Rattanakosin Journal of Science and Technology: RJST
2019, Volume 1 Issue 1: 28-38
Research Article
Online ISSN: 2673-0553

การศึกษารูปแบบความเสียหาย และการดูดซับพลังงานจลน์ของผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กกันกระสุน เมื่อถูกยิงด้วยกระสุนขนาด .44 Magnum

Study on Failure Patterns and Energy absorption of Fiber Reinforced Concrete Panel Subjected with .44 Magnum Bullet

สิทธิศักดิ์ แจ่มนาม[1*], บูชิต มาโห้[2] , อภิสิทธิ์ เตชพัฒนากร[3] , ปิติ สุคนธสุขกุล[4]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษารูปแบบความเสียหาย การสูญเสียน้ำหนัก และการดูดซับพลังงานจลน์ของผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก เมื่อถูกยิงด้วยกระสุน .44 Magnum ในขั้นตอนการทดสอบทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นทดสอบที่ระยะห่าง 2.5 และ 0.3 เมตร ตามลำดับ จากนั้นผนังถูกยิงด้วยกระสุนปืนเข้าที่กึ่งกลาง โดยผนังที่ใช้มีการแปรผันปริมาณเส้นใยเหล็กเท่ากับ 1%, 2% และ 3% โดยปริมาตร ที่ความหนาแตกต่างกัน จากการทดสอบพบว่า รูปแบบการวิบัติของผนังคอนกรีตจะมีลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความหนาและปริมาณเส้นใยเหล็ก โดยรูปแบบการวิบัติที่พบทั่วไป ได้แก่ เกิดการทะลุผ่าน (Perforation), การกะเทาะที่ผิวหน้า (Scabbing), กะเทาะออกที่ด้านหลัง (Spalling), รอยร้าว (Crack) และไม่เกิดความเสียหาย (No damage)

คำสำคัญ : คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก กระสุน .44 Magnum การดูดซับพลังงานจลน์ ผนังกันกระสุน

[1, 2, 3, 4] ศูนย์วิจัยวัสดุอาคารและงานก่อสร้าง สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[1]E-mail: sittisak.j@eng.kmutnb.ac.th

[2]E-mail: b.m.civil.kmutnb@gmail.com

[3]E-mail: apisit.civileng@gmail.com

[4]E-mail: piti.s@eng.kmutnb.ac.th

[*]Corresponding author, e-mail: sittisak.j@eng.kmutnb.ac.th

Abstract

This study was to investigate the failure patterns and energy absorption of bulletproof panel made of steel fiber-reinforced concrete plates. The plates were subjected to .44 Magnum bullet direct fire weapons from 5 meter for study the damage, weight loss and energy absorption with different thickness and fiber content. 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 to determine the energy absorption. The result shows that the failure patterns of concrete plates are dependent on plate thickness and fiber content. 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.

Keywords: Fiber reinforced concrete, .44 Magnum bullet, Energy absorption, Bulletproof panel

---

1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันได้เกิดเหตุการณ์ความไม่สงบในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้มาอย่างต่อเนื่อง จากการถูกโจมตีด้วยอาวุธปืนส่งผลให้สูญเสียเจ้าหน้าที่ตำรวจและทหารที่ปฏิบัติงานในพื้นที่รวมถึงประชาชนผู้บริสุทธิ์หลายพันราย จึงเล็งเห็นถึงความสำคัญในการปกป้องชีวิตของเจ้าหน้าที่และประชาชนจากเหตุการณ์เหล่านี้ โดยทั่วไปแล้วการสร้างบังเกอร์กันกระสุนทำจากกระสอบทรายที่มีน้ำหนักมากและฉีกขาดได้ง่าย จึงมีแนวคิดที่จะนำคอนกรีตมาทำเป็นที่กำบัง โดยจากการศึกษาพบว่าคอนกรีตนั้นมีความสามารถไม่เพียงพอที่จะต้านทานการกระแทกและการทะลุผ่านของกระสุนปืนได้ จึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตโดยการเสริมกำลังวัสดุด้วยเส้นใยเหล็ก โดยเส้นใยเหล็กจะทำหน้าที่ยึดรั้งรอยแตกร้าว และมีความสามารถในการต้านทานแรงกระแทกเพิ่มขึ้น [1-4] ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้นำคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กมาทำการทดสอบการต้านทานกระสุน .44 Magnum เพื่อเป็นข้อแนะนำในการออกแบบผนังกันกระสุน

