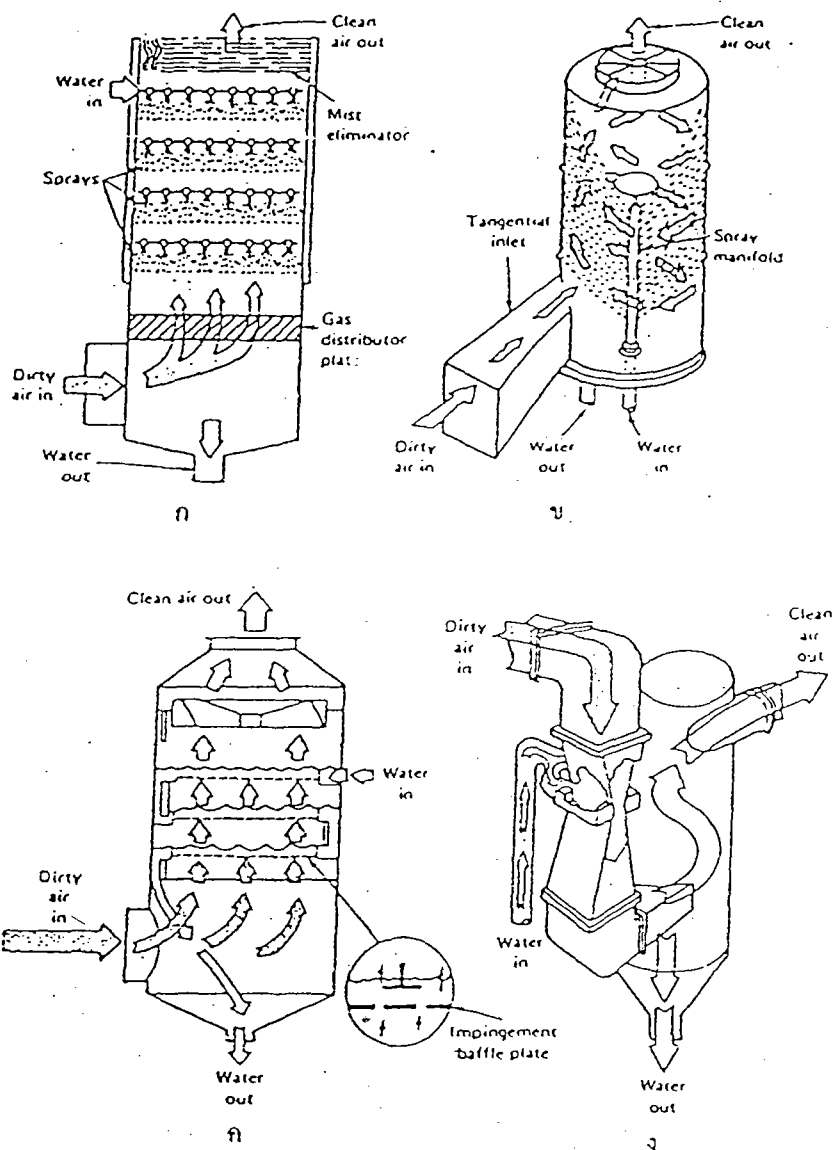
ภาพประกอบ 11 ขบวนการทำลายฤทธิ์จากการพิษและการกำจัดกากอุตสาหกรรม (บุญยงค์ โค้วทัญวัฒนะ, 2534 : 61)



ภาพประกอบ 12 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียจากโรงบำบัดของชุมชนบริการกำจัดกากอุตสาหกรรม
(Office of The National Environmental Board. 1989 : 48)



