

ประสิทธิภาพของผิวเลือกรังสี

ปริญญานิพนธ์

ของ

โชคชัย อัครินชัย

สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ต.ข.ม.ว. 23 พระโขนง กรุงเทพฯ 11 โทร. 3921575, 3915058

27 ก.ย. 2525

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

เมษายน 2524

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

90731

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยด้วยเงินงบประมาณแผ่นดิน

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิสิตและคณะกรรมการสอบ ได้พิจารณา
ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
การศึกษามหาบัณฑิตของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการที่ปรึกษา

มติที่ ๑๖๕-๐-๑. ประธาน
[Signature] กรรมการ

คณะกรรมการสอบ

มติที่ ๑๖๕-๐-๑. ประธาน
[Signature] กรรมการ
[Signature] กรรมการ

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำอย่างดียิ่ง
จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญเรือง แก้วสะอาด ประธานกรรมการที่ปรึกษา และ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงศรี วิมลวนิชย์ กรรมการที่ปรึกษา ทั้งยังได้รับความ
เอื้อเฟื้อจาก กองบริการอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ในการขุดผิวโลหะ
นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้รับความช่วยเหลือจาก กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์
เทคโนโลยีและการพลังงานในการวัดค่าสภาพสะท้อนรังสี ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และขอกราบ
ขอบพระคุณสถาบัน และท่านที่กล่าวมานี้เป็นอย่างสูง

โชคชัย อัครวินชัย

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า	4
ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า	4
ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า	5
คำนิยามศัพท์เฉพาะ	5
2 ทฤษฎีและเอกสารการวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
ทฤษฎี	8
กฎของเคอร์ชอฟฟ์	8
พารามิเตอร์ของผิวเลือกรังสี	9
การแผ่รังสีของวัตถุดำ	11
เอกสารการวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
3 เครื่องมือและวิธีดำเนินการ	14
เครื่องมือ	14
หลักการทำงานของ Spectrophotometer Beckman DK-2A	14
วิธีดำเนินการ	17
เตรียมวัสดุที่จะนำมาใช้ในการทดลอง	18
เคลือบผิววัสดุที่ใช้ในการทดลองให้เป็นสีค่า	18
วัดค่าสภาพสะท้อนรังสี	21
คำนวณค่าสภาพดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ (α_s) ค่าสภาพแผ่รังสี	
ความร้อน (E_{TH}) และคำนวณค่า α_s/E_{TH}	21

4 ผลการทดลองและการคำนวณ	24
การคำนวณค่าสภาพถูกคลื่นรังสีดวงอาทิตย์ (α_s) ของวัสดุ	31
ผลการคำนวณค่า α_s ของ อลูมิเนียม ทองแดง และเหล็ก	
ทางสี่ค่า	34
ผลการคำนวณค่า α_s ของอลูมิเนียมไนโคซ์ เคลือบสี่ค่าด้วย	
วิธีเคมี	36
ผลการคำนวณค่า α_s ของทองแดงเคลือบสี่ค่าด้วยวิธีเคมี	38
ผลการคำนวณค่า α_s ของเหล็กเคลือบสี่ค่าด้วยวิธีเคมี	40
การคำนวณค่าสภาพแผ่รังสีความร้อน (ϵ_{TH}) ของวัสดุ	41
ผลการคำนวณค่า ϵ_{TH} ของอลูมิเนียม ทองแดง และเหล็ก	
ทางสี่ค่า	42
ผลการคำนวณค่า ϵ_{TH} ของอลูมิเนียมไนโคซ์เคลือบสี่ค่า	
ด้วยวิธีเคมี	43
ผลการคำนวณค่า ϵ_{TH} ของทองแดงเคลือบสี่ค่าด้วยวิธีเคมี	44
ผลการคำนวณค่า ϵ_{TH} ของเหล็กเคลือบสี่ค่าด้วยวิธีเคมี	45
5 บทขอ สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	47
ความมุ่งหมายของการศึกษาครั้งนี้	47
วิธีดำเนินการศึกษาครั้งนี้	47
สรุปผลการศึกษาครั้งนี้	47
อภิปรายผลการศึกษาครั้งนี้	47
ข้อเสนอแนะ	49
บรรณานุกรม	50
ภาคผนวก	53

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ผิวโลกที่ความยาวคลื่น 350 ถึง 2100 nm	6
2 แสดงค่าสภาพภูฏกกลืนรังสีดวงอาทิตย์และสภาพแผ่รังสีความร้อนของวัสดุบางชนิด	13
3 แสดงค่า $\rho(\lambda)$, $\alpha(\lambda)$ และ $\alpha(\lambda)I_{\lambda}(\lambda)$ ของอลูมิเนียม ทองแดง และเหล็ก หาที่ค่าที่ความยาวคลื่น (λ) ระหว่าง 350 ถึง 2100 nm	32
4 แสดงค่า $\rho(\lambda)$, $\alpha(\lambda)$ และ $\alpha(\lambda)I_{\lambda}(\lambda)$ ของอลูมิเนียมไนไตรด์ เคลือบสีค่าด้วยวิธีเคมีที่ λ ระหว่าง 350 ถึง 2100 nm	34
5 แสดงค่า $\rho(\lambda)$, $\alpha(\lambda)$ และ $\alpha(\lambda)I_{\lambda}(\lambda)$ ของทองแดงเคลือบสีค่าด้วยวิธีเคมีที่ λ ระหว่าง 350 ถึง 2100 nm	36
6 แสดงค่า $\rho(\lambda)$, $\alpha(\lambda)$ และ $\alpha(\lambda)I_{\lambda}(\lambda)$ ของเหล็กเคลือบสีค่าด้วยวิธีเคมีที่ λ ระหว่าง 350 ถึง 2100 nm	38
7 แสดงค่า $\rho(\lambda)$, $\epsilon(\lambda)$ และ $\epsilon(\lambda)I_b(\lambda)$ ของอลูมิเนียม ทองแดง และเหล็ก หาที่ค่าที่ λ ระหว่าง 2000 ถึง 2700 nm	42
8 แสดงค่า $\rho(\lambda)$, $\epsilon(\lambda)$ และ $\epsilon(\lambda)I_b(\lambda)$ ของอลูมิเนียมไนไตรด์เคลือบสีค่าด้วยวิธีเคมีที่ λ ระหว่าง 2000 ถึง 2700 nm	43

9	แสดงค่า $\rho(\lambda)$, $\epsilon(\lambda)$ และ $\epsilon(\lambda) I_b(\lambda)$ ของทองแดงเคลือบสีค่าด้วยวิธีเคมีที่ λ ระหว่าง 2000 ถึง 2700 nm	44
10	แสดงค่า $\rho(\lambda)$, $\epsilon(\lambda)$ และ $\epsilon(\lambda) I_b(\lambda)$ ของเหล็กเคลือบสีค่าด้วยวิธีเคมีที่ λ ระหว่าง 2000 ถึง 2700 nm	45
11	แสดงค่า α_s , ϵ_{TH} และ α_s/ϵ_{TH} ของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	46
12	แสดงค่า $I_x(\lambda)$ ที่ λ ระหว่าง 350 ถึง 2100 nm	54
13	แสดงค่า $I_b(\lambda)$ ที่ λ ระหว่าง 2000 ถึง 2700 nm	56

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1 ลักษณะนิวทรีซระที่สามารถถูกพลังงานแสงอาทิตย์ไ้มาก		12
2 optical diagram ของ Spectrophotometer		15
3 ภาพตัคขบายของนิวอลูมิเนียมอโนไค์		20
4 กราฟแสดงค่าสภาพสะท้อนรังสีของ Al ทาสีค่าเปรียบเทียบกัน MgO.....		25
5 กราฟแสดงค่าสภาพสะท้อนรังสีของ Fe ทาสีค่าเปรียบเทียบกัน MgO.....		26
6 กราฟแสดงค่าสภาพสะท้อนรังสีของ Cu ทาสีค่าเปรียบเทียบกัน MgO.....		27
7 กราฟแสดงค่าสภาพสะท้อนรังสีของ Al anodized เคลือบสีค่า ควยวิธีเคมีเปรียบเทียบกัน MgO		28
8 กราฟแสดงค่าสภาพสะท้อนรังสีของ Cu เคลือบสีค่าควยวิธีเคมี เปรียบเทียบกัน MgO		29
9 กราฟแสดงค่าสภาพสะท้อนรังสีของ Fe เคลือบสีค่าควยวิธีเคมี เปรียบเทียบกัน MgO		30

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

พลังงานเป็นปัจจัยที่จำเป็นอย่างยิ่งในชีวิตประจำวัน ปัจจุบันแนวโน้มของความต้องการทางด้านการพลังงานของประเทศต่าง ๆ ก่อให้เกิดวิกฤตการณ์ในด้านการใช้พลังงาน และการเสาะแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทนแหล่งใหม่ในสภาพที่เหมาะสมทางเศรษฐกิจ และสังคมมากยิ่งขึ้น (Bhanthummavin . 1978 : 3) ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่า วิกฤตการณ์นี้ยังคงเป็นปัญหายิ่งสำหรับประเทศไทยนั้นความต้องการทางด้านการพลังงานได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังจะเห็นได้จากในช่วงเวลา 15 ปี ความต้องการด้านพลังงานของประเทศได้เพิ่มขึ้นจาก 14.65×10^{12} กิโลคาลอรี ในปี พ.ศ. 2503 มาเป็น 18.88×10^{12} กิโลคาลอรี ในปี พ.ศ. 2517 และในปี พ.ศ. 2520 ความต้องการพลังงานของประเทศได้เพิ่มขึ้นเป็น 118.30×10^{12} กิโลคาลอรี (ประพัทธ์ เปรมมณี 2520 : 21) พลังงานที่ใช้สนองความต้องการทั้งหมดของประเทศร้อยละ 80 ได้มาจากน้ำมันดิบ และผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบ ที่ต้องสั่งซื้อมาจากต่างประเทศ ซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี ดังนั้นจึงต้องพัฒนาแหล่งพลังงานที่มีอยู่ภายในประเทศ ทั้งจะเป็นการประหยัดเงินตราที่ต้องสั่งซื้อพลังงานจากต่างประเทศเข้ามาอีกด้วย

จากสภาพทางภูมิศาสตร์ และแหล่งที่ตั้งของประเทศไทย กล่าวคือ ประเทศไทยตั้งอยู่ระหว่างเส้นละติจูด (latitude) 5 ถึง 22 องศาเหนือ และเส้นลองจิจูด (longitude) 96 ถึง 105 องศาตะวันออก ซึ่งอยู่ในบริเวณศูนย์สูตร (equator) พลังงานแสงอาทิตย์มีความเข้มข้นมากในบริเวณนี้ ได้มีการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย และพบว่า ค่าเฉลี่ยของพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วประเทศมีค่าประมาณ 16.7×10^6 จูลต่อตารางเมตรต่อวัน (Exell. 1976 : 24) หรือคิดเป็นกำลังงานได้ประมาณ 600 วัตต์ต่อตารางเมตร ในขณะที่ความ

เพิ่มประมาณ 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร ในวันที่มีท้องฟ้าแจ่มใส และประมาณ 300 วัตต์ต่อตารางเมตร ในวันที่มีเมฆมาก (Exell and Saricari, 1976 : 51) ค่าของพลังงานดังกล่าวนี้ว่ามีศักยภาพสูงพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างดี นอกจากนี้ยังพบว่า พลังงานแสงอาทิตย์เหมาะสมอย่างยิ่งที่จะเป็นพลังงานทดแทนแหล่งใหม่ ทั้งนี้เพราะพลังงานแสงอาทิตย์มีสมบัติเหมาะสมตามเกณฑ์ของการพิจารณาในหัวข้อต่อไปนี้ (Kharil, 1978 : 24 - 29)

1. ความพร้อมและแหล่งพลังงานที่มีอยู่
2. อัตราการเติบโตของพลังงาน
3. ลักษณะเฉพาะของพลังงานที่ผลิตออกมา
4. อายุของแหล่งพลังงาน
5. ข้อพิจารณาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม และความปลอดภัย
6. ความเหมาะสมและการเปรียบเทียบในเชิงเศรษฐกิจ

จากการศึกษาของ อิชิกาวา (Ishikawa, 1980 : 6) พบว่า พลังงานแสงอาทิตย์สมควรที่จะเป็นแหล่งพลังงานทดแทนแหล่งใหม่ ด้วยเหตุผลที่ว่า พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่

1. มีขนาดใหญ่มหาศาล
2. ไม่รู้จักหมดสิ้น
3. บริสุทธิ์ ไม่ทำให้เกิดพิษจากการสันดาป (combustion)
4. มีอยู่ทั่วทุกส่วนของโลก

เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์มีอยู่โดยทั่วไป และมีอยู่ในลักษณะของการกระจาย (distribution) สูงมาก ปริมาณของพลังงานจึงเจือจาง (dilute) ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในทันที โดยปราศจากการรวบรวม หรือเปลี่ยนรูปแบบไปเป็นพลังงานรูปแบบอื่น ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์สำหรับรวบรวมหรือเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ (solar energy collector) อุปกรณ์สำหรับรวบรวมพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

(William. 1975 : 9 - 15) คือ

1. ตัวรับรังสีแผ่นราบ (flat plate collector) มีลักษณะเป็นวัสดุแผ่นราบสำหรับรับพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น พลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า
2. ตัวรวมรังสี (solar concentrator) ทำงานโดยสะท้อนรังสีเพื่อให้รังสีที่ตกกระทบในทิศทางต่าง ๆ ไปรวมอยู่ที่บริเวณหนึ่งตามต้องการ แล้วจึงนำพลังงานที่บริเวณนั้น ๆ ไปใช้ประโยชน์ เช่น จานรวมแสงรูปพาราโบลา (parabolic concentrator)

สำหรับตัวรับรังสีแผ่นราบ ซึ่งทำงานโดยเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานความร้อน (solar photothermal conversion) มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ ผิวคูรงสี ผิวคูรงสีที่ดีก็มีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการ (Kirtikara. 1978 : 2) คือ

1. คูรงสีรังสีดวงอาทิตย์ได้มาก

จากการพิจารณาสเปกตรัมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ พบว่าพลังงานการแผ่รังสีมากกว่า 95% เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 350 ถึง 2100 นาโนเมตร ดังนั้นผิวคูรงสีจึงควรเป็นเสมือนวัตถุดำในช่วงคลื่นนี้

