แนวทางการออกแบบราวกันตกอะคริลิกในประเทศไทย

GUIDELINES FOR DESIGN ACRYLIC GUARDRAIL IN THAILAND

คะณาธิป เรืองหิรัญ ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จ.กรุงเทพมหานคร

E-mail address: knt.rr00@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาแนวทางการออกแบบราวกันตกอะคริลิกในประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาแนวทางในการออกแบบวัสดุแผ่นราวกันตกอะคริลิก และเปรียบเทียบกับมาตรฐานสากลอย่างปลอดภัย เพื่อวิเคราะห์แรงลมที่เกิดขึ้นกับแผ่นราวกันตกในพื้นที่ประเทศไทย โดยใช้มาตรฐานการวิเคราะห์แรงลม มยผ.1311-50 และเพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัสดุแผ่นวัสดุราวกันตกอะคริลิกที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับแรง โดยจัดกลุ่มภาคต่าง ๆของพื้นที่ในประเทศไทยตามความเร็วลมอ้างอิง ที่เกิดขึ้นแล้วนำแรงลมที่เกิดขึ้นเหล่านั้นมาศึกษาโดยวิธีการวิเคราะห์ผลด้วยวิธีการ Finite Element โดยใช้ซอฟท์แวร์ SJ-MEPLA จึงสรุปเป็นข้อมูลผลการวิเคราะห์สำหรับออกแบบราวกันตกและเสนอแนวทางการออกแบบราวกันตก โดยสรุปผลได้ดังนี้คือ กรณีติดตั้งแผ่นราวกันตกอะคริลิกที่ความสูง ตั้งแต่ 6 เมตร ถึง 40 เมตร ผู้ติดตั้งสามารถออกแบบการติดตั้งราวกันตกอะคริลิกความหนา 10 มิลลิเมตร ได้อย่างปลอดภัยทุกกรณี แต่ในกรณีติดตั้งแผ่นราวกันตก ที่มีความสูง มากกว่า 40 เมตร ถึง 80 เมตร ควรติดตั้งแผ่นราวกันตกที่มีความหนามากกว่า 10 มิลลิเมตร เป็นต้นไป เพื่อสามารถรับแรงลมในพื้นที่ประเทศไทยได้อย่างปลอดภัย

คำสำคัญ: แผ่นราวกันตก,กระจกเทมเปอร์, แผ่นอะคริลิก ,แรงลมของประเทศไทย

Abstract

The study of acrylic railing designs in Thailand is related to this subject. The objectives of this study are as follows: To provide a standard for the design of acrylic railing materials. To compare in with international standards and local standard such as DPT1311-50. To Identify the behaviors that the acrylics guardrail material when subjected to force. The researchers will divide up the various regions of Thailand into groups based on the average reference wind speed. Finally, using SJ-MEPLA software to evaluate the results with the finite element method to integrate those wind loads into consideration. Give the railing some design direction. The study's findings may be summed up as follows: if acrylic railings are being installed at heights between 6 and 40 meters. In all conditions, the installer can securely plan the installation of acrylic railings with a 10-millimeter thickness. Nevertheless, guardrails with a thickness of more than 10mm must be installed if the height is greater than 40 to 80 meters.

Keywords: Guardrailing System,Tempered glass, Acrylic sheet, Wind force of thailand

1. บทนำ

ราวกันตก (guardrail) เป็นคุณสมบัติด้านความปลอดภัยที่สำคัญสำหรับอาคาร สะพาน และโครงสร้าง อื่นๆ เพื่อป้องกันการตกหรือชนโดยไม่ได้ตั้งใจ วัสดุที่เหมาะสมสำหรับการสร้างราวกันตกในปัจจุบันมีหลายชนิดคือ ไม้ เหล็ก สแตนเลส กระจก อะคริลิก และอื่นๆ วัสดุประเภทหนึ่งที่ได้รับความสนใจในปัจจุบันได้แก่ อะคริลิก เนื่องจากมีความโปร่งใส ทนทาน และง่ายต่อการดูแลรักษา แต่การออกแบบและติดตั้งราวกันตกจากอะคริลิกต้องพิจารณาความสำคัญหลายปัจจัย เช่น การรับแรงลม ความต้านทานต่อการกระแทก และกฎระเบียบท้องถิ่น ปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานสำหรับใช้ในการออกแบบราวกันตกจากวัสดุอะคริลิก ซึ่งเป็นการเสี่ยงต่อความปลอดภัยของประชาชนผู้ใช้อาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ โดยทั่วไปที่มีการใช้ราวกันตกที่ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุร้ายแรงและเสียชีวิตได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาแนวทางการออกแบบราวกันตกอะคริลิกในประเทศไทย โดยศึกษาขั้นตอนกระบวนการออกแบบการวิเคราะห์แรงลม และการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของแผ่นวัสดุอะคริลิก เพื่อให้สามารถออกแบบและใช้งานราวกันตกด้วยอะคริลิก โดยผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะส่งผลกับผู้ใช้และผู้ออกแบบราวกันตก เพื่อผู้ใช้และผู้ออกแบบสามารถใช้และออกแบบราวกันตกทั้งภายในและภายนอกอาคารอย่างปลอดภัยต่อไป

