

การศึกษารูปแบบการวิบัติของแผ่นคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กกันกระสุนแบบหลายชั้น The Study on Failure Pattern of Multilayer Bulletproof Steel Fibre Reinforced Concrete Panel

ธนัช พูลสิน^{1*}, ธนากร ธนโชติศิริ¹, วรวรรณ ดวงมะวงศ์¹ และ ปิติ สุขคนธสุขกุล¹
¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 10800
*E-mail: thanatat_poonsin@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการศึกษารูปแบบการวิบัติและความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ของแผ่นคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กแบบหลายชั้น ผลได้จากคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กแผ่นยางพาราและแผ่นโฟมเมื่อถูกยิงด้วยกระสุนขนาด 9 มม. และ 11 มม. ซึ่งในส่วนแรกจะเป็นการศึกษาถึงร้อยละการดูดซับพลังงานจลน์ของวัสดุแต่ละชนิดที่ความหนาต่างกัน ส่วนที่สองได้แก่การศึกษารูปแบบการวิบัติของแผ่นคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กกันกระสุนแบบ 3 ชั้น และแบบ 5 ชั้น ซึ่งแผ่นคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กกันกระสุนได้ถูกออกแบบโดยแบ่งเป็น 3 ชั้นหลักๆ โดยชั้นแรกจะทำจากคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กแบบบาง ทำหน้าที่ลดพลังงานจลน์ของกระสุนแต่ยอมให้กระสุนทะลุผ่าน ชั้นที่สองเป็นวัสดุอ่อนนุ่ม ทำหน้าที่ลดพลังงานจลน์ส่วนที่เหลือ และชั้นสุดท้ายทำหน้าที่ป้องกันการทะลุและการหลุดร่อนของเศษวัสดุ จากการศึกษาพบว่าการดูดซับพลังงานจลน์ของแผ่นวัสดุ มีค่าเพิ่มขึ้นตามความหนาและความแข็งแรงของวัสดุทดสอบ ส่วนในการทดสอบแผ่นคอนกรีตกันกระสุนแบบหลายชั้นพบว่าสามารถป้องกันการทะลุผ่านและการสะท้อนกลับได้

คำสำคัญ: รูปแบบการวิบัติ, การดูดซับพลังงานจลน์, คอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก, วัสดุอ่อนนุ่ม

Abstract

In this study, failure patterns and energy absorption of multilayer bulletproof panels made of steel fibre reinforced concrete, para-rubber sheet and styrofoam sheet shot by 9 mm and 11 mm bullets were investigated. First, the study focuses on energy absorption of each type of material. Secondly, the 3 and 5 layers bulletproof panels were tested. The concept design of these multilayer bulletproof concrete panels divided into 3 layers. The first layer made of thin steel fibre reinforced concrete is aimed to reduce kinetic energy and allows bullet penetrating. The second layer made of soft materials is used to absorb the leftover kinetic energy. The last layer made of thick steel fibre reinforced concrete is used to prevent perforation and spalling. Results show that the kinetic energy absorption was found to increase with the increasing thickness and fibre volume fraction. The multilayer bulletproof concrete panels were able to prevent both perforation and bullet ricocheting.

Keywords: Failure patterns, Energy absorption, Steel fibre reinforced concrete, Soft materials

1. ที่มาและความสำคัญ

ภายใต้สถานการณ์การก่อการร้ายที่คุกคามความสงบสุขของคนทั่วโลก ก่อให้เกิดความรุนแรงและความเสียหายเกิดขึ้นมากมาย ในสถานการณ์ที่มีการใช้อาวุธปืนเข้ามาเกี่ยวข้องหรือถูกยิงเข้ามาในอาคารบ่อยครั้ง พบว่ามีลูกกระสุนปืนทะลุผ่านกำแพงทำให้มีผู้บาดเจ็บและผู้เสียชีวิต จากงานวิจัยในครั้งก่อนนี้ [1] คือการนำเส้นใยเหล็กที่มีคุณสมบัติในการรับแรงดึงสูงมาผสมคอนกรีตทำให้คุณสมบัติในการรับแรงกระแทกและต้านทานการทะลุผ่านของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กมีความแข็งแรงมากจึงทำให้เกิดการสะท้อนกลับของกระสุนซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ ด้วยเหตุดังกล่าวจึงมีการนำวัสดุอ่อนนุ่มมาใช้ในการลดการสะท้อนกลับของกระสุนปืน โดยรูปแบบของแผ่นคอนกรีตทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วย 3 ชั้น คือ ชั้นที่หนึ่งเป็นคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่แข็งแรงแต่ไม่หนามาก ยอมให้กระสุนทะลุผ่านได้ ชั้นถัดมาเป็นชั้นของวัสดุอ่อนนุ่ม มีหน้าที่ในการดูดซับพลังงานจลน์ที่เหลือจากชั้นแรกของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก และชั้นสุดท้ายเป็นชั้นที่มีความหนามากที่สุด เพื่อป้องกันกระสุนทะลุออกทางด้านหลัง