2. แผ่รังสีความร้อนต่ำ

เมื่อวัสดุดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิของวัสดุจะสูงขึ้น และมีการแผ่รังสีความร้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรด (infrared) เป็นผลทำให้เกิดสูญเสียความร้อนออกจากผิวคูรงสี ดังนั้นผิวคูรงสีจึงควรมีการแผ่รังสีความร้อนต่ำ หรือทำตัวเสมือนวัตถุขาว (whitebody) ในช่วงคลื่นอินฟราเรด

เนื่องจากการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ให้มากที่สุด และสูญเสียพลังงานโดยการแผ่รังสีความร้อนน้อยที่สุดเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญของอุปกรณ์รวบรวมพลังงานแสงอาทิตย์ และเพราะว่าไม่มีวัสดุใดในธรรมชาติที่มีสมบัติทั้งสองอย่างพร้อมกัน ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะสังเคราะห์วัสดุที่มีสมบัติดังกล่าว ซึ่งเรียกว่า ผิวเลือกรังสี (selective surface) ในการพิจารณาเพื่อเลือกวัสดุมาทำเป็นผิวเลือกรังสีครั้งนี้ พิจารณา

จากสมมติที่ว่า สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นความร้อนได้สูง ซึ่งจะพิจารณาได้จากอัตราส่วนของค่าสภาพดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ (solar absorptance) ต่อค่าสภาพการแผ่รังสีความร้อน (thermal emittance) หาข้อได้เปรียบและสามารถทำไคด้วยเทคโนโลยีที่มีในประเทศไทย ดังนั้นในการทดลองเรื่องนี้จึงเลือก อลูมิเนียม อลูมิเนียมออกไซด์ (anodized aluminium) ทองแดงและเหล็กเป็นฐาน (substrate) ของผิวเลือกรังสี และใช้วิธีการชุบเคลือบสีค่าด้วยวิธีการทางเคมี และทาด้วยสีค่าเพื่อให้เกิดสีค่าบนผิวของวัสดุ และนำวัสดุดังกล่าวมาทดลองดูว่า วัสดุใด และวิธีการใด จะให้ผิวเลือกรังสีที่ดีที่สุด ซึ่งผลจากการวิจัยครั้งนี้จะเป็นแนวทางในการสร้างอุปกรณ์ ซึ่งอาศัยหลักการ เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

เพื่อศึกษาสมมติการ เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนของอลูมิเนียม อลูมิเนียมออกไซด์ ทองแดง และเหล็ก ซึ่งเคลือบสีค่า ด้วยวิธีการชุบเคลือบทางเคมี และทาด้วยสีค่า

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

1. จากผลการทดลองนี้จะทำให้ทราบถึงข้อเปรียบเทียบของการ เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานความร้อน ระหว่างอลูมิเนียม อลูมิเนียมออกไซด์ ทองแดง และเหล็ก ซึ่งเคลือบสีค่าด้วยวิธีทางเคมี และวิธีทาด้วยสีค่า
2. ผลที่ได้จากการทดลองครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในการสร้างตัวรับรังสีแผ่นราบ ซึ่งจะ เป็นแนวทางในการสร้างเครื่องมือซึ่งอาศัยหลักการ เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน
3. เทคนิคและวิธีการครั้งนี้ จะเป็นแนวทางในการนำไปทำการศึกษาวิจัย เกี่ยวกับการวัดสภาพสะท้อนรังสี (reflectance) การคำนวณค่าสภาพดูดกลืนรังสี

ดวงอาทิตย์ (solar absorptance) และสภาพการแผ่รังสีความร้อน (thermal emittance) ของวัสดุต่าง ๆ

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

1. ศึกษาและวัดค่าสภาพสะท้อนรังสีของผิวเลือกรังสีด้วย Spectrophotometer Beckman DK-2A
2. ทำการทดลองภายในห้องทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการโดยใช้แสงเทียม และใช้สเปกตรัมของแสงอาทิตย์ที่บริเวณพื้นผิวโลก ซึ่งพลังงานมีค่าแตกต่างกันที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง 1
3. วัสดุที่ใช้ทำเป็นผิวเลือกรังสีครั้งนี้ใช้ อลูมิเนียม อลูมิเนียมออกไซด์ ทองแดง และเหล็ก นำมาเคลือบสีด้วยวิธีการทางเคมี และหาค่าด้วยสีค่า

คำนิยามศัพท์เฉพาะ

1. วัตถุดำ (blackbody)

หมายถึง วัตถุที่ดูดกลืนพลังงานของรังสีที่ตกกระทบทุกความยาวคลื่นไว้ทั้งหมด โดยไม่มีการสะท้อนรังสี และส่งผ่านรังสีเลย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เป็นวัตถุที่มีค่าสภาพสะท้อนรังสี (reflectance) และค่าสภาพส่งผ่านรังสี (transmittance) เป็นศูนย์และมีค่าสภาพดูดกลืนรังสี (absorptance) เป็นหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามวัตถุดำจริง ๆ ไม่มีอยู่ในธรรมชาติ มีแต่วัสดุที่มีสมบัติใกล้เคียงกับวัตถุดำเท่านั้น เช่น แท่งคาร์บอนสีดำที่มีความหนาแน่นมาก ๆ ซึ่งสามารถดูดกลืนรังสีตกกระทบได้ 99% (Duffie and Beckman. 1974 : 63)

2. วัตถุขาว (whitebody)

หมายถึง วัตถุที่พื้นผิวมีสีขาว และสามารถสะท้อนรังสีได้ 100% ซึ่งตามกฎของเคอร์ชอฟ แล้ววัตถุขาวจะมีค่าสภาพแผ่รังสีเป็นศูนย์ ตัวอย่างของวัตถุที่มีสมบัติ

ใกล้เคียงวัตถุขาวก็อ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) (Heinel. 1976 : 127)

3. ผิวเลือกรังสี

หมายถึง ผิวที่สามารถดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ได้มาก และในขณะเดียวกันก็มีการแผ่รังสีความร้อนน้อย

4. ประสิทธิภาพของผิวเลือกรังสี

หมายถึง อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ถูกกลืนรังสีดวงอาทิตย์ต่อค่าสภาพแผ่รังสีความร้อน

ตาราง 1 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ผิวโลก ที่ความยาวคลื่น 350 – 2100 nm

ความยาวคลื่น (nm)	ความเข้ม (%)	ความยาวคลื่น (nm)	ความเข้ม (%)
350	1.27	1050	3.72
400	3.18	1100	1.70
450	6.79	1150	1.46
500	8.20	1200	2.52
550	8.03	1250	2.21
600	7.88	1300	1.78
650	7.92	1350	0.12
700	7.48	1400	0.00
750	5.85	1450	0.16
800	5.79	1500	1.06
850	5.66	1550	1.49
900	3.24	1600	1.36
950	3.29	1650	1.17
1000	4.25	1700	0.89

ตาราง 1 (ต่อ)

ความยาวคลื่น (nm)	ความเข้ม (%)	ความยาวคลื่น (nm)	ความเข้ม (%)
1750	0.54	1950	0.12
1800	0.01	2000	0.02
1850	0.00	2050	0.26
1900	0.00	2100	0.58

บทที่ 2

ทฤษฎีและเอกสารการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎี

เมื่อรังสีตกกระทบบนผิววัตถุ สามารถแยกรังสีตกกระทบบอกเป็นส่วน ๆ

คือ

1. รังสีที่สะท้อนจากผิววัตถุ
2. รังสีที่ถูกดูดกลืนโดยวัตถุ
3. รังสีที่ส่งผ่านทะลุวัตถุไป

ส่วนของรังสีตกกระทบบนผิววัตถุที่สะท้อนจากผิวนิยามได้ด้วยค่าสภาพสะท้อนรังสี (reflectance, $\rho(\lambda)$) ส่วนที่ถูกดูดกลืนโดยวัตถุนิยามได้ด้วยค่าสภาพดูดกลืนรังสี (absorptance, $\alpha(\lambda)$) และส่วนที่ส่งผ่านทะลุวัตถุไป นิยามได้ด้วยค่าสภาพส่งผ่านรังสี (transmittance, $\tau(\lambda)$) จากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ จะได้ว่า ผลรวมของแต่ละส่วนของรังสีตกกระทบบนผิวมีค่าเป็นหนึ่ง ซึ่งเขียนได้เป็น

$$\alpha(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1 \quad \dots (1)$$

ถ้าวัตถุนั้นเป็นวัตถุทึบแสง (opaque material) ค่าสภาพส่งผ่านรังสีมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น ในกรณีของวัตถุทึบแสงจึงสามารถเขียนสมการ (1) ได้เป็น

$$\alpha(\lambda) + \rho(\lambda) = 1$$

หรือ $\alpha(\lambda) = 1 - \rho(\lambda) \quad \dots (2)$

(Kreith and Kreider. 1973 : 148)

กฎของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchoff's law) (Duffie and Beckman. 1976 :

เมื่อวัตถุอยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิคงที่ (isothermal enclosure) ค่าสภาพ
การดูดกลืนรังสี จะเท่ากับค่าสภาพแผ่รังสีที่มีความยาวคลื่น (wavelength) ที่เกี่ยวข้องกัน
จึงเขียนได้เป็น

$$\epsilon(\lambda) = \alpha(\lambda) \dots (3)$$

เมื่อ $\epsilon(\lambda)$ เป็นค่าสภาพแผ่รังสีที่มีความยาวคลื่น λ

$\alpha(\lambda)$ เป็นค่าสภาพการดูดกลืนรังสีที่มีความยาวคลื่น λ

ดังนั้นสมการ (2) จึงเขียนได้เป็น

$$\epsilon(\lambda) = 1 - \rho(\lambda) \dots (4)$$

พารามิเตอร์ของผิวเลือกรังสี (Gittleman. 1979 : 91 - 100)

พารามิเตอร์ที่สำคัญของผิวเลือกรังสี คือ

1. ค่าสภาพการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ (solar absorptance, α_s)

มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนโดยวัตถุต่อพลังงานแสงอาทิตย์
ที่ตกกระทบบนวัตถุนั้น ที่ทุกความยาวคลื่น จึงเขียนได้เป็น

$$\alpha_s = \frac{\int_0^\infty \alpha(\lambda) I_\lambda(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda(\lambda) d\lambda} \dots (5)$$

เมื่อ $I_\lambda(\lambda)$ เป็นสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ (solar spectral irradiance)
ที่ความยาวคลื่น λ

แต่เนื่องจากพลังงานการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มากกว่า 95% เป็นคลื่นแม่เหล็ก
ไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 350 ถึง 2100 นาโนเมตร (nanometer, nm) ฉะนั้น
ช่วงการอินทิเกรต (integrate) จึงอยู่ระหว่าง 350 - 2100 nm ดังนั้นจึงเขียน
สมการ (5) ได้ใหม่เป็น

$$\epsilon_s = \frac{\int_{2100 \text{ nm}}^{2100 \text{ nm}} \epsilon(\lambda) I_b(\lambda) d\lambda}{\int_{2100 \text{ nm}}^{2100 \text{ nm}} I_b(\lambda) d\lambda} \dots (6)$$

2. ค่าสภาพแผ่รังสีความร้อน (thermal emittance, ϵ_{TH}) มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่แผ่รังสีออกจากวัตถุ ต่อพลังงานการแผ่รังสีของวัตถุดำที่แผ่ออกจากวัตถุนั้นที่ทุกความยาวคลื่น ซึ่งเขียนได้เป็น

$$\epsilon_{TH} = \frac{\int_0^\infty \epsilon(\lambda) I_b(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty I_b(\lambda) d\lambda} \dots (7)$$

เมื่อ $I_b(\lambda)$ เป็นสเปกตรัมของวัตถุดำ (blackbody spectral irradiance)

แต่เนื่องจากเมื่อวัสดุคกกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ แล้วอุณหภูมิของวัสดุจะสูงขึ้น และมีการแผ่รังสีความร้อนในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 2000 nm ขึ้นไป และในการศึกษาครั้งนี้ก็เฉพาะการแผ่รังสีความร้อนในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 2000 ถึง 2700 nm ฉะนั้นช่วงการอินทิเกรตจะอยู่ระหว่าง 2000 ถึง 2700 nm ดังนั้นสมการ (7) จึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$\epsilon_{TH} = \frac{\int_{2000 \text{ nm}}^{2700 \text{ nm}} \epsilon(\lambda) I_b(\lambda) d\lambda}{\int_{2000 \text{ nm}}^{2700 \text{ nm}} I_b(\lambda) d\lambda} \dots (8)$$

จากที่ห้องกรให้ผิวเลือกรังสีที่พลังงานแสงอาทิตย์ไ้มากที่สุด และสูญเสียความร้อน โดยการแผ่รังสีความร้อนน้อยที่สุดไปพร้อมกัน การพิจารณาว่าผิวเลือกรังสีใดจะดีกว่ากันนั้น จึงพิจารณาอัตราส่วนของค่าสภาพการกลืนรังสีดวงอาทิตย์ ต่อค่าสภาพแผ่รังสีความร้อน (α_s/ϵ_{TH}) มากกว่าจะพิจารณาเพียงค่าใดค่าหนึ่งเพียงอย่างเดียว

การแผ่รังสีของวัตถุดำ (blackbody radiation)

ความเข้มการแผ่รังสีของวัตถุดำสามารถหาได้จากกฎของ แพลงค์ (Planck's law)

ซึ่งมีสูตรคือ

$$I_b(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} \quad W/m^2 \quad \dots (9)$$

เมื่อ $2\pi hc^2$ เป็นค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.7405×10^8

