การสังเคราะห์ผงสีแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์

SYNTHESIS OF CADMIUM SULFOSELENIDE PIGMENTS

ทรงพล กายบริบูรณ์

SONGPOL KAIBORIBOON

T035945

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ (เคมี)

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2543

ISBN 974-622-832-3

ลงหมู่.....
ลงทะเบียน 35945
วัน, เดือน, ปี 3 ก.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SYNTHESIS OF CADMIUM SULFOSELENIDE PIGMENTS

SONGPOL KAIBORIBOON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN SCIENCE EDUCATION

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2000

ISBN 974-622-832-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2000

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสังเคราะห์ผงสีแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์
นักศึกษา	นายทรงพล กายบริบูรณ์
รหัสประจำตัว	39064238
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	การศึกษาวิทยาศาสตร์
พ.ศ.	2543
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ศักดา ไตรศักดิ์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการ และสภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์ผงสีแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ โดยทำการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้น ซึ่งทำโดยนำสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ที่เข้มข้น 0.1 นอร์มัลมาทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ที่เข้มข้น 0.1 นอร์มัล พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 15 : 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร และปริมาณตะกอนของแคดเมียมซัลไฟด์ที่ได้จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นำตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์ที่ได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส แล้วนำไปวิเคราะห์โครงผลึกด้วยเครื่อง X-ray diffractometer ซึ่งพบว่า มีโครงผลึกเป็นรูป hexagonal จากนั้นนำแคดเมียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์ได้มาบดผสมกับกำมะถันและโลหะเซเลเนียม แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 100 200 300 400 500 600 องศาเซลเซียส ซึ่งจากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ได้พบว่า การแทนที่ของเซเลเนียมในโครงผลึกแคดเมียมซัลไฟด์จะเริ่มเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และจะเกิดการแทนที่อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส โดยสังเกตได้จากสีและความเข้มของรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่เพิ่มขึ้น ส่วนสีที่ได้จะเปลี่ยนไปตั้งแต่สีเหลือง สีส้ม สีแดง สีแดงคล้ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของเซเลเนียมที่เข้าแทนที่กำมะถันในโครงผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Synthesis Of Cadmium sulfoselenide Pigments
Student	Mr.Songpol Kaiboriboon
Student ID	39064238
Degree	Master Of Science
Programme	Science Education
Year	2000
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Sakda Trisak
Thesis Co-Advisor	Asst. Prof. Dr. Tawan Suknoi

ABSTRACT

The objective of this study is to find suitable procedures and conditions for synthesis of cadmium sulfoselenide. 0.1 N cadmium chloride solution is reacted with 0.1 N sodium sulfide solution at a ratio of 15 : 25 by volume, and at temperatures of 10, 25, 50 and 75 °C, to yield cadmium sulfide precipitates. The amount of cadmium sulfide is increased with the increasing of temperature. Cadmium sulfide is heated at 500 °C and analyzed by using x-ray diffractometer. The crystal structure is found to be hexagonal. Cadmium sulfide is blended with sulfur and selenium and heated at 100, 200, 300, 400, 500 and 600 °C, then analyzed by x-ray diffractometer. The peak intensity which increased from 300 °C to 500 °C, prove that the substitution of selenium for sulfur in cadmium sulfide structure begon at 300 °C and completed at 500 °C. The color of the products changed from yellow to orange, red and dark red, depending on the substitution of selenium in cadmium sulfide crystal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร.ศักดา ไตรศักดิ์ และ ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือให้กำลังใจ และช่วยตรวจสอบ แก้ไขวิธีดำเนินการวิจัย ตลอดจนการปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยซาบซึ้งในความกรุณา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.รวีวรรณ ชินะตระกูล ผศ.ดร.พรรณี ลีกิจวัฒนะ และ ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัศวรัตน์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ตลอดจนข้อคิดต่าง ๆ อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้า และเป็นแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์จนประสบความสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ คุณดนัยพงษ์ จันทร์เลิศฟ้า ผู้จัดการแผนกเคมีและสิ่งแวดล้อม โรงไฟฟ้าพระนครใต้ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ ผู้เป็นที่เคารพรักยิ่ง รวมทั้ง พี่-น้อง ทุกคน ที่ได้ให้ความรัก ให้กำลังใจ ให้การสนับสนุน และช่วยเหลือทุกด้านตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และบุคคลที่ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่ให้การสนับสนุน ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ และเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

คุณค่า และประโยชน์ใด ๆ ที่เป็นผลจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ ผู้มีพระคุณทุกท่าน ด้วยความเคารพยิ่ง

ทรงพล กายบริบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 สมมติฐานของการวิจัย 3

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย 4

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิจัย 4

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 สมบัติทางกายภาพของผงสีอนินทรีย์ 6

2.2 ประเภทของผงสีอนินทรีย์ 9

2.3 สมบัติและการเลือกใช้ผงสีอนินทรีย์และผงสีอินทรีย์ 9

2.4 หลักการผลิตผงสีทั่วไป 11

2.5 ผงสีแคดเมียม 12

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 18

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย 18

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 18

3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย 19

3.4 วิธีดำเนินการวิจัย 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 22
4.1 ผลการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ 22
4.2 ผลการสังเคราะห์แคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ 27

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ 30
5.1 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล 30
5.2 ข้อเสนอแนะ 31

บรรณานุกรม 32

ภาคผนวก 33

ประวัติผู้เขียน 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แสดงสีของแคดเมียมซัลโฟเซเลเนียม 2

2.1 สมบัติและการเลือกใช้ผงสี 10

2.2 แสดงสีและรูปผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ 16

2.3 แสดงสีของแคดเมียมต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนต่างๆ 17

3.1 แสดงอัตราส่วนผสมของแคดเมียมคลอไรด์และโซเดียมซัลไฟด์ 20

3.2 แสดงอัตราส่วนผสมของแคดเมียมซัลไฟด์ กำมะถัน และเซเลเนียม 21

4.1 แสดงน้ำหนักของตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์เตรียมที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส 22

4.2 แสดงน้ำหนักของตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์เตรียมที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส 23

4.3 แสดงน้ำหนักของตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์เตรียมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 24

4.4 แสดงน้ำหนักของตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์เตรียมที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส 25

4.5 แสดงน้ำหนักของตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์เตรียมที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส 26

4.6 แสดงน้ำหนักของตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์เตรียมที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส 27

4.7 แสดงสีของผงสีแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ที่อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) ต่อเซเลเนียม (Se) ที่เผา ณ. อุณหภูมิ 100-600 องศาเซลเซียสโดยมีกำมะถัน (S) ปริมาณ 1.000 กรัม ทุกอัตราส่วน 28

4.8 แสดงรูปโครงผลึกของเซเลเนียม แคดเมียมซัลไฟด์ และแคดเมียมซัลไฟด์ผสมกับเซเลเนียมที่อัตราส่วนผสม 1.000 : 0.020 และ 1.000 : 0.100 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1.1 แสดงราคาของผงสีแคดเมียมเยลโลว์บริสุทธิ์ และแคดเมียมออเรจ์บริสุทธิ์ 3

2.1 โครงผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ 13

6.1 แสดง diffractogram ของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนผสม 0 : 0 : 1 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 34

6.2 แสดง diffractogram ของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนผสม 1 : 0 : 0 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 35

6.3 แสดง diffractogram ของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนผสม 1 : 0 : 0 ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส 36

6.4 แสดง diffractogram ของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนผสม 1 : 0 : 0 ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส 37

6.5 แสดง diffractogram ของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนผสม 1 : 0 : 0 ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 38

6.6 แสดง diffractogram ของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนผสม 1 : 0 : 0 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 39

6.7 แสดง diffractogram ของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนผสม 1 : 0 : 0 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส 40

6.8 แสดง diffractogram ของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนผสม 1 : 1 : 0.02 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 41

6.9 แสดง diffractogram ของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนผสม 1 : 1 : 0.02 ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส 42

6.10 แสดง diffractogram ของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนผสม 1 : 1 : 0.02 ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส 43

6.11 แสดง diffractogram ของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนผสม 1 : 1 : 0.02 ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 44

6.12 แสดง diffractogram ของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนผสม 1 : 1 : 0.02 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 45

6.13 แสดง diffractogram ของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนผสม 1 : 1 : 0.02 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

6.14 แสดง diffractogram ของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนผสม 1 : 1 : 0.10 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 47

6.15 แสดง diffractogram ของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนผสม 1 : 1 : 0.10 ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส 48

6.16 แสดง diffractogram ของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนผสม 1 : 1 : 0.10 ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส 49

6.17 แสดง diffractogram ของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนผสม 1 : 1 : 0.10 ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 50

6.18 แสดง diffractogram ของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนผสม 1 : 1 : 0.10 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มนุษย์รู้จักใช้ผงสี ที่เป็นสารประกอบอนินทรีย์มาตั้งแต่โบราณ โดยนำแร่ที่พบในธรรมชาติมาบดเพื่อทำสีใช้สำหรับขีดเขียนลวดลายลงบนภาชนะหรือทาตามร่างกาย เช่น การใช้สีจากเหล็กออกไซด์ของชาวอินเดียนแดงและมนุษย์โบราณ ซึ่งสีที่ได้จากดินหรือแร่ในธรรมชาติมีความทนทานน้อยเมื่อผ่านไปเป็นระยะเวลานานทำให้สีจางลง ในภายหลังเมื่อวิทยาศาสตร์เจริญก้าวหน้า มนุษย์สามารถสังเคราะห์สีให้มีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนธรรมชาติ โดยการให้ความร้อนกับวัสดุที่ใช้ทำภายใต้การควบคุมสภาวะที่เหมาะสมทำให้ได้สีที่บริสุทธิ์ ไม่มีสิ่งเจือปนทั้งยังควบคุมคุณภาพอื่นๆ ได้อีกด้วย

ผงสีอนินทรีย์สังเคราะห์สามารถเตรียมได้ โดยวิธีการตกตะกอนจากปฏิกิริยาระหว่างสารเคมี 2 ชนิดทำให้เกิดเป็นผงสีตกตะกอนลงมา หลังจากนั้นทำการล้างและกรองตะกอน ตัวอย่างของผงสี อนินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ แคดเมียมซัลไฟด์ แคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ ทิทาเนียมไดออกไซด์ เป็นต้น

ในปัจจุบันผงสีอนินทรีย์ถูกใช้อย่างกว้างขวาง ซึ่งมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกถึง 75 % นำไปใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว 10 % และนำไปใช้ในเครื่องปั้นดินเผา เครื่องสุขภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ 10 % ส่วนอีก 5 % นำไปใช้ในหมึกพิมพ์ สีทา ยาง และเครื่องสำอางค์ (Cadmium Association. 1994 : 137)

การใช้สีเคลือบบนผิวหรือผสมลงในผลิตภัณฑ์ จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความสวยงาม ดึงดูดใจผู้ซื้อมากยิ่งขึ้น ทั้งยังช่วยปกปิดรอยตำหนิที่ผิววัสดุและยังก่อให้เกิดรูปแบบที่แปลกใหม่ทางศิลปะ ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าและราคาของผลิตภัณฑ์อีกทางหนึ่งด้วย

งานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาผงสีที่เป็นสารเชิงซ้อนอนินทรีย์ที่มีสีสวยสดและใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ โดยจะทำการศึกษาสีของสารประกอบแคดเมียมซัลโฟเซเนไนด์ (cadmium sulfoselenide pigment)

แคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ เป็นผงสีที่มีช่วงของสีกว้างครอบคลุมสีที่สำคัญในช่วงของรังสีที่ตามองเห็น โดยมีช่วงของการเกิดสีตั้งแต่ เขียว เหลือง ส้ม แดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แสดงสีของแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ (3CdS.2CdSe)

เหลืองแกมเขียว	เหลือง	ส้ม	แดง	แดงคล้ำ
(Zn , Cd)S	CdS หรือ (Cd , Hg)S	Cd(S , Se) หรือ (Cd , Hg)S	Cd(S , Se) หรือ (Cd , Hg)S	Cd(S , Se)

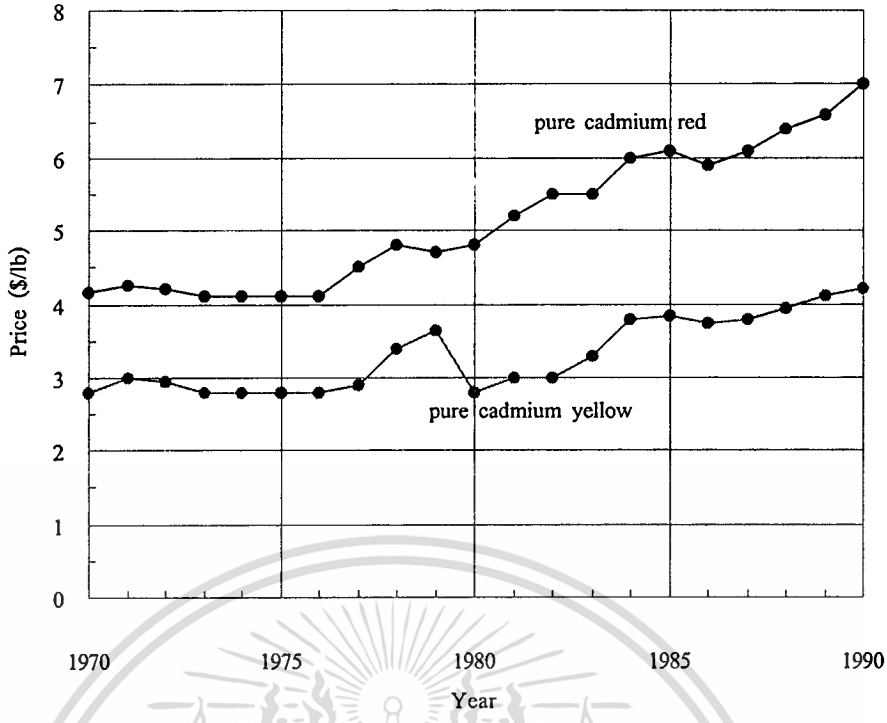
ปริมาณของเซเลเนียม (Se) หรือปรอท (Hg) ที่เพิ่ม ⟶

ตารางที่ 1.1 แสดงสีของผงสีแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ที่เปลี่ยนไป เมื่อมีปริมาณของสังกะสี (Zn) หรือปรอทที่เข้าไปแทนที่แคดเมียม (Cd) ในโครงผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ (cadmium sulfide, CdS) หรือปริมาณของเซเลเนียมที่เข้าไปแทนที่กำมะถัน (S) ในโครงผลึกแคดเมียมซัลไฟด์ เกิดเป็นสารละลายของแข็ง

การเลือกใช้ผงสีแคดเมียม เนื่องจากผงสีแคดเมียมเป็นสีที่คงทนต่อสภาพต่าง ๆ ได้ดี เช่น สามารถทนต่อกรดอินทรีย์และสารละลายเจือจางของกรดเกลือและด่างได้ ผงสีแคดเมียมยังมีความคงทนต่อความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงถึง 500 องศาเซลเซียส และมีสมบัติทึบแสงที่ดี ทนต่อแสงได้ดีมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ทั้งในพลาสติก สีทา และใช้ได้ดีกับงานทางเซรามิกส์ เพราะสามารถเผาได้ที่อุณหภูมิสูง

ในปี 1988 สหรัฐอเมริกามีการผลิตผงสีแคดเมียมประมาณ 6 ล้านปอนด์ ซึ่งนำไปใช้ในงานด้านศิลปะเป็นส่วนมาก ราคาของผงสีแคดเมียมจะขึ้นอยู่กับราคาของโลหะแคดเมียมที่เป็นวัตถุดิบ ซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จึงทำให้ราคาของผงสีแคดเมียมสูงขึ้นตามไปด้วย ราคาของผงสีแคดเมียมในสหรัฐอเมริกา ในช่วงปี 1970–1990 แสดงดังภาพที่ 1.1 โลหะแคดเมียมถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมายดังนี้ นำไปใช้ในการผลิตผงสี 12 % นำไปใช้ในการผลิต อัลลอยด์ แม่พิมพ์โลหะ และถ่านแคดเมียมนิกเกิลรวม 68 % อีก 20 % นำไปใช้ในงานอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1.1 แสดงราคาของผงสีแคดเมียมเยลโลว์บริสุทธิ์ (pure cadmium yellow) และผงสีแคดเมียมออเรนจ์บริสุทธิ์ (pure cadmium red) ในปี 1970-1990

จากภาพที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าราคาของผงสีแคดเมียมมีแนวโน้มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสีเหล่านี้เป็นสีสังเคราะห์ได้ยากซึ่งต้องมีการศึกษาเป็นพิเศษ โรงงานเซรามิกส์และพลาสติกในประเทศไทยต้องสั่งซื้อจากโรงงานต่างประเทศอีกทอดหนึ่ง อีกทั้งเทคนิคการผลิตยังไม่เป็นที่แพร่หลายทำให้สีนี้มีราคาแพง งานวิจัยนี้จึงมุ่งหวังที่จะศึกษาความเป็นไปได้ของเทคนิควิธีการและสภาวะเหมาะสมของการสังเคราะห์สีดังกล่าว เพื่อเผยแพร่ความรู้แก่ผู้สนใจทั่วไปและยังเป็นการลดต้นทุนการสั่งนำเข้าของสีดังกล่าวอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาวิธีการ กระบวนการ และสภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์สารสีแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1. ปริมาณของเซเลเนียมที่เข้าแทนที่กำมะถันในโครงผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ ซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสี และความเข้มของสี

2. อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาจะมีผลต่อความสว่างของสีที่ได้และความเข้มของสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยใช้หลักการของ Stromeyer (1819 : 269-274) โดยใช้เกลือของแคดเมียมทำ ปฏิกริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เพื่อให้ได้ตะกอนของแคดเมียมซัลไฟด์ดังสมการ

$$CdSO_{4\,(aq)} + H_2S_{(g)} \longrightarrow CdS_{(s)} + H_2SO_{4\,(aq)} \quad (1.1)$$

$$CdCl_{2\,(aq)} + H_2S_{(g)} \longrightarrow CdS_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \quad (1.2)$$

และใช้แนวความคิดของ Wagner (1872 : 82) โดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) แทนไฮโดรเจนซัลไฟด์เนื่องจากมีความสะดวก และมีความแน่นอนในการใช้คำนวนความเข้มข้นของแคดเมียมและซัลไฟด์อิออนโดยใช้แคดเมียมซัลเฟตทำปฏิกิริยากับโซเดียมซัลไฟด์ดังสมการ

$$CdSO_{4\,(aq)} + Na_2S_{(aq)} \longrightarrow CdS_{(s)} + Na_2SO_{4\,(aq)} \quad (1.3)$$

การเตรียมแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์เตรียมโดยการให้ความร้อนแก่แคดเมียมซัลไฟด์ กำมะถัน และเซเลเนียมที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ในบรรยายกาศเฉื่อย

Bayer (1919 : 323-348) ได้นำแคดเมียมซัลเฟตมาทำปฏิกิริยากับอัลคาไลด์ซัลไฟด์ และอัลคาไลด์เซเลไนด์ ได้ตะกอนผสมของแคดเมียมซัลไฟด์กับแคดเมียมเซเลไนด์เกิดขึ้นดังสมการ

$$5Cd^{2+}_{(s)} + 3S^{2-}_{(s)} + 2Se^{2-}_{(s)} \longrightarrow 3CdS.2CdSe_{(s)} \quad (1.4)$$

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยจะศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการตกตะกอน และการเผาเพื่อให้เกิดการแทนที่ของซัลไฟด์ โดยเซเลเนียมในโครงผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ สีที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณการแทนที่ดังกล่าว จากนั้นจะทำการศึกษาเพื่อหาโครงผลึกที่เกิดขึ้น

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิจัย

1. ในการตกตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์ใช้แคดเมียมคลอไรด์เป็นสารตั้งต้น
2. ในการสังเคราะห์แคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ทำได้โดย วิธีการให้ความร้อนแก่แคดเมียมซัลไฟด์ กำมะถัน และเซเลเนียมที่อุณหภูมิ 100 200 300 400 500 600 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

1. ผงสี (pigment) หมายถึง สารที่ให้สีและมีความสามารถในการปิดบังพื้นผิวหรือกำลังซ่อนแสง ผงสีอาจเป็นสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์ก็ได้ และไม่ละลายในตัวทำละลายต่าง ๆ

2. สีย้อม (dyes) หมายถึง สารที่มีสีซึ่งละลายในตัวทำละลายได้หลายอย่างสามารถใช้ย้อมชิ้นส่วนของพืชและสัตว์ได้

3. หน่วยเซล (unit cell) หมายถึง หน่วยที่เล็กที่สุดของโครงผลึกที่แสดงให้เห็นว่ามีการจัดเรียงของหน่วยอนุภาคเป็นอย่างไร

4. diffractogram หมายถึง รูปแบบของการหักเหของรังสีเอกซ์

5. lattice spacing (d) หมายถึง ระยะห่างระหว่างระนาบแต่ละชุดภายในโครงผลึก

6. polymorphism หมายถึง ปรากฏการณ์ที่สารประกอบชนิดหนึ่ง ๆ มีโครงสร้างผลึกได้มากกว่า 1 แบบ ซึ่งสามารถเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากแบบหนึ่งไปเป็นอีกแบบหนึ่งได้ภายใต้อุณหภูมิและความดันที่เปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การสังเคราะห์ผงสีแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นพื้นฐาน และเป็นแนวทางในการวิจัย มีรายละเอียดตามลำดับ ดังนี้

