

การศึกษาอิทธิพลของแรงอัดบนผืนผ้าทอไนลอน
ต่อการเจาะทะลุของกระสุนปืน

A STUDY OF THE INFLUENCE OF COMPRESSIVE FORCE ON NYLON
FABRIC ON THE PENETRATION OF BULLET



ชูพงศ์ ไชยหลาก

CHOOPONG CHAIYALAK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2552

การศึกษาอิทธิพลของแรงอัดบนพื้นผ้าทอในลอน
ต่อการเจาะทะลุของกระสุนปืน



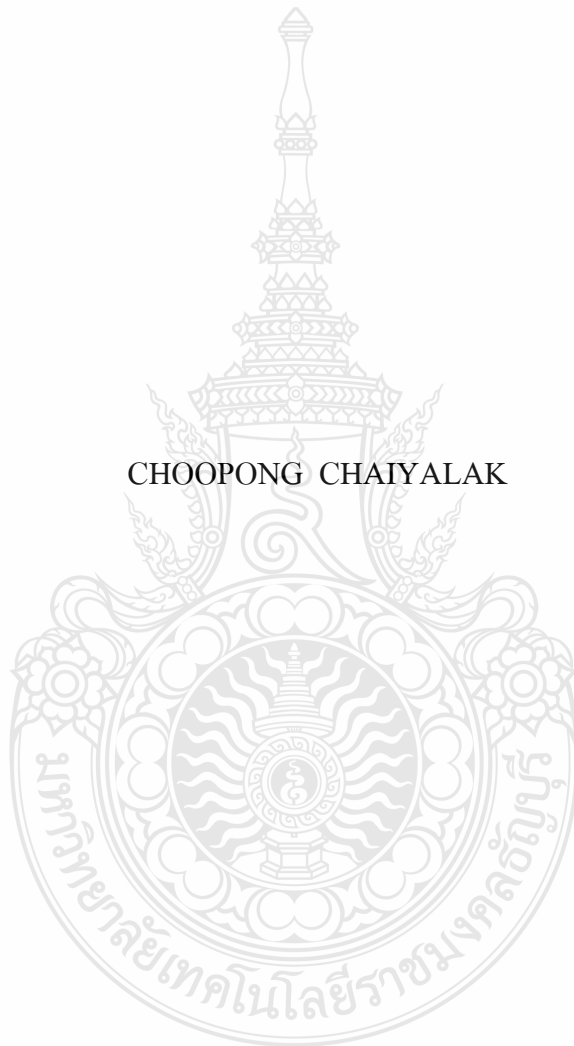
ชูพงศ์ ไชยหลาก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2552

**A STUDY OF THE INFLUENCE OF COMPRESSIVE FORCE ON NYLON
FABRIC ON THE PENETRATION OF BULLET**

CHOOPONG CHAIYALAK



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN TEXTILE ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2009

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ใน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและข้อความต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นาวาอากาศตรี ชูพงศ์ ไชยหลาก





ใบรับรองวิทยานิพนธ์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาอิทธิพลของแรงอัดบนพื้นผ้าทอไนลอน
ต่อการเจาะทะลุของกระสุนปืน
A STUDY OF THE INFLUENCE OF COMPRESSIVE FORCE ON
NYLON FABRIC ON THE PENETRATION OF BULLET
ชื่อนักศึกษา นาวาอากาศตรี ชูพงศ์ ไชยหลากหลาย
รหัสประจำตัว 124970405017-0
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งทอ
ปี พ.ศ. 2552
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมประสงค์ ภาษาอังกฤษ
วัน เดือน ปี ที่สอบ 24 เมษายน 2552
สถานที่สอบ คณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวิชัย อมรศักดิ์ชัย)
.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนึก สังข์หนู)
.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ สนธิสมบัติ)
.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมประสงค์ ภาษาอังกฤษ)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชัย หิรัญวโรดม)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2552

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาอิทธิพลของแรงอัดบนพื้นผ้าทอไนลอน ต่อการเจาะทะลุของกระสุนปืน
นักศึกษา	นาวาอากาศตรี ชูพงศ์ ไชยหลาก
รหัสประจำตัว	124970405017-0
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งทอ
ปี พ.ศ.	2552
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมประสงค์ ภาษาประเทศ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของแรงอัดบนพื้นผ้าทอไนลอน 66 ต่อการเจาะทะลุของกระสุนปืนขนาด 9 มม. สำหรับการผลิตเกราะกันกระสุน โดยนำเส้นด้ายไนลอน 66 มาทอเป็นพื้นผ้าลายตะกร้า (Basket) 2 x 2 นำผ้ามาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 12 x 12 ตารางนิ้ว หลังจากนั้นนำพื้นผ้าจำนวน 100 ผืนมาวางซ้อนกัน โดยให้แนวด้ายพุ่งและยืนวางสลับกันและประกอบเป็นแผ่นเกราะกันกระสุน 2 แบบ แบบที่ 1 วางซ้อนโดยไม่มีการเย็บพื้นผ้าให้ติดกัน แบบที่ 2 วางซ้อนกันพร้อมทั้งเย็บพื้นผ้าให้ติดกันทีละ 20 ผืน เท่ากับ 1 ชุด ทำเช่นเดียวกันให้ได้ 5 ชุด แล้วนำมาเย็บกั๊นริมติดกัน นำแผ่นอลูมิเนียมหนา 3 มิลลิเมตรประกบด้านบนและด้านล่างของชั้นผ้าแบบเย็บและไม่เย็บ นำเข้าเครื่องแรงอัด และอัดด้วยแรงอัด 0, 200, 400, 600, 800 และ 1,000 กิโลกรัมแรง และยึดแผ่นเกราะด้วยสกรู นำไปทดสอบการป้องกันกระสุนปืน ตามมาตรฐานยูทโทปกรณั้กระทรวงกลาโหม ว่าด้วยเสื้อเกราะกันกระสุน โดยใช้กระสุนขนาด 9 มม. มุมยิง 0 องศา จำนวน 4 จุด และมุมยิง 30 องศา จำนวน 2 จุด ตามมาตรฐานกำหนด ผลการทดสอบพบว่าจำนวนชั้นที่กระสุนทะลุแผ่นเกราะลดลง เมื่อแรงอัดชั้นพื้นผ้าเพิ่มสูงขึ้น และการเย็บทำให้จำนวนชั้นที่กระสุนทะลุแผ่นเกราะลดลงด้วยเช่นกัน สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มแรงอัด และการเย็บทำให้แผ่นเกราะสามารถรับแรงที่หัวกระสุนกระทำต่อแผ่นเกราะได้ดีขึ้น และยังทำให้หัวกระสุนเสียความแหลมคมไปจากเดิม และหยุดการทะลุผ่านแผ่นเกราะไปในที่สุด

คำสำคัญ : ไนลอน 66 / โครงสร้างผ้า Basket 2x2 / มาตรฐานยูทโทปกรณั้ กระทรวงกลาโหม ว่าด้วยเสื้อเกราะกันกระสุน

Thesis Title : A STUDY OF THE INFLUENCE OF COMPRESSIVE FORCE ON NYLON FABRIC ON THE PENETRATION OF BULLET

Student Name : Squadron Leader Choopong Chaiyalak

Student ID : 124970405017-0

Degree Award : Master of Engineering

Study Program : Textile Engineering

Year of Achievement : 2009

Thesis Advisor : Assistant Professor Dr. Somprasong Pasapratet

ABSTRACT

The purpose of this research is to study the influence of compressive force on woven nylon fabric on the penetration of 9 mm ammunition for the production of armor plate. Nylon 66 yarns were woven into fabric with basket 2 x 2 structure. The fabric was cut into 12 x 12 sq. in. 100 layers of the fabric were stacked such that the warp and the weft yarn were placed alternately and assembled into armor plate. Two types of armor plate were prepared. Type 1, fabrics were only stacked on top of one another without being sewn. Type 2, 5 sets of fabrics were sewn together (20 layer of fabrics = 1 set). The fabrics were put between two aluminum plates and placed in the compression machine. Different levels of compressive forces were applied to the assembly such as 0, 200, 400 600, 800 and 1,000 kilogram force. Screws were used to hold the plates in place and retain the compressive force. The armor plates were tested according to Thai military standard for armor, 0 degree of the angle of incidence for 4 spots and 30 degree of the angle of incidence for 2 spots with 9 mm ammunition. The results showed that the number of penetrated fabric layers decreased with increasing the compressive force and sewing also. It can be concluded that the compressive force and sewing enable better performance for the armor plate. The bullet tip was deformed and stopped eventually.

Keyword : Nylon 66 / Basket 2x2 structure / Thai military standard for armor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้อย่างสมบูรณ์เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางด้านวิชาการ ความเอื้อเฟื้อทางด้านสถานที่ เครื่องมือ และวัสดุสำหรับการทำวิจัย อีกทั้งได้รับความช่วยเหลือและการแนะแนวทางในการทำวิจัยจากอาจารย์ และผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมประสงค์ ภาษประเทศ รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมนึก สังข์หนู และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อภิชาติ สนธิสมบัติ ที่ให้คำแนะนำ สนับสนุนค่าใช้จ่าย 66 ช่วยแก้ปัญหาในระหว่างการทำวิจัย และให้คำแนะนำแก้ไขจุดบกพร่องในด้านต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ขอขอบคุณ นาวาอากาศตรี ยอด แยมยืนยงค์ หัวหน้าฝ่ายอาวุธและกระสุน เจ้าหน้าที่ฝ่ายอาวุธและกระสุน และเจ้าหน้าที่ฝ่ายตรวจทดลอง ฝ่ายตรวจทดลอง กรมพลธิการทหารอากาศทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรมพลธิการทหารอากาศ และกรมสรรพาวุธทหารอากาศ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือในการทำวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และขอขอบคุณครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งครูบาอาจารย์ ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาการทั้งหลายให้ผู้วิจัยจนสามารถทำงานวิจัยนี้ได้สำเร็จตามที่มุ่งหวังไว้

ชูพงศ์ ไชยหลาก

24 เมษายน 2552

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และ คำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา	2
บทที่ 2 วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ไนลอน	4
2.2 รูปร่างทางกลของจุลทรรศน์	5
2.3 คุณสมบัติทางกายภาพ	6
2.4 คุณสมบัติทั่วไปของเส้นใยไนลอน	6
2.5 เครื่องหมายการค้าของไนลอน 66 และไนลอน 6	7
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับสมบัติของเส้นใย เส้นด้าย และผ้า	8
2.7 กระสุน	10
2.8 ชนิดกระสุนใช้ทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุน	13
2.9 โครงสร้างผ้า	16
2.10 วิธีการทดสอบสิ่งทอ แรงดึงและการยืดตัวที่ทำให้ผ้าทอขาด	18
2.11 แรงตอบสนองของวัสดุต่อแรงกระแทกที่เกิดจากการเคลื่อนของวิถีกระสุน	19
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	27
3.1 วิธีที่ใช้ศึกษา คั่นคว่ำและวิจัย	27
3.2 วัสดุและเครื่องมือใช้ในการทดลอง	28
3.3 วิธีการทดลอง	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	53
4.1 ผลการทดสอบผ้าไนลอน 66	53
4.2 ผลการทดสอบแรงดึงผ้าไนลอน 66 หลังอัดแรงในระดับต่างๆ	54
4.3 ผลการทดสอบความหนาแน่นของวัสดุหุน	57
4.4 ผลการศึกษาเบื้องต้น	58
4.5 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะค่าเฉลี่ย มุม 0 องศา	70
4.6 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะค่าเฉลี่ย มุม 30 องศา	72
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	87
5.1 สรุปผลการทดลองความแข็งแรงของพื้นผ้าเมื่อถูกแรงอัด	87
5.2 สรุปผลการทดลองการป้องกันกระสุน	88
5.3 ข้อวิจารณ์	88
5.4 สรุปผลการวิจัย	88
5.5 ข้อเสนอแนะ	89
เอกสารอ้างอิง	90
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะ	92
ภาคผนวก ข Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06	105
ภาคผนวก ค รายการบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์เผยแพร่	202
ประวัติผู้เขียน	212

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดสอบผ้าไนลอน 66	53
4.2 ผลการทดลองความแข็งแรงของพื้นผ้าเมื่อถูกแรงกด	54
4.3 ผลการทดสอบความหนาแน่นของวัสดุหุน	57
4.4 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะไนลอน 66 แบบเย็บ ทดสอบด้วยกระสุน M16	58
4.5 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะไนลอน 66 แบบเย็บ ทดสอบด้วยกระสุน 7.62 มม.	59
4.6 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะไนลอน 66 แบบไม่เย็บ ทดสอบด้วยกระสุน M16	64
4.7 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะไนลอน 66 แบบไม่เย็บ ทดสอบด้วยกระสุน 7.62 มม.	65
4.8 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะ ค่าเฉลี่ยจำนวนชั้นทะลุ (มุม 0 องศา)	70
4.9 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะ ค่าเฉลี่ยจำนวนชั้นทะลุ (มุม 30 องศา)	72



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สมการเคมีไนลอน 66	5
2.2 ภาพด้านหน้าตัดไนลอน	5
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับสมบัติของเส้นใย เส้นด้าย และผ้า	9
2.4 ส่วนประกอบของกระสุนปืนเล็ก	12
2.5 กระสุนปืนขนาดต่างๆ	14
2.6 ลักษณะของหัวกระสุนแบบต่างๆ	15
3.1 เส้นด้ายไนลอน 66 ความเหนียวสูง	28
3.2 แผ่นอลูมิเนียม	28
3.3 สกรูยึดแผ่นอลูมิเนียม	29
3.4 เครื่องทอผ้า Rapier ความเร็วของเครื่องทอ 260 เส้นพุ่งต่ออนาที่	29
3.5 เครื่องทดสอบแรงดึงและเครื่องอัดแรงกด (Tensile Strength)	30
3.6 เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าขนาด 6,000 กรัม	30
3.7 หัวกดที่ออกแบบขึ้นงาน สำหรับกดอัดแรงต่างๆ	31
3.8 เครื่องวัดความเร็วกระสุนปืนของกรมสรรพาวุธทหารอากาศ	32
3.9 เครื่องประมวลผลความเร็ว กรมสรรพาวุธทหารอากาศ	32
3.10 จักรเย็บผ้าอุตสาหกรรม	33
3.11 ปืนเล็กยาว ขนาด 5.56 มม.	33
3.12 ปืนเล็กยาว ขนาด 7.62 มม.	34
3.13 กระสุนขนาด M16 หรือ 5.56 มม.	34
3.14 กระสุนขนาด 7.62 มม.	35
3.15 ปืนพกสั้นขนาด 9 มม. และกระสุนปืนขนาด 9 มม. FMJ	35
3.16 รูปลายการทอลายตะกร้า	36
3.17 ผืนผ้าไนลอน 66 ลายตะกร้า	37
3.18 ตัดผ้าทดสอบแรงดึงและระยะยืดขณะผ้าขาดด้ายยืน	37
3.19 ตัดผ้าทดสอบแรงดึงและระยะยืดขณะผ้าขาดด้ายพุ่ง	38
3.20 ทดสอบแรงดึงและระยะยืดที่จุดขาด ของผ้าไนลอน 66	38
3.21 ตัดผ้าไนลอน 66 ตามแบบขึ้นทดสอบ	39
3.22 การจัดทำแบบขึ้นทดสอบ	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.23 การวางฝืนผ้าด้ายยืนและด้ายพุ่งสลับกัน แบบไม่เย็บ	40
3.24 การเย็บลายผ้าแผ่นเกราะ รูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน	40
3.25 แผ่นเกราะแบบเย็บ และแบบไม่เย็บ	41
3.26 แผ่นเกราะแบบเย็บ ประกอบด้านบนและล่างด้วยแผ่นอลูมิเนียม	41
3.27 การยึดแผ่นอลูมิเนียมด้วยสกรู หลังกดแผ่นเกราะ	42
3.28 แผ่นเกราะแบบไม่เย็บ และแบบเย็บ ผ่านแรงอัดแล้ว ประกอบกับแผ่นอลูมิเนียม	42
3.29 ทดสอบหา Tensile Strength ผ้าที่ได้รับแรงอัดที่แรงอัดต่างๆ	43
3.30 รูปแบบติดตั้งวางอุปกรณ์เครื่องจับความเร็ว	44
3.31 ติดตั้งวางอุปกรณ์เครื่องจับความเร็ว	44
3.32 ทดสอบความหนาแน่นวัสดุหุ่่นดินน้ำมัน	45
3.33 ติดตั้งฉากจับความเร็วพร้อมเครื่องวัดความเร็วกระสุน	45
3.34 เตรียมหัวกระสุนขนาด 9 มม. ประกอบกับปลอกกระสุนพร้อมดินปืน	46
3.35 เตรียมปืนขนาด 9 มม. ใช้สำหรับการทดสอบ	46
3.36 ทำการยึดตรึงตัวอย่างแผ่นเกราะกับวัสดุหุ่่น	47
3.37 กำหนดจุดยิงบนตัวอย่างแผ่นเกราะ จำนวน 6 จุด	48
3.38 กำหนดจุดยิงบนตัวอย่างแผ่นเกราะจุดที่ 1	48
3.39 ยิงตัวอย่างแผ่นเกราะ ด้วยกระสุนปืน 9 มม.	49
3.40 แผ่นเกราะแบบเย็บ กำลังทดสอบยิงด้วยกระสุนปืน 9 มม. ครบ 6 นัด	49
3.41 ตัวอย่างแผ่นเกราะแบบเย็บ แรงอัด 1000 ก.ก.แรง หลังทดสอบยิง	50
3.42 แผ่นเกราะแบบเย็บ หลังทดสอบยิงด้วยกระสุนปืน 9 มม. ที่แรงอัดระดับต่างๆ	50
3.43 เลาะด้ายที่เย็บแผ่นเกราะแบบเย็บ	51
3.44 ตรวจสอบจำนวนชั้นทะลุของ แผ่นเกราะแบบเย็บ	51
3.45 แผ่นเกราะแบบเย็บหลังเลาะเส้นด้าย	52
3.46 วัดขนาดรอยยุบตัวของวัสดุหุ่่น	52
4.1 ผลการทดลองความแข็งแรงของฝืนผ้าเมื่อถูกแรงกด	55
4.2 ผลการทดลองความแข็งแรงที่สูญเสียของฝืนผ้าเมื่อถูกแรงกด	56
4.3 แผ่นเกราะแข็งด้านหน้า ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.	60
4.4 แผ่นเกราะแข็งด้านข้าง ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.	60
4.5 แผ่นเกราะแข็งด้านหลัง ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.	61

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 แผ่นเกราะ 3A ด้านหน้า รองแผ่นเกราะแข็ง ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.	61
4.7 แผ่นเกราะ 3A ด้านหลัง รองแผ่นเกราะแข็ง ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.	62
4.8 แผ่นเกราะ 3A แผ่นที่ 1 ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.	62
4.9 ตรวจสอบจำนวนชั้นของ แผ่นเกราะ 3 A ที่ทะลุ จากการ ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.	63
4.10 แผ่นเกราะ 3 A ที่หัวกระสุนเจาะทะลุ	63
4.11 แผ่นเกราะแข็งด้านหน้า แบบไม่เย็บ	66
4.12 การติดตั้งแผ่นเกราะแข็ง พร้อมยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.	66
4.13 ด้านหลังแผ่นเกราะระดับ 3A (แผ่นสุดท้าย) ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.	67
4.14 แผ่นเกราะแข็งด้านหน้า ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.	67
4.15 แผ่นเกราะแข็งแผ่นที่ 200 (แผ่นสุดท้าย) ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.	68
4.16 แผ่นเกราะ 3 A ด้านหน้า รองแผ่นเกราะแข็ง ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.	68
4.17 หัวกระสุน 7.62 มม. ทะลุแผ่นเกราะ 3 A	69
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับจำนวนชั้นทะลุมุม 0 องศา	71
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับจำนวนชั้นทะลุมุม 30 องศา	73
4.20 แผ่นเกราะแบบเย็บ แรงอัด 200 กก. หลังยิงทดสอบ	74
4.21 แผ่นเกราะแบบเย็บด้านหน้า ถอดแผ่นอลูมิเนียม	74
4.22 แผ่นเกราะแบบเย็บ แรงอัด 400 กก. หลังยิงทดสอบครบ 6 นัด	75
4.23 แผ่นเกราะแบบเย็บด้านหน้า ถอดแผ่นอลูมิเนียม	75
4.24 แผ่นเกราะแบบเย็บ แรงอัด 600 กก. หลังยิงทดสอบ	76
4.25 แผ่นเกราะแบบเย็บด้านหน้า ถอดแผ่นอลูมิเนียม	76
4.66 แผ่นเกราะแบบเย็บ แรงอัด 800 กก. หลังยิงทดสอบ	77
4.27 แผ่นเกราะแบบเย็บด้านหน้า ถอดแผ่นอลูมิเนียม	77
4.28 แผ่นเกราะแบบเย็บ แรงอัด 1000 กก. หลังยิงทดสอบ	78
4.29 แผ่นเกราะแบบไม่เย็บ แรงอัด 200 กก. หลังยิงทดสอบ	78
4.30 แผ่นเกราะแบบไม่เย็บด้านหน้า ถอดแผ่นอลูมิเนียม	79
4.31 ตรวจสอบจำนวนชั้นทะลุของ แผ่นเกราะแบบไม่เย็บ	79
4.32 แผ่นเกราะแบบไม่เย็บ แรงอัด 400 กก. หลังยิงทดสอบ	80
4.33 แผ่นเกราะแบบไม่เย็บด้านหน้า ถอดแผ่นอลูมิเนียม	80

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.34 ตรวจสอบจำนวนชั้นทะเลของกระสุนนัดที่ 1 แผ่นเกราะแบบไม่เย็บ	81
4.35 แผ่นเกราะแบบไม่เย็บ แรงอัด 600 กก. หลังยิงทดสอบ	81
4.36 แผ่นเกราะแบบไม่เย็บด้านหน้า ถอดแผ่นอลูมิเนียม	82
4.37 ตรวจสอบจำนวนชั้นทะเลของ แผ่นเกราะแบบไม่เย็บแรงอัด 600 กก.	82
4.38 แผ่นเกราะแบบไม่เย็บ แรงอัด 800 กก. หลังยิงทดสอบ	83
4.39 แผ่นเกราะแบบไม่เย็บด้านหน้า ถอดแผ่นอลูมิเนียม	83
4.40 ตรวจสอบจำนวนชั้นทะเลของ แผ่นเกราะแบบไม่เย็บแรงอัด 800 กก.	84
4.41 แผ่นเกราะแบบไม่เย็บ แรงอัด 1000 กก. หลังยิงทดสอบ	84



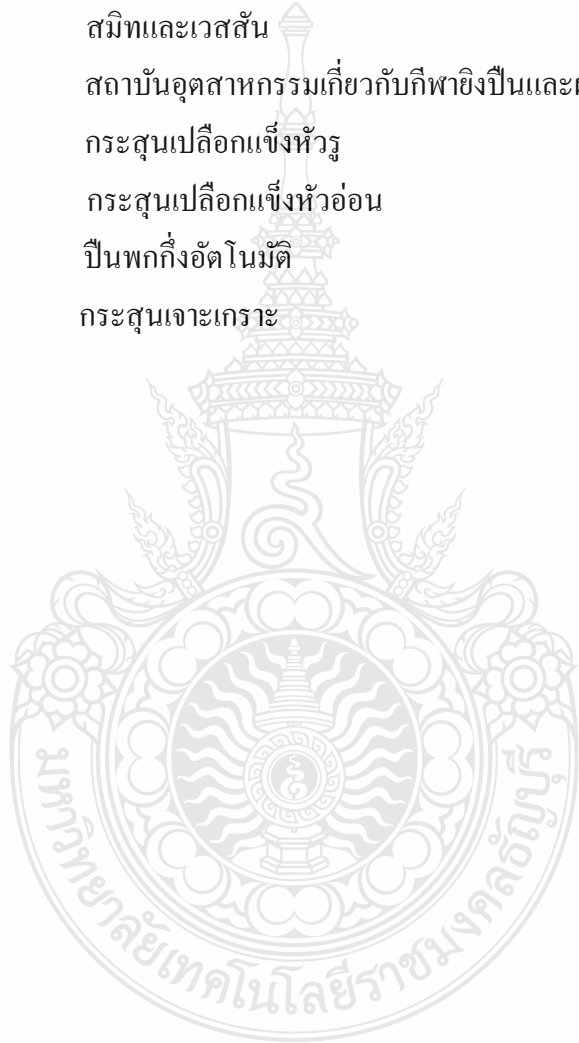
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

FMJ	กระสุนชนิดเปลือกแข็ง
JHP	กระสุนเปลือกแข็งหัวรู
JSP	กระสุนชนิดเปลือกแข็งหัวอ่อน
LR	ปืนเล็กยาว
LRN	กระสุนชนิดตะกั่วหัวกลม
S & W	smith และ เวสตัน
SAAMI	สถาบันอุตสาหกรรมเกี่ยวกับกีฬายิงปืนและผลิตกระสุนปืน
SJHP	กระสุนเปลือกแข็งหัวรู
SJSP	กระสุนเปลือกแข็งหัวอ่อน
ACP	ปืนพกกึ่งอัตโนมัติ
AP	กระสุนเจาะเกราะ



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

FMJ	กระสุนชนิดเปลือกแข็ง
JHP	กระสุนเปลือกแข็งหัวรู
JSP	กระสุนชนิดเปลือกแข็งหัวอ่อน
LR	ปืนเล็กยาว
LRN	กระสุนชนิดตะกั่วหัวกลม
S & W	smith and wesson
SAAMI	สถาบันอุตสาหกรรมเกี่ยวกับกีฬายิงปืนและผลิตกระสุนปืน
SJHP	กระสุนเปลือกแข็งหัวรู
SJSP	กระสุนเปลือกแข็งหัวอ่อน
ACP	ปืนพกกึ่งอัตโนมัติ
AP	กระสุนเจาะเกราะ



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากงานวิจัยการศึกษาการผลิตเส้นใยเอาระก้านกระสุนจากผ้าใยประดิษฐ์ เพื่อนำไปใช้ผลิตเชิงพาณิชย์ ระยะที่ 1 ของ ศศ.ดร.สมประสงค์ ภาษาประเทศและคณะ เป็นการศึกษาเส้นใยและโครงสร้างผ้าที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยเอาระก้านกระสุน ซึ่งเส้นใยที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ เส้นใยพอลิเอทิลีน เส้นใยไนลอน 66 และเส้นใยพอลิเอสเตอร์ โดยนำเส้นใยพอลิเอทิลีนและเส้นใยไนลอน 66 ไปทอ และทำการผลิตผ้าทอลายตะกร้า (Basket) 2 x 2 จากเส้นใยไนลอน 66 และพอลิเอสเตอร์ เพื่อใช้ในการเตรียมชิ้นทดสอบยิง จากนั้นจัดทำแบบชิ้นทดสอบ ทำการวางชิ้นทดสอบบนแบบ ตัดชิ้นทดสอบตามแบบ กำหนดทิศทางการวางผ้า กำหนดฝีเข็มในการเย็บชิ้นทดสอบและเย็บชิ้นทดสอบ จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปทำการทดลองยิงด้วยกระสุนปืนชนิดต่างๆ ความเร็วกระสุน น้ำหนักของลูกกระสุน มุมในการยิงทดสอบและระยะห่างในการยิงชิ้นทดสอบอ้างอิงตามที่มาตราฐาน NIJ Standard-0101.04 กำหนดจากผลการทดสอบยิงชิ้นตัวอย่าง พบว่าผ้าตัวอย่างที่ทอจากเส้นใยพอลิเอสเตอร์ น้ำหนัก 803 ± 50 กรัม (จำนวน 40 ชั้น) ยิงด้วยกระสุนทดสอบชนิด .45 ACP FMJ และยิงในสภาวะเปียก สามารถทนแรงทะลุของกระสุนดังกล่าวได้คือไม่มีการทะลุของกระสุนและมีรอยยุบตัวของวัสดุหุ่่นหรือดินน้ำมัน ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งผ่านมาตรฐานยุทธโธปกรณ์กระทรวงกลาโหม ว่าด้วยเส้นใยเอาระก้านกระสุน ระดับ 2A สำหรับผ้าไม่ทอที่ผลิตจากเส้นใยพอลิเอทิลีนและเส้นใยไนลอน 66 ไม่สามารถทนแรงทะลุของกระสุนชนิดดังกล่าวได้

งานวิจัยดังกล่าวมีข้อดี คือ ได้ศึกษาเส้นใยที่เหมาะสมมีใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมสิ่งทอ สามารถใช้ทำเป็นเส้นใยเอาระก้านกระสุนในการป้องกันกระสุนระดับต้นๆ ได้ ซึ่งมีความแข็งแรงสูง มีความเหนียวเป็นพิเศษ ทนแรงกระแทกรวมถึงการกระจายแรงได้ดี มีคุณสมบัติใกล้เคียงเส้นใยอะรามิก ที่ผลิตเป็นเส้นใยเอาระก้านกระสุนในปัจจุบัน ซึ่งมีราคาแพงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่คณะวิจัย ฯ ทำการวิจัย ปัญหาของงานวิจัยนี้ เส้นใยที่ผ่านการวิจัยและผลิตเป็นเส้นใยเอาระก้านกระสุนสามารถป้องกันกระสุนได้ในระดับ 2A แต่ผลการทดลองยิงมีการทะลุกระสุนของชิ้นพื้นผ้าเส้นใยเอาระก้านกระสุนเมื่อเทียบกับเส้นใยอะรามิก และมีน้ำหนักมาก จากปัญหาดังกล่าวจึงมีแนวคิด ต้องการพัฒนาเส้นใยให้มีขีดความสามารถป้องกันกระสุนดีขึ้น จึงได้ศึกษาวิธีการผลิต โดยการใช้แรงอัดกระทำต่อเส้นใยแล้ว จะมีผลอย่างไรต่อการป้องกันกระสุน โดยได้เลือกเส้นใยไนลอน 66 จากงานวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมประสงค์ ภาษาประเทศ และคณะ มาทำการทดลอง สำหรับประโยชน์

จะได้จากงานวิจัยนี้ จะช่วยลดจำนวนชั้นของฝืนผ้าแผ่นเกราะ รวมถึงน้ำหนักของแผ่นเกราะลดลง และยังลดต้นทุนในการผลิตเสื้อเกราะกันกระสุนด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาการเพิ่มแรงอัดบนฝืนผ้า มีอิทธิพลต่อการเจาะทะลุของกระสุนปืนอย่างไร

1.2.2 เพื่อศึกษาการป้องกันกระสุนของแผ่นเกราะแบบเย็บและไม่เย็บฝืนผ้า เมื่อให้แรงอัดบนฝืนผ้า มีผลต่อการทะลุของกระสุนอย่างไร

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 ถ้าการเพิ่มแรงอัดให้กับฝืนผ้าเป็นการเพิ่มความหนาแน่นให้กับเส้นใย ดังนั้นน่าจะทำให้กระสุนทะลุชั้นแผ่นเกราะได้น้อยลง

1.3.2 ถ้าการเย็บฝืนผ้าแผ่นเกราะเป็นการเพิ่มแรงอัดแบบหนึ่ง แผ่นเกราะแบบเย็บจะมีการทะลุของชั้นฝืนผ้าน้อยกว่าแบบไม่เย็บ

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 ศึกษาการเพิ่มแรงอัดให้กับแผ่นเกราะ ที่แรงอัด 0, 200, 400, 600, 800 และ 1,000 กิโลกรัมแรง ในการป้องกันกระสุน ตามมาตรฐานยูทโรปกรณักระทรวงกลาโหม

1.4.2 ศึกษาการป้องกันกระสุนของแผ่นเกราะแบบเย็บและไม่เย็บฝืนผ้า เพื่อทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน ที่แรงอัด 0, 200, 400, 600, 800 และ 1,000 กิโลกรัมแรง

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนการทำวิจัยมีดังนี้

1.5.1 ศึกษางานวิจัยการผลิตเสื้อเกราะกันกระสุนจากผ้าใยประดิษฐ์ ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมประสงค์ ภาษาประเทศ และคณะ

1.5.2 ศึกษาคุณสมบัติของเส้นใยไนลอน 66

1.5.3 นำเส้นด้ายใยไนลอน 66 ผลิตผ้าทอลาย Basket 2 x 2

1.5.4 นำผ้าทดสอบหา Tensile strength

1.5.5 จัดทำขึ้นทดสอบ ทำการวางขึ้นทดสอบ ตัดขึ้นทดสอบตามแบบ กำหนดทิศทางการวางผ้า กำหนดฝีเข็มในการเย็บ และเย็บขึ้นทดสอบ

1.5.6 จัดทำแผ่นเกราะ 2 รูปแบบ คือ แบบเย็บฝืนผ้า และแบบไม่เย็บฝืนผ้า

1.5.7 ศึกษาเบื้องต้นการออกแบบจำนวนชั้นผ้า และขนาดกระสุน

1.5.8 นำตัวอย่างแผ่นกระดาษประกบด้วยแผ่นอลูมิเนียมด้านบนและล่าง ทั้ง 2 รูปแบบ

1.5.9 นำตัวอย่างแผ่นกระดาษประกบด้วยแผ่นอลูมิเนียมแล้ว เข้าเครื่องอัดแรง 0, 200, 400, 600, 800 และ 1,000 กิโลกรัมแรง

1.5.10 นำผ้าที่ผ่านแรงอัดระดับต่างๆ ทดสอบหา Tensile strength

1.5.11 นำตัวอย่างแผ่นกระดาษไปทำการทดลองยิงตามมาตรฐานยูทโทปกรณั
กระทรวงกลาโหม

1.5.12 ตรวจสอบตัวอย่างแผ่นกระดาษ จำนวนชั้นทะเลของกระสุนปืน รอยยุบวัสดุหนุนหลัง
และบันทึกผล



บทที่ 2

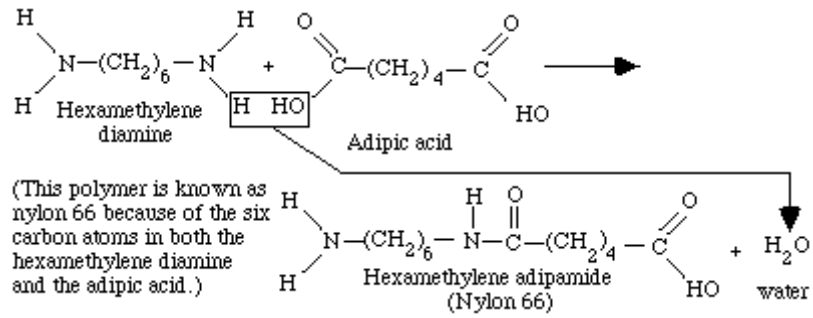
วรรณกรรมหรืองานที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไนลอน [1]

จากการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่าเส้นใยไนลอน 66 มีโครงสร้างและคุณสมบัติบางประการใกล้เคียงกับเส้นใยเสื่อมจากต่างประเทศ เช่น ไยเคฟล่าห์ และวรรณกรรมเรื่องการศึกษาการผลิตเสื่อมจากกันกระสุนจากผ้าใยประดิษฐ์ เพื่อนำไปใช้ผลิตเชิงพาณิชย์ ระยะที่ 1 ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมประสงค์ ภาษาประเทศ และคณะ ได้ทำการวิจัยแล้วพบว่า เส้นใยพอลิเอสเทอร์ ชนิดความแข็งแรงสูง และไนลอน 66 สามารถป้องกันกระสุนได้ในระดับหนึ่ง งานวิจัยนี้จึงได้เลือกเส้นใยไนลอน 66 ที่สามารถป้องกันกระสุนได้ในงานวิจัยดังกล่าว เพื่อทดสอบการป้องกันกระสุนหลังจากการเพิ่มแรงอัดแล้ว จะได้ทราบแนวโน้มอิทธิพลของแรงอัดบนพื้นผ้าต่อการทดสอบการป้องกันกระสุน

ไนลอนเป็นโพลิเอไมด์ เป็นเส้นใยสังเคราะห์จากสารเคมีชนิดแรก ค้นคว้าที่บริษัทดูปองท์ ตั้งแต่ พ.ศ. 2470 โดย Dr.W.H.Carothers พบสารประกอบระหว่างกรดไดเบสิก และโพลิไฮดริคแอลกอฮอล์ (Dibasic acid and Polyhydric alcohol) เมื่อโดนความร้อนจะรวมตัวกันเป็นพอลิเอสเทอร์ มีโมเลกุลใหญ่จึงยึดเป็นเส้นใยได้ใน พ.ศ. 2473 การค้นคว้าได้ทำต่อไปจนถึง พ.ศ. 2478 พบว่า กรดอะไดบิกกับเฮกซามะทิลีนไดอะมีน เมื่อรวมกันเป็นโมเลกุลใหญ่ ทำให้โซ่โมเลกุลยาวขึ้น ผลิตเส้นใยออกมาใช้เป็นแปรงสีฟันก่อน ใช้ชื่อการค้าว่า ไนลอน

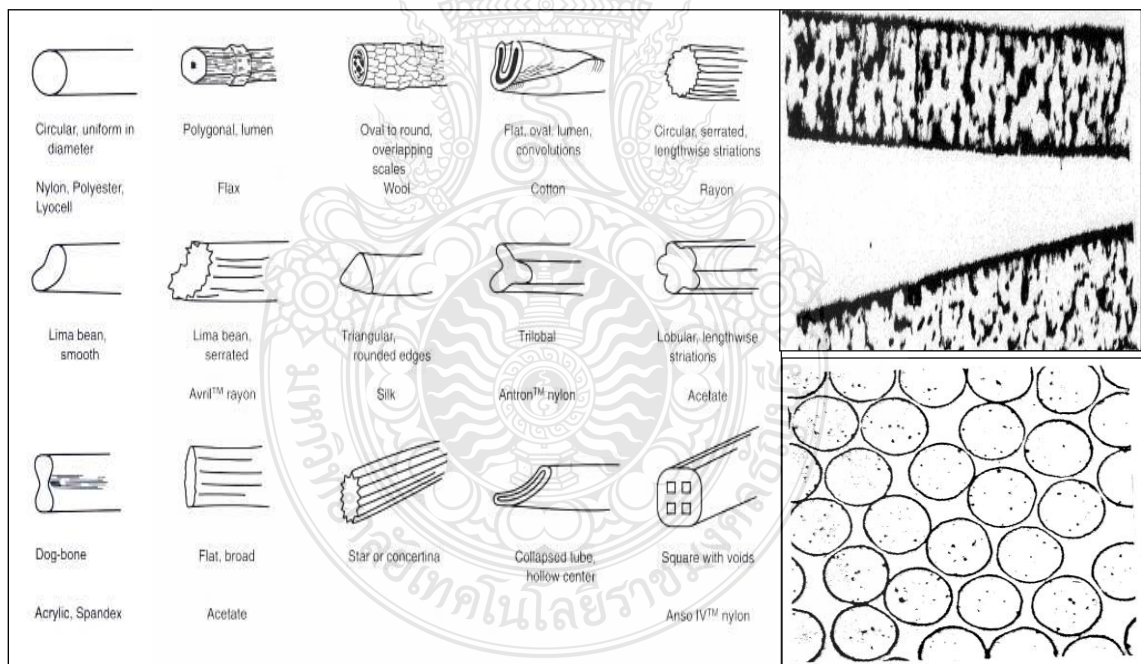
ไนลอน 66 ผลิตด้วยด้ายกระบวนการทางเคมีจากรวมตัวของเบนซีน หรือฟินอล ไฮโดรเจนแอมโมเนีย และโซดาไฟ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ได้มาจาก ถ่าน แก๊ส น้ำทะเลและอื่น ๆ คำว่าไนลอนจึงมีความหมายคล้าย ๆ กับได้มาจาก ถ่านหิน น้ำ และอากาศ นอกจากนี้มีพวกต่าง ๆ เช่น Hexamethylene Diamine และกรดอะไดบิก เมื่อผสมกันก็เปลี่ยนรูปเป็นโมเลกุลของเกลือไนลอนโยงต่อกันภายใต้อุณหภูมิที่กำหนด จะได้โซ่โมเลกุลใหญ่และยาว พอลิเมอร์ของไนลอนซึ่งเป็นพอลิเอไมด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ต่อมาทำให้เป็นเกล็ดแล้วทำให้ละลายอีกครั้ง ฉีดออกมาถูกอากาศจะแข็งตัวกลายเป็นเส้นใย เส้นใยที่ผลิตออกมาตอนแรก เป็นใยยาวค่อนข้างด้านและไม่เหนียว เมื่อเย็นลงใยจะยึดและเหนียว เป็นมันขึ้นมีทั้งใยสั้นและใยยาว



รูปที่ 2.1 สมการไนลอน 66 [16]

2.2 รูปร่างทางกล้องจุลทรรศน์ [1]

ไนลอนชนิดใยยาวเส้นใยจะเรียบเป็นมัน เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ภาพทางด้านหน้าตัดของไนลอนทั่ว ๆ ไป จะเป็นรูปกลม ยกเว้นไนลอนบางชนิด เช่น ไนลอนแอนทรอนเคดอนและคิวมูลอฟ มีรูปร่างทางด้านหน้าตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมมน ส่วนภาพตามยาวดูเรียบใส มีขนาดเท่ากันตลอดเส้นเหมือนแท่งแก้ว แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ภาพด้านหน้าตัดไนลอนทั่วๆไป เป็นรูปกลม และไนลอนบางชนิด มีรูปร่างทางด้านหน้าตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมมน [1]

2.3 คุณสมบัติทางกายภาพ [1]

ความเหนียว คุณสมบัติเด่นข้อหนึ่งของไนลอน คือ มีความเหนียวมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนลอนชนิดเหนียวมาก (High tenacity Nylon) แม้ไนลอนชนิดธรรมดาจะยังมีความเหนียวมากกว่าใยธรรมชาติชนิดอื่น ๆ ความเหนียวของไนลอนชนิดธรรมดาจะเหนียวประมาณ 4.6–5.8 กรัม/ดีเนียร์ ไนลอนชนิดเหนียวมากจะมีความเหนียวถึง 8.8 กรัม/ดีเนียร์ เมื่อเปียกความเหนียวจะคงเดิม หรืออาจจะลดลงเล็กน้อย คือ ไนลอนชนิดธรรมดาจะเหนียวประมาณ 4.0–5.1 กรัม/เดเนดีเนียร์ สำหรับไนลอนชนิดเหนียวมากจะเหนียวประมาณ 7.6 กรัม/ดีเนียร์

ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะของไนลอน 66 และไนลอน 6 คือ 1.14 เมื่อทอเป็นผ้าได้ผ้าเนื้อเบากว่าใยธรรมชาติในขนาดความหนาบางที่เท่ากัน

การดูดซึมน้ำและความชื้น เมื่อเทียบกับใยธรรมชาติ ไนลอนดูดซึมน้ำความชื้นได้ต่ำกว่าใยธรรมชาติ ไนลอน 66 จะดูดความชื้นมาตรฐานไว้ได้ร้อยละ 4.2–4.5 และไนลอน 6 จะดูดความชื้นไว้ได้ร้อยละ 3.5–5.0 ในบรรยากาศที่มีความชื้นสูง ไนลอนดูดความชื้นไว้ได้อย่างมากร้อยละ 8 ไนลอน 6 ก่อนล้างจะดูดความชื้นได้ดีกว่าไนลอน 66 จึงย้อมสีได้ดีกว่า

2.4 คุณสมบัติทั่วไปของเส้นใยไนลอน [1]