$W \cdot \mu m^4/m^2$

hc/k เป็นค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.43879×10^4

$\mu m \cdot K$

$I_b(\lambda)$ เป็นค่าความเข้มการแผ่รังสีของวัตถุดำที่ความยาวคลื่น λ

T เป็นอุณหภูมิของวัตถุดำมีหน่วยเป็นองศาเคลวิน

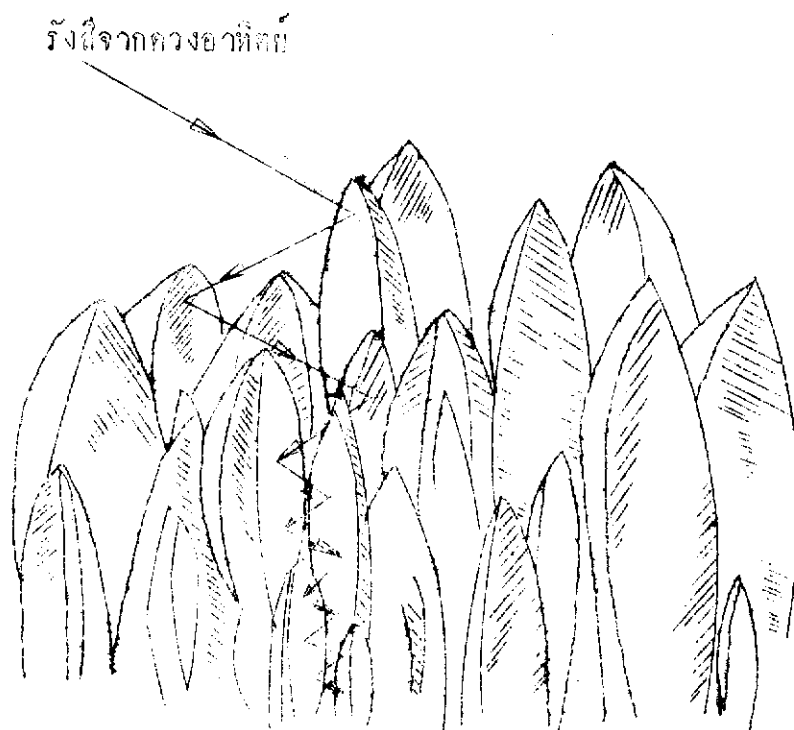
λ เป็นความยาวคลื่นของการแผ่รังสีของวัตถุดำมีหน่วยเป็น μm

(Duffie and Beckman. 1976 : 64)

เอกสารการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แลมเพอร์ต (Lampert. 1979 : 320 - 324) ได้แนะนำวัสดุที่จะนำมาทำเป็นผิวเลือกรังสีคือ เหล็ก ทองแดง และอลูมิเนียม และยังได้แนะนำลักษณะของผิวที่เป็นผิวเลือกรังสีที่ดี คือมีลักษณะช่ขรุขระ (dendritic structure) ซึ่งจะดูดกลืน

พลังงานแสงอาทิตย์โดยการดูดกลืน และสะท้อนแสงที่ผิวของวัสดุหลาย ๆ ครั้ง
 (multiple absorption and reflection) ผิวที่มีลักษณะดังกล่าวดังแสดง
 ในภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 ลักษณะของผิวขรุขระที่สามารถดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ได้มาก

ทูลูเกียน (Touloukian, 1972 : 183) ได้ทำการหาค่าสภาพดูดกลืนรังสี
 ดวงอาทิตย์ (α_s) และค่าสภาพแผ่รังสีความร้อน (ϵ_{TH}) ของวัสดุต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ
 (T) ต่าง ๆ กัน โฉมดังกล่าวแสดงในการาง 2

ตาราง 2 ค่าสภาพการกลืนรังสีดวงอาทิตย์ และสภาพแผ่รังสีความร้อนของวัสดุบางชนิด

วัสดุ	ϵ_{TH}/T (K)	α_s
อลูมิเนียม	$\frac{0.102}{573}, \frac{0.130}{773}, \frac{0.113}{873}$	0.09 – 0.10
อลูมิเนียมออกไซด์	$\frac{0.842}{296}, \frac{0.720}{484}, \frac{0.669}{574}$	0.12 – 0.16
โครเมียม	$\frac{0.290}{722}, \frac{0.355}{905}, \frac{0.435}{1072}$	0.11
ทองแดง	$\frac{0.041}{338}, \frac{0.036}{436}, \frac{0.039}{803}$	0.35
เหล็ก	$\frac{0.071}{199}, \frac{0.110}{468}, \frac{0.175}{668}$	0.44

เครื่องมือ และวิธีการดำเนินการ

เครื่องมือ

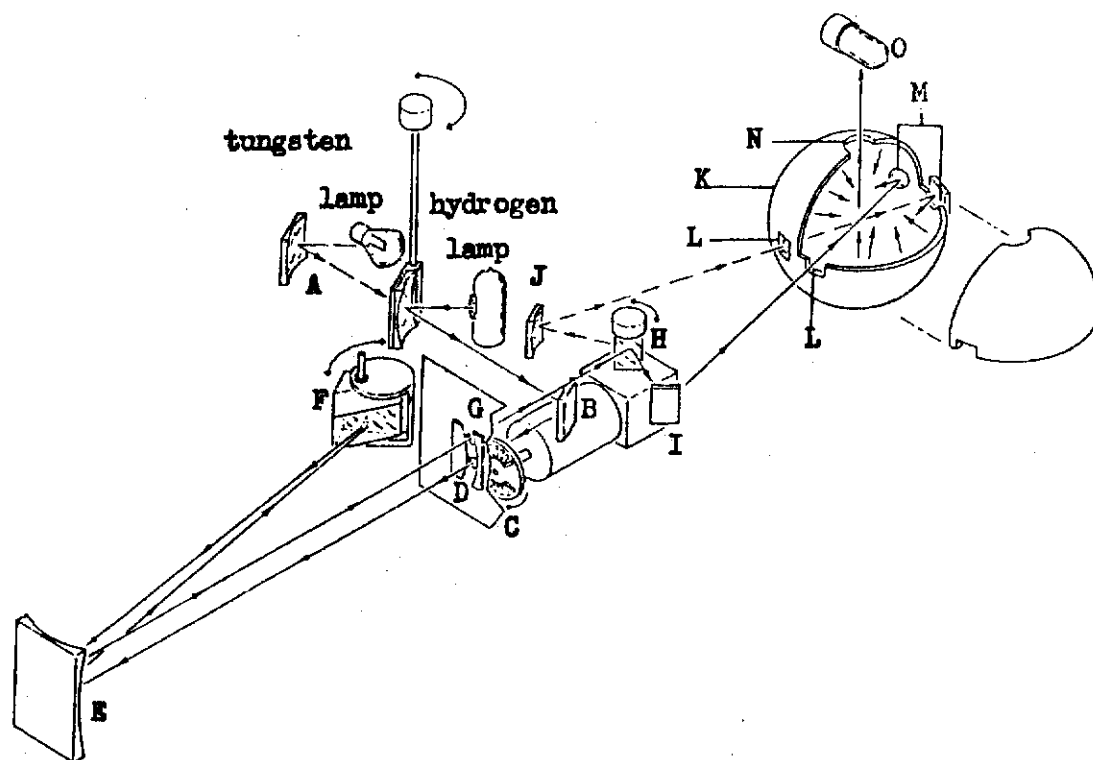
เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้คือ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เบกแมน ดีเก -สองเอ ใช้สำหรับวัดค่าสภาพสะท้อนรังสี ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องมือทั้งนี้

ต้นกำเนิดแสง (source) ในเครื่องมือนี้มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดคือ

1. หลอดไฮโดรเจน (hydrogen lamp) ซึ่งจะให้สเปกตรัมในช่วงรังสีเหนือม่วง (ultraviolet) ซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 290 - 350 nm
2. หลอดทังสเตน (tungsten lamp) ซึ่งจะให้สเปกตรัมในช่วงที่ตามองเห็นได้ (visible) ซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 350 - 750 nm และในช่วงเริ่มต้นของรังสีใต้แดง (near infrared) ซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 750 - 2700 nm

ในการทดลองครั้งนี้ต้องการสเปกตรัมในช่วงที่ตามองเห็นได้ และช่วงเริ่มต้นของรังสีใต้แดง เท่านั้น จึงใช้ต้นกำเนิดแสงเป็นหลอดทังสเตน ซึ่งแผนภาพทางเดินของแสง (optical diagram) ของเครื่องมือแสดงในภาพประกอบ 2 และหลักการทำงานของเครื่องมือทั้งนี้

แสงจากหลอดไฮโดรเจนหรือหลอดทังสเตนจะสะท้อนที่กระจก A ไปยังกระจก B เพื่อทำหน้าที่สะท้อนแสงต่อไปยังตัวคัตค่าแสง C (chopper) ซึ่งแสงที่ผ่านจะถูกคัตด้วย ความถี่ 400 ครั้งต่อวินาที เพื่อให้ได้สัญญาณไฟฟ้าที่เป็นกระแสลับ ลำแสงที่ถูกคัตจะผ่านช่องแสงเข้า D (entrance slit) ซึ่งสามารถปรับความกว้างได้ ไปยังกระจก E แสงที่สะท้อนจากกระจก E จะเป็นลำแสงขนาน และเมื่อผ่านปริซึม F จะถูกแยกเป็นสเปกตรัมของแสงสีต่าง ๆ ทางด้านหลังของปริซึม ถูกเคลือบไว้ด้วยอลูมิเนียม ดังนั้นลำแสงที่เข้ามาจะถูกสะท้อนกลับในทิศทางเดิม ทำให้สเปกตรัมของแสงสีต่าง ๆ จะแยกจากกันมากขึ้นในขณะที่ออกจากปริซึม ถ้าให้ปริซึมหมุนเพื่อเทียบกับกระจก E จะเห็นว่าลำแสงจากกระจก E จะไปตกที่ปริซึมด้วย มุมตกกระทบต่าง ๆ กันทำให้เราสามารถเลือกช่วงความยาวคลื่น ในช่วงใดช่วงหนึ่ง ซึ่งรวมเป็นแถบสเปกตรัม (spectral band) ได้ตามต้องการ แถบสเปกตรัมนี้จะสะท้อนกลับไปยังกระจก E ซึ่งจะโฟกัสภาพของช่องแสงเข้า D (entrance slit)



- | | |
|-----------------------|-------------------------------|
| A. condensing mirror | I. reference beam mirror |
| B. entrance mirror | J. sample beam mirror |
| C. beam chopper | K. integrating sphere |
| D. entrance slit | L. entrance ports |
| E. collimating mirror | M. exit ports |
| F. quartz prism | N. integrating sphere opening |
| G. exit slit | O. detector |
| H. oscillating mirror | |

ภาพประกอบ 2 optical diagram of Spectrophotometer

ลงบนของแสงออก G (exit slit) จะตกที่กระจกหมุน H (oscillating mirror) ซึ่งกำลังหมุนกลับไปกลับมาด้วยความถี่ 12.5 ครั้งต่อวินาที เพื่อสะท้อนแสงไปตกที่กระจก I และกระจก J สลับกันไป ลำแสงที่สะท้อนจากกระจกทั้งสองจะผ่านไปในทรงกลมกลวง K (integrating sphere) โดยผ่านทางแสงเข้า L (entrance port) ไปยังทางแสงออก M (exit port) ที่ทางแสงออก M จะเป็นตำแหน่งที่วางตัวอย่างหรือฉีววลู ที่ต้องการวัดค่าสภาพสะท้อนรังสี (sample material) และฉีววลูที่ใช้เป็นค่าเปรียบเทียบ (reference material) หลังจากนั้นจะเกิดการสะท้อนรังสีที่ผิวของตัวอย่าง และที่ผิวของตัวอย่างสลับกันไป และแต่ละลำแสงจะสะท้อนไปมาภายในทรงกลมกลวง จนกระทั่งออกทางช่องเปิด N ไปยังหัววัด O (detector) ซึ่งจะเปลี่ยนแสงให้เป็นกระแสลับ เพื่อผ่านเข้าไปในระบบอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องบันทึก (recorder) ซึ่งเครื่องบันทึกจะบันทึกค่าสภาพสะท้อนรังสีลงบนแผ่นกราฟในช่วงของความยาวคลื่นของแสงจากหลอดที่ใช้เป็นต้นกำเนิดแสง ภายในทรงกลมกลวงถูกเคลือบไว้ด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide) เพื่อทำให้เป็นผิวสะท้อนแสงสีขาวบริสุทธิ์ นอกจากนั้นฉีววลูที่ใช้เป็นตัวอย่าง ก็เป็นแมกนีเซียมออกไซด์ที่อัดอัด (pressed Magnesium Oxide) อยู่บนผิวของแผ่นอลูมิเนียม โดยถือว่าค่าสภาพสะท้อนรังสีของแมกนีเซียมออกไซด์มีค่าเป็นหนึ่ง ก่อนที่จะทำการวัดค่าสภาพสะท้อนรังสีของฉีววลูใด ๆ จะต้องปรับตำแหน่ง "0" และ "1" เสียก่อน สำหรับการปรับ "0" ให้เปิดช่องที่แสงไปตกยังฉีววลูที่ต้องการวัดค่าสภาพสะท้อนรังสี ซึ่งขณะนี้เข็มที่ลากบนแผ่นกราฟจะชี้ที่ "0" ของสเกล ส่วนการปรับ "1" ก็คือที่ตำแหน่งของฉีววลูเปรียบเทียบ และตำแหน่งของฉีววลูที่ต้องการวัดค่าสภาพสะท้อนรังสี จะเป็นแมกนีเซียมออกไซด์ทั้งคู่ ขณะนี้เข็มจะชี้ที่ 1"0 ของสเกล ซึ่งตำแหน่ง "0" และ "1" เราจะตั้งให้เข็มอยู่ตรงไก่งอนก็ไ้บนแผ่นกราฟ แต่ช่วงจากตำแหน่ง "0" ถึง "1" ถือว่ามีค่าเป็นหนึ่งเสมอ

ในการวัดค่าสภาพสะท้อนรังสี สามารถวัดได้ทั้งค่าสภาพสะท้อนรังสีรวม (total reflectance) และสภาพสะท้อนรังสีกระจาย (diffuse reflectance) แต่ในการทดลองครั้งนี้ต้องการเฉพาะค่าสภาพสะท้อนรังสีรวมเท่านั้น สำหรับการวัดค่าสภาพสะท้อนรังสีรวม ทั้งวัสดุที่ต้องการหาค่าสภาพสะท้อนรังสี และวัสดุเปรียบเทียบ ที่ทางแสงออก M จะถูกยึกลำแสงให้เอียงหัวมุม 5 องศา กับลำแสงตกกระทบ ดังนั้น แสงที่สะท้อนที่ผิวของวัสดุทั้งสองจะสะท้อนไปมาภายในทรงกลมกลวง แล้วจึงออกจาก ทรงกลมกลวงไปยังหัววัด ซึ่งเครื่องบันทึก จะบันทึกเป็นค่าสภาพสะท้อนรังสี ในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ใช่ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้หลอดทั้งสแตน ขนาด 32 กำลังเทียบ 6 โวลต์ สำหรับสเปกตรัม ในช่วงที่ตามองเห็นได้ หัววัดที่ใช่เป็น หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier) และสำหรับสเปกตรัมในช่วง เริ่มต้นของรังสีใต้แสง หัววัดที่ใช่จะเป็นเซลล์อะไซด์ไฟต์ (Lead Sulphide Cell)