2.1 สมบัติทางกายภาพของผงสีอนินทรีย์

2.2 ประเภทของผงสีอนินทรีย์

2.3 สมบัติและการเลือกใช้ผงสีอนินทรีย์และผงสีอินทรีย์

2.4 หลักการผลิตผงสีทั่วไป

2.5 ผงสีแคดเมียม

2.1 สมบัติทางกายภาพของผงสีอนินทรีย์

2.1.1 กำลังการผสมหรือความแรง

องค์ประกอบส่วนใหญ่ของสีเป็น ผงสีขาว ดังนั้นการที่จะให้ได้สีตามเฉดที่ต้องการจึงต้องนำผงสีมาผสมกัน ถ้าปรากฏว่าในการแต่งสีนั้นต้องใช้ผงสีปริมาณมากเพื่อให้ได้เป็นสีตามเฉดที่ต้องการก็แสดงว่าผงสีนั้นมีกำลังการผสมต่ำ

การหากำลังการผสมของผงสี เป็นการวัดหาค่าเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของผงสีมาตรฐานทำได้โดยนำผงสีมาผสมกับผงสีสีขาว เติมน้ำมันลงไปให้ของผสมของผงผงสีกระจายอยู่ในน้ำมันอย่างทั่วถึง นำไปเปรียบเทียบกับของผสมของผงสีมาตรฐานและผงสีสีขาวซึ่งมีปริมาณเท่ากันและกระจายอยู่ในน้ำมันเช่นเดียวกัน เปรียบเทียบความเข้มของสีของผสมทั้งสอง เติมผงสีสีขาวลงไปในของผสมที่มีสีเข้มกว่า จนกระทั่งของผสมทั้งสองมีความเข้มของสีเท่ากัน อัตราส่วนของผงสีสีขาวที่มีอยู่ในของผสมทั้งสองเมื่อมีความเข้มข้นเท่ากัน ก็คือค่ากำลังการผสมสัมพันธ์ (relative tinting strength) ของผงสีทั้งสอง

2.1.2 ความคงทนต่อแสง

ความคงทนต่อแสง คือ ความสามารถในการคงสีเดิมไว้เมื่อถูกแสง การที่ผงสีให้สีที่ดีสวยงามตั้งแต่เริ่มใช้ยังไม่สามารถกล่าวได้ว่าผงสีนั้นดี ผงสีที่ดีจะต้องให้สีที่อยู่เหมือนเดิมได้นาน ไม่ซีดจางมีอายุการรักษาสีเท่ากับอายุการใช้งานของฟิล์ม

ผงสีจำนวนมากเมื่อถูกแสงสว่างมักซีดลงหรือคล้ำขึ้น หรือการเปลี่ยนเฉดของสีไปในทางที่เลวลงซึ่งที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเลตในแสงอาทิตย์มีพลังงานเพียงพอที่จะสามารถทำลายพันธะเคมีของผงสี ทำให้โครงสร้างของโมเลกุลของผงสีเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงโครง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างทางเคมีนี้ทำให้ความสามารถในการดูดกลืนแสงช่วงที่มองเห็นได้ของผงสีเปลี่ยนแปลงเป็นผลให้สีเปลี่ยนไปในทางตรงข้าม ถ้าผงสีสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตได้โดยไม่เกิดการเสียหายใด ๆ ผงสีนั้นก็จะช่วยป้องกันสารยึดจากรังสีอัลตราไวโอเลตด้วย

2.1.3 การคายสี

สมบัติที่สำคัญของผงสี คือ ไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ แต่มีผงสีบางตัวละลายในตัวทำละลายบางชนิด เช่น เมื่อทาสีสีขาวทับไปบนผิวหน้าที่ทาสีแดงไว้จะเกิดเป็นสีชมพูขึ้น ทั้งนี้เพราะตัวทำละลายของสีสีขาวสามารถละลายผงสีสีแดงบางส่วนได้ และซึมเข้าไปในสีสีขาวที่ทาทับอยู่ ซึ่งก็แสดงให้เห็นว่าผงสีสีแดงนั้นทีคุณภาพไม่ดี เกิดการคายสีได้ง่าย ผงสีสีอื่นก็เกิดการคายสีได้แต่ส่วนใหญ่แล้วมักจะเกิดกับผงสีแดงจึงเรียกปรากฏการณ์การคายสีนี้ว่า "bleeding"

2.1.4 ความสามารถในการปิดบังผิวหน้าหรือกำลังซ่องแสง

ในอุดมคติสีเพียงชั้นเดียวควรจะปิดบังผิวหน้าเดิมได้หมด แต่โดยทั่วไปแล้วการเคลือบสีมักทำกัน 2 ชั้น และให้มีความหนาทั้งหมดอยู่ในช่วง 1-4 มิล (mil, 1 มิล เท่ากับ 25.4 ไมโครเมตร) ในการที่จะปิดบังผิวหน้าได้ดีนั้น ผงสีจะต้องมีความสามารถป้องกันแสงไม่ให้ผ่านทะลุฟิล์มไปยังผิวหน้าชั้นเดิมได้ กล่าวคือ ผงสีนั้นจะเป็นตัวดูดกลืนแสง และกระจายแสงออกมาเอง

ความสามารถในการปิดบังผิวหน้าของสี แสดงโดยจำนวนพื้นที่เป็นตารางฟุต (หรือตารางเมตร) ที่ได้จากสี 1 แกลลอน (หรือ 1 ลิตร) ในการปิดบังผิวหน้าได้อย่างสมบูรณ์ หรือความสามารถในการปิดบังผิวหน้าของสี แสดงโดยจำนวนพื้นที่ (ตารางฟุต) ที่ได้จากผงสี 1 ปอนด์ที่กระจายอยู่ในสี ซึ่งเมื่อนำไปเคลือบแล้วจะปิดบังผิวหน้าเดิมได้หมด

ความสามารถในการปิดบังผิวหน้าของผงสีขึ้นกับความยาวคลื่น และปริมาณของแสงที่ผงสีดูดกลืนนอกจากนี้ยังขึ้นกับดัชนีหักเห ขนาดและรูปร่างของอนุภาคของผงสีด้วย บางครั้งอาจเรียกความสามารถในการปิดบังผิวหน้าของสีนี้ว่า ความทึบแสง (opacity)

2.1.5 ขนาดของอนุภาค

ผงสีจะมีขนาดของอนุภาคแตกต่างกันตั้งแต่ 0.01 ไมโครเมตร (เช่น คาร์บอนแบล็ก) ถึง 50 ไมโครเมตร (เช่น เอกซ์เทนเดอร์บางชนิด) และขนาดของอนุภาคของผงสีจะเป็นค่าเฉลี่ย ผงสีที่มีขนาดเหมาะสมจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 ถึง 0.4 ไมโครเมตร

ขนาดของอนุภาคจะสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวหน้า และการดูดซับน้ำมัน (oil adsorption) กล่าวคือ ผงสีชนิดต่างกันที่มีน้ำหนักเท่ากัน ผงสีซึ่งมีขนาดของอนุภาคเล็กกว่าจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าตัวอย่างเช่น 1 กรัมของทิทาเนียมไดออกไซด์ชนิดรูไทล์ (rutil) ซึ่งมีขนาดของอนุภาค 0.2 ถึง 0.3 ไมโครเมตร จะมีพื้นที่ผิวหน้า 12 ตารางเมตร ในขณะที่ 1 กรัมของซิลิกาซึ่งมีขนาดของอนุภาค 0.015 ถึง 0.02 ไมโครเมตรจะมีพื้นที่ผิวหน้าถึง 190 ตารางเมตร

การดูดซับน้ำมัน หมายถึง น้ำหนักเป็นกรัมที่น้อยที่สุดของน้ำมันซึ่งปกติเป็นน้ำมันลินสีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่นำมาใช้ในการทำผงสี 100 กรัม เปลี่ยนสภาพเป็นสารข้นมีวิธีการหาดังนี้ เติมน้ำมันลงในผงสีอย่างช้า ๆ แล้วบดผสมเข้าด้วยกัน และในขณะที่น้ำมันอยู่ในกระบวนการแทนที่อากาศที่ผิวหน้าของอนุภาคของผงสีนี้ (ซึ่งเรียกกันว่า ทำให้ผงสีเปียก หรือ wetting the pigment) ของผสมระหว่างน้ำมันและผงสียังอยู่ในสภาพที่ร่วน แต่เมื่อการเปียกเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว น้ำมันจะเข้าไปอุดช่องว่างระหว่างอนุภาคของผงสี และทันทีที่เติมน้ำมันลงไปอีกแม้จะเป็นปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม ของผสมจะเปลี่ยนสภาพจากร่วนเป็นสารข้นทันทีเนื่องจากอนุภาคของผงสีเกิดเป็นอิสระสามารถไหลผ่านซึ่งกันและกันได้ ซึ่งเป็นผลมาจากอำนาจหล่อลื่นของน้ำมันนั่นเอง

ส่วนสำคัญที่สุดของอนุภาคของผงสีคือ พื้นผิว ที่พื้นผิวของผงสีจะมีหมู่ฟังก์ชั่นแนลซึ่งจะสัมผัสกับหมู่ฟังก์ชั่นแนลของน้ำมันหรือสารยึดหมู่ฟังก์ชั่นแนลของผงสีนี้จะเป็นตัวตัดสินว่า ผงสีจะเกิดการเปียกได้ง่ายหรือไม่ (ซึ่งก็คือการรวมตัวกับโมเลกุลของสารยึดนั่นเอง) ถ้าหมู่ฟังก์ชั่นแนลที่พื้นผิวของผงสีเหล่านี้เข้ารวมตัวกันเองก็จะทำให้อนุภาคของผงสีจับตัวเป็นก้อน ต้านทานการเปียกและการกระจายของผงสี ปรากฏการณ์แบบนี้เรียกว่า การจับตัว (flocculation)

สำหรับวิธีการหาขนาดอนุภาคของผงสีมีหลายวิธี เช่น การใช้ตระแกรง (sieve method) การใช้กล้องจุลทรรศน์ (microscopic method) การวิเคราะห์การตกตะกอน (sedimentation analysis) เป็นต้น

2.1.6 รูปร่างของอนุภาค

อนุภาคของผงสีมีรูปร่างต่าง ๆ กัน เช่น กลม สี่เหลี่ยมลูกบาศก์ กลมไม่สม่ำเสมอ เข็มหรือแท่ง หรือเป็นแผ่นบาง ๆ เนื่องจากรูปร่างของอนุภาคมีผลต่อการจัดเรียงตัวของผงสี ดังนั้นจึงมีผลต่อความสามารถในการปิดบังผิวหน้าของผงสีด้วย ผงสีที่มีอนุภาครูปร่างคล้ายเข็มหรือแท่ง จะสามารถเสริมแรงให้กับฟิล์มได้เช่นเดียวกันกับเหล็กเส้นเสริมแรงในคอนกรีต ส่วนผงสีที่มีผิวของอนุภาคหยาบจะช่วยให้การเคลือบในชั้นต่อไปทำได้ง่ายขึ้น ดังนั้นผงสีที่มีอนุภาคแบบนี้ จะนำมาใช้เป็นองค์ประกอบในสีชั้นล่าง (undercoat คือ สีที่เคลือบอยู่ระหว่างชั้นสีรองพื้นกับสีทับหน้า)

ส่วนผงสีที่มีอนุภาคเป็นแผ่นบาง ๆ เช่น ผงสีอลูมิเนียมหรือไมกา จะสามารถจัดตัวเองขนานกับผิวหน้า และทับกันอยู่ในลักษณะเหมือนกระเบื้องหลังคา ดังนั้นฟิล์มที่มีผงสีที่มีอนุภาคแบบนี้จะทนน้ำและความชื้นได้ดี

2.1.7 ความถ่วงจำเพาะ

สามารถหาความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.) ได้จากสูตร

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนัก (กรัม)}}{\text{ปริมาตร (มล.)}} \qquad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นผงสีที่มีน้ำหนักเท่ากันแต่มีความถ่วงจำเพาะต่างกัน ผงสีที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าจะให้ปริมาตรสูงกว่า และเนื่องจากการขายผงสีขายในรูปของน้ำหนัก แต่เมื่อนำผงสีมาผลิตสีจะผลิตออกจำหน่ายในรูปของปริมาตร ดังนั้นผงสีที่มีราคาแพงอาจมีค่าทางเศรษฐกิจถ้ามีความถ่วงจำเพาะต่ำ

2.1.8 ความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี

ความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี อาจทำให้ผงสีบางชนิดไม่เหมาะสมสำหรับงานบางประเภท เช่น ออกไซด์มีสมบัติเป็นทั้งกรดและเบส ดังนั้นจึงไม่ควรใช้ซิงก์ออกไซด์เป็นผงสีสีขาวสำหรับสีที่ทำจากสารยึดซึ่งมีหมู่กรดสูงมาก เพราะอาจเกิดปฏิกิริยาทำให้เป็นก้อนได้ และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอาจทำให้ซิงก์ออกไซด์เข้าไปเชื่อมโยงสารยึดจนเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายได้ ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดเป็นเจลขึ้นมาจนไม่สามารถนำเอามาใช้งานได้

2.1.9 เสถียรภาพต่อความร้อน

อุณหภูมิที่ทำให้ผงสีเกิดการสลายตัว หรือเปลี่ยนแปลงก็มีความสำคัญ ถ้าต้องนำผงสีดังกล่าวมาใช้ทำสีซึ่งต้องอบที่อุณหภูมิสูงหรือใช้ทำสีที่ต้องทนต่อความร้อน ดังนั้นการรู้ถึงเสถียรภาพต่อความร้อนของผงจึงเป็นสิ่งจำเป็น

2.2 ประเภทของผงสีอนินทรีย์

ผงสีอนินทรีย์ (inorganic pigment) ซึ่งแบ่งได้ย่อย ๆ เป็น 4 ชนิด คือ

1. ผงสีธรรมชาติ (earth pigment) เป็นผงสีธรรมชาติที่ได้จากการนำเอาหินต่าง ๆ ไปบดล้างและทำให้แห้ง ตัวอย่างของผงสีธรรมชาติ ได้แก่ ดินเหลือง (ochres) ดินเผาสีน้ำตาล (sienna) ดินสีน้ำตาลไหม้ (umbers) และดินเขียว (green earth) เป็นต้น

2. ผงสีแร่ (mineral pigment) เป็นผงสีที่ได้จากแร่ธาตุต่าง ๆ ตัวอย่างของผงสีแร่ ได้แก่ โดโลไมต์ และแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น

3. ผงสีอนินทรีย์สังเคราะห์ (synthetic inorganic pigment) เตรียมได้โดยวิธีตกตะกอนจากปฏิกิริยาระหว่างสารเคมี 2 สาร ทำให้เกิดเป็นผงสีตกตะกอนลงมาแล้วกรองออก ตัวอย่างของผงสีอนินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ ทิทาเนียมไดออกไซด์ ซิงก์ออกไซด์ และอัตรามารีน เป็นต้น

4. ผงสีโลหะ (metallic pigment) เป็นผงสีที่ได้จากการบดโลหะให้ละเอียด เช่น ผงอะลูมิเนียม ผงบรอนซ์ และผงสังกะสี เป็นต้น

2.3 สมบัติและการเลือกใช้ผงสีอนินทรีย์และผงสีอินทรีย์

ผงสีอนินทรีย์และผงสีอินทรีย์ต่างก็มีข้อดีและข้อเสียที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นการเลือกใช้ผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีให้เหมาะสมก็ต้องรู้ถึงสมบัติของผงสีเหล่านี้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติและการเลือกใช้ผงสี

สมบัติที่ต้องการ	ควรใช้ผงสี	เหตุผล
1. สีเข้มสดใส	อินทรีย์	ผงสีอินทรีย์จะให้สีเข้มและสดใสมากในขณะที่ผงสีอนินทรีย์มีกำลังการผสมต่ำต้องใช้ปริมาณมาก
2. สำหรับทำสี สีขาวและสีดำ	อนินทรีย์	ผงสีขาวบริสุทธิ์ที่สุด คือ ทิทาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ซึ่งเป็นผงสีอนินทรีย์ และผงสีสีดำที่ดำที่สุด คือ คาร์บอนแบล็ก (มักจัดเป็นผงสีอนินทรีย์) ไม่มีผงสีอินทรีย์ที่มีสีขาวหรือสีดำ
3. การไม่เกิดการคายสี	อนินทรีย์	ผงสีอนินทรีย์ไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ ในขณะที่ผงสีอินทรีย์บางชนิดถูกละลายได้
4. ความคงทนต่อแสง	อนินทรีย์	พันธะในโมเลกุลของผงสีอนินทรีย์ทนต่อแสงอัลตราไวโอเลตได้มากกว่าพันธะในโมเลกุลของผงสีอินทรีย์
5. เสถียรภาพต่อความร้อน	อนินทรีย์	มีผงสีอินทรีย์ไม่กี่ชนิดที่เสถียรได้ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่า ผงสีอินทรีย์ส่วนใหญ่จะสลายตัวหรือหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า ในการเลือกใช้ผงสีจะหลีกเลี่ยงการใช้ผงสีอินทรีย์ เนื่องจากมีข้อด้อยกว่าผงสีอนินทรีย์หลายประการ แต่ในทางปฏิบัติมีการใช้ผงสีอินทรีย์กันมากเนื่องจากปัจจัยข้อ 1 ใน ตารางที่ 2.1 ว่าผงสีอินทรีย์มีสีเข้มหรือมีกำลังการผสมสูงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผู้ผลิตเลือกใช้ผงสีอินทรีย์ นอกจากผงสีอินทรีย์ยังมีข้อดีตรงที่ว่าสามารถบดได้ง่าย และมีสมบัติการพิมพ์ที่ดี

2.4 หลักการผลิตผงสีทั่วไป

2.4.1 กรรมวิธีในการเตรียมสีสำเร็จรูปโดยทั่วไป

โดยปกติสีที่ใช้ในงานต่างกัน เช่น สีใต้เคลือบ สีบนเคลือบ และสีในเคลือบ มีกรรมวิธีการเตรียมโดยอาศัยหลักการใหญ่ ๆ คล้ายกัน แต่จะแตกต่างกันไปบ้างในเรื่องของความละเอียด การเตรียมสีมีหลายสิ่งที่ต้องคำนึงถึง เช่น อุณหภูมิที่ใช้เผา วิธีการบดสารเพื่อให้ได้สารที่ละเอียดดีพอ บรรยากาศ และช่วงเวลาในการเผา เป็นต้น Briefly (1886 : 116-120) กล่าวถึงวิธีเตรียมสีทางด้านเซรามิกส์ไว้ ดังนี้

1. วัตถุดิบ (raw material) วัตถุดิบทุกอย่างควรทราบความบริสุทธิ์ และต้องทราบว่าเป็นออกไซด์คาร์บอเนต หรือเกลืออื่น ๆ ของอนุมูลบวกที่ต้องการ นอกจากนี้ยังต้องทราบสมบัติทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิสิกส์ เช่น ลักษณะและขนาดของผลึก การกระจายขนาดของอนุภาค

2. การผสมสารเข้าด้วยกัน (mixing) สารนั้นอาจจะเป็นออกไซด์ของสารที่ให้สี (coloring oxide) หลายตัว หรืออาจมีพวกเกลือของสารที่ทำให้สีเปลี่ยนไป (salt modifying agent) และอาจมีสารที่ลดอุณหภูมิ (flux) ในการเผารวมอยู่ด้วยก็ได้ การผสมมักจะทำพร้อมกับการบดเพื่อให้สารผสมเข้ากันดียิ่งขึ้น ความละเอียดจากการบดมีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาในการเผาเช่นกัน ในสมัยก่อนจะผสมด้วยมือทำให้สารผสมกันไม่ดีนัก ซึ่งเป็นเหตุให้ได้สีไม่ตรงตามต้องการ การผสมทำได้ 2 วิธี

- การผสมแห้ง (dry mixing)
- การผสมเปียก (wet mixing)

การผสมสารให้ได้ผลดีมักจะใช้วิธีการบดเปียก ความละเอียดของสารเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ และทำปฏิกิริยากันขณะเผาได้สมบูรณ์ ซึ่งสีที่ได้ก็จะสม่ำเสมอ สารบางอย่างละลายน้ำ ถ้าบดแห้งจะบดยาก ถ้าบดเปียกจะบดได้ง่ายกว่า

แม้ว่าการบดเปียกจะดีกว่าการบดแห้ง แต่เมื่อบดเปียกแล้วจะต้องนำมาทำให้แห้งก่อนนำไปเผา เมื่อสารแห้งจะพบว่า สารที่ละลายน้ำจะแยกตัวจับกันอยู่บนผิวหน้าของสารที่ผสมนั้น จึงควรบดผสมให้เป็นผงคลุกเคล้าให้ทั่วอีกครั้งหนึ่ง โดยการบดแห้งแล้วใส่ภาชนะที่เป็นดินเผาเพื่อนำไปเผาต่อไป

3. การเผา (calcination) การเผาที่อุณหภูมิเหมาะสมจะทำให้เกิดปฏิกิริยาซึ่งจะได้ผลิตผลสุดท้ายเป็นสารชนิดใหม่ การเผาจะทำให้เกิดปฏิกิริยา 2 อย่าง คือ

1. การสลายตัว (decomposition) เมื่อสารผสมถูกเผาพวกก๊าซต่าง ๆ จะสลายตัวระเหยออกมาเช่น พวกคาร์บอเนตซัลเฟต ถ้ามีสารพวกนี้อยู่เมื่อนำไปใช้จะทำให้เกิดฟองหรือจุดในผิวเคลือบ

2. การรวมตัว (combination) สารที่มีสมบัติให้สี และไม่ให้สีจะรวมตัวกัน เมื่อก๊าซต่าง ๆ ระเหยไปหมดแล้วจะทำให้เกิดสีขึ้น

