

INVESTIGATION ON BULLET RESISTANT OF STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE PANEL SUBJECTED TO .44 MAGNUM BULLET

การศึกษาการต้านทานกระสุนของผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กที่ถูกยิงด้วยกระสุน .44

Magnum

สิทธิศักดิ์ แจ่มนาม¹ บุชิต มาให้² อภิสิทธิ์ เตชพัฒน์กร³ ปิติ สุคนธ์สุขกุล⁴

¹อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ King Mongkut's University of Technology North Bangkok

²นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ King Mongkut's University of Technology North Bangkok

³นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ King Mongkut's University of Technology North Bangkok

⁴ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ King Mongkut's University of Technology North Bangkok

ARTICLE INFO:

Received: November 24, 2018

Received Revised Form:

February 15, 2019

Accepted: April 04, 2019

ABSTRACT:

This research was to investigate the failure patterns and energy absorption of steel fiber-reinforced concrete plates. The concrete plates were subjected to .44 Magnum bullet direct fire weapons under the U.S. National Institute of Justice (NIJ) standard. The 400 x 400 mm concrete plates were reinforced at 1%, 2% and 3% by volume of concrete with different thickness. During the test, each plate was shot by a bullet at a center of the plate. Two ballistic chronographs (velocity measuring) were placed at front and back of the tested plates at a distance of 2.5 and 0.3 meter respective. The result shows that the failure patterns of concrete plates are dependent on several factors such as thickness of the concrete plates, steel fiber content and number of shot. Typical failure patterns are perforation, scabbing, spalling, and cracking. However, few plates had no damage. Also, the energy absorption also depends on thickness of the concrete plate and volume fractions of the steel fiber.

*Corresponding Author,
Email address:
sittisak.j@eng.kmutnb.ac.th

KEYWORDS: Bulletproof concrete panel, Impact energy absorption, fiber reinforced concrete, .44 Magnum bullet

บทคัดย่อ:

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษารูปแบบการวิบัติและการดูดซับพลังงานของผนังคอนกรีตที่ผลิตจากคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กภายใต้แรงกระแทกจากกระสุนปืนขนาด .44 Magnum ตามมาตรฐาน NIJ (U.S. National Institute of Justice) ผนังคอนกรีตที่ใช้ทดสอบทำการแปรผันปริมาณเส้นใยเหล็กที่ 1%, 2% และ 3% โดยปริมาตร ที่ความหนาแตกต่างกัน และมีขนาด 400 X 400 มิลลิเมตร ในขั้นตอนการทดลอง ผนังคอนกรีตจะถูกยิงด้วยกระสุนปืนเข้าที่กึ่งกลาง โดยอุปกรณ์วัดความเร็วจะถูกติดตั้งที่ด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นทดสอบที่ระยะห่าง 2.5 และ 0.3 เมตร ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่า รูปแบบการวิบัติของผนังคอนกรีตจะมีลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ความหนาของผนังคอนกรีต สัดส่วนผสมของเส้นใยเหล็กและจำนวนของกระสุน โดยรูปแบบการวิบัติที่พบทั่วไป ได้แก่ เกิดการทะลุผ่าน (Perforation), การกะเทาะที่ผิวหน้า (Scabbing), กะเทาะออกที่ด้านหลัง (Spalling), รอยร้าว (Crack) และไม่เกิดความเสียหาย (No damage) อีกทั้งการดูดซับพลังงานจลน์ของผนังคอนกรีตขึ้นกับความหนาและปริมาณเส้นใยเหล็กอีกด้วย

คำสำคัญ: ผนังคอนกรีตกันกระสุน, การดูดซับแรงกระแทก, คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก, กระสุน .44 แม็กนัม

1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันได้เกิดเหตุการณ์ความไม่สงบในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้มาอย่างต่อเนื่อง จากการถูกโจมตีด้วยอาวุธปืน ส่งผลให้สูญเสียเจ้าหน้าที่ตำรวจและทหารที่ปฏิบัติงานในพื้นที่ รวมถึงประชาชนผู้บริสุทธิ์หลายพันราย

