อภินันทนาการ

กรรมวิธีทางความร้อนของเศษทับทิมขนาดเล็ก

HEAT TREATMENT OF RUBY SCRAP

นายสุธากร กรเกตุสกุล รหัส 55365616

นายสุรินทร์ แซ่เลี่ยว รหัส 55365623

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 7 ก.พ. 2561
เลขทะเบียน 17424928
เลขเรียกหนังสือ ปร
สาขก
๔๖๙

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2558

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน กรรมวิธีทางความร้อนของเศษทับทิมขนาดเล็ก

ผู้ดำเนินโครงงาน นายสุธากร กรเกตุสกุล รหัส 55365616

นายสุรินทร์ แซ่เลี่ยว รหัส 55365623

ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2558

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุปถัมภ์ นาครักษ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์นฤมล สีพลไกร)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	กรรมวิธีทางความร้อนของเศษทับทิมขนาดเล็ก		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายสุธากร	กรเกตุสกุล	รหัส 55365616
	นายสุรินทร์	แซ่เลี่ยว	รหัส 55365623
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ทศพล	ตรีรุจิราภาพงศ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2558		

.....

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาวิธีทางความร้อนอีกครั้งในการปรับปรุงสีของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ถูกคัดทิ้ง ภายหลังจากผ่านกระบวนการทางความร้อนมาแล้ว 1 รอบ เศษทับทิมที่นำมาใช้มาจากแหล่งในจังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย ในการทดลองจะทำการหาช่วงอุณหภูมิ และช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุด โดยกำหนดอุณหภูมิอบที่ 900, 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอบ 6, 12 และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นนำมาตรวจสอบลักษณะพื้นผิวภายนอกด้วยกล้องจุลทรรศน์ด้วยแสง (Optical Microscopy) และหาค่า RGB (Red Green Blue) ของตัวอย่างเทียบกับค่ามาตรฐาน ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในกรรมวิธีทางความร้อนคือ อยู่ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยที่พื้นผิวภายนอกมีสิ่งเจือปนหรือมลทินน้อยที่สุด และมีค่า RGB (Red Green Blue) เฉลี่ยอยู่ที่ 127, 94.67, 104 ซึ่งใกล้กับค่ามาตรฐานของ Ruby Red ที่มีค่า RGB (Red Green Blue) เท่ากับ 155, 17และ 30 ตามลำดับ

Project title	Heat Treatment Of Ruby Scrap		
Name	Mr. Sutakorn	Kornketsakun	ID. 55365616
	Mr. Surin	Sealieo	ID. 55365623
Project advisor	Mr. Thotsaphon	Threrujirapapong	
Major	Materials Engineering		
Department	Industrial Engineering		
Academic year	2015		

Abstract

The objective of this research project is to determine the reheat treatment conditions for color improvement of ruby scrap which was rejected after the first heat treatment process. The origin of this ruby scrap is in Chanthaburi province Thailand. In the experiment, the suitable annealing temperature in the range of 900, 1000, 1100 and 1200 Degree Celsius, and time of 6, 12 and 18 hour, respectively, are determined. After the reheating process, the surface of ruby is investigated using the optical microscopy and the Red Green Blue values (RGB) are also measured and compared with the standard value. The results show that the suitable temperature and time are 1100 Degree Celsius and 12 hours which show less impurity inside the ruby. The average RGB values of the reheated ruby are 127, 94.67, 104 which are closed to the standard values of 115, 17 and 30, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่าน ประจำสาขาวิศวกรรววัสดุ สำหรับข้อแนะนำ และความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านในการทำวิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในห้องปฏิบัติการภาควิศวกรรมอุตสาหการ ทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำปริญญานิพนธ์เรื่องนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
สุธากร กรเกตุสกุล
สุรินทร์ แซ่เลี่ยว
พฤษภาคม 2559

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองโครงงานวิจัย ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ช

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.4 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน 2
1.5 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน 2
1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 2
1.7 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน 3

บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎี 4
2.1 รัตนชาติ อัญมณี และพลอย 4
2.2 กรรมวิธีทางความร้อน 11
2.3 สารเติมแต่ง 13
2.4 สารเชื่อมประสาน 15
2.5 สารที่ใช้ในการควบคุมความดันบรรยากาศ 15
2.6 ระบบสี RGB 17
2.7 ความไม่สมบูรณ์ของผลึก 18
2.8 การแพร่ 21
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 23

3.1 วัสดุ และอุปกรณ์ 24

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน 24

บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ 26

4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และสีของเศษทับทิมขนาดเล็ก 26

4.2 ค่า Red Green Blue (RGB) 29

4.3 การเปรียบเทียบก่อน และหลังดรรมวิธีทางความร้อน
ของอุณหภูมิ และช่วงเวลาที่ดีที่สุด 34

บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ 37

5.1 บทสรุปของโครงงาน 37

5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา 37

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไขปัญหา 37

เอกสารอ้างอิง 39

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน....3

2.1 ตารางค่า Red Green Blue (RGB)....18

4.1 ตารางแสดงรูปถ่ายจากกล้องดิจิตอลของเศษทับทิมขนาดเล็ก....26

4.2 ตารางแสดงรูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แสงของเศษทับทิมขนาดเล็ก....27

4.3 ค่าRGB ของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางร้อนครั้งที่ 2
ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส....30

4.4 ค่าRGBของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางร้อนครั้งที่ 2
ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส....31

4.5 ค่าRGBของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางร้อนครั้งที่ 2
ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส....31

4.6 ค่าRGBของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางร้อนครั้งที่ 2
ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส....32

4.7 ตารางแสดงลักษณะกายภาพภายนอกของเศษทับทิมขนาดเล็ก
ที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 1 ครั้ง และเศษทับทิมขนาดเล็ก
ที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 2 ครั้งที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส
เวลา 12 ชั่วโมง....34

4.8 ตารางแสดงค่า RGB ของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน
มาแล้ว 1 ครั้ง และเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน
มาแล้ว 2 ครั้งที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง....35

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 เพชร 4

2.2 มรกต 5

2.3 บุษราคัม 5

2.4 โกเมน 6

2.5 ไพลิน 7

2.6 มุกดา 7

2.7 เพทาย 8

2.8 ไพฑูรย์ 8

2.9 ทับทิม 9

2.10 โครงสร้างผลึกของ Al_2O_3 10

2.11 ระบบผลึกเฮกซะโกนอล 10

2.12 แผนภูมิสมดุล ของ Al_2O_3 11

2.13 เหล็กออกไซด์ 13

2.14 โครเมียมออกไซด์ 14

2.15 ไทเทเนียมออกไซด์ 14

2.16 สารบอแรกซ์ 15

2.17 ผงคาร์บอน 15

2.18 การผสมสี 17

2.19 รูปแสดงความไม่สมบูรณ์ของผลึกแบบจุด 19

2.20 Schottky defect 19

2.21 Frenkel defect 20

2.22 Edge dislocation 20

2.23 Screw dislocation 20

2.24 การแพร่แบบแทนที่ 21

2.25 การแพร่แบบแทรก 21

3.1 ลำดับขั้นตอนในการดำเนินงาน 23

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.1 โปรแกรม Photo Shop ในการหาค่า RGB 29

4.2 หน้าต่างโปรแกรม Photo Shop ในการหาค่า RGB 30

4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Red ของเศษทับทิมขนาดเล็ก หลังกรรมวิธีทางความร้อนของทุกอุณหภูมิกับค่า Red มาตรฐาน 32

4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Green ของเศษทับทิมขนาดเล็ก หลังกรรมวิธีทางความร้อนของทุกอุณหภูมิกับค่า Green มาตรฐาน 33

4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Blue ของเศษทับทิมขนาดเล็ก หลังกรรมวิธีทางความร้อนของทุกอุณหภูมิกับค่า Blue มาตรฐาน 33

4.6 การเปรียบเทียบระหว่างก่อน, หลังกรรมวิธีทางความร้อนของเศษทับทิมขนาดเล็ก และค่ามาตรฐาน 36

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงการ

อุตสาหกรรมอัญมณี และเครื่องประดับ เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญ และมีส่วนช่วยในการแก้ปัญหาเศรษฐกิจของประเทศไทย ดังข้อมูลจาก สถาบันวิจัย และพัฒนาอัญมณี และเครื่องประดับแห่งชาติ สินค้าอัญมณี และเครื่องประดับของประเทศไทยมีมูลค้าการส่งออกสูง (604.50 ล้านเหรียญสหรัฐ) และอยู่ในอันดับต้นอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด [1] อีกทั้งประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นศูนย์กลางการเพิ่มมูลค่าพลอยดิบโดยหลากหลายกระบวนการ เช่น การใช้ความร้อน (gemstone heat treatment) หรือบางครั้งเรียกว่าการเผาพลอย [2] ซึ่งวิทยาการนี้ได้สร้างชื่อเสียงให้กับประเทศไทย จนเป็นรากฐานสำคัญของอุตสาหกรรมอัญมณี และเครื่องประดับของไทยที่มีประวัตินับย้อนหลังไปได้หลายร้อยปี สามารถนำเงินเข้าประเทศได้เป็นจำนวนมาก การพัฒนาของอุตสาหกรรมนี้มีมาตั้งแต่ในอดีตจนทำให้ ประเทศไทยได้ชื่อว่า เป็นแหล่งพัฒนาพลอยสีที่สำคัญของโลก และสภาพเป็นศูนย์กลางการผลิต และการค้าการส่งออกพลอยสีของโลก

อย่างไรก็ตาม แม้ปัจจุบันวัตถุดิบพลอยสีภายในประเทศจะมีจำนวนลดลงไปมาก จนทำให้ต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศเกือบทั้งหมด แต่ประเทศไทยก็ยังคงความมีชื่อเสียงในการเป็นแหล่งผลิตพลอยสีที่สำคัญของโลกได้ โดยเฉพาะพลอยเนื้อแข็งตระกูลคอรัมดัม [3] ทับทิม และแซปไฟร์ ทับทิมเป็นรัตนชาติชนิดหนึ่ง อยู่ในตระกูลคอรัมดัม เช่นเดียวกับ แซปไฟร์ บุษราคัม ไพลิน มีความแข็งรองจากเพชร เป็นที่นิยมนำมาทำเครื่องประดับมาก เพราะมีสีสันที่สวยงาม และมีความแข็งแกร่ง โดยทับทิมมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นอะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium oxide) ระบบโครงผลึกเป็นไตรโกนอล โดยในปัจจุบัน ทับทิมเป็นอัญมณีที่หาได้ยาก จนทำให้ต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศเกือบทั้งหมด [4]

ในสถานการณ์ปัจจุบัน จะพบว่าประเทศไทยมักจะหาได้เพียงทับทิมขนาดเล็ก ส่วนเม็ดทับทิมขนาดใหญ่นั้นจะต้องเสียค่าใช่จ่ายในการนำเข้าจากต่างประเทศ [4] ซึ่งสาเหตุนี้ จึงทำให้คณะผู้จัดทำศึกษาเรื่องการวิเคราะห์คุณลักษณะ และเพิ่มมูลค่าของเศษทับทิมขนาดเล็กด้วยกระบวนการทางความร้อน เพื่อที่จะเพิ่มมูลค่าของเศษทับทิมขนาดเล็กที่เหลือทิ้ง ให้มีมูลค่าทางการตลาดที่สูงขึ้น อันจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจในธุรกิจการค้าทับทิมของประเทศไทยทั้งในปัจจุบัน และอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในกรรมวิธีทางความร้อนเศษทับทิมขนาดเล็ก

1.2.2 ศึกษาระดับอุณหภูมิ และเวลาในกรรมวิธีทางความร้อนเศษทับทิมขนาดเล็ก

1.2.3 ศึกษาลักษณะสีจากค่า Red Green Blue ของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบถึงความเป็นไปได้ในการเปลี่ยนเศษทับทิมขนาดเล็กที่เคยผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว ให้มีสีที่ดีขึ้น

1.3.2 ทราบระดับอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในกรรมวิธีทางความร้อนของเศษทับทิมขนาดเล็ก

1.3.3 ทราบลักษณะสีของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน

1.3.4 สามารถนำเศษทับทิมขนาดเล็ก มาเพิ่มมูลค่าได้

1.4 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.4.1 ทำการอบเศษทับทิมขนาดเล็กที่อุณหภูมิ 900, 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 6, 12 และ 18 ชั่วโมง

1.4.2 ทำการศึกษาลักษณะสีของเศษทับทิมขนาดเล็กก่อน และหลังกรรมวิธีทางความร้อน

1.4.3 ทำการศึกษาค่า Red Green Blue ของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน

1.5 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

ห้องปฏิบัติการภาควิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2558 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2559

1.7 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

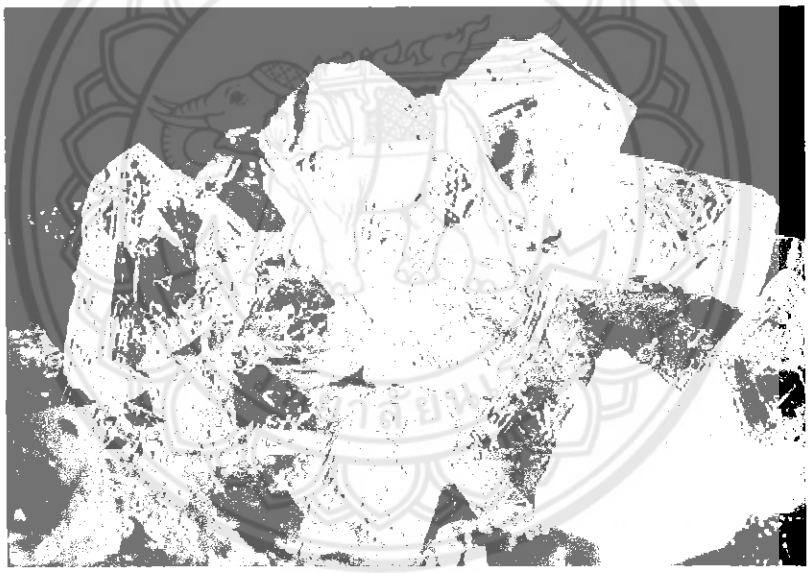
การดำเนินโครงงาน	เดือน									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.7.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←				→					
1.7.2 ออกแบบ และวางแผนการทดลอง	←				→					
1.7.3 ศึกษาสมบัติที่สำคัญของเศษทับทิมขนาดเล็ก	←				→					
1.7.4 ทำการทดลอง			←				→			
1.7.5 วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง					←				→	
1.7.6 เขียนรูปเล่มรายงาน			←						→	

