

การพัฒนาคอนกรีตประสิทธิภาพสูงสำหรับกำแพงป้องกันกระสุน
Development of high performance concrete
for bulletproof wall panel application

ปิยพงษ์ สุวรรณ์มณฑ์ชิต^{1,2}, พงษ์ธร จุฬพันธ์ทอง^{2,3*}, ประเทือง โมราрай⁴, ภานุวัฒน์ จ้อยกลัด⁵, ธนากร พิรพันธ์⁶

¹สาขาวิชาชีวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

²หน่วยวิจัยเพื่อนวัตกรรมวัสดุก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเร嫂ว

³ภาควิชาชีวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

⁴ภาควิชาชีวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

⁵ภาควิชาชีวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

⁶ภาควิชาชีวกรรมโยธา กองวิชาชีวกรรมไฟฟ้าและโยธา กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

*Corresponding author e-mail: pop_civil@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาคอนกรีตประสิทธิภาพสูงเพื่อใช้ป้องกันกระสุน โดยสนใจความสามารถในการดูดซับพลังงานจนนิ่งของคอนกรีตปกติ (NC) คอนกรีตกำลังสูง (HSC) คอนกรีตผสมเส้นใยพอลิเมอร์ (PFRC) และคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก (SFRC) โดยหล่อแผ่นคอนกรีตขนาด 40x40 เซนติเมตร หนา 5.75 และ 10 เซนติเมตร ใช้กระสุนขนาด 7.62 มิลลิเมตร ยิงแผ่นคอนกรีต ยิงตรง ตั้งฉากห่างจากผิwtอย่าง 200 เมตร วัดความเร็วของกระสุนเป็นก่อนและหลังกระแทกแผ่นคอนกรีต รวมไปถึงพิจารณารูปแบบการวิบัติ ผลการทดสอบปรากฏว่า คอนกรีตกำลังสูงสามารถดูดซับพลังงานจนนิ่งของกระสุนได้ดี แต่เสียหายค่อนข้างมาก โดยผังหนา 5 เซนติเมตร ดูดซับพลังงานจนนิ่งเท่ากับคอนกรีต NC และ PFRC ที่หนา 7.5 เซนติเมตร เส้นใยในคอนกรีต SFRC ช่วยให้คอนกรีตหนึ่งขั้น และป้องกันแรงกระแทกจากกระสุนได้ดี โดยผิวคอนกรีตบางส่วนจะแตกออก

คำสำคัญ: ผนังกันกระสุน, คอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก, คอนกรีตผสมเส้นใยพอลิเมอร์, คอนกรีตกำลังสูง, ความเร็วกระสุน

Abstract

The main objective of this work is to develop high performance concrete for bulletproof application. The bullet energy adsorption efficiency of four concrete categories including normal concrete (NC), high strength concrete (HSC), polymer fiber reinforced concrete (PFRC) and steel fiber reinforced concrete (SFRC) were studied. The dimensions of the panels are 40x40 cm with the thickness of 5, 7.5 and 10 cm for energy adsorption test. The 7.62-mm bullet was shot from the distance 200 m and perpendicular to the surface. The bullet speed before and after impact through a plate were measured. This study suggested that the HSC specimens show highest energy adsorption while they reveal a lot of damage. The 5 cm. thick specimens of HSC showed energy adsorb ability equal to the NC or PFRC plate with 7.5 cm thick. Steel fiber reinforcement increased the concrete ductility and bullet resistance ability of concrete.

Keywords: Bulletproof Wall Panel, Steel Fiber Reinforced Concrete, Polymer Fiber Reinforced Concrete, High Strength Concrete, Bullet velocity

1. บทนำ

ปัญหาความไม่สงบในสามจังหวัดชายแดนใต้ส่งผลต่อความมั่นคงของประเทศไทย แม้ที่ผ่านมาหน่วยงานรัฐทุ่มทรัพยากรเพื่อแก้ปัญหา แต่ยังไม่มีแนวโน้มคลี่ค่ายในเวลาอันใกล้ กองทัพจึงเป็นหน่วยงานหลักในการแก้ปัญหาอย่างต่อเนื่อง เหตุการณ์ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2557 ต้องสูญเสีย

เจ้าหน้าที่ตำรวจ ทหาร ไปแล้วอย่างน้อย 4,399 นาย ประชาชนบาดเจ็บ 5,782 ราย เสียชีวิต 3,786 ราย [1] หนทางหนึ่งในการลดความสูญเสียและปกป้องเจ้าหน้าที่ในสามจังหวัดชายแดนใต้ คือ สร้างอาคารที่สามารถทนทานแรงปะทะจากกระสุน อาวุธปืน หรือแรงระเบิด โดยทั่วไป นิยมสร้างอาคารถาวรเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งสามารถรับ