โดยปรกติค่าสภาพสะท้อนรังสีของแมกนีเซียมออกไซด์ มีค่าเท่ากับ 0.98 แต่เนื่องจาก สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ได้ถูกใช้งาน มาเป็นเวลานาน ดังนั้นค่าสภาพสะท้อนรังสีของแมกนีเซียมออกไซด์ ในขณะที่ดำเนินการ วัดค่าสภาพสะท้อนรังสี ในการวิจัยครั้งนี้ มีค่าเท่ากับ 0.92 ซึ่งจะใช้เป็นค่า อ้างอิงในการวิจัยครั้งนี้

วิธีดำเนินการ

วิธีดำเนินการทดลองแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนคือ

1. เตรียมวัสดุที่จะนำมาใช้ในการทดลอง
2. เคลือบผิววัสดุที่ใช่ในการทดลองให้เป็นสีดำ
3. วัดหาค่าสภาพสะท้อนรังสี

4. คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การหักเหรังสีดวงอาทิตย์ (α_s) ค่าสภาพแผ่รังสีความร้อน (ϵ_{TH}) และคำนวณค่า $\frac{\alpha_s}{\epsilon_{TH}}$

1. เตรียมวัสดุที่จะนำมาใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มี 3 ชนิดคือ อลูมิเนียม ทองแดง และเหล็ก ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่น มีขนาดเท่ากัน คือ กว้าง 5 ซม. ยาว 9 ซม. และหนา 0.3 มม. เนื่องจากวัสดุดังกล่าวที่ซื้อมามีสิ่งสกปรกและไขมันติดอยู่ จึงต้องนำมาทำความสะอาดโดยวิธีล้างด้วยน้ำมันเบนซิน

2. เคลือบผิววัสดุที่ใช้ในการทดลองให้เป็นสีค่า

2.1 เคลือบสีค่าด้วยวิธีทางเคมี

เพื่อให้สีค่าติดบนผิววัสดุทั้ง 3 ชนิดคือ อลูมิเนียม ทองแดง และเหล็ก ได้อย่างสนิทติดแน่น ดังนั้นก่อนที่จะเคลือบสีค่าจึงเคลือบด้วยสี galvanoleum ก่อนแล้วจึงเคลือบด้วยสีค่า สี galvanoleum ใช้เบอร์ 3202 ส่วนสีค่าใช้เบอร์ 412 ซึ่งเป็นสีค่าค่าน สีทั้ง 2 ชนิดเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Rust-Oleum Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา การเคลือบสีทั้ง 2 ชนิดใช้วิธีทา โดยวิธีทาสีด้วยสี galvanoleum ก่อน แล้วทิ้งไว้ให้สีแห้งสนิทเป็นเวลา 2 วัน แล้วจึงใช้สีค่าค่านทาทับลงไป

2.2 เคลือบสีค่าด้วยวิธีทางเคมี

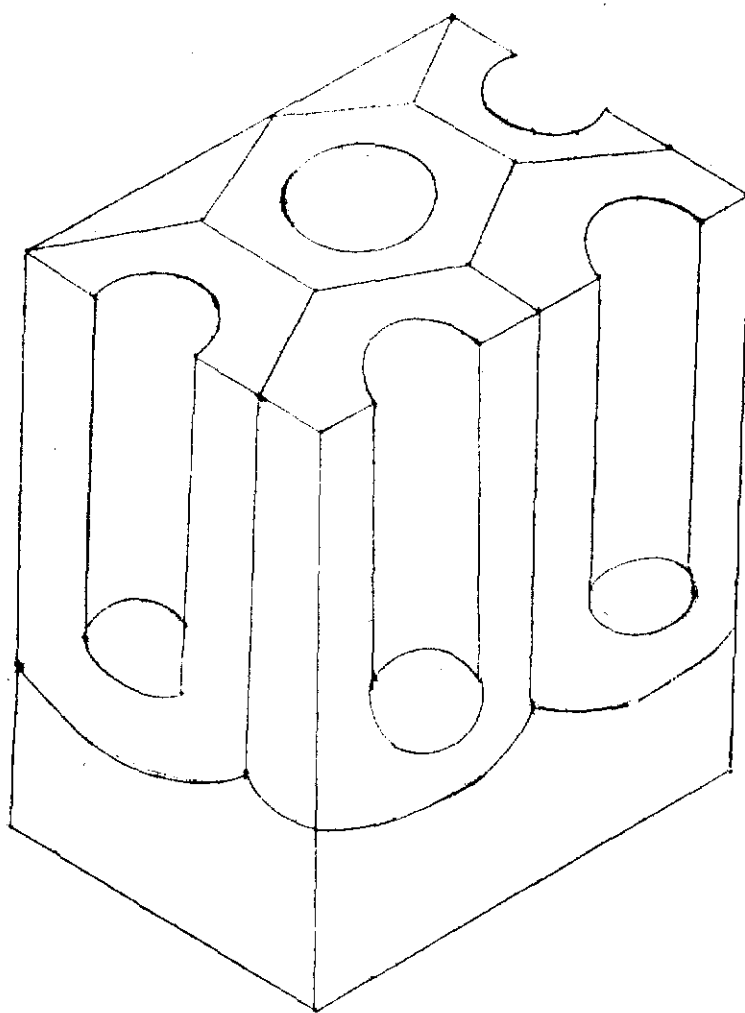
2.2.1 อลูมิเนียม

โดยการทำให้ผิวอลูมิเนียมเป็นอลูมิเนียมออกไซด์ก่อนแล้วจึงจุ่มในสารละลายเคมี การทำอลูมิเนียมออกไซด์เป็นการทำผิวของอลูมิเนียมให้เป็นอลูมิเนียมออกไซด์ ในลักษณะเป็น film ซึ่งมีกรรมวิธีที่คล้ายกับการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า (electroplating) แตกต่างกันตรงที่การทำอลูมิเนียมออกไซด์ต้องใช้อลูมิเนียม (ชิ้นงาน) เป็นขั้วบวก (anode) เมื่อปล่อยกระแสผ่านสารละลาย (electrolyte) จะเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดก๊าซออกซิเจนที่ขั้วบวก และเกิดก๊าซไฮโดรเจนที่ขั้วลบ (cathode) ดังนั้น ก๊าซออกซิเจนที่ขั้วบวกจะทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียม เกิดเป็นอลูมิเนียมออกไซด์ ซึ่งมีลักษณะเป็น film ที่มีรูพรุน หน่วยของเซลล์จะเรียงตัวกันเป็นรูปหกเหลี่ยมคางหมู

สม่ำเสมอ ตรงกลางเป็นรูปวงกลึงลงมาจากผิวของออกไซด์จนถึงเนื้ออลูมิเนียม ทั้งแสง
ในภาพประกอบ 3 ซึ่งเมื่อแสงตกกระทบจะเกิด multiple absorption and
reflection

เมื่อได้ผิวอลูมิเนียมบอโรไนต์แล้วจึงเคลือบสีดำโดยการชุบแผ่นอลูมิเนียมบอโรไนต์
ลงในสารละลายที่อุณหภูมิ 180°F ใช้เวลา 10 นาที ส่วนผสมของสารละลายที่ใช้คือ

แอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium Molybdate)	2	ออนซ์
แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium Chloride)	4	ออนซ์
โปแตสเซียมไนเตรต (Potassium Nitrate)	1	ออนซ์
กรดบอริก (Boric Acid)	1	ออนซ์
น้ำ	4.5	ออนซ์



ภาพประกอบ 3 ภาพตัดขยายของนิวคลีนิมอโนโค

2.2.2 ทองแดง

ทำโดยการชุบแผ่นทองแดงลงในสารละลายที่อุณหภูมิ 130° F เป็นเวลานาน 10 นาที ส่วนผสมของสารละลายที่ใช้คือ

ไลเวอร์ออฟซัลเฟอร์ (Liver of Sulphur)	6	กรัม
แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium Chloride)	100	กรัม
น้ำ	1	ลิตร

2.2.3 เหล็ก

ทำโดยชุบแผ่นเหล็กลงในสารละลายที่อุณหภูมิ 110° F ใช้เวลานาน 20 - 30 นาที สารละลายประกอบด้วย

คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper Sulphate)	20	กรัม
เมอร์คิวริกคลอไรด์ (Mercuric Chloride)	5	กรัม
เฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric Chloride)	30	กรัม
กรดไนตริก (Nitric Acid) ถ.พ. 1.42	150	มล.
แอลกอฮอล์ (Alcohol)	700	มล.
น้ำ	95	มล.

3. วัดค่าสภาพสะท้อนรังสี

เนื่องจากวัสดุที่ได้จากการเคลือบด้วยสีค่าซึ่งมีขนาดกว้าง 5 ซม. ยาว 9 ซม. ในบริเวณที่ใช้มือจับ หรือบริเวณที่ถูกหนีบด้วยขั้วไฟฟ้า จะไม่มีสีค่าเคลือบอยู่ หรือเคลือบติดไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นก่อนที่จะนำไปวัดค่าสภาพสะท้อนรังสีในเครื่อง Spectrophotometer จึงตัดวัสดุส่วนที่มีสีค่าเคลือบไม่สม่ำเสมอออก ซึ่งจะเหลือวัสดุทั้งกว้างมีขนาดกว้าง 5 ซม. ยาว 5 ซม. และหนา 0.3 มม.

4. คำนวณหาค่าสภาพการกลืนรังสีดวงอาทิตย์ (α_s) ค่าสภาพแผ่รังสีความร้อน (ϵ_{TH}) และคำนวณค่า $\frac{\alpha_s}{\epsilon_{TH}}$

4.1 คำนวณสภาพคล่องคลื่นรังสีดวงอาทิตย์โดยใช้สูตรในสมการ (6) คือ

$$d_s = \frac{\int_{350 \text{ nm}}^{2100 \text{ nm}} \epsilon(\lambda) I_b(\lambda) d\lambda}{\int_{350 \text{ nm}}^{2100 \text{ nm}} I_b(\lambda) d\lambda}$$

เมื่อ $\epsilon(\lambda)$ คือ ค่าสภาพคล่องคลื่นรังสีที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 350 ถึง 2100 nm
ซึ่งหาได้จากสมการ (2)

$I_b(\lambda)$ คือ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 350 ถึง 2100 nm
ซึ่งหาได้จากตาราง 1 โดยที่ความเข้มเฉลี่ยของแสงอาทิตย์
ที่ตกบนพื้นโลกมีค่าเท่ากับ 600 วัตต์ ต่อตารางเมตร

$$\int_{350 \text{ nm}}^{2100 \text{ nm}} \epsilon(\lambda) I_b(\lambda) d\lambda \text{ หาได้จากการหาพื้นที่ใต้กราฟของ } \epsilon(\lambda) I_b(\lambda) \text{ ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 350 ถึง 2100 nm}$$

$$\int_{350 \text{ nm}}^{2100 \text{ nm}} I_b(\lambda) d\lambda \text{ หาได้จากการหาพื้นที่ใต้กราฟของ } I_b(\lambda) \text{ ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 350 ถึง 2100 nm}$$

4.2 คำนวณหาค่าสภาพแผ่รังสีความร้อน โดยใช้สูตรในสมการ (8) คือ

$$E_{TH} = \frac{\int_{2000 \text{ nm}}^{2700 \text{ nm}} \epsilon(\lambda) I_b(\lambda) d\lambda}{\int_{2000 \text{ nm}}^{2700 \text{ nm}} I_b(\lambda) d\lambda}$$

เมื่อ $\epsilon(\lambda)$ คือ ค่าสภาพแม่รังสีที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 2000 ถึง 2700 nm ซึ่งหาได้จากสมการ (4)

$I_b(\lambda)$ คือ ค่าความเข้มการแผ่รังสีของวัตถุดำที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 2000 ถึง 2700 nm ซึ่งหาค่าได้จากสมการ (9) เมื่อ T มีค่า 300K

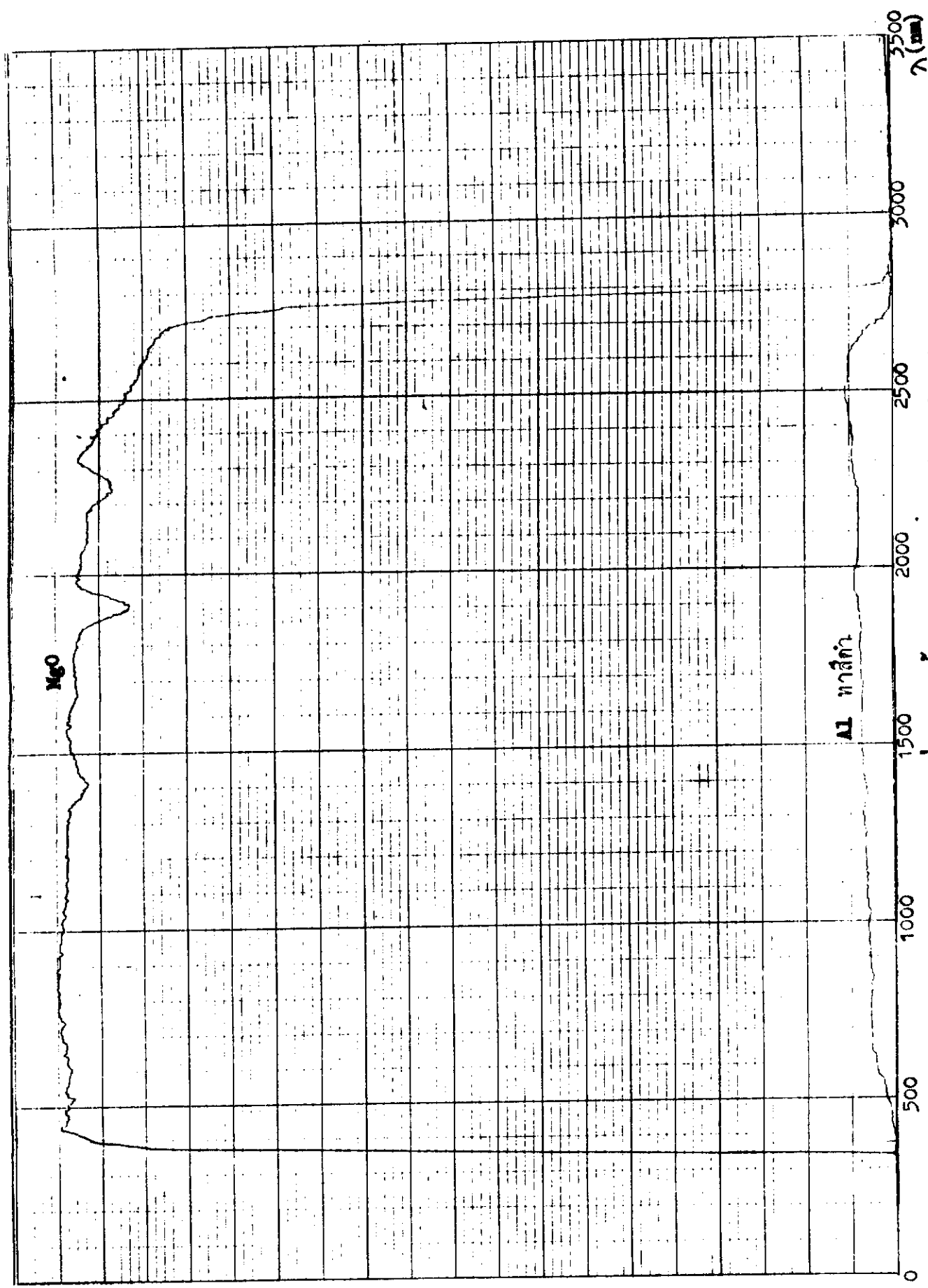
$\int_{2000 \text{ nm}}^{2700 \text{ nm}} \epsilon(\lambda) I_b(\lambda) d\lambda$ หาได้จากการหาพื้นที่ใต้กราฟของ $\epsilon(\lambda) I_b(\lambda)$ ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 2000 ถึง 2700 nm