2. วัตถุประสงค์

เพื่อการศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการวิบัติของแผ่นคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กกันกระสุน และความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ของวัสดุในแต่ละชั้น รวมถึงหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับพลังงานจลน์รวม และรูปแบบการวิบัติของแผ่นคอนกรีตแบบหลายชั้น

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาที่มีการทดสอบแผ่นคอนกรีตภายใต้แรงกระแทกที่มีหัวทดสอบแบบหัวกระสุน โดยปิติและคณะ [2] พบว่าลักษณะการวิบัติของแผ่นคอนกรีตธรรมดาที่ถูกแรงกระแทกจะแตกออกเป็นชิ้นแยกจากกัน (perforation mode) และเมื่อพิจารณาการวิบัติของแผ่นคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กพบว่า ที่ด้านหลังของแผ่นจะเกิดรอยร้าวขึ้นแต่ไม่แยกออกจากกันเนื่องจากเส้นใยเหล็กทำหน้าที่ยึดรอยแตกระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตเข้าไว้ด้วยกัน ต่อมา ปิติ สุคนธ์สุขกุล และ สิทธิศักดิ์ แจ่มนาม [3] ได้พัฒนาแผ่นคอนกรีตกันกระสุนแบบสองชั้นผลิตจากวัสดุซีเมนต์ผสมเม็ดยางและคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กภายใต้แรงกระแทกจากกระสุนปืนขนาด 9 มม. และ 11 มม. พบว่าแผ่นคอนกรีตแบบสองชั้นสามารถป้องกันการทะลุผ่านของกระสุนปืน ลดการแตกร้าวและการหลุดร่อนของคอนกรีตได้ แต่ยังคงพบการสะท้อนกลับของกระสุนปืน เนื่องจากคอนกรีตผสมเม็ดยางไม่ได้มีความอ่อนนุ่มเพียงพอ อีกทั้งคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กยังมีความแข็งแรงมาก จึงทำให้เกิดการสะท้อนกลับของกระสุนปืน ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายได้



4. วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบหาความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ของแผ่นคอนกรีตกันกระสุนในวัสดุประเภทต่างๆด้วยกระสุนปืนขนาด 9 มม. และ 11 มม. และการศึกษารูปแบบการวิบัติของแผ่นคอนกรีตกันกระสุนแบบหลายชั้น ยิ่งด้วยกระสุนปืนขนาด 9 มม.

4.1 วัสดุส่วนผสมและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

- วัสดุส่วนผสมคอนกรีตได้แก่ ปูนซีเมนต์ น้ำสะอาด ทราย(ผ่านตะแกรง#16 และค้ำบน#50) และสารลดน้ำ
- แบบหล่อขนาด 40x40 ซม.
- เส้นใยไฟเบอร์เหล็กชนิดงอปลาย Dramix® 3D และ 5D มีคุณสมบัติดังตารางที่ 1
- แผ่นยางธรรมชาติ มีคุณสมบัติดังตารางที่ 2
- แผ่นโฟม EPS ชนิดไม่ลามไฟ มีคุณสมบัติดังตารางที่ 3

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเส้นใยเหล็ก

Materials	Specific Gravity	Shape	Length (mm)	Section (mm)	Aspect Ratio (l/d)	Tensile Strength (N/mm ²)
Steel	7.8		35	dia.- 0.55	64	1000
Steel	7.8		60	dia.- 0.90	65	2300

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของยางธรรมชาติ

Shore A	Tensile Strength (Kpa)	Elongation	Temperature (°C)
30-90	3450-20680	300-900%	-55 to +70

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของโฟม EPS

Specific Gravity (Kg/m ³)	Tensile Strength (Kpa)	Compressive Strength (Kpa)	Flexural Strength (Kpa)
32	380-480	200-500	430-490

- กระสุนปืนขนาด 9 มม. ยี่ห้อ Winchester น้ำหนักหัวกระสุน 7.45 กรัม ความเร็วต้น 362 m/s และ พลังงานต้น 492 N.m
- กระสุนปืนขนาด 11 มม. ยี่ห้อ Winchester น้ำหนักหัวกระสุน 15 กรัม ความเร็วต้น 255 m/s และ พลังงานต้น 483 N.m
- เครื่องวัดความเร็วกระสุน ยี่ห้อ Caldwell สามารถวัดอัตราเร็วได้อยู่ในช่วง 5-9999 fps แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องวัดความเร็วกระสุน

4.2 การเตรียมตัวอย่างและรูปแบบการทดสอบ

สัดส่วนที่ใช้ในการผสมคอนกรีตประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ และสารลดน้ำ โดยกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้ อัตราส่วนน้ำต่อคอนกรีต (w/c) เท่ากับ 0.3 ทุกสัดส่วนการผสม มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย เท่ากับ 1:2 โดยปริมาตร และสัดส่วนผสมเส้นใยไฟเบอร์เหล็กปริมาณ 1% และ 2% โดยปริมาตรของปูนซีเมนต์