น้ำหนักได้สูง แต่ไม่ได้ออกแบบเพื่อรับการโจมตีด้วยอาวุธ ดังกล่าว จึงจำเป็นต้องปรับปรุงสมบัติเชิงพะ เช่น จะต้องคำนึงถึงพลังงานและแรงประทของกระสุนไม่ให้ทะลุผ่านคอนกรีต เมื่อกระสุนปืนตกกระหบคอนกรีตจะมีการแตกเปลี่ยนพลังงานกัน หากคอนกรีตสามารถถ่ายเทพลังงานจากกระสุนจนหมด กระสุนก็จะไม่สามารถทะลุผ่านคอนกรีต กลไกสำคัญในการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทพลังงานจากกระสุนมาที่คอนกรีตคือ การเพิ่มสมบัติทางด้านความเหนียวของวัสดุในประเด็นการรับแรงดึงและแรงกระแทก ซึ่งคอนกรีตเป็นวัสดุที่สามารถรับกำลังอัดสูงแต่มีค่าความเหนียวต่ำมาก ทำให้ความสามารถในการลดพลังงานของกระสุนปืนมีค่าต่ำ การปรับปรุงสมบัติทางด้านความเหนียวของคอนกรีตสามารถทำได้โดยการเสริมกำลังด้วยวัสดุเส้นใย เช่น เส้นใยแก้ว (fiberglass) เส้นใยพอลิเมอร์ (polymer fiber) [2, 3] หรือ เส้นใยเหล็ก (steel fiber) [4, 5]

Banthia และคณะ [6] ศึกษาการนำ crimped steel fiber ที่ยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ มาปรับปรุงสมบัติความเหนียวของคอนกรีต โดย crimped steel fiber ที่นำมาใช้เป็นวัสดุเสริมกำลังคอนกรีตมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง สามขนาด แบ่งเป็นสองกลุ่ม คือ crimped steel fiber ขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.80 มิลลิเมตร) และ crimped steel fiber ขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.45 และ 0.40 มิลลิเมตร) ปกติคอนกรีตที่ผสมเส้นใยขนาดเล็กมีกำลังดึงสูงกว่าคอนกรีตที่ผสมเส้นใยขนาดใหญ่ เนื่องจากเส้นใยขนาดเล็กทำให้เกิดรอยร้าวขนาดเล็ก (micro cracks) ขณะที่เส้นใยขนาดใหญ่เกิดรอยร้าวขนาดใหญ่ (macro cracks) เส้นใยขนาดใหญ่มีรากฐานกว่าเส้นใยขนาดเล็ก ดังนั้น งานวิจัยของ Banthia จึงศึกษา flexural toughness factor ของคอนกรีตที่เสริมกำลังด้วย crimped steel fiber ขนาดใหญ่ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ flexural toughness factor เนื่องจากการผสม crimped steel fiber ขนาดเล็ก ผลศึกษาสรุปได้ว่า การผสม crimped steel fiber เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก กับคอนกรีตที่เสริมกำลังด้วย crimped steel fiber ขนาดใหญ่ ช่วยให้ flexural toughness factor ของตัวอย่างเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่า flexural toughness factor ของตัวอย่างที่ผสม crimped steel fiber ขนาดเล็ก ร่วมกับ crimped steel fiber ขนาดใหญ่ ในสัดส่วนต่างๆ มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตที่เสริมกำลังด้วย crimped steel fiber ขนาดเล็ก เพียงอย่างเดียว

Tassew และคณะ [7] ปรับปรุงสมบัติเชิงกลของ ceramic concrete โดยเสริมกำลังด้วย chopped glass fiber โดย ceramic concrete ที่นำมาเสริมกำลังมี 2 ประเภท ได้แก่ ประเภท L (คอนกรีตมวลเบาที่ใช้ expanded clay เป็นส่วนประกอบของมวลรวม) และประเภท S (คอนกรีตที่ใช้ well-graded sand เป็นส่วนประกอบของมวลรวม) และคอนกรีตแต่ละประเภทเสริมกำลังโดยใช้ chopped

glass fiber ที่มีความยาวแตกต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่ Lf13 (chopped glass fiber ยาว 13 มิลลิเมตร) และ Lf19 (chopped glass fiber ยาว 19 มิลลิเมตร) ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การเสริมกำลังคอนกรีตด้วย chopped glass fiber ส่งผลให้ compression toughness index เพิ่มขึ้นทุกส่วนผสมและทุกความยาวของ chopped glass fiber ความยาวของ chopped glass fiber ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ compression toughness index เพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผลของปริมาณเส้นใย สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณของเส้นใยส่งผลต่อลักษณะเชิงกลมากกว่าปัจจัยเนื่องจากความยาวของเส้นใย เมื่อทดสอบ load-displacement ภายใต้การรับแรงดัดพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ chopped glass fiber ส่งผลให้ flexural toughness มีค่าเพิ่มขึ้นทุกตัวอย่าง ตัวอย่างจาก ceramic concrete ประเภท L มีแนวโน้มของค่า flexural toughness ต่ำกว่า ceramic concrete ประเภท S เนื่องจากเกิดรอยแตกในส่วนที่เป็นมอร์ตาร์และมวลรวมเบา

