



การศึกษาการเคลือบผิวอะลูมิเนียมสำหรับท่อดูดกลืนรังสี
A STUDY OF ALUMINIUM SURFACE COATING FOR RADIATION
ABSORBER TUBE

นายธนากร	จงทอง	รหัส	53364178
นางสาวพรรษา	ลัดดาพันธ์	รหัส	53364208
นายศุภณัฐ	เฉิดพงษ์ตระกูล	รหัส	53364253
นายอนุสิทธิ์	บุญประสิทธิ์	รหัส	53364291

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2556

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 25 / 10 / 56
เลขทะเบียน..... 16550241
เลขเรียกหนังสือ..... 45.
มหาวิทยาลัยนเรศวร 0522

2556



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ การศึกษาการเคลือบผิวอะลูมิเนียมสำหรับท่ออุตสาหกรรมรังสี

ผู้ดำเนินโครงการ นายธนากร จงทอง รหัส 53364178

 นางสาวพรรษา ลัดดาพันธ์ รหัส 53364208

 นายศุภณัฐ เฉิดพงษ์ตระกูล รหัส 53364253

 นายอนุสิทธิ์ บุญประสิทธิ์ รหัส 53364291

ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ทศพล ตริรุจิราภาพงศ์

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....^{๑๑. ๓๐๕}.....ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์ทศพล ตริรุจิราภาพงศ์)

.....^{Dr.}.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....^{ศ.ดร. นวรัตน์}.....กรรมการ
(อาจารย์อุปถัมภ์ นาครักษ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การศึกษาการเคลือบผิวอะลูมิเนียมสำหรับท่อดูดกลิ่นรังสี		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายธนากร	จงทอง	รหัส 53364178
	นางสาวพรรษา	ลัดดาพันธ์	รหัส 53364208
	นายศุภณัฐ	เฉิดพงษ์ตระกูล	รหัส 53364253
	นายอนุสิทธิ์	บุญประสิทธิ์	รหัส 53364291
ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์ทศพล ตริรัฐจิราภาพงศ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2556		

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือการผลิตชั้นเคลือบบนพื้นผิวอะลูมิเนียมโดยกระบวนการทางความร้อน และศึกษาการดูดซับของรังสีของชั้นเคลือบ ชั้นเคลือบผลิตขึ้นโดยการผสมกันระหว่างผงโคบอลต์ออกไซด์กับผงถ่านคาร์บอนในอัตราส่วนที่ต่างกันซึ่งเป็นการยึดเกาะ และเคลือบลงบนพื้นผิวอะลูมิเนียมที่มีขนาดกว้าง 15 มิลลิเมตรและยาว 20 มิลลิเมตร อัตราส่วนของโคบอลต์ออกไซด์และผงถ่านคาร์บอนอยู่ที่ปริมาณร้อยละ 100:0 75:25 และ 50:50 ต่อมานำผงโคบอลต์ออกไซด์และผงถ่านคาร์บอนที่ผสมกันแล้วมาผสมลงในอีพ็อกซีเรซินขนาด 5 กรัม กระบวนการทางความร้อนจะดำเนินการในช่วงอุณหภูมิ 100-600 องศาเซลเซียส โดยจะเพิ่มขึ้นทีละ 100 องศาเซลเซียส หลังจากผ่านกรรมวิธีทางความร้อน ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบเคมีของชั้นเคลือบจะถูกตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์แสงและเครื่องตรวจวัดสารด้วยดูดกลืนแสงตามลำดับ พฤติกรรมการดูดซับรังสีแสงอาทิตย์ของชั้นเคลือบจะถูกตรวจสอบโดยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าชั้นเคลือบที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างผงโคบอลต์ออกไซด์ต่อผงถ่านคาร์บอนที่ปริมาณร้อยละ 50:50 และให้ความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียสจะแสดงการดูดซับรังสีได้ดีที่สุด

Project title A study of aluminium surface coating for radiation absorber tube

Name Mr.Thanakorn Jongtong ID. 53364178
Miss Phansa Laddaphan ID. 53364208
Mr.Suphanut Cherdpongtaikul ID. 53364253
Mr.Anusit Boonprasith ID. 53364291

Project advisor Mr.Thotsaphon Threrujirapapong

Major Materials Engineering

Department Industrial Engineering

Academic year 2013

Abstract

The purposes of this project are to produce the coating layer on the aluminium surface by the heat treating process and to study the absorption of solar radiation of the coated layer. The coated layer is produced by the mixing of cobalt oxide powder and carbon powder in epoxy resin as an adhesive substance, and coated on the aluminium surface with the dimension of 15 x 20 millimeter. The ratio of cobalt oxide and carbon powder is 100:0, 75:25 and 50:50 (% by weight). The powder mixture is subsequently mixed with 5 g of epoxy resin. The heat treating process is carried out at the temperature ranges from 100 to 600°C with a step size of 100°C. After the heat treating process, the morphology and chemical composition of the coating layer are investigated by optical microscope and X-ray diffractometer, respectively. The solar radiation absorption behavior of the coating layer is also examined by UV-VIS-NIR Spectrophotometer. The tested results indicate that the powder mixture of 50:50 cobalt oxide and carbon powder heated at 200°C shows the best solar radiation absorption.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณอาจารย์ทศพล ตริรุจิราภาพงศ์ ที่ปรึกษาและคณะอาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำวิธีการและการแก้ปัญหาในโครงการนี้ ขอขอบคุณผู้ควบคุมเครื่องทดสอบที่ศูนย์ปฏิบัติการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่กรุณาให้คำแนะนำในการทำชิ้นงานสำหรับการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ขอขอบคุณครูช่างและนักวิทยาศาสตร์ภาควิชาอุตสาหกรรมที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องสถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ พร้อมทั้งขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาจนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นายธนากร จงทอง

นางสาวพรรษา ลัดดาพันธ์

นายศุภณัฐ เจ็ดพงษ์ตระกูล

นายอนุสิทธิ์ บุญประสิทธิ์

ธันวาคม 2556

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผล (Output).....	2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....	2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.6 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย.....	2
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินการ (Gantt Chart).....	3
บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น.....	4
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการชุบเคลือบผิวอะลูมิเนียม.....	4
2.2 การชุบเคลือบผิวโลหะด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้า.....	5
2.3 การเคลือบผิวโลหะด้วยกรรมวิธีความร้อน.....	7
2.4 กระบวนการ Pack carburizing.....	11
2.5 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์.....	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 พื้นผิวที่เหมาะสมแก่การดูดซับรังสี.....	12
2.7 ปริมาณรังสีอาทิตย์.....	12
2.8 ค่าการส่งผ่านของชั้นบรรยากาศ.....	14
2.9 การดูดกลืนรังสีอาทิตย์.....	15
2.10 ปริมาณรังสีอาทิตย์ในประเทศไทย.....	16
2.11 ข้อมูลของตัวเก็บรังสีอาทิตย์.....	19
2.12 การดูดกลืนแสง (Absorbance).....	21
2.13 กฎการดูดกลืนแสง (Absorbance's law).....	21
2.14 ค่าการเปล่งรังสี (Emissivity).....	21
2.15 วัสดุดำ.....	24
2.16 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล.....	25
2.17 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	28
3.1 ขั้นตอนและระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการทำโครงการ.....	28
3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	29
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	30
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	32
4.1 การวิเคราะห์รูปผิวเคลือบด้วยตาเปล่าโดยใช้กล้องจุลทรรศน์.....	32
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction.....	53
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	69
5.1 ชั้นเคลือบของชิ้นงาน.....	69
5.2 ทดสอบการหาค่าประกอบธาตุใหม่.....	69
5.3 ทดสอบการดูดซับรังสีความร้อน.....	70
5.4 สรุป.....	70
5.5 ข้อเสนอแนะ.....	70
เอกสารอ้างอิง.....	71
ประวัติผู้จัดทำโครงการ.....	73



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินการ (Gantt Chart).....	3
2.1 ความเข้มรังสีอาทิตย์รวม รังสีอาทิตย์กระจาย และอุณหภูมิอากาศในเชียงใหม่.....	17
2.2 ความเข้มรังสีอาทิตย์รวม รังสีอาทิตย์กระจาย และอุณหภูมิอากาศในกรุงเทพฯ.....	17
2.3 Mid-Temperature Selective Surfaces.....	22
2.4 High-Temperature Selective Surfaces.....	23



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ลักษณะการถ่ายโอนอนุภาคแอนไอออนไปยังแคโทด..... 5
2.2	กระบวนการใช้ความร้อนอัดขึ้นรูป..... 8
2.3	กระบวนการเคลือบผิวด้วยพลาสมา..... 9
2.4	แสดงกระบวนการพ่นพอกด้วยเปลวความร้อน..... 10
2.5	ไดอะแกรมของ Thermal Spray Metal Coating..... 10
2.6	แสดงค่ารังสีอาทิตย์ในพื้นที่ต่าง ๆ ของโลก..... 13
2.7	ปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันของพื้นที่ในซีกโลกเหนือ (กิโรวัดต์ชั่วโมงต่อวัน)..... 14
2.8	คุณลักษณะของค่าการส่งผ่านเชิงคลื่นของชั้นบรรยากาศ..... 15
2.9	การส่งผ่านเชิงคลื่นหรือส่วนกลับของการดูดกลืนของโมเลกุลประเภทต่างๆ ในชั้น บรรยากาศ ช่วงเปิดที่มีค่าการส่งผ่านสูงจะเรียกว่า หน้าต่างบรรยากาศ..... 15
2.10	สเปกตรัมของรังสีอาทิตย์ที่รับบนอกบรรยากาศของโลกที่ระดับน้ำทะเล..... 16
2.11	แผนที่รังสีอาทิตย์ของประเทศไทย..... 18
2.12	พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ..... 20
2.13	พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่ไม่มีตัวสะท้อนแสง..... 20
2.14	พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่มีตัวสะท้อนแสง..... 20
2.15	กฎการแผ่รังสีของแพลงค์..... 25
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน..... 28
4.1	ลักษณะผิวเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส..... 32
4.2	รอยต่อชั้นเคลือบกับอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส..... 34
4.3	ลักษณะผิวเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส..... 36
4.4	รอยต่อชั้นเคลือบกับอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส..... 37
4.5	ลักษณะผิวเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส..... 39
4.6	รอยต่อชั้นเคลือบกับอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส..... 41
4.7	ลักษณะผิวเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส..... 42
4.8	รอยต่อชั้นเคลือบกับอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส..... 44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 ลักษณะผิวเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส.....	45
4.10 รอยต่อชั้นเคลือบกับอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส.....	47
4.11 ลักษณะผิวเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส.....	49
4.12 รอยต่อชั้นเคลือบกับอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส.....	50
4.13 กราฟเปรียบเทียบพีคของชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100-0 ที่ผ่านการอบในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน.....	54
4.14 กราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของชิ้นงานเคลือบที่อัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) ผสมกับคาร์บอน (C) ในอัตราส่วน 75:25 ที่ผ่านการอบในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน..	55
4.15 กราฟเทียบความแตกต่างพีคของชิ้นงานที่ผ่านการอบในอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส แต่ส่วนผสมแตกต่างกัน.....	56
4.16 กราฟเทียบความแตกต่างพีคของชิ้นงานที่ผ่านการอบในอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส แต่ส่วนผสมแตกต่างกัน.....	57
4.17 กราฟเปรียบเทียบพีคของชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50-50 ที่ผ่านการอบในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน.....	58
4.18 กราฟเทียบความแตกต่างพีคของชิ้นงานที่ผ่านการอบในอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส แต่ส่วนผสมแตกต่างกัน.....	59
4.19 กราฟเทียบความแตกต่างพีคของชิ้นงานที่ผ่านการอบในอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส แต่ส่วนผสมแตกต่างกัน.....	60
4.20 ชิ้นงานอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เซลเซียส อัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100-0.....	61
4.21 ชิ้นงานอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 75-25.....	62
4.22 ชิ้นงานอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50-50.....	63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23 ชิ้นงานอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100-0.....	64
4.24 ชิ้นงานอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 75-25.....	65
4.25 ชิ้นงานอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50-50.....	66
4.26 การเปรียบเทียบผลการทดลองของชิ้นงานที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 200 และ 300 องศาเซลเซียส.....	67



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันพลังงานเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับมนุษย์อย่างไม่สามารถปฏิเสธได้ ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เทคโนโลยีการผลิตและการใช้พลังงาน รวมทั้งความต้องการของพลังงานเป็นไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพลังงานเป็นปัจจัยหลักในการพัฒนาเศรษฐกิจ เมื่อความต้องการของการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่พลังงานสำรองจากแหล่งพลังงานธรรมชาติมีอยู่อย่างจำกัด จึงทำให้มูลค่าของพลังงานสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้มนุษย์เราแสวงหาพลังงานจากแหล่งอื่น หรือหันมาใช้พลังงานหมุนเวียนมากขึ้นเนื่องจากเป็นพลังงานไม่มีวันหมดไปจากโลกอาทิ เช่น พลังงานจากแสงแดด ลม และน้ำ เป็นต้น ในโครงการนี้จึงอยากที่จะศึกษาการดูดซับพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่จะเน้นไปยังชั้นเคลือบบนท่อดูดซับรังสีอาทิตย์ (Absorption Tube) เพื่อที่จะได้นำความร้อนจากแสงอาทิตย์ไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ดังนั้นในการทดลองนี้จึงมุ่งไปยังการทดสอบความสามารถในการดูดซับรังสีอาทิตย์ของท่อดูดซับรังสีอาทิตย์ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยโคบอลต์ออกไซด์กับคาร์บอน (ผงถ่าน) เพื่อที่จะประเมินว่าท่อดูดซับรังสีอาทิตย์ที่ผ่านการเคลือบมานั้นสามารถดูดซับความร้อนได้ดีเพียงใด ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบการดูดซับความร้อนนี้จะนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในอนาคต โดยท่อดูดซับรังสีอาทิตย์จะทำหน้าที่ดูดซับรังสีอาทิตย์ไว้บนผิวเคลือบเกิดการสะสมความร้อนและความร้อนจะถูกส่งผ่านไปยังผิวท่อด้านในท่อซึ่งมีน้ำไหลเวียนอยู่ จากนั้นจึงนำน้ำร้อนไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ

การเคลือบผิวบนท่อดูดซับรังสีอาทิตย์มีด้วยกันหลายวิธีขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำมาใช้เคลือบ โดยในการทดลองนี้จะใช้การเคลือบผิวด้วยกรรมวิธีการเคลือบด้วยความร้อน โดยทำการเคลือบผิวด้วยการทาผิวเคลือบลงบนผิวอะลูมิเนียมแล้วทำการอบ จากนั้นจะทำการตรวจสอบว่าที่อัตราส่วนผสมเท่าใดของผิวเคลือบและอุณหภูมิในการอบไหนให้ค่าการดูดซับความร้อนที่ดีที่สุด เพื่อนำผลที่ได้จากการทดลองนี้ไปพัฒนาระบบพลังงานทดแทนและช่วยเป็นทางเลือกใหม่ของวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นผิวเคลือบต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อผลิตชั้นเคลือบบนผิวอะลูมิเนียมด้วยกรรมวิธีทางความร้อน
- 1.2.2 เพื่อทดสอบการดูดซับรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์
- 1.2.3 เพื่อทดสอบสารประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นเคลือบและผิวอะลูมิเนียม

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

- 1.3.1 ชั้นเคลือบบนผิวอะลูมิเนียม
- 1.3.2 ค่าการดูดซับรังสีจากแสงอาทิตย์
- 1.3.3 ผลวิเคราะห์สารประกอบระหว่างชั้นเคลือบและผิวอะลูมิเนียม

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

ผลวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับความร้อนของชั้นเคลือบที่ผลิตขึ้นมาด้วยกรรมวิธีทางความร้อน

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

- 1.5.1 อะลูมิเนียมแผ่น เกรด 6063
- 1.5.2 สารเคลือบที่ใช้ ผงถ่าน (Carbon) ผสมกับ Co_3O_4 (Cobalt Oxide)
- 1.5.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 100-600 องศาเซลเซียส
- 1.5.4 ตรวจสอบสารประกอบทางเคมีด้วยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffractomete ; XRD)
- 1.5.5 ตรวจสอบชั้นเคลือบด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง (Optical Microscope ; OM)
- 1.5.6 ตรวจสอบการดูดซับรังสีด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ตั้งแต่เดือน เมษายน พ.ศ. 2556 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2556

1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินงาน (Gantt Chart)

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการ (Gantt Chart)

ลำดับ	การดำเนินงาน	ช่วงเวลา												
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.				
1.8.1	ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการเคลือบโลหะด้วยวิธีต่าง ๆ ศึกษาชนิดของสารที่จะใช้ในการเคลือบ	←→												
1.8.2	จัดหาอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	←→												
1.8.3	ทำการทดลองโดยการนำสารเคลือบมาเคลือบลงบนแผ่นอะลูมิเนียม				←→									
1.8.4	ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ ทดสอบหาสารประกอบและทดสอบการดูดซับรังสีอาทิตย์ของแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการเคลือบแล้ว				←→									
1.8.5	วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองพร้อมจัดทำรายงาน							←→						

บทที่ 2

หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

ปัจจุบันมีการนำวัสดุเคลือบผิวไปประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดซับความร้อน เพื่อนำไปเป็นตัวกักเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์แล้วนำความร้อนที่ได้เข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแสงอาทิตย์จะเป็นพลังงานทางเลือกและช่วยไปทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากโรงไฟฟ้าต่าง ๆ ประกอบกับพลังงานที่ได้จากพลังงานอาทิตย์นี้เป็นพลังงานสะอาดไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม [1]

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการชุบเคลือบผิวอะลูมิเนียม

โลหะอะลูมิเนียมมีสัญลักษณ์ (Al) และมีเลขอะตอมเท่ากับ 13 อะลูมิเนียมเป็นโลหะทรานซิชันที่มีลักษณะมันวาว อ่อนและดัดง่าย ในธรรมชาติจะพบอะลูมิเนียมในรูปของสารประกอบออกไซด์เป็นหลัก และมีสมบัติเด่น คือ ต้านทานปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี แข็งแรง และเป็นกลุ่มโลหะที่มีน้ำหนักเบา (Light Metals) เป็นโลหะที่สำคัญที่ได้รับการใช้งานมากที่สุด มีการใช้อะลูมิเนียมในอุตสาหกรรมหลายประเภท เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมายและอะลูมิเนียมมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจโลกเป็นอย่างมาก [2]

การชุบเคลือบเป็นการเพิ่มสมบัติให้กับสภาพพื้นผิวของโลหะเพื่อให้มีสมบัติที่สูงขึ้น โดยการชุบเคลือบจะนำธาตุที่มีสมบัติที่ต้องการมาปรับปรุงสภาพผิวด้านนอกของวัสดุชนิดอื่นเพื่อให้มีสมบัติตามธาตุที่ต้องการเคลือบนั้น โดยที่เนื้อวัสดุด้านในยังคงสมบัติตามที่ได้ผลิตมาแต่แรก ในการชุบเคลือบนั้นมีหลายวิธีการ เช่น การใช้ความร้อนและการใช้ไฟฟ้าในการชุบเคลือบ ซึ่งแต่ละวิธีก็เหมาะกับวัสดุที่ต่างกันออกไป เพื่อให้ได้สมบัติที่ต่างกันของแต่ละธาตุ [3]

การชุบเคลือบโลหะอะลูมิเนียมด้วยวิธีความร้อนและไฟฟ้าบนผิวอะลูมิเนียม เพื่อให้ได้สมบัติที่เป็นตัวดูดซับความร้อนที่ดี ต้องใช้ธาตุที่เคลือบบนผิวของอะลูมิเนียมแล้วต้องมีสีเข้มเกือบดำ เพราะจะสามารถรับพลังงานจากแสงแดดได้ดี ไม่เกิดการสะท้อนหรือเกิดการสะท้อนน้อยมาก ซึ่งทำให้สามารถดูดกลืนความร้อนที่ดีกว่าสีอ่อนซึ่งเมื่อโดนแสงแดดแล้วจะเกิดการสะท้อนออกเป็นอย่างมาก [4]

2.2 การชุบเคลือบผิวโลหะด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้า

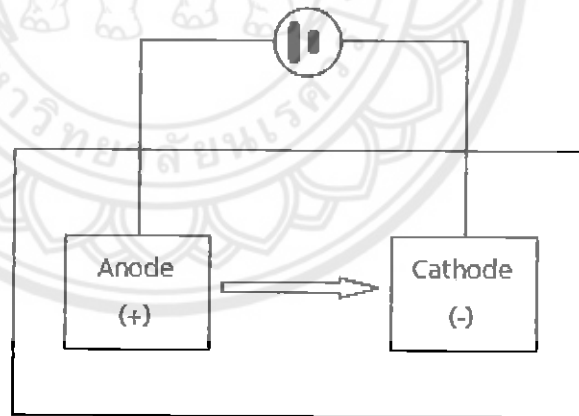
การชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า คือ กระบวนการทำให้อนุภาคโลหะที่ต้องการชุบเคลือบในสารละลายเคลื่อนที่ไปเคลือบบนผิววัสดุที่ต้องการชุบเคลือบด้วยสนามไฟฟ้า ทั้งนี้ก็เพื่อต้องการให้วัสดุที่ถูกเคลือบนั้น เพิ่มสมบัติบางอย่างเพิ่มเติม เช่น เพิ่มความแข็งของผิวชิ้นงาน เพิ่มความทนทานต่อการขีดสีหรือการกัดกร่อน เพิ่มความลื่นของผิว เพิ่มความสวยงามให้มากยิ่งขึ้น เพิ่มการดูดซับความร้อน หรือมิเช่นนั้นก็เพื่อเพิ่มความหนาของชิ้นงานให้ได้ขนาดตามต้องการ หรือการชุบเคลือบผิวโลหะ เพื่อช่วยเพิ่มการดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์ [5]

ในการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้านี้จะแบ่งตัวนำไฟฟ้าเป็น 2 พวก คือ

พวกที่ 1 เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเอง ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เป็นแค่เพียงสะพานเพื่อให้ไฟฟ้าผ่านได้เท่านั้น เช่น โลหะต่าง ๆ และแกรไฟต์

พวกที่ 2 เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเองแยกสลายออกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ในขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวของมัน เช่น น้ำเจือกรด และสารละลายของเกลือต่าง ๆ เป็นต้น ตัวนำไฟฟ้าพวกหลังนี้เรียกว่า อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ตัวนำไฟฟ้าพวกที่ 2 นี้เองที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าโดยตรง

โดยกระแสไฟฟ้าที่ใช้จะใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Source) จากแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า เมื่อต่อขั้วแคโทดหรือชิ้นงานที่ชุบไฟฟ้าลบและขั้วแอโนดที่ชุบไฟฟ้าบวกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านระบบการชุบเคลือบดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะการถ่ายโอนอนุภาคแอโนดไปยังแคโทด [5]

เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์อนุภาคเล็ก ๆ พวกหนึ่งของอิเล็กโทรไลต์จะวิ่งไปหาแอโนดหรือขั้วบวก อนุภาคเล็ก ๆ อีกพวกหนึ่งจะวิ่งไปยังแคโทดหรือขั้วลบ อนุภาคเล็ก ๆ ของอิเล็กโทรไลต์ที่วิ่งไปยังขั้วบวกและขั้วลบดังกล่าวแล้วนั้นเรียกว่า ไอออน แต่ละไอออนจะมีประจุไฟฟ้าประจำตัวทุกตัว ไอออนที่วิ่งไปยังขั้วบวกเรียกว่า แอนไอออน (Anion) จะมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ (-) ไอออนที่วิ่งไปยังขั้วลบเรียกว่า แคทไอออน (Cation) จะมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก (+) ขณะที่เกิด

การแยกสลายดังกล่าวในสารละลายนั้น เราจะมองไม่เห็นปฏิกิริยาใด ๆ เกิดขึ้นในสารละลายนั้นเลย แต่จะเห็นปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่ขั้วลบ หรือขั้วบวก

2.2.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการชุบเคลือบด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้า

มีดังนี้คือ

2.2.1.1 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ในการชุบเคลือบต้องเลือกใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสมกับขนาดชิ้นงาน โดยปกติมักมีหน่วยเป็นแอมแปร์ต่อตารางเมตร

2.2.1.2 อุณหภูมิ น้ำยาชุบเคลือบมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่างกันออกไป ซึ่งการชุบเคลือบโดยทั่วไปต้องควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 2 องศาเซลเซียสจากจุดสมดุลง

2.2.1.3 การกวนสารละลาย วิธีเพิ่มความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าทำได้โดยการกวนสารละลายและยังมีส่วนช่วยลด Concentration Polarization บริเวณรอยต่อระหว่างสารละลายกับผิวของแคโทด

2.2.1.4 ค่า pH ในน้ำยาชุบเคลือบ ควรมีการตรวจสอบค่า pH เพื่อลดปัญหาต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในขณะชุบหรือภายหลังที่ทำการชุบ เช่น ทำให้ประสิทธิภาพของขั้วลบต่ำ ผิวเคลือบขรุขระ เปราะ แตกหักง่าย [6]

2.2.2 ทฤษฎีทางไฟฟ้ากับการชุบเคลือบ

กฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law)

กฎข้อที่ 1 น้ำหนักของไอออนที่ถูกปลดปล่อยให้เป็นอิสระโดยกระแสไฟฟ้าย่อมเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณประจุที่ใช้

กฎข้อที่ 2 น้ำหนักของไอออนชนิดต่าง ๆ ที่ถูกปลดปล่อยให้เป็นอิสระโดยปริมาณประจุเท่า ๆ กัน ย่อมเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสมมูลเคมีของไอออนเหล่านี้

จากกฎของฟาราเดย์ สามารถนำมาคำนวณหาน้ำหนักผิวเคลือบได้ดังสมการที่ 2.1

$$W = \frac{Ita}{Fz} \quad (2.1)$$

เมื่อ W : น้ำหนักของผิวเคลือบ

I : ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน (แอมแปร์)

t : เวลาที่ใช้ในการชุบ (วินาที)

a : น้ำหนักอะตอม (Atomic Weight)

z : ปริมาณประจุ

F : ค่าคงที่ฟาราเดย์ (96,500 คูลอมป์)

ความหนาของผิวเคลือบหาได้จากสมการที่ 2.2

$$T = \frac{W}{Ad} \quad (2.2)$$

เมื่อ T : ความหนาของผิวเคลือบ (cm)

W : น้ำหนักของผิวเคลือบ (g)

A : พื้นที่ของชิ้นงาน (cm²)

d : ความหนาแน่นของโลหะที่เคลือบ (g/cm³)

ความต้านทานบริเวณรอยต่อระหว่างอิเล็กโทรดและสารละลาย เมื่อไอออนบวกของโลหะเคลื่อนที่เข้าไปใกล้แคโทดซึ่งมีประจุลบ จะเกิดการแยกบริเวณของไอออนบวกและไอออนลบอย่างชัดเจน ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะคล้ายกับตัวเก็บประจุ (Capacitor) ลักษณะการแบ่งชั้นเช่นนี้เรียกว่าเป็น Electric Double Layer โดยบริเวณใกล้แคโทดความต่างศักย์จะเพิ่มมากขึ้น และสูงที่สุดบริเวณรอยต่อระหว่างอิเล็กโทรด และสารละลาย

2.3 การเคลือบผิวโลหะด้วยกรรมวิธีความร้อน

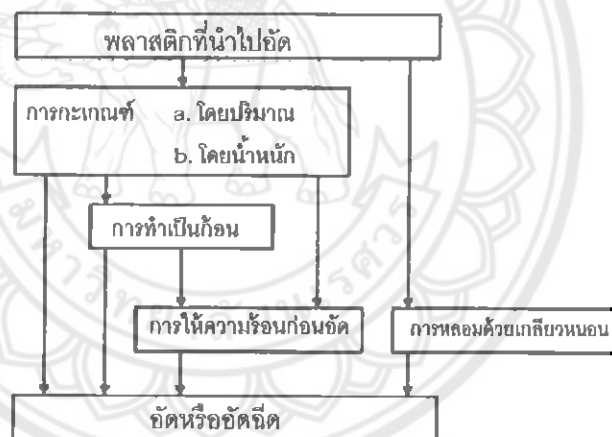
การชุบเคลือบด้วยความร้อนมีอยู่หลายวิธีแล้วแต่ความสะดวก ในการเคลือบด้วยความร้อนส่วนมากใช้กับวัสดุจำพวกพอลิเมอร์ที่สามารถหลอมเหลวได้ โดยแต่ละชนิดก็ต้องให้ความร้อนที่ต่างกันไปตามชนิด แต่ในที่นี้จะใช้โคบอลต์ออกไซด์ (Co₃O₄) ในการเคลือบซึ่งทนความร้อนที่อุณหภูมิสูงและให้สีดำ ซึ่งอาจทำให้การดูตกลื่นความร้อนที่สูง

2.3.1 การจุ่มเคลือบ

การชุบเคลือบเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการเคลือบ เป็นแค่การจุ่มเนื้อวัสดุที่จะเคลือบลงในสารที่จะเคลือบแต่อย่างไรก็ตาม ก็ต้องมีปัจจัยที่คำนึงถึงอยู่เหมือนกันนั่นคือความร้อนที่ทำให้ต่อวัสดุเคลือบหลอมเหลวและเวลาในการจุ่มเคลือบ ซึ่งเป็นปัจจัยที่จะหลัก โดยหากความร้อนที่ให้ต่อวัสดุเคลือบน้อยเกินไปจะทำให้ไม่เกิดการเปียกผิวบนของโลหะที่จะใช้เคลือบหรือหากให้มากเกินไปวัสดุเคลือบอาจจะไม่เกาะติด เวลาในการจุ่มเป็นตัวกำหนดความหนาของชั้นเคลือบหากจุ่มนานความหนาก็จะมากตามไปด้วย และเนื่องด้วยการจุ่มเป็นการทำแบบเปิดอาจมีฝุ่นผงตกลงไปจึงเป็นข้อควรระวัง