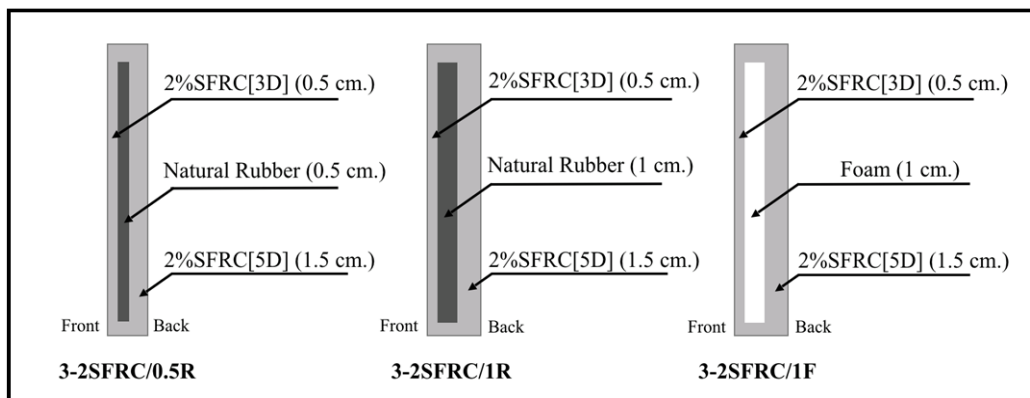
4.2.1 การศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ของวัสดุ

แผ่นตัวอย่างประกอบด้วย ยางธรรมชาติขนาด 5, 10, 15 มิลลิเมตร, โฟมขนาด 10, 15, 20 มิลลิเมตร, คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กชนิด 3D ปริมาณ 1%, 2% ความหนา 5, 10, 15 มิลลิเมตร, คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กชนิด 5D ปริมาณ 1%, 2% ความหนา 10, 15, 20 มิลลิเมตร

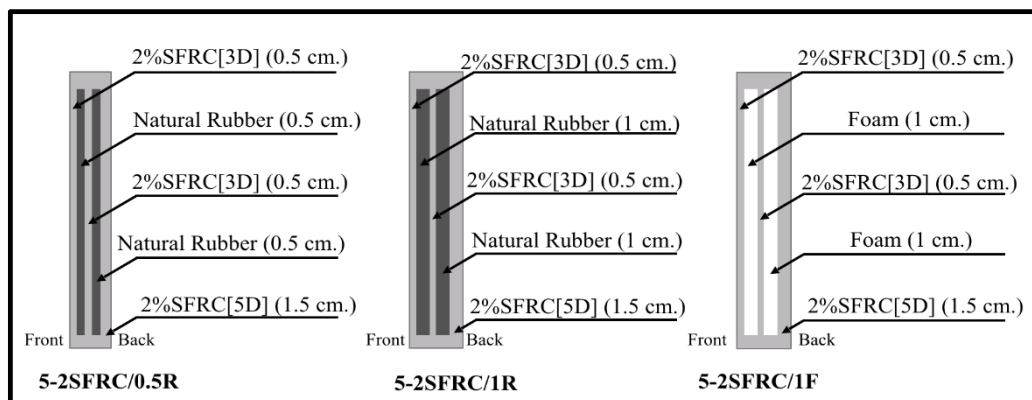
การหล่อตัวอย่างทดสอบเริ่มจากการผสมปูนซีเมนต์และทรายเข้าด้วยกัน จากนั้นจึงเติมน้ำสะอาดและสารลดน้ำ แล้วผสมให้เข้ากัน จากนั้นจึงใส่เส้นใยเหล็กลงไปทีละน้อยโดยให้เส้นใยกระจายตัวมากที่สุด เมื่อผสมจนเข้ากันแล้ว จึงนำใส่แบบหล่อที่ทำน้ำมันเตรียมไว้

4.2.2 การศึกษารูปแบบผนังคอนกรีตกันกระสุนแบบหลายชั้น

รูปแบบตัวอย่างทดสอบเป็นแบบ 3 ชั้นและ 5 ชั้น ดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3 โดยชั้นที่หนึ่ง(ด้านหน้า) เป็นชั้นที่ผสมเส้นใยไฟเบอร์เหล็กขนาด 3D เป็นชั้นที่ยอมให้กระสุนผ่านได้ ทำหน้าที่ลดพลังงานจลน์ของกระสุนให้ได้มากที่สุด ชั้นถัดมาคือชั้นที่เป็นวัสดุอ่อนนุ่มคือยางธรรมชาติหรือโฟม ทำหน้าที่ในการดูดซับพลังงานจลน์ที่เหลือจากชั้นที่หนึ่ง และป้องกันการสะท้อนกลับของกระสุน ชั้นที่สามเป็นชั้นที่ผสมเส้นใยไฟเบอร์เหล็กขนาด 3D และชั้นที่สี่ เป็นวัสดุอ่อนนุ่ม ส่วนในชั้นสุดท้าย(ด้านหลัง) เป็นชั้นที่ผสมด้วยเส้นใยไฟเบอร์เหล็กขนาด 5D เป็นชั้นที่หนากว่าชั้นที่หนึ่ง เพื่อป้องกันการกระสุนทะลุออกทางด้านหลัง ในชั้นสุดท้ายของแบบ 3 ชั้นจะมีคุณสมบัติเหมือนชั้นสุดท้ายของแบบ 5 ชั้น