Sukontasukkul และคณะ [8] ศึกษาการเพิ่มความสามารถในการกันกระสุนของผนังคอนกรีตโดยเสริมกำลังด้วย hooked end steel fiber และ crumb rubber โดยแบ่งประเภทของคอนกรีตออกเป็นสามกลุ่ม คือ ผนังคอนกรีตชั้นเดียวที่เสริมกำลังด้วย hooked end steel fiber (SFRC) ในอัตราส่วนร้อยละ 2 3 และ 4 โดยปริมาตร ผนังคอนกรีตชั้นเดียวที่เสริมกำลังด้วย crumb rubber (RC) โดยแทนที่มวลรวมละเอียดร้อยละ 50 75 และ 100 โดยปริมาตร และผนังคอนกรีตสองชั้น โดยผิวน้ำเป็นชั้นของคอนกรีตเสริมเหล็กมีความหนาระหว่าง 5-15 มิลลิเมตร และชั้นที่สองเป็นชั้นของ SFCR มีความหนาระหว่าง 15-25 มิลลิเมตร ทดสอบโดยยิงกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ที่ระยะห่าง 10 เมตร ใส่แผ่นคอนกรีตในโครงเหล็ก โดยยึดที่มุ่งทั้งสี่ของแผ่นคอนกรีต และติดตั้งเครื่องวัดความเร่ง (accelerometer) เพื่อวัดความเร่งของกระสุนหลังจากผลกระทบแผ่นคอนกรีต ผลทดสอบสรุปได้ว่า แผ่นคอนกรีตที่เสริมกำลังด้วย hooked end steel fiber เพียงอย่างเดียวกันกระสุนได้ทุกตัวอย่าง แผ่นคอนกรีตที่เสริมกำลังด้วย crumb rubber เพียงอย่างเดียวป้องกันกระสุนไม่ได้ คอนกรีตที่หล่อสองชั้นส่วนมากกันกระสุนได้ อย่างไรก็ตาม ระบบป้องกันกระสุนแบบสองชั้น ลดความเร่งของกระสุนได้ดีกว่าระบบแผ่นคอนกรีตแบบชั้นเดียว

แม้ว่าปัจจุบันจะมีงานวิจัยพัฒนาคอนกรีตสำหรับกันกระสุนอยู่บ้าง แต่มีน้อยมากเนื่องจากเป็นการวิจัยเพื่อทางการทหารโดยเฉพาะ และที่สำคัญการทดสอบความสามารถในการป้องกันกระสุนมักไม่ได้ทดสอบตามมาตรฐานการ ป้องกันกระสุนใด ดังนั้น จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะพัฒนาคอนกรีตสำหรับป้องกันกระสุน โดยสนใจสมบัติด้านความสามารถในการรับกำลังอัดและความสามารถในการดูดซับพลังงานของกระสุน ตามมาตรฐาน Ballistic Resistance

2. วัสดุและกระบวนการทดสอบ

2.1 วัสดุประกอบการวิจัย

วัสดุประกอบการวิจัยประกอบด้วยสองส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 ส่วนผสมคอนกรีตประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทรายแม่น้ำ หินปูน หรือหินแอนดีไซต์ (แล้วแต่ประเภทคอนกรีต) และสารลดน้ำพิเศษ

ส่วนที่ 2 วัสดุเสริมกำลัง ได้แก่ เส้นใยพอลิเมอร์ (polymer fiber) ประเภท polypropylene ตามมาตรฐาน ASTM C1116-02 [10] และเส้นใยเหล็ก (steel fiber) ตาม มาตรฐาน ASTM A820 [11] ซึ่งมีสมบัติตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติของเส้นใย

ประเภท	ถพ.	รูปร่าง	l (mm)	d (mm)	l/d	กำลังตึง (MPa)
เหล็ก	7.80	งอปลาย	60	0.90	65	1,160
พอลิเมอร์	0.91	เส้นตรง	12	18×10^{-3}	650	300-400

2.2 ประเภทคอนกรีต

การวิจัยนี้ศึกษาความสามารถในการป้องกันและการดูดซับแรงปะทะของกระสุนในคอนกรีต 4 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่ 1 คอนกรีตปกติ (NC) เป็นคอนกรีตทั่วไป คือ ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ น้ำ ทราย และ หินปูน โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.40

ประเภทที่ 2 คอนกรีตกำลังสูง (HSC) เป็นคอนกรีตที่ใช้วัสดุคล้ายคอนกรีตปกติ แต่เปลี่ยนหินปูนเป็นหินแอนดีไซต์ซึ่ง มีความแข็งแรงสูงกว่าหินปูน และลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสม โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.30 เพื่อให้มี กำลังสูงกว่าคอนกรีต NC และมีความสามารถทำงานได้

ประเภทที่ 3 คอนกรีตผสมเส้นใยพอลิเมอร์ (PFRC) เป็น คอนกรีตที่มีรูปแบบส่วนผสมเหมือนคอนกรีตปกติ แต่เติมเส้น ใยพอลิเมอร์ลงไปในคอนกรีต โดยใช้เส้นใยพอลิเมอร์เสริม กำลังร้อยละ 0.6 โดยปริมาตร

ตารางที่ 2 ส่วนผสมคอนกรีต

ประเภท คอนกรีต	W/C	ส่วนผสมคอนกรีต (กิโลกรัมต่อลูกบากระเมตร)					
		ปูนซีเมนต์	น้ำ	ทราย	สารลดน้ำ พิเศษ	มวลรวมทราย	เส้นใย
NC	0.40	449	175	749	2.70	1,072	-
HSC	0.30	522	149	749	6.78	-	1,082
PFRC	0.40	449	175	749	2.70	1,072	-
SFRC	0.40	449	175	749	3.14	1,072	-
							30

ประเภทที่ 4 คอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก (SFRC) เป็น คอนกรีตที่มีรูปแบบส่วนผสมเหมือนคอนกรีตปกติ แต่เติมเส้น ใยเหล็กลงไปในคอนกรีต โดยใช้เส้นใยเหล็กเสริมกำลังร้อยละ 3.0 โดยปริมาตร

