หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 3

## ตัวรับแสงชนิดแผ่นราบ

การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์จะต้องมีตัวรับแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานรูปอื่นที่เป็นประโยชน์ ตัวรับแสงอาทิตย์แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

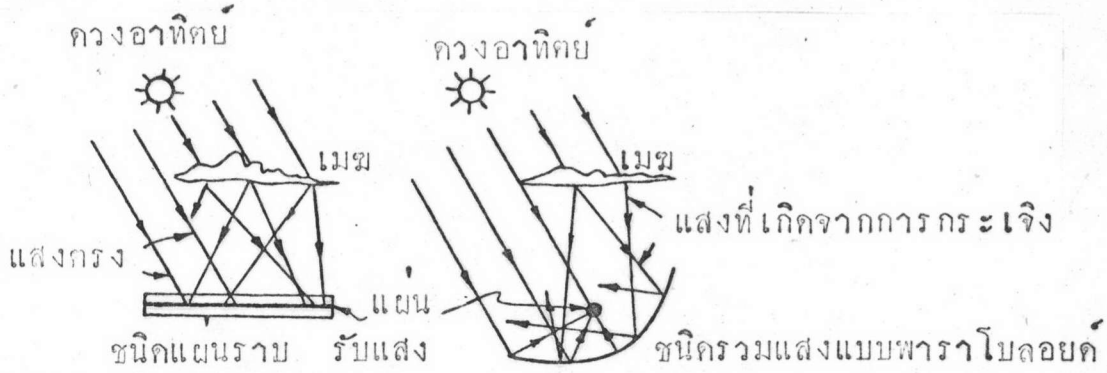
ก. ตัวรับแสงชนิดแผ่นราบ (Flat plate collectors)

ข. ตัวรับแสงชนิดรวมแสง (Concentrating collectors)

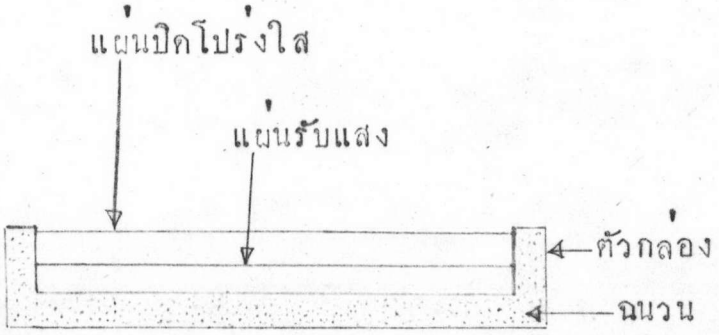
ชนิดรวมแสงดูดกลืนเฉพาะแสงอาทิตย์ที่มาโดยตรง ส่วนชนิดแผ่นราบดูดกลืนแสงอาทิตย์ที่มาโดยตรงและที่เกิดจากการกระเจิงดังนั้นจึงดูดกลืนพลังงานจากท้องฟ้าและสิ่งแวดล้อมได้ดีเท่ากับจากแสงอาทิตย์โดยตรง (ดูรูปที่ 3.1) ชนิดรวมแสงจะหมุนตลอดวันเพื่อติดตามดวงอาทิตย์ ส่วนชนิดแผ่นราบจะอยู่กับที่ ดังนั้นชนิดแผ่นราบจึงได้เปรียบกว่าชนิดรวมแสง แต่ชนิดรวมแสงสามารถให้อุณหภูมิสูงกว่า ดังนั้นการนำชนิดใดมาใช้ประโยชน์จึงขึ้นกับระดับอุณหภูมิที่ต้องการ

สำหรับการวิจัยนี้ต้องการอุณหภูมิไม่สูงนัก ความร้อนที่ต้องการใช้ประโยชน์มีอุณหภูมิไม่เกิน 80 องศาเซลเซียส จึงใช้ตัวรับแสงชนิดแผ่นราบ และในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะตัวรับแสงชนิดแผ่นราบเท่านั้น

ตัวรับแสงชนิดแผ่นราบโดยทั่วไป (ดูรูป 3.2) มีส่วนประกอบสำคัญได้แก่แผ่นรับแสง (collector plate) มีหน้าที่ดูดกลืนแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนเป็นความร้อน แผ่นปิดโปร่งใส (transparent cover) อาจเป็นกระจกหรือพลาสติกซึ่งยอมให้แสงอาทิตย์ผ่านเข้าสู่แผ่นรับแสง แต่จะกั้นรังสีความร้อน(อินฟราเรด) ที่แผ่ออกจากแผ่นรับแสงและยังลดการสูญเสียความร้อนโดยการพาจากแผ่นรับแสงอีกด้วย ด้านล่างและด้านข้างของตัวรับแสงบุด้วยฉนวนกันความร้อนเช่น ใยแก้วหรือโฟม