ภาพประกอบ 13 แสดงขั้นตอนการขูดโลหะและแหล่งกำเนิดน้ำเสียของโรงงานขูดโลหะโดยทั่วไป



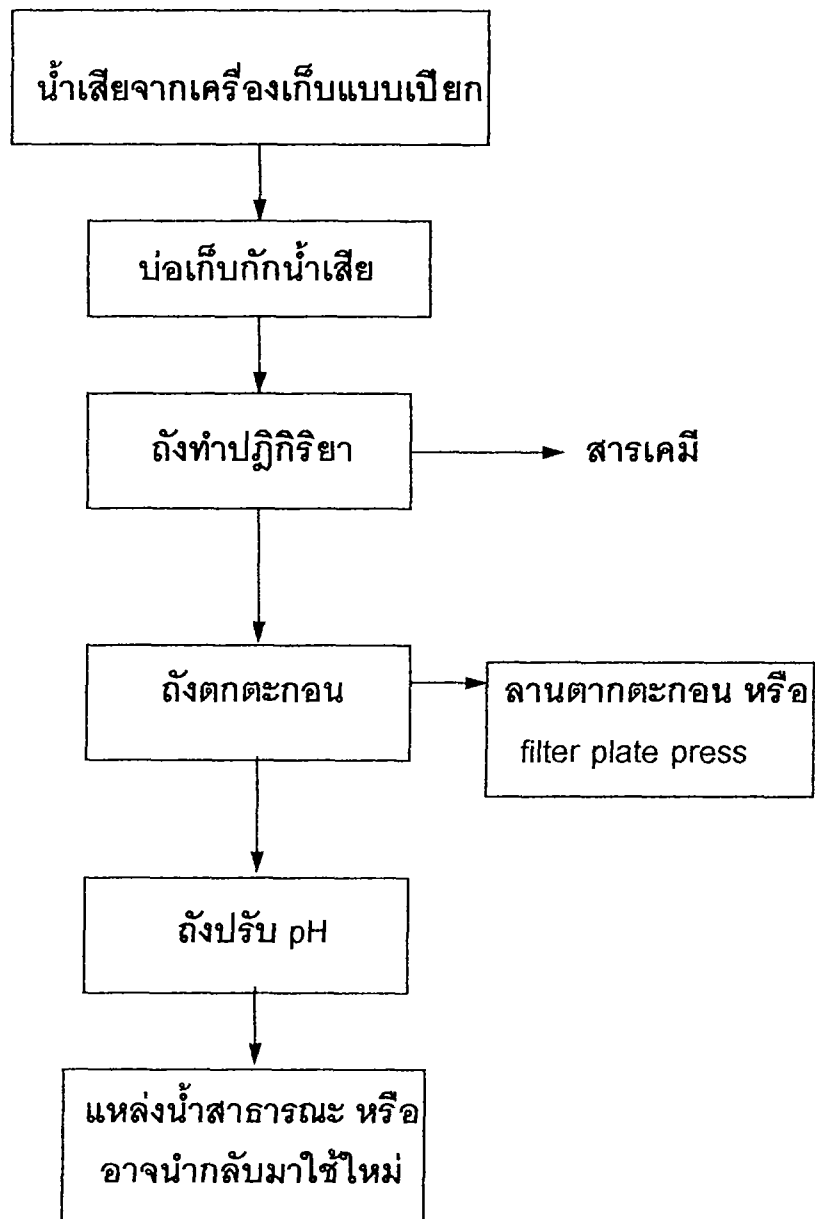
ลักษณะของเครื่องเก็บแบบเปิด

(ก) spray tower

(ข) cyclone spray tower (ค) impingement scrubber

(ง) venturi scrubber

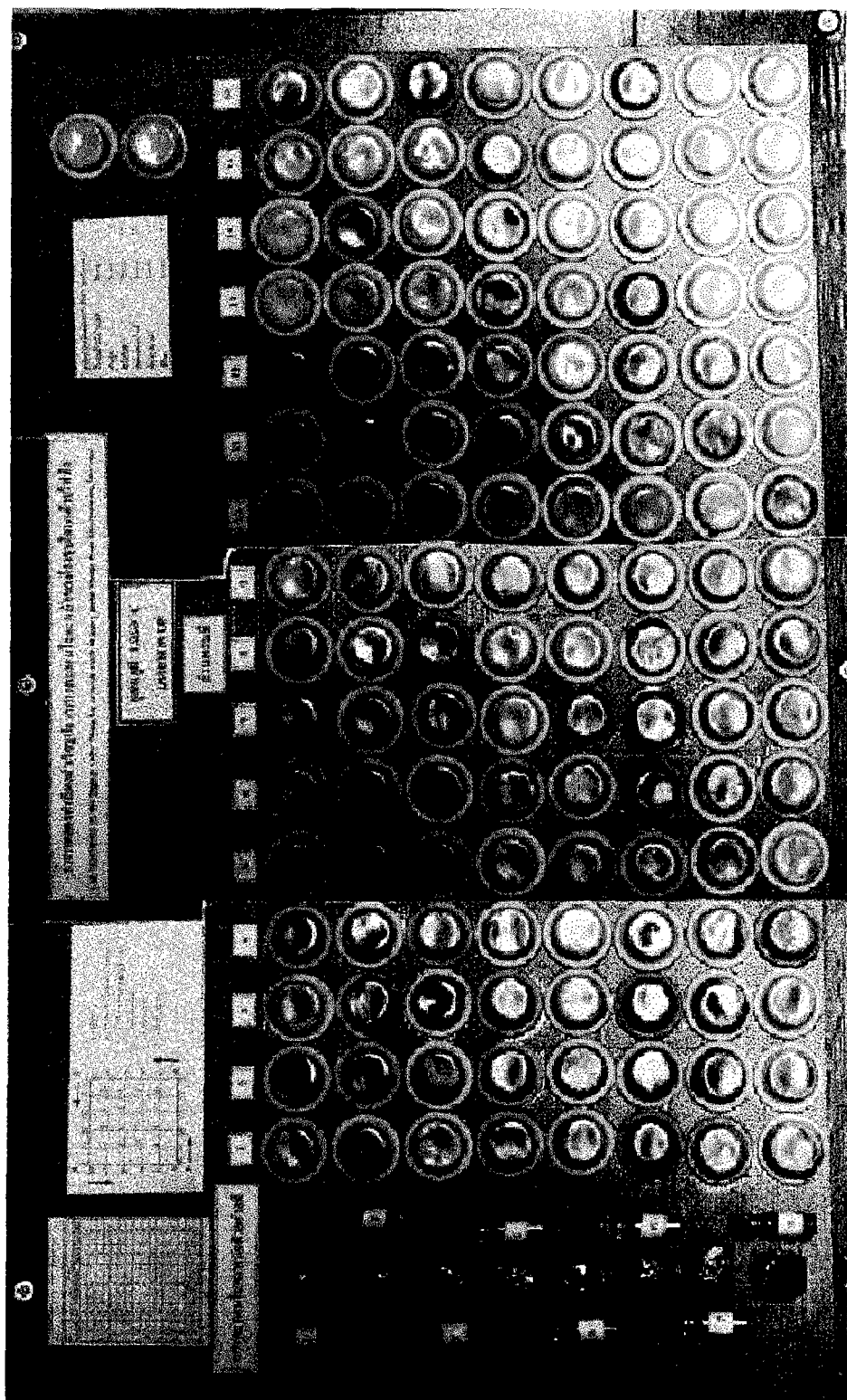
ภาพประกอบ 14 ลักษณะเครื่องเก็บแบบเปิด



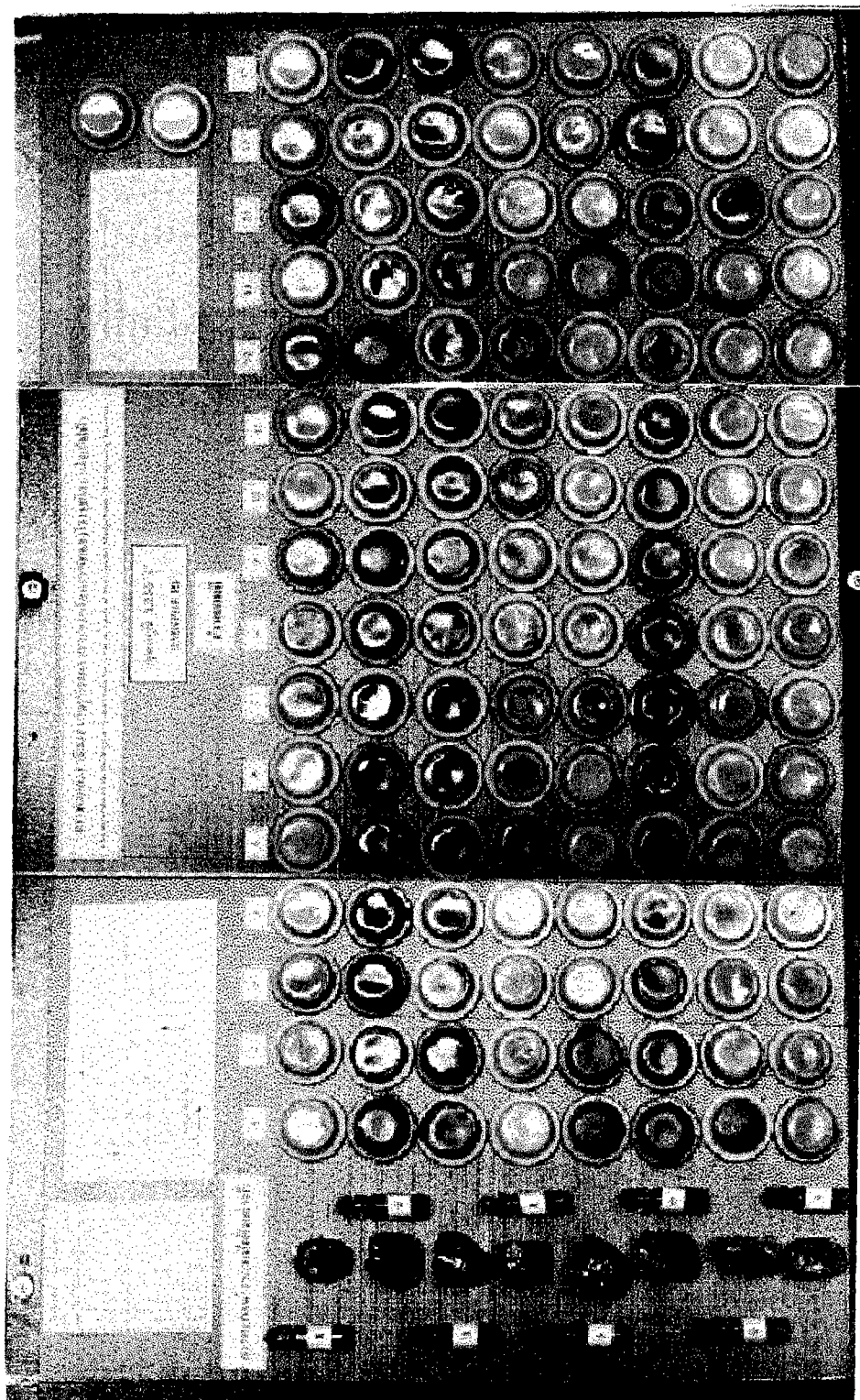
ภาพประกอบ 15 แผนภูมิการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านออกมาจากเครื่องเก็บแบบเปียก

ภาคผนวก ง

ภาพประกอบ ผลการทดลองการเผาเคลีอบ
ในบรรยากาศ ออกซิเดชัน และรีดักชัน



ภาพประกอบ 16 ผลการทดลองการเผาเชื้อเพลิงในบรรยากาศออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