ข้อดี	ข้อเสีย	คุณสมบัติอื่น ๆ
<ul style="list-style-type: none"> - เหนียวมาก - ยืดหยุ่นและคืนตัวได้ดี - คงรูปได้ดี - ทนต่อด่าง - ทนต่อราและแมงไม่ทำลาย - เพิ่มความเหนียวเมื่อเปียก - ด้านทานการขัดสีได้ดีเยี่ยม - ใช้ความร้อนอัดกลีบถาวรได้ - ไม่เปื้อนสารที่มีไขมันง่าย - ชักง่าย แข็งเร็ว - ผสมกับใยชนิดอื่นได้ดีเพื่อเพิ่มความเหนียว - ไวต่อความร้อน - ไม่ดูดความร้อน 	<ul style="list-style-type: none"> - ไม่ทนต่อแสงแดด ชนิดสีสดสีทนกว่าสีที่ทึบด้าน ต้องตกแต่งให้ทนต่อแสงแดด - เกิดไฟฟ้าสถิตย์ง่าย - ไม่ทนต่อการครูดอย่างเข้มข้น - ดูดซึ่มสิ่งสกปรกและเหงื่อไคลง่าย - เส้นใยอาจหลุด เนื้อผ้าแยกได้ง่ายถ้าฝ้านั้นทอด้วยใยยาว - จะละลายแทนไหมไฟ - ผ้าเนื้อบางหรือเป็นขนจะติดไฟง่าย - ผ้าที่ทอจากใยชนิดสั้น ผ้าจะเกิดเป็นเม็ด เป็นขุยบนผิวผ้า - เมื่อเวลาซักผ้าไนลอนสีขาวยังดูดสิ่งสกปรกจากน้ำซักเข้าไปในเนื้อผ้าได้ง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> - การซักจะซักแห้งหรือซักน้ำก็ได้ ขึ้นอยู่กับสีที่ใช้ย้อม การตกแต่ง การตัดเย็บและแบบของเสื้อผ้า - ผ้าไนลอนสีขาวควรฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือโซเดียมเปอร์บอเรท หรือสารฟอกขาว

2.5 เครื่องหมายการค้าของไนลอน 66 และไนลอน 6 [1]

ไนลอน 66 ชื่อการค้า	ไนลอน 6 ชื่อการค้า
แอนทรอน (Antron)	แอนโซ (Anso)
แคนทรีซ (Contrece)	คาร์โปรแลน (Caprolan)
คอร์ดูรา (Cordura)	แคปติวา (Captiva)
อุลตรอน (Ultron)	ไฮโดรฟิล (Hydrofil)
แวร์ - เดท (Wear - Dated)	เนเชอรัลทัช (Natural Touch)
	เซฟแรน (Zefran)
	เซฟสปอร์ต (Zefsport)
	เซฟทรอน (Zeftron)
	แชร์น (Shareen)

ไนลอนชนิดอื่น

ไนลอน 11 ชื่อ Rilsan หรือไนลอน 11 ผลิตในประเทศยุโรป เอเชียและ อเมริกาใต้ เป็นพอลิเมอร์ของ aminoundecanoic acid มีคุณสมบัติ คล้ายไนลอน 6 และไนลอน 66 แต่ดูดความชื้นได้น้อยกว่า และละลายที่อุณหภูมิต่ำกว่ามีความหนาแน่นน้อยจึงมักใช้ทำเส้นด้ายที่นุ่มฟู

ไนลอน 4 ผลิตด้วย Polymerizing 2 – pyrrolidone เพิ่มคุณสมบัติของใยธรรมชาติเข้าได้ด้วยดูดซึมความชื้นได้ดี ทนความร้อนได้ดีกว่าไนลอน 6

ไนลอน 5 หรือ Polyvalerolactum โรงงานอุตสาหกรรมทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศอื่น ๆ ได้ลงทุนผลิตเส้นใยไนลอน 5 นี้ แล้วจัดเป็นเส้นใยที่ใช้ได้ดีอีกชนิดหนึ่ง มีคุณสมบัติ คล้ายกับไนลอน 66

ไนลอน 7 หรือ Polyheptanoamide ผลิตในประเทศสหภาพโซเวียตรัสเซีย โดยมีชื่อการค้าว่า Enant มีคุณสมบัติคล้ายไนลอน 66 และไนลอน 6 แต่ทนความร้อนหรือมีจุดหลอมละลายสูงกว่า แต่ดูดซึมความชื้นได้น้อยกว่า

ไนลอน 6T หรือ Nomex เป็นเส้นใยพอลิเอไมด์ทำมาจาก Hexamethylenediamine และ Terephthalic acid ไนลอน 6T มีจุดหลอมละลายสูง (370° C) มีความหนาแน่นมากไนลอน 6 และ 66 เล็กน้อย คือประมาณ 1.21 แต่ยึดได้น้อยกว่าไนลอนทั้ง 2 ชนิดนั้น

ไนลอน Qiana ไนลอนควอนามีน้อย ราคาค่อนข้างแพง เนื้อผ้าและผิวสัมผัสงามหรูหรา คล้ายไหม ทนยับได้ดีมาก ย้อมสีได้ง่าย พิมพ์ดอกได้ง่าย สีไม่ตกจาง ผลิตเป็นด้ายใช้ทอผ้าและด้าย สำหรับผ้าถักได้ดีที่สุด

ไนลอน 6,10 ทำจาก Hexamethylenediamine และ Sebacic acid มักใช้ทำพรมวัสดุหรือผ้า ที่เป็นขน หรือต้องการผิวสัมผัสขรุขระ

ไนลอน 22N เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพ ให้ลดการเกิดไฟฟ้าสถิตย์ ลงเหลือใกล้เคียงกับฝ้าย เนื้อผ้าเป็นมันคล้ายไหม ยืดหดได้ดีมาก ไม่สกปรกหรือเปราะเปื้อนง่าย ผ้า สีขาวจะคงความขาวอยู่ได้อย่างดีเยี่ยม เหมาะสำหรับตัดเสื้อผ้าเครื่องแต่งกาย

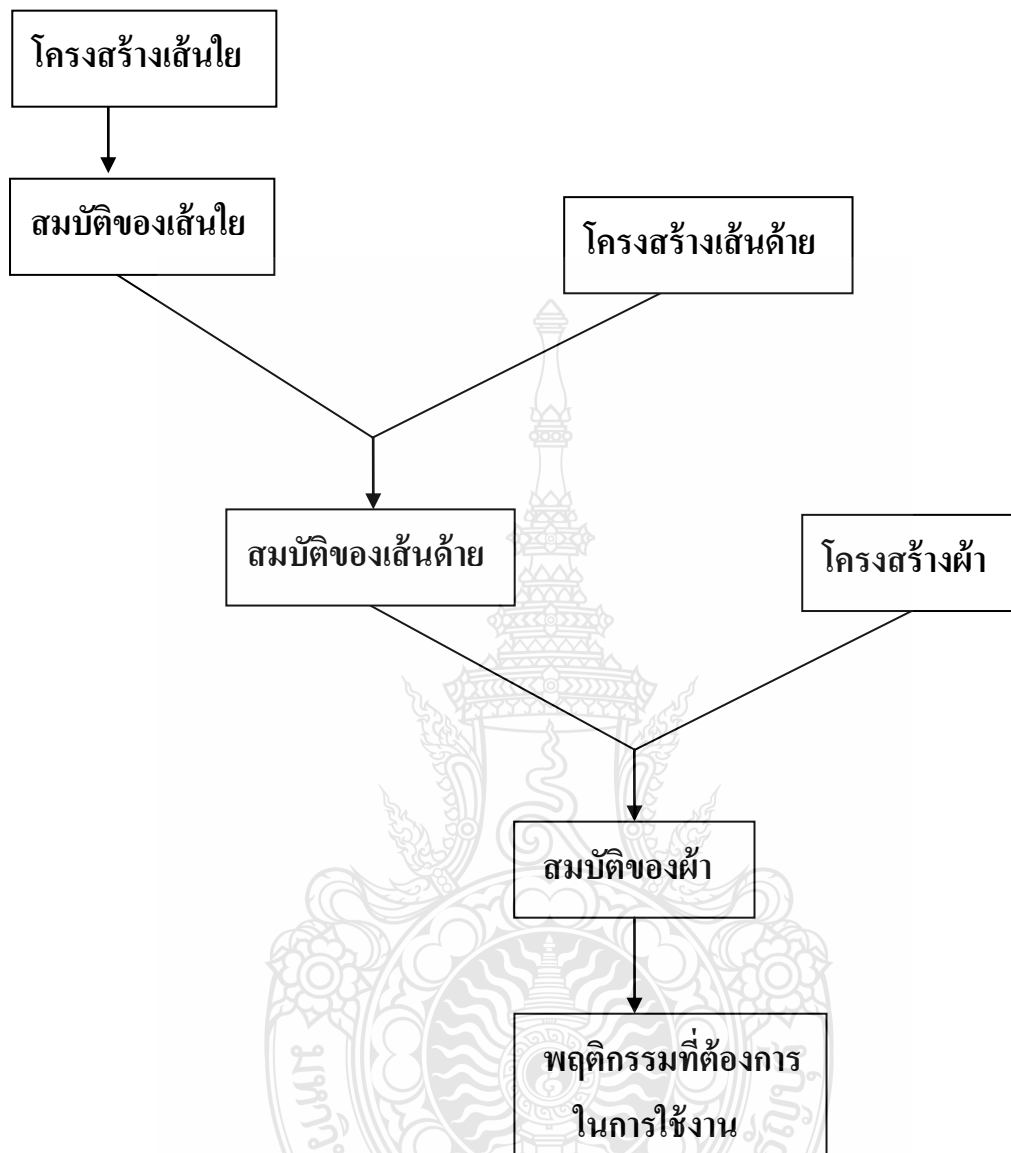
การนำไปใช้ในลอนมีประโยชน์มาก และได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง จัดเป็นเส้นใยที่ ได้รับเลือกเป็นผ้าตกแต่งบ้าน คือใช้ทำพรมมากที่สุด รองลงมาใช้เป็นผ้าตัดชุดชั้นใน ชุดกีฬา ชุด นอน และใช้ในงานอุตสาหกรรมคือด้ายเชือกทำยางรถยนต์ สำหรับผ้าตัดเสื้อชุดชั้นนอกนิยมทอผสม กับใยชนิดอื่นเพื่อเพิ่มคุณสมบัติอัน ได้แก่ ความเหนียว ความคงรูป ความยืดหยุ่น และความทนต่อ การเสียดสีให้กับฝ้ายผสมนั้นๆ

โครงสร้างของเส้นใยไนลอน 66 จะประกอบด้วยหมู่เอไมด์ซึ่งเป็นหมู่เดียวกันกับ โครงสร้าง เส้นใยอารามิกที่ใช้ทำเส้นใยเสื่อเกราะกันกระสุน คุณสมบัติไนลอน 66 ถึงจะมีความแข็งแรงไม่ดีเท่า เส้นใยอารามิก แต่เมื่อเปรียบเทียบราคาแล้วเส้นใยไนลอน 66 ราคาถูกกว่ามาก

2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับสมบัติของเส้นใย เส้นด้าย และผ้า [2]

การวางแผนการผลิตหรือการใช้งานของผลผลิตทางด้านสิ่งทอ ให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับสมบัติ ของเส้นใย เส้นด้าย และผ้า จะช่วยในการวางแผนเพื่อเลือกใช้ เส้นใย เส้นด้าย โครงสร้างเส้นด้าย และโครงสร้างผ้า ให้ได้สมบัติเหมาะสมตามต้องการ จะเห็นได้ว่าทุกส่วนมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์ถึง กันหมด สมบัติของเส้นใยกับโครงสร้างเส้นด้าย ก็จะส่งผลถึงสมบัติของเส้นด้ายร่วมกับโครงสร้างผ้า ที่จะนำไปใช้งาน จากรูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับสมบัติของเส้นใย เส้นด้าย และผ้า

ในทางตรงกันข้ามหากต้องการสมบัติของผ้าที่เหมาะสมกับการใช้งานอย่างไร ก็สามารถ วิเคราะห์จากด้านล่างของรูปสู่ด้านบนได้เช่นเดียวกัน โดยอาศัยสมบัติของโครงสร้างผ้า สมบัติของ โครงสร้างเส้นด้าย และสมบัติเส้นใยเป็นตัวอ้างอิง เพื่อเลือกการใช้งานหรือวางแผนการผลิตที่ เหมาะสม และยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของผลเสียต่างๆ ในกระบวนการผลิตได้ด้วย โดยอาศัยการวิเคราะห์จากความสัมพันธ์กันดังกล่าว



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับสมบัติของเส้นใย เส้นด้าย และผ้า [3]

เมื่อทราบว่าความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับสมบัติของเส้นใย เส้นด้าย มีผลต่อการผลิตผ้าที่นำไปใช้งาน ก็จะสามารถนำทฤษฎีดังกล่าวเลือก เส้นใย เส้นด้าย โครงสร้างเส้นด้าย และโครงสร้างผ้า เพื่อใช้ในงานที่ต้องการได้ เช่น ผ้าที่จะใช้ทำเสื้อกระแฉับกระสุนต้องเลือกเส้นใยที่มีความแข็งแรงสูงอันดับแรก ต่อมาเลือกดูโครงสร้างเส้นด้ายที่จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้เส้นด้ายมากขึ้น และเลือกโครงสร้างผ้าที่เหมาะสม ให้สามารถทนแรงที่ถูกกระสุนทะลุทะลวงผ้าได้เป็นอย่างดี และรับแรงกระแทกต่อพื้นผ้าได้ดี มีการยวบตัวของผ้าต่ำ เหมาะสำหรับการใช้ทำผ้าเสื้อกระแฉับ

กระสุน ในทางตรงข้ามกัน หากเลือกเส้นใยถูกต้อง ที่มีความแข็งแรงสูง แต่ถ้าโครงสร้างเส้นด้าย และ ผ้า ไม่เหมาะสม ก็จะทำให้ผ้าชนิดนั้นมีคุณสมบัติด้อยลงจากเดิมได้ ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้าง กับสมบัติของเส้นใย เส้นด้าย เป็นสิ่งที่สำคัญในการเลือกวัสดุสิ่งทอในการใช้งาน

2.7 กระสุน (Cartridges) [4]

เป็นวัตถุที่ใช้ทดสอบการป้องกันกระสุนสำหรับเสื้อเกราะตามมาตรฐาน NIJ Standard-0101.04 และมาตรฐานยุโรปกรณ์ กระทรวงกลาโหม ว่าด้วยเสื้อเกราะกันกระสุน เสื้อเกราะเมื่อถูกยิงด้วยปืน หรือเครื่องยิงแล้ว เสื้อเกราะสามารถป้องกันไม่ให้กระสุนทะลุผ่านได้ รวมถึงการยุบตัวของวัสดุหนุน เสื้อเกราะ ต้องไม่เกิน 44 มิลลิเมตร จึงถือว่าผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน

กระสุนเป็นวัตถุที่ถูกยิงออกจากปืน โดยกระสุนปืนส่วนใหญ่หัวกระสุนจะทำจากโลหะตะกั่ว ผสมโลหะพลวง เล็กน้อย และหุ้มหัวกระสุนด้วยโลหะทองแดงเพื่อลดการเสีรูปร่างทรงของหัวกระสุน และเพื่อความสะดวกในการป้อนเข้าสู่รังเพลิงของปืน โดยทั่วไปคำว่ากระสุนปืนมักจะเรียกรวมถึง ส่วนของปลอกกระสุนและดินปืน

2.7.1 กระสุนปืนเล็ก กระสุนที่ใช้ยิงจากปืน ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางปากลำกล้องปืน .60 นิ้ว หรือต่ำกว่า

2.7.2 กระสุนปืนใหญ่ กระสุนที่ใช้ยิงจากปืน ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางปากลำกล้องปืนโตกว่า .60 นิ้ว (15.24 มิลลิเมตร) ขนาดดังกล่าวเกี่ยวกับกระสุนปืนเล็กและกระสุนปืนใหญ่หำมนำมาใช้กับปืนลูกซอง (Shot Gun) และกระสุนปืนลูกซอง (Shot Gun Shell)

2.7.3 ส่วนประกอบของกระสุนปืนเล็ก (Components Small-Arm Ammunition) กระสุนปืนเล็ก ครบชนิด ประกอบด้วยส่วนประกอบใหญ่ๆ ดังนี้

1. ปลอกกระสุน (Cartridge Case) ตัวปลอกกระสุนทำด้วยทองเหลือง หรือเหล็ก ซึ่งเป็นที่บรรจุของชนวน (Primer) ดินส่งกระสุน (Propellant) และการประกอบเข้ากับกระสุน เพื่อทำให้เกิดเป็นนัดที่สมบูรณ์ (Complete Round)

2. ลูกกระสุน Bullet ส่วนต่าง ๆ ของลูกกระสุนมีดังนี้ แสดงในรูปที่ 2.4

Jacket ทำด้วยโลหะเคลือบ (Gilding Metal) หุ้มอยู่รอบลูกกระสุนทำหน้าที่กันแก๊สที่จะเข้าไป ในด้านท้ายของลูกกระสุน ขณะที่ฝังอยู่ในลำกล้องปืน ขณะยิงจึงฝังตัวไปตามร่องเกลียวในลำกล้อง ทำให้เกิดการหมุนของหัวกระสุน

Cane lure เป็นร่องรอยรอบลูกกระสุน เป็นที่ซึ่งปลอกกระสุนยึดติดกับลูกกระสุน

Core เป็นแกนของลูกกระสุน ซึ่งอาจทำขึ้นหลายแบบ เช่น ตะกั่ว เหล็กอ่อน เหล็กแข็ง

Point Filler บรรจุอยู่ในส่วนหน้าของลูกกระสุน ซึ่งอาจบรรจุตะกั่ว Antimony Lead Alloy หรือ Incendiary Mixture ก็ได้ ทั้งนี้แล้วแต่ชนิดกระสุน

Conical Taper or Boattall เป็นการออกแบบของท้ายลูกกระสุน เพื่อช่วยในการเพรีววม (Steam Line) ของลูกกระสุน ส่วนลูกกระสุนที่มีรูปร่างท้ายตัดเรียกว่า (Square Base)

Ogive เป็นส่วนโค้งด้านหน้าของลูกกระสุน เป็นการช่วยให้ลูกกระสุนเพรีววมและช่วยในการทะลุทะลวงเป้าหมาย

Meplat เป็นส่วนมนของลูกกระสุน เพื่อให้ลดอาการแฉลบ Ricochet ของลูกกระสุน อย่างไรก็ตามมันไม่อาจป้องกันอาการ Ricochet ได้ทั้งหมด (อาการ Ricochet เป็นอาการแฉลบของลูกกระสุนออกจากพื้นผิวหน้าของเป้าหมาย)

Base Filler เป็นแผ่นปิดท้ายของลูกกระสุนปืนเล็ก อาจจะทำด้วยส่วนผสมของ Lead Antimony หรือ Tracer Composition เป็นต้น

3. ชนวนท้าย (Primer) คือใช้เป็นตัวจุด จะจุดตัวด้วยการกระแทกจากเข็มแทงชนวนดินเริ่มนี้ จะมีความไวอย่างสูงสุด จุดตัวด้วยแรงเสียดสี หรือการกระแทกได้ง่าย Percussion Primer มีส่วนประกอบ 4 ส่วน แสดงในรูปที่ 2.4

1. Cup (จอก)
2. Primer Composition Paper Disc (กระดาษ)
3. Anvil (ทั่ง)
4. Primer High Explosive (ดินเริ่ม)

4. ดินส่งกระสุน (Propelling Charge) ดินส่งกระสุนในกระสุนปืนเล็กตามธรรมดาใช้ Smokeless Powder ซึ่งเป็นวัตถุระเบิดแรงต่ำ (Low Explosive) แสดงในรูปที่ 2.4

T.O. 11A13-10-7
WP 010 00

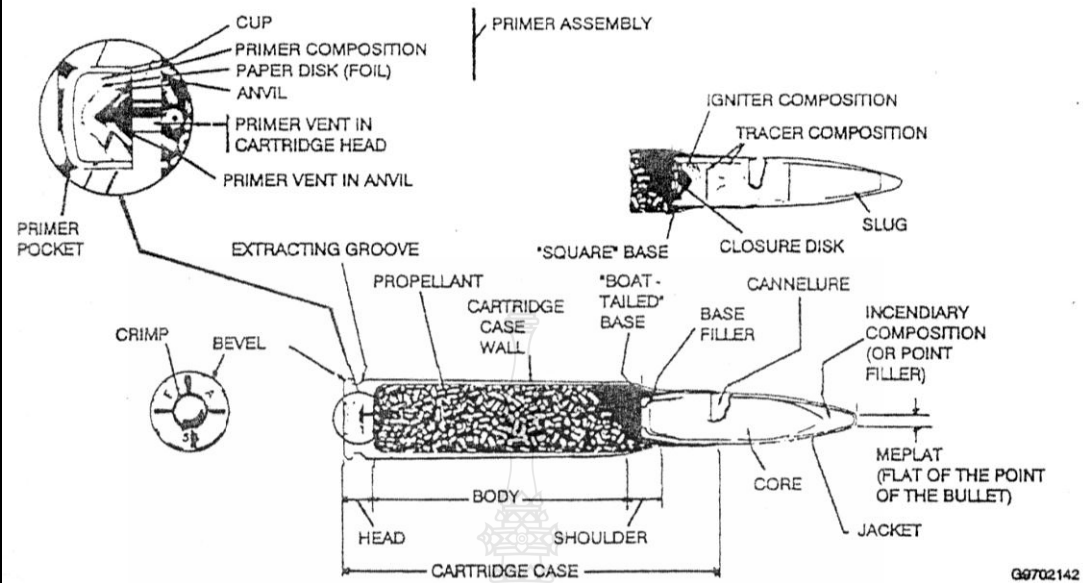
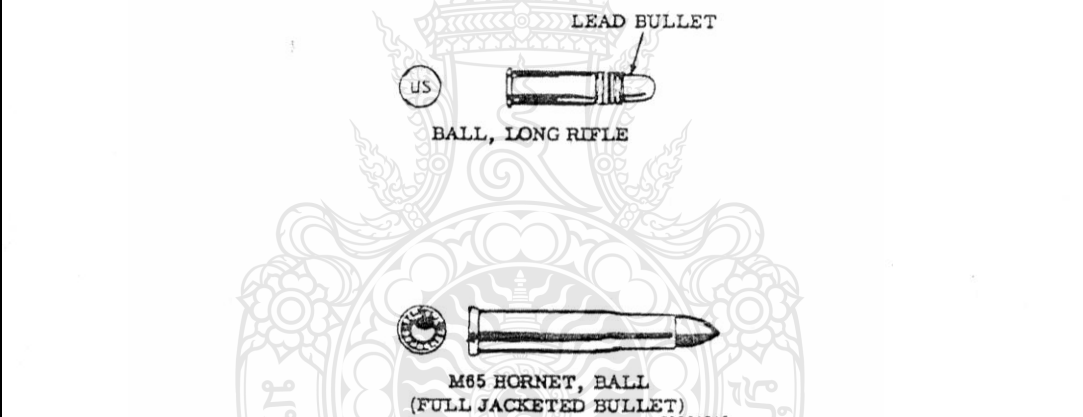


Figure 1. Center Fire Cartridge, Component Identification



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของกระสุนปืนเล็ก [4]

กระสุนเป็นส่วนหนึ่งของการทดสอบและเป็นหัวใจสำคัญของการทดสอบการป้องกันกระสุน ดังนั้นการทดลองเสื่อเกราะกันกระสุน อย่างน้อยควรที่จะทราบว่ากระสุนมีส่วนประกอบอย่างไร และการทำงานอย่างไร ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการทดสอบการป้องกันกระสุน

2.8 ชนิดกระสุนใช้ทดสอบเสือเกาะกันกระสุน [5]

การทดสอบเสือเกาะกันกระสุนใช้กระสุนหลายชนิดในการทดสอบตามมาตรฐานสากล จึงเป็นสิ่งสำคัญในการเลือกชนิดของกระสุนให้ถูกต้องในการทดสอบ กระสุนใช้ในการทดสอบเสือเกาะได้ถูกจำแนกตามระดับในการป้องกันกระสุนของเสือเกาะ ซึ่งมีด้วยกันทั้งหมด 6 ระดับ ดังนี้

2.8.1 ระดับที่ 1 เป็นระดับที่สามารถป้องกันกระสุนที่เป็นภัยคุกคามในระดับ 1 ได้ ดังนี้

1. กระสุน .22 Caliber LR LRN (Long Rifle Lead Round Nose) ปืนเล็กยาว ชนิดตะกั่ว หัวกลม น้ำหนัก 2.6 กรัม ความเร็ว 329 เมตร/วินาที

2. กระสุน .380 ACP FMJ RN (Automatic Colt Pistol Full Metal Jacket Round Nose) กระสุนปืนอัตโนมัติ ชนิดเปลือกแข็งหัวกลม น้ำหนัก 6.2 กรัม ความเร็ว 322 เมตร/วินาที หรือ

3. กระสุน .38 Special LRN (Lead Round Nose) กระสุนชนิดพิเศษชนิดตะกั่วหัวกลม น้ำหนัก 10.2 กรัม ความเร็ว 268 เมตร/วินาที

2.8.2 ระดับที่ 2 A เป็นระดับที่สามารถป้องกันกระสุนที่เป็นภัยคุกคามในระดับ 1 และระดับ 2A ได้ดังนี้

1. กระสุน 9 มม. FMJ RN (Full Metal Jacket Round Nose) กระสุนชนิดเปลือกแข็งหัวกลม น้ำหนัก 8.0 กรัม ความเร็ว 341 เมตร/วินาที

2. กระสุน .40 S&W FMJ (Smith & Wesson Full Metal Jacket Round Nose) สมิทและเวสตันกระสุนชนิดเปลือกแข็ง น้ำหนัก 11.7 กรัม ความเร็ว 322 เมตร/วินาที หรือ

3. กระสุน .45 ACP FMJ (Automatic Colt Pistol Full Metal Jacket) กระสุนปืนอัตโนมัติ ชนิดเปลือกแข็ง น้ำหนัก 15.0 กรัม ความเร็ว 256 เมตร/วินาที

2.8.3 ระดับที่ 2 เป็นระดับที่สามารถป้องกันกระสุนที่เป็นภัยคุกคามในระดับ 1, 2A และระดับ 2 ได้ดังนี้

1. กระสุน 9 มม. FMJ RN (Full Metal Jacket Round Nose) กระสุนชนิดเปลือกแข็งหัวกลม น้ำหนัก 8.0 กรัม ความเร็ว 367 เมตร/วินาที

2. กระสุน .357 Mag JSP (Jacketed Soft Point) กระสุนแม่ก้นม ชนิดเปลือกแข็งหัวอ่อน น้ำหนัก 10.2 กรัม ความเร็ว 436 เมตร/วินาที

2.8.4 ระดับที่ 3A เป็นระดับที่สามารถป้องกันกระสุนที่เป็นภัยคุกคามในระดับ 1, 2A, 2 และระดับ 3A ได้ดังนี้

1. กระสุน 9 มม. FMJ RN (Full Metal Jacket Round Nose) กระสุนชนิดเปลือกแข็งหัวกลม น้ำหนัก 8.0 กรัม ความเร็ว 436 เมตร/วินาที

2. กระสุน .44 Mag SJHP (Semi Jacketed Hollow Point) กระสุนเปลือกแข็งหัวรูบางส่วน น้ำหนัก 15.6 กรัม ความเร็ว 436 เมตร/วินาที

2.8.5 ระดับที่ 3 เป็นระดับที่สามารถป้องกันกระสุนที่เป็นภัยคุกคามในระดับ 1, 2A, 2, 3A และระดับ 3 ได้ดังนี้








กระสุน 7.62 มม. NATO FMJ (North Atlantic Treaty Organization Full Metal Jacket) กระสุนปืนเล็กมาตรฐานของกลุ่มประเทศนาโต ชนิดเปลือกแข็ง น้ำหนัก 9.6 กรัม ความเร็ว 847 เมตร/วินาที

2.8.6 ระดับที่ 4 เป็นระดับที่สามารถป้องกันกระสุนที่เป็นภัยคุกคามในระดับ 1, 2A, 2, 3A, 3 และระดับ 4 ได้ดังนี้

กระสุน .30 caliber M2 AP (Armor Piercing) กระสุนปืนขนาด .30 นิ้ว เจาะเกราะ ใช้กับปืนคาร์บิน เอ็ม 2 น้ำหนัก 10.8 กรัม ความเร็ว 878 เมตร/วินาที



รูปที่ 2.5 กระสุนปืนขนาดต่างๆ จากซ้ายไป: .22 lr, .380 auto, .38 special, 9 mm , .357 magnum .40 S&W, .45 acp, .44 magnum, 7.62x39mm, 8mm [6]

Photo	Abbreviation	Meaning	Definition
	LRN	Lead Round Nose	Plain lead bullet. Can also be called "Ball" or "Hardball".
	WC	Wad Cutter	A lead plug completely seated flush with the case. Target revolver ammo.
	SWC	Semi-Wad Cutter	Plain lead bullet with the nose cut off. Target revolver ammo.
	FMJ	Full Metal Jacket	Standard bullet completely encased in copper. Probably the most common.
	HP	Hollow Point	Bullet with a hole drilled in the tip to help the bullet expand on impact.
	SJHP	Semi-Jacketed Hollow Point	Like regular HP but with a copper sheath covering part of the bullet to control expansion on impact
	JHP	Jacketed Hollow Point	Like HP but with a copper sheath covering the whole bullet to control expansion on impact

รูปที่ 2.6 ลักษณะของหัวกระสุนแบบต่างๆ [6]

การทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุน จำเป็นต้องทดสอบตามมาตรฐานที่สากลยอมรับ เนื่องจากเสื่อเกราะกันกระสุนไม่เหมือนอุปกรณ์กั้นชนิดอื่นต้องสามารถป้องกันกระสุนได้ นั่นหมายถึงชีวิตผู้สวมใส่ ดังนั้นการทดสอบต้องทำการทดสอบ ให้ได้ตามมาตรฐาน และถูกต้องทุกขั้นตอนในการทดสอบ

2.9 โครงสร้างผ้า (Fabric Structure) [7]

ตั้งแต่สมัยโบราณผ้าทำได้จากใยธรรมชาติเท่านั้น ต่อมาเมื่อมีใยประดิษฐ์ขึ้นมาผ้าต่างๆที่เคยทำมาจากใยธรรมชาติได้เปลี่ยนมาใช้ใยประดิษฐ์แทนเพราะผลิตได้ง่ายกว่าและรวดเร็วกว่าอีกทั้งราคาถูกกว่า และบางครั้งยังใช้ใยประดิษฐ์ผสมใยธรรมชาติเพื่อความเหมาะสมกับการใช้งาน

2.9.1 กระบวนการทำผ้า (Fabric construction processes.)

ผ้ามีโครงสร้างเป็น Plane like ซึ่งมี pliable เพียงพอที่จะทำเป็นเสื้อผ้า และเครื่องใช้ใน บ้าน และในอุตสาหกรรมได้ เพราะงานเหล่านี้ต้องการคุณสมบัติที่ทำให้เป็นรูปทรง และมี Flexibility พอสมควร ผ้าอาจทำจากของเหลว ใย ด้าย หรือรวมเหล่านี้ 2-3 อย่างเข้าด้วยกัน กระบวนการผลิตผ้าช่วยให้ทราบ ลักษณะปรากฏ ผิวสัมผัส และสมรรถนะ ระหว่างการใช้และการระงับรักษา และราคา ผ้า กระบวนการผลิตมักนำมาเป็นชื่อผ้าชนิดนั้น เช่น Felt, Lace, Double Knit, Jersey ราคาผ้ามีส่วนสัมพันธ์กับกระบวนการทำผ้า ถ้ามีหลายขั้นตอนราคาจะสูงกว่าการผลิตที่มีขั้นตอนน้อย ๆ ถ้าผลิตได้เร็วราคาจะต่ำลง

2.9.2 ผ้าทอ (Woven Fabric)

การใช้ด้าย 2 หมู่มากกว่าสอดเข้ากันเป็นมุมฉากซึ่งกันและกัน เป็นเทคนิคการทำผ้าที่ใช้มากที่สุด สอดคล้องกันได้หลายแบบ ทำให้สวยงามได้มาก ผ้าอาจลู่ออกได้ ผ้ามีแนวเส้นตรง (Grain) เนื้อผ้าอาจแข็ง และเนื้อแน่น ไม่ยืดมากทั้งเส้นยืนและเส้นพุ่ง

ผ้าทอทำโดยการขัดเส้นด้าย 2 ชุด เรียกว่า เส้นยืน (Warp) และเส้นพุ่ง (Weft, Filling) ให้เป็นมุมฉากซึ่งกันและกัน การชุน (Darning) ด้วยมือมีลักษณะคล้ายการทอมาก เครื่องทอผ้า (Loom) เส้นยืนจะถูกยกขึ้นแยกออกเป็น 2 หมู แล้วสอดด้ายพุ่งเข้าไปในระหว่างนั้น ด้ายยืนเรียงขนานกับริมผ้า (Selvage) ตามความยาว เส้นยืนแต่ละเส้นเรียกว่า “end” สอดไปตามขวางของผ้าจากริมด้านหนึ่งไปยังริมอีกด้านหนึ่ง

2.9.3 การจำแนกการทอ (Classification of Weaves)

แบบการสอดขัดของเส้นยืนและเส้นพุ่ง มีแบบที่สำคัญหลายแบบ ซึ่งสมควรที่จะรู้ เพราะจะให้ประโยชน์มาก นิยมใช้ทำผ้าที่ใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น Foulard, Gabardine, Poplin, Satin และ Taffeta การทอมีได้มีอิทธิพลแต่เฉพาะในลักษณะปรากฏของผ้าเท่านั้น แต่ยังมีต่อการจับต้อง (Handle) หรือเนื้อผ้าและพฤติกรรม (Behavior) ของผ้าด้วย

2.9.4 สายสาน (Hopsack Weaves) หรือ (Basket Weave)

การทอ Hopsack หรือ Matt ทอโดยใช้เส้นด้ายขัดแบบ 2/2 หรือ 3/3 ขัดกันโดยรวมเส้นด้าย 2 หรือ 3 เส้นเป็นหนึ่งเส้น ทำให้ได้ผ้ามีผิวเรียบ เส้นด้ายยืน หรือด้ายพุ่งมีขนาดกว้างใหญ่ขึ้น เรียกว่า Hopsack มักทอด้วยด้าย Worsted ถ้านำผ้าที่ทอแบบ Hopsack และทอแบบรวมด้ายพุ่งหรือด้ายยืน 3 เส้นรวมเป็นหนึ่งเส้นสอดครั้งเดียว ปรากฏว่าผ้าที่ทอแบบ Hopsack จะมีเนื้อสัมผัสนุ่ม

มากกว่า และทนการฉีกขาด (Tear) มากกว่า เพราะเส้นด้ายใน Hopsack จะขาดทีละเส้น ส่วนอีกชนิดหนึ่งนั้นเส้นด้ายจะขาดรวมกันทั้ง 3 เส้นในครั้งเดียว

2.9.5 การทอผ้า [1]

ถ้าสังเกตเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มที่ใช้อยู่เป็นประจำในชีวิตประจำวัน จะพบว่าผ้าส่วนใหญ่ นั้นผลิตมาด้วยวิธีการทอ ซึ่งมีวิธีการทอเบื้องต้นหรือการทอมาตรฐานอยู่เพียง 3 แบบ หรือ 3 วิธี คือ

1. การทอลายลายขัด (Plain Weave)
2. การทอลายสอง (Twill Weave)
3. การทอต่วน (Satin Weave)

การทอเบื้องต้นทั้ง 3 แบบนี้ ได้ถูกนำมาดัดแปลง หรือทอผสมผสานกันเกิดเป็นการทอดัดแปลงจนได้ ผ้าที่มีลวดลายแปลก ๆ ออกไปอีกเป็นจำนวนมาก ท่างานเบื้องต้นเครื่องทอผ้าเหมือนหรือคล้ายคลึงกัน ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่จำเป็นเช่นที่จิ้งด้ายยืนให้ตั้งเครื่องแยกด้ายยืน และเครื่องกระทบด้วย ฟุ้ง เครื่องทอผ้าแต่ละเครื่องแต่ละแบบอาจมีส่วนประกอบปลีกย่อยที่แตกต่างกัน แต่จะมี ส่วนประกอบหลัก ดังนี้

1. แกนม้วนด้ายยืน (Warp beam) เป็นแกนสำหรับม้วนด้ายยืนและเป็นหน่วยปรับความตึงหย่อนของด้ายยืน อยู่ทางด้านหลังของเครื่องทอ
2. ตะกอล (Headdles หรือ Heddles) ทำด้วยลวด หรือซี่โลหะมีรูตรงกลางสำหรับร้อยด้ายยืนหรือเรียกว่าการสืบด้ายยืน
3. กรอบตะกอล (Harness) ใช้ยก หรือหัวตะกอลในหูกแต่ละอันเป็นชุด ๆ ซึ่งเครื่องทอเครื่องหนึ่งๆ จะต้องมีอย่างน้อย 2 ชุด ทำหน้าที่ยกเส้นด้ายยืนขึ้นและลงอย่างละอันให้เกิดการขัดลาย ในการทอ เมื่อสับตะกอลจะเกิดช่องว่าง (Shed) เพื่อสอดด้ายฟุ้งทำสลับกันไปเช่นนี้ตลอดการทอ
4. กระจสวดย้ายฟุ้ง (Shuttle หรือ Filling Carrier) ใช้บรรจุด้ายฟุ้งและนำด้ายฟุ้งผ่านช่องว่างแล้วสับตะกอลให้ด้ายฟุ้งและด้ายยืนขัดกัน และกระทบด้วยฟืมหรือเครื่องกระทบด้ายฟุ้ง (Reed)
5. แกนม้วนผ้าทอแล้ว (Cloth Beam) ใช้ม้วนผ้าที่ทอแล้วติดอยู่ทางด้านหน้าของเครื่องทอ

การเรียนรู้โครงสร้างผ้าเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการทำงานวิจัยด้านสิ่งทอ โครงสร้างและกระบวนการผ้าช่วยให้ทราบลักษณะปรากฏ ผิวสัมผัส + และสมรรถนะ ระหว่างการใช้งานและการระวังรักษา หากได้เส้นใยที่มีความแข็งแรงสูง แต่ถ้าโครงสร้างผ้าที่ไม่แข็งแรงแล้วผ้าที่ได้จากกระบวนการผลิตจะมีคุณสมบัติค่อยลงไปด้วย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าโครงสร้างผ้าเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งในการผลิตผ้าให้ได้ตามวัตถุประสงค์

โครงสร้างผ้าลายตะกร้า (Basket) จะมีเนื้อสัมผัสนุ่มมากกว่า และทนการฉีกขาด (Tear) มากกว่า เพราะเส้นด้ายใน Hopsack จะขาดทีละเส้น ส่วนอีกชนิดหนึ่งนั้นเส้นด้ายจะขาดรวมกันทั้ง 3 เส้นในครั้งเดียว [8] โครงสร้างลายตะกร้ามักเป็นโครงสร้างผ้าเสื่อเกาะกระสุน

2.10 วิธีการทดสอบลึงทอ แรงดึงและการยืดตัวที่ทำให้ผ้าทอขาด [8]

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีทดสอบลึงทอ เล่ม 9 แรงดึงและการยืดตัวที่ทำให้ผ้าทอขาด

2.10.1 ขอบข่าย

1. มาตรฐานนี้กำหนดวิธีหาแรงดึงที่ทำให้ผ้าทอขาด โดยใช้เครื่องทดสอบชนิดคอดสแตนต์-เรต-ออฟ-เอกซ์เทนชัน (Constant Rate of Extension)

2.10.2 บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

1. แรงดึงขาด (Breaking Load) หมายถึง แรงที่ใช้ดึงให้ฉีกขาด
2. การยืดตัวขณะขาด (Breaking Extension) หมายถึง ความยาวที่เพิ่มขึ้นขณะที่ฉีกขาด คิดเป็นร้อยละของความยาวเดิม

2.10.3 การทดสอบ

1. เครื่องมือ ต้องมีคุณลักษณะดังต่อไปนี้
 - 1) ต้องสามารถปรับความยาวของช่วงทดสอบให้ได้ค่าละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร
 - 2) ต้องเป็นเครื่องที่วัดแรงดึงที่ทำให้ฉีกขาดได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของความสามารถของเครื่องมือ
 - 3) ต้องมีเครื่องบอกค่าสูงสุดของแรงดึงที่ทำให้ฉีกขาดและเครื่องบันทึกค่าการยืดตัวขณะขาด ถ้าต้องการทราบค่าการยืดตัวที่จุดอื่น ๆ จะต้องมีอุปกรณ์สำหรับบันทึกแผนภาพโหลดเอกซ์เทนชัน (load extension diagram) ด้วย
 - 4) ต้องสามารถดึงขึ้นทดสอบให้ยืดออกด้วยอัตราความคงที่ที่ 100 ± 10 มิลลิเมตรต่อวินาที
 - 5) ที่ยึดของเครื่องมือต้องกว้างกว่าชิ้นทดสอบ ไม่ทำให้ชิ้นทดสอบเสียหายและต้องยึดขึ้นทดสอบได้แน่น ที่ยึดอันที่อยู่กับที่และอันที่เคลื่อนที่ได้ต้องอยู่ในแนวเดียวกันและตั้งฉากกับแนวเคลื่อนที่ของที่ยึด
2. ภาวะการทดสอบต้องมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 และมีอุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส
3. ชิ้นทดสอบ การเลือกชิ้นทดสอบ ต้องทำดังนี้
 - 1) ชิ้นทดสอบตามแนวด้ายยืน ให้ตัดผ้าตามยาวขนาดกับแนวด้ายยืน โดยต้องระวังไม่ให้ชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นมีด้ายยืนซ้ำกัน ในกรณีที่ทำได้กล่าวไม่ได้ ให้ใช้ชิ้นทดสอบที่มีด้ายยืนซ้ำกันได้ แต่ต้องอยู่ในระยะห่างกันมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

2) ขึ้นทดสอบตามแนวค้ำยพุ่ง ให้ตัดผ้าตามยาวขนานกับแนวค้ำยพุ่ง โดยต้องระวังไม่ให้ขึ้นทดสอบแต่ละชิ้นมีค้ำยพุ่งซ้ำกัน ในกรณีที่ทำดังกล่าวไม่ได้ ให้ใช้ขึ้นทดสอบที่มีค้ำยพุ่งซ้ำกันได้ แต่ต้องอยู่ในระยะห่างกันมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

3) ถ้าผ้าตัวอย่างกว้างพอ ให้ตัดขึ้นทดสอบห่างจากขอบผ้าอย่างน้อยที่สุด 50 มิลลิเมตร

4. ขนาดขึ้นทดสอบ

1) ความกว้าง ใช้ขึ้นทดสอบกว้าง 50 มิลลิเมตร โดยตัดขึ้นทดสอบให้กว้างพอที่จะมีผ้าลู่แต่ละข้างไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร หรือ 15 เส้นค้ำย แล้วเลาะเส้นค้ำยออกเรื่อย ๆ จนเหลือผ้ากว้าง 50 มิลลิเมตร ผ้าที่ไม่สามารถเลาะค้ำยให้ลู่ได้ให้ตัดผ้าที่กว้าง 50 มิลลิเมตร ขนานกับแนวเส้นค้ำย ส่วนผ้าที่กว้างน้อยกว่า 60 มิลลิเมตรให้ใช้ทดสอบได้เลย

2) ความยาว ขึ้นทดสอบต้องยาวพอที่จะทำให้ที่ยึดทั้งสองอันของเครื่องทดสอบห่างกัน 200 ± 10 มิลลิเมตร และยื่นพื้นค้ำยหลังของที่ยึดค้ำย

2.11 แรงตอบสนองของวัสดุต่อแรงกระทำที่เกิดจากการเคลื่อนของวิถีกระสุน [17]