รูปที่ 3.1 แสดงตัวรับแสงแบบพื้นฐาน 2 ชนิด ตัวรับแสงชนิดแผ่นราบรับโฟตอนทั้งหมดไม่ว่าจะมาจากดวงอาทิตย์โดยตรงหรือเกิดจากการกระเจิงโดยเมฆ ส่วนแบบพาราโบลอยด์ (paraboloid) สามารถรวมแสงเฉพาะที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงเท่านั้น(5)




รูปที่ 3.2 แสดงตัวรับแสงชนิดแผ่นราบแบบทั่วไป

3.1 แผ่นรับแสง

แผ่นรับแสงโดยทั่วไปเป็นโลหะเช่น เหล็ก ทองแดง หรืออะลูมิเนียม เพื่อให้นำความร้อนได้ดี ปกติแผ่นรับแสงจะเคลือบสีดำด้าน เมื่อแผ่นนี้ถูกแสงอาทิตย์จะดูดกลืนแสงแล้วมีอุณหภูมิสูงขึ้น ขบวนการนี้อาจจะซับซ้อนซึ่งเปลี่ยนแปลงตามชนิดของวัตถุที่ดูดกลืนแสง ขบวนการนี้รวมถึงการกระเจิง, การดูดกลืนโฟตอน, การเร่งอิเลคตรอน, การชนกันหลายครั้ง แต่ผลสุดท้ายก็คือพลังงานจากการแผ่รังสีของทุกความถี่จะเปลี่ยนไปเป็นความร้อนและเคลื่อนที่ไปยังส่วนอื่น ๆ ของแผ่นโดยการนำ บางส่วนของความร้อนคายให้สิ่งแวดล้อมโดยการพาหรือการแผ่รังสี ความร้อนที่คายออกนี้ขึ้นกับผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวรับแสงและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นขณะที่ผิวร้อนขึ้นการสูญเสียความร้อนจากผิวจะเพิ่มขึ้น อัตราการสูญเสียความร้อนขึ้นกับการแผ่รังสีของวัตถุที่ร้อน การเคลื่อนที่ของอากาศรอบ ๆ ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและสภาพนำความร้อนของสิ่งที่อยู่ติดกับวัตถุที่ร้อนเมื่อความร้อนที่ได้รับโดยการแผ่รังสีเท่ากับความร้อนที่สูญเสียจากผิว ก็จะถึงอุณหภูมิสมดุลย์ (equilibrium temperature)

การเพิ่มขึ้นของความร้อนขึ้นกับความเข้มของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และสภาพดูดกลืน (absorptivity) ของผิวของแผ่นรับแสงสีดำ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแผ่นรับแสงสีดำชนิดต่าง ๆ แปรค่าจาก 0.8 ถึง 0.98[13]

วัตถุทุกชนิดเมื่อร้อนจะคายรังสีความร้อนโดยมีความยาวคลื่นและความเข้มขึ้นกับอุณหภูมิ (ดังรูปที่ 3.3)[5] และลักษณะทางแสงของวัตถุคือ การคาย (emittance), การดูดกลืน (absorptance), และการสะท้อน (reflectance) ปริมาณทั้งสามนี้สัมพันธ์กันด้วยกฎง่าย ๆ คือ

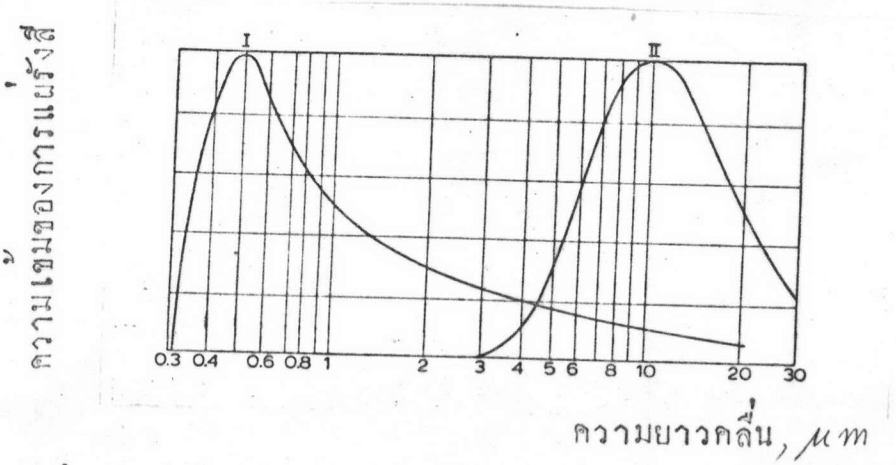
$$\text{การคาย} = 1 - \text{การสะท้อน}$$