สีแต่ละสีย่อมมีช่วงอุณหภูมิในการเผาต่างกัน จึงต้องระวังเรื่องการไม่คงที่ของสี เมื่อนำไปใช้อาจจะเกิดจากการเผาที่อุณหภูมิไม่สูงทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์ จึงเป็นเหตุให้ได้สีที่ไม่ดีพอ และถ้าเผาที่อุณหภูมิสูงเกินจุดเหมาะสม สีก็จะเปลี่ยนไปด้วยเช่นกัน บรรยากาศภายในเตาขณะเผาก็สำคัญเช่นกัน คือถ้าในส่วนผสมมีสารพวกคาร์บอเนตอยู่บรรยากาศในการเผาควรมีอากาศมากเกินพอ (oxidizing atmosphere) และใช้ความดันต่ำเพื่อให้ก๊าซสามารถระเหยออกมาได้สะดวก

4. การบด (grinding) สารที่เผาแล้วจะต้องนำไปบดเสียก่อนในช่วงนี้นิยมใช้วิธีบดเปียก ส่วนมากจะบดด้วยหม้อบด ซึ่งสามารถบดได้เร็วและสะอาดกว่าใช้จานบด หรือจะบดด้วยโกร่งก็ได้

5. การล้าง (washing) การล้างสีเพื่อให้สารที่ละลายน้ำได้ และสิ่งเจือปนต่าง ๆ ละลายออกมาเพื่อให้ได้สีที่คงตัว ถ้าล้างไม่สะอาดพวกสารละลายและสิ่งเจือปนอื่น ๆ จะมีผลทำให้เกิดฝ้ามัวบนผิวเคลือบ หรือสีที่ตกแต่งไว้โดยเฉพาะสีจากโครเมียมออกไซด์ จึงต้องล้างให้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีล้างทำโดยรินน้ำร้อน (จะใช้น้ำธรรมดาก็ได้) ลงในภาชนะที่บดแล้วคนให้ทั่วปล่อยให้สีตกตะกอน แล้วรินน้ำทิ้ง ทำหลาย ๆ ครั้งจนน้ำได้ไม่มีฝ้าลอยบนผิวน้ำ สีบางชนิดอาจล้างด้วยกรดเจือจางเพื่อการขจัดสารละลายได้ดีขึ้น โดยหยดกรดในน้ำที่มีสีอยู่ 2 ถึง 3 หยดคนให้ทั่วปล่อยไว้จนใสแล้วเทออกจากนั้นล้างด้วยน้ำธรรมดาจนน้ำใสไม่มีฝ้า การล้างหลาย ๆ ครั้งจะทำให้สีคงตัวดีขึ้น

6. การทำให้แห้ง (drying) สีที่ล้างและอบแห้งแล้วต้องบดให้ละเอียดด้วยหม้อบด หรือโกร่งอีกครั้งหนึ่ง ถ้าสีไม่ละเอียดจะทำให้ผิวที่ตกแต่งไม่เรียบ และสวยงามเท่าที่ควร การบดขั้นนี้จะใช้วิธีบดแห้ง (dry grinding) สีที่เตรียมได้นี้เรียกว่า สีสำเร็จรูป

2.4.2 วิธีการผลิตผงสี มีหลายวิธีด้วยกันดังนี้ คือ

1. การบดและการทำให้จมตัว (grinding and setting) ใช้สำหรับผลิตผงสีธรรมชาติ และผงสีแร่ ซึ่งมีวิธีการดังนี้คือ นำผงสีไปบดจากนั้นผ่านกระบวนการการทำให้จมตัว ซึ่งจากกระบวนการดังกล่าว จะสามารถแยกสีที่มีขนาดของอนุภาคต่าง ๆ กันได้

2. การทำให้ตกตะกอน (precipitation) เตรียมโดยการทำให้เกิดตะกอนของผงสีที่ไม่ละลายจากปฏิกิริยาระหว่างสารต่าง ๆ วิธีการแบบนี้ใช้สำหรับผลิตผงสีต่าง ๆ กัน เช่น ลิโทโพน โครมเยลโลว์ ปรัสเซียนบลู และผงสีอินทรีย์ส่วนใหญ่ (เลก และโทนเนอร์)

3. การเผา (calcination) วิธีการแบบนี้ผลิตโดยการเผาสารที่อุณหภูมิสูง ๆ ใช้สำหรับผลิตผงสีต่อไปนี้ ทิทาเนียมไดออกไซด์ อัลตรามารีน ลิโทโพน และโครเมียมออกไซด์กรีน

4. การระเหย (evaporation) นำวัตถุดิบมาระเหย แล้วมักผ่านกระบวนการออกซิเดชั่นต่อ ตัวอย่างของผงสีที่ผลิตโดยวิธีการแบบนี้ ได้แก่ แอนติโมนีออกไซด์ ซิงก์ออกไซด์ เป็นต้น

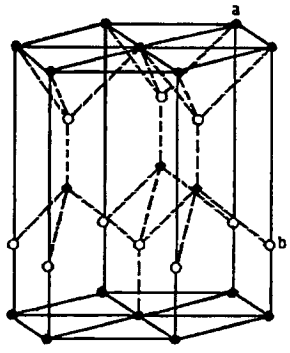
5. การกัดกร่อนโลหะ (corrosion of metals) ทำได้โดยนำโลหะมากัดด้วยกรด ตัวอย่างของผงสีที่ผลิตโดยวิธีการแบบนี้ ได้แก่ ผงตะกั่วขาว (white lead) เป็นต้น

ในบางกรณีผงสีบางชนิดจะผลิตได้จากวิธีการ 2 แบบ เช่น ลิโทโพนจะผลิตจากวิธีการทำให้ ตกตะกอนหรือวิธีการเผาก็ได้ แต่ถ้าต้องการให้ผงสีมีสมบัติที่ดีควรจะผลิตจากวิธีการเผา สำหรับการผลิตผงสีทิทาเนียมไดออกไซด์ก็เช่นเดียวกัน ขั้นแรกทำวิธีการตกตะกอนก่อน ซึ่งจะได้ทิทาเนียมไดออกไซด์ที่มีน้ำปนอยู่ด้วย จากนั้นนำไปเผาจะได้ทิทาเนียมไดออกไซด์ที่มีสมบัติดี

2.5 ผงสีแคดเมียม

ผงสีแคดเมียมจะมีแคดเมียมซัลไฟด์เป็นองค์ประกอบพื้นฐานและมีผลึกเป็นรูป hexagonal wurtzite ซึ่งมีอะตอมของกำมะถันยึดเกาะกันแน่นเป็นรูป hexagonal และมีอะตอมของแคดเมียมยึดเกาะอยู่ระหว่างกลางเป็นรูป tetrahedral ดังภาพที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 โครงผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ (wurtzite structure)

a.) sulfur (selenium) ; b.) cadmium (zinc, mercury)

จากภาพที่ 2.1 เป็นโครงผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ที่แคดเมียมอิออน (Cd^{2+}) จะมีซัลเฟอร์อิออน (S^{2-}) 4 ตัวล้อมอยู่โดยรอบ และซัลเฟอร์อิออนจะต้องมีแคดเมียมอิออน 4 ตัวอยู่โดยรอบ โครงผลึกนี้จะเกิดขึ้นได้ในรูปซัลเฟอร์อิออนอัดเรียงตัวกันในรูป hexagonal และครึ่งหนึ่งของจำนวนช่อง tetrahedral มีแคดเมียมอิออนแทรกอยู่ เพื่อให้อนุมูลบวกอยู่ห่างกันมากที่สุดแคดเมียมซัลไฟด์มีช่วงการเกิดสีตั้งแต่ เขียว เหลือง ส้ม แดง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของสังกะสีหรือปรอทที่เข้าไปแทนที่แคดเมียมในโครงผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ หรือปริมาณของเซเลเนียมที่เข้าไปแทนที่กำมะถันในโครงผลึกแคดเมียมซัลไฟด์

ผงสีแคดเมียมสามารถที่จะแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ตามส่วนประกอบพื้นฐาน คือ

1. แคดเมียมซัลไฟด์บริสุทธิ์ และ zinc modified ให้สีเหลืองและสีส้มสว่าง
2. แคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ ให้สีส้มเข้มและสีแดง
3. แคดเมียมเมอร์คิวริ ให้สีแดง

2.5.1 สมบัติทางเคมีของแคดเมียมซัลไฟด์

แคดเมียมซัลไฟด์เป็นสารประกอบที่เฉื่อยต่ออากาศ ความชื้นไฮโดรเจนซัลไฟด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) แคดเมียมซัลไฟด์สามารถที่จะละลายในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl conc.) และในสารละลายเจือจางหรือเข้มข้นของกรดไนตริก (HNO_3) เกิดเป็นไอของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และมีการละลายในน้ำต่ำมาก ซึ่งสารละลายอิ่มตัวของแคดเมียมซัลไฟด์ ที่อุณหภูมิห้องสามารถละลายได้เพียง 0.2 พีพีบี ส่วนการละลายในสารละลายพวกอัลคาไลด์ กรดอะซิตริก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส จะละลายได้เพียงเล็กน้อย ซึ่งจะไม่มีผลต่อแคดเมียมซัลไฟด์ และที่อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส แคดเมียมซัลไฟด์จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในอากาศกลายเป็นออกไซด์และซัลเฟตแคดเมียมซัลไฟด์จะละลายในสารละลายเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แอมโมเนียคลอไรด์ แอซิดคลอไรด์ และไอโอไดด์

ค่าการดูดซับน้ำมัน (oil adsorption) จะอยู่ในช่วง 18 เปอร์เซ็นต์ ของสีเหลืองอ่อนไปจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึง 22 เปอร์เซ็นต์ ของสีส้มอ่อน (Patton. 1973 : 389-393) และในผงสีลิโทโพนจะมีค่าการดูดซับน้ำมัน 14 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในแบเรียมซัลเฟตจะมีค่าการดูดซับน้ำมันต่ำมากคือ 8 ถึง 16 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้ผงสีชนิดลิโทโพนมีค่าการดูดซับน้ำมันต่ำด้วยเช่นกัน

2.5.2 ส่วนประกอบทางเคมี

2.5.2.1 แคดเมียมซัลไฟด์

เป็นสารที่ประกอบด้วยแคดเมียม 77.8 เปอร์เซ็นต์ และกำมะถัน 22.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีจำนวนพลังงานถึง 34 กิโลแคลอรีต่อโมล ที่อุณหภูมิปกติจะเกิดเป็นผลึกได้ 2 แบบ คือ hexagonal (β) มีความหนาแน่น 4.8261 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ Cubic (α) มีความหนาแน่น 4.835 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งค่าของความหนาแน่นเหล่านี้ได้จากการคำนวณจากเครื่อง X-Ray diffraction ตามปกติแคดเมียมซัลไฟด์ที่ได้จากการตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะได้ผลึกรูป cubic ซึ่งพิสูจน์โดย Bohn J. และ Niclassen H. เมื่อปี 1924 เขาเห็นได้ภายใต้กล้อง microscope.

ปัจจุบันได้มีการใช้ X-Ray diffraction เป็นตัวชี้บอกถึงผลึกของผงสีรูปแบบต่างที่อยู่รวมกันที่อุณหภูมิปกติ ตลอดจนสามารถบอกถึงการใช้ความร้อนอย่างช้า ๆ จะเปลี่ยนผลึกจากรูป cubic ไปเป็นรูป hexagonal ในสมัยก่อนจะใช้ความหนาแน่นของผงสีแคดเมียมในช่วงประมาณ 3.9 ถึง 4.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นตัวกำหนดในการเปลี่ยนของผงสีแคดเมียมสีเหลือง ในบางครั้งจะผสมวัสดุอื่นเข้าในผงสีด้วย เช่น แคดเมียมคาร์บอเนต แคดเมียมออกไซด์ และซิงก์ออกไซด์

ในปัจจุบันสีเหลืองสว่างได้จากการแทนที่ของซิงก์มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 4.40 ถึง 4:82 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Hercules. 1976 : 109) ซึ่งซิงก์ซัลไฟด์บริสุทธิ์จะมีความหนาแน่น 3.98 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Huckle. 1966 : 326-366)

2.5.2.2 แคดเมียมเซเลไนด์ และ แคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์

แคดเมียมเซเลไนด์บริสุทธิ์ (CdSe) จะมีสีน้ำตาลดำและไม่มีคุณสมบัติเป็นผงสี แคดเมียมเซเลไนด์ไม่ละลายในกรดเจือจาง แต่จะละลายในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นได้เป็นไฮโดรเจนเซเลไนด์

ส่วนแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ (Cd(S,Se)) เกิดจากการที่เซเลเนียมเข้าแทนที่กำมะถันบางส่วนในผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ ซึ่งเมื่อปริมาณของเซเลเนียมที่เข้าแทนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้สีเปลี่ยนไปเป็นสีส้ม สีแดง และในที่สุดจะเป็นสีแดงดำ แคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์จะเป็นผลึกรูป hexagonal ที่มีความหนาแน่นแคดเมียมเซเลไนด์ 5.81 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าความหนาแน่นของแคดเมียมซัลไฟด์บริสุทธิ์ 4.82 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

2.5.3 การเตรียมแคดเมียมซัลไฟด์

จากการเปิดเผยของ Stromeyer F. ในปี 1819 แคดเมียมซัลไฟด์มีวิธีการเตรียม 2 วิธี คือ วิธีแบบเปียก และวิธีแบบแห้ง แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขเทคนิคต่าง ๆ ให้ดีขึ้นแต่เทคนิคพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐานก็ไม่เปลี่ยนแปลงมาจนถึงปัจจุบัน

2.5.3.1 วิธีแบบแห้ง

เป็นวิธีการดังเดิมซึ่งเป็นการรวมกันของโลหะแคดเมียม แคดเมียมออกไซด์ หรือแคดเมียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยากับกำมะถัน โดยการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 300 ถึง 500 องศาเซลเซียสที่ปราศจากอากาศ ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการต่อไปนี้

$$Cd_{(s)} + S_{(s)} \longrightarrow CdS_{(s)} \quad (2.2)$$

$$2CdO_{(s)} + 3S_{(s)} \longrightarrow 2CdS_{(s)} + SO_{2(g)} \quad (2.3)$$

$$2CdCO_{3(s)} + 3S_{(s)} \longrightarrow 2CdS_{(s)} + SO_{2(g)} + 2CO_{2(g)} \quad (2.4)$$

การผสมอาจใช้กำมะถันให้มีปริมาณมากเกินพอซึ่งอุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ความบริสุทธิ์ของวัตถุดิบ และปริมาณออกซิเจนจะมีผลต่อคุณสมบัติของผงสีที่ได้ ซึ่งในการผสมแต่ละครั้งจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ควบคุม จะเห็นได้ว่าไม่มีความแน่นอนในกระบวนการผลิต (Remington. and Francis. 1954 : 117-120, 199)

หลังจากปฏิกิริยาเกิดขึ้นสมบูรณ์แล้วจะมีการควบคุมการบดให้ได้ขนาดและรูปร่างของอนุภาคตามต้องการ ซึ่งขนาดและรูปร่างจะเป็นตัววัดคุณสมบัติของสี (Zerr. and Rubencamp. 1908 : 152-153) ปัจจุบันนี้มีการใช้วิธีการแบบแห้งน้อยมาก

2.5.3.2 วิธีการแบบเปียก

เป็นการตกตะกอนของแคดเมียมซัลไฟด์ โดยการทำปฏิกิริยาของสารละลายเกลือของแคดเมียมกับซัลไฟด์ โดยทั่วไปเกลือของแคดเมียมที่ใช้จะอยู่ในรูปของคลอไรด์ ไนเตรท ซัลเฟต หรือไอโอไดด์ ส่วนกำมะถันได้จากไฮโดรเจนซัลไฟด์ แบเรียมซัลไฟด์โซเดียมซัลไฟด์ หรือไธโอซัลเฟตชนิดอื่น ๆ ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา อุณหภูมิ ความเข้มข้นของตัวเข้าทำปฏิกิริยา สิ่งเจือปน พีเอช (pH) และอัตราการเติมของตัวเข้าทำปฏิกิริยา รวมถึงสิ่งอื่น ๆ ทั้งหมดที่มีผลต่อสีและความคงทนของผงสี ดังแสดงตามสมการต่อไปนี้

$$CdCl_{2(aq)} + H_2S_{(g)} \longrightarrow CdS_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \quad (2.5)$$

$$CdSO_{4(aq)} + Na_2S_{(aq)} \longrightarrow CdS_{(s)} + Na_2SO_{4(aq)} \quad (2.6)$$

$$CdI_{2(aq)} + BaS_{(aq)} \longrightarrow CdS_{(s)} + BaI_{2(aq)} \quad (2.7)$$

ในสมัยก่อนจะใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นตัวให้ซัลไฟด์อิออน ซึ่งในการผสมจะต้องกวนอย่างสม่ำเสมอ ถ้าต้องการเฉดสีที่เข้มต้องใช้ความเข้มข้นของเกลือแคดเมียมสูงและจะต้องให้ไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครเจนซัลไฟด์กระจายอย่างทั่วถึง (Remington. and Francis. 1954 : 65-66) แต่ถ้าต้องการเสดสีที่สว่างจะต้องใช้ความเข้มข้นของเกลือแคดเมียมที่ต่ำ (Budgen. 1924 : 100-105)

ในปี 1870 โซเดียมซัลไฟด์ได้ถูกนำมาใช้แทนไฮโดรเจนซัลไฟด์ เนื่องจากมีความสะดวกในการควบคุมความเข้มข้นของแคดเมียมและซัลไฟด์อิออน (Wagner. 1872 : 82) ถ้าใช้สารละลายที่เจือจางจะทำให้ได้ผงสีเหลืองอ่อน ในขณะที่ใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นปานกลางที่ร้อนหรือสารละลายกรดจะได้ผงสีที่มีสีเข้มซึ่งบางครั้งให้สีเหลืองปานกลาง ผงสีแบบนี้จะใช้โดยไม่มีการเผา ซึ่งขนาดอนุภาค รูปร่าง พื้นผิว และความสุกใสนี้จะได้จากการทำปฏิกิริยาการตกตะกอน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งปัจจุบันได้ใช้ข้อมูลนี้เป็นแนวทางของสีและการเกิดผลึกของตะกอนจากการเปลี่ยนเกลือที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน (Milligan. 1934 : 797-800)

ตารางที่ 2.2 แสดงสีและรูปผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ (Milligan. 1934 : 797-800)

Cadmium Salt	Without the Addition Acid				In the Presence of Added Acid			
Used At 0.1 N	At 30 °C		At 100 °C		At 30 °C		At 100 °C	
Concentration	Crystalline		Crystalline		Crystalline		Crystalline	
	Color	Form	Color	Form	Color	Form	Color	Form
Sulfate	Yellow	Hexagonal*	Orange	Cubic	Orange	Cubic**	Red	Cubic
Nitrate	Yellow	Hexagonal*	Yellow	Hexagonal*	Orange	Cubic**	Red	Cubic
Chloride	Yellow	Hexagonal*	Yellow	Hexagonal	Yellow	Hexagonal	Red	Hexagonal
Bromide	Yellow	Hexagonal*	Yellow	Hexagonal	Orange	Hexagonal	Red	Hexagonal
Iodide	Orange	Hexagonal*	Orange	Hexagonal	Orange	Hexagonal	Orange	Hexagonal

* Trace of cubic beta (β) cadmium sulfide.
**Trace of hexagonal alpha (α) cadmium sulfide.

