

การศึกษาความต้านทานกระสุนขนาด 7.62X51 มม. ของผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก Study on the 7.62x51 mm bullet resistance of steel fiber reinforced concrete panel

อภิสิทธิ์ เตชพัฒนาร^{1,*} สิทธิศักดิ์ แจ่มนาม² และ ปิติ สุนทรสุขกุล^{3,*}

^{1,2,3} ศูนย์วิจัยวัสดุอาคารและการก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จ.กรุงเทพฯ

*Corresponding author; E-mail address: apisit.civileng@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ทำการศึกษาการต้านทานกระสุนของผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก สัดส่วน 2% โดยปริมาตร ภายใต้การยิงด้วยกระสุนขนาด 7.62 x 51 มม. ผนังทดสอบหล่อในแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 400 x 400 มม. แปรผันความหนาตั้งแต่ 10 – 100 มม. ในขั้นตอนการทดสอบ ผนังทดสอบจะถูกติดตั้งบนแท่นเหล็กซึ่งห่างจากแนวยิงเป็นระยะ 50 ม. กล้องถ่ายภาพความเร็วสูงวางตั้งฉากกับผนังทดสอบเพื่อเก็บภาพที่ 40,000 เฟรมต่อวินาที และทำการทดสอบด้วยการยิงกระสุน จำนวน 1 นัด บริเวณกึ่งกลางผนังทดสอบ ภาพถ่ายความเร็วสูงนำมาคำนวณเป็นความเร็วของกระสุน (ก่อนและหลังการปะทะตัวอย่าง) และ ทำการบันทึกรูปแบบของลักษณะการวิบัติ, ความสามารถในการดูดซับพลังงาน เส้นผ่านศูนย์กลางความเสียหาย และการสูญเสียน้ำหนัก ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ผนังทดสอบ ที่มีความหนา 60 มม. สามารถต้านทานการทะลุผ่านของกระสุนได้ และความหนาตั้งแต่ 80 มม. ขึ้นไป บริเวณด้านหลังของผนังทดสอบ ไม่พบความเสียหายใด ๆ จากแรงกระแทกของกระสุน

คำสำคัญ: ผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก, กระสุนขนาด 7.62 x 51 มม., ความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์, เส้นผ่านศูนย์กลางความเสียหาย, การสูญเสียน้ำหนัก

Abstract

This research aimed to investigate the bullet resistance of steel fiber reinforced concrete panel at 2% by volume fraction subjected to the 7.62 x 51 mm bullet. The specimens were cast in square panels with dimensions of 400x400 mm and varying thickness from 10 to 100 mm. During the test, the panel was installed on the steel platform with a fire distance of 50 meter. The high-speed camera was set up perpendicularly to the specimen to capture the images at frame rate 40,000 fps. and each panel was subjected to a single impact at the center. The captured images were used to calculate bullet velocity (before and after impactation) and data

in terms of the failure mode, impact energy absorption, damage diameter and weight loss were collected. Results showed that the panel thickness of 60 mm can prevent bullet perforation and the back damage of the panel with thickness of 80 mm or more will not occurred from bullet impactation.

Keywords: Steel fiber reinforced concrete panel, 7.62 x 51 mm bullet, Kinetic energy absorption ability, Damage diameter, Weight loss