$$\text{การดูดกลืน} = 1 - \text{การสะท้อน}$$

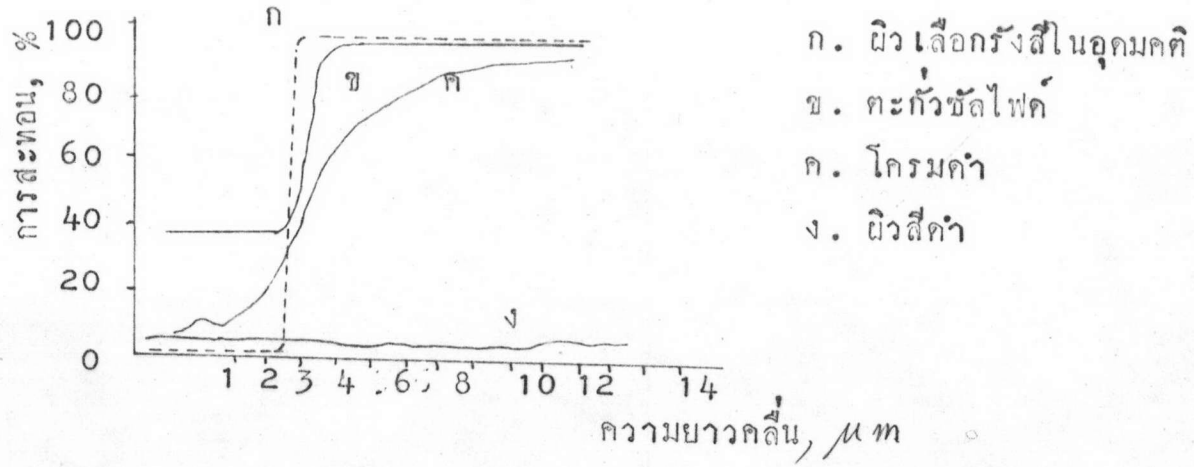
ดังนั้นจะได้กฎของเคอชอพพ์ (Kirchoff)[5] คือ

$$\text{การคาย} = \text{การดูดกลืน}$$

วัตถุที่มีการดูดกลืนเท่ากับหนึ่งในทุกความยาวคลื่นเรียกว่า "วัตถุดำ" แผ่นรับแสงที่ดีควรจะมีผิวที่มีการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์มากในช่วงคลื่นระหว่าง 0.3 - 2.0 $\mu$m (ซึ่งกว่า 90 เปอร์เซนต์ ของพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในช่วงคลื่นนี้) และในขณะเดียวกันมีการคายรังสีความ




รูปที่ 3.3 แสดงสเปคตรัมของแสงอาทิตย์ (เส้นกราฟที่ I) และของผิวรับแสงที่มีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (เส้นกราฟที่ II )[18]



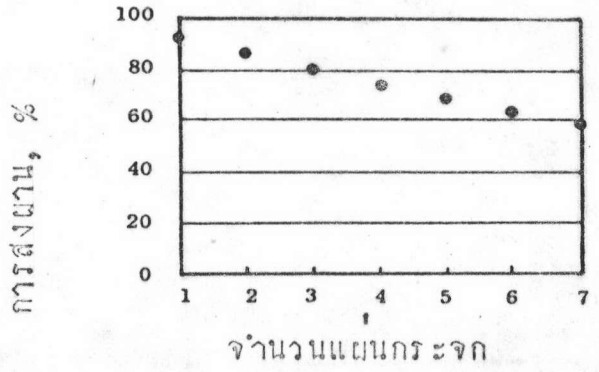

รูปที่ 3.4 แสดงการสะท้อนของผิวชนิดต่าง ๆ[2]

ร้อนจากแผ่นรับแสงน้อย เพื่อให้การสูญเสียความร้อนจากแผ่นรับแสงน้อย ผิวรับแสงที่มีลักษณะเช่นนี้เรียกว่าผิวเลือกรังสี (selective surface) ซึ่งสามารถทำได้โดยการสังเคราะห์มีหลายกระบวนการ[4] แต่ไม่ขอกล่าวถึง รูปที่ 3.4 แสดงการสะท้อนของผิวชนิดต่าง ๆ [2] โครมดำ (black chrome) เป็นผิวเลือกรังสีที่นิยมใช้กันมากในการวิจัยนี้ไม่ได้ใช้ผิวเลือกรังสีเพราะไม่ต้องการอุณหภูมิสูงนัก ดังนั้นคิดว่าใช้แผ่นโลหะพ่นสีดำก็ดีแล้วและประหยัดด้วย แม้ว่าผิวสีดำจะมีการคายรังสีความร้อนสูง แต่ได้ปิดด้วยแผ่นกระจกซึ่งสามารถกั้นรังสีความร้อนได้