จากตารางที่ 2.2 การตกตะกอนจะเกิดจากการใช้สารละลายเกลือของแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ซึ่ง Milligan (1934 : 797-800) พบว่า การตกตะกอนอย่างรวดเร็วในสารละลายกรดเจือจางจะทำให้ได้สีเหลืองสว่าง แต่ถ้าใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้ได้สีแดง ซึ่งอัตราการเติมและจำนวนของการกวนที่ได้จากการทดลองเป็นส่วนสำคัญ คือถ้าผลิตโดยการกวนช้า ๆ จะทำให้ได้สีที่เข้มซึ่งอาจจะเป็นสีแดงหรือสีส้มกลาง

ในการตกตะกอนจะเกิดกำมะถันอิสระจึงต้องทำการล้างตะกอนที่ได้ ทั้งนี้ถ้ามีกำมะถันอิสระเหลือมากจะทำให้ผงสีมีความคงตัวน้อย ในการผลิตผงสีโดยวิธีนี้จะมีความแน่นอนในการผลิต ได้มีความพยายามในการผลิตผงสีเหลืองสว่างโดยใช้สารละลายเจื่อจางเกลือของ แคดเมียมที่เย็นหรือการตกตะกอนอย่างรวดเร็วในสารละลายกรด ซึ่งจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายที่ต่ำแต่จะทำให้ได้ผงสีที่มีความเสถียรต่ำเมื่อเทียบกับวิธีปกติ ส่วนสีที่สว่างมาก ๆ จะสามารถทำได้โดยใช้แคดเมียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนเตรททำปฏิกิริยากับโซเดียมซัลไฟด์หรือแอมโมเนียมไธโอซัลเฟต วิธีการนี้จะทำให้ได้สีที่สว่าง อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะเกิดกำมะถันอิสระสูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อผงสีทำให้ผงสีมีความคงตัวน้อย

เมื่อทำการตกตะกอนแล้วจะต้องทำการล้างและกรอง ซึ่งในการล้างจะใช้น้ำกลั่นหรือน้ำอ่อน หลาย ๆ ครั้ง หลังจากนั้นจึงทำการกรอง ในบางครั้งอาจจะกำจัดซัลเฟอร์อิสระโดยการย่อยสลายด้วยคาร์บอนไดซัลไฟด์ (Church. 1915 : 162-167) ทุกวันนี้วิธีการแบบเปียกมีการใช้กันอย่างกว้างขวางและทำให้ได้ผงสีที่มีความบริสุทธิ์ดีกว่าวิธีแบบแห้ง

2.5.4 วิธีการเตรียมแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์

ผงสีแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์สีแดงเป็นผงสีอีกประเภทหนึ่งที่เริ่มมีการใช้งานเมื่อปี 1910 แม้ว่าผงสีชนิดนี้จะได้มีการจดสิทธิบัตรเมื่อปี 1892 (Gettens. and Stout. 1966 : 58-59) ในการเตรียมผงสีแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์สามารถเตรียมได้โดยการผสมแคดเมียมซัลไฟด์ กำมะถัน และเซเลเนียม แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสในบรรยายกาศเฉื่อย ในปี 1919 Bayer ได้พัฒนากระบวนการผลิตผงสีแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ให้ดีขึ้นซึ่งจะให้ผลผลิตคงที่และทำให้เซเลเนียมระเหยกลายเป็นไอน้อยลง เนื่องจากมีราคาแพงโดยทำการเติมสารละลายผสมของอัลคาไลด์ซัลไฟด์และเซเลไนด์ลงในสารละลายเกลือของแคดเมียมดังสมการ

$$5Cd^{2+}_{(aq)} + 3S^{2-}_{(aq)} + 2Se^{2-}_{(aq)} \longrightarrow 3CdS.2CdSe_{(s)} \qquad (2.7)$$

ตะกอนที่ได้จากกระบวนการนี้จะเป็นสีเหลือง และเมื่อทำการเผาจะได้สีแดง ในการเผานั้นจะต้องควบคุมให้อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้จะได้ผงสีเป็นสีน้ำตาลอัตราส่วนของแคดเมียมต่อเซเลเนียมจะทำให้เฉดสีเปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงสีของแคดเมียมต่อเซเลเนียมในอัตราส่วนต่าง ๆ (Curtis. 1954 : 26-43)

Cd/Se	100/12 Orange
Cd/Se	100/15 Orange-red
Cd/Se	100/20 Light red
Cd/Se	100/25 Bright red
Cd/Se	100/30 Dark red
Cd/Se	100/33 Maroon red
Cd/Se	100/40 Dark maroon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยเรื่องการสังเคราะห์ผงสีแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

3.4 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. แคดเมียมคลอไรด์ ($CdCl_2.H_2O$, Univar)
2. โซเดียมซัลไฟด์ ($Na_2S.9H_2O$, Univar)
3. โลหะเซเลเนียมผง (Se Powder, Univar)
4. กำมะถันผง (S Powder, Univar)
5. น้ำกลั่น

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. X-ray diffractometer
2. ตู้อบอุณหภูมิ 100 ถึง 200 องศาเซลเซียส (Oven, MEMMERT)
3. เตาเผาไฟฟ้าอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส (Muffle funnel, SYBRON/THERMO-LYNE 1500)
4. เครื่องบดสารเคมีให้เป็นผงละเอียด
5. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
6. กระดาษกรอง (Whatman No. 41)
7. กรวยแก้ว (Glass Funnel)
8. Water Bath ที่ควบคุมอุณหภูมิได้
9. โถดูดความชื้น (Dissicator)
10. ปิเปต (Pipette)
11. บีกเกอร์ (Breaker)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

13. กระจกนาฬิกา (Watch Glass)

3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

3.1 ตัวแปรต้น

ปริมาณของเซเลเนียมที่เข้าแทนที่กำมะถันในโครงผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา

3.2 ตัวแปรตาม

ปริมาณของเซเลเนียมที่เข้าแทนที่กำมะถันในโครงผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสี ความสว่างของสีและความเข้มของสี

3.4 วิธีดำเนินการวิจัย

3.4.1 การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์

3.4.1.1 การเตรียมสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ 0.1 นอร์มอล

1. นำแคดเมียมคลอไรด์อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

2. ชั่งแคดเมียมคลอไรด์ที่อบแล้วประมาณ 20.132 กรัม ลงในบีกเกอร์ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 1;000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.4.1.2 การเตรียมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ 0.1 นอร์มอล

ชั่งโซเดียมซัลไฟด์ประมาณ 24.018 กรัม ลงในบีกเกอร์ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.4.2 การสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์

1. อบกระดาษกรองเบอร์ 41ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในดูดความชื้น นำกระดาษกรองที่ได้มาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าที่ได้ (W_1)

2. เติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ลงในสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ทีน้อย ๆ และกวนตลอดเวลาด้วยอัตราเร็วที่คงที่ ที่อุณหภูมิ 10 27 50 75 85 95 องศาเซลเซียส ซึ่งอัตราส่วนของแคดเมียมคลอไรด์และโซเดียมซัลไฟด์ ดังตามตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนผสมของแคดเมียมคลอไรด์และโซเดียมซัลไฟด์

ตัวอย่างที่	ปริมาตรของแคดเมียมคลอไรด์ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาตรของโซเดียมซัลไฟด์ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
1	5.0	15.0
2	10.0	15.0
3	15.0	15.0
4	20.0	15.0
5	25.0	15.0
6	15.0	5.0
7	15.0	10.0
8	15.0	20.0
9	15.0	25.0

3. นำตะกอนที่ได้จากข้อ 2. มาล้างด้วยน้ำกลั่น ทำได้โดยการรินของเหลวข้างบนลงไปในกระดาษกรอง ระวังอย่าให้ตะกอนตามลงไปด้วย เติมน้ำกลั่นลงไปในตะกอน เขย่าตะกอนและน้ำกลั่นให้เข้ากัน แล้วตั้งให้ตกตะกอนนอนก้น จากนั้นค่อย ๆ รินของเหลวข้างบนลงไปในกระดาษกรอง ทำเช่นนี้ 8 ถึง 10 ครั้ง ก่อนที่จะเทตะกอนลงไปในกระดาษกรองดังกล่าว

4. นำตะกอนที่ทำการล้างแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าที่ได้ (W_2)

5. นำค่าที่บันทึกไว้มาคำนวณหาน้ำหนักของตะกอนที่ได้

$$\text{น้ำหนักตะกอน} = W_2 - W_1 \qquad (3.1)$$

เมื่อ W_1 เป็นน้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)

W_2 เป็นน้ำหนักกระดาษกรองกับตะกอน (กรัม)

6. ทำซ้ำตามข้อ 1 ถึง 5 จนครบ 3 ครั้ง บันทึกค่าที่ได้

3.4.3 การสังเคราะห์แคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์

1. นำแคดเมียมซัลไฟด์ที่เตรียมได้จากข้างต้น กำมะถัน และเซเลเนียมมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น

2. ชั่งแคดเมียมซัลไฟด์ กำมะถัน และเซเลเนียมตามตารางที่ 3.2 จากนั้นนำสารที่ชั่งได้มาบดผสมด้วยครกบดสารเคมีจนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำมาใส่ในถ้วยกระเบื้อง นำไปเผาในเตาเผาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิต่าง ๆ ดังนี้ 100 200 300 400 500 600 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนผสมของแคดเมียมซัลไฟด์ กำมะถัน และเซเลเนียม

ตัวอย่างที่	แคดเมียมซัลไฟด์ (กรัม)	กำมะถัน (กรัม)	เซเลเนียม (กรัม)
1	-	-	1.000
2	1.000	-	-
3	1.000	1.000	0.020
4	1.000	1.000	0.030
5	1.000	1.000	0.040
6	1.000	1.000	0.060
7	1.000	1.000	0.080
8	1.000	1.000	0.100
9	1.000	1.000	0.120
10	1.000	1.000	0.140
11	1.000	1.000	0.160
12	1.000	1.000	0.180
13	1.000	1.000	0.200
14	1.000	1.000	0.220
15	1.000	1.000	0.240
16	1.000	1.000	0.260
17	1.000	1.000	0.280
18	1.000	1.000	0.300
19	1.000	1.000	0.320
20	1.000	1.000	0.340
21	1.000	1.000	0.360
22	1.000	1.000	0.380
23	1.000	1.000	0.400

3. นำผงสีที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์หาโครงสร้างและหาองค์ประกอบด้วยเครื่อง X-ray diffractometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิจัยเรื่อง การสังเคราะห์ผงสีแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ มีรายละเอียดตามลำดับ ดังนี้

4.1 ผลการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์

4.2 ผลการสังเคราะห์แคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์

4.1 ผลการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์

เมื่อนำสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล มาทำการตกตะกอนกับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ตามอัตราส่วนโดยปริมาตรต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.1 ที่อุณหภูมิ 10 27 50 75 85 95 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ตะกอนของแคดเมียมซัลไฟด์ ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1 4.2 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.1 แสดงน้ำหนักของตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์เตรียมได้จากสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล กับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ในอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรต่าง ๆ กันที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

อัตราส่วน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)		น้ำหนักตะกอนของแคดเมียมซัลไฟด์ (กรัม)			
แคดเมียมคลอไรด์	โซเดียมซัลไฟด์	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
15.0	5.0	0.0378	0.0385	0.0380	0.0381
15.0	10.0	0.0712	0.0710	0.0358	0.0593
15.0	15.0	0.1090	0.1088	0.1092	0.1090
15.0	20.0	0.1125	0.1110	0.1117	0.1117
15.0	**25.0**	**0.1168**	**0.1160**	**0.1166**	**0.1165**
5.0	15.0	0.0398	0.0402	0.0405	0.0402
10.0	15.0	0.0761	0.0746	0.0757	0.0755
20.0	15.0	0.1095	0.1091	0.1087	0.1091
25.0	15.0	0.1088	0.1090	0.1094	0.1091

จากตารางที่ 4.1 เห็นได้ว่าเมื่อนำแคดเมียมคลอไรด์จำนวน 15 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผสมกับโซเดียมซัลไฟด์จำนวน 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะพบว่าได้มีน้ำหนักของตะกอนมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงน้ำหนักของตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์เตรียมได้จากสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล กับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ในอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรต่าง ๆ กันที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

อัตราส่วน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)		น้ำหนักตะกอนของแคดเมียมซัลไฟด์ (กรัม)			
แคดเมียมคลอไรด์	โซเดียมซัลไฟด์	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
15.0	5.0	0.0523	0.0515	0.0500	0.0513
15.0	10.0	0.0846	0.0854	0.0849	0.0850
15.0	15.0	0.1277	0.1280	0.1284	0.1280
15.0	20.0	0.1383	0.1392	0.1388	0.1388
15.0	**25.0**	**0.1419**	**0.1410**	**0.1424**	**0.1418**
5.0	15.0	0.0542	0.0560	0.0551	0.0551
10.0	15.0	0.0945	0.0925	0.0934	0.0935
20.0	15.0	0.1275	0.1283	0.1295	0.1284
25.0	15.0	0.1288	0.1270	0.1290	0.1283

จากตารางที่ 4.2 เห็นได้ว่าเมื่อนำแคดเมียมคลอไรด์จำนวน 15 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผสมกับโซเดียมซัลไฟด์จำนวน 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะพบว่าได้น้ำหนักของตะกอนมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงน้ำหนักของตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์เตรียมได้จากสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล กับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ในอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรต่าง ๆ กันที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

อัตราส่วน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)		น้ำหนักตะกอนของแคดเมียมซัลไฟด์ (กรัม)			
แคดเมียมคลอไรด์	โซเดียมซัลไฟด์	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
15.0	5.0	0.0589	0.0598	0.0585	0.0591
15.0	10.0	0.1131	0.1135	0.1126	0.1131
15.0	15.0	0.1476	0.1425	0.1451	0.1451
15.0	20.0	0.1505	0.1521	0.1513	0.1513
15.0	**25.0**	**0.1522**	**0.1527**	**0.1535**	**0.1528**
5.0	15.0	0.0563	0.0550	0.0571	0.0561
10.0	15.0	0.0989	0.1007	0.0995	0.0997
20.0	15.0	0.1451	0.1445	0.1463	0.1453
25.0	15.0	0.1457	0.1534	0.1460	0.1484

จากตารางที่ 4.3 เห็นได้ว่าเมื่อนำแคดเมียมคลอไรด์จำนวน 15 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผสมกับโซเดียมซัลไฟด์จำนวน 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะพบว่าได้น้ำหนักของตะกอนมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงน้ำหนักของตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์เตรียมได้จากสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล กับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ในอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรต่าง ๆ กันที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

อัตราส่วน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)		น้ำหนักตะกอนของแคดเมียมซัลไฟด์ (กรัม)			
แคดเมียมคลอไรด์	โซเดียมซัลไฟด์	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
15.0	5.0	0.0612	0.0598	0.0585	0.0598
15.0	10.0	0.1122	0.1136	0.1145	0.1134
15.0	15.0	0.1542	0.1527	0.1525	0.1531
15.0	20.0	0.1623	0.1635	0.1628	0.1629
15.0	**25.0**	**0.1605**	**0.1651**	**0.1647**	**0.1634**
5.0	15.0	0.0570	0.0562	0.0575	0.0569
10.0	15.0	0.1045	0.1049	0.1066	0.1053
20.0	15.0	0.1540	0.1532	0.1529	0.1534
25.0	15.0	0.1518	0.1545	0.1533	0.1532

จากตารางที่ 4.4 เห็นได้ว่าเมื่อนำแคดเมียมคลอไรด์จำนวน 15 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผสมกับโซเดียมซัลไฟด์จำนวน 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะพบว่าได้น้ำหนักของตะกอนมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงน้ำหนักของตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์เตรียมได้จากสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล กับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ในอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรต่าง ๆ กันที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

อัตราส่วน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)		น้ำหนักตะกอนของแคดเมียมซัลไฟด์ (กรัม)			
แคดเมียมคลอไรด์	โซเดียมซัลไฟด์	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
15.0	5.0	0.0602	0.0577	0.0619	0.0599
15.0	10.0	0.1132	0.1138	0.1139	0.1136
15.0	15.0	0.1525	0.1529	0.1538	0.1531
15.0	20.0	0.1617	0.1627	0.1638	0.1627
15.0	**25.0**	**0.1636**	**0.1628**	**0.1638**	**0.1634**
5.0	15.0	0.0581	0.0569	0.0554	0.0568
10.0	15.0	0.1056	0.1053	0.1058	0.1056
20.0	15.0	0.1537	0.1548	0.1530	0.1538
25.0	15.0	0.1526	0.1532	0.1541	0.1533

จากตารางที่ 4.5 เห็นได้ว่าเมื่อนำแคดเมียมคลอไรด์จำนวน 15 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผสมกับโซเดียมซัลไฟด์จำนวน 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะพบว่าได้น้ำหนักของตะกอนมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงน้ำหนักของตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์เตรียมได้จากสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล กับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ในอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรต่าง ๆ กันที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส

อัตราส่วน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)		น้ำหนักตะกอนของแคดเมียมซัลไฟด์ (กรัม)			
แคดเมียมคลอไรด์	โซเดียมซัลไฟด์	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
15.0	5.0	0.0577	0.0610	0.0621	0.0603
15.0	10.0	0.1138	0.1126	0.1142	0.1135
15.0	15.0	0.1542	0.1538	0.1532	0.1532
15.0	20.0	0.1623	0.1626	0.1631	0.1630
15.0	**25.0**	**0.1634**	**0.1628**	**0.1643**	**0.1635**
5.0	15.0	0.0579	0.0554	0.0564	0.0566
10.0	15.0	0.1052	0.1050	0.1061	0.1054
20.0	15.0	0.1526	0.1533	0.1550	0.1536
25.0	15.0	0.1528	0.1543	0.1530	0.1534

จากตารางที่ 4.6 เห็นได้ว่าเมื่อนำแคดเมียมคลอไรด์จำนวน 15 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผสมกับโซเดียมซัลไฟด์จำนวน 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะพบว่าได้น้ำหนักของตะกอนมากที่สุด

4.2 ผลการสังเคราะห์แคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์

เมื่อนำแคดเมียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์ได้มาผสมกับกำมะถัน และเซเลเนียมตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.2 แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 100 200 300 400 500 และ 600 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงสีของผงสีแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ที่อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) ต่อเซเลเนียม (Se) ที่เผา ณ. อุณหภูมิ 100-600 องศาเซลเซียสโดยมีกำมะถัน (S) ปริมาณ 1.000 กรัม ทุกอัตราส่วน

Ratio CdS / Se	TEMPERATURE (°C)					
	100	200	300	400	500	600
0.000 : 1.000				Decompose	Decompose	Decompose
1.000 : 0.000						Ash
1.000 : 0.020						Ash
1.000 : 0.030						Ash
1.000 : 0.040						Ash
1.000 : 0.060						Ash
1.000 : 0.080						Ash
1.000 : 0.100						Ash
1.000 : 0.120						Ash
1.000 : 0.140						Ash
1.000 : 0.160						Ash
1.000 : 0.180						Ash
1.000 : 0.200						Ash
1.000 : 0.220						Ash
1.000 : 0.240						Ash
1.000 : 0.260						Ash
1.000 : 0.280						Ash
1.000 : 0.300						Ash
1.000 : 0.320						Ash
1.000 : 0.340						Ash
1.000 : 0.360						Ash
1.000 : 0.380						Ash
1.000 : 0.400						Ash

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำเซเลเนียม แคดเมียมซัลไฟด์ และของผสมระหว่างแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียม ที่อัตราส่วน 1.000 : 1.000 : 0.020 และที่อัตราส่วน 1.000 : 1.000 : 0.100 มาศึกษาโครงผลึกที่เปลี่ยนแปลงไปโดยใช้เครื่อง X-ray diffractometer ทั้งนี้เนื่องจากที่อัตราส่วนทั้งสองนั้นมีสีตั้งแต่สีเหลืองจนถึงสีแดง ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ส่วน diffractogram ที่ได้ดังแสดงในภาพที่ 6.1 ถึง 6.18 (ดูภาคผนวก)

ตารางที่ 4.8 แสดงรูปโครงผลึกของเซเลเนียม แคดเมียมซัลไฟด์ และแคดเมียมซัลไฟด์ผสมกับเซเลเนียมที่อัตราส่วนผสม 1.000 : 0.020 และ 1.000 : 0.100

Ratio CdS : Se	At 100 °C	At 200 °C	At 300 °C	At 400 °C	At 500 °C	At 600 °C
	Crystalline Form	Crystalline Form	Crystalline Form	Crystalline Form	Crystalline Form	Crystalline Form
0.000 : 1.000	Hexagonal	-	-	-	-	-
1.000 : 0.000	Cubic (CdS)	Cubic (CdS)	Cubic (CdS) Hexagonal (CdS)	Hexagonal (CdS)	Hexagonal (CdS)	Mix Crystal (Cd_2OSO_4 or Cd_3SO_6)
1.000 : 0.020	Cubic (CdS and CdSe)	Cubic (CdS and CdSe)	Cubic (CdS) Hexagonal (CdS and CdS.Se)	Hexagonal (CdS and CdS.Se)	Hexagonal (CdS.Se)	-
1.000 : 0.100	Cubic (CdS) Hexagonal (Se)	Cubic (CdS and CdSe)	Hexagonal (CdS and CdS.Se)	Hexagonal (CdS and CdS.Se)	Hexagonal (CdS.Se)	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล

การสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ โดยการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ที่เข้มข้น 0.1 นอร์มัลกับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ที่เข้มข้น 0.1 นอร์มัล พบว่า อุณหภูมิ และอัตราส่วนของตัวเข้าทำปฏิกิริยา มีผลต่อปริมาณตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์ที่ได้ ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

$$CdCl_{2\,(aq)} + Na_2S_{\,(aq)} \longrightarrow CdS_{\,(s)} + 2NaCl_{\,(aq)} \qquad (5.1)$$

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการตกตะกอนของแคดเมียมซัลไฟด์จะทำให้ปริมาณตะกอนที่ได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้โซเดียมซัลไฟด์กระจายตัวในสารละลายแคดเมียมคลอไรด์อย่างทั่วถึงทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น และที่อัตราส่วนโดยปริมาตรของแคดเมียมคลอไรด์ต่อโซเดียมซัลไฟด์ 15 : 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่า จะให้ปริมาณตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์มากที่สุด ทั้งนี้ในการตกตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์จึงควรเติมปริมาณสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ให้มากเกินพอ

จากนั้นจึงนำตะกอนที่ได้ล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง กรอง และทำให้แห้ง แล้วนำตะกอนที่ได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 100 ถึง 600 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาโครงผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ ซึ่งจากภาพที่ 6.2 ถึง 6.4 พบว่า แคดเมียมซัลไฟด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 100 ถึง 200 องศาเซลเซียส มี diffractogram ที่ lattice spacing (d) เท่ากับ 3.36 2.90 2.06 1.75 A° ซึ่งแสดงถึงโครงผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ที่เป็นรูป cubic และที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส จะมีโครงผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ 2 รูปปนกัน คือ โครงผลึกรูป cubic ปนกับโครงผลึกรูป hexagonal (diffractogram (ภาพที่ 6.4) ที่ d เท่ากับ 3.16 3.58 3.36 A°)

