

ปัญหาการแตกในกระจกสองชั้น กับอาคารในประเทศไทย

*ดิกะ บุนนาค

1. บทนำ

ในปัจจุบันอาคารสำนักงาน หรืออาคารศูนย์การค้า ต่างๆ ทั่วประเทศไทยมักสร้างเลียนแบบอาคารทรงยุโรป โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารสำนักงานซึ่งมักออกแบบสร้างเป็นตึกหรือเป็นอาคารที่มีกระจกเป็นหลังคาโปร่งแสง ซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อเสีย แต่สำหรับประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตอากาศร้อนชื้นแล้ว การใช้กระจกทำเป็นหลังคาโปร่งแสงมักจะเกิดข้อเสียมากกว่าข้อดี เนื่องจากกระจกที่ยอมให้แสงผ่านเข้ามาได้มักจะยอมให้ความร้อนผ่านตามเข้ามาด้วยเสมอ และการใช้กระจกเต็มพื้นที่ผิวของอาคารจึงเป็นการทำให้เกิดภาวะ ความร้อนอย่างมากกับระบบปรับอากาศภายในอาคาร ซึ่งเป็นสาเหตุของการสิ้นเปลืองพลังงาน ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาภายในอาคาร จึงมักจะติดตั้งม่านหรือมู่ลี่ไว้ในห้อง เพื่อบังแสงไม่ให้ผ่านเข้ามาเต็มที่ เป็นการลดภาวะความร้อนกับระบบอากาศลง สิ่งที่สำคัญอีกประเด็น คือการใช้กระจกทำเป็นหลังคาโปร่งแสงของอาคาร ซึ่งศูนย์การค้าชั้นนำหลายๆ แห่งนิยมทำเป็นอย่างยิ่งแล้วปัญหาต่างๆ ก็เกิดตามมากล่าวคือ เกิดปัญหาความร้อนสะสมในตัวอาคารสูงจนระบบปรับอากาศต้องทำงานอย่างหนัก อีกทั้งยังเกิดการระเบิดของกระจกสองชั้น 1-2 บานทุกปี ถ้าปล่อยไว้รับแสงเต็มที่ซึ่งปัญหาการระเบิดของกระจก

สองชั้นที่ใช้ทำหลังคา โปร่งแสงจะเป็นประเด็นหลักในการวิเคราะห์ปัญหาในบทความนี้

2. การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นกับกระจกสองชั้นในประเทศไทย

เมื่อนำกระจกสองชั้นมาทำหลังคาโปร่งแสงกับอาคารศูนย์การค้าหรืออาคารสำนักงานแล้ว ปัญหาที่ตามมามี 2 ประเด็น คือเป็นภาวะความร้อนอย่างมากกับระบบปรับอากาศจนสิ้นเปลืองค่าไฟฟ้าในส่วนของระบบปรับอากาศอย่างมาก ศูนย์การค้าแห่งหนึ่งในกรุงเทพฯ ที่ติดตั้งกระจกสองชั้นแทนหลังคาโปร่งแสง ซึ่งมีจำนวนเท่ากับขนาดของสนามฟุตบอล 3 สนาม พบว่าค่าไฟในส่วนของระบบปรับอากาศเพียงอย่างเดียว สูงถึงเดือนละ 6-7 ล้านบาท และค่าไฟรวมของทั้งอาคารสูงถึงเดือนละเกือบ 10-20 ล้านบาท เทียบเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้าเท่ากับปริมาณการใช้ไฟฟ้า ของจังหวัดเล็กๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือรวมกันถึง 3 จังหวัด ดังนั้นหากแก้ปัญหาเหล่านี้ได้การแก้ไขค่าไฟจะลดลงได้มาก ซึ่งได้เคยกล่าวไปแล้วในบทความก่อนๆ

บทความนี้จะกล่าวถึง สาเหตุของการระเบิดของกระจกสองชั้นในประเทศไทย ซึ่งปัญหานี้เป็นปัญหาโลกแตกของสถาปนิกหลายๆ คนว่าเหตุใดกระจกสองชั้นที่ต่างประเทศถือว่าเป็นกระจกที่สามารถ

