

## บทที่ 6

### ผลการวิจัย และการวิเคราะห์

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์สมรรถนะของมู่ลี่เมื่อถูกติดตั้งเป็นอุปกรณ์บังเงาภายใน เข้ากับกระจกชนิดต่าง ๆ ทั้งในแง่ของความสบายเชิงความร้อน และในแง่ของการส่งผ่านความร้อน

โดยมู่ลี่ที่ใช้ในการศึกษานี้จะเป็นมู่ลี่ที่มีลักษณะที่พบเห็นทั่วไปในอาคารสำนักงาน และมีลักษณะดังนี้ คือ

- ความกว้างใบมู่ลี่ 17.6 มม. ,  $w = 17.6 \text{ mm}$
- ระยะห่างระหว่างใบมู่ลี่ 14 มม. ,  $ps = 14 \text{ mm}$
- ความหนาใบมู่ลี่ 0.16 มม. ,  $t = 0.16 \text{ mm}$
- ค่าการสะท้อนที่ผิวเท่ากับ 0.62 ,  $\rho = 0.62$
- ติดตั้งที่ระยะ 30 มม. จากผิวกระจกด้านใน ,  $b = 30 \text{ mm}$
- ใบมู่ลี่ทำมุมเอียง 45 องศา กับแนวระดับ ,  $\phi = 45$

กระจกที่พิจารณาประกอบไปด้วยกระจกทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่

1. กระจกใส 1 ชั้น ที่ความหนา 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10 และ 12 มม.
2. กระจกสี 1 ชั้น ได้แก่
  - กระจกสี coolgry ที่ความหนา 5, 6, 8, 10 และ 12 มม.
  - กระจกสี skyblue ที่ความหนา 6 และ 8 มม.
  - กระจกสี oceangreen ที่ความหนา 6 และ 8 มม.
3. กระจกสะท้อนแสง 1 ชั้น ได้แก่
  - กระจกสะท้อนแสงชนิด SS08, SS14, SS20, TI20, TI30 และ TI40 ที่เคลือบลงบนกระจกใส ความหนา 6 มม.
  - กระจกสะท้อนแสงชนิด SS08, SS14, SS20, TI20, TI30 และ TI40 ที่เคลือบลงบนกระจกสีเขียว (green) ความหนา 6 มม.
  - กระจกสะท้อนแสงชนิด SS08, SS14, SS20, TI20, TI30 และ TI40 ที่เคลือบลงบนกระจกสีฟ้า (blue) ความหนา 6 มม.

- กระจกสะท้อนแสงชนิด SS08, SS14, SS20, TI20, TI30 และ TI40 ที่เคลือบลงบนกระจกสีเทา (gray) ความหนา 6 มม.
4. กระจก 2 ชั้น ที่มีช่องอากาศ 13 มม. และกระจกชั้นในเป็นกระจกใส โดยกระจกชั้นนอกจะมีชนิดต่าง ๆ ดังนี้
- กระจกใสที่ความหนา 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10 และ 12 มม.
  - กระจกสี coolgray ที่ความหนา 6 มม.
  - กระจกสี skyblue ที่ความหนา 6 มม.
  - กระจกสี oceangreen ที่ความหนา 6 มม.
  - กระจกสะท้อนแสงชนิด SS08, SS14, SS20, TI20, TI30 และ TI40 ที่เคลือบลงบนกระจกใส ความหนา 6 มม.
  - กระจกสะท้อนแสงชนิด SS08, SS14, SS20, TI20, TI30 และ TI40 ที่เคลือบลงบนกระจกสีเขียว (green) ความหนา 6 มม.
  - กระจกสะท้อนแสงชนิด SS08, SS14, SS20, TI20, TI30 และ TI40 ที่เคลือบลงบนกระจกสีฟ้า (blue) ความหนา 6 มม.
  - กระจกสะท้อนแสงชนิด SS08, SS14, SS20, TI20, TI30 และ TI40 ที่เคลือบลงบนกระจกสีเทา (gray) ความหนา 6 มม.

โดยจะแยกพิจารณาออกเป็นหัวข้อย่อยต่าง ๆ ดังนี้

ผลของมุมตกกระทบ และมุม azimuth ที่มีต่อค่า SHGC ของกระจกแต่ละชนิดซึ่งมีการติดตั้งมู่ลี่

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $SHGC_B$  กับค่า  $SHGC_G$

การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของกระจกติดมู่ลี่ กับกระจกตัวเปล่าแต่ละชนิด

อิทธิพลของมู่ลี่กับค่าความสบายเชิงความร้อน

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

### 6.1 ผลของมุมตกกระทบ และมุม azimuth ที่มีต่อค่า SHGC ของกระจกแต่ละชนิดซึ่งมีการติดตั้งมู่ลี่

จากคำนิยามของค่า SHGC ของ กระจกตัวเปล่า และกระจกติดมู่ลี่ จะมีความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ 6.1 และ 6.2

$$SHGC_G(\theta) = T(\theta) + \sum_{i=1}^M N_i A_i(\theta) \quad (6.1)$$

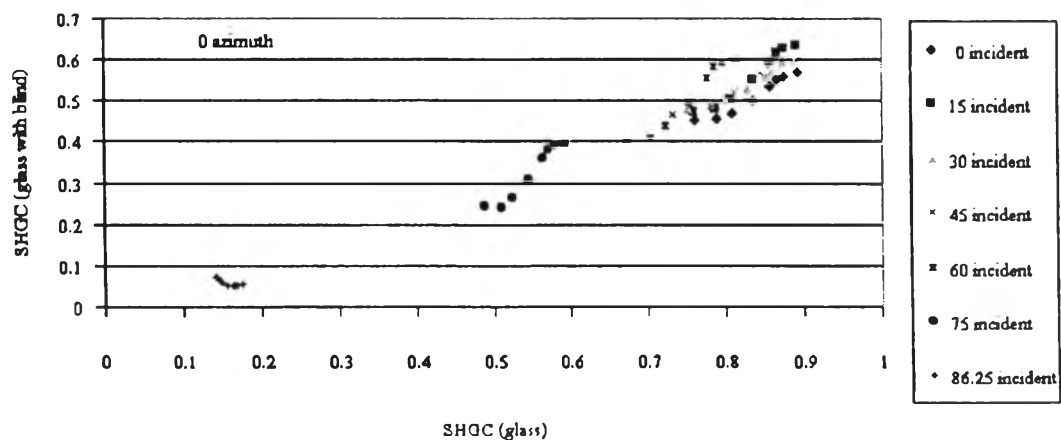
$$SHGC_B(\theta, \phi) = T^{RH}(\theta, \phi) + \sum_{i=1}^M N_i A_i^{RH}(\theta, \phi) \quad (6.2)$$

จากสมการที่ 6.1 และ 6.2 จะเห็นได้ว่าค่า SHGC ของกระจกตัวเปล่านั้น ( $SHGC_G$ ) มีค่าที่แปรตามมุมตกกระทบของรังสีแต่เพียงอย่างเดียว ในขณะที่ค่า SHGC ของกระจกติดคั้งมู่ลี่ ( $SHGC_B$ ) นั้นมีค่าที่แปรตามทั้งมุมตกกระทบของรังสี และมุม azimuth ของรังสี แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากมู่ลี่นั้นติดคั้งไว้หลังระบบกระจก ดังนั้นคุณสมบัติของกระจกก็อาจจะมีผลต่อค่า SHGC เหล่านี้

เพื่อเป็นการศึกษาถึงผลกระทบของมุมทั้งสองที่มีต่อค่า SHGC ในหัวข้อข้อย่อยนี้ จึงทำการพล็อตค่า SHGC ทั้งสองเทียบต่อกัน โดยในตอนแรกจะคงค่ามุม azimuth ไว้ที่ศูนย์องศาก่อนเพื่อดูผลกระทบของมุมตกกระทบที่มีต่อค่า SHGC จากนั้นจึงค่อยเปลี่ยนแปลงค่ามุม azimuth ไปเพื่อดูผลกระทบของมุม azimuth ต่อค่า SHGC ทั้งหมด

### 6.1.1 กระจกใส 1 ชั้น

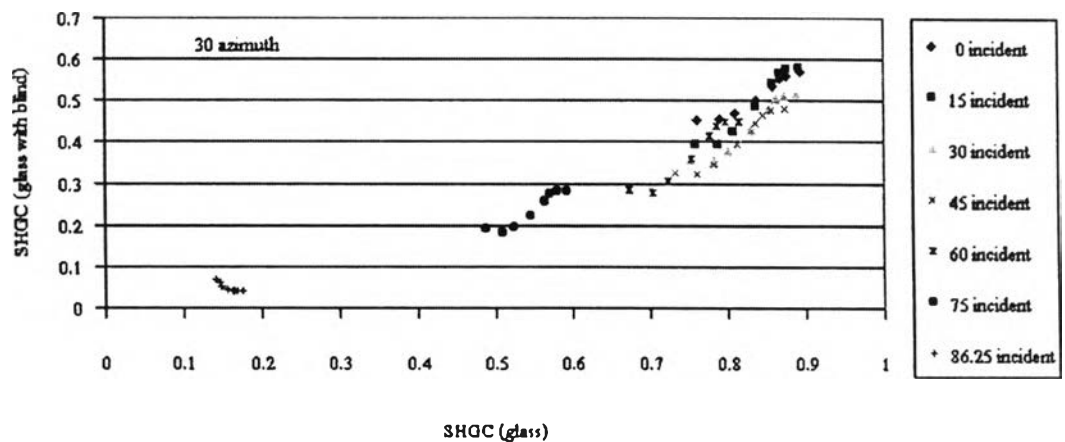
การพิจารณาผลของค่า SHGC ของกระจกใส 1 ชั้นติดมู่ลี่ที่แปรตามมุมตกกระทบ เมื่อเทียบกับกรณีกระจกใส 1 ชั้นตัวเปล่ากระทำโดยนำค่าทั้งสองที่มุม azimuth ต่าง ๆ มาแสดงเปรียบเทียบกัน ดังแสดงในรูปที่ 6.1 ถึง 6.4



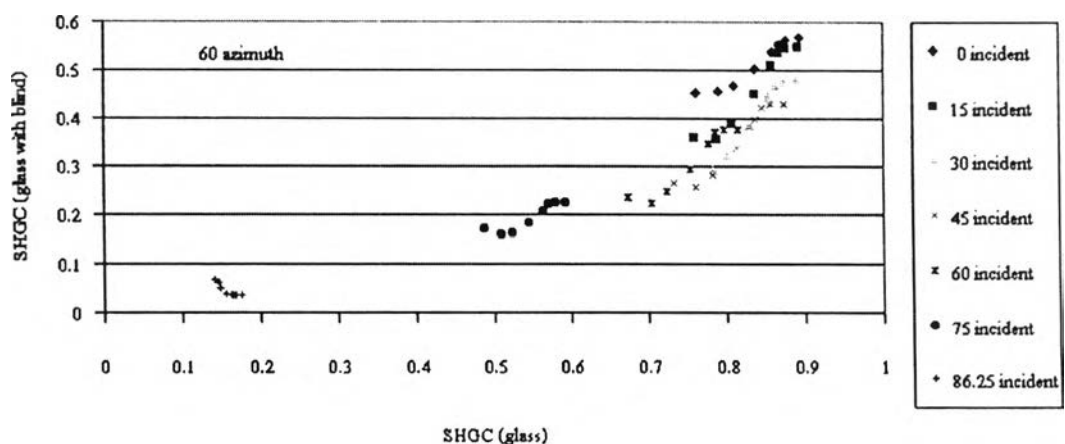
รูปที่ 6.1 แสดงค่า SHGC ของกระจกใสติดมู่ลี่เทียบกับค่า SHGC ของกระจกตัวเปล่าที่มุม azimuth ศูนย์องศา

รูปที่ 6.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า SHGC ของกระจกใส 1 ชั้นติดมู่ลี่ และกระจกใสตัวเปล่า โดยแต่ละจุดของกราฟนั้นจะเป็นค่า SHGC ของกระจกที่ความหนาต่าง ๆ กัน และลักษณะของเส้นกราฟแต่ละเส้นจะมีลักษณะที่เกาะกลุ่มกันที่มุมตกกระทบต่าง ๆ

โดยจากรูปจะเห็นได้ว่าที่มุม azimuth มีค่าเท่ากับศูนย์องศา ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SHGC ทั้งสองมีความสัมพันธ์เกาะกลุ่มกันแบบเชิงเส้น และมีการกระจายเล็กน้อย นั่นคือ มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเทียบมุมตกกระทบในลักษณะที่คล้ายกันกับกรณีของกระจกตัวเปล่านั่นเอง ซึ่งเป็นผลมาจากที่มุม azimuth ศูนย์องศานี้ รังสีส่วนใหญ่สามารถลอดผ่านช่องระหว่างใบมู่ลี่ได้ และปริมาณรังสีเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่กระทบตัวมู่ลี่ ทำให้อิทธิพลของมู่ลี่ที่ตัวของมันเองขึ้นทั้งมุมตกกระทบ และมุม azimuth มีอิทธิพลต่อระบบกระจกโดยรวมไม่มากนัก

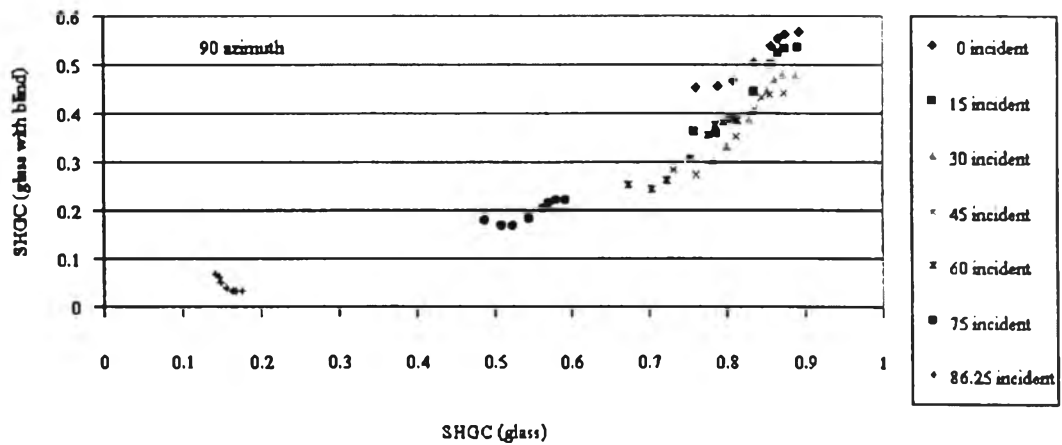


รูปที่ 6.2 แสดงค่า SHGC ของกระจกใสติดมู่ลี่เทียบกับค่า SHGC ของกระจกใสตัวเปล่า ที่มุม azimuth 30 องศา



รูปที่ 6.3 แสดงค่า SHGC ของกระจกใสติดมู่ลี่เทียบกับค่า SHGC ของกระจกใสตัวเปล่า ที่มุม azimuth 60 องศา

ในขณะที่รูปที่ 6.2 ได้แสดงให้เห็นว่า ลักษณะของกราฟที่ได้จะเริ่มแตกออกจากเดิม และความสัมพันธ์ที่ได้จะเริ่มกระจายมากขึ้นเมื่อมุม azimuth สูงขึ้นเรื่อย ๆ ดังแสดงในรูปที่ 6.3 และ 6.4

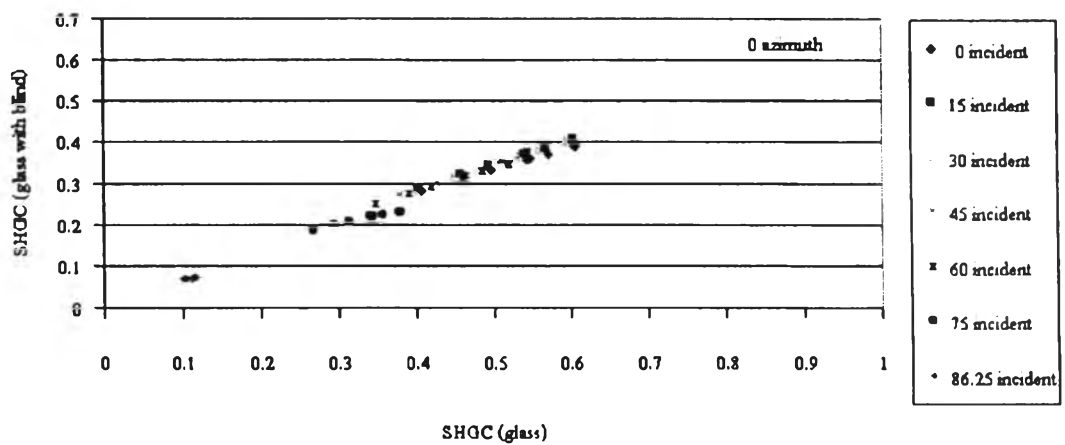


รูปที่ 6.4 แสดงค่า SHGC ของกระจกใสติดมู่ลี่เทียบกับค่า SHGC ของกระจกใสตัวเปล่า ที่มุม azimuth 90 องศา

นอกจากนั้นถ้าพิจารณาในรูปที่ 6.2 ถึง 6.4 จะเห็นว่ากราฟแต่ละเส้นจะมีลักษณะที่ค่อนข้างกระจายมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของมุมตกกระทบ และมุม azimuth นั้นมีค่อนข้างมากในกรณีที่ติดตั้งมู่ลี่เข้ากับกระจกใส โดยที่แต่ละเส้นกราฟนั้นจะแทนที่ทิศทางตกกระทบต่าง ๆ นั้นเอง นอกจากนั้นแต่ละเส้นกราฟยังมีลักษณะแบบเส้นโค้งในลักษณะคล้าย ๆ กัน

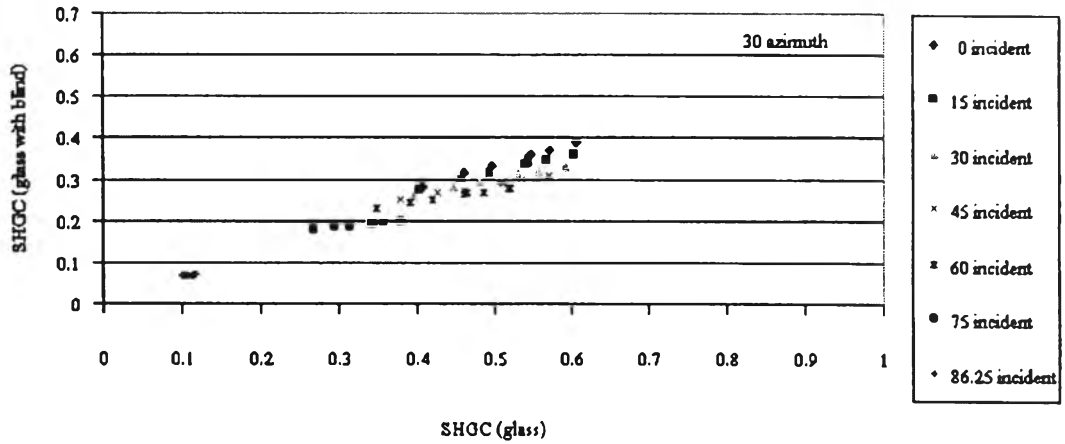
### 6.1.2 กระจกสี 1 ชั้น

สำหรับกระจกสี 1 ชั้นจะมีการกระจายตัวของค่า SHGC ดังแสดงในรูปที่ 6.5 ถึง 6.8



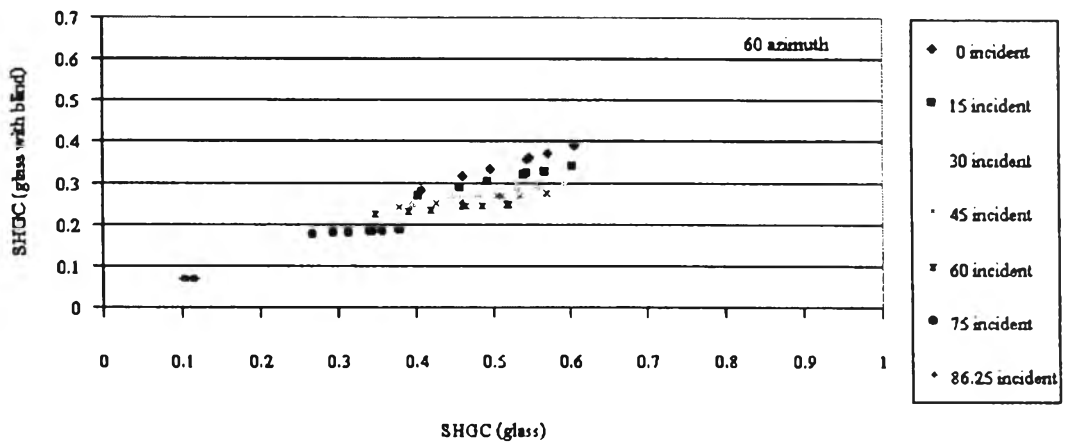
รูปที่ 6.5 แสดงค่า SHGC ของกระจกสีติดมู่ลี่เทียบกับค่า SHGC ของกระจกสี ตัวเปล่า ที่มุม azimuth ศูนย์องศา

จากรูปที่ 6.5 จะเห็นได้ว่าที่มุม azimuth ศูนย์องศา นั้น ค่า SHGC ทั้งสองจะมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงในทำนองเดียวกันกับกระจกใส 1 ชั้น และเมื่อมุม azimuth มีค่ามากขึ้นเรื่อยๆ เส้นกราฟความสัมพันธ์ที่ได้ก็จะกระจายออก ดังแสดงในรูปที่ 6.6 ถึง 6.8