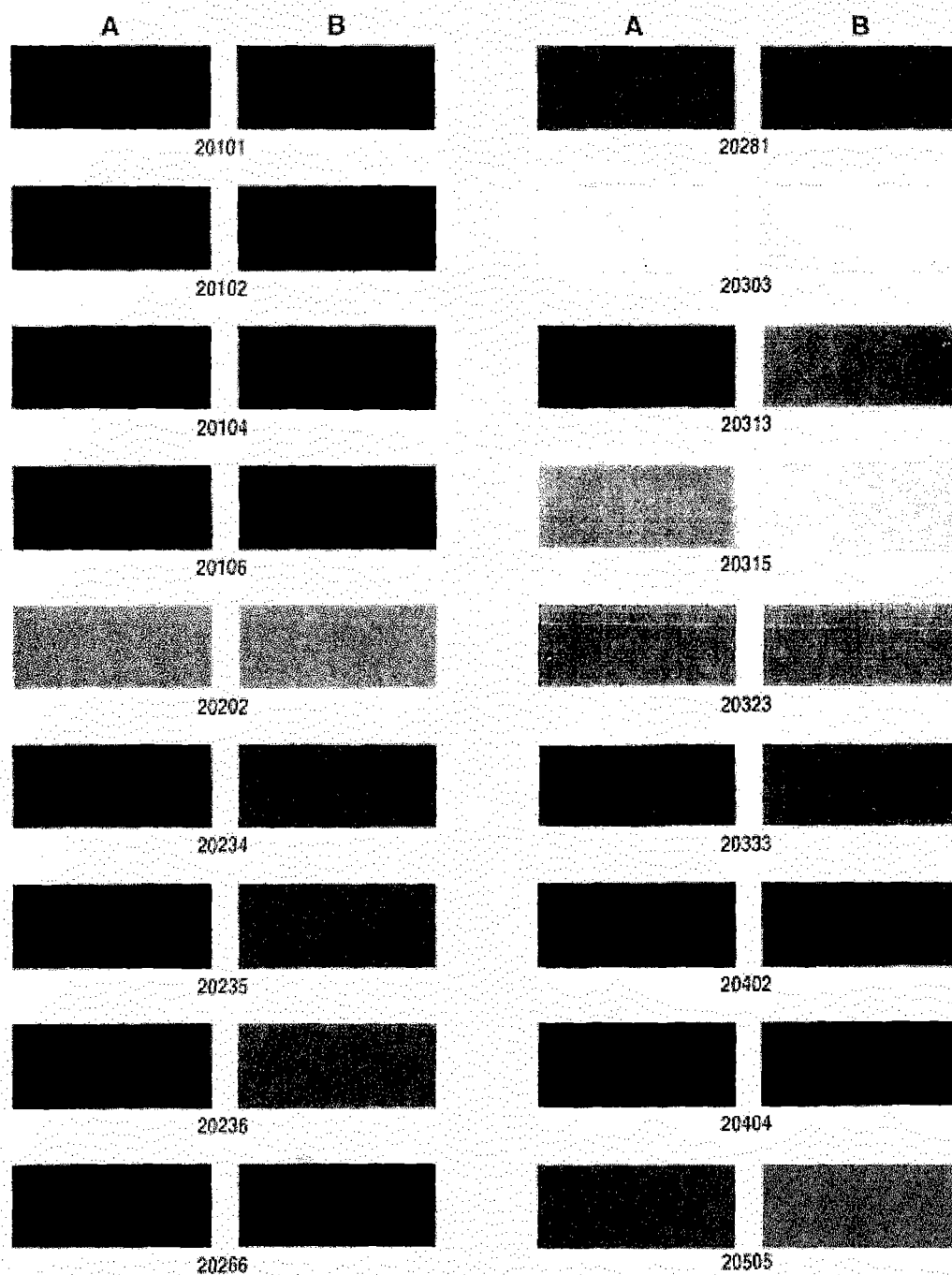


ภาพประกอบ 17 ผลการทดลองการเผาผลาญในบรรยากาศรีดักชันที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

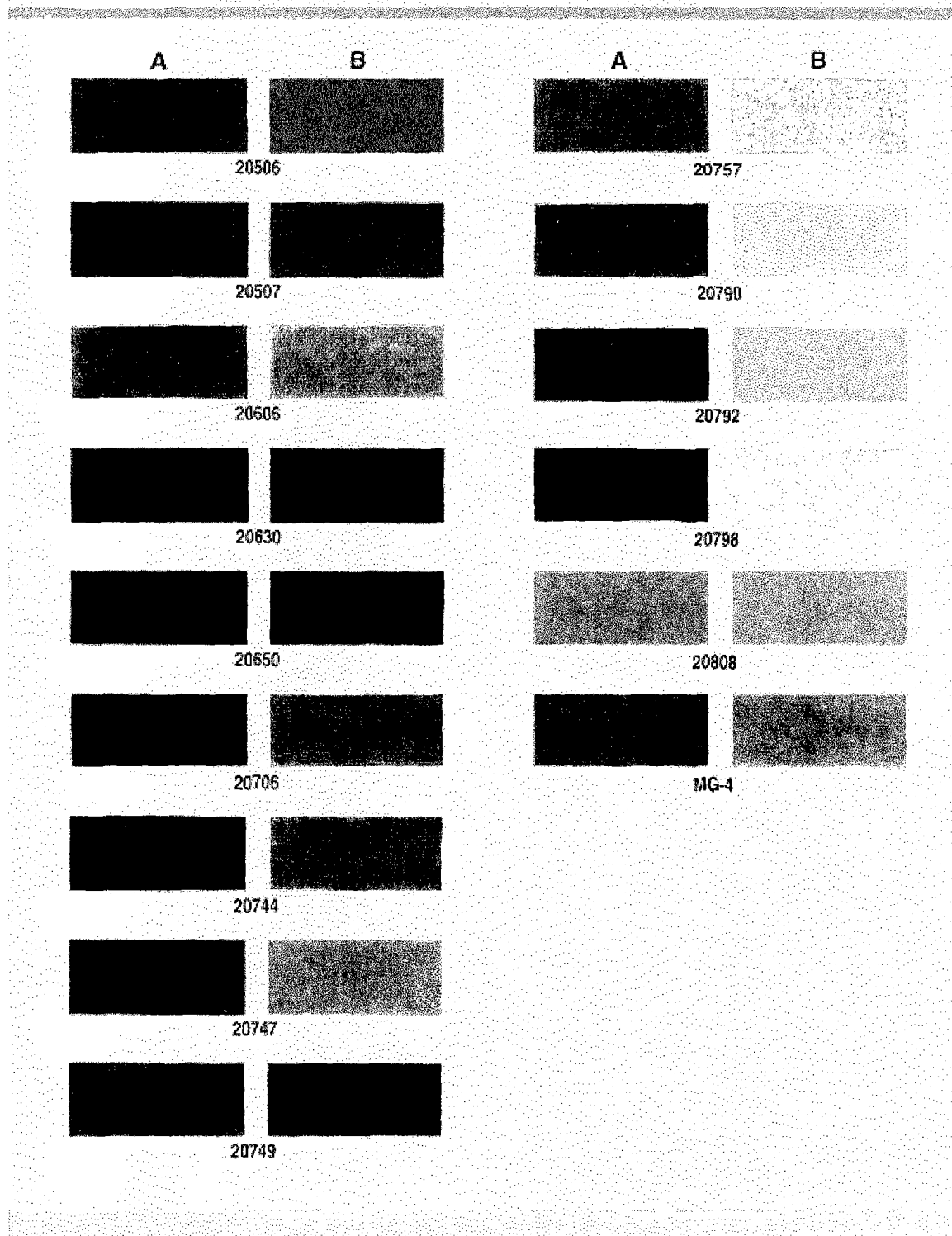
ภาคผนวก จ

ภาพประกอบ แบบเทียบสีของบริษัท โอเรียลตัล เซราเทค จำกัด

A: 5% STAIN IN TRANSPARENT GLAZE 62046
B: 5% STAIN IN Zr-OPAQUE GLAZE 61920

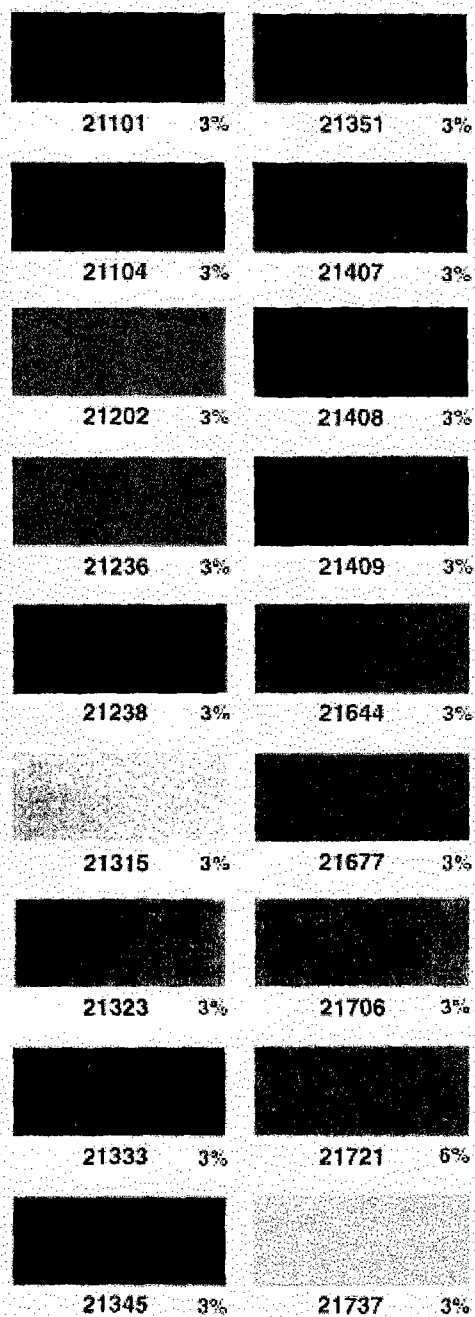


ภาพประกอบ 18 สี และเบอร์สีผงสำเร็จรูป



ภาพประกอบ 18 (ต่อ)