1. ที่มาและความสำคัญ

จากเหตุการณ์ความไม่สงบที่เกิดขึ้น ประเทศไทย ถูกจัดอันดับดัชนีการก่อการร้าย (The Global Terrorism Index) [1] ในปี 2019 อยู่ลำดับที่ 18 จาก 138 ประเทศ ทั่วโลก และสถิติการก่อการร้ายโดยมาก มีอาวุธปืนประเภทปืนพก (9 mm และ .44 Magnum) เป็นอาวุธหลักในการก่อเหตุ [2] เนื่องจากสามารถครอบครองและพกพาได้สะดวก จึงเป็นผลให้เมื่อเกิดการก่อการร้าย ย่อมมีการสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนผู้บริสุทธิ์ จากกระสุนปืนโดยตรงหรือกรณีหลบภัย ภายในอาคาร ที่ก่อผนังด้วยการก่ออิฐฉาบปูน ซึ่งไม่สามารถต้านทานการทะลุผ่านของกระสุนได้ จึงได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับผนังคอนกรีตกันกระสุน ที่สามารถป้องกันการทะลุผ่านของกระสุนปืนพก ในระดับ 2 (9 mm) และ ระดับ 3A (.44 Magnum) ตามมาตรฐาน NIJ (U.S. National Institute of Justice) [3] ได้ โดยผนังไม่เกิดการทะลุและด้านหลัง ไม่เกิดความเสียหายใดๆ จากแรงกระแทกของกระสุนปืน โดย Sukontasukkul et al. [4] ทดสอบผนังคอนกรีตล้วนและคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก ภายใต้แรงกระแทกของกระสุนขนาด 9 มม. พบว่า ผนังคอนกรีตล้วน เกิดการกระเทาะ (บริเวณด้านหน้าและด้านหลัง) แยกออกจากกัน และมีเศษคอนกรีตปลิวหลุดร่อน สำหรับผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก สัดส่วนผสมเส้นใย 2% โดยปริมาตร ความหนา 3 เซนติเมตร สามารถป้องกันการทะลุผ่านของกระสุนปืนได้ โดยผนังไม่แตกแยกออกจากกัน และ Jamnam et al. [5] ทดสอบผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก สัดส่วนผสมเส้นใย 2% โดยปริมาตร ด้วยกระสุนขนาด .44 Magnum พบว่า เมื่อผนังมีความหนา 6 เซนติเมตร สามารถป้องกันการทะลุผ่านของกระสุนได้ โดยด้านหลังไม่เกิดความ

เสียหายใดๆ ซึ่งจากผลการทดสอบ ลักษณะการวิบัติและความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ แปรผันตามความหนาของผนังทดสอบ

สำหรับในปัจจุบัน เหตุการณ์ความไม่สงบ มีความรุนแรงมากขึ้น จากการใช้อาวุธที่มีความสามารถในการทำลายสูงหรือระดับอาวุธสงคราม ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา Sovjaka et al. [6,7] มีการพัฒนาผนังคอนกรีตเสริมโลหะสูงพิเศษเสริมเส้นใยเหล็ก สัดส่วนผสม ตั้งแต่ 0.125 - 3% โดยปริมาตร ภายใต้การรับแรงกระแทกของกระสุนขนาด 7.62 x 39 มม. ที่มีความเร็วสูง ระหว่าง 691 - 720 เมตรต่อวินาที พบว่า การกระแทกบริเวณด้านหน้าและด้านหลังของผนังลดลงตามสัดส่วนผสมเส้นใยเหล็กที่สูงขึ้น และที่สัดส่วนผสมเส้นใยเหล็ก 2% ไม่มีความเสียหายบริเวณด้านหลังของผนัง

ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการพัฒนาผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก สัดส่วนผสมเส้นใย 2% โดยปริมาตร ให้มีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของกระสุนปืน ระดับอาวุธสงคราม ขนาด 7.62 x 51 มม. นาโต้ หรือ ระดับ 3 ตามมาตรฐาน NIJ ได้

2. การดำเนินงานวิจัย

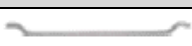
2.1 วัสดุและอุปกรณ์

2.1.1 วัสดุ

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- ทรายที่ผ่านตะแกรง No.16 และค้ำ No.50
- น้ำสะอาด
- สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer : SP)
- เส้นใยเหล็กชนิดงอปลาย (Single hooked-end steel fiber :

SHE) มีคุณสมบัติ ดังตารางที่ 1


ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเส้นใยเหล็ก

Shape	Length (mm)	Diameter (mm)	Aspect Ratio (l/d)	Tensile Strength (N/mm ²)
	35	0.55	64	1,000

2.1.2 อุปกรณ์

- กระสุนปืนอาวุธสงคราม ขนาด 7.62 x 51 มม. นาโต้ มีคุณสมบัติ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของกระสุน ขนาด 7.62 x 51 มม. นาโต้

Bullet shape (7.62X51 mm NATO)	Bullet type	Mass (gram)	Velocity (m/s)	Energy (J)
	Full metal jacket	9.6	863	3,580

- กล้องถ่ายภาพความเร็วสูง (High speed camera) มีคุณสมบัติ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง

Specifications	
Name	FASTCAM SA4
Maximum image resolution [pixels]	1024 x 1024
Maximum frame rate at full resolution [frame per seconds]	3600
Maximum frame rate at reduced image resolution [frame per seconds]	216 000
Minimum global shutter time per frame	1µs

2.2 สัดส่วนผสมและการเตรียมตัวอย่าง

2.2.1 สัดส่วนผสม

สัดส่วนผสมคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) 0.3 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย 1 : 2 โดยปริมาตร สัดส่วนสารลดน้ำพิเศษ ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ และเสริมด้วยเส้นใยเหล็ก ร้อยละ 2 โดยปริมาตร แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สัดส่วนผสมคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก

Materials	Cement	Sand	Water	SP	SHE
Proportion (kg/m ³)	800	1420	240	16	156

2.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก เริ่มจากการเตรียมวัสดุตามสัดส่วนผสมในตารางที่ 4 จากนั้นทำการผสมมวลรวมแห้งให้เข้ากัน ด้วยเครื่องผสม เป็นเวลา 1 นาที จึงเติมน้ำและสารลดน้ำพิเศษ ผสมให้วัสดุเป็นเนื้อเดียวกัน อีก 3 นาที ต่อมาทำการผสมเส้นใยเหล็ก โดยให้เส้นใยกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ใช้เวลาในการผสมประมาณ 3 นาที จึงเทลงแบบหล่อ ขนาด 400 x 400 มิลลิเมตร

2.3 ประเภทของตัวอย่าง

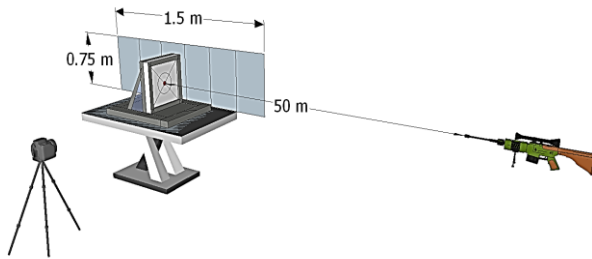
ตัวอย่างทดสอบ หล่อเป็นผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก ตามสัดส่วนผสมในตารางที่ 4 ขนาด 400 x 400 มิลลิเมตร แปรผันความหนา ตั้งแต่ 10 - 100 มิลลิเมตร ประเภทตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ประเภทของผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก

Type	SHE volume fraction	Thickness (mm)	No. of specimens
2S 1	2 %	10	3
2S 2		20	3
2S 3		30	3
2S 4		40	3
2S 5		50	3
2S 6		60	3
2S 7		70	3
2S 8		80	3
2S 9		90	3
2S 10		100	3

2.4 วิธีการทดสอบ

ติดตั้งผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กบนแท่นเหล็กทดสอบ มีระยะห่างจากจุดยิง 50 เมตร จากนั้นติดตั้งฉากบอกระยะและกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง ในทิศทางตั้งฉากกับผนังทดสอบ โดยตั้งค่าอัตราเร็วในการถ่ายภาพที่ 40,000 เฟรมต่อวินาที และทดสอบด้วยการยิงกระสุนปืนอาวุธสงคราม ขนาด 7.62 x 51 มม. นาโต้ จำนวน 1 นัด บริเวณกึ่งกลางผนังทดสอบ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การติดตั้งอุปกรณ์และผนังทดสอบ

2.5 การวิเคราะห์ผล

จากการบันทึกภาพถ่ายความเร็วสูง สามารถคำนวณเป็นความเร็วของกระสุน (ก่อนและหลังการปะทะตัวอย่าง) เพื่อนำไปคำนวณความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ของผนัง และสำหรับการวัดของผนังในแต่ละประเภท สามารถแสดงข้อมูลในรูปแบบของเส้นผ่านศูนย์กลางการกระเทาะ และร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก โดยมีการวิเคราะห์ผล ดังนี้

2.5.1 ความเร็วของกระสุน (Bullet velocity)

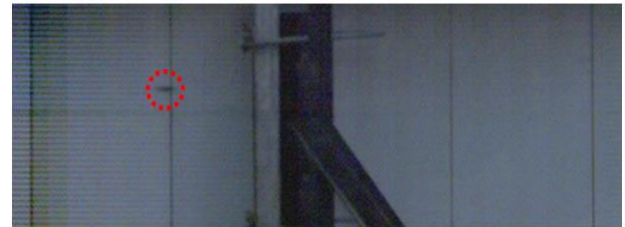
การคำนวณความเร็วของกระสุนจากภาพถ่ายความเร็วสูง ทำได้โดยการคำนวณจากระยะเวลาและระยะทาง ขณะที่กระสุนเคลื่อนที่ผ่านเส้นอ้างอิง 2 เส้น ซึ่งมีระยะห่างจากเส้นต่อเส้น 25 เซนติเมตร ดังสมการที่ 1 โดยจากรูปที่ 2 และ 3 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายความเร็วสูง ที่ระยะเวลาและระยะทาง ขณะที่กระสุนเคลื่อนที่ผ่านเส้นอ้างอิง ทั้งก่อนและหลังการปะทะผนังทดสอบ ตามลำดับ