$\int_{2000 \text{ nm}}^{2700 \text{ nm}} I_b(\lambda) d\lambda$ หาได้จากการหาพื้นที่ใต้กราฟของ $I_b(\lambda)$ ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 2000 ถึง 2700 nm

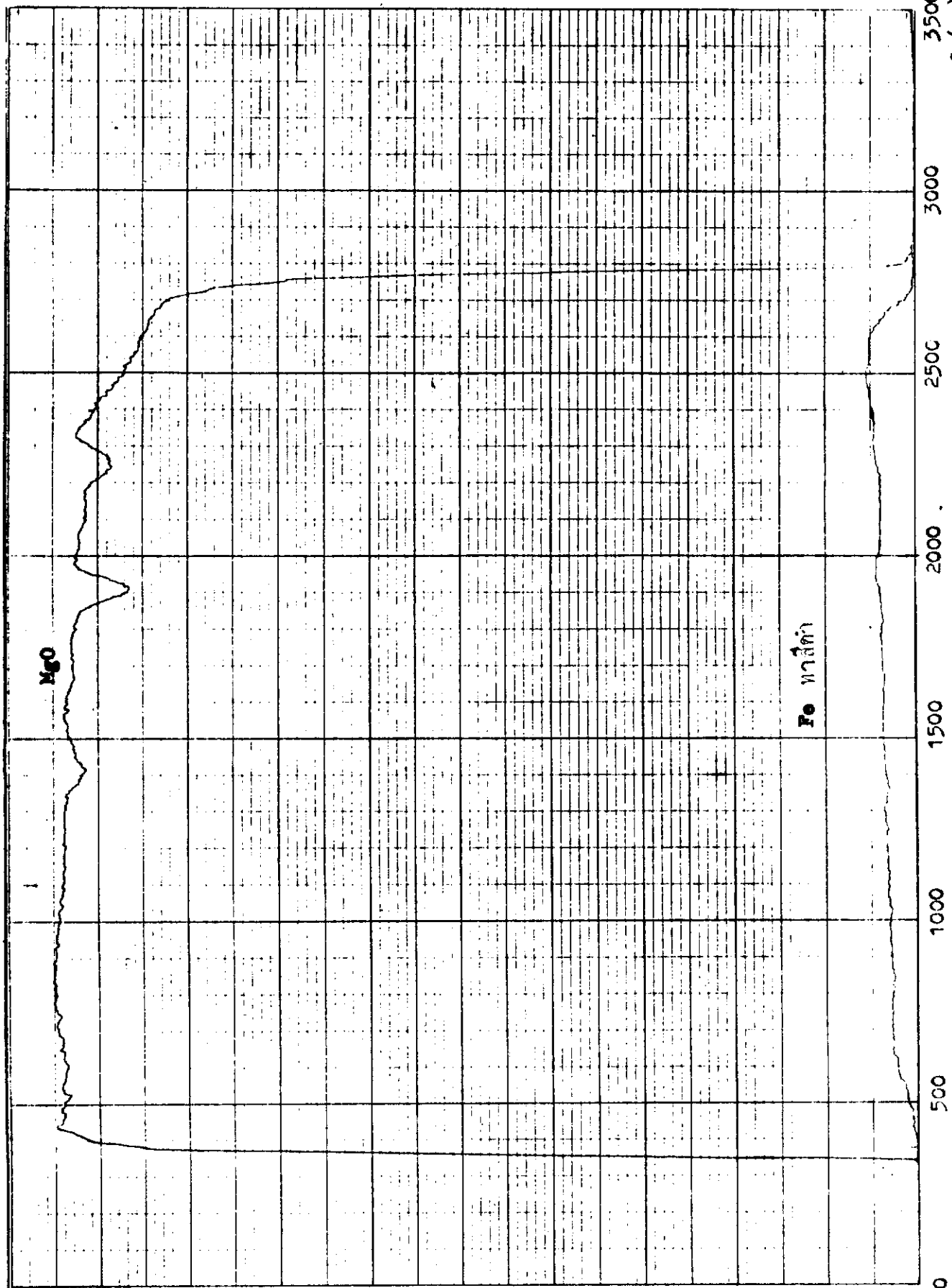
4.3 คำนวณหาค่าอัตราส่วน $\frac{L_s}{\epsilon_{TM}}$ โดยการหาอัตราส่วนระหว่างค่าในสมการ (6) และสมการ (8)

ผลการทดลองและการคำนวณ

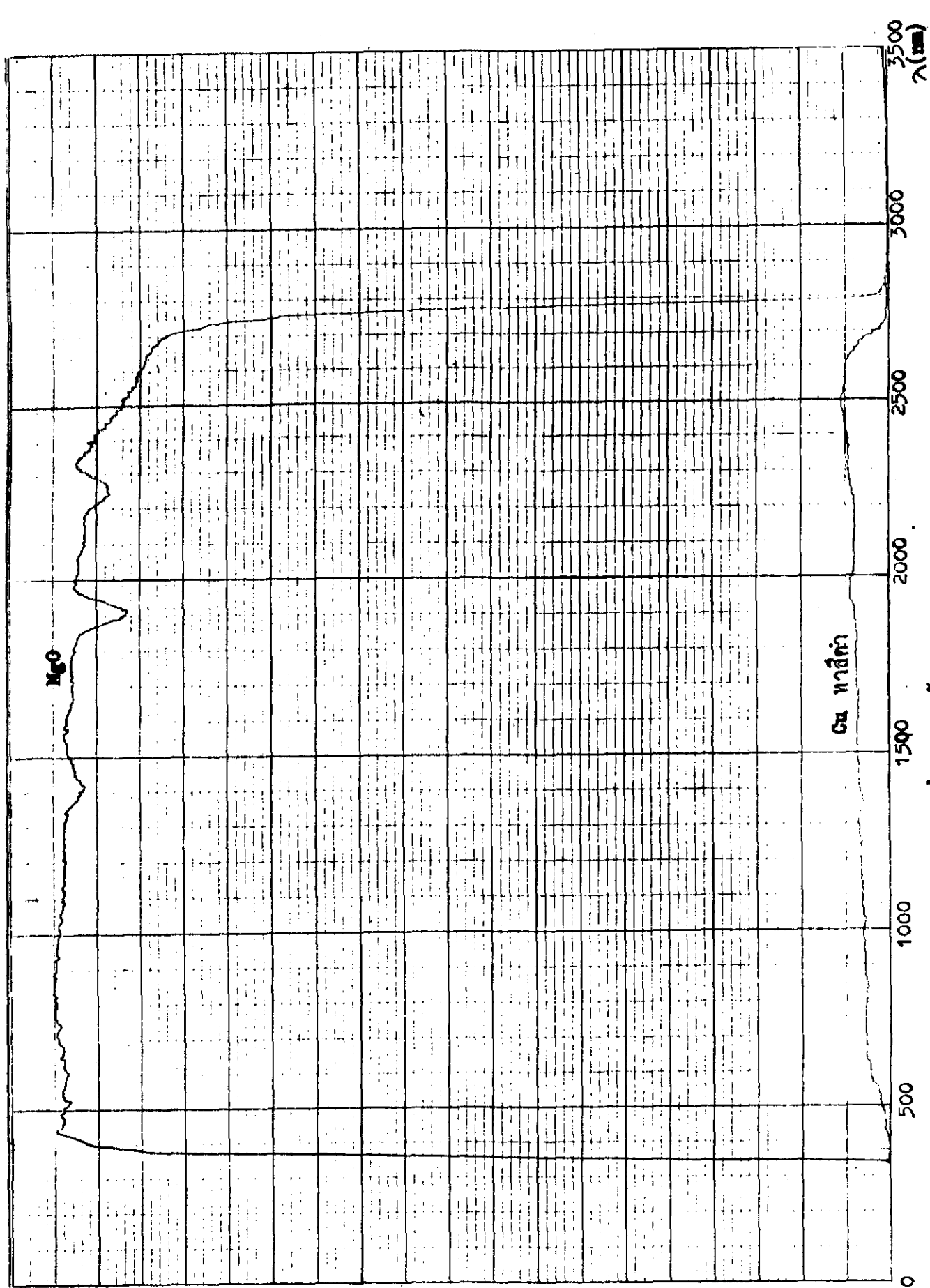
จากการนำอูมิเนียม อูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ทองแดง และเหล็กมาเคลือบผิวให้เป็นสีค่า ด้วยวิธีทางเคมี และวิธีทาด้วยสีค่า และนำวัสดุที่เคลือบผิวสีค่าเหล่านี้มาวัดค่าสภาพสะท้อนรังสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer Beckman DK - 2A ซึ่งเป็น การวัดค่าสภาพสะท้อนรังสีของผิววัสดุ เปรียบเทียบกับค่าสภาพสะท้อนรังสีของ MgO และค่าสภาพสะท้อนรังสีของ MgO มีค่า 0.92 ผลของการวัดค่าสภาพสะท้อนรังสีของ วัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด เปรียบเทียบกับค่าสภาพสะท้อนรังสีของ MgO ได้ผลดัง แสดงในภาพประกอบ 4 - 9



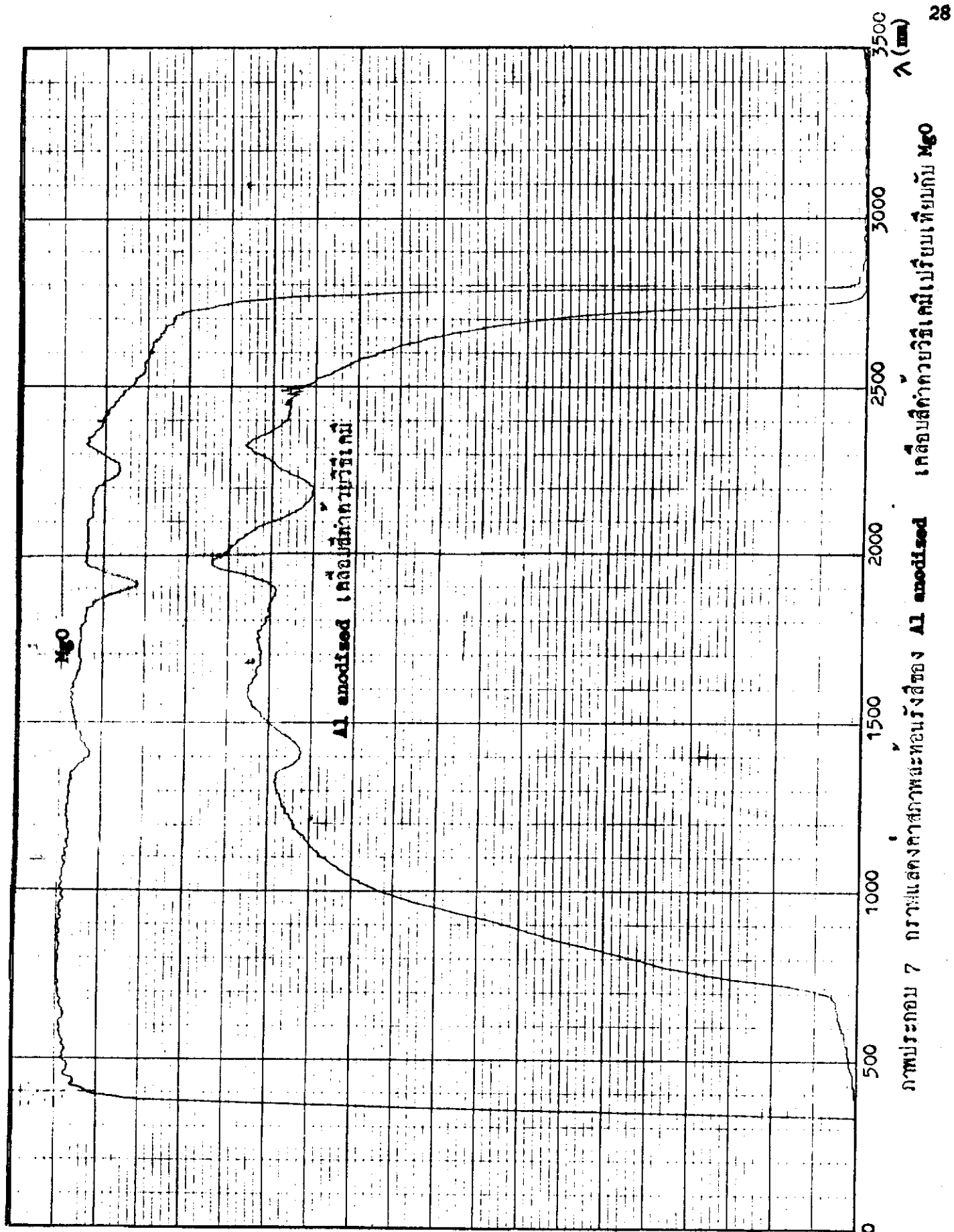
ภาพประกอบ 4 กราฟแสดงค่าสหภาพระดัของ AL ทาลีกาเปรียบเทียบกับ MgO