BODY STAINS



ภาพประกอบ 18 (ต่อ)

ภาคผนวก จ

ภาพแสดงการเผาในระดับอุณหภูมิ 800 และ 1,250 องศาเซลเซียส

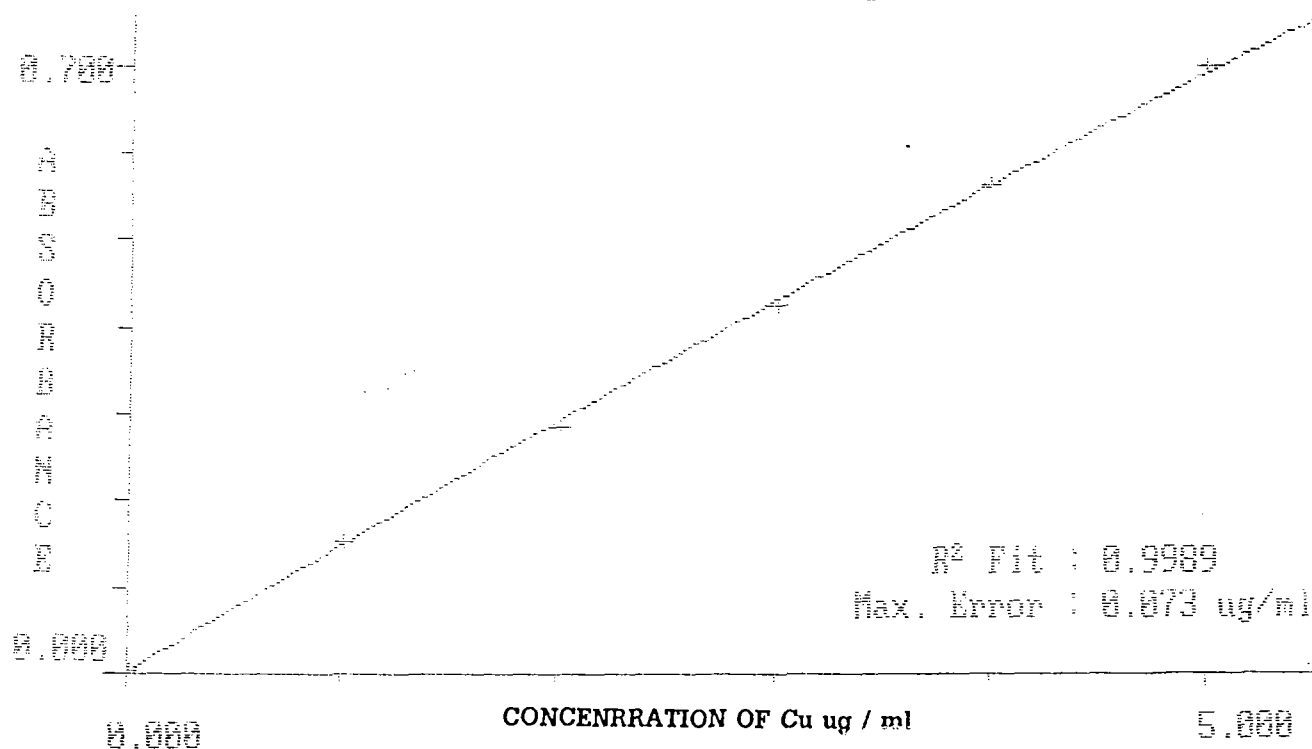
ภาคผนวก ช

กราฟมาตรฐานของธาตุ 5 ธาตุ

COPPER Program No. 1 10:53:10 am 4-Jan-1980
 Calibration Mode Conc. Least Squares Measurement Mode Integration
 starting Cu 22/01/98

Sample Type	Conc. ug/ml	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Blank	-----	-----	0.000	
Standard 1	1.000	-----	0.152	
Standard 2	2.000	-----	0.283	
Standard 3	3.000	-----	0.423	
Standard 4	4.000	-----	0.561	
Standard 5	5.000	-----	0.698	

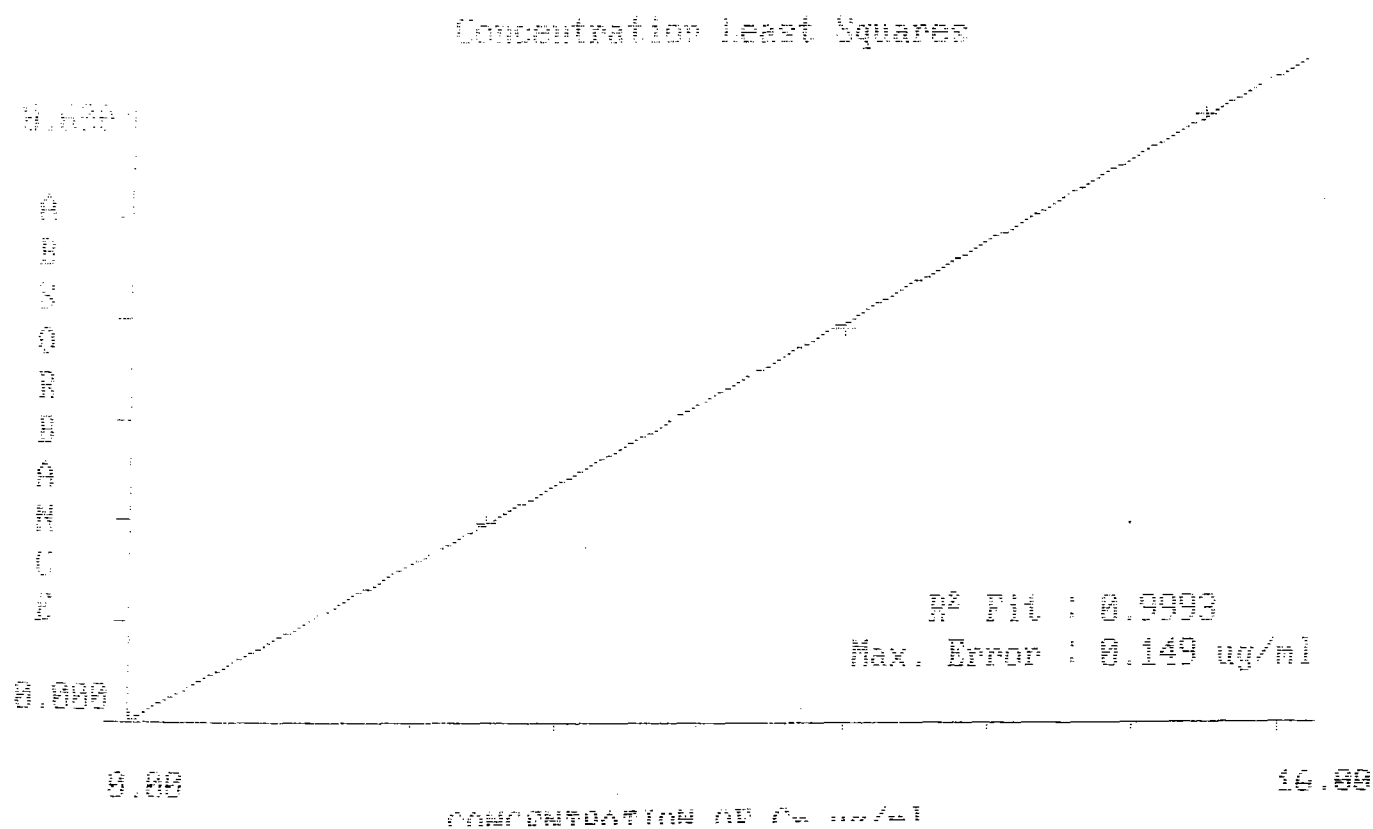
Concentration Least Squares



ภาพประกอบ 22 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของทองแดง
 และค่าอัตราดูดกลืน