ปฏิกริยาตอบสนอง 2 ชนิด ที่เกิดขึ้นกับเป้าหมายกรณีที่มีแรงกระทำเกิดขึ้น ซึ่งได้แก่ชนิดที่เกิดขึ้นกับเป้าหมายทั้งหมด และชนิดที่เกิดขึ้นเพียงบางจุด การสนับสนุนที่เกี่ยวข้องจากทั้งสองชนิดนี้โดยทั่วไปแล้วถูกกำหนดหรือตัดสินจากปัจจัยประกอบมากมาย ไม่จำกัดแม้แต่อัตราความเร็วของการปะทะ คุณสมบัติของหัวกระสุน ขนาดของเป้าหมาย และสภาพขอบเขต โดยที่อัตราความเร็วในการปะทะถูกพิจารณาให้เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ที่ตัดสินเกี่ยวกับการทะลุผ่านที่ทำให้เป้าหมายเกิดการตอบสนองชนิดทั่วทั้งหมด หรือชนิดที่เกิดเฉพาะจุด สามารถพูดได้อย่างชัดเจนว่าความเร็วของกระสุนไม่ได้ทำให้เกิดเส้นแบ่งได้ชัดเจน รวมทั้งปัจจัยอื่น ๆ เช่นความสัมพันธ์ตัวกระทบกับเป้าหมายขนาดใหญ่ หรือความสัมพันธ์ของความถี่ที่มาบรรจบกันแบบเฉพาะจุด กับความถี่ทางโครงสร้างของเป้าหมาย ซึ่งเป็นตัวชี้ที่แสดงความแข็งแรงทนทานต่อแรงกระทำ เป็นเรื่องสำคัญที่ต้องระลึกว่า โดยธรรมชาติการกระทำที่เกิดขึ้นเฉพาะจุด จะไม่เกี่ยวข้องกับขนาดของเป้าหมาย แต่ในขณะที่แรงตอบสนองชนิดที่เกิดขึ้นทั่วทั้งหมด ต้องเชื่อมโยงเกี่ยวข้องกับเป้าหมายแน่นอน

การสังเกตนี้ถือว่าไม่สัมฤทธิ์ผล ในช่วงระหว่างที่แรงกระทำบนค้ำยเดี่ยว การศึกษาถึงความสัมพันธ์ของค้ำยความแข็งแรงสูง ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวควบคุมแรงกระทำของกระสุน ที่มีความเร็วที่ต่างกัน โดยที่ผู้ศึกษาที่ชื่อ Carr ได้สังเกตว่า ขณะกลไกหยุดการทำงานโดยที่มีความเร็วของกระสุนต่ำกว่า แม้ว่าจะใช้วิธีเดียวกันกับชนิดที่มีแรงกระทำกับเป้าหมายทั้งหมด ก็สามารถเปลี่ยนให้เป็นชนิดเฉพาะจุดได้

ช่วงของอัตราความเร็วของการกระแทก จากชนิดที่เกิดขึ้นทั้งหมดไปจนถึงชนิดที่เกิดขึ้นเฉพาะจุด ครอบคลุมถึงเชิงสถิติที่บรรจุด้วยความเร็วต่ำในตอนปลายของเป้าหมาย และหากระดับความเร็วมากไปก็จะกระแทกตอนปลายด้วยความเร็วสูง

การเปลี่ยนทิศทางที่เกิดขึ้นชนิดทั่วทั้งหมด มีความสำคัญน้อยมาก โดยค่าที่เกิดขึ้นสามารถเปลี่ยนแปลงผันแปรได้ อีกทั้งรวมถึงร่องรอยที่เว้าแหว่ง รอยร้าว การขีด การตัดหรือหุดไปของเส้นใย และความแข็งแรงของเส้นใยที่ไม่สามารถทำได้ ระดับของกฎเกณฑ์แต่ละข้อถูกศึกษาว่าเป็นหน้าที่ของอัตราความเร็วของการกระแทก เป้าหมายและลักษณะทางเรขาคณิตของกระสุนและคุณสมบัติของวัตถุที่ใช้แรงตอบสนองชนิดที่เกิดขึ้นทั้งหมด

ระบบกลไกการรองรับแรงอัดที่รับทั้งหมด เป็นอิทธิพลในกรณีที่มีอัตราความเร็วต่ำ ที่ซึ่งมีเวลาพอสำหรับแรงของกระสุนที่ถูกถ่ายเท และขยายผ่านเป้าหมายเป็นบริเวณกว้าง ในกรณีเช่นนี้การกระแทกนานพอสำหรับคลื่นที่ขีดและการฉีกของเส้นใย ทำให้เกิดการขยายไปจนถึงบริเวณริมขอบของเป้าหมาย

ปฏิริยาสนองแรงกระแทกของด้ายเดี่ยว เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของผืนผ้าและแผ่นลามิเนต มีความคล้ายคลึงเป็นหัวใจสำคัญของเป้าหมายที่จะใช้ผืนผ้าเป็นส่วนประกอบ หนึ่งในการศึกษาที่มีการศึกษาอย่างกว้างขวางมากที่สุดในหัวข้อวิชานี้คือ การศึกษาของ Smith et al. เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่ารอยแนวตัดขวาง การทะลุผ่านในระดับความเร็วเสียงในวัสดุทำให้เกิดแรงอัดบนเส้นด้ายบนผืนผ้า คลื่นความเร็วนี้ขยายด้ายและเป็นสาเหตุให้วัสดุมีการเคลื่อนแบบ in-plane การบิดเบี้ยวชนิดทรงกรวยก็เกิดขึ้น ด้วยเหตุที่ว่าคลื่นความเร็วจากด้านหน้าซึ่งทะลุผ่านด้วยความเร็วที่ต่ำกว่าด้านแนวตัดขวาง การเคลื่อนที่ in-plane (แนวราบ) ของวัสดุเปลี่ยนเป็น out-of-plane (แนวตั้ง) ณ จุดขอบของร่องรอยการบิดเบี้ยวทรงกรวยรูปร่างที่คล้ายกระโຈມของร่องรอยทรงกรวยนี้ เนื่องมาจากการเปลี่ยนทิศหรือหักเหที่เป็นแนวทะแยงของทั้งด้ายพุ่ง-ด้ายยืน ซึ่งด้ายเหล่านี้ขยายเกิดจากปัจจัย เวลา การเพิ่มขึ้นของแรงที่อยู่ในเส้นใยไปจนกระทั่งจนกระสุนหยุดลงแล้วทำให้เป้าหมายทะลุ

ความเร็วของแรงกระแทกน้อยกว่า 100 เมตรต่อวินาที จะทำให้เกิดแรงตอบสนองชนิดทั่วทั้งหมดของเป้าถูกอธิบายลักษณะ โดย ระดับของการกระทำที่ขีดหยุนสูง

ความยืดหยุ่น

เป้าหมายที่เป็นเส้นใย แรงยืดหยุ่นถูกเก็บในเส้นด้ายซึ่งถูกเก็บรวบรวมโดยคลื่นด้านแนวขวาง แรงนี้เป็นหน้าที่โดยตรงของแรงยึดในเส้นด้าย

แรงที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวถ่ายเทไปสู่เป้าหมายที่เป็นเส้นใยถูกเรียงในลักษณะแนวราบของวัสดุด้านนอก และการเคลื่อนไหวชนิดแนวตั้งของเส้นด้ายในร่องรอยทรงกรวย แรงการเคลื่อนไหวสามารถถูกทำให้เป็นผลกระทบด้วยสภาพของอาณาเขตบริเวณขึ้นอยู่กับเป้าหมาย สำหรับ

ส่วนประกอบแข็ง กลไกที่เหมือนกันจะถูกคาดการณ์ด้วยการกระทำที่ยืดหยุ่นด้วยค่าจำกัดความแรงที่ยืดหยุ่นถูกรักษาไว้ชั่วคราวในตัวเองแล้วมีการย้อนกลับ ในกรณีที่แรงกระแทกซึ่งไม่มีผลให้เกิดความเสียหาย มันก็จะเป็นอย่างที่กลไกธรรมดา ความหลากหลายของรูปแบบที่เป็นอยู่ซึ่งพยายามที่จะเตรียมส่วนที่ประกอบเข้าด้วยกันของการเปลี่ยนแปลงและการรองรับแรงอัด สิ่งที่ใหญ่มีก็คือวิธีซึ่งเป็นความแข็งแรงทนทานของโครงสร้างที่ถูกคำนวณและใช้สำหรับการคาดการณ์เกี่ยวกับการรองรับแรงอัดที่ยืดหยุ่นพอ ๆ กันกับ ส่วนประกอบชนิดทั้งหมดของการเบี่ยงเบนหักเห และวิธีที่สำคัญของการสันสะเทือนแรงกระแทกของกระสุนถูกกำหนดขึ้นจากแรงที่มีการผันผวนเปลี่ยนแปลงของเวลาที่ตรงเข้าสู่จุดศูนย์กลางของแผ่นเกราะ

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [9,10,11,12,13,14]

P.J. Hazell, M.R. Edwards, H. Longstaff, J. Erskine. [10] การทดสอบคุณสมบัติการทะลุทะลวงของกระสุนหัวตะกั่วแกนพลวงผ่านเรซินยืดหยุ่นที่มีกระจกใสฉาบกระทบอยู่

การศึกษาคุณสมบัติการทะลุทะลวงของลูกกระสุนหัวพลวง 7.62 มม. x 51 มม. ต่อพอลิยูรีเทนที่มีกระจกเคลือบฉาบอยู่ ผลที่ได้จากการทดสอบทำให้รู้ว่าความยาวของหัวกระสุนมีผลอย่างมากต่อการทะลุทะลวง รูปแบบความยืดหยุ่นเชิงเส้นตรงอย่างง่าย ๆ ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับ AUTODYN – 2D เพื่อจะอธิบายลักษณะการทำงานของเรซิน และการให้ผลเชิงตัวเลขในการทดสอบการทะลุทะลวงด้วยเครื่องจักรกล

ทั้งหมดของการทดสอบในครั้งนี้เพื่อจะสังเกตดูผลความลึกของการทะลุทะลวง โดยดูจากความลึกที่ทะลุผ่านกระจกใส ว่าลึกเท่าไร โดยดูจากภาพถ่าย และผลทางตัวเลขของการทำการทดสอบ ทำให้ทราบว่าในตอนแรกของการทดสอบ แรงขับทำให้กระสุนทะลุ นอกจากนี้ลักษณะของรูกระสุน ได้อธิบายการยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ที่ปะทะกับวัสดุของหัวกระสุน จากการวิเคราะห์น้ำหนักของวัสดุที่นำมาทำการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การใช้แผ่นกระจกที่หนากว่าจะมีความแรง (พุ่ง) ในการยิงที่ดีกว่า (แรงพุ่งดีกว่า)

การทดสอบระยะการทะลุทะลวงของกระสุนหัวพลวง 7.62 มม. x 51 มม. ต่อพอลิเมอร์ที่ฉาบบนกระจกโปร่งแสง ให้ผลการทะลุทะลวงที่ดีกว่า (ลึกกว่า) การทดสอบครั้งนี้ดูจากการพุ่งของกระสุนในแนวราบ (เส้นตรง) และวัดจากผลทางตัวเลข จากรูกระสุนที่ลึกเข้าไปในเนื้อกระจกจากการทดสอบด้วยกล้องความเร็วสูง และผลเชิงตัวเลข ลูกกระสุนที่ปะทะกับพอลิเมอร์ แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกหัวกระสุนบานออก และวิถีการกระจายของวัสดุแกน ยังเห็นชัดเจนถึงรูของกระสุนหัวพลวง และเรซินขัดขวางการทะลุทะลวง ผลจากการทดสอบทั้ง 2 แบบ แสดงให้เห็นว่า ลักษณะของรูกระสุนถูกกำหนดจากการยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ที่กระทบกับวัสดุหัวกระสุน ถ้าดูจากผลของแรงกระแทกกระจกที่หนากว่าจะทำให้เห็นผลของการทะลุทะลวงที่ดีกว่า เห็นการเคลื่อนไหว (การพุ่ง) ที่ชัดเจนกว่า

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ขนาดความยาวหัวกระสุนมีผลต่อการทะลุทะลวงวัสดุที่หัวกระสุนปะทะ ถ้าหากความยาวหัวกระสุนมาก การทะลุทะลวงวัสดุที่ปะทะมากกว่าหัวกระสุนที่มีความยาวสั้นกว่า และกระสุนหัวพลวงเมื่อถูกยิงไปปะทะกับวัสดุแล้ว ในช่วงแรกการปะทะหัวกระสุนจะบานออก

จากงานวิจัยดังกล่าวทำให้ทราบว่าความยาวของหัวกระสุนมีผลต่อการป้องกันกระสุนปืนของเสื้อเกราะ ซึ่งงานวิจัยจะต้องคำนึงถึงความยาวของหัวกระสุน เพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณชั้นของพื้นผ้าแผ่นเกราะให้ได้จำนวนชั้นพอดีกับการป้องกันกระสุนในระดับที่ต้องการ นอกจากนี้ยังทราบว่าหัวกระสุนพลวงเมื่อเกิดการปะทะกับวัสดุแล้ว ช่วงแรกหัวจะบานออกทำให้ทราบถึงลักษณะของหัวกระสุนพลวง เป็นข้อมูลในการหาวัสดุในชั้นแรกๆ เพื่อให้มีความแข็งแรงสูงทำลายรูปทรงของหัวกระสุนให้บานออกมากกว่าเดิม ลดการทะลุของเสื้อเกราะได้ดีกว่าเดิม

Mehmet Karahan, Abdil Kus, Recep Eren. [11] การค้นคว้าไปยังการศึกษาการกระทำของวิถีกระสุน และศักยภาพในการรองรับแรงอัดของผ้าทออะรามิด

รายงานนี้ได้นำเสนอถึง การค้นคว้าซึ่งพิจารณาถึงการกระทำของวิถีกระสุนต่อแผ่นเกราะ ซึ่งมีการพบพบผ้าเป็นจำนวนหลายชั้น และใช้ผ้าชนิดต่างๆ ผ้า Twaron CT 710 ในจำนวนชั้นต่างๆ ถูกนำมาทำการเย็บด้วยแบบต่างๆ 3 แบบ ในการประกอบเป็นแผ่นและจากนั้นถูกนำมาทดสอบการยิง ตามมาตรฐาน NIJ standard การศึกษาการกระทำของวิถีกระสุนถูกกำหนดโดยการวัดจากร่องรอยความลึก และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง แรงหัวกระสุนจะถูกรองรับไว้โดยชั้นต่าง ๆ ของผ้าและจะส่งผ่านไปไปยัง ชั้นผ้าด้านหลัง และก็จะต้องถูกพิจารณาถึงค่าความลึกและเส้นผ่าศูนย์กลางของร่องรอยความเสียหายจากการยิง ซึ่งมีการใช้วิธีต่างๆ เป็นการแสดงถึงว่าจำนวนการพบพบของผ้า และชนิดของการเย็บประกอบแผ่นเกราะมีผลกระทบที่สำคัญกับคุณสมบัติการเคลื่อนที่ของกระสุน และผลจากการจำกัดเงื่อนไขสภาวะต่างๆ

ผ้าที่ทอและไมทอต่างก็ผลิตจากเส้นใยที่มีความเหนียวสูง และถูกนำมาใช้ในการป้องกันกระสุน เนื่องจากความสามารถในการรองรับกำลังแรงอัดสูง และน้ำหนักเบา คุณสมบัติของเส้นใยของสิ่งทอมีการศึกษาทดลองเรื่อยมา มีการนำวิธีการทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการคาดคะเน เนื่องจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างกระสุนและผ้าเป็นกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่พิสูจน์ได้แต่ซับซ้อนมาก การคาดคะเนคุณสมบัติของผ้าจากคุณสมบัติของเส้นใยก็ไม่สามารถทำได้หากกระสุนมีขนาดเล็กเป็นที่ทราบแล้วว่ากระสุนมีขนาดใหญ่และแรง ทำให้เกิดพลังงานจลน์ และยิ่งหากพลังงานจลน์สูงก็ยิ่งทำให้เกิดการบิดเบี้ยวผิดรูปมากขึ้น เมื่อผ้าทอขึ้นอยู่กับแรงปะทะของวิถีกระสุนก็ทำให้เกิดการผิดรูปได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอนการบิดเบี้ยวผิดรูปบนผ้ามีการขยายออกเมื่อความเร็วของกระสุนอยู่ภายใต้ที่จำกัด ชั้นของผ้าเองก็มีความสามารถในการรองรับแรงอัดที่จำกัดเช่นกัน จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนา การออกแบบต่าง ๆ เพื่อหยุดแรงของกระสุน

การรองรับแรงอัดและความสามารถในการถ่ายเทของชั้นผ้าขึ้นอยู่กับความยืดหยุ่นของ เส้นใยผ้าและการรวมตัวของด้าย ด้วยเหตุนี้ความเหนียวและความยืดหยุ่นสูงของเส้นใยจึงมีส่วน ในการผลิตแผ่นเกราะ (ผ้า Twaron CT 710) อีกทั้งคุณสมบัติแรงดึงของด้ายและโครงสร้าง เส้นใย ก็ มีส่วนสำคัญในการทำแผ่นเกราะเช่นกัน ด้ายที่มีเกลียวน้อยชนิดเดียวกันและใช้ในปริมาณมากถูก นำมาใช้เป็นทั้งด้ายพุ่งและด้ายยืนเพื่อให้เป็นคุณสมบัติของผ้าชนิดเดียวกัน

ค่าตัวแปรต่าง ๆ มีผลต่อการต้านทานวิถีกระสุน เช่น คุณสมบัติของเส้นใยและเส้นด้าย โครงสร้างเส้นใย น้ำหนักผ้าและจำนวนการพันทบของผ้า ที่นำมาใช้ทำการศึกษา นอกจากนี้ ความเร็วของกระสุน มุมการยิง รูปทรงกระสุน และแนวการยิงก็เป็นตัวแปรที่สำคัญต่อแรงปะทะ ที่เกิดขึ้น

ผ้าที่นำมาใช้ประกอบศึกษามีจำนวนเส้นด้ายพุ่งและด้ายยืนที่ต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการทอ โดยทั่วไปด้ายพุ่งจะน้อยกว่าด้ายยืน ซึ่งเมื่อโดนแรงปะทะจากกระสุนด้ายพุ่งและแยกตัวจากกัน ก่อนด้ายยืน และทุกวันนี้มีการนำเส้นใยใหม่ ๆ มาใช้ทอและใช้ความหนาแน่นที่เท่ากันทั้งด้านพุ่ง และด้านยืน ก็จะทำให้เกิดการบิดเบี้ยวผิวดูที่เท่า ๆ กันทั้งด้ายพุ่งและด้ายยืน โครงสร้างนี้ทำให้ ระดับของการรองรับแรงอัดมีสูง

ตัวแปรอีกตัวแปรที่มีผลต่อคุณสมบัติของเกราะคือ การเสียดสี (ขัดกัน) ของด้าย เมื่อกระสุน ทะลุผ่าน โครงสร้างผ้า กระสุนนี้จะทำให้เส้นด้ายแตกตัวเพื่อที่จะแทรกตัวผ่านไป แต่ขณะที่ทะลุ ผ่านเส้นด้ายที่มีความเหนียวสูง กระสุนจะเสียดสีมากเป็นผลให้ลดแรงลง เช่นเดียวกันหากด้ายมี การขัดกันต่ำก็ทำให้ประสิทธิภาพในลดแรงกระสุนต่ำลงไปด้วย

จากงานวิจัยดังกล่าวให้ทราบว่า การรองรับแรงอัดและความสามารถในการถ่ายเทแรงของ ชั้นผ้าขึ้นอยู่กับความยืดหยุ่นของ เส้นใยผ้าและการรวมตัวของด้าย หากความเหนียวและความยืดหยุ่น ของเส้นใยสูง จะสามารถรับแรงของกระสุนที่กระทำได้ดี เป็นข้อมูลในการเลือกเส้นใยในการผลิต แผ่นเกราะ นอกจากนี้คุณสมบัติแรงดึงของด้ายและโครงสร้างเส้นใย ก็มีส่วนสำคัญในการทำแผ่น เกราะเช่นกัน และอีกประการหนึ่ง โครงสร้างของผ้า ที่เกิดการเสียดสีขัดกันของด้าย มีผลต่อการ ป้องกันกระสุนด้วย

H.L. Gower, D.S. Cronin, A. Plumtree. [12] ปฏิบัติการตอบสนองแรงปะทะของแผงที่อัดซ้อน กันเป็นชั้น แผงรับวิถีกระสุนที่อัดซ้อนกันเป็นชั้น ๆ เป็นส่วนสำคัญของเสื้อเกราะแข็งและอาจจะ ขยายไปสู่เงื่อนไขหรือสภาวะที่หลากหลายของแรงปะทะขึ้นอยู่กับกระสุนที่ยิงความเร็วของแรง ปะทะและรูปทรงการสร้างของเกราะ ปฏิบัติการต่อแรงปะทะของแผงที่อัดซ้อนกันเป็นชั้น ๆ ได้เคยมี การทดสอบโดยใช้แรงปะทะของกระสุนที่ไม่มีการเปลี่ยนรูป 2 ชนิด คือเหล็กกล้าชนิดแข็งขนาด 7.5 มม. 120 กิ่งทรงกระบอก กิ่งทรงกรวย และ 9 มม. แบบครึ่งวงกลม มาปรับให้เห็นความแตกต่าง ของกลไก รวมถึงการผ่านทะลุและการชะลอการทะลุให้ช้าลง

การศึกษาเกี่ยวกับการทดลองและเกี่ยวกับจำนวน ถูกนำมาใช้ในการกำหนดปฏิกิริยาสนองของ Kevlar ที่นำมาซ้อนกันเป็นชั้น ๆ โดยทั่วไปก็จะมีแบบซ้อนกัน 29 และ 129 ซึ่งแผงเหล่านี้ถูกปะทะด้วยความเร็วที่ 130 และ 250 m/s ซึ่งต่ำกว่าขีดจำกัดในการผ่านทะลุ

การศึกษาเกี่ยวกับจำนวนเชิงสถิติได้ถูกรองรับไว้ตั้งแต่แรกว่า คุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุเหล่านั้นซึ่งลดค่า BFS ซึ่งเป็นหนึ่งในเครื่องชี้วัดการกระทำที่สำคัญสำหรับการประเมินความปลอดภัยส่วนบุคคล การอธิบายวัสดุที่ใช้ในการทดลองซึ่งต่อมาได้ให้ข้อมูลคุณสมบัติเกี่ยวกับเครื่องจักรกลเพื่อที่จะถูกกำหนดจำนวน ซึ่งแสดงถึงข้อคิดเห็นร่วมกันที่ดีกับข้อมูลทางการทดลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระสุนทรงกรวยมีแรงปะทะต่อทั้ง 2 ชนิดของแผง Kevlar

ผลการทดสอบของจำนวนสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำ แรงสนอง BFS และ Dynamic สำหรับรูปทรงกรวย ขณะที่ทรงครึ่งวงกลมค่อนข้างต่ำ นี้อาจให้เหตุผลได้ว่า การลดแรงมีความสำคัญและที่สำคัญการวิเคราะห์เกี่ยวกับจำนวนสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำ ความแรงของแผ่นที่สะท้อนกลับสำหรับกระสุนชนิดครึ่งวงกลม และเวลาที่แตะสูงสุดของ BFS สำหรับกระสุนชนิดทรงกรวย

สมประสงค์ ภาษาประเทศ, ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย, อภิชาติ สนธิสมบัติ, บิณฑสันต์ ขวัญข้าว และ ชูพงศ์ ไชยหลาก. [13] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตเสื่อเกราะกันกระสุนจากผ้าใยประดิษฐ์ เพื่อนำไปใช้ผลิตเชิงพาณิชย์ ระยะที่ 1 โดยในระยะที่ 1 นี้เป็นการศึกษาเส้นใยและโครงสร้างผ้าที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการผลิตเสื่อเกราะกันกระสุน สำหรับเส้นใยที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นที่เส้นใยเชิงพาณิชย์ที่สามารถจัดหาได้โดยง่าย 2 ชนิด คือ เส้นใยไนลอน 66 และเส้นใยพอลิเอสเตอร์ นอกจากนี้แล้วยังได้ทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้เส้นใยพอลิเอทิลีนความแข็งแรงสูง ซึ่งเป็นเส้นใยทดสอบ ได้นำเส้นใยดังกล่าว มาทำการทดสอบหา Fineness, Tenacity at Break, Elongation at Break และ Modulus ของเส้นใย เส้นใยเหล่านี้จะถูกนำมาผลิตเป็นผ้าทอ และผ้าไม่ทอ โดยเส้นใยไนลอน 66 และ พอลิเอสเตอร์จะถูกนำไปผลิตผ้าทอลาย Basket 2 x 2 ส่วนเส้นใยพอลิเอทิลีนและเส้นใยไนลอนใช้ผลิตผ้าไม่ทอ จากนั้นนำผ้าที่ทอได้มาทำการทดสอบหา Tearing Strength, Tensile Strength, Elongation at Break, Weight Per Unit Area และ Threads Per Inch นอกจากนี้แล้วยังได้ทดลองสังเคราะห์สาร Shear Thickening Fluids และนำสารที่สังเคราะห์ได้มาทดลองใช้กับผ้าทอตัวอย่าง (ผ้าที่ทอจากเส้นใย ไนลอน 66 และพอลิเอสเตอร์) และนำมาทำการทดสอบหา Tearing Strength, Tensile Strength, Elongation at Break และ Weight per Unit Area ผ้าต่างๆ เหล่านี้จะนำไปเตรียมขึ้นทดสอบสำหรับการยิง โดยตัดขึ้นทดสอบตามแบบ กำหนดทิศทางการวางผ้า กำหนดฝีเข็มในการเย็บขึ้นทดสอบและเย็บขึ้นทดสอบ นำขึ้นทดสอบไปทำการทดลองยิงด้วยกระสุนปืนชนิดต่างๆ ที่มีความเร็วกระสุน น้ำหนักลูกกระสุน มุมในการยิง และระยะห่างในการยิงขึ้นทดสอบอ้างอิงตามที่มีมาตรฐาน NIJ กำหนด

จากผลการทดสอบยิงขึ้นตัวอย่างพบว่า ผ้าตัวอย่างที่ทอจากเส้นใยพอลิเอสเตอร์ น้ำหนัก 803 ± 50 กรัม (จำนวน 40 ชั้น) ต่อตารางฟุต เมื่อยิงในสภาวะเปียกสามารถป้องกันกระสุนทดสอบชนิด .45 ACP FMJ ได้ และรอยยุบตัวของวัสดุหุนหรือดินน้ำมันไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งผ่านมาตรฐาน NIJ ระดับ 2A สำหรับผ้าไม่ทอที่ผลิตจากเส้นใยพอลิเอททิลีนและเส้นใยไนลอน ผ้าทอที่ทอจากเส้นใยพอลิเอสเตอร์และเส้นใยไนลอนที่ผ่านการเคลือบสาร Shear Thickening Fluids ที่สังเคราะห์ได้จากการทดลอง ไม่สามารถป้องกันกระสุนดังกล่าวได้

สุจิระ ขอบจิตต์เมตต์, สมประสงค์ ภาษาประเทศ และอภิชาติ สนธิสมบัติ. [14] การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยไหมมาใช้ในการผลิตเสื้อเกราะกันกระสุน เสื้อเกราะกันกระสุน ที่ใช้ในปัจจุบันเป็นผลิตภัณฑ์นำเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยไหมมาใช้ในการผลิตเสื้อเกราะกันกระสุน จากผลการศึกษาสามารถทำการผลิตเสื้อเกราะโดยใช้วัตถุดิบจากเส้นใยไหม กำหนดให้เส้นด้ายยืนมีจำนวน 32 เส้นต่อนิ้ว และเส้นด้ายพุ่งมีจำนวน 64 เส้นต่อนิ้ว นำมาทอเป็นผืนผ้าตามโครงสร้างลายผ้าแบบ Basket 2 x 2 ขนาดของเส้นด้ายยืนที่นำมาใช้ขนาด 455 ดีเนียร์ (Denier) ขนาดของเส้นด้ายพุ่ง 490 ดีเนียร์ นำผ้าไปวางแบบตัดทำขึ้นทดสอบขนาด 6 x 6 นิ้ว ความหนา 30 ชั้น และ 35 ชั้น ลักษณะการวางเรียงชั้นผ้าไหมวางสลับเส้นยืนเส้นพุ่ง การเย็บแต่ละชั้นวางทิศทางการเย็บลายตารางหมากรุกและเย็บซิกแซ็ก เพื่อลดช่องว่างและเพิ่มความแข็งแรงจนครบ 15 ชั้น จึงนำมารวมกันจนครบ 30 ชั้น แล้วเย็บติดรวมกันด้วยเส้นด้ายใยยาวไปทดลองยิงที่ระยะหวังผลที่ต่างกัน 3 ระดับ คือ 3 หลา 7 หลา และ 15 หลา ผลการทดสอบการยิงสามารถป้องกันกระสุนขนาด .22 แอลอาร์ .38 สเปเชียล .45 แมกนัม และปืนลูกซอง ได้

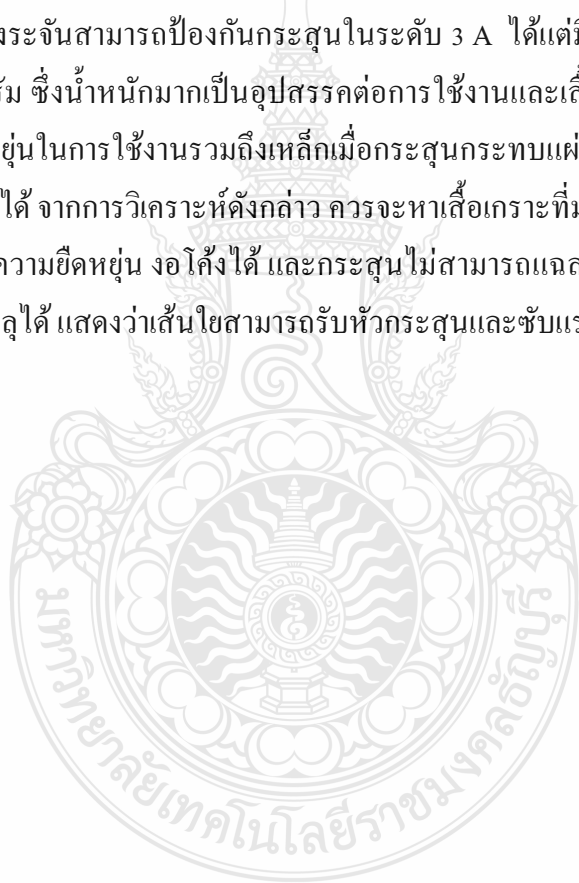
สรุปผลการศึกษาวิจัยได้ดังนี้ ใช้ผ้าไหมจำนวน 30 ชั้น ทำเสื้อเกราะชั้นกลางและใช้ผ้าไนลอนหรือโพลีเอสเตอร์ทำเสื้อเกราะชั้นนอก และชั้นใน ลายทอของผ้าไหมเป็นลาย Basket 2 x 2 ทอด้วยวิธีทอที จำนวนเส้นด้ายยืนและจำนวนเส้นด้ายพุ่งต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ความถี่เส้นด้ายยืน 32 เส้นต่อนิ้วความถี่เส้นด้ายพุ่ง 64 เส้นต่อนิ้ว เบอร์ด้ายที่ใช้ผลิตผ้าไหมที่ใช้ทำเสื้อเกราะชั้นกลาง คือ เบอร์ด้ายยืนขนาด 455 ดีเนียร์และเบอร์ด้ายพุ่งขนาด 490 ดีเนียร์

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยไหมมาใช้ในการผลิตเสื้อเกราะกันกระสุนสามารถป้องกันกระสุนขนาด .22 แอลอาร์ .38 สเปเชียล .45 แมกนัม และปืนลูกซองได้ ซึ่งกระสุนขนาด .22 แอลอาร์ และ.38 สเปเชียล เปรียบเทียบตามมาตรฐานยุทธโศปกรณ์กระทรวงกลาโหม ว่าด้วยเสื้อเกราะกันกระสุน เป็นระดับ 1 ส่วนขนาดกระสุน .45 แมกนัม เป็นระดับ 2 A และปืนลูกซองไม่มีกำหนดในมาตรฐาน เห็นได้ว่าเส้นใยไหมทำเป็นเส้นใยในการป้องกันกระสุนได้ในระดับต้นๆ จึงควรหาเส้นใยที่มีความแข็งแรงกว่าเส้นใยไหม ซึ่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมประสงค์ และคณะ ได้ทำวิจัยและทดสอบการป้องกันกระสุนแล้ว พบว่าเส้นใยโพลีเอสเตอร์ความแข็งแรงสูง และเส้นใย

ไนลอน 66 สามารถป้องกันกระสุนได้ในระดับสูงกว่าไหม เนื่องจากไนลอน 66 มีโครงสร้างคล้ายเส้นใยเคฟลาร์ที่ทำเสื่อเกราะกันกระสุนจากอดีตจนถึงปัจจุบัน

เสื่อ “บางระจัน” เกราะคุ้มชีวิตภูมิปัญญาไทย [15] บริษัท พรีซิพาร์ท โดย พันตรี ทรงพล เอี่ยมบุญฤทธิ กรรมการผู้จัดการ ได้ทดลองโลหะทั้งหมดที่มีอยู่ในไทยมาปรับปรุงคุณภาพตามกรรมวิธีโลหะวิทยา ได้แผ่นเหล็กขึ้นมา 1 แผ่น ทดลองใช้ปืน .357 บรรจุกระสุนเจาะเกราะยิงใส่แผ่นเหล็กแล้วไม่ทะลุ ทีมวิจัยก็ยอมรับว่ายังมีข้อด้อยตรงที่มีน้ำหนักมาก แต่เป็นเสื่อเกราะที่ใช้เหล็กกล้าชุบพิเศษ มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอีก 2 กิโลกรัม จากเสื่อเกราะเดิมของเมืองนอก แต่ก็ทนทานมีอายุคงทนได้ถึง 90 ปี เนื่องจากใช้ยางพาราหุ้ม มีการพัฒนาเสื่อเกราะโดยปรับลดจุดอ่อนบริเวณช่องว่างที่จะถูกกระสุนปืนให้มีเกราะป้องกันได้มิดชิดขึ้น พร้อมกับอุปกรณ์เสริมกันอีกหลากหลายรูปแบบ

เสื่อเกราะบางระจันสามารถป้องกันกระสุนในระดับ 3 A ได้แต่น้ำหนักมากกว่าเสื่อเกราะต่างประเทศ 2 กิโลกรัม ซึ่งน้ำหนักมากเป็นอุปสรรคต่อการใช้งานและเสื่อเกราะบางระจันเป็นแผ่นเหล็ก ซึ่งไม่มีการยืดหยุ่นในการใช้งานรวมถึงเหล็กเมื่อกระสุนกระทบแผ่นเหล็ก ลูกกระสุนสามารถแล่นถูกผู้อยู่ด้านหลังได้ จากการวิเคราะห์ดังกล่าว ควรจะหาเสื่อเกราะที่มาจากเส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยประดิษฐ์ ซึ่งมีความยืดหยุ่น งอโค้งได้ และกระสุนไม่สามารถแล่นได้เนื่องจากเส้นใยสิ่งทอลูกกระสุนสามารถทะลุได้ แสดงว่าเส้นใยสามารถรับหัวกระสุนและซับแรงได้ดี



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีที่ใช้ศึกษา คั่นคว่า และวิจัย

3.1.1 การดำเนินการทดลอง

1. ศึกษางานวิจัยการผลิตเสื้อเกราะกันกระสุนจากผ้าใยประดิษฐ์ เพื่อนำไปใช้ผลิตในเชิงพาณิชย์ ระยะที่ 1 ศึกษาเส้นใยและโครงสร้างที่เหมาะสมในการผลิตเสื้อเกราะกันกระสุน ของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมประสงค์ ภาษาประเทศ และคณะ

2. เลือกชนิดเส้นใยจากงานวิจัยฯ ของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมประสงค์ ภาษาประเทศ และคณะที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเส้นใยอะรามิก เพื่อใช้ในงานวิจัยนี้

3. นำเส้นด้ายไนลอน 66 มาทอเป็นผืนผ้าลายตะกร้า (Basket) 2×2

4. นำผ้าที่ทอได้ทดสอบหาสมบัติผ้า Tensile Strength และ Elongation at Break (%)

Fabric.

5. จัดทำแบบขึ้นทดสอบ ขนาด 12×12 ตารางนิ้ว นำผ้าประกอบเป็นแผ่นเกราะกันกระสุน 2 แบบ

แบบที่ 1 วางซ้อนกันโดยไม่มีการเย็บผืนผ้าให้ติดกัน

แบบที่ 2 วางซ้อนกันพร้อมเย็บผืนผ้าติดให้ติดกัน

6. ศึกษาการป้องกันกระสุนเบื้องต้น ของตัวอย่างทดสอบด้วยการยิงด้วยกระสุนปืน ขนาด 5.56 มม. และ 7.62 มม. ว่ามีความเหมาะสมกับระดับการป้องกันกระสุนว่าระดับใดที่สามารถนำมาผลการป้องกันกระสุน มาวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยนี้ได้

7. ทำตัวอย่างทดสอบตามข้อ 5 และประกบด้วยแผ่นอลูมิเนียมด้านบนและล่าง

8. นำตัวอย่างเข้าเครื่องแรงอัด และอัดด้วยแรงอัดที่ 0, 200 400, 600, 800 และ 1000 กิโลกรัมแรง ยึดแผ่นเกราะด้วยสกรู

9. นำแผ่นเกราะแบบเย็บและไม่เย็บ ไปทดสอบการป้องกันกระสุนปืนตามมาตรฐาน ยูทโรปกรณักระทรวงกลาโหมว่าด้วยเสื้อเกราะกันกระสุน ด้วยกระสุนปืน ขนาด 9 มม.ระดับ 2 A

10. ตรวจสอบ บันทึกผลการยิงทดสอบ และวิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.2 วัสดุและเครื่องมือใช้ในการทดลอง

3.2.1 วัสดุที่ใช้

1. เส้นด้ายไนลอน 66 ความเหนียวสูง Standard Specification of Nylon 66 (Suntex Fiber Co.,Ltd.) FDY Filament Yarn ที่ใช้ทอเป็นผืนผ้า แสดงในรูปที่ 3.1
2. แผ่นอลูมิเนียม ขนาด 13×13 ตารางนิ้ว หนา 3 มิลลิเมตร ด้านมุมแผ่นอลูมิเนียมเจาะรูสำหรับสอดสกรู จำนวน 6 รู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ตำแหน่งสกรูอยู่ที่มุมของแผ่นอลูมิเนียม สำหรับประกบด้านบนและล่างของชั้นผ้าสี่เกราะ แสดงในรูปที่ 3.2
3. สกรูขนาดความยาว 2 นิ้ว สำหรับยึดแผ่นอลูมิเนียม แสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 เส้นด้ายไนลอน 66 ความเหนียวสูง



รูปที่ 3.2 แผ่นอลูมิเนียม



รูปที่ 3.3 สกรูยึดแผ่นอลูมิเนียม

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องทอผ้า Rapier ความเร็วของเครื่องทอ 260 เส้นพุ่งต่อนาที เบอร์ฟันทวิ 31 หน้ากว้างของเครื่อง 49 นิ้ว ความถี่เส้นด้ายยืน 32 เส้นต่อนิ้ว ความถี่เส้นด้ายพุ่ง 64 เส้นต่อนิ้ว ความกว้างหน้าผ้า 48 นิ้ว แสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องทอผ้า Rapier ความเร็วของเครื่องทอ 260 เส้นพุ่งต่อนาที
(ยี่ห้อ Somet บริษัท ไทยฟาสต์ จำกัด)

2. เครื่องทดสอบแรงดึงและอัดแรงกด (Tensile Strength) ยี่ห้อ Testometric Micro 350 เป็นเครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุต่างๆ ต่อแรงดึงและแรงกดระบบดิจิทัล สามารถรับแรงได้ 10 กิโลนิวตัน มีค่าความแม่นยำ $\pm 0.5\%$ สามารถปรับความเร็วได้ตั้งแต่ 0.1 – 1,000 มิลลิเมตร/นาที มีค่าความแม่นยำ $\pm 1\%$ และใช้สำหรับอัดแรงให้กับชิ้นทดสอบ ที่แรงอัด 200, 400, 600, 800 และ 1000 กิโลกรัมแรง แสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบแรงดึงและเครื่องอัดแรงกด (Tensile Strength)

3. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าขนาด 6,000 กรัม ยี่ห้อ VIBRA รุ่น AJ ชั่งน้ำหนักได้ตั้งแต่ 0 – 6,200 กรัม ความละเอียด 0.01 กรัม ค่า Linearity ± 0.2 กรัม สำหรับชั่งน้ำหนักผ้า หวีกระสุนและอื่นๆ แสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าขนาด 6,000 กรัม

4. หัวกดแผ่นเกราะทำด้วยเหล็กชุบโครเมียม ขนาดประมาณ 13×13 นิ้ว หนา 10 เซนติเมตร มีแท่นยึดหัวกดเป็นรูปวงกลมอยู่ด้านบนกลางแผ่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร ด้านมุมหัวกดเจาะรูสำหรับใส่สกรู จำนวน 6 รู ตำแหน่งอยู่ที่มุมของแผ่นอลูมิเนียม แสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 หัวกดที่ออกแบบขึ้นงาน สำหรับกดอัดแรงต่างๆ

5. เครื่องวัดความเร็วกระสุนปืน กรมสรรพาวุธทหารอากาศ ยี่ห้อ INLOG 2020 เป็นเครื่องวัดความเร็วกระสุนปืน ด้วยระบบแสง (Photo electric light screens) เป็น 1 ใน 4 แบบที่มาตรฐานกำหนดให้ใช้ ผลของการวัดความเร็วกระสุนที่เป็นอิสระต่อกัน สามารถกระทำได้โดยการใช้เครื่องวัดความเร็ว 2 ชุด จากระยะ $A \rightarrow B$ บันทึกลงด้วยระบบดิจิทัล มีความสามารถในการบันทึกความเร็วกระสุนปืน ได้ไม่ต่ำกว่า 0.3 เมตร/วินาที (10 ฟุต/วินาที)



รูปที่ 3.8 เครื่องวัดความเร็วกระสุนปืนของกรมสรรพาวุธทหารอากาศ



รูปที่ 3.9 เครื่องประมวลผลความเร็ว กรมสรรพาวุธทหารอากาศ

6. จักรเย็บผ้าอุตสาหกรรม ยี่ห้อ VENUS เป็นจักรอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ตัวจักรมีตีนผี ตะกั่วจำนวน 2 ตัว สามารถเย็บผ้าที่มีความหนาได้ประมาณ 2 เซนติเมตรสำหรับเย็บแผ่นกระเบื้อง เย็บผืนผ้าติดกัน ครั้งละ 20 ผืน แสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 จักรเย็บผ้าอุตสาหกรรม

7. ปืนเล็กยาว ขนาด 5.56 มม. ปากลำกล้อง 5.56 มม. หรือ .223 นิ้ว ปืน ทำงานด้วยแก๊ส (Gas Operated) ระบายความร้อนด้วยอากาศ ทำการยิงได้ทั้งประทับไหล่สมรรถนะ ความเร็วที่ปากลำกล้อง 3,250 ฟุต/วินาที ระยะยิงไกลสุด 2,653 เมตร ระยะยิงหวังผล 460 เมตร แสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ปืนเล็กยาว ขนาด 5.56 มม.

8. ปืนเล็กยาวขนาด 7.62 มิลลิเมตร ปากลำกล้อง 7.62 มม. เครื่องกลไกปืนทำงานด้วยแก๊ส ระบายความร้อนด้วยอากาศ ระยะยิงไกลสุด 3,725 เมตร ระยะยิงหวังผล 1,100 เมตร แสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ปืนเล็กยาว ขนาด 7.62 มม.

9. กระสุนขนาด M16 หรือ 5.56 มม. ใช้ในการทดสอบเบื้องต้น แสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 กระสุนขนาด M16 หรือ 5.56 มม.

10. กระสุนขนาด 7.62 มม. ชนิดเปลือกแข็ง น้ำหนัก 148 เกรน ความเร็ว 838 เมตร/วินาที
แสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 กระสุนขนาด 7.62 มม.