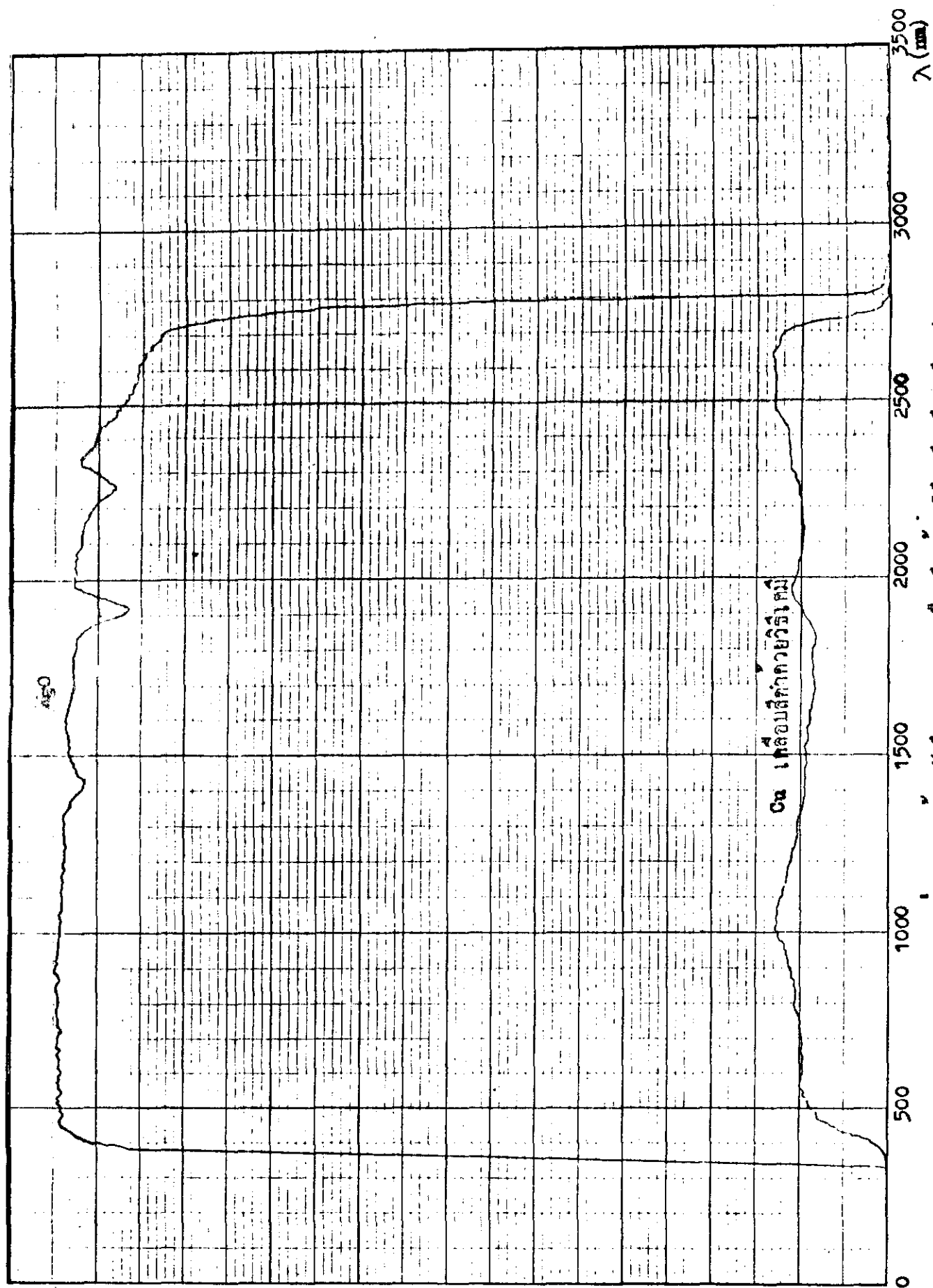


ภาพประกอบ 5 กราฟแสดงค่าสภาพสะท้อนรังสีของ Fe หนึ่งตัว เปรียบเทียบกับ MgO

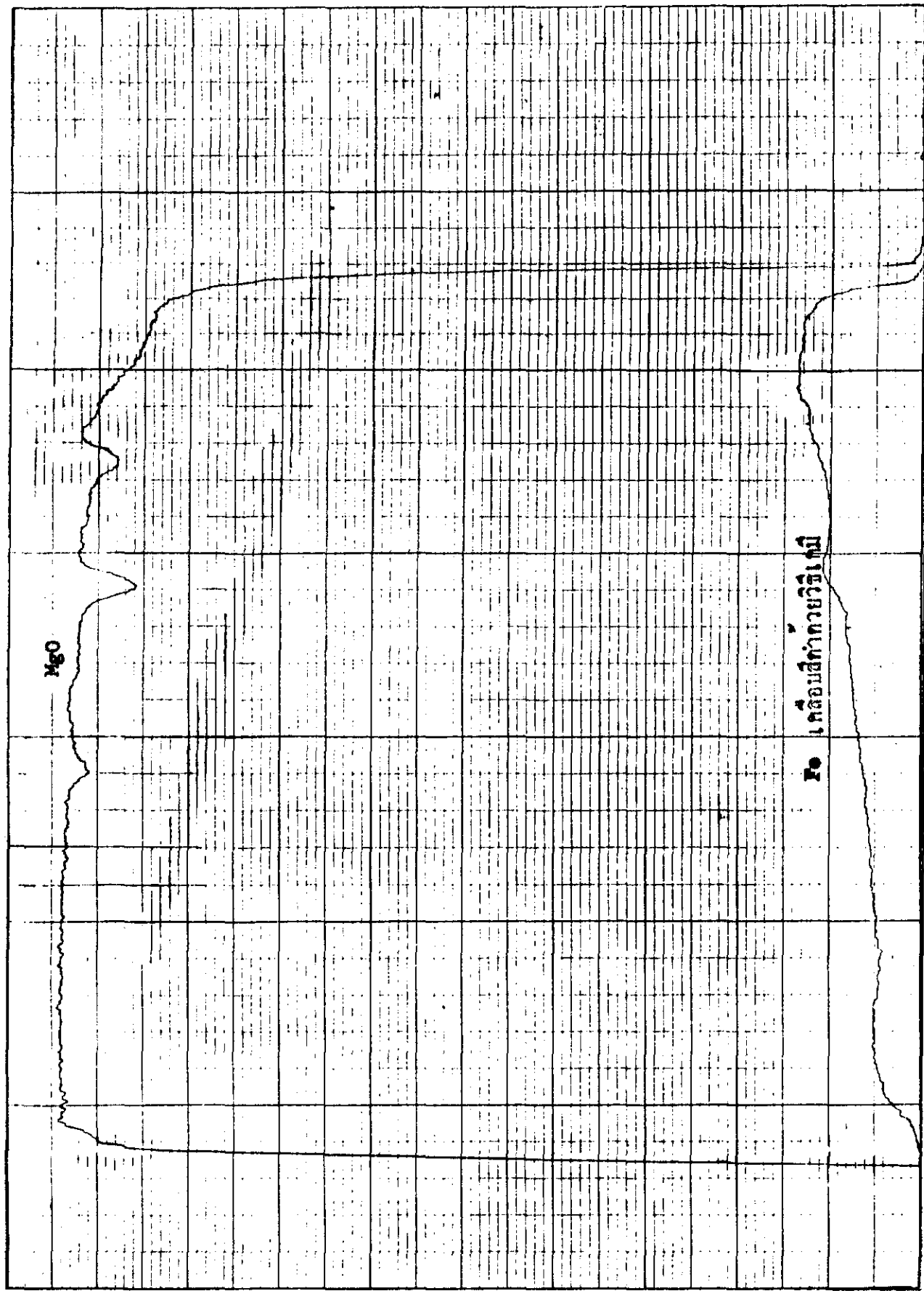


ภาพประกอบ 6 กราฟแสดงค่าสภาพสะท้อนรังสีของ Ca หาสีค่า เปรียบเทียบกับ MgO





ภาพประกอบ 8 กราฟแสดงค่าสภาพสะท้อนรังสีของ Cu เคลือบสีกากวยวิธีเคมีเปรียบเทียบกับ HgO



3500
λ (mm)

3000

2500

2000

1500

1000

500

0

ภาพประกอบ 9 กราฟแสดงภาพสเปกตรัมของ FeO เปรียบเทียบกับ MgO

การคำนวณค่าสภาพดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ (α_s) ของวัสดุคำนวณได้จากสูตร
ในสมการ (6) คือ

$$\alpha_s = \frac{\int_{350 \text{ nm}}^{2100 \text{ nm}} \alpha(\lambda) I_{\lambda}(\lambda) d\lambda}{\int_{350 \text{ nm}}^{2100 \text{ nm}} I_{\lambda}(\lambda) d\lambda}$$

เมื่อ $I_{\lambda}(\lambda)$ เป็นค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก หาค่าได้จากตาราง 12
ในภาคผนวก

$\alpha(\lambda)$ เป็นค่าสภาพดูดกลืนรังสีของวัสดุที่มีความยาวคลื่น λ ซึ่งหาได้จาก
สมการ (2) คือ

$$\alpha(\lambda) = 1 - \rho(\lambda)$$

$$\text{เมื่อ } \rho(\lambda) = \frac{0.92 \times \text{ส่วนสูงของกราฟของวัสดุ}}{\text{ส่วนสูงของกราฟของ MgO}} \dots (10)$$

$$\int_{350 \text{ nm}}^{2100 \text{ nm}} \alpha(\lambda) I_{\lambda}(\lambda) d\lambda \quad \text{เป็นค่าพื้นที่ใต้กราฟของ } \alpha(\lambda) I_{\lambda}(\lambda) \text{ ที่ } \lambda \text{ มีค่าระหว่าง } 350 \text{ ถึง } 2100 \text{ nm}$$

$$\int_{350 \text{ nm}}^{2100 \text{ nm}} I_{\lambda}(\lambda) d\lambda \quad \text{เป็นค่าพื้นที่ใต้กราฟของ } I_{\lambda}(\lambda) \text{ ที่ } \lambda \text{ มีค่าระหว่าง } 350 \text{ ถึง } 2100 \text{ nm ซึ่งหาค่าได้จากตาราง 12 ในภาคผนวก}$$

ผลการคำนวณค่าสภาพดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ (α_s) ของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. อลูมิเนียม ทองแดง และเหล็ก ทาสีดำ

จากกราฟในภาพประกอบ 4 ถึง 6 ซึ่งเป็นกราฟแสดงค่าสภาพสะท้อนรังสีของอลูมิเนียม ทองแดง และเหล็ก ทาสีดำความฉ่ำดับ เปรียบเทียบกับ MgO พบว่ามีลักษณะเหมือนกัน ฉะนั้นค่า $\rho(\lambda)$ จึงเท่ากัน และเป็นผลทำให้ค่า $\alpha(\lambda)$ และ $\alpha(\lambda)I_0(\lambda)$ เท่ากัน ที่ความยาวคลื่นเดียวกันด้วย ผลการคำนวณทั้งแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 แสดงค่า $\rho(\lambda)$, $\alpha(\lambda)$ และ $\alpha(\lambda)I_0(\lambda)$ ของอลูมิเนียม ทองแดง และเหล็กทาสีดำ ที่ความยาวคลื่น (λ) ระหว่าง 350 ถึง 2100 ~~nm~~

λ (nm)	$\rho(\lambda)$	$\alpha(\lambda)$	$\alpha(\lambda)I_0(\lambda)$ (W/m ²)
350	0.01	0.99	7.54
400	0.01	0.99	18.86
450	0.01	0.99	40.33
500	0.01	0.99	48.71
550	0.01	0.99	47.70
600	0.01	0.98	46.33
650	0.02	0.98	46.57
700	0.03	0.97	43.53
750	0.03	0.97	34.05
800	0.03	0.97	33.70
850	0.02	0.98	33.28
900	0.03	0.97	18.86
950	0.03	0.97	19.15
1000	0.03	0.97	24.74

ตาราง 3 (ต่อ)

$\lambda(\text{nm})$	$\rho(\lambda)$	$\alpha(\lambda)$	$\alpha(\lambda)I_{\lambda}(\lambda)(\text{W/m}^2)$
1050	0.03	0.97	21.65
1100	0.03	0.97	9.89
1150	0.03	0.97	8.50
1200	0.03	0.97	14.67
1250	0.03	0.97	12.86
1300	0.04	0.96	10.25
1350	0.03	0.97	0.70
1400	0.04	0.96	0.00
1450	0.03	0.97	0.93
1500	0.04	0.96	6.11
1550	0.03	0.97	8.67
1600	0.04	0.96	7.83
1650	0.04	0.96	6.74
1700	0.04	0.96	5.13
1750	0.04	0.96	3.11
1800	0.04	0.96	0.06
1850	0.04	0.96	0.00
1900	0.04	0.96	0.00
1950	0.05	0.95	0.68
2000	0.04	0.96	0.12
2050	0.04	0.96	1.50
2100	0.04	0.96	3.34

ดังนั้น ผลการคำนวณค่า α_0 ของอลูมิเนียม ทองแดง และเหล็ก ทำได้ค่า
จากสมการ (6) มีค่าเท่ากับ 0.94

2. อลูมิเนียมอินโคไซด์เคลือบสีค่าควมวชิเคมี

การคำนวณหาค่า $\rho(\lambda)$, $\alpha(\lambda)$ และ $\alpha(\lambda)I_{\lambda}(\lambda)$ ได้ผลดังตาราง 4

ตาราง 4 แสดงค่า $\rho(\lambda)$, $\alpha(\lambda)$ และ $\alpha(\lambda)I_{\lambda}(\lambda)$ ของอลูมิเนียมอินโคไซด์ เคลือบ
สีค่าควมวชิเคมีที่ λ ระหว่าง 350 ถึง 2100 nm

λ (nm)	$\rho(\lambda)$	$\alpha(\lambda)$	$\alpha(\lambda)I_{\lambda}(\lambda)$ (W/m ²)
350	0.01	0.99	7.54
400	0.01	0.99	18.89
450	0.01	0.99	40.33
500	0.01	0.99	48.71
550	0.01	0.99	47.70
600	0.02	0.98	46.33
650	0.02	0.98	46.57
700	0.03	0.97	43.53
750	0.18	0.82	28.78
800	0.25	0.75	26.06
850	0.34	0.66	22.41
900	0.41	0.59	11.47
950	0.49	0.51	10.07
1000	0.56	0.44	11.22

ตาราง 4 (ต่อ)

λ (nm)	$\rho(\lambda)$	$\sigma_L(\lambda)$	$\alpha(\lambda)I_{\lambda}(\lambda)$ (W/m ²)
1050	0.59	0.41	9.15
1100	0.63	0.37	3.77
1150	0.64	0.36	3.15
1200	0.66	0.34	5.14
1250	0.67	0.33	4.38
1300	0.68	0.32	3.42
1350	0.70	0.30	0.22
1400	0.67	0.33	0.00
1450	0.66	0.34	0.33
1500	0.69	0.31	1.97
1550	0.71	0.29	2.59
1600	0.72	0.28	2.28
1650	0.72	0.28	1.97
1700	0.71	0.29	1.55
1750	0.72	0.28	0.91
1800	0.71	0.29	0.08
1850	0.75	0.25	0.00
1900	0.75	0.25	0.00
1950	0.75	0.25	0.18
2000	0.75	0.25	0.03