รูปที่ 2 ตัวอย่างแผ่นคอนกรีตกันกระสุนแบบ 3 ชั้น



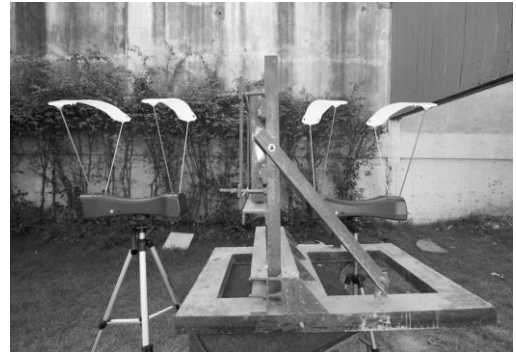
รูปที่ 3 ตัวอย่างแผ่นคอนกรีตกันกระสุนแบบ 5 ชั้น

การเตรียมตัวอย่างให้เริ่มจากหล่อชั้นคอนกรีตผสมเส้นใยชั้นหลังสุดก่อน โดยชั้นตอนเหมือนการหล่อคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กแบบชั้นเดียว จากนั้นทิ้งไว้ให้คอนกรีตแข็งตัวสักพักแล้วปิดเส้นใยเหล็กชนิด 3D ให้ห่างจากขอบประมาณ 2 ซม. เพื่อให้คอนกรีตยึดเกาะกับคอนกรีตชั้นถัดไป จากนั้นทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงจึงนำแผ่นยางหรือแผ่นโฟมมาวางดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3 แล้วจึงหล่อชั้นถัดไปจนครบตามจำนวน เมื่อทำการหล่อตัวอย่างเสร็จสมบูรณ์แล้วทิ้งให้คอนกรีตแข็งตัวเป็นเวลา 1 วัน จึงทำการถอดแบบและบ่มน้ำเป็นเวลา 28 วัน เพื่อนำมาทำการทดสอบในชั้นถัดไป

4.3 วิธีการทดสอบ

4.3.1 การศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ของวัสดุ

ในการทดสอบจะนำแผ่นทดสอบไปติดตั้งที่ฐานรองรับ ซึ่งอยู่ห่างจากแนวยิงประมาณ 10 เมตร แล้วติดตั้งเครื่องวัดความเร็วกระสุนไว้ที่ด้านหน้าและด้านหลังของตัวอย่างทดสอบดังรูปที่ 4 จากนั้นทำการยิงทดสอบด้วยกระสุนขนาด 9 มม. และ 11 มม. เข้าไปที่บริเวณกึ่งกลางแผ่น แล้วทำการบันทึกค่าความเร็วก่อนและหลังการปะทะรวมทั้งรูปแบบการวิบัติที่ตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 4 การทดสอบวัดความสามารถในการดูดซับพลังงานจลน์ของวัสดุ

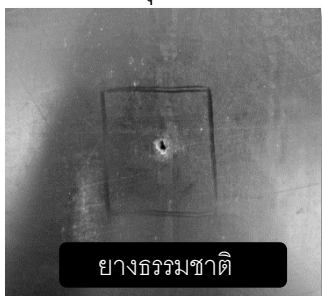
4.3.2 การศึกษารูปแบบผนังคอนกรีตกันกระสุนแบบหลายชั้น

การทดสอบได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วไว้ที่ด้านหลังผนังทดสอบจำนวน 2 ตำแหน่ง ซึ่งอุปกรณ์วัดความเร็วได้ทำการบันทึกข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการยิงทดสอบด้วยกระสุนขนาด 9 มม. และ 11 มม.

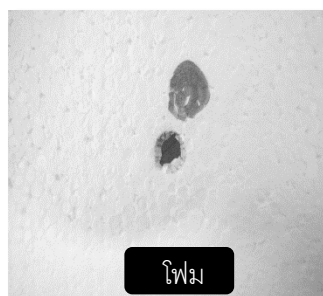
5. ผลและวิจารณ์

5.1 รูปแบบการวิบัติและการดูดซับพลังงานจลน์ของวัสดุ

รูปแบบการวิบัติแสดงดังรูปที่ 5 ในส่วนของแผ่นยางธรรมชาติและโฟมยิงด้วยกระสุนปืนขนาด 9 มม. และ 11 มม. พบว่ามีขนาดรูกระสุนใกล้เคียงกันทั้งด้านหน้าและด้านหลัง เพราะกระสุนทะลุผ่านไปได้ง่าย ส่วนรูปแบบการวิบัติของแผ่นคอนกรีตกันกระสุนพบว่ากระสุนปืนทั้งสองขนาดนั้นทะลุผ่านแผ่นทดสอบ และเกิดการกระเทาะที่ด้านหลังของแผ่นทดสอบทุกชนิด ยกเว้นแผ่นคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กชนิด 5D ที่ความหนา 2.0 เซนติเมตร