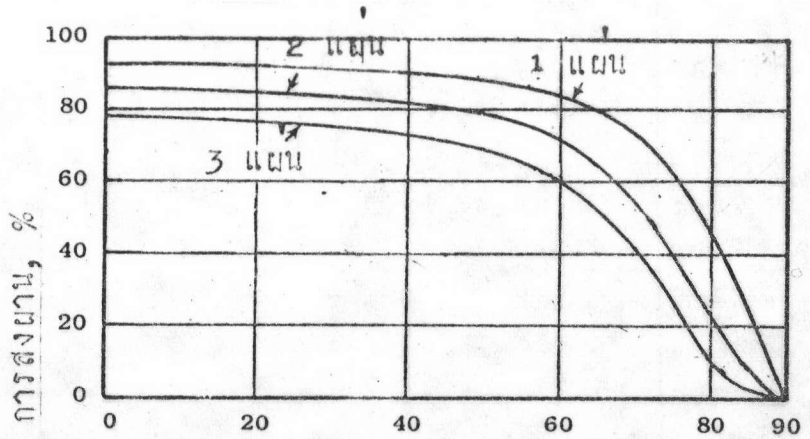
## 3.2 แผ่นปิดโปร่งใส

การปิดผิวรับแสงด้วยแผ่นปิดโปร่งใสที่แสงอาทิตย์ผ่านได้เช่น กระจก จะลดการสูญเสียความร้อนทางด้านบนที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากแผ่นรับแสง เพราะ กระจกยอมให้รังสีผ่านเฉพาะบางช่วงคลื่นเท่านั้น (selective transmittance) รังสีคลื่นสั้นผ่านได้มาก รังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกจากแผ่นรับแสงที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส จะผ่านออกไม่ได้[13] กระจกยังลดการสูญเสียความร้อนโดยการพาจากแผ่นรับแสงอีกด้วย จำนวนแผ่นกระจกที่ใช้กันโดยมากคือ 1 ถึง 3 แผ่นขึ้นกับสภาพอากาศและประสิทธิภาพที่ต้องการ โดยธรรมชาติแล้วแต่ละแผ่นของกระจกจะทำให้แสงอาทิตย์ผ่านลดลงเล็กน้อยเพราะเกิดการดูดกลืนและการสะท้อนที่กระจก แต่ขณะเดียวกันการเก็บความร้อนจะดีขึ้น รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการส่งผ่านกับจำนวนแผ่นกระจกที่มีดรรชนีหักเห 1.51[5] การส่งผ่านลดลงเมื่อจำนวนแผ่นกระจกมากขึ้น จากรูปคิดการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนเท่านั้น ไม่ได้คิดการสูญเสียเนื่องจากการดูดกลืนซึ่งมีค่าต่ำกว่า 4 เปอร์เซนต์ ขึ้นกับความหนาและชนิดของกระจก และถ้ามุมตกกระทบของแสงอาทิตย์มากขึ้นการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนจะเพิ่มขึ้นดังรูป 3.6 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการส่งผ่านและมุมตกกระทบของรังสีเมื่อมีกระจก 1, 2 และ 3 แผ่น[5]

กระจกควรมีส่วนประกอบของเหล็กน้อย สังเกตได้จากเมื่อมองด้านข้างมีสีเขียว ดังนั้นสีเขียวควรจะน้อยที่สุดที่จะเป็นไปได้




รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการส่งผ่าน และจำนวนแผ่นกระจกที่มีดรรชนีหักเห 1.51 (5)




รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการส่งผ่าน และมุมตกกระทบของรังสีเมื่อมีกระจก 1, 2 และ 3 แผ่น (5)

กระจกชนิด sola - lime - silica มีสูตรทั่วไป[15] คือ

| | |
|---|---|
| $SiO_2$ | 72.8 - 73.0 |
| CaO | 8.5 - 8.9 |
| MgO | 3.4 - 3.5 |
| $Na_2O + K_2O$ | 13.1 - 13.3 |
| Minor ($Al_2O_3$, $TiO_2$, $SO_3$) | 1.2 - 1.4 |
| $Fe_2O_3$ | 0.15 |