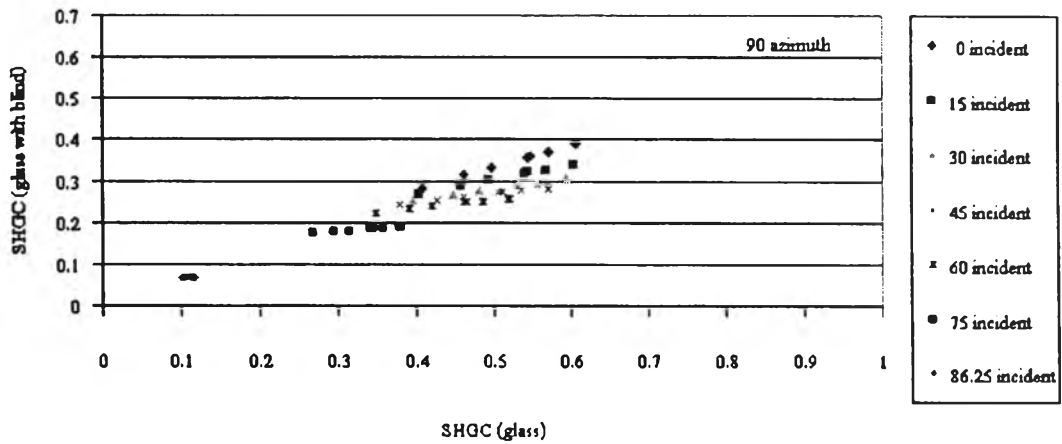
รูปที่ 6.6 แสดงค่า SHGC ของกระจกสีติดมู่ลี่เทียบกับค่า SHGC ของกระจกสีตัวเปล่า ที่มุม azimuth 30 องศา

จากการกระจายของกราฟในรูปที่ 6.6 จะเห็นได้ว่ากราฟความสัมพันธ์ที่ได้เริ่มมีลักษณะที่แตกออก และไม่เกาะกลุ่มเป็นเส้นตรงเส้นเดียวอีกต่อไป โดยจะแยกออกเป็นหลาย ๆ กลุ่มตามมุมตกกระทบต่าง ๆ โดยเนื่องมาจากว่าที่มุม azimuth สูงขึ้นนี้ ปริมาณของรังสีที่ตกกระทบมู่ลี่จะมีมากขึ้น และส่งผลให้ค่าคุณสมบัติของมู่ลี่ที่ขึ้นทั้งมุมตกกระทบ และมุม azimuth ได้ปรากฏออกมานั่นเอง และเมื่อมุม azimuth เริ่มเพิ่มมากขึ้นลักษณะการแตกออกก็มากขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 6.7 และ 6.8



รูปที่ 6.7 แสดงค่า SHGC ของกระจกสีติดมู่ลี่เทียบกับค่า SHGC ของกระจกสีตัวเปล่า ที่มุม azimuth 60 องศา

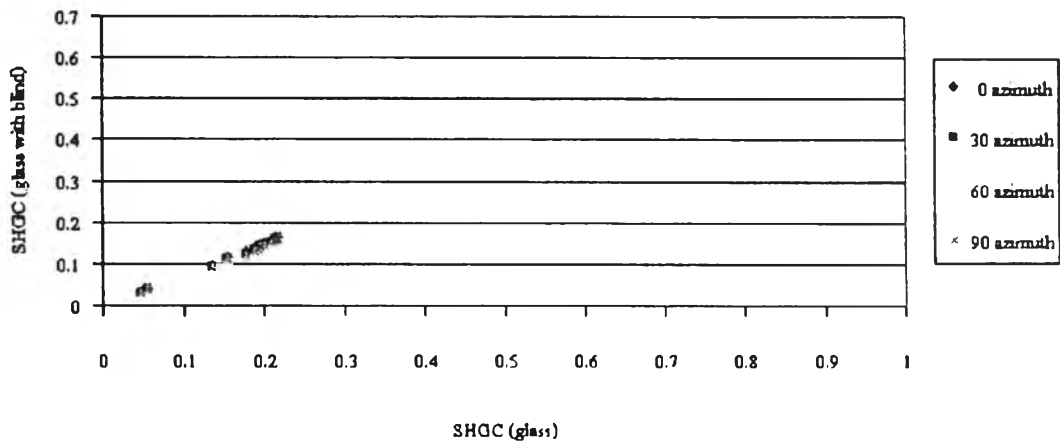
และเป็นที่น่าสนใจที่พบว่า เมื่อมุม azimuth สูงขึ้นกราฟของกระจกสี และกระจกใส จะกระจายออกมามากขึ้นทั้งคู่ แต่ลักษณะการกระจายตัวนั้นค่อนข้างที่จะแตกต่างกัน กล่าวคือ การกระจายตัวของกระจกใสนั้นจะค่อนข้างกระจายมาก ในขณะที่กราฟของกระจกสีกลับกระจายตัวและเกาะกันเป็นเส้นตรงหลาย ๆ เส้น



รูปที่ 6.8 แสดงค่า SHGC ของกระจกสีติดมู่ลี่เทียบกับค่า SHGC ของกระจกสีตัวเปล่า ที่มุม azimuth 90 องศา

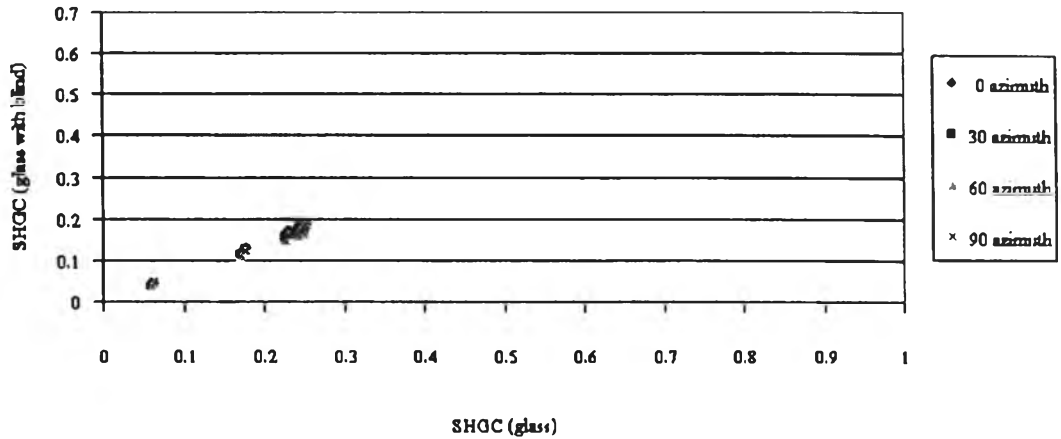
### 6.1.3 กระจกสะท้อนแสง 1 ชั้น

สำหรับผลกระทบของมุมตกกระทบ และมุม azimuth ที่มีต่อค่า SHGC ของกระจกสะท้อนแสง 1 ชั้นนั้น มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 6.9 ถึง 6.12

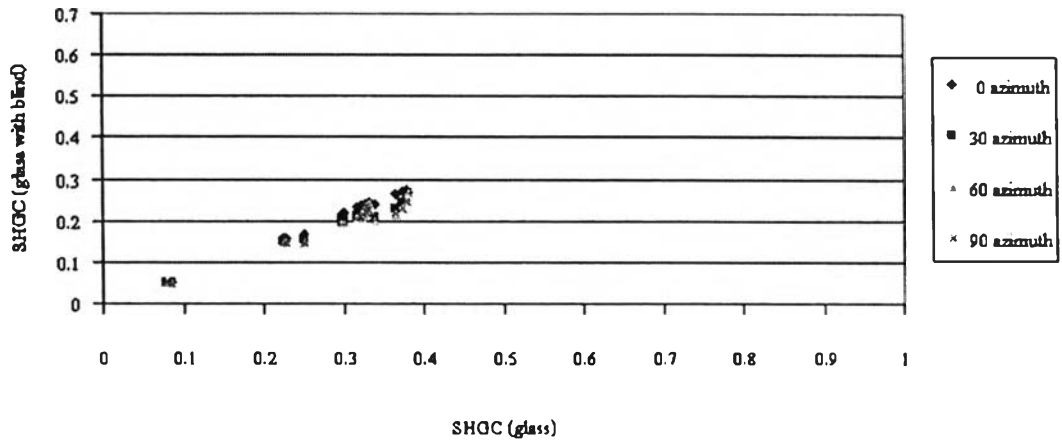


รูปที่ 6.9 แสดงค่า SHGC ของกระจกสะท้อนแสงชนิด Stainless Steel 8 (SS08) ติดมู่ลี่เทียบกับค่า SHGC ของกระจกสะท้อนแสงตัวเปล่า ที่มุม azimuth ต่าง ๆ

จากรูปที่ 6.9 แสดงให้เห็นว่าสำหรับกระจกสะท้อนแสงไม่ว่ากระจกพื้นที่ใช้จะเป็นกระจกชนิดใดก็ตาม ถ้าชนิดของสารที่เคลือบเป็นชนิดเดียวกันแล้ว ค่า SHGC จะมีค่าในลักษณะเดียวกัน จากรูปยังคงเห็นอีกว่า ผลกระทบของมุม azimuth ที่มีต่อกระจกชนิดเคลือบนั้นมีน้อยมาก ดังนั้นค่า SHGC ของกระจกชนิดเคลือบชนิดใดก็ขึ้นอยู่กับการดูดกลืนค่าเป็นหลัก และไม่ขึ้นกับมุม azimuth มากนัก และในกรณีของกระจกสะท้อนแสงชนิดอื่น ๆ ก็ยังคงมีความสัมพันธ์ในลักษณะเดียวกัน เพียงแต่มีค่าความชันที่แตกต่างกันไปเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 6.10 ถึง 6.12

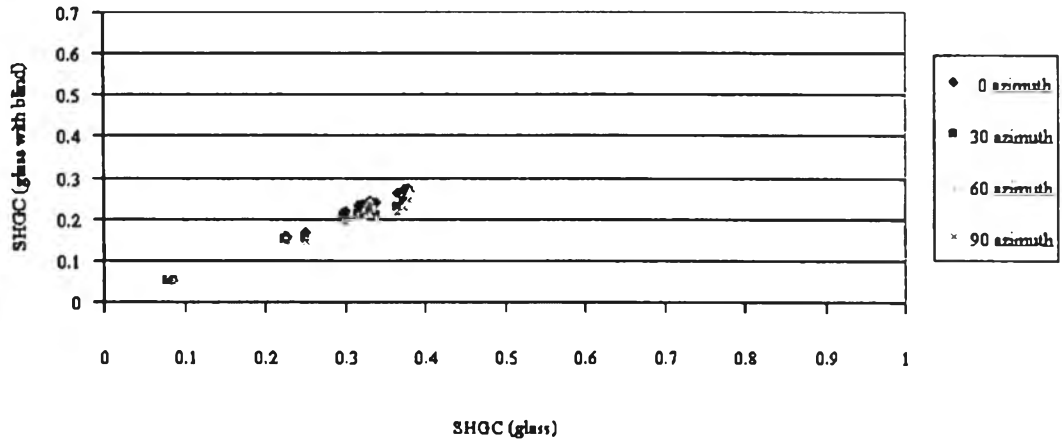


รูปที่ 6.10 แสดงค่า SHGC ของกระจกสะท้อนแสงชนิด SS14 ติดมู่ลี่เทียบกับค่า SHGC ของกระจกสะท้อนแสงตัวเปล่าที่มุม azimuth ต่าง ๆ



รูปที่ 6.11 แสดงค่า SHGC ของกระจกชนิดสะท้อนแสงชนิด TI30 ติดมู่ลี่เทียบกับค่า SHGC ของกระจกสะท้อนแสงตัวเปล่าที่มุม azimuth ต่าง ๆ

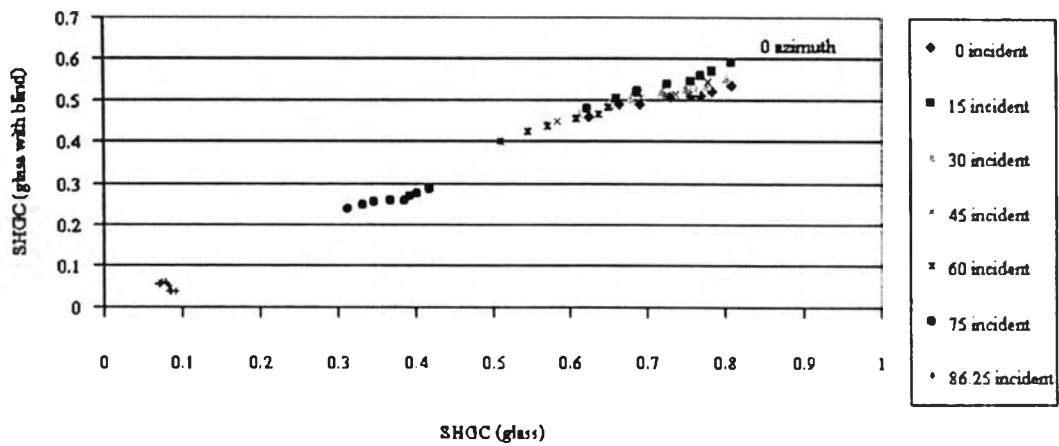




รูปที่ 6.12 แสดงค่า SHGC ของกระจกสะท้อนแสงชนิด TI40 คมู่ลี่เทียบกับค่า SHGC ของกระจกสะท้อนแสงตัวเปล่าที่มุม azimuth ต่าง ๆ

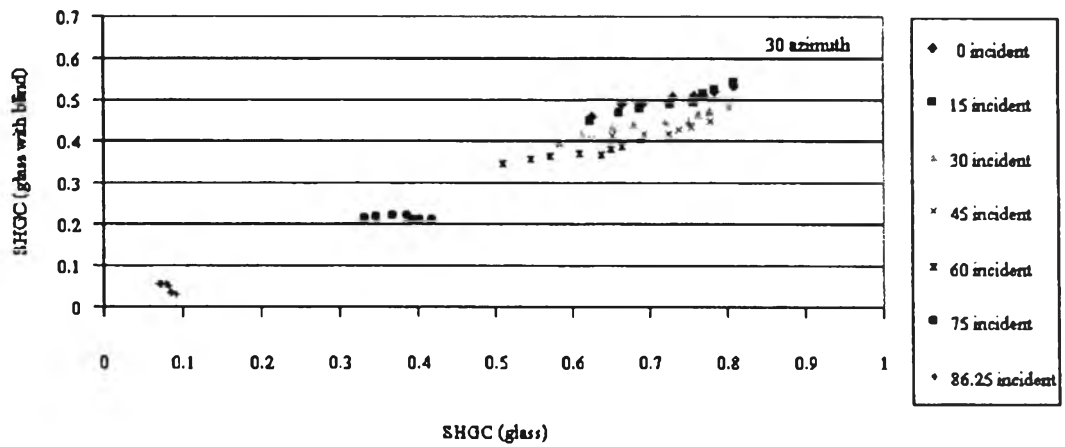
### 6.1.4 กระจกใส 2 ชั้น

กระจกใส 2 ชั้น ที่มีระยะช่องกระจกเท่ากับ 13 มม. และบรรจุอากาศไว้ภายใน ความสัมพันธ์จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 6.13 ถึง 6.16

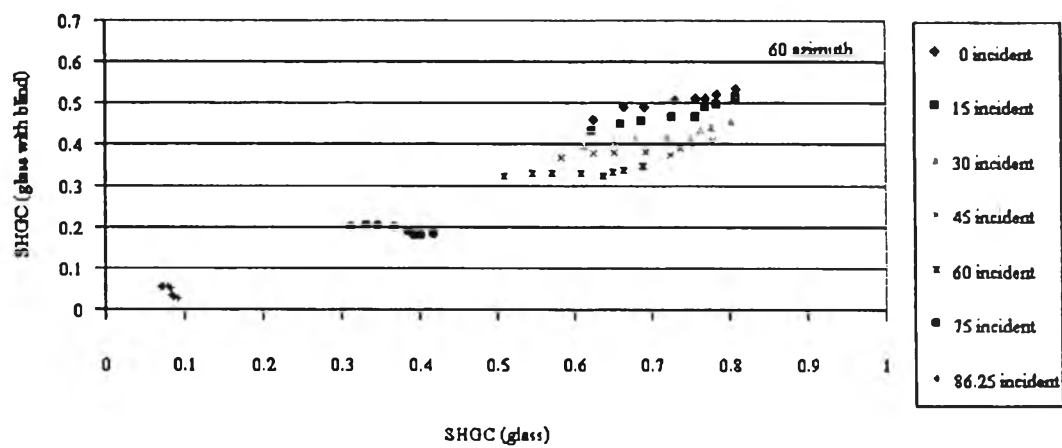


รูปที่ 6.13 แสดงค่า SHGC ของกระจกใส 2 ชั้นคมู่ลี่เทียบกับค่า SHGC ของกระจกใส 2 ชั้นตัวเปล่าที่มุม azimuth ศูนย์ องศา

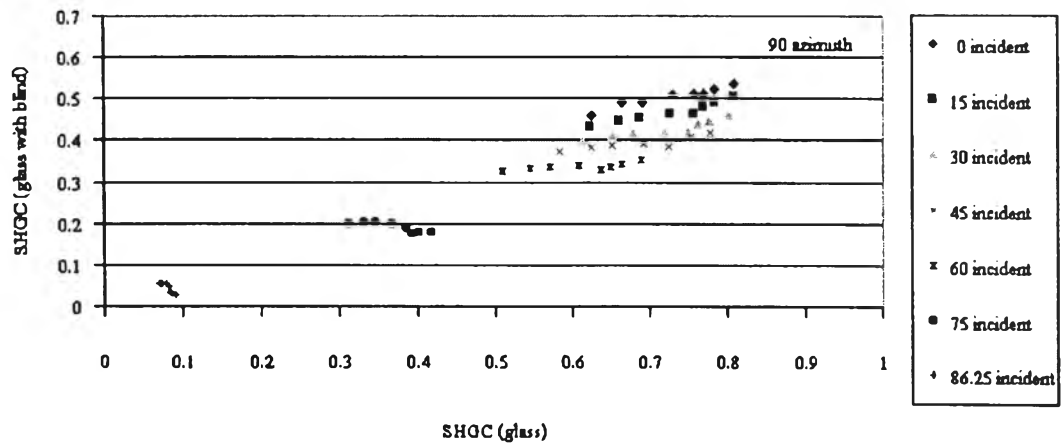
จากรูปที่ 6.13 จะเห็นว่าที่มุม azimuth มีค่าเท่ากับศูนย์ ค่าความสัมพันธ์ที่ได้นั้นก็ยังมีลักษณะเป็นเส้นตรงเหมือนกันกับกระจกชนิดอื่น ๆ แต่หลังจากเมื่อมุม azimuth เปลี่ยนแปลงไปนั้น จะเห็นว่าลักษณะของกราฟจะเริ่มแตกออก ดังแสดงในรูปที่ 6.14 ถึง 6.16



รูปที่ 6.14 แสดงค่า SHGC ของกระจกใส 2 ชั้นติดมู่ลี่เทียบกับค่า SHGC ของกระจกใส 2 ชั้นตัวเปล่า ที่มุม azimuth 30 องศา



รูปที่ 6.15 แสดงค่า SHGC ของกระจกใส 2 ชั้นติดมู่ลี่เทียบกับค่า SHGC ของกระจกใส 2 ชั้นตัวเปล่า ที่มุม azimuth 60 องศา

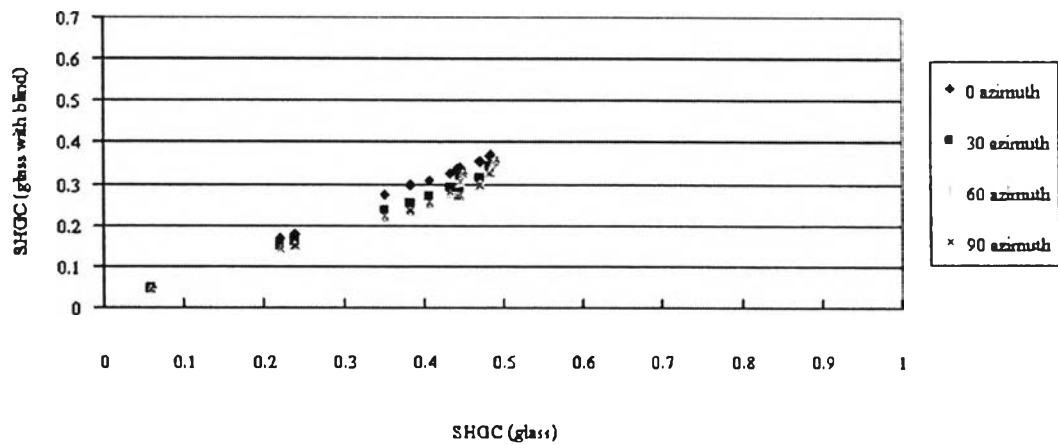


รูปที่ 6.16 แสดงค่า SHGC ของกระจกใส 2 ชั้นติดมู่ลี่เทียบกับค่า SHGC ของกระจกใส 2 ชั้น ตัวเปล่า ที่มุม azimuth 90 องศา

โดยจากรูปที่ 6.14 ถึง 6.16 จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของกระจก 2 ชั้นนั้น จะมีค่าค่อนข้างมากทีเดียว

6.1.5 กระจกใส 2 ชั้น ที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสี

สำหรับกระจกใส 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสีนั้น มีลักษณะที่ค่อนข้างจะแตกต่างไปจากกรณีกระจกใส 2 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 6.17