11. ปืนพกสั้น ขนาด 9 มม. และกระสุนปืนขนาด 9 มม. FMJ น้ำหนัก 124 เกรน ความเร็ว
367 เมตร/วินาที \pm 9.1 เมตร/วินาที สำหรับใช้ทดสอบยิงแผ่นเกราะ แสดงในรูปที่ 3.15

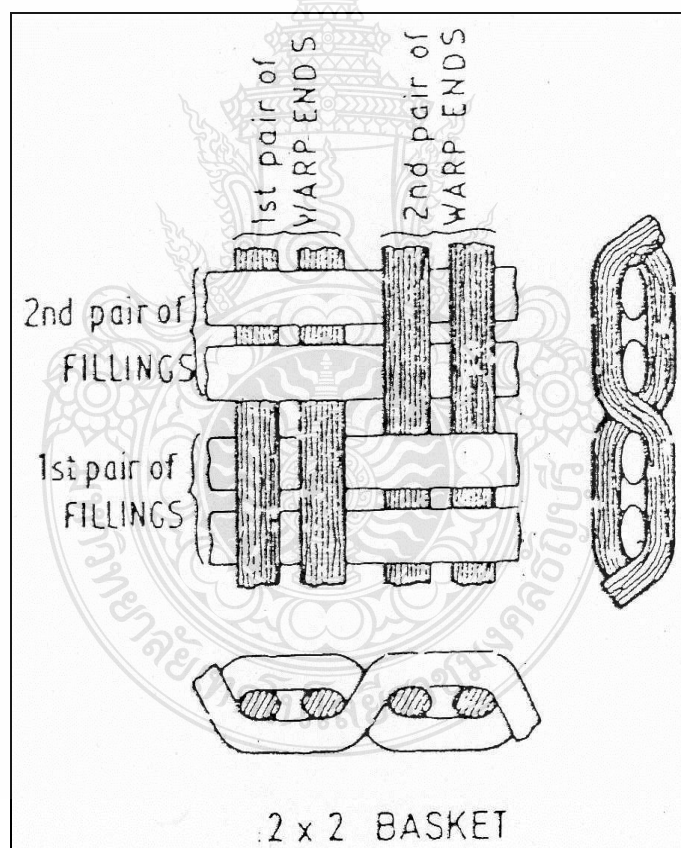


รูปที่ 3.15 ปืนพกสั้นขนาด 9 มม.และกระสุนปืนขนาด 9 มม. FMJ

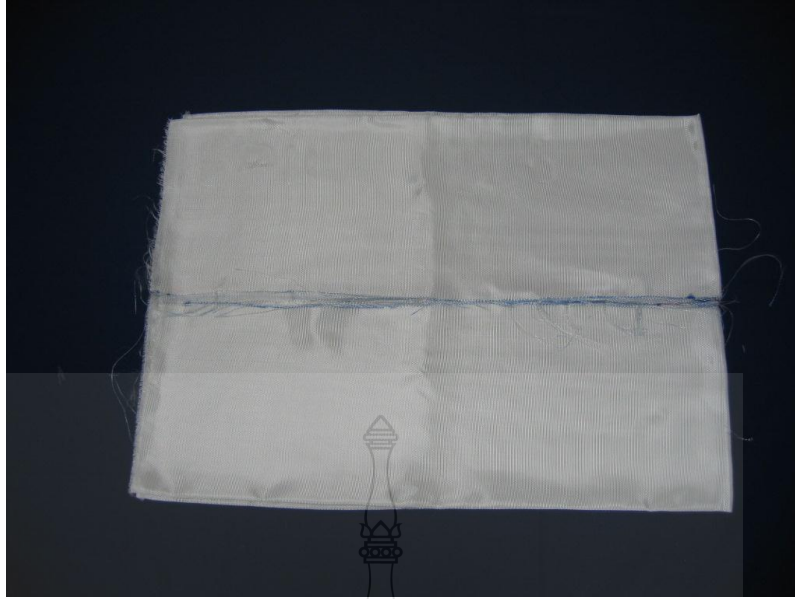
12. กระสุนปืนขนาด 9 มม. (9 mm FMJ RN) ความเร็วสูง ชนิดเปลือกแข็งหัวกลม น้ำหนัก 124 เกรน ความเร็วกระสุน 367 เมตร/วินาที หรือ 1205 ฟุต/วินาที (กระสุนชนิดเปลือกแข็ง Full Metal Jacketed Bullet คือ กระสุนตะกั่วเคลือบด้วยโลหะผสมทองแดง มีทองแดง 90 ส่วน สังกะสี 10 ส่วน ยกเว้นส่วนที่เป็นฐาน, RN กระสุนหัวกลม Round Nose Bullet คือ ลูกกระสุนที่มี หัวทู่หรือโค้งมน รวมทั้งลูกกระสุนที่ส่วนโค้งบริเวณปลายหัวกระสุนถูกตัดเล็กน้อย)

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 นำเส้นด้ายใยในลอน 66 มาทอเป็นผืนผ้าลายตะกร้า (Basket) 2 x 2 ซึ่งมีลักษณะการจัดแสดงในรูปที่ 3.16 และภาพถ่ายผ้าแสดงในรูปที่ 3.17 โดยใช้เครื่องทอผ้า Rapier แสดงในรูปที่ 3.4 ความเร็วของเครื่องทอ 260 เส้นพุ่งต่อนาที ขนาดของพื้นหวี 31 ความถี่จำนวนเส้นด้ายยืน 32 เส้นต่อนิ้ว และจำนวนเส้นด้ายพุ่ง 64 เส้นต่อนิ้ว



รูปที่ 3.16 รูปลายการทอลายตะกร้า



รูปที่ 3.17 ผืนผ้าไนลอน 66 ลายตะกร้า

3.3.2 นำผ้าที่ได้จากการทอ ทดสอบหา Tensile Strength. แสดงในรูปที่ 3.18, 3.19 และ 3.20



รูปที่ 3.18 ตัดผ้าทดสอบแรงดึงและระยะยืดขณะผ้าขาดด้วยขึ้น



รูปที่ 3.19 ตัดผ้าทดสอบแรงดึงและระยะยืดขณะผ้าขาดด้วยพู่



รูปที่ 3.20 ทดสอบแรงดึงและระยะยืดที่จุดขาด ของผ้าไนลอน 66

3.3.3 นำผ้าจากการทอมาตัดตามแบบชิ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยม ขนาด 12 x 12 ตารางนิ้ว จำนวน ตัวอย่างละ 100 ชิ้น แสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 การตัดผ้าไนลอน 66 ตามแบบชิ้นทดสอบ

3.3.4 การจัดทำแบบชิ้นทดสอบ ขนาด 12 x 12 ตารางนิ้ว โดยการนำผ้าจำนวน 100 ชิ้นมาวางซ้อนกัน โดยให้แนวด้ายพุ่งและยืนวางสลับกัน แสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 การจัดทำแบบชิ้นทดสอบ

3.3.5 นำผืนผ้าแบบขึ้นทดสอบ จำนวน 100 ผืนมาวางซ้อนกันโดยให้แนวด้ายพุ่งและยืนวาง สลับกันจนครบ 100 ผืน สำหรับแผ่นเกราะแบบไม่เย็บ แสดงในรูปที่ 3.23



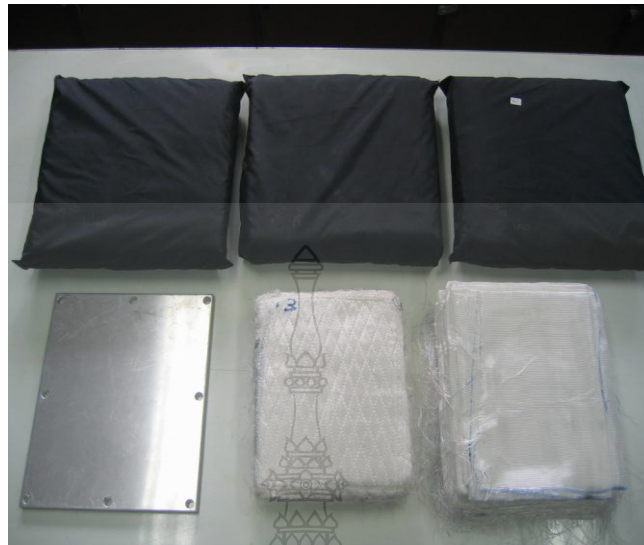
รูปที่ 3.23 การวางผืนผ้าด้ายยืนและด้ายพุ่งสลับกัน แบบไม่เย็บ

3.3.6 นำผ้า 100 ผืนประกอบเป็นแผ่นเกราะกันกระสุน 2 แบบ
แบบที่ 1 วางซ้อนกันโดยไม่มีการเย็บผืนผ้าให้ติดกัน
แบบที่ 2 วางซ้อนกันพร้อมเย็บผืนผ้าติดให้ติดกันครั้งละ 20 ผืน เท่ากับ 1 ชุด แล้วเย็บ เป็นรูปขนมเปียกปูนขนาดประมาณ 1×1 นิ้ว ตามรูปที่ 3.24 เย็บเป็นเส้นทะแยงมุมตามแนวการวาง ผืนผ้า ทำเช่นเดียวกันให้ได้ จำนวน 5 ชุด แล้วนำมาเย็บกันริมติดกัน



รูปที่ 3.24 การเย็บลายผ้าแผ่นเกราะ รูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน

3.3.7 นำแผ่นอลูมิเนียมหนา 3 มิลลิเมตร ขนาด 13 x 13 ตารางนิ้ว พร้อมเจาะรูสกรูวางประกบ
ด้านบนและด้านล่างของชั้นผ้าทั้ง 2 แบบ



รูปที่ 3.25 แผ่นเกราะแบบเย็บ และแบบไม่เย็บ

3.3.8 แผ่นเกราะแบบเย็บ ประกบด้านบนและล่างด้วยแผ่นอลูมิเนียม นำเข้าเครื่องแรงอัด และ
อัดด้วยแรงอัดที่ 0, 200 400, 600, 800 และ 1000 กิโลกรัมแรง แต่ละตัวอย่างและยึดแผ่นเกราะด้วย
สกรู แสดงในรูปที่ 3.26 – 3.28



รูปที่ 3.26 แผ่นเกราะแบบเย็บ ประกบด้านบนและล่างด้วยแผ่นอลูมิเนียม



รูปที่ 3.27 การยึดแผ่นอลูมิเนียมด้วยสกรู หลังกดแผ่นเกราะ



รูปที่ 3.28 แผ่นเกราะแบบไม่เย็บ และแบบเย็บ ผ่านแรงอัดแล้ว ประกอบกับแผ่นอลูมิเนียม

3.3.9 นำเส้นผ้าที่ได้รับแรงอัดที่แรงอัดต่างๆ ทดสอบหา Tensile Strength แสดงในรูปที่ 3.29 แล้วนำผลที่ได้วิเคราะห์เปรียบเทียบกับเส้นผ้าที่ไม่ได้รับแรงกด



รูปที่ 3.29 ทดสอบหา Tensile Strength ผ้าที่ได้รับแรงอัดที่แรงอัดต่างๆ

3.3.10 นำแผ่นกระดาษแบบเย็บและไม่เย็บ ไปทดสอบการป้องกันกระสุนปืนตามมาตรฐาน ยูทโซปกรณักระทรวงกลาโหมว่าด้วยลื่อกระดาษกันกระสุนดังนี้

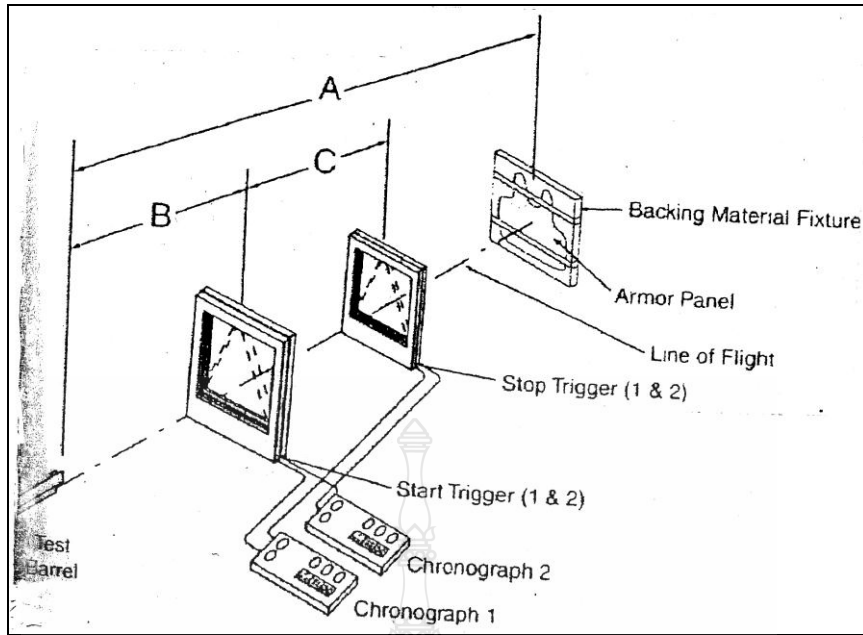
1. เตรียมอุปกรณ์การทดสอบยิง

1) จัดวางอุปกรณ์เครื่องวัดความเร็ว และอุปกรณ์ต่างๆ มีระยะห่างจากปลายกระบอกปืนถึงลื่อกระดาษ 5 เมตร (ระยะ A) แสดงในรูปที่ 3.30

2) ติดตั้งฉากจับความเร็วให้อยู่ในแนวตั้งฉากกับแนววิถีกระสุน แสดงในรูปที่ 3.31

3) เตรียมวัสดุหนุนดินน้ำมัน ยี่ห้อ Roma Plastilina No.1 ใส่กระเบขนาด 610 x 610 x 140 มม. ทดสอบความหนาแน่นใช้ลูกตุ้มเหล็กกล้ารูปทรงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5 มม. \pm 0.05 มม. มีน้ำหนัก 1,043 กรัม \pm 5 กรัม ที่ถึงความสูง 2 เมตร ปล่อยลูกเหล็กทิ้งอย่างอิสระบนวัสดุหนุน ให้ทิ้งห่างจากขอบกระเบอย่างน้อย 76 มม. และห่างจากจุดศูนย์กลางตำแหน่งที่ทิ้งเดิมไม่น้อยกว่า 156 มม. ทำการทิ้งลูกตุ้ม เพื่อทดสอบความแน่นของวัสดุหนุน จำนวน 5 ครั้ง นำรอยยุบตัวมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าเฉลี่ยต้องได้ตามเกณฑ์ 19 มม. \pm 2 มม. หากวัสดุหนุนรอยยุบตัวไม่ได้ตามเกณฑ์จะต้องนำวัสดุหนุนมาปรับสภาพโดยการนวดให้แข็ง หรือเข้าตู้อบความร้อนให้อ่อนตัว แสดงในรูปที่ 3.32

4) เตรียมเครื่องวัดความเร็วกระสุนให้พร้อมยิง แสดงในรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.30 รูปแบบติดตั้งวางอุปกรณ์เครื่องจับความเร็ว



รูปที่ 3.31 ติดตั้งวางอุปกรณ์เครื่องจับความเร็ว



รูปที่ 3.32 ทดสอบความหนาแน่นวัสดุหุนดินน้ำมัน



รูปที่ 3.33 ติดตั้งฉากจับความเร็วพร้อมเครื่องวัดความเร็วกระสุน

2. เตรียมกระสุนและปืนที่จะทดสอบ

- 1) กระสุน ขนาด 9 มม. FMJ น้ำหนัก 124 เกรน ความเร็ว 367 เมตร/วินาที \pm 9.1 เมตร/วินาที แสดงในรูปที่ 3.34
- 2) ปืนขนาด 9 มม. แสดงในรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.34 เตรียมหัวกระสุนขนาด 9 มม. ประกอบกับปลอกกระสุนพร้อมดินปืน ให้ได้ความเร็วตามกำหนด



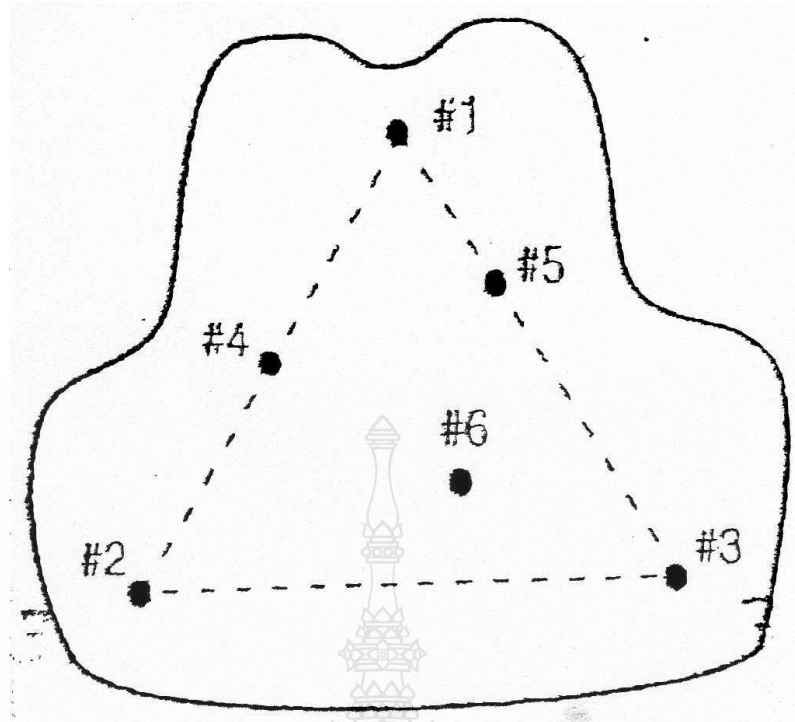
รูปที่ 3.35 เตรียมปืนขนาด 9 มม. ใช้สำหรับการทดสอบ

3. การเตรียมการยิงทดสอบ

- 1) การเตรียมปืนทดสอบ ขนาด 9 มม. บรรจุกระสุนพร้อมยิง
 - 2) ตั้งระยะห่างจากปลายกระบอกปืนถึงแผ่นเกราะทดสอบ ระยะห่าง 5 เมตร
 - 3) ยิงอุ้งล้ากลิ้งปืนกับกระสุนใช้ทดสอบ จำนวน 6 นัด เพื่อให้ล้ากลิ้งปืนมีอุณหภูมิพอเหมาะ
 - 4) ยิงทดสอบความเร็วของกระสุนให้ได้ตามกำหนด ในระดับ 2 ตามมาตรฐานยุทธโศปกรณ์กระทรวงกลาโหม 367 เมตร/วินาที \pm 9.1 เมตร/วินาที
 - 5) ทำการยึดตรึงชิ้นตัวอย่างให้แน่นกับวัสดุหนุน แสดงในรูปที่ 3.36
 - 6) กำหนดจุดยิงบนชิ้นทดสอบ จำนวน 6 จุด มุม 0 องศา จำนวน 4 จุด และมุม 30 องศา จำนวน 2 จุด ตามรูปที่ 3.37 และ 3.38
4. ทำการยิงตัวอย่างทดสอบ ด้วยกระสุน 9 มม. มุม 0 องศา จำนวน 4 นัด โดยกำหนดให้ยิงนัดที่ 1, 2, 3 และ 6 และมุมเอียง 30 องศา จำนวน 2 นัด ยิงนัดที่ 4 และ 5 ตามรูปที่ 3.39 ต่อ 1 ตัวอย่าง โดยที่รอยยิงของกระสุนแต่ละนัด ต้องห่างกันไม่น้อยกว่า 2 นิ้ว และห่างจากขอบเกราะไม่น้อยกว่า 3 นิ้ว แสดงในรูปที่ 3.40 – 3.42
5. ตรวจสอบ บันทึกผลการยิงทดสอบ รอยยุบของวัสดุหนุนและตรวจนับจำนวนชิ้นทะลุกระสุน เฉลี่ยจำนวนชิ้นทะลุ มุมยิง 0 องศา และ 30 องศา ทุกตัวอย่างทดสอบ วิเคราะห์ผลการทดสอบ แสดงในรูปที่ 3.43 – 3.46



รูปที่ 3.36 ทำการยึดตรึงตัวอย่างแผ่นเกราะกับวัสดุหนุน



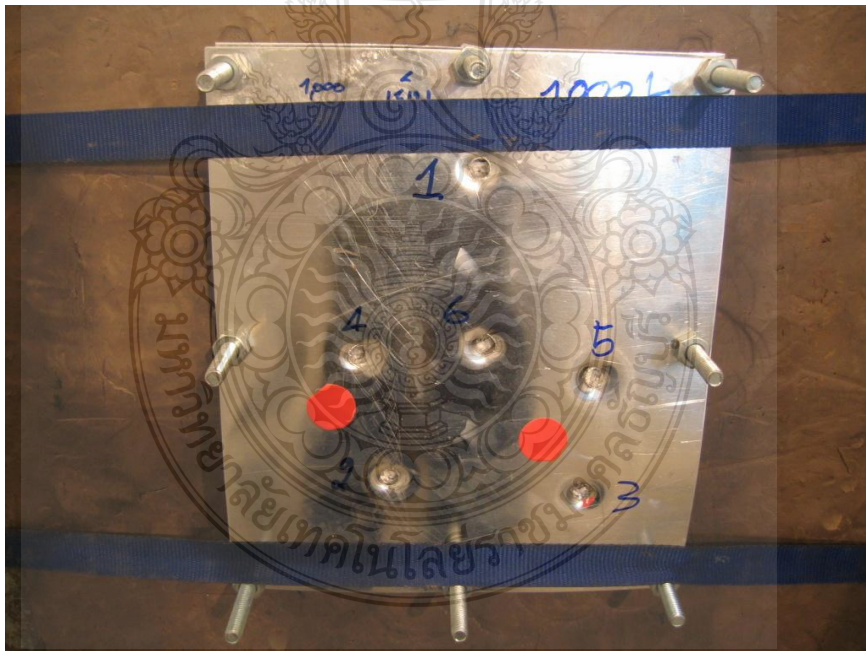
รูปที่ 3.37 กำหนดจุดยึดบนตัวอย่างแผ่นเกราะ จำนวน 6 จุด
จุดที่ 1, 2, 3 และ 6 มุมยิง 0 องศา
จุดที่ 4 และ 5 มุมยิง 30 องศา [15]



รูปที่ 3.38 กำหนดจุดยึดบนตัวอย่างแผ่นเกราะจุดที่ 1 มุมยิง 0 องศา



รูปที่ 3.39 ยิงตัวอย่างแผ่นเกราะ ด้วยกระสุนปืน 9 มม.



รูปที่ 3.40 แผ่นเกราะแบบเย็บ กำลังทดสอบยิงด้วยกระสุนปืน 9 มม. ครบ 6 นัด



รูปที่ 3.41 ตัวอย่างแผ่นเกราะแบบเหวี่ยง แรงอัด 1000 กก.แรง หลังทดสอบยิง



รูปที่ 3.42 แผ่นเกราะแบบเหวี่ยง หลังทดสอบยิงด้วยกระสุนปืน 9 มม. ที่แรงอัดระดับต่างๆ



รูปที่ 3.43 เลาะด้ายที่เข็บแผ่นกระดาษแบบเข็บ



รูปที่ 3.44 ตรวจสอบจำนวนชั้นทะลุของ แผ่นกระดาษแบบเข็บ



รูปที่ 3.45 แผ่นเกราะแบบเย็บหลังเลาะเส้นด้าย



รูปที่ 3.46 วัดขนาดรอยชุบตัวของวัสดุหนูน

4.2 ผลการทดสอบแรงดึงของผ้าไนลอน 66 หลังอัดแรงในระดับต่างๆ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองความแข็งแรงของผืนผ้าเมื่อถูกแรงกด

แรงกด (กก.)	แรงดึงทำให้ผ้าขาด (กก.แรง)		แรงดึงที่หายไป (%)	
	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง
0	130.07	183.66	-	-
200	126.37	177.26	2.84	3.48
400	125.46	176.35	3.54	3.98
600	119.63	169.77	8.02	7.56
800	118.93	168.54	8.56	8.23
1000	119.04	167.07	8.48	9.03

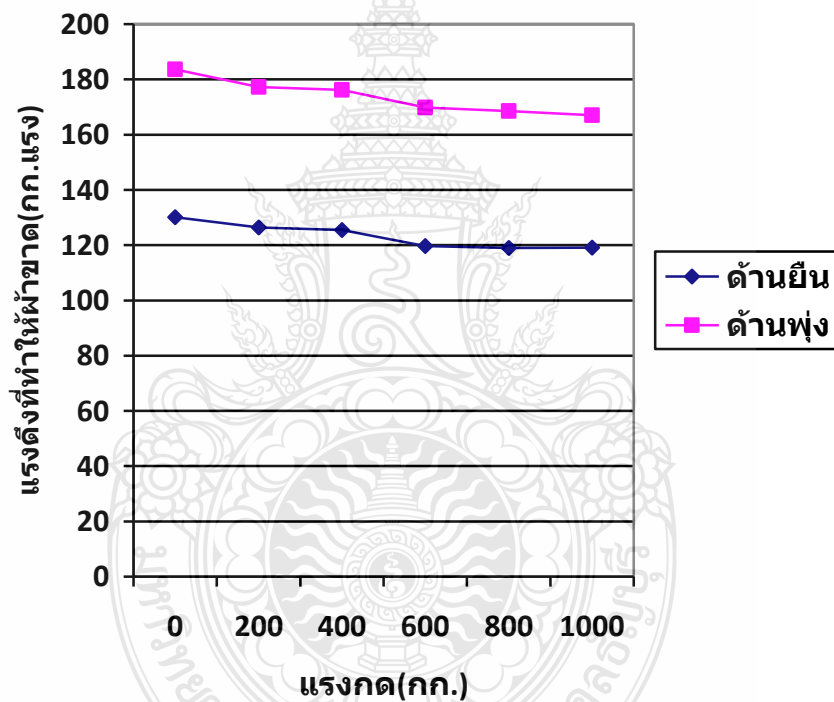
4.2.1 ผลการทดสอบความแข็งแรงของผืนผ้าเมื่อถูกแรงกดที่ 0, 200, 400, 600, 800 และ 1000 กิโลกรัมแรง แล้วนำผืนผ้าทั้ง 6 ชิ้น ทดสอบความแข็งแรงของผืนผ้า พบว่าเมื่อเพิ่มแรงกดมากขึ้น ความแข็งแรงของผ้าเริ่มลดลงตามลำดับ แต่ไม่เกินร้อยละ 10

4.2.2 ผลการทดสอบ ผ้าไนลอน 66 ที่ กรมพลศึกษา ทหารอากาศ ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 121 เล่มที่ 9 แรงดึงและการยืดตัวที่ทำให้ผ้าทอขาด

จากผลการทดลองความแข็งแรงของผืนผ้าเมื่อถูกแรงอัด พบว่าด้ายยืนและด้ายพุ่งขณะที่ยังไม่มีแรงอัด แรงดึงผ้าขาด ด้ายยืน 130.07 กิโลกรัม และด้ายพุ่ง 183.66 กิโลกรัม พบว่าด้ายพุ่งจะมีความแข็งแรงของผืนผ้ามากกว่าด้ายยืน เนื่องจากด้ายยืนมีจำนวนเส้นด้ายต่อนิ้วต่ำกว่าด้ายพุ่ง (ยืน 32 เส้นต่อนิ้ว, พุ่ง 64 เส้นต่อนิ้ว) เมื่อเพิ่มแรงอัดให้ผ้าที่ 200, 400, 600, 800 และ 1000 กิโลกรัมแรง ผ้าด้ายยืนเสียความแข็งแรงต่างกัน คิดเป็นร้อยละดังนี้ 0.70, 4.84, 0.54, และ - 0.08 ตามลำดับ ด้ายพุ่งคิดเป็นร้อยละดังนี้ 0.50, 3.58, 0.67, 0.80 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าแรงอัดเริ่มจาก 200 ถึง 400 กิโลกรัมแรง

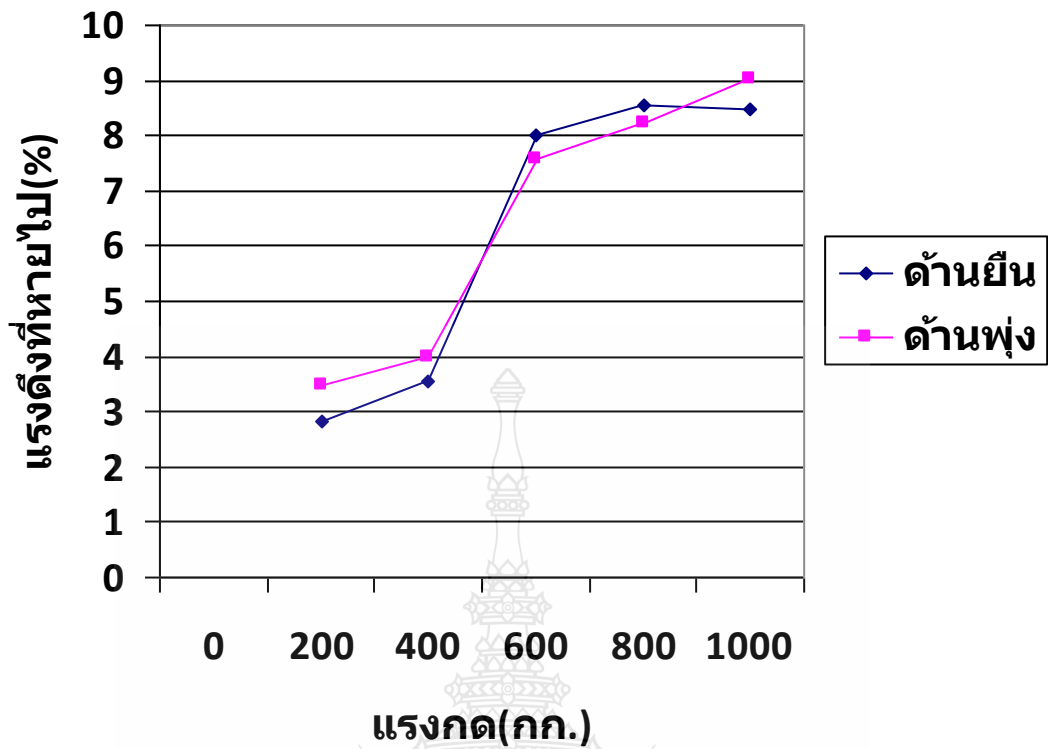
และจาก 600 ถึง 1000 กิโลกรัมแรง ความแข็งแรงผ้าสูญเสียน้อยมาก แต่เมื่อเพิ่มแรงอัดที่ 600 กิโลกรัมแรงพบว่าความแข็งแรงผ้าเสียไปมากที่สุด เมื่อเทียบแรงที่หายไปกับแรงอัดที่ 400 กิโลกรัมแรง คิดเป็น ด้ายยืนร้อยละ 4.84 ด้ายพุ่งร้อยละ 3.58 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มแรงอัดที่ 600 กิโลกรัมแรง มีการสูญหายของความแข็งแรงของผ้ามากที่สุด เนื่องจากว่าในช่วงแรงอัดดังกล่าว เส้นด้ายผ้าถูกกดทับด้วยแรงอัดในระดับที่ผืนผ้าไม่สามารถที่จะทนรับแรงได้ น่าจะทำให้เส้นด้ายเสียรูปทรงและเส้นใยน่าจะมีการฉีกขาดสูงสุด เป็นสาเหตุให้ผ้ามีการสูญเสียความแข็งแรงมากที่สุด

สรุปได้ว่าแรงอัดมีผลกระทบต่อโครงสร้างเส้นใย เส้นด้าย และผ้า ทำให้เสียความแข็งแรงของผ้าไปไม่มาก หากมีการสูญเสียความแข็งแรงน้อยกว่านี้ได้ย่อมส่งผลดีต่อการป้องกันกระสุน การวิจัยการให้แรงอัดบนผืนผ้าครั้งต่อไป ควรคำนึงถึงเส้นใย เส้นด้าย และ โครงสร้างผ้าที่เหมาะสม สามารถรับแรงอัดได้ดี จะทำให้ผ้าสามารถป้องกันกระสุนได้ดีขึ้น



รูปที่ 4.1 ผลการทดลองความแข็งแรงของผืนผ้าเมื่อถูกแรงกด

จากรูปที่ 4.1 ผืนผ้าด้านยืนและด้านพุ่งเมื่อได้รับแรงกดเพิ่มขึ้นตามลำดับ 200, 400, 600, 800 และ 1000 กิโลกรัมแรง ความแข็งแรงของผ้าลดลงตามลำดับของแรงกดเช่นกัน เนื่องจากผ้าใช้ทำแผ่นเกราะกันกระสุน เป็นโครงสร้างผ้าลายตะกร้า 2x2 เป็นโครงสร้างด้านพุ่งขัดกับด้านยืน ขึ้น 2 เส้น ลง 2 เส้น เมื่อมีแรงกดมากกระทำผ้า ทำให้เส้นด้ายมีความตึงมากขึ้นและการขัดตัวของเส้นด้ายสูงขึ้นตามลำดับ ทำให้มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของผืนผ้า



รูปที่ 4.2 ผลการทดลองความแข็งแรงที่สูญเสียของผืน เมื่อถูกแรงกด

จากรูปที่ 4.2 ค่าความสัมพันธ์ความแข็งแรงของผืนผ้า ที่เสียความแข็งแรงหน่วยเป็นร้อยละ กับแรงกดที่กระทำ พบว่าแรงกด 0 – 400 กิโลกรัมแรง มีความสูญเสียร้อยละ 2-3 เมื่อเพิ่มแรงกด 600 กิโลกรัมแรง ความแข็งแรงเสียร้อยละ 8 จากแรงอัดที่ 600 – 1000 กิโลกรัมแรง ผ้าเสียความแข็งแรงมีส่วนต่างไม่เกินร้อยละ 1 แสดงให้เห็นว่า แรงกดที่ 600 กิโลกรัมแรง เป็นช่วงที่เสียความแข็งแรงผืนผ้ามากที่สุด ส่วนต่างร้อยละ 4.84 (ด้านยื่น) และ 3.58 (ด้านพุง) ในช่วงแรงกด 600 กิโลกรัมแรง ทำให้เส้นด้ายมีความตึงตัวมากและเส้นด้ายขาดตัวสูง น่าจะทำให้เส้นใยขาดบางส่วน จึงทำให้ความแข็งแรงของผ้าลดลง

4.3 ผลการทดสอบความหนาแน่นของวัสดุหุ้ม

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความหนาแน่นของวัสดุหุ้ม

กำหนดเกณฑ์ค่าเฉลี่ย 5 ครั้ง ไม่เกิน 19 มม. + 2 มม.		
รายละเอียดวัสดุหุ้ม	ครั้งที่	รอยยุบ (มม.)
(ก่อนการทดสอบ)	1	20.5
	2	20.3
	3	19.9
	4	21.2
	5	19.9
ค่าเฉลี่ย		20.3

1. ผลการทดสอบความหนาแน่นของวัสดุหุ้ม ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานยูท โพรปรณ์ฯ มีค่าเฉลี่ยได้ตามเกณฑ์ 19 มม. \pm 2 มม.
2. ผลการทดสอบจาก ฝ่ายกระสุนและอาวุธ กรมสรรพาวุธทหารอากาศ

การทดสอบความหนาแน่นของวัสดุหุ้ม จะต้องปฏิบัติก่อนการยิงทดสอบแผ่นเกราะทุกชุดเสมอ ดินที่ไม่ผ่านการทดสอบ จะทำให้ผลการยิงทดสอบไม่ถูกต้อง ในการทดสอบควรใช้อุปกรณ์ดังนี้

1. ใช้ลูกตุ้มเหล็กกล้ารูปทรงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5 มม. \pm 0.05 มม. และน้ำหนัก 1,043 กรัม \pm 5 กรัม
2. ความสูงของการทิ้งลูกตุ้ม 2.0 เมตร
3. ระยะห่างของจุดที่ทิ้งลูกตุ้ม บนวัสดุหุ้ม ให้ห่างจากขอบกระเบาะอย่างน้อย 76 มม. และห่างจากจุดศูนย์กลางของตำแหน่งที่ทิ้งเดิม ไม่น้อยกว่า 156 มม. [5]

4.4 ผลการศึกษาเบื้องต้น

การศึกษาเบื้องต้นงานวิจัยการศึกษาอิทธิพลของแรงอัดบนพื้นผ้าไนลอนต่อการเจาะทะลุ กระสุนปืน ของแผ่นเกราะไนลอน 66 แบบเย็บและไม่เย็บพื้นผ้า ไนลอนออกแบบงานวิจัยเบื้องต้นเพื่ออิง แผ่นเกราะหาความเป็นไปได้ ในการป้องกันกระสุนปืน เพื่อให้ทราบว่าการกระสุนปืนขนาดใด ที่ เหมาะสมกับงานวิจัยการศึกษาอิทธิพลของแรงอัดบนพื้นผ้าไนลอนต่อการเจาะทะลุกระสุนปืน

4.4.1 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแข็งไนลอน 66 แบบเย็บ (จำนวน 200 ชั้น) กับแผ่นรอง ระดับ 3A ด้วยกระสุน M16 (5.56 มม.)

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะไนลอน 66 แบบเย็บ ทดสอบด้วยกระสุน M16

Nylon 200 ชั้น เย็บ + เฟรม

วันที่ทดสอบ 25 มิ.ย. 51

ชนิดกระสุน		นน.ของกระสุน	ความเร็วกระสุน (+ 9.1 เมตร/วินาที)		
5.56 mm		55 Gr.	เปียก / แห้ง		
นัดที่	มุมยิง	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ผลการทดสอบ		หมายเหตุ
			ทะลุ	ไม่ทะลุ	
1	0	1,015.70		/	ทะลุแผ่นสุดท้าย
2	0				หัวติดแผ่นอลูมิเนียม
3	0				
4	0				
5	0				
6	0				

ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแข็งไนลอน 66 แบบเย็บ จำนวน 200 ชั้น กับแผ่นรองระดับ 3A ด้วยกระสุน M16 (5.56 มม.) หัวกระสุนทะลุแผ่นเกราะถึงชั้นที่ 200 และหัวกระสุนค้างอยู่ที่แผ่น อลูมิเนียม ผลที่หัวกระสุนทะลุพื้นผ้าแผ่นเกราะแผ่นสุดท้าย ทำให้ไม่สามารถเห็นแนวโน้มและ อิทธิพลต่างๆ ในการป้องกันกระสุนปืนได้

4.4.2 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแข็งไนลอน 66 แบบเย็บ (จำนวน 200 ชั้น) กับแผ่นรองระดับ 3A ด้วยกระสุน 7.62 มม.

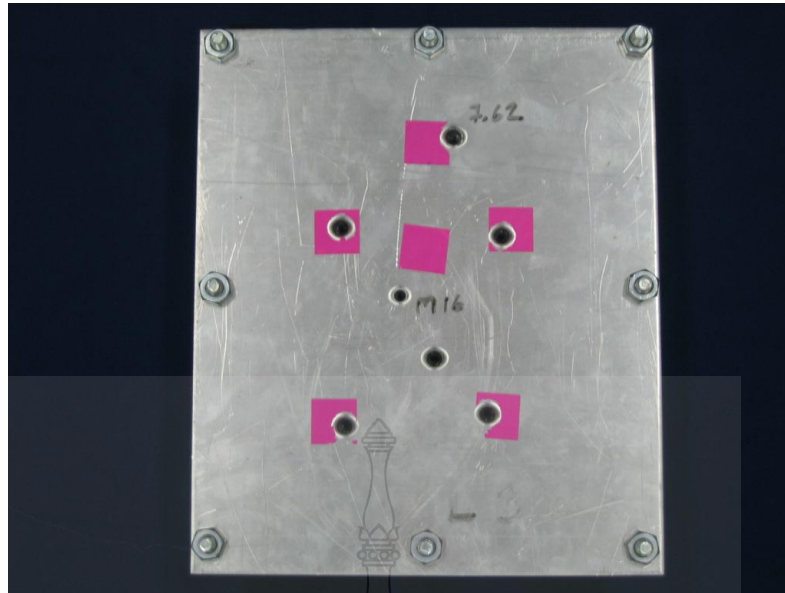
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะไนลอน 66 แบบเย็บ ทดสอบด้วยกระสุน 7.62 มม.

Nylon 200 ชั้น เย็บ + เฟรม

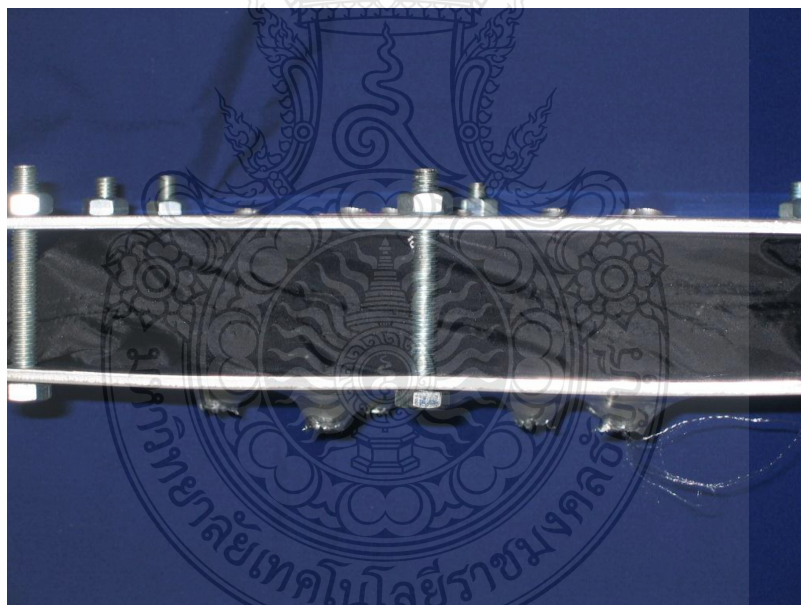
วันที่ทดสอบ 25 มิถุนายน 2551

ชนิดกระสุน		นน.ของกระสุน	ความเร็วกระสุน (+ 9.1 เมตร/วินาที)		
7.62 mm FMJ		148 Gr.	เป็ยก / แห่ง		
นัดที่	มม ยิง	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ผลการทดสอบ		หมายเหตุ
			ทะลุ	ไม่ทะลุ	
1	0	843.5		/	ทะลุ 27 ชั้น เสื้อเกราะรองหลัง
2	0	844.8		/	ทะลุ 21 ชั้น เสื้อเกราะรองหลัง
3	0	836.5		/	ทะลุ 24 ชั้นเสื้อเกราะรองหลัง
4	0	848.8		/	ทะลุ 24 ชั้นเสื้อเกราะรองหลัง
5	0	850.1		/	ทะลุ 25 ชั้น เสื้อเกราะรองหลัง
6	0	869.1		/	ทะลุ 24 ชั้น เสื้อเกราะรองหลัง

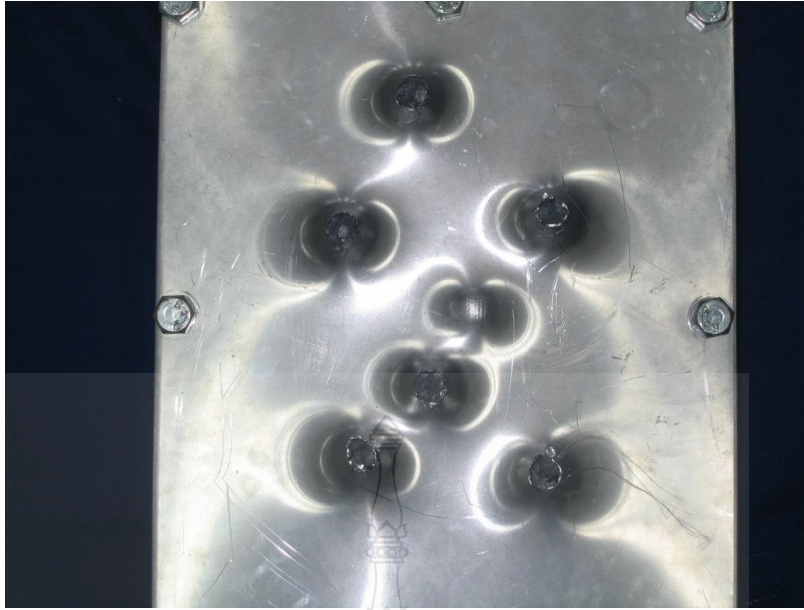
ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแข็งไนลอน 66 แบบเย็บ จำนวน 200 ชั้น กับแผ่นรองระดับ 3A ด้วยกระสุน 7.62 มม. หัวกระสุนทะลุแผ่นเกราะถึงชั้นที่ 200 และหัวกระสุนยังทะลุเสื้อเกราะรองหลังสูงสุดที่ 27 ชั้น และต่ำสุดที่ 21 ชั้น ผลที่หัวกระสุนทะลุผืนผ้าแผ่นเกราะแผ่นสุดท้าย และไปหยุดที่เสื้อเกราะรองหลัง ทำให้ไม่สามารถเห็นแนวโน้มและอิทธิพลต่างๆ ในการป้องกันกระสุนปืนได้



รูปที่ 4.3 แผ่นเกราะแข็งด้านหน้า ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.