หล่อคอนกรีตทั้งสี่ประเภทในแบบหล่อรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร เพื่อทดสอบกำลังอัด และหล่อแผ่นคอนกรีตขนาด 40x40 เซนติเมตร หนา 5 7.5 และ 10 เซนติเมตร ควบคุมการยุบตัวของคอนกรีตสดให้อยู่ในช่วง 10 ± 2.5 เซนติเมตร โดยใช้สารลดน้ำพิเศษ หลังจากหล่อคอนกรีต 24 ชั่วโมง ทดสอบหล่อและบ่มคอนกรีตในน้ำสะอาด 28 วัน จึงเริ่มทดสอบ

2.3 รูปแบบการทดสอบ

ทดสอบสมบัติของวัสดุ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ และทดสอบความสามารถต้านทานการสึกกร่อนของหินโดยเครื่องทดสอบแรงเจลลิส

ทดสอบสมบัติทางกายภาพของคอนกรีต ได้แก่ ความหนาแน่น และกำลังอัดที่อายุ 28 วัน

ทดสอบความสามารถดูดซับพลังงานและต้านทานการประทะของกระสุน

การวิจัยนี้เลือกศึกษาความสามารถในการป้องกันกระสุนตามมาตรฐาน NIJ Standard-0101.06 Type III; (Rifles) [9] ซึ่งมีข้อกำหนดรายละเอียดของกระสุนเป็นขนาด 7.62 มิลลิเมตร มวล 9.6 กรัม ความเร็วชนิดกระแทบทัวอย่าง 847 ± 9.1 เมตรต่อวินาที ซึ่งมีค่าพลังงานจลน์ประมาณ 3,275 จูล

การทดสอบความสามารถต้านทานการทดสอบทั้งสี่ประเภท ทำโดย วางแผ่นคอนกรีตไว้กึ่งกลางของเครื่องวัดอัตราเร็วกระสุนสองเครื่อง ยิงกระสุนขนาด 7.62 มิลลิเมตร ผ่านเครื่องวัด อัตราเร็วกระสุนเครื่องแรกซึ่งจะทราบอัตราเร็วของกระสุน ก่อนตัดกระแทบทะแผ่นคอนกรีต (v_i) หลังจากนั้นกระสุนจะทะลุ แผ่นคอนกรีตและลดลงเครื่องวัดอัตราเร็วของกระสุนเครื่องที่สอง ทำให้ทราบอัตราเร็วของกระสุนหลังทะลุแผ่นคอนกรีต (v_f) ดังรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 1 ภาพจำลองการทดสอบความสามารถของแผ่นคอนกรีต
ในการดูดซึบแรงกระแทกของกระสุน

ผลลัพธ์ของกระบวนการที่ดูดกลืนโดยแผ่นคอนกรีต (E_{ads}) แสดงดังสมการที่ (1)

$$E_{ads} = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 \quad (1)$$

ແຜ່ນຄອນກົດທັງສີປະເກດ ທົດສອບທີ່ຄວາມໜານ 5 7.5 ແລະ 10 ເຊັນຕີເມຕີຣ ໂດຍແຕ່ລະກຣນີຈະທົດສອບສາມຄັ້ງ ເພື່ອຫາ
ຄ່າເນັລີຍ ຄອນກົດທັງສີ 5 ແລະ 7.5 ເຊັນຕີເມຕີຣ ຈະຍືງເພີ່ມເນັດ
ເດືອຍເພື່ອທົດສອບການຄູດຊັບພັດງານ ຂະໜັກທີ່ຄວາມໜານ 10
ເຊັນຕີເມຕີຣ ຈະຍືງເພີ່ມເນັດໃໝ່ຈົນກະທິທີ່ຄອນກົດທັງສີປະເກດ ເພື່ອ
ພິຈາລະນາຄວາມສາມາດຮັດຕ້ານທານກະສົນ



รูปที่ 2 ชุดอุปกรณ์ทดสอบความสามารถดูดซึบแรงกระแทกของกระสน

3. ผลวิจัยและวิเคราะห์ผล

3.1 ผลทดสอบสมบัติหินปูน หินแอนดีไซต์ และราย

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบสมบัติของวัสดุ ผลทดสอบความสามารถด้านทานการสึกกร่อนของหินแอนดีไซต์สูญเสียน้ำหนักร้อยละ 11.09 หินปูนสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 22.41 จึงใช้หินแอนดีไซต์เป็นมวลรวมทรายสำหรับคอกปริทกำลังสูง อย่างไรก็ตาม หินทั้งสองประเภทต่างกันฝาแนมมาตรฐาน ASTM C33 ที่กำหนดค่าการสูญเสียน้ำหนักของมวลรวมทรายสำหรับคอกปริทไม่เกินร้อยละ 35 [12]