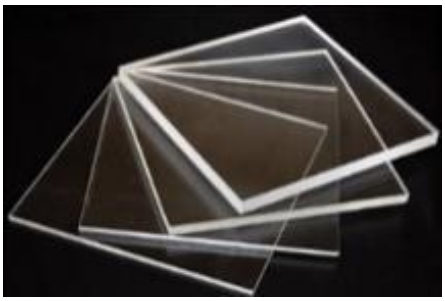
2. วัสดุที่ใช้ศึกษาและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุที่ใช้ศึกษา

2.1.1 แผ่นอะคริลิก

คุณสมบัติพื้นฐานของแผ่นอะคริลิกคือมีความแข็งและเหนียวทนต่อแรงกระแทกได้ดีมาก สามารถนำมาดัดขึ้นงานต่าง ๆ ได้ง่ายด้วยความร้อน

ใช้กับอุปกรณ์งานช่าง เช่น เลื่อย ตัด เจาะ ฯลฯ ได้สะดวก นอกจากนี้ สามารถพิมพ์ ทำสี สกรีน หรือสลักบนแผ่น น้ำหนักเบา โดยมีน้ำหนักประมาณครึ่งหนึ่งของแผ่นกระจกที่ขนาดเท่ากัน เป็นฉนวนไฟฟ้าและเป็นทั้งฉนวนกันความร้อน ตัวอย่างแผ่นอะคริลิก แสดงดังรูปที่ 1 และคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นอะคริลิกแสดงดังตารางที่ 1



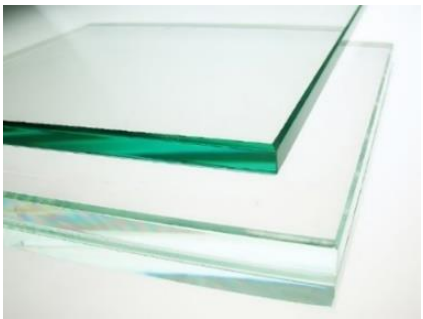
รูปที่ 1 ตัวอย่างแผ่นอะคริลิก [1]

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นอะคริลิก [1]

Property	Symbol	Unit	Value
Young's modulus	E	Gpa	3.2
Poisson's ratio	υ	-	0.4
Thermal expansion coefficient	α	10^{-6} K^{-1}	9.1
Flexural strength	f_t	MPa	120
Compressive strength	f_c	MPa	>1500
Density	ρ	kg/m3	1180
Specific thermal capacity	C_p	J/(kg K)	1.46
Thermal conductivity	λ	W/(m K)	1

2.1.2 กระจกเทมเปอร์

คุณสมบัติพื้นฐานของกระจกนิรภัยเทมเปอร์ (Tempered Glass) คือสามารถรับแรงที่มากระทบกระจกซึ่งเกิดจากลม ร่างกายมนุษย์ หรือแรงดันของน้ำ และยังสามารถทนต่อแรงกระทบได้มากกว่ากระจกธรรมดา ที่มีความหนาเดียวกัน 3-5 เท่า ลดอันตรายที่เกิดจากกระจกนิรภัยเทมเปอร์บาด ตัวอย่าง แผ่นกระจกเทมเปอร์แสดงดังรูปที่ 2 และคุณสมบัติทางกายภาพของกระจกเทมเปอร์ แสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 2 แผ่นกระจกเทมเปอร์ [2]

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นกระจกเทมเปอร์ [2]

Property	Symbol	Unit	Value
Young's modulus	E	Gpa	70
Poisson's ratio	υ	-	0.23
Thermal expansion coefficient	α	10^{-6} K^{-1}	9.1
Flexural strength	f_t	MPa	90
Compressive strength	f_c	MPa	>800
Density	ρ	kg/m3	2500
Specific thermal capacity	C_p	J/(kg K)	720
Thermal conductivity	λ	W/(m K)	1

2.2 มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 มาตรฐานการทดสอบแรงกระแทก Pendulum และการจำแนกประสิทธิภาพของกระจกในอาคาร EN 12600 [4]

ระดับความสูงของการตก (Drop Height) สามารถจำแนกระดับชั้นการทดสอบ (Classification) ได้ดังนี้ [4]