*หัวหน้าศูนย์พัฒนาเทคโนโลยีทางด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต : วม. (เทคโนโลยีอุณหภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

ควบคุมการส่งผ่านความร้อนและแสงได้ดีที่สุด แต่เมื่อมาใช้กับประเทศไทยกลับกลายเป็นกระจกที่ก่อปัญหาให้กับผู้ใช้ในระยะยาว โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำมาทำเป็นหลังคาโปร่งแสง

3. ปัญหาการแตกของกระจกสองชั้น ในประเทศไทย

การใช้กระจกสองชั้นหรือสามชั้นก็ตามในประเทศไทย หากตั้งในมุมที่รับแดดได้เต็มที่ คือทำเป็นหลังคาโปร่งแสง (Skylight) แล้วจะเกิดปัญหาในระยะยาวกับกระจกทันที ดังที่ได้เคยกล่าวมาแล้วในบทความเรื่องการใช้กระจก อย่างมีประสิทธิภาพ ถึงรูปแบบ และชนิดของกระจกสองชั้น รวมถึงการใช้งาน ซึ่งในบทสรุปได้เคยกล่าวมาแล้วว่ากระจกสองชั้นเหมาะสมที่จะใช้ในแนวตั้งเท่านั้นไม่เหมาะที่จะใช้ในแนวนอนเพื่อรับแสงเต็มที่ ในบทความนี้จะ มาวิเคราะห์ถึงสาเหตุของการแตกหรือระเบิดของกระจก สองชั้นที่นำไปใช้ทำเป็นหลังคาโปร่งแสงในประเทศไทย

กระจกสองชั้น ไม่ว่าจะเป็นแบบที่ใช้ฉนวนอากาศหรือฉนวนแก๊สเฉื่อยมักจะมีการซีลกระจกอย่างดีเพื่อป้องกันการรั่วไหลของแก๊สเฉื่อย รวมถึงการรั่วของน้ำฝน ซึ่งจุดนี้เป็นประเด็นหลักประเด็นหนึ่งที่ทำให้กระจกแตก ดังนั้นในการวิเคราะห์สาเหตุการแตกจึงต้องติดตามพฤติกรรมของอากาศ หรือก๊าซเฉื่อยรวมถึงตัวกระจกเองที่ละชั้นตอนว่ามันจะแตกหรือระเบิดได้อย่างไร

ขั้นตอนแรก

เมื่อเราติดตั้งกระจกสองชั้นหรือสามชั้นก็ตามเป็นหลังคาโปร่งแสงบนหลังคาอาคารกระจกจะรับแสงเต็มที่ในเวลากลางวัน ความร้อนและแสงจะส่งผ่านเข้ามาในอาคารได้มากน้อยเพียงใดขึ้นกับแบบและชนิดของกระจกสองชั้น ซึ่งจะไม่ขอกล่าวถึงในบทความนี้ เมื่อพิจารณาที่อากาศนิ่งหรือแก๊สเฉื่อยที่อยู่ตรงกลางระหว่างกระจกทั้งสองจากคุณสมบัติของกระจกที่ยอมให้รังสีคลื่นสั้นผ่าน แต่ไม่ยอมให้รังสีคลื่นยาวผ่านรังสีคลื่น

ยาวผ่านจะทำให้รังสีคลื่นยาวจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกชั้นแรกเข้าสู่ชั้นที่สองผ่านสู่ภายในอาคาร เมื่อรังสีผ่านอากาศมีความร้อนผ่านเข้าด้วยเสมอ ดังนั้นอากาศหรือแก๊สเฉื่อยที่ชั้นกลางจะค่อยๆ ชับพลังงานความร้อนเอาไว้เรื่อยๆ ขณะเดียวกันรังสีคลื่นยาวที่ผ่านออกไปจะถูกกระจกแผ่นบนดักเอาไว้ไม่ให้ผ่านได้ ทำให้ต้องตกกลับเข้ามาภายในอีกจึงเกิดสภาพ Green-house effect ชั้นที่ชั้นกลางระหว่างกระจกทั้งสองซึ่งเป็นอากาศหรือแก๊สเฉื่อย ดังนั้นยิ่งเวลาผ่านไปอากาศหรือแก๊สเฉื่อยที่อยู่ที่ชั้นกลางจะค่อยๆ ร้อนขึ้นไปเรื่อยๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้กฎของแก๊สได้ ดังนี้