2.3.2 การใช้ความร้อนอัดขึ้นรูป

เป็นการใช้แรงอัดลงบนแผ่นอะลูมิเนียมที่เตรียมไว้ โดยส่วนใหญ่ผิวเคลือบเป็นวัสดุจำพวกพลาสติก เมื่อเติมพลาสติกลงในแบบเปิด แล้วใช้ความดันอัดปิดแม่แบบพร้อมทั้งให้ความร้อนทำให้พลาสติกไหลเข้าไปแทนที่ช่องว่างรูปทรงของชิ้นงาน งานอัดฉีด (Transfer Moulding) ต่างกับงานอัด (Compression Moulding) คือจะไม่เติมพลาสติกลงในแม่แบบเปิด แต่จะใช้แรงดันจากลูกสูบไฮดรอลิก อัดพลาสติกให้เข้าไปในแม่แบบปิด การเตรียมพลาสติกเพื่อเข้ากระบวนการผลิตชิ้นงานแสดงขั้นตอนดังรูปที่ 2.2 พลาสติกที่ผลิตออกมาจำหน่ายส่วนมากจะอยู่ในรูปผง เป็นเม็ดหรือเหลวเป็นแป้งเปียกซึ่งถ้าอยู่ในสภาพนี้สามารถนำเข้ากระบวนการผลิตโดยงานอัดและอัดฉีดได้ดี แต่ถ้าต้องการผสมสารปรับปรุงคุณภาพจะต้องเข้ากระบวนการเตรียมวัสดุก่อน ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 กรรมวิธีคือ กรรมวิธีหลอมเหลว และกรรมวิธีผสมโดยเติมของเหลว การผลิตชิ้นงานจากพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติง ใช้กรรมวิธีอัดพลาสติก มาตั้งแต่เริ่มแรกและก็ยังเป็นกรรมวิธีที่ใช้ได้ดียู่ในปัจจุบันและหลังจากนั้นได้มีการพัฒนางานอัดฉีดพลาสติก (Transfer Moulding) ขึ้นมาใช้สำหรับชิ้นงานที่มีรูปทรงยาก ๆ ที่ไม่เหมาะกับการใช้กรรมวิธีอัดพลาสติก [7]

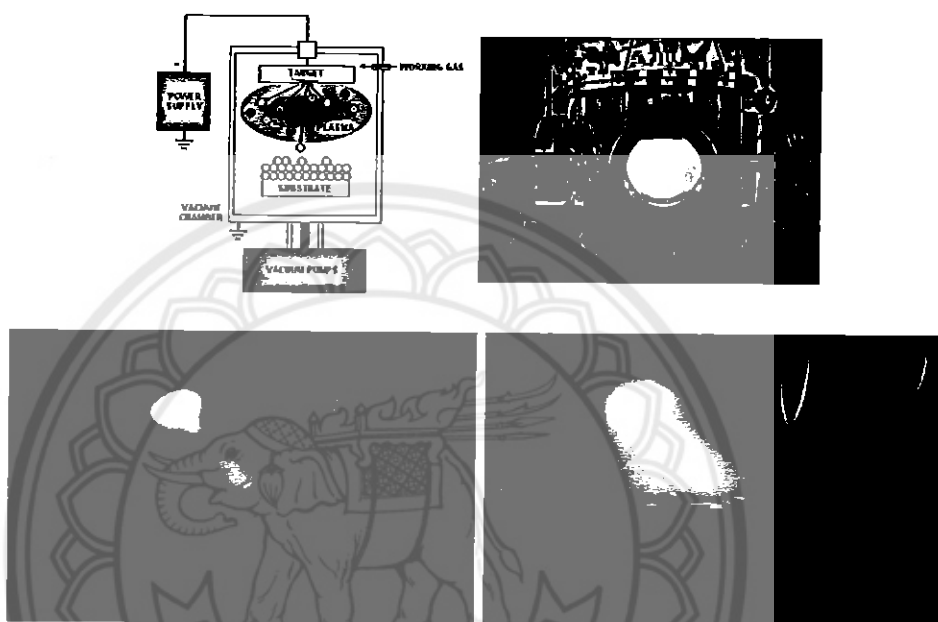


รูปที่ 2.2 กระบวนการใช้ความร้อนอัดขึ้นรูป [7]

2.3.3 การเคลือบผิวด้วยพลาสมา

การเคลือบผิวด้วยพลาสมาเป็นการปรับปรุงผิววัสดุวิธีหนึ่ง กระบวนการพลาสมาซึ่งมีอยู่หลายวิธี แต่วิธีหนึ่งซึ่งเริ่มเป็นที่ยอมรับในวงการอุตสาหกรรมด้านการเคลือบนั้นคือ การเคลือบผิวด้วยกระบวนการสปัตเตอริง (Sputtering Processes) หรือ ที่เรียกกันในวงการอุตสาหกรรมด้านการเคลือบว่า การเคลือบแบบ PVD (Physical Vapor Deposition ; PVD) การเคลือบด้วยกระบวนการสปัตเตอริงเป็นการเคลือบด้วยพลาสมาเทคนิคหนึ่ง ที่อาศัยการชนของไอออนพลังงานสูงจากพลาสมาของแก๊สอาร์กอน (โกลด์ิสซาร์จ) บนผิวหน้าของเป้าสารเคลือบ แล้วเกิดการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างไอออนพลังงานสูงกับอะตอมที่ผิวหน้าของสารเคลือบ จนเกิดกระบวนการสปัตเตอริงแล้วทำให้สาร

เคลือบหลุดออกมาในรูปของไอซึ่งจะฟุ้งกระจายไปจับติดบนชิ้นงาน แล้วเกิดการควบแน่นเป็นฟิล์มบางหรือชั้นเคลือบบนชิ้นงานในที่สุด เนื่องจากพลังงานของไอออนจากพลาสมาที่เข้าชนเป้าสารเคลือบในกระบวนการสปัตเตอริงมีค่าสูงมาก ทำให้ไอสารเคลือบที่ได้จากกระบวนการสปัตเตอริงมีพลังงานสูงด้วย กรณีนี้จะทำให้ฟิล์มบางหรือชั้นเคลือบที่ได้มีการยึดติดกับชิ้นงานหรือวัสดุรองรับดีมาก การเคลือบผิวด้วยพลาสมา แสดงดังรูป 2.3 [8]

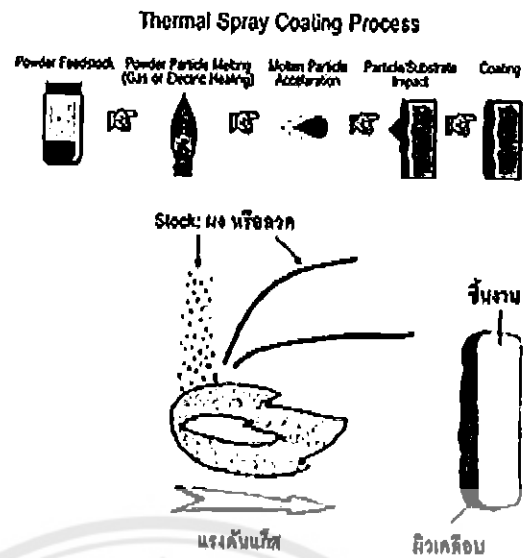


รูปที่ 2.3 กระบวนการเคลือบผิวด้วยพลาสมา [8]

2.3.4 การพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน

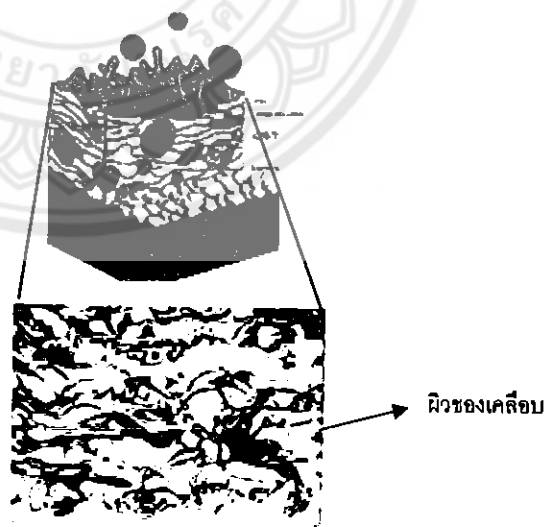
การพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน หรือ Thermal Spray เป็นกรรมวิธีทางวิศวกรรมพื้นผิวที่สามารถผลิตผิวเคลือบที่มีความหนาตั้งแต่ 50 ไมครอน ขึ้นไป จากวัสดุแทบทุกประเภทที่สามารถอยู่ในสถานะของเหลวมีช่วงอุณหภูมิกว้างพอที่จะทำการเคลือบ ซึ่งรวมไปถึง โลหะ อโลหะ อัลลอย สารประกอบโลหะ เซรามิก และพอลิเมอร์ ปัจจุบันมีการใช้ Thermal Spray กันอย่างแพร่หลายเพื่อจุดประสงค์ต่าง ๆ เช่น การซ่อมบำรุงชิ้นส่วนเครื่องจักรกล การผลิตผิวเคลือบเพื่อเป็นตัวนำ หรือ ฉนวนทางไฟฟ้าและที่สำคัญ การผลิตผิวเคลือบเพื่อป้องกันการสึกหรอ โดยวัตถุประสงค์การใช้งานจะเป็นตัวกำหนดวัสดุที่นำมาผลิตเป็นผิวเคลือบ

Thermal Spray คือ การผลิตชั้นผิวเคลือบจากวัสดุ "Stock" ที่อยู่ในรูปผง หรือ ลวดก็ตาม โดยการให้ความร้อนกับ Stock หรือผง (Powder) จนกระทั่งเริ่มเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว จากนั้นจึงใช้แรงดันแก๊สในการดัน Stock หลอมเหลวดังกล่าวไปปะทะบนผิวเพื่อให้ยึดเกาะกับชิ้นงาน หลักการทำงานของกระบวนการนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 คือ [9]



รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการพ่นพอกด้วยเปลวความร้อน [9]

การทำให้อุณหภูมิที่พ่นพอกเกิดการหลอมเหลว จากนั้นแรงให้อนุภาคหลอมเหลววิ่งไปปะทะกับชิ้นงานจะแผ่แบนออกตามแรงอัด คล้ายน้ำหยดลงบนพื้น และจะแข็งตัวอย่างเฉียบพลัน เนื่องจากชิ้นงานมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ ดังนั้น แหล่งความร้อนและการเร่งจึงเป็นสิ่งจำเป็น อนุภาคแบนที่แข็งตัวบนผิวจะเรียกว่า "Splat" เมื่อ Splat มาทับถมกันหลายชั้นขึ้นขึ้นจะกลายเป็นผิวเคลือบขึ้นมาดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ Thermal Spray Metal Coating [10]

2.4 กระบวนการ Pack Carburizing

เป็นวิธีการที่เก่าแก่ที่สุดและเป็นวิธีหนึ่งที่มีราคาถูกมาก ๆ ในการชุบแข็งที่ผิวใช้ได้กับเหล็กที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนต่ำ (ไม่เกิน 0.2 เปอร์เซ็นต์)

วิธีการคือนำเหล็กกล้าที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนต่ำ ไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 926 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งที่อุณหภูมิดังกล่าวจะทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับเหล็กที่อยู่ในสภาวะ Austenite ทำให้จากเดิมที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำจะมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น ณ อุณหภูมิที่เหล็กจะสามารถละลายคาร์บอนได้สูงสุดถึง 1.2 เปอร์เซ็นต์และเมื่อได้ปริมาณคาร์บอนที่ผิวตามต้องการก็นำชิ้นงานไปลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วก็จะได้ชิ้นงานที่บริเวณผิวมีความแข็งเพิ่มขึ้น

ทั้งนี้ปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นที่ผิว (Case) ของชิ้นงานก่อนและเมื่อทิ้งไว้คาร์บอนจะสามารถแพร่เข้าไปยังบริเวณแกนกลาง (Core) เพื่อให้เกิดสมดุล ซึ่งอัตราการแพร่ของคาร์บอนที่อุณหภูมิต่างๆ จะขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) และความหนาแน่นของปริมาณคาร์บอน (Carbon-Concentration Gradient) [11]

2.5 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์

เมื่ออะตอมของธาตุต่าง ๆ มีการสร้างพันธะร่วมกันจนกลายเป็นโมเลกุลโคเวเลนต์แล้ว โมเลกุลจะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันทำให้สามารถเข้ามาอยู่ร่วมกันเป็นกลุ่มก้อนของสารต่าง ๆ ได้ โดยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลนี้จะเป็ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อสมบัติต่าง ๆ ของสาร เช่น สถานะของสาร จุดเดือดและจุดหลอมเหลว การนำไฟฟ้าของสาร เป็นต้น [12]

ในโมเลกุลโคเวเลนต์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็โมเลกุลที่มีขั้วหรือไม่มีขั้ว ล้วนแต่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลด้วยกันทั้งสิ้น ซึ่งแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์นั้นสามารถแบ่งได้เป็ 2 ประเภท ดังนี้

2.5.1 แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Force)

เป็แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสาร ซึ่งประกอบด้วยแรง 2 ชนิด คือ

2.5.1.1 แรงลอนดอน (London Force หรือ Dispersion Force)

เป็แรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์ที่ไม่มีขั้ว มีแรงยึดเหนี่ยวต่ำ เกิดจากอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะที่อยู่ระหว่างอะตอมมีการเคลื่อนที่ไปรอบ ๆ อะตอมทำให้เกิดสภาพขั้วไฟฟ้าอ่อน ๆ ขึ้นชั่วขณะ จึงทำให้โมเลกุลของสารดึงดูดเข้าหากันได้ สารที่มีแรงยึดเหนี่ยวประเภทนี้จึงเป็สารที่มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวต่ำ

2.5.1.2 แรงดึงดูดระหว่างขั้ว (Dipole-Dipole Force)

เป็นแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์ที่มีขั้วเกิดจากขั้วบวกของโมเลกุลหนึ่งดึงดูดขั้วลบจะมีความแข็งแรงมากกว่าแรงลอนดอน ดังนั้นสารที่มีแรงยึดเหนี่ยวชนิดนี้จะมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูงกว่าสารที่ยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงลอนดอน [12]

2.5.2 พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond)

เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่มีลักษณะคล้ายกับแรงดึงดูดระหว่างขั้ว แต่จะเกิดขึ้นในโมเลกุลของสารประกอบที่เกิดจากอะตอมของธาตุไฮโดรเจน (H) ซึ่งสร้างพันธะกับอะตอมของธาตุฟลูออรีน (F) หรือออกซิเจน (O) หรือ ไนโตรเจน (N) เนื่องจากอะตอมของธาตุเหล่านี้มีความสามารถในการดึงดูดอิเล็กตรอนที่สูงกว่าอะตอมของไฮโดรเจนมาก ทำให้สามารถดึงดูดอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะให้เบี่ยงเบนไปจากแนวกึ่งกลางได้มาก จึงเกิดสภาพขั้วที่รุนแรงกว่ามาก ทำให้พันธะไฮโดรเจนมีความแข็งแรงยากต่อการสลายพันธะ ตัวอย่างของสารประกอบที่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลแบบพันธะไฮโดรเจน ได้แก่ น้ำ (H_2O) แอมโมเนีย (NH_3) เป็นต้น [12]

2.6 พื้นผิวที่เหมาะสมแก่การดูดซับรังสี

ลักษณะพื้นผิวที่ดีที่ได้รับเลือกใช้เป็นตัวกักเก็บแสงจากดวงอาทิตย์ พื้นผิวที่ดีจะมีความขรุขระและดูดซับพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ดีมากกว่าผิวที่มีการสะท้อนแสงดีเหมือนกับกระจก ความเปล่งรังสีจะมีมากหรือน้อยนั้นจะขึ้นอยู่กับ การปรับปรุงที่โครงสร้างทางจุลภาค (Micro Crystallites) ของสารเคลือบ ผิวหน้าของวัสดุชนิดเดียวสามารถแสดงสมบัติความขรุขระที่ดีกว่าแบบผสม เนื่องจากการเลือกสมบัติขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยความเบี่ยงเบนที่สูงและความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น

โครงสร้างทางจุลภาคที่เป็นรูพรุนรูปร่างคล้ายเข็มจะมีระดับความยาวคลื่นเดียวกันของรังสีที่แสดงให้เห็นและการเลือกทิศทาง ลักษณะทางเรขาคณิตไม่มีผลต่อการเลือกมากนักต่อการรับแสง อย่างไรก็ตามผลต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง (เช่น การออกซิเดชัน การช็อคจากไฟฟ้า) ซึ่งมีผลอย่างมากต่อการเลือกใช้งานของการเคลือบแบบหลายชั้น การเลือกใช้วัสดุสีดำจะมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับแสงที่สูงและยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดกลืนรังสีได้ [13]

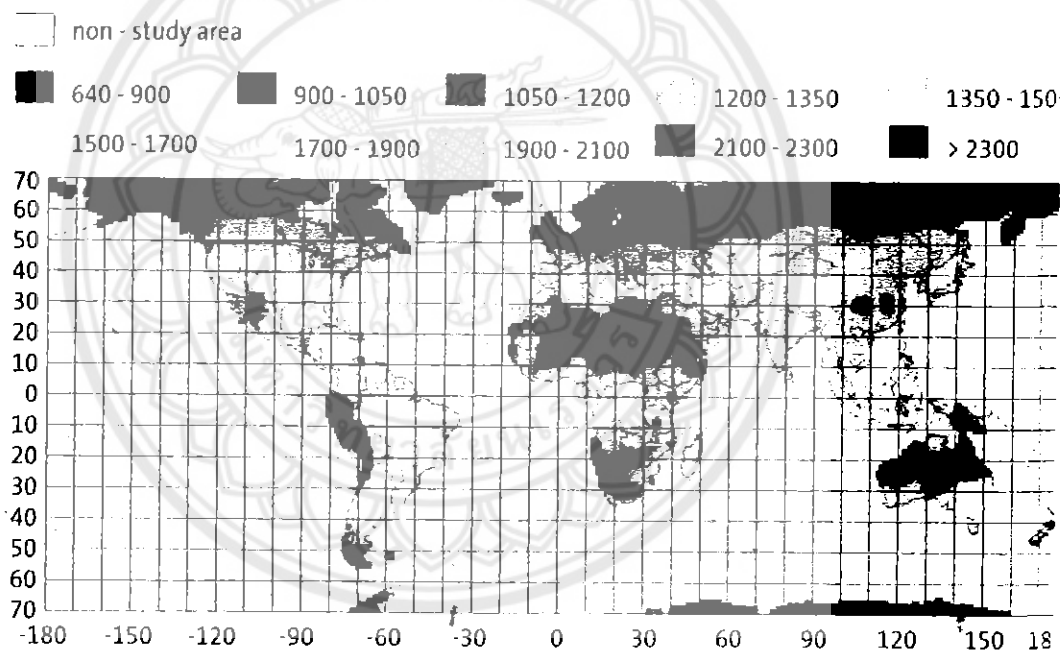
2.7 ปริมาณรังสีอาทิตย์

ในดวงอาทิตย์มีสถานะแรงดันสูงทำให้อะตอมของไฮโดรเจนเกิดการหลอมรวมกันเป็นอะตอมของฮีเลียม และเกิดการปลดปล่อยพลังงานจำนวนมหาศาลที่อุณหภูมิสูงหลายล้านองศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ผิวของดวงอาทิตย์จึงมีอุณหภูมิสูงราว 5,500 องศาเซลเซียส ดังนั้น ดวงอาทิตย์เปรียบเสมือนเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่ทำงานอย่างต่อเนื่องเป็นเวลากว่า 5 พันล้านปีโดยเป็นปฏิกิริยาแบบฟิวชั่น การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มายังชั้นนอกสุดของบรรยากาศโลกที่ระยะห่างจาก

ดวงอาทิตย์ 150 ล้านกิโลเมตร มีค่าประมาณ 1,360 วัตต์ต่อตารางเมตร เราเรียกค่านี้ว่า ค่าคงที่ของรังสีอาทิตย์ (Extraterrestrial Solar Constant)

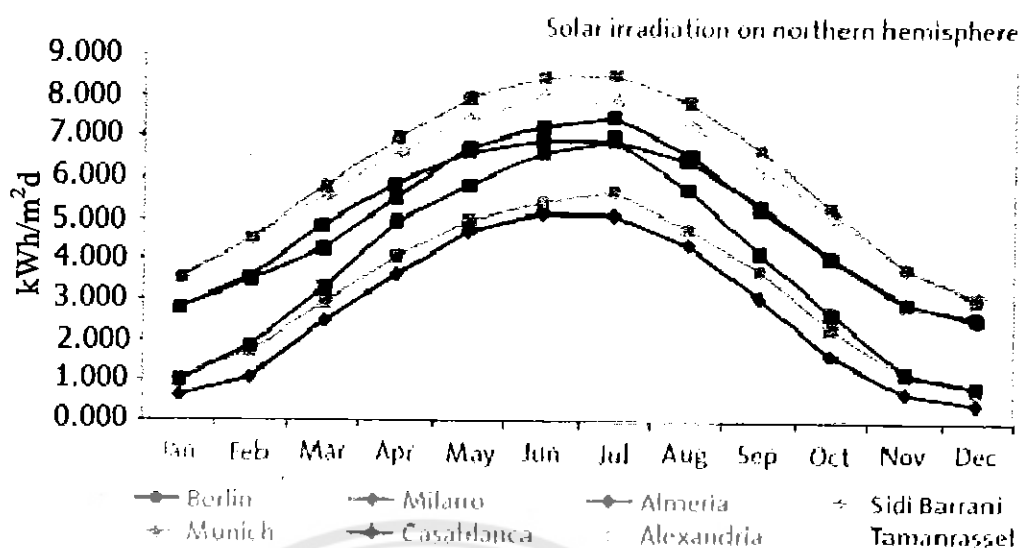
ชั้นบรรยากาศของโลกจะดูดกลืนรังสีอาทิตย์ไว้บางส่วน และมีรังสีอีกบางส่วนสามารถผ่านมายังผิวโลก ซึ่งมีค่าสูงสุดประมาณ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ความเข้มของรังสีอาทิตย์ผ่านถึงผิวโลกจะมีค่าลดลงหากมีเมฆมาก รังสีอาทิตย์ที่ตกมายังพื้นโลกอาจเรียกว่า “รังสีอาทิตย์รวม” (Global Radiation) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ และรังสีกระจาย โดยรังสีอาทิตย์ทั้งสองประเภทนี้สามารถใช้กับเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าได้

ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ขึ้นอยู่กับสภาพทางภูมิศาสตร์และฤดูกาล ในพื้นที่ทะเลทรายใกล้เส้นศูนย์สูตร ปริมาณรังสีอาทิตย์ต่อปีอาจสูงถึง 2,300 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร คิดเป็นสองเท่าของปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยในแคนาดา ยุโรปตอนกลาง เอเชียตอนกลาง อาร์เจนตินาตอนใต้หรือนิวซีแลนด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 [14]



รูปที่ 2.6 แสดงค่ารังสีอาทิตย์ในพื้นที่ต่าง ๆ ของโลก [14]

ปริมาณความเข้มและการกระจายตัวของรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งปีมีค่าขึ้นกับตำแหน่งละติจูดเป็นอย่างมาก ในพื้นที่ใกล้ศูนย์สูตรมีความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยใกล้เคียงกันตลอดทั้งปี ขณะที่เขตละติจูดที่สูงขึ้นไปจะมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่สูงกว่าในฤดูร้อน อย่างไรก็ตามสภาพอากาศ มุมเอียงและตำแหน่งการวางของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีผลต่อการรับรังสีอาทิตย์มากเช่นกัน รูปที่ 2.7 แสดงปริมาณรังสีอาทิตย์ทางซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ในละติจูดต่าง ๆ ตามลำดับ



รูปที่ 2.7 ปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันของพื้นที่ในซีกโลกเหนือ (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน) [14]

พื้นที่ในเขตละติจูดตอนกลางจะได้รับพลังงานจากรังสีอาทิตย์ต่อตารางเมตรต่อปีเทียบเท่ากับน้ำมัน 100 ลิตร และมากถึง 230 ลิตรในเขตทะเลทราย [14]

2.8 ค่าการส่งผ่านของชั้นบรรยากาศ

การส่งผ่านแสงอาทิตย์ในชั้นบรรยากาศจะถูกรบกวนโดยเกิดการดูดกลืน(Absorption) และการกระจัดกระจาย (Scattering) จากโมเลกุลและละอองลอยในบรรยากาศทำให้ความเข้มแสงอาทิตย์มีปริมาณลดลง ซึ่งเรียกว่า การสลับแสง (Extinction) อัตราการสลับลงของแสงสามารถกำหนดได้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การสลับของแสง (Extinction Coefficient)

ถ้าหากเราหาปริมาณค่าสัมประสิทธิ์การสลับลงของแสงที่ระดับสูงต่าง ๆ ตามความหนาเชิงแสง (Optical Thickness) ซึ่งเป็นตัวชี้ถึงระดับการดูดกลืนการกระจัดกระจายของแสงอาทิตย์ การส่งผ่านของชั้นบรรยากาศจะได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบต่อไปนี้

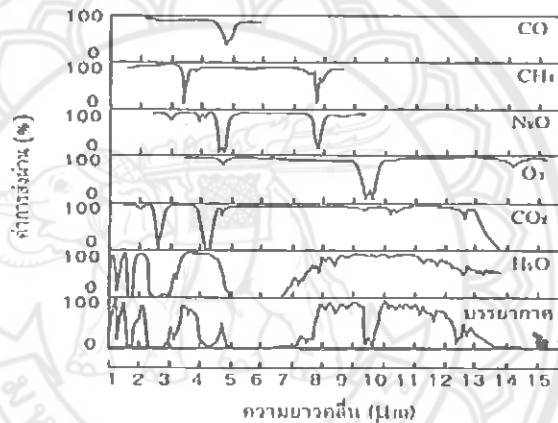
พวกที่ 1 โมเลกุลในชั้นบรรยากาศ (ขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่น) ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ โอโซน แก๊ส ไนโตรเจนและโมเลกุลอื่น ๆ

พวกที่ 2 ละอองลอย (ขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่น) ได้แก่ หยดน้ำ เช่น เมฆและหมอก กลุ่มควัน ผุ่นและอนุที่มีขนาดใหญ่อื่น ๆ

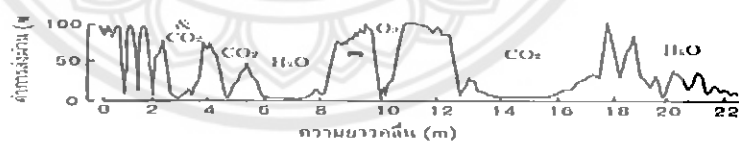
การกระจัดกระจายโดยโมเลกุลของชั้นบรรยากาศที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงอาทิตย์ จะเรียกว่าการกระจัดกระจายแบบเรย์เล (Rayleigh Scattering) ซึ่งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าความยาวคลื่น อิทธิพลของโมเลกุลในชั้นบรรยากาศที่มีต่อความหนาเชิงแสงมีค่าเกือบจะคงที่ แม้ว่าในเวลาและสถานที่ต่างกัน แต่จะมีค่าต่างไปบ้างเล็กน้อยขึ้นกับฤดูกาลและตำแหน่งละติจูด

การกระจัดกระจายที่เกิดจากละอองลอยที่มีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นแสงอาทิตย์ มีชื่อเรียกว่า การกระจัดกระจายแบบมี (Mix Scattering) ละอองลอยเหล่านี้มีกำเนิดจากอนุที่แขวนลอยต่าง ๆ เช่น น้ำทะเลหรือฝุ่นที่พัดพาจากทะเลหรือผืนดิน ขยะมูลฝอย ควันจากโรงงานอุตสาหกรรม ควันจากภูเขไฟ ๑ ล ๑ สู้อันบรรยากาศ ซึ่งจะมีปริมาณแตกต่างกันไปขึ้นกับเวลาและสถานที่ นอกจากนี้ คุณสมบัติทางแสงและการกระจายของขนาดของละอองลอยก็ยังมีเปลี่ยนแปลงขึ้นกับความชื้น อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ จึงทำให้ยากต่อการตรวจวัดผลที่เกิดจากการกระจัดกระจายโดยละอองลอย

การกระจัดกระจาย การดูดกลืน และการส่งผ่านของชั้นบรรยากาศ จะแตกต่างกันที่ความยาวคลื่นต่างกัน แสดงดังรูป 2.8 และรูปที่ 2.9 แสดงการส่งผ่านเชิงคลื่นของชั้นบรรยากาศ ส่วนเส้นกราฟที่มีค่าต่ำเป็นผลที่เกิดจากการดูดกลืนโดยโมเลกุลประเภทต่าง ๆ [15]



รูปที่ 2.8 คุณลักษณะของค่าการส่งผ่านเชิงคลื่นของชั้นบรรยากาศ [15]



รูปที่ 2.9 การส่งผ่านเชิงคลื่นหรือส่วนกลับของการดูดกลืนของโมเลกุลประเภทต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศ ช่วงเปิดที่มีค่าการส่งผ่านสูงจะเรียกว่า หน้าต่างบรรยากาศ (Atmospheric Window) [15]