$$v = \frac{\Delta s_i}{\Delta t_i} \quad (1)$$

โดย v หมายถึง ความเร็วของกระสุน (m/s), Δs_i หมายถึง ระยะทาง ขณะที่กระสุนเคลื่อนที่ผ่านเส้นอ้างอิง (m), Δt_i หมายถึง ช่วงเวลาที่กระสุนเคลื่อนที่ผ่านเส้นอ้างอิง (s)

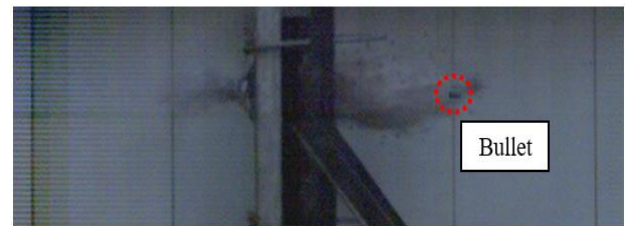


(a) $t_1 = 0$ ms, $s_1 = 0$ cm

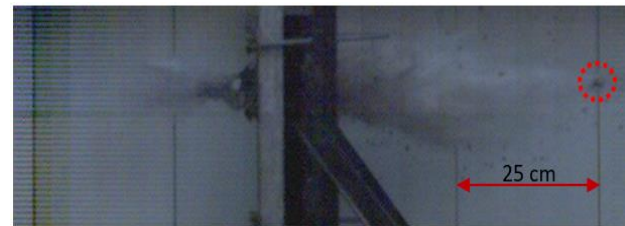


(b) $t_2 = 0.275$ ms, $s_2 = 25$ cm

รูปที่ 2 ขณะกระสุนเคลื่อนที่ผ่านเส้นอ้างอิง (ก่อนการปะทะ)



(a) $t_1 = 1.525$ ms, $s_1 = 75$ cm



(b) $t_2 = 2.325$ ms, $s_2 = 100$ cm

รูปที่ 3 ขณะกระสุนเคลื่อนที่ผ่านเส้นอ้างอิง (หลังการปะทะ)

2.5.2 ความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ (Kinetic energy absorption ability)

คำนวณได้จากความแตกต่างระหว่างพลังงานจลน์ของกระสุน ก่อนและหลังการปะทะผนังทดสอบ ซึ่งความแตกต่างระหว่างพลังงานจลน์ของกระสุน แสดงถึงความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ของผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก ดังสมการที่ 2

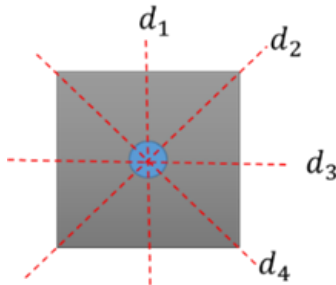
$$E = \frac{1}{2} m (v_b^2 - v_a^2) \quad (2)$$

โดยที่ E หมายถึง ความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ (J), m หมายถึง น้ำหนักหัวกระสุน (kg), v_b หมายถึง ความเร็วที่วัดได้ก่อน

กระทบแผ่นทดสอบ (m/s) และ V_a หมายถึง ความเร็วที่วัดได้หลังกระทบ
แผ่นทดสอบ (m/s)

2.5.3 เส้นผ่านศูนย์กลางการกะเทาะ (Spalling diameter)

เก็บข้อมูลทดสอบ โดยการวัดความยาวรอยการกะเทาะของตัวอย่าง
เนื่องจากแรงกระแทกของกระสุน ใน 4 ทิศทาง ดังรูปที่ 4 และบันทึกผล
เป็นค่าเฉลี่ย ดังสมการที่ 3



รูปที่ 4 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางการกะเทาะ 4 ทิศทาง

$$\text{Spalling diameter (mm)} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4}{4} \quad (3)$$

โดยที่ d_i หมายถึง ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางการกะเทาะ (mm)

2.5.4 การสูญเสียน้ำหนัก (Weight loss)