เมื่อเผาแคดเมียมซัลไฟด์ที่อุณหภูมิ 400 และ 500 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 6.5 และ 6.6) พบว่า มี diffractogram ที่ d เท่ากับ 3.16 3.58 3.36 A° ซึ่งแสดงโครงผลึกของ hexagonal และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของการเผาจนถึง 600 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 6.7) พบว่าแคดเมียมซัลไฟด์เปลี่ยนไปเป็นแคดเมียมออกไซด์ซัลเฟต โดยเป็นไปได้ทั้งสองรูปแบบ คือ Cd_2OSO_4 หรือ Cd_3SO_6 และโครงผลึกผสมหลายรูปแบบ การที่แคดเมียมซัลไฟด์สามารถเปลี่ยนโครงผลึกจาก cubic ไปเป็น hexagonal ได้ภายใต้อุณหภูมิและความดันที่เปลี่ยนไปนี้เป็นไปตามปรากฏการณ์ที่เรียกว่า polymorphism

สำหรับการสังเคราะห์แคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ทำโดยการเผาแคดเมียมซัลไฟด์กับกำมะ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถันและโลหะเซเลเนียมที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักและอุณหภูมิต่าง ๆ (ตามตารางที่ 3.2) และได้เลือกอัตราส่วนผสมที่ 1.000 : 1.000 : 0.020 กรัม และอัตราส่วนผสมที่ 1.000 : 1.000 : 0.1000 กรัม ซึ่งเผาที่อุณหภูมิ 100 ถึง 600 องศาเซลเซียส มาทำการศึกษาโครงผลึก (เนื่องจากที่อัตราส่วนทั้งสองนั้นมีสีตั้งแต่สีเหลืองจนถึงสีแดง) พบว่า การเผาที่อุณหภูมิ 100 ถึง 200 องศาเซลเซียส (จากภาพที่ 6.8 6.9 6.14 และ 6.15) diffractogram ที่ได้แสดงให้เห็นว่า ไม่มีการเกิดแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ (ที่ d เท่ากับ 2.08 3.60 3.18 A° ไม่มีสัญญาณเกิดขึ้น) แต่จะเกิดเป็นแคดเมียมเซเลไนด์ (CdSe) ซึ่งมีสีดำและมีโครงผลึกเป็นรูป cubic (มี diffractogram ที่ d เท่ากับ 3.51 2.14 1.83 A°) ปนกับแคดเมียมซัลไฟด์ที่มีโครงผลึกเป็นรูป cubic และเซเลเนียมที่มีโครงผลึกเป็นรูป hexagonal (diffractogram ที่ d เท่ากับ 3.01 3.78 2.07 A°) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นจาก 300 ถึง 500 องศาเซลเซียส พบว่าจะเกิดแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์มากขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ที่เกิดขึ้นมีโครงผลึกเป็นรูป hexagonal ดังแสดงในภาพที่ 6.10 ถึง 6.12 และภาพที่ 6.16 ถึง 6.18 มี diffractogram ที่ d เท่ากับ 2.08 3.60 3.18 A°) และสีที่ได้จะมีตั้งแต่สีเหลือง สีส้ม สีแดง สีน้ำตาลแดง จนกระทั่งเป็นเถ้าที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงของสีนั้นเกิดเนื่องจากปริมาณการเข้าแทนที่ของเซเลเนียมในโครงผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ โดยที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เซเลเนียมจะเริ่มเข้าแทนที่ซัลเฟอร์ ทำให้สีเหลืองของแคดเมียมซัลไฟด์เริ่มเปลี่ยนไปเป็นสีส้ม และค่อย ๆ แดงขึ้นเมื่อเซเลเนียมเข้าแทนที่มากขึ้น และแดงคล้ำในที่สุดเมื่อเซเลเนียมเข้าแทนที่กำมะถันในโครงผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์จนหมดทำให้เกิดเป็นแคดมียมเซเลไนด์ สีที่เกิดขึ้นจึงเป็นสีของแคดเมียมเซเลไนด์ซึ่งเป็นสีดำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ข้อมูลที่ได้สามารถใช้เป็นข้อมูลฐานสำหรับการวิจัยต่อไปที่นำไปสู่กระบวนการผลิตผงสีในอุตสาหกรรม และช่วยลดการสั่งนำเข้าจากต่างประเทศ อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกทางหนึ่งด้วย ผงสีแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ที่สังเคราะห์ได้นี้สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย เช่น อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมเคลือบผิวเซรามิกส์ และสีทาเครื่องปั้นดินเผา เป็นต้น

2. ผู้จะทำการวิจัยต่อไปนั้นควรศึกษาวิธีการสังเคราะห์แคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ โดยวิธีการแบบเปียกคือ นำโลหะเซเลเนียมมาละลายในสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ จากนั้นนำมาเติมในสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ ซึ่งวิธีการนี้มีความแน่นอนในการคำนวณความเข้มข้นสารเคมีที่ผสมกัน และทำให้ได้สีที่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2527. **เซรามิกส์**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรอุษา สรวารี. 2537. **สารเคลือบผิว (สี วาร์นิช และแลกเกอร์)**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Boxall, J. and Von, J.A. 1977. **Concise Paints Technology**. Guildford Surrey : Biddles Ltd.

Boxor, J. Fraunhofes and Wong, J.A. 1977. **Conise Paints**. Surrey : Bidles Ltd.

Brauer and Gearg., editor. 1965. **Handbook of Preparative Inorganic Chenistry**. Vol. 2. Translated by Scripta Technica. 2nd ed. New York : London.

Chapman and Hall. 1966. **Paint Technology Manuals Part Six Pigment Dyestuffs and Lakes**. Gellingham : E.H. Brickell's Son Ltd.

Checker, S.K. 1968. **Technology of Pigments Dyestuffs and Dye Intermediates**. Delhi : Small Business Publications.

Feller and Robert, L., editor. 1994. **Artists's Pigments a Handbook of their History and Characteristics**. Vol. 1. New York : Cambridge Univesity London.

Fox, J.J. and Bowles, T.H. 1927. **The Analysis of Pigments Paints and Varnishes**. London : Ernest Benn Lid.

Guenter Buxbaum. 1993. **Industrial Inorganic Pigments**. New York : Weinheim.

JCPDS International Centre for Diffraction Data Powder. 1982. **JCPDS Powder Diffraction File**. Pennsylvania : Swarthmore.

Judd, D.B. and Wyszecki, G. 1963. **Color in Business Science and Industry**. 2nd ed. New York : Wiley.

Lewis, P.A. and Wiley. 1987. **Pigment Handbook**. Vol 1. 2 nd ed. New York : Wiley.

Morgan, W.M. 1970. **Pigments for Paints and Inks Physical and Chemical Properties**. Morden Surrey : Trage'x Technical Press Ltd.

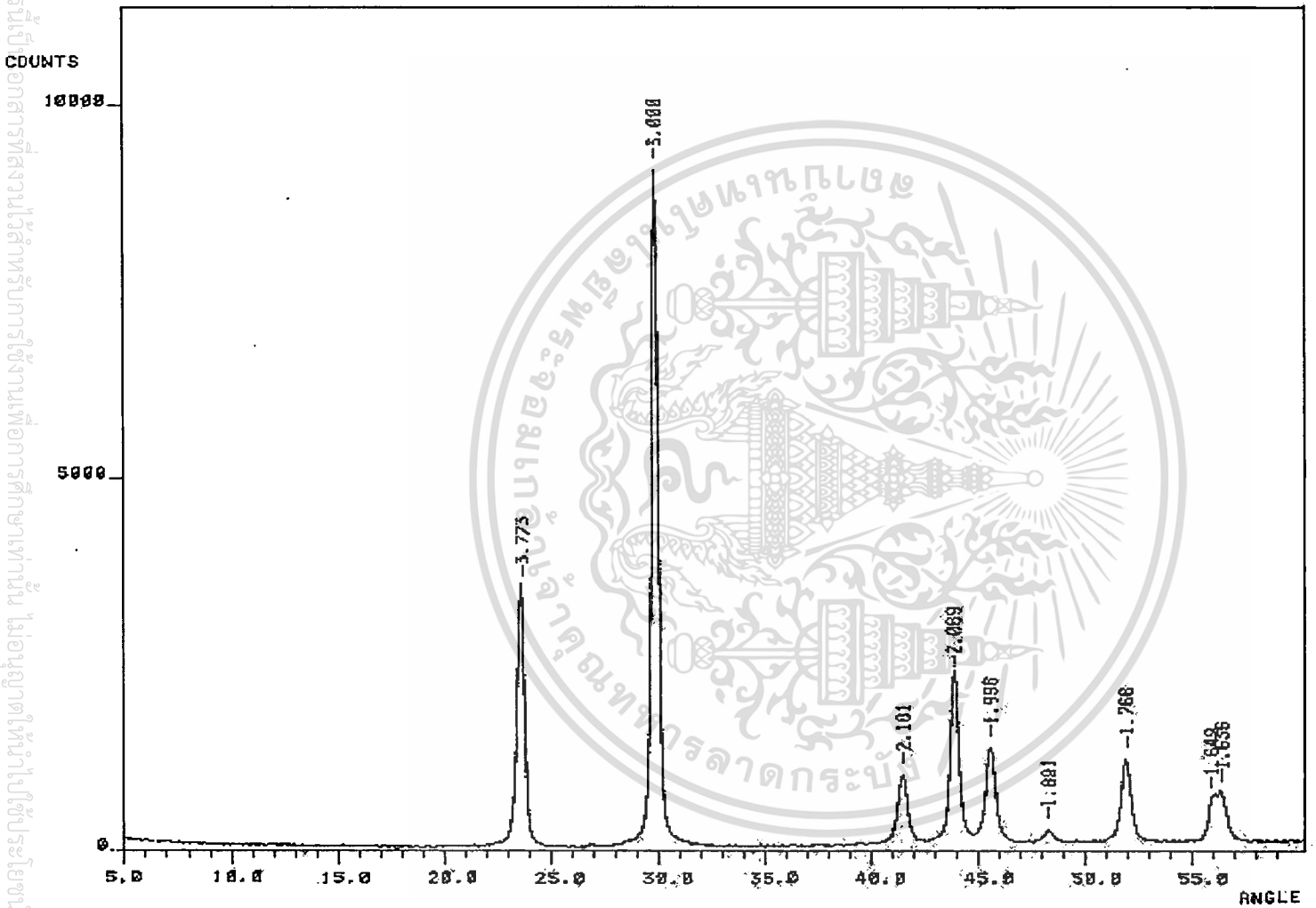
Morgan, W.M. 1990. **Outline of Paints Technology**. 3rd ed. Bidles : Guildford and King's Lumm.

Remington, J.S. and Framcis, W. 1955. **Their Manufacturer and Properties Pigments**. 3rd ed. London : Leonard Hill Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

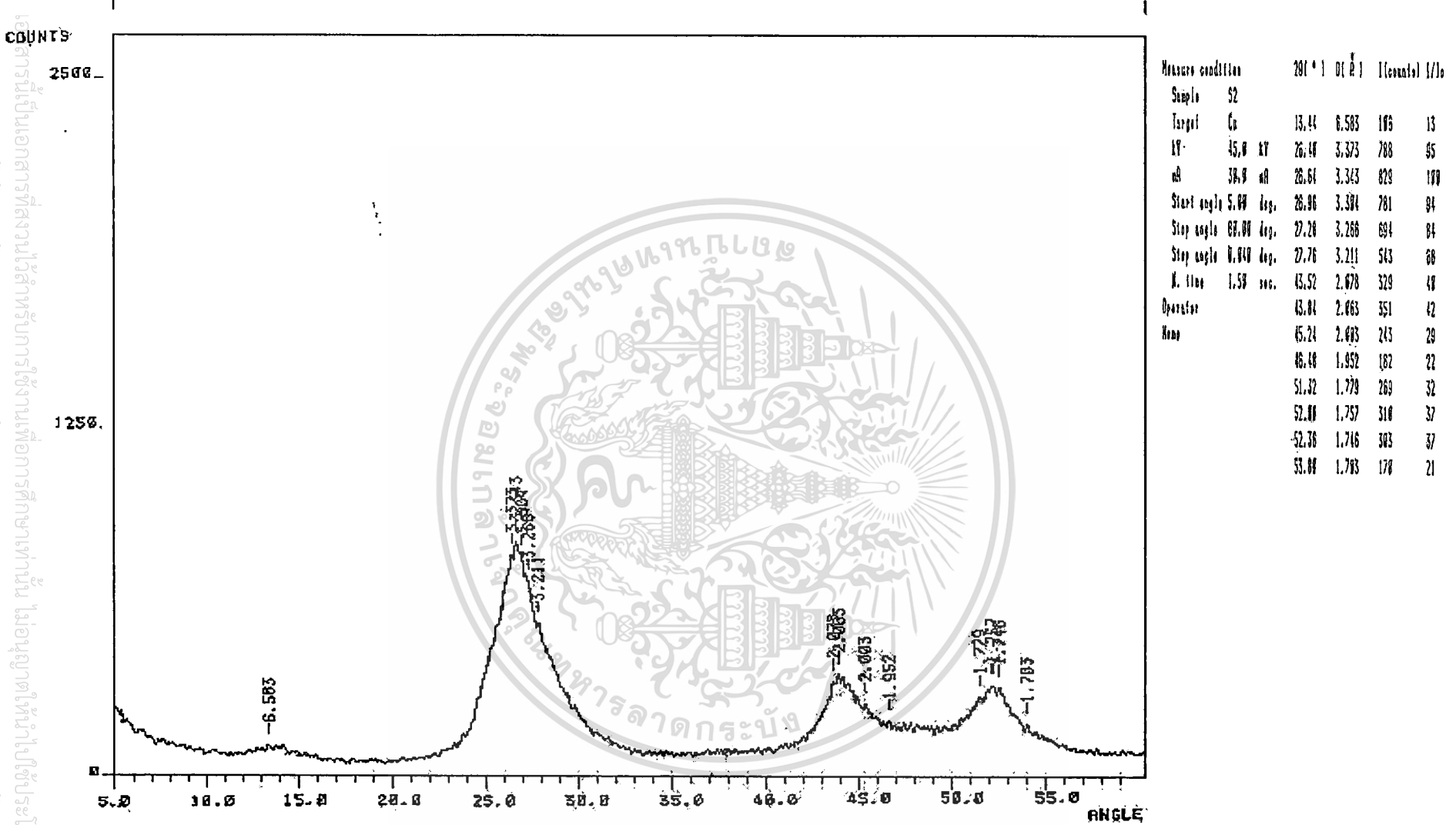
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



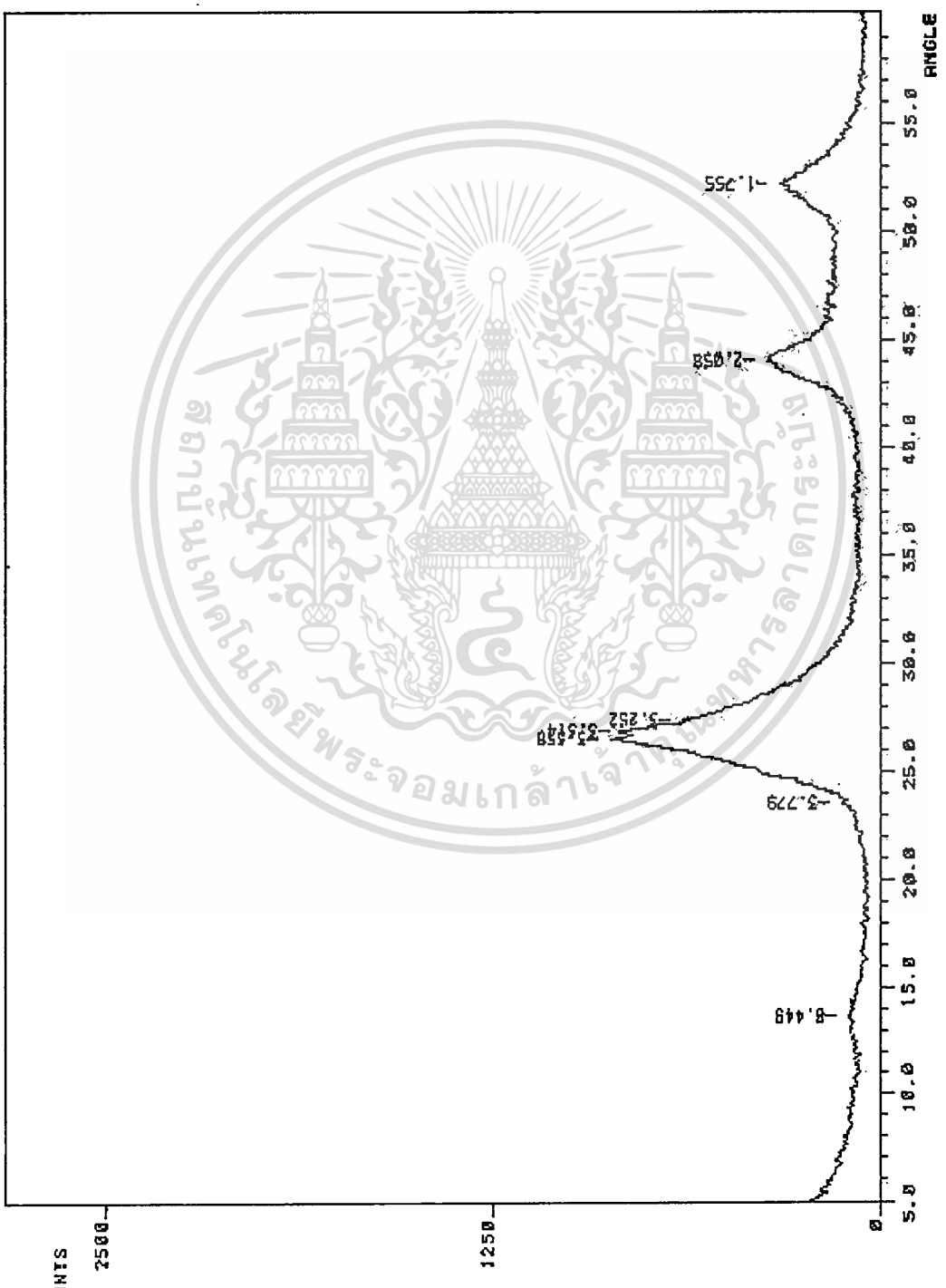
Measure condition			2θ(°)	D(Å)	(counts)	I/Io
Sample	S1					
Target	Cu		23.56	3.773	3512	38
kV	45.0	kV	29.78	3.000	9135	100
mA	36.0	mA	41.36	2.181	1006	11
Start angle	5.00	deg.	43.72	2.069	2407	26
Stop angle	66.00	deg.	45.48	1.996	1361	15
Step angle	0.040	deg.	48.08	1.891	268	3
M. time	1.50	sec.	51.72	1.766	1229	13
Operator			55.68	1.649	688	7
None			56.16	1.636	772	8

ภาพที่ 6.1 แสดง diffractogram ของผงสีที่มีอัตราส่วนของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียม 0 : 0 : 1 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส



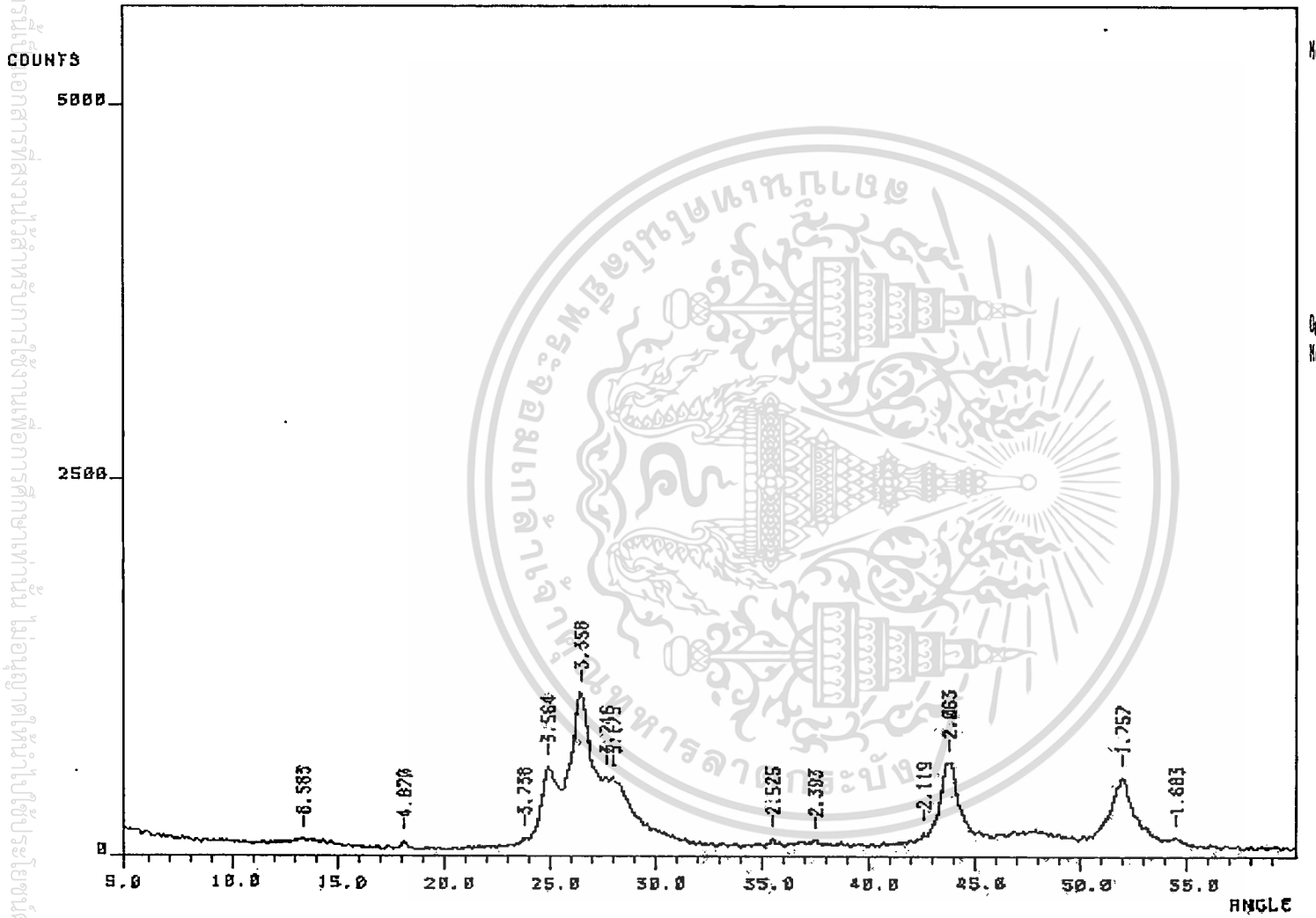
Measure condition			2θ[°]	D[Å]	I(counts)	I/Io
Sample	52					
Target	Cu		13.44	6.583	165	13
kV	45.0	kV	26.48	3.373	788	65
mA	30.0	mA	26.64	3.343	829	100
Start angle	5.000	deg.	26.96	3.304	781	94
Stop angle	69.000	deg.	27.20	3.276	694	84
Step angle	0.040	deg.	27.76	3.211	543	66
M. time	1.50	sec.	45.52	2.078	329	40
Operator			43.84	2.063	351	42
Name			45.24	2.003	243	29
			46.48	1.952	182	22
			51.32	1.779	269	32
			52.08	1.757	310	37
			52.38	1.746	303	37
			53.08	1.723	170	21