ยางธรรมชาติ



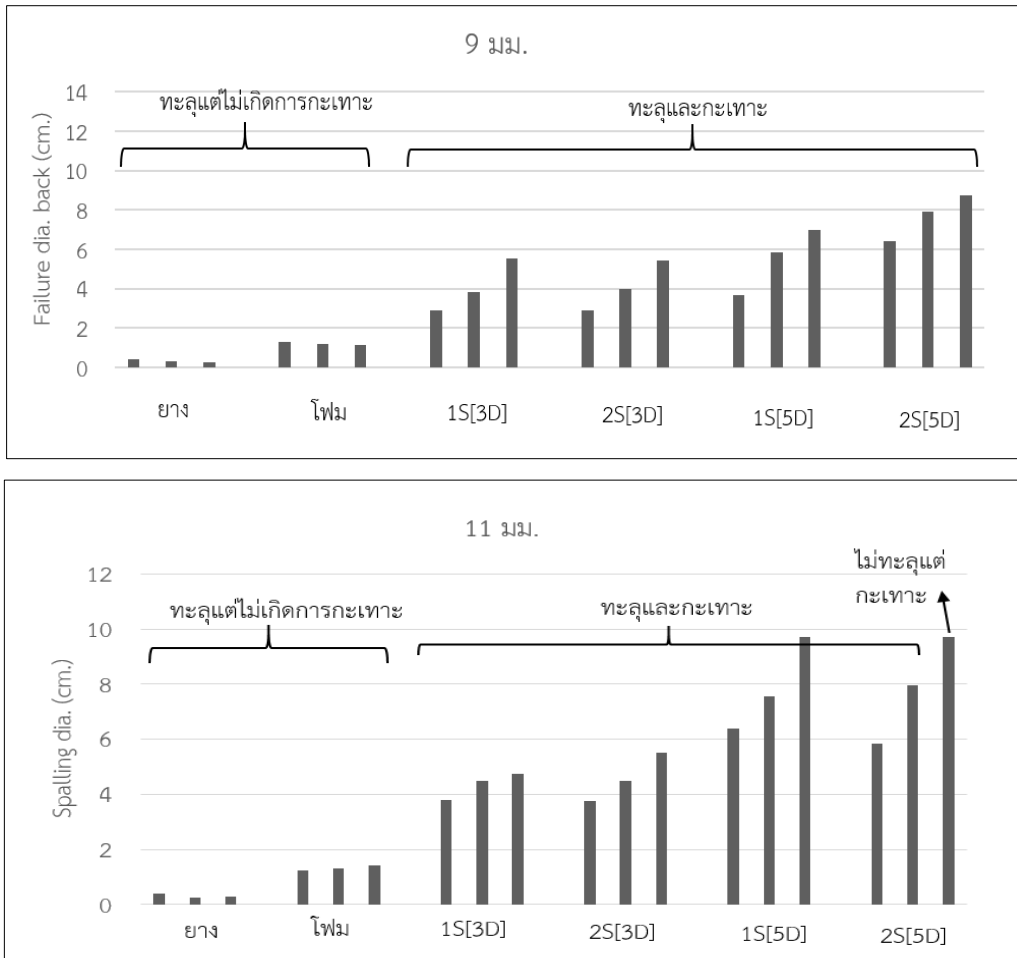
โฟม



คอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก

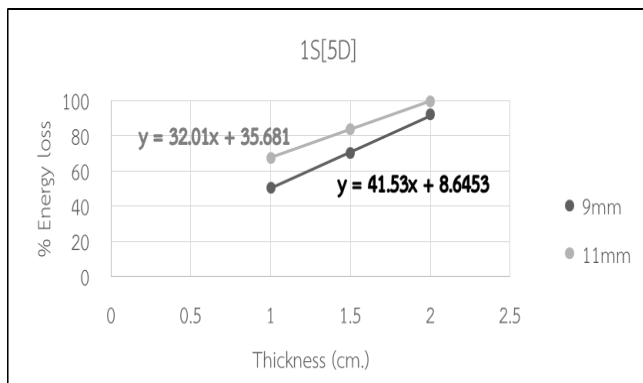
รูปที่ 5 รูปแบบการวิบัติของแผ่นทดสอบ

เส้นผ่านศูนย์กลางการวิบัติพบว่กระสุนขนาด 11 มม. และ 9 มม. แสดงดังรูปที่ 6 จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางการวิบัติที่ด้านหลังมากกว่าด้านหน้า ยางและโฟมไม่เกิดการกะเทาะ และแผ่นคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่ 1%, 2% ที่ขนาดต่างๆ ยังมีการทะลุและเกิดการวิบัติ ยกเว้นแผ่นคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กชนิด 5D ที่ 2% ความหนา 1.5 ซม., 2 ซม. จะไม่มีการทะลุแต่เกิดการวิบัติ โดยด้านหลังวิบัติมากกว่าด้านหน้า



รูปที่ 6 เส้นผ่านศูนย์กลางการวิบัติยิงด้วยกระสุน 9 มม. และกระสุน 11 มม.