ชั้น 3 วัสดุเป็นไปตามข้อกำหนด เมื่อทดสอบโดยวิธีการที่ให้ไว้ที่ความสูงของการตกน้อยกว่า 190 มิลลิเมตร

ชั้น 2 วัสดุเป็นไปตามข้อกำหนด เมื่อทดสอบโดยวิธีการที่ให้ไว้ที่ความสูงของการตก 190 มิลลิเมตร และ 450 มิลลิเมตร

ชั้น 1 วัสดุเป็นไปตามข้อกำหนด เมื่อทดสอบโดยวิธีการที่ให้ไว้ที่ความสูงของการตก 190 มิลลิเมตร 450 มิลลิเมตร และ 1200 มิลลิเมตร

โดยระดับความสูงของการตกกระแทกแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับความสูงของการตกกระแทก EN 12600 [4]

Classification	Drop height (mm)
3	190
2	450
1	1200

2.2.2 มาตรฐานเกณฑ์ประสิทธิภาพของราวกันตก ASTM E2358 [5]

ข้อกำหนดนี้ครอบคลุมถึงกระจกในราวกันตกถาวรซึ่งเป็นที่ยอมรับในระดับสากล ระบบ เครื่องป้องกัน และราวบันได รวมถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ของราวกันตก โดยเกณฑ์ประสิทธิภาพของราวกันตกที่ต้องการ ควรอยู่ในเกณฑ์การทดสอบที่ได้แสดงโดยสรุปไว้ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 มาตรฐานเกณฑ์ของราวกันตก ASTM E2358.[5]

Performance Level Indicator	Structural Performance	Shot Bag Impact Performance	Pendulum Impact Performance
Level 1	Concentrated Load on Rail 890 N	Pass	Not Required
	Uniform Linear Load on Rail 290 N/m	203 J	
	Infill Horizontal Load 220 N	150 ft-lb	
Level 2	Concentrated Load on Rail 890 N	Pass	Not Required
	Uniform Linear Load on Rail 730 N/m	542 J	
	Infill Horizontal Load 220 N	400 ft-lb	
Level 3	Concentrated Load on Rail 1330 N	Pass	Pass
	Uniform Linear Load on Rail 730 N/m	542 J	
	Infill Horizontal Load 220 N	400 ft-lb	

ชั้น 3 (Level 3) หมายถึง แผ่นราวกันตกระดับขั้นสูง (Enhanced Level)
ชั้น 2 (Level 2) หมายถึง แผ่นราวกันตกระดับขั้นปลอดภัย (Safety Level)
ชั้น 1 (Level 1) หมายถึง แผ่นราวกันตกระดับขั้นพื้นฐาน (Basic Level)

2.2.3 มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร มยผ.1311-50 [6]

หน่วยแรงลมที่กระทำบนพื้นผิวของอาคารในทิศทางลม สามารถคำนวณได้ดังแสดงไว้ในสมการที่ (1)

$$p = I_w \; q \; C_e \; C_q \; C_g \qquad (1)$$

โดยที่

p = หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (equivalent static wind pressure) กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคารโดยเรียกว่า “หน่วยแรงดัน”ถ้ามีทิศเข้าหาพื้นผิว หรือ “หน่วยแรงดูด” ถ้ามีทิศพุ่งออกจากพื้นผิว

I_w = ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม

q = หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (reference velocity pressure)

C_e = ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (exposure factor)

C_g = ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม (gust effect factor)

C_p = ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายนอกอาคาร (external pressure coefficient)

โดยอธิบายความหมายแต่ละตัวแปรได้ดังนี้ ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม, I_w จะขึ้นกับประเภทความสำคัญของอาคาร และใช้การพิจารณาการเลือกใช้ตัวคูณประกอบ จากตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม I_w [6]

ประเภทความสำคัญของอาคาร	ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม I_w
	สภาวะจำกัดด้านกำลัง
น้อย	0.8
ปกติ	1
มาก	1.15
สูงมาก	1.15

ในการศึกษานี้ โครงสร้างที่ออกแบบรับแรงลมเป็นโครงสร้างประเภทความสำคัญปกติ และอยู่ในสภาวะจำกัดด้านกำลัง เพราะฉะนั้นค่าประกอบความสำคัญของแรงลม I_w ได้แสดงในสมการที่ (2)

$$I_w = 1 \qquad (2)$$

หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม, q เกี่ยวข้องกับลักษณะของสภาพภูมิประเทศ โดยหน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลมสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3) ซึ่งในแต่ละพื้นที่จะมีความเร็วลมอ้างอิงที่แตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 3