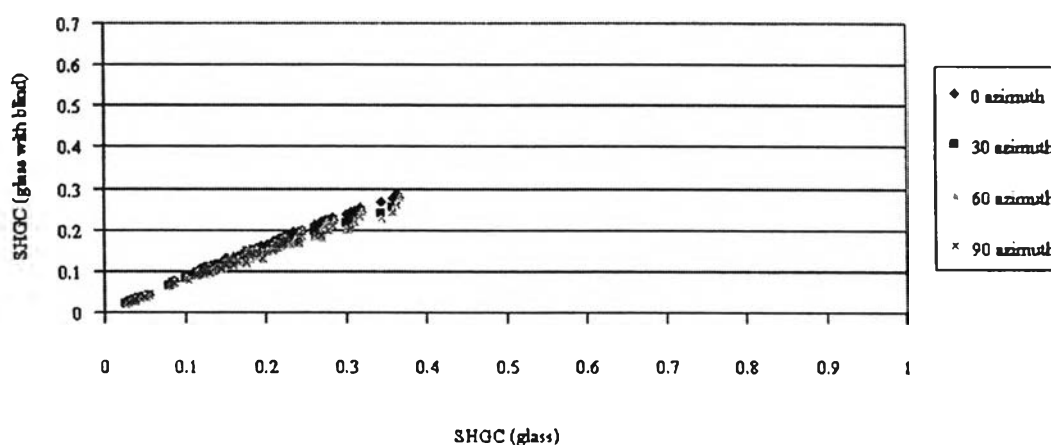
รูปที่ 6.17 แสดงค่า SHGC ของกระจก 2 ชั้นติดมู่ลี่ที่มีกระจกชั้นนอกเป็นกระจกสีเทียบกับค่า SHGC ของกระจก 2 ชั้นที่มีกระจกชั้นนอกเป็นกระจกสีตัวเปล่า ที่มุม azimuth ต่าง ๆ

จากรูปที่ 6.17 จะเห็นได้ว่ากราฟจะเกาะกลุ่มกันเป็นเส้นตรงตลอดในทุก ๆ มุม azimuth และต่างจากกระจกใส 2 ชั้นเป็นอย่างมาก

นอกจากนั้น ถ้าเทียบกับกรณีกระจกสี 1 ชั้นจะเห็นได้ว่า ผลของมุม azimuth ที่มีต่อค่า SHGC นั้น มีค่าที่น้อยลง อันเป็นผลมาจากกระจกใสที่อยู่ด้านในได้ช่วยในการดูดกลืนรังสีให้อยู่ในตัวกระจกใสส่วนหนึ่ง และช่วยให้เกิดการสะท้อนกลับในอีกส่วนหนึ่ง โดยการสะท้อนกลับของรังสีเหล่านี้ ยังก่อให้เกิดการดูดกลืนรังสีเพิ่มขึ้นในแต่ละชั้นกระจกอีกด้วย จึงส่งผลให้ปริมาณของรังสีที่มาตกกระทบมู่ลีนั้นมีค่าน้อยลง โดยเมื่อปริมาณของรังสีที่มาตกกระทบมู่ลีน้อยลง อิทธิพลของมู่ลีนี้น้อยลงตามไปด้วย ทำให้ผลกระทบของมุม azimuth ที่มีต่อค่า SHGC ของกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกใส มีค่าน้อยลง และเหลือผลอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังที่สังเกตได้จากกราฟที่จะมีความชันต่างกันอยู่เล็กน้อย

### 6.1.6 กระจกใส 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสง

ลักษณะความสัมพันธ์ของค่า SHGC ของกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสงจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 6.18



รูปที่ 6.18 แสดงค่า SHGC ของกระจก 2 ชั้น คิคมู่ลีนี่ที่มีกระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสงเทียบกับ ค่า SHGC ของกระจก 2 ชั้น คิคมู่ลีนี่ที่มีกระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสงตัวเปล่า ที่มีมุม azimuth ต่าง ๆ

จากรูปที่ 6.18 ได้แสดงค่า SHGC ของกระจก 2 ชั้นที่ชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสง โดยได้แสดงในกรณีสารเคลือบชนิด SS08, SS14, SS20, TI20, TI30 และ TI40 ทั้งหมด โดยจากรูปจะเห็นได้ว่าไม่ว่าสารเคลือบจะเป็นสารชนิดไหน ความสัมพันธ์ที่ได้กลับเกาะกลุ่มเป็นเส้นตรงเส้นเดียวทั้งหมด

สาเหตุหลักที่ทำให้กราฟมีลักษณะที่เกาะกลุ่มกันหมดก็เพราะว่า ค่าคุณสมบัติการส่งผ่านของกระจกสะท้อนแสงนั้นมีน้อยมาก นอกจากนั้นยังมีกระจกใสเป็นกระจกชั้นในอีกชั้นหนึ่ง จึงทำให้ปริมาณรังสีที่น้อยอยู่แล้วมีค่าน้อยลงไปอีก

## 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SHGC<sub>B</sub> กับค่า SHGC<sub>G</sub>

จากหัวข้อย่อยที่ 6.1 ได้แสดงให้เห็นว่าค่า SHGC<sub>B</sub> นั้น ถึงแม้ว่าจากค่านิยามแล้วจะมีค่าที่แปรตามมุมตกกระทบ และมุม azimuth ของรังสี แต่ในความเป็นจริงแล้วนั้น ชนิดของกระจกที่ติดตั้งควบคู่กันนั้นก็ยังมีผลด้วยเช่นกัน นอกจากนั้น จากกราฟต่าง ๆ ในหัวข้อย่อยที่แล้ว ส่วนใหญ่จะมีความสัมพันธ์ในลักษณะที่ค่อนข้างแน่นอน ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะหาความสัมพันธ์ของค่า SHGC ทั้งสอง เพื่อใช้ในการประเมินสมรรถนะมู่ลี่เมื่อติดตั้งเข้ากับกระจกชนิดต่าง ๆ

เพื่อเป็นการพิจารณาค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของมู่ลี่ ในการศึกษาครั้งนี้จึง ได้พัฒนาดัชนีขึ้นมาอีกตัว นั่นคือ ค่า Interior Solar Attenuation Coefficient, IAC โดยนิยามให้เป็น ค่าความร้อนที่ส่งผ่านกระจกที่มีการติดตั้งมู่ลี่ต่อค่าการส่งผ่านความร้อนผ่านกระจกตัวเปล่า นั่นคือ

$$IAC(\theta, \phi) = \frac{SHGC_B(\theta, \phi) \cdot I_{dir}}{SHGC_G(\theta) \cdot I_{dir}} \quad (6.3)$$

หรือ

$$IAC(\theta, \phi) = \frac{SHGC_B(\theta, \phi)}{SHGC_G(\theta)} \quad (6.4)$$

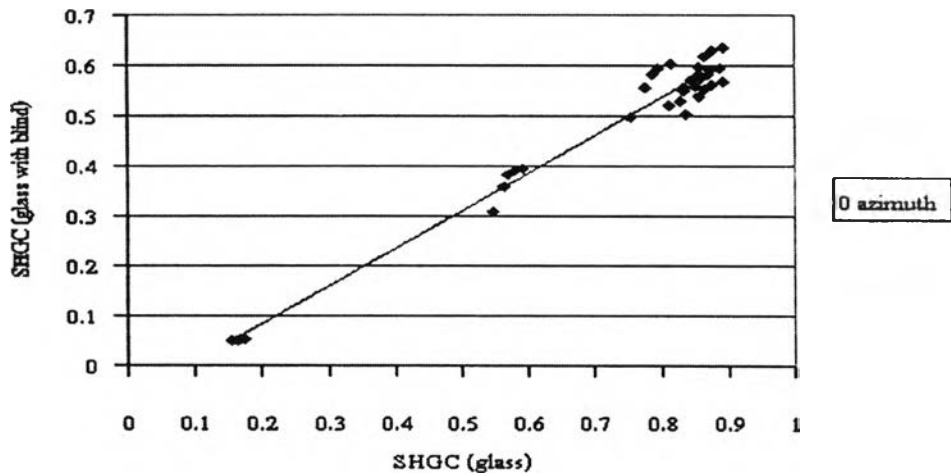
จากค่านิยามจะเห็นได้ว่า ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของมู่ลี่นั้น ก็จะยังคงขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบ และมุม azimuth ของรังสีที่มาตกกระทบระบบกระจก/มู่ลี่

อย่างไรก็ตาม จากหัวข้อที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าค่า SHGC ของกระจกที่มีการติดตั้งมู่ลี่นั้นจะขึ้นกับมุมตกกระทบเสียเป็นส่วนใหญ่ โดยในส่วนของค่าจะขึ้นกับมุม azimuth มากแค่ไหนนั้น จำเป็นจะต้องพิจารณารูปแบบของกระจกประกอบกันไปด้วย ดังนั้นในหัวข้อย่อยนี้จึงจะเป็นการพัฒนาค่าดัชนี IAC นี้ เพื่อใช้ในการกำหนดสมรรถนะของมู่ลี่เมื่อติดตั้งกับกระจกแต่ละประเภทโดยจะใช้ลักษณะการแปรตามมุมตกกระทบ และมุม azimuth ของรังสีจากหัวข้อที่แล้ว เป็นแนวทางในการพัฒนา

### 6.2.1 ความสัมพันธ์ของค่า SHGC กรณีกระจกใส 1 ชั้น

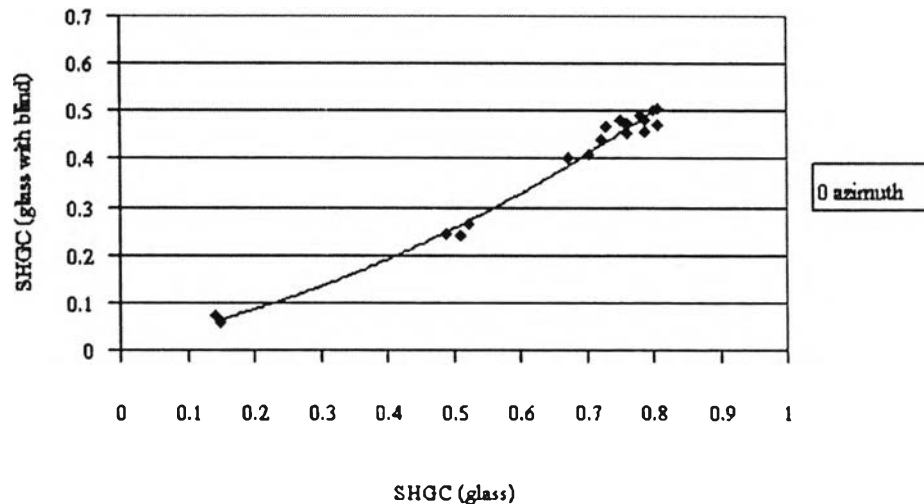
สำหรับในกรณีของกระจกใสนี้ ถ้าพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์รูปที่ 6.1 ถึง 6.4 จะเห็นว่ากราฟจะมีลักษณะที่โค้งขึ้นในช่วงปลายของกราฟ ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาของกระจกที่มีผลต่อค่า inward-flowing fraction ที่มีค่าที่แตกต่างกันนั่นเอง คือ เมื่อกระจกใสหนาขึ้นเรื่อย ๆ ค่า  $N_1$  ของกระจกก็จะมีค่าที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และ  $N_2$  ลดลงเรื่อย ๆ ด้วยเช่นกัน โดยจะเกิดขึ้นที่ความหนา 8

มม. เป็นต้นไป ดังนั้นในการวิเคราะห์นี้ จึงแบ่งออกเป็น 2 ช่วง นั่นคือ ช่วงกระจกใสหนา 2 – 6 มม. และ ช่วงกระจกใสหนา 8 – 12 มม. ดังแสดงในรูปที่ 6.19 และ 6.20



รูปที่ 6.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า SHGC ของกระจกใส 1 ชั้นติดมู่ลี่ กับค่า SHGC ของกระจกใส 1 ชั้นตัวเปล่า ที่มุม azimuth ศูนย์องศา ที่ความหนา 2 ถึง 6 มม.

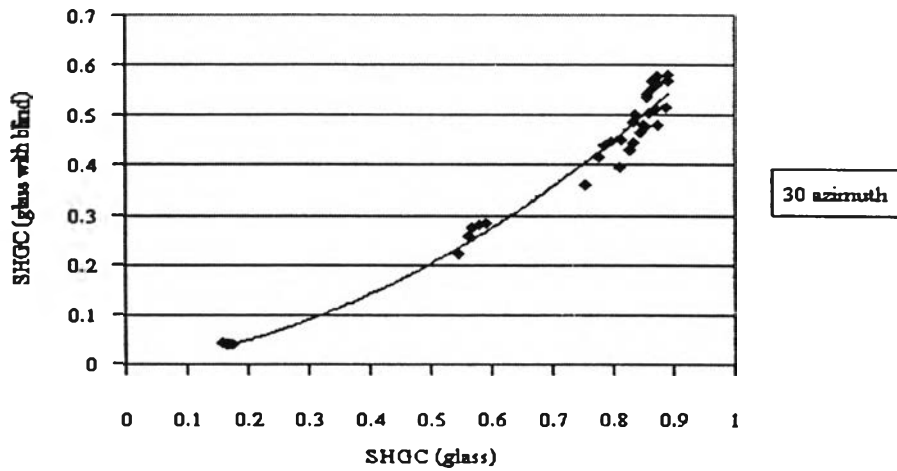
จากรูปที่ 6.19 จะเห็นได้ว่าในที่มีมุม azimuth 0 องศา ค่า SHGC ทั้งสองจะมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง และค่าความชันของความสัมพันธ์ที่ได้ก็คือ ค่า IAC นั่นเอง



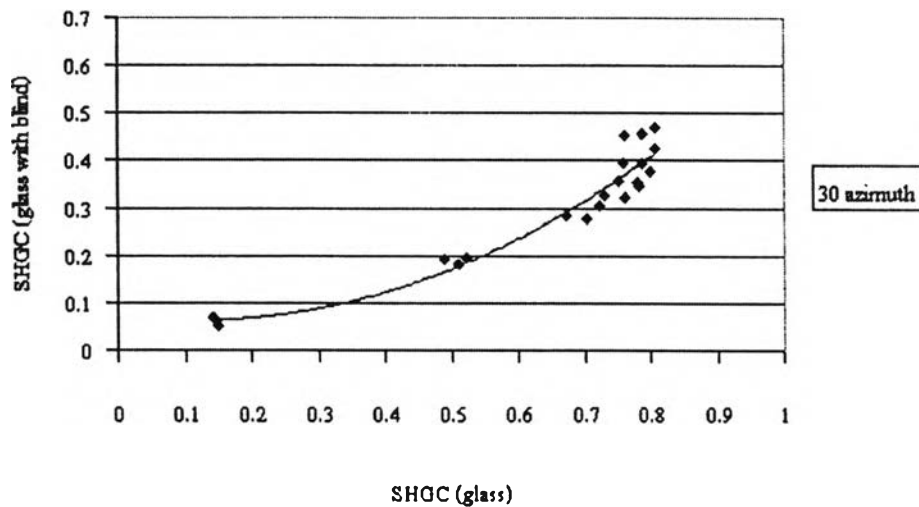
รูปที่ 6.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า SHGC ของกระจกใส 1 ชั้นติดมู่ลี่ กับค่า SHGC ของกระจกใส 1 ชั้นตัวเปล่า ที่มีมุม azimuth 0 องศา ที่ความหนา 8 ถึง 12 มม.

ในขณะที่รูปที่ 6.20 นั้นเป็นของกระจกที่มีความหนา 8 ถึง 12 มม. โดยความสัมพันธ์ที่ได้จะมีลักษณะที่โค้งเล็กน้อย โดยความสัมพันธ์ที่ได้นั้นจะเป็นแบบสมการพหุนามอันดับที่สอง และ

ความสัมพันธ์ที่มุม azimuth 30 องศาของกระจกใสที่ความหนา 2 ถึง 6 มม. มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 6.21 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีลักษณะโค้งเล็กน้อย และความสัมพันธ์จะเป็นแบบพหุนามอันดับที่สองเช่นกัน



รูปที่ 6.21 แสดงความสัมพันธ์ของค่า SHGC ของกระจกใส 1 ชั้นคิคูมูตี้ กับค่า SHGC ของกระจกใส 1 ชั้นตัวเปล่าที่มุม azimuth 30 องศา ที่ความหนา 2 ถึง 6 มม.



รูปที่ 6.22 แสดงความสัมพันธ์ของค่า SHGC ของกระจกใส 1 ชั้นคิคูมูตี้ กับค่า SHGC ของกระจกใส 1 ชั้นตัวเปล่าที่มุม azimuth 30 องศา ที่ความหนา 8 ถึง 12 มม.

นอกจากนั้นที่มุม azimuth สูง ๆ ขึ้นไป ความสัมพันธ์ก็ยังคงมีลักษณะที่เป็นเส้นโค้งอยู่ โดยบางมุม azimuth ดีกรีของสมการพหุนามจะเพิ่มขึ้นเป็นอันดับที่ 3

จากลักษณะดังกล่าวของความสัมพันธ์แบบต่าง ๆ ดังนั้นอาจจะเขียนความสัมพันธ์นี้ให้อยู่ในรูปแบบทั่ว ๆ ไปได้เป็น

$$\text{SHGC}_B = a_3 \cdot (\text{SHGC}_G)^3 + a_2 \cdot (\text{SHGC}_G)^2 + a_1 \cdot (\text{SHGC}_G) + a_0 \quad (6.5)$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการแสดงความสัมพันธ์ของกระจกใส 1 ชั้นนี้ จะมีค่าดังแสดงในตารางที่ 6.1 และ 6.2

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างค่า  $\text{SHGC}_B$  และ  $\text{SHGC}_G$  ของกระจกใส 1 ชั้นหนา 2 - 6 มม.

สัมประสิทธิ์	Azimuth = 0	30	60	90
$a_0$	-0.0689	0.0128	0.0643	0.0587
$a_1$	0.7568	0.0927	-0.305	-0.2847
$a_2$	-	0.5652	0.9124	0.8986

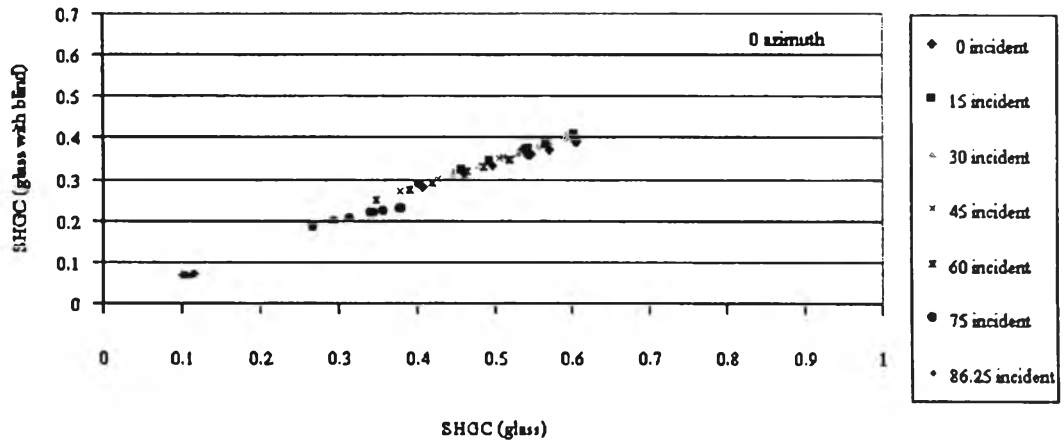
ตารางที่ 6.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างค่า  $\text{SHGC}_B$  และ  $\text{SHGC}_G$  ของกระจกใส 1 ชั้นหนา 8 - 12 มม.