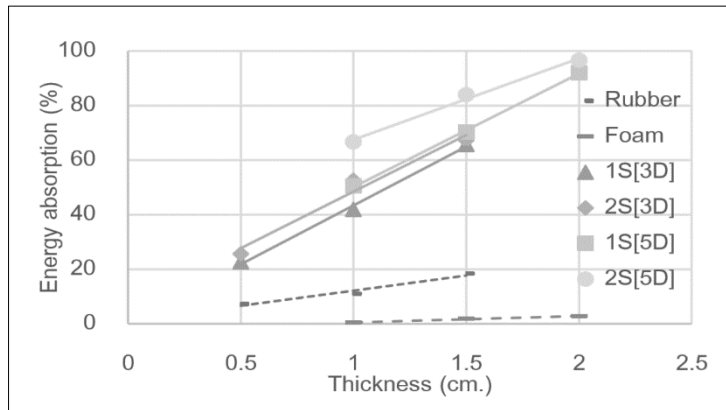
การดูดซับพลังงานจลน์ของวัสดุแผ่นทดสอบเกือบทุกชนิดที่ยิงด้วยกระสุน 9 มม. มีอัตราการการดูดซับพลังงานจลน์สูงกว่าวัสดุที่ยิงด้วยกระสุนขนาด 11 มม. ยกเว้นแผ่นคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กชนิด 5D ปริมาณ 2% ซึ่ง มีอัตราการดูดซับพลังงานจลน์ของวัสดุที่ยิงด้วยกระสุน 11 มม. สูงกว่า 9 มม. ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับพลังงานจลน์กับขนาดกระสุนปืนขนาด 11 มม. และ 9 มม.

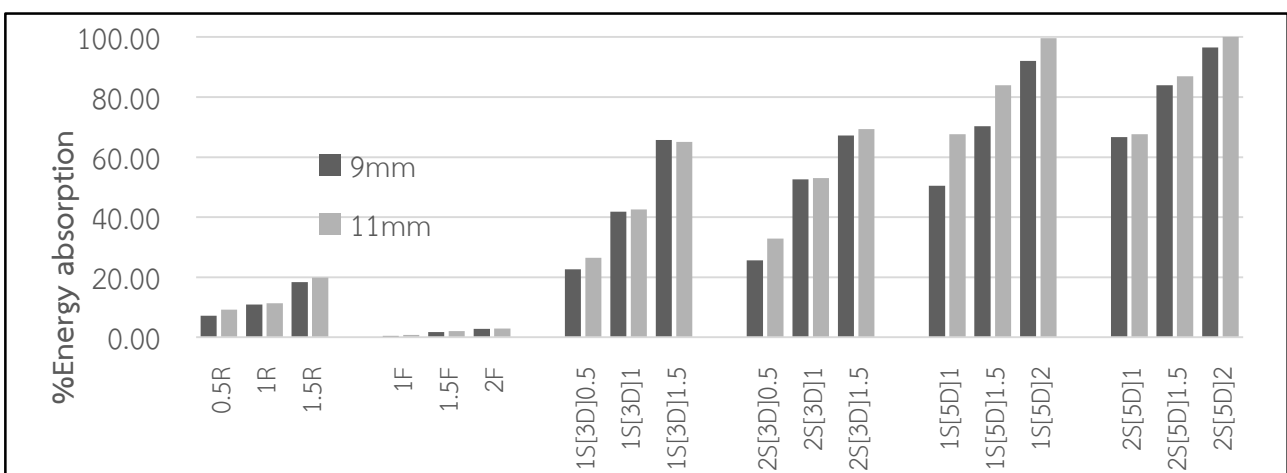
- การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลจากการทดสอบ

ร้อยละการดูดซับพลังงานจลน์แปรผันตรงกับความหนา เมื่อความหนาของวัสดุเพิ่มมากขึ้น ร้อยละการดูดซับพลังงานจลน์จะเพิ่มขึ้นตาม และที่ความหนาเดียวกันคือ 1, 1.5 และ 2 เซนติเมตร แผ่นคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กชนิด 5D ปริมาณ 2% ดูดซับพลังงานจลน์มากที่สุด ส่วนที่ความหนา 0.5 เซนติเมตร แผ่นคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กชนิด 3D ปริมาณ 2% ดูดซับพลังงานจลน์มากที่สุด ในส่วนของวัสดุอ่อนนุ่มที่ความหนา 1 และ 1.5 เซนติเมตร ยางมีร้อยละการดูดซับพลังงานจลน์สูงกว่าโฟม แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับพลังงานจลน์กับชนิดและความหนาของวัสดุ