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 รัตนชาติ อัญมณี และพลอย

รัตนชาติ อัญมณี และพลอย [5] เป็นคำที่ใช้เรียกความหมายเดียวกัน จะแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยเนื่องจาก อัญมณี และรัตนชาติ มักจะใช้เรียกเป็นทางการ หรือเป็นภาษาเขียนแต่มีความหมายเดียวกัน และหมายรวมถึงเพชรด้วย ส่วนพลอย มักใช้เป็นคำเรียกทั่วไปตามภาษาพื้นบ้านมีความหมายใกล้เคียงกันกับสองคำแรก แต่โดยปกติไม่รวมถึงเพชร เมื่อกล่าวถึงโดยรวมจะเรียกรวมกันว่า เพชรพลอย โดยสามารถแบ่งพลอยออกเป็น 9 ชนิดด้วยกัน คือ

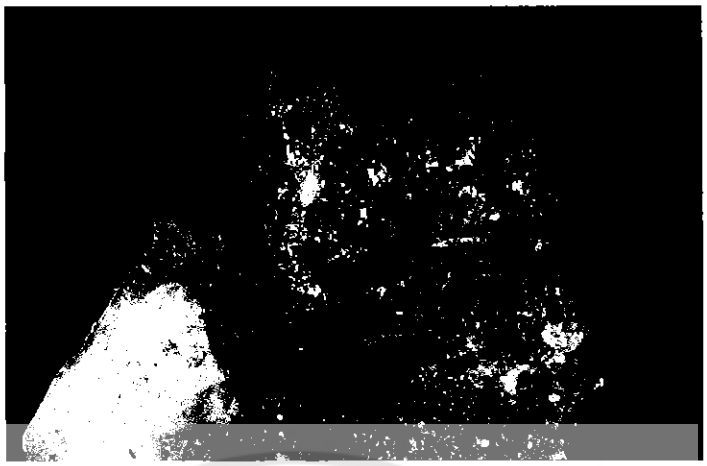
2.1.1 เพชร (Dimond) [6]



รูปที่ 2.1 เพชร [20]

เพชร เกิดในชั้นหินแมนเทิลที่ความลึกประมาณ 150 กิโลเมตรใต้ผิวโลก ที่ซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูงมาก โครงสร้างเพชรมีธาตุคาร์บอน (Carbon) เป็นองค์ประกอบซึ่งจะถูกอัดแน่นทำให้มีความแข็งแรงสูงมากที่สุด ค่าความแข็งเท่ากับ 10 มอร์สเกล (Morh Scale) การระเบิดของภูเขาไฟจะพาหินที่มีเพชรอยู่ขึ้นมาสู่ผิวโลก โดยเหมืองแร่เพชรขนาดใหญ่อยู่ที่ประเทศแอฟริกาใต้

2.1.2 มรกต (Emerald) [7]



รูปที่ 2.2 มรกต [21]

เป็นแร่รัตนชาติ มีองค์ประกอบทางเคมีคือ $Be_3Al_2(SiO_3)_6$ ที่มีสีเขียว โดยเกิดจากการผสมกันระหว่างโครเมี่ยมกับเบริล เป็นแร่เบริลที่มีสีเขียวซึ่งแร่นี้มีได้หลายสี ถ้าฟ้าเรียกอความารีน (aquarmarine) สีเหลืองเรียกโกลเด้นเบริล สีแดงเรียก โรสเบริล และอื่น ๆ คุณภาพของมรกตอยู่ที่สี หากมีสีเขียวทั่วทั้งเม็ดก็จัดว่าคุณภาพสูง ส่วนตำหนินั้นมรกตธรรมชาติทุกชิ้นจะต้องมีทั้งสิ้น ลักษณะเป็นเส้น ริ้วสีขาวจุดสีดำสีสนิม ฝ้าขาวขุ่นตามธรรมชาติ รอยริ้วที่ดูคล้ายรากผักชีเรียกว่า Jardin มรกตคุณภาพดีหรือไม่ดีก็มีทั้งสิ้น แต่พิจารณาปริมาณ และการวางตัวของตำหนิซึ่งอาจจะมีผลกับการส่องประกายแสงออกมาจากมรกต หากมีมากไปพลอยจะดูทึบแสง ไม่มีประกายซึ่งมักได้รับการเจียระไน หากทึบจนตันแสงไม่ส่องผ่านเลย และมีสีเขียวซีดจะจัดเป็นมรกตคุณภาพต่ำที่สุด

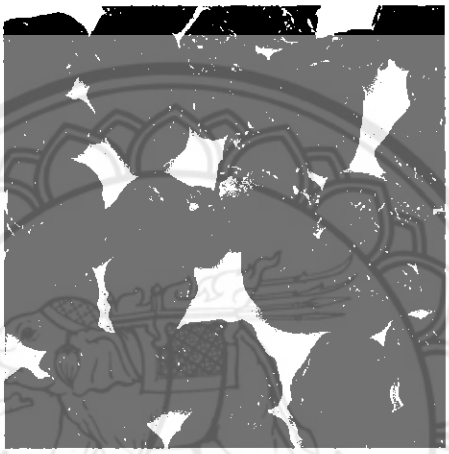
2.1.3 บุษราคัม (Yellow-Sapphire) [8]

รูปที่ 2.3 บุษราคัม [22]

เป็นแร่ที่มีสีเหลือง จัดอยู่ในประเภทแร่คอรัมดัม มีองค์ประกอบทางเคมีคือ Al_2O_3 และมี Fe^{3+} เจืออยู่พบได้ในธรรมชาติเป็นแร่เดียวกับทับทิม แต่ส่วนใหญ่ที่ขายในท้องตลาดจะได้จากการเผาพลอยคอรันดัมที่มีสีเหลืองจาง มีตำหนิสีอื่นปนบ้าง (เหลือง,เขียว,นำเงินมาปนกัน) และสีเขียว(เขียว-

ส่อง) ทำให้มีสีสวยงาม เข้มขึ้นขายได้ราคาสูง พลอยบุษราคัมสีจะมีตั้งแต่เหลืองอ่อนเรียกบุษย์น้ำเพชร, สีอมเขียวเรียกว่าบุษย์น้ำแตง, สีเหลืองทองเรียกบุษย์น้ำทอง, สีคล้ายเหล้าเรียกบุษย์น้ำแม่โขง, สีเหลืองเข้มมากเรียกบุษย์น้ำขมิ้นเน่า, สีเหลืองออกส้มเรียกว่าบุษย์น้ำจำปา, บุษย์น้ำแม่โขง และน้ำทองเป็นที่นิยมจะมีราคาแพง โดยน้ำโขงจะแพงกว่า ลักษณะที่ดีควรเลือกพลอยที่เจียระไนได้สัดส่วนก้นไม่บางจนเกินไป ใสไม่มีตำหนิที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า พลอยจึงจะมีประกายงดงาม แหล่งบุษราคัมที่สำคัญคือ จังหวัดจันทบุรี ประเทศศรีลังกา ทวีปแอฟริกา ทวีปออสเตรเลีย และอื่น ๆ

2.1.4 โกเมน (Garnet) [5]



รูปที่ 2.4 โกเมน [23]

เป็นพลอยชนิดหนึ่ง มีรากศัพท์มาจากภาษาละตินว่า Granatus เมื่อพูดถึงโกเมน คนส่วนใหญ่มักจะนึกถึงพลอยเนื้อใสสีแดงก่ำอาจจะอมน้ำตาลหรืออมส้ม เป็นสีที่พบเห็นได้มากที่สุด แต่ในความเป็นจริงแล้ว โกเมนมีสีมากมายหลากหลาย ทั้ง ชมพู แดง ม่วง ส้ม เหลือง เขียว แต่มีอยู่เพียงสีเดียวเท่านั้นที่โกเมนไม่มี คือ สีน้ำเงิน โกเมนมีหลายประเภทคือ

2.1.4.1 ไพโรป (Pyrope) มีองค์ประกอบทางเคมีคือ $Mg_3Al_2Si_3O_{12}$ จะมี สีส้มอมแดงถึงแดงอมม่วงเล็กน้อย

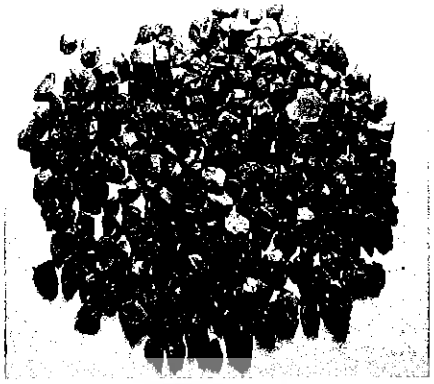
2.1.4.2 อัลแมนดีน (Almandine) มีองค์ประกอบทางเคมีคือ $Fe_3Al_2Si_3O_{12}$ จะมี สีส้มอมแดง แดงอมม่วงเล็กน้อย โทนสีออกจะมืดตลอด

2.1.4.3 สเปสซาไทท์ (Spessartite) มีองค์ประกอบทางเคมีคือ $Mn_3Al_2Si_3O_{12}$ จะมีสีส้มอมเหลืองถึงส้มอมแดง มักจะต้องมีสีส้มติดอยู่เสมอ

2.1.4.4 แอนดราไดต์ (Andradite) มีองค์ประกอบทางเคมีคือ $Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$ จะมีสีเขียวอ่อนถึงเข้ม หรือเขียวอมเหลือง

2.1.4.5 กรอสซูลาไรต์ (Grossularite) มีองค์ประกอบทางเคมีคือ $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$ จะมีสีเหลือง เหลืองอมเขียว

2.1.5 ไพลิน (Blue Sapphire) [9]



รูปที่ 2.5 ไพลิน [24]

เป็นพลอยตระกูลคอรันดัม มีองค์ประกอบทางเคมีคือ Al_2O_3 มีหลายสี แต่โดยทั่วไปมักหมายถึงเฉพาะที่มีสีน้ำเงิน ในประเทศไทย เดิมเรียกว่า นิลกาฬ แต่ปัจจุบันนิยมเรียกว่า ไพลิน ตามชื่อของแหล่งกำเนิดจากเหมืองพลอย ในจังหวัดไพลิน ประเทศกัมพูชา ที่ในช่วงหนึ่งมีการนำเข้ามาในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก

2.1.6 มุกดา (Moonstone) [5]

รูปที่ 2.6 มุกดา [25]

เป็นแร่แฟลสปาร์ความแข็งประมาณ 5-6 มอร์สเกล (Morh Scale) มีทั้งสีขาวหมอกมัวคล้ายหมอกน้ำค้างยามเช้า และสีอื่นๆเช่น ขาว ส้ม น้ำผึ้ง ขาวใส เทา น้ำตาล ส่วนมากแล้วมุกดาหารจะมีเนื้อขุ่นหาที่ใสสะอาดได้ยาก แต่เนื้อที่ขุ่นมีลักษณะพิเศษมีเหลือบรุ้งสีออกฟ้าสีนวลคล้ายดั่งดวงจันทร์ ราคานั้นไม่สูงเพราะหาง่ายแหล่งที่สำคัญเช่น พม่า ศรีลังกา (สองแหล่งนี้คุณภาพสูงที่สุด) อินเดีย มาดากัสการ์ บราซิล สหรัฐอเมริกา เม็กซิโก แทนซาเนีย และอื่น ๆ

2.1.7 เพทาย (Zircon) [10]

รูปที่ 2.7 เพทาย [26]

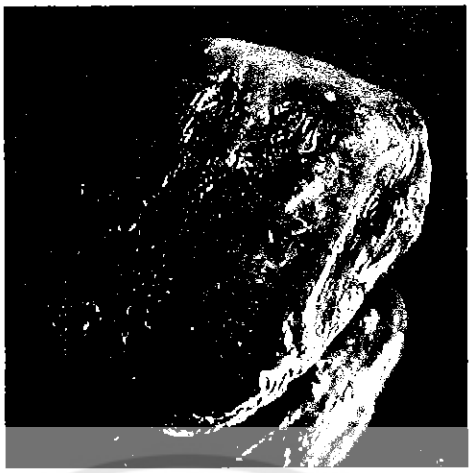
มีองค์ประกอบทางเคมีคือ $ZrSiO_4$ มีสมบัติโปร่งใสใช้เป็นรัตนชาติ โดยปกติแล้วจะมีสีน้ำตาล และส้มแดง ซึ่งเรียกว่าไฮยาซินท์ (Hyacinth) หรือจาซินท์ (Jacinth) สำหรับเพทายหุงจะมีสีฟ้า เพทายชนิดที่ไม่มีสีหรือมีสีเหลืองหรือสีควันไฟ เรียกว่าจาร์กอน (Jargon) เนื่องจากมีลักษณะคล้ายเพชรแต่ราคาต่ำกว่ามาก ดังนั้น ต่อมาจึงเรียก Zircon

2.1.8 ไพฑูรย์ (Chrysobery Cat's Eye) [5]

รูปที่ 2.8 ไพฑูรย์ [27]

ปกติจะมีสีน้ำตาลอมเหลืองเข้มถึงเหลืองอ่อน เหลืองน้ำผึ้ง เขียว เป็นที่นิยมกันเฉพาะกลุ่ม เช่น ชาวญี่ปุ่น และชาวเอเชีย พลอยไพฑูรย์หรือพลอยตาแมวลักษณะตาแมวที่ดีคือ จะมีตาคมชัดอยู่กึ่งกลาง ตาสามารถเปิด ปิดได้ สีข้างหนึ่งเป็นสีน้ำนม และอีกข้างหนึ่งเป็นสีน้ำผึ้ง (Milk & - Honey Effect) จะมีคุณภาพ และราคาสูง สีมาจากธาตุเหล็ก (Fe) สาเหตุของการเกิดตาแมว เกิดจากลักษณะรอยตำหนิภายในที่เป็นเส้นไหมหรือเส้นใยไฟบรัส ที่เรียงตัวขนานกันอย่างเป็นระเบียบภายในเม็ด ทำมุมสะท้อนกับแสงที่มาตกกระทบ จนเกิดเป็นเส้นแสงสีขาวเป็นเงาตั้งฉากกับแนวขนานของเส้นใยนั้น ทำให้เกิดปรากฏการณ์ตาแมวขึ้นมา จะพบมากในอินเดีย บราซิล และชนิดที่มีคุณภาพดีที่สุด จะมาจากศรีลังกา สีที่ดีที่สุดคือ สีน้ำผึ้ง หรือสีเหลืองอมเขียวเล็กน้อย