CHROMIUM Program No. 1 2:31:34 pm 4-Jan-1980
 Calibration Mode Conc. Least Squares Measurement Mode Integration
 Starting Cr 22/01/98

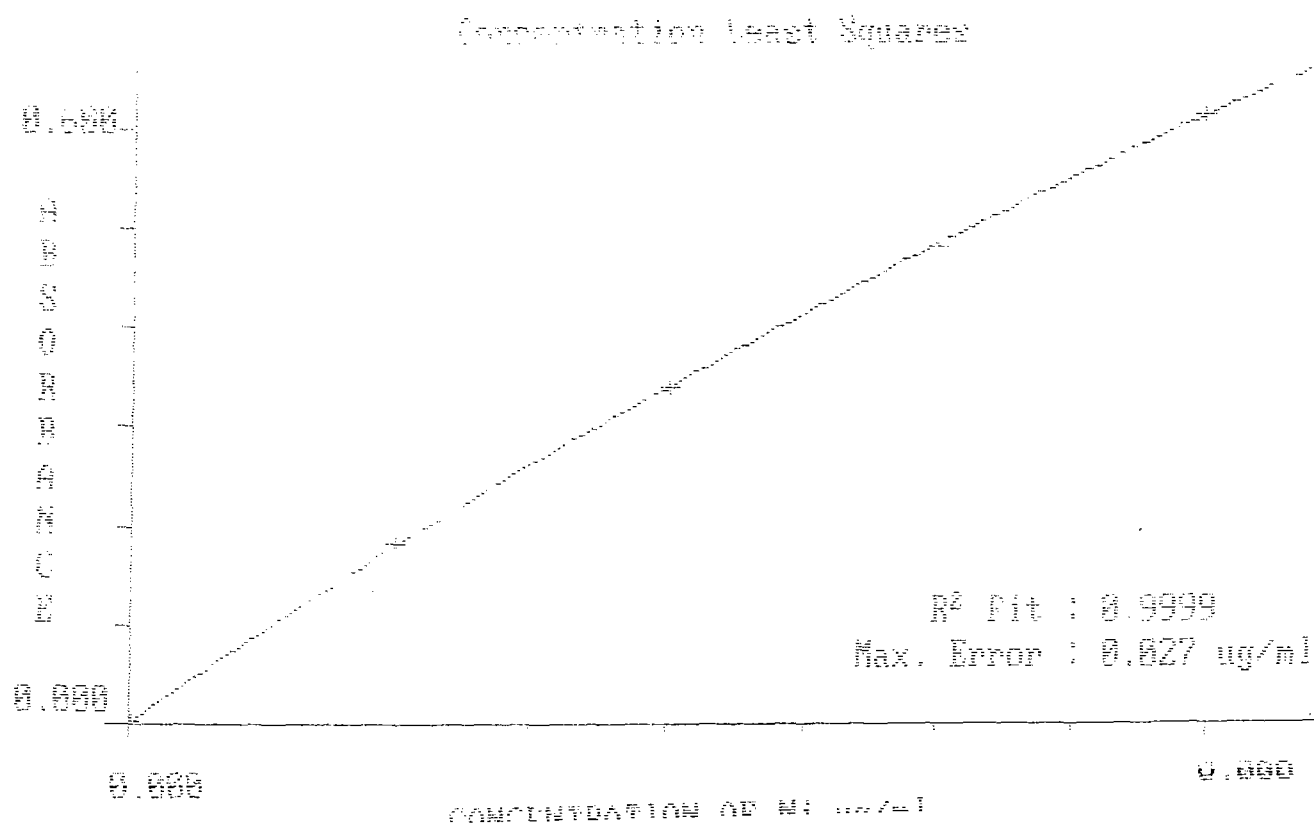
Sample Type	Conc. ug/ml	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Blank	-----	-----	0.000	
Standard 1	5.000	-----	0.197	
Standard 2	10.000	-----	0.388	
Standard 3	15.000	-----	0.600	



ภาพประกอบ 23 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของโครเมียม
 และค่าอัตราการดูดกลืน

NICKEL Program No. 1 11:33:50 am 4-Jan-1980
 Calibration Mode Conc. Least Squares Measurement Mode Integration
 Starting Ni 22/01/98

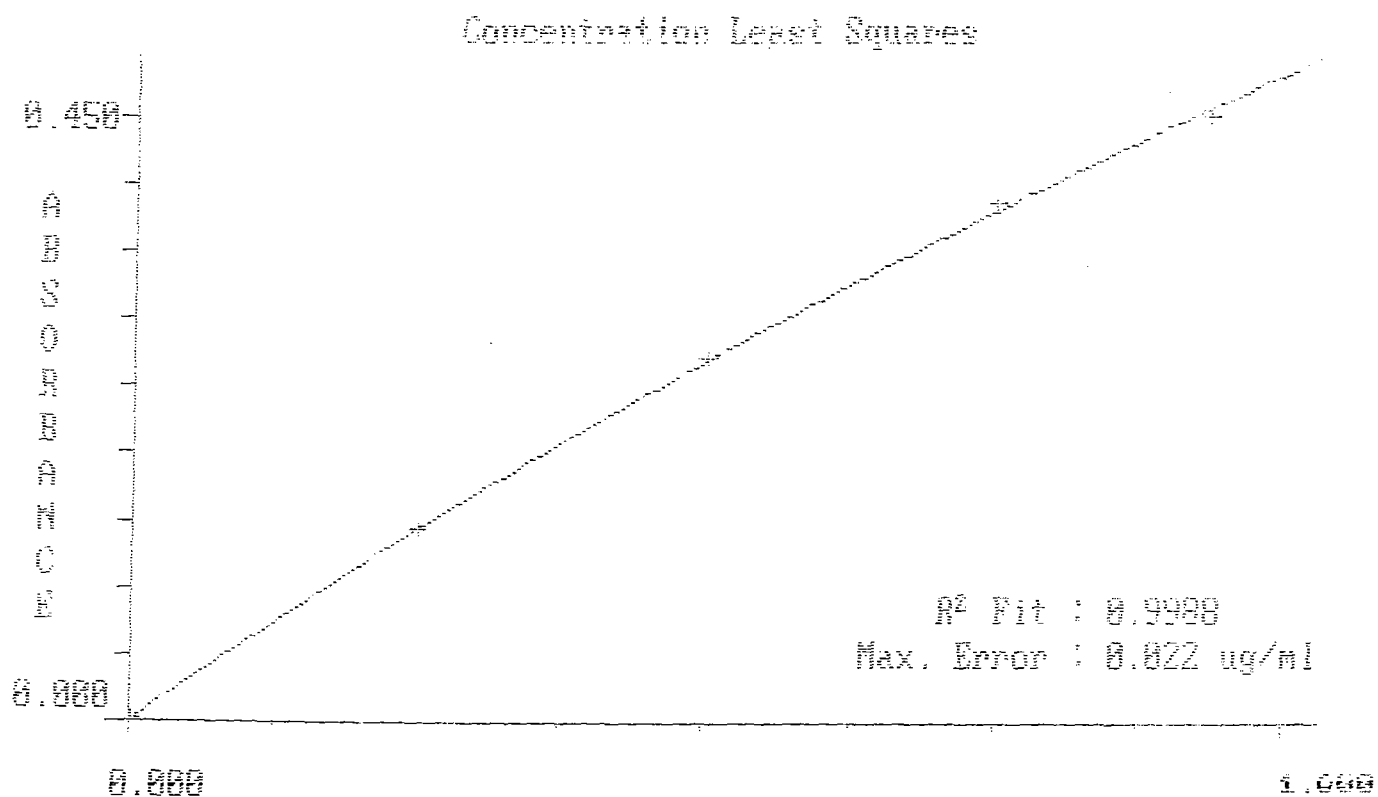
Sample Type	Conc. ug/ml	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Blank	-----	-----	0.000	
Standard 1	2.000	-----	0.180	
Standard 2	4.000	-----	0.337	
Standard 3	6.000	-----	0.481	
Standard 4	8.000	-----	0.612	