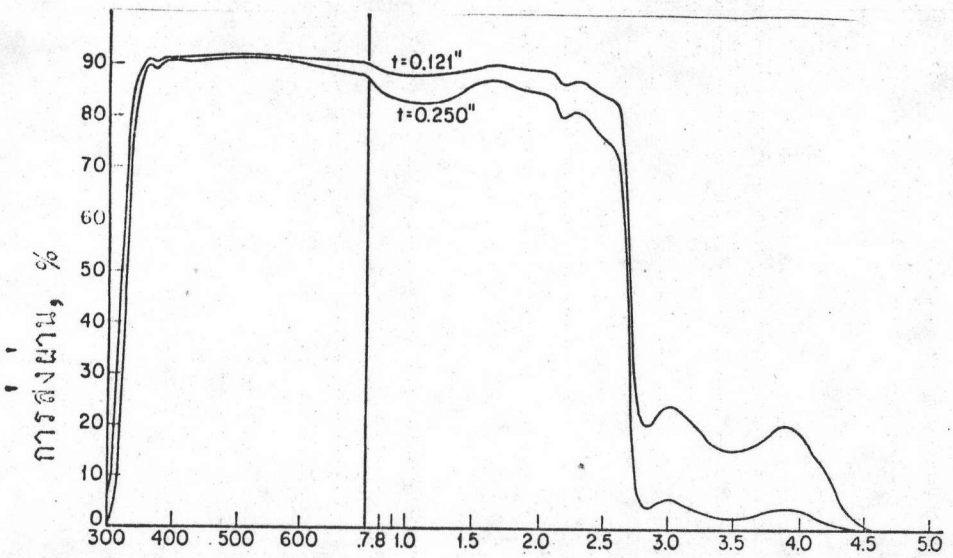
ส่วนประกอบเหล่านี้ ปริมาณ $Fe_2O_3$ ที่มีอยู่โดยคิดเป็นเปอร์เซนต์เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดต่อการส่งผ่านโดยเฉพาะสเปคตรัมในช่วงอินฟราเรดซึ่งเหล็กจะลดการส่งผ่านของรังสีและเพิ่มการดูดกลืนมาก ดังนั้นปริมาณความร้อนที่กระจกดูดกลืนไว้จึงเพิ่มขึ้นโดยไม่มีผลต่อการส่งผ่านในช่วงของแสงสว่าง

สูตรทั่วไปสำหรับกระจกที่มีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดต่ำ, กลาง, สูง[15] คือ

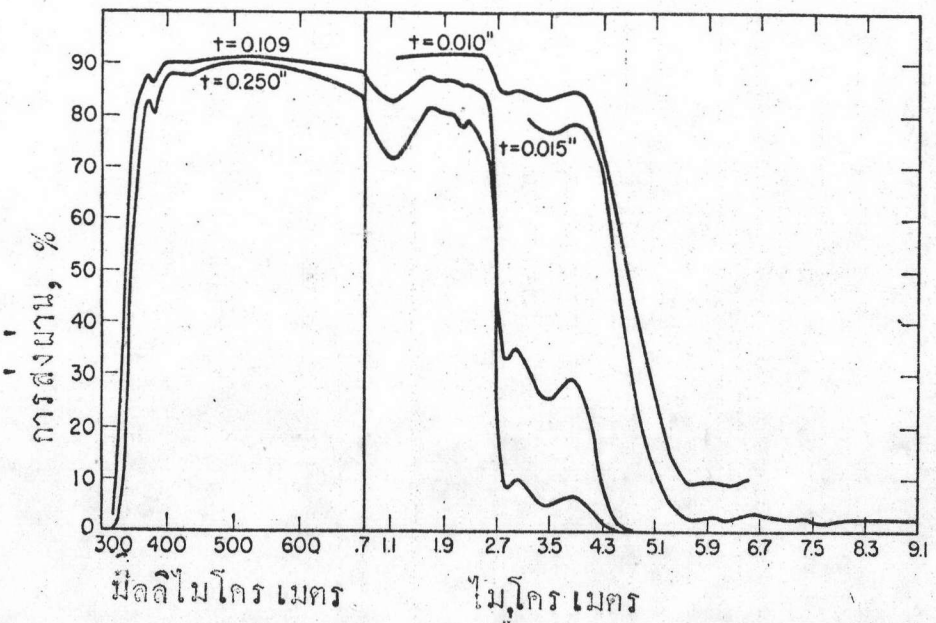
| | |
|---|---|
| $SiO_2$ | 71.9 - 72.2 |
| CaO | 11.1 - 11.2 |
| MgO | 2.0 - 2.1 |
| $Na_2O$ | 13.7 - 13.8 |
| Minor ($Al_2O_3$, $TiO_2$, $SO_3$) | 0.6 - 0.8 |
| $Fe_2O_3$ | 0.03 (low-iron) |
| | 0.12 (regular plate) |
| | 0.48 (heat-absorbing) |