2.1.9 ทับทิม (Ruby) [3]



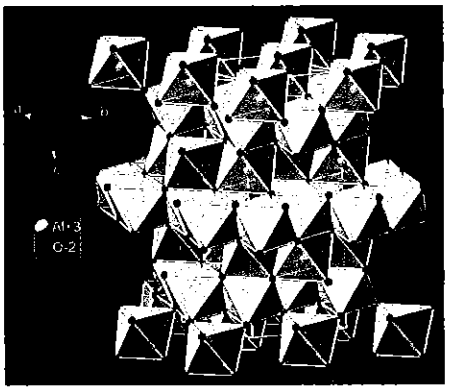
รูปที่ 2.9 ทับทิม [28]

ทับทิม "Ruby" มาจากภาษาลาติน "Rubeus" แปลว่า สีแดง ส่วนรากศัพท์เดิมมาจากภาษาสันสกฤต คือ Ratnaraj หรือ Ratnanayaka แปลว่า ราชาแห่งหินมีค่า หรือผู้นำแห่งหินมีค่า [4] คำว่า มณีแดง ในคำกลอนนพรัตน์นั้น หมายถึงทับทิมหรือกะรุน ที่มีสีแดงนั้นเอง จะมีสีแดงอ่อนแก่อย่างไรนั้น แล้วแต่ธรรมชาติของทับทิมที่พบ อาจจะมีสีเข้มจนกระทั่งสีชมพูอ่อน ๆ หรือสีแดงอมชมพู แดงอมส้ม แดงอมม่วง เป็นต้น สีของทับทิมแต่ละชนิด อาจจะไม่สม่ำเสมอเท่ากันตลอดทั้งหมด โดยมีส่วนไม่มีสีสลับปนอยู่ในส่วนสีแดงก็ได้ กรณีเช่นนี้ สามารถที่จะทำให้พลอยมีสีสม่ำเสมอ โดยใช้ความร้อน แต่จะต้องเพิ่มความร้อนทีละน้อยจนกระทั่งมีความร้อนสูง พลอยจะไม่แตก

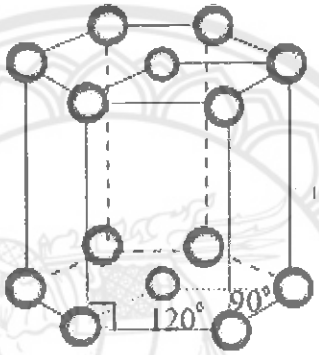
สีของทับทิมที่นิยมกันมากที่สุดคือ สีแดงเข้มบริสุทธิ์ และอมน้ำเงิน แต่ก็ไม่ใช่ว่ามีสีน้ำเงินมากเกินไปจนกระทั่งสีของทับทิมเปลี่ยนจากแดงบริสุทธิ์ไปเป็นแดงอมม่วงมาก ซึ่งจะทำให้ราคาตก สี-ดังกล่าวเทียบได้กับสีแดงดั่งเลือดนกพิราบสด ๆ ส่วนความนิยมในเรื่องสีของทับทิมนั้น อาจแตกต่างกันบ้างในแต่ละแห่ง แต่ละประเทศ

2.1.9.1 สมบัติทางกายภาพ [3]

ทับทิม จัดเป็นแร่ คอรันดัม (Al_2O_3) ประกอบด้วย Al ร้อยละ 52.9 และ O ร้อยละ 47.1 ทับทิมมีธาตุโครเมียม ปนเล็กน้อย (ประมาณร้อยละ 1 แต่อาจสูงถึงร้อยละ 4) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสีแดงในทับทิม ถ้ามี Fe ปนเล็กน้อยจะทำให้คอรันดัมมีสีแดงอมน้ำตาลถึงสีม่วง มีระบบผลึกเป็นเฮกซะโกนอล จะพบเห็นในลักษณะเป็นรูปทรงรูปหกเหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 2.10 และ 2.11 ลักษณะของรูปผลึกของทับทิม ขนาดสัดส่วนไม่สูงไม่ยาวมากนัก มีความแข็ง 9 ตามสเกลความแข็งของมอร์สเกล (Morh Scale) ค่าความถ่วงจำเพาะ 3.94-4.08 ค่าดัชนีหักเห 1.769-1.760 มีความวาวเป็นประกายคล้ายเพชรไปจนกระทั่งมีความวาวด้อยลงคล้ายแก้ว



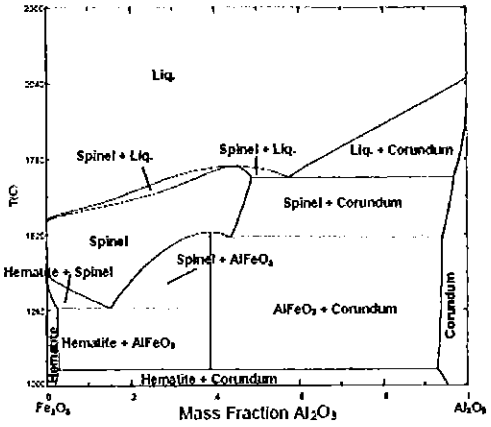
รูปที่ 2.10 โครงสร้างผลึกของ Al_2O_3 [29]



รูปที่ 2.11 ระบบผลึกเฮกซะโกนอล [30]

ทับทิมมีสมบัติการเปลี่ยนสีได้สองสี จะเห็นได้ชัดในทับทิมที่มีสีเข้มโดยการมองดูทิศทางที่แตกต่างกัน ทับทิมจะมีสีแดงเข้มชัดอย่างเดียว หรือแดงอมม่วงเล็กน้อย เมื่อมองดูในทิศทางที่ตั้งฉากกับฐานผลึก และจะมีสีอ่อนจางลงไปแตกต่างกันชัดเมื่อดูในทิศทางที่ตั้งฉากกับการมองเป็นครั้งแรก

หากพิจารณาในแผนภูมิสมดุล [19] ดังแสดงในรูปที่ 2.12 จะพบว่าที่อุณหูมิ 900 องศาเซลเซียส ขึ้นไปจะเป็นเฟสคอรันดัม ซึ่งยอมให้ Fe^{2+} แพร่เข้าไปในโครงสร้าง



รูปที่ 2.12 แผนภูมิสมดุล ของ Al_2O_3 [31]

2.2 กรรมวิธีทางความร้อน [11]

กรรมวิธีทางความร้อน หรือภาษาชาวบ้านเรียกว่า การหุงพลอยหรือการเผาพลอย เป็นกรรมวิธีการเพิ่มมูลค่าให้กับอัญมณีด้วยการใช้ความร้อน วิธีการนี้นิยมใช้กับพลอยตระกูลคอรันดัมได้แก่ ทับทิม ไพลิน บุษราคัม พลอยเนื้ออ่อนชนิดต่างๆ การหุงพลอยจะช่วยทำให้ได้พลอยที่มีสีตรงกับสมบัติของพลอยที่ดี ซึ่งอาจมีสีเข้มขึ้นหรือจางลงจากสีเดิมหรืออาจช่วยกระจายสีให้ดูกลมกลืนสม่ำเสมอทั่วทั้งเม็ดพลอยอีกทั้งยังทำให้พลอยใสสะอาดขึ้น

ดังนั้นการหุงพลอยจึงเป็นกรรมวิธีที่ทำให้พลอยมีมูลค่าเพิ่มขึ้น และได้รับการยอมรับในตลาดอัญมณีทั่วโลก โดยไม่ถือว่าเป็นการทำเทียมหรือขายของปลอมให้แก่ผู้ซื้อ เพราะเป็นการพัฒนาสิ่งที่มีอยู่แล้วในเนื้อพลอยธรรมชาติให้มีคุณค่าเพิ่มมากยิ่งขึ้น

การหุงพลอยเป็นการใช้ความร้อนเพื่อปรับปรุงคุณภาพของพลอยซึ่งอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้หลายอย่างขึ้นกับชนิดของพลอยอุณหภูมิ และภาวะที่ใช้ตัวอย่างเช่น

2.2.1 ทำให้พลอยมีสีเปลี่ยนไปเช่นการเผาแอเมทิสต์สีม่วงในภาวะที่มีออกซิเจน (Oxidizing) ให้เป็นซิทรินสีเหลืองทำให้เหล็กที่เป็นมลทินในแอเมทิสต์กระจายออกไป หรือการเผาเพทาย หรือเซอร์คอนในภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Reducing) จะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีน้ำเงินได้เนื่องจากมลทินที่เป็นไอออนยูเรเนียมห้าบวกเปลี่ยนเป็นยูเรเนียมสี่บวกซึ่งดูดกลืนแสงในช่วงสีแดงทำให้เห็นเพทายเป็นสีน้ำเงิน

2.2.2 ทำให้สีเข้มขึ้นเช่นไพลินสีฟ้าอ่อนเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้มในภาวะที่ไม่มีออกซิเจน เนื่องจาก Fe^{3+} กลายเป็น Fe^{2+} และ Ti^{4+} กระจายตัวในคอรันดัมได้มากขึ้นเกิดการถ่ายโอนประจุ Fe^{2+}-Ti^{4+} ซึ่งทำให้เกิดสีน้ำเงินได้ดีขึ้น

2.2.3 ทำให้สีจางลงเช่นเผาควอตซ์สีชมพูเข้มในภาวะที่มีออกซิเจนให้เป็นสีชมพูอ่อนลงสีที่จางลงนี้เป็น เพราะเลขออกซิเดชันของแมงกานีสซึ่งเป็นมลทินอยู่เปลี่ยนไป

2.2.4 ทำให้สีบางสีหายไปเช่นเผาเพื่อกำจัดโทนสีท่วงในทับทิมทำให้อะตอมของธาตุที่เป็นมลทินซึ่งเป็นต้นกำเนิดสีกระจายตัวออกไปสม่ำเสมอมากขึ้น

2.2.5 ทำให้สาแหรกหายไปเช่นการเผาทับทิมทำให้เส้นสาแหรกซึ่งเกิดจากรูไทล์หรือไทเทียม-ออกไซด์กระจายตัวออกไป

2.2.6 ทำให้เกิดสาแหรกขึ้นโดยทำการเผาพร้อมกับ TiO_2

เทคนิคการเผาใหม่นี้มักนิยมตั้งความร้อนอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 1150-1250 องศา-เซลเซียส เมื่ออุณหภูมิถึงจุดที่ต้องการแล้ว ให้ยืนไฟนานประมาณ 18-24 ชั่วโมง พอใกล้ถึงเวลาที่ตั้งไว้ให้รีบเอาพลอยออกก่อนที่เตาจะหยุดลง เพราะถ้าช้าเกินไปอุณหภูมิจะลดลงอย่างรวดเร็วจะไม่สามารถเขี่ยพลอยออกจะเบ้าได้ การเอาพลอยออกขณะร้อนนี้เราเรียกว่า ออกร้อน ซึ่งต่างจากการเผาเก่าที่ต้องเอาพลอยออกเย็น

2.2.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการหุงพลอย

2.2.7.1 เตาเผาพลอย

นิยมใช้มีหลากหลายชนิดตั้งแต่ราคาถูกไปจนถึงราคาแพงได้แก่ เตาไฟฟ้า เตาแก๊ส เตาน้ำมันเป็นต้น แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบันคือเตาไฟฟ้า เนื่องจากผู้ใช้สามารถควบคุมระดับความร้อนให้สม่ำเสมอตามเวลาที่ต้องการได้

2.2.7.2 เบ้าทนไฟ หรือถ้วย Crucible

มีรูปร่างคล้ายถ้วย มีฝาปิดได้สนิท ในปัจจุบันมีจำหน่ายแบบสำเร็จรูป สามารถซื้อเบ้าสำเร็จรูปมาใช้ได้ทันที

2.2.8 กรรมวิธีในการหุงพลอย [2]

2.2.8.1 นำพลอยที่ต้องการเผาใส่ลงในเบ้า จากนั้นปิดฝาเบ้าให้สนิทแล้วใช้น้ำยาเคลือบทาเคลือบทับบริเวณฝาปิดเพื่อป้องกันความร้อนรั่วออกมา

2.2.8.2 ใส่เบ้าพลอยลงในเตาเผา

2.2.8.3 ให้ความร้อน พลอยแต่ละชนิดจะใช้ความร้อนแตกต่างกัน ซึ่งการใช้ความร้อนจะสูงหรือต่ำนั้นขึ้นอยู่กับ ขนาด ชนิด สีที่ต้องการ และแหล่งที่มาของพลอยเหล่านั้น เช่น ต้องการให้พลอยมีสีเข้มหรืออ่อนลง ระดับความร้อนที่ใช้กันอยู่มีตั้งแต่ระดับไม่ถึง 1000 องศาเซลเซียสไปจนถึง 1900 องศาเซลเซียส หรืออาจเกิน 2000 องศาเซลเซียส ซึ่งขึ้นอยู่กับประสบการณ์ และเทคนิคของผู้เผา เพราะหากระดับความร้อนสูงเกินไปอาจทำให้พลอยที่เผาแตกหัก หรือละลายได้

2.2.8.4 ระยะเวลาในการเผา ในการเผาพลอยบางชนิดอาจใช้ระยะเวลาเพียง 6 ถึง 10 ชั่วโมง แต่บางชนิดอาจใช้เวลาเผา 4 ถึง 5 วัน ภายในเตาเผาพลอยจะต้องได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอตลอดระยะการเผา ดังนั้นจึงต้องหาทางป้องกันไฟฟ้าดับระหว่างการเผาไว้ด้วย หรือป้องกันระดับความร้อนให้คงที่ในกรณีที่ใช้เตาเผาแบบอื่นที่ไม่ใช่เตาไฟฟ้า

2.2.8.5 ปล่อยให้เตาเผา และเบ้าเย็นสนิท หลังจากที่เตาเผา และเบ้าเย็นสนิทแล้วจึงจะสามารถเปิดเบ้าออกได้ เพราะอุณหภูมิที่ต่างกันมากระหว่างภายในเตาเผากับอากาศภายนอก อาจมีผลกระทบกับพลอยเหล่านั้นได้

2.2.8.6 พลอยที่ผ่านการเผาด้วยความร้อนนั้น สี และสมบัติ ความสวยงามจะคงอยู่ตลอดไป สามารถนำไปเจียระไนเพื่อทำเครื่องประดับได้ทันที