3.2 ผลทดสอบความหนาแน่นและกำลังอัด

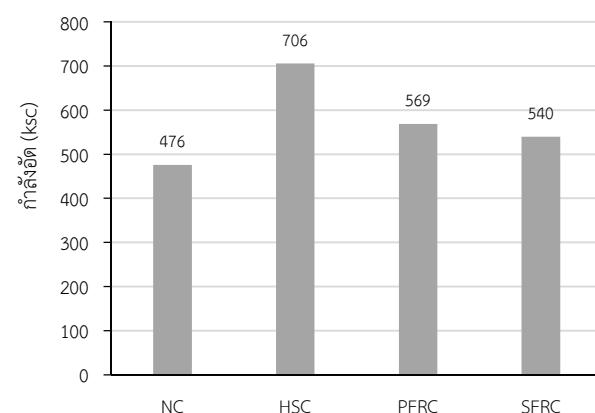
ความสามารถในการรับกำลังอัดที่อายุ 28 วัน (รูปที่ 3) แสดงว่า $w/c = 0.40$ คอนกรีต NC สามารถรับแรงอัดต่ำที่สุด

ส่วนคอนกรีตที่เสริมกำลังด้วยวัสดุพิเศษ (PFRC และ SFRC) สามารถรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตประเภท NC ร้อยละ 120 และ 113 ตามลำดับ คอนกรีตที่เสริมกำลังด้วยเส้นใยช่วยเพิ่มความสามารถรับกำลังอัด [13-15] ในขณะที่คอนกรีตประเภท HSC มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตประเภท NC ร้อยละ 148 เนื่องจาก w/c ที่ต่ำกว่าคอนกรีต NC และการใช้หินแอนดีไซต์ซึ่งมีความแข็งมากกว่าหินปูน

ตารางที่ 3 ผลทดสอบสมบัติของหิน

สมบัติ	ที่นปน	ที่นนแอนด์ดีไซต์	ทราย
ความถ่วงจำเพาะ	2.82	2.94	2.60
การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	0.52	0.17	0.95
ไมดูดซึมความละเมียด	7.53	6.86	2.54
การด้านท่านการสีกกร่อนของทินโดยเครื่องลอกสแวงเจลลิส (ร้อยละ)	22.41	11.09	-

ความหนาแน่นของคอนกรีตทุกประเภทต่างกันเดือดกันอยโดยคอนกรีตประเภท NC SFRC HSC และ PFRC มีความหนาแน่น 2,474 2,479 2,520 และ 2,548 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 3 กำลังอัดของคอนกรีต

3.3 รูปแบบการวิบัติของแผ่นคอนกรีต

๓.๓.๑ គគុបករីទា/កតិ NC



ด้านหน้า



ด้านหลัง

(ก) NC



ด้านหน้า

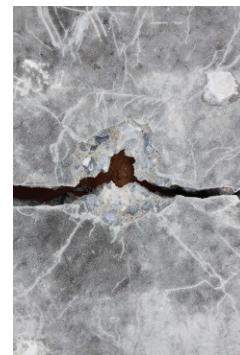


ด้านหลัง

(ข) HSC



ด้านหน้า

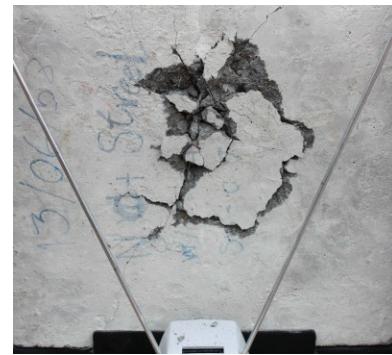


ด้านหลัง

(ค) PFRC



ด้านหน้า



ด้านหลัง

(ง) SFRC

รูปที่ 4 ตัวอย่างการวิบัติของแผ่นคอนกรีตหนา 5 เซนติเมตร



(ก) HSC



(ข) SFRC

รูปที่ 5 ความเสียหายของแผ่นคอนกรีตหนา 7.5 เซนติเมตร

3.3.2 คอนกรีตกำลังสูง HSC

คอนกรีตกำลังสูงเสียหายรุนแรงกว่าคอนกรีตปกติ โดยรอยบ่นแผ่นคอนกรีตและรอยกระเทาะของผิวคอนกรีตทั้งสองด้านกว้างกว่า (รูปที่ 4-ข) เพราะคอนกรีต HSC มีกำลังอัดสูงกว่าคอนกรีต NC จึงมีความเปราะมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากการอยู่แตกร้าวที่ปรากฏให้เห็นอย่างชัดเจน ทำให้แผ่นคอนกรีตแยกออกเป็นสามเสียงคล้ายกับคอนกรีต NC กระสุนทะลุผ่านแผ่นคอนกรีตหนา 5 เซนติเมตร โดยยิงเพียงนัดเดียว ส่วนแผ่นคอนกรีตหนา 7.5 เซนติเมตร ยิงเพียงหนึ่งนัด กระสุนไม่สามารถทะลุผ่านแผ่นคอนกรีตได้ ด้านหน้าของแผ่นคอนกรีตจะเทาออกเล็กน้อยและปรากฏรอยร้าวในแนวราบ (รูปที่ 5-ก) คอนกรีตกำลังสูงหนา 10 เซนติเมตร ต้องยิงกระสุนจำนวนสามนัดที่ตำแหน่งเดิมจึงวิบัติ ซึ่งต้องใช้จำนวนกระสุนที่มากกว่ากรณีคอนกรีต NC ที่หนา 10 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่า กำลังของคอนกรีตมีนัยคุณซึ้งแรงกระแทกของกระสุนเป็น