คอนกรีตนั้นมีความสามารถไม่เพียงพอที่จะต้านทานการกระแทกและการทะลุผ่านของกระสุนปืนได้ จึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตโดยการเสริมกำลังวัสดุด้วยเส้นใยเหล็ก โดยเส้นใยเหล็กจะทำหน้าที่ยึดรั้งรอยแตกร้าว และต้านทานแรงกระแทกเพิ่มขึ้น [1,2,3,4]

ซึ่งคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการก่อสร้างอาคารกึ่งถาวร เช่น การสร้างบังเกอร์กันกระสุนแทนที่กระสอบทรายที่มีน้ำหนักมากและขนย้ายได้ยาก ซึ่งหากนำผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กที่มีความบางและมีน้ำหนักเบา อีกทั้งยังสามารถขนย้ายได้ง่ายกว่ากระสอบทรายหรืออาจนำไปก่อสร้างผนังอาคารในพื้นที่เสี่ยงการก่อเหตุการก่อความไม่สงบ เพื่อสร้างความปลอดภัยให้แก่ชีวิตและทรัพย์สินของเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานและประชาชนในพื้นที่

จากงานวิจัยของ M.nili และคณะ [5] พบว่า การใส่เส้นใยนั้นทำให้คอนกรีตมีการวิบัติเป็นแบบเฉพาะจุด ส่วนคอนกรีตที่

ไม่ได้ใส่เส้นใยนั้นมีการวิบัติที่รุนแรงมากกว่า หรือคอนกรีตที่เปราะมากมีแนวโน้มเกิดความเสียหายมากกว่าคอนกรีตที่เปราะน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Radoslav [6] ที่พบว่าเมื่อมีปริมาณเส้นใยเหล็กเพิ่มขึ้นทำให้ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางและชิ้นส่วนของการกะเทาะลดลงและเส้นใยยังช่วยลดความเสียหายที่เกิดขึ้น แต่ถ้าใส่เส้นใยเกิน 2% จะไม่ช่วยให้ปรับปรุงคุณสมบัติต้านทานแรงกระแทกจากกระสุน

Piti Sukontasukkul [7] และ ปิยพงษ์ สุวรรณมณีโชติ [8] รูปแบบการวิบัติของแผ่นคอนกรีตล้วนพบว่าที่ด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นคอนกรีตเกิดการกะเทาะ (Scabbing and Spalling) อีกทั้งแผ่นคอนกรีตยังเกิดแตกแยกออกจากกัน และมีเศษคอนกรีตปลิวหลุดร่อน ส่วนคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กจะเกิดการกะเทาะที่ด้านหน้าและด้านหลังเช่นเดียวกัน แต่แผ่นคอนกรีตจะไม่แตกแยกออกจากกัน

การศึกษาความสามารถในการต้านทานแรงกระทำภายใต้กระสุนปืน .44 Magnum SJHP ของผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กนี้ จะทำการทดสอบโดยการยิงกระสุนปืนเข้าที่บริเวณกึ่งกลางผนังจำนวน 6 นัด ซึ่งแต่ละนัดการยิงจะทำการวัดความเสียหายที่เกิดขึ้น ในรูปแบบของความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางความเสียหาย การสูญเสียน้ำหนัก และการดูดซับพลังงาน ของตัวอย่าง

ผนังที่มีความหนาและปริมาณเส้นใยต่างกัน โดยรายละเอียดการดำเนินงานวิจัยดังนี้

2. การดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

2.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- ทหารายที่ผ่านตะแกรง No.16 และค้ำ No.50
- เส้นใยเหล็กชนิดงอปลาย (Hook-ended fiber) มีคุณสมบัติดังตารางที่ 1
- สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer)
- น้ำสะอาด

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเส้นใยเหล็ก

Shape	Length (mm)	Diameter (mm)	Aspect Ratio (L/d)	Tensile Strength (N/mm ²)
	35	0.55	64	1000