คำนวณจากอัตราส่วนของผลต่างน้ำหนักแผ่นตัวอย่าง (ก่อนและหลัง
การทดสอบ) กับน้ำหนักของผนังก่อนการทดสอบ จากนั้นคำนวณเป็นร้อย
ละการสูญเสียน้ำหนัก ดังสมการที่ 4

$$\text{Weight loss (\%)} = \frac{(w_b - w_a)}{w_b} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่ w_a หมายถึง น้ำหนักคอนกรีตหลังยิง (kg), w_b หมายถึง
น้ำหนักคอนกรีตก่อนยิง (kg)

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 รูปแบบการวิบัติ

จากผลการทดสอบด้วยการยิงกระสุน ขนาด 7.62 x 51 มม. นาโต้ กับ
ผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก ที่แปรผันความหนา ตั้งแต่ 10 - 100
มิลลิเมตร พบว่า เกิดการวิบัติใน 4 รูปแบบ ดังนี้ และแสดงดังตารางที่ 6

(a) Perforation: ผนังทดสอบ เกิดการทะลุ เนื่องจากแรงกระแทกของ
กระสุน โดยขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางการกะเทาะ บริเวณด้านหน้าและ
ด้านหลัง มีขนาดใกล้เคียงกัน และเศษคอนกรีตที่กะเทาะหลุดร่อนมีขนาด
เล็ก ดังรูปที่ 5 และ รูปที่ 6 ซึ่งการวิบัติแบบทะลุ เกิดในช่วงที่ผนังทดสอบมี
ความหนา ระหว่าง 10 - 40 มิลลิเมตร

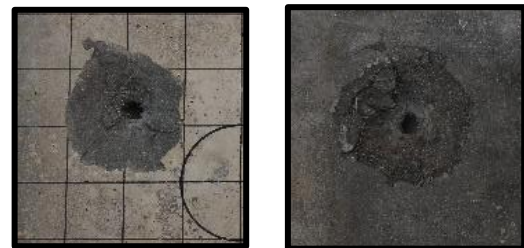


รูปที่ 5 การวิบัติ แบบ Perforation (ด้านหน้าและด้านหลัง)



รูปที่ 6 ภาพถ่ายความเร็วสูงของการวิบัติ แบบ Perforation

(b) Perforation + flying debris: ผนังทดสอบ เกิดการทะลุผ่านของ
กระสุน และขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางการกะเทาะด้านหลัง มีขนาดใหญ่
กว่าการกะเทาะด้านหน้า จึงทำให้บริเวณด้านหลัง พบเศษคอนกรีตที่หลุด
ร่อนขนาดใหญ่และมีจำนวนมากกว่าด้านหน้า ดังรูปที่ 7 และ รูปที่ 8 ซึ่ง
เกิดการวิบัติ ที่ความหนา 50 มิลลิเมตร

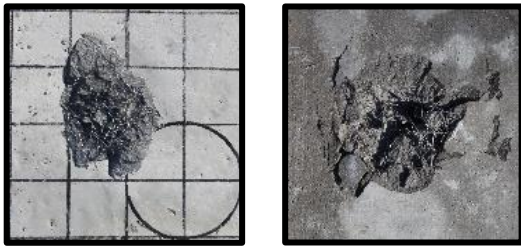


รูปที่ 7 การวิบัติ แบบ Perforation + flying debris (ด้านหน้าและด้านหลัง)



รูปที่ 8 ภาพถ่ายความเร็วสูงของการวิบัติ แบบ Perforation + flying debris

(c) Penetration + back spalling: ผนังทดสอบ ไม่เกิดการทะลุ แต่
เกิดการกะเทาะของผนังคอนกรีตบริเวณด้านหน้าและด้านหลัง และจาก
ภาพถ่ายความเร็วสูง พบเศษคอนกรีตด้านหน้าที่กะเทาะหลุดร่อนมากกว่า
ด้านหลัง ดังรูปที่ 9 และ รูปที่ 10 การวิบัติดังกล่าว เกิดในช่วงความหนา
ระหว่าง 60 - 70 มิลลิเมตร



รูปที่ 9 การวิบัติ แบบ Penetration + back spalling (ด้านหน้าและด้านหลัง)