3.3.3 คอนกรีตเสริมเส้นใยพอลิเมอร์ PFRC

รูปที่ 4 (ค) แสดงการวิบัติของคอนกรีตเสริมเส้นใยพอลิเมอร์ PFRC หนา 5 เซนติเมตร ผิวน้ำรอบรูเจาะจะเทาออกและปรากฏรอยแตกร้าวขนาดเล็กกว่าผ่านรูที่เกิดจากกระสุนในแนวอน ความเสียหายน้อยกว่าคอนกรีตสองประเภทแรกเนื่องจากเส้นใยพอลิเมอร์มีส่วนช่วยลดรอยแตกร้าว กระสุนเจาะทะลุแผ่นคอนกรีตหนา 5 และ 7.5 เซนติเมตร ด้วยการยิงเพียงนัดเดียว ส่วนคอนกรีตหนา 10 เซนติเมตร ต้องยิงสามนัดที่จุดเดิม กระสุนจึงสามารถทะลุแผ่นคอนกรีต ซึ่งใช้จำนวนกระสุนเท่ากับคอนกรีต HSC

3.3.4 คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก SFRC

คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก SFRC วิบัติแตกต่างจากคอนกรีตประเภทอื่น คือ ผิวน้ำของแผ่นคอนกรีตจะเทาออกและเสียหายเฉพาะบริเวณที่กระสุนกระทบ เนื้อคอนกรีตมีเส้นใยเหล็กช่วยพยุงไว้ จึงไม่แตกร้าวโดยรอบเหมือนคอนกรีตทั้งสามประเภทข้างต้น (รูปที่ 4-ง) ด้านหลังของแผ่นคอนกรีตจะเทาเป็นเศษชิ้นเล็กใหญ่ปะปนกัน ส่วนใหญ่ยังติดอยู่กับผิวคอนกรีตเนื่องจากแสดงถึงประสิทธิภาพเส้นใยลดการแตกร้าว ซึ่งช่วยป้องกันอันตรายจากสะเก็ดได้ คอนกรีต SFRC หนา 5

เซนติเมตร วิบัติจากกระสุนหนึ่งนัด ขณะที่ความหนา 7.5 เซนติเมตร แรงกระแทกของกระสุนเพียงทำให้ผิวน้ำกระเทาะเล็กน้อย (รูปที่ 5-ข) ส่วนความหนา 10 เซนติเมตร จะต้องยิงซ้ำตำแหน่งเดิมถึง 5 นัดจึงวิบัติ ซึ่งมากสุดในการวิจัยนี้

ตารางที่ 3 จำนวนกระสุนที่ใช้และรูปแบบการวิบัติของคอนกรีต

ประเภท คอนกรีต	ความหนา (cm)	กระสุนที่ยิง จนวิบัติ (นัด)	ลักษณะวิบัติ
NC	5.0	1	เจาะทะลุ
	7.5	1	เจาะทะลุ
	10.0	2	เจาะทะลุ
HSC	5.0	1	เจาะทะลุ
	7.5	1	วิบัติแต่ไม่ทะลุ
	10.0	3	เจาะทะลุ
PFRC	5.0	1	เจาะทะลุ
	7.5	1	เจาะทะลุ
	10.0	3	เจาะทะลุ
SFRC	5.0	1	เจาะทะลุ
	7.5	1	ยิงเพียงนัดเดียว (ไม่ทะลุ)
	10.0	5	กะเทาะทั้งหน้าและหลัง

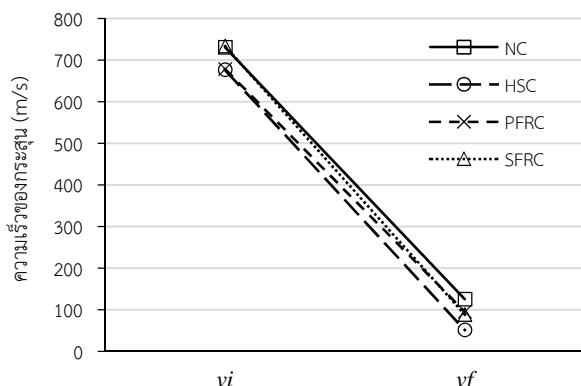
3.4 ความสามารถในการดูดซับพลังงานจนลื่นและต้านทานการปะทะของกระสุน

การวัดอัตราเร็วของลูกกระสุนก่อน (v_i) และหลัง (v_f) กระแทกแผ่นคอนกรีต เพื่อคำนวณการดูดซับพลังงานจนลื่นของแผ่นคอนกรีตตามสมการที่ (1) ความเร็วของลูกกระสุนก่อนกระแทกแผ่นคอนกรีตความหนา 5 เซนติเมตร มีค่าระหว่าง 650-750 เมตรต่อวินาที หลังจากกระสุนทะลุผ่านแผ่นคอนกรีตแต่ละประเภทแล้ว ความเร็วลดลงเหลือ 25-160 เมตรต่อวินาที (รูปที่ 6)

3.4.1 คอนกรีตหนา 5 เซนติเมตร

กระสุนขนาด 7.62 มิลลิเมตร สามารถเจาะทะลุแผ่นคอนกรีตทุกประเภทโดยยิงเพียงหนึ่งนัด คอนกรีต HSC มีความสามารถดูดซับพลังงานเท่ากับร้อยละ 99.4 (รูปที่ 7) ซึ่งมากกว่าคอนกรีต NC (ร้อยละ 96.9) และแสดงว่า กำลังอัดของคอนกรีตเป็นปัจจัยที่ต้านทานแรงกระแทกของกระสุน