2.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

- เครื่องวัดความเร็วกระสุนปืน รุ่น Caldwell ดังภาพที่ 1 วัดความเร็ว ตั้งแต่ 1.5 – 3,027 เมตรต่อวินาที
- กระสุนปืนขนาด .44 Magnum (.44 Mag SJHP) มีคุณสมบัติดังตารางที่ 2



รูปที่ 1 เครื่องวัดความเร็วของกระสุนปืน

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของกระสุนปืน

Name	.44 Mag SJHP
Bullet weight	240grains (15.0grams)
Manufacturing	bullet master
Bullet Type	Semi-jacketed hollow point
Muzzle Velocity	494 m/s
Shape	

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

สัดส่วนผสมคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก ดังตารางที่ 3 มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.3 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย เท่ากับ 1:2 โดยปริมาตร และสัดส่วนผสมเส้นใยเหล็กที่ 1%, 2%, 3% โดยผสมแบบเพิ่มเติม

ชนิดของตัวอย่าง แปรผันตามความหนาของผนังคอนกรีตและปริมาณเส้นใยเหล็ก รวมทั้งหมด 17 ชนิด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 สัดส่วนผสมคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก

Materials	Proportion (kg/m ³)
Cement	800
Water	240
Sand	1420
Fiber (1%)	78
Fiber (2%)	156
Fiber (3%)	234

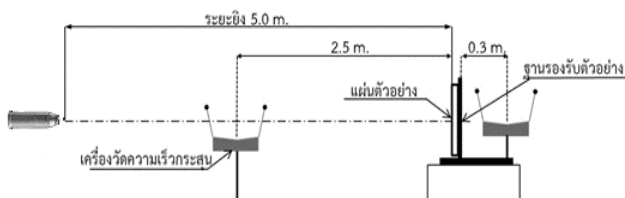
2.3 วิธีการทดสอบ

ขั้นตอนนี้เป็น การทดสอบภาคสนามโดยใช้กระสุนปืนขนาด .44 Magnum (.44 Mag SJHP) ระดับ 3A ตามมาตรฐาน National Institute of Justice (NIJ)

ขั้นแรกนำตัวอย่างทดสอบขนาด 400 x 400 มิลลิเมตร ติดตั้งบนฐานทดสอบซึ่งอยู่ห่างจากระยะแนวยิง 5 เมตร จากนั้นนำเครื่องวัดความเร็วกระสุนมาติดตั้งไว้ทางด้านหน้าและด้านหลัง ห่างจากฐานทดสอบ เป็นระยะ 2.5 และ 0.3 เมตร ตามลำดับ ดังภาพที่ 2

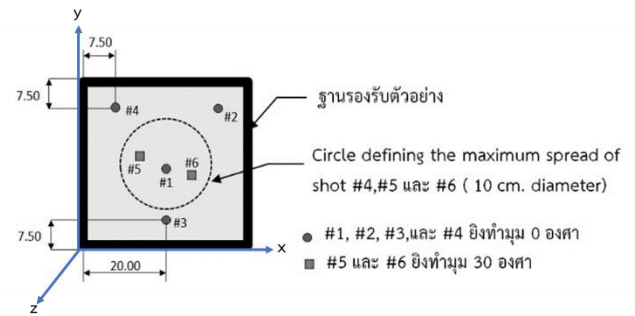
ตารางที่ 4 ชนิดของตัวอย่าง

Name	Thickness (cm)	%Fiber
1S 1	1	1
2S 1		2
3S 1		3
1S 2	2	1
2S 2		2
3S 2		3
1S 3	3	1
2S 3		2
3S 3		3
1S 4	4	1
2S 4		2
3S 5		3
1S 5	5	1
2S 5		2
3S 5		3
1S 6	6	1
2S 6		2



รูปที่ 2 การทดสอบภาคสนาม

การยิงทดสอบ ทำการยิงทั้งหมด 6 นัด เข้าที่ด้านหน้าตัวอย่างทดสอบ โดยแบ่งเป็นยิงด้วยมุม 0 องศา กับแนวระนาบ เป็นจำนวน 4 นัด และยิงด้วยมุม 30 องศา กับแนวระนาบ เป็นจำนวน 2 นัด โดยยิงเข้าบริเวณตรงกลางในวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. จำนวน 3 นัด และยิงเข้าที่ขอบจำนวน 3 นัด ดังภาพที่ 3