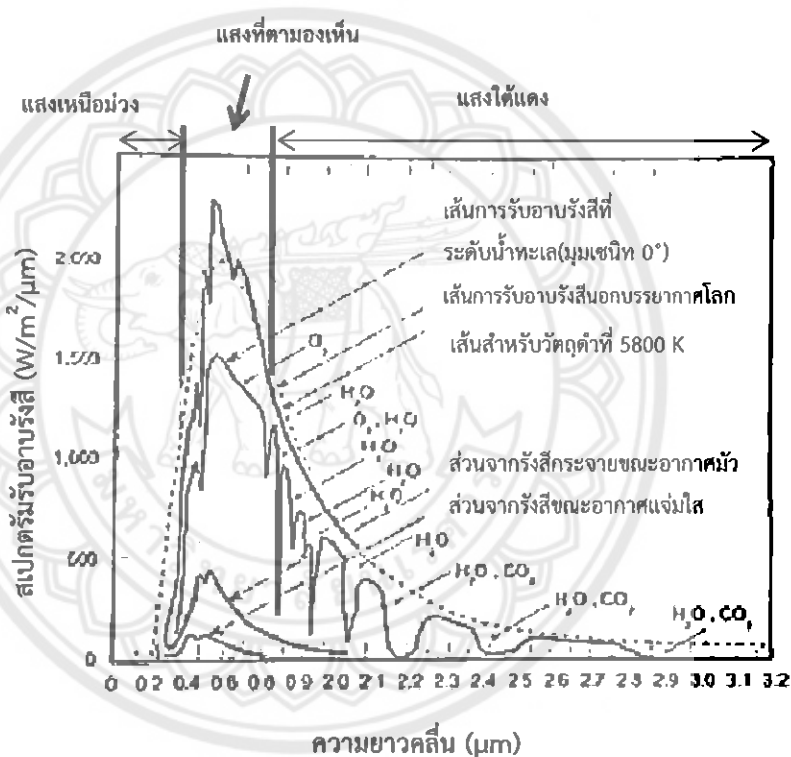
2.9 การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

รังสีอาทิตย์เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศของโลกจะถูกดูดกลืน เนื่องจากบรรยากาศของโลกประกอบไปด้วยก๊าซต่าง ๆ ไอน้ำ ฝุ่น และอนุภาคหลายชนิด ทำให้ความเข้มรังสีอาทิตย์ลดลงบางช่วงคลื่น การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ มีรายละเอียดและแสดงดังรูปที่ 2.10

ช่วงรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) เป็นรังสีที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 0.38 ไมโครเมตร รังสีในช่วงนี้จะถูกดูดกลืนโดยก๊าซไนโตรเจน ออกซิเจน และโอโซน ในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) โดยเฉพาะโอโซนจะสามารถดูดกลืนรังสีเหนือม่วงได้มาก ทำให้แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวโลกเกือบไม่มีรังสีในช่วงนี้เหลืออยู่เลย

ช่วงรังสีที่ตามองเห็น (Visible Light) เป็นรังสีที่มีความยาวคลื่น 0.4 ถึง 0.75 ไมโครเมตร รังสีในช่วงนี้จะถูกดูดกลืนด้วยโมเลกุลของออกซิเจน โอโซน และน้ำบางส่วน

ช่วงรังสีใต้แดง (Infrared) เป็นรังสีที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 0.8 ไมโครเมตร รังสีในช่วงนี้จะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ การดูดกลืนรังสีในช่วงนี้เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศใกล้ผิวโลก [16]



รูปที่ 2.10 สเปกตรัมของรังสีอาทิตย์ที่ได้รับนอกบรรยากาศของโลกที่ระดับน้ำทะเล [16]

2.10 ปริมาณรังสีอาทิตย์ในประเทศไทย

ความเข้มรังสีอาทิตย์รวม (Global Solar Radiation) ในประเทศมีค่าเฉลี่ย 5-18.0 MJ/m²-day ความผันผวนของความเข้มรังสีอาทิตย์รวมตามฤดูกาลมีค่าสูงถึงร้อยละ 20 ข้อมูลข้างล่างแสดงความเข้มรังสีอาทิตย์ในเชียงใหม่ และกรุงเทพฯ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ความเข้มรังสีอาทิตย์รวม รังสีอาทิตย์กระจาย และอุณหภูมิอากาศที่เชียงใหม่ [14]

เดือน	ความเข้มรังสีอาทิตย์รวม ในแนวราบ (kWh/m ²)	ความเข้มรังสีอาทิตย์กระจาย ในแนวราบ (kWh/m ²)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)
มกราคม	146	51	21.8
กุมภาพันธ์	148	51	24.1
มีนาคม	173	72	27.1
เมษายน	176	77	29.3
พฤษภาคม	182	85	28.1
มิถุนายน	165	79	27.6
กรกฎาคม	176	85	27.2
สิงหาคม	132	88	26.8
กันยายน	143	80	26.3
ตุลาคม	148	67	26.0
พฤศจิกายน	137	51	24.1
ธันวาคม	146	34	21.9
ตลอดทั้งปี	1871	819	25.9

ตารางที่ 2.2 ความเข้มรังสีอาทิตย์รวม รังสีอาทิตย์กระจาย และอุณหภูมิอากาศที่กรุงเทพฯ [14]

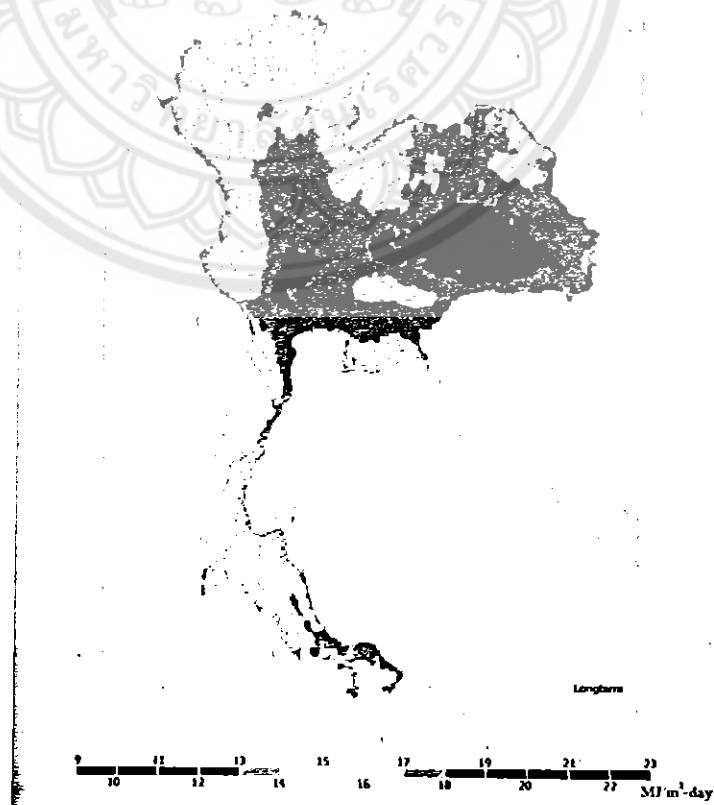
เดือน	ความเข้มรังสีอาทิตย์รวม ในแนวราบ (kWh/m ²)	ความเข้มรังสีอาทิตย์กระจาย ในแนวราบ (kWh/m ²)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)
มกราคม	144	69	28.9
กุมภาพันธ์	139	69	29.5
มีนาคม	172	82	29.8
เมษายน	168	88	30.4
พฤษภาคม	161	88	29.5
มิถุนายน	144	83	29.1
กรกฎาคม	146	86	29.1
สิงหาคม	140	90	29.1
กันยายน	128	81	29.0
ตุลาคม	137	69	29.4
พฤศจิกายน	140	67	29.0
ธันวาคม	147	58	28.3

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ความเข้มรังสีอาทิตย์รวม รังสีอาทิตย์กระจาย และอุณหภูมิอากาศที่กรุงเทพฯ
[14]

เดือน	ความเข้มรังสีอาทิตย์รวม ในแนวราบ (kWh/m^2)	ความเข้มรังสีอาทิตย์กระจาย ในแนวราบ (kWh/m^2)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)
ตลอดทั้งปี	1766	931	29.3

จากข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ซึ่งแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2 จะเห็นได้ว่าประเทศไทยมีระดับความเข้มของรังสีอาทิตย์ไม่แตกต่างกันในสองพื้นที่ แสดงถึงค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในประเทศที่ไม่ต่างกันมากนักตลอดทั้งปี

จากรูป 2.11 แสดงภาพรวมของความเข้มรังสีอาทิตย์ของประเทศไทย แผนภาพดังกล่าวจัดทำขึ้นโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานและภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรในปี พ.ศ. 2553 เมื่อพิจารณาจากข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเพื่อหาค่าเฉลี่ยรายปี จะพบว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุด ในบริเวณจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ ขอนแก่น มหาสารคาม บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร และอุบลราชธานี และบางส่วนในพื้นที่ภาคกลาง เช่น ในบริเวณจังหวัดกำแพงเพชร พิจิตร ชัยนาท สิงห์บุรี อ่างทอง สุพรรณบุรี และกาญจนบุรี [14]



รูปที่ 2.11 แผนที่รังสีอาทิตย์ของประเทศไทย [14]

2.11 ข้อมูลของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

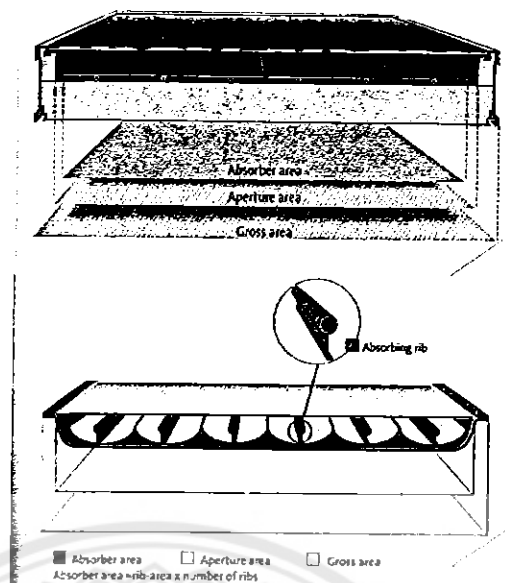
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นอุปกรณ์หลักในการรับรังสีอาทิตย์ โดยทำหน้าที่ดูดกลืนการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เปลี่ยนเป็นความร้อน และถ่ายโอนให้กับตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ซึ่งวัสดุที่ใช้ผลิตตัวเก็บรังสีต้องมีคุณสมบัติการดูด กลืนรังสีอาทิตย์สูง และการเปล่งรังสี (Emittance) ความร้อนต่ำเพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากการเปล่งรังสีจากแผ่นดูดกลืนรังสีสู่สิ่งแวดล้อม

พื้นที่รวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (พื้นที่ทั้งหมด) (Gross Collector Area, A_G) หมายถึง พื้นที่ซึ่งอยู่ระหว่างขอบเขตด้านนอกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยทั่วไปคือขอบเขตด้านนอกของโครงหรือกรอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

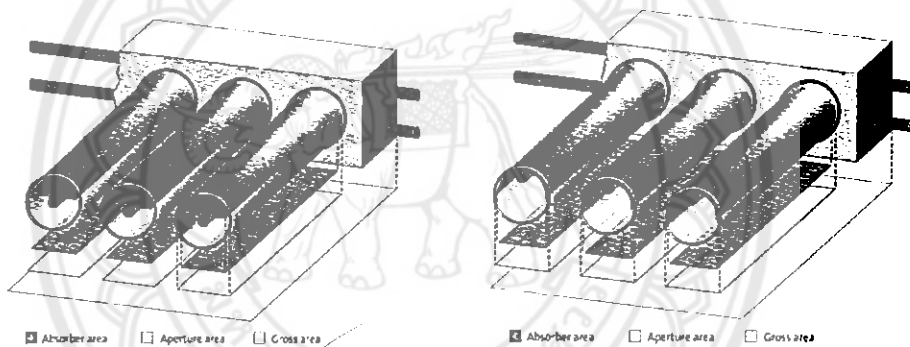
พื้นที่ช่องรับรังสีอาทิตย์ (Aperture Area, A_a) หมายถึง พื้นที่ช่องเปิด (กระจก) ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่แสงอาทิตย์ส่องผ่านในแนวตั้งฉากหรือรังสีตกกระทบในมุมใด ๆ โดยทั่วไปหมายถึงพื้นที่ของกระจกที่มองเห็นภายในแผงที่เชื่อมปิดกันไว้ไว้ในกรณีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดไม่มีตัวสะท้อนแสง (Reflector) พื้นที่ช่องรับรังสีอาทิตย์ คำนวณจากผลคูณของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในกับความยาวภายในของท่อทรงกระบอกที่แสงสามารถส่องผ่านได้กับจำนวนท่อ และในกรณีที่มีตัวสะท้อนแสงติดตั้งอยู่ด้านหลังหรือภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ พื้นที่ช่องรับรังสีอาทิตย์คำนวณได้จากพื้นที่ฉาย (Projected Area) ที่เกิดจากตัวดูดกลืนและตัวสะท้อนแสง

พื้นที่ของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Absorber Area, A_a) หมายถึง พื้นที่ทั้งหมดของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบมีครีปในตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ และเช่นเดียวกันกับกรณีตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อซึ่งจะรวมกับพื้นที่ฉายของส่วนข้อต่อและหัวท่อซึ่งอาจจะรับรังสีอาทิตย์ด้วย

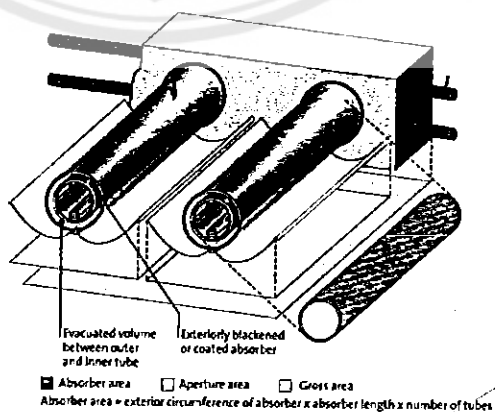
พื้นที่ใช้งานของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Active Absorber Area) โดยทั่วไปพื้นที่ใช้งานของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์จะเท่ากับพื้นที่ของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (A_a) แต่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์บางชนิดอาจถูกสร้างในลักษณะที่พื้นที่ตัวดูดกลืนรังสีทางด้านล่างของกรอบใหญ่กว่าพื้นที่ช่องรับรังสีอาทิตย์ หรือกรอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์อาจบังรังสีอาทิตย์ พื้นที่ใช้งานของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์จะต้องเป็นพื้นที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกรอบ ซึ่งกรณีนี้จะได้พื้นที่ใช้งานของตัวดูดกลืนที่เท่ากับพื้นที่ช่องรับรังสีอาทิตย์ (A_a) [14] โดยพื้นที่การรับรังสีแสงอาทิตย์นั้นมีหลายแบบดังรูป 2.12 , 2.13 และ 2.14



รูปที่ 2.12 พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ [14]



รูปที่ 2.13 พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่ไม่มีตัวสะท้อนแสง [14]



รูปที่ 2.14 พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่มีตัวสะท้อนแสง [14]

2.12 การดูดกลืนแสง (Absorbance)

พลังงานความร้อนทำให้วัตถุเปลี่ยนอุณหภูมิ และเปลี่ยนสถานะได้ นอกจากนี้พลังงานความร้อนยังมีผลต่อสีของวัตถุอีกด้วย วัตถุชนิดเดียวกัน ขนาดเท่ากันแต่มีสีแตกต่างกัน จะรับความร้อนและดูดกลืนรังสีความร้อนได้แตกต่างกัน วัตถุสีดำจะรับความร้อนและดูดกลืนรังสีได้ดีกว่าวัตถุสีขาว วัตถุสีทึบหรือสีเข้มจะดูดกลืนรังสีได้ดีกว่าสีอ่อน แสดงว่าสีของผิววัตถุมีผลต่อการดูดกลืนรังสี

การดูดกลืนแสงของวัตถุนอกจากจะขึ้นอยู่กับสีของวัตถุแล้วยังขึ้นอยู่กับผิวของวัตถุด้วย คือ วัตถุที่มีผิวเรียบจะดูดกลืนแสงได้น้อยกว่าวัตถุที่มีผิวขรุขระ เพราะว่าวัตถุที่มีผิวเรียบจะสะท้อนแสงได้ดีจึงทำให้แสงส่วนใหญ่สะท้อนออกมาปริมาณแสงที่ผ่านเข้าไปในวัตถุน้อยลง ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่า วัตถุจะดูดกลืนปริมาณแสงได้มากหรือน้อย โดยการวัดอุณหภูมิของวัตถุที่เพิ่มขึ้นและในกรณีที่วัตถุมีความร้อนอยู่แล้ววัตถุสีเข้มจะคายความร้อนได้มากกว่าวัตถุสีอ่อนในช่วงเวลาที่เท่ากัน ค่าการดูดกลืนแสงของธาตุต่าง ๆ นั้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 และ 2.4 [17]

2.13 กฎการดูดกลืนแสง (Absorbance's Law)

กฎการดูดกลืนแสงที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับสเปกโตรสโคปีมีอยู่ 2 กฎ ดังนี้คือ

2.13.1 กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's Law)

กล่าวว่า “เมื่อแสงสีเดียวหรือแสงความยาวคลื่น เดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว (Homogeneous) สัดส่วนของความเข้มแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้จะ มีค่าแปรผันตรงกับความหนาของตัวกลางนั้น”

2.13.2 กฎของเบียร์ (Beer's Law)

กล่าวไว้ว่า “เมื่อแสงที่ความยาวคลื่นหนึ่งผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้จะแปรโดยตรงกับค่าความเข้มข้นของ สารตัวกลางนั้น” [18]

2.14 ค่าการเปล่งรังสี (Emissivity)

ค่า Emissivity (ϵ) คือปริมาณรังสีที่แผ่ออกมาโดยตรง ตามกฎของเคอร์ชอร์ฟฟ์ (Kirchoff's Law) รังสีที่ดูดซับไว้ (λA) จะเท่ากับรังสีที่แผ่ออกมา (λE) ซึ่งกฎนี้จะใช้ได้เฉพาะที่ช่วงความยาวคลื่น อุณหภูมิ และทิศทางเฉพาะเท่านั้น อีกนัยหนึ่งวัตถุที่มีค่าสะท้อนรังสีสูง (λR สูง) จะเป็นวัตถุที่แผ่รังสีได้ไม่ดี (λA หรือ λE ต่ำ) ในขณะที่วัตถุที่ดูดซับพลังงานได้ดีจะแผ่รังสีได้ดีด้วย ดังนั้นในการใช้งาน Thermography เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิ เครื่องจักรไม่สามารถให้ค่าอุณหภูมิที่ถูกต้องตลอดทั้งภาพได้เพราะว่าวัตถุแต่ละชนิดในภาพมีค่า ϵ ที่ต่างกัน [17] โดยค่า ϵ ของวัสดุต่าง ๆ แสดงดังตาราง 2.3 และ 2.4

ตารางที่ 2.3 Mid-Temperature Selective Surfaces [17]

Rank	Material	Substrate	Fabrication	Absorptance α	Emissance ϵ (100°C)	Stability (°C) Vacuum Air	Commercial Product
2	TSSS ¹	Al	Paint	0.92	<0.015	<135	Solarselect
2	Pbs	Al	Evaporation Pyrolysis	0.93-0.99	0.21-0.10	200	
2	Colored SS	SS	Chemical conv.	0.62-0.93	0.1	<200	SEL, INCO
2	Black nickel NIS-ZnS	Steel Ni coated steel	Electrodeposition	0.88-0.96	0.03-0.10	<200	Maxorb
3	Ni-Sn	Cu	Electrodeposition /sol-gel	0.92-0.98	0.08-0.25	300	Black Crystal
3	Graphitic films α -C:H /Cr α -C:H	Cu Al	MF-pulsed PVD/PECVD	0.92 0.876	0.025 0.061	250 250	
3	Ge in silicon Si binder Pbs	Cu or SS	Paint	0.91 0.83 0.96	0.7 0.7 0.7	300	
3	Ag dielectric	Al	Biomimetic Sol-gel			300	
3	Black copper BCu-Cu ₂ O:Cu	Cu	Electrodeposition	0.97-0.98	0.02	370 250	
3	Black chrome Cr-Cr ₂ O ₃	Ni-Cu Cu steel	Electrodeposition	0.97	0.09	400 350	MTI ChromeCoat Energie Solaire
3	Mo/ Cr ₂ O ₃			0.95	<0.3	425	
3	TiN _x O _y	Cu	ARE	0.92	0.06	400	Thermomax
2	CuFeMnO ₄ /silica	Glass, Si	Sol-gel	0.6	~0.29-0.39		
1	Cr, Fe, Mo, SS, Ta, Ti, W silicides	Bulk Cu Sputtered Cu	DC reaction Sputtering	0.76-0.82 0.81-0.86	0.02-0.3	400 250	
1	Cr, Fe, Mo, SS, Ta, Ti, W carbide	Bulk Cu Sputtered Cu	DC reaction Sputtering	0.76-0.81 0.84-0.90	0.02 0.035-0.06	400 250	
3	Ni-NiO _x	Al	Reactive Sputtering	0.96	0.10	300	Sunstrip
3	Ni pigmented Al ₂ O ₃	Al	Anodization	0.85-0.97	0.08-0.21	300-400	TeknoTerm Energi Showa

Rank = Should material be investigated for CSP applications 1 = Yes, 2 = NO, 3 = Maybe

TSSS¹ = Thickness-sensitive spectrally selective

SS² = stainless steel

ตารางที่ 2.4 High-Temperature Selective Surfaces [17]

Rank	Material	Substrate	Fabrication	Absorptance α	Emittance ϵ (100°C)	Stability (°C) Vacuum Air	Commercial Product
2	Ni-Al ₂ O ₃ SiO ₂ AR	Mo-Ni-SS	RF sputtering	0.94	0.07	350-400 500	
2	Co- Al ₂ O ₃			0.94	0.04		
3	Mo- Al ₂ O ₃	Ni or Al	RF sputtering	0.96	0.16 (350)	350-500	Solel
1	W- Al ₂ O ₃ W- Al ₂ O ₃	Steel	RF sputtering CVD	0.97-0.98 0.85	0.1-0.07 (400) 0.04		Solel
1	Pt-Al ₂ O ₃	Cu	RF sputtering			600	
1	Al ₂ O ₃ - Pt-Al ₂ O ₃ double			0.90-0.98	0.08	600 500	
1	Mo- Al ₂ O ₃	Cu	Dc sputtering	0.96	0.06(350 _c)	350-500	TurboSun
2	SS-AlN			0.95	0.10(350 _c)	500	
3	Mo-AlN			0.92-0.94	0.08-0.10 (350 _c)	500	
1	W-AlN Quasicrystal						
1	multilayer	Cu ₂ Si		0.90	0.025	500 400	
1	cermet			0.86-0.92	0.031-0.05	500	
3	Si ₃ N ₄ /Si-Ge/Ag	SS,Al	CVD	0.89	0.0389(300) 0.0545(500)	600(He)	
1	Ni:SiO ₂ Cr:SiO	Al,Cu	Reactive DC sputtering	0.90-0.96	0.03-0.14	400-800(Ar)	
3	Al-AlN,AlN	SS	Reactive DC	0.97	0.10	500	
2	CuO	Cu,SS	Electroplating	0.91	0.18	<400	
1	Ag/CuO/ Rh ₂ O ₃ /CeO ₂ //	SS	Organo- metallic spray	0.9	0.1	700 500	
1	CeO ₂ //Ag/Pt/ CuO /Rh/Rh ₂ O ₃ //Ag /Pt			0.86-0.88	0.1	775 550	
1	CeO ₂ //CuO/ CoO Mn ₂ O ₃ //Pt			0.88-0.92	0.06-0.12	700 500	
1	black cobalt Co ₃ O ₄ /Co			0.96-0.92	0.71-0.017	400-650	
3	Ni-Co ₃ O ₄ /Co			0.95	0.10		
1	Black moly Mo-MoO ₂		CVD	0.94	0.3(500 _c)	500 350	

ตารางที่ 2.4 (ต่อ) High-Temperature Selective Surfaces [17]

Rank	Material	Substrate	Fabrication	Absorptance α	Emittance ϵ (100°C)	Stability (°C) Vacuum Air	Commercial Product
1	Black Tungsten W-WO _x		CVD	0.83	0.15	800	
1	Au/TiO ₂	SS	Sol-gel	0.85	0.01(400 _c)	>500	
3	Au/MgO	Mo/SS	RF Sputtering	0.90-0.93	0.04-0.1	400	
3	ZrC _x N _y	Al		0.85	0.074(325 _c)	600 125	
3	Al ₂ O ₃ /ZrC _x N _y / Ag			0.91	0.05(325 _c)	700 175	
1	ZrO _x /ZrC _x /Zr			0.90	0.05(20)	700	
3	TiN	Cu,Al	DC reactive		0.14-0.4	500	
1			Sputtering	0.80		750-900	
3	M ₆ O _c +M'Fe ₂ O ₄	Ni-Mo alloy	Painting Arc plasma	>0.95	>0.45	700 1060	
3	VB ₂ ,NbB ₂ ,TaB ₂ , TiB ₂ ,ZrB ₂ ,LaB ₆ , WSi ₂ ,TiSi ₂	Glass	DC reactive Sputtering	0.99	0.95-0.97	2300-3040 (MP)	
1	Si ₃ N ₄ Ar-ZrB ₂	ZrB ₂	CVD	0.88-0.93	0.08 to 0.10	500	
3	Masterbeads [®] "paint"			0.93		<1000	
2	C-Textured C	Cu		0.9	0.04(20)	400	
3	Textured Ni	Ni		0.92±0.2	0.09±0.02	<300	
1	Textured SS			0.93±0.02	0.22±0.02	>400	
3	Textured Cr	SS		0.80-0.90	0.10-0.30	<500	
1	W whiskers	Cr		0.98	>0.26	550	
1	Mo,Rh,Pt,W,Hf C,Au					>600	
1	NiO ₃ ,CoO _x					800	

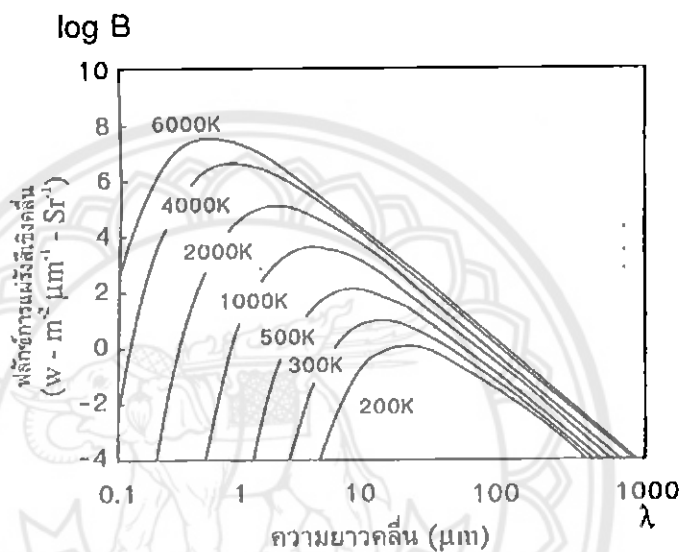
2.15 วัตถุดำ

วัตถุดำหนึ่ง ๆ จะมีฟลักซ์การแผ่รังสี (การแผ่รังสีต่อหนึ่งหน่วยเวลา) เฉพาะตัว ทั้งนี้ขึ้นกับอุณหภูมิและสภาพเปล่งรังสีของวัตถุนั้น ๆ การแผ่รังสีดังกล่าว เรียกว่า การแผ่รังสีความร้อน เนื่องจากจะขึ้นกับอุณหภูมิเป็นส่วนใหญ่ ลักษณะการแผ่รังสีความร้อนสามารถอธิบายได้โดยทฤษฎีวัตถุดำ

วัตถุดำ (Black Body) หมายถึง สารที่สามารถดูดกลืนพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบตัวมันได้ทั้งหมดโดยไม่มีการสะท้อนหรือส่งผ่านพลังงานเลย โดยกฎของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's Law)

แล้ว สัดส่วนของพลังงานที่แผ่จากวัตถุในสภาพสมดุลสถิต ความร้อนกับพลังงานที่ถูกดูดกลืนจะมีค่าคงที่ และจะขึ้นกับความยาวคลื่นและอุณหภูมิ (T) เท่านั้น

วัตถุดำจะให้ค่าการแผ่รังสีสูงสุดเมื่อเทียบกับวัตถุอื่นๆ ดังนั้น เราจึงเรียกวัตถุดำว่าเป็นตัวแผ่รังสีสมบูรณ์แบบการแผ่รังสีของวัตถุดำ (Black Body Radiation) หมายถึง การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุดำ ซึ่งเป็นไปตามกฎของพลังค์ (Planck's Law) โดยเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ T และความยาวคลื่น (รูปที่ 2.15) ดังนี้ [19]



รูปที่ 2.15 กฎการแผ่รังสีของพลังค์ [19]

2.16 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล

2.16.1 เครื่อง X-Ray Diffractometer

หลักการใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ โดยสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ของ XRD จะสามารถหาลำดับของโครงสร้างของตัวอย่างได้แล้วนั้น ยังสามารถคำนวณหา ปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่าง เครื่อง XRD สามารถทำการวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งในรูปแบบของแข็ง หรือตัวอย่างที่เป็น Powder ได้ ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นของแข็ง ด้านที่ต้องการทดสอบผิว จะต้องเรียบ ส่วนในกรณีตัวอย่างที่เป็นผง จะต้องมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 325 mesh (แปลงหน่วยแสดงดังรูปที่ 6) ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นก้อน ต้องมีขนาดกว้างยาว ไม่เกิน 10 เซนติเมตร ทั้งนี้ พื้นที่ที่จะทำการทดสอบ จะเป็นเพียงบริเวณเล็กๆ ประมาณ 10 มิลลิเมตร เท่านั้น กรณีที่ตัวอย่าง มีปริมาณน้อยมากๆ ก็อาจทำการทดสอบได้ โดยทางห้องปฏิบัติการจะใช้แผ่น Zero Background ในการวางตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบ ในกรณีที่ต้องการทดสอบฟิล์มบางเพื่อหาความหนาของชั้นฟิล์ม ความ