สัมประสิทธิ์	Azimuth = 0	30	60	90
$a_0$	0.0136	0.0734	-0.2378	-0.1863
$a_1$	0.2825	-0.1722	2.9446	2.4022
$a_2$	0.4042	0.7394	-6.9155	-5.5046
$a_3$	-	-	5.2663	4.2566

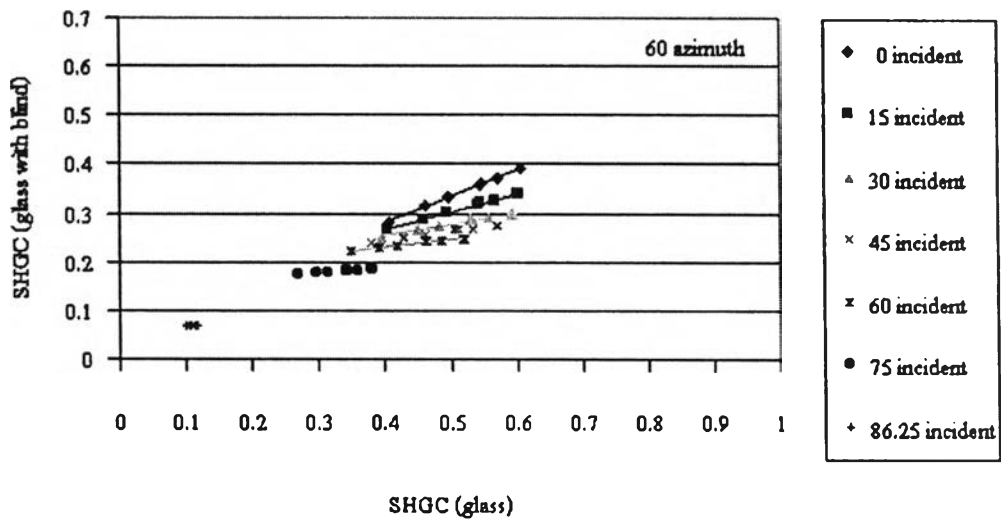
### 6.2.2 ความสัมพันธ์ของค่า SHGC กรณีกระจกใส 1 ชั้น

ความสัมพันธ์ของค่า SHGC ของกระจกใส 1 ชั้นนี้จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 6.23 และ 6.24 โดยจากกราฟทั้งสองจะเห็นได้ว่าที่มุม azimuth เท่ากับศูนย์นี้ลักษณะของกราฟที่ได้จะมีความสัมพันธ์กับแบบเส้นตรงเส้นเดียว และที่มุม azimuth ที่สูงขึ้นกราฟจะแตกออกเป็นเส้นตรงหลาย ๆ เส้นดังแสดงในรูปที่ 6.24 และลักษณะการแตกออกของกราฟก็จะเป็นไปในทำนองเดียวกัน จนถึงที่มุม azimuth เท่ากับ 90 องศา ดังนั้นความสัมพันธ์ของกระจกใส 1 ชั้น จึงสามารถแทนได้ด้วยสมการเส้นตรงในทุก ๆ มุมตกกระทบ และมุม azimuth และค่าสัมประสิทธิ์แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวจะมีค่าดังแสดงในตารางที่ 6.3





รูปที่ 6.23 แสดงความสัมพันธ์ของค่า SHGC ของกระจกสี 1 ชั้นติดมู่ลี่ กับค่า SHGC ของกระจกสี 1 ชั้นตัวเปล่าที่มุม azimuth ศูนย์องศา



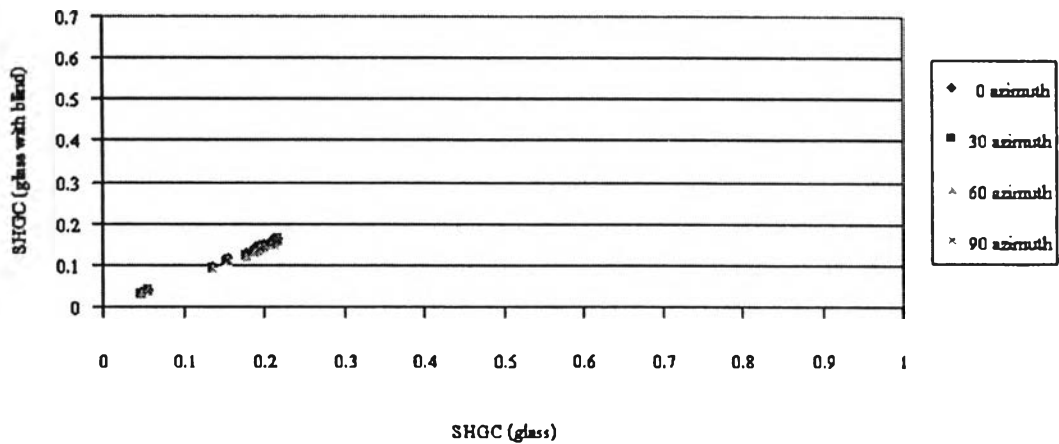
รูปที่ 6.24 แสดงความสัมพันธ์ของค่า SHGC ของกระจกสี 1 ชั้นติดมู่ลี่ กับค่า SHGC ของกระจกสี 1 ชั้นตัวเปล่าที่มุม azimuth 60 องศา

ตารางที่ 6.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างค่า SHGC<sub>B</sub> และ SHGC<sub>G</sub> ของกระจกสี 1 ชั้น

azimuth	สัมประ สิทธิ์	Incident = 0	15	30	45	60	75	86.25
0	a <sub>0</sub>	-0.0035						
	a <sub>1</sub>	0.6848						
30	a <sub>0</sub>	0.0646	0.1005	0.1230	0.1323	0.1372	0.1306	0.0582
	a <sub>1</sub>	0.5383	0.4342	0.3539	0.3314	0.2721	0.1802	0.1026
60	a <sub>0</sub>	0.0646	0.1259	0.1610	0.1738	0.1716	0.1512	0.0641
	a <sub>1</sub>	0.5383	0.3551	0.2346	0.1772	0.1489	0.0423	0.0423
90	a <sub>0</sub>	0.0646	0.1252	0.1534	0.1631	0.1589	0.1447	0.0614
	a <sub>1</sub>	0.5383	0.3561	0.2573	0.2133	0.1907	0.1138	0.0652

### 6.2.3 ความสัมพันธ์ของค่า SHGC กรณีกระจกสะท้อนแสง 1 ชั้น

ความสัมพันธ์ของกระจกสะท้อนแสง 1 ชั้นมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 6.25



รูปที่ 6.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า SHGC ของกระจกสะท้อนแสง 1 ชั้นคิคูมูตี้ กับค่า SHGC ของกระจกสะท้อนแสง SS08 1 ชั้นตัวเปล่า ที่มุม azimuth ต่าง ๆ

เนื่องจากกระจกสะท้อนแสง 1 ชั้นคิคูมูตี้ แปรตามต่อมุม azimuth น้อยมาก ทำให้ความสัมพันธ์ที่ได้เป็นเส้นตรงในทุก ๆ มุม azimuth และจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงเส้นเดียวเสมอ โดยจะมีค่าความชันของกราฟแตกต่างกันเล็กน้อย และสามารถหาค่าความสัมพันธ์ได้โดยง่าย ค่า

สัมประสิทธิ์ต่าง ๆ จึงมีความสัมพันธ์แบบง่าย ๆ แบบเส้นตรง และมีค่าสัมประสิทธิ์เพียงตัวเดียว ดังแสดงในตารางที่ 6.4 ถึง 6.7

ตารางที่ 6.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างค่า  $SHGC_B$  และ  $SHGC_G$  ของกระจก 1 ชั้นชนิดสะท้อนแสง SS08

สัมประสิทธิ์	Incident = 0	30	60	90
$a_1$	0.7494	0.7313	0.7231	0.7245

ตารางที่ 6.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างค่า  $SHGC_B$  และ  $SHGC_G$  ของกระจก 1 ชั้นชนิดสะท้อนแสง SS14

สัมประสิทธิ์	Incident = 0	30	60	90
$a_1$	0.7420	0.7160	0.7040	0.7062

ตารางที่ 6.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างค่า  $SHGC_B$  และ  $SHGC_G$  ของกระจก 1 ชั้นชนิดสะท้อนแสง TI20

สัมประสิทธิ์	Incident = 0	30	60	90
$a_1$	0.7352	0.7027	0.6901	0.6901

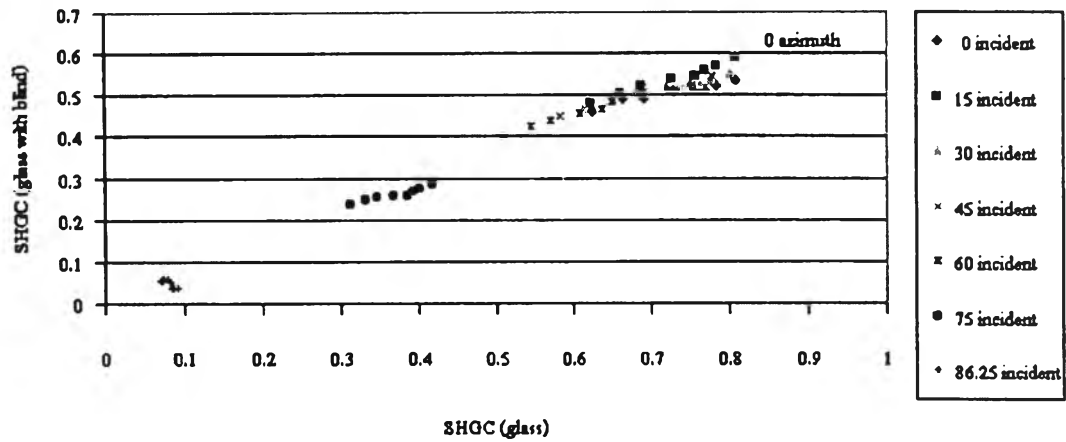
ตารางที่ 6.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างค่า  $SHGC_B$  และ  $SHGC_G$  ของกระจก 1 ชั้นชนิดสะท้อนแสง TI30

สัมประสิทธิ์	Incident = 0	30	60	90
$a_1$	0.7210	0.6764	0.6563	0.6601

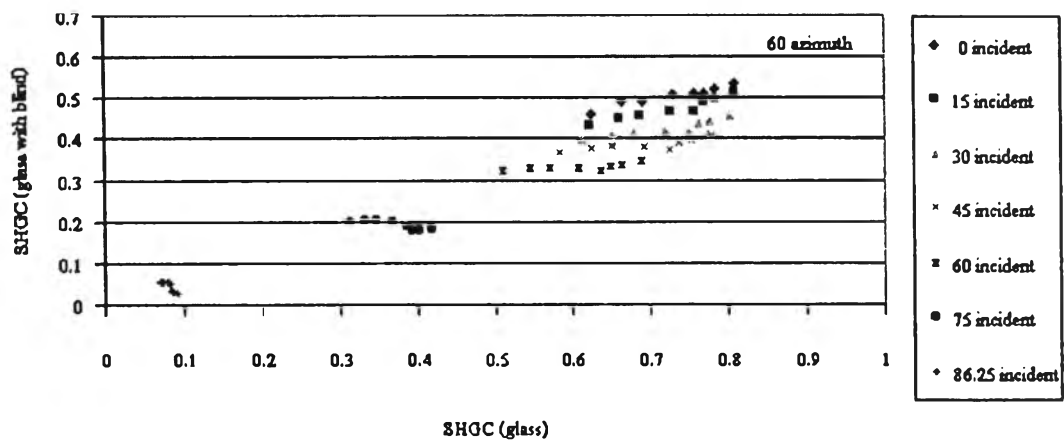
โดยจากความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงต่าง ๆ เหล่านี้บ่งบอกถึงสมรรถนะของมู่ลี่นั่นเอง เช่น ค่า  $SHGC$  กระจกสะท้อนแสง SS08 ดิมู่ลี่ที่มุม azimuth ศูนย์องศา มีค่าเท่ากับ 0.7494 เท่าของค่า  $SHGC$  ของกระจกสะท้อนแสงตัวเปล่า ซึ่งหมายความว่าสมรรถนะของมู่ลี่ของมู่ลี่เมื่อติดตั้งเข้ากับกระจกสะท้อนแสง SS08 สามารถช่วยลดความร้อนได้ประมาณ 25 % นั่นเอง

#### 6.2.4 ความสัมพันธ์ของค่า $SHGC$ กรณีกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกใส

สำหรับกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกใส ความสัมพันธ์ที่ได้จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 6.26 และ 6.27



รูปที่ 6.26 แสดงความสัมพันธ์ของค่า SHGC ของกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกใสติดมู่ลี่ กับค่า SHGC ของกระจกตัวเปล่าที่มุม azimuth ศูนย์องศา

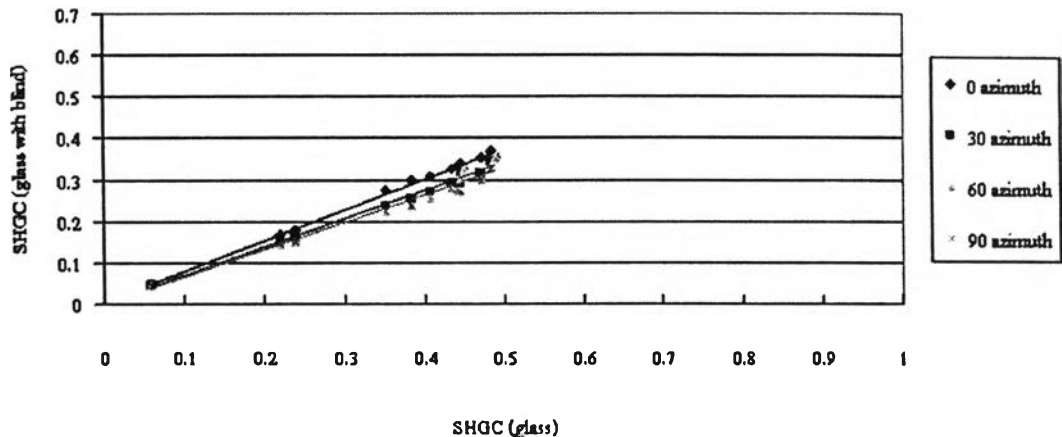


รูปที่ 6.27 แสดงความสัมพันธ์ของค่า SHGC ของกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกใสติดมู่ลี่ กับค่า SHGC ของกระจกตัวเปล่าที่มุม azimuth 60 องศา

จากรูปที่ 6.26 และ 6.27 จะเห็นได้ว่า ค่าความสัมพันธ์ของกราฟมีลักษณะที่ค่อนข้างคงที่เสียเป็นส่วนใหญ่ การหาค่าความสัมพันธ์จึงทำได้ไม่ยากนักในกรณีของกระจกใส 2 ชั้น ส่วนที่มุม azimuth อื่น ๆ นั้นความสัมพันธ์ที่ได้ก็มีลักษณะค่อนข้างคงที่เหมือน ๆ กัน

### 6.2.5 ความสัมพันธ์ของค่า SHGC กรณีกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสี

มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 6.28 จากจะเห็นได้ว่าในกรณีของกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสีนั้นจะมีค่า IAC ที่เกาะกลุ่มเป็นเส้นเดียวในทุก ๆ รูป และไม่ขึ้นกับความหนาของกระจก และชนิดของกระจกสีแต่อย่างใด



รูปที่ 6.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า SHGC ของกระจก 2 ชั้นคิคูมู่ลี่ ที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสี กับค่า SHGC ของกระจก 2 ชั้นตัวเปล่า ที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสี ที่มุม azimuth ต่าง ๆ

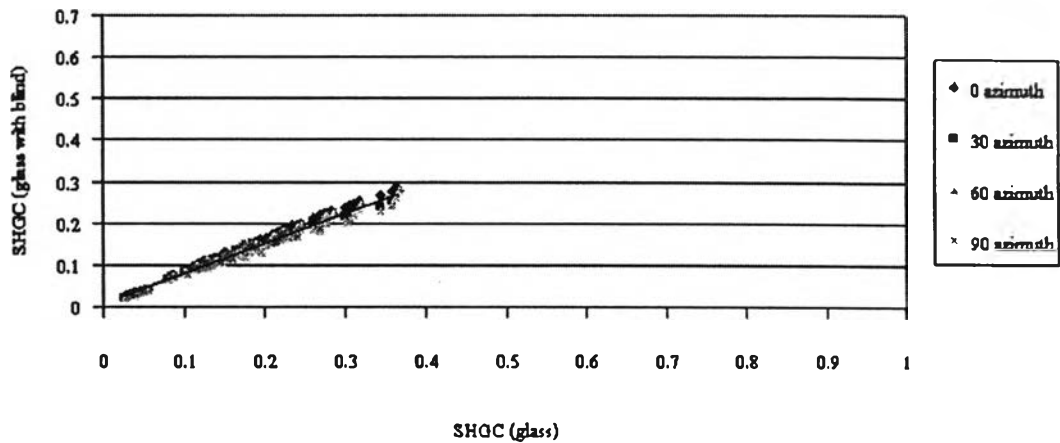
โดยสาเหตุหลักที่ทำให้ค่า IAC ในกรณีนี้มีค่าที่ค่อนข้างคงที่ และไม่แปรเปลี่ยนตามมุมต่าง ๆ มากนักก็เนื่องมาจากว่ารังสีที่ตกกระทบมู่ลี่นั้นมีปริมาณน้อย อันเนื่องมาจากก่อนที่รังสีจะเข้ามาตกกระทบมู่ลี่นั้นจะต้องผ่านกระจกสี ช่องอากาศ และกระจกใสเสียก่อน และโดยทั่วไปแล้วกระจกสีมักจะมีค่าการดูดกลืนรังสีที่สูงพอสมควร ดังนั้นจึงเป็นผลให้รังสีส่วนใหญ่ถูกดูดกลืนไว้ที่กระจกแต่ละชั้น และทำให้มีปริมาณรังสีจำนวนน้อยเท่านั้นที่มาตกกระทบมู่ลี่ ดังนั้นอิทธิพลของมู่ลี่จึงตกลงไป และเป็นผลให้ค่า IAC ของกระจกชนิดนี้มีค่าที่ค่อนข้างคงที่ และสามารถหาความสัมพันธ์ได้โดยง่าย โดยความสัมพันธ์นี้สามารถใช้ได้กับกระจก 2 ชั้นที่มีกระจกชั้นนอกเป็นกระจกสีทุกชนิด และทุกความหนา โดยค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ นั้นแสดงอยู่ในตารางที่ 6.8 นอกจากนั้นยังน่าสังเกตอีกว่ากระจกชนิดนี้สามารถใช้แนวคิดของค่า IAC ได้

ตารางที่ 6.8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างค่า  $SHGC_B$  และ  $SHGC_G$  ของกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสี

สัมประสิทธิ์	Incident = 0	30	60	90
$a_1$	0.7525	0.6883	0.6575	0.6608

## 6.2.6 ความสัมพันธ์ของค่า SHGC ในกรณีกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสง

มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 6.29



รูปที่ 6.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า SHGC ของกระจก 2 ชั้นติดมู่ลี่ ที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสง ติดมู่ลี่เทียบกับค่า SHGC ของกระจก 2 ชั้นตัวเปล่า ที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสง ที่มุม azimuth ต่าง ๆ

จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าความสัมพันธ์ของค่า SHGC ของกระจกชนิดเคลือบติดมู่ลี่กับกระจกชนิดเคลือบตัวเปล่านั้นจะมีลักษณะที่เกาะกลุ่มเป็นเส้นเดียวในทุก ๆ มุม azimuth และนอกจากนั้นจะเห็นว่าชนิดของกระจกที่เคลือบต่างชนิดก็ยังไม่ให้ความสัมพันธ์แบบเดียวกัน อันเนื่องมาจากว่ากระจกชนิดเคลือบมีค่าการดูดกลืนรังสีที่มากเช่นกัน ดังนั้นความสัมพันธ์ที่ได้จึงสามารถประยุกต์ใช้กับกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสงได้ทุกชนิด นอกจากนั้นยังน่าสังเกตอีกว่ากระจกชนิดนี้สามารถใช้แนวคิดของค่า IAC ได้

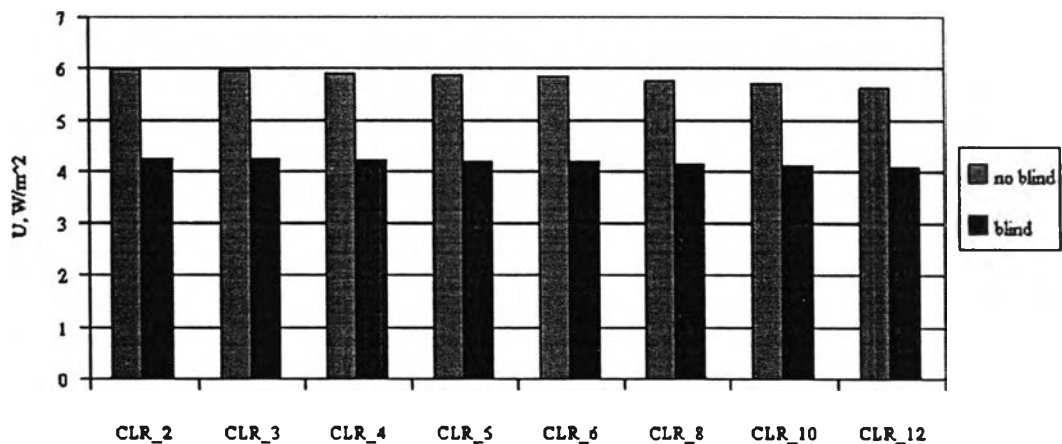
ตารางที่ 6.9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างค่า  $SHGC_B$  และ  $SHGC_G$  ของกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสง

สัมประสิทธิ์	Incident = 0	30	60	90
$a_1$	0.8103	0.7717	0.7532	0.7552

### 6.3 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวม (U-value) ของกระจกติดมู่ลี่กับกระจกตัวเปล่าแต่ละชนิด

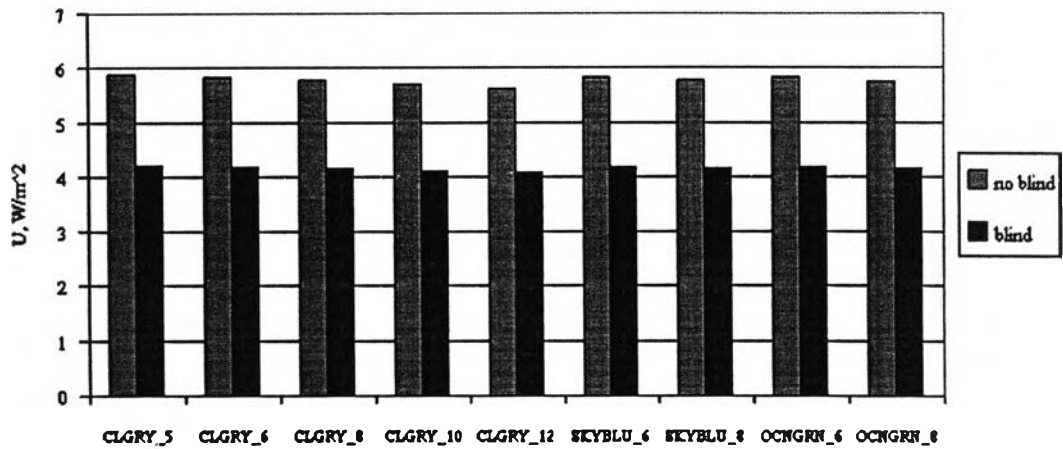
ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนนี้เป็นค่าที่แทนส่วนการไหลของความร้อน (thermal energy) ซึ่งเกิดขึ้นจากผลต่าง ๆ ของอุณหภูมิล้วน ๆ โดยในการหาค่า  $U$  นี้มักจะกำหนดให้รังสีที่มาตกกระทบเป็นศูนย์เสมอ โดยที่ค่า  $U$  นี้จะเป็นการรวมการพาความร้อน และการแผ่รังสีคลื่นยาวในทุก ๆ ส่วนกระจก/มู่ลี่ จากค่าการพาความร้อนต่าง ๆ นั้นจะนำไปสู่ค่าการส่งผ่านความร้อนรวมของระบบนั่นเอง สำหรับรายละเอียดการคำนวณนั้นสามารถดูได้จากภาคผนวก ฉ

การเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนนี้สามารถหาค่าได้จากภาวะอากาศมาตรฐานของกรุงเทพมหานครที่กำหนดให้ ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่มาตกกระทบระบบกระจกติดมู่ลี่มีค่าเท่ากับศูนย์ และจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 6.30 ถึง 6.41

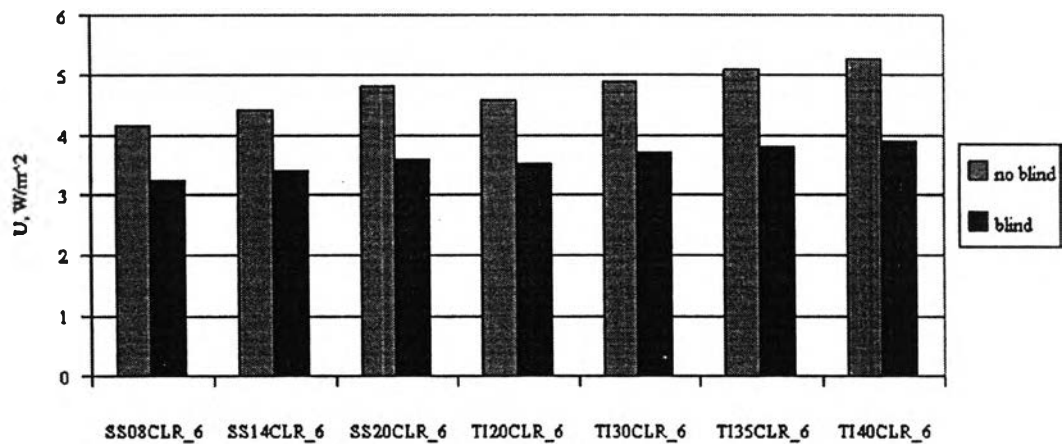


รูปที่ 6.30 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของกระจกใส 1 ชั้นติดมู่ลี่ กับกระจกใส 1 ชั้นตัวเปล่า ที่ความหนาต่าง ๆ กัน

จากรูปที่ 6.30 จะเห็นได้ว่าค่า  $U$  ของกระจกใสติดมู่ลี่นั้นจะมีค่าที่น้อยกว่ากระจกตัวเปล่าในทุก ๆ ความหนา โดยที่การลดลงของค่า  $U$  นี้เป็นผลมาจากมู่ลี่นั้นไปรบกวนการพาความร้อนออกจากกระจกให้มีการเคลื่อนที่ที่ช้าลงขึ้น นอกจากนั้นมู่ลี่ยังช่วยกันการแผ่รังสีคลื่นยาวจากผิวกระจกชั้นในอีกต่อหนึ่ง จึงเป็นผลให้ค่า  $U$  นั้นมีค่าที่ลดลง โดยที่อัตราส่วนการลดลงของค่า  $U$  นั้นมีค่าที่ค่อนข้างคงที่ และมีค่าการลดลงเท่ากับ 28 % โดยที่ในกรณีของกระจกใส 1 ชั้นนั้น ก็จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันดังแสดงในรูปที่ 6.31



รูปที่ 6.31 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของกระจกสี 1 ชั้นคิคมูลิ กับค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของกระจกสี 1 ชั้นตัวเปล่า

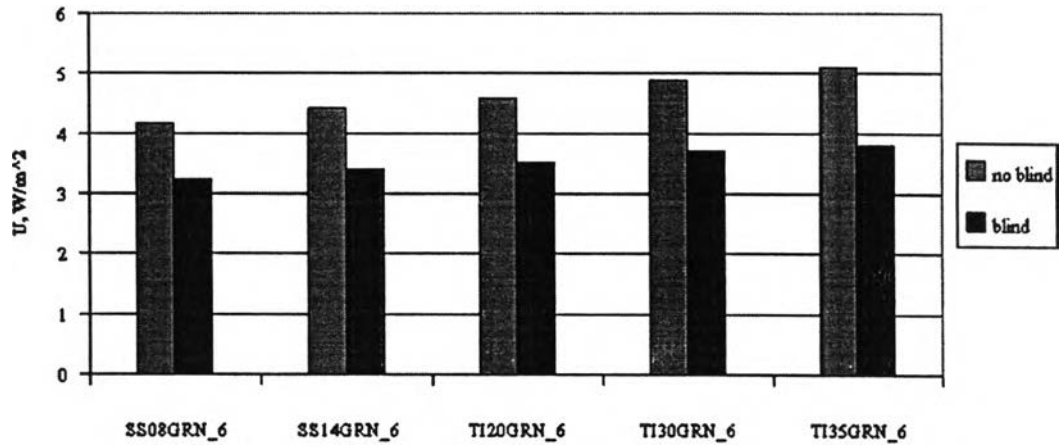


รูปที่ 6.32 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของกระจกสะท้อนแสง 1 ชั้นชนิดต่าง ๆ ที่เคลือบลงบนกระจกใส กับค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของกระจกสะท้อนแสง 1 ชั้นตัวเปล่า

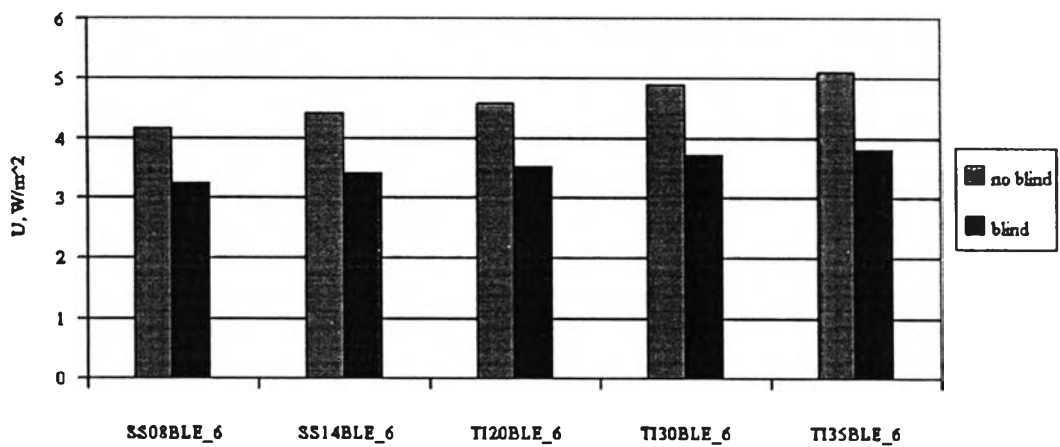
รูปที่ 6.32 แสดงให้เห็นถึงค่า U ของกระจกสะท้อนแสง แต่ละชนิดที่เคลือบลงบนกระจกใสหนา 6 มม. โดยจะเห็นได้ว่าการลดลงของค่า U นั้นจะมีค่าการลดลงที่ค่อนข้างคงที่ในทุก ๆ สารเคลือบทั้ง ๆ ที่มีค่าการเปล่งรังสีที่สารเคลือบแตกต่างกัน โดยการติดคั้งมูลิ่เข้ากับกระจกสะท้อนแสง 1 ชั้นนี้สามารถลดค่า U-value ลงได้ 24 %



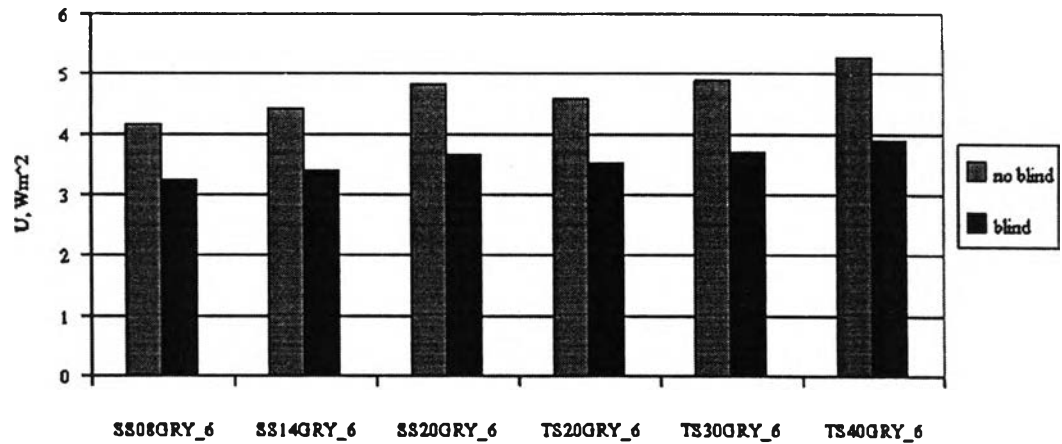
และลักษณะดังกล่าวนี้ก็จะมึลักษณะที่คล้าย ๆ กันเมื่อเคลือบลงบนกระจกสีชนิดอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 6.33 ถึง 6.35



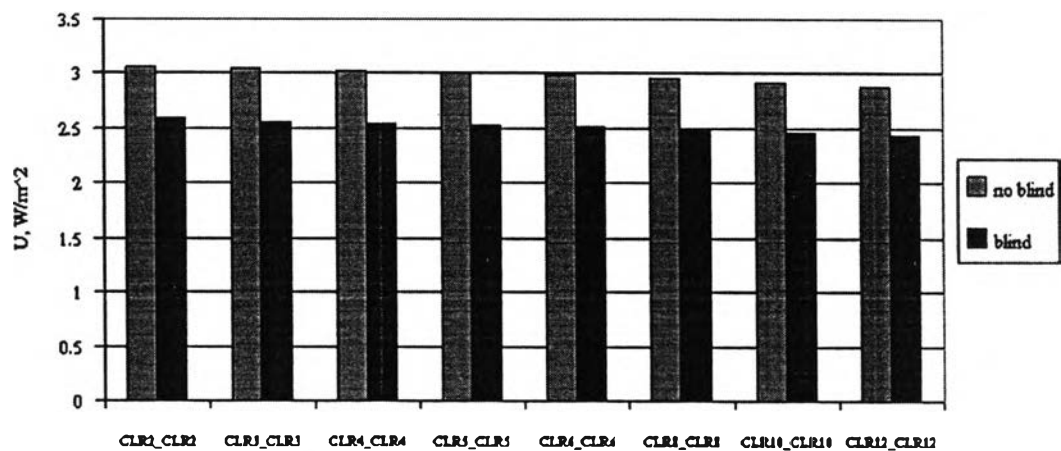
รูปที่ 6.33 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของกระจกสะท้อนแสง 1 ชั้นที่เคลือบลงบนกระจกสีเขียว



รูปที่ 6.34 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของกระจกสะท้อนแสง 1 ชั้นที่เคลือบลงบนกระจกสีฟ้า



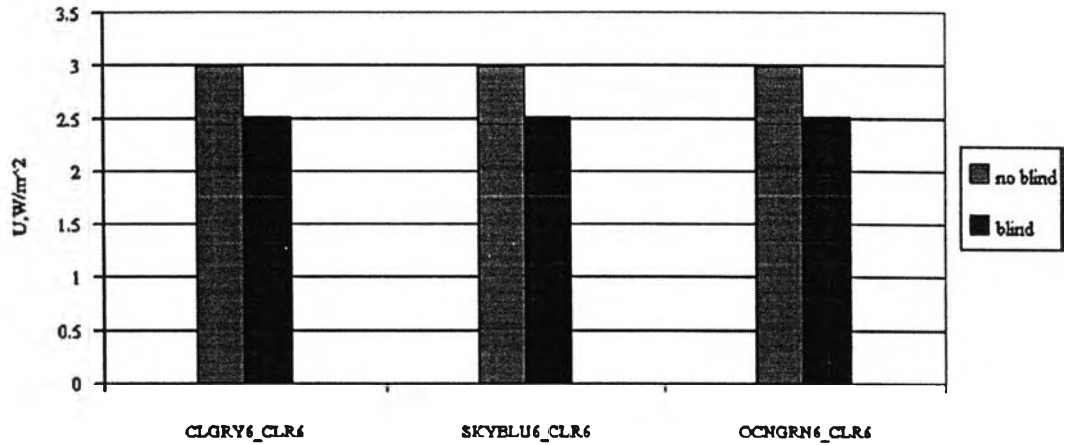
รูปที่ 6.35 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของกระจกสะท้อนแสง 1 ชั้นที่เคลือบลงบนกระจกสีเทา



รูปที่ 6.36 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของกระจก 2 ชั้น ที่มีช่องระหว่างกระจก 13 มม. ที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกใส

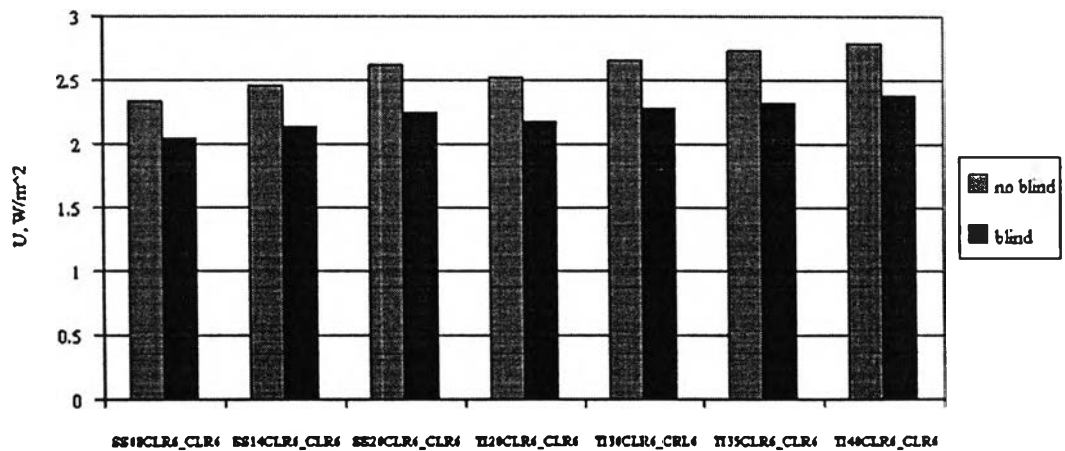
รูป 6.36 เป็นการแสดงการลดลงของค่า U ในกรณีกระจกใส 2 ชั้น โดยจะเห็นได้ว่าการลดลงของค่า U จะมีค่าที่น้อยกว่าในกรณีของกระจก 1 ชั้น อันเนื่องมาจากว่า ค่าการกระจายตัวของอุณหภูมินั้นจะขึ้นอยู่กับการนำความร้อนเป็นหลัก โดยที่ขั้วกระจกมีหลายชั้นมากเท่าใด อุณหภูมิผิวด้านในก็จะมีค่าที่ใกล้เคียงกับอากาศด้านในมากขึ้น และเนื่องจากการพาความร้อนโดยธรรมชาติ นั้นจะเกิดขึ้นเนื่องจากแรงลอยตัว และเมื่ออากาศมีการเคลื่อนที่น้อยลง การรบกวนการพาความร้อนของมู่ลี่ก็จะมีค่าที่ลดลงด้วย และในกรณีของกระจก 2 ชั้นที่ชั้นนอกเป็นกระจกสีก็จะมีลักษณะ

ที่เหมือนกันดังแสดงในรูปที่ 6.37-6.41 โดยการลดลงที่ได้จะไม่ขึ้นกับชนิดของกระจกสี แต่อย่างใด และสามารถช่วยลดค่า U-value ลงได้ 16 %

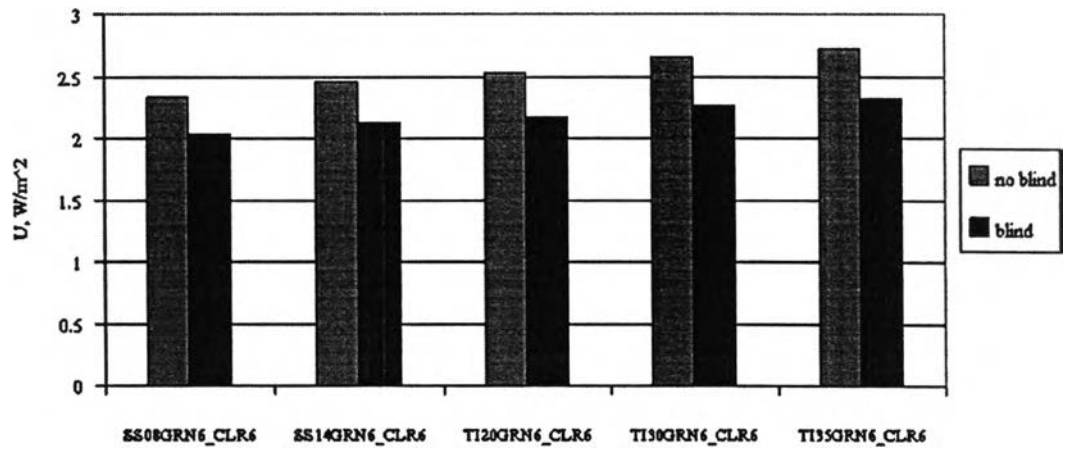


รูปที่ 6.37 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสี

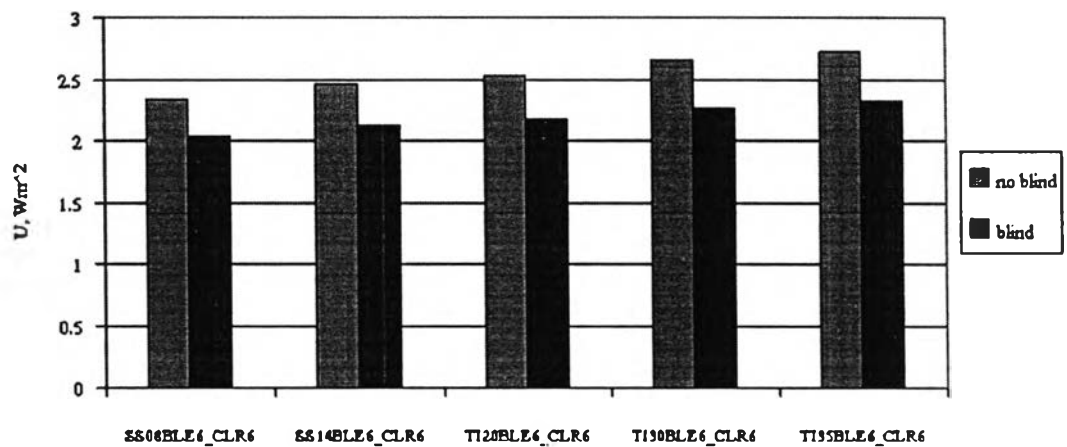
สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสง มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 6.38 ถึง 6.41



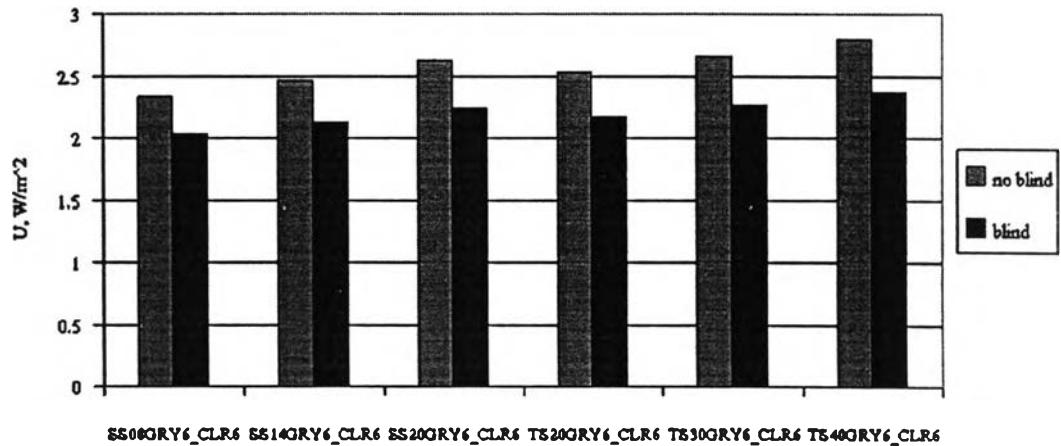
รูปที่ 6.38 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสงชนิดต่าง ๆ ลงบนกระจกใส



รูปที่ 6.39 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกชนิดเคลือบชนิดต่าง ๆ ลงบนกระจกสีเขียว



รูปที่ 6.40 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกชนิดเคลือบชนิดต่าง ๆ ลงบนกระจกสีฟ้า



รูปที่ 6.41 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกชนิดสะท้อนแสงชนิดต่าง ๆ ลงบนกระจกสีเทา