ภาพประกอบ 24 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของนิกเกิล
 และค่าอัตราการดูดกลืน

ZINC Program No. 1 12:10:49 pm 4-Jan-1980
 Calibration Mode Conc. Least Squares Measurement Mode Integration
 Starting Zn 22/01/98

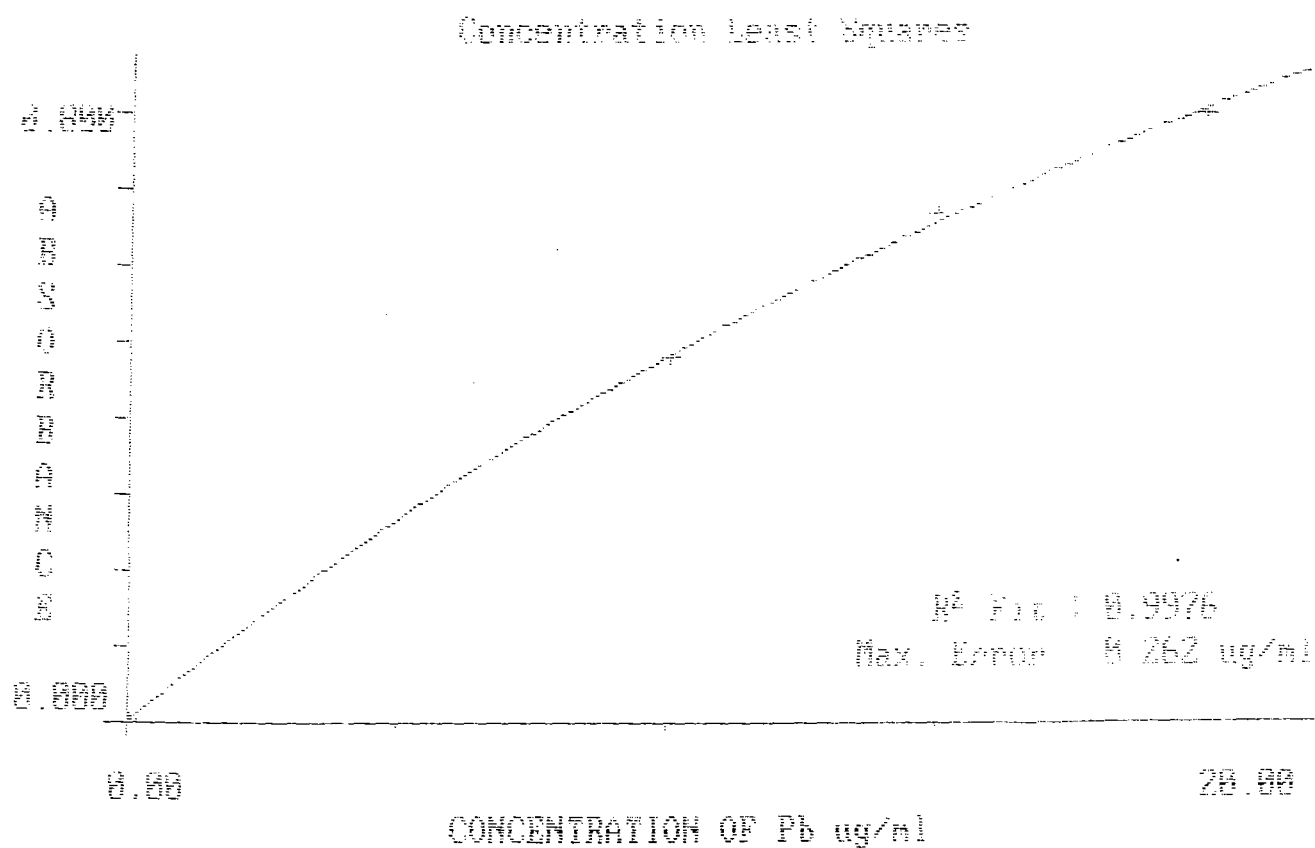
Sample Type	Conc. ug/ml	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Blank	-----	-----	0.000	
Standard 1	0.400	-----	0.142	
Standard 2	0.800	-----	0.270	
Standard 3	1.200	-----	0.385	
Standard 4	1.500	-----	0.451	



ภาพประกอบ 25 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสังกะสี
 และค่าอัตราการดูดกลืน

 LEAD Program No. 1 1:44:32 pm 4-Jan-1980
 Calibration Mode Conc. Least Squares Measurement Mode Integration
 Starting Pb 22/01/98

Sample Type	Conc. ug/ml	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Blank	-----	-----	0.000	
Standard 1	10.000	-----	0.476	
Standard 2	15.000	-----	0.662	
Standard 3	20.000	-----	0.795	



ภาพประกอบ 26 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของตะกั่ว
 และค่าอัตราการดูดกลืน

ภาคผนวก ซ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนแห้ง
และผลการวิเคราะห์การชะโลหะหนักออกจากชั้นทดสอบ
ของบริษัท Genco



GENCO

บริษัท บริหารและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด (มหาชน)
GENERAL ENVIRONMENTAL CONSERVATION PUBLIC COMPANY LIMITED

SLUDGE FROM FACTORIES

NO.

SAMPLE DATE

ANALYSIS DATE : 22/1/98

Analysis Number					
Parameter	sample 1	sample 2	sample 3	sample 4	
pH					
Akalinity (mg/l)					
COD (mg/l)					
Disslved Oxygen (mg/l)					
Disslved Solids (mg/l)					
Susended Solids (mg/l)					
Cr ⁺⁶ (mg/l)					
Total Chrominm (mg/l)	1762.56	ND	2617.27	11334.50	
Copper (cu) (mg/l)	997.60	811.20	896.00	721.97	
Nickel (ni) (mg/l)	130.50	58.63	1641.20	312.87	
Zinc (Zn) (mg/l)	2589.11	2274.75	1260.00	1251.40	
Lead (Pb) (mg/l)	3316.80	1781.16	60.00	ND	
Cadmium (Cd) (mg/l)					
Iron (Fe) (mg/l)					

REMARK :

ANALYZED BY

APPROVED BY

ทะเบียนเลขที่ บมจ.643

สำนักงานใหญ่

161/1 อาคารเอสซีทาวเวอร์ ชั้น 17 ซอยมหาดเล็กหลวง 3 ถนนราชดำริ ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
161/1 SG Tower Bldg., 17 th Floor, Soi Mahadlekuang 3, Rajdamri Rd., Pathumwan, Bangkok.
Thailand Tel. (662) 6518817-21 Fax : (662) 6518833

ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม

68/39 หมู่ 3 ถนนแสมดำ เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150
68/39 Moo 3 Samaedum Rd., Bangkhuntien, Bangkok 10150
Tel. (662) 4150428-30, 4153728 Fax : (662) 4153817



GENCO

บริษัท บริหารและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด (มหาชน)
GENERAL ENVIRONMENTAL CONSERVATION PUBLIC COMPANY LIMITED

SLUDGE FROM FACTORIES

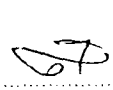
NO. :

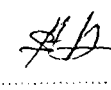
SAMPLE DATE

ANALYSIS DATE : 22/1/98

Analysis Number					
Parameter	sample 5	sample 6	sample 7	sample 8	
pH					
Akalinity (mg/l)					
COD (mg/l)					
Disslved Oxygen (mg/l)					
Disslved Solids (mg/l)					
Susended Solids (mg/l)					
Cr ⁺⁶ (mg/l)					
Total Chrominm (mg/l)	813.70	42962.50	41189.17	1828.13	
Copper (cu) (mg/l)	954.40	4677.97	4909.95	8474.02	
Nickel (ni) (mg/l)	841.30	4725.00	45272.60	1278.83	
Zinc (Zn) (mg/l)	1436.61	17825.90	19256.87	2131.72	
Lead (Pb) (mg/l)	123.13	4565.85	4722.50	209.06	
Cadmium (Cd) (mg/l)					
Iron (Fe) (mg/l)					

REMARK :

ANALYZED BY 

APPROVED BY 

ทะเบียนเลขที่ บมจ.643

สำนักงานใหญ่

161/1 อาคารเอสทีทาวเวอร์ ชั้น 17 ซอยมหาดเล็กหลวง 3 ถนนราชดำริ ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
161/1 SG Tower Bldg., 17 th Floor, Soi Mahadlekluang 3, Rajdamri Rd., Pathumwan, Bangkok.
Thailand Tel. (662) 6518817-21 Fax : (662) 6518833

ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม

68/39 หมู่ 3 ถนนสามัคคี เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150
68/39 Moo 3 Samaedum Rd., Bangkhuntien, Bangkok 10150
Tel. (662) 4150428-30, 4153728 Fax : (662) 4153817



บริษัท บริหารและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด (มหาชน)
GENERAL ENVIRONMENTAL CONSERVATION PUBLIC COMPANY LIMITED

TEST PIECES

NO.