หนาของฟิล์มที่เตรียมต้องอยู่ระหว่าง 10 นาโนเมตร ถึง 100 นาโนเมตร ถ้าต่ำกว่า 10 นาโนเมตร ผลการทดสอบจะ Error มาก และหากหนาเกิน 100 นาโนเมตร จะไม่สามารถคำนวณความหนาได้ [20]

ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์โครงสร้างของสารประกอบที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันว่ามีการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโคบอลต์ออกไซด์กับคาร์บอน (ผงถ่าน) เพื่อดูว่าเกิดการผสมกันได้สารประกอบใหม่หรือไม่อย่างไร

2.16.2 เครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer

หลักการแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงจะมีความยาวคลื่นต่าง ๆ โดย Deuterium Lamp ให้แสงในช่วงความยาวคลื่น 190-350 นาโนเมตร และ Halogen Lamp ให้แสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 330-2,700 นาโนเมตร ดังนั้นจึงต้องใช้ โมโนโครเมเตอร์ เป็นตัวกระจายแสงออกเพื่อให้แสงที่จะผ่านไปยังตัวอย่างมีความยาวคลื่นตามที่ต้องการ หลังจากนั้นแสงความยาวคลื่นที่ต้องการจะผ่านไปยังเซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่าง และ สารเปรียบเทียบ (Cuvettes) ซึ่งมีรูปร่างต่าง ๆ กัน ออกไปแสงในส่วนที่ไม่ถูกดูดกลืน จะเดินทางผ่านตัวอย่างมาถึงเครื่องตรวจจับ (Detector) สำหรับเครื่องตรวจจับที่ใช้ ได้แก่ Photomultiplier Tube (สำหรับช่วง UV-VIS) และ Peltier Cooled PbS Detector (สำหรับช่วง NIR) เครื่องจะทำการบันทึกค่าความยาวคลื่น ร่วมกับค่ามุมของแต่ละความยาวคลื่นที่เกิดการดูดกลืน ผลของสเปกตรัมที่ได้ จะแสดงในค่า Absorbance และค่าความยาวคลื่นสามารถใช้วิเคราะห์ปริมาณและชนิดของสารตัวอย่าง โดยอาศัยความแตกต่างของการดูดกลืนแสงในแต่ละสารตัวอย่าง ที่ช่วงความยาวคลื่นย่าน Ultraviolet (UV), Visible (VIS) และ Near Infrared (NIR) [21]

ในการทดลองนี้จะวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับค่าการดูดซับรังสีว่าชิ้นงานทดสอบชิ้นใดสามารถดูดซับรังสีได้ดีที่สุด

2.17 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

N. Selvakumar, S. Santhoshkumar และคณะ (2012) [22] ได้ศึกษาการเคลือบ CrMoN(H)/ CrMoN(L)/CrON ลงบนสแตนเลสสตีลและอะลูมิเนียม โดยใช้วิธี Sputtering Method ด้วยการควบคุมอัตราการไหลของไนโตรเจนที่แตกต่างกัน ซึ่งจะก่อให้เกิด CrMoN(H) (High Metal Content) และ CrMoN(L) (Low Metal Content) การเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับรังสีจะมีการเติมโมลิบดีนัมเข้าไป เป็นผลให้มีค่าความสามารถดูดซับรังสีอยู่ในช่วง 0.90-0.92 และความสามารถในการแผ่รังสีมีค่าในช่วง 0.13-0.15 จากการใช้เครื่อง Spectroscopic Ellipsometric ได้ข้อมูลว่า CrMoN(H) เป็นตัวรับรังสีหลัก ตัวดูดซับ CrMoN/CrON ที่เคลือบลงบนสแตนเลสสตีล จะมีความเสถียรทางความร้อนถึง 425-500 องศาเซลเซียส ในอากาศและสุญญากาศและอยู่ได้นาน 7 ชั่วโมง ตัวดูดซับ CrMoN/CrON ที่เคลือบบน อะลูมิเนียม จะถูกทดสอบและประเมินผลตามเกณฑ์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านการผลิตน้ำร้อน

S. Khamlich, O. Nemraoui and N. Mongwaketsi (2011) [23] ได้ศึกษาเกี่ยวกับอนุภาคของ $\text{Cr}/\alpha\text{-Cr}_2\text{O}_3$ ที่ยึดเกาะได้ดีกับทองแดงผิวหยาบ โดยใช้สำหรับการดูดซับรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ โครงสร้างและลักษณะของอนุภาค Core-Shell ของ $\text{Cr}/\alpha\text{-Cr}_2\text{O}_3$ ถูกควบคุมโดยอุณหภูมิสะสม และค่า pH ของสารละลายตั้งต้น จากการกำหนดเป้าหมายลักษณะการดูดซับรังสีความร้อนในโครเมียมดำ (Black Chrome) ขณะที่มีการใช้งานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 40 ชั่วโมง จะแสดงการสะท้อนของ “แสงสีเขียว” อนุภาคหลักของ Core-Shell ใน $\text{Cr}/\alpha\text{-Cr}_2\text{O}_3$ ต้องการใช้วิธีการสังเคราะห์โดยจัดเรียงโมเลกุลอย่างเป็นระเบียบที่มีการยึดเกาะกับสารตั้งต้นสูง ตัวอย่างชิ้นงานโครเมียมสีดำเคลือบบนพื้นผิวของทองแดง มีค่าสะท้อนรังสีอินฟราเรดต่ำและการดูดกลืนแสง UV ที่มองเห็นได้สูง ดังนั้นผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการเคลือบลงบนทองแดงที่มีพื้นผิวหยาบสามารถใช้ดูดซับรังสีความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส

Kang Min Lee, Young Gun Ko and Dong Hyuk Shin (2011) [24] ได้ศึกษาอิทธิพลของการรวมตัวกันของท่อนาโนคาร์บอน (Carbon Nanotubes: CNTs) กับโครงสร้างการเคลือบผิวของอะลูมิเนียมอัลลอยด์ โดยทำให้เกิดการออกซิเดชันด้วยพลาสมา (Plasma Electrolytic Oxidation: PEO) ชุดของการเคลือบ PEO ถูกนำมาใช้กับ CNTs ที่อยู่ในอิเล็กโทรไลต์ที่มีความหนาแน่น เช่น 50, 100, และ 150 mA/cm^2 ในขณะที่ความหนาแน่นของกระแสจะเพิ่มขึ้นเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น อย่างช้า ๆ ทำให้ CNTs ไปรวมกับสารเคลือบผิว นอกจากนี้พบว่าส่วนใหญ่มีรูขนาดเล็กเกิดขึ้นบน CNTs จากการเกิดฟองอากาศในสารเคลือบผิว ส่งผลให้โครงสร้างการเคลือบที่ได้มีความหนาแน่นต่ำ โดยการศึกษาจะเพิ่มอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ให้กับโครงสร้างพื้นผิวของฟิล์มเคลือบบนอะลูมิเนียมอัลลอยด์ โดยกระบวนการพลาสมา (Plasma Electrolytic Oxidation: PEO) ที่ใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ในขณะที่ความหนาแน่นกระแสเพิ่มขึ้นแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ที่มีความต่างศักย์ -60 mV ในอิเล็กโทรไลต์ที่ถูกนำไปปิดรอบรู ทำให้โครงสร้างพื้นผิวที่เคลือบมีรูขนาดเล็กลง ส่งผลให้โครงสร้างการเคลือบที่ได้มีความหนาแน่นสูงขึ้น

Ewa Wackelgard (1998) [25] ได้ศึกษาว่าการเคลือบนิกเกิลดำด้วยวิธีการทางไฟฟ้า นิกเกิล และโซเดียมคลอไรด์ โดยมีสารละลายนิกเกิลและโซเดียมคลอไรด์เป็นตัวแปรในกระบวนการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับรังสีอาทิตย์ เมื่อทำการเคลือบแล้วชิ้นงานจะถูกนำไปตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของพื้นผิว สัณฐานวิทยา องค์ประกอบของอะตอม และทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับรังสีอาทิตย์ จากการตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM, XPS และอื่น ๆ พบว่า มีรูพรุนเกิดขึ้นบนพื้นผิว และมีนิกเกิลเกาะบริเวณผิวหน้าชิ้นงานเป็นส่วนใหญ่ รวมทั้งเกิดนิกเกิลไฮดรอกไซด์เกาะบนผิวชิ้นงานด้วย และจากผลการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับรังสีอาทิตย์ พบว่า เคลือบนิกเกิลสีดำทนอุณหภูมิสูงและทนความชื้น และผลที่ดีที่สุดของค่าการดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์

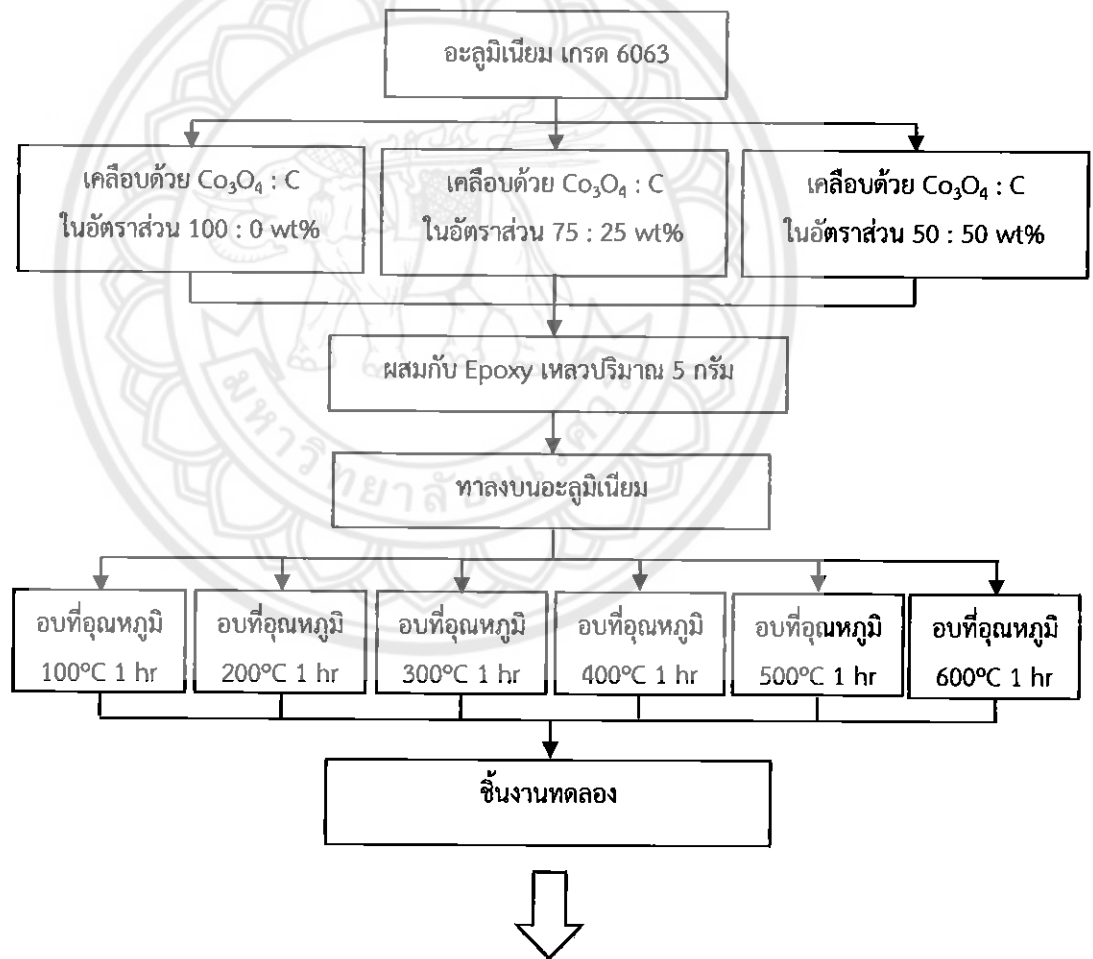
บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการ

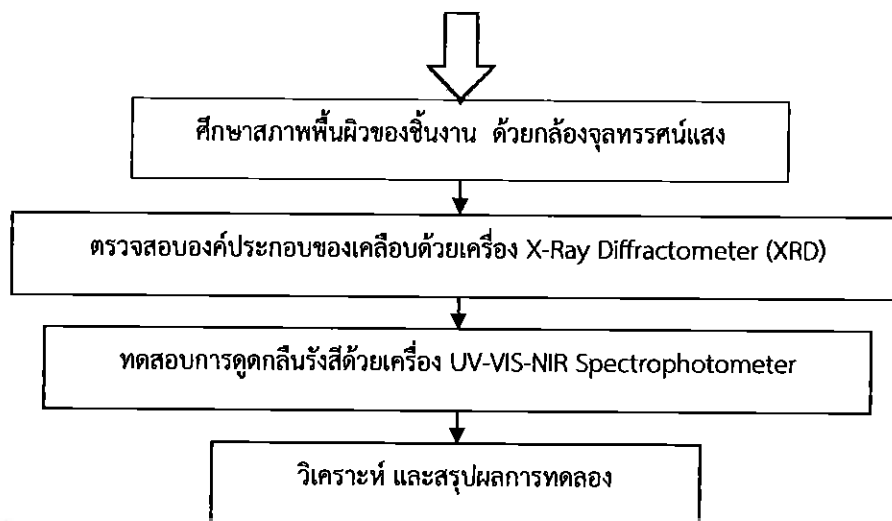
สำหรับวิธีการดำเนินงานวิจัยนี้ จะกล่าวถึงขั้นตอนและรายละเอียดวิธีวิจัยที่ใช้ในการทำโครงการ วัสดุ อุปกรณ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ขั้นตอนและระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการทำโครงการ

ในการศึกษาการเคลือบผิวอะลูมิเนียมสำหรับท่ออุตสาหกรรมรังสีนั้นมีขั้นตอนการทำงานดังนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 (ต่อ) ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2 วัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.2.1 วัสดุที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงาน

- 3.2.1.1 อะลูมิเนียม เกรด 6063
- 3.2.1.2 อีพ็อกซีเรซิน
- 3.2.1.3 โคบอลต์ออกไซด์
- 3.2.1.4 ผงถ่านขนาด 75-150 ไมครอน

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงาน

- 3.2.2.1 เตาอบโลหะ
- 3.2.2.2 ตะแกรงร่อน
- 3.2.2.3 กระดาษทรายเบอร์ 600
- 3.2.2.4 เครื่องขัดโลหะ
- 3.2.2.5 เครื่องตัดโลหะ

3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล

- 3.2.3.1 กล้องจุลทรรศน์แสง (OM)
- 3.2.3.2 X-Ray Diffractometer (XRD)
- 3.2.3.3 Thermocouple
- 3.2.3.4 UV-VIS-NIR Spectrophotometer

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 ขั้นตอนการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการเคลือบผิวอะลูมิเนียมเพื่อการดูดซับรังสีอาทิตย์ และศึกษากระบวนการเคลือบ

3.3.2 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

3.3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

ก. ตัดแผ่นอะลูมิเนียมเกรด 6063 เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 1.5×2 เซนติเมตร และขัดผิวด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600

ข. เตรียมผงถ่านโดยการบดแล้วนำไปคัดขนาดด้วยตะแกรงให้อยู่ในช่วง 75-150 ไมโครเมตร

3.3.2.2 การเตรียมส่วนผสม

ก. เตรียมส่วนผสมระหว่างโคบอลต์กับผงถ่าน ด้วยอัตราส่วนผสมดังนี้

ก.1 โคบอลต์ออกไซด์ 100 : ผงถ่าน 0

ก.2 โคบอลต์ออกไซด์ 75 : ผงถ่าน 25

ก.3 โคบอลต์ออกไซด์ 50 : ผงถ่าน 50

ข. นำส่วนผสมจากข้อ ก. มาผสมเข้ากับอีพ็อกซีเรซินด้วยปริมาณ 5 กรัม

3.3.3 ขั้นตอนการขึ้นตอนการเคลือบ

3.3.3.1 นำอะลูมิเนียมที่ผ่านการตัดและขัดแล้วมาทาเคลือบด้วยอีพ็อกซีเรซินที่ผสมกับโคบอลต์ออกไซด์และผงถ่านตามอัตราส่วนผสมดังข้อ 3.3.2.2

3.3.3.2 นำแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการเคลือบแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

3.3.4 ขั้นตอนการอบ

3.3.4.1 นำชิ้นงานเข้าเตาอบโดยใช้อัตราการใช้ความร้อน 5 องศาเซลเซียสต่อนาที และรักษาอุณหภูมิเป้าหมายเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.3.4.2 อุณหภูมิเป้าหมายที่ใช้

ก. 100 องศาเซลเซียส

ข. 200 องศาเซลเซียส

ค. 300 องศาเซลเซียส

ง. 400 องศาเซลเซียส

จ. 500 องศาเซลเซียส

ฉ. 600 องศาเซลเซียส

3.3.5 ขั้นตอนการตรวจสอบ

3.3.5.1 การตรวจสอบลักษณะชั้นเคลือบด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง

นำชิ้นงานที่ผ่านการอบในอุณหภูมิต่าง ๆ แล้วมาตรวจสอบลักษณะชั้นเคลือบ เพื่อดูการยึดติดกันระหว่างแผ่นอะลูมิเนียมชั้นเคลือบและความสมบูรณ์ของการเคลือบ

3.3.5.2 ขั้นตอนการตรวจสอบสารประกอบทางเคมีของชั้นเคลือบ

นำชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบแล้วไปตรวจหาสารประกอบทางเคมีของชั้นเคลือบ ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer

3.3.5.3 ขั้นตอนการตรวจสอบการดูดซับรังสี

นำชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบแล้วมาตรวจสอบหาค่าการดูดซับรังสีด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer

3.3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ และสรุปผล

3.3.6.1 วิเคราะห์ลักษณะทั่วไปทางกายภาพความสมบูรณ์ของชั้นเคลือบที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

3.3.6.2 วิเคราะห์หาสารประกอบที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานเคลือบที่อบที่อุณหภูมิที่ต่าง ๆ กัน

3.3.6.3 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับค่าการดูดซับรังสี

3.3.6.4 สรุปผลการทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

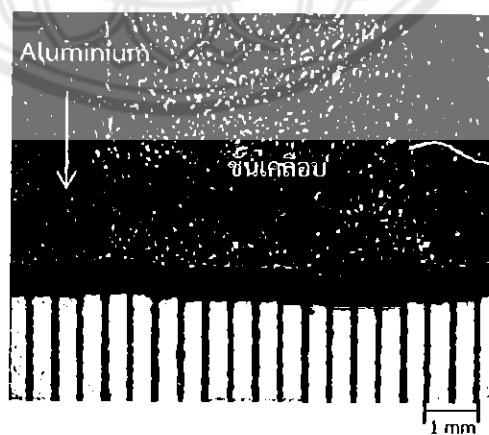
ในบทนี้เป็นการรายงานผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยชิ้นงานเคลือบที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันถูกนำมาตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงกำลังขยายต่ำ เพื่อตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของชั้นเคลือบ จากนั้นตรวจสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffractometer) เพื่อตรวจหาสารประกอบใหม่ในชั้นเคลือบ และสุดท้ายทำการตรวจวัดความสามารถในการดูดซับรังสีด้วยเครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนแสง (UV-VIS-NIR Spectrophotometer)

4.1 ลักษณะทางกายภาพของชั้นเคลือบ

จากการใช้กล้องจุลทรรศน์แสงกำลังขยายต่ำตรวจสอบผิวหน้าของชั้นเคลือบที่มีส่วนผสมของโคบอลต์ออกไซด์กับผงถ่านคาร์บอนต่าง ๆ กัน และนำไปอบด้วยอุณหภูมิที่ต่างกันนั้น พบว่าความราบเรียบ ความพรุน สีของชั้นเคลือบเป็นผลโดยตรงจากส่วนผสมและอุณหภูมิในการอบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1.1 ชิ้นงานที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

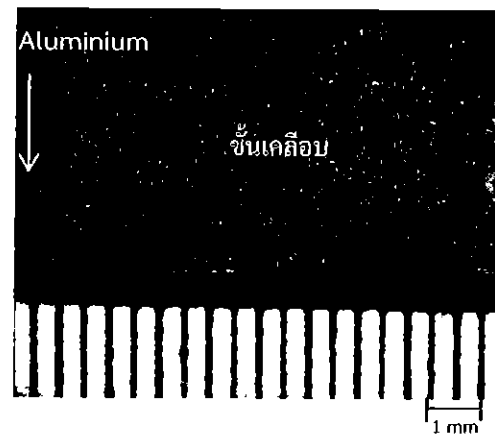
4.1.1.1 ลักษณะผิวด้านบนของชั้นเคลือบ



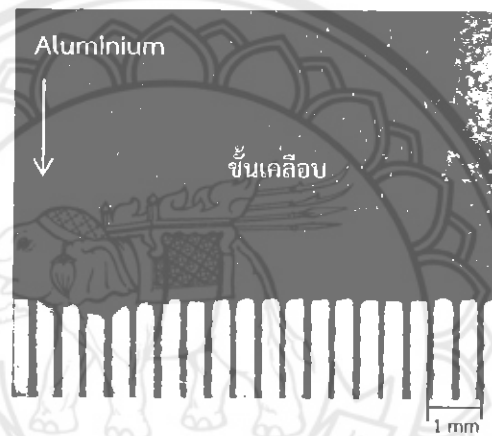
ก)

รูปที่ 4.1 ลักษณะผิวด้านบนของชั้นเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ก) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100:0



ข)



ค)

รูปที่ 4.1 (ต่อ) ลักษณะผิวเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
 ข) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 75:25
 ค) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50:50

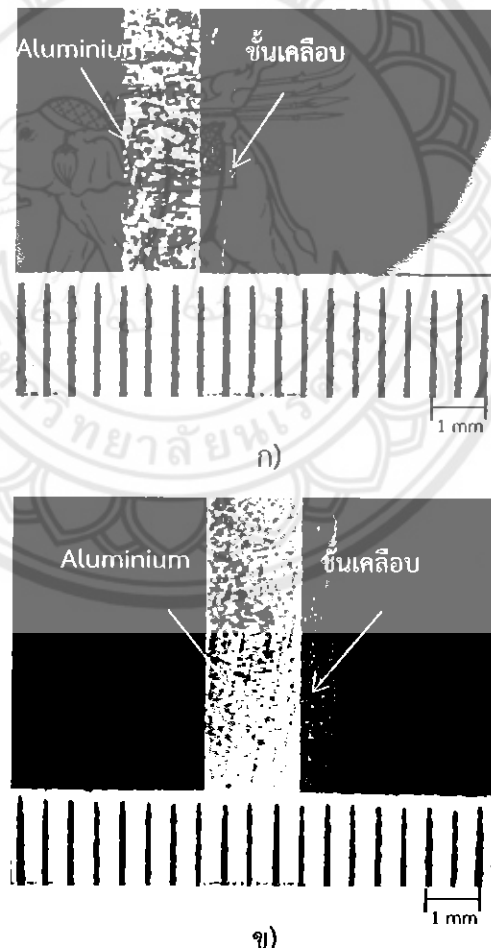
จากรูปชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบด้วยโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) และผงถ่านคาร์บอน (C) ที่อัตราส่วนผสม 100:0 75:25 และ 50:50 ผสมกับอีพ็อกซีเรซิน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แสดงดังรูป 4.1 ก) ข) และ ค) ตามลำดับ จากการสังเกตสีด้วยตาเปล่าพบว่า สีของชิ้นงานทั้งสามส่วนผสมมีสีที่ไม่แตกต่างกันและสีที่ได้คือสีดำเข้ม

นอกจากนั้นการสังเกตลักษณะพื้นผิวด้วยตาเปล่า จะเห็นว่า ส่วนผสมที่เคลือบลงบนแผ่นอะลูมิเนียม (เนื้อพื้น) ยังคงมีลักษณะเป็นผง (เม็ดเล็ก ๆ) ซึ่งรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนด้วยการเติมอีพ็อกซีเรซินที่ผสมลงไป [19] และจากการสังเกตบริเวณผิวของชิ้นงานจะเห็นว่าผิวเคลือบมีความเงาลักษณะคล้ายกับมีน้ำมันผสมอยู่ ซึ่งเป็นความเงาของอีพ็อกซีเรซิน แต่เมื่อมีส่วนผสมของผงถ่านคาร์บอน (C) มากขึ้นลักษณะความเงาของชั้นเคลือบจะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 1ข)และ ค)

ตามลำดับ นอกจากนี้ผิวของชั้นเคลือบยังมีความหยาบและมีช่องว่าง เนื่องจากขนาดอนุภาคของโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) และผงถ่านคาร์บอน (C) มีขนาดใหญ่

ลักษณะสีของชั้นเคลือบที่มีสีดำไม่ต่างกันทั้งสามส่วนผสมนั้นอาจอธิบายได้ว่าเป็นผลจากอนุภาคที่ใช้ในการอบตัวเกินไป จึงยังคงทำให้ความชื้นและความเงาที่อยู่ในอีพ็อกซีเรซินนั้นไม่เกิดปฏิกิริยาใด ๆ กับอากาศภายในเตา ในส่วนของความหยาบและความขรุขระของชั้นเคลือบนั้นมีสาเหตุมาจากขนาดอนุภาคของโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) และผงถ่านคาร์บอน (C) ที่มีขนาดใหญ่นั่นเอง เมื่อนำมาผสมกับอีพ็อกซีเรซินทำให้อนุภาคทั้งคู่เกิดการเกาะกลุ่มรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น โดยอีพ็อกซีเรซินทำหน้าที่เป็นตัวประสาน (Binder) จากขนาดที่ใหญ่ของทั้งโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) และผงถ่านคาร์บอน (C) เมื่อผสมกันจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นด้วย และอาจเป็นสาเหตุที่เกิดรูพรุนเพิ่มขึ้นในกรณีที่มีส่วนผสม 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ

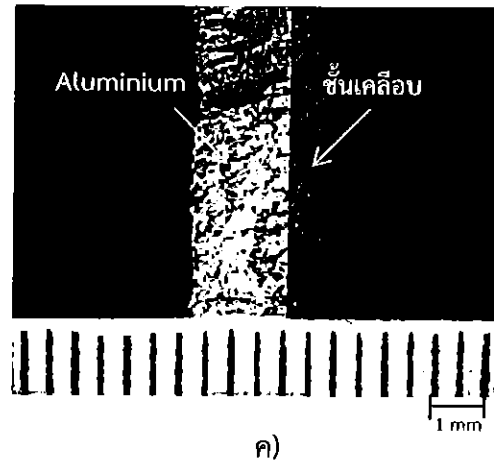
4.1.1.2 ลักษณะผิวรอยต่อของชิ้นงานด้านขวาง



รูปที่ 4.2 รอยต่อชั้นเคลือบกับอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ก) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100:0

ข) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 75:25



ค)

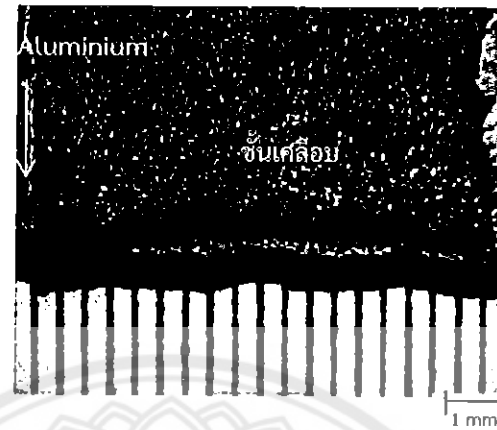
รูปที่ 4.2 (ต่อ) รอยต่อชั้นเคลือบกับอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ค) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50:50

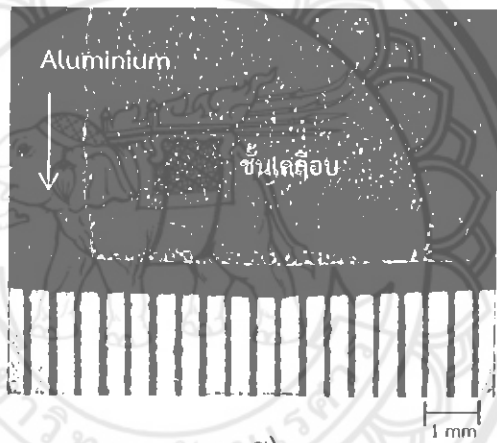
จากรูปที่ 4.2 ก) ข) และ ค) เป็นผิวรอยต่อด้านขวางของชั้นเคลือบและแผ่นอะลูมิเนียมสังเกตพบว่า ชิ้นงานที่มีส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์และผงถ่านคาร์บอน 75:25 และ 50:50 ในรูปที่ 4.2 ข) และ ค) พื้นผิวเคลือบจะมีความขรุขระและหยาบมากกว่าชิ้นงานที่มีส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์และผงถ่านคาร์บอน 100:0 ในรูปที่ 4.2 ก) เนื่องจากชิ้นงานที่มีส่วนผสม 75:25 และ 50:50 นั้นผงถ่านคาร์บอนที่เติมลงไปมีอนุภาคขนาดใหญ่และมีน้ำหนักเบากว่าโคบอลต์ออกไซด์เมื่อทำการเติมลงไปจึงทำให้มีผงถ่านคาร์บอนในปริมาณมาก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคมากขึ้นกว่าชิ้นงานที่มีส่วนผสม 100:0 ส่วนชิ้นงานที่มีส่วนผสม 100:0 มีการเติมโคบอลต์ออกไซด์เพียงอย่างเดียวความหยาบของชั้นผิวเคลือบจึงน้อยกว่าเมื่อสังเกตตรงบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นเคลือบและแผ่นอะลูมิเนียมเห็นรอยต่อเป็นเส้นตรงชัดเจนทำให้คาดว่าชั้นเคลือบยังไม่มีเกิดการเกิดปฏิกิริยาใด ๆ กับผิวอะลูมิเนียมซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง วิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffractometer) ในหัวข้อ 4.2