ตาราง 4 (ต่อ)

λ (nm)	$\rho(\lambda)$	$\alpha(\lambda)$	$\alpha(\lambda)I_{\lambda}(\lambda)$ (W/m ²)
2050	0.75	0.25	0.39
2100	0.71	0.29	1.01

ดังนั้น ผลการคำนวณค่า $\alpha(\lambda)$ ของออร์แกนิกโมโนโครเมตเคลือบสีค่าควยวิธีเคมีมีค่าเท่ากับ 0.71

3. ทองแดงเคลือบสีค่าควยวิธีเคมี

การคำนวณหาค่า $\rho(\lambda)$, $\alpha(\lambda)$ และ $\alpha(\lambda)I_{\lambda}(\lambda)$ ได้ผลดัง

ตาราง 5

ตาราง 5 แสดงค่า $\rho(\lambda)$, $\alpha(\lambda)$ และ $\alpha(\lambda)I_{\lambda}(\lambda)$ ของทองแดงเคลือบสีค่าควยวิธีเคมีที่ λ ระหว่าง 350 ถึง 2100 nm

λ (nm)	$\rho(\lambda)$	$\alpha(\lambda)$	$\alpha(\lambda)I_{\lambda}(\lambda)$ (W/m ²)
350	0.01	0.99	7.54
400	0.02	0.98	18.70
450	0.07	0.93	37.89
500	0.09	0.91	44.79
550	0.10	0.90	43.36
600	0.10	0.90	42.55
650	0.10	0.90	42.77

ตาราง 5 (ต่อ)

λ (nm)	$\rho(\lambda)$	$\Delta(\lambda)$	$\Delta(\lambda)I_{\lambda}(\lambda)$ (W/m ²)
700	0.10	0.90	40.39
750	0.10	0.90	31.59
800	0.10	0.90	31.27
850	0.10	0.90	30.56
900	0.11	0.89	17.30
950	0.12	0.88	17.37
1000	0.13	0.87	22.19
1050	0.13	0.87	19.42
1100	0.12	0.88	8.98
1150	0.11	0.89	7.80
1200	0.11	0.89	13.46
1250	0.10	0.90	11.93
1300	0.10	0.90	9.61
1350	0.10	0.90	0.65
1400	0.10	0.90	0.00
1450	0.10	0.90	0.86
1500	0.09	0.91	5.79
1550	0.09	0.91	8.14
1600	0.09	0.91	7.43
1650	0.09	0.91	6.39
1700	0.09	0.91	4.86

ตาราง 5 (ต่อ)

λ (nm)	$\rho(\lambda)$	$\alpha(\lambda)$	$\alpha(\lambda)I_d(\lambda)(W/m^2)$
1750	0.09	0.91	2.95
1800	0.09	0.91	0.05
1850	0.10	0.90	0.00
1900	0.11	0.89	0.00
1950	0.11	0.89	0.64
2000	0.11	0.89	0.11
2050	0.10	0.90	1.40
2100	0.10	0.90	3.13

ดังนั้น ผลการคำนวณค่า α_d ของทองแดงเคลือบสีค่าคววิธีเคมี มีค่าเท่ากับ 0.84

4. เหล็กเคลือบสีค่าคววิธีเคมี

การคำนวณค่า $\rho(\lambda)$, $\alpha(\lambda)$ และ $\alpha(\lambda)I_d(\lambda)$ ได้ผลดังตาราง 6

ตาราง 6 แสดงค่า $\rho(\lambda)$, $\alpha(\lambda)$ และ $\alpha(\lambda)I_d(\lambda)$ ของเหล็กเคลือบสีค่าคววิธีเคมีที่ ๑ ระหว่าง 350 ถึง 2100 nm

λ (nm)	$\rho(\lambda)$	$\alpha(\lambda)$	$\alpha(\lambda)I_d(\lambda)(W/m^2)$
350	0.01	0.99	0.56
400	0.01	0.99	18.89
450	0.02	0.98	39.93
500	0.03	0.97	47.72

ตาราง 6 (ต่อ)

λ (nm)	$\rho(\lambda)$	$\alpha(\lambda)$	$\alpha(\lambda)I_{\lambda}(\lambda)(W/m^2)$
550	0.04	0.96	46.25
600	0.05	0.95	44.92
650	0.05	0.95	45.14
700	0.05	0.95	42.64
750	0.05	0.90	31.59
800	0.05	0.95	33.00
850	0.04	0.96	32.60
900	0.04	0.96	18.66
950	0.05	0.95	18.75
1000	0.05	0.95	24.23
1050	0.05	0.95	21.20
1100	0.05	0.95	9.69
1150	0.05	0.95	8.32
1200	0.05	0.95	14.36
1250	0.06	0.94	12.46
1300	0.06	0.94	10.04
1350	0.06	0.94	0.68
1400	0.06	0.94	0.00
1450	0.07	0.93	0.89
1500	0.07	0.93	5.91
1550	0.07	0.93	8.31

ตาราง 6 (ต่อ)

λ (nm)	$\rho(\lambda)$	$\alpha(\lambda)$	$\alpha(\lambda)I_{\lambda}(\lambda)$ (W/m ²)
1600	0.07	0.93	7.59
1650	0.08	0.92	6.46
1700	0.08	0.92	4.91
1750	0.08	0.92	2.98
1800	0.08	0.92	0.06
1850	0.08	0.92	0.00
1900	0.10	0.90	0.00
1950	0.11	0.89	0.64
2000	0.10	0.90	0.11
2050	0.10	0.90	1.40
2100	0.10	0.90	3.13

ดังนั้นผลการคำนวณค่า α_{λ} ของเหล็กเคลือบสีดำทึบวิธีเคมีมีค่าเท่ากับ 0.91

การคำนวณค่าสภาพแผ่รังสีความร้อน (ϵ_{Th}) ของวัสดุ คำนวณได้จากสูตร
ในสมการ (8) คือ

$$\epsilon_{Th} = \frac{\int_{2000\text{ nm}}^{2700\text{ nm}} \epsilon(\lambda) I_b(\lambda) d\lambda}{\int_{2000\text{ nm}}^{2700\text{ nm}} I_b(\lambda) d\lambda}$$

เมื่อ $I_b(\lambda)$ เป็นค่าความเข้ม ของการแผ่รังสีของวัตถุดำ ซึ่งหาได้จาก
ตาราง 13 ในภาคผนวก

$\epsilon(\lambda)$ เป็นค่าสภาพแผ่รังสีของวัตถุ ที่ความยาวคลื่น λ ซึ่งหาได้จากสูตร

$$\epsilon(\lambda) = 1 - \rho(\lambda)$$

$$\text{เมื่อ } \rho(\lambda) = \frac{0.92 \times \text{ส่วนสูงของกราฟของวัสดุ}}{\text{ส่วนสูงของกราฟของ MgO}}$$

$\int_{2000\text{ nm}}^{2700\text{ nm}} \epsilon(\lambda) I_b(\lambda) d\lambda$ เป็นค่าพื้นที่ใต้กราฟของ $\epsilon(\lambda) I_b(\lambda)$ ที่ λ มีค่าระหว่าง
2000 ถึง 2700 nm

$\int_{2000\text{ nm}}^{2700\text{ nm}} I_b(\lambda) d\lambda$ เป็นค่าพื้นที่ใต้กราฟของ $I_b(\lambda)$ ที่ λ มีค่าระหว่าง
2000 ถึง 2700 nm ซึ่งหาค่าได้จากตาราง 13 ในภาคผนวก

ผลการคำนวณค่าสภาพแผ่รังสีความร้อน (ϵ_{Th}) ของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. อลูมิเนียม ทองแดง และเหล็ก ทาสีดำ

จากกราฟในภาพประกอบ 4 ถึง 9 ซึ่งเป็นกราฟแสดงค่าสภาพ
สะท้อนรังสีของ อลูมิเนียม ทองแดง และเหล็ก ทาสีดำ ตามลำดับ เปรียบเทียบกับ
MgO พบว่ามีลักษณะเหมือนกัน ฉะนั้นค่า $\rho(\lambda)$ จึงเท่ากัน และเป็นผลทำให้ค่า
 $\epsilon(\lambda)$ และ $\epsilon(\lambda) I_b(\lambda)$ เท่ากัน ที่ความยาวคลื่นเดียวกันด้วย ผลการคำนวณดัง
แสดงในตาราง 7

ตาราง 7 แสดงค่า $\rho(\lambda)$, $\epsilon(\lambda)$ และ $\epsilon(\lambda)I_b(\lambda)$ ของ อลูมิเนียม ทองแดง และเหล็ก ทาสีดำที่ λ ระหว่าง 2000 ถึง 2700 nm

λ (nm)	$\rho(\lambda)$	$\epsilon(\lambda)$	$\epsilon(\lambda)I_b(\lambda)$ (W/m ²)
2000	0.05	0.15	0.42
2050	0.04	0.96	0.67
2100	0.04	0.96	1.04
2150	0.04	0.96	1.57
2200	0.04	0.96	2.32
2250	0.05	0.95	3.36
2300	0.05	0.95	4.77
2350	0.05	0.15	6.65
2400	0.05	0.95	9.20
2450	0.06	0.94	12.37
2500	0.06	0.94	16.52
2550	0.06	0.94	21.87
2600	0.05	0.95	28.76
2650	0.04	0.96	37.49
2700	0.03	0.97	47.98

ค่านับผลการคำนวณ ค่า ϵ_{TH} ของ อลูมิเนียม ทองแดง และเหล็ก
ทาสีดำ จากสมการ (8) มีค่าเท่ากับ 0.93

2. อลูมิเนียมออกไซด์ เคลือบสีค่าควยวิธีเคมี

การคำนวณหาค่า $\rho(\lambda)$, $\epsilon(\lambda)$ และ $\epsilon(\lambda)I_b(\lambda)$ ได้ผล

ดังตาราง 8

ตาราง 8 แสดงค่า $\rho(\lambda)$, $\epsilon(\lambda)$ และ $\epsilon(\lambda)I_b(\lambda)$ ของ อลูมิเนียมออกไซด์
เคลือบสีค่าควยวิธีเคมีที่ 2 ระหว่าง 2000 ถึง 2700 nm

λ (nm)	$\rho(\lambda)$	$\epsilon(\lambda)$	$\epsilon(\lambda)I_b(\lambda)$ (W/m ²)
2000	0.76	0.24	0.11
2050	0.73	0.27	0.19
2100	0.71	0.29	0.31
2150	0.69	0.31	0.51
2200	0.66	0.34	0.82
2250	0.71	0.29	1.03
2300	0.74	0.26	1.30
2350	0.72	0.28	1.96
2400	0.70	0.30	2.90
2450	0.78	0.22	2.90
2500	0.71	0.29	5.10
2550	0.67	0.33	7.68
2600	0.63	0.37	11.20
2650	0.57	0.43	16.80
2700	0.45	0.55	27.20

ดังนั้นผลการคำนวณค่า ϵ_{TH} ของ อลูมิเนียมออกไซด์ เคลือบสีค่าควยวิธีเคมี
มีค่าเท่ากับ 0.34

3. ทองแดง เคลือบสีค่าควิซี เคมี

การคำนวณหาค่า $\rho(\lambda)$, $E(\lambda)$ และ $E(\lambda)I_b(\lambda)$ ได้ผล

ดังตาราง 9

ตาราง 9 แสดงค่า $\rho(\lambda)$, $E(\lambda)$ และ $E(\lambda)I_b(\lambda)$ ของ ทองแดง เคลือบสีค่าควิซี เคมี ที่ λ ระหว่าง 2000 ถึง 2700 nm

λ (nm)	$\rho(\lambda)$	$E(\lambda)$	$E(\lambda)I_b(\lambda)$ (W/m ²)
2000	0.11	0.89	0.39
2050	0.10	0.90	0.63
2100	0.10	0.90	0.97
2150	0.10	0.90	1.47
2200	0.10	0.90	2.18
2250	0.11	0.89	3.15
2300	0.11	0.89	4.47
2350	0.12	0.88	6.16
2400	0.12	0.88	8.52
2450	0.14	0.86	11.32
2500	0.14	0.86	15.11
2550	0.14	0.86	20.01
2600	0.14	0.86	26.02
2650	0.14	0.86	33.58
2700	0.13	0.87	43.03

ดังนั้นผลการคำนวณค่า E_{TH} ของทองแดง เคลือบสีค่าควิซี เคมี เท่ากับ 0.85

4. . เหล็กเคลือบสีค่าความวิเคมี

การคำนวณหา $\rho(\lambda)$, $\epsilon(\lambda)$ และ $\epsilon(\lambda)I_b(\lambda)$ ใต้ผล

ดังตาราง 10

ตาราง 10 แสดงค่า $\rho(\lambda)$, $\epsilon(\lambda)$ และ $\epsilon(\lambda)I_b(\lambda)$ ของเหล็ก เคลือบสีค่า
ความวิเคมีที่ λ ระหว่าง 2000 ถึง 2700 nm

λ (nm)	$\rho(\lambda)$	$\epsilon(\lambda)$	$\epsilon(\lambda)I_b(\lambda)(W/m^2)$
2000	0.10	0.90	0.40
2050	0.10	0.90	0.63
2100	0.10	0.90	0.97
2150	0.11	0.89	1.45
2200	0.11	0.89	2.15
2250	0.12	0.88	3.12
2300	0.12	0.88	4.42
2350	0.13	0.87	6.09
2400	0.13	0.87	8.42
2450	0.16	0.84	11.05
2500	0.15	0.85	14.94
2550	0.14	0.86	20.01
2600	0.14	0.86	26.02
2650	0.14	0.66	33.58
2700	0.14	0.86	42.54

ดังนั้นผลการคำนวณค่า ϵ_{λ} ของเหล็ก เคลือบสีค่าความวิเคมี มีค่าเท่ากับ

0.86

จากการหาค่า d_s และ E_{TH} ของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง นำมาหาค่า $\frac{d_s}{E_{TH}}$ โดยลัดังแสดงในตาราง 11

ตาราง 11 แสดงค่า d_s , E_{TH} และ d_s/E_{TH} ของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุ	d_s	E_{TH}	d_s/E_{TH}
Al, Cu และ Fe ทาสีดำ	0.94	0.93	1.01
Al anodized เคลือบสีค่าควยวิธีเคมี	0.71	0.34	2.09
Cu เคลือบสีค่าควยวิธีเคมี	0.84	0.85	0.99
Fe เคลือบสีค่าควยวิธีเคมี	0.91	0.86	1.06