2. วัตถุประสงค์

ศึกษารูปแบบความเสียหาย การสูญเสียน้ำหนัก และความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ เมื่อถูกยิงด้วยกระสุนปืน .44 Magnum SJHP ของผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กกันกระสุนที่มีปริมาณเส้นใยเหล็กและความหนาแตกต่างกันโดยผนังจะต้องไม่เกิดการทะลุ และการกะเทาะที่บริเวณด้านหลัง อีกทั้งเพื่อให้ได้เป็นองค์ความรู้พื้นฐานในการออกแบบและพัฒนาผนังเสริมเส้นใยเหล็กกันกระสุน

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยของ M.Nili และคณะ [5] พบว่า การใส่เส้นใยนั้นทำให้คอนกรีตมีการวิบัติเป็นแบบเฉพาะจุด ส่วนคอนกรีตที่ไม่ได้ใส่เส้นใยนั้นมีการวิบัติที่รุนแรงมากกว่า อีกทั้งยังพบว่าคอนกรีตที่เปราะมากมีแนวโน้มเกิดความเสียหายมากกว่าคอนกรีตที่เปราะน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Radoslav [6] ที่พบว่าเมื่อมีปริมาณเส้นใยเหล็กเพิ่มขึ้นทำให้ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางและชิ้นส่วนของการกะเทาะลดลงและเส้นใยยังช่วยลดความเสียหายที่เกิดขึ้น แต่ถ้าใส่เส้นใยเกิน 2% โดยปริมาตรจะไม่ช่วยให้ปรับปรุงคุณสมบัติต้านทานแรงกระแทกจากกระสุน

Piti Sukontasukkul และคณะ [7] และ ปิยพงษ์ สุวรรณมณีโชติ และคณะ [8] พบว่า รูปแบบการวิบัติของแผ่นคอนกรีตล้วน จะเป็นการเกิดการกะเทาะบริเวณด้านหน้าและด้านหลัง (Scabbing and Spalling) อีกทั้งแผ่นคอนกรีตยังเกิดแตกแยกออกจากกัน และมีเศษคอนกรีตปลิวหลุดร่อน ส่วนคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กจะเกิดการกะเทาะที่ด้านหน้าและด้านหลังเช่นเดียวกัน แต่แผ่นคอนกรีตจะไม่แตกแยกออกจากกัน

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 วัสดุและอุปกรณ์

4.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

4.1.2 ทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์16 และค้างตะแกรงเบอร์50 (ขนาด 1.19-0.295 มิลลิเมตร)

4.1.3 น้ำสะอาด

4.1.4 สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer)

4.1.5 เส้นใยเหล็กชนิดงอปลาย (Hook-ended fiber) มีคุณสมบัติ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเส้นใยเหล็ก

Length (l)	Diameter (d)	Aspect ratio (l/d)	Young's modulus	Tensile strength
35 mm.	0.55 mm.	65	210,000 MPa	1,000 MPa
Shape				

4.1.6 เครื่องวัดความเร็วกระสุน สามารถวัดความเร็วตั้งแต่ 1.5 – 3,027 เมตรต่อวินาที

4.1.7 กระสุนปืนขนาด .44 Magnum (.44 Mag SJHP) มีคุณสมบัติ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของกระสุนปืน

Caliber	Bullet diameter	Bullet mass	Bullet Type	Muzzle Velocity
.44 Magnum	10.9 mm.	240 gr (15.0 g)	Semi-jacketed hollow point	494 m/s
Shape				