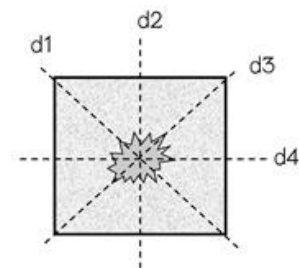


รูปที่ 3 ตำแหน่งการยิงทดสอบ

2.4 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

2.4.1 การวัดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางความเสียหาย

วัดโดยเวอร์เนียคาลิเปอร์ ทำการวัด 4 ทิศทาง ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ดังภาพที่ 4 จากนั้นเก็บข้อมูลในรูปของค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4 วิธีวัดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางการวิบัติ

2.4.2 การสูญเสียน้ำหนัก

การวัดการสูญเสียน้ำหนักทำได้โดย การชั่งน้ำหนักของตัวอย่างก่อนและหลังทำการทดสอบ ซึ่งการชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ ต้องนำหัวกระสุนออกจากตัวอย่างก่อนการชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำผลต่างที่ได้จะนำมาคำนวณเป็นร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักหลังถูกยิงด้วยกระสุน ดังสมการที่ 1

$$\text{Weight loss (\%)} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\%$$

w_1 คือ น้ำหนักของตัวอย่างก่อนทดสอบ (กิโลกรัม)

w_2 คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังทดสอบ (กิโลกรัม)

2.4.3 การดูดซับพลังงานจลน์

การดูดซับพลังงานสำหรับตัวอย่าง ที่กระสุนสามารถทะลุผ่านผนังคอนกรีตเสริมเส้นใย ทำได้โดยการนำค่าความต่างของความเร็วกระสุนก่อนและหลังปะทะ คำนวณเป็นร้อยละการดูดซับพลังงานตามหลักของพลังงานจลน์ได้ ดังสมการที่ 2

$$\text{Energy absorption (\%)} = \left(\frac{V_1^2 - V_2^2}{V_1^2} \right) \times 100$$

V_1 คือ ความเร็วกระสุนก่อนปะทะ (เมตร/วินาที)

V_2 คือ ความเร็วกระสุนหลังปะทะ (เมตร/วินาที)

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 รูปแบบความเสียหาย

จากการทดสอบ แบ่งรูปแบบความเสียหายของผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก ได้เป็น 4 รูปแบบ ดังภาพที่ 5

1.) การทะลุผ่าน (Perforation) : กระสุนทะลุผ่านผนังคอนกรีต เกิดเป็นรูจากการทะลุผ่านของกระสุน

2.) การกะเทาะ (Scabbing + Spalling) : กระสุนไม่ทะลุผ่านผนังคอนกรีต เกิดการสะท้อนกลับ และเกิดการกะเทาะที่ด้านหน้าและด้านหลังของผนังคอนกรีต

3.) รอยร้าว (Scabbing + Crack) : กระสุนไม่ทะลุผ่านผนังคอนกรีต แต่เกิดการสะท้อนกลับ และเกิดการกะเทาะที่ด้านหน้าของตัวอย่างทดสอบ เนื่องจากแรงกระแทกของกระสุนปืน บริเวณด้านหลังมีเพียงรอยร้าว

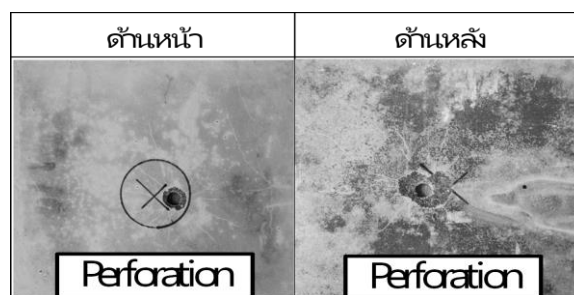
4.) ไม่เกิดความเสียหาย (Scabbing + No damage) : กระสุนไม่ทะลุผ่านผนังคอนกรีต เกิดการสะท้อนกลับ และเกิดการกะเทาะที่ด้านหน้า แต่ที่ด้านหลังของผนังไม่ได้รับความเสียหายจากแรงกระแทกของกระสุนปืน