SAMPLE DATE

ANALYSIS DATE : 14/10/97

Analysis Number					
Parameter	Oxidation	Reduction			
pH					
Akalinity (mg/l)					
COD (mg/l)					
Disslved Oxygen (mg/l)					
Disslved Solids (mg/l)					
Susended Solids (mg/l)					
Cr ⁺⁶ (mg/l)					
Total Chrominm (mg/l)	0.036	0.036			
Copper (cu) (mg/l)	0.036	0.020			
Nickel (ni) (mg/l)	-0.032	0.000			
Zinc (Zn) (mg/l)	0.026	0.020			
Lead (Pb) (mg/l)	-0.153	-0.146			
Cadmium (Cd) (mg/l)					
Iron (Fe) (mg/l)					

REMARK :

ทะเบียนเลขที่ บมจ.643

สำนักงานใหญ่

161/1 อาคารเอสซีทาวเวอร์ ชั้น 17 ซอยมหาดเล็กหลวง 3 ถนนราชดำริ ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
161/1 SG Tower Bldg., 17 th Floor, Soi Mahadlekuang 3, Rajdamri Rd., Pathumwan, Bangkok.
Thailand Tel. (662) 6518817-21 Fax : (662) 6518833

ANALYZED BY

APPROVED BY

ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม

68/39 หมู่ 3 ถนนสามัคคี เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150
68/39 Moo 3 Samaedum Rd., Bangkhuntien, Bangkok 10150
Tel. (662) 4150428-30, 4153728 Fax : (662) 4153817

ภาคผนวก ณ

หนังสือขอความอนุเคราะห์ และประวัติผู้เชี่ยวชาญ

ที่ ทม 1007/ ๒๕๔๑



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๑๖ มกราคม 2541

เรื่อง ขออนุมัติเคราะห์

เรียน ผู้อำนวยการศูนย์บริการ กิจการกาอุดสาหกรรมแสงศา

เนื่องจาก นายจุติโชติ บุญโชติ นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การทดลองนำกากตะกอนโลหะหนักจาก
โรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า อลูมินา ควอตซ์ และดินขาวระนองใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับทำสีผงสำเร็จรูป
ที่ใช้ผสมในเคลือบ" ทั้งนี้อยู่ในความควบคุมดูแลของ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์โคมล รักษ์วงศ์

ประธาน

คร.บรรชา รัตนวัย

กรรมการ

มีความประสงค์จะขอใช้เครื่องมือเพื่อทดสอบการชะโลหะหนัก ในระหว่างเดือนมกราคม - กุมภาพันธ์
2541 เพื่อเป็นข้อมูลในการทำปริญญานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัยจึงเรียนมาเพื่อขออนุมัติเคราะห์ในเรื่องนี้ด้วย และขอขอบคุณในความช่วยเหลือ
อนุมัติเคราะห์ที่ท่านจะให้แก่กนิสิตผู้นี้

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร. เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 2584119



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บันทึกวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จทร. 5644.

ที่ ทม 1007/ 1146 วันที่ 11 มกราคม 2541

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน คณะบดีคณะศิลปศาสตร์

เนื่องจาก นายจุติ รัชติ บุญโชติ นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การทดลองนำกากตะกอนโลหะหนักจาก
โรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า อลูมินา ลวอดซ์ และดินขาวระนองใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับทำสีผงสำเร็จรูป
ที่ใช้ผสมในเล็อบ" ทั้งนี้อยู่ในความควบคุมดูแลของ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์โกลล รักษ์วงศ์

ประธาน

ดร.บรรชา รัตนชัย

กรรมการ

มีความประสงค์จะขอเชิญ อาจารย์สมทรง ชีมาภรณ์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบผลการทดลอง

บันทึกวิทยาลัยจึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ในเรื่องนี้ด้วย และขอขอบคุณในความช่วยเหลือ
อนุเคราะห์ที่ท่านจะให้แก่บัณฑิตผู้นี้

(ศาสตราจารย์ ดร. เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โทร. 5644
ที่ ทม 1007/ 0533 วันที่ ๓๐ มกราคม 2541
เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน คณบดีคณะศิลปกรรมศาสตร์

เนื่องจาก นายจุติโชติ บุญโชติ นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "การทดลองนำกากตะกอนโลหะหนักของ
โรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า อลูมินา ควอตซ์ และดินขาวระนอง ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับทำ สีผงสำเร็จรูปที่
ใช้ผสมในเคลือบสี" ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความควบคุมดูแลของ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์โกลล รักษ์วงษ์ ประธาน

ดร.บรรชา รัตนชัย กรรมการ

มีความประสงค์จะขอเชิญ อาจารย์พนมศักดิ์ สุวิสุทธิ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจ ผลการทดลอง

บัณฑิตวิทยาลัยจึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ในครั้งนี้ด้วย และขอขอบคุณในความช่วยเหลือ
อนุเคราะห์ที่ท่านจะให้แก่บัณฑิตผู้นี้

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิสาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ที่ ทม 1007/ 0๗๔๔



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

13 กุมภาพันธ์ 2541

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน อธิการบดีสถาบันราชภัฏพระนคร

เนื่องจาก นายจตุรโชติ บุญโชติ นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การทดลองนำกากตะกอนโลหะหนักของ
โรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า อลูมินา ควอตซ์ และดินขาวระนองใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับทำสีผงสำเร็จรูปที่ใช้
ผสมในเคลือบใส" ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความควบคุมดูแลของ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์โกลล รักษ์วงษ์

ประธาน

ดร.บรรชา รัตนชัย

กรรมการ

มีความประสงค์จะขออนุญาตใช้สถานที่ในภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา เพื่อทำการทดลองทำสีผงสำเร็จรูป
ในระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2541 เพื่อเป็นข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัยจึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ในเรื่องนี้ด้วย และขอขอบคุณในความช่วยเหลือ
อนุเคราะห์ที่ท่านจะให้แก่ นิสิตผู้นี้

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี

บัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 2584119



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โทร. 5644

ที่ ทม 1007/ 1913 วันที่ 14 มีนาคม 2541

เรื่อง ขออนุมัติโครงการ

เรียน คณบดีคณะศิลปกรรมศาสตร์

เนื่องจาก นายจุติโรจน์ บุญโชติ นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การทดลองนำกากตะกอนโลหะหนักของ
โรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า อลูมินา ควอตซ์ ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับทำสีผงสำเร็จรูปที่ใช้ผสมในเคลือบสี"
ทั้งนี้อยู่ในความควบคุมดูแลของ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์โกลน รักษ์วงษ์ ประธาน

ดร.บรรชา รัตนชัย กรรมการ

มีความประสงค์จะขอเชิญ อาจารย์สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบผลการทดลอง

บัณฑิตวิทยาลัยจึงเรียนมาเพื่อขออนุมัติโครงการในเรื่องนี้ด้วย และขอขอบคุณในความช่วยเหลือ
อนุเคราะห์ที่ท่านจะให้แก่บัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ประวัติผู้เชี่ยวชาญ