รูปที่ 4.4 แผ่นเกราะแข็งด้านข้าง ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.



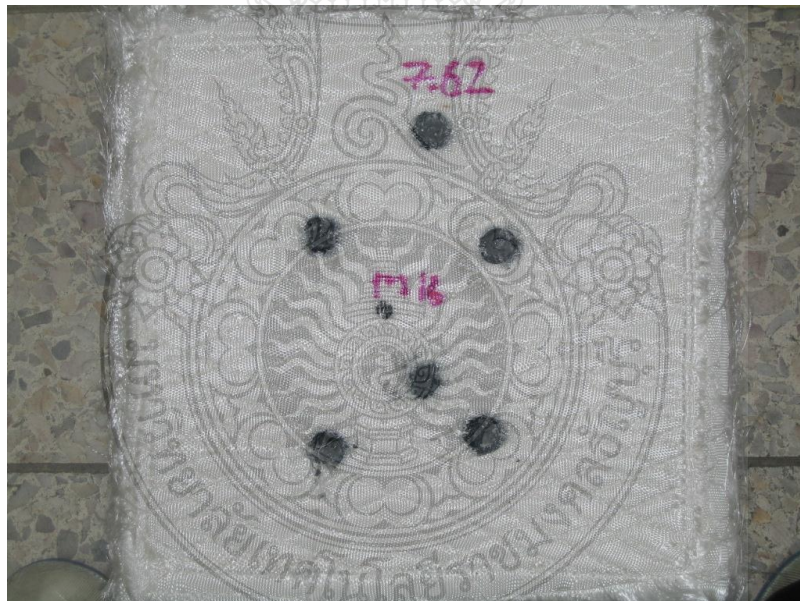
รูปที่ 4.5 แผ่นเกราะแข็งด้านหลัง ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.



รูปที่ 4.6 แผ่นเกราะ 3A ด้านหน้า รองแผ่นเกราะแข็ง ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.



รูปที่ 4.7 แผ่นเกราะ 3A ด้านหลัง ร่องแผ่นเกราะแข็ง ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.



รูปที่ 4.8 แผ่นเกราะ 3A แผ่นที่ 1 ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.



รูปที่ 4.9 ตรวจสอบจำนวนชั้นของ แผ่นเกราะ 3 A ที่ทะเลจากการ ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.



รูปที่ 4.10 แผ่นเกราะ 3 A ที่หัวกระสุนเจาะทะลุ

4.4.3 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแข็งไนลอน 66 แบบไม่เย็บ (จำนวน 200 ชั้น) กับแผ่นรองระดับ 3A ด้วยกระสุน M 16 (5.56 มม.)

ตารางที่ 4.6 แผ่นกระดาษไนลอน 66 เฟรมอลูมิเนียม แบบไม่เย็บ ทดสอบด้วยกระสุน M16

Nylon 200 ชั้น ไม่เย็บ + เฟรม

วันที่ทดสอบ 25 มิถุนายน 2551

ชนิดกระสุน		นน.ของกระสุน	ความเร็วกระสุน (+ 9.1 เมตร/วินาที)		
5.56 mm		55 Gr.			
		เปียก / แห้ง			
นัดที่	มุมยิง	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ผลการทดสอบ		หมายเหตุ
			ทะลุ	ไม่ทะลุ	
1	0	981.8		/	ทะลุแผ่นสุดท้าย
2	0				หัวติดแผ่นอลูมิเนียม
3	0				
4	0				
5	0				
6	0				

ผลการทดสอบยิงแผ่นกระดาษแข็งไนลอน 66 แบบไม่เย็บ (จำนวน 200 ชั้น) กับแผ่นรองระดับ 3A ด้วยกระสุน M 16 (5.56 มม.) มีผลการทดลองเช่นเดียวกับแบบเย็บ ซึ่งไม่สามารถนำผลศึกษาแนวโน้มได้

4.4.4 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแข็งไนลอน 66 แบบไม่เย็บ (จำนวน 200 ชั้น) กับแผ่นรองระดับ 3A ด้วยกระสุน 7.62 มม.

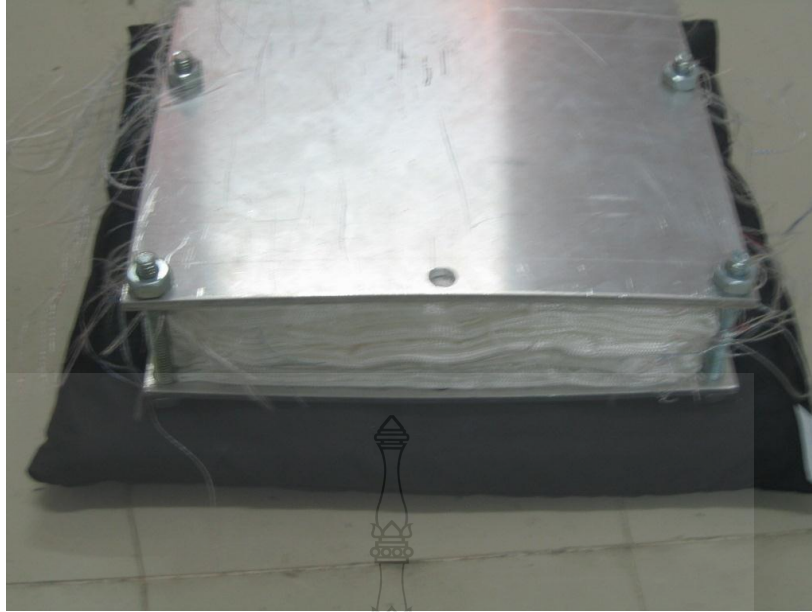
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะไนลอน 66 แบบไม่เย็บ ทดสอบด้วยกระสุน 7.62 มม.

Nylon 200 ชั้น ไม่เย็บ + เฟรม

วันที่ทดสอบ 25 มิ.ย. 51

ชนิดกระสุน		นน. ของกระสุน	ความเร็วกระสุน (+ 9.1 เมตร/วินาที)		
7.62 mm NATO FMJ		148 Gr.	เปียก/ แห้ง		
นัดที่	มุมยิง	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ผลการทดสอบ		หมายเหตุ
			ทะลุ	ไม่ทะลุ	
1	0	852.2		/	ทะลุ 48 ชั้น
2	0	862.9		/	ทะลุ 35 ชั้น
3	0	850.1		/	ทะลุ 18 ชั้น
4	0	866.2		/	ทะลุ 25 ชั้น
5	0	852.3		/	ทะลุ 4 ชั้น
6	0	846.1		/	ทะลุ 27 ชั้น

ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแข็งไนลอน 66 แบบไม่เย็บ (จำนวน 200 ชั้น) กับแผ่นรองระดับ 3A ด้วยกระสุน 7.62 มม. มีผลการทดลองเช่นเดียวกับแบบเย็บ ซึ่งไม่สามารถนำผลศึกษาแนวโน้มได้



รูปที่ 4.11 แผ่นเกราะแข็งด้านหน้า แบบไม่เย็บ



รูปที่ 4.12 การติดตั้งแผ่นเกราะแข็ง พร้อมยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.



รูปที่ 4.13 ด้านหลังแผ่นเกราะระดับ 3A ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.



รูปที่ 4.14 แผ่นเกราะแข็งด้านหน้า ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.



รูปที่ 4.15 แผ่นเกราะแข็งแผ่นที่ 200 (แผ่นสุดท้าย) ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.



รูปที่ 4.16 แผ่นเกราะ 3 A ด้านหน้า ร่องแผ่นเกราะแข็ง ยิงด้วย 5.56 และ 7.62 มม.



รูปที่ 4.17 หัวกระสุน 7.62 มม. ทะลุแผ่นเกราะ 3 A

ผลการทดลองของการศึกษาเบื้องต้น ของแผ่นเกราะไนลอน 66 แบบเย็บและไม่เย็บพื้นผ้า ได้ ออกแบบงานวิจัยเบื้องต้นเพื่อยิงแผ่นเกราะ หาคความเป็นไปได้ในการป้องกันกระสุนว่ากระสุนปืน ว่าขนาดใดที่เหมาะสมกับงานวิจัยการศึกษาอิทธิพลของแรงอัดบนพื้นผ้าไนลอนต่อการเจาะทะลุ กระสุนปืน

การศึกษาเบื้องต้นได้ออกแบบตัวอย่างแผ่นเกราะไนลอน 66 จำนวน 200 ชั้น และใช้กระสุนปืน 5.56 มม. และ 7.62 มม. (กระสุนขนาด 7.62 มม. ระดับ 3 ตามมาตรฐานยุทธโศปกรณ์ทหาร) พบว่ายิง กระสุนขนาด 5.56 มม. หัวกระสุนทะลุชั้นผ้าแผ่นสุดท้าย หัวกระสุนติดแผ่นอลูมิเนียม และทดสอบยิง กระสุนขนาด 7.62 มม. หัวกระสุนทะลุแผ่นเกราะและแผ่นอลูมิเนียม หยุดที่ชั้นผ้าของเสื้อเกราะรอง หลัง ที่ชั้นต่ำสุด 21 และสูงสุดที่ 27 ชั้น

จากผลการศึกษาดังกล่าวไม่สามารถเห็นแนวโน้มต่างๆในการทดลองและเป็นข้อมูลในการวิจัย ได้ เนื่องจากคุณภาพของกระสุนขนาด 5.56 มม. และ 7.62 มม. อำนาจในการทะลุทะลวงมีมากเกินไป หากให้เห็นแนวโน้มที่สามารถนำผลการทดลองมาใช้งานวิจัยได้ มี 2 ทางเลือกดังนี้

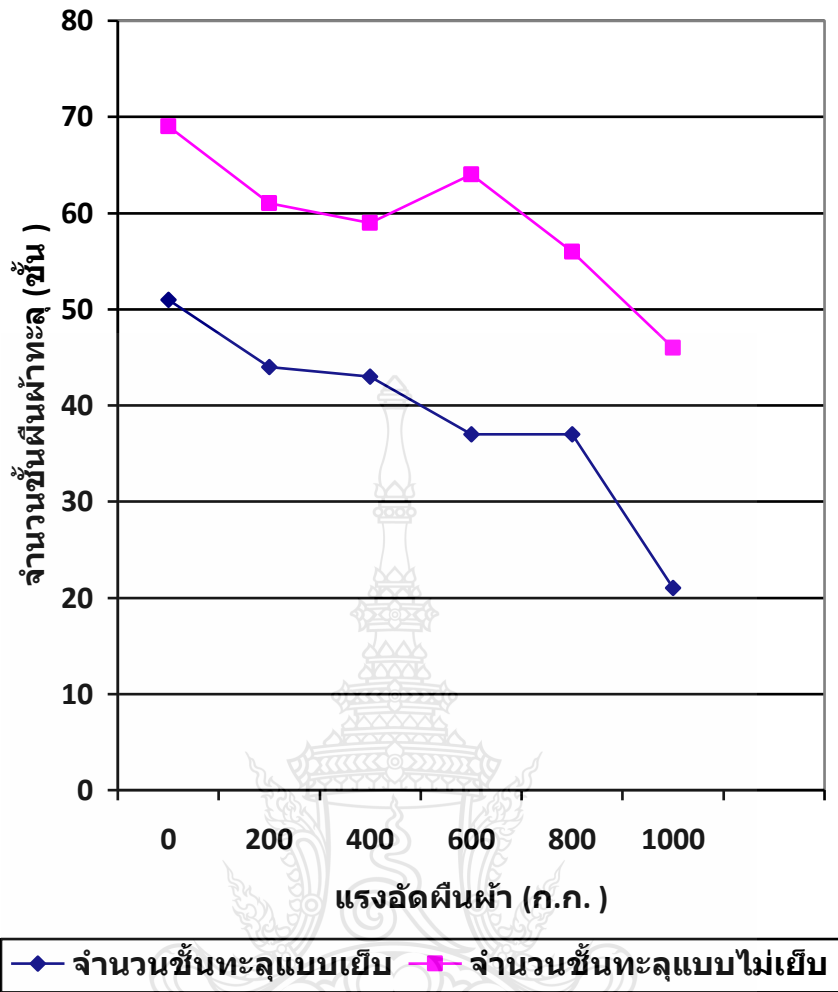
1. ต้องเพิ่มจำนวนชั้นของแผ่นเกราะให้สามารถรับแรงทะลุของหัวกระสุน ได้
2. เลือกขนาดกระสุนในระดับต่ำลง ให้คุณภาพการทะลุของกระสุนลดลง งานวิจัยนี้ได้เลือกทางเลือกที่ 2 น่าจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด โดยได้เลือกกระสุนขนาด 9 มม. ความเร็วกระสุน 367 เมตรต่อวินาที (ระดับ 2 ตามมาตรฐานยุทธโศปกรณ์ทหาร) ใช้ในงานวิจัย เพราะ กระสุนดังกล่าวทำการทดลองยิงแล้วพบว่า กระสุนทะลุแผ่นเกราะ แบบเย็บพื้นผ้า มุม 0 องศา เฉลี่ย 38.8 ชั้น แบบไม่เย็บพื้นผ้า 51.5 ชั้น และแบบเย็บ มุม 30 องศา เฉลี่ย 46.8 ชั้น แบบไม่เย็บพื้นผ้า 54.8 ชั้น จะเห็นได้ว่าการทะลุของหัวกระสุน 9 มม. อยู่ในจำนวนชั้นกลางๆของแผ่นเกราะ ซึ่งข้อมูล ดังกล่าวสามารถนำไปวิเคราะห์แนวโน้มและเป็นข้อมูลในงานวิจัยได้อย่างดี

4.5 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะค่าเฉลี่ย มุม 0 องศา

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะ ค่าเฉลี่ยจำนวนชั้นทะลุ (มุม 0 องศา)

แรงกด (กก.แรง)	จำนวนชั้นทะลุแบบเย็บ (ชั้น)	จำนวนชั้นทะลุแบบไม่เย็บ (ชั้น)
0	51	69
200	44	61
400	43	59
600	37	64
800	37	56
1000	21	46

จากตารางที่ 4.8 ผลการทดลองยิงทดสอบแผ่นเกราะป้องกันกระสุนพบว่า เมื่อมีการเพิ่มแรงอัดพื้นผ้าจาก 0, 200, 400, 600, 800 และ 1,000 กิโลกรัมแรงตามลำดับ ทำให้หัวกระสุนทะลุพื้นผ้าของแผ่นเกราะลดลงตามลำดับ แต่แผ่นเกราะแบบไม่เย็บพื้นผ้ามีจำนวนชั้นของหัวกระสุน ทะลุมากกว่าแบบเย็บทุกๆ แรงอัด



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับจำนวนชั้นทะเลลุ่ม 0 องศา

รูปที่ 4.18 การป้องกันกระสุนลุ่ม 0 องศา แบบเย็บและไม่เย็บผ้า พบว่าเมื่อมีการเพิ่มแรงอัดผ้าจาก 0, 200, 400, 600, 800 และ 1000 กิโลกรัมแรง ตามลำดับ ความชันของกราฟแรงอัดฝืนผ้า ต่อจำนวนชั้นทะเลลุ่มผ้า ลดลงทั้งแบบเย็บ และไม่เย็บ เป็นความชันลดลงลักษณะเดียวกัน แสดงว่าแรงอัดมีอิทธิพลต่อการป้องกันกระสุนกับผ้าทั้ง 2 แบบ ทำให้จำนวนชั้นที่กระสุนทะเลลุ่มแผ่นเกราะลดลง เมื่อมีแรงอัดชั้นผ้าที่สูงขึ้น แต่หากพิจารณาจากกราฟทั้ง 2 เส้น พบว่ากราฟมีระยะห่างเกือบจะเท่ากันทุกๆ แรงอัด แผ่นเกราะแบบเย็บฝืนผ้ามีค่าจำนวนชั้นทะเลลุ่มต่ำกว่าแบบไม่เย็บในแรงอัดเดียวกัน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชั้นทดสอบแบบเย็บกับแบบไม่เย็บ จะเห็นได้ว่าแบบเย็บ กระสุนมีการทะลุแผ่นเกราะน้อยกว่าแบบไม่เย็บ โดยที่แบบเย็บผ้าที่ไม่มีแรงอัด สามารถป้องกันกระสุนได้เท่ากับแบบไม่เย็บที่แรงอัด 900 กิโลกรัมแรง แสดงให้เห็นว่า การเย็บมีอิทธิพลต่อการป้องกันกระสุนมากกว่าแบบไม่เย็บเมื่อเพิ่มแรงอัดประมาณ 900 กิโลกรัมแรง จึงจะสามารถป้องกันกระสุนได้เท่ากับ

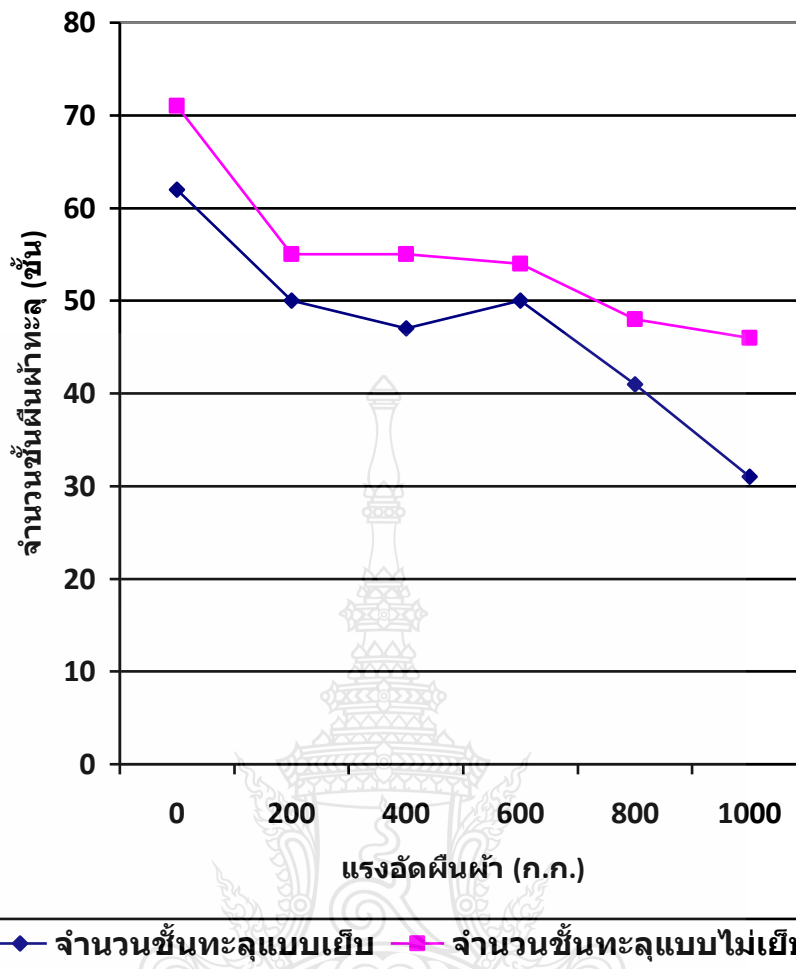
ผ้าแบบเย็บโดยไม่ต้องเพิ่มแรงอัด การเย็บผ้าของแผ่นเกราะ เปรียบเสมือนการเพิ่มแรงอัดให้กับผ้าอย่างมาก และลดการเคลื่อนตัวของชั้นผ้า ทำให้ความหนาแน่นของผ้ามากขึ้น หัวกระสุนทะลุได้ยากขึ้น ก็จะทำให้จำนวนชั้นที่หัวกระสุนทะลุแผ่นเกราะลดลงด้วย ดังนั้นการเย็บผ้าแผ่นเกราะมีอิทธิพลมากกว่าการให้แรงอัด

4.6 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะ ค่าเฉลี่ย มุม 30 องศา

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะ ค่าเฉลี่ยจำนวนชั้นทะลุ (มุม 30 องศา)

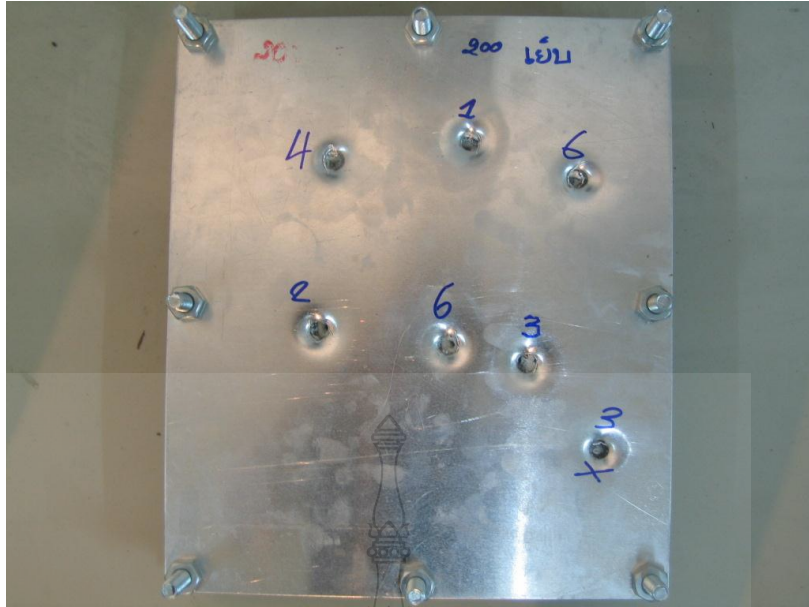
แรงกด (กก.แรง)	จำนวนชั้นทะลุแบบเย็บ (ชั้น)	จำนวนชั้นทะลุแบบไม่เย็บ (ชั้น)
0	62	71
200	50	55
400	47	55
600	50	54
800	41	48
1000	31	46

จากตารางที่ 4.9 ผลการทดลองยิงแผ่นเกราะป้องกันกระสุน มุม 30 องศา ในแรงอัดผืนผ้าต่างๆ กัน พบว่าแรงอัดผืนผ้าที่เพิ่มขึ้นทำให้จำนวนชั้นทะลุผืนผ้าของหัวกระสุนปืนทะลุชั้นน้อยลง แต่แบบไม่เย็บผืนผ้ามีการทะลุของหัวกระสุน มากกว่าแบบเย็บ แต่จำนวนชั้นทะลุผืนผ้าไม่ต่างกันมาก



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับจำนวนชั้นทะเลมุม 30 องศา

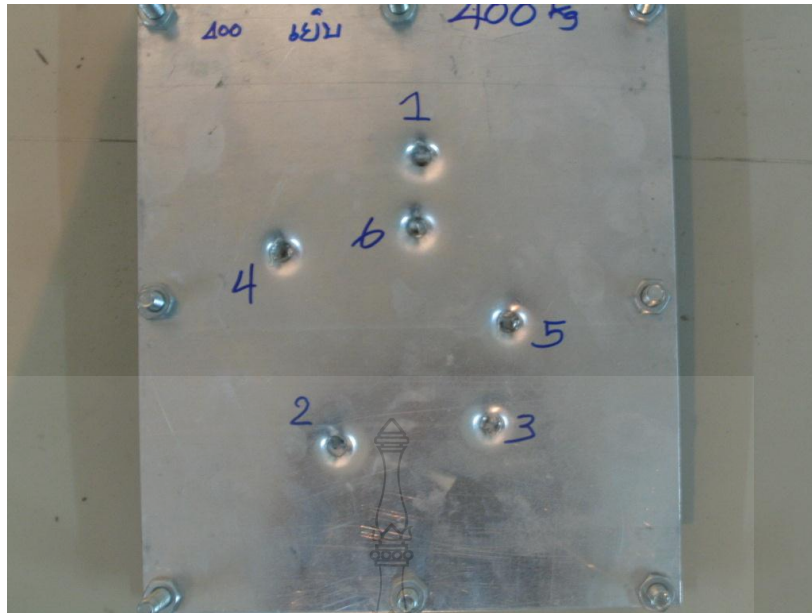
จากรูปที่ 4.19 การป้องกันกระสุนมุม 30 องศา มีค่าความชันเป็นลบเช่นกันกับมุม 0 องศา แต่กระสุนมีการทะลุชั้นแผ่นเกราะมากกว่ามุม 0 องศาทั้ง 2 แบบ เนื่องจากการยิงมุม 30 องศา เป็นการยิงมุมเอียง ช่องว่างของเส้นด้ายที่เกิดจากการทอ จึงเป็นช่องทางที่ทำให้หัวกระสุนสามารถไชซอนพี้นักเข้าไปได้มากกว่า มุม 0 องศา ที่พี้นักรับแรงกระสุนในแนวระนาบตรง และอีกประการหนึ่งการทอจำนวนเส้นด้ายขึ้น ที่มีจำนวนน้อยกว่าเส้นด้ายด้ายพุ่งเป็นครั้งหนึ่ง ก็เป็นส่วนหนึ่งของการที่หัวกระสุนทะลุมากขึ้น เนื่องจากความแน่นของเส้นด้ายน้อยลง สรุปได้ว่าการเพิ่มแรงอัดและการเย็บทำให้แผ่นเกราะสามารถรับแรงที่หัวกระสุนกระทำต่อแผ่นเกราะได้ดีขึ้น และยังเป็นการทำลายรูปทรงหัวกระสุนที่มีความแหลมคมให้เสียรูปไปจากเดิมอย่างมาก และหัวกระสุนจะหยุดการทะลุของแผ่นเกราะไปในที่สุด



รูปที่ 4.20 แผ่นเกราะแบบเย็บ แรงอัด 200 กก.แรง หลังยิงทดสอบ



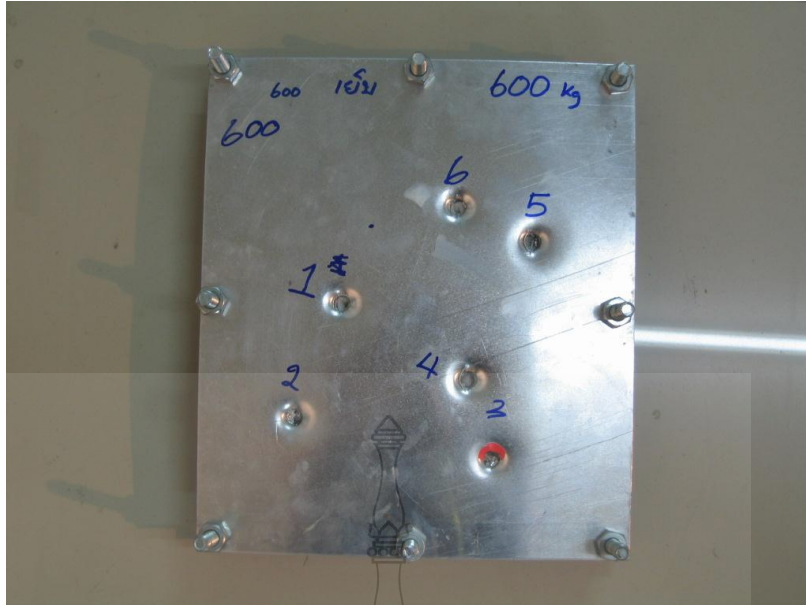
รูปที่ 4.21 แผ่นเกราะแบบเย็บด้านหน้า ถอดแผ่นอลูมิเนียม



รูปที่ 4.22 แผ่นเกราะแบบเย็บ แรงอัด 400 กก.แรง หลังยิงทดสอบครบ 6 นัด



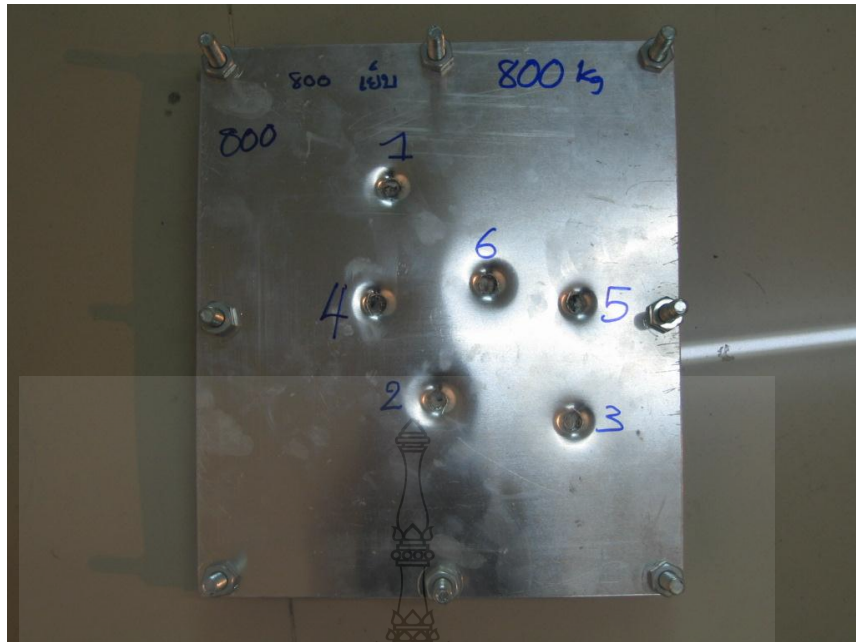
รูปที่ 4.23 แผ่นเกราะแบบเย็บด้านหน้า ถอดแผ่นอลูมิเนียม



รูปที่ 4.24 แผ่นเกราะแบบเย็บ แรงอัด 600 กก.แรง หลังยิงทดสอบ



รูปที่ 4.25 แผ่นเกราะแบบเย็บด้านหน้า ถอดแผ่นอลูมิเนียม



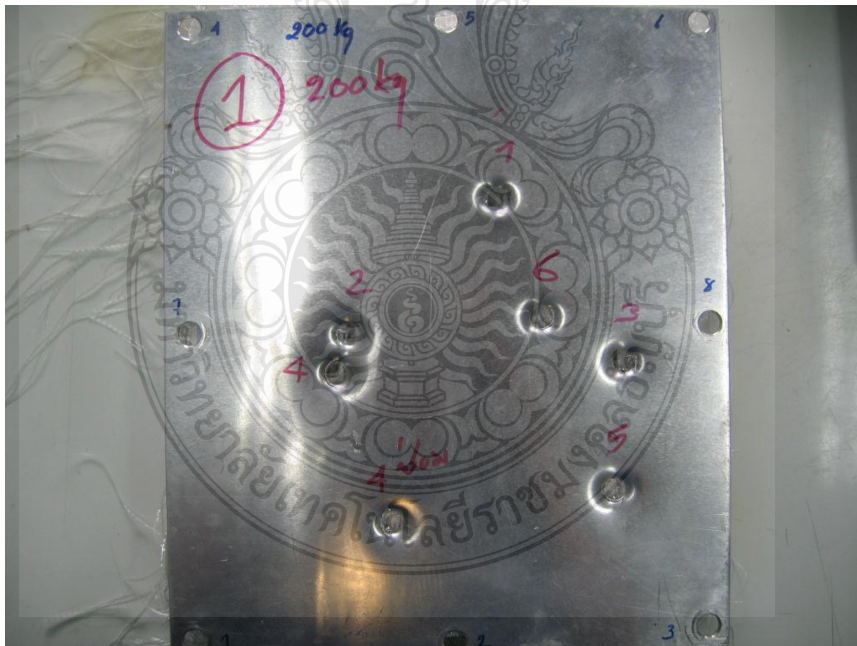
รูปที่ 4.26 แผ่นเกราะแบบเย็บ แรงอัด 800 กก.แรง หลังยิงทดสอบ



รูปที่ 4.27 แผ่นเกราะแบบเย็บด้านหน้า ถอดแผ่นอลูมิเนียม



รูปที่ 4.28 แผ่นเกราะแบบเย็บ แรงอัด 1000 กก.แรง หลังยิงทดสอบ



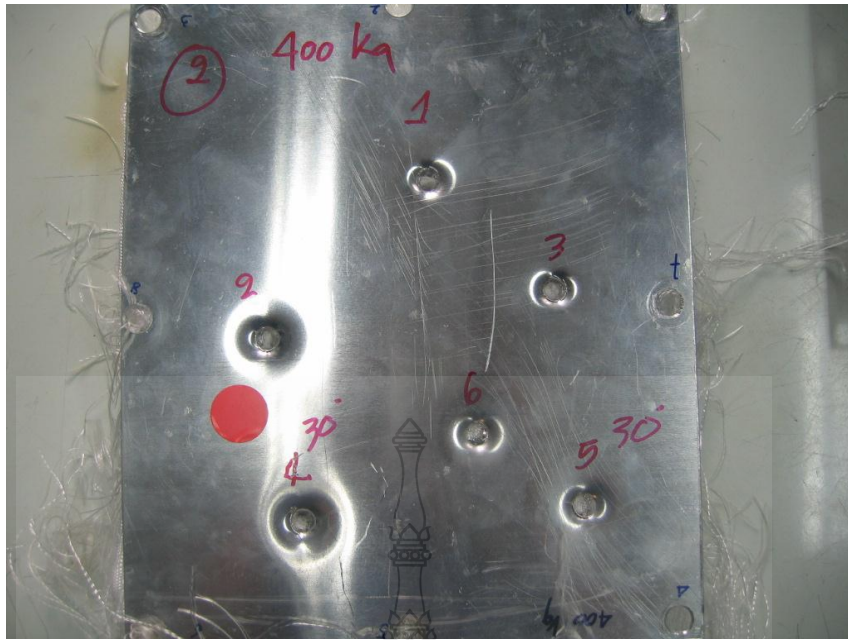
รูปที่ 4.29 แผ่นเกราะแบบไม่เย็บ แรงอัด 200 กก. หลังยิงทดสอบ



รูปที่ 4.30 แผ่นเกราะแบบไม่เย็บด้านหน้า ถอดแผ่นอลูมิเนียมแล้ว หลังทดสอบยิงด้วยกระสุนปืน 9 มม. นัดที่ 4 มีการยิงซ่อม เนื่องจากระยะห่างระหว่างนัดไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน



รูปที่ 4.31 ตรวจสอบจำนวนชั้นทะลุของ แผ่นเกราะแบบไม่เย็บ กระสุนทะลุพื้นผ้าได้ 41 ชั้น



รูปที่ 4.32 แผ่นเกราะแบบไม้เย็บ แรงอัด 400 กก.แรง หลังยิงทดสอบ



รูปที่ 4.33 แผ่นเกราะแบบไม้เย็บด้านหน้า ถอดแผ่นอลูมิเนียม



รูปที่ 4.34 ตรวจสอบจำนวนชั้นทะลุของกระสุนนัดที่ 1 แผ่นเกราะแบบไม่เย็บ
กระสุนทะลุพื้นผ้าได้ 49 ชั้น



รูปที่ 4.35 แผ่นเกราะแบบไม่เย็บ แรงอัด 600 กก.แรง หลังยิงทดสอบ



รูปที่ 4.36 แผ่นกระดาษแบบไม่เย็บด้านหน้า ถอดแผ่นอลูมิเนียม



รูปที่ 4.37 ตรวจสอบจำนวนชั้นทะเลของ แผ่นกระดาษแบบไม่เย็บแรงอัด 600 กก.แรง
กระสุนทะเลฝุ่นผ้าได้ 53 ชั้น



รูปที่ 4.38 แผ่นเกราะแบบไม่เย็บ แรงอัด 800 กก.แรง หลังยิงทดสอบ



รูปที่ 4.39 แผ่นเกราะแบบไม่เย็บด้านหน้า ถอดแผ่นอลูมิเนียม หลังทดสอบยิงด้วยกระสุนปืน 9 มม.



รูปที่ 4.40 ตรวจสอบจำนวนชั้นทะลุของ แผ่นเกราะแบบไม่เย็บแรงอัด 800 กก.แรง
กระสุนทะลุพื้นผ้าได้ 31 ชั้น



รูปที่ 4.41 แผ่นเกราะแบบไม่เย็บ แรงอัด 1000 กก.แรง หลังยิงทดสอบ

การศึกษาเบื้องต้นในการพิจารณาหาความเหมาะสมในการออกแบบงานวิจัยนี้ ได้เลือกเส้นใย ไนลอน 66 มาเป็นเส้นใยในการวิจัย เนื่องจากการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่าเส้นใยไนลอน 66 มีโครงสร้างและคุณสมบัติบางประการใกล้เคียงกับเส้นใยเสื่อเกราะจากต่างประเทศ เช่น ใยเคพล่าห์ และวรรณกรรมเรื่องการศึกษาการผลิตเสื่อเกราะกันกระสุนจากผ้าใยประดิษฐ์ เพื่อนำไปใช้ผลิตเชิงพาณิชย์ ระยะที่ 1 ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมประสงค์ ภาษาประเทศ และคณะ ได้ทำการวิจัยแล้วพบว่า เส้นใยพอลิเอสเตอร์ ชนิดความแข็งแรงสูง และไนลอน 66 สามารถป้องกันกระสุนได้ในระดับหนึ่ง งานวิจัยนี้จึงได้เลือกเส้นใยไนลอน 66 ที่สามารถป้องกันกระสุนได้ในงานวิจัยดังกล่าว เพื่อทดสอบการป้องกันกระสุนหลังจากการเพิ่มแรงอัดแล้ว จะได้ทราบแนวโน้มอิทธิพลของแรงอัดบนพื้นผ้าต่อการทดสอบการป้องกันกระสุน สำหรับการออกแบบการป้องกันกระสุนได้เลือกกระสุนใช้ในการทดสอบขนาด 9 มม. ความเร็ว 367 เมตรต่อวินาที (2A) เพราะกระสุนดังกล่าว เมื่อทดสอบยิงกับแผ่นเกราะงานวิจัยแล้ว การทะลุของชั้นผ้าอยู่ในระดับครึ่งหนึ่งของจำนวนชั้นผ้า ทำให้เห็นแนวโน้มของงานวิจัยได้ดี

จากผลการทดลองความแข็งแรงของพื้นผ้าเมื่อถูกแรงอัด พบว่าด้ายยืนและด้ายพุ่งของผ้าความแข็งแรงลดลงเมื่อมีการเพิ่มแรงอัด แต่เมื่อเพิ่มแรงอัดที่ 600 กิโลกรัมแรง เป็นการเสียความแข็งแรงของผ้ามากที่สุด ประมาณร้อยละ 8 แต่เมื่อไปทดสอบการป้องกันกระสุนแล้ว การเพิ่มแรงอัดสามารถป้องกันกระสุนได้ดีขึ้น การเพิ่มแรงอัดไม่เป็นอุปสรรคต่อการป้องกันกระสุนมากนัก แต่ถ้าหากลดการสูญเสียความแข็งแรงของผ้าได้มากกว่านี้ ย่อมส่งผลดีต่อการป้องกันกระสุน โดยให้พิจารณาชนิดเส้นใย เส้นด้าย และ โครงสร้างผ้าที่จะใช้ทำแผ่นเกราะในการวิจัยครั้งต่อไป สรุปความแข็งแรงผ้าลดลงเมื่อเพิ่มแรงอัด แต่การป้องกันกระสุนดีขึ้น เพราะหาอิทธิพลของแรงอัดมีผลมากกว่าการเสียความแข็งแรงของผ้าเมื่อถูกแรงอัด

ผลการทดลองการป้องกันกระสุนมุม 0 องศา แบบเย็บและไม่เย็บผ้า เมื่อมีการเพิ่มแรงอัดผ้าจาก 0, 200, 400, 600, 800 และ 1000 กิโลกรัมแรง ตามลำดับ การป้องกันกระสุนดีขึ้น แต่แผ่นเกราะแบบเย็บ กระสุนมีการทะลุแผ่นเกราะน้อยกว่าแบบไม่เย็บ โดยที่แบบเย็บผ้าที่ไม่มีแรงอัด สามารถป้องกันกระสุนได้เท่ากับแบบไม่เย็บที่แรงอัด 900 กิโลกรัมแรง เนื่องจากการเย็บเปรียบเหมือนการเพิ่มแรงอัด และไม่ทำให้ชั้นผ้ามีการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นได้ง่าย ทำให้หัวกระสุนไม่สามารถชอนไชผ้าไปได้ง่าย และเกิดการปะทะกับพื้นผ้าทำให้กระสุนเสียรูปทรง และหยุดการทะลุ

ผลการทดลองการป้องกันกระสุนมุม 30 องศา กระสุนมีการทะลุแผ่นเกราะทั้ง 2 แบบ มากกว่า มุม 0 องศา เนื่องจากการยิงมุม 30 องศาเป็นการยิงมุมเอียงช่องว่างของเส้นด้ายที่เกิดจากการทอจึงเป็นช่องทางที่ทำให้หัวกระสุนสามารถไซซอนแผ่นผืนผ้าไปได้ง่ายมากกว่า มุม 0 องศา ที่ผืนผ้ารับแรงกระสุนในแนวระนาบตรง และอีกประการหนึ่งการทอจำนวนเส้นด้ายยืนที่มีจำนวนน้อยกว่าเส้นด้ายด้ายพุ่งเป็นครั้งหนึ่ง ก็เป็นส่วนหนึ่งของการที่หัวกระสุนทะลุมากขึ้น เนื่องจากความแน่นของเส้นด้ายน้อยลง

ผลการทดลองมุม 0 และ 30 องศา การเย็บมีอิทธิพลมากกว่าการให้แรงอัดอย่างเดียว การเย็บและให้แรงอัดด้วย สามารถป้องกันกระสุนปืนได้ดีกว่าแบบใดแบบหนึ่ง



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาอิทธิพลของแรงอัดบนพื้นผ้าทอไนลอน 66 ต่อการเจาะทะลุของกระสุนปืน 9 มม. ซึ่งใช้เส้นด้ายไนลอน 66 มาทอเป็นพื้นผ้าลายตะกร้า (Basket) 2×2 นำผ้ามาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 12×12 ตารางนิ้ว หลังจากนั้นนำพื้นผ้าจำนวน 100 ผืนมาวางซ้อนกัน โดยให้แนวด้ายพุ่งและยืนวางสลับกันและประกอบเป็นแผ่นเกราะกันกระสุน 2 แบบ แบบที่ 1 วางซ้อนโดยไม่มีการเย็บพื้นผ้าให้ติดกัน แบบที่ 2 วางซ้อนกันพร้อมทั้งเย็บพื้นผ้าให้ติดกันทีละ 20 ผืน เท่ากับ 1 ชุด ทำเช่นเดียวกันให้ได้ 5 ชุด แล้วนำมาเย็บกัณฐิมติดกัน นำแผ่นอลูมิเนียมหนา 3 มิลลิเมตร วางประกบด้านบนและด้านล่างของชั้นผ้าแบบเย็บและไม่เย็บ นำเข้าเครื่องแรงอัด และอัดด้วยแรงอัด 0, 200, 400, 600, 800 และ 1,000 กิโลกรัมแรง และยึดแผ่นเกราะด้วยสกรู นำไปทดสอบความแข็งแรงของผ้าและการป้องกันกระสุนปืน ตามมาตรฐานยุทธโศปกรณ์กระทรวงกลาโหมว่าด้วยเสื้อเกราะกันกระสุน โดยใช้กระสุนขนาด 9 มม มุมยิง 0 องศา จำนวน 4 จุด และมุมยิง 30 องศา จำนวน 2 จุด ตามมาตรฐานกำหนด