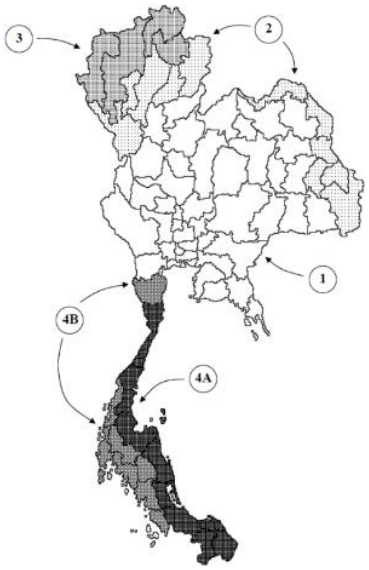
$$q = \frac{1}{2}\rho\overline{V^2} \qquad (3)$$

โดยที่ q ที่คำนวณได้ มีหน่วยเป็นนิวตัน ต่อตารางเมตร

ρ = ความหนาแน่นของมวลอากาศ (ซึ่งมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 1.25 กิโลกรัม (มวล) ต่อลูกบาศก์เมตร)

$\overline{V}$ = ความเร็วลมอ้างอิง มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที ดังแสดงในตารางที่ 6

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่า ≈ 9.81 ม./วินาที^{2}



รูปที่ 3 แผนที่การแบ่งกลุ่มความเร็วลมอ้างอิง, $\overline{V}$ [6]

ตารางที่ 6 ค่าความเร็วลมอ้างอิง $\overline{V}$ [6]

กลุ่มที่	V_{50} (m/s)	T_F	$\overline{V}$ (m/s)
			สภาวะจำกัดด้านกำลัง
1	25	1.00	25
2	27	1.00	27
3	29	1.00	29
4A	25	1.20	30
4B	25	1.08	27

โดยความเร็วลมอ้างอิง คือค่าความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลา ที่ความสูง 10 เมตร จากพื้นดินในสภาพภูมิประเทศโล่ง สำหรับคาบเวลากลับ 50 ปี (Return Period), V_{50} [6] สำหรับการศึกษานี้ ออกแบบภายใต้สภาวะจำกัดด้านกำลัง ซึ่งสามารถหาค่าความเร็วลมอ้างอิง ตามสมการที่ (4)

$$\overline{V} = T_F V_{50} \quad (4)$$

โดย T_F คือค่าประกอบไต้ฝุ่น ได้จำแนกไว้ตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าประกอบไต้ฝุ่น , T_F [6]

Terrain Category	ρ	T_F	V_{50}	$\overline{V}$	q (kg/m2)
1	1.25	1	25	25	39.835
2	1.25	1	27	27	46.464
3	1.25	1	29	29	53.600
4A	1.25	1.2	25	30	57.363
4B	1.25	1.08	25	27	46.464

ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ, C_e ขึ้นอยู่กับปัจจัยของสภาพภูมิประเทศ โดยในงานวิจัยการศึกษานี้ โครงสร้างที่ออกแบบรับแรงลมอยู่ในสภาพภูมิประเทศ แบบ A และขอบเขตอาคารที่ออกแบบมีความสูง ไม่เกิน 80 เมตร แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ C_e โดยวิธีการอย่างง่าย [6]

ความสูงจากพื้นดิน	สภาพภูมิประเทศ แบบ A
สูงไม่เกิน 6 เมตร	0.9
สูงเกิน 6 เมตร แต่ไม่เกิน 10 เมตร	1
สูงเกิน 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร	1.15
สูงเกิน 20 เมตร แต่ไม่เกิน 30 เมตร	1.25
สูงเกิน 30 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร	1.32
สูงเกิน 40 เมตร แต่ไม่เกิน 60 เมตร	1.43
สูงเกิน 60 เมตร แต่ไม่เกิน 80 เมตร	1.52

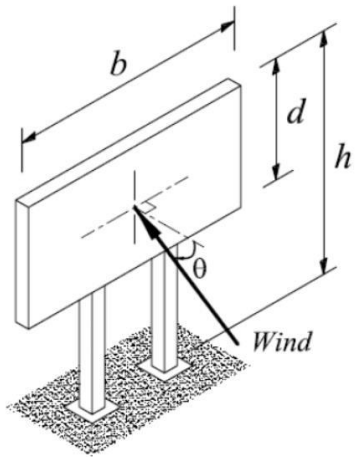
ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม, C_g สำหรับหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำต่อพื้นผิวภายนอกอาคาร ในการออกแบบโครงสร้างรอง แสดงดังสมการที่ (5)

$$C_g = 2.5 \quad (5)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม, C_p ในการศึกษานี้ใช้การออกแบบค่าสัมประสิทธิ์ตามหน่วยของแรงลมสำหรับโครงสร้างพิเศษ ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของความกว้างและความสูงของแผ่นราวกันตก แสดงดังตารางที่ 9 และรูปที่ 5