4.2 การเตรียมตัวอย่างและรูปแบบตัวอย่างทดสอบ

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

ตารางที่ 3 สัดส่วนผสมคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก

Cement (kg/m^3)	Sand (kg/m^3)	Water (kg/m^3)	Fiber by Volume. (kg/m^3)		
			1%	2%	3%
800	1420	240	78	156	234

การศึกษานี้ได้ทำการทดสอบผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กกันกระสุน ปริมาณเส้นใยเหล็ก 1%, 2% และ 3% โดยมีความหนา ตั้งแต่ 10-60 มิลลิเมตร รวมทั้งหมด 17 ชนิด ชนิดละ 3 ตัวอย่าง ยกเว้นที่ความหนา 60 มิลลิเมตร ที่มีปริมาณเส้นใยเหล็กเพียง 1% และ 2% เท่านั้น โดยตัวอย่างทดสอบแสดงดังตารางที่ 4

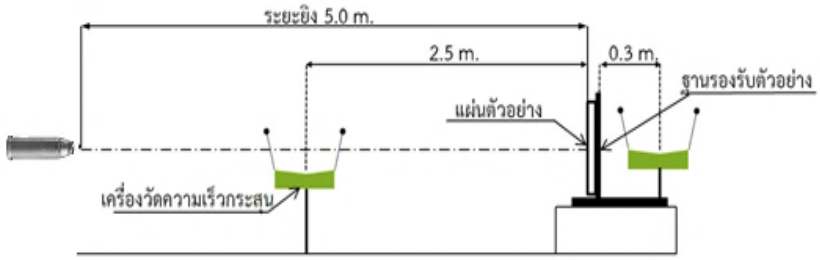
ตารางที่ 4 รูปแบบตัวอย่างทดสอบ

Fiber content (%) by Volume.	Thickness (mm.)

1	10, 20, 30, 40, 50, 60
2	10, 20, 30, 40, 50, 60
3	10, 20, 30, 40, 50

4.3 วิธีการทดสอบ

วิธีการทดสอบทำได้โดยการนำตัวอย่างทดสอบขนาด 400 x 400 มิลลิเมตร ติดตั้งบนฐานรองรับซึ่งประกอบขึ้นจากเหล็ก เป็นระยะห่างจากแนวยิง 5 เมตร จากนั้นติดตั้งเครื่องวัดความเร็วกระสุนที่ด้านหน้าและด้านหลังห่างจากฐานทดสอบ เป็นระยะ 2.5 และ 0.3 เมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 1 เมื่อติดตั้งอุปกรณ์และผนังตัวอย่างทดสอบเรียบร้อยแล้ว จึงทำการยิงด้วยกระสุนปืนขนาด .44 Magnum (.44 Mag SJHP) เข้าที่บริเวณกึ่งกลางจำนวน 1 นัด แล้วจึงทำการเก็บข้อมูลรูปแบบความเสียหาย การสูญเสียน้ำหนัก และความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์

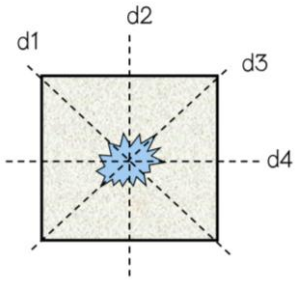


รูปที่ 1 การทดสอบภาคสนาม

4.4 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

4.4.1 การวัดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางความเสียหาย

วัดโดยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ทำการวัด 4 ทิศทาง ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ดังรูปที่ 2 จากนั้นเก็บข้อมูลในรูปของค่าเฉลี่ย



รูปที่ 2 วิธีการวัดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางการวิบัติ

4.4.2 การสูญเสียน้ำหนัก

การวัดการสูญเสียน้ำหนักทำได้โดย การชั่งน้ำหนักของตัวอย่างก่อนและหลังทำการทดสอบ ซึ่งการชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ ต้องนำหัวกระสุนออกจากตัวอย่างก่อนการชั่งน้ำหนัก จากนั้นผลต่างที่ได้จะนำมาคำนวณเป็นร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักหลังถูกยิงด้วยกระสุน ดังสมการที่ 1

$$\text{Weight loss (\%)} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \text{x } 100\% \quad (1)$$

โดยที่ w_1 คือ น้ำหนักของตัวอย่างก่อนทดสอบ (กิโลกรัม)

w_2 คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังทดสอบ (กิโลกรัม)

4.4.3 การดูดซับพลังงานจลน์

การดูดซับพลังงานสำหรับตัวอย่างที่กระสุนสามารถทะลุผ่านผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กได้ จะนำความเร็วของกระสุนก่อนและหลังปะทะมาคำนวณเป็นความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ตามหลักของพลังงานจลน์ได้ ดังสมการที่ 2 โดยสมมติว่ามวลของกระสุนไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากการปะทะ

$$\text{Energy absorption (J)} = \frac{1}{2} m(v_1^2 - v_2^2) \quad (2)$$

โดยที่ v_1 คือ ความเร็วกระสุนก่อนปะทะ (เมตร/วินาที)

v_2 คือ ความเร็วกระสุนหลังปะทะ (เมตร/วินาที)

m คือ มวลของกระสุน (kg)

5. ผลและวิจารณ์

5.1 รูปแบบความเสียหาย

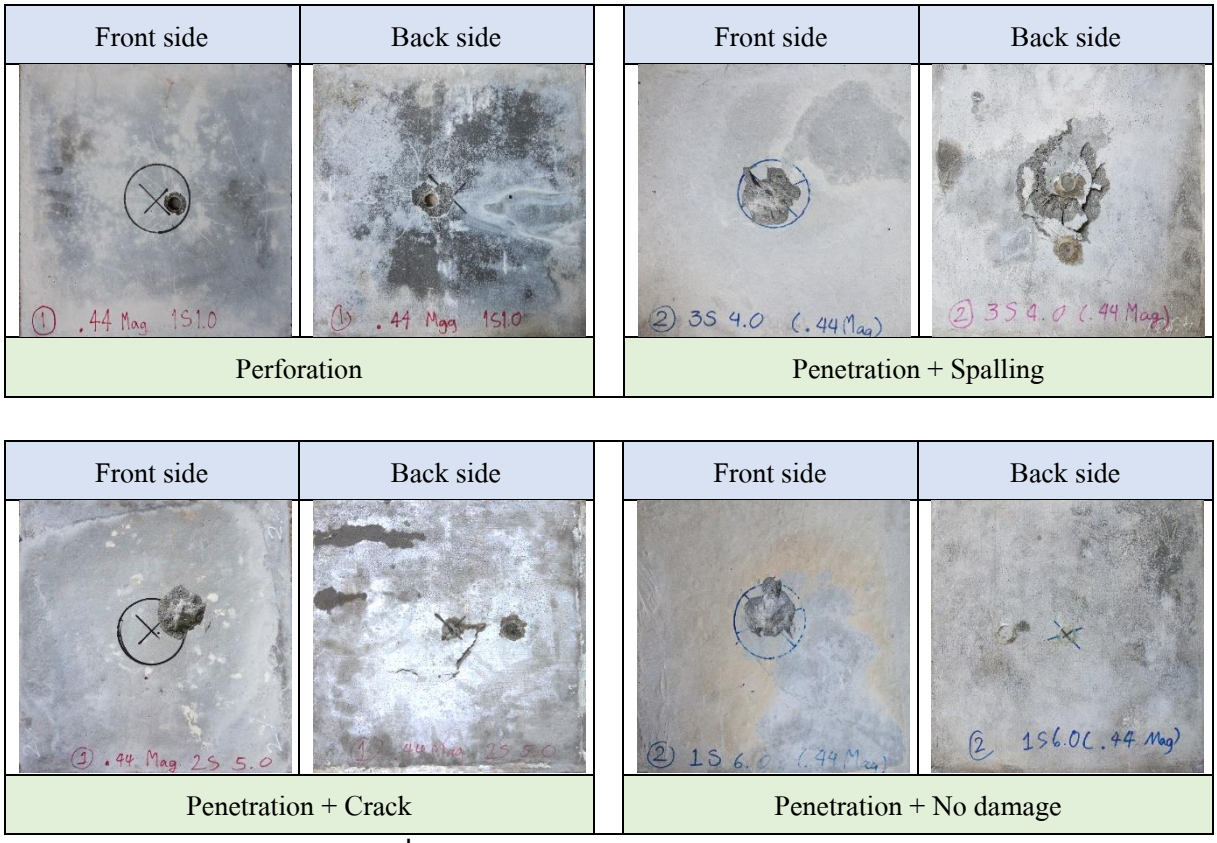
จากการทดสอบ แบ่งรูปแบบความเสียหายของผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก ได้เป็น 4 รูปแบบ ดังรูปที่ 3