001741

รูปที่ 3.7 - 3.10 แสดงผลเนื่องจากมีเปอร์เซนต์ของเหล็กต่างกันและความหนาของกระจกต่างกัน[15] (คิดรังสีตกตั้งฉาก) การส่งผ่านเมื่อมีเปอร์เซนต์ของเหล็กต่ำสุดจะมากกว่า 90 เปอร์เซนต์ในช่วงอุลตราไวโอเล็ตใกล้ (ต่ำกว่า 400 มิลลิไมโครเมตร) การส่งผ่านยังคงมากและสม่ำเสมอตลอดช่วงของแสงสว่างไปจนถึงอินฟราเรดและจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ประมาณ 2.7 $\mu$m และลดลงจนเป็นศูนย์ที่ประมาณ 4.5 $\mu$m (นั่น

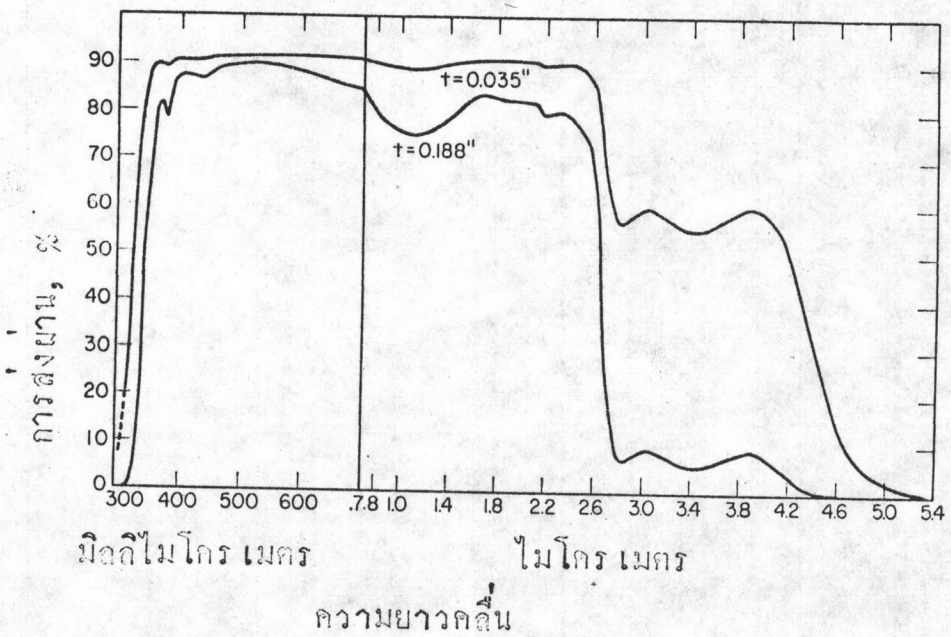



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงการส่งผ่านรังสีของกระจกที่ประกอบด้วย $Fe_2O_3$ 0.035 เปอร์เซนต์ (เป็นชนิดมีเหล็กต่ำ) ที่ความหนาต่าง ๆ[15]

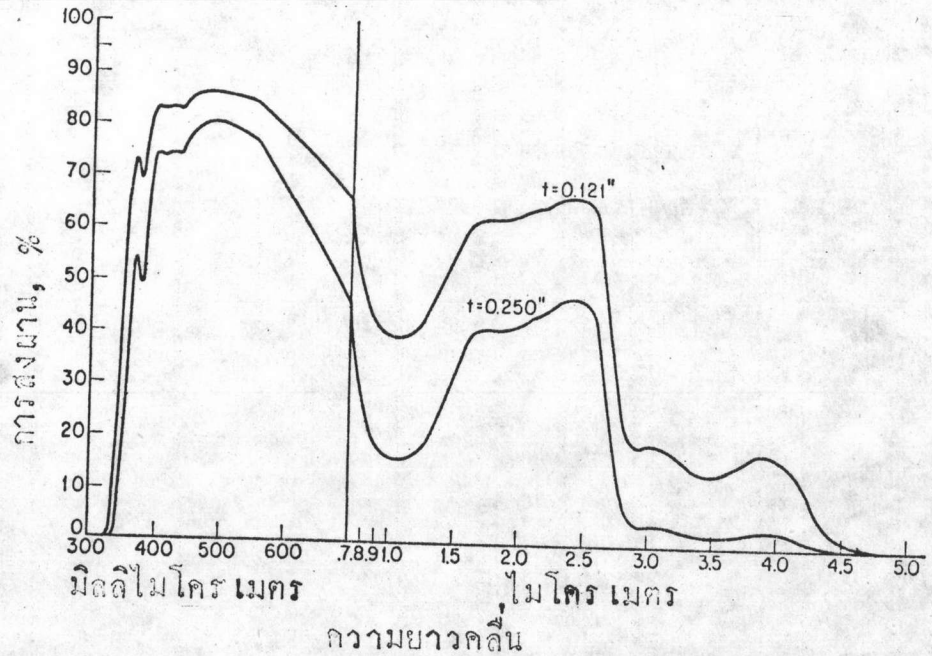



รูปที่ 3.8 กราฟแสดงการส่งผ่านรังสีของกระจกที่ประกอบด้วย $Fe_2O_3$ 0.10 เปอร์เซนต์ ที่ความหนาต่าง ๆ[15]