จากกฎของแก๊ส

$$PV = mRT \text{ ----- (1)}$$

โดยที่

- P = ความดันภายในระหว่างกระจกทั้งสองชั้น
- V = ปริมาตรของอากาศภายในชั้นกระจก
- m = มวลอากาศภายในกระจก
- R = ค่าคงที่ของอากาศหรือก๊าซที่บรรจุภายใน

โดยที่ค่า R สามารถหาได้จากสมการ

$$R = \frac{\bar{R}}{M}$$

เมื่อ

- M เป็นโมลกุลของก๊าซที่อยู่ภายในกระจก
- $\bar{R}$ เป็นค่าคงที่ของแก๊สมีค่าเป็น 8.314 KJ/kg K

ถ้าฉนวนเป็นฉนวนอากาศ

$$\text{ค่า } R = 0.287 \text{ KJ/kg K}$$

$$T = \text{อุณหภูมิภายในกระจก } ^\circ\text{C}$$

เมื่อพิจารณาระบบที่เป็นกระบอกสองชั้นแล้ว จะพบว่าปริมาตรของอากาศ V ในกระบอก, ค่ามวลของอากาศในระหว่างชั้นกระบอก (m) และค่า R ของอากาศจะมีค่าคงที่ ($R_{Air} = 0.287 \text{ KJ/kgK}$ ดังนั้นสมการที่ (1) จะเขียนได้ว่า

$$P = \left[\frac{mR}{V} \right]$$

ถ้าให้ $C = \frac{mR}{T}$ จะได้ว่า

$$P = CT \text{ ----- (2)}$$

ลองสมมุติให้กระบอกสองชั้นบานหนึ่งกว้าง 1 m ยาว 1 m มีขนาดช่องอากาศ 12 mm ภายในบรรจุอากาศที่ความดันบรรยากาศจะได้ว่า

$$C = \left[\frac{mR}{V} \right]$$

แต่ m หาได้จาก

$$\begin{aligned} m &= \rho V \\ &= 1.18 \text{ kg/m}^3 \times 1 \times 1 \times 0.012 \text{ m}^3 \\ &= 1.18 \text{ kg/m}^3 \times 1 \times 1 \times 0.012 \text{ m}^3 \\ &= 0.01416 \text{ Kg} \\ V &= 1 \times 1 \times 0.012 \\ &= 0.012 \text{ m}^3 \\ R &= 0.287 \text{ KJ/kgK.} \\ &= 0.3386 \text{ MJ/m}^3\text{K} \\ C &= \frac{0.01416 \times 0.287}{0.012} \\ &= 0.3386 \text{ MJ/m}^3\text{K} \end{aligned}$$

ดังนั้น จากสมการที่ (2) จะมีค่าคงที่ C เป็น

$$P = 0.3386 T$$

นั่นคือ ถ้าอากาศในชั้นของกระบอกร้อนขึ้นจนถึงอุณหภูมิ 75°C ค่าของความดันภายในกระบอกจะมีค่าเป็น

$$\begin{aligned} P &= 0.3386 \text{ kN/m}^2\text{K} \times (75 + 273) \text{ K} \\ &= 117.853 \text{ kN/m}^2 \\ &= 1.178 \text{ bar} \\ &= 117.853 \text{ kN/m}^2 \\ &= 1.178 \text{ bar} \end{aligned}$$