3.2 กำลังอัด กำลังดึงผ่าซีก และกำลังดัด

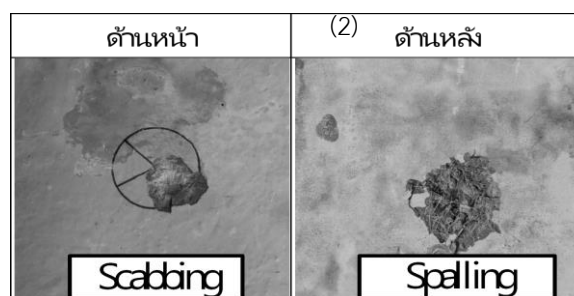
- รูปแบบความเสียหาย

จากการทดสอบด้วยการยิง 1 นัด มุม 0 องศา ภายในวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. บริเวณกึ่งกลางตัวอย่างทดสอบ โดยผลการทดสอบแสดง ดังตารางที่ 5

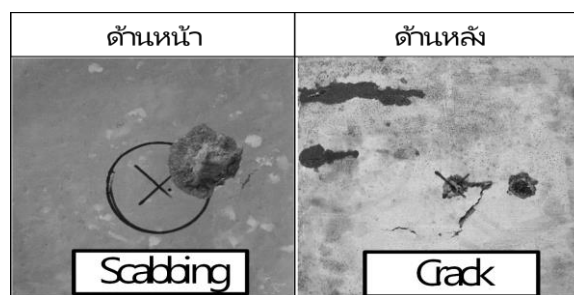
- ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางความเสียหาย



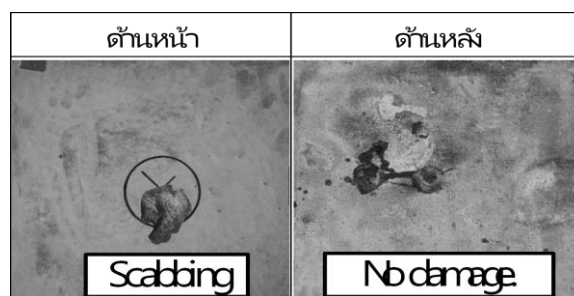
a) Perforation



b) Scabbing + Spalling



c) Scabbing + Crack



d) Scabbing + No damage

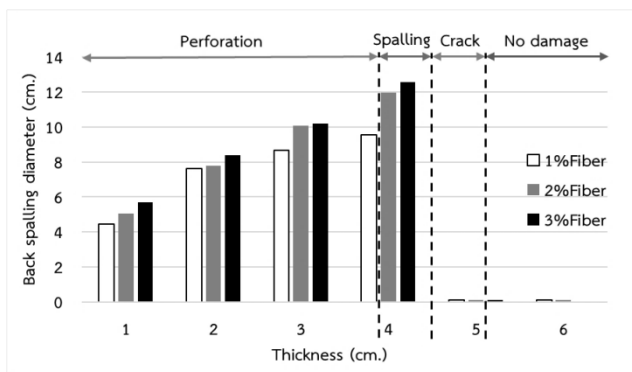
รูปที่ 5 รูปแบบความเสียหายจากการทดสอบ

ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางความเสียหายเพิ่มขึ้น ตามความหนาและสัดส่วนผสมเส้นใยเหล็ก ในช่วงความหนา 1 – 3 เซนติเมตร เนื่องจากกระสุน .44 Magnum เป็นกระสุนประเภททะลุทะลวงต่ำ แต่มีแรงกระแทกสูง เมื่อปะทะกับผนังคอนกรีต จึงเกิดความเสียหายเป็นวงกว้างและมีค่ามากที่สุด คือ ผนังคอนกรีตความหนา 4 เซนติเมตร ปริมาณเส้นใยเหล็ก 3% เป็นช่วงที่กระสุนไม่สามารถทะลุผ่านได้ แต่เกิดการกะเทาะ (Scabbing +