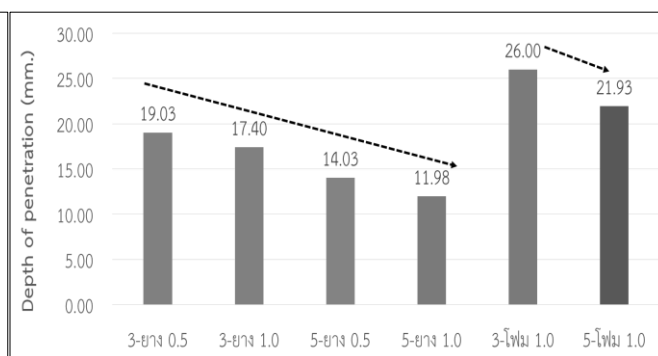
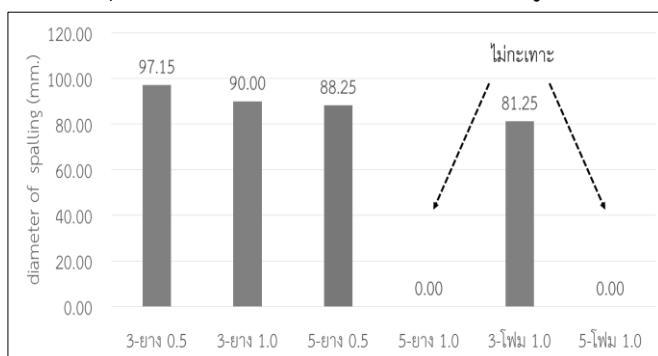
ร้อยละการดูดซับพลังงานจลน์แปรผันตรงกับชนิดและปริมาณเส้นใย เมื่อเปรียบเทียบเส้นใยเหล็กชนิด 3D กับ 5D ที่ปริมาณเส้นใยเท่ากัน พบว่าแผ่นคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กชนิด 3D มีค่าการดูดซับพลังงานจลน์ต่ำกว่าชนิด 5D และเมื่อเปรียบเทียบเส้นใยเหล็กชนิดเดียวกันที่ปริมาณแตกต่างกัน จะพบว่าแผ่นคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กปริมาณ 1% มีค่าการดูดซับพลังงานจลน์ต่ำกว่าปริมาณ 2% และร้อยละการดูดซับพลังงานจลน์ของยางสูงกว่าโฟมและกระสุนขนาด 11 มม. จะถูกดูดซับพลังงานจลน์โดยแผ่นวัสดุทดสอบมากกว่ากระสุนขนาด 9 มม. เพราะกระสุนขนาด 11 มม. มีหน้าตัดกระสุนใหญ่กว่าและมีพลังงานจลน์ตั้งต้นต่ำกว่ากระสุนขนาด 9 มม. ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับพลังงานจลน์กับขนาดกระสุนปืนขนาด 9 มม. และ 11 มม.

5.1 รูปแบบการวิบัติของแผ่นคอนกรีตกันกระสุนแบบหลายชั้น

รูปแบบการวิบัติแผ่นแบบ 3 ชั้นพบว่ากระสุนฝังอยู่ในแผ่นและเกิดการกะเทาะที่ด้านหลัง ซึ่งแผ่นที่ทำจากโฟมมีความเสียหายมากกว่าแผ่นที่ทำจากยางธรรมชาติเนื่องจากร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมีค่ามากกว่า ส่วนแผ่นแบบ 5 ชั้นที่ทำจากยางธรรมชาติหนา 5 มม. ยังคงพบว่ากระสุนฝังอยู่ที่ด้านหน้าและด้านหลังเกิดการกะเทาะ แต่ในแผ่นแบบ 5 ชั้นที่ทำจากยางธรรมชาติและโฟมหนา 10 มม. ไม่พบรอยร้าวที่ด้านหลังแผ่น และพบว่ากระสุนยังคงฝังอยู่ในแผ่น ในส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางการวิบัติและความลึกการทะลุการกะเทาะลดลงเมื่อความหนาและจำนวนชั้นของแผ่นยาง และโฟมเพิ่มขึ้น ซึ่งในผนังแบบ 5 ชั้นที่ทำจากแผ่นยางและโฟมหนา 1 ซม. ไม่เกิดการกะเทาะที่ด้านหลัง ดังรูปที่ 10 ความลึกของการทะลุนั้นมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มความหนาและจำนวนชั้นเพิ่มขึ้น โดยในผนังที่ทำจากแผ่นโฟมมีการทะลุมากกว่าผนังที่ทำจากแผ่นยางพารา ดังรูปที่ 11