1.) ทะลุผ่าน (Perforation) : กระสุนทะลุผ่านผนังคอนกรีต เกิดเป็นรูจากการทะลุผ่านของกระสุน ซึ่งสามารถเห็นรูของการทะลุได้อย่างชัดเจน

2.) ไม่ทะลุแต่เกิดการกะเทาะ (Penetration + Spalling) : กระสุนไม่ทะลุผ่านผนังคอนกรีต เกิดการสะท้อนกลับ และเกิดการกะเทาะที่ด้านหน้าและด้านหลังของผนังคอนกรีต

3.) ไม่ทะลุแต่เกิดรอยร้าว (Penetration + Crack) : กระสุนไม่ทะลุผ่านผนังคอนกรีต แต่เกิดการสะท้อนกลับ และเกิดการกะเทาะที่ด้านหน้าของตัวอย่างทดสอบ เนื่องจากแรงกระแทกของกระสุนปืน บริเวณด้านหลังมีเพียงรอยร้าว

4.) ไม่ทะลุและไม่เกิดความเสียหาย (Penetration + No damage) : กระสุนไม่ทะลุผ่านผนังคอนกรีต เกิดการสะท้อนกลับ และเกิดการกะเทาะที่ด้านหน้า แต่ที่ด้านหลังของผนังไม่ได้รับความเสียหายจากแรงกระแทกของกระสุนปืน



รูปที่ 3 รูปแบบความเสียหายจากการทดสอบ

จากการทดสอบด้วยการยิง 1 นัด แนวตรง ภายในวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. บริเวณกึ่งกลางตัวอย่างทดสอบ โดยผลการทดสอบแสดง ดังตารางที่ 5

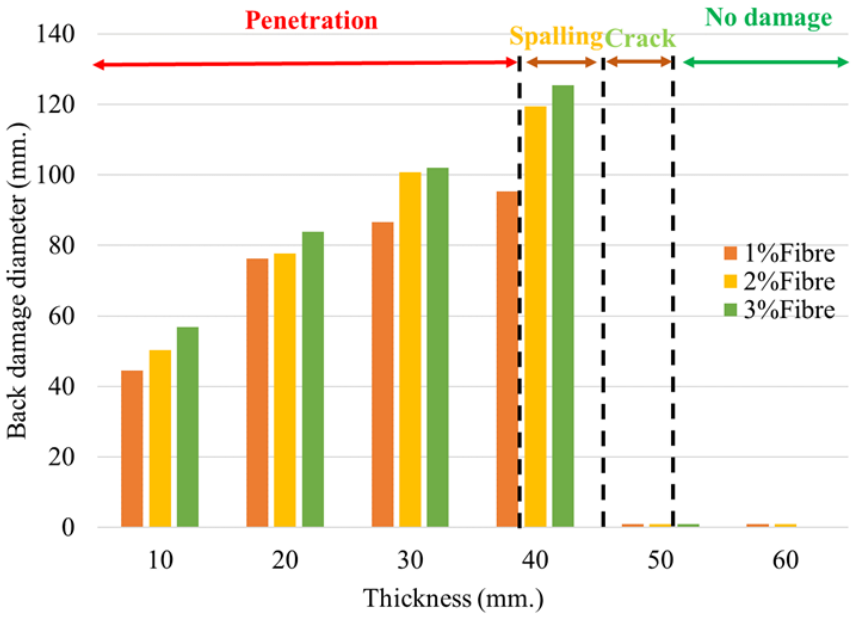
ตารางที่ 5 รูปแบบความเสียหายของผนังในตัวอย่างแต่ละประเภท