ตารางที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมเฉลี่ย C_p [6]

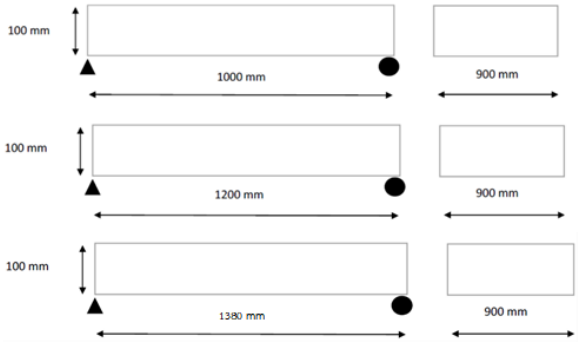
อัตราส่วน d/h	อัตราส่วน b/d							
	≤0.1	0.2	0.5	1	2	3	4	≥5
≤0.2	1.65	1.60	1.60	1.55	1.55	1.55	1.60	1.60
0.3	1.65	1.60	1.55	1.55	1.50	1.50	1.55	1.55
0.5	1.65	1.55	1.50	1.50	1.45	1.45	1.45	1.45
0.7	1.60	1.50	1.45	1.40	1.35	1.35	1.35	1.30
0.9	1.60	1.45	1.35	1.30	1.25	1.25	1.25	1.25
1.0 *	1.55	1.40	1.30	1.25	1.20	1.20	1.15	1.15



รูปที่ 5 แสดงสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับโครงสร้าง [6]

2.4 ขนาดและชนิดของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

ขนาดและชนิดของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา สร้างจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ผ่านซอฟท์แวร์ SJ MEPLA แบ่งออกตามสภาพภูมิประเทศ (C_e) ได้ 5 กรณี โดยแต่ละขนาดติดตั้งสูงจากพื้นแตกต่างกัน 7 ช่วงความสูง แบ่งเป็น 3 ขนาด คือ 1000 x 900 มิลลิเมตร 1200 x 900 มิลลิเมตร และ 1380 x 900 มิลลิเมตร ซึ่งประกอบด้วยกระจกเทมเปอร์ และแผ่นอะคริลิกหนา 10 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 6

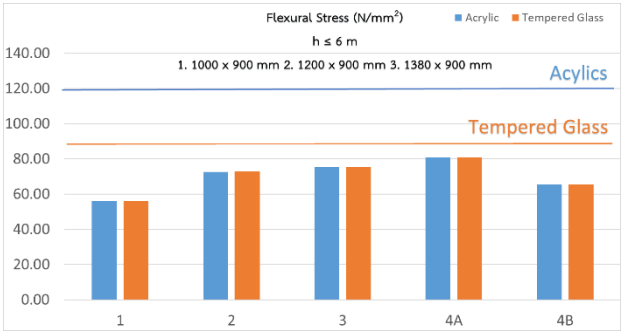


รูปที่ 6 ลักษณะแผ่นราวกันตกในแบบจำลอง

3. ผลการวิจัย

3.1 กรณีติดตั้งแผ่นราวกันตก ที่ความสูง น้อยกว่า 6 เมตร

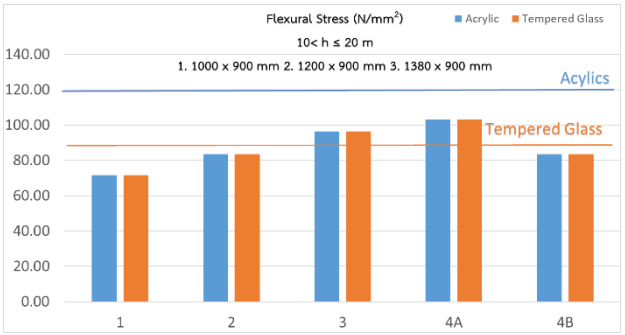
ค่าความเค้นในวัสดุของแผ่นราวกันตกอะคริลิก และกระจกเทมเปอร์ มีค่าใกล้เคียงกัน แผ่นราวกันตกอะคริลิก และกระจกเทมเปอร์ สามารถรับแรงลมในประเทศไทยได้ทุกกรณีของสภาพภูมิประเทศ (1,2,3,4A,4B) ได้อย่างปลอดภัย เนื่องจากค่าความเค้นของแผ่นราวกันตกอะคริลิก และกระจกเทมเปอร์ ที่เกิดขึ้นไม่เกินค่ากำลังวัสดุที่ยอมให้ดังนี้ คือ 120 N/mm^2 และ 90 N/mm^2 ตามลำดับ แบ่งเป็น 3 ขนาด แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการวิจัยเมื่อติดตั้งแผ่นราวกันตก ที่ความสูง น้อยกว่า 6 เมตร