รูปที่ 10 เส้นผ่านศูนย์กลางการวิบัติด้านหลังผนังกันกระสุน

รูปที่ 11 ความลึกการทะลุของผนังกันกระสุน

- การเปรียบเทียบการดูดซับพลังงานจลน์กับเส้นผ่านศูนย์กลางการวิบัติ

เมื่อเปรียบเทียบแผ่นแบบ 3 ชั้นที่ทำจากยางพบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางการวิบัติมีค่าลดลงตามผลรวมของร้อยละการดูดซับพลังงานจลน์ที่เพิ่มขึ้น แผ่นแบบ 5 ชั้นที่ทำจากยางพบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางการวิบัติมีค่าลดลงตามผลรวมของร้อยละการดูดซับพลังงานจลน์ที่เพิ่มขึ้นเช่นกันแต่ในกรณีนี้ยังพบว่า ที่ผลรวมการดูดซับพลังงานจลน์มากกว่า 157.1 % ไม่พบการกะเทาะที่ด้านหลังของแผ่นเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 3 ชั้นและ 5 ชั้นที่ทำจากโฟมพบในลักษณะเดียวกันกับ 5 ชั้นที่ทำจากยาง โดยในส่วนของโฟมพบว่าค่าการดูดซับพลังงานรวมที่ 136.2 % ก็ไม่พบการกะเทาะที่ด้านหลังแผ่น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโฟมอาจจะมีประสิทธิภาพสูงกว่ายาง ดังรูปที่ 12

รูปที่ 12 ความสัมพันธ์การดูดซับพลังงานจลน์และเส้นผ่านศูนย์กลางการวิบัติของแผ่น 3 ชั้นและ 5 ชั้น ที่ทำจากโฟมและยางธรรมชาติ

6. สรุปผล

6.1 ผลการทดสอบรูปแบบการวิบัติและระดับการดูดซับพลังงานจลน์ของวัสดุ

แผ่นยางธรรมชาติและแผ่นโฟมที่เป็นวัสดุอ่อนนุ่ม มีเส้นผ่านศูนย์กลางการวิบัติที่ด้านหน้าและด้านหลังไม่ต่างกัน ส่วนแผ่นคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่เป็นวัสดุที่มีความแข็ง พบว่ามีเส้นผ่านศูนย์กลางการวิบัติที่ด้านหลังมากกว่าด้านหน้าค่าการดูดซับพลังงานจลน์ของวัสดุแต่ละชนิดเพิ่มขึ้นตามความหนาของวัสดุและความแข็งแรงแรงของแผ่นทดสอบ แผ่นที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ แผ่นคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กชนิด 5D รองลงมาคือแผ่นคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กชนิด 3D ตามด้วยยาง และ โฟม ตามลำดับ

6.2 ผลทดสอบการรูปแบบการวิบัติของแผ่นคอนกรีตกันกระสุนแบบหลายชั้น

แผ่นทดสอบแบบ 3 ชั้นที่ทำจากยาง พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางการวิบัติลดลงตามผลรวมของร้อยละการดูดซับพลังงานจลน์ที่เพิ่มขึ้น แผ่นทดสอบแบบ 5 ชั้นที่ทำจากยาง พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางการวิบัติลดลงตามผลรวมของร้อยละการดูดซับพลังงานจลน์ที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน และเมื่อผลรวมของการดูดซับพลังงานจลน์สูงถึงค่าค่าหนึ่งแผ่นทดสอบจะไม่พบการทะลุที่ด้านหลังแผ่น เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 3 ชั้นและ 5 ชั้น ที่ทำจากโฟมพบในลักษณะเดียวกันกับแผ่นแบบ 5 ชั้นที่ทำจากยาง ในส่วนของโฟมกรณีที่ไม่พบการทะลุที่ด้านหลังแผ่นก็ต้องมีผลรวมการดูดซับพลังงานจลน์สูงถึงค่าค่าหนึ่งเช่นกัน แต่จะไม่สูงเท่าแผ่นแบบ 5 ชั้นที่ทำจากยาง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง “การศึกษาการรูปแบบการวิบัติของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กกันกระสุนแบบหลายชั้น” ผู้จัดทำได้ศึกษา ค้นคว้า และทดลอง จนสำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายๆท่านซึ่งผู้มีพระคุณที่ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งคือ ศ.ดร.ปิติ สุขคนธสุขกุล และ ดร.สิทธิศักดิ์ แจ่มนาม ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้โครงการนี้ออกมาสมบูรณ์ที่สุด และขอขอบคุณท่านกรรมการ รศ.ดร.มาโนช สรรพกิจทิพากร ที่ให้คำแนะนำเพิ่มเติม สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ นายบุชิต มาโก้ (พี่บู่) ซึ่งเป็นนักศึกษาชั้นปริญญาเอกที่คอยให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ให้ความรู้และจริยธรรม

บรรณานุกรม

- [1] สิทธิศักดิ์ แจ่มนาม, “การพัฒนาผนังคอนกรีตสมรรถนะสูงแบบหลายชั้นสำหรับการต้านทานแรงกระแทกจากกระสุนปืน (วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ)” , 2015
- [2] 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, Montreal, Quebec, Canada, June 2002
- [3] 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, pp. 801-811