Failure pattern	Type of specimens
Perforation	คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กปริมาณ 1%, 2% และ 3% ที่ความหนา 10, 20, 30 มิลลิเมตร รวมทั้งคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กปริมาณ 1% ความหนา 40 มิลลิเมตร
Penetration + Spalling	คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กปริมาณ 2% และ 3% ความหนา 40 มิลลิเมตร

Failure pattern	Type of specimens
Penetration + Crack	คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก 1% และ 2% ความหนา 50 มิลลิเมตร
Penetration + No damage	คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก 1% และ 2% ความหนา 60 มิลลิเมตร รวมทั้งคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก 3% ความหนา 50 มิลลิเมตร

5.3 ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางความเสียหาย

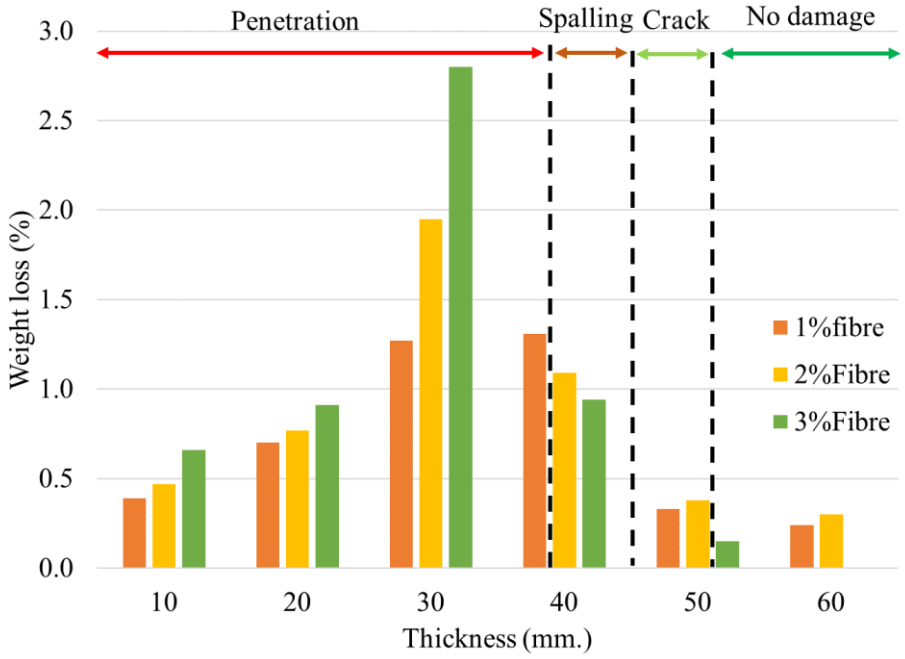
ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางความเสียหายเพิ่มขึ้น ตามความหนาและสัดส่วนผสมเส้นใยเหล็กในช่วงความหนา 10 – 30 มิลลิเมตร เนื่องจากกระสุน .44 Magnum SJHP เป็นกระสุนประเภททะลุทะลวงต่ำ แต่มีแรงกระแทกสูง เมื่อปะทะกับผนังคอนกรีต จึงเกิดความเสียหายเป็นวงกว้าง โดยมีค่ามากที่สุดเมื่อผนังคอนกรีตมีความหนา 40 มิลลิเมตร ปริมาณเส้นใยเหล็ก 3% ซึ่งเป็นช่วงที่กระสุนไม่สามารถทะลุผ่านได้ แต่เกิดการกะเทาะ (Penetration + Spalling) และเมื่อเพิ่มความหนาเป็น 50 มิลลิเมตรขึ้นไป กระสุนไม่สามารถทะลุผ่านผนังคอนกรีตได้ และไม่เกิดการกะเทาะที่ด้านหลัง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางความเสียหายด้านหลัง