5.1 สรุปผลการทดลองความแข็งแรงของพื้นผ้าเมื่อถูกแรงอัด

ผลการทดสอบความแข็งแรงของพื้นผ้าเมื่อถูกแรงอัดที่ 200, 400, 600, 800 และ 1000 กิโลกรัมแรง แล้วนำพื้นผ้าทั้ง 6 ชั้น ทดสอบความแข็งแรงผ้า พบว่าเมื่อเพิ่มแรงอัดมากขึ้น ความแข็งแรงของผ้าเริ่มลดลงตามลำดับ แต่ไม่เกินร้อยละ 10 เนื่องจากผ้าที่ใช้ทำแผ่นเกราะกันกระสุน เป็นผ้าทอลายตะกร้า 2×2 โครงสร้างผ้าทอลายตะกร้า 2×2 เป็นโครงสร้างลายทอที่เส้นด้ายขัดกันแบบหลวมๆ มีการเคลื่อนตัวของเส้นด้ายได้ เป็นการขัดกันของด้ายพุ่งกับด้ายยืน ขึ้น 2 เส้น ลง 2 เส้น เมื่อเพิ่มแรงอัดเส้นด้ายเริ่มขัดตัวเพิ่มมากขึ้น ความตึงเส้นด้ายย่อมมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อแรงอัดที่ 600 กิโลกรัมแรงเส้นด้ายผ้าถูกกดทับด้วยแรงอัดในระดับที่พื้นผ้าไม่สามารถที่จะทนรับแรงได้ น่าจะทำให้เส้นด้ายเสียรูปทรงและเส้นใยน่าจะมีการฉีกขาดสูงสุด เป็นสาเหตุให้ผ้ามีการสูญเสียความแข็งแรงมากที่สุดในระดับแรงอัดทั้งหมด

แรงอัดมีผลกระทบต่อโครงสร้างเส้นใย เส้นด้าย และผ้า ทำให้เสียความแข็งแรงของผ้าไปไม่มาก หากมีการสูญเสียความแข็งแรงน้อยกว่านี้ได้ย่อมส่งผลดีต่อการป้องกันกระสุน การวิจัยการให้แรงอัดบนพื้นผ้าครั้งต่อไป ควรคำนึงถึงเส้นใย เส้นด้าย และโครงสร้างผ้าที่เหมาะสม สามารถรับแรงอัดได้ดี จะทำให้ผ้าสามารถป้องกันกระสุนได้ดีขึ้น

5.2 สรุปผลการทดลองการป้องกันกระสุน

ผลการทดลองการป้องกันกระสุนมุม 0 องศา และ 30 องศา ผ้าแผ่นเกราะ แบบเย็บและ ไม่เย็บผ้า เมื่อมีการเพิ่มแรงอัดผ้าเพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 1000 กิโลกรัมแรง ตามลำดับ การป้องกันกระสุนดีขึ้นตามลำดับเช่นกัน แต่แผ่นเกราะแบบเย็บ มีการป้องกันกระสุนได้ดีกว่าแบบไม่เย็บ โดยที่แบบเย็บผ้าที่แรงอัด 0 กิโลกรัมแรง สามารถป้องกันกระสุนได้เท่ากับแบบไม่เย็บที่แรงอัด 900 กิโลกรัมแรง

การเย็บผ้าแผ่นเกราะ มีอิทธิพลในการป้องกันกระสุนมากกว่าการให้แรงอัดอย่างเดียว การเย็บและให้แรงอัดด้วย สามารถป้องกันกระสุนปืนได้ดีกว่าแบบใดแบบหนึ่ง

5.3 ข้อวิจารณ์

การให้แรงอัดบนผืนผ้าทอ ความแข็งแรงของผ้าทอลดลง แต่การป้องกันการเจาะทะลุกระสุนปืนดีขึ้น การเสียความแข็งแรงผืนผ้าทอเมื่อเพิ่มแรงอัดแล้วเมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถในการป้องกันกระสุน กล่าวได้ว่าความแข็งแรงของผ้าที่เสียไปมีผลน้อยมาก

การป้องกันกระสุนมุม 0 องศา พบว่าเมื่อเพิ่มแรงอัดขึ้นทดสอบ จำนวนชั้นที่กระสุนทะลุแผ่นเกราะลดลง เนื่องจากการเพิ่มแรงอัดบนแผ่นเกราะทำให้ผ้ามีการบีบตัวแน่นขึ้น จึงเป็นการเพิ่มความหนาแน่นให้กับเส้นใย ทำให้หัวกระสุนทะลุผ่านเส้นใยได้ยากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างขึ้นทดสอบแบบเย็บกับแบบไม่เย็บ จะเห็นได้ว่าขึ้นทดสอบแบบเย็บ มีการทะลุของหัวกระสุนน้อยกว่าแบบไม่เย็บ เนื่องจากการเย็บขึ้นทดสอบเปรียบเสมือนการเพิ่มแรงอัดอย่างหนึ่ง และเป็นการยึดตรึงไม่ให้ชั้นผ้ามีการเคลื่อน ทำให้ผ้ามีความแข็งแรงมาก จึงทำให้จำนวนชั้นที่หัวกระสุนทะลุแผ่นเกราะลดลง ผลการทดลองการป้องกันกระสุนมุม 30 องศา แรงอัดจากน้อยไปหามาก การทะลุของกระสุนจำนวนชั้นของแผ่นเกราะลดลงเช่นกันกับมุม 0 องศา แต่มีจำนวนชั้นผืนผ้าที่หัวกระสุนทะลุมากกว่ามุม 0 องศา เนื่องจากการยิงมุม 30 องศา เป็นการยิงมุมเอียง ทำให้หัวกระสุนสามารถทะลุผืนผ้าไปได้ง่ายกว่า มุม 0 องศา เนื่องจากช่องว่างของเส้นด้ายที่เกิดจากการทอ เป็นช่องทางที่ทำให้หัวกระสุนสามารถทะลุทะลวงได้ง่ายขึ้นกว่ามุม 0 องศา ที่ผืนผ้ารับแรงกระสุนในแนวระนาบตรง หัวกระสุนจะปะทะกับเส้นด้ายโดยตรง

5.4 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาอิทธิพลของแรงอัดบนผืนผ้าทอในลอน ต่อการเจาะทะลุของกระสุนปืน แรงอัดบนผืนผ้าทอลายตะกร้า 2x2 มีผลต่อความแข็งแรงของผืนผ้าในระดับหนึ่ง แต่ความแข็งแรงที่เสียไปไม่มีผลต่อการป้องกันกระสุนมากนัก เมื่อเพิ่มแรงอัดบนผืนผ้ามากขึ้นการป้องกันกระสุนดีขึ้นด้วย

การเย็บฝืนผ้าแผ่นเกราะมีอิทธิพลการป้องกันกระสุนปืนมากกว่าการไม่เย็บฝืนผ้าแผ่นเกราะ การเย็บฝืนผ้าอย่างเดี๋ยวปราศจากแรงอัดบนฝืนผ้า สามารถป้องกันกระสุนปืน เท่ากับการให้แรงอัดบนฝืนผ้าแบบไม่เย็บ ประมาณ 900 กิโลกรัมแรง หากให้แรงอัดบนผ้าแบบเย็บด้วยจะทำให้การป้องกันกระสุนปืนได้ดีมากขึ้น

การเพิ่มแรงอัดและการเย็บฝืนผ้ามีผลต่อการป้องกันกระสุนของแผ่นเกราะอย่างมาก ทำให้แผ่นเกราะสามารถรับแรงที่กระสุนกระทำต่อแผ่นเกราะได้ดีขึ้น หัวกระสุนจะทะลุแผ่นเกราะได้น้อยลง การผลิตเสื้อเกราะที่ดี ควรใช้แรงอัดและการเย็บฝืนผ้าช่วยในการผลิตเสื้อเกราะ จะทำให้ได้เสื้อเกราะสามารถป้องกันกระสุนได้ดีกว่าเสื้อเกราะแบบไม่ให้แรงอัดและเย็บฝืนผ้า

5.5 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยการให้แรงอัดบนฝืนผ้าทอ ควรคำนึงถึงชนิดของเส้นใย เส้นด้าย และ โครงสร้างผ้าที่เหมาะสมที่สามารถรับแรงอัดได้ดี จะไม่ทำให้ผ้าเสียความแข็งแรง และจะส่งผลต่อความสามารถป้องกันกระสุนปืน



เอกสารอ้างอิง

- [1] นवलแข ปาลิวนิช, ความรู้เรื่องผ้าและเส้นใย. ครั้งที่ 3, 2536.
- [2] สมประสงค์ ภาษาประเทศ, บทนำ, เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาวิศวกรรมสิ่งทอ 1 ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2550, หน้า 2-3.
- [3] J.W.S. Hearle, P. Grosberg, **Structural Mechanics of Fibers, Yarns, and Fabrics**, John Wiley & Sons, Inc., USA(1969).
- [4] กองวิชาการ กรมสรรพาวุธทหารอากาศ, กระสุน. กรุงเทพฯ. หน้า 1-6.
- [5] คณะกรรมการกำหนดมาตรฐานยุทธโศปกรณ์กระทรวงกลาโหม, **มาตรฐานยุทธโศปกรณ์ กระทรวงกลาโหม**. กรุงเทพฯ. หน้า 1-2.
- [6] www.restlessadventurer.net/guns/caliber.php สืบค้นเมื่อ 14 ก.พ.52
- [7] อัจฉราพร ไสละสูต, คู่มือการศึกษาสมรรถนะผ้า, ครั้งที่ 2, คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งทอ, 2545.
- [8] มอก. , มอก. 121 เล่ม 9 แรงดึงและการยึดตัวที่ทำให้ผ้าทอขาด, กรุงเทพฯ. 2518.
- [9] P.J. Hazell, M.R.Edwards, H. Longstaff, J. Erskine, (Abstract of “Penetration of a glass-faced transparent elastomeric resin by a lead-antimony-cored bullet,” **International Journal of Impact Engineering** (Electronic), 2008. pp.1-7), Available: Elsevier Ltd. / Elsevier (9 February 2009).
- [10] Mehmet Karahan, Abdil Kus and Recep Eren, (Abstract of “An investigation into ballistic performance and energy absorption capabilities of woven aramid fabrics,” **International Journal of Impact Engineering** (Electronic), vol. 35, 2008. pp. 499 – 510), Available: Elsevier Ltd. / ScienceDirect (10 February 2009).
- [11] H.L. Gower, D.S. Cronin and A. Plumtree, (Abstract of “ Ballistic impact response of laminated composite panels ,” **International Journal of Impact Engineering** (Electronic), vol. 35, 2008. pp. 1000 -1008), Available: Elsevier Ltd. / ScienceDirect (11 February 2009).
- [12] สมประสงค์ ภาษาประเทศ, ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย, อภิชาติ สนธิสมบัติ, บัณฑิต ขวัญข้าว, ชูพงศ์ ไชยหลากหลาย, การศึกษาการผลิตเสื้อเกราะกันกระสุนจากผ้าใยประดิษฐ์เพื่อนำไปใช้ผลิตในเชิงพาณิชย์ ระยะที่ 1, สาขาวิศวกรรมสิ่งทอ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี, 2550.

- [13] สำนักงานวิจัยและพัฒนาการทหกรกลลโหลล สำนักงานปลัดกระทรวงกลลโหลล, รลขงงน
โครงการวิจัยและพัฒนาเส้นใยโหลลมาใช้ในการผลิตเส้นลเกรล, สุลจรล ขอลจลต์เมตต์, สมลประสงค้
ภลขลประเทส และ อภลขลต สนนลสมบต์. การศลขภลขลคवलเป็นไปได้ในการนำเส้นใยโหลลมาใช้ในการ
การผลิตเส้นลเกรลกันกระสุน, วิจลขเมือ 1 เมษายน 2542 – 31 ชันवलคม 2544
- [14] www.siam-handicrafts.com/Webborad/Question.asp?QID=1106 สลลบคันเมือ 12 ก.พ. 52
- [15] www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/223054. สลลบคันเมือ 14 ก.พ. 52
- [16] www.media.mit.edu/physics/pedagogy/fab/mold/index.html สลลบคันเมือ 11 เม.ย. 52
- [17] อภลขลต สนนลสมบต์. เอกสารประกอบการเรียนวิชาค้ดเฉพาะในงานลลิ่งทอ.
ภลคवलขवलศवलกรรมลลิ่งทอ คณลศवलกรรมศลลศตร้ มหาवलทยลลัเทคโนลลลยรลขมลจลญบุรี, 2551,
หน้า 72-100



ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะ



ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแบบเย็บ และแบบไม่เย็บฝืนผ้า เมื่อเพิ่มแรงอัดให้กับฝืนผ้าในแรงอัดที่ 0, 200, 400, 600, 800 และ 1000 กิโลกรัมแรง ทดสอบการป้องกันกระสุนปืนที่ ฝ่ายอาวุธ และกระสุน แผนกวิจัยและตรวจทดลอง กองวิชาการ กรมสรรพาวุธทหารอากาศ

1. ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแบบเย็บ แรงอัด 0 กก.แรง

แบบบันทึกผลการยิงทดสอบเสื้อเกราะ (Nylon 6, 6 จำนวน ๑๐๐ ชั้น)

ชื่อตัวอย่าง 1. แบบเย็บ แรงอัด 0 กก.แรง

วันที่ทดสอบ ๒๔ พ.ย. ๕๑



ชนิดกระสุนทดสอบ			นน.ของลูกกระสุน		ความเหนียวกระสุน (+ 9.1 เมตร/วินาที, + 30 ฟุต/นาทีก)		
9 mm.FMJ			124 Gr.		367 เมตร/วินาที (1,205 ฟุต/วินาที)		
กำหนดเกณฑ์รอยยุบตัว ไม่เกิน 44 มม.			เบียด		ห่าง		ด้านหน้า
นัดที่	มุมยิง	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ผลการทดสอบ		รอยยุบ (มม.)	นน.หัว กระสุน	หมายเหตุ
			ทะลุ	ไม่ทะลุ			
1	0	372	47				
2	0	374	51				
3	0	380	48				
4	30	378	58				
5	30	377	66				
6	0	378	58				
เจ้าหน้าที่ทดสอบ พ.อ.อ.  (เจตนิพัทธ์ เฉลยไตร) ๒๔ พ.ย. 51			ผู้ควบคุมการทดสอบ (ยศชื่อ) พ.อ.อ.  (จันทิ ชูปพงษ์) (ตำแหน่ง) จนท.ตรวจทดลองอาวุโส ฝตท.ผวต.กกก.ฯ ๒๔ / พ.ย. / 51				

2. ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแบบเย็บ แรงอัด 200 กก.แรง

แบบบันทึกผลการยิงทดสอบเสื้อเกราะ (Nylon 6, 6 จำนวน ๑๐๐ ชั้น)

ชื่อตัวอย่าง 2. แบบเย็บ แรงอัด 200 กก.แรง

วันที่ทดสอบ ๒๔ พ.ย. ๕๑



ชนิดกระสุนทดสอบ			นน.ของลูกกระสุน		ความเร็วกระสุน (+ 9.1 เมตร/วินาที, + 30 ฟุต/นาทีก)		
9 mm.FMJ			124 Gr.		367 เมตร/วินาที (1,205 ฟุต/วินาที)		
กำหนดเกณฑ์รอยยุบตัว ไม่เกิน 44 มม.			เป็ยก		ห่าง		ด้านหน้า
นัดที่	มุมยิง	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ผลการทดสอบ		รอยยุบ (มม.)	นน.หัว กระสุน	หมายเหตุ
			ทะลุ	ไม่ทะลุ			
1	0	380	44				
2	0	375	39				
3	0	370	40				
4	30	378	48				
5	30	376	52				
6	0	378	52				
เจ้าหน้าที่ทดสอบ พ.อ.อ.  (เจตนิพัทธ์ เอลยไตร) ๒๔ พ.ย. 51			ผู้ควบคุมการทดสอบ (ยศชื่อ) พ.อ.อ.  (อานนติ อูปพงษ์) जनท.ตรวจทดลองอาวุธโส ผตท.ผวต.ทวท.ฯ ๒๔ / พ.ย. / 51				

3. ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแบบเย็บ แรงอัด 400 กก.แรง

แบบบันทึกผลการยิงทดสอบเสื้อเกราะ (Nylon 6, 6 จำนวน ๑๐๐ ชั้น)

ชื่อตัวอย่าง 3. แบบเย็บ แรงอัด 400 กก.แรง

วันที่ทดสอบ ๒๔ พ.ย. ๕๑



ชนิดกระสุนทดสอบ			นน.ของลูกกระสุน		ความเร็วกระสุน (+ 9.1 เมตร/วินาที, + 30 ฟุต/วินาที)		
9 mm.FMJ			124 Gr.		367 เมตร/วินาที (1,205 ฟุต/วินาที)		
กำหนดเกณฑ์รอยยุบตัว ไม่เกิน 44 มม.			เป็ยก		ห่าง		ด้านหน้า
นัดที่	มุมยิง	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ผลการทดสอบ		รอยยุบ (มม.)	นน.หัว กระสุน	หมายเหตุ
			ทะลุ	ไม่ทะลุ			
1	0	379	36				
2	0	367	30				
3	0	372	37				
4	30	369	50				
5	30	364	44				
6	0	376	68				
เจ้าหน้าที่ทดสอบ พ.อ.อ.  (เจตนิพัทธ์ เอลยไตร) ๒๔ พ.ย. 51			ผู้ควบคุมการทดสอบ (ยศชื่อ) พ.อ.อ.  (อานนติ อูปพงษ์) (ตำแหน่ง) จนท.ตรวจทดลองอาวุธ โส ฝตท.ผวต.ทวท.๗ ๒๔ / พ.ย. / 51				

4. ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแบบเย็บ แรงอัด 600 กก.แรง

แบบบันทึกผลการยิงทดสอบเสื้อเกราะ (Nylon 6, 6 จำนวน ๑๐๐ ชั้น)

ชื่อตัวอย่าง 4. แบบเย็บ แรงอัด 600 กก.แรง

วันที่ทดสอบ ๒๔ พ.ย. ๕๑



ชนิดกระสุนทดสอบ			นน.ของลูกกระสุน		ความเหนียวกระสุน (+ 9.1 เมตร/วินาที, + 30 ฟุต/นาทีก)		
9 mm.FMJ			124 Gr.		367 เมตร/วินาที (1,205 ฟุต/วินาที)		
กำหนดเกณฑ์รอยยุบตัว ไม่เกิน 44 มม.			เป็ยก		ห่าง		ด้านหน้า
นัดที่	มุมยิง	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ผลการทดสอบ		รอยยุบ (มม.)	นน.หัว กระสุน	หมายเหตุ
			ทะลุ	ไม่ทะลุ			
1	0	377	41				
2	0	357	32				
3	0	380	34				
4	30	365	48				
5	30	370	52				
6	0	373	41				
เจ้าหน้าที่ทดสอบ			ผู้ควบคุมการทดสอบ				
พ.อ.อ. 			(ยศชื่อ) พ.อ.อ. 				
(เจตนิพัทธ์ เฉลยไตร)			(อานนติ อูปพงษ์)				
๒๔ พ.ย. 51			(ตำแหน่ง) จนท.ตรวจทดลองอาวุธ ฝดท.ผวต.ทกภ.๗				
			๒๔ / พ.ย. / 51				

5. ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแบบเย็บ แรงอัด 800 กก.แรง

แบบบันทึกผลการยิงทดสอบเสื้อเกราะ (Nylon 6, 6 จำนวน ๑๐๐ ชั้น)

ชื่อตัวอย่าง 5. แบบเย็บ แรงอัด 800 กก.แรง

วันที่ทดสอบ ๒๔ พ.ย. ๕๑



ชนิดกระสุนทดสอบ			นน.ของลูกกระสุน		ความเร็วกระสุน (+ 9.1 เมตร/วินาที, + 30 ฟุต/นาท)		
9 mm.FMJ			124 Gr.		367 เมตร/วินาที (1,205 ฟุต/วินาที)		
กำหนดเกณฑ์รอยยุบตัว ไม่เกิน 44 มม.			เป็ยก		ห่าง		ด้านหน้า ด้านหลัง
นัดที่	มุมยิง	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ผลการทดสอบ		รอยยุบ (มม.)	นน.หัว กระสุน	หมายเหตุ
			ทะลุ	ไม่ทะลุ			
1	0	366	40				
2	0	370	35				
3	0	374	32				
4	30	372	46				
5	30	375	36				
6	0	376	40				
เจ้าหน้าที่ทดสอบ พ.อ.อ.  (เจตนิพัทธ์ เฉลยไตร) ๒๕ พ.ย. 51				ผู้ควบคุมการทดสอบ (ยศชื่อ) พ.อ.อ.  (อานันติ ชูปพงษ์) (ตำแหน่ง) จนท.ตรวจทดลองอาวุธใต้ ฝตท.ผวต.กกก.ฯ ๒๕ พ.ย. / 51			

6. ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแบบเย็บ แรงอัด 1000 กก.แรง

แบบบันทึกผลการยิงทดสอบเสื้อเกราะ (Nylon 6, 6 จำนวน ๑๐๐ ชั้น)

ชื่อตัวอย่าง 6. แบบเย็บ แรงอัด 1000 กก.แรง

วันที่ทดสอบ ๒๔ พ.ย. ๕๑



ชนิดกระสุนทดสอบ			นน.ของลูกกระสุน		ความเร็วกระสุน (+ 9.1 เมตร/วินาที, + 30 ฟุต/นาที)		
9 mm.FMJ			124 Gr.		367 เมตร/วินาที (1,205 ฟุต/นาที)		
กำหนดเกณฑ์รอยยุบตัว ไม่เกิน 44 มม.			เป็ยก		ห่าง		ด้านหน้า
นัดที่	มุมยิง	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ผลการทดสอบ		รอยยุบ (มม.)	นน.หัว กระสุน	หมายเหตุ
			ทะลุ	ไม่ทะลุ			
1	0	367	25				
2	0	368	20				
3	0	362	18				
4	30	367	37				
5	30	362	25				
6	0	365	20				
เจ้าหน้าที่ทดสอบ พ.อ.อ.  (เจตนาพิพัทธ์ เอลยไตร) ๒๔ พ.ย. 51			ผู้ควบคุมการทดสอบ (ยศชื่อ) พ.อ.อ.  (อานันติ จุฬพงษ์) (ตำแหน่ง) จนท.ตรวจทดลองอาวุธ ฝตท.ผวต.กวก.๗ ๒๔ พ.ย. / 51				

7. ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแบบไม่เย็บ แรงอัด 0 กก.แรง

แบบบันทึกผลการยิงทดสอบเสื้อเกราะ (Nylon 6, 6 จำนวน ๑๐๐ ชั้น)

ชื่อตัวอย่าง 1. แบบไม่เย็บ แรงอัด 0 กก.แรง

วันที่ทดสอบ ๒๔ พ.ย. ๕๑

ชนิดกระสุนทดสอบ			นน.ของลูกกระสุน		ความเร็วกระสุน (+ 9.1 เมตร/วินาที, + 30 ฟุต/นาທີ)		
9 mm.FMJ			124 Gr.		367 เมตร/วินาที (1,205 ฟุต/วินาที)		
กำหนดเกณฑ์รอยยุบตัว ไม่เกิน 44 มม.			เป็ยก		ห่าง		ด้านหน้า
นัดที่	มุมยิง	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ผลการทดสอบ		รอยยุบ (มม.)	นน.หัว กระสุน	หมายเหตุ
			ทะลุ	ไม่ทะลุ			
1	0	371	69				
2	0	374	67				
3	0	380	69				
4	30	376	82				
5	30	367	60				
6	0	369	71				
เจ้าหน้าที่ทดสอบ พ.อ.อ.  (เจตนิพัทธ์ เจลยไตร) ๒๔ พ.ย. 51			ผู้ควบคุมการทดสอบ (ยศชื่อ) พ.อ.อ.  (อานันติ ชูปพงษ์) (ตำแหน่ง) จนท.ตรวจทดลองอาวุธ ฝตท.ผวต.กกก.๗ ๒๔ / พ.ย. / 51				

8. ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแบบไม่เย็บ แรงอัด 200 กก.แรง

แบบบันทึกผลการยิงทดสอบเสื้อเกราะ (Nylon 6, 6 จำนวน ๑๐๐ ชั้น)

ชื่อตัวอย่าง 2. แบบไม่เย็บ แรงอัด 200 กก.แรง

วันที่ทดสอบ ๒๔ พ.ย. ๕๑



ชนิดกระสุนทดสอบ			นน.ของลูกกระสุน		ความเร็วกระสุน (+ 9.1 เมตร/วินาที, + 30 ฟุต/วินาที)		
9 mm.FMJ			124 Gr.		367 เมตร/วินาที (1,205 ฟุต/วินาที)		
กำหนดเกณฑ์รอยยุบตัว ไม่เกิน 44 มม.			เป็ยก		ห่าง		ด้านหน้า
นัดที่	มุมยิง	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ผลการทดสอบ		รอยยุบ (มม.)	นน.หัว กระสุน	หมายเหตุ
			ทะลุ	ไม่ทะลุ			
1	0	371	55				
2	0	377	73				
3	0	384	56				
4	30	376	59				
5	30	371	51				
6	0	376	60				
เจ้าหน้าที่ทดสอบ พ.อ.อ.  (เจตนิพัทธ์ เฉลยไตร) ๒๔ พ.ย. 51				ผู้ควบคุมการทดสอบ (ยศชื่อ) พ.อ.อ.  (อานันท์ อูปพงษ์) (ตำแหน่ง) จนท.ตรวจทดลองอาวุธ ฝตท.ผวต.ภวก.๗ ๒๔ พ.ย. / 51			

9. ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแบบไม่เย็บ แรงอัด 400 กก.แรง

แบบบันทึกผลการยิงทดสอบเสื้อเกราะ (Nylon 6, 6 จำนวน ๑๐๐ ชั้น)

ชื่อตัวอย่าง 3. แบบไม่เย็บ แรงอัด 400 กก.แรง

วันที่ทดสอบ ๒๔ พ.ย. ๕๑


ชนิดกระสุนทดสอบ			นน.ของลูกกระสุน		ความเร็วกระสุน (+ 9.1 เมตร/วินาที, + 30 ฟุต/วินาที)				
9 mm.FMJ			124 Gr.		367 เมตร/วินาที (1,205 ฟุต/วินาที)				
กำหนดเกณฑ์รอยยุบตัว ไม่เกิน 44 มม.			เป็ยก		ห่าง		ด้านหน้า		ด้านหลัง
นัดที่	มุมยิง	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ผลการทดสอบ		รอยยุบ (มม.)	นน.หัว กระสุน	หมายเหตุ		
			ทะลุ	ไม่ทะลุ					
1	0	371	49						
2	0	381	67						
3	0	377	56						
4	30	368	69						
5	30	371	40						
6	0	358	64						
เจ้าหน้าที่ทดสอบ			ผู้ควบคุมการทดสอบ						
พ.อ.อ. 			(ยศชื่อ) พ.อ.อ. 						
(เจตนิพัทธ์ เฉลยไตร)			(อานันติ อูปพงษ์)						
๒๔ พ.ย. 51			ตำแหน่ง) จนท.ตรวจทดลองอาวุธ ฝดท.ผวต.กวก.๗						
			๒๔ / พ.ย. / 51						

10. ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแบบไม่เย็บ แรงอัด 600 กก.แรง

แบบบันทึกผลการยิงทดสอบเสื้อเกราะ (Nylon 6, 6 จำนวน ๑๐๐ ชั้น)

ชื่อตัวอย่าง 4. แบบไม่เย็บ แรงอัด 600 กก.แรง

วันที่ทดสอบ ๒๔ พ.ย. ๕๑



ชนิดกระสุนทดสอบ			นน.ของลูกกระสุน		ความเหนียวกระสุน (+ 9.1 เมตร/วินาที, + 30 ฟุต/นาทีก)		
9 mm.FMJ			124 Gr.		367 เมตร/วินาที (1,205 ฟุต/วินาที)		
กำหนดเกณฑ์รอยยุบตัว ไม่เกิน 44 มม.			เป็ยก		แห้ง		ด้านหน้า
นัดที่	มุมยิง	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ผลการทดสอบ		รอยยุบ (มม.)	นน.หัว กระสุน	หมายเหตุ
			ทะลุ	ไม่ทะลุ			
1	0	379	54				
2	0	380	76				
3	0	378	65				
4	30	383	54				
5	30	372	53				
6	0	368	61				
เจ้าหน้าที่ทดสอบ พ.อ.อ.  (เจตนิพัทธ์ เฉลยไตร) ๒๔ พ.ย. 51			ผู้ควบคุมการทดสอบ (ยศชื่อ) พ.อ.อ.  (จกนิตี จุปพงษ์) (ตำแหน่ง) จนท.ตรวจทดลองอาวุธ ฝดท.ผวต.กวก.๗ ๒๔ / พ.ย. / 51				

11. ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแบบไม่เย็บ แรงอัด 800 กก.แรง

แบบบันทึกผลการยิงทดสอบเสื้อเกราะ (Nylon 6,6 จำนวน ๑๐๐ ชั้น)

ชื่อตัวอย่าง 5. แบบไม่เย็บ แรงอัด 800 กก.แรง

วันที่ทดสอบ ๒๔ พ.ย. ๕๑



ชนิดกระสุนทดสอบ			นน.ของลูกกระสุน		ความเหนียวกระสุน (+ 9.1 เมตร/วินาที, + 30 ฟุต/นาທີ)		
9 mm.FMJ			124 Gr.		367 เมตร/วินาที (1,205 ฟุต/วินาที)		
กำหนดเกณฑ์รอยยุบตัว ไม่เกิน 44 มม.			เป็ยก		ห่าง		ด้านหน้า
นัดที่	มุมยิง	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ผลการทดสอบ		รอยยุบ (มม.)	นน.หัว กระสุน	หมายเหตุ
			ทะลุ	ไม่ทะลุ			
1	0	373	80				
2	0	374	52				
3	0	372	33				
4	30	363	31				
5	30	373	64				
6	0	375	58				
เจ้าหน้าที่ทดสอบ พ.อ.อ.  (เจตนิพัทธ์ เจลยไตร) ๒๔ พ.ย. 51				ผู้ควบคุมการทดสอบ (ยศชื่อ) พ.อ.อ.  (อานันติ อูปพงษ์) (ตำแหน่ง) จนท.ตรวจทดลองอาวุธ ฝตท.ผวต.ภวก.๙ ๒๔ / พ.ย. / 51			

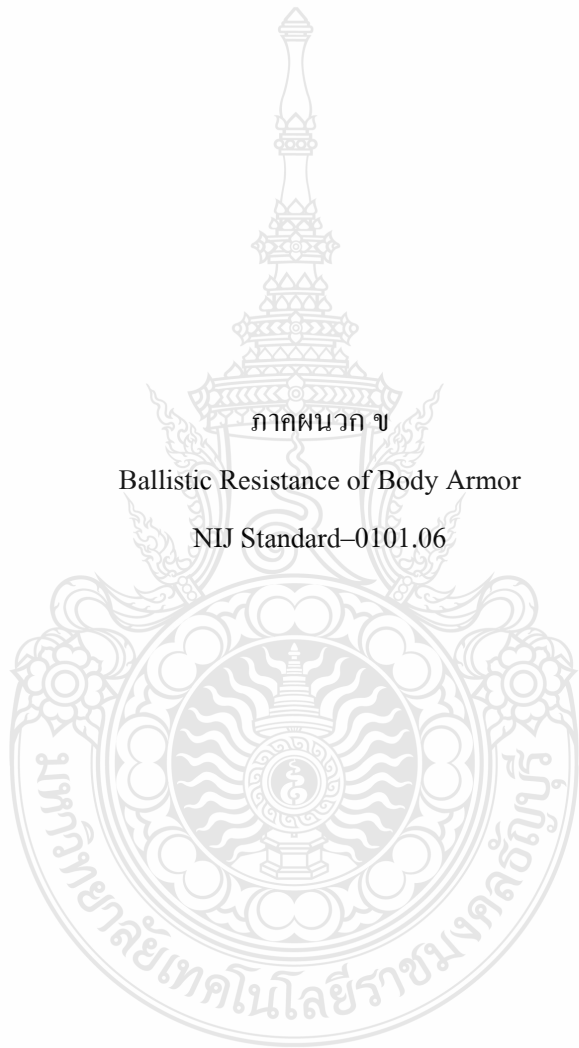
12. ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะแบบไม่เย็บ แรงอัด 1000 กก.แรง

แบบบันทึกผลการยิงทดสอบเสื้อเกราะ (Nylon 6, 6 จำนวน ๑๐๐ ชั้น)

ชื่อตัวอย่าง 6. แบบไม่เย็บ แรงอัด 1000 กก.แรง

วันที่ทดสอบ ๒๔ พ.ย. ๕๑

ชนิดกระสุนทดสอบ			นน.ของลูกกระสุน		ความเร็วกระสุน (+ 9.1 เมตร/วินาที, + 30 ฟุต/วินาที)		
9 mm.FMJ			124 Gr.		367 เมตร/วินาที (1,205 ฟุต/วินาที)		
กำหนดเกณฑ์รอยยุบตัว ไม่เกิน 44 มม.			เปียก		แห้ง		ด้านหน้า ด้านหลัง
นัดที่	มุมยิง	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ผลการทดสอบ		รอยยุบ (มม.)	นน.หัว กระสุน	หมายเหตุ
			ทะลุ	ไม่ทะลุ			
1	0	375	63				
2	0	370	41				
3	0	371	31				
4	30	381	43				
5	30	381	49				
6	0	371	50				
เจ้าหน้าที่ทดสอบ			ผู้ควบคุมการทดสอบ				
พ.อ.อ. 			(ยศชื่อ) พ.อ.อ. 				
(เจตนิพัทธ์ เฉลยไตร)			(อานันติ อูปพงษ์)				
๒๔ พ.ย. 51			(ตำแหน่ง) จนท.ตรวจทดลองอาวุธ ฝดท.ผวต.กวก.๙				
			๒๔ / พ.ย. / 51				



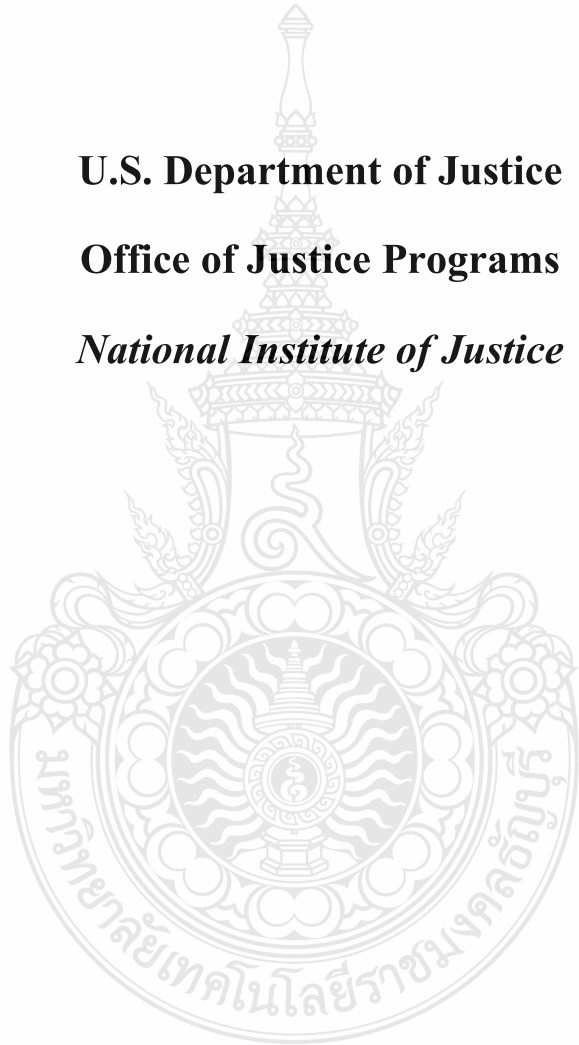
ภาคผนวก ข

Ballistic Resistance of Body Armor

NIJ Standard-0101.06

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

U.S. Department of Justice
Office of Justice Programs
National Institute of Justice



U.S. Department of Justice

Office of Justice Programs

810 Seventh Street N.W.

Washington, DC 20531

Michael B. Mukasey

Attorney General

Jeffrey L. Sedgwick

Acting Assistant Attorney General

David W. Hagy

Director, National Institute of Justice

This and other publications and products of the National Institute of Justice can be found at:

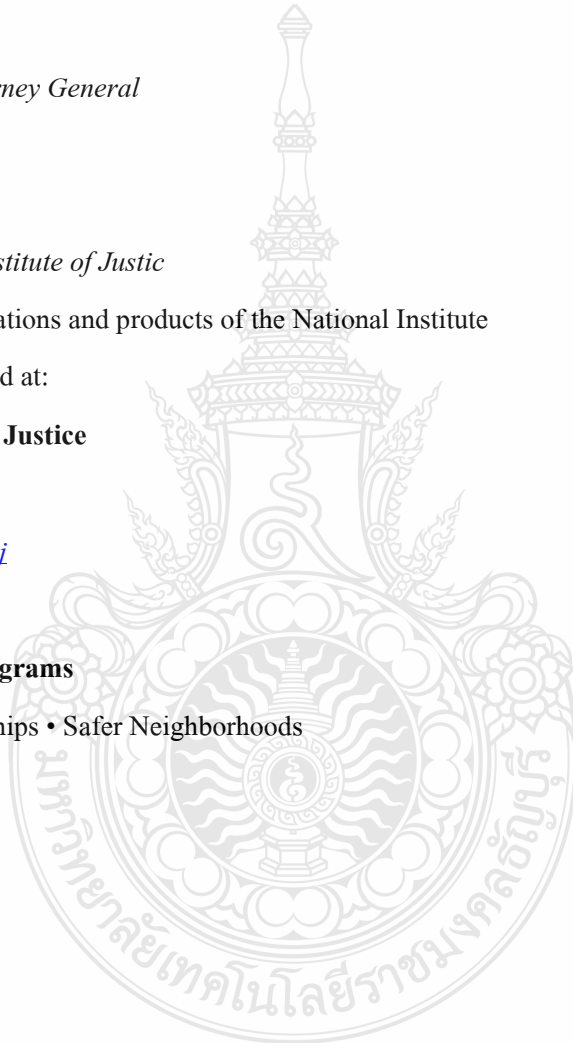
National Institute of Justice

www.ojp.usdoj.gov/nij

Office of Justice Programs

Innovation • Partnerships • Safer Neighborhoods

www.ojp.usdoj.gov



ABOUT THE LAW ENFORCEMENT AND CORRECTIONS

STANDARDS AND TESTING PROGRAM

The Standards and Testing Program is sponsored by the Office of Science and Technology of the National Institute of Justice (NIJ), Office of Justice Programs, U.S. Department of Justice. The program responds to the mandate of the Homeland Security Act of 2002, which directed the Office of Science and Technology to establish and maintain performance standards in accordance with the National Technology Transfer and Advancement Act of 1995 (Public Law 104–113) to test and evaluate law enforcement technologies that may be used by Federal, State, and local law enforcement agencies. The Homeland Security Act of 2002 also directed the Office of Science and Technology to establish and maintain a program to certify, validate, and mark or otherwise recognize law enforcement technology products that conform to the standards mentioned above.

The Standards and Testing Program is a basic and applied research effort that determines the technological needs of justice system agencies, sets minimum performance standards for specific devices, tests commercially available equipment against those standards, and disseminates the standards and the test results to criminal justice agencies nationally and internationally.

The *Office of Law Enforcement Standards* (OLES) at the National Institute of Standards and Technology develops voluntary national performance standards for compliance testing to ensure that individual items of equipment are suitable for use by criminal justice agencies. The standards are based upon laboratory testing and evaluation of representative samples of each item of equipment to determine the key attributes, develop test methods, and establish minimum performance requirements for each essential attribute. In addition to the technical standards, OLES also produces technical reports and user guidelines that explain in nontechnical terms the capabilities of available equipment.

The *National Law Enforcement and Corrections Technology Center* (NLECTC), operated by a grantee, coordinates a national compliance testing program conducted by independent laboratories. The standards developed by OLES serve as performance benchmarks against which commercial equipment is measured.

Publications are available at no charge through NLECTC. Some documents are also available online at <https://www.justnet.org/justnet.html>. To request a document or additional information, call 800–248–2742 or 301–519–5060, or write:

National Law Enforcement and Corrections Technology Center

2277 Research Boulevard, Mailstop 8J

Rockville, MD 20850

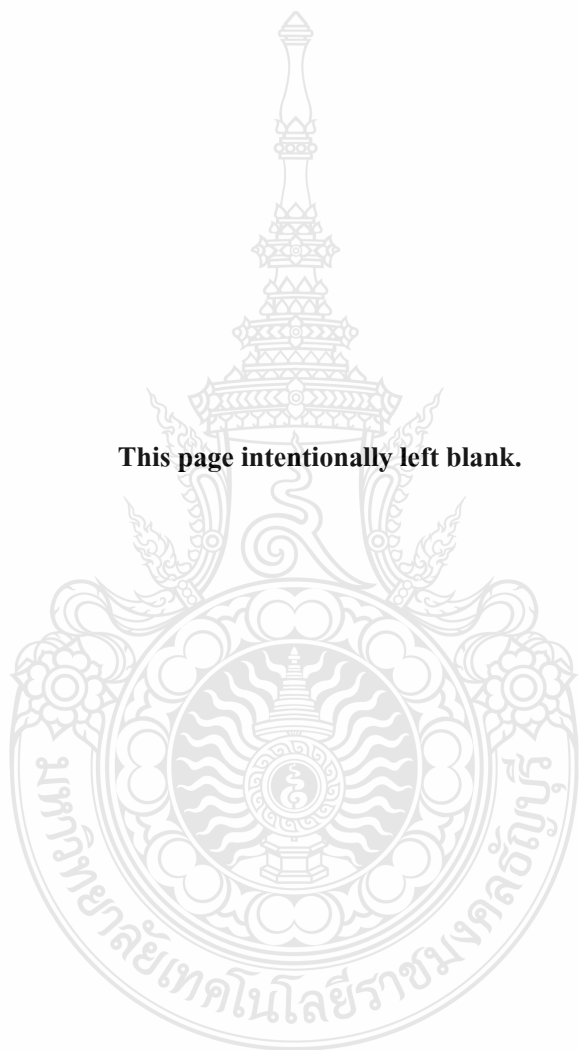
E-mail: asknlectc@nlectc.org

World Wide Web address: <http://www.justnet.org>

The National Institute of Justice is a component of the Office of Justice Programs, which also includes the Bureau of Justice Assistance, the Bureau of Justice Statistics, the Community Capacity Development Office, the Office for Victims of Crime; the Office of Juvenile Justice and Delinquency Prevention, and the Office of Sex Offender Sentencing, Monitoring, Apprehending, Registering, and Tracking (SMART).



This page intentionally left blank.



U.S. Department of Justice
Office of Justice Programs
National Institute of Justice

Ballistic Resistance of Body Armor

NIJ Standard–0101.06

Supersedes:

NIJ 2005 Interim Requirements, Ballistic Resistance of Body Armor (August 2005)

Also supersedes:

NIJ Standard–0101.04 Rev. A, Ballistic Resistance of Personal Body Armor (June 2001)

Coordination by:

Office of Law Enforcement Standards

National Institute of Standards and Technology

Gaithersburg, MD 20899–8102

Prepared for:

National Institute of Justice

Office of Science and Technology

Washington, DC 20531

July 2008

NCJ 223054

NATIONAL INSTITUTE OF JUSTICE

David Hagy

Director

John Morgan

Deputy Director for Science and Technology

Marc Caplan

Chief, Operational Technologies Division

Debra Stoe

Physical Scientist, Operational Technologies Division

The technical effort to develop this standard was conducted under
Interagency Agreement 2003-IJ-R-029.

This standard was formulated by the Office of Law Enforcement Standards (OLES) of the
National Institute of Standards and Technology (NIST). The participants in the research and
revision of this standard were:

Kirk Rice, Program Manager, Weapons and Protective Systems

Michael A. Riley, Program Manager, Weapons and Protective Systems, Testing and Evaluation

Amanda Forster, Materials Research Engineer

The preparation of this standard was sponsored by the National Institute of Justice.