ภาพที่ 6.2 แสดง diffractogram ของผงสีที่มีอัตราส่วนของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียม 1 : 0 : 0 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส



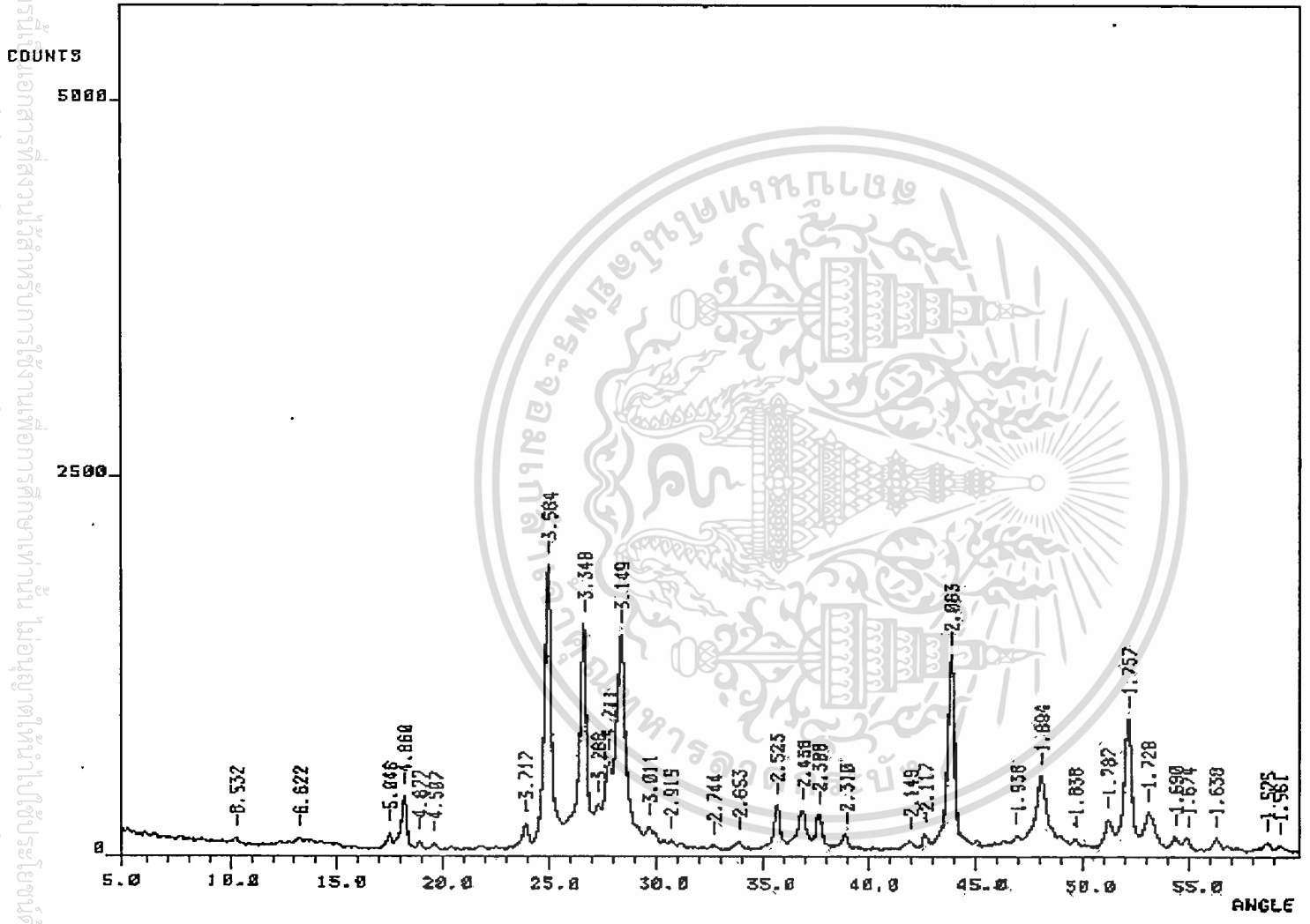
ภาพที่ 6.3 แสดง diffractogram ของผงสีที่มีอัตราส่วนของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อก้ามะถันต่อซิงค์เป็น 1 : 0 : 0 ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



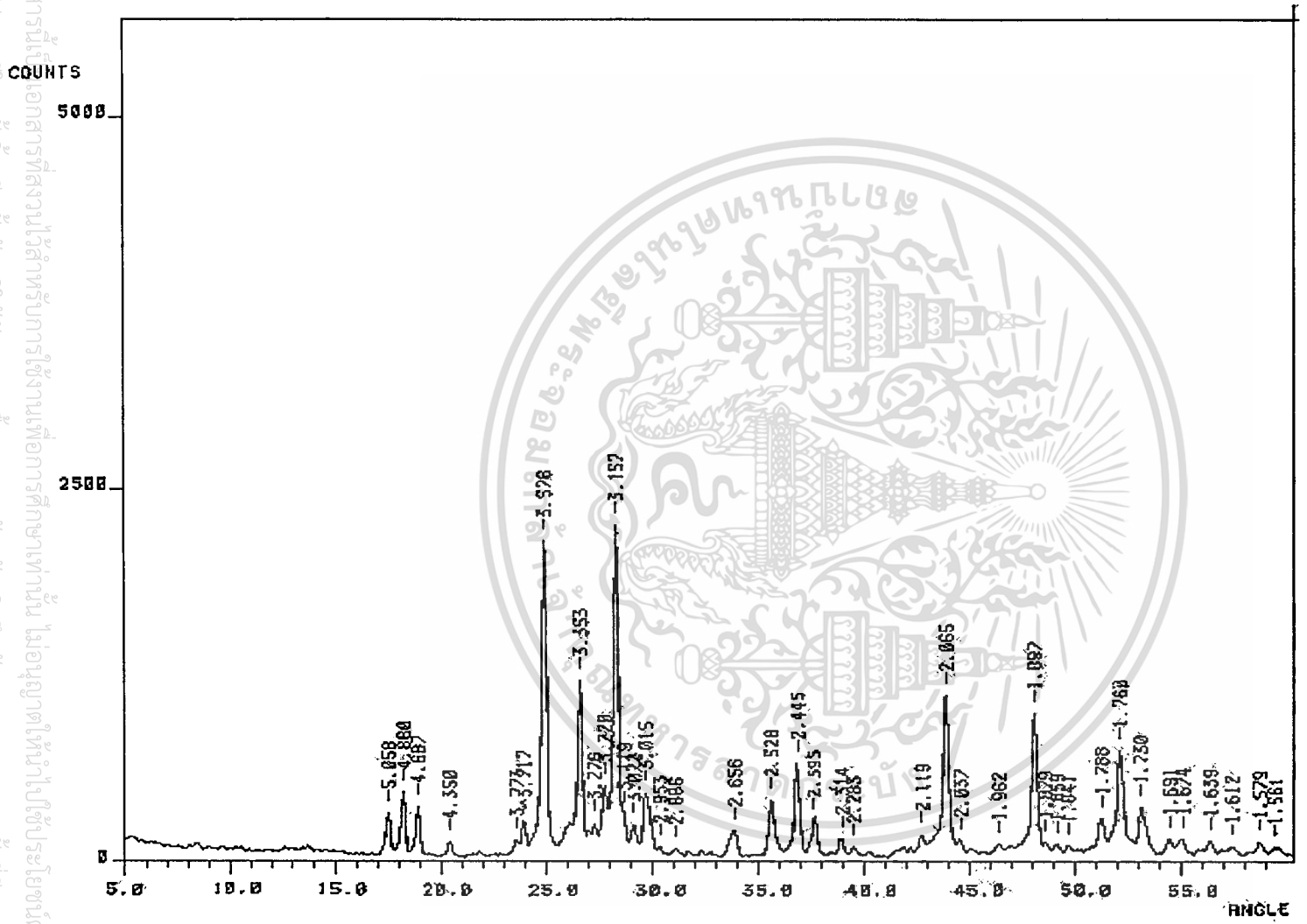
Measure condition			2θ(°)	D(Å)	I(counts)	I/Io
Sample	S4					
Target	Cu		13.48	6.563	103	10
kV	45.0	kV	18.20	4.870	95	9
mA	30.0	mA	23.80	3.736	113	10
Start angle	5.00	deg.	24.96	3.564	591	55
Stop angle	60.00	deg.	26.52	3.358	1081	100
Step angle	0.040	deg.	27.72	3.216	523	48
M. time	1.50	sec.	28.68	3.175	514	48
Operator			35.52	2.525	114	11
Memo			37.56	2.393	99	9
			42.64	2.119	151	14
			43.84	2.063	622	58
			52.00	1.757	523	48
			54.48	1.683	120	11

ภาพที่ 6.4 แสดง diffractogram ของผงสีที่มีอัตราส่วนของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียม 1 : 0 : 0 ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



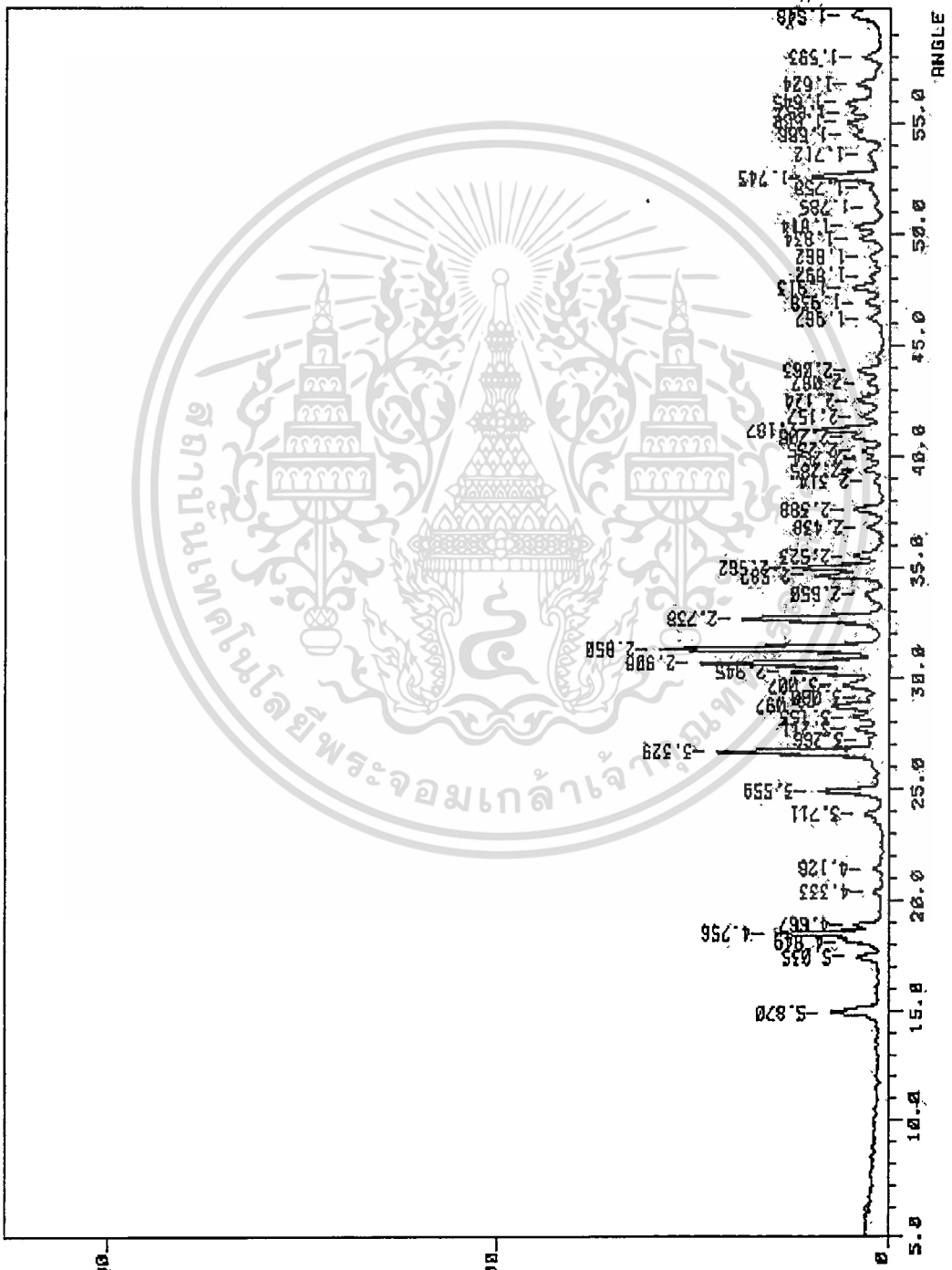
Measure condition			2θ(°)	D(Å)	I(counts)	I/Io
Sample	55					
Target	Cu		10.36	8.532	101	5
kV	45.0	kV	13.36	6.622	166	5
mA	30.0	mA	17.56	5.046	143	7
Start angle	5.00	deg.	18.24	4.860	393	28
Stop angle	60.00	deg.	18.98	4.677	89	5
Step angle	0.020	deg.	19.68	4.502	79	4
M. time	1.50	sec.	23.92	3.717	218	11
Operator			24.96	3.564	1934	100
None			26.60	3.348	1541	68
			27.28	3.266	343	18
			27.76	3.211	622	32
			28.32	3.149	1472	76
			28.64	3.011	198	10
			30.64	2.915	99	5
			32.60	2.744	66	3
			33.76	2.653	99	5
			35.56	2.523	342	16
			36.84	2.438	299	15
			37.64	2.388	271	14
			38.96	2.310	148	7
			42.00	2.149	107	6
			42.68	2.117	146	8
			43.84	2.063	1341	69
			46.68	1.936	145	7
			48.00	1.894	548	28
			49.56	1.838	126	7
			51.08	1.787	257	13
			52.00	1.757	927	48
			52.96	1.728	308	16
			54.24	1.690	145	7
			54.88	1.674	134	7
			56.12	1.638	132	7
			58.56	1.575	105	5
			59.12	1.561	91	5

ภาพที่ 6.5 แสดง diffractogram ของผงสีที่มีอัตราส่วนของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียม 1 : 0 : 0 ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส



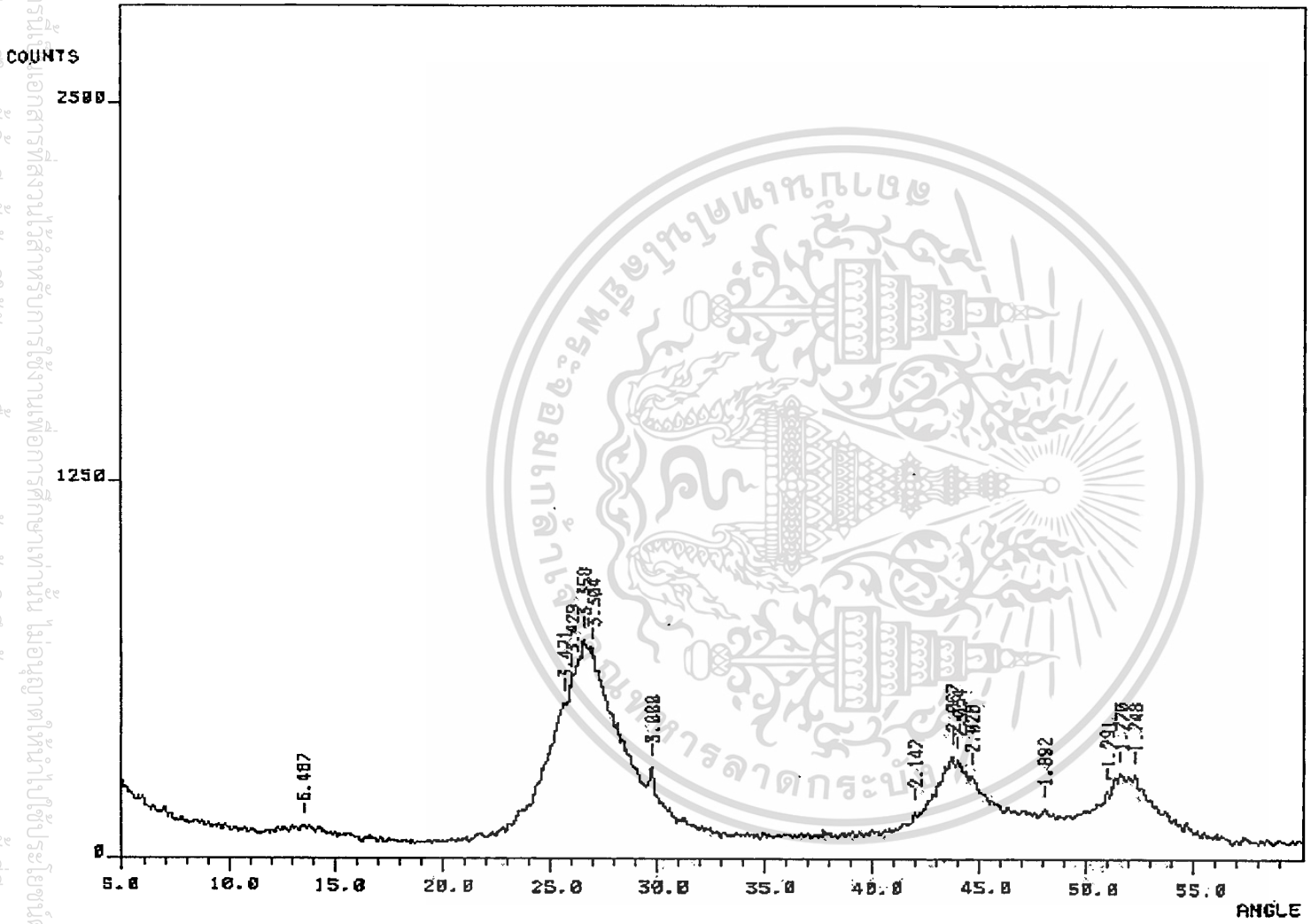
Measure condition			2θ(°)	D(Å)	I(counts)	I/I0
Sample	SG					
Target	Cu		17.52	5.058	333	15
kV	45.0	kV	18.24	4.860	471	21
mA	30.0	mA	18.92	4.687	378	17
Start angle	5.00	deg.	20.40	4.350	148	6
Stop angle	60.00	deg.	23.56	3.773	151	7
Step angle	0.040	deg.	23.92	3.717	278	12
M. time	1.50	sec.	24.88	3.576	2146	95
Operator			26.56	3.353	1224	54
Memo			27.28	3.276	264	12
			27.88	3.228	517	23
			28.24	3.157	2260	100
			28.60	3.119	326	14
			29.04	3.072	258	11
			29.60	3.015	468	21
			30.24	2.953	105	5
			30.96	2.886	95	4
			33.72	2.656	219	10
			35.48	2.528	419	19
			35.72	2.445	668	30
			37.56	2.393	315	14
			38.80	2.314	162	7
			39.44	2.283	107	5
			42.64	2.119	198	8
			43.80	2.065	1122	50
			44.44	2.037	148	7
			46.24	1.962	126	6
			47.92	1.897	1084	44
			48.48	1.879	136	6
			48.96	1.859	122	5
			49.48	1.841	113	5
			51.84	1.768	301	13
			51.92	1.768	758	33
			52.68	1.738	388	17
			54.28	1.691	162	7
			54.68	1.674	164	7
			56.08	1.639	156	7
			57.08	1.612	112	5
			58.48	1.579	143	6
			59.12	1.561	100	4

ภาพที่ 6.6 แสดง diffractogram ของผงสีที่มีอัตราส่วนของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียม 1 : 0 : 0 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส



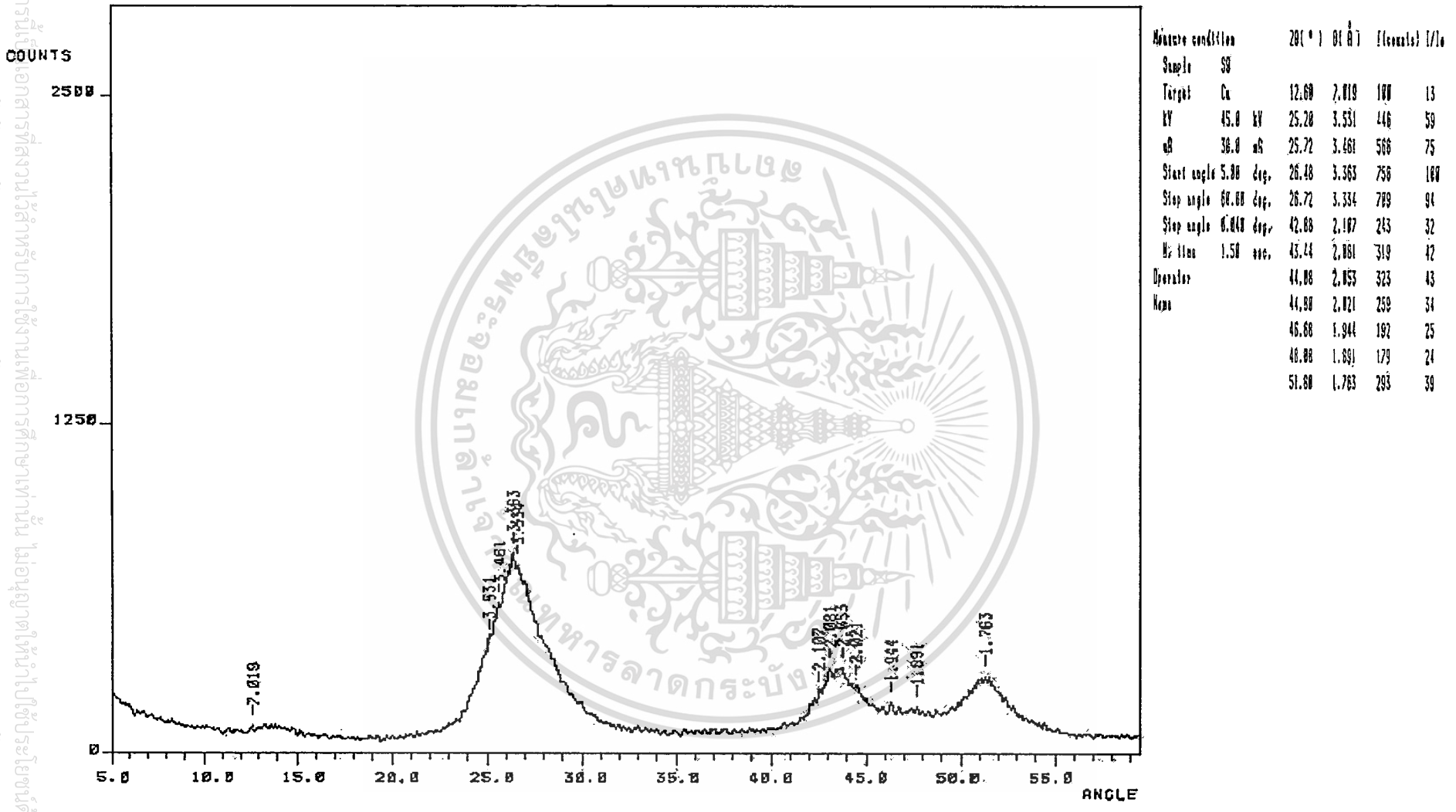
ภาพที่ 6.7 แสดง diffractogram ของผงสีที่มีอัตราส่วนของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อก้ามะถันต่อซเลเนียม 1 : 0 : 0 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

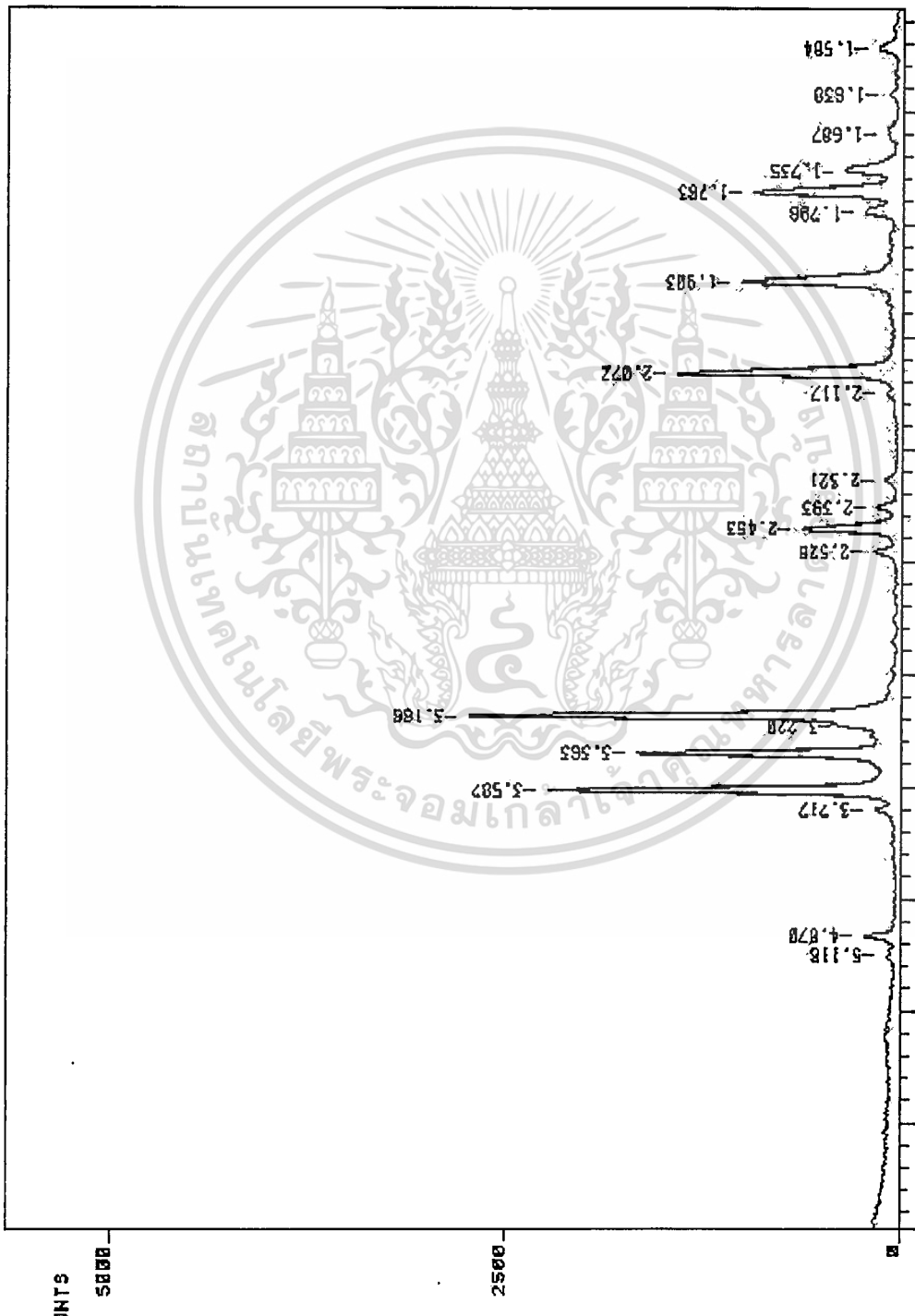


Measure condition			2θ(°)	D(Å)	I(counts)	I/I0
Sample	SB					
Target	Cu		13.64	6.487	196	15
kV	45.0	kV	25.64	3.471	528	72
mA	30.0	mA	25.96	3.429	603	83
Start angle	5.00	deg.	26.52	3.358	727	100
Stop angle	60.00	deg.	26.96	3.304	691	95
Step angle	0.040	deg.	29.76	3.000	305	42
M. time	1.50	sec.	42.84	2.147	168	22
Operator			43.76	2.067	343	47
Mage			44.84	2.054	328	45
			44.64	2.028	276	38
			48.84	1.892	169	23
			50.96	1.791	231	32
			51.60	1.770	288	40
			52.20	1.748	288	40

ภาพที่ 6.8 แสดง diffractogram ของผงสีที่มีอัตราส่วนของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียม 1 : 1 : 0.02 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

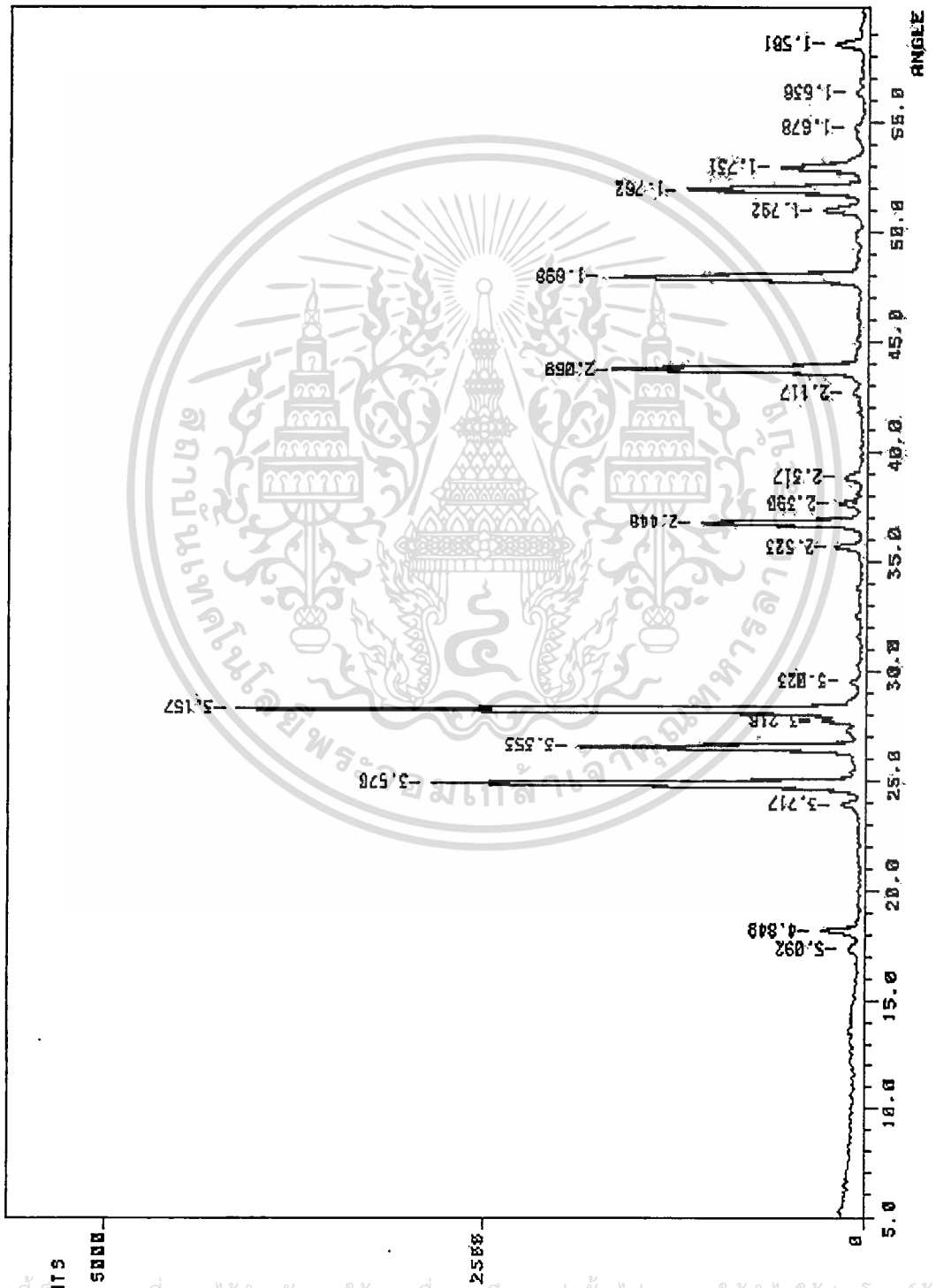


ภาพที่ 6.9 แสดง diffractogram ของผงสีที่มีอัตราส่วนของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียม 1 : 1 : 0.02 ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส



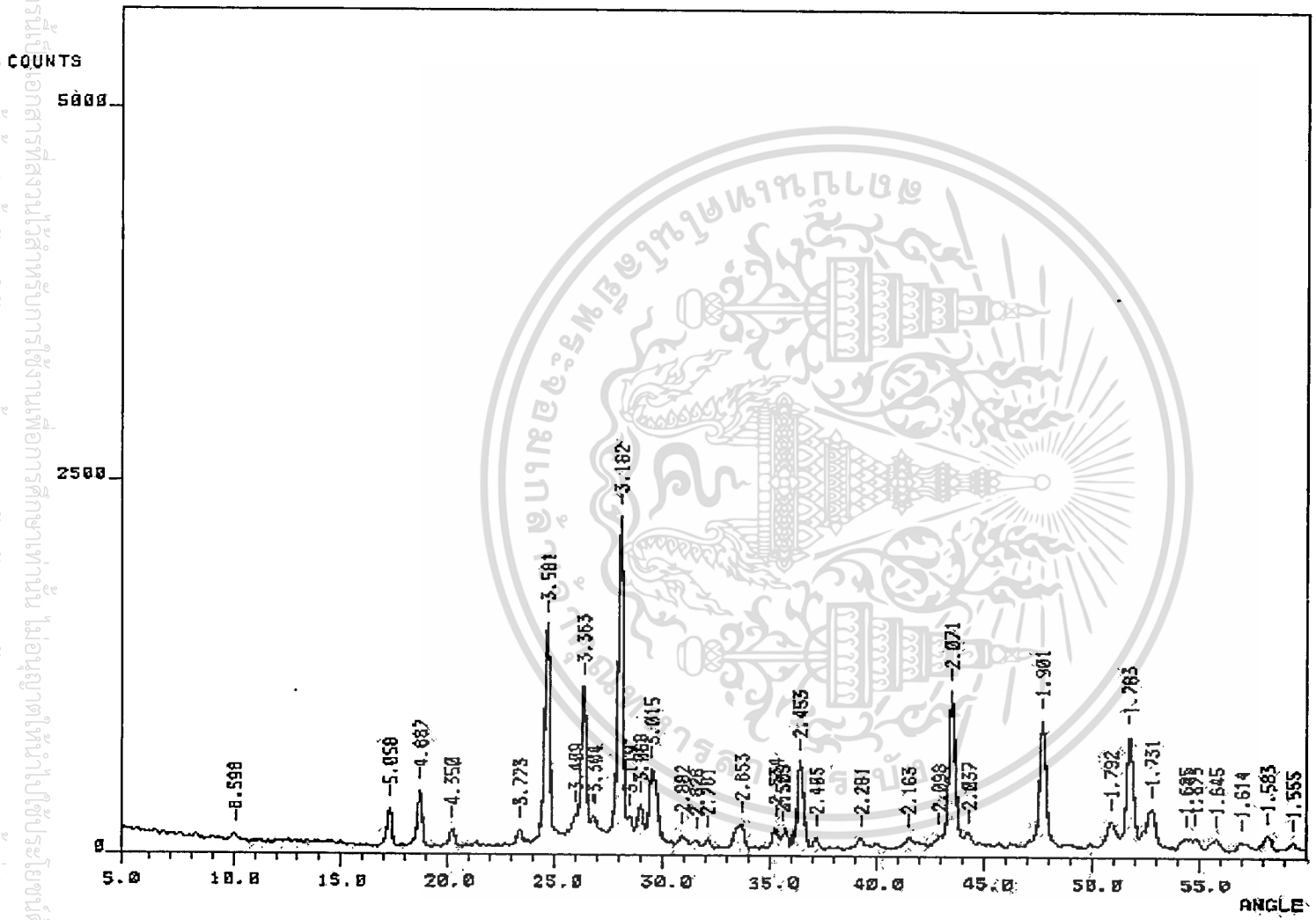
ภาพที่ 6.10 แสดง diffractogram ของผงสีที่มีอัตราส่วนของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อก้ามะถันต่อซิงค์เป็น 1 : 1 : 0.02 ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



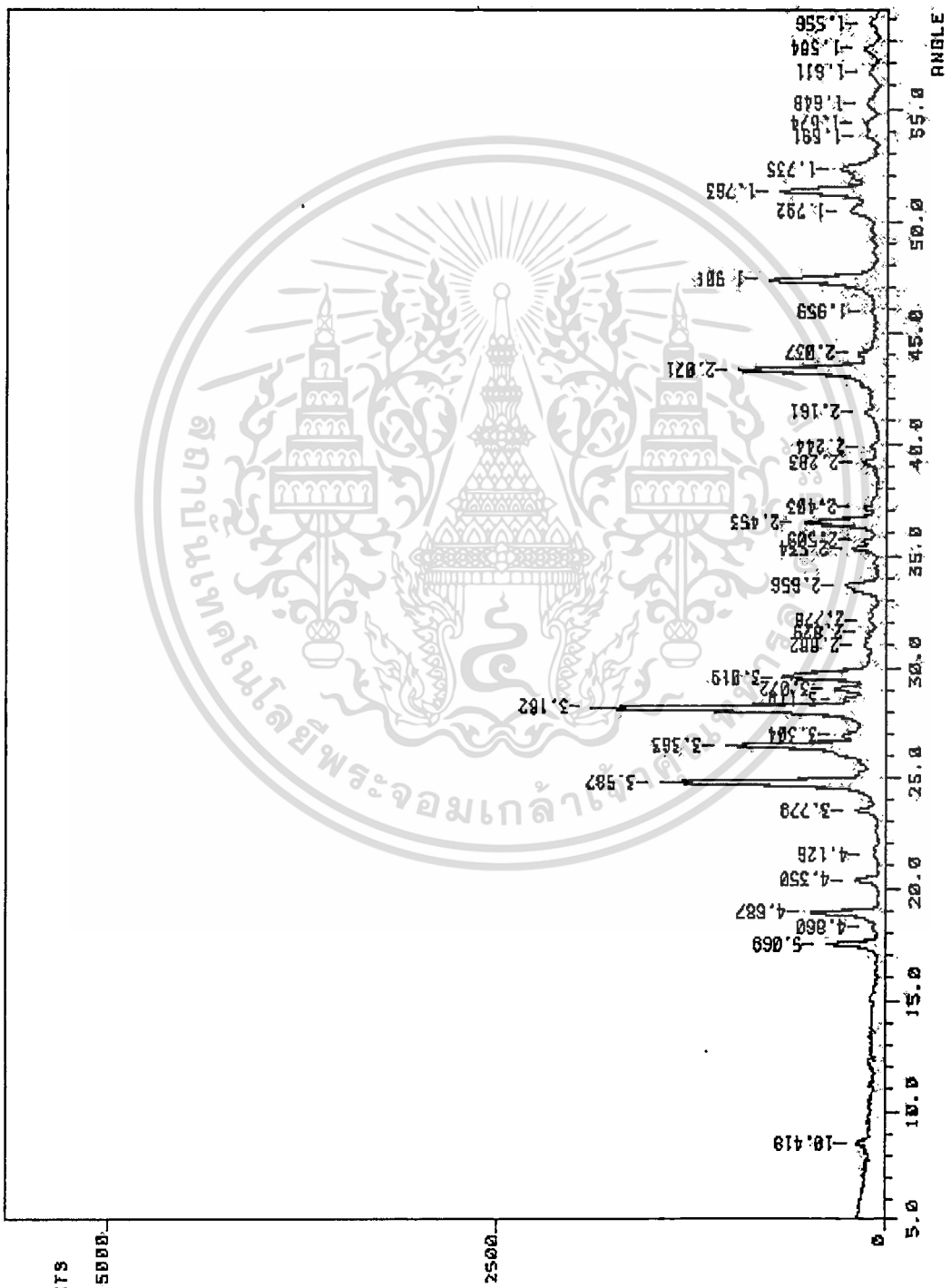
ภาพที่ 6.11 แสดง diffractogram ของผงสีที่มีอัตราส่วนของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อก้ามะถันต่อเซลเลเนียม 1 : 1 : 0.02 ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