5.4 การสูญเสียน้ำหนัก

ช่วงความหนา 10-30 มิลลิเมตร ทุกปริมาณเส้นใยเหล็ก เป็นช่วงการทะลุผ่านของกระสุน ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักจะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณเส้นใยเหล็กและความหนาของผนังคอนกรีต โดยความหนา 30 มิลลิเมตร ปริมาณเส้นใยเหล็ก 3% เกิดการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด หลังจากนั้นจะเข้าสู่ช่วงที่กระสุนไม่ทะลุผ่านแต่ยังคงเกิดการกะเทาะหรือรอยร้าว (Penetration + spalling and crack) พบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักลดลง เนื่องจากมีความเสียหายลดลง ในช่วงที่กระสุนไม่สามารถทะลุผ่านผนังคอนกรีตและไม่เกิดความเสียหาย (Penetration + no damage) ยังคงพบการสูญเสียน้ำหนักเกิดขึ้นอยู่ เนื่องจากด้านหน้าของแผ่นคอนกรีตเกิดการกะเทาะ ซึ่งเป็นผลจากแรงกระแทกของกระสุนปืน ดังรูปที่ 5

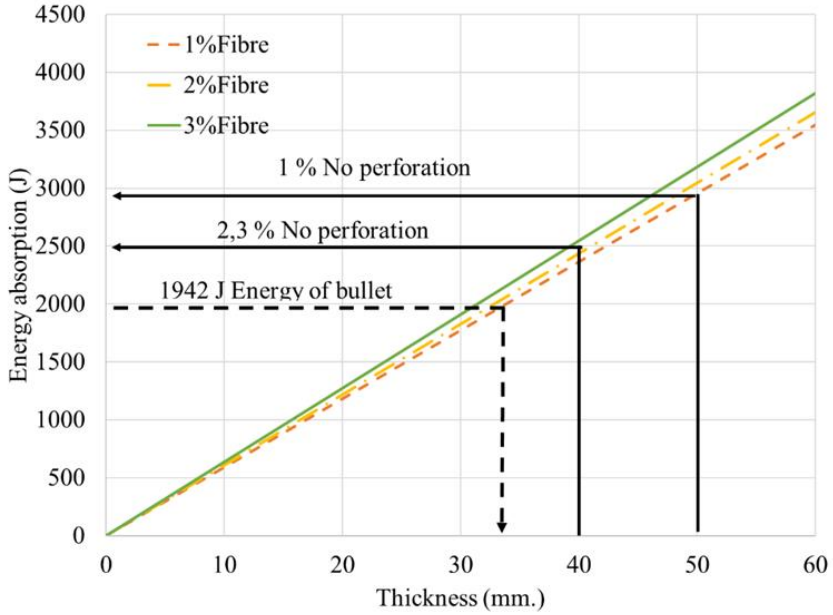


รูปที่ 5 ร้อยละกาสูญเสียน้ำหนัก

5.5 การดูดซับพลังงานจลน์

จากผลการทดสอบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับพลังงานจลน์กับความหนาของผนังคอนกรีต ดังรูปที่ 6 ซึ่งในช่วงที่เกิดการทะลุผ่าน (Perforation) ที่ความหนา 10-30 มิลลิเมตร พบว่าเป็นช่วงที่ความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ของผนังน้อยกว่าพลังงานของกระสุน และเมื่อความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์มากกว่าพลังงานจลน์ของกระสุน (มากกว่า 1942 จูล) ที่ความหนา 40 มิลลิเมตร ปริมาณเส้นใยเหล็ก 2% และ 3% กระสุนจะไม่ทะลุผ่านผนังแต่เกิดการกะเทาะ (Penetration + spalling) เว้นแต่ที่ปริมาณเส้นใยเหล็ก 1% พบว่าความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ของผนังมากกว่ากระสุนยังคงเกิดการทะลุ ทั้งนี้เกิดขึ้นจากปริมาณเส้นใยที่น้อย ไม่เพียงพอต่อการต้านทานแรงปะทะของกระสุน อีกทั้งกระสุนยังออกแบบมาเพื่อสร้างแรงปะทะทำให้เกิดความเสียหายเป็นวงกว้าง จึงทำให้ผนังไม่สามารถต้านทานได้ ดังนั้น

ความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ของผนังต้องมากกว่า 2955 จูล (คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก 1 % หนา 50 มิลลิเมตร) ขึ้นไป จึงจะสามารถป้องกันการทะลุและการกะเทาะได้



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับพลังงานจลน์กับความหนาของผนังคอนกรีต

6. สรุปผล