3.2 กรณีติดตั้งแผ่นราวกันตก ที่ความสูง มากกว่า 10 เมตร แต่น้อยกว่า 20 เมตร

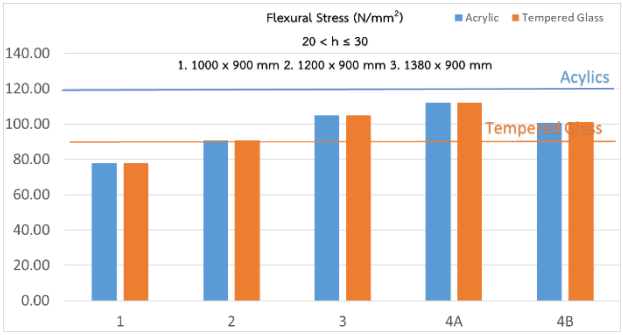
แผ่นราวกันตกอะคริลิก สามารถรับแรงลมในประเทศไทยได้ทุกสภาพภูมิประเทศอย่างปลอดภัย แต่กระจกเทมเปอร์สามารถรับแรงลมได้บางกรณีเท่านั้น ตามสภาพภูมิประเทศ (1,2,4B) แบ่งเป็น 3 ขนาด แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผลการวิจัยเมื่อติดตั้งแผ่นราวกันตก
ที่ความสูง มากกว่า 10 เมตร แต่น้อยกว่า 20เมตร

3.3 กรณีติดตั้งแผ่นราวกันตก ที่ความสูง มากกว่า 20 เมตร แต่น้อยกว่า 30 เมตร

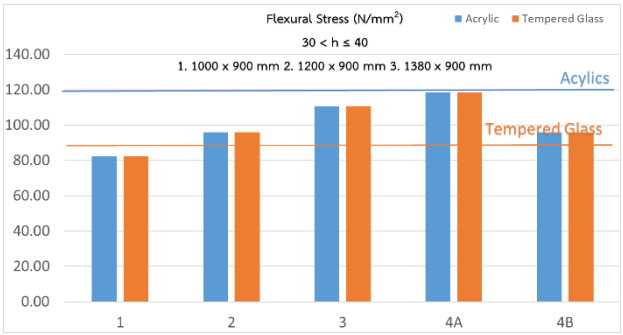
แผ่นราวกันตกอะคริลิก สามารถรับแรงลมในประเทศไทยได้ทุกกรณีอย่างปลอดภัย แต่กระจกเทมเปอร์ สามารถรับแรงลมในประเทศไทยได้เฉพาะกรณีสภาพภูมิประเทศ (1,2) แบ่งเป็น 3 ขนาด แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลการวิจัยเมื่อติดตั้งแผ่นราวกันตก
ที่ความสูง มากกว่า 20 เมตร แต่น้อยกว่า 30 เมตร

3.4 กรณีติดตั้งแผ่นราวกันตก ที่ความสูง มากกว่า 30 เมตร แต่น้อยกว่า 40 เมตร

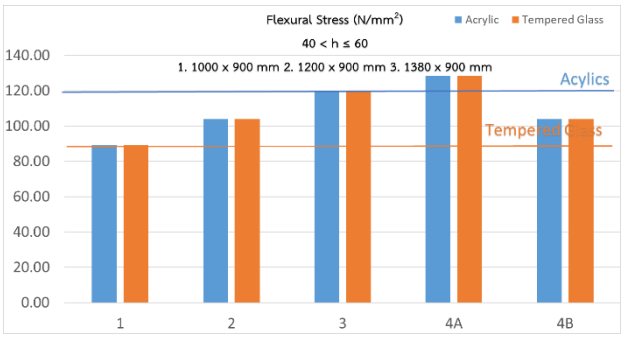
แผ่นราวกันตกอะคริลิก สามารถรับแรงลมในประเทศไทยได้ทุกกรณีอย่างปลอดภัย แต่สำหรับกระจกเทมเปอร์ สามารถรับแรงลมในประเทศไทยได้เฉพาะกรณีสภาพภูมิประเทศ (1) แบ่งเป็น 3 ขนาด แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผลการวิจัยเมื่อติดตั้งแผ่นราวกันตก
ที่ความสูง มากกว่า 30 เมตร แต่น้อยกว่า 40 เมตร