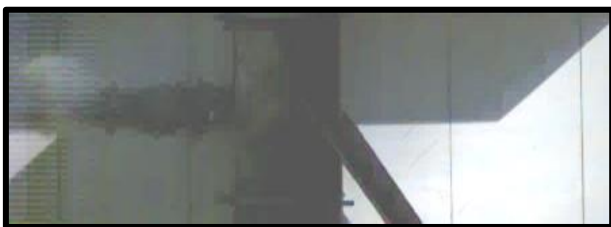


รูปที่ 10 ภาพถ่ายความเร็วสูงของการวิบัติ แบบ Penetration + back spalling

(d) Penetration + without back damage: ผนังทดสอบ ไม่เกิดการทะลุ และพบเพียงการกะเทาะบริเวณด้านหน้าเท่านั้น สำหรับด้านหลังของผนังทดสอบ ไม่มีความเสียหายใดๆ เนื่องจากแรงกระแทกของกระสุน ดังรูปที่ 11 และ รูปที่ 12 ซึ่งพบการวิบัติ ในช่วงความหนา ระหว่าง 80 – 100 มิลลิเมตร



รูปที่ 11 การวิบัติ แบบ Penetration + without back damage (ด้านหน้าและด้านหลัง)



รูปที่ 12 ภาพถ่ายความเร็วสูงของการวิบัติ แบบ Penetration + without back damage

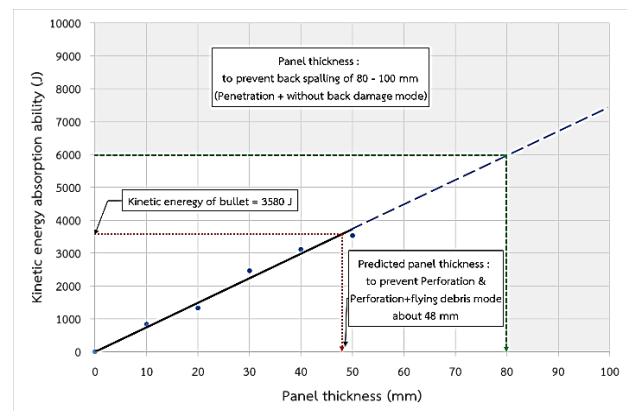
ตารางที่ 6 รูปแบบการวิบัติของผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก

Types	Failure mode
2S 1	Perforation
2S 2	Perforation
2S 3	Perforation
2S 4	Perforation
2S 5	Perforation + flying debris
2S 6	Penetration + back spalling
2S 7	Penetration + back spalling
2S 8	Penetration + without back damage
2S 9	Penetration + without back damage
2S 10	Penetration + without back damage

3.2 ความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ (Kinetic energy absorption ability)

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบ สำหรับผนังทดสอบที่เกิดการวิบัติแบบทะลุ (Perforation & Perforation + flying debris mode) โดยมีความหนา ระหว่าง 10 – 50 มิลลิเมตร แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ (Kinetic energy absorption ability: E_p) และความหนาของผนังทดสอบ (Panel thickness: T_p) ดังสมการที่ 5 และ ดังรูปที่ 13 ซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าว สามารถทำนายความหนาสำหรับการป้องกันการทะลุผ่านของกระสุนได้ โดยผนังไม่เกิดการวิบัติแบบทะลุ ที่ความหนา 48 มิลลิเมตร และสำหรับการป้องกันการทะลุผ่านของกระสุน โดยด้านหลังของผนัง ไม่มีความเสียหายใดๆ ที่ความหนา 80 มิลลิเมตร ขึ้นไป

$$E_p = 74.62T_p \quad (5)$$



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์กับความหนา

3.3 เส้นผ่านศูนย์กลางการกะเทาะ (Spalling diameter)

จากผลการทดสอบ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางการกะเทาะ (Spalling diameter: d_{sp})และความสามารถในการดูดซับ

พลังงานจลน์ (Kinetic energy absorption ability: E_p) ดังรูปที่ 14 สามารถอธิบายเป็นความสัมพันธ์ 3 ช่วง ดังนี้

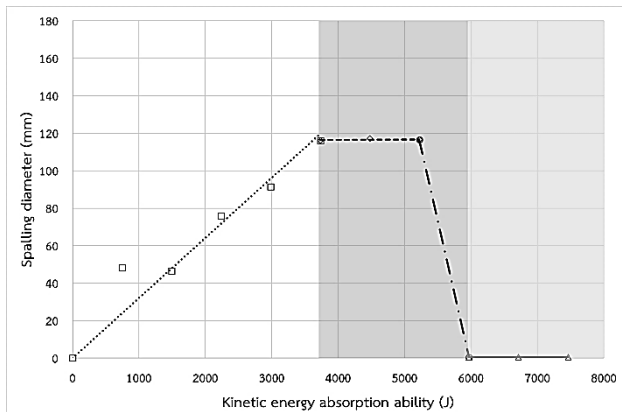
ช่วงที่ 1 เป็นช่วงที่ผนังมีความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ ระหว่าง 0 – 3,731 J ซึ่งมีค่าต่ำกว่าพลังงานของกระสุน พบว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางการกระแทก มีขนาดใหญ่ขึ้นตามความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ของผนังที่สูงขึ้น เนื่องจากผนังมีความสามารถในการต้านทานการทะลุผ่านของกระสุนสูงขึ้น แสดงความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 6