Spalling) และเมื่อเพิ่มความหนาเป็น 5 เซนติเมตรขึ้นไป กระสุนไม่สามารถทะลุผ่านผนังคอนกรีตได้ และไม่เกิดการกะเทาะที่ด้านหลัง ดังภาพที่ 6

ตารางที่ 5 รูปแบบความเสียหายด้วยการยิงเพียงนัดเดียว

Name	Damage Pattern
1S 1	Perforation
2S 1	Perforation
3S 1	Perforation
1S 2	Perforation
2S 2	Perforation
3S 2	Perforation
1S 3	Perforation
2S 3	Perforation
3S 3	Perforation
1S 4	Perforation
2S 4	Scabbing + Spalling
3S 5	Scabbing + Spalling
1S 5	Scabbing + Crack
2S 5	Scabbing + Crack
3S 5	Scabbing + No damage
1S 6	Scabbing + No damage
2S 6	Scabbing + No damage

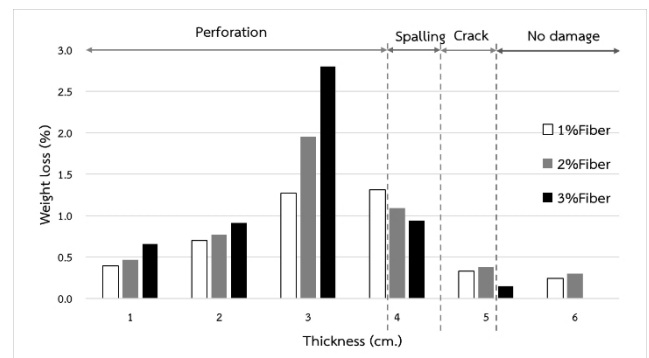


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นผ่าน

ศูนย์กลางความเสียหายกับความหนาของตัวอย่างทดสอบ

- การสูญเสียน้ำหนัก

ในช่วงความหนา 1-3 เซนติเมตร ทุกปริมาณเส้นใยเหล็ก รวมถึงความหนาเท่ากับ 4 เซนติเมตรและมีปริมาณเส้นใยเหล็ก 1% เป็นช่วงการทะลุผ่านของกระสุน ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักจะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณเส้นใยเหล็กและความหนาของผนังคอนกรีต ยกเว้นความหนา 4 เซนติเมตร ปริมาณเส้นใยเหล็ก 1% โดยความหนา 3 เซนติเมตร ปริมาณเส้นใยเหล็ก 3% เกิดการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด เพราะรูปแบบความเสียหายของผนังคอนกรีต เป็นแบบการทะลุและช่วงที่กระสุนไม่สามารถทะลุผ่านผนังคอนกรีต โดยด้านหลังเกิดเพียงรอยร้าวหรือไม่เกิดความเสียหาย (Crack or No damage) ยังคงพบการสูญเสียน้ำหนักเกิดขึ้นอยู่ เนื่องจากด้านหน้าของแผ่นคอนกรีตเกิดการกะเทาะเป็นผลจากแรงกระแทกของกระสุนปืน ดังภาพที่ 7

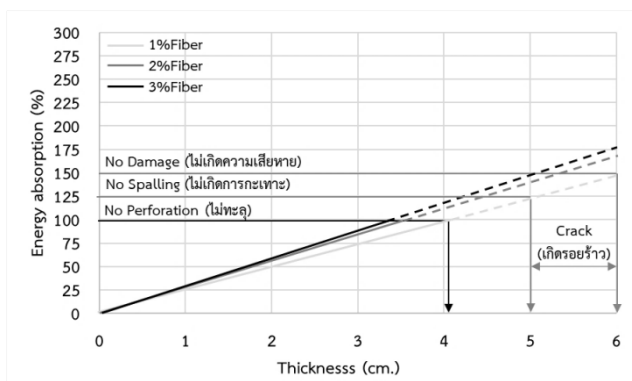


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักกับความหนาของตัวอย่างทดสอบ