นั่นคือจะมี Pressure เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มของอุณหภูมิ เป็น $1.013 - 1.178 = 0.165 \text{ bar}$ หรือประมาณ 16.5 kN ต่อทุกๆ 1 ตารางเมตร บนพื้นผิวกระบอก หากคิดง่ายๆ ก็คือ ทุกๆ 1 ตารางเมตร ภายในกระบอกสองชั้นจะรับแรงกดเพิ่มขึ้นอีก 1681.957 Kg ถ้าอุณหภูมิภายในกระบอกเพิ่มขึ้นจาก 37°C เป็น 75°C (เพิ่มขึ้น 38°C)

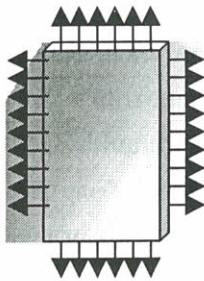
ขั้นตอนที่ 2

ถ้ากระบอกรับแดดเต็มที่แล้วประมาณ 4 ชั่วโมงตอนเช้าอยู่ๆ ฝนตกลงมา นั่นคือสภาพของอากาศที่ชั้นกลางจะถูกเปลี่ยนอย่างกะทันหัน กล่าวคือ ด้านนอกของกระบอกชั้นนอกจะเย็นลงในทันที ขณะที่อากาศหรือก๊าซเฉื่อยที่อยู่ตรงกลางยังคงอุ่นๆ อยู่ ลักษณะเช่นนี้จะเกิดสภาพเช่นเดียวกันกับการขับรถตากฝน โดยไม่ได้เปิดแอร์ซึ่งผลที่ได้ คือจะเกิดฝ้าขึ้นที่ด้านในของกระบอกทันทีที่พฤติกรรมนี้ สามารถอธิบายได้จากการที่อากาศด้านในกระบอกยังอุ่นอยู่แต่กระบอกเย็นลงอย่างรวดเร็ว จนทำให้อากาศบริเวณใกล้ๆ ผิวด้านในของกระบอกแผ่นบนลดต่ำลงตามด้วย และเมื่ออุณหภูมิใกล้ผิวกระบอกลดลงจนถึงจุดควบแน่นของไอน้ำในอากาศ (dew point) จะเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำเล็กๆ เกาะอยู่ที่ผิวด้านในของกระบอกแผ่นบน ทั้งๆ ที่กระบอกปิดผนึกอย่างดีไม่มีทางน้ำฝนจะรั่วเข้าไปได้

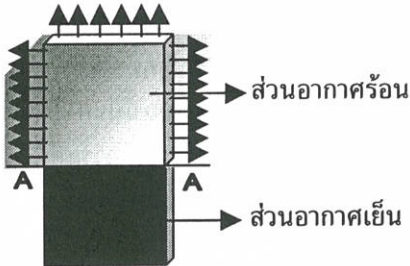
ขั้นตอนที่ 3

ในขั้นตอนที่ 2 เมื่อมีละอองน้ำเกิดขึ้นที่ผิวในของกระบอกที่ถูกผนึกอย่างดีไม่มีทางรั่วไหล เมื่อกระบอกรับความร้อนอีก ความดันภายในกระบอกจะเปลี่ยนไปทำให้จุดเดือดของไอน้ำเปลี่ยนไปในขณะที่เป็นช่วงกลางคืน