ชื่อ นายสมทรง ชีมาภรณ์ ตำแหน่ง อาจารย์ (หัวหน้าภาควิชาทัศนศิลป์)

สถานที่ทำงาน สุขุมวิท 23 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

วุฒิทางการศึกษา ปริญญาโท (CERAMICS)

ประวัติการสอนสาขาวิชาเซรามิกส์

พ.ศ.2531-ปัจจุบัน เป็นอาจารย์ประจำวิชาภาควิชาทัศนศิลป์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

ประวัติการทำงานพิเศษ

พ.ศ.2538-ปัจจุบัน สอนพิเศษที่มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

พ.ศ.2537 สอนพิเศษที่มหาวิทยาลัยรังสิต

พ.ศ.2536-2537 สอนพิเศษที่วิทยาลัยครูพระนคร

พ.ศ.2534 สอนพิเศษที่มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผลงานเซรามิกส์ที่ได้รับรางวัล

เข้าร่วมแสดงศิลปะเครื่องปั้นดินเผาหลายครั้ง

ผลงานทางวิชาการ

พ.ศ.2540-ปัจจุบัน เอกสารประกอบการสอน Ceramic เบื้องต้น

พ.ศ.2538-2540 เอกสารประกอบการสอน ประวัติเครื่องปั้นดินเผา

ประวัติผู้เชี่ยวชาญ

ชื่อ นายพนมศักดิ์ สุวิสุทธิ ตำแหน่ง อาจารย์
 สถานที่ทำงาน ภาควิชาทัศนศิลป์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
 วุฒิทางการศึกษา ปริญญาตรี
 ประวัติทางการสอนสาขาวิชาเซรามิกส์

พ.ศ.2539-ปัจจุบัน เป็นอาจารย์สอน สาขาเซรามิกส์
 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

ประวัติการทำงานพิเศษ

พ.ศ.2540 เป็นที่ปรึกษาโรงงาน บ้านไทยเซรามิกส์
 พ.ศ.2537-2539 โรงงานไทยพอสเลนต์ ลำปาง
 พ.ศ.2534-2535 บริษัท แอ็ดมีนเดอร์มาเก็ตติ้ง จำกัด

ประวัติผู้เชี่ยวชาญ

ชื่อ นายสมศักดิ์ ขวาลาวันย์

ตำแหน่ง อาจารย์

สถานที่ทำงาน ภาควิชาทัศนศิลป์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ประสานมิตร

วุฒิทางการศึกษา กศ.ม. เอกศิลปศึกษา จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร

ประวัติทางการสอนสาขาวิชาเซรามิกส์

พ.ศ.2536-ปัจจุบัน เป็นอาจารย์ประจำวิชาภาควิชาทัศนศิลป์ คณะศิลปกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

พ.ศ.2523-2536 เป็นอาจารย์ประจำวิชาภาควิชาศิลปะและวัฒนธรรม
คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

พ.ศ.2522 เป็นอาจารย์ประจำโรงเรียนเทพศิรินทร์ เขตป้อมปราบ กรุงเทพฯ

ประวัติการทำงานพิเศษ

พ.ศ.2526-ปัจจุบัน เป็นอาจารย์พิเศษสอนวิชาเซรามิกส์ ที่วิทยาลัยครูพระนคร

พ.ศ.2535 เป็นอาจารย์พิเศษสอนวิชาเซรามิกส์ ที่มหาวิทยาลัยรังสิต

พ.ศ.2530 เป็นอาจารย์พิเศษสอนวิชาเซรามิกส์ ที่คณะศิลปกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลงานเซรามิกซ์ที่ได้รับรางวัล

ได้รับรางวัลดีเด่นจากผลงานแสดงเครื่องปั้นดินเผาแห่งชาติครั้งที่ 4 พ.ศ.2533

ประเภทศิลปกรรม

ผลงานทางวิชาการ

พ.ศ.2536 บทความเรื่อง อุตสาหกรรมเซรามิกส์คืออะไร จากนิตยสารวิมาน เล่ม 4
ฉบับที่ 33 เดือนมกราคม 2536

พ.ศ.2524 บทความเรื่อง การทดสอบทางฟิสิกส์ของดินก่อนและหลังการเผา
จากสูจิบัตรการแสดงนิทรรศการศิลปกรรมประสานมิตร 2524

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ นายจุติโชติ	ชื่อสกุล บุญโชติ
เกิดวันที่ 14 กุมภาพันธ์	พ.ศ. 2514
สถานที่เกิด	อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	11/5 หมู่ 4 ตำบลคึกคัก อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2532	ม.6 โรงเรียน อัสสัมชัญศรีราชา ชลบุรี
พ.ศ.2537	วท.บ. (วิชาเอกเทคโนโลยีก่อสร้าง) สาขาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยครูพระนคร
พ.ศ.2541	กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

การทดลองนำกากตะกอนโลหะหนักของโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า
อลูมินา ควอตซ์ และดินขาวระนอง ใช้เป็นวัตถุดิบ สำหรับทำสีผงสำเร็จรูปที่ใช้ผสมในเคลือบใส

บทคัดย่อ
ของ
จตุโชติ บุญโชติ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
พฤษภาคม 2541

การทดลองนำกากตะกอนโลหะหนักของโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า อลูมินา ควอตซ์ ดินขาวระนอง เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับทำสีผงสำเร็จรูปที่ใช้ผสมในเคลือบใส เพื่อหาข้อดี ปฏิกริยาที่มีผลต่อเคลือบใส และการชะโลหะหนัก จากผลการทดลอง พบว่า ในการเผาแบบ ออกซิเดชัน ได้สีเบอร์ 21677 ชื่อสีคือ Dark Brown ขณะที่การเผาแบบรีดักชัน ได้สี เบอร์ 20630 A ชื่อสีคือ Coffee Brown สีเบอร์ 20650A ชื่อสีคือ Dark Coffee Brown สีเบอร์ 20749 ชื่อสีคือ Dark Maroon ด้านปฏิกริยาที่มีผลต่อเคลือบใสพบว่า เคลือบทุกสูตรมีความสามารถในการ หลอมละลายดี สีมีความสม่ำเสมอในการเผาแบบรีดักชัน 115 สูตร ในการเผาแบบออกซิเดชัน 70 สูตร และสีมีความสม่ำเสมอทั้ง 2 บรรยากาศ มี 71 สูตร ไม่พบเคลือบดิ่งตัวทุกสูตร และพบเคลือบ ทุกสูตรรানตัว แต่เคลือบบางสูตรพบว่ามีลักษณะกึ่งมันกึ่งด้าน ในด้านการชะโลหะหนัก ค่าการชะ โลหะหนักที่ได้จากการวิเคราะห์ ไม่เกินกว่าประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 พ.ศ.2539 กากตะกอนโลหะหนักจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า จึงสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับทำ สีผงสำเร็จรูปที่ใช้ผสมในเคลือบใสสำหรับใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ได้อย่างปลอดภัย

An Experiment on the Inglaze Color Stain for Ceramic Made of Heavy Metal Sludge
from Electroplating Factories, Alumina, Quartz and Ranong Kaolin

AN ABSTRACT
BY
JUTICHOTE BUNCHOTE

Presented in partial fulfillment of requirements for the
Master of Education degree in Industrial Education
at Srinakharinwirot University
May 1998

This experiment on the inglaze color stains for ceramic made of heavy metal sludge from electroplating factories, alumina, quartz and Ranong kaolin was to find the color, reaction effected for inglaze color and the leachability of heavy metal outside test pieces. This experiment indicated that oxidation firing produced the following glaze color : number 21677 which named Dark Brown, while reduction firing displayed number 20630A which named Coffee Brown, number 20650A named Dark Coffee Brown and 20749's color named Dark Maroon. For the reaction effected with glaze, indicated that every formula glaze was melted good. From the method of firing (in reduction firing from 115 formula and in oxidation firing from 70 formula) appeared non-flashing color. Both in oxidation and reduction firing had 71 formula, every formula had not found pinholing, crawling and every formula had found crazing but some formula had found semi matt. For the heavy metal leachability, the analysis found not over than Thai Industrial Standard, 1996, for waste water. Heavy metal sludge from electroplating factories was able to contribute materials for inglaze color stain on safety.