- การดูดซับพลังงานจลน์

จากผลการทดสอบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับพลังงานจลน์กับความหนาของผนังคอนกรีต ดังภาพที่ 8 ซึ่งในช่วงที่เกิดการทะลุผ่าน (Perforation) ที่ความหนา 1-3 เซนติเมตร ทุกปริมาณเส้นใยเหล็กที่ใช้ผสม และความหนา 4 เซนติเมตร ที่ปริมาณเส้นใยเหล็ก 1% จะพบว่ามีความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ ตั้งแต่ 0-100% ในช่วงที่ไม่ทะลุยังคงพบการกะเทาะและรอยร้าวที่ด้านหลังอยู่ (Spalling, Crack) เนื่องจากความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ของผนังมากกว่าพลังงานจลน์ของกระสุน อีกทั้งกระสุนขนาด .44 Magnum มีความสามารถในการสร้างแรงปะทะสูงและมีการทะลุทะลวงต่ำ จึง

ส่งผลให้เกิดความเสียหายที่ด้านหลังของผนังคอนกรีตอยู่ ถ้าหากต้องการให้ผนังคอนกรีตไม่เกิดรอยร้าวที่ด้านหลังหรือไม่เกิดความเสียหาย ต้องใช้ความหนาตั้งแต่ 6 เซนติเมตรขึ้นไป หรือจำเป็นต้องเพิ่มความสามารถในการดูดซับพลังงานของผนังคอนกรีตสูงถึง 150% จึงจะสามารถทำให้ที่ด้านหลังของผนังไม่เกิดความเสียหาย (No damage) โดยความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ของผนังที่น้อยกว่า 100% (เส้นทึบ) ได้จากการทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานจลน์ของกระสุน สำหรับความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ของผนังที่มากกว่า 100% (เส้นประ) เป็นการประมาณจากผลการทดสอบ



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับพลังงานจลน์กับความหนาของผนังคอนกรีต

3.3 ยิงซ้ำ (Multi shot)

จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าช่วงความหนาของผนังคอนกรีต 1-3 เซนติเมตร ทุกปริมาณเส้นใยเหล็กที่ใช้ผสม เมื่อถูกยิงด้วยกระสุนขนาด .44 Magnum เกิดการทะลุตั้งแต่การยิงนัดแรก รวมถึงผนังคอนกรีตหนา 4 เซนติเมตรที่ปริมาณเส้นใยเหล็ก 1% แสดงให้เห็นว่าไม่มีประสิทธิภาพในการต้านทานกระสุน

ผนังคอนกรีตหนา 4 เซนติเมตร ที่ปริมาณเส้นใยเหล็ก 2-3% มีประสิทธิภาพในการต้านทานกระสุนเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยเหล็ก ซึ่งผลการทดสอบสอดคล้องเช่นเดียวกับผนังคอนกรีตหนา 5 เซนติเมตรขึ้นไป นอกจากนี้ผลการทดสอบผนังคอนกรีตหนา 6 เซนติเมตร พบว่าที่ปริมาณเส้นใยเหล็ก 2% สามารถต้านทานกระสุนได้ จำนวน 6 นัด โดยไม่เกิดความเสียหายด้านหลัง ซึ่งผ่านตามเกณฑ์การทดสอบ ดังตารางที่ 6 โดยเกณฑ์การทดสอบ คือ ผนังคอนกรีต สามารถต้านทานการทะลุของกระสุนได้ จำนวน 6 นัด และด้านหลัง ไม่เกิดความเสียหายใดๆ

ตารางที่ 6 รูปแบบความเสียหายด้วยการยิงเพียงนัดเดียว

Name	ลำดับการยิง (นัดที่)						เกณฑ์การ ทดสอบ
	0 องศา			30 องศา			
	1	2	3	4	5	6	
2S 4	S	P	-	-	-	-	x
3S 5	S	S	P	-	-	-	x
1S 5	C	P	-	-	-	-	x
2S 5	C	C	S	S	S	S	x
3S 5	C	C	S	S	S	S	x
1S 6	ND	C	C	S	S	S	x
2S 6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	✓