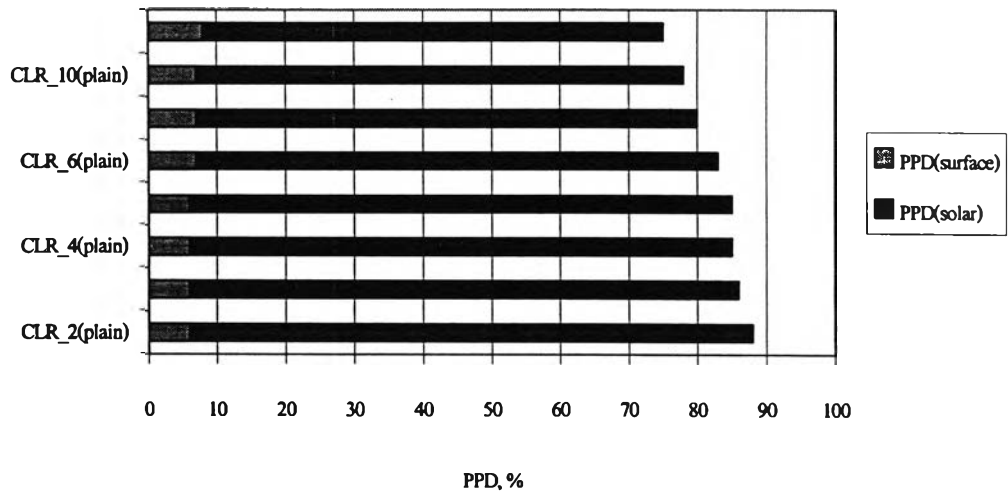
จากรูปที่ 6.38 ถึง 6.41 จะเห็นได้ว่าในกรณีของกระจก 2 ชั้นที่ชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสง การลดลงของค่า U นั้นจะมีค่าที่คงที่ เนื่องจากกระจกชั้นในนั้นเป็นกระจกใส ดังนั้นค่าการเปล่งรังสีนั้นจึงมีค่าเท่ากันหมด ดังนั้นไม่ว่าการกวนการพาความร้อน หรือการช่วยกันการแผ่รังสีคลื่นยาวก็มีค่าเท่ากันทั้งหมด และเป็นผลให้การลดลงของค่า U มีค่าคงที่ในทุก ๆ ชนิดกระจก และค่าที่ลดได้นั้นมีค่าเท่ากับ 14 %

#### 6.4 อิทธิพลของมู่ลี่กับค่าความสบายเชิงความร้อน

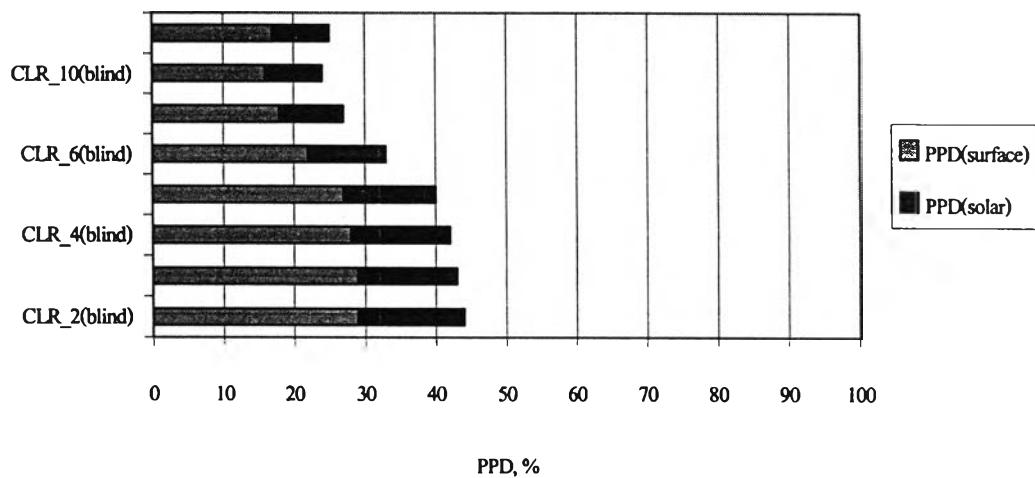
การศึกษาอิทธิพลของมู่ลี่ที่มีต่อค่าความสบายเชิงความร้อนจะทำการศึกษาเชิงเปรียบเทียบ กับกรณีของกระจกตัวเปล่า เมื่อระบบกระจกทั้งสองนั้นคอกอยู่ภายใต้สภาวะมาตรฐานแบบเดียวกัน และจะมีลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

##### 6.4.1 กระจกใส 1 ชั้น

ค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนของกระจกใสตัวเปล่า กับกระจกใสคิมู่ลี่มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 6.42 และ 6.43 ตามลำดับ



รูปที่ 6.42 แสดงค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนของกระจกใส 1 ชั้น ตัวเปล่า ที่ความหนาของกระจกต่าง ๆ กัน



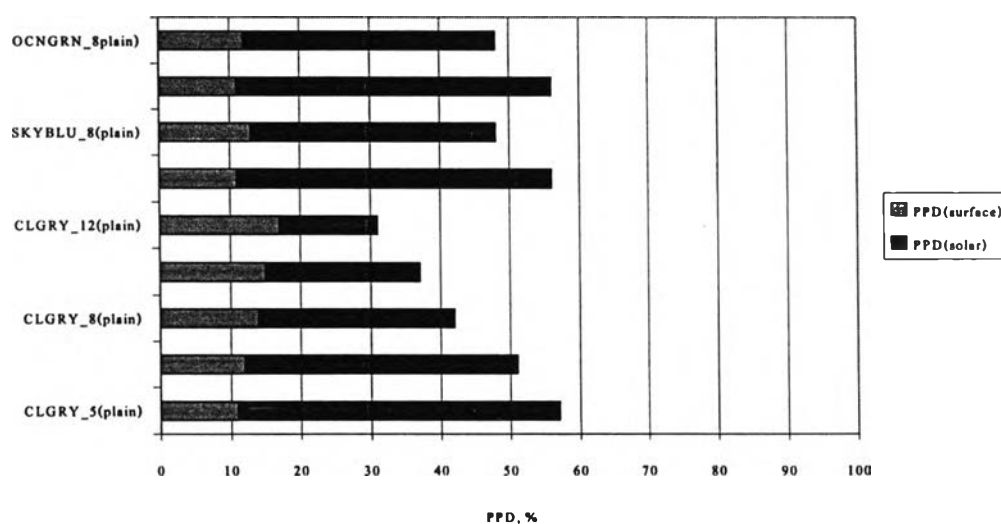
รูปที่ 6.43 แสดงค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนของกระจกใส 1 ชั้น ติดมู่ลี่ ที่ความหนาของกระจกต่าง ๆ กัน

จากรูปที่ 6.42 และ 6.43 จะเห็นได้ว่าค่าความสบายเชิงความร้อนรวม (Total PPD) มีค่าดีขึ้นในทุกกรณี แต่จากค่าโดยรวมที่ดีขึ้นแล้วนั้นจะเห็นว่าค่าความไม่สบายเชิงความร้อนในแต่ละส่วนมีค่าที่เปลี่ยนไปด้วยนั่นคือค่า PPD(solar) ที่ลดลงอย่างมาก ในขณะที่ค่า PPD(surface) ก็มีค่าที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน

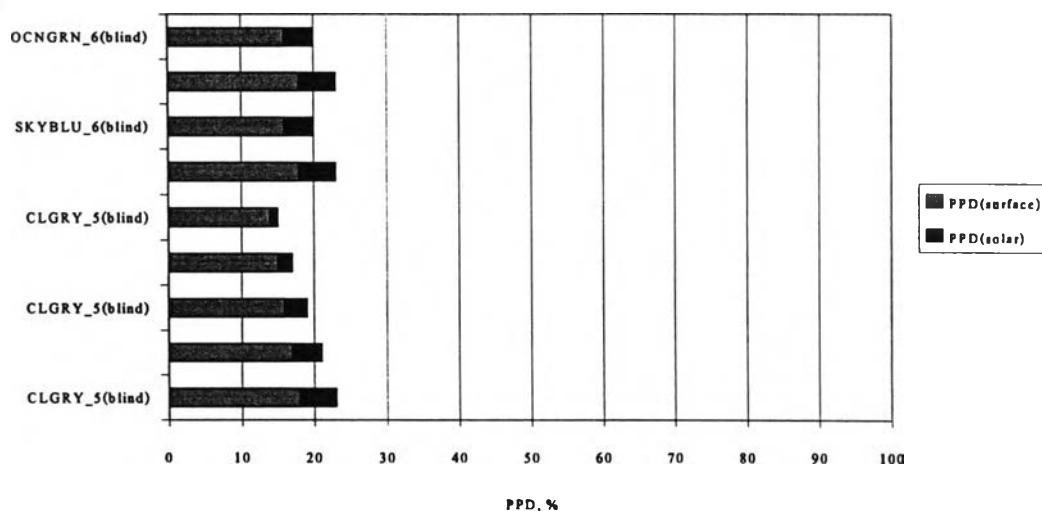
ลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการติดตั้งมู่ลี่มีส่วนช่วยในการลดการส่งผ่านรังสี และช่วยสะท้อนรังสีออกจากอาคาร จึงเป็นผลให้ค่า PPD(solar) นั้นมีค่าที่ลดลง แต่จากการช่วยสะท้อนรังสีนั่นเองก็เป็นผลให้เกิดการสะท้อนของรังสีในระบบกระจกที่มากขึ้นด้วย จึงเป็นผลให้มีการดูดกลืนรังสีเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ชั้นกระจกและมู่ลี่ และทำให้ค่า PPD(surface) นั้นมีค่าที่เพิ่มขึ้น

และจากรูปที่ 6.42 จะเห็นได้ว่าในกรณีของกระจกตัวเปล่าเมื่อกระจกหนาขึ้น จะก่อให้เกิดการดูดกลืนรังสีที่มากขึ้น และเป็นผลให้รังสีที่ส่งผ่านมีค่าน้อยลง จึงเป็นผลให้ค่าความสบายทั้งสองส่วนมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ตรงกันข้าม ในขณะที่รูปที่ 6.43 จะเห็นได้ว่าเมื่อค่าความหนาของกระจกเพิ่มขึ้นค่าความไม่สบายเชิงความร้อนจะมีค่าที่ลดลงทั้ง 2 ส่วน เนื่องจาก ว่าเมื่อความหนาของกระจกใสมากขึ้น ค่าการส่งผ่านรังสีที่เข้ามา ก็จะมีค่าที่ลดลงด้วย จึงเป็นผลให้ค่า PPD(solar) น้อยลง และจากการดูดกลืนที่มากในกระจกจึงเป็นผลให้อุณหภูมิของกระจกเพิ่มขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิของมู่ลี่มีค่าที่ลดลง ดังนั้นมู่ลี่จึงมีอุณหภูมิที่ลดลง และมีการแผ่รังสีคลื่นยาวมาสู่ผู้อยู่อาศัยน้อยลง และทำให้ค่า PPD(surface) นั้นมีค่าที่ลดลงด้วย ดังนั้นเมื่อกระจกหนาขึ้นค่าความสบายเชิงความร้อนจึงดีขึ้นทั้งสองส่วน

#### 6.4.2 กระจกสี 1 ชั้น



รูปที่ 6.44 แสดงค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนของกระจกสี 1 ชั้นตัวเปล่าที่ความหนากระจกต่าง ๆ กัน



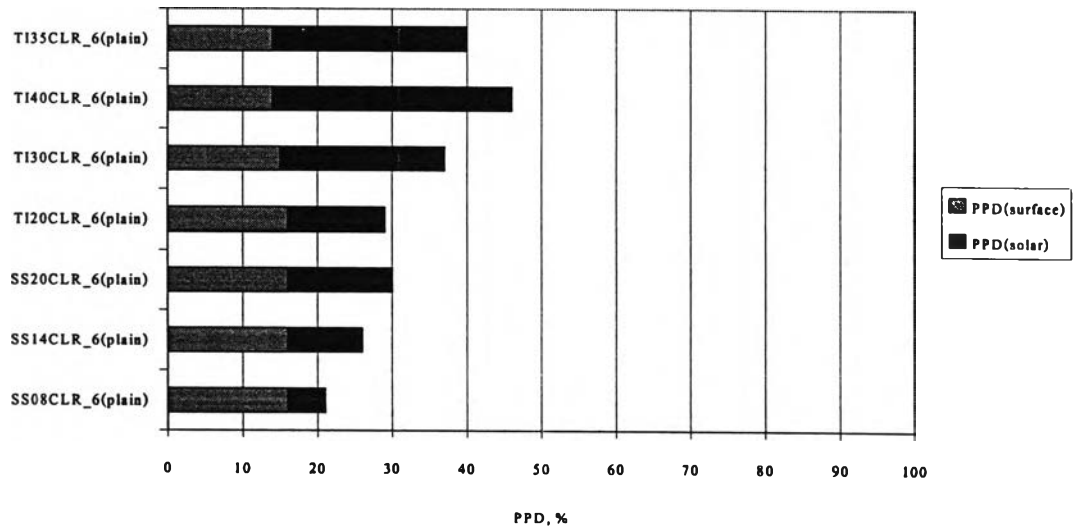
รูปที่ 6.45 แสดงค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนของกระจกสี 1 ชั้นติดมู่ลี่ที่ความหนากระจกต่าง ๆ กัน

รูปที่ 6.44 และ 6.45 แสดงค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนของกระจกสี 3 ชนิด ได้แก่ กระจกสี coolgray กระจกสี skyblue และกระจกสี oceangreen โดยจะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของค่า PPD มีลักษณะแบบเดียวกันกับกระจกใส กล่าวคือ การติดตั้งมู่ลี่จะทำให้ค่า PPD(total) ดีขึ้น และเมื่อความหนาของกระจกเพิ่มขึ้นค่า PPD(surface) และค่า PPD(solar) จะมีค่าลดลงทั้งสองส่วนในทำนองเดียวกัน เพียงแต่จะมีค่า PPD(total) ที่น้อยกว่า เป็นที่น่าสังเกตว่า การติดตั้งมู่ลี่เข้ากับกระจกที่มีค่าการเคลื่อนรังสีที่สูงนั้น จะช่วยในเรื่องของความสบายเชิงความร้อนได้มากเนื่องจากรังสีจะถูกดูดกลืนไว้ที่ตัวกระจกเป็นหลัก ในขณะที่จะมีรังสีปริมาณน้อยเท่านั้นที่ถูกดูดกลืนในมู่ลี่ จึงทำให้มู่ลี่มีอุณหภูมิต่ำ และมีการแผ่รังสีคลื่นยาวมาสู่ผู้อยู่อาศัยน้อยลงด้วย

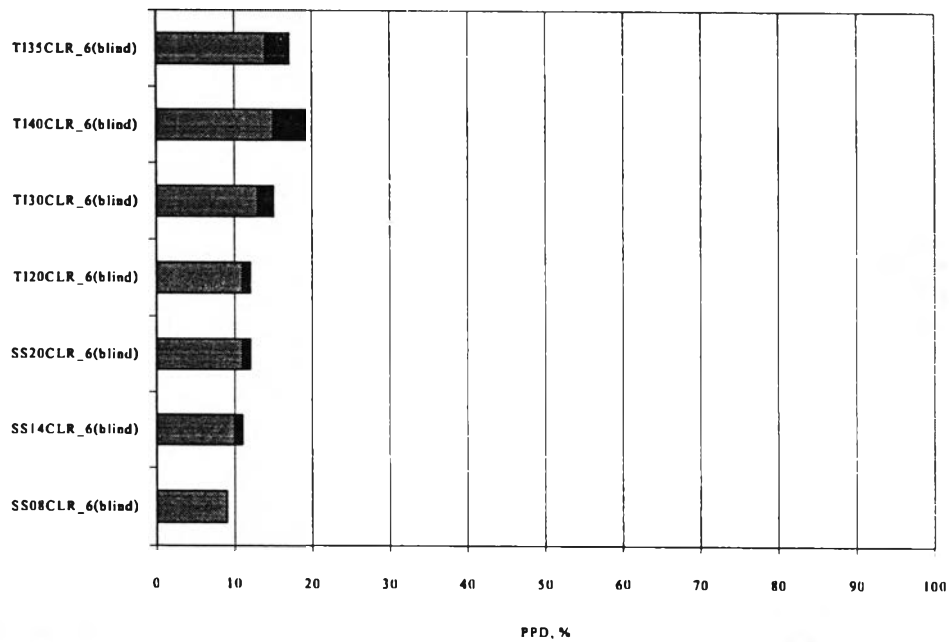
นอกจากนั้นยังคงเห็นอีกว่า ถึงแม้จะเป็นกระจกสีต่างชนิดกันแต่ค่าความสบายเชิงความร้อนนั้นกลับมีลักษณะที่คล้ายกันทั้งในส่วน of ค่า PPD(solar) และค่า PPD(surface) อันเนื่องมาจากค่าคุณสมบัติทาง optic ของแต่ละกระจกนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก



### 6.4.3 กระจกสะท้อนแสง 1 ชั้น



รูปที่ 6.46 แสดงค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนของกระจกสะท้อน 1 ชั้นที่มีสารเคลือบต่าง ๆ กันบนกระจกใส หนา 6 มม. ตัวเปล่า



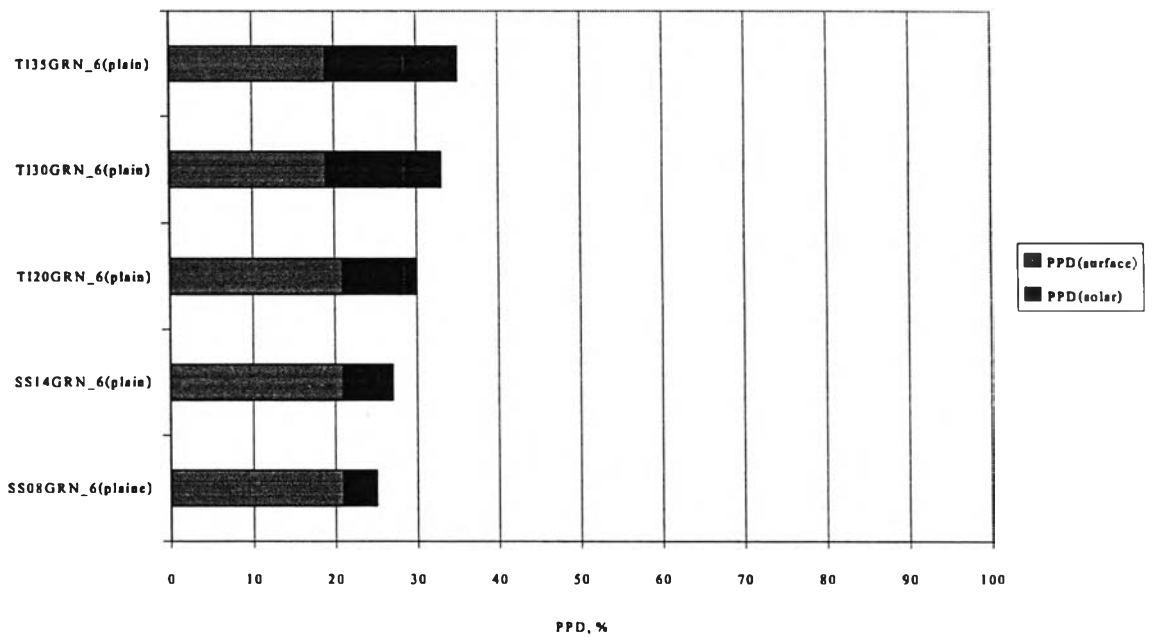
รูปที่ 6.47 แสดงค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนของกระจกสะท้อน 1 ชั้นที่มีสารเคลือบชนิดต่าง ๆ กันบนกระจกใส หนา 6 มม. ติดมู่ลี่

จากรูปที่ 6.46 และ 6.47 จะเห็นได้ว่าการติดตั้งมู่ลี่เข้ากับกระจกสะท้อนแสงนั้นก็สามารถช่วยลดค่า PPD(total) ได้เช่นเดียวกัน เพียงแต่ว่าค่าที่ลดได้มีค่าน้อยกว่ากรณีกระจกใส หรือ

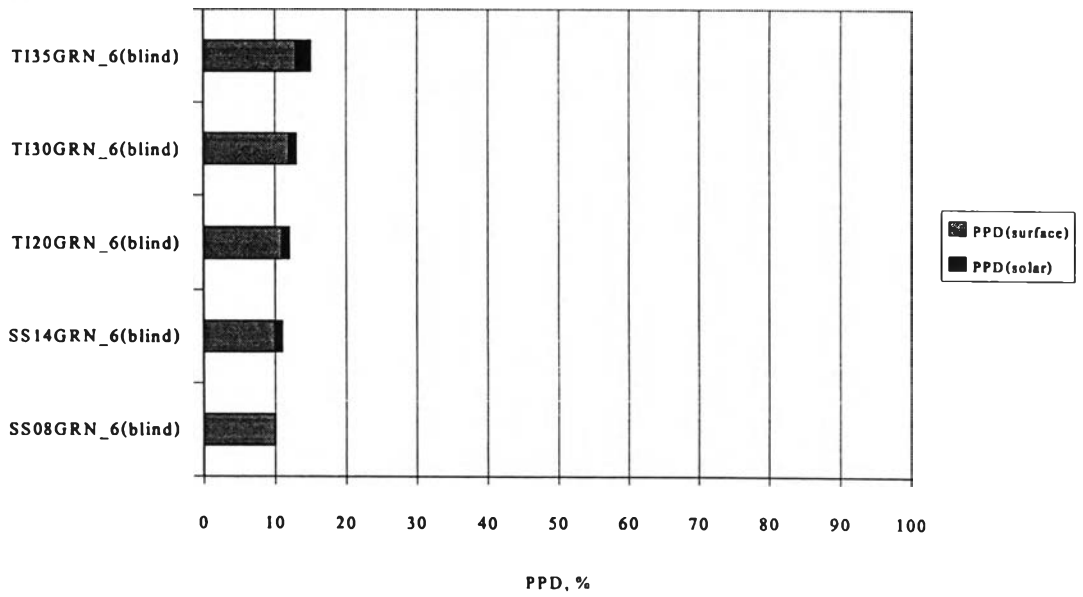
กระจกสี อันเป็นผลเนื่องมาจากรังสีที่ส่งผ่านกระจกสะท้อนแสงเข้ามานั้นมีน้อยอยู่แล้ว โดยเมื่อรังสีที่เข้ามาน้อย บทบาทของมู่ลี่ที่จะลดรังสีที่เข้ามาก็มีน้อยลงไปด้วย