FOREWORD

This document, NIJ Standard–0101.06, “*Ballistic Resistance of Body Armor*,” is a minimum performance standard developed in collaboration with the Office of Law Enforcement Standards (OLES) of the National Institute of Standards and Technology (NIST). It is produced as part of the Standards and Testing Program of the National Institute of Justice (NIJ), Office of Justice Programs, U.S. Department of Justice. This standard is a technical document that specifies the minimum performance requirements that equipment must meet to satisfy the requirements of criminal justice agencies and the methods that shall be used to test this performance. This standard is used by the NIJ Voluntary Compliance Testing Program (CTP) to determine which body armor models meet the minimum performance requirements for inclusion on the NIJ Compliant Products List. In addition, manufacturers, criminal justice agencies, and others may use the tests described in this standard to determine whether a particular armor design meets their own requirements. Users are strongly encouraged to have this testing conducted in accordance with the NIJ CTP. Procurement officials may also refer to this standard in their purchasing documents and require that equipment offered for purchase meet or exceed these requirements.

This document is a testing and performance standard and provides precise and detailed test methods. Additional requirements, processes, and procedures for CTP participants are detailed in the NIJ Voluntary CTP Administrative Procedures Manual. Those seeking guidance concerning the selection and application of body armor should refer to the most recent revision of the *Selection and Application Guide to Personal Body Armor, NIJ Guide 100*, which is published as a separate document and explains in nontechnical language how to select equipment that provides the level of performance required by a purchasing agency.

Publication of this revision of the standard does not invalidate or render unsuitable any body armor models previously determined by NIJ to be compliant to either the NIJ 2005 Interim Requirements or the NIJ Standard–0101.04 Rev. A Requirements. While it may not necessary to remove these existing armors from service, agencies are advised to always require their procurements to meet or exceed the most recent and up-to-date version of

this standard.

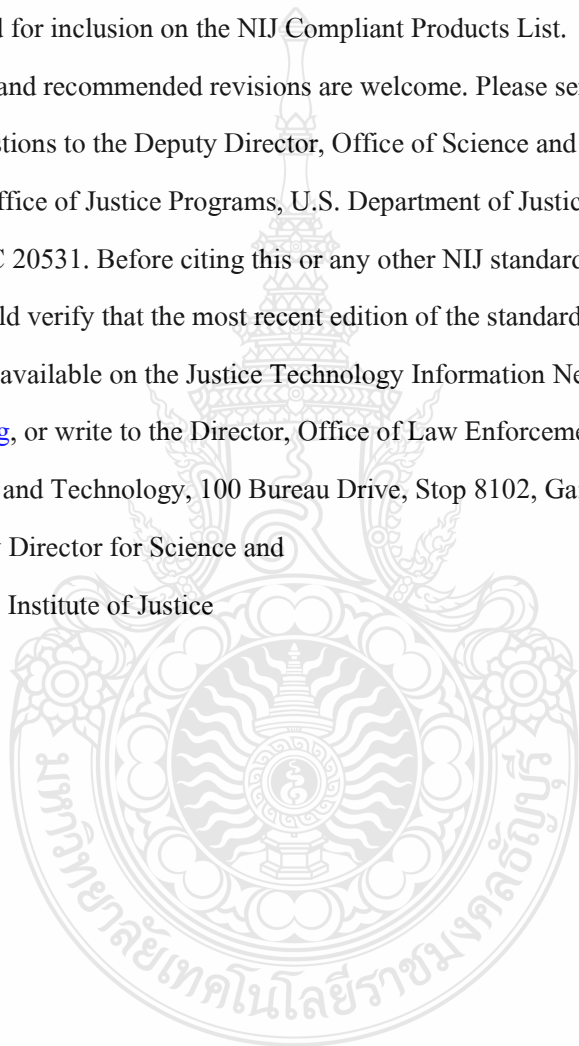
Personal body armor that is independently tested to this standard by manufacturers, purchasers, or other parties will not be considered as NIJ compliant unless the body armor is submitted and tested through the NIJ CTP and found in compliance with this standard.

When manufacturers seek NIJ compliance of their armor to this standard and the armor contains unique materials or forms of construction that may not have been anticipated when this standard was drafted, NIJ may modify the test methods of the standard to take those features into account. If NIJ determines that the model meets the requirements of the standard, modified test methods, and the NIJ CTP, NIJ will include the armor on the NIJ Compliant Products List.



NIJ standards are subjected to continued research, development, testing, review, and revision. This standard and its successors will be re-evaluated and modified as necessary. Because of ongoing advancements in ballistic-resistant materials, changes to armor designs and manufacturing techniques, and improvements in testing methods, NIJ reserves the right to withhold NIJ compliance status for body armor that meets the current requirements but is deemed by NIJ to pose a risk to officer safety. NIJ also reserves the right to alter or modify existing test methods and/or requirements to address perceived weaknesses in varying designs of body armor submitted for inclusion on the NIJ Compliant Products List.

Technical comments and recommended revisions are welcome. Please send all written comments and suggestions to the Deputy Director, Office of Science and Technology, National Institute of Justice, Office of Justice Programs, U.S. Department of Justice, 810 Seventh Street, NW, Washington, DC 20531. Before citing this or any other NIJ standard in a contract document, users should verify that the most recent edition of the standard is used. The most recent edition will be available on the Justice Technology Information Network (JUSTNET) at <http://www.justnet.org>, or write to the Director, Office of Law Enforcement Standards, National Institute of Standards and Technology, 100 Bureau Drive, Stop 8102, Gaithersburg, MD 20899. John Morgan, Deputy Director for Science and Technology, National Institute of Justice



STANDARD SPECIFIC ABBREVIATIONS

ACP = Automatic Colt Pistol LR = Long Rifle

ANSI = American National Standards Institute LRN = Lead Round Nose

AP = Armor Piercing NLECTC =

BFS = Backface Signature

National Law Enforcement and Corrections

Technology Center

BL = Ballistic Limit P-BFS = Perforation and Backface Signature

CPO = Compliance Program Office RN = Round Nose

CTP = Compliance Testing Program S&W = Smith & Wesson

CTR = Compliance Test Report SAAMI =

FMJ = Full Metal Jacket

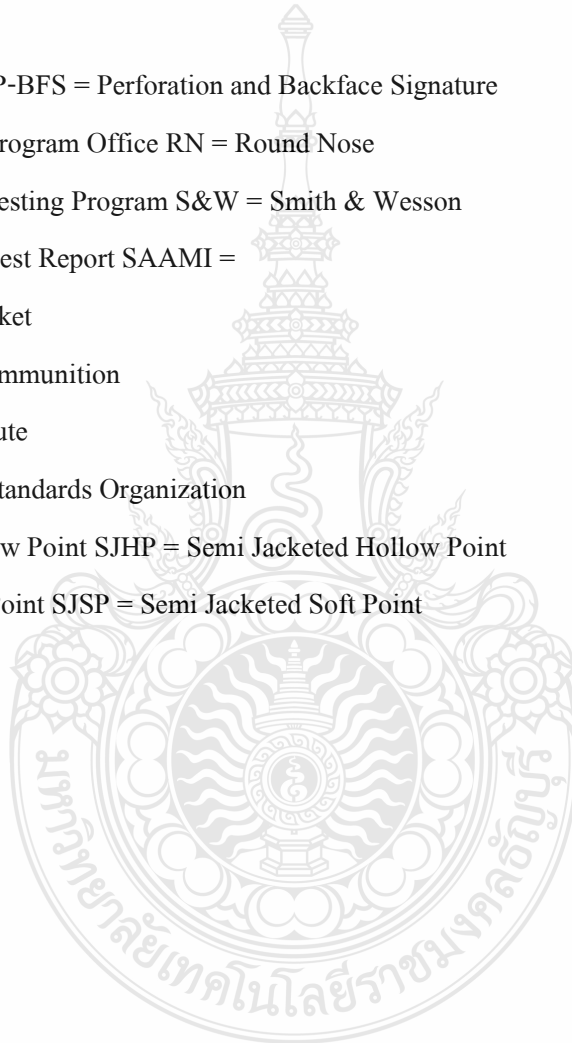
Sporting Arms and Ammunition

Manufacturers' Institute

ISO = International Standards Organization

JHP = Jacketed Hollow Point SJHP = Semi Jacketed Hollow Point

JSP = Jacketed Soft Point SJSP = Semi Jacketed Soft Point



COMMONLY USED SYMBOLS AND ABBREVIATIONS

A ampere H henry nm nanometer
ac alternating current h hour No. number
AM amplitude modulation hf high frequency o.d. outside diameter
cd candela Hz hertz Ω ohm
cm centimeter i.d. inside diameter p. page
CP chemically pure in inch Pa pascal
c/s cycle per second IR infrared pe probable error
d day J joule pp. pages
dB decibel L lambert ppm parts per million
dc direct current L liter qt quart
 $^{\circ}\text{C}$ degree Celsius Lb pound rad radian
 $^{\circ}\text{F}$ degree Fahrenheit lbf pound force rf radio frequency
diam diameter lbf \cdot in pound force inch rh relative humidity
emf electromotive force lm lumen s second
eq equation ln logarithm (base e) SD standard deviation
F farad log logarithm (base 10) sec. section
fc footcandle M molar SWR standing wave ratio
fig. figure m meter uhf ultrahigh frequency
FM frequency modulation min. minute UV ultraviolet
ft foot mm millimeter V volt
ft/s foot per second mph miles per hour vhf very high frequency
g acceleration m/s meter per second W watt
g gram N newton λ wavelength
gr grain N \cdot m newton meter wt weight
area = unit² (e.g., ft², in², etc.); volume = unit³ (e.g., ft³, m³, etc.)

PREFIXES

d deci (10⁻¹) da deka (10)

c centi (10⁻²) h hecto (10²)

m milli (10⁻³) k kilo (10³)

μ micro (10⁻⁶) M mega (10⁶)

n nano (10⁻⁹) G giga (10⁹)

p pico (10⁻¹²) T tera (10¹²)

COMMON CONVERSIONS

(See ASTM E380)

0.30480 m = 1 ft 4.448222 N = 1 lbf

2.54 cm = 1 in 1.355818 J = 1 ft/lbf

0.4535924 kg = 1 lb 0.1129848 N.m = 1 lbf/in

0.06479891 g = 1 gr 14.59390 N/m = 1 lbf/ft

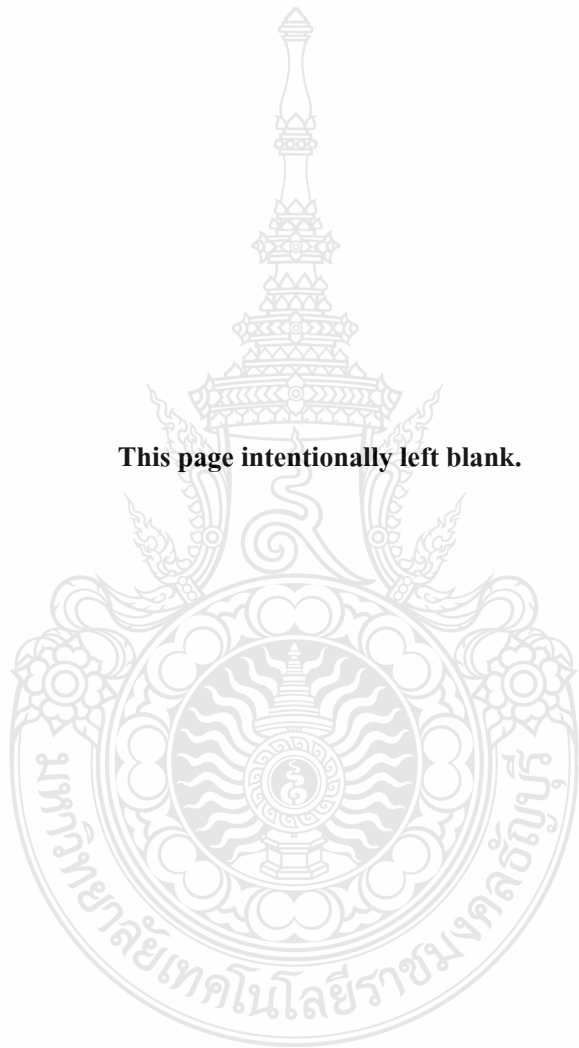
0.9463529 L = 1 qt 6894.757 Pa = 1 lbf/in²

3600000 J = 1 kW/h 1.609344 km/h = 1 mph

Temperature: T°C = (T°F - 32) × 5/9

Temperature: T°F = (T°C × 9/5) + 32

This page intentionally left blank.



NIJ STANDARD–0101.06
FOR
BALLISTIC RESISTANCE OF BODY ARMOR

1. PURPOSE AND SCOPE

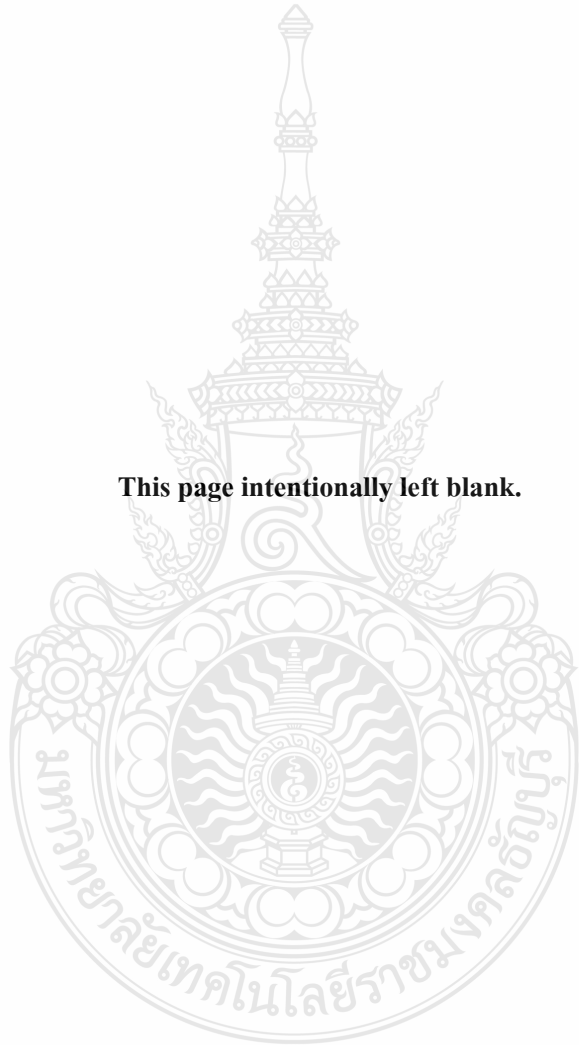
The purpose of this standard is to establish minimum performance requirements and test methods for the ballistic resistance of personal body armor intended to protect against gunfire. This standard is a revision of NIJ Standard–0101.04, dated September 2000. It supersedes the NIJ 2005 Interim Requirements, dated September 2005, NIJ Standard–0101.04, and all other revisions and addenda to NIJ Standard–0101.04.

The scope of the standard is limited to ballistic resistance only; this standard does not address threats from knives and sharply pointed instruments, which are different types of threats and are addressed in the current version of NIJ Standard–0115 *Stab Resistance of Personal Body Armor*.

Body armor manufacturers and purchasers may use this standard to help to determine whether specific armor models meet the minimum performance standards and test methods identified in this document. However, NIJ strongly encourages body armor manufacturers to participate in the NIJ Voluntary Compliance Testing Program (CTP) and encourages purchasers to insist that the armor model(s) they purchase be tested by the NIJ CTP and be listed on the NIJ Compliant Products List. This will help to assure that the armor models will meet the minimum performance standards for use by the criminal justice community.

The ballistic tests described in this standard have inherent hazards. Adequate safeguards for personnel and property must be employed when conducting these tests.

This page intentionally left blank.



2. NIJ BODY ARMOR CLASSIFICATION

Personal body armor covered by this standard is classified into five types (IIA, II, IIIA, III, IV) by level of ballistic performance. In addition, a special test class is defined to allow armor to be validated against threats that may not be covered by the five standard classes.

The classification of an armor panel that provides two or more levels of NIJ ballistic protection at different locations on the ballistic panel shall be that of the minimum ballistic protection provided at any location on the panel.

2.1 Type IIA (9 mm; .40 S&W)

Type IIA armor that is new and unworn shall be tested with 9 mm Full Metal Jacketed Round Nose (FMJ RN) bullets with a specified mass of 8.0 g (124 gr) and a velocity of $373 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$ ($1225 \text{ ft/s} \pm 30 \text{ ft/s}$) and with .40 S&W Full Metal Jacketed (FMJ) bullets with a specified mass of 11.7 g (180 gr) and a velocity of $352 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$ ($1155 \text{ ft/s} \pm 30 \text{ ft/s}$).

Type IIA armor that has been conditioned shall be tested with 9 mm FMJ RN bullets with a specified mass of 8.0 g (124 gr) and a velocity of $355 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$ ($1165 \text{ ft/s} \pm 30 \text{ ft/s}$) and with .40 S&W FMJ bullets with a specified mass of 11.7 g (180 gr) and a velocity of $325 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$ ($1065 \text{ ft/s} \pm 30 \text{ ft/s}$).

2.2 Type II (9 mm; .357 Magnum)

Type II armor that is new and unworn shall be tested with 9 mm FMJ RN bullets with a specified mass of 8.0 g (124 gr) and a velocity of $398 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$ ($1305 \text{ ft/s} \pm 30 \text{ ft/s}$) and with .357 Magnum Jacketed Soft Point (JSP) bullets with a specified mass of 10.2 g (158 gr) and a velocity of $436 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$ ($1430 \text{ ft/s} \pm 30 \text{ ft/s}$).

Type II armor that has been conditioned shall be tested with 9 mm FMJ RN bullets with a specified mass of 8.0 g (124 gr) and a velocity of $379 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$ ($1245 \text{ ft/s} \pm 30 \text{ ft/s}$) and with .357 Magnum JSP bullets with a specified mass of 10.2 g (158 gr) and a velocity of $408 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$ ($1340 \text{ ft/s} \pm 30 \text{ ft/s}$).

2.3 Type IIIA (.357 SIG; .44 Magnum)

Type IIIA armor that is new and unworn shall be tested with .357 SIG FMJ Flat Nose

(FN) bullets with a specified mass of 8.1 g (125 gr) and a velocity of $448 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$ ($1470 \text{ ft/s} \pm 30 \text{ ft/s}$) and with .44 Magnum Semi Jacketed Hollow Point (SJHP) bullets with a specified mass of 15.6 g (240 gr) and a velocity of $436 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$ ($1430 \text{ ft/s} \pm 30 \text{ ft/s}$).

Type IIIA armor that has been conditioned shall be tested with .357 SIG FMJ FN bullets with a specified mass of 8.1 g (125 gr) and a velocity of $430 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$ ($1410 \text{ ft/s} \pm 30 \text{ ft/s}$) and with .44 Magnum SJHP bullets with a specified mass of 15.6 g (240 gr) and a velocity of $408 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$ ($1340 \text{ ft/s} \pm 30 \text{ ft/s}$).

2.4 Type III (Rifles)

Type III hard armor or plate inserts shall be tested in a conditioned state with 7.62 mm FMJ, steel jacketed bullets (U.S. Military designation M80) with a specified mass of 9.6 g (147 gr) and a velocity of $847 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$ ($2780 \text{ ft/s} \pm 30 \text{ ft/s}$).

Type III flexible armor shall be tested in both the “as new” state and the conditioned state with 7.62 mm FMJ, steel jacketed bullets (U.S. Military designation M80) with a specified mass of 9.6 g (147 gr) and a velocity of $847 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$ ($2780 \text{ ft/s} \pm 30 \text{ ft/s}$).

For a Type III hard armor or plate insert that will be tested as an *in conjunction* design, the flexible armor shall be tested in accordance with this standard and found compliant as a stand-alone armor at its specified threat level. The combination of the flexible armor and hard armor/plate shall then be tested as a system and found to provide protection at the system’s specified threat level. NIJ-approved hard armors and plate inserts must be clearly labeled as providing ballistic protection only when worn in conjunction with the NIJ-approved flexible armor system with which they were tested.

2.5 Type IV (Armor Piercing Rifle)

Type IV hard armor or plate inserts shall be tested in a conditioned state with .30 caliber armor piercing (AP) bullets (U.S. Military designation M2 AP) with a specified mass of 10.8 g (166 gr) and a velocity of $878 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$ ($2880 \text{ ft/s} \pm 30 \text{ ft/s}$).

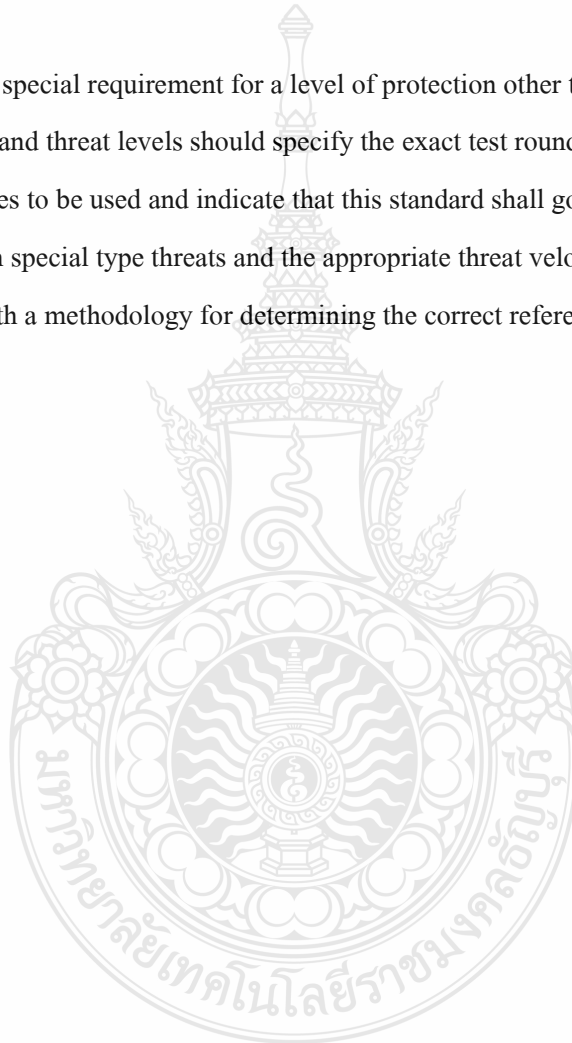
Type IV flexible armor shall be tested in both the “as new” state and the conditioned state with .30 caliber AP bullets (U.S. Military designation M2 AP) with a specified mass of 10.8 g (166 gr) and a velocity of $878 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$ ($2880 \text{ ft/s} \pm 30 \text{ ft/s}$).

For a Type IV hard armor or plate insert that will be tested as an *in conjunction* design,

the flexible armor shall be tested in accordance with this standard and found compliant as a stand-alone armor at its specified threat level. The combination of the flexible armor and hard armor/plate shall then be tested as a system and found to provide protection at the system's specified threat level. NIJ-approved hard armors and plate inserts must be clearly labeled as providing ballistic protection only when worn in conjunction with the NIJ-approved flexible armor system with which they were tested.

2.6 Special Type

A purchaser having a special requirement for a level of protection other than one of the above standard types and threat levels should specify the exact test round(s) and reference measurement velocities to be used and indicate that this standard shall govern all other aspects. Guidance on common special type threats and the appropriate threat velocities is provided in appendix B, along with a methodology for determining the correct reference velocity for other threats.



3. DEFINITIONS

3.1 Absolute Humidity: The quantity of water in a given volume of air, often reported in grams per cubic meter.

3.2 Accessory Ballistic Panels: Accessory panels are armor components that are detachable or removable from the primary body armor sample and are intended to provide comparable ballistic protection. Examples of accessory panels include groin, coccyx, and side protection panels, which are attached to or inserted into the external armor carrier but are not integral to the armor panels or armor sample.

3.3 Angle of Incidence: The angle between the bullet's line of flight and the perpendicular to the front surface of the backing material fixture as shown in figure 1.

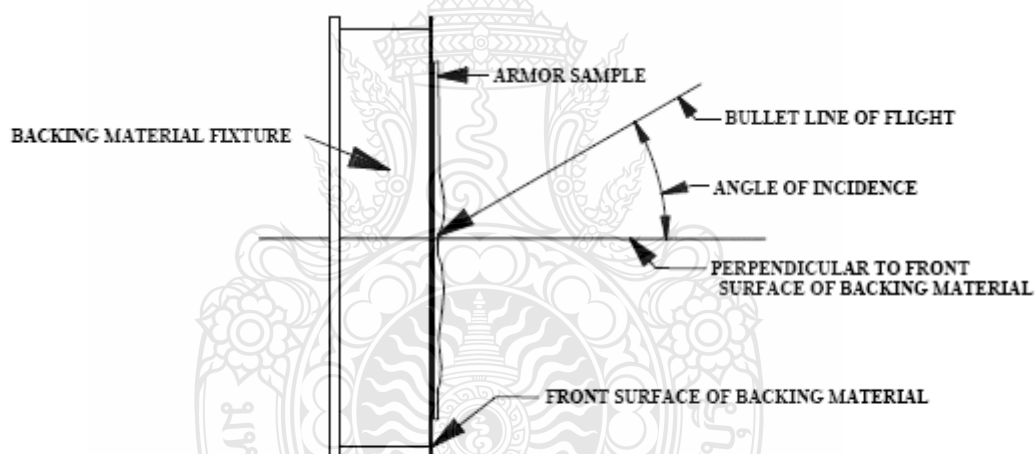


Figure 1. Angle of incidence

3.4 Armor Carrier: A component of the armor sample or armor panel whose primary purpose is to retain the ballistic panel and provide a means of supporting and securing the armor garment to the user. Generally, the carrier is not ballistic resistant.

3.5 Armor Conditioning: Environmental and mechanical conditioning of armor prior to ballistic testing, which consists of exposure to specified conditions of temperature, humidity, and mechanical damage.

3.6 Armor Panel or Panel: The portion of an armor sample that consists of an external ballistic cover and its internal ballistic panel. The word “panel,” if not preceded by the

word “ballistic,” refers to an armor panel in this standard.

3.7 Armor Sample: One complete armor garment. Typically, a front armor panel, a back armor panel, and the armor carrier comprise a body armor sample. The armor sample may be a single wraparound style or consist of multiple parts that are worn around the body.

3.8 Backface Signature (BFS): The greatest extent of indentation in the backing material caused by a nonperforating impact on the armor. The BFS is the perpendicular distance between two planes, both of which are parallel to the front surface of the backing material. One plane contains the reference point on the original (pretest) backing material surface that is co-linear with the bullet line of flight. (If armor were not present, the bullet

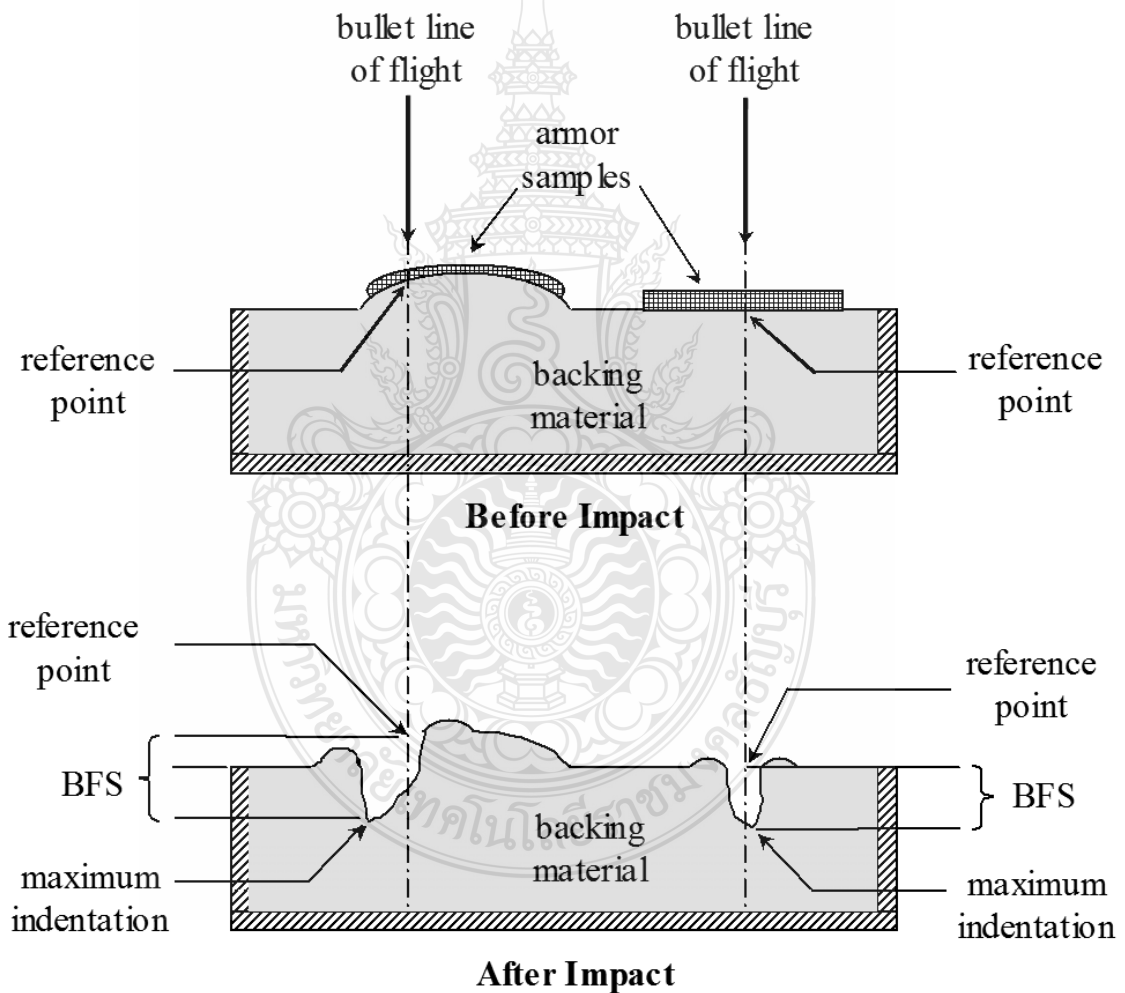


Figure 2. Examples of BFS measurements

would strike this point.) The other plane contains the point that represents the deepest indentation in the backing material. Depending on bullet–armor–backing material interactions, the two points that define the locations of the measurement planes may not be

co-linear with the bullet line of flight. Examples of how BFS is measured are shown in figure 2.

3.9 Backing Material: A homogenous block of nonhardening, oil-based modeling clay placed in contact with the back of the armor panel during ballistic testing.

3.10 Backing Material Fixture: A box-like rigid frame, with a removable back, which contains the backing material. The removable back is used for perforation-backface signature testing but is not used for ballistic limit testing.

3.11 Ballistic Limit: For a given bullet type, the velocity at which the bullet is expected to perforate the armor 50 % of the time. The ballistic limit is typically denoted as the V50 or V50 value.

3.12 Ballistic Panel: The protective component of an armor sample or armor panel, consisting primarily of ballistic resistant materials. The ballistic panel is usually enclosed in a nonremovable panel cover, which is considered part of the ballistic panel. The ballistic panel is normally enclosed within an armor carrier.

3.13 Baseline Ballistic Limit: The experimentally derived ballistic limit of an armor model when new.

3.14 Body Armor: An item of personal protective equipment that provides protection against specific ballistic threats within its coverage area. In this standard, the term body armor refers to that which provides coverage primarily for the torso.

3.15 Complete Penetration: This nomenclature is no longer used in this standard. See “perforation.” *Perforation* replaces *complete penetration*. Although the terms *partial penetration* and *complete penetration* are no longer used in this standard, they may still be used by test laboratories for compatibility with military standards.

3.16 Compliance Test Group: A group of armor samples submitted for testing according to this standard.

3.17 Condensation: Precipitation of water vapor on a surface whose temperature is lower than the dew point of the ambient air. The dew point depends on the quantity of water vapor in the air. The dew point, the absolute humidity, and the vapor pressure are directly interdependent. Condensation occurs on a test item when the temperature at the surface of the item placed in the test chamber is lower than the dew point of the air in the chamber. As a result, the item may need to be preheated to prevent condensation.

3.18 Dewpoint (or dew point): The temperature to which a parcel of air must be cooled (at constant barometric pressure) for water vapor present in the air to condense into water (dew).

3.19 Fair Hit: The impact of a bullet on an armor panel that meets the shot spacing and velocity requirements of section 7.6.

3.20 Flexible Body Armor: Body armor constructed of pliable, textile-based materials such that the complete system is capable of being flexed. Such systems are typically in the form of vests or jackets that provide greater coverage area than rigid plate armor. Generally, these armors provide protection against handgun threats.

3.21 Full Metal Jacketed Bullet (FMJ): A bullet consisting of a lead core completely covered, except for the base, with copper alloy (approximately 90 % copper and 10 % zinc). “Total Metal Jacket (TMJ),” “Totally Enclosed Metal Case (TEMC),” and other commercial terminology for bullets with electro-deposited copper and copper alloy coatings have been tested and are considered comparable to FMJ bullets for this standard.

3.22 Hard Armor or Rigid Armor: Rigid armor systems, plates, inserts, accessories, or semirigid armor systems constructed with rigid plates that are typically designed to provide protection against rifle threats.

3.23 In Conjunction Armor: A combination of either two flexible armor panels or a flexible armor with a plate insert that is designed to provide increased stab or ballistic protection. For an *in conjunction* armor system designed with a separate flexible stab armor panel insert added to the flexible ballistic panel and intended to provide dual threat protection against stab and ballistic threats, the complete system must be tested in the end-use configuration to meet the requirements of this standard. If the flexible ballistic armor is designed to be worn separately from the stab armor panel, the flexible armor shall be tested in accordance with this standard and found compliant as a stand-alone armor at its specified threat level.

For an *in conjunction* armor designed to meet the requirements of NIJ Standard–0101.06, the flexible armor shall be tested in accordance with this standard and found compliant as a stand-alone armor at its specified threat level. The combination of the flexible armor and hard armor/plate shall then be tested as a system and found to provide protection at the system’s specified threat level. NIJ-approved hard armors and plate inserts must be clearly labeled as providing ballistic protection only when worn in conjunction with the NIJ-approved flexible armor system with which they were tested.

3.24 In Conjunction Plate: An insert that is designed to provide increased ballistic or stab protection only when it is used with a particular model of a flexible armor vest or jacket.

3.25 Insert: A removable or nonremovable unit of ballistic material that can enhance the ballistic performance of the armor panel in a localized area but not over the entire area intended for ballistic protection. Some inserts are known as *trauma packs*, *trauma plates*, or *trauma inserts*, but other forms of inserts are possible.

3.26 Jacketed Hollow Point Bullet (JHP): A bullet consisting of a lead core that has a hollow cavity or hole located in the nose of the bullet and is completely covered, except for the hollow point, with a copper alloy (approximately 90 % copper and 10 % zinc) jacket.

3.27 Jacketed Soft Point Bullet (JSP): A lead bullet that is completely covered, except for the nose, with a copper alloy (approximately 90 % copper and 10 % zinc) jacket. This bullet is also known as a Semi Jacketed Soft Point (SJSP).

3.28 Lead Bullet: A bullet made entirely of lead, which may be alloyed with hardening agents.

3.29 Maximum Velocity: The specified reference velocity for a given threat round (table 4) plus 9.1 m/s (30 ft/s).

3.30 Minimum Velocity: The specified reference velocity for a given threat round (table 4) minus 9.1 m/s (30 ft/s).

3.31 Nonplanar Armor: Body armor with features that prevent the armor from making full contact with the backing material surface. Examples include female body armor with bust cups and curved rigid plates.

3.32 Panel: See *Armor Panel*.

3.33 Penetration: Any impact where the projectile passes into the armor is a penetration. A penetration may either be a *stop* or a *perforation*. The result is considered a *stop* or *partial penetration* if (1) the entire projectile is captured or deflected by the armor, and (2) no fragments of either the projectile or the armor become embedded in the backing material. If any part of the projectile passes through the armor, the result is considered a *perforation* or a *complete penetration*. Although the terms *partial penetration* and *complete penetration* are no longer used in this standard, they may still be used by test laboratories for compatibility with military standards.

3.34 Perforation: Any impact that creates a hole passing through the armor. This may be evidenced by any of the following: (1) the presence of the projectile, a projectile fragment, or an armor fragment in the clay backing material; (2) a hole that passes through the armor

and/or backing material; or (3) any portion of the bullet being visible from the body side of the armor panel. The term *perforation* is synonymous with the term *complete penetration*.

3.35 Plate Inserts: Hard armor plates or semi-rigid plates that are intended to be inserted into pockets of flexible vests and jackets to provide increased protection, particularly to provide protection against rifle threats.

3.36 Reference Velocity: The specified measurement velocity goal for test rounds used in perforation-backface signature ballistic performance tests.

3.37 Relative Humidity: The ratio of the amount of water in a given parcel of air at a given temperature to the maximum amount of water that the air can hold at that temperature.

3.38 Rigid Armor or Systems: See 3.22 *Hard Armor*.

3.39 Round Nose Bullet (RN): A bullet with a blunt or rounded nose. A bullet with a generally blunt or rounded nose or tip, which possesses a small flat surface at the tip of the bullet, shall also be considered a round nose bullet for this standard.

3.40 Semi Jacketed Hollow Point Bullet (SJHP): A bullet consisting of a lead core with a copper alloy (approximately 90 % copper and 10 % zinc) jacket covering the base and bore riding surface (major diameter), which leaves some portion of the lead core exposed, thus forming a lead nose or tip, which has a hollow cavity or hole located in the nose or tip of the bullet.

3.41 Semi Jacketed Soft Point Bullet (SJSP): A bullet, also known as a Jacketed Soft Point (JSP), consisting of a lead core with a copper alloy (approximately 90 % copper and 10 % zinc) jacket covering the base and bore riding surface (major diameter), which leaves some portion of the lead core exposed, thus forming a lead nose or tip.

3.42 Shot-to-Edge Distance: The distance from the center of the bullet impact to the nearest edge of the ballistic panel.

3.43 Shot-to-Shot Distance: The distance from the center of the bullet impact to the center of the nearest prior bullet impact.

3.44 Stop: The outcome of a shot where the projectile is either captured or deflected by the armor, with no portion of the projectile or fragments of the armor *perforating* the armor.

3.45 Striking Device: A device used to establish an appropriate, flat reference surface for the backing material (see 3.9 *Backing Material*).

3.46 Strike Face: The surface of an armor sample or panel designated by the manufacturer as the surface that should face the incoming ballistic threat. Also, the side of the armor

opposite the wear face (see 3.51 *Wear Face*).

3.47 Test Series: The set of all shots necessary to obtain the required number of fair hits on a single armor panel or plate, as defined in table 4, and the set of all shots necessary to generate ballistic limit response data, as defined in table 8.

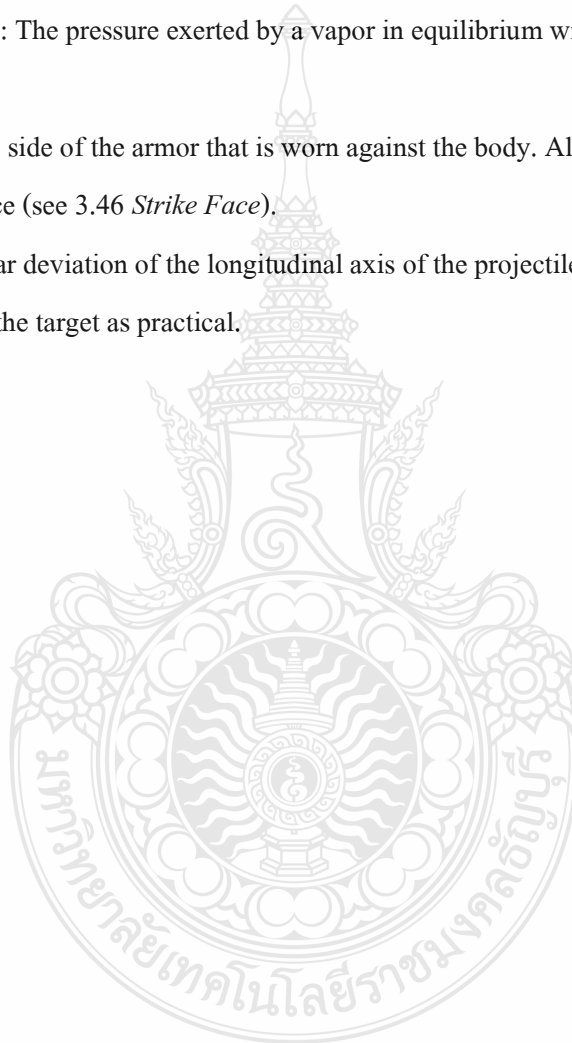
3.48 Textile-Based Materials: Materials manufactured by weaving or felting yarns into a fabric, or by embedding or laminating fibers in sheets of plastic film.

3.49 Trauma Insert/Pack/Plate: See 3.25 *Insert*.

3.50 Vapor Pressure: The pressure exerted by a vapor in equilibrium with its solid or liquid phase.

3.51 Wear Face: The side of the armor that is worn against the body. Also, the side of the armor opposite the strike face (see 3.46 *Strike Face*).

3.52 Yaw: The angular deviation of the longitudinal axis of the projectile from its line of flight, measured as close to the target as practical.



4. SAMPLE REQUIREMENTS AND LABORATORY CONFIGURATION

For an armor model to comply with this standard, all requirements of this section shall be met, and the appropriate number of samples shall be subjected to the tests defined in section 5, section 6, and section 7.

4.1 Test Samples

4.1.1 Flexible Vests and Jackets

For flexible armor in the form of concealable or tactical vests or jackets, 14 complete armors per test threat, sized as described in section 4.1.1.1, shall constitute the compliance test group.

Types IIA through IIIA armor shall be tested with two test threats and the compliance test group will consist of 28 complete armors. Types III and IV armor shall be tested with a single test threat, and the compliance test group will consist of 14 complete armors. If special testing is to be performed with additional test threats, the compliance test group will require an additional 14 complete armors for each additional test threat.

Refer to table 1, figure 3, figure 4, and the following sections for details on the required sample sizes and the tests to be performed on each. Additional samples may be required if optional tests are to be performed or if all necessary testing cannot be completed on the standard compliance test group.

4.1.1.1 Test Sample Sizes

Two sizes are required in the compliance test group: larger sized and smaller sized. The sizes of the armor samples will depend on the range of the sizes over which the armor model will be produced. Sample armor sizing templates are provided in appendix C. Table 1 summarizes the quantities required for each armor template size.

Larger sized test samples: The armor manufacturer shall determine which template size most closely matches the largest size of the armor model that the manufacturer will produce.

Table 1. Armor samples required for each test threat (flexible vests and jackets)

(Note that quantities below should be doubled for types with 2 threats [Types IIA – IIIA])

Armor Template Size	Number Required	Armor Condition		Ballistic Tests			
		New	Conditioned	P-BFS	Ballistic Limit	Spare	
Larger	11	8		New	2	5	1
			3	Conditioned	1	1	1
Smaller	3	2		New	2	-	-
			1	Conditioned	1	-	-
Total	14	10	4		6	6	2

For each test threat, the manufacturer shall provide 11 armor samples that fit this selected template. These armors will be referred to as the larger sized test samples.

Smaller sized test samples: The armor manufacturer shall determine which template size most closely matches the smallest size of the armor model that the manufacturer will produce.

For each test threat, the manufacturer shall provide three armor samples that fit this selected template. These armors will be referred to as the smaller sized test samples.

4.1.1.2 Sample Utilization

Conditioned Samples: Refer to table 1, figure 3, and figure 4. From each group of 14 armors, one small sized armor and three large sized armors shall be selected at random and subjected to the armor conditioning protocol described in section 5. After the selected samples have been conditioned, the one small sized sample and one randomly selected large sized sample shall be subjected to the Perforation and Backface Signature (P-BFS) test described in section 7. Of the remaining two large sized samples, one shall be randomly selected and subjected to the Ballistic Limit (BL) test described in section 7. The remaining sample is a spare.