4.1.2 ชิ้นงานที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

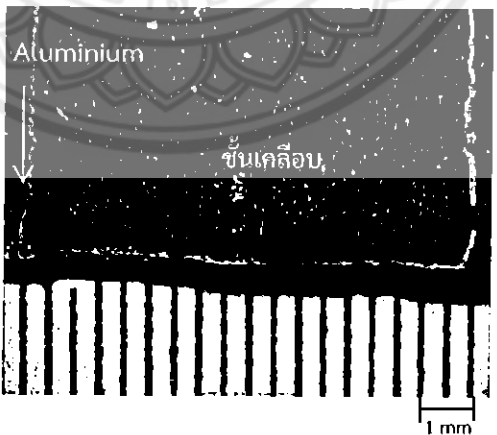
4.1.2.1 ลักษณะผิวด้านบนของชิ้นเคลือบ



ก)



ข)



ค)

รูปที่ 4.3 ลักษณะผิวเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

ก) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100:0

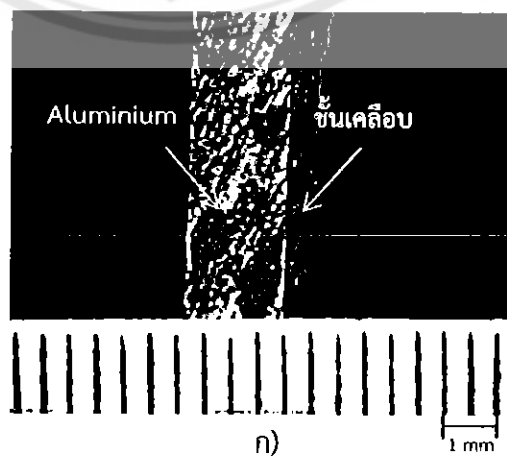
ข) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 75:25

ค) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50:50

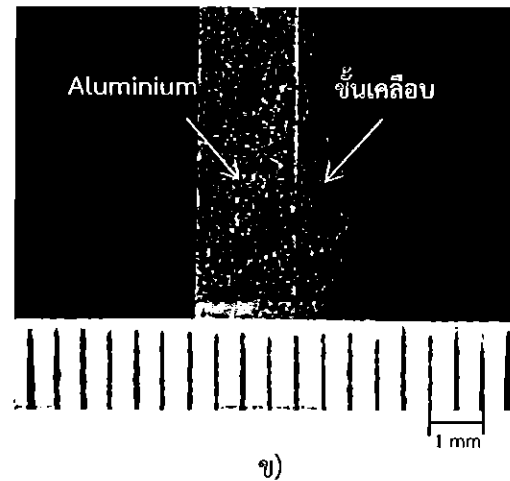
รูปที่ 4.3 เป็นรูปของชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบด้วยโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) และผงถ่านคาร์บอน (C) ที่อัตราส่วนผสม 100:0 75:25 และ 50:50 ผสมกับอีพ็อกซีเรซิน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ก) ข) และ ค) ตามลำดับ จากการสังเกตสีด้วยตาเปล่าพบว่า สีของชิ้นงานทั้งสามส่วนผสมมีสีดำเข้มทั้งสามชิ้น การที่สีของชิ้นงานทั้งสามส่วนผสมไม่แตกต่างกันอาจเกิดจากอุณหภูมิในการอบต่ำเกินไปเช่นเดียวกันกับกรณีที่อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จึงทำให้อีพ็อกซีเรซินยังไม่เกิดปฏิกิริยาใด ๆ เป็นผลให้ โคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ขึ้น

และจากการสังเกตลักษณะพื้นผิวด้วยตาเปล่า จะพบว่า ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) เริ่มมีการจับตัวยึดเกาะกันมากขึ้นเพราะอุณหภูมิในการอบที่เพิ่มขึ้นทำให้โคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) เริ่มเกิดการผสมตัวกันมากขึ้น และความเงาของผิวเคลือบก็เริ่มหายไป เนื่องจากอีพ็อกซีเรซินที่ผสมลงในส่วนผสมเริ่มเกิดการทำปฏิกิริยากับบรรยากาศชั้นบางแต่ยังไม่สมบูรณ์จึงยังคงเห็นความเงาหลงเหลืออยู่ นอกจากนี้ยังสังเกตได้อีกว่าผิวของชิ้นงานมีความหยาบและมีช่องว่าง เนื่องจากผลของขนาดโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) และผงถ่านคาร์บอน (C) ที่มีขนาดใหญ่เหมือนกับกรณีของชิ้นงานที่อบที่ 100 องศาเซลเซียสนั่นเอง เมื่อมีการใช้ผงโคบอลต์ออกไซด์เพียงชนิดเดียวในกรณีของส่วนผสม 100:0 ทำให้เมื่อผสมกับอีพ็อกซีเรซินแล้วเนื้อชิ้นเคลือบจะมีความเรียบเนียน ความขรุขระน้อย แต่เมื่อใช้ผงที่มีขนาดต่างกันสองชนิดมาผสมกันในกรณีของส่วนผสม 75:25 และ 50:50 นั้นก็จะทำให้ชิ้นเคลือบที่ผสมผสมกับอีพ็อกซีเรซินมีลักษณะหยาบมากขึ้นตามปริมาณผงถ่านคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น เพราะจะทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคมากขึ้นไปด้วยและส่งผลกระทบต่อความพรุนของชิ้นเคลือบที่มากขึ้นเมื่อปริมาณผงถ่านคาร์บอนเพิ่มขึ้น

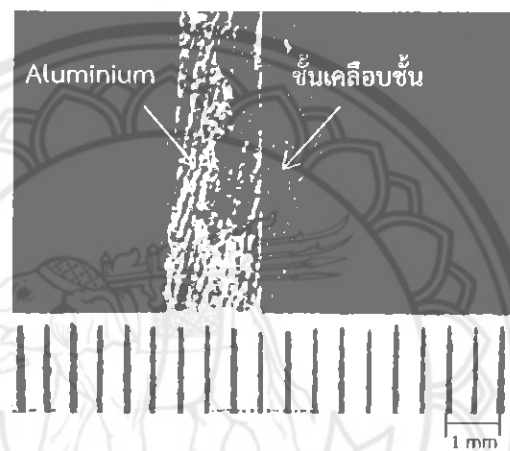
4.1.2.2 ลักษณะผิวรอยต่อของชิ้นงานด้านขวาง



รูปที่ 4.4 รอยต่อชั้นเคลือบกับอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส
ก) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100:0



ข)



ค)

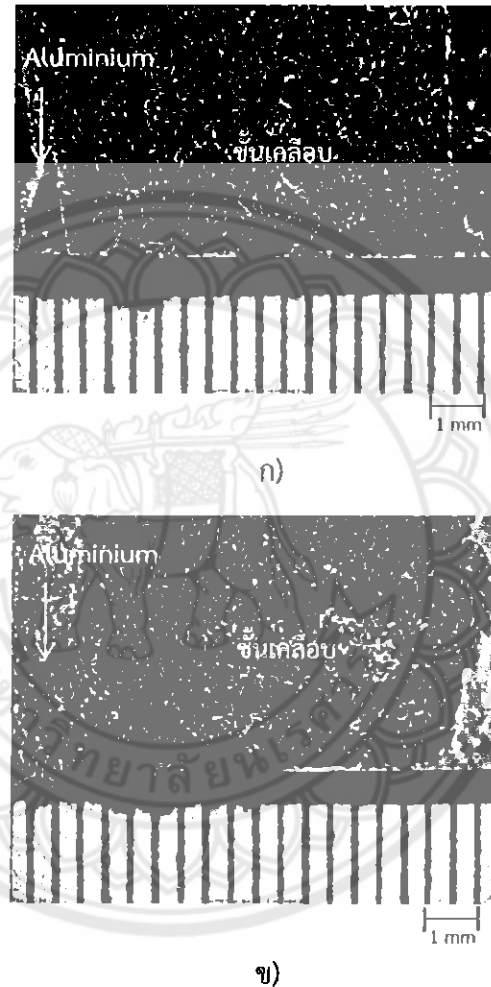
รูปที่ 4.4 (ต่อ) รอยต่อชั้นเคลือบกับอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส
 ข) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 75:25
 ค) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50:50

จากรูปที่ 4.4 ก) ข) และ ค) สังเกตพบว่า ชิ้นงานที่มีส่วนผสมระหว่างโคบอลต์-ออกไซด์และผงถ่านคาร์บอน 75:25 และ 50:50 ในรูปที่ 4.4 ข) และ ค) พื้นผิวเคลือบจะมีความขรุขระและหยาบมากกว่าชิ้นงานที่มีส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์และผงถ่านคาร์บอน 100:0 ในรูปที่ 4.4 ก) เนื่องจากชิ้นงานที่มีส่วนผสม 75:25 และ 50:50 นั้นมีการเติมผงถ่านคาร์บอนลงไป ซึ่งผงถ่านคาร์บอนนี้มีอนุภาคขนาดใหญ่และมีน้ำหนักเบากว่าโคบอลต์ออกไซด์ทำให้มีผงถ่านคาร์บอนในปริมาณมาก จะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคของโคบอลต์ออกไซด์กับผงถ่านคาร์บอนขนาดใหญ่มากขึ้นตามปริมาณผงถ่านคาร์บอนที่มากขึ้น จากสาเหตุนี้พื้นผิวเคลือบจึงมีความขรุขระ ความหยาบมากกว่าชิ้นงานที่มีการเติมโคบอลต์ออกไซด์เพียงอย่างเดียว ซึ่งจะมีความหยาบของชั้นผิวเคลือบที่น้อยกว่า เนื่องจากใช้ส่วนผสมของโคบอลต์ออกไซด์เพียงชนิดเดียวจึงเกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคที่น้อยกว่านั่นเอง และเมื่อสังเกตตรงบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นเคลือบและแผ่นอะลูมิเนียมจะ

พบรอยต่อที่เป็นเส้นตรงอย่างชัดเจน ทำให้คาดได้ว่าชั้นเคลือบยังไม่มีเกิดการเกิดปฏิกิริยาใด ๆ กับผิวอะลูมิเนียม เช่นเดียวกันกับกรณีที่อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

4.1.3 ชิ้นงานที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

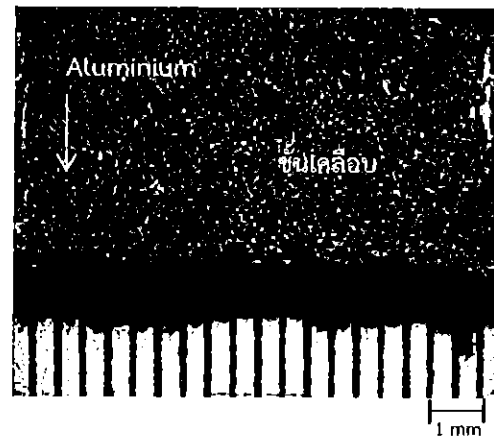
4.1.3.1 ลักษณะผิวด้านบนของชั้นเคลือบ



รูปที่ 4.5 ลักษณะผิวเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

ก) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100:0

ข) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 75:25



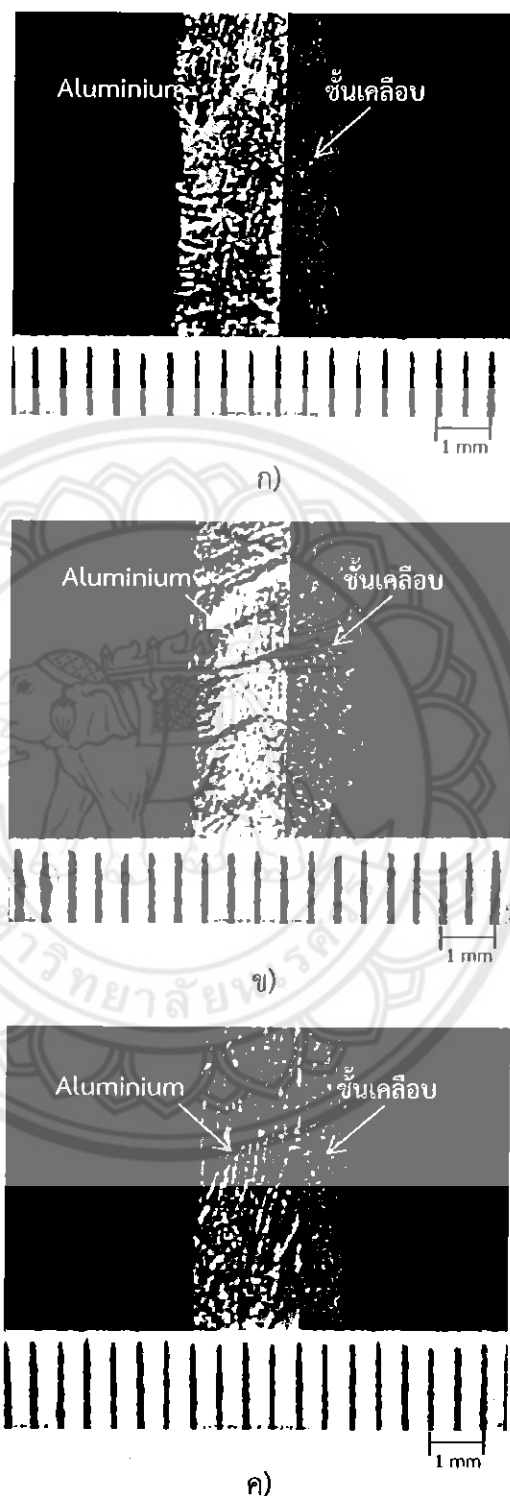
ค)

รูปที่ 4.5 (ต่อ) ลักษณะผิวเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส
ค) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50:50

ชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบด้วยโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) และผงถ่านคาร์บอน (C) ที่อัตราส่วนผสม 100:0 75:25 และ 50:50 ผสมกับอีพ็อกซีเรซิน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 4.5 ก) ข) และ ค) ตามลำดับ จากการสังเกตสี พบว่า สีของชั้นเคลือบทั้งสามชั้นเริ่มมีความแตกต่างกัน ชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100:0 จะมีสีของชั้นเคลือบเข้มที่สุด คือ มีสีเทาเข้ม ในส่วนของชิ้นงานที่มีส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 75:25 และชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50:50 สีของชั้นเคลือบของทั้งสองส่วนผสมนี้มีความใกล้เคียงกัน โดยจะมีสีเทาอ่อนทั้งคู่แต่ชิ้นงานที่มีส่วนผสม 75:25 จะมีสีที่เข้มกว่าเล็กน้อย ซึ่งการที่สีผิวชั้นเคลือบที่มีส่วนผสม 75:25 และ 50:50 มีสีอ่อนกว่าชั้นเคลือบที่มีส่วนผสม 100:0 อาจเกิดจากการที่ผงถ่านคาร์บอนเริ่มเกิดการทำปฏิกิริยากับอากาศ เพราะผลของอุณหภูมิในการอบที่เพิ่มขึ้น เมื่อผงถ่านคาร์บอนเกิดการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นทำให้ได้สีของผงถ่านเป็นสีเทาคลายสีของซี้ได้จากถ่าน

จากลักษณะพื้นผิวจะเห็นว่า ผิวเคลือบมีขุยสีน้ำตาลทั้งสามชิ้นงานแต่ที่ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100:0 มีขุยสีน้ำตาลนี้เพียงเล็กน้อย คาดว่าขุยสีน้ำตาลนี้เกิดขึ้นจากการที่อีพ็อกซีเรซินเกิดการทำปฏิกิริยากับอากาศ เช่นเดียวกับผงถ่านคาร์บอน ความเงาของชิ้นงานที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส หมดยุติทำให้ชั้นเคลือบมีลักษณะการยึดเกาะกันแน่นมากขึ้น นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าผิวเคลือบยังคงมีความหยาบและมีช่องว่างกับรูพรุน เนื่องจากช่องว่างระหว่างอนุภาคที่ใหญ่ส่งผลให้เกิดรูพรุนบนผิวและมีความหยาบเช่นเดียวกันกับในชิ้นงานที่อุณหภูมิ 100 และ 200 องศาเซลเซียส

4.1.3.2 ลักษณะผิวรอยต่อของชิ้นงานด้านขวาง

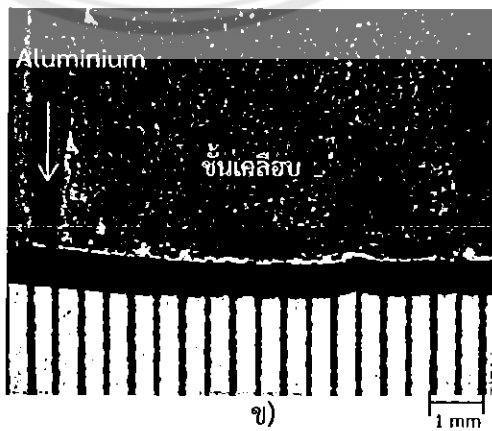
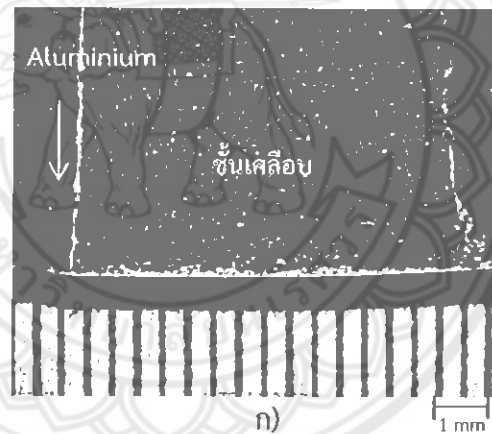


รูปที่ 4.6 รอยต่อชั้นเคลือบกับอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส
 ก) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100:0
 ข) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 75:25
 ค) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50:50

จากรูปที่ 4.6 ก) ข) และ ค) สังเกตพบว่า ชั้นเคลือบทั้งสามส่วนผสมยังคงมีความขรุขระ ความหยาบและมีรูพรุนภายในชั้นเคลือบ เพราะอนุภาคของโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) มีขนาดใหญ่ แต่สังเกตได้ว่าชั้นเคลือบที่มีอัตราส่วนผสม 100:0 แสดงดังรูป 4.6 ก) จะมีความขรุขระ ความหยาบ และมีรูพรุนน้อยกว่าชั้นเคลือบที่มีอัตราส่วนผสม 75:25 และ 50:50 แสดงดังรูป 4.6 ข) และ ค) ตามลำดับ เพราะไม่มีการเติมผงถ่านคาร์บอนที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าอนุภาคของโคบอลต์ออกไซด์ผสมลงไปทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคเล็กลงจึงมีความขรุขระ ความหยาบ และรูพรุนน้อยกว่า นอกจากนี้ยังเกิดขุยสีน้ำตาลขึ้นบนชั้นเคลือบซึ่งสันนิษฐานว่ามาจากการที่อีพ็อกซีเรซินเกิดการไหม้ เมื่อถูกอบในอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส จนความเปียกของอีพ็อกซีเรซินหายไป และเมื่อสังเกตบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นเคลือบและผิวอะลูมิเนียมจะเห็นรอยต่อที่ชัดเจน จึงคาดว่าไม่มีการเกิดปฏิกิริยากันเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบน้อยเกินไป

4.1.4 ชิ้นงานที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

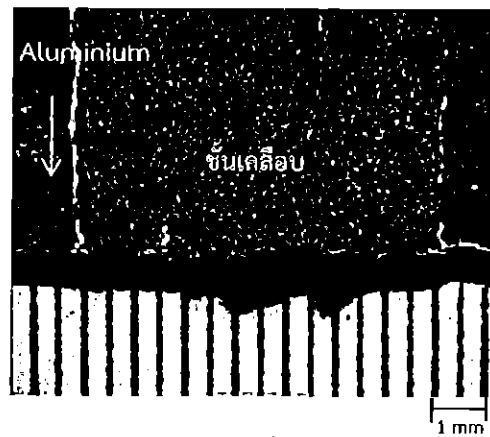
4.1.4.1 ลักษณะผิวด้านบนของชั้นเคลือบ



รูปที่ 4.7 ลักษณะผิวเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

ก) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100:0

ข) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 75:25



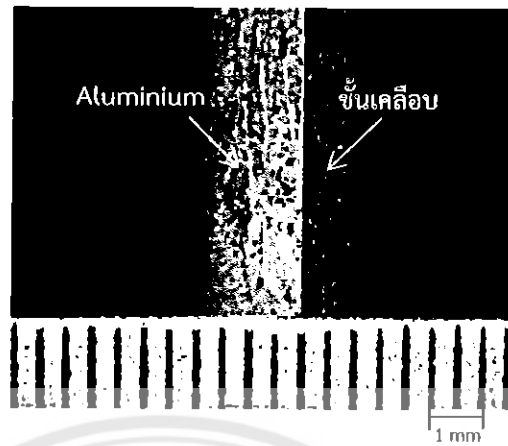
ค)

รูปที่ 4.7 (ต่อ) ลักษณะผิวเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส
ค) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50:50

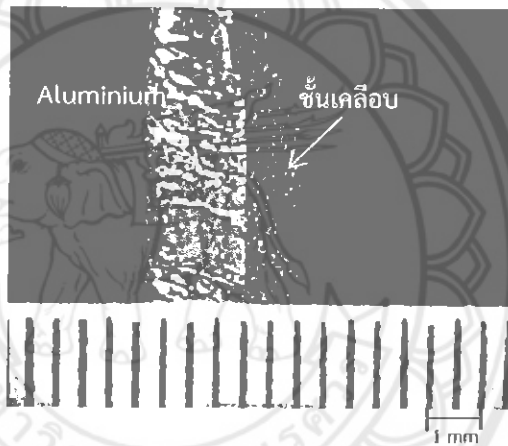
จากรูปชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบด้วยโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) และผงถ่านคาร์บอน (C) ที่อัตราส่วนผสม 100:0 75:25 และ 50:50 ผสมกับอีพ็อกซีเรซิน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส แสดงดังรูป 4.7 ก) ข) และ ค) จากการสังเกตสีด้วยตาเปล่าพบว่าสีของชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100:0 มีสีดำอ่อน เพราะไม่มีการผสมของผงถ่านคาร์บอนเลยทำให้ได้สีของโคบอลต์ออกไซด์เพียงอย่างเดียว สีของชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 75:25 มีสีดำออกเทาเล็กน้อย เกิดจากมีการผสมของผงถ่านคาร์บอนเข้าไปเพียงร้อยละ 25 ซึ่งผงถ่านคาร์บอนเกิดปฏิกิริยากับอากาศภายในเตาทำให้ผงถ่านคาร์บอนกลายเป็นสีเทา และสีของชิ้นงานที่มีส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50:50 จะมีสีเทาที่อ่อนกว่าซึ่งอาจเกิดจากปริมาณของผงถ่านคาร์บอนที่มากขึ้น เมื่อเกิดปฏิกิริยากับอากาศภายในเตาจะทำให้ได้สีเทาที่มากขึ้นตามปริมาณของผงถ่านคาร์บอนสีเทาคลายซีเด้านี้เกิดจากผงถ่านคาร์บอนที่ทนอุณหภูมิที่อบสูงเกินไปไม่ได้ทำให้เกิดการไหม้ของผงถ่านคาร์บอนเกิดขึ้น

จากการสังเกตลักษณะพื้นผิว จะเห็นว่า ชิ้นงานทั้งสามส่วนผสม ดังรูปที่ 4.7 ก) ข) และ ค) ไม่มีส่วนของขุยสีน้ำตาลเหลืออยู่เลย เนื่องจากอีพ็อกซีเรซินเกิดการไหม้จนหมดแล้วทำให้ขุยสีน้ำตาลหายไป นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าชั้นเคลือบของทั้งสามส่วนผสมยังคงมีความขรุขระ ความหยาบและมีรูพรุนอยู่ แต่ความเป็ยกของชั้นเคลือบนั้นได้หายไปหมดแล้ว ซึ่งความหยาบและรูพรุนนั้นเกิดจากขนาดอนุภาคของโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) และผงถ่านคาร์บอน (C) ที่มีขนาดใหญ่ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคมากขึ้น ส่งผลให้ชั้นเคลือบมีความหยาบและมีรูพรุนเกิดขึ้น

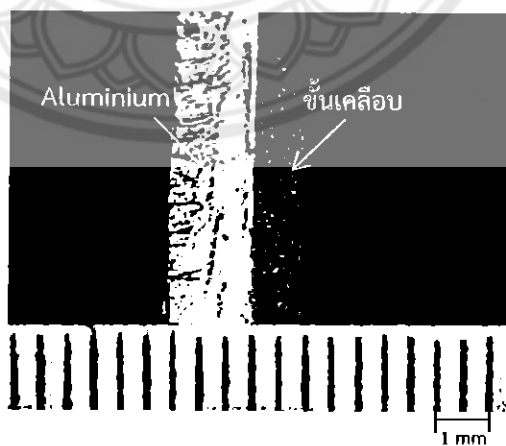
4.1.4.2 ลักษณะผิวรอยต่อของชิ้นงานด้านขวาง



ก)



ข)



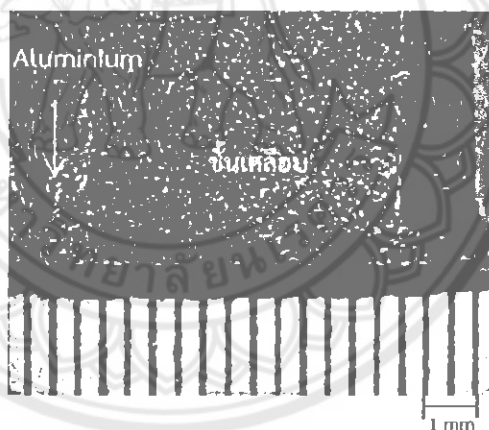
ค)

- รูปที่ 4.8 รอยต่อชั้นเคลือบกับอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส
- ก) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100:0
 - ข) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 75:25
 - ค) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50:50

จากรูปที่ 4.8 ก) ข) และ ค) สังเกตพบว่า ชั้นเคลือบทั้งสามส่วนผสมยังคงมีความขรุขระ ความหยาบและมีรูพรุนภายในชั้นเคลือบ เพราะอนุภาคของโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) มีขนาดใหญ่ แต่สังเกตได้ว่าชั้นเคลือบที่มีอัตราส่วนผสม 100:0 แสดงดังรูป 4.8 ก) จะมีความขรุขระ ความหยาบ และมีรูพรุนน้อยกว่าชั้นเคลือบที่มีอัตราส่วนผสม 75:25 และ 50:50 แสดงดังรูป 4.8 ข) และ ค) ตามลำดับ เพราะไม่มีการเติมผงถ่านคาร์บอนที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าอนุภาคของโคบอลต์ออกไซด์ผสมลงไปจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคที่น้อยกว่าช่องว่างระหว่างอนุภาคของผงถ่านคาร์บอนกับโคบอลต์ออกไซด์ จึงทำให้พื้นผิวมีความขรุขระ ความหยาบ และรูพรุนน้อยกว่า นอกจากนี้ขุยสีน้ำตาลก็หายไปเนื่องจากอีพ็อกซีเรซินเกิดการไหม้ออกจนหมดและไม่มีความเปียกเหลืออยู่บนผิวเคลือบ และเมื่อสังเกตจากรูปบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นเคลือบและผิวอะลูมิเนียม จะเห็นรอยต่อระหว่างชั้นเคลือบกับผิวอะลูมิเนียมอย่างชัดเจน ทำให้คาดว่าไม่มีการเกิดปฏิกิริยากันเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบน้อยเกินไป

4.1.5 ชั้นงานที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

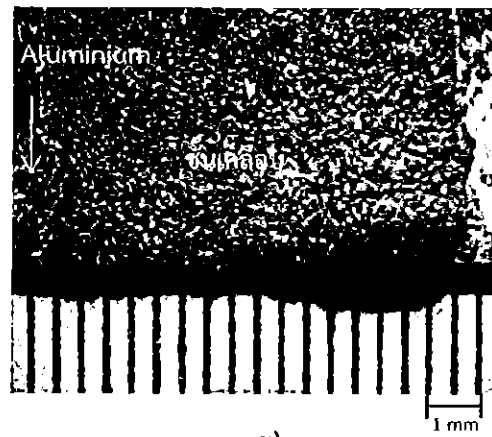
4.1.5.1 ลักษณะผิวด้านบนของชั้นเคลือบ



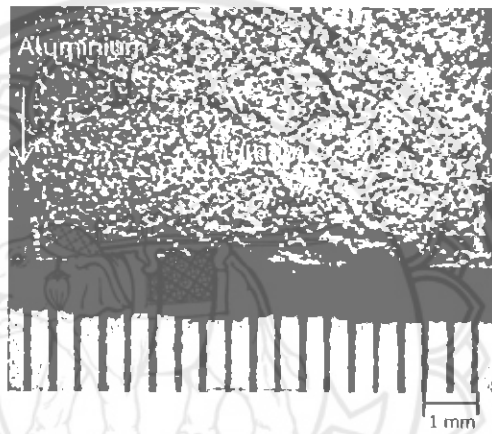
ก)

รูปที่ 4.9 ลักษณะผิวเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

ก) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100:0



ข)



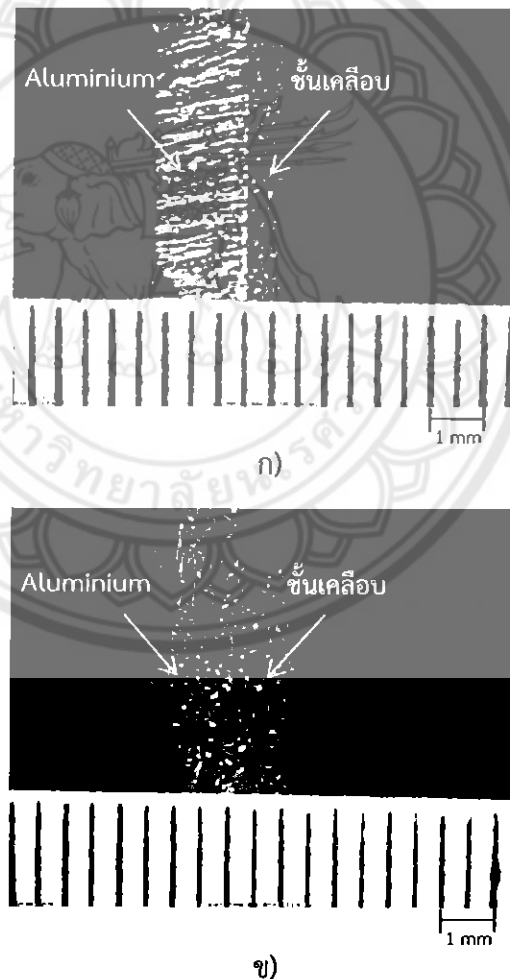
ค)