นอกจากนั้นยังมองเห็นได้ว่าความไม่สบายเชิงความร้อนหลัก ๆ จะมาจากการแผ่รังสีคลื่นยาวเป็นส่วนใหญ่ และค่า PPD(surface) นี้จะแตกต่างกันไปตามชนิดเคลือบ โดยสารเคลือบที่มีค่าการเปล่งรังสีสูงก็จะก่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับมู่ลี่ในปริมาณมาก และส่งผลให้อุณหภูมิของมู่ลี่เพิ่มขึ้น และส่งผลโดยตรงต่อค่าความสบายเชิงความร้อน

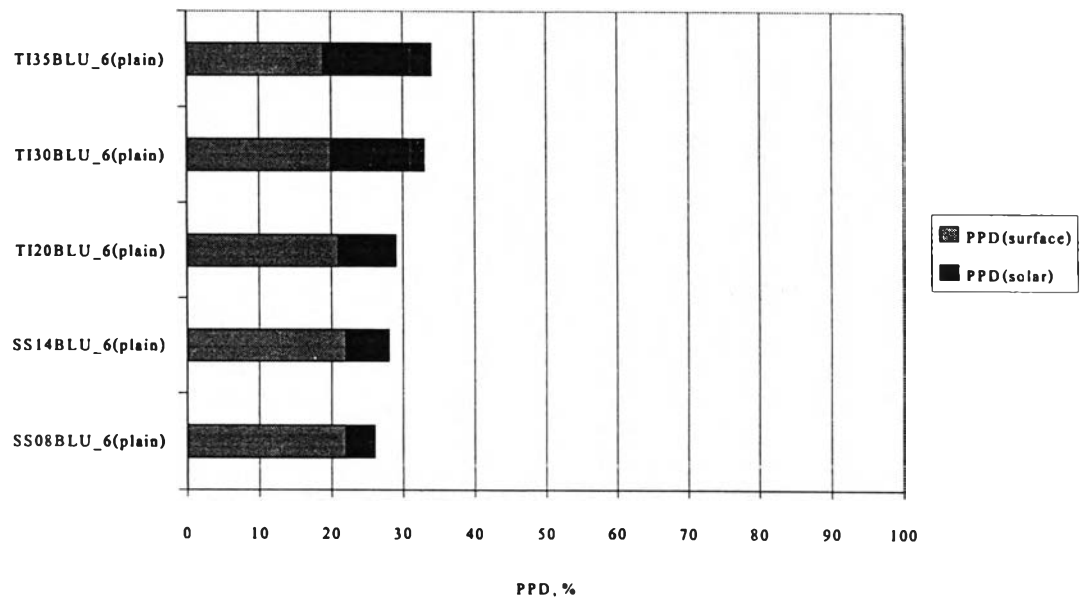
ค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนของกระจกสะท้อนแสงเมื่อทำการเคลือบเข้ากับกระจกชนิดสีเขียว สีฟ้า และสีเทา จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 6.48 ถึง 6.53



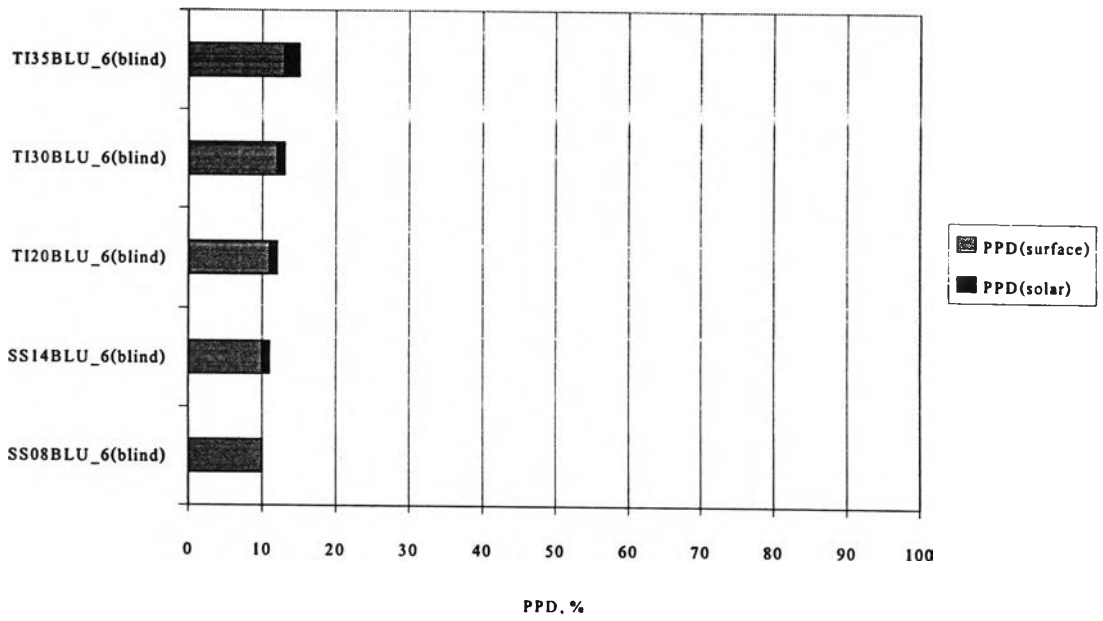
รูปที่ 6.48 แสดงค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนของกระจกสะท้อน 1 ชั้นที่มีสารเคลือบต่าง ๆ กัน บนกระจกสีเขียว หนา 6 มม. ตัวเปล่า



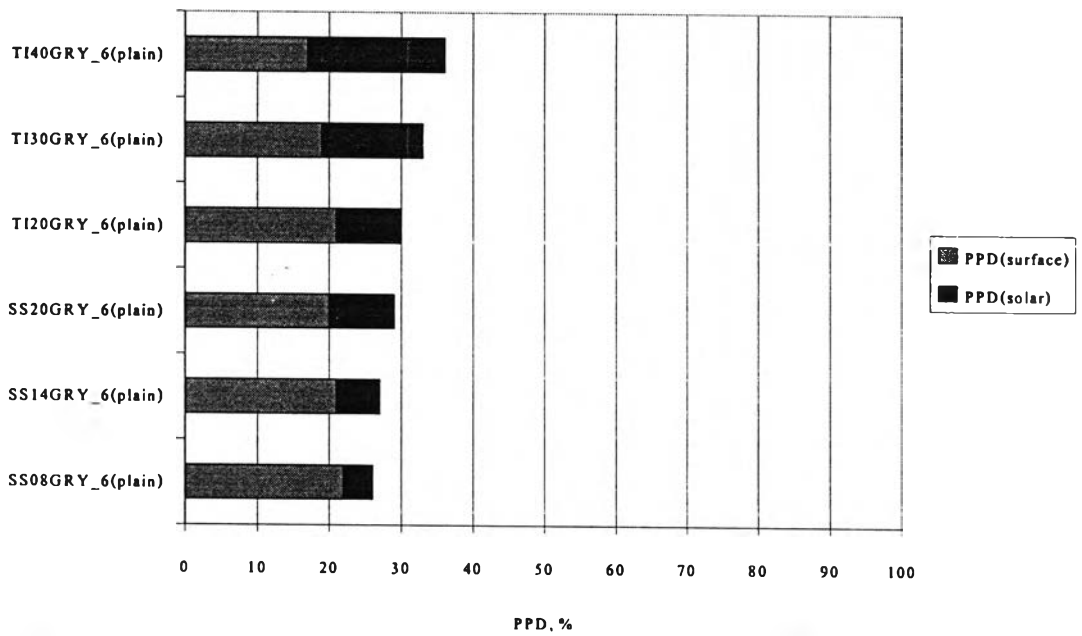
รูปที่ 6.49 แสดงค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนของกระจกสะท้อน 1 ชั้นที่มีสารเคลือบต่าง ๆ กัน บนกระจกสีเขียว หนา 6 มม. ดินมู่ลี่



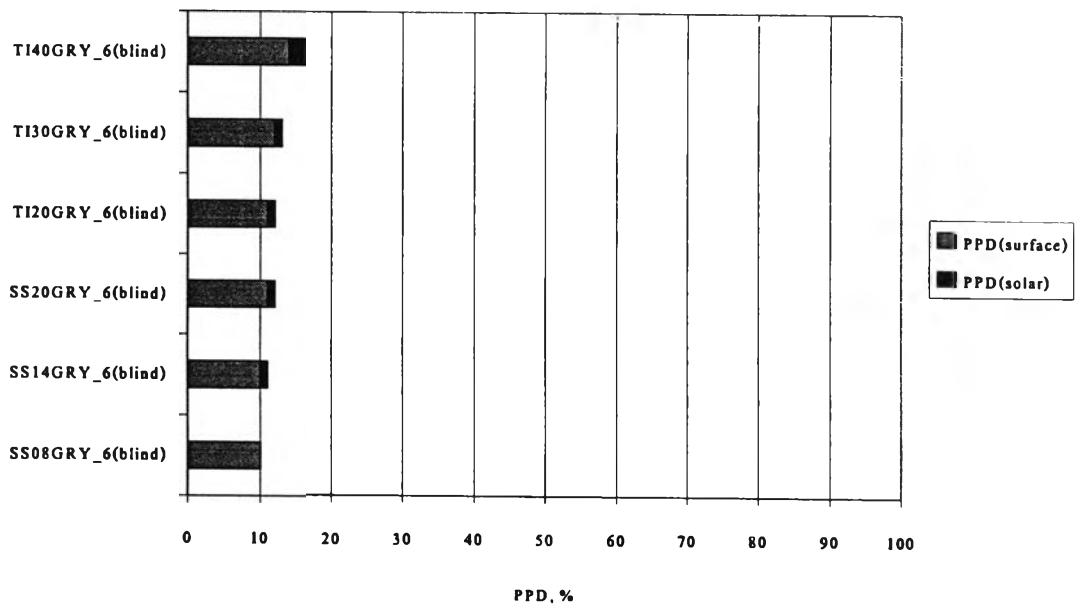
รูปที่ 6.50 แสดงค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนของกระจกสะท้อน 1 ชั้นที่มีสารเคลือบต่าง ๆ กัน บนกระจกสีฟ้า หนา 6 มม. ตัวเปล่า



รูปที่ 6.51 แสดงค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนของกระจกสะท้อน 1 ชั้นที่มีสารเคลือบต่าง ๆ กัน บนกระจกสีฟ้า หนา 6 มม. คิคมูลี่



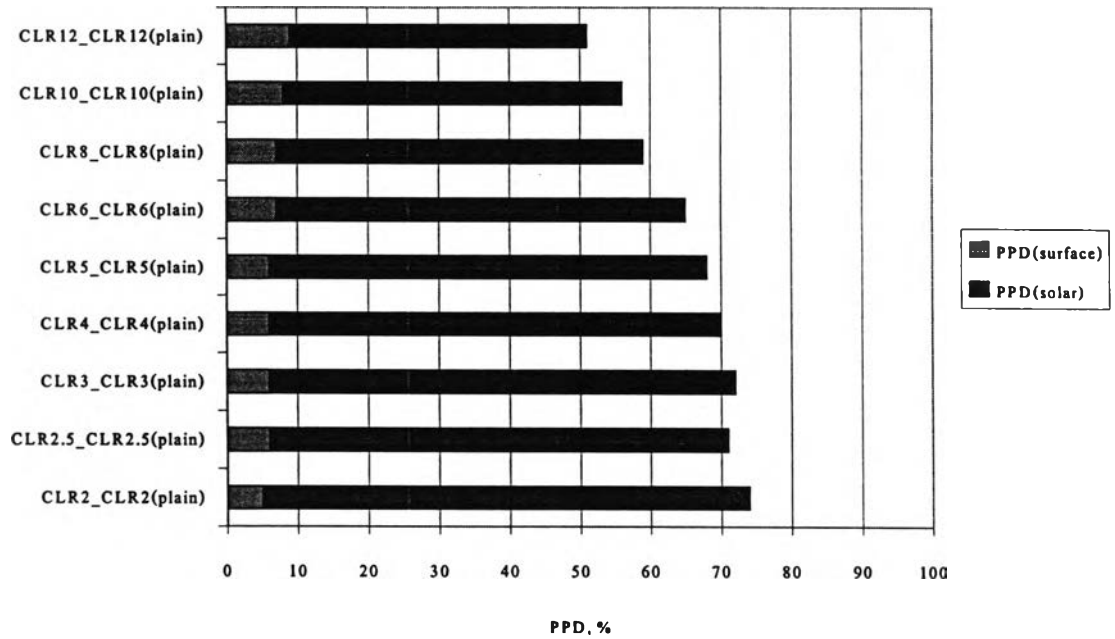
รูปที่ 6.52 แสดงค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนของกระจกสะท้อน 1 ชั้นที่มีสารเคลือบต่าง ๆ กัน บนกระจกสีเทา หนา 6 มม. ตัวเปล่า



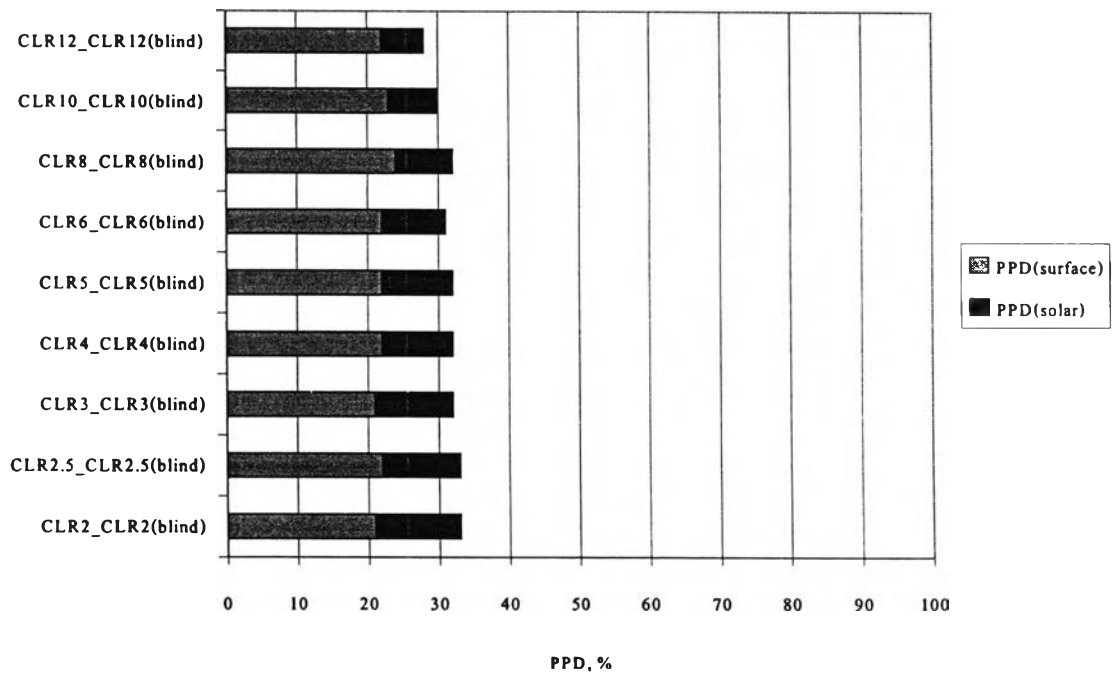
รูปที่ 6.53 แสดงค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนของกระจกสะท้อน 1 ชั้นที่มีสารเคลือบต่าง ๆ กัน บนกระจกสีเทา หนา 6 มม. ดิคมูตี้

จากรูปที่ 6.48 ถึง 6.53 จะเห็นว่าค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนจะมีค่าที่เหมือนกันถ้าชนิดที่เคลือบเป็นชนิดเดียวกันไม่ว่าจะเคลือบบนกระจกประเภทใด โดยที่สารเคลือบชนิด SS08 จะให้ค่าความสบายเชิงความร้อนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (น้อยกว่า 10%)

#### 6.4.4 กระจกใส 2 ชั้น



รูปที่ 6.54 แสดงค่าความสบายเชิงความร้อนของกระจกใส 2 ชั้นที่มีช่องอากาศ 13 มม. ตัวเปล่า ที่ความหนาของกระจกต่าง ๆ กัน

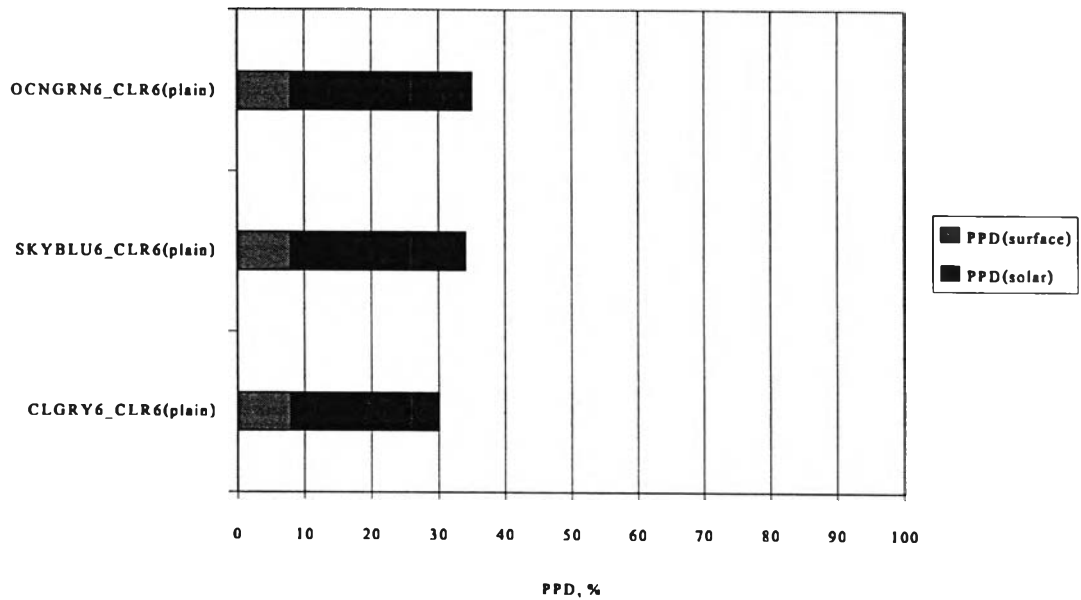


รูปที่ 6.55 แสดงค่าความสบายเชิงความร้อนของกระจกใส 2 ชั้นที่มีช่องอากาศ 13 มม. ติดมู่ลี่ ที่ความหนาของกระจกต่าง ๆ กัน

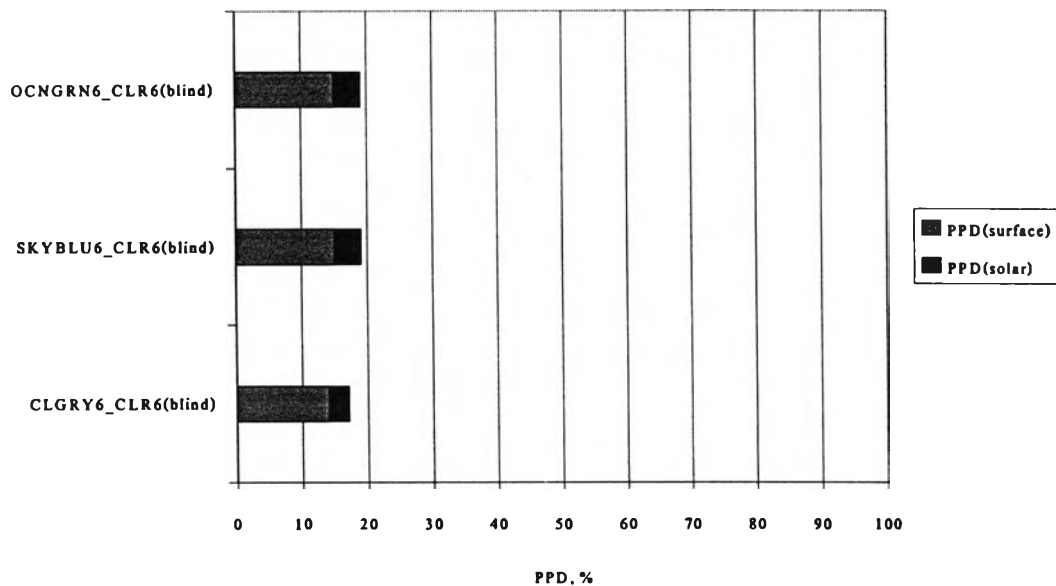
จากรูปที่ 6.54 และ 6.55 จะเห็นว่า ค่า PPD(total) จะมีค่าที่น้อยลงในทุกกรณี และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า PPD(solar) ลดลง แต่ค่า PPD(surface) ที่เพิ่มขึ้น