2.3 สารเติมแต่ง

2.3.1 เหล็กออกไซด์ [12]

รูปที่ 2.13 เหล็กออกไซด์ [32]

เหล็กออกไซด์ หรือ สนิม (Rust) เกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่าง ออกซิเจน และธาตุเหล็ก เกิดเป็นรอยของการเกิดการผุกร่อน โลหะส่วนที่มีการเปลี่ยนสภาพไปจากเดิม เนื่องจากได้รับปฏิกิริยาเคมีที่มีอากาศ น้ำ หรือความร้อนเป็นตัวการสำคัญทำให้โลหะมีสมบัติแตกต่างไปจากเดิม เช่น สีที่เปลี่ยนไป มีความแข็งแรงลดลง และทำให้เกิดการผุกร่อน ตัวอย่างที่เราพบเห็นอยู่บ่อยๆ ได้แก่ เหล็ก จะมีสนิมอยู่ 2 ชนิด คือ สนิมสีน้ำตาลอมแดง หรือ สนิมสีแดง และสนิมสีดำ นอกจากนี้โลหะแต่ละชนิดจะมีสีสนิมที่แตกต่างกันด้วย และเป็นปฏิกิริยาที่พบเห็นได้ง่ายๆ กับสิ่งก่อสร้างต่างๆ ที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ

2.3.2 โครเมียมออกไซด์ [16]

รูปที่ 2.14 โครเมียมออกไซด์ [33]

โครเมียมหรือโครเมียมออกไซด์ เป็นสารประกอบอนินทรีย์ มีสูตรทางเคมีคือ Cr_2O_3 มีโครงสร้างเป็นแบบเฮกซาโกนอล (Hexagonal) มีความหนาแน่นค่อนข้างสูง ประมาณ 5.22 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลวประมาณ 2330 องศาเซลเซียส โครเมียมนั้นเกิดจากแร่โครไมต์ซึ่งมีสูตรเคมีว่า $FeO{\cdot}Cr_2O_3$ โดยในเนื้อสินแร่จะพบเหล็กออกไซด์ (FeO) อยู่ประมาณร้อยละ 32 และโครเมียม (Cr_2O_3) อยู่ประมาณร้อยละ 68 มีสมบัติเป็นแม่เหล็กเล็กน้อย ส่วนมากที่พบจะมีสีดำ สีเทา หรือสีดำน้ำตาลซึ่งการสังเคราะห์โครเมียมนั้นสามารถทำได้โดยเริ่มจากการเผาแร่โครไมต์กับคาร์บอน

2.3.3 ไทเทเนียมไดออกไซด์ [12]

รูปที่ 2.15 ไททาเนียมไดออกไซด์ [34]

ไทเทเนียมไดออกไซด์มีสูตรทางเคมีคือ TiO_2 มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า "ไททาเนียม (Titania) " ซึ่งเป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไททาเนียม โดยไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-Type Semiconductor) [13] ไทเทเนียมไดออกไซด์นั้นมีสมบัติที่พิเศษกว่าวัสดุอื่นๆ อาทิเช่น มีความเสถียรทางเคมี ทนต่อสภาวะความเป็นกรด และด่าง ราคาไม่สูงมากนัก ไม่

ปรากฏว่าเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต [14] จากสมบัติข้างต้นทำให้ได้มีการนำไทเทเนียมไดออกไซด์มาใช้งานในหลายด้าน เช่น การเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า [15] สารเคลือบกระจกวัสดุทำความสะอาดตัวเอง เป็นต้น นอกจากนี้ ไทเทเนียมไดออกไซด์ยังมีค่าดัชนีหักเหของแสงที่สูงจึงถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบป้องกันการสะท้อนของแสงในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน และในอุปกรณ์ทางด้านการมองเห็นชนิดแผ่นบาง

2.4 สารเชื่อมประสาน [17]

รูปที่ 2.16 บอแร็กซ์ [35]

มีสูตรทางเคมีคือ $Na_2B_4O_7{\cdot}10H_2O$ บอแรกซ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมนั้นคล้ายคลึงกับบอแรกซ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ แต่ไม่มีน้ำในโครงสร้าง บอแรกซ์ธรรมชาติเป็นแหล่งปฐมภูมิของบอแรกซ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งในอดีตนั้นมักในแร่ Kernite มาสกัดแทน ประโยชน์ของบอแรกซ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมได้แก่ อุตสาหกรรมเซรามิกส์ สี แก้ว การเคลือบกระดาษ และยังใช้เป็นฟลักซ์ในการแยกโลหะที่เจือปนอยู่ออกจากกัน อีกทั้งใช้ในการเชื่อมประสานในการเผาพลอย และเชื่อมโลหะ

2.5 สารที่ใช้ในการควบคุมความดันบรรยากาศ [18]

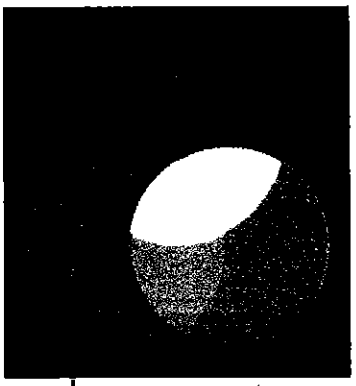
รูปที่ 2.17 ผงคาร์บอน [18]

ผงคาร์บอน หรือคาร์บอนแบลค เป็นคาร์บอนที่อยู่ในรูปของอนุภาคคอลลอยด์ ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่ สมบูรณ์ หรือจากการแยกส่วนประกอบด้วยความร้อนของไฮโดรคาร์บอนที่เป็นก๊าซ หรือ

ของเหลวภายใต้สภาวะควบคุม ลักษณะทางกายภาพจะมีสีดำ เป็นผงละเอียด และนำไปใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ ผงคาร์บอน จะอยู่ในรูปของ Amorphous Carbon ซึ่งมีสัดส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรสูง ผงคาร์บอน จัดเป็นสารอันตรายชนิดหนึ่งตามฐานข้อมูลของ Hazardous Substances Data Base เนื่องจากมีคาร์บอนที่ขนาดเล็กมากซึ่งมาจากกระบวนการออกซิเดชันบางส่วน หรือมาจากกระบวนการให้ ความร้อนที่เป็นการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ หรือการแยกส่วนประกอบด้วยความร้อนของก๊าซธรรมชาติ หรือน้ำมันปิโตรเลียม ผงคาร์บอน ประกอบด้วย Channel Black, Impingement Black, Furnace Black และ Thermal Black โดยจากชนิดของผงคาร์บอน ทั้งหมดนั้น Thermal Black เป็นอนุภาคที่มีขนาดค่อนข้างหยาบมากที่สุด ในขณะที่ Channel Black มีขนาดของอนุภาคเล็กที่สุด โดยขนาดของอนุภาคผงคาร์บอน โดยเฉลี่ยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 ถึง 400 นาโนเมตร

ผงคาร์บอน จะแตกต่างไปจากเขม่าที่เรียกว่า Black Carbon โดยเขม่ามักหมายถึงคาร์บอนต่างๆ ที่ เราไม่ต้องการซึ่งมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของวัสดุที่มีคาร์บอนเป็น องค์ประกอบ เช่น น้ำมัน แก๊สโซลีน ถ่านหิน กระดาษ พลาสติก หรือขยะ ซึ่งเขม่าเหล่านี้จะมีปริมาณของสารไดคลอโร-มีเทน และโทลูอีนจำนวนมาก และอยู่ในเถ้ามากกว่าร้อยละ 50 ลักษณะทางกายภาพเคมีของผงคาร์บอน ที่แตกต่างไปจากเขม่าคือผงคาร์บอน ส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 97 จะประกอบด้วยคาร์บอนที่เรียงตัวในลักษณะของ Aciniform หรือฝุ่นที่มีโครงสร้างรวมกันเหมือนองุ่น (Grape-Like Cluster Particulate) ในขณะที่เขม่าจะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบน้อยกว่าร้อยละ 60 ซึ่งคาร์บอนที่มีจะแตกต่างกันไปตามที่มี และลักษณะสมบัติของคาร์บอน ผงคาร์บอน มักมีส่วนผสมของสาร Polycyclic Aromatic Hydrocarbon หรือ PAHs ซึ่งสามารถสกัดได้ด้วยวิธีการเฉพาะในห้องปฏิบัติการเท่านั้น แต่จะสามารถสกัด PAHs ออกมาได้ในปริมาณน้อยมากๆ ส่วนคาร์บอนชนิดอื่นๆ ที่อาจมีการสับสนกับผงคาร์บอน คือ คาร์บอนกัมมันต์ (Activated Carbon) และ Bone Black ซึ่งได้มาจากกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันจากผงคาร์บอน ทำให้ลักษณะทางกายภาพเคมีแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง

2.6 ระบบสี RGB [36]



รูปที่ 2.18 การผสมสี [37]

ระบบสี RGB เป็นระบบสีของแสง ซึ่งเกิดจากการหักเหของแสงผ่านแท่งแก้วปริซึม จะเกิดแถบสีที่เรียกว่า สีรุ้ง (Spectrum) ซึ่งแยกสีตามที่สายตามองเห็นได้ 7 สี คือ แดง แสด เหลือง เขียว น้ำเงิน คราม ม่วง ซึ่งเป็นพลังงานอยู่ในรูปของรังสี ที่มีช่วงคลื่นที่สายตา สามารถมองเห็นได้ แสงสีม่วงมีความถี่คลื่นสูงที่สุด คลื่นแสงที่มีความถี่สูงกว่าแสงสีม่วง เรียกว่า อัลตราไวโอเลต (Ultra Violet) และคลื่นแสงสีแดง มีความถี่คลื่นต่ำที่สุด คลื่นแสง ที่ต่ำกว่าแสงสีแดงเรียกว่า อินฟราเรด (Infrared) คลื่นแสงที่มีความถี่สูงกว่าสีม่วง และต่ำ กว่าสีแดงนั้น สายตาของมนุษย์ไม่สามารถรับได้ และเมื่อศึกษาดูแล้วแสงสีทั้งหมดเกิดจากแสงสี 3 สี คือ สีแดง (Red) สีน้ำเงิน (Blue) และสีเขียว (Green) ทั้งสามสีถือเป็นแม่สีของแสง เมื่อนำมาฉายรวมกันจะทำให้เกิดสีใหม่ อีก 3 สี คือ สีแดงมาเจนต้า สีฟ้าไซแอนและสีเหลือง และถ้าฉายแสงสีทั้งหมดรวมกันจะได้แสงสีขาว จากคุณสมบัติของแสงนี้เรา ได้นำมาใช้ประโยชน์ทั่วไป ในการฉายภาพยนตร์ การบันทึกภาพวิดีโอ ภาพโทรทัศน์ การสร้างภาพเพื่อการนำเสนอทางจอคอมพิวเตอร์ และการจัดแสงสีในการแสดง เป็นต้น

RED BLUE GREEN เป็นระบบสีที่ประกอบด้วยแม่สี 3 สีคือ แดง (Red), เขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) ในสัดส่วนความเข้มข้นที่แตกต่างกัน เมื่อนำมาผสมกันทำให้เกิดสีต่างๆ บนจอคอมพิวเตอร์ได้มากถึง 16.7 ล้านสี ซึ่งใกล้เคียงกับสีที่ตาเรามองเห็นได้โดยปกติ และจุดที่สีทั้งสามสีรวมกันจะกลายเป็นสีขาว นิยมเรียกการผสมสีแบบนี้ว่าแบบ “Additive” หรือการผสมสีแบบบวก ซึ่งเป็นการผสมสีขั้นที่ 1 หรือถ้านำเอา Red Green Blue มาผสมครั้งละ 2 สี ก็จะทำให้เกิดสีใหม่

แสงสี RGB มักจะถูกใช้สำหรับการส่องสว่างทั้งบนจอทีวีและจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งสร้างจากการให้กำเนิดแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ทำให้สีดูสว่างกว่าความเป็นจริง

ตารางที่ 2.1 ตารางค่า Red Green Blue (RGB)

ชนิดของสี	ค่า Red Green Blue (RGB)		
	R	G	B
[illegible]	224	17	95
[illegible]	209	0	86
Rebar	206	70	118
[illegible]	170	64	105
Ruby Red	155	17	30
[illegible]	156	37	66
Antique Ruby	132	27	45
[illegible]	132	63	91

2.7 ความไม่สมบูรณ์ของผลึก [39]

ความไม่สมบูรณ์ของผลึก (Defect) คือ ผลึกที่มีอนุภาคของผลึกอยู่ตามตำแหน่งที่ถูกต้องมีระเบียบแบบแผนที่สมบูรณ์ตามลักษณะของผลึกนั้นๆ ซึ่งผลึกที่มีความสมบูรณ์จริงๆ นั้น จะเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเคลวิน เท่านั้น เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาเคลวิน ความเป็นระเบียบแบบแผนของผลึกก็จะน้อยลง เรียกว่าความไม่สมบูรณ์ของผลึก (defect) ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคมีการสั่น อะตอมอยู่ผิดที่หรือมีอะตอมอื่นเข้าไปอยู่ตามที่ว่างในผลึก ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความไม่สมบูรณ์ของผลึกแบบต่างๆ หากจำแนกตามลักษณะทางเรขาคณิต จะแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ ความไม่สมบูรณ์ของผลึกแบบจุด แความไม่สมบูรณ์ของผลึกแบบเส้นหรือบนพื้นผิวของผลึก

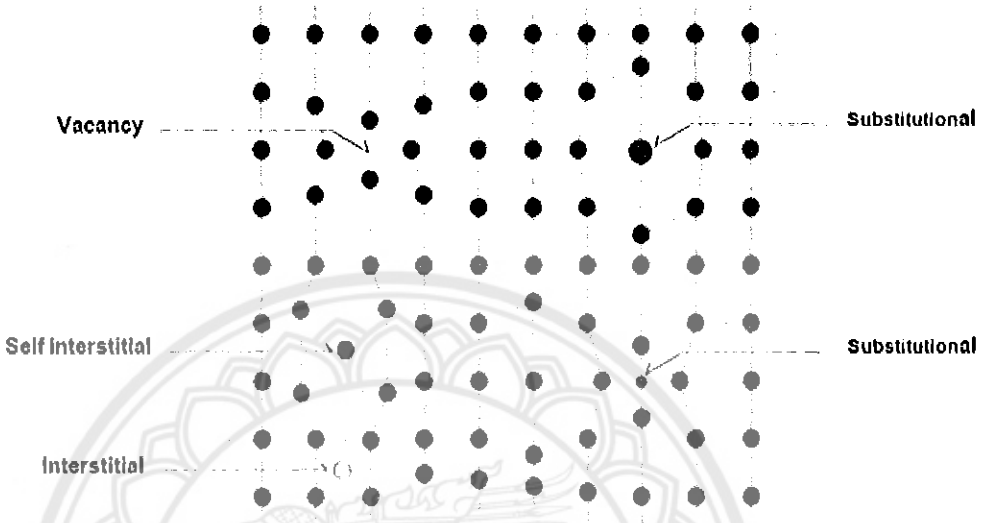
2.7.1 ความไม่สมบูรณ์ของผลึกแบบจุด (point defect) เกิดขึ้นจากสาเหตุที่สำคัญ 4 ประการ ดังแสดงในรูป