† = ความหนาของกระจก




รูปที่ 3.9 กราฟแสดงการส่งผ่านรังสีของกระจกที่ประกอบด้วย $Fe_2O_3$ 0.15 เปอร์เซนต์ ที่ความหนาต่าง ๆ (15)




รูปที่ 3.10 กราฟแสดงการส่งผ่านรังสีของกระจกที่ประกอบด้วย $Fe_2O_3$ 0.48 เปอร์เซนต์ (เป็นกระจกชนิดดูดกลืนความร้อน) ที่ความหนาต่าง ๆ (15)

t = ความหนาของกระจก

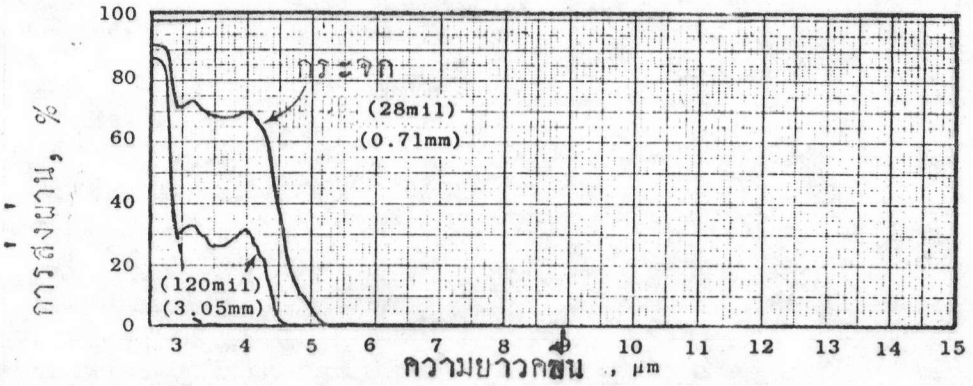
คือไม่ยอมให้รังสีผ่านเลย) ในช่วงที่มีการส่งผ่านมากค่าที่ลดลงของการส่งผ่านเกิดจากการสะท้อน ถ้า $Fe_2O_3$ เพิ่มเป็น 0.15 เปอร์เซนต์ การส่งผ่านจะลดลงแม้ว่ามีค่าสูงในช่วงแสงสว่าง กระจกชนิดดูดกลืนความร้อน (0.48 $Fe_2O_3$) การส่งผ่านจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงสีแดงและอินฟราเรดใกล้ รูปที่ 3.11แสดงการส่งผ่านรังสีอินฟราเรดของกระจกหนา 0.71 มิลลิเมตร(5)

พลาสติกใช้เป็นแผ่นปิดผิวรับแสงได้เช่นเดียวกับกระจกและมีสภาพนำความร้อนต่ำกว่ากระจก พลาสติกแต่ละชนิดยอมให้รังสีอินฟราเรดผ่านได้ต่างกันขึ้นกับความหนาและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ถ้าต้องการใช้พลาสติกบางแต่มีความทึบมากต่อรังสีอินฟราเรดสำหรับค่ามากที่สุดของกรีนเฮาส์เอฟเฟค ("greenhouse" effect) ซึ่งหมายถึงการยอมให้รังสีคลื่นสั้นผ่านเข้าได้ แต่คลื่นยาวที่เกิดจากภายในผ่านออกไม่ได้ ต้องใช้พลาสติกชนิดที่มีโมเลกุลซับซ้อนมากขึ้น รูปที่ 3.12 แสดงพลาสติกบาง 4 ชนิด เรียงลำดับความทึบมากขึ้น คือ โพลีโปรปีลีน ( polypropylene), เทดลาร์ (Tedlar), ไมลาร์ (Mylar) และแคปตอน (Kapton)(5) ข้อเสียของพลาสติกคือมีการเสื่อมลงเนื่องจากการทำลายโดยแสงอุลตราไวโอเล็ต ข้อดีคือมีน้ำหนักเบาและไม่แตก