#### 6.4.5 กระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสี

มีลักษณะดังแสดงในรูป 6.56 และ 6.57



รูปที่ 6.56 แสดงค่าความสบายเชิงความร้อนของกระจก 2 ชั้นช่องอากาศ 13 มม. ที่มีกระจกชั้นนอกเป็นกระจกสี ที่ความหนาของกระจก 6 มม. ตัวเปล่า

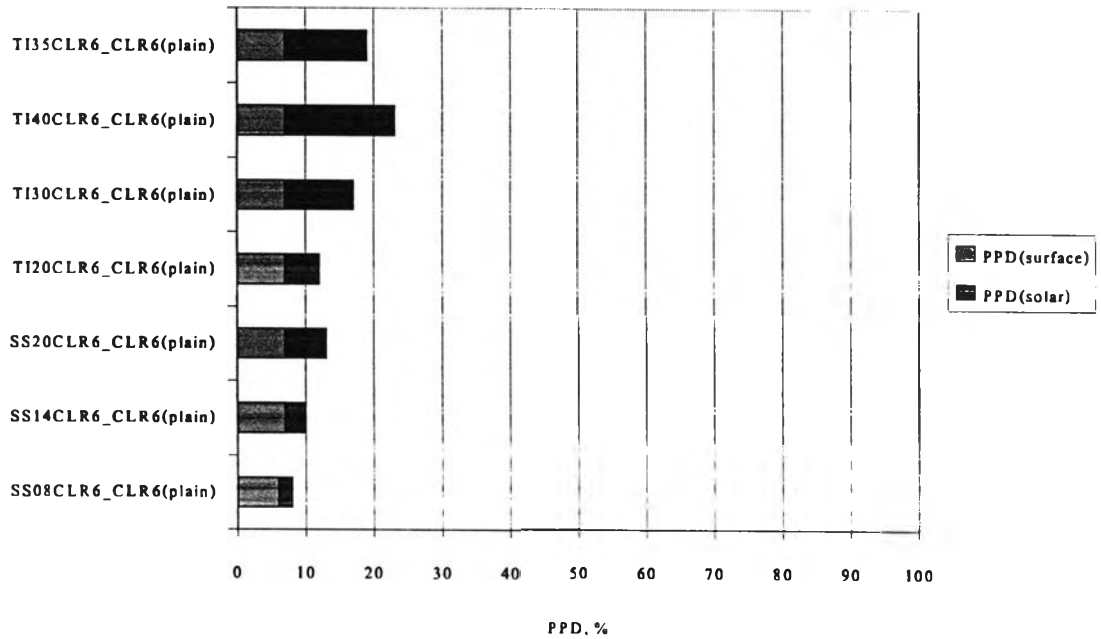


รูปที่ 6.57 แสดงค่าความสบายเชิงความร้อนของกระจก 2 ชั้นช่องอากาศ 13 มม. ที่มีกระจกชั้นนอกเป็นกระจกสี ที่ความหนาของกระจก 6 มม. ดิคมูติ

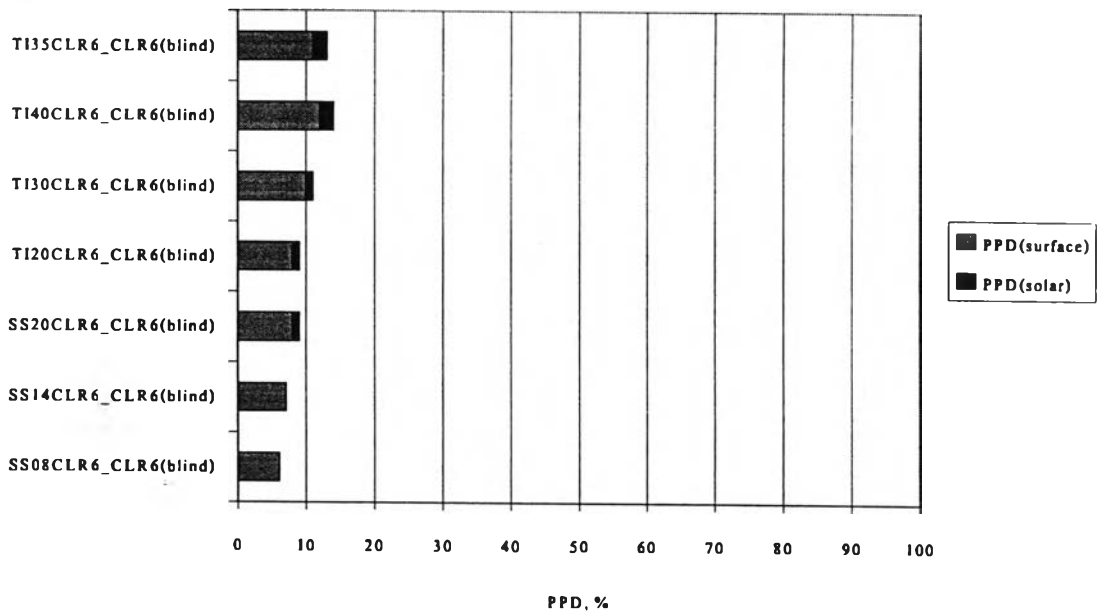
รูปที่ 6.56 และ 6.57 แสดงให้เห็นถึงค่าความไม่สบายเชิงความร้อนของกระจก 2 ชั้นที่ชั้นนอกเป็นกระจกสี ซึ่งจะเห็นได้ว่าโดยรวม ๆ แล้วจะมีค่า และลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ส่วนที่แตกต่างกันนั้นอันเป็นผลมาจากค่าคุณสมบัติทาง optic ที่ถึงจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน แต่ก็มีค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อย



### 6.4.6 กระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสง

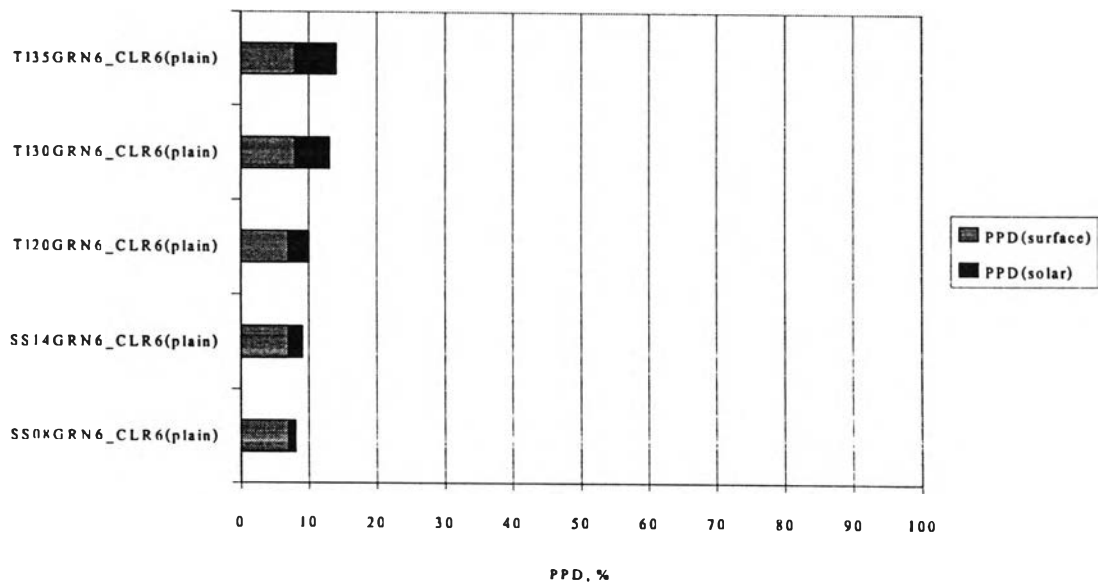


รูปที่ 6.58 แสดงค่าความสบายเชิงความร้อนของกระจก 2 ชั้นช่องอากาศ 13 มม. ที่มีกระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสงชนิดต่าง ๆ ที่เคลือบลงบนกระจกใส ที่ความหนาของกระจก 6 มม. ตัวเปล่า

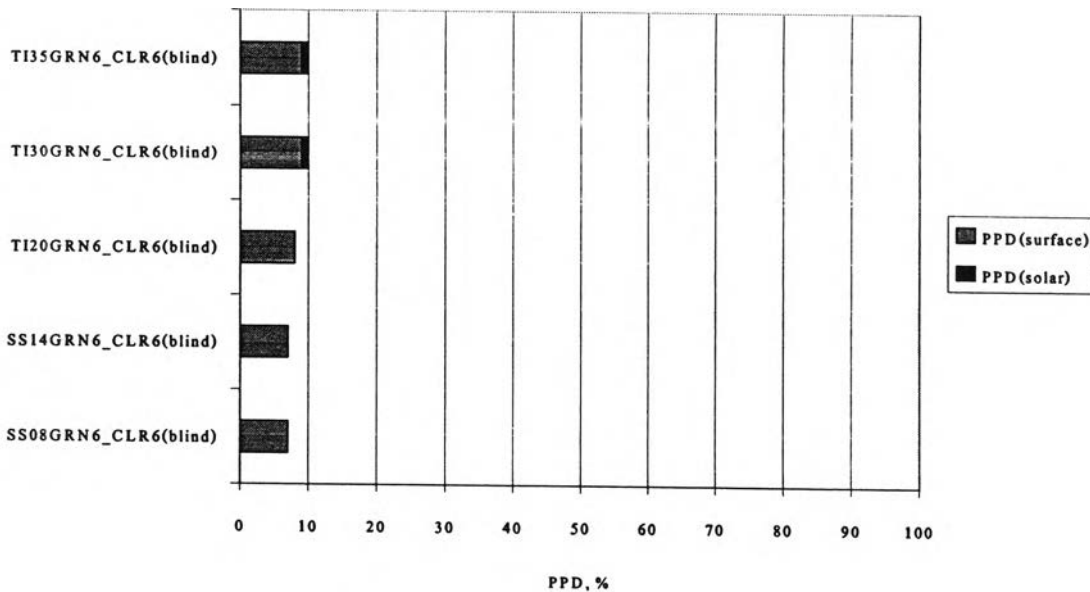


รูปที่ 6.59 แสดงค่าความสบายเชิงความร้อนของกระจก 2 ชั้นช่องอากาศ 13 มม. ที่มีกระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสงชนิดต่าง ๆ ที่เคลือบลงบนกระจกใส ที่ความหนาของกระจก 6 มม. ดัดมู่ลี่

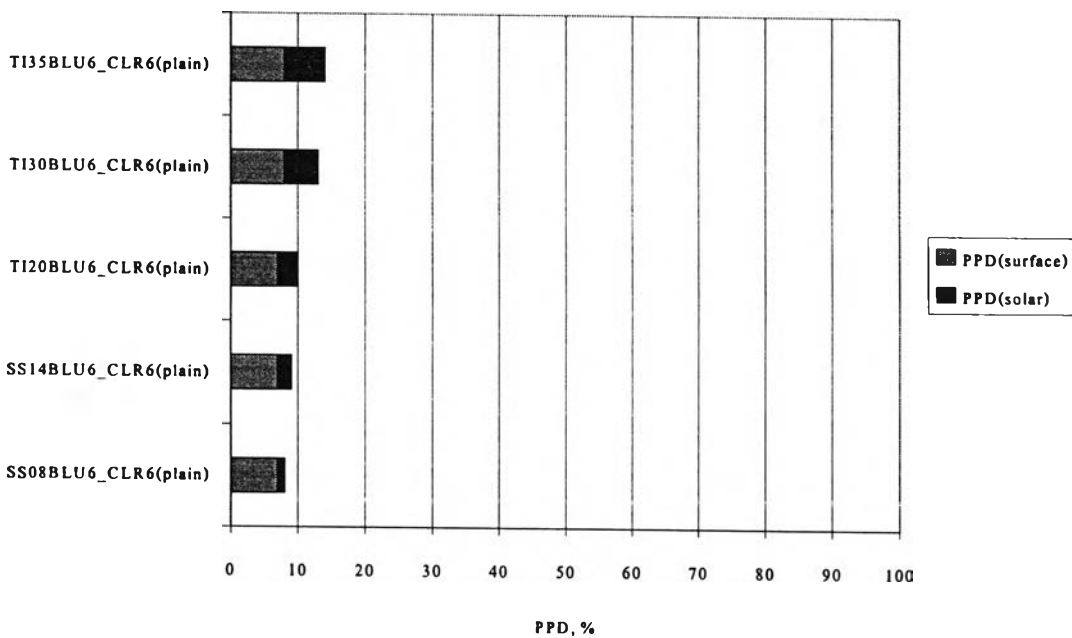
จากรูปที่ 6.58 และ 6.59 จะเห็นได้ว่ากรณีกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสงนั้น การติดตั้งมู่ลี่สามารถช่วยลดค่า PPD(total) ได้เพียงน้อย เมื่อเทียบกับกรณีอื่น ๆ โดยเมื่อกรณีเคลือบสารสะท้อนแสงลงบนกระจกชนิดอื่น ๆ ลักษณะของค่า PPD(solar) และ PPD(surface) ก็มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ดังแสดงในรูปที่ 6.60 ถึง 6.65



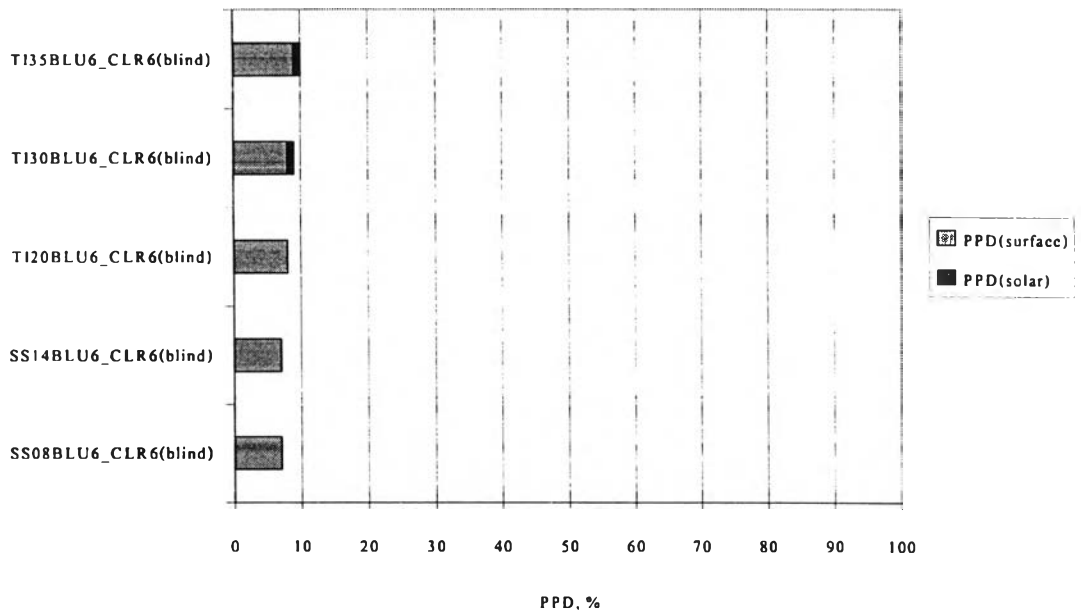
รูปที่ 6.60 แสดงค่าความสบายเชิงความร้อนของกระจก 2 ชั้นช่องอากาศ 13 มม. ที่มีกระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสงชนิดต่าง ๆ ที่เคลือบลงบนกระจกสีเขียว ที่ความหนาของกระจก 6 มม. ตัวเปล่า



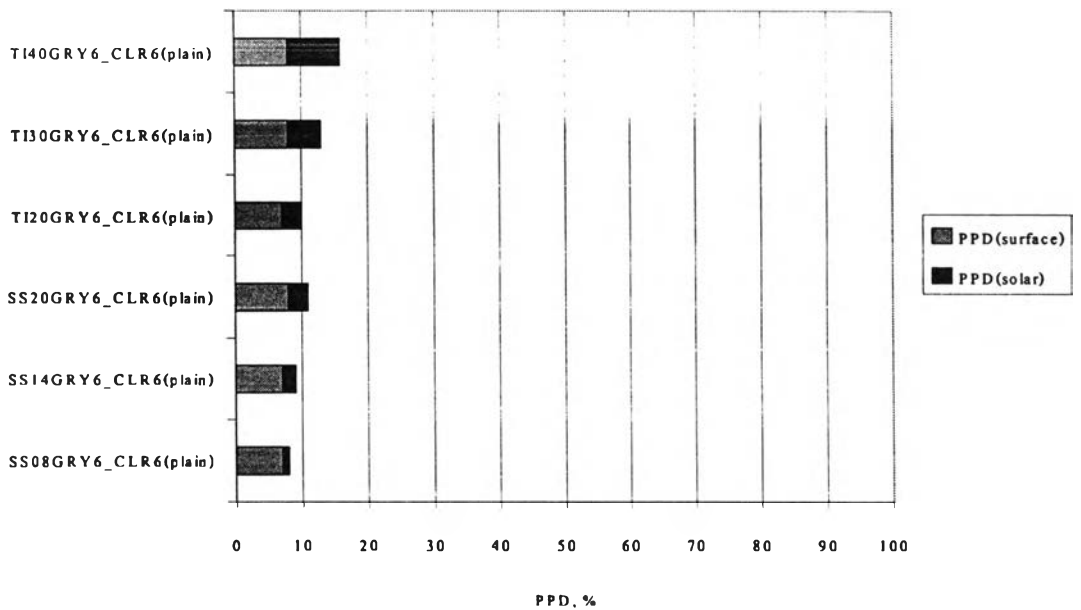
รูปที่ 6.61 แสดงค่าความสบายเชิงความร้อนของกระจก 2 ชั้นช่องอากาศ 13 มม. ที่มีกระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสงชนิดต่าง ๆ ที่เคลือบลงบนกระจกสีเขียว ที่ความหนาของกระจก 6 มม. ติดมู่ลี่



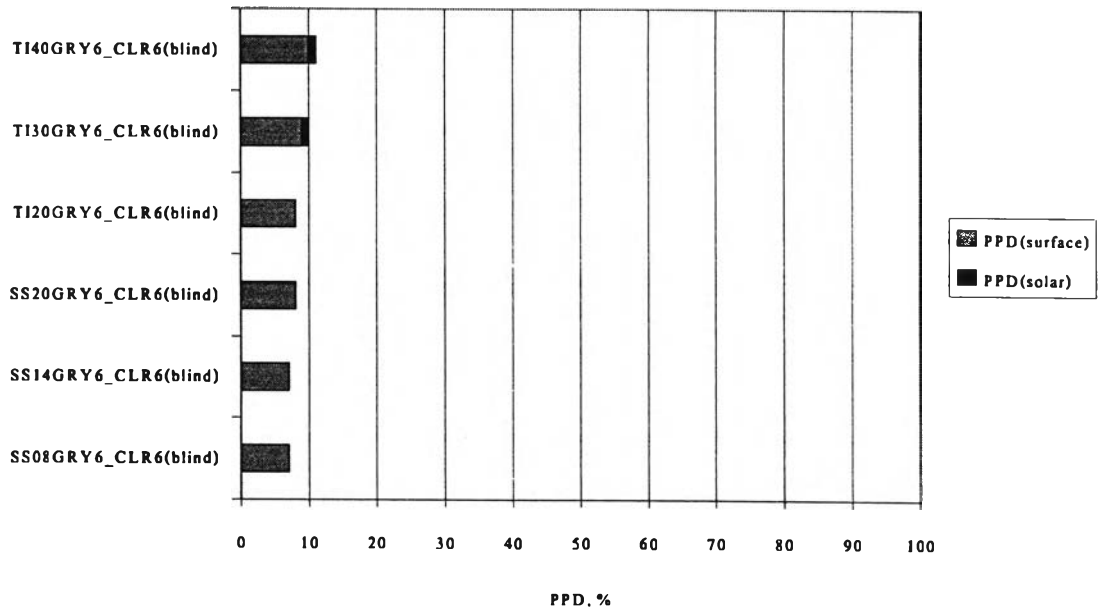
รูปที่ 6.62 แสดงค่าความสบายเชิงความร้อนของกระจก 2 ชั้นช่องอากาศ 13 มม. ที่มีกระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสงชนิดต่าง ๆ ที่เคลือบลงบนกระจกสีฟ้า ที่ความหนาของกระจก 6 มม. ตัวเปล่า



รูปที่ 6.63 แสดงค่าความสบายเชิงความร้อนของกระจก 2 ชั้นช่องอากาศ 13 มม. ที่มีกระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสงชนิดต่าง ๆ ที่เคลือบลงบนกระจกสีฟ้า ที่ความหนาของกระจก 6 มม. ดิจมูดี



รูปที่ 6.64 แสดงค่าความสบายเชิงความร้อนของกระจก 2 ชั้นช่องอากาศ 13 มม. ที่มีกระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสงชนิดต่าง ๆ ที่เคลือบลงบนกระจกสีเทา ที่ความหนาของกระจก 6 มม. ตัวเปล่า



รูปที่ 6.65 แสดงค่าความสบายเชิงความร้อนของกระจก 2 ชั้นช่องอากาศ 13 มม. ที่มีกระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสงชนิดต่าง ๆ ที่เคลือบลงบนกระจกสีเทา ที่ความหนาของกระจก 6 มม. ดิคมูตี้

จากที่แสดงในรูปที่ 6.60 ถึง 6.65 จะเห็นได้ว่า กระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสะท้อนแสง ดิคมูตี้ นั้น ส่วนใหญ่ให้ค่าความสบายเชิงความร้อนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้