1. ถ้าอะตอมไม่มีหรือขาดหายไปจากตำแหน่งทำให้ตำแหน่งนั้นเป็นที่ว่าง (vacancy)

2 ถ้าอะตอมเลื่อนจากตำแหน่งไปอยู่ในที่ว่างอื่น คือ “การเข้าไปอยู่ในช่องว่างเสียเอง” (self-interstitial defect)

3 ถ้าอะตอมอื่นที่ไม่ใช่อะตอมของผลึกนั้นไปอยู่ในช่องว่าง เพื่อแทนที่อะตอมที่มีในผลึก เรียกว่า “substitutional impurity”

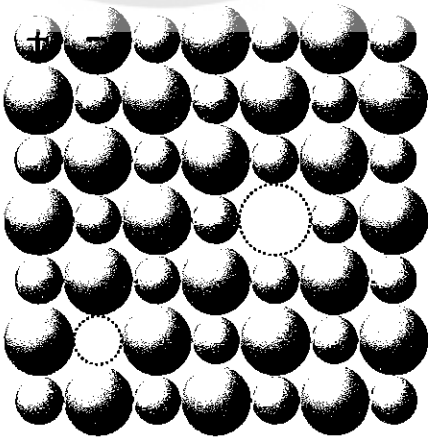
4 ถ้าอะตอมอื่นที่มีขนาดเล็กเข้าไปอยู่ในช่องว่าง (interstice) ที่มีตามธรรมชาติของผลึกเรียกว่า “interstitial impurity”



รูปที่ 2.19 รูปแสดงความไม่สมบูรณ์ของผลึกแบบจุด [39]

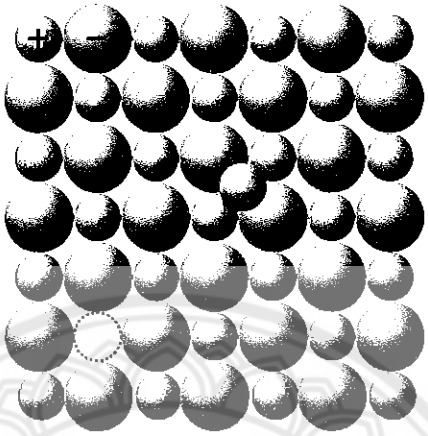
นอกจากความไม่สมบูรณ์ของผลึกแบบจุด แล้วยังมีความไม่สมบูรณ์ของผลึกแบบจุดในกรณีของผลึกไอออนิกที่จัดเป็นกรณีพิเศษอีก 2 ชนิด คือ

2.7.1.1 ความไม่สมบูรณ์แบบชอตกี (Schottky defect) เกิดจากอนุภาคที่เป็นไอออนบวกและไอออนลบหายไปเป็นจำนวนเท่าๆ กัน ทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า นั่นคือ ความเป็นกลางทางไฟฟ้า



รูปที่ 2.20 Schottky defect [39]

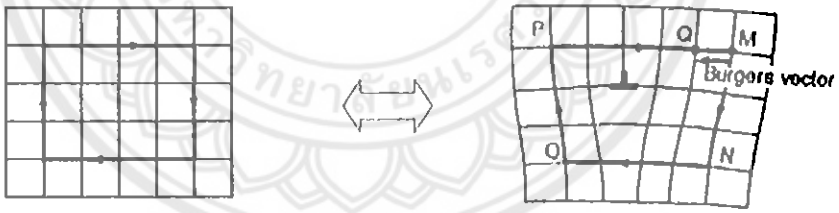
2.7.1.2 ความไม่สมบูรณ์แบบเฟรนเกล (Frenkel defect) เกิดจากอนุภาคที่เป็นไอออนเข้าไปอยู่ผิดที่ โดยแทรกอยู่กับไอออนอื่น ทำให้ตำแหน่งของไอออนบางส่วนในผลึกบิดเบี้ยวไป ส่วนใหญ่จะพบในกรณีผลึกที่มีขนาดไอออนบวกและไอออนลบต่างกันมาก เช่น ผลึก AgCl AgBr หรือผลึกที่มีโครงสร้างแบบไม่ชิดกัน เช่น CaF_2



รูปที่ 2.21 Frenkel defect [39]

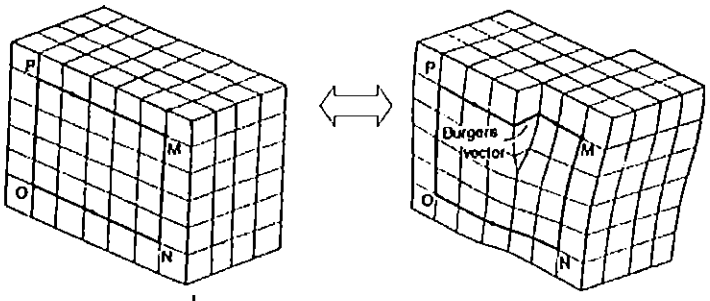
2.7.2 ความไม่สมบูรณ์ของผลึกแบบเส้น (line defect) มี 2 แบบ ได้แก่

2.7.2.1 Edge dislocation ผลึกประกอบด้วยการซ้อนทับของแผ่นหรือชั้นของอะตอมหรือไอออน ซึ่งการซ้อนทับของชั้นต่างๆโดยที่ความยาวของชั้นหนึ่งสั้นกว่าของชั้นอื่นๆทำให้เกิดการบิดเบี้ยวภายในผลึก



รูปที่ 2.22 Edge dislocation [39]

2.7.2.2 Screw dislocation สมมติผลึกที่สมบูรณ์จะมีชั้นของอะตอมตามแนวนอน จากนั้นปาดผลึกตามแนวดิ่งตามระนาบ ถ้าเคลื่อนส่วนหนึ่งหลังจากปาดแล้วให้สูงขึ้นหนึ่งหรือสองระนาบ จะเห็นเป็นรูปขั้นบันไดวนรอบ



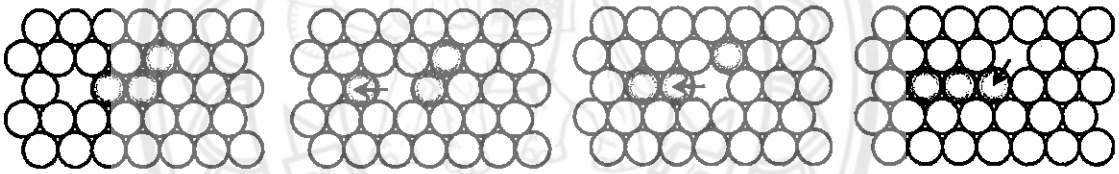
รูปที่ 2.23 Screw dislocation [39]

2.8 การแพร่ [40]

การแพร่ (Diffusion) คือกลไก หรือการขนส่งอะตอมของสารหนึ่ง ผ่านเข้าไปยังอีกสารหนึ่ง การแพร่ของอะตอมในสถานะก๊าซ เป็นการแพร่ที่เร็วที่สุด เมื่อเทียบกับในสภาวะ ของเหลว หรือของแข็ง ในขณะทีการแพร่ของสารในของแข็งด้วยกัน เช่น โลหะ และ โลหะผสมเกิดขึ้นได้ยากกว่า มักจะต้องอาศัยความ ร้อนหรือการสั่นสะเทือนเพื่อทำให้เกิดการแพร่ ปฏิกิริยาที่ เกิดขึ้นในของแข็งเกิดจากการแพร่ของอะตอม เช่นการเกิด grain หรือเกิด Nuclei ในการเกิดผลึก เป็นต้น การแพร่ของอะตอมในโครงผลึกมีด้วยกัน 2 ชนิดคือ

2.8.1 Vacancy diffusion หรือ Substitution diffusion

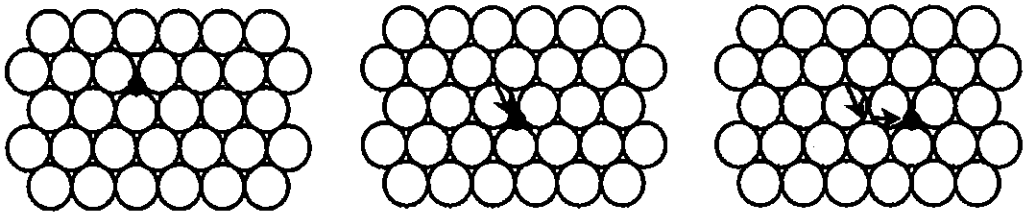
การแพร่โดยอาศัยช่องว่าง หรือแบบแทนที่ อะตอมจะ เคลื่อนที่ ในโครงผลึกจากตำแหน่งหนึ่งไปอีกตำแหน่งหนึ่งเป็นการแทรกตัวของอะตอมแปลกปลอมที่มีขนาดใกล้เคียงกับอะตอมหลักเข้ามาแทนที่ในช่องว่างนั้น ช่องว่างในผลึก ซึ่งเป็นจุดบกพร่องของผลึก ก็มีส่วนทำให้อะตอมสามารถแพร่ได้ เมื่อความร้อนสูงขึ้น ช่องว่างในผลึกก็จะมีขนาดใหญ่ขึ้น อะตอมมีพลังงานสูงขึ้นก็สามารถเกิดการแพร่ได้เร็วขึ้น พลังงานกระตุ้น อาจมาจากความร้อน หรือการสั่นสะเทือน



รูปที่ 2.24 การแพร่แบบแทนที่ [40]

2.8.2 Interstitial diffusion

เป็นการแพร่ของอะตอมที่มีขนาดเล็กเข้ามาแทรกอยู่ระหว่างอะตอมหลัก การแพร่แบบนี้จะพบว่าเป็นการแพร่ระหว่างอะตอมของธาตุชนิดหนึ่งเข้าไปยังอะตอมของธาตุ อีกชนิดหนึ่ง เช่น C-atoms แทรกอยู่ระหว่างช่องว่างของ Fe-atoms ในโครงสร้าง BFC



รูปที่ 2.24 การแพร่แบบแทรก [40]

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บุษบากร ศรีสถาพร (2556) ได้ศึกษา เรื่อง "การวิเคราะห์คุณลักษณะ และเพิ่มมูลค่าของพลอยสปิเนลสีแดงอมน้ำตาล ด้วยเทคนิคลำไอออน" [41] พบว่า สามารถแบ่งสปิเนลสีแดงอมน้ำตาลออกเป็น 3 กลุ่มสี โดยสปิเนลกลุ่มสีส้มแกมแดงจะมีสีแดงที่สดน้อยกว่ากลุ่มสี แดงแกมส้ม และกลุ่มสีส้มแดง เนื่องจากสปิเนลกลุ่มนี้ จะมีปริมาณธาตุเหล็กที่มากกว่ากลุ่มอื่นๆ เนื่องจากธาตุเหล็กนั้นทำให้เกิดสีน้ำตาลเป็นสีรองเจือปนกับสีแดง ในการศึกษาพลอยสปิเนลสีแดงอมน้ำตาล ด้วยเทคนิคลำไอออน จะเป็นการเพิ่มปริมาณสีแดงให้กับพลอยสปิเนลมากที่สุด ทำให้มูลค่าของพลอยสปิเนลมีค่ามากขึ้น เพราะ สีแดงเป็นสีที่มีมูลค่ามากที่สุด

อาภากร นุ้ยพิน, ณัฐพล ชมแสง, เอกรัฐ มีชูวาศ และ ภูวดล วรรธนะชัยแสง (2557) ได้ศึกษาเรื่อง "การศึกษาแก้วเติมสำหรับรอยแตกบนทับทิม" [42] พบว่าแก้วเติมสำหรับรอยแตกบนทับทิมจากโมแซมบิค โดยเผาผงแก้วร่วมกับทับทิมด้วยเตาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ยืนอุณหภูมิ เป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง ตรวจสอบสมบัติกายภาพการหาค่าดัชนีหักเหและความถ่วงจำเพาะพลอยก่อนและหลังเผา ถ่ายภาพรอยแตกและมลทินพลอยก่อนและหลังเผาด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง และหาการสะท้อนแสงด้วย ยู ผลการทดลองพบว่าดัชนีหักเหแสงและความถ่วงจำเพาะลดลงเนื่องจากดัชนีหักเหแสงและความถ่วงจำเพาะของแก้วต่ำกว่าทับทิม ตัวอย่างทับทิมที่มีรอยแตกถูกประสานให้มีความใสขึ้น มีความสวยงามเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์การสะท้อนแสงในช่วง 350-750 nm พบว่าการสะท้อนแสงของพลอยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ Cr^{3+} ซึ่งให้สีแดงกับพลอยทับทิม

ตรีเดชน์ กิตติอัชวาลย์, สุปาณี ลิ้มสุวรรณ และ พงศ์ทิพย์ วิโนทัย ได้ศึกษา เรื่อง "ผลของความร้อนต่อสมบัติทางกายภาพของพลอยทับทิมธรรมชาติ" [43] โดยการเผาที่อุณหภูมิ 1,200, 1,300, 1,400 , 1,500 และ 1,600 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ในการหาธาตุองค์ประกอบของทับทิมโดย Energy Dispersive X-ray Fluorescnce Spectrometer (EDXRF) พบว่าทับทิมมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) โดยมีโครเมียม ไททาเนียม วาเนเดียม และ เหล็ก เป็นมลทิน และติดตามการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกของทับทิมโดยใช้ Powder X-ray Diffractrometer (XRD) พบว่าทับทิมมีโครงแบบ Hexagonal และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวัดไปคำนวณด้วยวิธี Rietveld เพื่อหาค่าแลชทิชพารามิเตอร์ (a, b และ c) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วน c/a โดยมีค่าต่ำสุดเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส ส่วนการติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ Fe^{3+} ในผงและผลึกทับทิมด้วย X-band ESR Spectrometer พบว่าเมื่อเผาผงและผลึกทับทิมในบรรยากาศออกซิเจนอัตราส่วนของ Fe^{3+}/Fe^{+3}_{RT} มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังจากเผาที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น ดังนั้นทับทิมเวียดนามสามารถปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้นได้ด้วยการเผา

บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงงาน

วิธีดำเนินโครงการนี้จะกล่าวถึงลำดับขั้นตอนในการดำเนินงาน รวมไปถึงวัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในงานทดลอง โดยลำดับขั้นตอนการดำเนินการดังแสดงในรูปที่ 3.1 ดังต่อไปนี้

รูปที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนในการดำเนินงาน

3.1 วัสดุ และอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1.1 ถ้วย Crucible

3.1.1.2 เตาเผา

3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 เศษทับทิมขนาดเล็ก

3.1.2.2 ผงคาร์บอน

3.1.2.3 เหล็กออกไซด์

3.1.2.4 บอแร็กซ์

3.1.2.5 แบเรียมคาร์บอเนต

3.1.2.6 แคลเซียมคาร์บอเนต

3.1.2.7 โซเดียมคาร์บอเนต

3.1.2.8 ถ่านกัมมันต์

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2.1 การศึกษาสมบัติของพลอย

ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ โดยการสังเกต จดบันทึก และวิเคราะห์ลักษณะของชิ้นก่อนเริ่มกระบวนการ และหลังกระบวนการเสร็จสิ้น

3.2.2 การจัดหาวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

โครงการวิจัยนี้ใช้เศษทับทิมขนาดเล็ก ที่เหลือจากการทำพลอย จากพื้นที่ใน อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี

3.2.3 ขั้นตอนการเผาชิ้นงาน

3.2.3.1 คัดเลือกเศษทับทิมขนาดเล็กที่มีความเหมาะสมในการทดลอง

3.2.3.2 ทำการเผาเศษทับทิมขนาดเล็กตั้งแต่อุณหภูมิ 900, 1,000, 1,100 และ1,200 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการเผาตั้งแต่ 6, 12 และ18 ชั่วโมง

3.2.4 การทดสอบ

นำเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน 2 ครั้ง และเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน 1 ครั้งมาตรวจสอบทางสายตา ตรวจสอบสมบัติทางแสง และตรวจสอบทางกล้องจุลทรรศน์ แล้วนำมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างก่อนทำ และหลังทำกรรมวิธีทางความร้อน

1722428

3.2.4.1 ทำการตรวจสอบด้วยทางสายตา (visual) แล้วทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน 2 ครั้ง และเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน 1 ครั้ง

7 ก.ย. 2561

3.2.4.2 ทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ แล้วทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน 2 ครั้ง และเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน 1 ครั้ง

3.2.4.3 ทำการทดสอบหาค่า Red Green Blue ของชิ้นงานเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน 2 ครั้ง และเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน 1 ครั้ง

3.2.5 วิเคราะห์ และ สรุปผลการทดลอง

นำเศษทับทิมขนาดเล็ก และผลการทดลองไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ทดสอบหาค่า Red Green Blue และมูลค่าของชิ้นงาน จากนั้นทำการสรุปผลการทดลอง

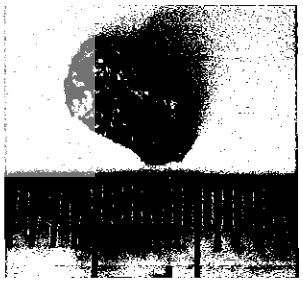
บทที่ 4
ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

ในผลการทดลอง และการวิเคราะห์นี้ จะกล่าวถึงผลการตรวจสอบลักษณะกายภาพภายนอกของเศษทับทิมขนาดเล็กที่เคยผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 1 ครั้ง หรือที่เรียกว่า การหุงพลอย เปรียบเทียบกับลักษณะกายภาพภายนอกของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ถูกนำมาปรับปรุงด้วยกรรมวิธีทางความร้อนอีกครั้ง ตลอดจนผลการศึกษาการเทียบค่า Red Green Blue (RGB) ของเศษทับทิมขนาดเล็ก ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

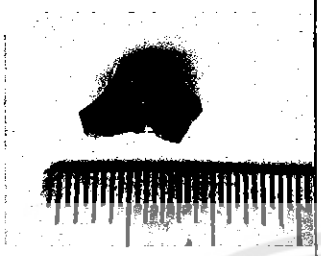
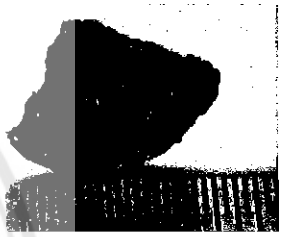
4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพและสีของเศษทับทิมขนาดเล็ก

ในการศึกษาลักษณะกายภาพที่ผิวภายนอกของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 2 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 900, 1,000, 1,100 และ1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12 และ 18 ชั่วโมง จะทำการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอล เพื่อหาค่าสีของเศษทับทิมขนาดเล็ก ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงรูปถ่ายจากกล้องดิจิตอลของเศษทับทิมขนาดเล็ก

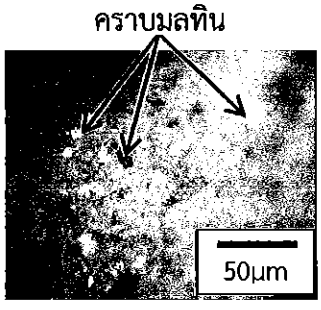
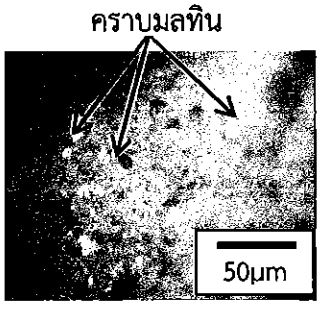
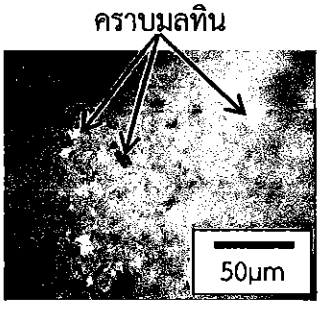
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)		
	6	12	18
900			
1,000			

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ตารางแสดงรูปถ่ายจากกล้องดิจิตอลของเศษทับทิมขนาดเล็ก

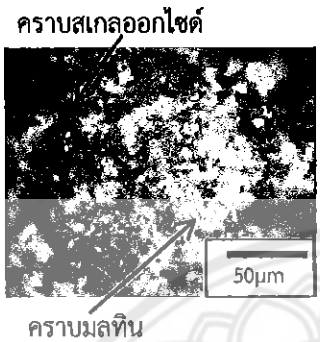
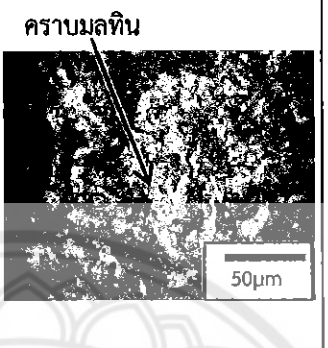
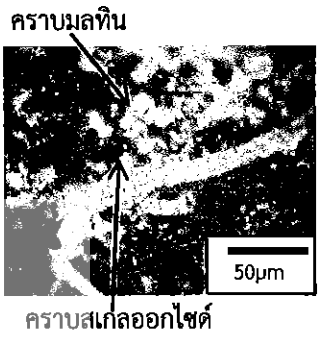
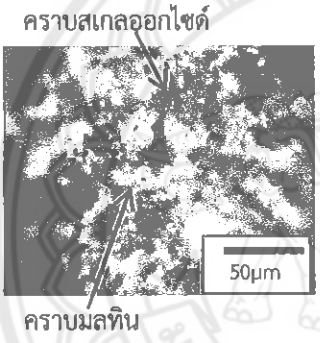
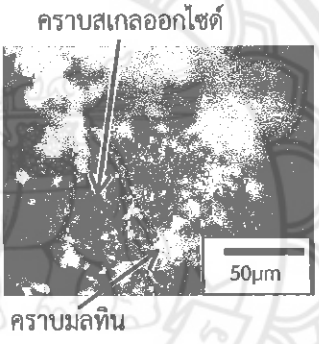
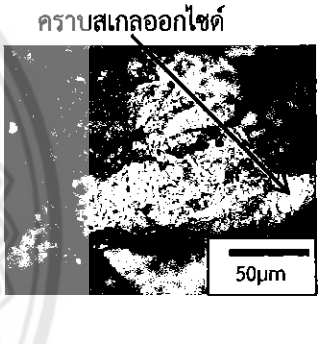
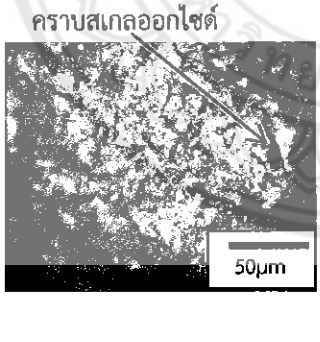
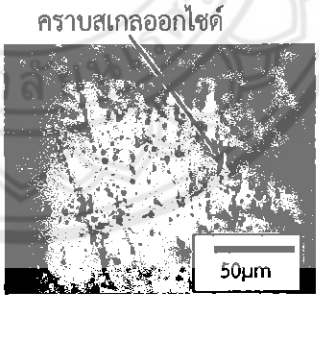
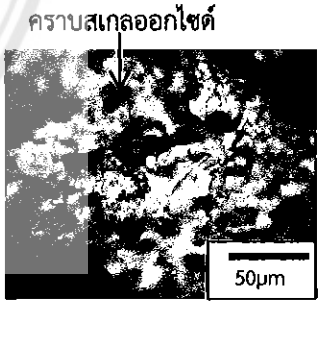
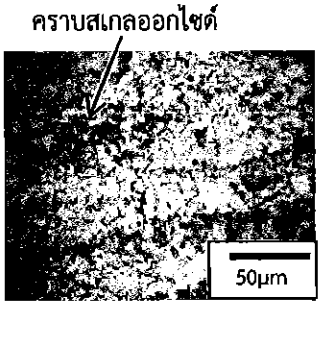
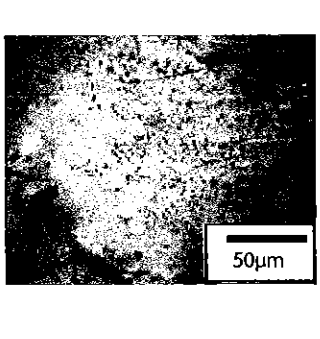
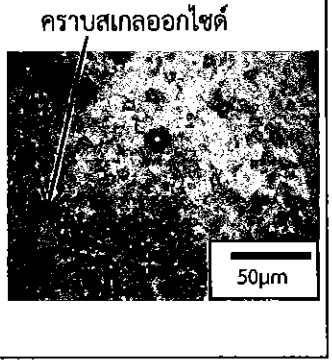
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง) 6	12	18
1,100			
1,200			

จากตารางที่ 4.1 พบว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น จะทำให้การแพร่ของ Fe^{2+} เข้าไปในเนื้อเศษทับทิมขนาดเล็กมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้สีของเศษทับทิมขนาดเล็กมีสีที่เข้มขึ้น และเช่นเดียวกันเมื่อระดับอุณหภูมิในการอบเพิ่มสูงขึ้น ก็จะทำให้การแพร่ของ Fe^{2+} เข้าไปในเนื้อเศษทับทิมขนาดเล็กเพิ่มสูงขึ้น จากนั้นทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายสูงขึ้น ผลการตรวจสอบแสดงดังตารางมรา 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงรูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แสงของเศษทับทิมขนาดเล็ก

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง) 6	12	18
ก่อนเผา			

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ตารางแสดงรูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แสงของเศษทับทิมขนาดเล็ก

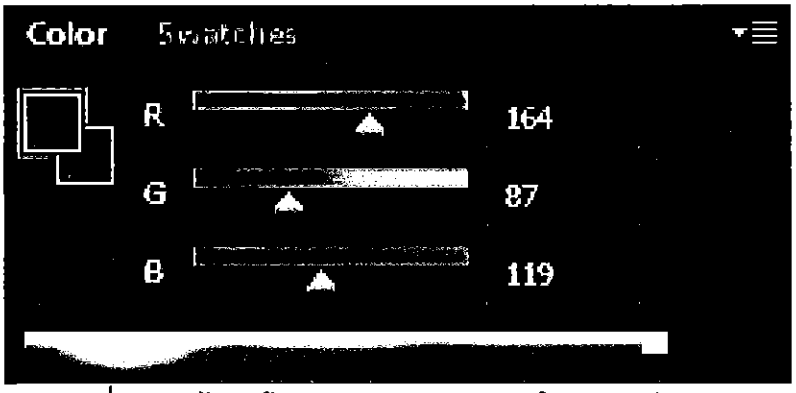
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง) 6	12	18
900			
1,000			
1,100			
1,200			

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ที่อุณหภูมิ 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส ที่เวลา 6, 12 และ 18 ชั่วโมง ลักษณะพื้นผิวภายนอกของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 2 ครั้ง ยังมีคราบสเกลออกไซด์ และมลทินเกิดขึ้นอยู่ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบเป็น 1,100 องศาเซลเซียส เวลา 6 ชั่วโมง คราบสเกลออกไซด์ยังคงปรากฏให้เห็นจำนวนเล็กน้อย และเมื่อเวลาในการอบเพิ่มขึ้นเป็น 12 ชั่วโมง พบว่าบริเวณผิวภายนอกของเศษทับทิมขนาดเล็กเริ่มมีความใสมากขึ้น ไม่มีคราบสเกลออกไซด์และมลทินเหลืออยู่ ซึ่งคาดว่าที่อุณหภูมิอบที่ 1,100 องศาเซลเซียสนี้จะเกิดการจัดเรียงตัวของอะตอมในผลึกใหม่ทำให้มลทินที่อยู่ในพื้นผิวเศษทับทิมขนาดเล็กจางหายไปจึงทำให้เศษทับทิมขนาดเล็กมีความใสมาก ขึ้นโดยที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียสเป็นช่วงอุณหภูมิที่ดีรองลงมาจากอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสจากทฤษฎีเทคนิคการเผาแบบใหม่ ส่วนเวลาในการอบที่ 18 ชั่วโมง พบว่าบริเวณพื้นผิวภายนอกมีการเกิดคราบสเกลออกไซด์อีกครั้ง คาดว่าจะเกิดจากพื้นผิวภายนอกของเศษทับทิมขนาดเล็กทำปฏิกิริยากับก๊าซร้อนที่สัมผัสอยู่เกิดเป็นคราบสเกลออกไซด์ปกคลุมเนื่องจากความร้อน (thermal oxide scale) [38] สุดท้ายเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิอบเป็น 1,200 องศาเซลเซียส ที่เวลา 6 ชั่วโมง ผลปรากฏว่ายังคงเกิดคราบสเกลออกไซด์เล็กน้อยเหมือนเดิม และที่เวลา 12 ชั่วโมง บริเวณพื้นผิวภายนอกของเศษทับทิมขนาดเล็กมีความใสมากขึ้น ไม่มีคราบสเกลออกไซด์ และมลทินเหลืออยู่ ส่วนที่เวลา 18 ชั่วโมง พบว่าบริเวณพื้นผิวภายนอกมีความใสลดลง มีการเกิดคราบสเกลออกไซด์ขึ้นมาอีกครั้ง