อุณหภูมิต่ำลงความดันภายในจะลดลงตามด้วย เมื่อความดันลดลง จุดเดือดของของเหลวภายในจะเปลี่ยนไป หากปฏิกิริยาเช่นนี้ คือร้อนสลับฝนเกิดขึ้นบ่อยๆ การสะสมของละอองน้ำภายในจะค่อยๆ มากขึ้นจนกลายเป็นหยดน้ำสะสมอยู่ ซึ่งหยดน้ำจะไหลลงสู่ด้านล่างของกระจก เมื่อกระจกจับแดดความร้อนที่เกิดขึ้นบนผิวจะเกิดการไม่เท่ากัน กล่าวคือ ด้านบนที่ไม่มีหยดน้ำเกาะอยู่จะร้อนขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่ด้านล่างที่มีหยดน้ำอยู่จะร้อนช้ากว่า เพราะความร้อนจะต้องส่งผ่านจากกระจกชั้นนอกแล้วถ่ายเทเข้าสู่ชั้นของหยดน้ำที่เกาะอยู่ จากนั้นจึงถ่ายเทสู่อากาศชั้นกลาง ดังนั้นกระจกแผ่นบนจึงร้อนไม่เท่ากันทั้งแผ่น ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการขยายตัวของกระจกแผ่นบนที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากคุณสมบัติของกระจก โดยทั่วๆ ไปมักจะแข็งและเปราะ ดังนั้นถ้าเกิดการขยายตัว เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิผิวที่ร้อนไม่เท่ากันทั้งบานแล้ว การขยายตัวที่เกิดขึ้นบนกระจกจะทำให้แผ่นบนร้าวได้บริเวณรอยต่อ ดังรูปที่ 1



1. ก. แสดงการขยายตัวของกระจกในกรณี
ที่อุณหภูมิเท่ากันตลอดแผ่น



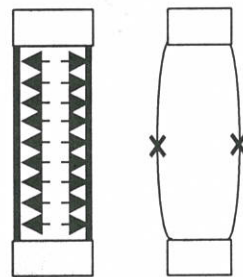
1. ข. แสดงการขยายตัวของกระจกเมื่อเกิด
การเกาะตัวของหยดน้ำ ซึ่งรอยร้าวจะเกิดในแนว A-A

จากรูป 1.ข

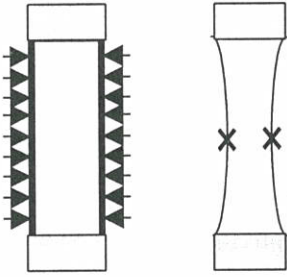
จะเห็นว่าได้แนว A-A จะเป็นแนวที่มีหยดน้ำเกาะอยู่ ซึ่งส่งผลให้กระจกในพื้นที่ด้านล่างจะร้อนช้ากว่าในพื้นที่บน ดังนั้นเมื่อเกิดการขยายตัวของกระจก กระจกจะขยายตัวไม่พร้อมกันทั้งบาน ซึ่งส่งผลให้เกิดการร้าวที่แนว A-A ดังนั้นโอกาสที่กระจกจะร้าวจะสูงในแนว A-A ที่บริเวณกึ่งกลางของกระจก

ขั้นตอนที่ 4

เมื่อกระจกบานหน้าเกิดการร้าวแล้ว ค่าความแข็งแรงของกระจกจะลดลงทันทีในจุดที่ร้าว ดังนั้นถ้าหากเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันขึ้นจะทำให้รอยร้าวขยายตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การเปลี่ยนแปลงความดันที่เกิดขึ้นสามารถเกิดได้ทั้งตอนกลางวันและตอนกลางคืน เนื่องจากในฤดูร้อนอากาศในประเทศไทยจะมีแสงแดดแรงมาก อุณหภูมิภายในระบบอาจสูงขึ้นได้ถึง 70-80°C ในขณะที่ตอนกลางคืนในหน้าฝนที่มีฝนตก อากาศภายในระบบอาจเย็นลงได้ถึง 15-20°C ซึ่งอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปนี้ทำให้ความดันในชุดกระจกเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ซึ่งการเพิ่มหรือลดความดันนี้เองมีผลให้เกิดการร้าวที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังรูป



รูปที่ 2 ก. แสดงการเพิ่มขึ้นของความดัน



รูปที่ 1 ข. แสดงการลดลงของความดัน

ขั้นตอนที่ 5

เมื่อรอยร้าวเพิ่มขึ้นจนเต็มแผ่น เนื่องจากการขยายตัวที่ไม่เท่ากันหรือการเปลี่ยนแปลงความดันในตอนกลางวันและกลางคืน กระຈຈຈจะมีค่าความแข็งแรงลดลงเต็มที่และพร้อมที่จะระเบิดทุกเวลาที่ความดันเพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าในตอนกลางวันที่มีแดดร้อนจัดอุณหภูมิภายในเพิ่มจนถึง $60-70^{\circ}\text{C}$ ซึ่งทำให้ความดันเพิ่มขึ้นเพียง 0.1 bar ก็มีแรงเพียงพอที่จะทำให้กระຈຈຈระเบิดออกมาได้ ($0.1 \text{ Bar} = 1019.368 \text{ Kg/m}^2$)

4. แนวทางการแก้ไขปัญหาการแตกของ

กระຈຈຈสองชั้นในประเทศไทย

จากการวิเคราะห์สาเหตุการแตกของกระຈຈຈสองชั้นทั้ง 5 ขั้นตอน ที่ได้กล่าวไปแล้ว สาเหตุหลักของการแตกมาจาก 2 ประเด็นใหญ่ๆ คือ

1. เกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศที่อยู่ระหว่างชั้นกระຈຈຈ

2. เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันภายในชุดกระຈຈຈการแก้ไขในเรื่องการควบแน่นของไอน้ำในอากาศที่อยู่ระหว่างชั้นของกระຈຈຈเป็นปัญหาใหญ่ที่ต้องทำกันในตอนกระบวนการผลิต เนื่องจากในกระบวนการประกอบกระຈຈຈสองชั้น หากอากาศนิ่งหรือแก๊สเฉื่อยที่อัดเข้าไปตรงกลางมีค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในระดับปกติ ($50\% \text{ RH}$) โอกาสที่จะเกิดการควบแน่นของไอน้ำที่กระຈຈຈ แผ่นบนจะสูงมากๆ ดังนั้นในกระบวนการประกอบกระຈຈຈ สองชั้นต้องใช้อากาศหรือแก๊สเฉื่อย

ที่ผ่านการดูดความชื้นออกจนมีค่าความชื้นเมื่ออากาศที่ชั้นกลางเป็นอากาศแห้งสนิทจะทำให้ไม่มีโอกาสเกิดการควบแน่นของไอน้ำได้ในกรณีที่กระຈຈຈถูกปิดผนึกแน่น นอกจากนั้นในการประกอบชุดกระຈຈຈต้องปิดผนึกไม่ให้อากาศภายนอกเข้ามาภายในชุดกระຈຈຈได้ ซึ่งเป็นการทำให้ความชื้นในกระຈຈຈเพิ่มขึ้น

ในส่วนของการป้องกันการเปลี่ยนแปลงความดันภายในชุดกระຈຈຈ ขณะนี้ทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ กำลังทำการศึกษาผลกระทบของการใช้กระຈຈຈสองชั้นในประเทศไทยอยู่อีกทั้งทางผู้เขียนได้ออกแบบระบบป้องกันการเปลี่ยนแปลงความดันภายในและอยู่ในขั้นตอนการจัดลิสต์บริษัทซึ่งแนวทางในการแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงความดันที่ทำอยู่ในปัจจุบันคือ การลดปริมาณแสงที่ตกกระทบกระຈຈຈแผ่นหน้าโดยใช้แผ่นพลาสติกกรองแสงคลุมกระຈຈຈ เพื่อลดปริมาณแสงลง เมื่อแสงที่ผ่านมาสู่กระຈຈຈลดลงความร้อนที่อากาศชั้นกลางก็จะลดลงตาม ทำให้การเปลี่ยนแปลงความดันในกระຈຈຈค่อนข้างคงที่ตลอดวัน แต่ในความสวยงามแล้วกระຈຈຈสองชั้นที่ถูกทำเป็นหลังคาโปร่งแสง เมื่อถูกคลุมด้วย Sland ผลที่ได้ก็คือความสวยงามของอาคารลดลงไปมาก อีกแนวทางหนึ่งที่ได้ก็คือการเปลี่ยนกระຈຈຈบานบนให้เป็นกระຈຈຈที่มีค่าการสะท้อนความร้อนต่ำ แบบชนิด Temp plate ซึ่งเป็นกระຈຈຈที่ยอมให้ความร้อนผ่านได้ต่ำมากและทนอุณหภูมิได้สูงแต่ราคาต่อบานก็จะสูงตามขึ้นไปมาก ซึ่งไม่คุ้มค่ากับการลงทุนในกรณีที่ปริมาณของกระຈຈຈสองชั้น ที่ใช้ทำหลังคาโปร่งแสงมีจำนวนมากเป็นร้อยๆ แผ่น ซึ่งหากต้องเปลี่ยนทั้งหมดต้องใช้เงินหลายล้านบาท และหากการประกอบยังคงทำไม่ถูกต้องอยู่ โอกาสที่จะแตกโดยมีสาเหตุมาจากการควบแน่นของไอน้ำก็จะยังเกิดขึ้นอยู่อีกไม่มีทางแก้ได้ ดังนั้น ในการแก้ปัญหาการแตกของกระຈຈຈต้องทำทั้งสองข้อไปพร้อมๆ กันเสมอ จะทำเพียงข้อใดข้อหนึ่งไม่ได้ต้องมีทั้งการประกอบที่ดีต้องใช้วัสดุที่ถูกต้อง ซึ่งชนิดต่างๆ ของสัมพัทธ์ (RH) ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ ($0-1\% \text{ RH}$) เพื่อป้องกันการ