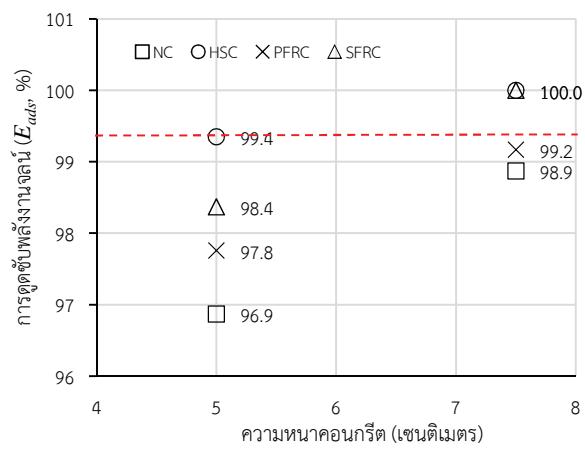
ขณะเดียวกันความเสียหายที่เกิดบนแผ่นคอนกรีต HSC มีมากกว่าคอนกรีต NC (รูปที่ 4) ซึ่งเป็นผลจากความประาะของคอนกรีต คอนกรีตที่เสริมกำลังด้วยเส้นใย เส้นใยเหล็กมีประสิทธิภาพในการดูดซับพลังงานจนน์ติกว่าเส้นใยพอลิเมอร์ เพราะเส้นใยแข็งแรงกว่า โดยคอนกรีต SFRC และ PFRC ดูดซับพลังงานจนน์ร้อยละ 98.4 และ 97.8 ตามลำดับ สรุปได้ว่า คอนกรีต HSC มีประสิทธิภาพในการดูดซับพลังงานจนน์สูงสุด แต่เกิดความเสียหายมากสุดเช่นกัน คอนกรีต SFRC มีร่องรอยความเสียหายน้อยสุด ดังนั้น แนวความคิดในการใช้เส้นใยเหล็กเสริมคอนกรีตกำลังสูง จะช่วยลดการวิบัติบนแผ่นคอนกรีตและขณะเดียวกันเพิ่มความสามารถในการดูดซับพลังงานจนน์ ส่วนคอนกรีตที่มีความสามารถในการดูดซับพลังงานจนน์น้อยที่สุดคือ คอนกรีต NC



รูปที่ 6 ความเร็วของกระแสสูญเป็นก้อนและหลังกระแสแตกแผ่นคอนกรีตความหนา 5 เซนติเมตร

3.4.2 คอนกรีตหนา 7.5 เซนติเมตร

ลูกกระสุนไม่สามารถทะลุผ่านแผ่นคอนกรีต HSC และ SFRC หนา 7.5 เซนติเมตร แต่สามารถเจาะทะลุผ่านแผ่นคอนกรีต NC และ PFRC ได้ โดยยิงเพียงนัดเดียว คอนกรีต NC และ PFRC ดูดซับพลังงานกระแสสูญได้ร้อยละ 98.9 และ 99.2 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับคอนกรีต HSC หนา 5 เซนติเมตร (รูปที่ 7) ดังนั้น การเลือกใช้คอนกรีต HSC จะลดความหนาของผนังคอนกรีตได้อย่างน้อย 2.5 เซนติเมตร เมื่อนำมาไปเปรียบเทียบกับการใช้คอนกรีตปกติและคอนกรีตเสริมเส้นใยพอลิเมอร์ ความหนาของผนังลดลงทำให้น้ำหนักผนังเบาลง สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกและรวดเร็ว



รูปที่ 7 ความสามารถดูดซับพลังงานจนน์ของคอนกรีตหนา 5 และ 7.5 เซนติเมตร

3.4.3 คอนกรีตหนา 10 เซนติเมตร

กระสุนไม่สามารถทะลุผ่านแผ่นคอนกรีตทุกประเภทที่หนา 10 เซนติเมตร โดยการยิงเพียงนัดเดียว ดังนั้น คอนกรีต NC กระสุนทะลุผ่านแผ่นคอนกรีตในนัดที่สอง โดยแผ่นคอนกรีตดูดซับพลังงานกระแสสูญได้ร้อยละ 99.7 คอนกรีต HSC และ PRFC กระสุนทะลุผ่านแผ่นคอนกรีตในนัดที่สาม โดยดูดกลืนพลังงานกระแสสูนในนัดที่สาม ร้อยละ 24.9 และ 97.4 ตามลำดับ คอนกรีต HSC จึงสามารถดูดซับพลังงานได้น้อยมากเมื่อคอนกรีตใกล้จะวิบัติ เพราะคอนกรีต HSC มีความสามารถในการดูดซับพลังงานจนน์ได้ดีกว่า NC ที่สามารถเจาะทะลุผ่านแผ่นคอนกรีตในนัดที่ห้า แสดงความหนี่ายของแผ่นคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็ก โดยเครื่องวัดอัตราเร็วไม่สามารถตรวจจับความเร็วของกระแสสูนหลังทะลุผ่านได้

4 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

การพัฒนาคอนกรีตประสิทธิภาพสูงเพื่อใช้ในการป้องกันกระแสสูนสามารถสรุปและเสนอแนะได้ว่า