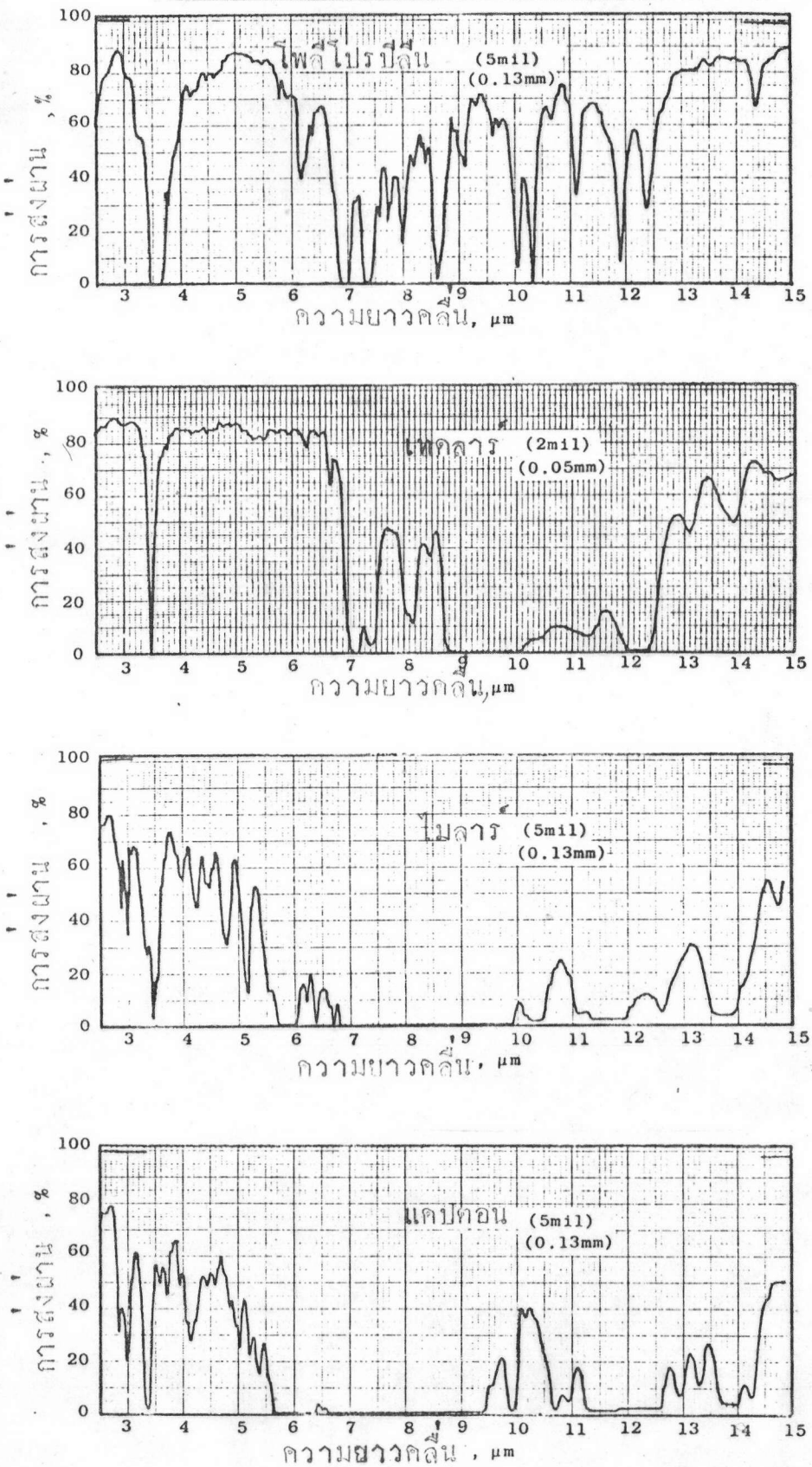
สำหรับการวิจัยนี้ไม่ได้ใช้พลาสติกเพราะพลาสติกที่มีคุณภาพดีราคาแพง และไม่ได้ผลิตในประเทศ

3.3 <u>ฉนวนกันความร้อน</u>

ตัวรับแสงที่บุฉนวนจะลดการสูญเสียความร้อนมากขึ้น ฉนวนกันความร้อนเป็นวัสดุที่มีสภาพนำความร้อนต่ำ สามารถทนต่ออุณหภูมิภายในตัวรับแสง ที่ใช้แพร่หลายคือใยแก้ว, โฟม เช่น โพลีสไตรีนโฟม (polystyrene foam) หรือ โพลียูรีเทนโฟม (polyu - rethane foam)




รูปที่ 3.11 กราฟแสดงการส่งผ่านรังสีอินฟราเรดของกระจก คิดการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนแล้ว(5)




รูปที่ 3.12 กราฟแสดงการส่งผ่านรังสีอินฟราเรดของโพลีโปรปีลีน, เทดลาร์, ไมลาร์และแคปตอน แต่ละกราฟคิดการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนแล้ว (5)