ควบแน่น ของไอน้ำในอากาศหรือในก๊าซเฉื่อย
ที่อัดเข้าไปกระจกทางผู้เขียนได้เคยเขียนไปแล้วใน
บทความที่แล้วๆ มาเมื่อกระบวนการเลือกวัสดุถูกต้อง
และมีการประกอบที่ถูกต้อง (อากาศที่อยู่ชั้นกลาง
ต้องเป็นอากาศแห้งและไม่รั่ว) ก็จะได้กระจกสองชั้นที่
สมบูรณ์แบบเหมาะสมที่จะใช้ในประเทศไทย

การใช้กระจกสองชั้น กระจกต้องป้องกัน
ความร้อนเข้าสู่บ้านหรืออาคารได้มากกว่า 70%
โดยยอมให้แสงผ่านได้ในระดับหนึ่ง ในขณะเดียวกัน
การใช้พลังงานภายในบ้าน หรืออาคารก็ต้องลดลง

ทั้งในส่วนของค่าไฟแสงสว่าง และค่าไฟในส่วนของระบบ
ปรับอากาศ แต่ราคาของกระจกก็ต้องสูงขึ้น
ตามไปด้วย หากจะให้ยืนยันว่าคุ้มหรือไม่แน่นอน
ต้องบอกว่าคุ้ม แต่ผู้ออกแบบหรือเจ้าของจะกล้าใช้
หรือไม่ในสภาพเศรษฐกิจอย่างนี้ต้องตัดสินใจกันเอง
อีกประเด็นที่สำคัญ คือการใช้กระจกสองชั้นไปทำเป็น
ช่องรับแสงบนหลังคา หากใช้กระจกสองชั้นที่ไม่ได้รับ
การแก้ไขปรับปรุงด้านเทคนิคแล้ว โอกาสที่จะเกิดการ
แตกระเบิดของกระจกมีสูงมากถึง 99% ในกระจก
ที่มีการประกอบไม่ดี ♦♦

บรรณานุกรม

ดิเกะ บุนนาค. “การใช้กระจกอย่างมีประสิทธิภาพ ตอนที่ 1”, สุทธิปริทัศน์ 14, 42, ม.ค.-เม.ย. 2543
: หน้า 101-108.

_____. “คำขอจดสิทธิบัตรเรื่องชุดควบคุมความดันในระบบกระจายสองชั้น” กรุงเทพฯ : ม.ป.ศ.,
2543.

_____. “เอกสารประกอบการสอนวิชาอุณหพลศาสตร์” กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, 2542.