3.5 กรณีติดตั้งแผ่นราวกันตก ที่ความสูง มากกว่า 40 เมตร แต่น้อยกว่า 60 เมตร

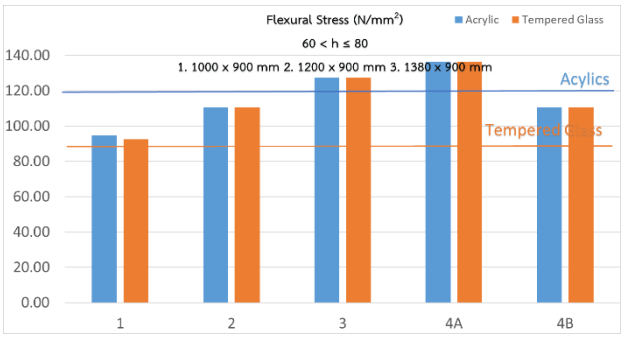
แผ่นราวกันตกอะคริลิก สามารถรับแรงลมในประเทศไทยบางกรณีของสภาพภูมิประเทศ (1,2,3,4B) แต่กระจกเทมเปอร์ สามารถรับแรงลมในประเทศไทยได้เฉพาะกรณีสภาพภูมิประเทศ (1) เท่านั้น แบ่งเป็น 3 ขนาด แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ผลการวิจัยเมื่อติดตั้งแผ่นราวกันตก
ที่ความสูง มากกว่า 40 เมตร แต่น้อยกว่า 60 เมตร

3.6 กรณีติดตั้งแผ่นราวกันตก ที่ความสูง มากกว่า 60 เมตร แต่น้อยกว่า 80 เมตร

แผ่นราวกันตกอะคริลิก สามารถรับแรงลมในประเทศไทยบางกรณีของสภาพภูมิประเทศ (1,2,4B) แต่สำหรับกระจกเทมเปอร์ ไม่สามารถรับแรงลมในประเทศไทยได้เลยทุกกรณี แบ่งเป็น 3 ขนาด แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ในกรณีติดตั้งแผ่นราวกันตก
ที่ความสูง มากกว่า 60 เมตร แต่น้อยกว่า 80 เมตร

ผลการวิจัยสามารถสรุปความสูงการติดตั้งที่ปลอดภัยตามตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ตารางสรุปผลการวิจัยความสูงการติดตั้งที่ปลอดภัยต่อแรงลมในประเทศไทย

ความสูงการติดตั้ง	สภาพภูมิประเทศ				
	1	2	3	4A	4B
กรณีติดตั้งแผ่นราวกันตก ที่ความสูง น้อยกว่า 6 เมตร	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
กรณีติดตั้งแผ่นราวกันตก ที่ความสูง ,มากกว่า 10 เมตร แต่น้อยกว่า 20 เมตร	✓✓	✓✓	✓	✓	✓✓
กรณีติดตั้งแผ่นราวกันตก ที่ความสูง ,มากกว่า 20 เมตร แต่น้อยกว่า 30 เมตร	✓✓	✓✓	✓	✓	✓
กรณีติดตั้งแผ่นราวกันตก ที่ความสูง ,มากกว่า 30 เมตร แต่น้อยกว่า 40 เมตร	✓✓	✓	✓	✓	✓
กรณีติดตั้งแผ่นราวกันตก ที่ความสูง ,มากกว่า 40 เมตร แต่น้อยกว่า 60 เมตร	✓✓	✓	✓		✓
กรณีติดตั้งแผ่นราวกันตก ที่ความสูง ,มากกว่า 60 เมตร แต่น้อยกว่า 80 เมตร	✓	✓			✓

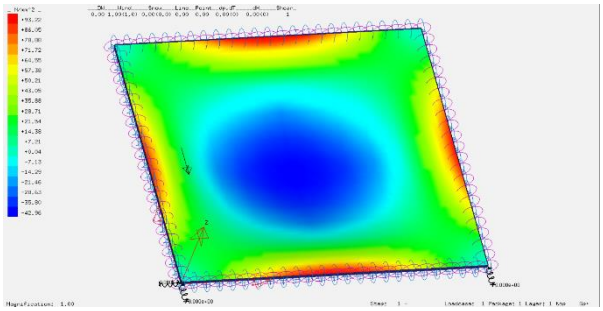
✓ = ติดตั้งราวกันตกแผ่นอะคริลิกได้ปลอดภัย (ไม่เกิน 120 N/mm²)

✓ =ติดตั้งราวกันตกแผ่นกระจกเทมเปอร์ได้ปลอดภัย (ไม่เกิน 90 N/mm²)