$$d_{sp} = 0.0321E_p \quad (6)$$

ช่วงที่ 2 ผนังมีความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ ระหว่าง 4,477 – 5,223 J พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางการกระแทก มีขนาดคงที่ เนื่องจากผนังมีความหนาเพียงพอในการต้านทานการทะลุผ่านของกระสุน (ความสามารถในการดูดซับพลังงานของผนังสูงกว่าพลังงานของกระสุน) แสดงความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 7

$$d_{sp} = (2 \times 10^{-4})E_p + 115.92 \quad (7)$$

ช่วงที่ 3 เมื่อผนังมีความสามารถในการดูดซับพลังงานระหว่าง 5,969 – 7,462 J ไม่พบความเสียหายใดๆ บริเวณด้านหลังของผนัง เนื่องจากแรงกระแทกของกระสุน



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางการกระแทกกับความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์

3.4 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก

เป็นการแสดงความเสียหายของผนัง เนื่องจากแรงกระแทกของกระสุน โดยเมื่อกระสุน เข้าปะทะผนังทดสอบ ทำให้ผนังเกิดการดูดซับพลังงานของกระสุนและมีการสลายพลังงานบางส่วนเป็นการกระแทกของเศษคอนกรีต ส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำหนัก ซึ่งสามารถแสดงผลเป็นความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (Weight loss: W_l) กับความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ (Kinetic energy absorption ability: E_p) ดังรูปที่ 15 และสามารถอธิบายเป็น 3 ช่วงความสัมพันธ์ ดังนี้

ช่วงที่ 1 เป็นช่วงที่ผนังมีความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ ระหว่าง 0 – 3,731 J มีการสูญเสียน้ำหนักสูงขึ้น ตามความสามารถในการดูดซับพลังงานที่สูงขึ้น เนื่องจากเป็นช่วงที่ผนังมีการเกิดการวิบัติแบบ

Perforation ซึ่งมีการกระแทกทั้งบริเวณด้านหน้าและด้านหลัง ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักสูงขึ้นตามความสามารถในการต้านทานกระสุนที่สูงขึ้น และมีการสูญเสียน้ำหนักสูงสุด เมื่อผนังมีการวิบัติแบบ Perforation + flying debris เนื่องจากผนังมีความสามารถในการดูดซับพลังงานใกล้เคียงกับพลังงานกระสุน ทำให้บริเวณด้านหลังมีการกระแทกเป็นบริเวณกว้าง แสดงเป็นความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 8

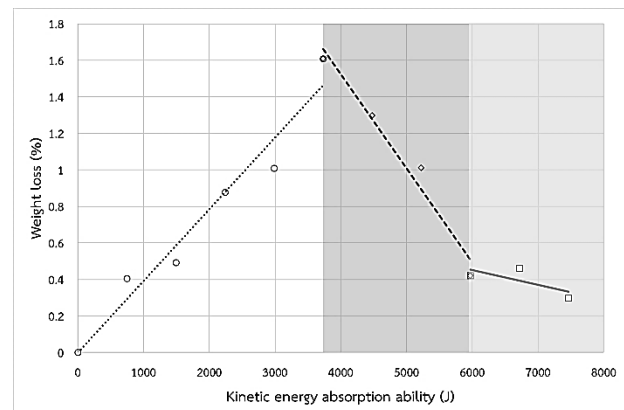
$$W_l = (4 \times 10^{-4})E_p \quad (8)$$