4.1 สรุปผลวิจัย

1) กรณีผนังคอนกรีตหนา 5 เซนติเมตร คอนกรีตกำลังสูง HSC ต้านทานแรงกระแทกจากกระแสสูนและดูดซับพลังงานจนน์ได้สูงที่สุด

2) การเสริมกำลังด้วยเส้นใยเหล็ก ช่วยให้คอนกรีตมีความสามารถป้องกันกระแสสูนได้ดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งผนังหนา 7.5 และ 10 เซนติเมตร รูปแบบการวิบัติของคอนกรีต SFRC จะเป็นการกระแทกที่ผิวน้ำและด้านหลังบางส่วน ซึ่งป้องกันไม่ให้เศษคอนกรีตกระเด็นไปทำอันตรายต่อผู้อื่นได้

3) การใช้คอนกรีต HSC และ SFRC ป้องกันกระแสสูนสามารถลดความหนาของผนังลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติ โดยที่ประสิทธิภาพในการดูดซับพลังงานยังคงเท่าเดิม

ส่งผลให้ผังมีน้ำหนักเบา สะดวกและรวดเร็วในการประยุกต์ใช้ในสนามรบจริง

4.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรทดลองหล่อคอนกรีตกำลังสูงผสมเส้นใยเหล็กเพื่อศึกษาประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นในการดูดซับพลังงานจน
- 2) งานวิจัยขั้นต่อไป ควรหล่อคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อประยุกต์ใช้งานจริง ซึ่งมีปัจจัยความหนี่ียวและกำลังของเหล็กเส้น

5 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) โครงการวิจัยทางด้านยุทธภูมิเพื่อพัฒนาศักยภาพของกองทัพและการป้องกันประเทศ ภายใต้โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา และการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ขอขอบคุณสำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหารกองทัพบกในการสนับสนุนการวิจัยในด้านต่างๆ ขอบคุณกรมบินพิเศษที่ 4 ค่ายสุขุมวิท สำนักงานวิจัยในการให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทดสอบ เจ้าหน้าที่ และยุทธภัณฑ์ ขอบคุณคณบดีวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรในการเอื้อเพื่อสถานที่ทำการวิจัยและอุปกรณ์ประกอบการวิจัย

6 เอกสารอ้างอิง

- [1] รุ่งรveis เอลิมิครีกิญโญรัช และกองบรรณาธิการโรงเรียนนักข่าวชายแดนใต้. (2555). ยอดความคิดเห็นการเอกสารป่าตานี. โรงเรียนนักข่าวชายแดนใต้. สืบต้นจาก: <http://www.deepsouthwatch.org/dsj/3676>
- [2] Yang, H., Song, H., & Zhang, S. (2015). Experimental investigation of the behavior of aramid fiber reinforced polymer confined concrete subjected to high strain-rate compression. *Construction and Building Materials*, 95, 143-151.
- [3] Alberti, M. G., Enfedaque, A., & Gálvez, J. C. (2015). Comparison between polyolefin fibre reinforced vibrated conventional concrete and self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 85, 182-194.

- [4] Mertol, H. C., Baran, E., & Bello, H. J. (2015). Flexural behavior of lightly and heavily reinforced steel fiber concrete beams. *Construction and Building Materials*, 98, 185-193.
- [5] Zamanzadeh, Z., Lourenço, L., & Barros, J. (2015). Recycled Steel Fibre Reinforced Concrete failing in bending and in shear. *Construction and Building Materials*, 85, 195-207.
- [6] Banthia, N., & Sappakittipakorn, M. (2007). Toughness enhancement in steel fiber reinforced concrete through fiber hybridization. *Cement and Concrete Research*, 37(9), 1366-1372.
- [7] Tassew, S. T., & Lubell, A. S. (2014). Mechanical properties of glass fiber reinforced ceramic concrete. *Construction and Building Materials*, 51, 215-224.
- [8] Sukontasukkul, P., Jamnam, S., Rodsin, K., & Banthia, N. (2013). Use of rubberized concrete as a cushion layer in bulletproof fiber reinforced concrete panels. *Construction and Building Materials*, 41, 801-811.
- [9] Office of Law Enforcement Standards (OLES), & United States of America. (2008). Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06.
- [10] ASTM Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete. ASTM C 1116-91. (1991). West Conshohocken, PA: ASTM.
- [11] ASTM Standard Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete, ASTM A820 / A820M – 11. (1991). West Conshohocken, Pa: ASTM.
- [12] ASTM Standard Specification for Concrete Aggregates. ASTM C33/ C33M-13, ASTM. (1991). West Conshohocken, Pa: ASTM.
- [13] Medina, N. F., Barluenga, G., & Hernández-Olivares, F. (2014). Enhancement of durability of concrete composites containing natural pozzolans blended cement through the use of Polypropylene fibers. *Composites Part B: Engineering*, 61, 214-221.
- [14] Bagherzadeh, R., Pakravan, H. R., Sadeghi, A. H., Latifi, M., & Merati, A. A. (2012). An investigation on adding polypropylene fibers to reinforce lightweight cement composites (LWC). *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 7(4), 13-21.
- [15] Ferro, G., Tulliani, J. M., Jagdale, P., & Restuccia, L. (2014). New Concepts for Next Generation of High Performance Concretes. *Procedia Materials Science*, 3, 1760-1766.