รูปแบบความเสียหายของผนังคอนกรีต มีรูปแบบแตกต่างกันไปตามความหนาและปริมาณเส้นใยเหล็ก ซึ่งมีตั้งแต่การทะลุ การไม่ทะลุแต่กะเทาะ การไม่ทะลุแต่เกิดร้อยร้าว และการไม่ทะลุและไม่เกิดความเสียหาย ซึ่งความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางความเสียหายและการสูญเสียน้ำหนัก ในกรณีที่กระสุนทะลุผ่านและกรณีที่เกิดการกะเทาะ ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางความเสียหายมีแนวโน้มมากขึ้นตามปริมาณเส้นใยเหล็กและความหนาของผนังคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณเส้นใยเหล็กและความหนาที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์มากขึ้น และเมื่อผนังคอนกรีตดูดซับพลังงานจลน์จะสลายพลังงานที่ได้รับจากกระสุนเกิดเป็นการกะเทาะ ดังนั้น จึงส่งผลให้การสูญเสียน้ำหนักมากขึ้น ดังนั้นในการออกแบบผนังคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กกันกระสุนขนาด .44 Magnum จะต้องออกแบบให้ผนังมีความหนาอย่างน้อยที่สุด 50 มิลลิเมตร และมีปริมาณเส้นใยเหล็ก 3% จึงจะเพียงพอต่อการป้องกันการทะลุและการกะเทาะด้านหลังของผนัง

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตามสัญญาเลขที่ KMUTNB-61-NEW-005

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Sukontasukkul, P. Flexural behaviour of circular steel fibre reinforced concrete plates, International Symposia Celebrating Concrete: People and Practice-Role of Concrete in Sustainable Development. 2003, 193-200.

[2] Sukontasukkul P. (2001). Impact Behavior of Concrete under Multiaxial Loading. PhD Thesis, University of British Columbia.

[3] Mindess, S., Young, S. F., and Darwin, D. (2002). Concrete 2nd Edition. Prentice Hall.

[4] Sukontasukkul, P., Mindess, S., and Banthia, N. Penetration resistance of hybrid fibre reinforced concrete under low velocity impact loading, Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering,, June 2002. Montreal, Montreal, Quebec, Canada.

[5] Nili, M., Ghorbankhani, A.H., Alavinia, A., and Zolfaghari, M. (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, S., Tomas, V., Jan, Z., Petr, M., Tomas, M. and Michal, F. (2015). Resistance of slim UHPFRC targets to projectile impact using in-service bullets. International Journal of Impact Engineering. 76, 166-177.

[7] 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, 801-811.

[8] ปิยพงษ์ สุวรรณมณีโชติ. (2016). Development of high performance concrete for bulletproof wall panel application. Naresuan University Engineering Journal. 4, 11-21.