ช่วงที่ 2 ผนังมีความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ ระหว่าง 4,477 – 5,223 J พบว่าการสูญเสียน้ำหนักลดลง เนื่องจากผนังมีความสามารถในการต้านทานการทะลุผ่านของกระสุนหรือมีความหนาเพียงพอในการป้องกันการทะลุผ่านของกระสุน ซึ่งเป็นช่วงที่ผนังเกิดการวิบัติแบบ Penetration + back spalling คือ มีความเสียหายบริเวณด้านหน้าสูงกว่าด้านหลัง เกิดจากแรงกระแทกของกระสุน ดังสมการที่ 9

$$W_l = -(5 \times 10^{-4})E_p + 3.588 \quad (9)$$

ช่วงที่ 3 เป็นช่วงที่ผนังมีความสามารถในการดูดซับพลังงาน 5,969 – 7,462 J พบการสูญเสียน้ำหนักเริ่มคงที่ เนื่องจากผนังมีความเสียหายเฉพาะด้านหน้า จากการปะทะของกระสุนเท่านั้น สำหรับด้านหลังไม่มีความเสียหายใดๆ ซึ่งจัดเป็นการวิบัติแบบ Penetration + without back damage โดยแสดงความสัมพันธ์ได้ ดังสมการที่ 10

$$W_l = -(8 \times 10^{-5})E_p + 0.943 \quad (10)$$



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการสูญเสียน้ำหนักกับความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์

4. สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบความต้านทานของผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก ด้วยการยิงกระสุน ระดับอาวุธสงคราม พบว่าลักษณะการวิบัติ แปรผันตามความหนาของผนังทดสอบ โดยมีการวิบัติใน 4 รูปแบบ คือ ลักษณะการวิบัติแบบ Perforation, Perforation + flying debris, Penetration + back spalling และ Penetration + without back damage

ความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ของผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก แปรผันตามความหนา ซึ่งจากความสัมพันธ์ สามารถทำนายความหนาของผนังที่มีความสามารถในการต้านทานการทะลุผ่านของกระสุนได้ ที่ความหนา 48 มิลลิเมตร และเมื่อผนังมีความหนา 80 มิลลิเมตร ขึ้นไป สามารถต้านทานการทะลุผ่านของกระสุนได้ โดยบริเวณด้านหลังของผนัง ไม่มีความเสียหายใดๆ จากแรงกระแทกของกระสุน

สำหรับการวิบัติ สามารถแสดงผลในรูปของเส้นผ่านศูนย์กลางการกะเทาะและร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก โดยแปรผันตามความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ เมื่อความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ ต่ำกว่าพลังงานจลน์ของกระสุน ส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางการกะเทาะและร้อยละการสูญเสียน้ำหนักสูงขึ้น ตามความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ที่สูงขึ้น และเมื่อความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ สูงกว่าพลังงานของกระสุน ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางการกะเทาะและร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มลดลง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) สัญญาเลขที่ MSD 6210063

เอกสารอ้างอิง

- [1] Institute for Economics & Peace. Global Terrorism Index 2019: Measuring the impact of terrorism, Sydney, November 2019.
Available from: <http://visionofhumanity.org/reports>
(accessed Date Month Year).
- [2] ศรีสมภพ จิตรภิรมย์ศรี. “ความขัดแย้งชายแดนใต้ในรอบ 13 ปี: ความซับซ้อนของสนามความรุนแรงและพลังของบทสนทนาสันติภาพปาตานี.” ศูนย์เฝ้าระวังสถานการณ์ภาคใต้ สถาบันวิจัยความขัดแย้งและความหลากหลายทางวัฒนธรรมภาคใต้ มอ. ปี๒๕๖๐.
- [3] NIJ Ballistic Testing Standard, Ballistic Threat levels and NIJ Standards NIJ Standard -0101.06, Ballistic resistant personal body armor, National institute of justice,2001
- [4] Sukontasukkul, P., Jamnam, S., Rodsin, K. and Banthia, N. (2013). Use of rubberized concrete as a cushion layer in bulletproof fiber reinforced concrete panels. Construction and Building Materials, 41, pp.801-811.
- [5] Jamnam, S., Maho, B., Techaphatthanakon, A. and Sukontasukkul, P. (2019). Investigation on Bullet Resistant of Steel Fiber Reinforced Concrete Panel Subjected to .44 Magnum Bullet. Journal of Thailand Concrete Association, Vol. 7, No. 1, January-June 2019, pp. 39-46.

- [6] Sovják, R., Vavřínek, T., Zatloukal, J., Máca, P., Mičunek, T. and Frydrýn, M. (2015). Resistance of Slim UHPFRC Targets to Projectile Impact Using In-Service Bullets. International Journal of Impact Engineering, 76, pp.166–77.
- [7] Sovják, Radoslav, Shanbhag, D., Konrád, P. and Zatloukal, J. (2017). Response of Thin UHPFRC Targets with Various Fibre Volume Fractions to Deformable Projectile Impact. Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures (AMCM 2017), Gliwice, Poland, 5-7 June 2017, 193, pp.3–10.