4. บทสรุป

จากการวิเคราะห์แรงลมที่กระทำกับราวกันตกในพื้นที่ประเทศไทย ผู้วิจัยขอสรุปผลแนวทางการออกแบบราวกันตกคือกรณีติดตั้ง แผ่นราวกันตกอะคริลิก ที่ความสูง ตั้งแต่ 6 เมตร ถึง 40 เมตร ผู้ติดตั้งสามารถออกแบบการติดตั้งแผ่นราวกันตกอะคริลิกความหนา 10 มิลลิเมตร ได้อย่างปลอดภัยทุกกรณี แต่กรณีติดตั้งแผ่นราวกันตกที่มีความสูงมากกว่า 40 เมตร ถึง 80 เมตร ควรติดตั้งแผ่นราวกันตกที่มีความหนามากกว่า 10 มิลลิเมตร เป็นต้นไป เพื่อให้สามารถรับแรงลมในพื้นที่ประเทศไทย ได้อย่างปลอดภัย

สำหรับการวิเคราะห์แผ่นราวกันตกอะคริลิกขนาด 1380 x 900 มิลลิเมตร ความหนา 12.5 มิลลิเมตร ที่สภาพภูมิประเทศ 4A มีค่า C_e = 1.52 เมื่อจำลองการติดตั้งแผ่นราวกันตกที่ความสูงมากกว่า 60 เมตร แต่น้อยกว่า 80 เมตรจะมีแรงลมกระทำต่อแผ่นราวกันตกเท่ากับ $q = 525.98 kg/m^2$ พบว่าแผ่นราวกันตกอะคริลิกปลอดภัยต่อการใช้งานในพื้นที่ประเทศไทยทุกสภาพภูมิประเทศ เนื่องจากค่าความเค้นในวัสดุมีค่าไม่เกินกำลังวัสดุที่ยอมให้ของอะคริลิก โดยมีค่าความเค้นเกิดขึ้นบนแผ่น ราวกันตกอะคริลิกเท่ากับ 93.22 N/mm² โดยผลการวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แผ่นราวกันตกอะคริลิกขนาด1380x900 มิลลิเมตร ความหนา 12.5 มิลลิเมตร ที่Terrain Category 4A Ce=1.52 สภาพภูมิประเทศ A ความสูงจากพื้นดิน (h) 60 < h ≤ 80 m

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสรุปแนวทางการออกแบบราวกันตกและความหนาของแผ่นอะคริลิกที่แนะนำแสดงดังตารางที่ 14 และตารางที่ 15 ตามลำดับ

ตารางที่14 ตารางข้อเสนอแนะแนวทางการออกแบบราวกันตกที่แนะนำ

การทดสอบที่ต้องการสำหรับราวกันคก	เกณฑ์ที่ขั้นต่ำที่แนะนำ	การเสียรูปที่ยอมรับได้
Infill Load Test	≥ 220 N	-
Shot Bag Impact Test	≥ 542 J	-
Pendulum Impact Test	≥ 100 J	≤ (h/12)
Uniform Load Test	≥ 730 N/m	≤ l/96
Concentrated Load Test	≥ 1330 N	≤ (h/24) + (l/96)

h = ความสูงที่ติดตั้งราวกันตกจากพื้นดิน, l = ระยะห่างระหว่างจุดรองรับที่ติดตั้ง

ตารางที่15 ตารางข้อเสนอแนะสำหรับความหนาแผ่นอะคริลิกที่แนะนำ

ความสูงติดตั้งที่ต้องการ	ความหนาขั้นต่ำที่แนะนำ
กรณีติดตั้งสูง 6 เมตร - 40 เมตร	10 มิลลิเมตร
กรณีติดตั้งสูงมากกว่า 40 เมตร – 80 เมตร	มากกว่า 10 มิลลิเมตร

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดแต่เพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Thai MMA Co.,Ltd. (2020). *Acrylic Materials Properties SHINKOLITE Technical data*. Mitsubishi Corporation, pp.1-8.

[2] M. Haldimann, A. Luible and M. Overend (2007). Structural Use of Glass. International Association for Bridge and Structural Engineering, pp.2-10,

[3] ASTM E2353 (2021). *Standard Test Methods for Performance of Glazing in Permanent Railing Systems Guards and Balustrades.*, West Conshohocken.

[4] European standard EN12600 (2002). *Standard Glass in building-Pendulum Test-Impact test method and classification for flat glass., European Standards*, Brussels.

[5] ASTM E2358 (2017*), Standard Test Specification for Performance of Glazing in Permanent Railing Systems, Guards, and Balustrades*., West Conshohocken.

[6] กรมโยธาธิการและผังเมือง (2550). *มยผ.1311-50 มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร*.สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคารกรมโยธาธิการและผังเมือง, หน้า 15-80.