รูปที่ 4.9 (ต่อ) ลักษณะผิวเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส
 ข) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 75:25
 ค) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50:50

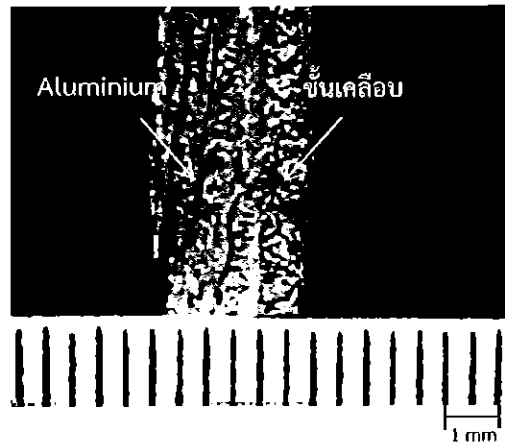
จากรูปชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบด้วยโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) และผงถ่านคาร์บอน (C) ที่อัตราส่วนผสม 100:0 75:25 และ 50:50 ผสมกับอีพ็อกซีเรซิน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 4.9 ก) ข) และ ค) จากการสังเกตพบว่า สีของชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100:0 มีสีเทาเข้มกว่าชิ้นงานที่มีส่วนผสม 75:25 เพราะไม่มีส่วนผสมของผงถ่านคาร์บอน มีแต่โคบอลต์ออกไซด์เพียงอย่างเดียว สีของชิ้นงานที่มีส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 75:25 มีสีเทา เนื่องจากมีการเติมผงถ่านคาร์บอนลงไปทำให้สีของชั้นเคลือบมีสีเทา ส่วนสีของชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50:50 มีสีเทาอ่อนกว่า เพราะมีส่วนผสมของผงถ่านคาร์บอนในปริมาณมากและผงถ่านคาร์บอนเกิดปฏิกิริยากับอากาศภายในเตาจะทำให้คาร์บอนที่เคยมีสีดำกลายเป็นสีเทาและเมื่อชั้นเคลือบมีปริมาณของผงถ่านคาร์บอนที่มากขึ้นก็จะมีสีที่อ่อนลงตามปริมาณคาร์บอนที่ผสมมากขึ้นด้วย

จากการสังเกตลักษณะทางพื้นผิว จะเห็นว่า ชั้นเคลือบที่มีส่วนผสม 100:0 ชั้นเคลือบเริ่มหลุดออกจากแผ่นอะลูมิเนียม (เนื้อพื้น) เพราะอุณหภูมิอบสูงทำให้อ็อกซิเดชันเกิดการเสื่อมสภาพ ส่งผลให้การยึดเกาะระหว่างชั้นเคลือบกับแผ่นอะลูมิเนียมไม่ดี ชั้นเคลือบที่มีส่วนผสม 75:25 มีการเกิดรอยร้าวของชั้นเคลือบ คาดว่าเกิดจากผงถ่านคาร์บอนที่ผสมเข้าไปเกิดปฏิกิริยากับอากาศภายในเตา ทำให้ผงถ่านคาร์บอนเกิดการสลายตัวและส่งผลต่อการยึดเกาะกันของอนุภาค ส่วนชิ้นงานที่มีส่วนผสม 50:50 มีการยึดเกาะกับแผ่นอะลูมิเนียม (เนื้อพื้น) ไม่ดีและมีรอยร้าว เพราะผงถ่านคาร์บอนเกิดปฏิกิริยากับอากาศภายในเตา จึงเกิดการสลายตัวของผงถ่านคาร์บอนและอ็อกซิเดชันเกิดการเสื่อมสภาพ เนื่องจากอุณหภูมิอบสูงทำให้ชั้นเคลือบไม่ยึดติดกับแผ่นอะลูมิเนียมและหลุดร่อน

4.1.5.2 ลักษณะผิวรอยต่อของชิ้นงานด้านขวาง



รูปที่ 4.10 รอยต่อชั้นเคลือบกับอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส
 ก) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100:0
 ข) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 75:25



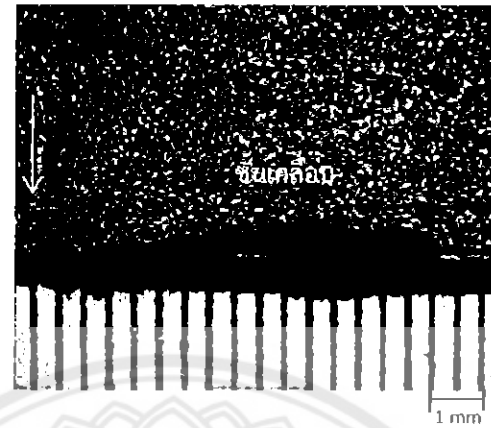
ค)

รูปที่ 4.10 (ต่อ) รอยต่อชั้นเคลือบกับอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส
ค) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50:50

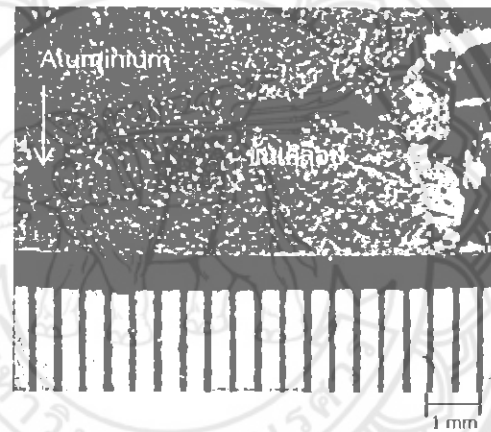
จากรูปที่ 4.10 ก) ข) และ ค) สังเกตพบว่า มีความขรุขระ ความหยาบ และมีรูพรุนบนผิวเคลือบ แต่ชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสม 100:0 ดังรูป 4.10 ก) จะมีความหยาบน้อยกว่า เนื่องจากไม่มีการผสมของผงถ่านคาร์บอนจึงไม่มีการไหม้ของคาร์บอนบนชั้นเคลือบ แตกต่างจากชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสม 75:25 และ 50:50 ดังรูป 4.10 ข) และ ค) ที่มีความหยาบมากกว่า แต่ชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสม 75:25 จะมีความหยาบน้อยกว่าชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสม 50:50 เนื่องจากมีการผสมของผงถ่านคาร์บอนในปริมาณน้อยกว่า ส่วนชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสม 50:50 จะมีความหยาบมาก เพราะมีการเติมผงถ่านคาร์บอนปริมาณมากกว่า และผงถ่านคาร์บอนเกิดปฏิกิริยากับอากาศภายในเตามากกว่าชั้นเคลือบที่มีอัตราส่วนผสม 75-25 ทำให้มีความหยาบและมีรูพรุนมาก เป็นเพราะอนุภาคของโคบอลต์ออกไซด์และผงถ่านคาร์บอนมีขนาดใหญ่ทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคมีขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลให้มีความหยาบและรูพรุนมาก และเมื่อสังเกตรูปบริเวณเส้นรอยต่อระหว่างชั้นเคลือบและผิวอะลูมิเนียม จะเห็นเส้นรอยต่ออย่างชัดเจน

4.1.6 ชิ้นงานที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

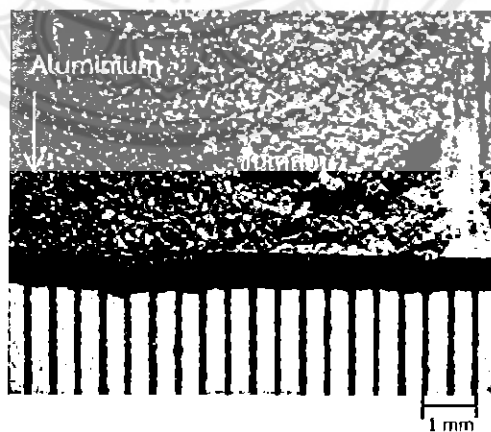
4.1.6.1 ลักษณะผิวด้านบนของชั้นเคลือบ



ก)



ข)



ค)

รูปที่ 4.11 ลักษณะผิวเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

ก) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100:0

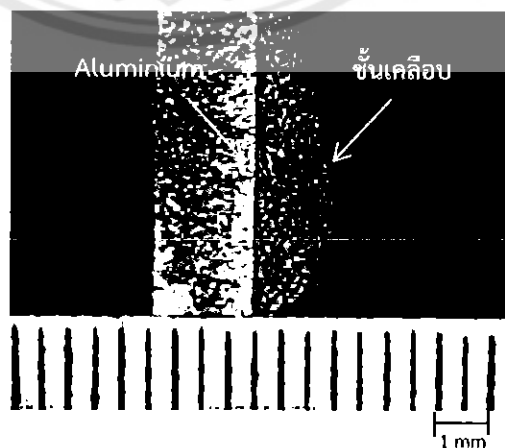
ข) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 75:25

ค) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50:50

จากรูปชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบด้วยโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) และผงถ่านคาร์บอน (C) ที่อัตราส่วนผสม 100:0 75:25 และ 50:50 ผสมกับอีพ็อกซีเรซิน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส แสดงดังรูป 4.11 ก) ข) และ ค) จากการสังเกตพบว่า สีของชิ้นเคลือบที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100:0 จะมีเข้มกว่าชิ้นงานที่มีส่วนผสม 75:25 เพราะไม่มีผงถ่านคาร์บอนอยู่ในส่วนผสมเลย เมื่อนำไปอบจึงได้สีของโคบอลต์ออกไซด์เพียงสีเดียว สีของชิ้นเคลือบที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 75:25 มีสีเทาเข้มกว่าชิ้นงานที่มีส่วนผสม 50:50 เพราะมีปริมาณผงถ่านคาร์บอนในส่วนผสมต่ำกว่า เนื่องจากผงถ่านคาร์บอนเมื่ออบที่อุณหภูมิสูงมากจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับอากาศภายในเตาจะทำให้กลายเป็นสีเทา ดังนั้นเมื่อชิ้นเคลือบมีปริมาณของถ่านคาร์บอนมากขึ้นก็จะทำให้มีสีเทาอ่อนลงตามปริมาณผงคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น

จากการสังเกตลักษณะทางพื้นผิว จะเห็นว่า ชิ้นเคลือบที่มีส่วนผสม 100:0 ชิ้นเคลือบเริ่มหลุดออกจากแผ่นอะลูมิเนียม (เนื้อพื้น) เพราะอุณหภูมิอบสูงทำให้อีพ็อกซีเรซินเกิดการเสื่อมสภาพ ส่งผลให้การยึดเกาะระหว่างชิ้นเคลือบกับแผ่นอะลูมิเนียมไม่ดี ชิ้นเคลือบที่มีส่วนผสม 75:25 มีการเกิดรอยแตกบนชิ้นเคลือบ คาดว่าเกิดจากผงถ่านคาร์บอนที่ผสมเข้าไปเกิดปฏิกิริยากับอากาศภายในเตา ทำให้ผงถ่านคาร์บอนเกิดการสลายตัว รวมทั้งอีพ็อกซีเรซินไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิอบได้จึงเกิดการเสื่อมสภาพ ส่งผลให้การยึดเกาะระหว่างชิ้นเคลือบกับผิวอะลูมิเนียมไม่ดีและเกิดการแตกของชิ้นเคลือบ ส่วนชิ้นเคลือบที่มีส่วนผสม 50:50 การยึดเกาะของชิ้นเคลือบกับผิวอะลูมิเนียม (เนื้อพื้น) ไม่ดีและเกิดการแตกของชิ้นเคลือบ เพราะผงถ่านคาร์บอนเกิดปฏิกิริยากับอากาศภายในเตา จึงเกิดการสลายตัวของผงถ่านคาร์บอนและอีพ็อกซีเรซินเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากอุณหภูมิอบสูงทำให้ชิ้นเคลือบไม่ยึดติดกับแผ่นอะลูมิเนียมและหลุดร่อน

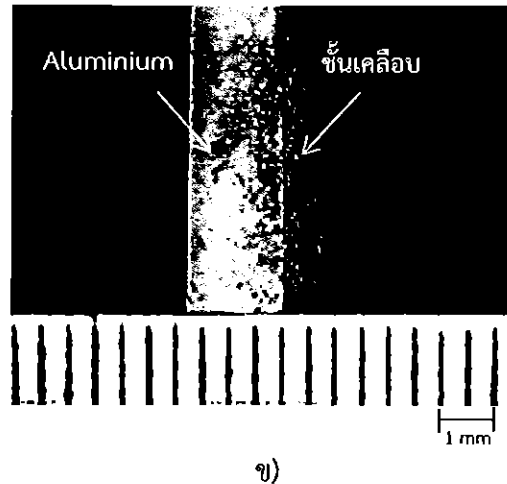
4.1.6.2 ลักษณะผิวรอยต่อของชิ้นงานด้านขวาง



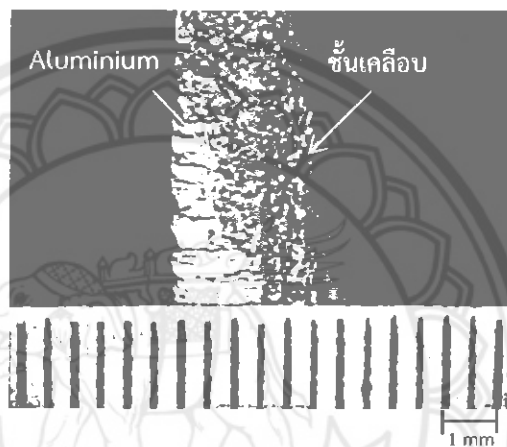
ก)

รูปที่ 4.12 รอยต่อชั้นเคลือบกับอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

ก) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100:0



ข)



ค)

รูปที่ 4.12 (ต่อ) รอยต่อชั้นเคลือบกับอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส
 ข) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 75:25
 ค) ส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50:50

จากการสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่า ความหนาของชั้นเคลือบทั้งสามส่วนผสมมีขนาดไม่เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ก) ข) และ ค) เนื่องจากผิวชิ้นงานมีความเปราะ หลุดร่อน ทำให้เกิดการแตกของชั้นเคลือบ เพราะอุณหภูมิอบที่ 600 องศาเซลเซียส ทำให้อีพ็อกซีเรซินเกิดการเสื่อมสภาพ และชิ้นงานที่มีส่วนผสม 75:25 และ 50:50 มีความหยาบและรูพรุนมาก เพราะส่วนผสมของผงถ่านคาร์บอนมีอนุภาคขนาดใหญ่ ส่วนชิ้นงานที่มีส่วนผสม 100:0 มีความหยาบและรูพรุนน้อยกว่าชิ้นงานที่มีส่วนผสม 75:25 และ 50:50 เพราะไม่มีส่วนผสมของผงถ่านคาร์บอนอยู่เลยการที่ชั้นเคลือบที่มีอัตราส่วนผสม 75:25 และ 50:50 มีความหยาบและมีรูพรุนมาก เป็นเพราะอนุภาคของโคบอลต์ออกไซด์และผงถ่านคาร์บอนมีขนาดใหญ่ทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคมีขนาดใหญ่ ส่งผลให้มีความหยาบและรูพรุนมาก และเมื่อสังเกตบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นเคลือบและผิวอะลูมิเนียม จะเห็นเส้นรอยต่อระหว่างชั้นเคลือบและผิวอะลูมิเนียมอย่างชัดเจน

4.1.7 เปรียบเทียบลักษณะของชั้นเคลือบเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบต่างกัน

จากรูปของชั้นเคลือบข้างต้นที่ได้นำเสนอมา ณ ที่อุณหภูมิอบที่ต่างกันพบว่า ทั้งสีของชั้นเคลือบ ลักษณะรูพรุน และการยึดเกาะของชั้นเคลือบนั้น สามารถนำมาวิเคราะห์หาอุณหภูมิอบที่เหมาะสมที่สุดดังนี้

4.1.7.1 การเปรียบเทียบลักษณะผิวและสีของชั้นเคลือบเมื่ออุณหภูมิอบที่ใช้ต่างกัน

เราจะวิเคราะห์ความแตกต่างของชั้นเคลือบเพื่อดูความเข้มของสีของชั้นเคลือบที่อุณหภูมิอบต่างกันและลักษณะรูพรุนที่เกิดขึ้นเมื่อผ่านการอบแล้ว

ที่ลักษณะสีของชั้นเคลือบจะเห็นว่าชั้นเคลือบที่อบที่อุณหภูมิ 100 และ 200 องศาเซลเซียสจะเห็นมีสีที่เข้มกว่าชั้นเคลือบที่อุณหภูมิที่สูง ทั้งนี้เพราะเมื่ออบที่อุณหภูมิต่ำยังไม่ทำให้คาร์บอนในชั้นเคลือบที่เป็นสีค่อนข้างเข้มเกิดปฏิกิริยากับอากาศภายในเตา ดังนั้นชั้นเคลือบจึงได้สีที่เข้มจนใกล้เคียงกับวัตถุดำ แต่เมื่ออุณหภูมิที่อบเพิ่มขึ้นเป็น 300 องศาเซลเซียส ผงถ่านคาร์บอนในชั้นเคลือบเริ่มที่จะทนอุณหภูมิในช่วงนี้ไม่ได้ จึงเกิดปฏิกิริยากับอากาศภายในเตา ทำให้ชั้นเคลือบเปลี่ยนเป็นสีเทาเข้ม และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 400 องศาเซลเซียส จะพบว่า สีของชั้นเคลือบมีสีเทาที่อ่อนลงซึ่งเนื่องมาจากผงถ่านคาร์บอนเกิดปฏิกิริยากับอากาศภายในเตามากขึ้น ชั้นเคลือบจึงมีสีที่อ่อนลงกว่าเดิม แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 500 และ 600 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าสีของชั้นเคลือบมีสีที่ไม่ต่างกันมากนัก เพราะผงคาร์บอนและโคบอลต์ออกไซด์เกิดปฏิกิริยากับอากาศภายในเตาจนเกือบหมดที่อุณหภูมิ 500 และ 600 องศาเซลเซียส ชั้นเคลือบจึงมีสีเทาอ่อนที่ใกล้เคียงกัน จากข้างต้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า เมื่ออบที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ได้ชั้นเคลือบที่มีสีเข้มเหมาะแก่การนำมาใช้เป็นชั้นเคลือบเพราะมีสมบัติที่คล้ายกับวัตถุดำ [19]

แต่เมื่อดูที่ลักษณะของรูพรุนของชั้นเคลือบจะพบว่า ชั้นเคลือบในทุกอุณหภูมิที่ใช้อบ จะมีลักษณะรูพรุนที่แทบจะไม่ต่างกันซึ่งรูพรุนนั้นเป็นผลมาจากอนุภาคของโคบอลต์ออกไซด์และผงคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่ เมื่อนำมาผสมกันจะเกิดช่องว่างขนาดใหญ่ระหว่างอนุภาคทั้งสองตัว จึงผลให้เกิดรูพรุนบนชั้นเคลือบ

4.1.7.2 การเปรียบเทียบลักษณะการยึดเกาะของชั้นเคลือบ

ในการเปรียบเทียบการยึดเกาะระหว่างชั้นเคลือบจะพิจารณาถึงรอยแตกของชั้นเคลือบเป็นสำคัญ ซึ่งจะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 100 และ 200 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าชั้นเคลือบแนบสนิทกับผิวอะลูมิเนียมและในเนื้อชั้นเคลือบไม่มีรอยแตกร้าวซึ่งเป็นเพราะว่า อีพ็อกซีเรซินที่เป็นตัวยึดไม่เกิดการเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิต่ำทำให้การยึดเกาะดีมาก แต่ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นั้นการคงตัวของอีพ็อกซีเรซินยังไม่ดีนัก เมื่อโดนแรงกระทำจึงเกิดการเสียรูปได้ง่ายกว่าที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ที่อีพ็อกซีเรซินเริ่มมีการคงตัวที่ดีขึ้นแล้ว เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบเป็น 300 องศาเซลเซียส อีพ็อกซีเรซินเริ่มแห้งแต่การยึดเกาะระหว่างชั้นเคลือบยังดีอยู่จึงทำให้ชั้นผิวเคลือบแห้งไม่มีความเงาและการยึดเกาะยังมีประสิทธิภาพที่สูง เมื่ออุณหภูมิอบเพิ่มสูงขึ้นเป็น 400 องศาเซลเซียส อีพ็อกซีเรซินเริ่มมีการเสื่อมสภาพทำให้การยึดเกาะระหว่างชั้นเคลือบไม่แนบสนิทมีช่องว่างเล็กน้อยระหว่าง

ชั้นเคลือบและผิวอะลูมิเนียมแต่ยังไม่มียรอยแตกบนผิว เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบเป็น 500 องศาเซลเซียส เกิดการเสื่อมสภาพของอีพ็อกซีเรซินมากขึ้น ส่งผลให้เกิดรอยแตกร้าวบนผิวเคลือบและการยึดเกาะของชั้นเคลือบกับผิวอะลูมิเนียมแ่ลง มีช่องว่างระหว่างชั้นเคลือบและผิวอะลูมิเนียมเพิ่มมากขึ้นและเมื่ออุณหภูมิอบเป็น 600 องศาเซลเซียส อีพ็อกซีเรซินเกิดการเสื่อมสภาพจนเกือบหมด ทำให้รอยแตกของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้นความสามารถในการยึดเกาะระหว่างอนุภาคน้อยลง เพราะเมื่อสัมผัสเพียงเบา ๆ ก็จะทำให้ชั้นเคลือบหลุดออกมาได้ง่าย เนื่องจากชั้นเคลือบมีความเปราะที่มากและความสามารถในการยึดเกาะบนผิวอะลูมิเนียมมีน้อยลง จึงเห็นเป็นช่องว่างขนาดใหญ่ระหว่างชั้นเคลือบและผิวอะลูมิเนียม จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าชั้นเคลือบยิ่งอบที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้การยึดเกาะระหว่างชั้นเคลือบและผิวอะลูมิเนียมแ่ลง แต่หากอบที่อุณหภูมิต่ำเกินไปก็จะทำให้ชั้นเคลือบไม่คงตัว ดังนั้นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้เป็นชั้นเคลือบคือที่อุณหภูมิ 200 และ 300 องศาเซลเซียส

จากรูปของชิ้นงานทั้งหมด เมื่อสังเกตบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นเคลือบและผิวอะลูมิเนียมจะเห็นเส้นรอยต่อระหว่างชั้นเคลือบและผิวอะลูมิเนียมอย่างชัดเจน จึงคาดว่าไม่น่าจะเกิดปฏิกิริยากันระหว่างชั้นเคลือบกับผิวอะลูมิเนียม

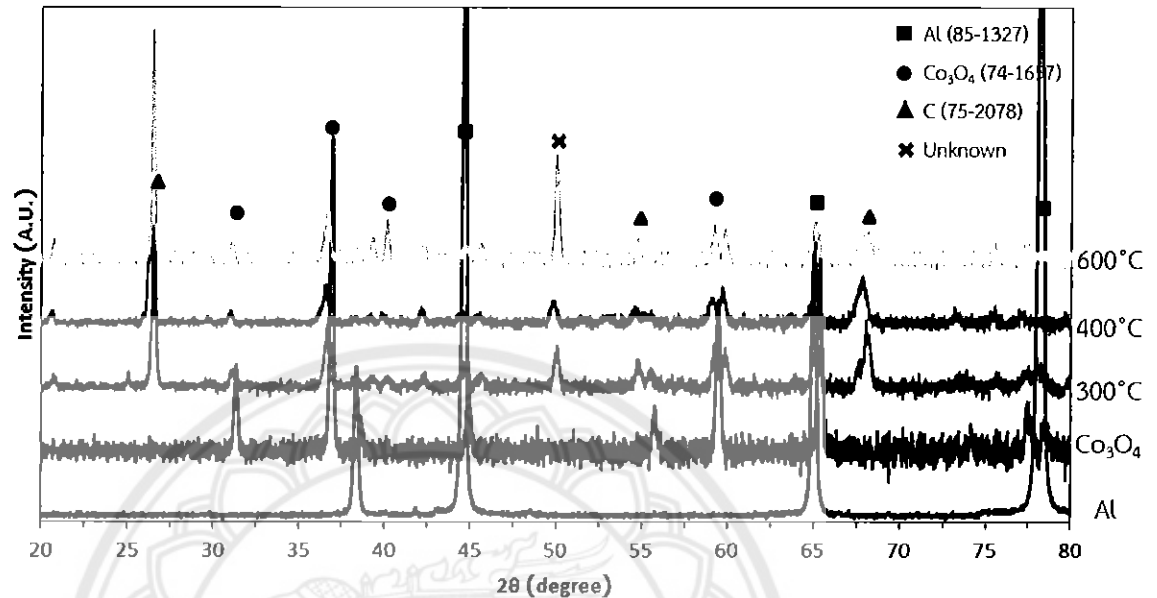
4.1.7.3 ภาพรวมของชั้นเคลือบ

ในการเลือกชั้นเคลือบที่เหมาะสมต้องพิจารณาถึงเรื่องความเข้มข้นของชั้นเคลือบและการยึดเกาะระหว่างชั้นเคลือบกับผิวอะลูมิเนียม เมื่อดูจากลักษณะพื้นผิวทั้งหมดจะสามารถบอกได้ว่าชั้นเคลือบที่ดีจะต้องไม่อบที่อุณหภูมิต่ำหรือสูงเกินไป ซึ่งจะทำให้ชั้นเคลือบมีสีเข้มและการยึดเกาะที่ดีและเหมาะสมต่อการใช้เป็นชั้นเคลือบ ดังนั้นเมื่อพิจารณาทั้งหมดจะเห็นว่าชั้นเคลือบที่อบที่อุณหภูมิ 200 และ 300 องศาเซลเซียส เหมาะสมแก่การเป็นตัวดูดซับรังสี

4.2 การตรวจสอบหาสารประกอบ

ในการตรวจสอบหาสารประกอบตัวใหม่ที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการอบชิ้นงานเคลือบที่ส่วนผสมต่างกันและที่อุณหภูมิต่าง ๆ นั้น จะใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffractometer) ในการตรวจสอบหาผลการตรวจสอบสารประกอบระหว่างอะลูมิเนียมกับโคบอลต์ออกไซด์หรืออะลูมิเนียมกับคาร์บอนก็คาดได้ว่ารอยต่อระหว่างชั้นเคลือบกับแผ่นอะลูมิเนียมจะมีความแข็งแรงในระดับหนึ่งนั่นเอง ซึ่งรายละเอียดการตรวจสอบและการวิเคราะห์แสดงดังต่อไปนี้

4.2.1 ชิ้นงานเคลือบที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100:0



รูปที่ 4.13 กราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของชิ้นงานเคลือบที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 100:0 ที่ผ่านการอบในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

จากการตรวจสอบชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ผ่านการเคลือบด้วยโคบอลต์ออกไซด์ผสมกับอีพ็อกซีเรซินแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ และทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffractometer) ได้ผลการทดลองในรูป 4.13 พบว่าชิ้นงานที่ผ่านการอบอุณหภูมิ 300 400 และ 600 องศาเซลเซียส นั้นพบว่าชิ้นงานที่อบในอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส มีองค์ประกอบของธาตุ Al ที่มีมุม 2θ เท่ากับ 38.4 44.8 65.1 และ 78.3 ตามลำดับ ส่วนชิ้นงานที่อบในอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีพีคของธาตุ Al ที่มีมุม 2θ เท่ากับ 38.3 44.6 65.0 และ 78.5 ตามลำดับ และชิ้นงานที่อบในอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีพีคของธาตุ Al ที่มีมุม 2θ เท่ากับ 38.6 44.7 65.3 และ 78.3 ตามลำดับ ซึ่งค่าเหล่านี้สอดคล้องกับพีคของแผ่นอะลูมิเนียมที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยโคบอลต์ออกไซด์กับอีพ็อกซี และสอดคล้องกับฐานข้อมูล JCPDS หมายเลข Al (85-1327)