*หมายเหตุ : Perforation (P) คือ ด้านหลังเกิดการทะลุ, Spalling (S) คือ ด้านหลังเกิดการกะเทาะ, Crack (C) คือ ด้านหลังเกิดรอยร้าว, No damage (ND) คือ ด้านหลังไม่เกิดความเสียหาย, x คือ ไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ, ✓ คือ ผ่านเกณฑ์การทดสอบ

4. สรุปผลการวิจัย

รูปแบบความเสียหายของผนังคอนกรีต มีรูปแบบแตกต่างกันไป ตามความหนาและปริมาณเส้นใยเหล็ก โดยสำหรับการยิงเพียงนัดเดียว ผนังคอนกรีตต้องมีความหนา 5 เซนติเมตร และปริมาณเส้นใยเหล็ก 3% ถึงจะสามารถป้องกันการทะลุผ่านของกระสุนและบริเวณด้านหลังของผนังไม่เกิดความเสียหาย ส่วนการยิงซ้ำ ผนังคอนกรีตต้องมีความหนา 6 เซนติเมตรและปริมาณเส้นใยเหล็ก 2% ถึงจะผ่านเกณฑ์การทดสอบ ด้วยการยิงทั้งหมด 6 นัด ซึ่งจะไม่เกิดการทะลุและไม่เกิดความเสียหายด้านหลัง

ความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ จะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณเส้นใยเหล็กและความหนาของผนังคอนกรีตเนื่องจากปริมาณเส้นใยเหล็กและความหนาที่สูงขึ้นจะช่วยต้านทานการทะลุทะลวงของกระสุน รวมทั้งเพิ่มความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์

ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางความเสียหายและการสูญเสียน้ำหนัก ในกรณีที่กระสุนทะลุผ่านและกรณีที่เกิดการกะเทาะ ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางความเสียหายมีแนวโน้มมากขึ้นตามปริมาณเส้นใยเหล็กและความหนาของผนังคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณเส้นใยเหล็กและความหนาที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์มากขึ้น และเมื่อผนังคอนกรีตดูดซับพลังงานจลน์จะสลายพลังงานที่ได้รับจากกระสุนเกิดเป็นการกะเทาะ ดังนั้น จึงส่งผลให้การสูญเสียน้ำหนักมากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตามสัญญาเลขที่ KMUTNB-61-NEW-005

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sukontasukkul, P., Sept. 2003, Flexural Behaviour of Circular Steel Fibre Reinforced Concrete Plates, International Symposia Celebrating Concrete: People and Practice-Role of Concrete in Sustainable Development, pp. 193-200
- [2] Sukontasukkul P., 2001, Impact Behavior of Concrete under Multiaxial Loading, PhD Thesis, University of British Columbia.
- [3] Mindess, S., Young, SF., Darwin, D, 2002, Concrete 2nd Edition, Prentice Hall.
- [4] Sukontasukkul, P., Mindess, S., and Banthia, N., June 2002, Penetration Resistance of Hybrid Fibre Reinforced Concrete under Low Velocity Impact Loading, Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, Montreal, Montreal, Quebec, Canada.
- [5] M. Nili , A.H. Ghorbankhani , A. AlaviNia , M. Zolfaghari, 2016, Assessing the impact strength of steel fibre-reinforced concrete under quasi-static and high velocity dynamic impacts, Construction and Building Materials 107: 264-271.
- [6] Radoslav Sovjak, Tomas Vavriník, Jan Zatloukal, Petr Maca , Tomas Micunek , Michal Frydryn , 2015, Resistance of slim UHPFRC targets to projectile impact using in-service bullets, International Journal of Impact Engineering 76 : 166-177
- [7] Piti Sukontasukkul, Sittisak Jamnam, Kittipoom Rodsin, Nemkumar Banthia, 2013, Use of rubberized concrete as a cushion layer in bulletproof fiber reinforced concrete panels , Construction and Building Materials 41 : 801-811

[8] ปิยพงษ์ สุวรรณมณีโชติ และคณะ, 2016, Development of high performance concrete for bulletproof wall panel application, Naresuan University Engineering Journal.