4.2 ค่า Red Green Blue (RGB)

ในการศึกษาการเปรียบเทียบสีของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนอีก 1 ครั้งที่อุณหภูมิ 900, 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6, 12, และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ สามารถทำได้โดยการนำค่าสีของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านการทดลองมาแล้วจากรูปถ่ายของกล้องดิจิตอล โดยอาศัยโปรแกรม Photo Shop ช่วยในการวัดค่าสี RGB ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับสีของทับทิมมาตรฐาน ผลการตรวจสอบและเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 4.3 – 4.6

รูปที่ 4.1 โปรแกรม Photo Shop ในการหาค่า RGB



รูปที่ 4.2 หน้าต่างโปรแกรม Photo Shop ในการหาค่า RGB

ตารางที่ 4.3 ค่า RGB ของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางร้อนครั้งที่ 2 ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาในการอบ (ชั่วโมง)	ค่าสี											
	Red (R)				Green (G)				Blue (B)			
	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
6	109	109	109	109	59	53	55	55.67	70	64	68	67.34
12	92	98	96	95.34	57	64	63	61.34	53	62	58	57.67
18	64	64	71	66.34	32	35	35	34	33	31	37	33.67
ค่าสีมาตรฐาน Red Ruby	155				17				30			

การตรวจสอบค่า RGB ของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนครั้งที่ 2 โดยผลการตรวจสอบค่า RGB ของเศษทับทิมขนาดเล็กที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12 และ 18 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่า RGB ของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางร้อนครั้งที่ 2 ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

	ค่าสี											
	Red (R)				Green (G)				Blue (B)			
ระยะเวลาในการอบ (ชั่วโมง)	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
6	94	98	94	95.34	66	64	65	65	91	90	91	90.67
12	76	74	67	72.34	50	48	34	44	59	61	45	55
18	94	92	93	93	66	64	59	63	78	78	60	72
ค่าสีมาตรฐาน Red Ruby	155				17				30			

การตรวจสอบค่า RGB ของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนครั้งที่ 2 โดยผลการตรวจสอบค่า RGB ของเศษทับทิมขนาดเล็กที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12 และ 18 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่า RGB ของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางร้อนครั้งที่ 2 ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส

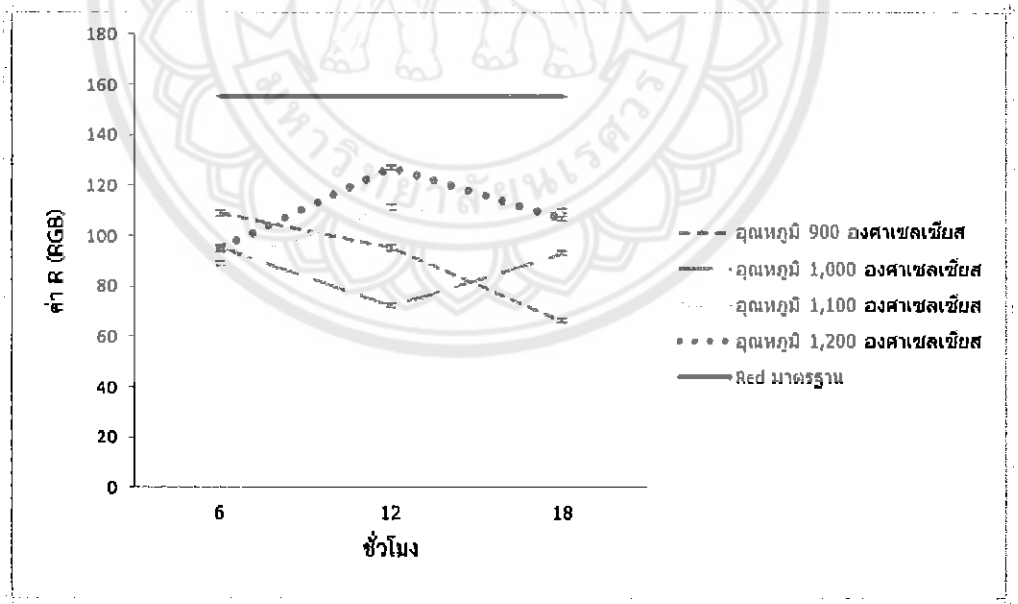
	ค่าสี											
	Red (R)				Green (G)				Blue (B)			
ระยะเวลาในการอบ (ชั่วโมง)	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
6	88	90	89	89	52	61	53	55.34	54	66	55	58.34
12	109	110	115	111.34	53	55	58	55.34	82	84	90	85.34
18	98	112	119	109.67	60	67	75	67.34	57	61	74	64
ค่าสีมาตรฐาน Red Ruby	155				17				30			

การตรวจสอบค่า RGB ของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนครั้งที่ 2 โดยผลการตรวจสอบค่า RGB ของเศษทับทิมขนาดเล็กที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12 และ 18 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่า RGB ของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางร้อนครั้งที่ 2 ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

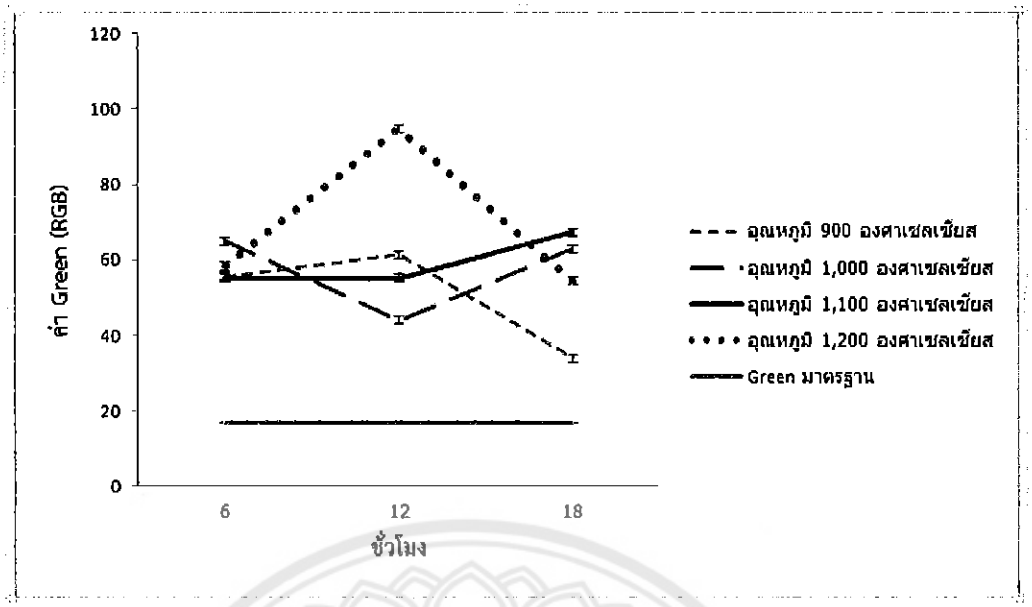
	ค่าสี											
	Red (R)				Green (G)				Blue (B)			
ระยะเวลาในการอบ (ชั่วโมง)	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
6	94	94	96	94.67	59	57	59	58.34	66	65	67	66
12	123	128	130	127	94	96	94	94.67	99	107	106	104
18	112	103	106	107	57	57	50	54.67	99	94	95	96
ค่าสีมาตรฐาน Red Ruby	155				17				30			

เมื่อทำการสร้างกราฟการเปรียบเทียบค่า Red ของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 2 ครั้งที่อุณหภูมิ 900, 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส เวลา 6, 12 และ 18 ชั่วโมงกับค่า Red มาตรฐาน แสดงดังรูปที่ 4.3

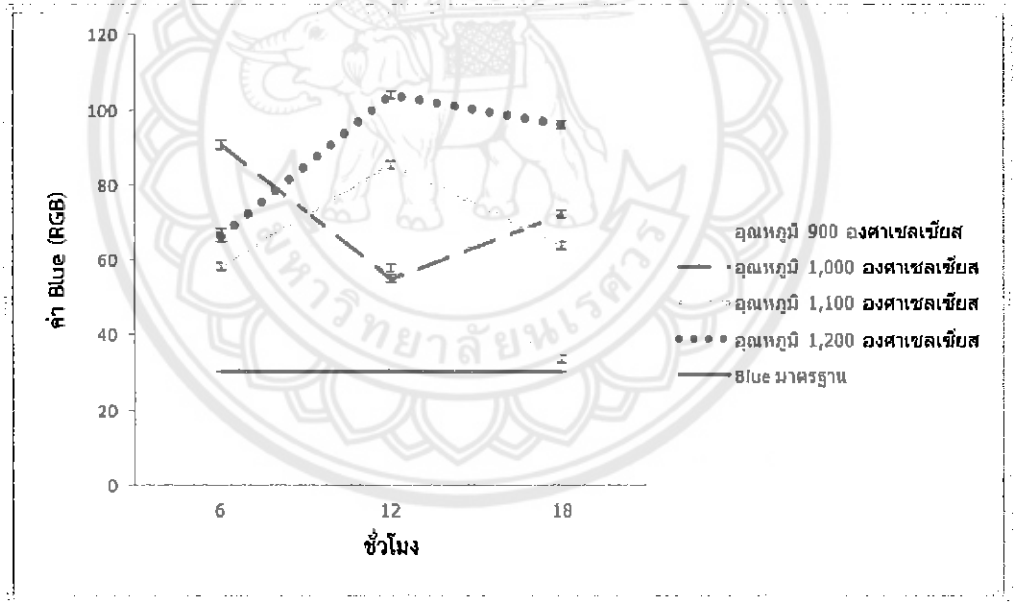


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Red ของเศษทับทิมขนาดเล็กหลังกรรมวิธีทางความร้อนของทุกอุณหภูมิกับค่า Red มาตรฐาน

จากรูปที่ 4.3 กราฟข้อมูลค่า Red ที่ได้จากการทดลอง พบว่า เศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 2 ครั้ง ที่ อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมงจะให้ค่า Red ที่สูงที่สุด ซึ่งใกล้เคียงกับค่า Red มาตรฐาน



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Green ของเศษทับทิมขนาดเล็กหลังกรรมวิธีทางความร้อน ของทุกอุณหภูมิกับค่า Green มาตรฐาน



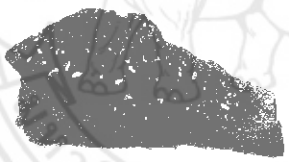
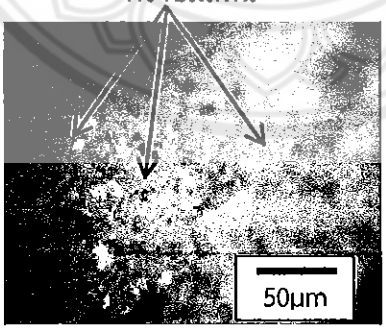
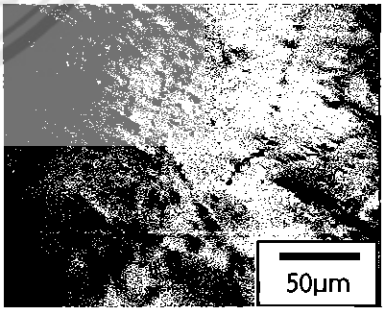
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Blue ของเศษทับทิมขนาดเล็กหลังกรรมวิธีทางความร้อน ของทุกอุณหภูมิกับค่า Blue มาตรฐาน

จากรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 พบว่า กราฟข้อมูลค่า Green และค่า Blue ที่ได้จากการทดลอง ของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 2 ครั้ง ที่ อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง มีค่าที่ห่างจากค่ามาตรฐานมาก แต่เนื่องจากความต้องการให้เศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 2 ครั้งมีค่า Red ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานมากกว่าค่า Green และค่า Blue เพราะในความต้องการของตลาดทับทิมมีความต้องการสีแดงสดมากที่สุด

4.3 การเปรียบเทียบก่อน และหลังกรรมวิธีทางความร้อนของอุณหภูมิ และช่วงเวลาที่ดีที่สุด

หลังจากที่ได้ทำการทดลองกรรมวิธีทางความร้อนของเศษทับทิมขนาดเล็ก ซึ่งได้เลือกช่วงอุณหภูมิ และระยะเวลาที่ดีสุด คืออุณหภูมิที่ 1,200 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 ชั่วโมง มาทำการทดลองอีก 1 ครั้ง เพื่อเปรียบเทียบลักษณะกายภาพภายนอกของเศษทับทิมขนาดเล็ก ตลอดจนผลการศึกษาการเทียบค่า Red Green Blue (RGB) ของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 1 ครั้ง กับที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 2 ครั้งดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงลักษณะกายภาพภายนอกของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 1 ครั้ง และเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 2 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง

	ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 1 ครั้ง	ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 2 ครั้งที่ อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง
กล้องดิจิตอล		
กล้องจุลทรรศน์แสง		

จากตารางที่ 4.7 พบว่าเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 1 ครั้งจากกล้องดิจิตอลมีสีชมพูอ่อน และจากกล้องจุลทรรศน์แสงมีลักษณะกายภาพภายนอกยังพบคราบมลทินอยู่มาก เมื่อนำไปผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อนำไปถ่ายด้วยกล้องดิจิตอล จะมีสีที่เข้มขึ้น และจากกล้องจุลทรรศน์แสงมีลักษณะกายภาพภายนอกที่ไม่พบคราบมลทินจากเนื้อเศษทับทิมขนาดเล็ก