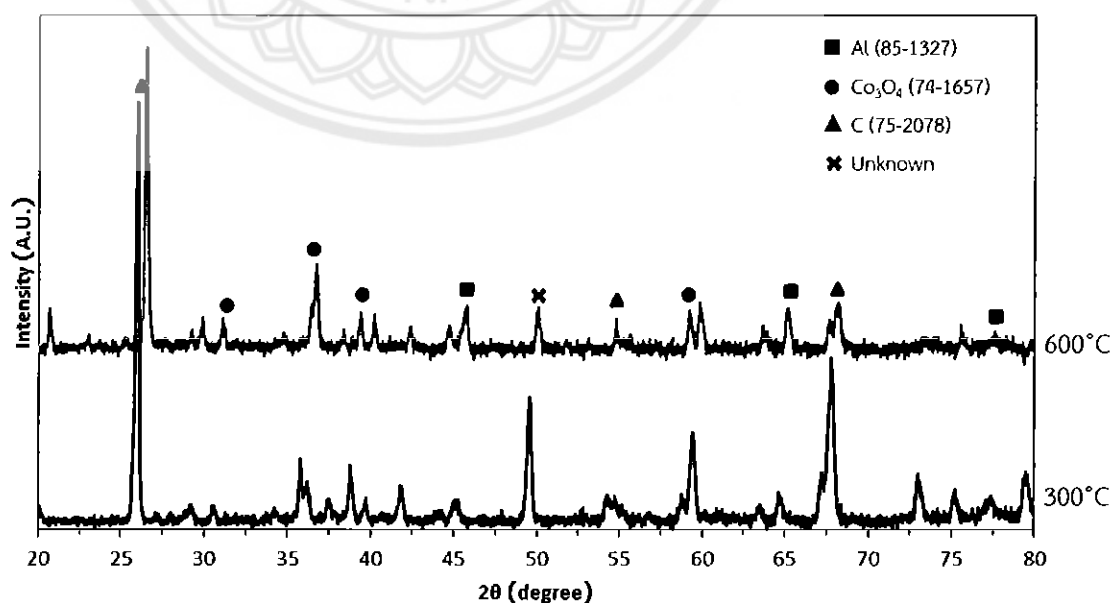
ชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ผ่านการเคลือบด้วยโคบอลต์ออกไซด์ผสมกับอีพ็อกซีเรซินแล้วนำไปอบในอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส จากการตรวจสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffractometer) ได้ผลดังรูป 4.13 พบว่า มีพีคของธาตุโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) ที่มีมุม 2θ เท่ากับ 31.1 36.9 59.3 และ 65.6 ตามลำดับ ส่วนชิ้นงานที่ผ่านการอบในอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีพีคของธาตุโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) ที่มีมุม 2θ เท่ากับ 31.1 36.7 59.2 และ 65.7 ตามลำดับ และชิ้นงานที่ผ่านการอบในอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีพีคของธาตุโคบอลต์ออกไซด์

(Co_3O_4) ที่มุม 2θ เท่ากับ 31.1 36.8 59.3 และ 65.8 ตามลำดับ ซึ่งค่าเหล่านี้สอดคล้องฐานข้อมูล JCPDS หมายเลข 74-1657

ชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ผ่านการเคลือบด้วยโคบอลต์ออกไซด์ผสมกับอีพ็อกซีแล้วนำไปอบในอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส มีพีคของธาตุคาร์บอน (C) ที่มุม 2θ เท่ากับ 26.4 54.8 และ 59.8 ตามลำดับ ส่วนชิ้นงานที่อบในอุณหภูมิ 400 มีพีคของธาตุคาร์บอน (C) ที่มุม 2θ เท่ากับ 26.3 54.7 และ 59.7 ตามลำดับและ 600 องศาเซลเซียส มีพีคของธาตุคาร์บอน (C) ที่มุม 2θ เท่ากับ 26.3 54.8 และ 59.8 ตามลำดับ สาเหตุที่พบธาตุคาร์บอน (C) ในชิ้นงานเนื่องจากในอีพ็อกซีเรซินซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจึงสามารถตรวจพบธาตุคาร์บอน (C) ในทุกชิ้นงานเคลือบได้ ซึ่งค่าเหล่านี้สอดคล้องฐานข้อมูล JCPDS หมายเลข 75-2078

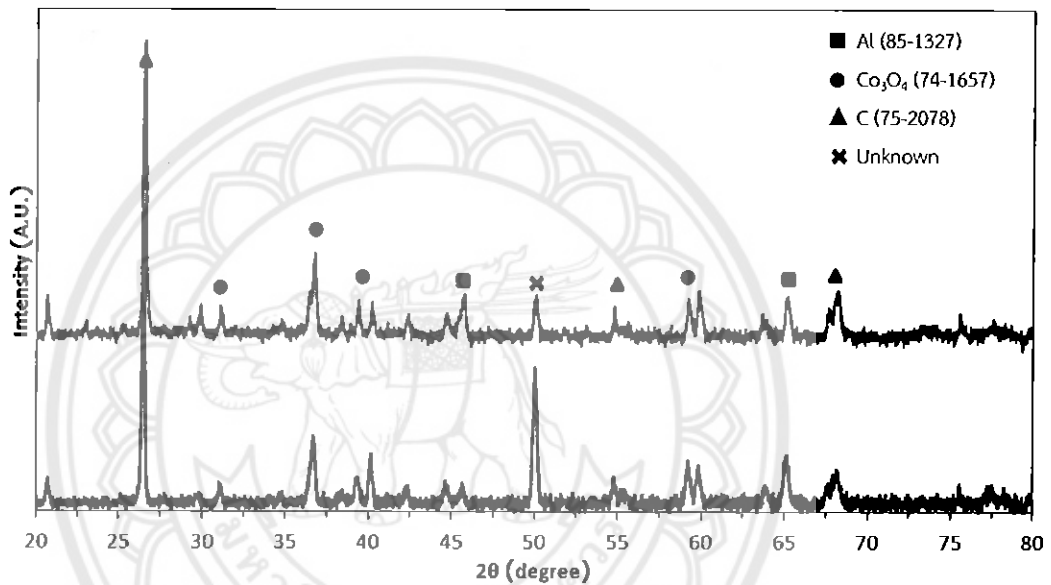
จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น สามารถวิเคราะห์ได้ว่า ชิ้นงานเคลือบที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์กับผงถ่านคาร์บอน 100:0 นั้น มีพีคของ อะลูมิเนียม โคบอลต์-ออกไซด์ และคาร์บอน เกิดขึ้นในทุกช่วงอุณหภูมิอบ เพราะชิ้นงานเคลือบที่ผ่านการอบในอุณหภูมิต่าง ๆ นั้นมีสารตั้งต้นเดียวกัน อย่างไรก็ตามเหตุที่เราพบพีคของคาร์บอนนั้น คาดว่าคาร์บอนที่เราพบนั้นเป็นธาตุหรือสารประกอบที่อยู่ในตัวอีพ็อกซีเรซิน นอกจากนี้ยังพบว่า ไม่เกิดสารประกอบใหม่ขึ้นมาในชั้นเคลือบ เนื่องจากอุณหภูมิในการอบนั้นไม่สูงพอที่จะทำให้ชั้นเคลือบกับแผ่นอะลูมิเนียมเกิดปฏิกิริยาระหว่างกัน

4.2.2 ชิ้นงานเคลือบที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 75:25



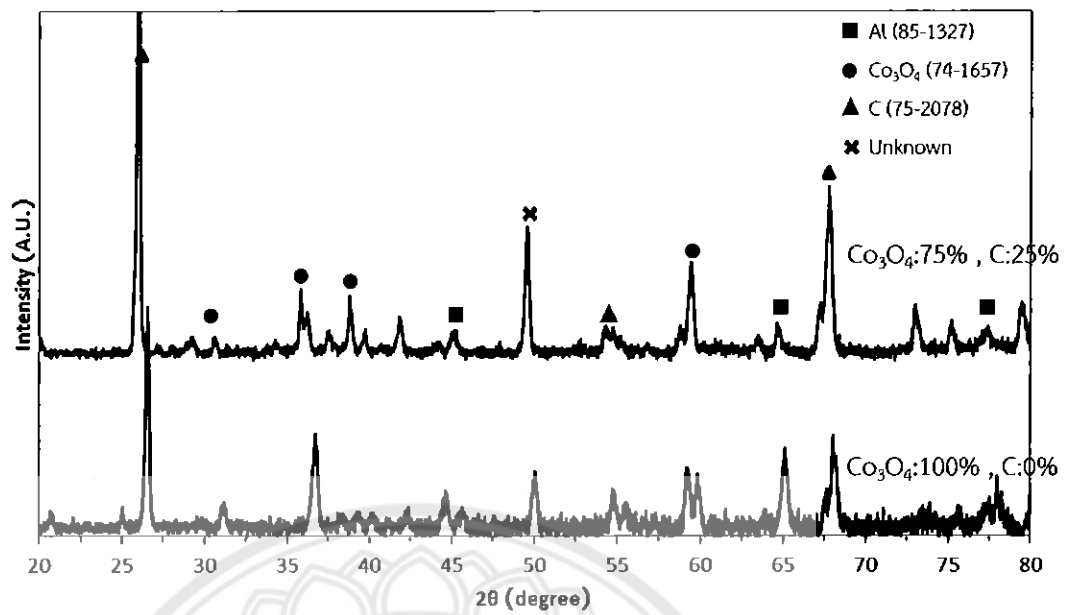
รูปที่ 4.14 กราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของชิ้นงานเคลือบที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) ผสมกับคาร์บอน (C) ในอัตราส่วน 75:25 ที่ผ่านการอบในอุณหภูมิต่างกัน

จากผลการทดลองโดยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction) ยังคงตรวจพบพีคของอะลูมิเนียม ไคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) และคาร์บอน (C) ทุกช่วงอุณหภูมิ เหมือนกับกรณีก่อนหน้าและไม่สามารถตรวจพบสารประกอบที่อาจจะเกิดขึ้นได้ระหว่างชั้นเคลือบกับ อะลูมิเนียม เนื่องจากอุณหภูมิในการอบไม่สูงพอที่จะทำให้ชั้นเคลือบกับแผ่นอะลูมิเนียมเกิดปฏิกิริยา ระหว่างกันแล้วทำให้เกิดสารประกอบใหม่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังพบพีคที่ 2 θ เท่ากับ 50 องศา แต่ไม่สามารถระบุธาตุหรือสารประกอบได้ คาดว่าพีคที่พบนี้เป็นพีคของธาตุหรือสารประกอบที่อยู่ในอี-พ็อกซีเรซิน ดังแสดงให้เห็นในผลของการอบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.15 กราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของชั้นงานเคลือบที่ผ่านการอบในอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสแต่ส่วนผสมแตกต่างกัน

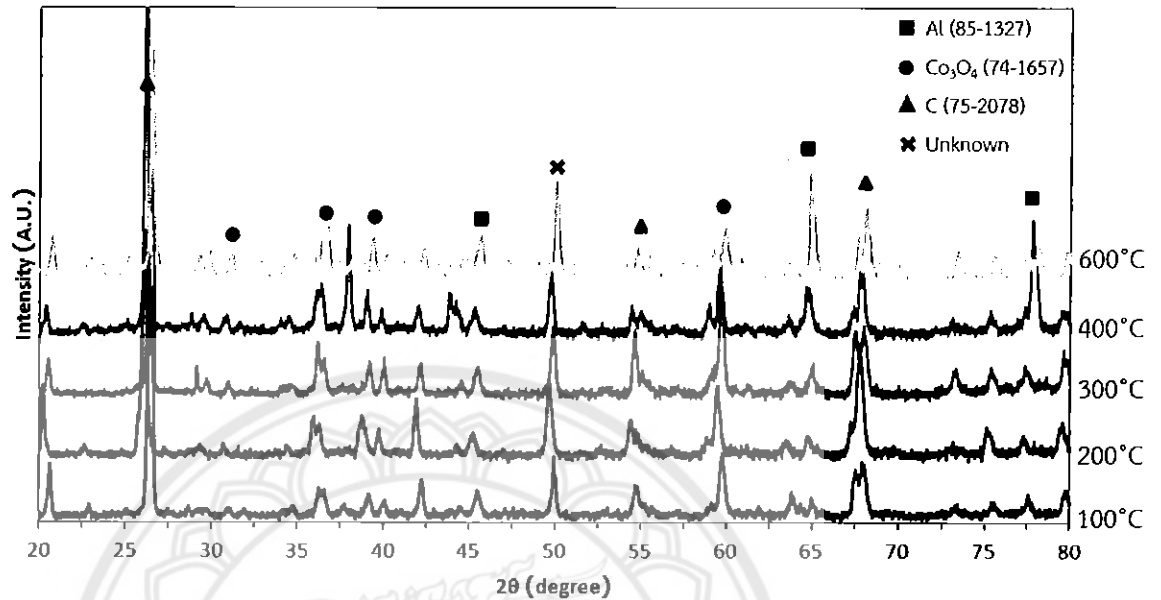
จากรูปที่ 4.15 เป็นการเทียบพีคระหว่างชั้นงานที่ผ่านการอบในอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส แต่มีอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) แตกต่างกัน คือ 100:0 และ 75:25 พบว่า มีพีคของอะลูมิเนียม ไคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) และคาร์บอน (C) เกิดขึ้นทั้งสองส่วนผสม เพราะชั้นงานทั้งสองส่วนผสมมีสารตั้งต้นเหมือนกัน แตกต่างที่ชั้นงานที่มี อัตราส่วนผสม 100:0 ไม่มีการเติมผงถ่านคาร์บอน แต่มีการพบพีคของคาร์บอน คาดว่าพีคของ คาร์บอนที่พบเป็นสารประกอบของอีพ็อกซีเรซิน นอกจากนี้ยังไม่สามารถตรวจพบสารประกอบใหม่ ได้ ซึ่งอาจเกิดจากอุณหภูมิในการอบชั้นงานไม่สูงพอให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างธาตุที่เติมลงไปในส่วนผสม



รูปที่ 4.16 กราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของชิ้นงานเคลือบที่ผ่านการอบในอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสแต่ส่วนผสมแตกต่างกัน

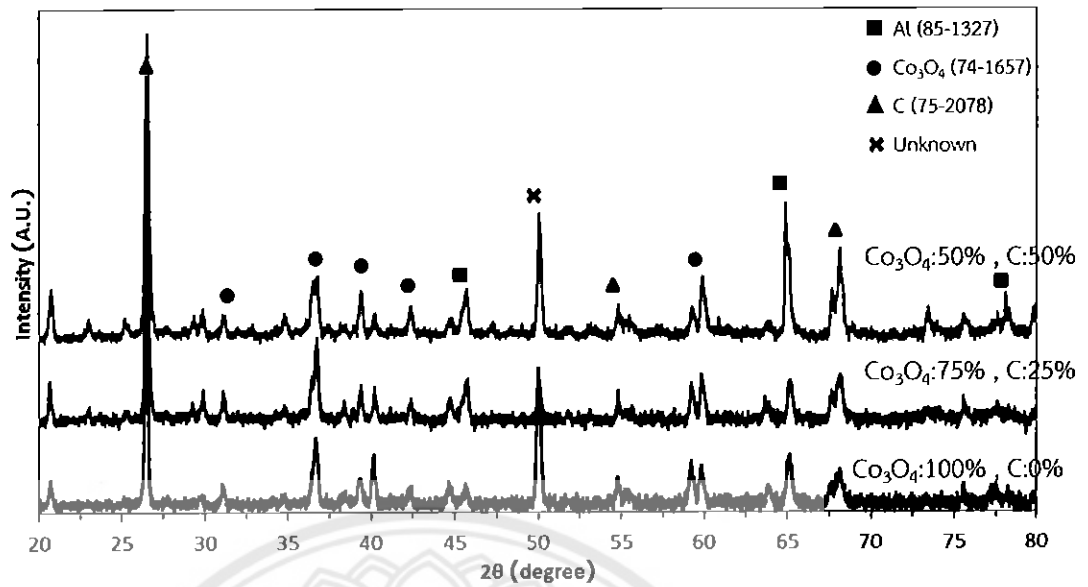
จากรูปที่ 4.16 เป็นการเทียบพีคระหว่างชิ้นงานที่เคลือบด้วยโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) และผงถ่านคาร์บอนในอัตราส่วนผสมที่ต่างกัน ของชิ้นงานที่ผ่านการอบในอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่า เราไม่สามารถตรวจพบสารประกอบใหม่ระหว่าง อะลูมิเนียม โคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) และคาร์บอน (C) ได้เนื่องจากอุณหภูมิในการอบไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบใหม่ นอกจากนี้ยังพบพีคที่ 2θ เท่ากับ 50 องศา แต่ไม่สามารถระบุธาตุหรือสารประกอบในพีคนี้ได้ แต่คาดว่าจะป็นธาตุหรือสารประกอบของอีพ็อกซีเรซินที่เราเติมลงไปผสมกับผงโคบอลต์ออกไซด์และผงถ่านคาร์บอน

4.2.3 ชิ้นงานเคลือบที่อัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50:50



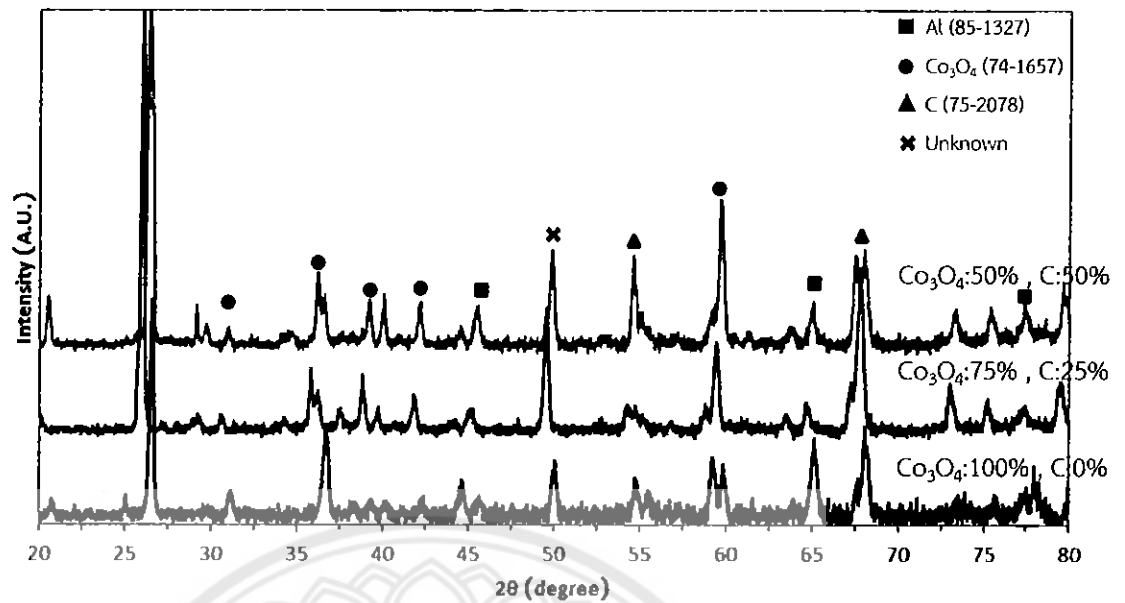
รูปที่ 4.17 กราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของชิ้นเคลือบงานที่อัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) 50:50 ที่ผ่านการอบในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของชิ้นงานเคลือบที่ถูกอบในอุณหภูมิต่างกัน คือ ที่อุณหภูมิ 100 200 300 400 และ 600 องศาเซลเซียส แต่มีส่วนผสมเหมือนกันคือ 50:50 พบว่า ผลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นไม่ค่อยส่งผลต่อผลการทดลองเท่าใดนักสังเกตได้จากพีคที่มีค่า 2θ ที่ใกล้เคียงกัน จึงบอกได้ว่าอุณหภูมิต่างกันไม่ส่งผลต่อชิ้นงานหรือไม่ทำให้ชั้นเคลือบกับแผ่นอะลูมิเนียมเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันและไม่สามารถตรวจพบธาตุหรือสารประกอบใหม่ได้ นอกจากนี้ยังพบพีคที่ 2θ เท่ากับ 50 องศา แต่ไม่สามารถระบุธาตุหรือสารประกอบได้ แต่คาดว่าพีคที่พบอาจเป็นธาตุหรือสารประกอบของอีพ็อกซีเรซินที่เราเติมลงไปผสมกับผงโคบอลต์ออกไซด์และผงถ่านคาร์บอน



รูปที่ 4.18 กราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของชั้นงานเคลือบที่ผ่านการอบในอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสแต่ส่วนผสมแตกต่างกัน

จากรูป 4.18 เป็นการเทียบพีคของชั้นงานที่อบในอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส แต่ส่วนผสมต่างกัน คือ 100:0 75:25 และ 50:50 พบว่า พีคของชั้นงานเคลือบที่มีส่วนผสมต่างกันั้น ยังคงมีลักษณะของพีคที่ตรงกันหรือใกล้เคียงกัน กล่าวคือ มีพีคที่มุมของ 2θ ที่ใกล้เคียงกัน โดยพบพีคของ อะลูมิเนียม ไคบอลต์ออกไซด์ และคาร์บอน เช่นเดียวกับกรณีอื่น และไม่มีการพบธาตุหรือสารประกอบใหม่เกิดขึ้นในชั้นเคลือบ เนื่องจากอุณหภูมิอบไม่สูงพอที่จะทำให้ชั้นเคลือบเกิดปฏิกิริยากับแผ่นอะลูมิเนียม นอกจากนี้ยังพบพีคที่ 2θ เท่ากับ 50 องศา แต่ไม่สามารถระบุธาตุหรือสารประกอบได้ คาดว่าจะเป็นธาตุหรือสารประกอบของอีพ็อกซีเรซินที่เติมเข้าไปผสมกับผงไคบอลต์ออกไซด์และผงถ่านคาร์บอน เพื่อเป็นตัวยึดเกาะอนุภาค



รูปที่ 4.19 กราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของชั้นงานเคลือบที่ผ่านการอบในอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสแต่ส่วนผสมแตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.19 เป็นการเทียบพีคของชั้นงานที่อบในอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส แต่ส่วนผสมต่างกัน คือ 100:0 75:25 และ 50:50 พบว่า พีคของชั้นงานเคลือบที่มีส่วนผสมต่างกันั้น ยังมีลักษณะของพีคที่ตรงกันหรือใกล้เคียงกัน กล่าวคือ มีพีคที่มุมของ 2θ ที่ใกล้เคียงกัน โดยพบพีคของ อะลูมิเนียม ไคบอลต์ออกไซด์ และคาร์บอน เช่นเดียวกับกรณีอื่น และไม่มีการพบธาตุหรือสารประกอบใหม่เกิดขึ้นในชั้นเคลือบ เนื่องจากอุณหภูมิอบไม่สูงพอที่จะทำให้ชั้นเคลือบเกิดปฏิกิริยากับแผ่นอะลูมิเนียม นอกจากนี้ยังพบพีคที่ 2θ เท่ากับ 50 องศา แต่ไม่สามารถระบุธาตุหรือสารประกอบได้ คาดว่าจะเป็นธาตุหรือสารประกอบของอ็อกซีเรซินที่เติมเข้าไปผสมกับผงไคบอลต์ออกไซด์และผงถ่านคาร์บอน เพื่อเป็นตัวยึดเกาะอนุภาค

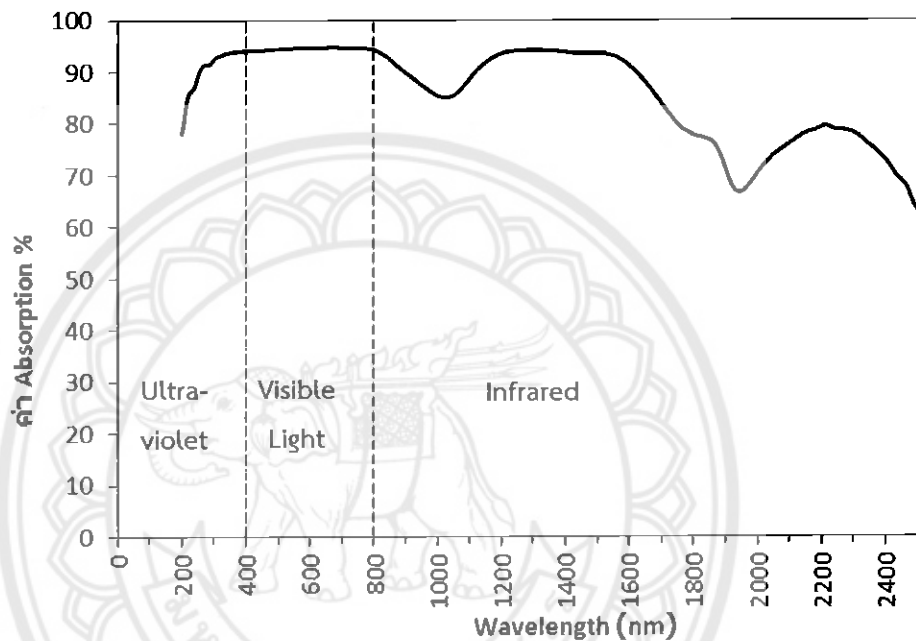
4.3 ความสามารถในการดูดซับรังสี

การตรวจสอบความสามารถในการดูดซับรังสีจะถูกตรวจสอบโดยเครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer ซึ่งชั้นงานที่จะนำมาทำการตรวจสอบความสามารถในการดูดซับรังสีนั้นจะเป็นชั้นงานเคลือบที่ 200 องศาเซลเซียสและ 300 องศาเซลเซียส เหตุที่ใช้ชั้นงานในช่วงอุณหภูมินี้ เนื่องจากเมื่อย้อนไปดูที่ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพจะเห็นว่าที่อุณหภูมิอบ 200 และ 300 องศาเซลเซียสนั้นจะพบว่าการยึดเกาะของในอนุภาคของชั้นเคลือบมีสภาพดีและชั้นงานที่ได้มีสีที่ค่อนข้างเข้มซึ่งจะให้ผลการดูดซับรังสีที่ใกล้เคียงกับวัสดุดำ [19] ทำให้คาดว่าจะมีความสามารถในการดูดซับรังสีที่มาก

ผลการตรวจสอบความสามารถในการดูดซับรังสีของชิ้นงานที่เคลือบด้วยอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์กับผงถ่าน แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 ชิ้นงานที่อบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

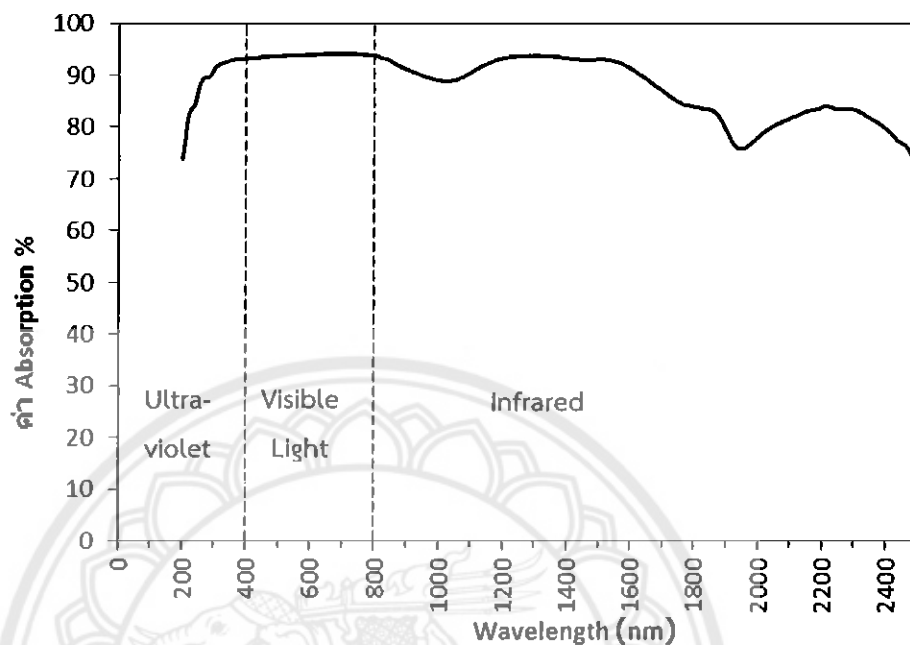
4.3.1.1 อัตราส่วนผสมร้อยละระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) ปริมาณร้อยละ 100:0



รูปที่ 4.20 ชิ้นงานเคลือบที่มีส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) ร้อยละ 100:0 อบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

จากกราฟการดูดซับรังสี ในรูปที่ 4.20 สามารถแบ่งการพิจารณาเป็นสามช่วง ได้แก่ ช่วงรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) ช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible Light) และช่วงรังสีใต้แดง (Infrared) ซึ่งเป็นช่วงรังสีที่สามารถส่งผ่านมายังพื้นโลกสามช่วงรังสีหลัก [16] ดังที่กล่าวมาข้างต้น จากกราฟการตรวจสอบความสามารถในการดูดซับรังสีของชิ้นเคลือบที่ไม่มีส่วนผสมของผงถ่านคาร์บอนนั้น พบว่า ในช่วงแรกของรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) การดูดซับรังสีจะมีค่าต่ำและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนเข้าสู่ช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible Light) ชิ้นเคลือบสามารถดูดกลืนรังสีได้ดีประมาณร้อยละ 93 จนเมื่อเข้าสู่ช่วงรังสีใต้แดง (Infrared) ความสามารถในการดูดกลืนรังสีจะลดต่ำลงมากอย่างเป็นระดับ

4.3.1.2 อัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C)
 ปริมาณร้อยละ 75:25

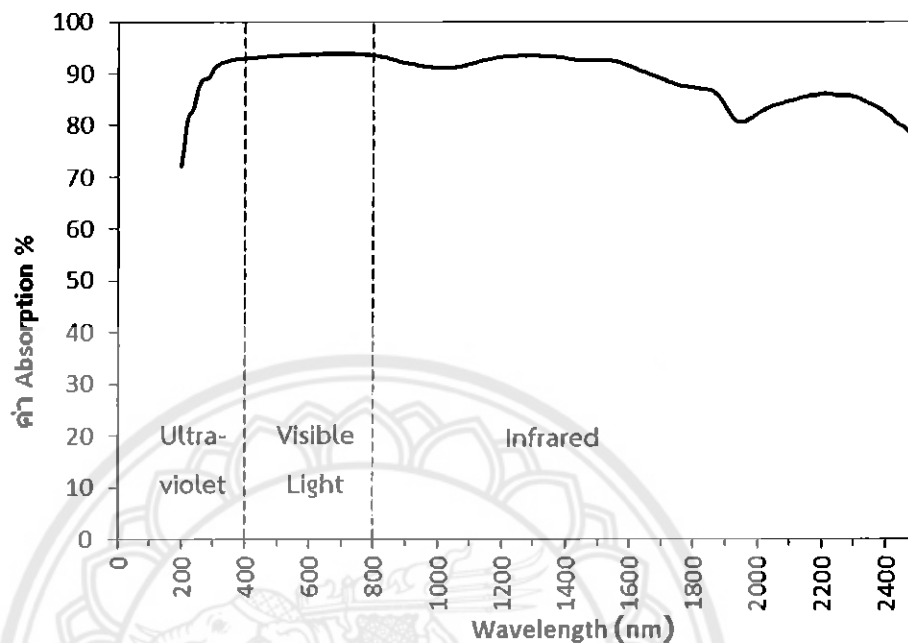


รูปที่ 4.21 ชิ้นงานอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) ปริมาณร้อยละ 75:25