บทย่อ สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ความมุ่งหมายของการศึกษาครั้งนี้

การศึกษานี้มีความมุ่งหมายเพื่อที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนของอลูมิเนียม อลูมิเนียมไนไตรด์ ทองแดง และเหล็ก ซึ่งทำสีค่า และเคลือบสีค่าด้วยวิธีเคมี

วิธีดำเนินการศึกษาครั้งนี้

นำวัสดุที่ใช้ในการทดลองมาเคลือบสีค่าด้วยวิธีทาสีและวิธีทางเคมี และนำวัสดุซึ่งผิวมีสีค่าเหล่านี้ไปวัดค่าสภาพสะท้อนรังสีใน Spectrophotometer Beckman DK-2A ซึ่งจะได้อัตราในรูปของกราฟแสดงค่าสภาพสะท้อนรังสีของวัสดุ เปรียบเทียบกับ MgO โดยที่ MgO มีค่าสภาพสะท้อนรังสีเท่ากับ 0.92 นำค่าที่ได้จากกราฟไปคำนวณหาค่าสภาพดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ (α_s) และสภาพแผ่รังสีความร้อน (ϵ_{TH})

สรุปผลการศึกษาครั้งนี้

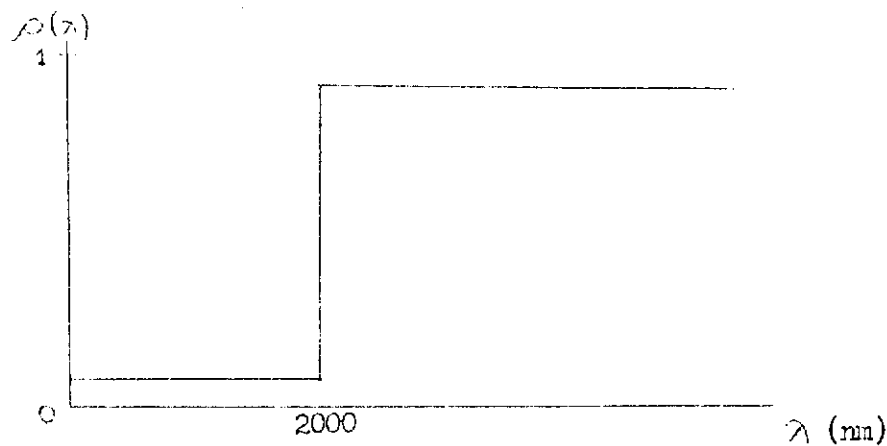
ผลของการคำนวณหาค่า α_s และ ϵ_{TH} ของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง ได้ผลดังแสดงในตาราง 11

อภิปรายผลการศึกษาครั้งนี้

1. เคลือบสีค่าด้วยวิธีทาสีค่า

จากผลการทดลองทั้งในภาพประกอบ 4 ถึง 6 และตาราง 3 พบว่าค่าสภาพสะท้อนรังสีของอลูมิเนียม ทองแดง และเหล็กทาสีค่า เหมือนกันโดยที่ในช่วง

ความยาวคลื่น 350 ถึง 2100 nm มีการสะท้อนรังสีต่ำหรือมีการดูดกลืนรังสีสูง ซึ่งกราฟมีลักษณะคล้ายกับกราฟอุดมคติของผิวเลือกรังสี (Ideal curve of selective Surface) ในภาพประกอบ 4 ในช่วงความยาวคลื่น 2000 ถึง 2700 nm ก็มีการสะท้อนรังสีต่ำอีกเช่นกัน จึงทำให้มีการแผ่รังสีความร้อนสูง ซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนจากตัวรับรังสีเป็นจำนวนมาก



ภาพประกอบ 4 กราฟอุดมคติของผิวเลือกรังสี

2. เคลือบสีค่าควยวิธีเคมี

จากกราฟแสดงการสะท้อนรังสีในภาพประกอบ 8, 9 และตาราง 5, 6 พบว่า ทองแดงและเหล็กมีการสะท้อนรังสีคล้ายคลึงกันในช่วงความยาวคลื่น 2000 ถึง 2700 nm แต่ในช่วงความยาวคลื่น 350 ถึง 2000 nm เหล็กเคลือบสีค่าควยวิธีเคมี มีการสะท้อนรังสีน้อยกว่าทองแดง ฉะนั้นเหล็กเคลือบสีค่าควยวิธีเคมีจึงเป็นผิวเลือกรังสีได้ดีกว่าทองแดง

สำหรับอลูมิเนียมออกไซด์เคลือบสีค่าควยวิธีเคมี ซึ่งน่าจะสามารถดูดกลืนรังสีได้มาก เพราะลักษณะของผิวอลูมิเนียมออกไซด์เป็นรูพรุน สามารถเกิด multiple absorption and reflection แต่จากกราฟในภาพประกอบ 7 และตาราง 4 พบว่า มีการสะท้อนรังสีสูงที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อเอาอลูมิเนียมออกไซด์ไปเคลือบสีค่าควยวิธีเคมีสารเคมีจะออกุเซลล์ ทำให้เกิด multiple

absorption and reflection น้อยลงหรือไม่เกิดเลย แต่ในขณะเดียวกันก็มี การสะท้อนรังสีในช่วง 2000 ถึง 2700 nm สูงกว่า จึงทำให้มีการแผ่รังสีความร้อนต่ำ ซึ่งจะเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของผิวเลือกรังสีสูง

จากภาพประกอบ 4 ถึง 9 และค่าที่ได้จากการคำนวณในตาราง 11 พบว่า วัสดุที่ดีที่สุดในการทดลองครั้งนี้คือ อลูมิเนียมออกไซด์ เคลือบสีด้วยวิธีเคมี ซึ่งมี ประสิทธิภาพของผิวเลือกรังสีเท่ากับ 2.09

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากตัวรับรังสีแผ่นราบ (flat plate collector) ซึ่งมีผิวเลือก รังสีเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ต้องติดตั้งรับแสงอาทิตย์อย่างถาวรเป็นเวลานาน ฉะนั้น จึงควรที่จะศึกษาความคงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ และอายุการใช้งาน เพื่อจะได้ทราบ ถึงประสิทธิภาพของผิวเลือกรังสีได้กว้างขวางยิ่งขึ้น

2. เนื่องจากอลูมิเนียมออกไซด์ ที่ได้ในครั้งนี้มีการแผ่รังสีความร้อนน้อย ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีของผิวเลือกรังสี แต่ก็มีการดูดกลืนรังสีน้อย ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ดี ดังนั้นจึงควรทำการทดลอง ใช้สารละลายสุทธอื่น และเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการ anodizing เพื่อพัฒนาให้อลูมิเนียมออกไซด์สามารถดูดกลืนรังสีได้มากขึ้น

111004071

บรรณานุกรม

- ประพันธ์ เปรมมณี การพัฒนาเทคโนโลยีในการใช้และการผลิตพลังงาน เอกสารการประชุมใหญ่ทางวิชาการวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 2520, 28 หน้า
- มัน เสนาะ การให้ลิ้นโลหะด้วยสารเคมี เอกสารของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กองบริการอุตสาหกรรม 2523, 23 หน้า
- ส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรม กองบริการอุตสาหกรรม การอินโคซ์ลัมเนียม 2523, 33 หน้า
- พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ และ สมเจตน์ ทองคำวงศ์ "การเลือกผิวสะท้อนแสง" ใน โครงการวิจัยในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ระบบกระจายตัวรับแสง หน้า 6 - 11 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี 2523
- Bhanthumavin, V. "Research and Development of Solar Energy in Thailand" in Seminar on Solar Energy and Applications. p. 3 King Mongkut Institute of Technology Thonburi, 1978.
- Duffie, John A. and William A. Beckman. Solar Energy Thermal Process. New York, John Wiley, 1974. 366 p.
- Exell, R.H. Energy Resource Development. ESCAP. United Nations, 1976. 148 p.
- Exell, R.H. and R. Saricari. The Availability of Solar Energy in Thailand. Asian Institute of Technology, 1973. 35 p.
- Gittleman, I.I., E.R. Siegel and Y. Arie. "Selective Absorbers of Solar Energy," Solar Energy Material. 1 : 99 - 100, 1969.
- Ishikawa, I. "Solar Thermal Power Generation" in Renewable Energy and Applications. p. 6 King Mongkut Institute of Technology Thonburi, 1980.
- Kharil, T.M. and A. Arais. "The Economics and Policy of Alternative Energy Source" in Symposium Workshop on Solar Energy. p. 24 - 29 Cairo, 1978.
- Kirtikara, R. "Selective Surface" in Renewable Energy and Applications. p. 2 King Mongkut Institute of Technology Thonburi, 1980.
- Kreith, F. and Jan F. Kreider. Principle of Solar Engineering. London, McGraw-Hill, 1978. 773 p.

Lampert, Carl M. "Coating for Photothermal Energy Collection," Solar Energy Material. 5 - 6 : 320 - 324, 1979.

Meinel, Aden B. and Majorie P. Meinel. Applied Solar Energy. London, Addison - Wesley, 1976. 651 p.

Standard Test Method For Solar Energy Transmittance and Reflectance (Terrestrial) of Sheet Materials. 46 : 281, 1979. 1542 p.

Touloukian, Y.S. and others. "Thermal Radiative Properties - Metallic Elements Alloys," Plenum Data Corporation. 7 : 326, 1972.

William, Richard J. Solar Energy Technology and Applications. London, Pergamon, 1975. 327 p.

ภาคผนวก

$I_M(\lambda)$ เป็นค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก หาค่าได้จากตาราง 1 โดยคำนวณเปรียบเทียบกับค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกในประเทศไทย ซึ่งมีค่า 600 W/m^2 ตามความสัมพันธ์

$$I_M(\lambda) = \frac{600 \times \text{ค่าความเข้มเป็นเปอร์เซ็นต์}}{100} \quad \text{W/m}^2$$

ผลของการคำนวณค่า $I_M(\lambda)$ ได้ผลดังตาราง 12

ตาราง 12 แสดงค่า $I_M(\lambda)$ ที่ ระหว่าง 350 ถึง 2100 nm

$\lambda \text{ (nm)}$	$I_M(\lambda) \text{ (W/m}^2\text{)}$	$\lambda \text{ (nm)}$	$I_M(\lambda) \text{ (W/m}^2\text{)}$
350	7.62	1000	25.50
400	19.08	1050	22.32
450	40.74	1100	10.20
500	49.20	1150	8.76
550	48.18	1200	15.12
600	47.28	1250	13.26
650	47.52	1300	10.68
700	44.88	1350	0.72
750	35.10	1400	0.00
800	34.74	1450	0.96
850	33.96	1500	6.36
900	19.44	1550	8.94
950	19.74	1600	8.16

ตาราง 12 (ต่อ)

$\lambda(\text{nm})$	$I_{\lambda}(\lambda) (\text{W/m}^2)$	$\lambda (\text{nm})$	$I_{\lambda}(\lambda) (\text{W/m}^2)$
1650	7.02	1900	0.00
1700	5.34	1950	0.72
1750	3.24	2000	0.12
1800	0.06	2050	1.56
1850	0.00	2100	3.48

$I_{\lambda}(\lambda)$ เป็นค่าความเข้มของการแผ่รังสีของวัตถุดำซึ่งหาได้จากสูตร

$$I_{\lambda}(\lambda) = \frac{2\pi^5 h c^2}{15 (\pi^6 - 15\pi^2) \lambda^5} \quad \text{W/m}^2$$

$$\text{เมื่อ } 2\pi^5 h c^2 = 3.7405 \times 10^8 \quad \text{W} \cdot \mu\text{m}^4/\text{m}^2$$

$$hc/k = 1.43879 \times 10^4 \quad \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

$$T = 300 \quad \text{K}$$

$$\text{ฉะนั้น } hc/kT = 48 \quad \mu\text{m}$$

$$\lambda = \text{ความยาวคลื่นมีหน่วยเป็น } \mu\text{m}$$

ผลของการคำนวณค่า $I_{\lambda}(\lambda)$ ได้แสดงตาราง 13

ตาราง 13 แสดงค่า $I_b(\lambda)$ ที่ λ ระหว่าง 2000 ถึง 2700 nm

λ (nm)	$I_b(\lambda) (\times 10^{-3} \text{ W/m}^2)$	λ (nm)	$I_b(\lambda) (\times 10^{-3} \text{ W/m}^2)$
2000	0.44	2400	9.68
2050	0.70	2450	13.16
2100	1.08	2500	17.57
2150	1.63	2550	23.27
2200	2.42	2600	30.26
2250	3.54	2650	39.05
2300	5.02	2700	49.46
2350	7.00		

ประสิทธิภาพของนิวเลอกรังสี

บทคัดย่อ
ของ
โจกชัย อัครวินชัย

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
เมษายน 2524

การศึกษาเรื่องผิวเลือกรังสีรังนี้ใช้ อลูมิเนียม อลูมิเนียมไนไตรด์ ทองแดง และเหล็ก มาทำผิวให้เป็นสีกากวยวิธีการ 2 วิธี คือ ทากวยสีค่า และเคลือบสีกากวยวิธีเคมี แล้วนำวัสดุที่มีผิวสีค่าเหล่านี้วัดหาค่าสภาพสะท้อนรังสีด้วย Spectrophotometer Beckman DK-2A จากนั้นคำนวณหาค่าสภาพดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ (α_s) และสภาพแผ่รังสีความร้อน (ϵ_{TH}) ของผิวเลือกรังสีทั้งหมด พบว่า ผิวเลือกรังสีที่ดีที่สุดคือ อลูมิเนียมไนไตรด์เคลือบสีกากวยวิธีเคมี ซึ่งมีประสิทธิภาพ (α_s/ϵ_{TH}) เท่ากับ 2.09.

EFFICIENCY OF THE SELECTIVE SURFACES

AN ABSTRACT

BY

CHOKCHAI USAWINCHAI

Presented in partial fulfillment of the requirements

for the Master of Education degree

at Srinakharinwirot University

April 1981

The selective surfaces employed in this study were aluminium, anodized aluminium, copper and iron. Two methods, namely : black paint and black chemical plating, were utilized to make the surfaces black. We measured the surface reflectance by using a Spectrophotometer Beckman DK-2A. The solar absorptance (α'_S) and thermal emittance (ϵ_{TH}) of all the surfaces were subsequently calculated. It was found that the best selective surface was that of anodized aluminium which was chemically plated black and whose efficiency yield ($\alpha'_S / \epsilon_{TH}$) was 2.09.