จากนั้นนำเศษทับทิมขนาดเล็กมาวัดค่า RBG และเปรียบเทียบค่าระหว่างก่อน และหลังกรรมวิธีทางความร้อนของอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่า RGB ของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 1 ครั้ง และเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 2 ครั้งที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง

	ค่าสี											
	Red (R)				Green (G)				Blue (B)			
0	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 1 ครั้ง	186	181	185	184	88	99	98	95	149	147	151	149
ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 2 ครั้งที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง	143	146	143	144	87	88	86	87	98	103	99	100
ค่าสีมาตรฐาน Red Ruby	155				17				30			

รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบระหว่างก่อน, หลังกรรมวิธีทางความร้อนของเศษทับทิมขนาดเล็กและค่ามาตรฐาน

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าค่า Red ของเศษทับทิมขนาดเล็กที่ได้ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 2 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าจะมีค่าใกล้เคียงกับค่า Red มาตรฐานมากที่สุดเมื่อเทียบกับค่า Red ก่อนกรรมวิธีทางความร้อน และในส่วนของค่า Green และค่า Blue เศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 2 ครั้งที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง พบว่าจะมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานมากกว่าเศษทับทิมขนาดเล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 1 ครั้ง

บทที่ 5

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

ในบทสรุปและข้อเสนอแนะนี้ จะกล่าวถึงข้อสรุปของโครงงานที่ได้ทำกรรมวิธีทางความร้อนของเศษทับทิมขนาดเล็กในช่วงอุณหภูมิ และเวลาต่างๆ รวมถึงได้รวบรวมข้อเสนอแนะ การพัฒนา ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ไข ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 บทสรุปของโครงงาน

5.1.1 ในการนำเศษทับทิมขนาดเล็กมาผ่านกรรมวิธีทางความร้อนครั้งที่ 2 ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง จะเป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากไม่มีมลทิน ของเศษทับทิมขนาดเล็กหลงเหลืออยู่ และไม่มีสเกลออกไซด์เกิดขึ้น

5.1.2 ในการนำเศษทับทิมขนาดเล็ก มาทำการทดสอบหาค่า RGB ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง เป็นช่วงที่มีค่า Red และ Blue เยอะที่สุดซึ่งใกล้เคียงกับค่าใกล้เคียงกับชนิดสีที่มีชื่อว่า Ruby (Crayola) จากค่ามาตรฐานในตารางที่ 2.1

5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา

5.2.1 อาจทำการศึกษาประสิทธิภาพของเศษทับทิมขนาดเล็ก หลังกรรมวิธีทางความร้อน ด้วยการนำชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนไปเจียระไน และนำชิ้นงานที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับทับทิมมาตรฐาน

5.2.2 อาจทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษทับทิมขนาดเล็ก มาทำกรรมวิธีทางความร้อนด้วยการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปอีก แล้วเทียบค่า RGB ของชิ้นงานที่ได้ เนื่องจากมีแนวโน้มว่าถ้าเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไป อาจทำให้ค่า RGB มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีความใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานมากกว่านี้

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไขปัญหา

5.3.1 จากการทดลองพบว่า เวลาถ่ายภาพจากกล้องดิจิตอลจะมีเงาเกิดขึ้นระวังการถ่ายทำให้มีผลต่อการหาค่า RGB วิธีแก้ปัญหาคือพยายามหามุมในการถ่ายให้เกิดเงาที่น้อยที่สุด

5.3.2 ชิ้นงานที่ใช้ในแต่ละอุณหภูมิ มีขนาด และมลทินที่ต่างกัน หลังจากการทดลองแล้วเมื่อนำชิ้นงานมาส่องกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสง ทำให้พบว่าชิ้นงานบางอุณหภูมิยังมีมลทินเหลืออยู่ วิธีการแก้ไขคือ คัดเลือกขนาดชิ้นงานให้เหมาะสมกับอุณหภูมิที่ทำการทดลอง

5.3.3 หลังจากการทดลองพบว่า ชิ้นงานที่ได้หลังจากการทำกรรมวิธีทางความร้อนมีลักษณะที่มีคราบของสารเติมแต่งเกาะติดอยู่เกือบทั่วชิ้นงาน ทำให้มีปัญหาในการดูสีของชิ้นงานจริงๆ วิธีแก้ปัญหาค่านำชิ้นงานไปทำการเจียระไนด้วยเครื่องขัดกระดาษทรายเพื่อให้คราบที่เกาะติดอยู่หลุดออกไป

เอกสารอ้างอิง

[1] The Gem And Jewelry Institute Of Thailand, 2012.

[2] สุภาวดี บุญงอก, **การหุงพลอย (Heat Treatment) กรรมวิธีการเพิ่มมูลค่าให้อัญมณีไทย.**

[3] ดร. พงศักดิ์ วิชิต, **"กำเนิดพลอย และทับทิม ในหินบะซอลต์"**, ข่าวสารธรณี ปีที่ 22, ฉบับที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2520, หน้าที่ 47.

[4] ดร. พงศักดิ์ วิชิต, **"แหล่งพลอยทับทิม ในประเทศไทย"**, ข่าวสารธรณี ปีที่ 31, ฉบับที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2529, หน้าที่ 22.

[5] โพยม อรัญกานนท์, **"เพชรพลอยเมืองไทย"**, ข่าวสารธรณี ปีที่ 18, ฉบับที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2529, หน้าที่ 10.

[6] อัญมณี สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จ**พระเจ้าอยู่หัว, "พลอยแทนซาเนีย"** เล่มที่ 20, นิตยสารสารคดี ปีที่ 19, เล่มที่ 223, กันยายน พ.ศ.2546.

[7] Petrov A .And Neumeier G. , "Emerald Of The World",หน้า 100 ,Lapis International, Germany , 2002.

[8] Heaney, Peter J., **"Structure And Chemistry Of The Low-Pressure Silica Polymorphs"**. Reviews In Mineralogy And Geochemistry ,หน้า1–40, 1994.

[9] Emsley, John , **"Nature's Building Blocks: An A-Z Guide To The Elements"**, Oxford University Press, หน้า 451–53,2001.

[10] Anthony, John W. Bideaux, Richard A.; Bladh, Kenneth W. And Nichols, Monte C., **"Zircon". Handbook Of Mineralogy (PDF). II (Silica, Silicates). Chantilly, VA,** US: Mineralogical Society Of America,

[11] มณีจิต สุพจน์ แจ้งเร็ว, **"ศรีสรรพ์อัญมณี เรื่องราวเพื่อคนรักอัญมณี"**, พิมพ์ครั้งที่ 8, สำนักพิมพ์บริษัทมติชน จำกัด (มหาชน), กรุงเทพมหานคร, 2546.

[12] Cornell RM., Schwertmann., **"The Iron Oxides: Structure", Properties , Reactions, Occurrences And Uses.** Wiley VCH ,2003.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[13] Lee, C.S. (2009). **Photocatalytic Function Coating Of Tio2 Thin Film On Polymer Substrate By Plasma Enhanced Atomic Layer Deposition.** Applied Catalysis B: Environment, 91(3-4), 628-633.

[14] Mane, R.(2006). **A Sample And Low Temperature Process For Super-Hydrophilic Rutile Tio2 Thin Films Growth.** Applied Surface Science, 253(2), 581585.

[15] Liu, H. (2009). **Properties And Mechanism Study Of Sno2 Nanocrystals For H2S Thick-Film Sensor.** Sensor And Actuators B: Chemical,140(1),109-115.

[16] J.E Greedan. , "**Magnetic Oxides In Encyclopedia Of Inorganic Chemistry R. Bruce King**", Ed. John Wiley & Sons., 1994.

[17] **ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 111 ตอนพิเศษ 9ง. , "ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 151 (พ.ศ.2536) เรื่อง กำหนด วัตถุที่ห้ามใช้ในอาหาร"** กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์สำนักนายกรัฐมนตรี , 2537.

[18] **พวงรัตน์** ขจิตวิชยานุกูล, จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย, อภิชน วัชเรนทร์วงศ์, สุธาทิ**พย์ สินยัง, คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน**, สำนักงานกองทุนสนับ**สนุนการวิจัย**, 2555.

[19] A.Muan And C.L.Gee, "**Phase Equilibrium Studies In The System Iron Oxide – Alumina In Air And At One Atmosphere Oxygen Pressure**", Journal Of The American Ceramic Society, 39 207-14, 1956.

[20] ไม่ปรากฏชื่อ. **ลักษณะเฉพาะของเพชร.** สืบค้นวันที่ 2 พฤศจิกายน 2558, จากhttp://gaingems.com/Characteristics_of_Diamonds.html.

[21] ไม่ปรากฏชื่อ. **มรกต.** สืบค้นวันที่ 2 พฤศจิกายน 2558, จาก https://th.wikipedia.org/wiki/มรกต.

[22] ไม่ปรากฏชื่อ. **เหลืองสดใส....บุษราคัม.** สืบค้นวันที่ 2 พฤศจิกายน 2558, จาก http://vvygems.tarad.com/article-th-111967-ทำความรู้จัก...พลอยบุษราคัม+%7C+YELLOW+SAPPHIRE.html.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[23] ไม่ปรากฏชื่อ. **โกเมนก้อน**. สืบค้นวันที่ 2 พฤศจิกายน 2558, จาก http://www.thamanee.com/store/product/view/โกเมนก้อน_Garnet_65.85_กะรัต_52_ชิ้น-21974197-th.html.

[24] ปรัชญา ตราชู. **พลอยดิบเนื้องแข็ง (ไพลิน)**. สืบค้นวันที่ 2 พฤศจิกายน 2558, จาก http://uauction4.uamulet.com/AuctionDetail.aspx?bid=383&qid=115703&sortby=ASC.

[25] ไม่ปรากฏชื่อ. **แก้วมุกดา**. สืบค้นวันที่ 2 พฤศจิกายน 2558, จาก http://titleandmig.weloveshopping.com/store/product/view/แก้วมุกดา-21159134-th.html.

[26] กรมธรณีวิทยา. **เพทาย**. สืบค้นวันที่ 2 พฤศจิกายน 2558, จาก http://www.dmr.go.th/main.php?filename=zircon.

[27] ไม่ปรากฏชื่อ. **คริสโซเบอริลตาแมวหรือไพฑูรย์**. สืบค้นวันที่ 2 พฤศจิกายน 2558, จาก http://gemsharmony.tarad.com/product.detail_652517_th_4462936.

[28] ไม่ปรากฏชื่อ. **ทับทิม (อัญมณี)**. สืบค้นวันที่ 2 พฤศจิกายน 2558, จาก https://th.wikipedia.org/wiki/ทับทิม_อัญมณี.

[29] John W. **Corundum**. สืบค้นวันที่ 19 ธันวาคม 2558, จาก https://en.wikipedia.org/wiki/Corundum.

[30] ไม่ปรากฏชื่อ. **Corundum Characteristic**. สืบค้นวันที่ 19 ธันวาคม 2558, จาก https://nuc2011.wordpress.com/2011/04/22/corundum-characteristic.

[31] ไม่ปรากฏชื่อ. **สนิม**. สืบค้นวันที่ 19 ธันวาคม 2558, จาก http://thai.alibaba.com/photo-products/fluorescent-dye.html

[32] ไม่ปรากฏชื่อ. **โครเมียม**. สืบค้นวันที่ 19 ธันวาคม 2558, จาก http://www.siamchemi.com/โครเมียม.

[33] ไม่ปรากฏชื่อ. **ไททาเนียมไดออกไซด์/TiO_2**. สืบค้นวันที่ 19 ธันวาคม 2558, จาก http://www.siamchemi.com/ไทเทเนียมไดออกไซด์.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[34] ปิยาภา ชีวะดุษฎี. **สารบอแรกซ์และวิธีตรวจสอบ.** สืบค้นวันที่ 19 ธันวาคม 2558, จาก http://fieldtrip.ipst.ac.th/intro_sub_content.php?content_id=21&content_folder_id=202.

[35] ชยันต์ พิเชียรสุนทร และ วิเชียร จีรวงศ์. **คู่มือเภสัชกรรมแผนไทยเล่ม 4 เครื่องยาธาตุวัตถุ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กทม. อัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง. 2556. หน้า 106 - 109

[36] Maerz and Paul **"A Dictionary of Color" McGraw-Hill** Page 203; Color Sample of Ruby: Page 35 Plate 6 Color Sample G6, New York, 1930.

[37] ไม่ปรากฏชื่อ. **การผสมสี.** สืบค้นวันที่ 22 มีนาคม 2559, จาก http://color.prc.ac.th/newart/webart/colour08.html

[38] Z.Y. Jiang, et.al., **Materials Science and Engineering:** *A*, 435-436, 2006.

[39] ไม่ปรากฏชื่อ. **ความสมบูรณ์ของผลึก.** สืบค้นวันที่ 12 เมษายน 2559, จาก http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/metalswu/lesson2-25.htm

[40] ไม่ปรากฏชื่อ. **การแพร่ (Diffusion)** สืบค้นวันที่ 12 เมษายน 2559, จาก https://kwangbabyhood.wordpress.com/เนื้อหาบทเรียน/การแพร่-diffusion

[41] บุษบากร ศรีสถาพร. (2556) **"การวิเคราะห์คุณลักษณะ และเพิ่มมูลค่าของพลอยสปิเนลสีแดงอมน้ำตาล ด้วยเทคนิคลำไอออน"** ปริญญานิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

[42] อาภากร นุ้ยพิน, ณัฐพล ชมแสง, เอกรัฐ มีชูวาศ และ ภูวดล วรรธนะชัยแสง. (2557) **"การศึกษาแก้วเติมสาหรับรอยแตกบนทับทิม"** วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย, หน้า 40-46

[43] ตรีเดชน์ กิตติอัชวาลย์, สุปาณี ลิ้มสุวรรณ, พงศ์ทิพย์ วิโนทัย. (1-4 ก.พ. 2548) **"ผลของความร้อนต่อสมบัติทางกายภาพของพลอยทับทิมธรรมชาติ"**, หน้า 460-466

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายสุธากร กรเกตุสกุล

ภูมิลำเนา 196 หมู่ 8 ต.ดงกลาง อ.เมือง จ.พิจิตร

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสระหลวงพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: sutakorn.en@gmail.com

ชื่อ นายสุรินทร์ แซ่เลี่ยว

ภูมิลำเนา 115/1 หมู่ 4 ต.หาดพันไกร อ.เมือง จ.ชุมพร

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนศรียาภัย
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: surinsaelieo36388@hotmail.com