จากกราฟการดูดซับรังสีในรูปที่ 4.21 พบว่า ในช่วงแรกของช่วงรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) การดูดซับรังสีจะต่ำและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนเข้าสู่ช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible Light) ชั้นเคลือบสามารถดูดกลืนรังสีได้ดีประมาณร้อยละ 93 เมื่อเข้าสู่ช่วงรังสีได้แดง (Infrared) ความสามารถในการดูดกลืนรังสีจะลดต่ำลง แต่ความสามารถในการดูดกลืนรังสีนั้นยังมากกว่ากราฟการดูดซับรังสีที่ไม่มีส่วนผสมของผงถ่านคาร์บอน ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าผงถ่านคาร์บอน นั้นให้สีที่เข้มต่อชั้นเคลือบซึ่งชั้นเคลือบที่มีผงถ่านคาร์บอนผสมอยู่มีสีที่เข้มใกล้เคียงกับวัตถุดำ มากกว่าชิ้นงานที่ไม่มีส่วนผสมของผงถ่านคาร์บอน ทำให้การดูดกลืนรังสีมีค่าเพิ่มขึ้น

4.3.1.3 อัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C)

ปริมาณร้อยละ 50:50

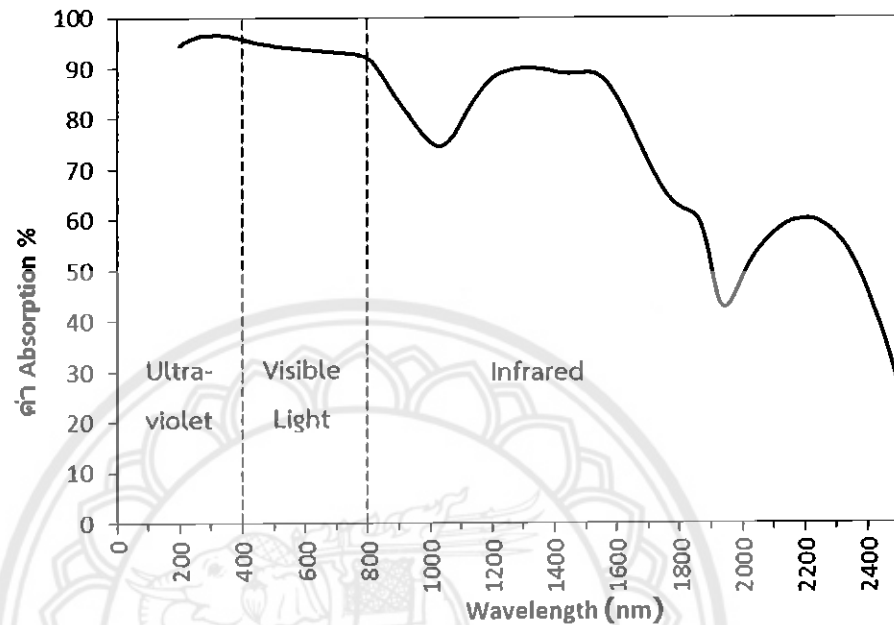


รูปที่ 4.22 ชิ้นงานอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4)กับผงถ่านคาร์บอน (C) ปริมาณร้อยละ 50:50

จากกราฟการดูดซับรังสี ในรูปที่ 4.22 พบว่า ในช่วงแรกของช่วงรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) การดูดซับรังสีจะต่ำและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนเข้าสู่ช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible Light) ชั้นเคลือบสามารถดูดกลืนรังสีได้ดีประมาณร้อยละ 93 เมื่อเข้าสู่ช่วงรังสีได้แดง (Infrared) ความสามารถในการดูดกลืนรังสีจะลดต่ำลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับกราฟของชิ้นงานที่เผาที่อุณหภูมิเดียวกันแต่ที่ส่วนผสมต่างกันจะพบว่าชิ้นงานที่มีส่วนผสมของผงถ่านคาร์บอนอยู่มากจะสามารถดูดกลืนรังสีได้ดีกว่าชิ้นงานที่มีส่วนผสมของผงถ่านคาร์บอนน้อย ซึ่งอาจเป็นเพราะผงถ่านคาร์บอนที่มีพฤติกรรมใกล้เคียงวัตถุดำมากกว่าโคบอลต์ออกไซด์ ทำให้ชั้นเคลือบที่มีผงถ่านคาร์บอนผสมอยู่มากมีความสามารถในการดูดกลืนรังสีที่ดีกว่า

4.3.2 ชิ้นงานที่อบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

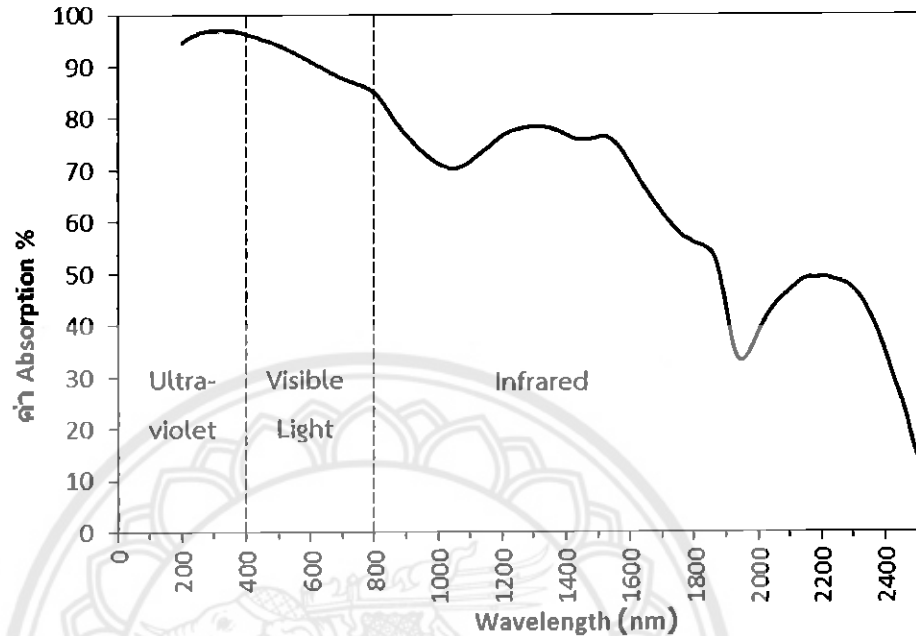
4.3.2.1 อัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) ปริมาณร้อยละ 100:0



รูปที่ 4.23 ชิ้นงานอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) ปริมาณร้อยละ 100:0

จากกราฟการดูดซับรังสี ในรูปที่ 4.23 สามารถแบ่งการพิจารณาเป็นสามช่วง ได้แก่ ช่วงรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) ช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible Light) และช่วงรังสีใต้แดง (Infrared) ซึ่งเป็นช่วงรังสีที่สามารถส่งผ่านมายังพื้นโลกสามช่วงรังสีหลัก [16] ดังที่กล่าวมาข้างต้น จากกราฟการตรวจสอบความสามารถในการดูดซับรังสีของชิ้นเคลือบที่ไม่มีส่วนผสมของผงถ่านคาร์บอนนั้น พบว่า ในช่วงแรกของช่วงรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) การดูดซับรังสีจะมีค่าสูง เป็นช่วงที่ความสามารถในการดูดกลืนรังสีมากที่สุดและหลังจากนั้นความสามารถในการดูดซับรังสีจะลดลงเล็กน้อย เมื่อเข้าสู่ช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible Light) ความสามารถในการดูดซับรังสีก็ยังคงลดลงอย่างต่อเนื่อง จนเมื่อเข้าสู่ช่วงรังสีใต้แดง (Infrared) ความสามารถในการดูดซับรังสีจะลดต่ำลงมาก จนความสามารถในการดูดกลืนรังสีเหลืออยู่เพียงประมาณร้อยละ 75

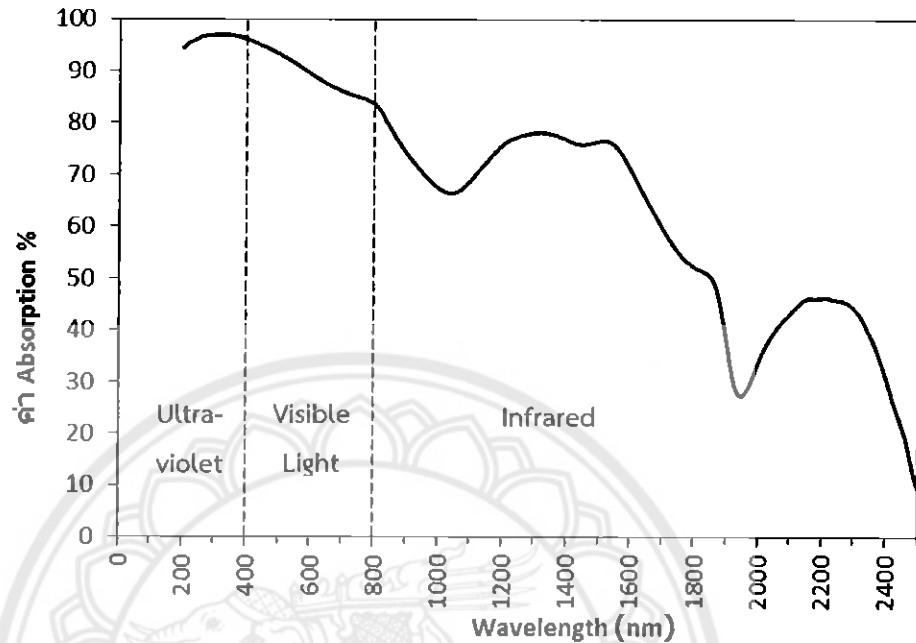
4.3.2.2 อัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C)
ปริมาณร้อยละ 75:25



รูปที่ 4.24 ซึ่งานอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) ปริมาณร้อยละ 75:25

จากกราฟการดูดซับรังสี ดังรูป 4.24 ของชั้นเคลือบที่มีส่วนผสมของผงถ่านคาร์บอนในปริมาณร้อยละ 25 ในช่วงแรกของช่วงรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) ความสามารถในการดูดซับรังสีจะมีค่ามากและเมื่อเทียบกับกราฟของชั้นงานที่อบในอุณหภูมิเดียวกันแต่ไม่มีส่วนผสมของผงถ่านคาร์บอนอาจจะบอกได้ว่ามีความสามารถในการดูดกลืนรังสีได้มากกว่าเล็กน้อย ซึ่งมีค่าการดูดซับสูงสุดที่ประมาณร้อยละ 97 และจะลดลงมาเล็กน้อยในช่วงท้ายของช่วงรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) จนเมื่อเข้าสู่ช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible Light) ความสามารถในการดูดกลืนรังสีจะลดลงเรื่อย ๆ จนเมื่อเข้าสู่ช่วงรังสีใต้แดง (Infrared) ความสามารถในการดูดกลืนรังสีลดต่ำลงอีกจนมีความสามารถในการดูดกลืนอยู่ประมาณร้อยละ 70 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟการดูดซับรังสีของชั้นเคลือบที่ผสมผงถ่านคาร์บอนกับชั้นเคลือบที่ไม่ผสมผงถ่านคาร์บอน ณ อุณหภูมิอบที่เท่ากันจะพบว่า ชั้นงานที่มีการผสมผงถ่านคาร์บอนจะมีความสามารถในการในการดูดซับรังสีในช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible Light) และช่วงรังสีเหนือใต้ (Infrared) น้อยกว่า ชั้นงานที่ไม่มีส่วนผสมของผงถ่านคาร์บอน อาจเป็นเพราะเมื่ออบชั้นงานเคลือบที่อุณหภูมิสูงคาร์บอนในชั้นงานเคลือบเกิดปฏิกิริยากับอากาศภายในเตาทำให้ผงถ่านคาร์บอนที่เคยเป็นสีดำกลายเป็นสีเทา ส่งผลให้ชั้นเคลือบได้สีที่ไม่เข้มเท่าชั้นงานเคลือบที่อบที่อุณหภูมิต่ำกว่าซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับรังสีที่ลดต่ำกว่าชั้นงานที่ไม่ผสมผงถ่านคาร์บอน

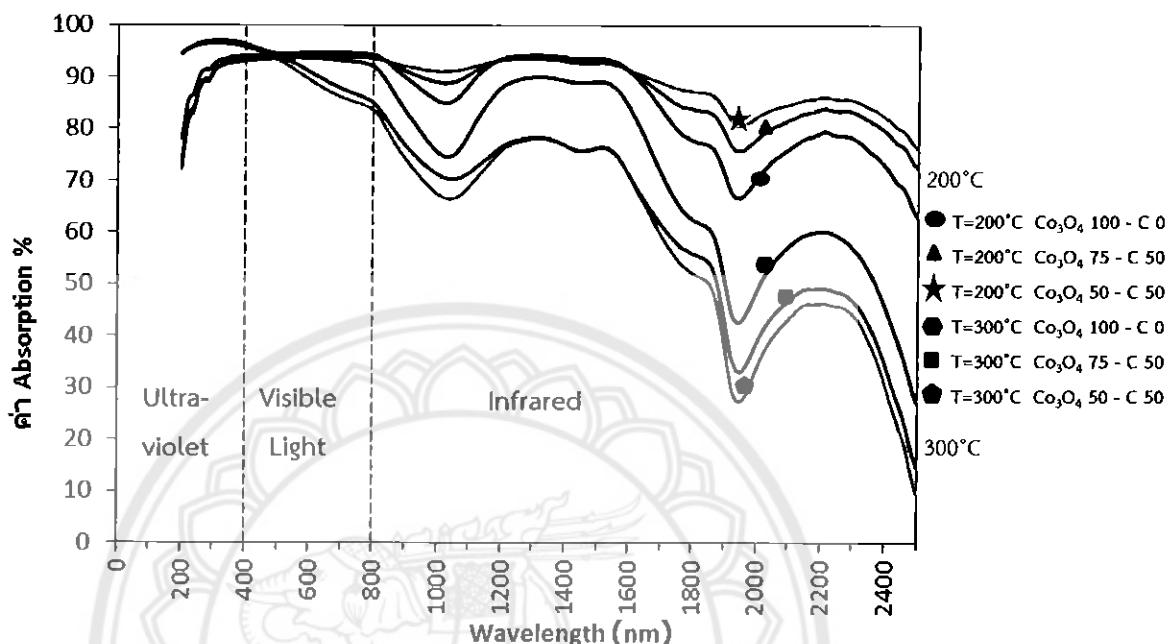
4.3.2.3 อัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C)
ปริมาณร้อยละ 50:50



รูปที่ 4.25 ชั้นงานอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์ (Co_3O_4) กับผงถ่านคาร์บอน (C) ปริมาณร้อยละ 50:50

จากกราฟการดูดซับรังสี รูปที่ 4.25 ในช่วงของช่วงรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) ความสามารถในการดูดกลืนรังสีจะสูงมากถึงร้อยละ 97 และลดลงเล็กน้อย เมื่อเข้าสู่ช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible Light) จะเห็นว่าความสามารถในการดูดกลืนรังสีค่อย ๆ ลดลงอย่างเป็นระดับ จนเมื่อเข้าสู่ช่วงรังสีใต้แดง (Infrared) ความสามารถในการดูดซับรังสีจะลดต่ำลงมากกว่าในช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible Light) เมื่อดูกราฟการดูดซับรังสีของชั้นงานที่อบที่อุณหภูมิเดียวกัน จะพบว่าชั้นงานเคลือบที่มีส่วนผสมของผงถ่านคาร์บอนจะมีความสามารถในการดูดกลืนรังสีในช่วงรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) มากขึ้น แต่จะทำให้ความสามารถในการดูดกลืนรังสีช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible Light) และช่วงรังสีเหนือม่วง (Infrared) ลดลงมากกว่าชั้นงานที่ไม่ผสมผงถ่านคาร์บอน เพราะเมื่อมีการผสมของผงถ่านคาร์บอนที่มากขึ้นเมื่อผ่านการอบแล้วผงถ่านจะกลายเป็นสีเทาทำให้ชั้นเคลือบเป็นสีเทายิ่งมีมากยิ่งขึ้นทำให้สีชั้นเคลือบอ่อนลงมาก และส่งผลให้ความสามารถในการดูดกลืนรังสีลดลง

4.3.3 เปรียบเทียบผลการทดลองของชิ้นงานที่ผ่านการอบในอุณหภูมิ 200 และ 300 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบผลการทดลองของชิ้นงานที่ผ่านการอบในอุณหภูมิ 200 และ 300 องศาเซลเซียส

จากทฤษฎีในบทที่สองเรื่องการดูดซับรังสีอาทิตย์ แสดงถึงช่วงรังสีที่ส่งมายังพื้นโลกโดยช่วงรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) จะถูกดูดกลืนโดยบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) โดยเฉพาะโอโซนจะสามารถดูดกลืนรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) ได้ ส่วนช่วงรังสีใต้แดง (Infrared) เป็นช่วงรังสีที่ให้ความร้อน รังสีในช่วงนี้จะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ การดูดซับรังสีในช่วงนี้เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศใกล้ผิวโลก ดังนั้นช่วงรังสีที่ตามองเห็น (Visible Light) เป็นช่วงรังสีที่ส่งมายังพื้นโลกมากที่สุด [16] และจะพิจารณาความสามารถในการดูดซับรังสีในช่วงนี้ โดยจากกราฟการดูดซับรังสีที่แสดงถึงช่วง รังสีที่ตามองเห็น (Visible Light) และช่วงรังสีใต้แดง (Infrared) ค่าความสามารถการดูดซับรังสีและความร้อนจะพบว่า ชิ้นงานเคลือบที่อบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส สามารถดูดซับรังสีอาทิตย์ได้มากกว่าชิ้นงานเคลือบที่อบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาชิ้นงานที่เผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ตามส่วนผสมที่ต่างกันจะพบว่า ชิ้นงานที่ผสมผงถ่านคาร์บอนมากจะมีความสามารถในการดูดซับรังสีอาทิตย์ได้มากกว่าชิ้นงานที่มีส่วนผสมของผงถ่านคาร์บอนที่น้อย เนื่องจากผงถ่านคาร์บอนจะให้สีดำแก่ชิ้นเคลือบ เมื่อมีส่วนผสมของผงถ่านคาร์บอนมากจะทำให้ได้ชิ้นเคลือบที่มีสีเข้มมาก ซึ่งจากทฤษฎีในบทที่สองที่

กล่าวถึงการดูดซับรังสี กล่าวว่า วัดสุทัศน์ [19] จะรับความร้อนและดูดซับรังสีได้ดีกว่าวัดสุทัศน์ชาววัดสุทัศน์หรือสีเข้มจะดูดซับรังสีได้ดีกว่าสีอ่อนแสดงว่าสีของผิววัดสุทัศน์มีผลต่อการดูดซับรังสีดังนั้นชิ้นงานเคลือบที่มีผงถ่านคาร์บอนอยู่มากก็จะให้สีที่เข้มกว่าชิ้นงานที่มีคาร์บอนอยู่น้อย

แต่หากพิจารณาชิ้นงานที่เผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ตามส่วนผสมที่ต่างกันจะพบว่าชิ้นงานเคลือบที่ผสมผงถ่านคาร์บอนน้อยจะมีความสามารถดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้มากกว่าชิ้นงานที่มีส่วนผสมของผงถ่านคาร์บอนมาก เนื่องจากผงถ่านคาร์บอนเมื่อนำไปอบที่อุณหภูมิสูงจะเกิดการปฏิกิริยากับอากาศในเตาอบทำให้ผงถ่านคาร์บอนที่เป็นสีดำกลายเป็นซีดำสีเทา ซึ่งเมื่อชิ้นงานมีปริมาณของผงถ่านคาร์บอนมากและผ่านการอบมาแล้วก็จะได้ซีดำสีเทาที่มาก ทำให้ชิ้นเคลือบมีสีเทามากขึ้นเป็นผลให้ชิ้นงานที่มีส่วนผสมของผงถ่านคาร์บอนอยู่มากมีความสามารถในการดูดซับรังสีลดลงตามทฤษฎีการดูดซับรังสี



บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 ชั้นเคลือบของชิ้นงาน

การพิจารณาลักษณะของชั้นเคลือบจะดูจากหลาย ๆ องค์ประกอบดังนี้

5.1.1 ลักษณะผิวของชั้นเคลือบ

จากการตรวจสอบชั้นเคลือบของชิ้นงานที่อบในอุณหภูมิที่แตกต่างกันจะพบว่าชิ้นงานที่ผ่านการอบในอุณหภูมิสูง ตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียสขึ้นไป ความเป็ยก ความเงา ของอีพ็อกซีเรซิน ระบายออกไปจนหมดทำให้ชั้นเคลือบเปราะและแตกง่ายไม่สามารถนำไปทำเป็นชั้นเคลือบที่ดีได้ และชั้นเคลือบที่อบที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส ยังคงไม่เซตตัวเมื่อมีการสัมผัสอย่างแรงจะทำให้ชั้นเคลือบเกิดการเสียหายได้

5.1.2 ลักษณะสีของชั้นเคลือบ

สีของชั้นเคลือบที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิที่สูงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัว (ไหม้) ระหว่างคาร์บอนและอากาศภายในเตา ทำให้ชั้นเคลือบที่ได้มีสีอ่อนลงตามอุณหภูมิมอบที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซับรังสีอาทิตย์และความร้อนต่ำลงไปด้วย

5.1.3 ลักษณะโดยรวมของชั้นเคลือบที่เหมาะสมแก่การเป็นตัวดูดซับ

ชิ้นงานเคลือบที่ผ่านการอบในอุณหภูมิประมาณ 200-300 องศาเซลเซียส จะให้ชั้นเคลือบที่ดีที่สุดในบรรดาชิ้นงานที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ

5.2 สารประกอบใหม่

ชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมต่าง ๆ และนำไปอบในอุณหภูมิที่กำหนดไว้ พบว่า ไม่มีการเกิดของสารประกอบใหม่ขึ้นมา

5.3 ทดสอบการดูดซับรังสีความร้อน

ชิ้นงานที่ผ่านการอบในอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส สามารถดูดซับรังสีอาทิตย์ได้ดีกว่าชิ้นงานที่ผ่านการอบในอุณหภูมิต่าง ๆ โดยเฉพาะชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์กับผงถ่านคาร์บอน 50:50 และถูกนำไปอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ชิ้นเคลือบที่ได้มีสีเข้มและมีค่าการดูดซับรังสีที่ดีกว่าชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์กับผงถ่านคาร์บอนในอัตราส่วนอื่น ๆ เพราะผงถ่านคาร์บอนที่เติมเข้าไปจะช่วยเพิ่มการดูดซับรังสีอาทิตย์ให้มากขึ้น

5.4 สรุป

จากผลการทดลองทั้งหมดพบว่า ชิ้นงานที่อบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นชิ้นงานที่ชั้นเคลือบที่ไม่เปราะแตกง่ายให้ชั้นเคลือบที่มีสีดำใกล้เคียงกับวัตถุดิบ โดยสามารถดูดซับช่วงรังสีที่ตามองเห็น (Visible Light) และช่วงรังสีได้แดง (Infrared) ที่ให้ความร้อนได้ดี ชิ้นเคลือบที่มีส่วนผสมของคาร์บอนที่มากจะทำให้ค่าการดูดซับรังสีอาทิตย์ที่มากกว่าชิ้นงานที่มีคาร์บอนผสมอยู่น้อย ส่วนผสมชั้นเคลือบที่ประกอบไปด้วยโคบอลต์ออกไซด์ทำสปีเปอร์เซนต์ต่อคาร์บอนทำสปีเปอร์เซนต์ จะมีความสามารถในการดูดซับรังสีอาทิตย์ดีที่สุดและมีชั้นเคลือบที่ไม่เสียรูปได้ง่ายเมื่อถูกสัมผัส

5.5 ข้อเสนอแนะ

จากบทสรุปที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นสามารถบอกได้ว่า ควรเลือกชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างโคบอลต์ออกไซด์กับผงถ่านคาร์บอน 50:50 ที่ผ่านการอบในอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มาทำเป็นตัวดูดซับรังสีอาทิตย์ เพราะให้ค่าการดูดซับที่ดีกว่าส่วนผสมอื่น ๆ อุณหภูมิในการอบควรอยู่ระหว่างช่วง 200-300 องศาเซลเซียส ซึ่งจะให้ชั้นเคลือบที่ดีมีความเป็ยกที่เหมาะสมและไม่เปราะ ไม่ควรใช้อุณหภูมิอบที่สูงเกินกว่า 300 องศาเซลเซียส เนื่องจากจะทำให้ชั้นเคลือบมีความเปราะและหลุดร่อน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Twidell, J., and Weir, T. (1986). *Renewable energy resources*. NY: E and F. N. Spon.
- [2] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ และคณะ. (2553). *วัสดุวิศวกรรม*. กรุงเทพฯ: พงษ์วรินทร์การพิมพ์ จำกัด.
- [3] ศุภโชค วิริโยโกศล. (2530). *กระบวนการผลิตและแต่งผิวโลหะ*. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [4] Duffie J.A. and Beckman. W.A. 1974. *Solarenergy thermal process*. J.Wiley & Sons.
- [5] อนันต์ ทองมอญ. (2537). *ขุบโครเมียม-ขุบทอง*. โรงพิมพ์เรือนแก้วการพิมพ์.
- [6] สโรช พันธุ์แพ และอภิชาติ ธรรมวิทย์กุล. (2526). *การชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.
- [7] *Compression Moulding*. 2555. สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2556, จาก <http://plastic-pallet.wordpress.com/2012/04/29/compression-moulding/>
- [8] ผศ.นิรันดร์ วิทิตอนันต์. (2552). *กระบวนการพลาสติกกับอุตสาหกรรมประกอบชิ้นส่วนยานยนต์ในประเทศไทย*. สืบค้นเมื่อ 10 กรกฎาคม 2556, จาก http://www.thep-center.org/src/article_edu_t.php?article_edu_id=6
- [9] *กระบวนการพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน*. สืบค้นเมื่อ 28 พฤษภาคม พ.ศ. 2556, จาก <http://www.pte-cal.kmutt.ac.th/WBI-Coat/ht/sarabunnay.html>.
- [10] อนุกร ณ พัทลุง. (2546). *การพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน*. สืบค้นเมื่อ 2 พฤษภาคม พ.ศ. 2556, จาก http://www.neutron.rmutphysics.com/news/index.php?option_content&task=view&id=871&Itemid=99999999&limit=1&limitstart=0.
- [11] ศิริพร ดาวพิเศษ. (2549). *การเพิ่มคาร์บอนบนผิวโลหะ*. สืบค้นเมื่อ 28 พฤษภาคม พ.ศ. 2556, จาก <http://202.28.17.1/article/atc41/atc00219.html>
- [12] พงศธร นันทธเนศ และสุนทร ภูรีปรีชาเลิศ. (2546). *สารและสมบัติของสาร*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อักษรเจริญทัศน์
- [13] Elke Schoeters. (2550). *Kemin Agrifoods Europe*. Toedomstlaan 42, 2200, Herentals, Belgium.
- [14] Dr. Felix. A. Peuser, Karl-Heinz Remmers, Martin Schnauss. (2554). *การออกแบบและติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนรังสีอาทิตย์*. กรุงเทพฯ: องค์การความร่วมมือระหว่างประเทศของเยอรมัน (GIZ).

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [15] M. K. Simon, Probability Distributions Involving Gaussian Random Variables : A Handbook for Engineers and Scientists., Massachusetts : Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [16] อนุตร จำลองกุล. (2545). พลังงานหมุนเวียน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอ.เอส. พรินติ้งเฮ้าส์.
- [17] C.E. Kennedy. (2002). Review of Mid- to High-Temperature Solar Selective Absorber Materials. U.S. Department of Energy
- [18] วรนุช แจงสว่าง. (2551). พลังงานหมุนเวียน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แอดทีฟพริ้นท์ จำกัด.
- [19] ดร.เชาวลิต ศิลปทอง. (2553) การแผ่รังสีของวัตถุดำ. สืบค้นเมื่อ 28 ตุลาคม 2556, http://www.electron.rmutphysics.com/science-news/index.php?option=com_content&task=view&id=767&Itemid=4
- [20] การใช้งาน XRD. สืบค้นเมื่อ 9 สิงหาคม 2556, <http://www.engineerthailand.com/4001.html>
- [21] เครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer. สืบค้นเมื่อ 9 สิงหาคม 2556, http://cste.sut.ac.th/lsu/index.php?option=com_content&view=article&id=122%3Auv-vis-nir-spectrophotometer&catid=61%3A2012-05-29-03-31-04
- [22] N. Selvakumar, S. Santhoshkumar. et al. (2012). Spectrally selective CrMoN/CrON tandem absorber for mid-temperature solar thermal applications. Surface Engineering Division. National Aerospace Laboratories (CSIR), India
- [23] S. Khamlich ,O. Nemraoui ,N. Mongwaketsi. et al. Black Cr/ α Cr₂O₃ nanoparticles based solar absorbers. Council for Scientific and Industrial Research (CSIR), National Laser Centre (NLC), African Laser Centre (ALC), CSIR campus, P.O. Box 395, Pretoria, South Africa
- [24] Kang Min Lee ,Young Gun Ko ,Dong Hyuk Shin. et al. (2011). Incorporation of carbon nanotubes into micro-coatings film formed on aluminum alloy via plasma electrolytic oxidation. Department of Metallurgy and Materials Engineering., Hanyang University, Ansan 426-791, Republic of Korea
- [25] Ewa Wackelgard, Solar Energy Materials & Solar Cells 56 (1998). 35-44, Characterization of black nickel solar absorber coatings electroplated in a nickel chlorine aqueous solution. Solar absorber; Black nickel; Solar selective, English