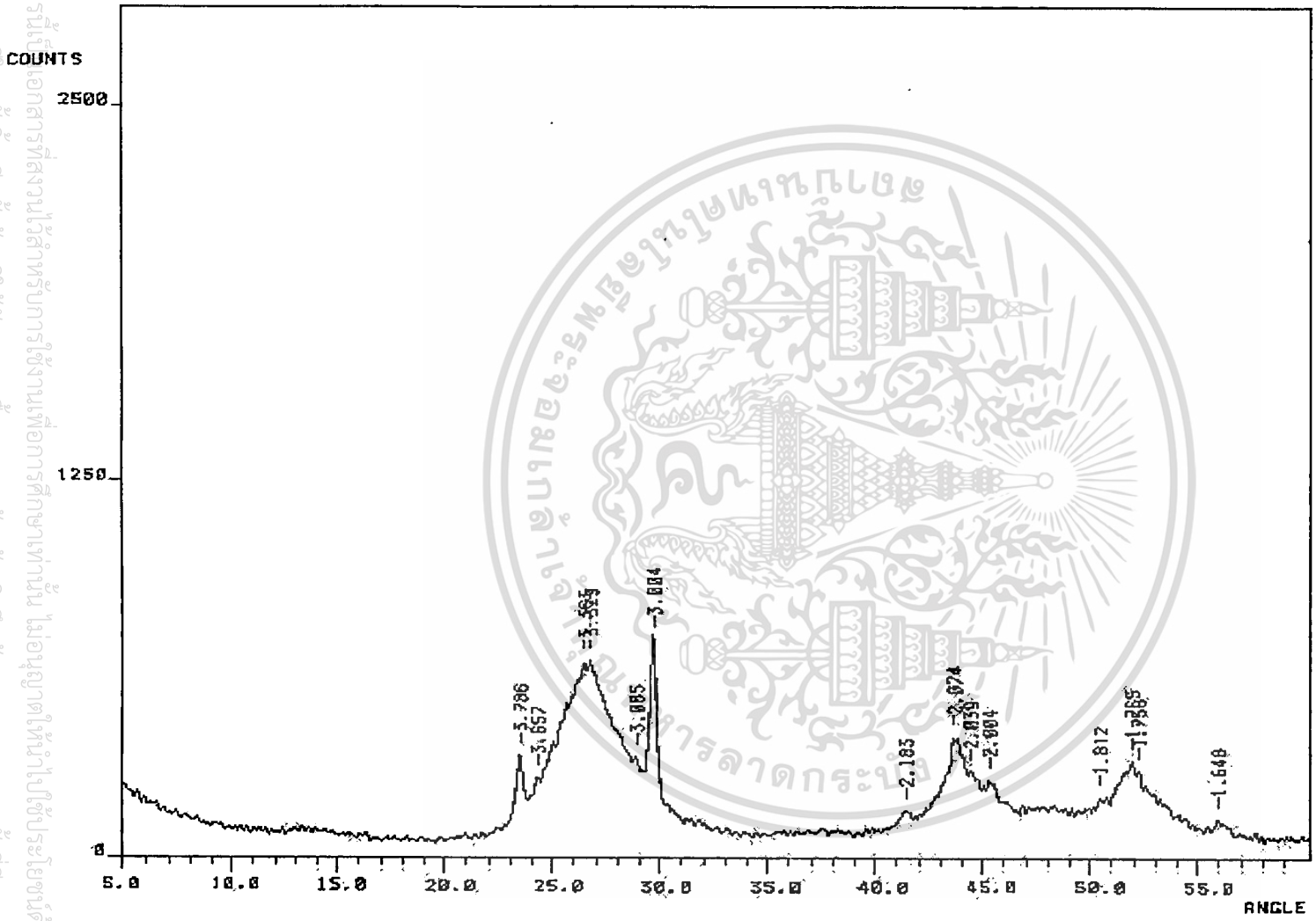
Measure condition			2θ(°)	D(Å)	I(counts)	I/Io
Sample	S12					
Target	Cu		10.28	8.598	121	5
kV	45.0	kV	17.52	5.058	298	13
mA	30.0	mA	18.92	4.687	416	18
Start angle	5.00	deg.	20.40	4.350	164	7
Stop angle	60.00	deg.	23.56	3.773	157	7
Step angle	0.040	deg.	24.84	3.581	1536	68
M. time	1.50	sec.	26.12	3.409	265	12
Operator			26.48	3.363	1128	50
Memo			26.96	3.304	258	11
			28.28	3.162	2262	100
			28.68	3.119	246	11
			29.08	3.068	326	14
			29.60	3.015	572	25
			31.00	2.882	119	5
			31.64	2.826	97	4
			32.16	2.781	103	5
			33.76	2.653	203	9
			35.40	2.534	168	7
			35.76	2.509	123	5
			36.60	2.453	638	28
			37.36	2.405	117	5
			39.48	2.281	119	5
			41.72	2.163	126	6
			43.08	2.098	137	6
			43.68	2.071	1098	49
			44.44	2.037	153	7
			47.08	1.901	918	41
			50.92	1.792	243	11
			51.80	1.763	809	36
			52.84	1.731	322	14
			54.48	1.685	134	6
			54.84	1.673	135	6
			55.84	1.645	129	6
			57.00	1.614	106	5
			58.24	1.583	148	7
			59.48	1.555	105	5

ภาพที่ 6.12 แสดง diffractogram ของผงสีที่มีอัตราส่วนของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียม 1 : 1 : 0.02 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส



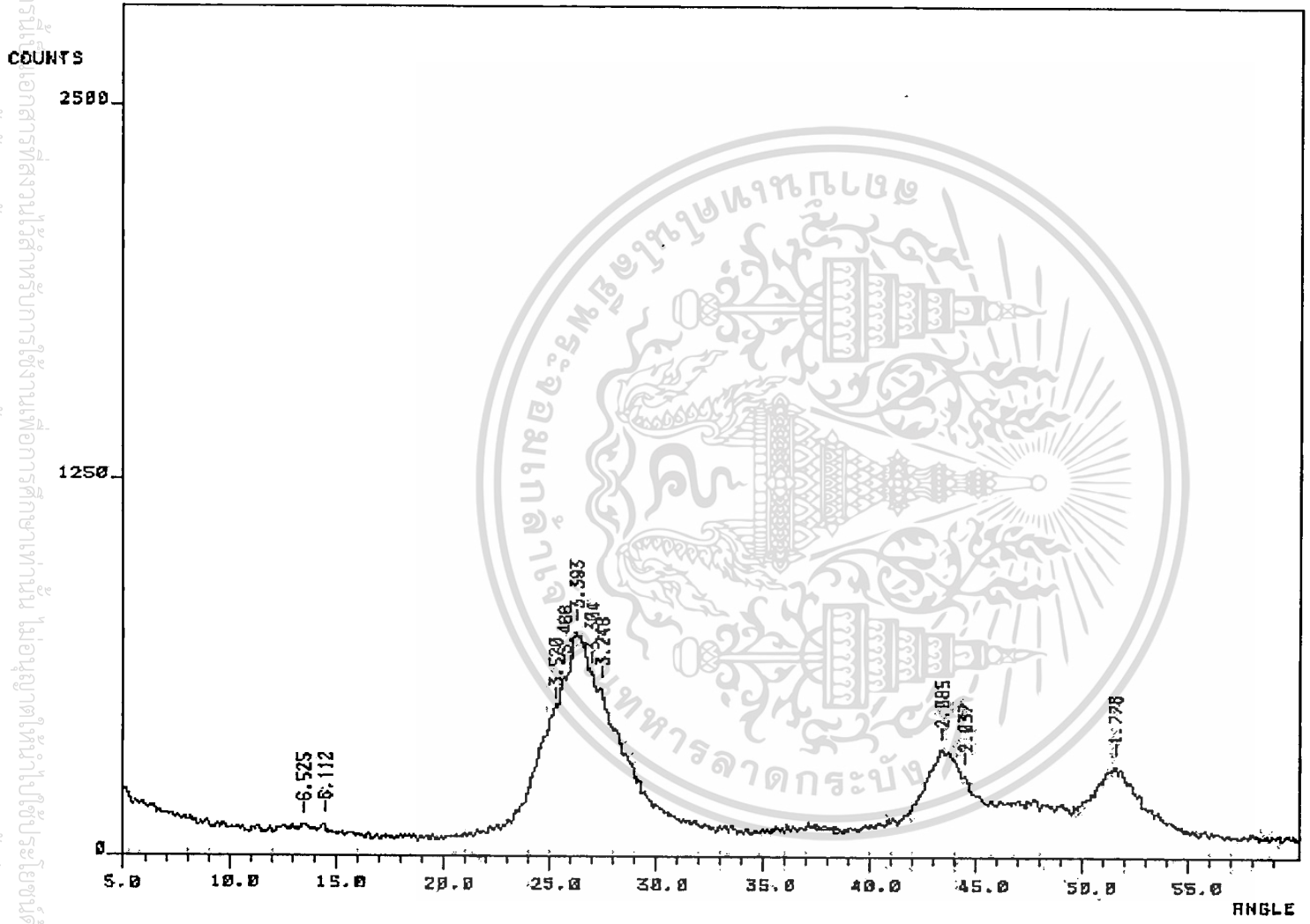
ภาพที่ 6.13 แสดง diffractogram ของผงสีที่มีอัตราส่วนของเคดเมียมซัลไฟด์ต่อก้ามะถันต่อเซเลเนียม 1 : 1 : 0.02 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



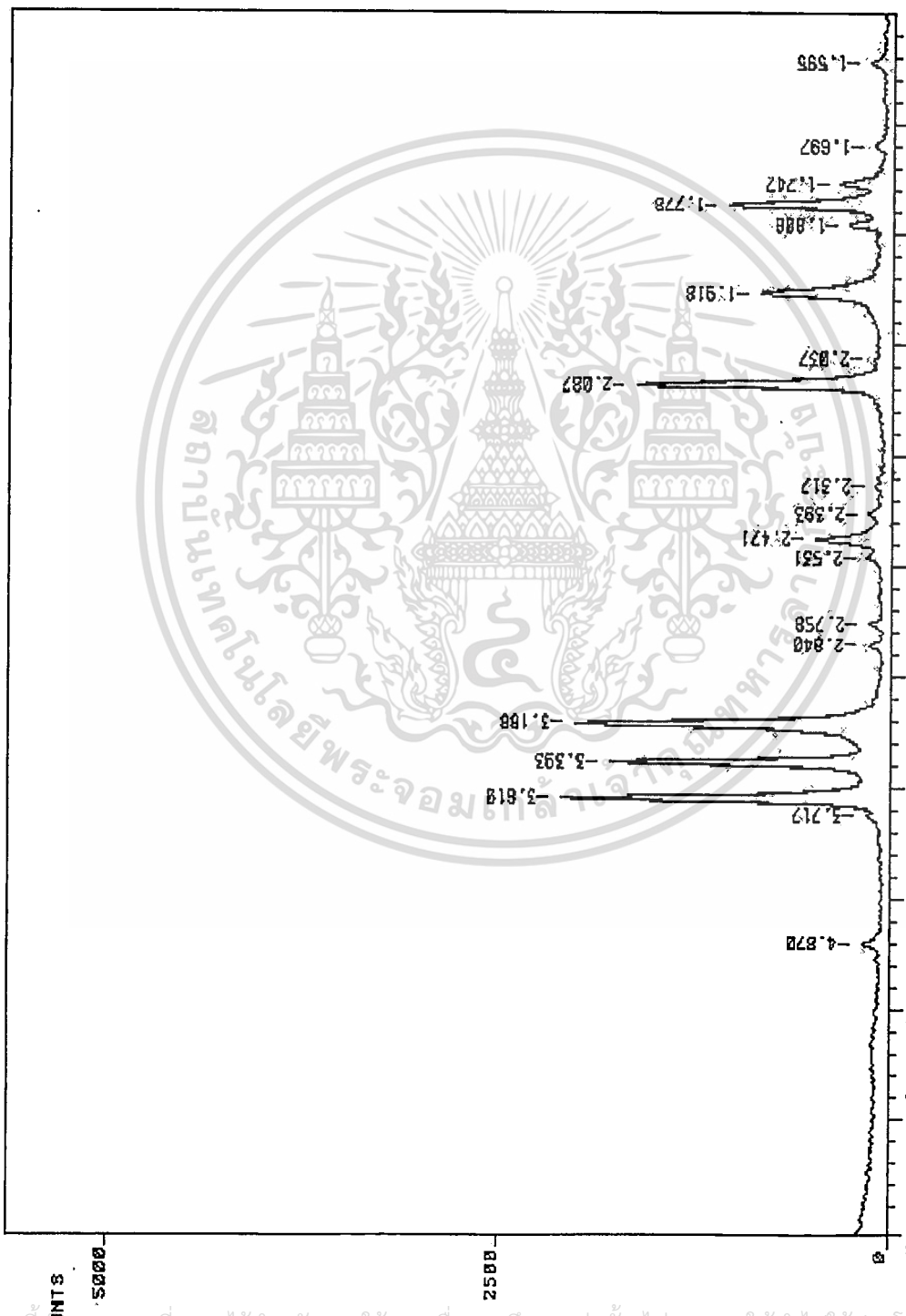
Measure condition			2θ(°)	d(Å)	I(counts)	I/Io
Sample	S14					
Target	Cu		23.48	3.786	341	47
kV	45.0	kV	24.32	3.657	266	36
mA	30.0	mA	26.48	3.363	651	89
Start angle	5.00	deg.	26.76	3.329	659	90
Stop angle	60.00	deg.	28.92	3.085	340	47
Step angle	0.040	deg.	29.72	3.004	730	100
M. time	1.50	sec.	41.32	2.183	163	22
Operator			43.68	2.074	404	55
Name			44.48	2.039	294	40
			45.28	2.004	261	36
			50.32	1.812	206	28
			51.76	1.765	329	45
			52.84	1.756	299	41
			55.72	1.648	136	19

ภาพที่ 6.14 แสดง diffractogram ของผงสีที่มีอัตราส่วนของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียม 1 : 1 : 0.10 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส



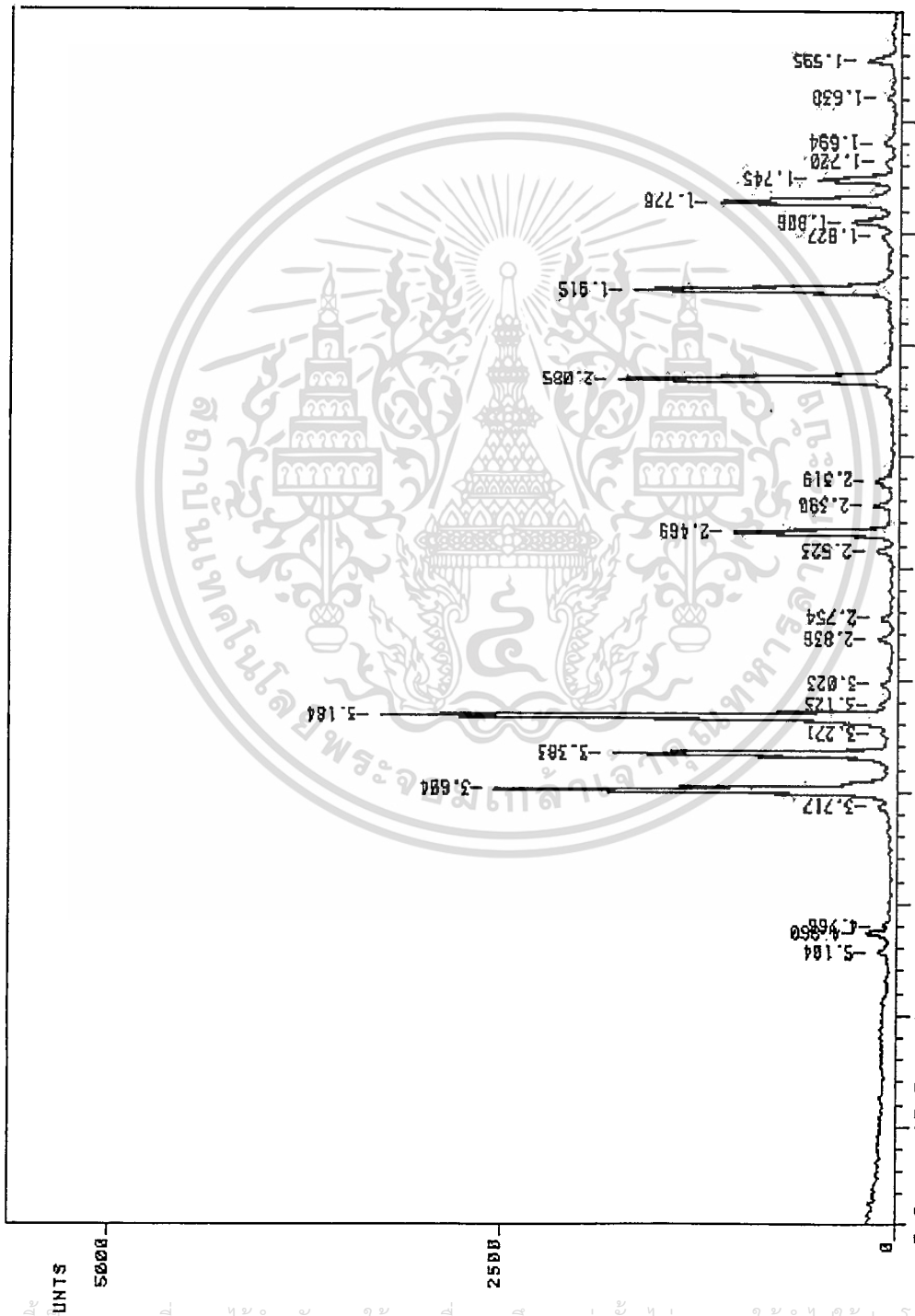
Measure condition			2θ(°)	d(Å)	I(counts)	I/Io
Sample	515					
Target	Cu		13.56	6.525	188	13
kV	45.0	kV	14.48	6.112	102	14
mA	38.0	mA	25.28	3.520	504	68
Start angle	5.00	deg.	25.88	3.466	595	80
Stop angle	60.00	deg.	26.24	3.393	745	100
Step angle	0.040	deg.	26.96	3.304	605	81
M. time	1.50	sec.	22.44	3.246	554	74
Operator			43.36	2.085	351	47
Memo			44.44	2.037	272	37
			51.48	1.778	306	41

ภาพที่ 6.15 แสดง diffractogram ของผงสีที่มีอัตราส่วนของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อกำมะถันต่อเซเลเนียม 1 : 1: 0.10 ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส



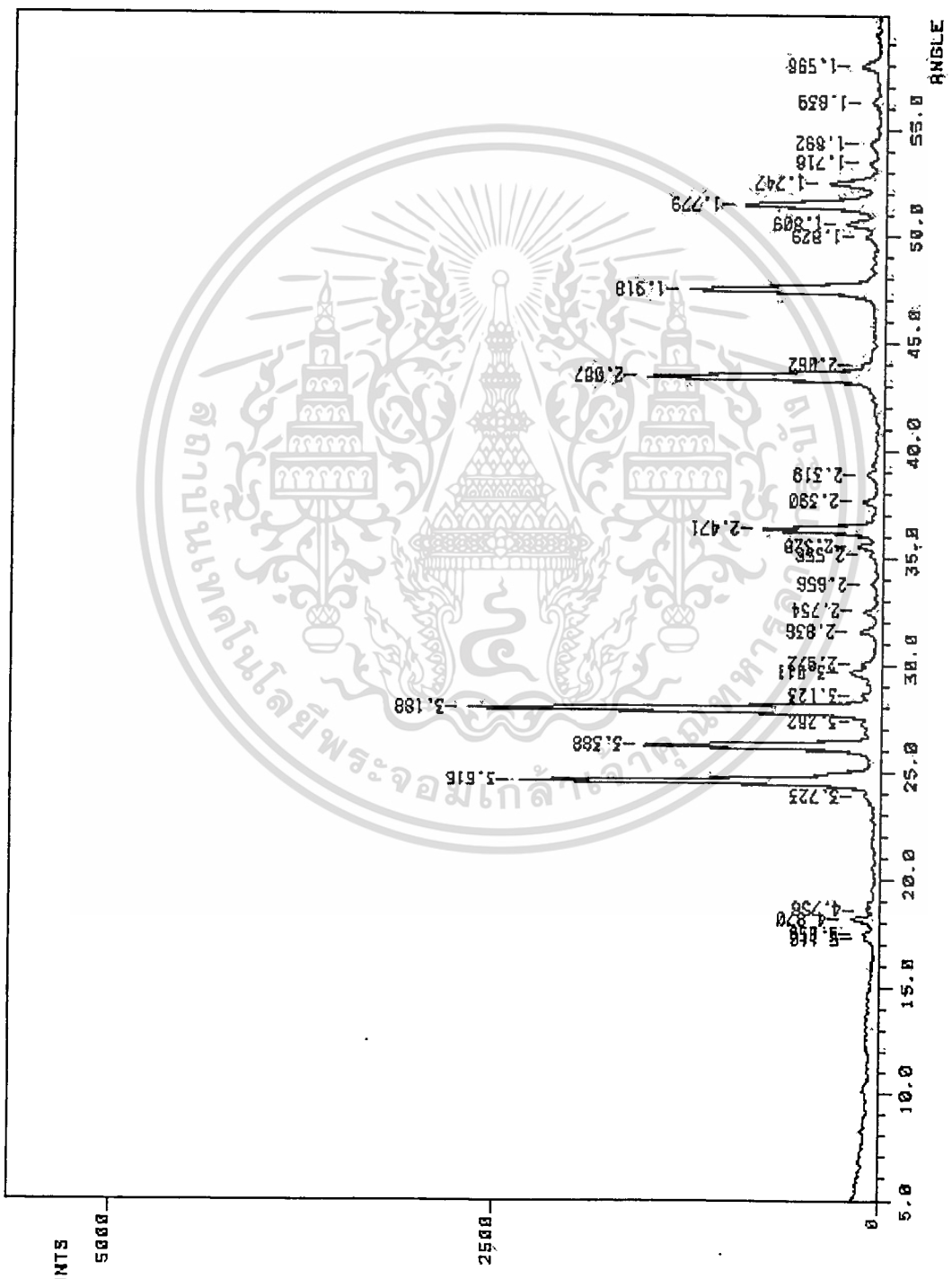
ภาพที่ 6.16 แสดง diffractogram ของผงสีที่มีอัตราส่วนของแคลเซียมซัลไฟด์ต่อก๊าซธาตุต่อเซเลเนียม 1 : 1 : 0.10 ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.17 แสดง diffractogram ของผงสีที่มีอัตราส่วนของเคดเมียมซัลไฟด์ต่อก้ามะถันต่อเซเลเนียม 1 : 1 : 0.10 ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.18 แสดง diffractogram ของผงสีที่มีอัตราส่วนของแคลเซียมซัลไฟด์ต่อก๊าซถ่านต่อซีเรเนียม 1 : 1 : 0.10 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายทรงพล กายบริบูรณ์
วัน เดือน ปี เกิด	6 กันยายน 2514
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	112 ค. 9/11 โรงไฟฟ้าพระนครใต้ ถนนปู่เจ้าสมิงพราย อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ
สถานที่ทำงาน	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โรงไฟฟ้าพระนครใต้ อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ
ตำแหน่ง	นักวิทยาศาสตร์ระดับ 5
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2534 สำเร็จการศึกษาอนุปริญญาวิทยาศาสตร์ (เคมีปฏิบัติ) จากสถาบันราชภัฏจันทรเกษม ปีการศึกษา 2536 สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) จากสถาบันราชภัฏจันทรเกษม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้