New Samples: Refer to table 1, figure 3, and figure 4. From each group of 14 armors, two small sized armors and two large sized armors shall be selected at random and subjected to the P-BFS test described in section 7. Five large sized armors will be selected at random and subjected to the BL test described in section 7. The remaining sample is a spare.

4.1.2 Hard Armors and Plate Inserts

All hard armors and plate inserts shall be subjected to a 24 shot P-BFS test and to either a 24 shot or a 12 shot BL test. All hard armors and plate inserts shall be conditioned per section 6 prior to ballistic testing. All hard armors and plate inserts shall be no larger than 254 mm x 305

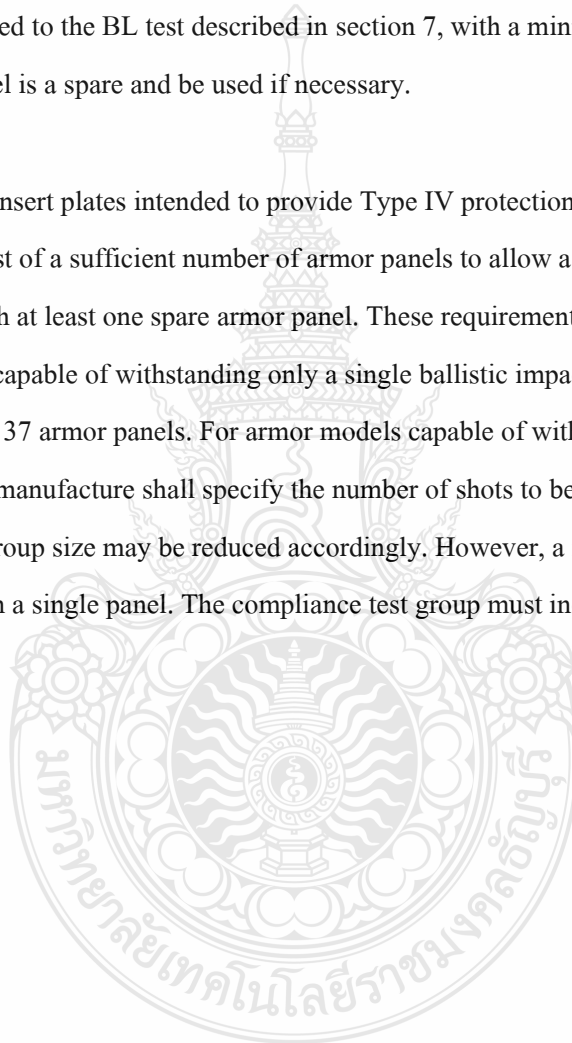
mm (10.0 in x 12.0 in) for testing. The required number of armor samples is dependent on the armor type, as described in the following sections.

4.1.2.1 Type III

For hard armors and insert plates intended to provide Type III protection, the compliance test group shall consist of nine armor panels. The armor panels shall be sufficiently large to allow for a minimum of six shots per panel. These requirements are outlined in figure 5. Four armor panels will be used for the P-BFS testing described in section 7. A minimum of four armor panels will be subjected to the BL test described in section 7, with a minimum of 24 shots. The remaining armor panel is a spare and be used if necessary.

4.1.2.2 Type IV

For hard armors and insert plates intended to provide Type IV protection, the compliance test group shall consist of a sufficient number of armor panels to allow a 24 shot P-BFS test and a 12 shot BL test, with at least one spare armor panel. These requirements are outlined in figure 6. For armor models capable of withstanding only a single ballistic impact, the compliance test group shall consist of 37 armor panels. For armor models capable of withstanding multiple ballistic impacts, the manufacture shall specify the number of shots to be fired at each panel, and the compliance test group size may be reduced accordingly. However, a maximum of six P-BFS shots may be taken on a single panel. The compliance test group must include one armor panel as a spare.



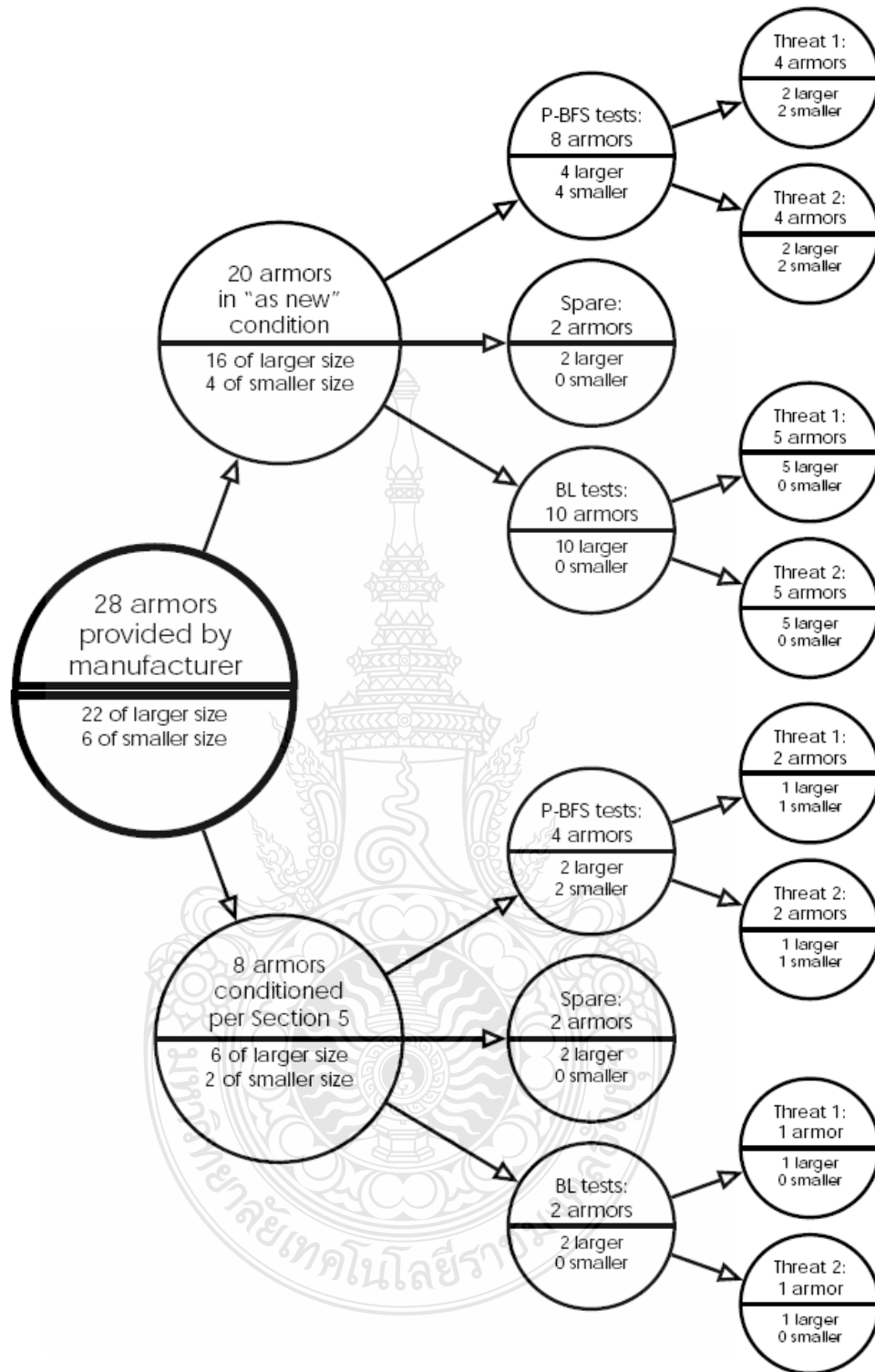


Figure 3. Sample quantity and utilization for armor Types IIA, II, and IIIA

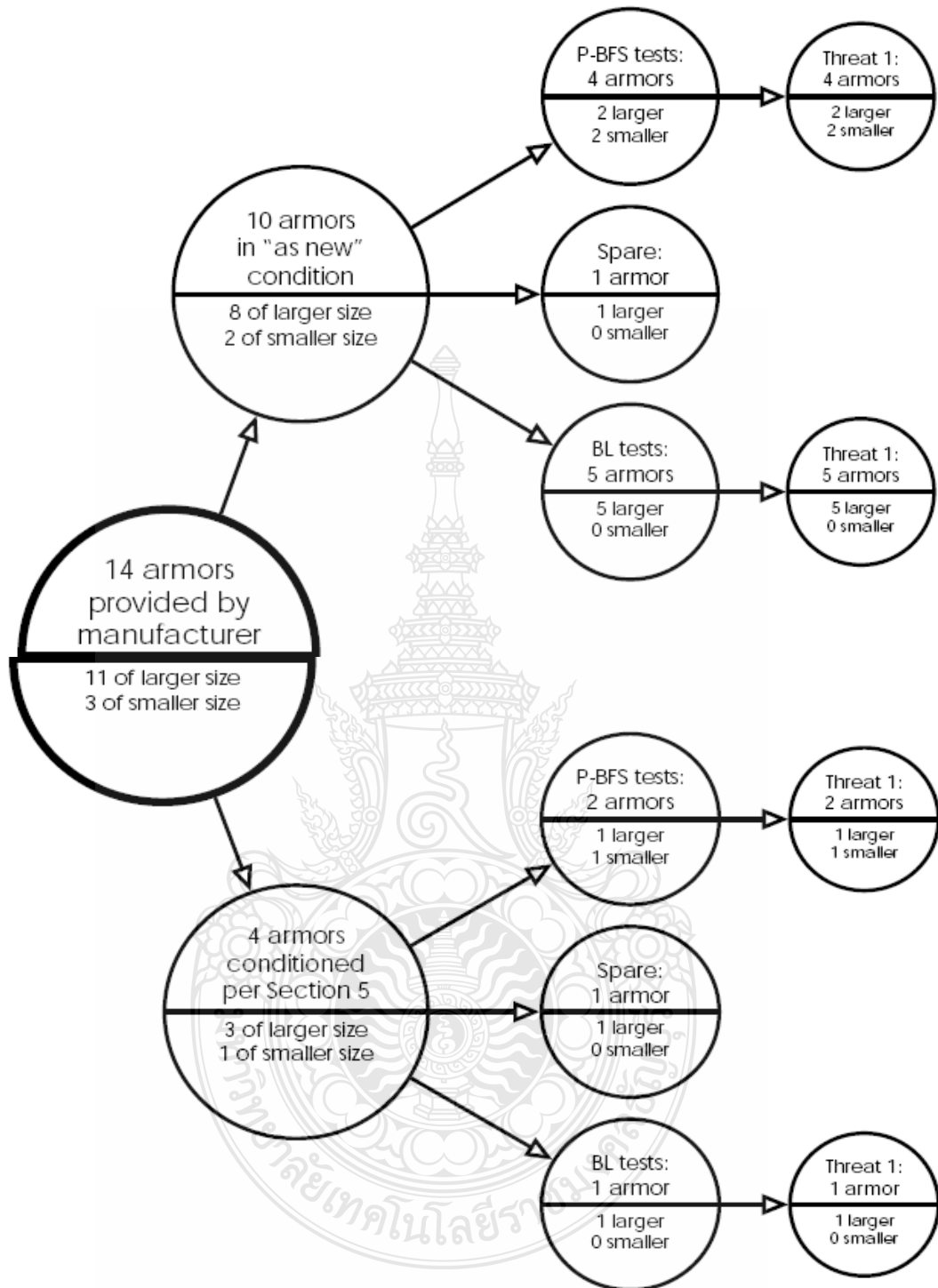


Figure 4. Sample quantity and utilization for flexible armor of Type III, Type IV, and Type Special

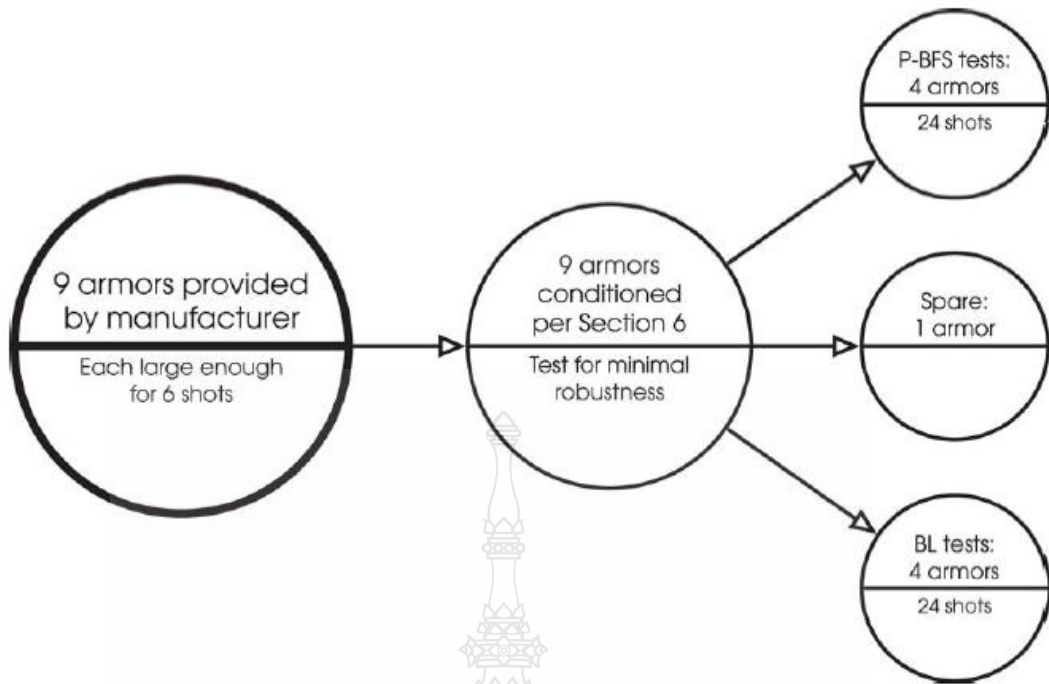


Figure 5. Sample quantity and utilization for hard armors and plate inserts of Type III

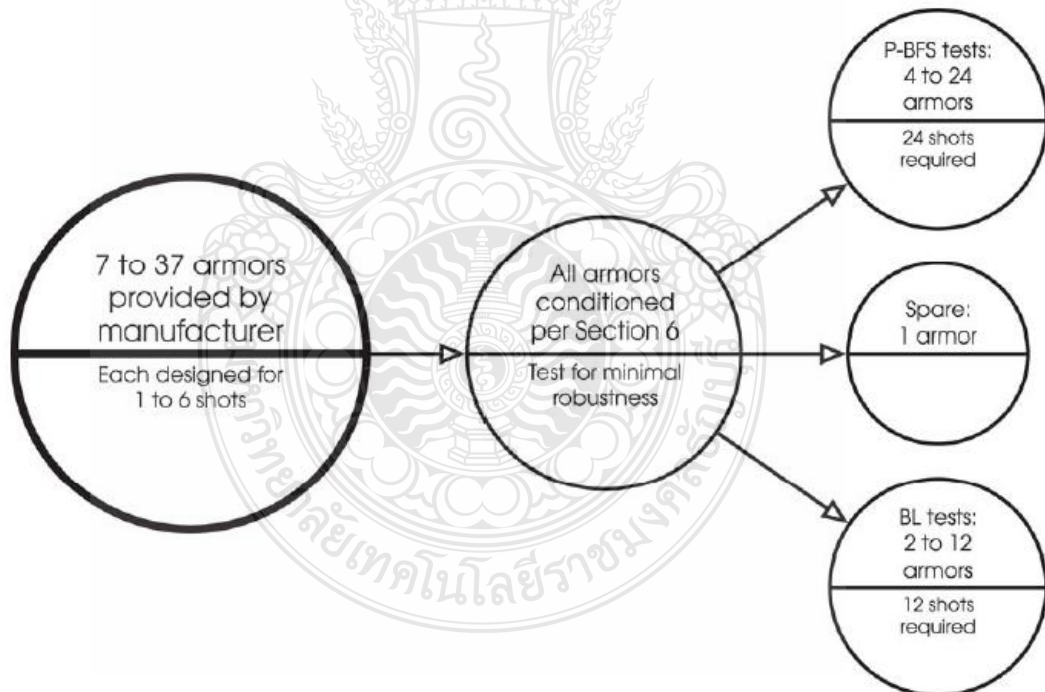


Figure 6. Sample quantity and utilization for hard armors and plate inserts of Type IV

4.1.3 Accessory Ballistic Panels

All accessory ballistic panels shall be subjected to a 24 shot P-BFS test for each threat round. For groin and coccyx protectors, eight samples are required for each threat round, and each sample will be subjected to at least three shots. For other types of accessory panels, the required number of armor samples will be dependent on the panel size, and the number of impacts per test sample shall be determined by the fair hit impact spacing criteria for flexible armor panels. A maximum of six P-BFS shots may be taken on a single panel.

4.1.4 Workmanship

All armor shall be free from evidence of inferior workmanship, such as wrinkles, blisters, cracks or fabric tears, fraying, crazing, or chipped or sharp corners and edges. Stitching must be straight and secure. All samples shall be identical in appearance and manner of construction. All samples of flexible vests and jackets shall be sized to meet the appropriate sizing templates, and all armors in each size group shall be identically sized. There shall be no variance in construction details between individual armor samples or between any armor sample and the manufacturer's documentation.

4.1.5 Labeling

Armor shall be durably and clearly marked (labeled) in a readable type and font size, with a pretest label in accordance with the requirements set forth below. An example is shown in figure 7.

4.1.5.1 Ballistic Panels

Every ballistic panel cover shall have a label. The label shall be permanently attached to the face of the panel. The label shall contain the following information (figure 7):

- (a) Name, logo or other identification of the manufacturer.
- (b) The rated level of protection, according to section 2 of this standard and referenced to this edition of the standard (i.e., Type II in accordance with NIJ Standard-0101.06).
- (c) A test ID number or model designation that uniquely identifies the armor design for testing purposes.
- (d) The panel size.
- (e) A sample number or serial number that uniquely identifies each armor sample.
- (f) Location of manufacture.
- (g) The date of manufacture.
- (h) Identification of the proper orientation of the ballistic panel, i.e., strike face or wear face.

(i) A warning in 14 point or larger type and a minimum of 1 ½ times larger than the rest of the type on the label, exclusive of the information required in (a) above, stating that the armor panel is a test sample that has not yet been demonstrated to provide ballistic resistance and that the armor panel is not intended to be worn. Printing color changes are acceptable but cannot be substituted for the type size requirement herein.

These labeling requirements apply to armor samples of models that are being submitted for precompliance or compliance testing.

4.1.5.1.1 Labeling Requirements for Armors Listed on the NIJ Compliant Products List

Armor samples of models that have been listed on the NIJ Compliant Products List and that are being retested, lot tested, etc. shall be labeled in accordance with the requirements of the Compliance Testing Program (CTP). Label requirements for armors listed on the NIJ Compliant Products List are provided in the NIJ Voluntary CTP Administrative Procedures Manual. In addition to the requirements of the CTP, all armor panels of listed models shall include the following:

- (a) The rated level of protection, according to section 2 of this standard and referenced to this edition of the standard (i.e., Type II in accordance with NIJ Standard–0101.06).
- (b) Strike face or wear face. The proper orientation of the ballistic panel in the carrier must be clearly identified.
- (c) For Types IIA, II, and IIIA armor, a warning in type not less than 14 point and a minimum of 1 ½ times larger than the rest of the type on the label, exclusive of the manufacturer identification and logo, stating that the armor is not intended to protect the wearer from rifle fire.
- (d) If applicable, a warning in type not less than 14 point and a minimum of 1 ½ times larger than the rest of the type on the label, exclusive of the manufacturer identification and logo, stating that the armor is not intended to protect the wearer from sharp edged or pointed instruments. This warning may be combined with the warning in (c) above.

4.1.5.2 Armor Carriers With Nonremovable Ballistic Panels

Armor with ballistic panels that are nonremovable shall, in addition to the label required for the ballistic panel, have a label on the carrier (figure 7) that is in conformance with the requirements for the ballistic panels, unless the armor is so constructed that the ballistic panel label is not covered by the carrier. The label may be positioned in a location where it is not visible when the armor is worn, but it shall be easy to locate and easily readable when the armor

is donned and doffed.

4.1.5.3 Label Permanency and Durability

All labels shall be sufficiently permanent and durable so that they will remain securely attached to the armor or carrier and be fully legible for the life of the armor. The durability of the label markings shall be checked with the following procedure:

[1] A representative area of the label markings shall be rubbed by hand for 15 s with a cotton cloth soaked with distilled water.

[2] The same area shall then be rubbed by hand for 15 s with a cotton cloth soaked with denatured alcohol (methylated spirit).

[3] Finally, the same area shall then be rubbed by hand for 15 s with cotton cloth soaked with isopropyl alcohol.

The label markings within the representative area must remain legible.

This test shall be performed on either a stand-alone example label or on a label of a spare armor sample. **This test shall not be performed on an armor sample that will subsequently undergo ballistic testing, unless approved by the armor manufacturer.**

The labels of armor samples subjected to the armor conditioning protocol in section 5 must remain legible after the conditioning has been completed; however, these samples will not be subjected to the durability test described in the preceding paragraphs.

Company Name
Company Address
[Company Logo - Optional]

Warning: Test Article

This armor panel is intended for testing. *It is **not** intended for personal use. It has **not** been demonstrated to have any ballistic resistance.*

Do Not Wear!

Test ID: _____

Size: _____

Location of Manufacture: _____

Date of Manufacture: ____/____/____

Lot Number: _____

Sample Number: _____

Threat Level (NIJ 0101.06): _____

Location of Manufacture: _____

Date of Manufacture: ____/____/____

Lot Number: _____

Sample Number: _____

Threat Level (NIJ 0101.06): _____

Warning: Test Article

This armor panel is intended for testing. *It is **not** intended for personal use. It has **not** been demonstrated to have any ballistic resistance.*

Do Not Wear!

**** Wear Face ****

This side to be positioned
against backing material.

Figure 7. Example label for test samples

4.1.6 Armor Carriers With Removable Ballistic Panels

Armor with ballistic panels that are removable shall be submitted for testing with cotton or polycotton carriers with an areal density of not more than 250 g/m² (7.37 oz/yd²). The test carriers shall not have strapping, strapping attachment points, pockets for accessory plates or trauma packs, or any accessory mounting points, with the following exceptions:

- (a) Armors submitted for testing in conjunction with Type III or Type IV plates shall have the necessary pockets for the plates with which they will be tested.
- (b) Armors that are to be tested using their own strapping for mounting and support during the tests shall have appropriate strapping and strapping attachment points. If the strapping or strapping attachment materials are deemed by the CTP to have a significant influence on the ballistic performance, then the armor shall be treated as if the ballistic panels were nonremovable and should be tested in carriers of the same construction as will be used for production armors.
- (c) Armor carriers for samples that will undergo the conditioning protocol described in section 5 shall not have strapping, strapping attachment points, or any accessory mounting points. For armors that are to be tested using their own strapping for mounting and support, separate carriers may be provided for the conditioning protocol and ballistic testing.

4.1.7 Armors With Built-In Inserts or Trauma Packs

For armor models that contain built-in inserts or trauma packs, manufacturers must submit a detailed diagram of the location of each trauma pack. During the P-BFS test, the shot locations shall be adjusted so that areas other than the built-in inserts or trauma packs are tested.

4.2 Laboratory Configuration and Test Equipment

The armor shall be tested in a facility and with test equipment that meets the following requirements.

4.2.1 Range Configuration

4.2.1.1 Ambient Test Conditions

The ambient conditions shall be recorded before and after each armor panel firing sequence (6 or 12 shots) and, unless otherwise specified, shall be as stated below.

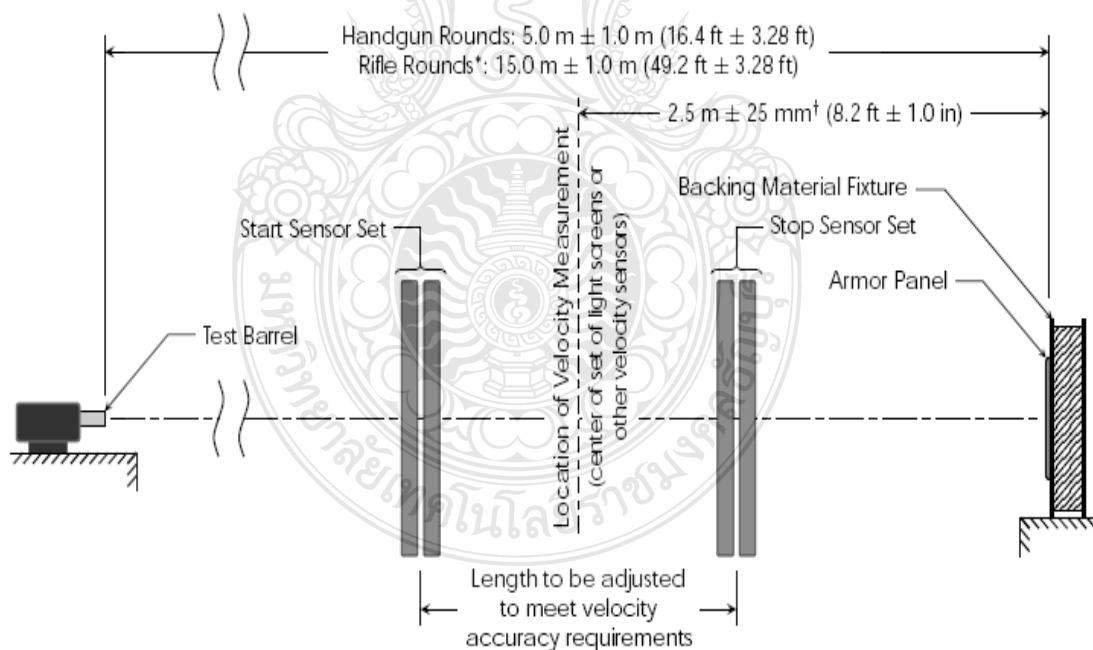
- (a) Temperature: 21 °C ± 2.9 °C (70 °F ± 5 °F).
- (b) Relative humidity: 50 % ± 20 %.

4.2.1.2 Range Preparation

The test equipment will be arranged as shown in figure 8. For handgun rounds, the armor panel shall be mounted $5.0\text{ m} \pm 1.0\text{ m}$ ($16.4\text{ ft} \pm 3.28\text{ ft}$) from the muzzle of the test barrel, and for rifle rounds, the armor panel should be mounted $15\text{ m} \pm 1.0\text{ m}$ ($49.2\text{ ft} \pm 3.28\text{ ft}$) from the muzzle of the test barrel, with the following exception. In order to minimize the possibility of excessive yaw at impact, or for other range configuration reasons, the distance may be adjusted for each threat; however, the distance shall not be less than 4 m (13.1 ft) for any round. In the case of rifle rounds, if the distance is adjusted to less than 14 m (45.9 ft), the bullet yaw shall be experimentally verified to confirm that the angle of incidence is within 5° of the intended angle. The backing material fixture should be rigidly held by a suitable test stand, which shall permit the entire armor and backing material assembly to be shifted vertically and horizontally such that the entire face of the backing material can be targeted.

4.2.1.3 Instrumentation

Before testing, all electronic equipment will be allowed sufficient time to warm up so that stability is achieved.



*For rifle rounds the length may be further adjusted to minimize yaw at impact; however, in such cases the yaw at impact must be experimentally shown to be less than 5° and reasonably close to minimal.

†Tolerance for 0° shots. For 30° and 45° shots the tolerance shall be $+ 25\text{ mm}/- 190\text{ mm}$ ($+ 1.0\text{ in}/- 7.5\text{ in}$).

Figure 8. Test range configuration

4.2.2 Test Rounds and Barrels

4.2.2.1 Handloads

Handloaded rounds will generally be necessary to achieve the required velocities specified for the P-BFS tests in table 4 of section 7. Actual velocities achieved shall be within ± 30 ft/s of the specified velocity. The bullets shall be as specified in appendix A.

4.2.2.2 Test Barrels

The test barrels shall be ANSI/SAAMI unvented velocity test barrels (see section 8, References [2], [3], and [4]). No firearms will be used. The rifling of all barrels shall meet the ANSI/SAAMI specifications for that caliber round. Barrels shall not be shorter than the ANSI/SAAMI specifications; however, longer barrels may be used when necessary for achieving the required bullet velocity. Barrels with nonstandard chambers may also be used to allow the velocities required for BL testing.

4.2.2.3 Test Barrel Fixtures

The test barrels shall be mounted in an ANSI/SAAMI compatible universal receiver or an equivalent mounting fixture. The receiver/mount will be attached to a table or other fixture having sufficient mass and restraint to ensure accurate targeting of repetitively fired rounds.

4.2.3 Velocity Measurement Equipment

Test round velocities shall be determined using at least two independent sets of instrumentation. Fair velocity measurements are individual velocity measurements within 3 m/s (10 ft/s) of each other. The velocity recorded shall be the arithmetic mean of all fair velocity measurements. The velocity measurement instrumentation shall have a combined uncertainty of less than 1.0 m/s (3.3 ft/s).

4.2.3.1 Configuration

The velocity shall be measured at $2.5 \text{ m} \pm 0.025 \text{ m}$ ($8.2 \text{ ft} \pm 1.0 \text{ in}$) from the front face of the backing material. When a chronograph is used in conjunction with trigger screens, the screens shall be centered at $2.5 \text{ m} \pm 0.025 \text{ m}$ ($8.2 \text{ ft} \pm 1.0 \text{ in}$) in front of the front surface of the backing material. For angled shots only, the screens may be centered at $2.5 \text{ m} + 0.025 \text{ m} / - 0.190 \text{ m}$ ($8.2 \text{ ft} + 1.0 \text{ in} / - 7.5 \text{ in}$) in front of the front surface of the backing material. Such screens shall be securely mounted to maintain their required position and spacing.

For angled shots, the positioning tolerance for the trigger screens is relaxed to allow for backing material supports that pivot the backing material around a fixed point such that the range length will decrease slightly for angled shots. All instrumentation should be positioned with the

armor sample and backing material perpendicular to the line of fire and does not need to be repositioned for the angled shots.

4.2.4 Armor Submersion Equipment

The armor submersion equipment shall consist of a water bath sufficiently sized to allow at least one armor panel of the largest template size defined in appendix C to hang vertically, without any folds or bends, with the top edge of the armor at least 100 mm (3.9 in) below the surface of the water, and with at least 50 mm (2.0 in) clearance around the panel.

The water in the bath shall be clean and shall be either potable tap or demineralized water. The water shall be replaced anytime there are visible impurities in the water. The water temperature shall be 21 °C +2.9 °C/-5.8 °C (70 °F +5 °F/-10 °F).

4.2.5 Armor Backing Material

4.2.5.1 Backing Material Fixture

The inside dimensions of the backing material fixture shall be 610 mm x 610 mm with a depth of 140 mm (24.0 in x 24.0 in x 5.5 in). The tolerance on all dimensions is ± 2 mm (± 0.08 in).

The back of the fixture shall be removable and shall be constructed of 19.1 mm (0.75 in) thick wood or plywood.

4.2.5.2 Fixture Construction

The sides of the fixture shall be constructed of rigid wood or metal, preferably with a metal front edge to reliably guide the preparation of the flat front surface of the backing material.

4.2.5.3 Backing Material

In the interest of inter-laboratory conformity, Roma Plastilina No.11 oil-based modeling clay shall be used as the backing material. The backing material shall be replaced on an annual basis or more frequently if necessary.

4.2.5.4 Backing Material Surface Preparation

The clay in each backing material fixture shall be manipulated to produce a block free of voids, with a smooth front surface for the accurate and consistent measurement of depression depths. The front surface of the backing material shall be even with the reference surface plane defined by the fixture edges. Striking devices of sufficient length shall be used to ensure the reference surface is established using the edges of the clay block fixture as index points.

For nonplanar body armor, backing material shall be built up to conform to the shape of

the nonplanar armor. Calibration drop testing shall not be performed in the built-up area. 1 The use of brand names in this standard does not constitute endorsement by the U.S. Department of Justice; Office of Justice Programs; National Institute of Justice; U.S. Department of Commerce; National Institute of Standards and Technology; Office of Law Enforcement Standards; or any other agency of the United States Federal Government, nor does it imply that the product is best suited for other applications.

The built-up backing material shall be conditioned to the same temperature as the backing material in the fixture. During preparation and post-test repair, effort shall be made to locate and remove any debris, including but not limited to bullet fragments and armor components introduced into the block during testing.

4.2.5.5 Backing Material Conditioning

The clay backing material shall be conditioned in its fixture using a heated chamber or enclosure. Actual conditioning temperature and recovery time between uses will be determined by the results of the validation drop test described in section 4.2.5.6.

Additional clay, conditioned to the same initial temperature as the fixture, shall be used to fill voids and restore the front surface of the backing material as needed.

4.2.5.6 Backing Material Consistency Validation

Drop-test validation of the backing material shall be accomplished before every six shot P-BFS test sequence and before each 12 shot BL test sequence. During P-BFS testing, a post-test drop series shall also be performed immediately following the last test sequence before the backing material is returned to the conditioning chamber. Failure to meet drop-test depth requirements will result in the invalidation of all shot series since the last drop-test with acceptable depths of indentation, and will require that a new conditioned and drop test validated backing material fixture be used. Validation shall be accomplished using the equipment and techniques specified below:

- (a) Drop weight: Steel sphere.²
- (b) Drop weight size: 63.5 mm \pm 0.05 mm (2.5 in \pm 0.001 in) in diameter.
- (c) Drop weight mass: 1043 g \pm 5 g (2.29 lb \pm 0.01 lb).
- (d) Drop height: 2.0 m (6.56 ft).
- (e) Drop spacing: Minimum of 76 mm (3.0 in) from fixture edge to indent edge and a minimum of 152 mm (6.0 in) between indent centers.

Each validation drop will consist of a free release, targeted fall of the steel sphere onto the conditioned backing material. It is recommended that an aiming device, such as a pointing laser, be used to indicate the intended drop point on the backing material fixture. Five drops will be completed. The pretest and post-test drop positions will be located according to figure 9 and item (e) above.

The arithmetic mean of the five indentation depth measurements shall be $19 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ ($0.748 \text{ in} \pm 0.08 \text{ in}$). In addition, no indentation shall be greater than 22 mm (0.866 in) or less than 16 mm (0.630 in).

2 A sphere, reference P/N 3606, supplied by Salem Specialty Ball Co., Inc., P.O. Box 145, West Simsbury, CT 06092, has been found to be satisfactory, although any steel sphere meeting the requirements listed in this section is acceptable.

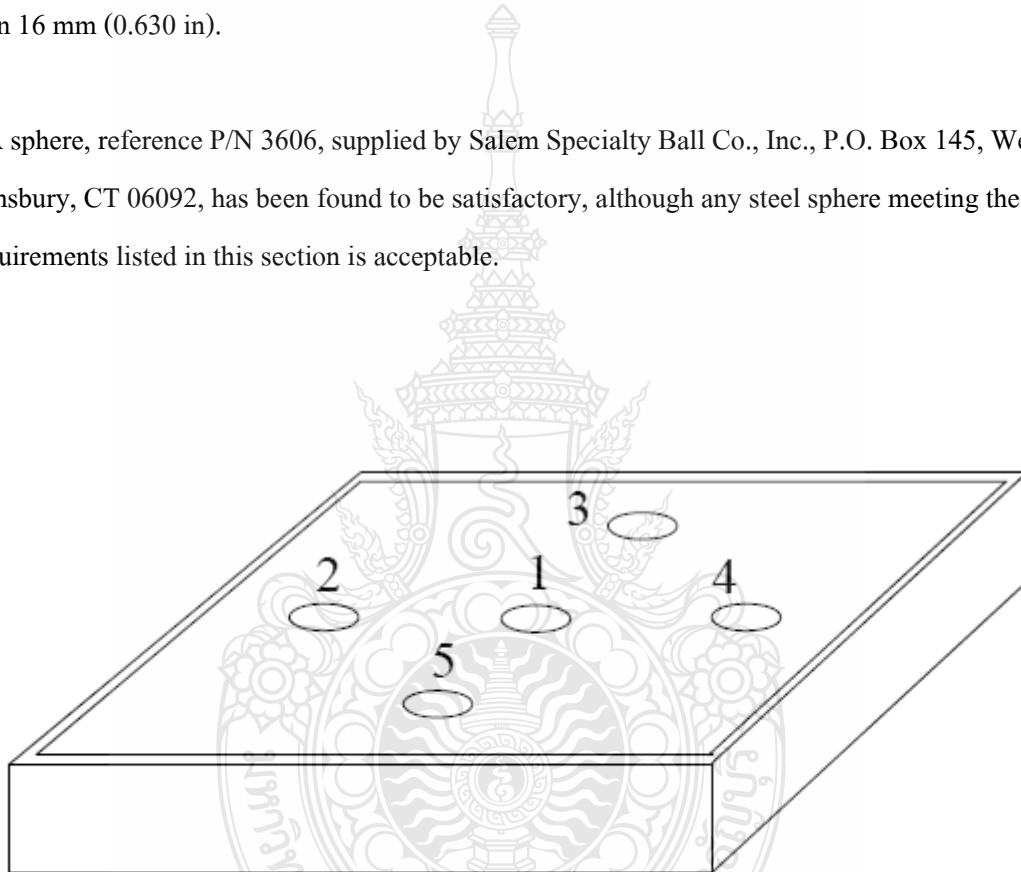
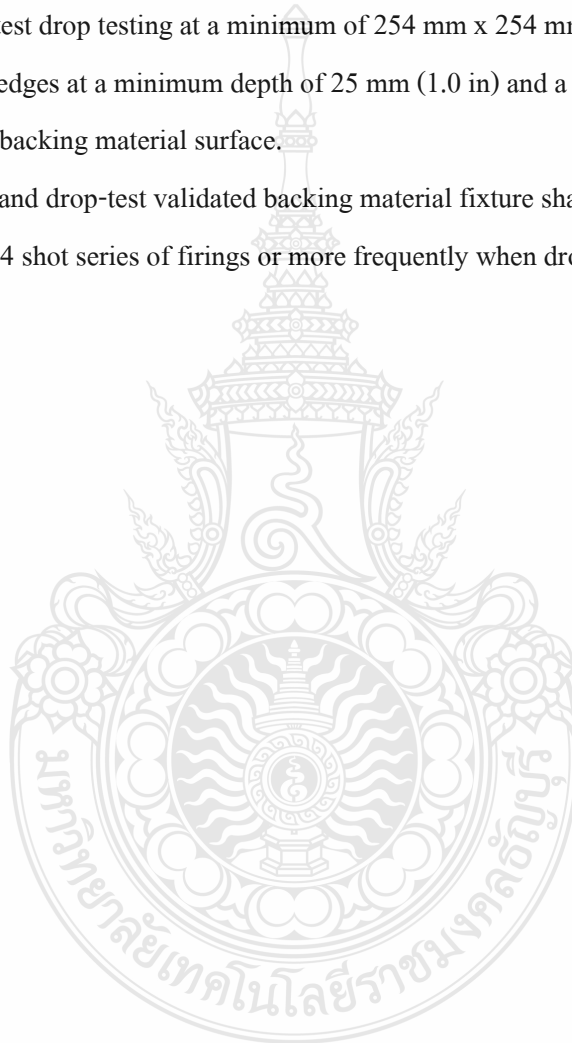


Figure 9. General pretest drop locations

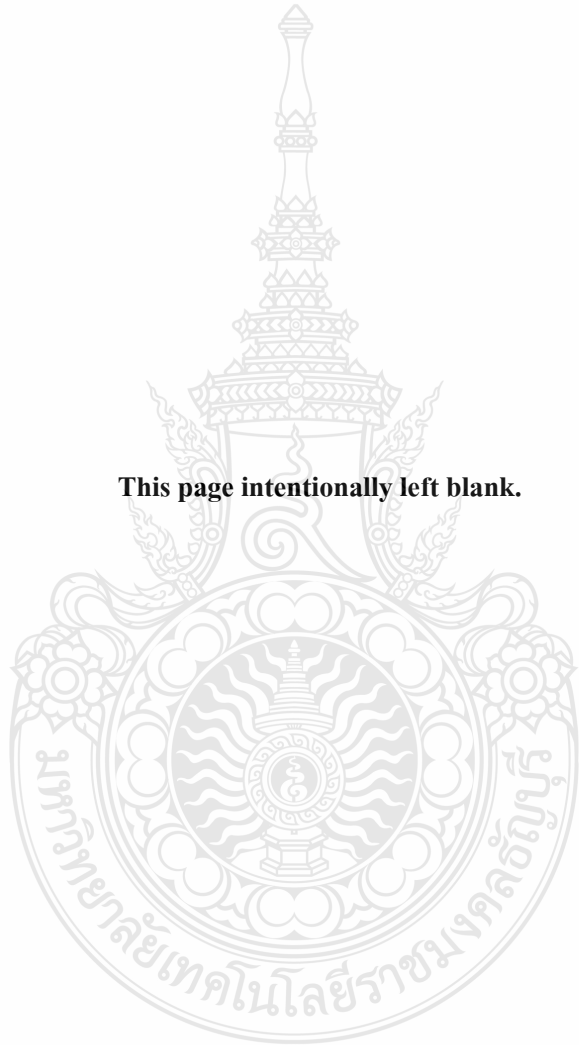
Depth of indentation measurements shall utilize measurement devices (± 1 mm accuracy) indexed to the undisturbed reference surface or the edges of the fixture, establishing the reference plane across the diameter of the indentation. Depending on the chosen measurement method, the backing material may be struck flush with the edges of the fixture to reestablish the reference surface prior to measuring each depth of indentation.

Backing material temperatures shall be measured using a thermometer or thermocouple with a measurement accuracy of 0.5 °C (0.9 °F) or better. Temperature readings will be taken prior to pre and post-test drop testing at a minimum of 254 mm x 254 mm (10.0 in x 10.0 in) from any two fixture edges at a minimum depth of 25 mm (1.0 in) and a maximum depth of 51 mm (2.0 in) from the backing material surface.

A newly conditioned and drop-test validated backing material fixture shall be used for each threat specific, 24 shot series of firings or more frequently when drop test results dictate.



This page intentionally left blank.



5. FLEXIBLE ARMOR CONDITIONING PROTOCOL

5.1 Purpose and Scope

This protocol applies to all Type IIA, II, and IIIA systems and to the flexible portion of Type III and Type IV armor systems. After being subjected to the conditioning protocol, flexible armor performance will be verified with ballistic testing as described in section 7.

This protocol is designed to subject test armors to conditions that are intended to provide some indication of the armor's ability to maintain ballistic performance after being exposed to conditions of heat, moisture, and mechanical wear. This protocol will not predict the service life of the vest nor does it simulate an exact period of time in the field.

5.2 Pretest Parameters

5.2.1 Storage of Armors

To allow for equilibration, store the test samples at a temperature of $25\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$ ($77\text{ °F} \pm 18\text{ °F}$) with a relative humidity of 20 % to 50 % for at least 24 h prior to starting the armor conditioning protocol. This may be achieved in a controlled laboratory environment, or if conditions in the laboratory deviate from those specified, a chamber may be used to create these conditions.

5.2.2 Pretest Calibrations

Prior to and following each conditioning protocol, the accuracy of all instruments and test equipment used to control or monitor the test parameters shall be verified. The calibration intervals must meet ANSI or ISO guidelines for good laboratory practices.

5.2.3 Test Conditions

5.2.3.1 Air Temperature

Keep the air temperature uniform, both inside the conditioning chamber and in the storage environment. Verify that the air temperature is uniform by using verification sensors to ensure that the air temperature is within $\pm 2\text{ °C}$ ($\pm 3.6\text{ °F}$) of the required temperature. Storage temperatures are given in section 5.2.1.

The test temperature shall be 65 °C (149 °F).

5.2.3.2 Relative Humidity

Keep the relative humidity uniform and noncondensing, both inside the test chamber and in the storage environment. Verify that the relative humidity is uniform by using verification sensors to ensure that the relative humidity is within $\pm 5\%$ of the required relative humidity. The

storage relative humidity is given in section 5.2.1.

The test relative humidity shall be 80 %.

5.2.3.3 Tumbling

The drum rotation rate shall be 5.0 rpm \pm 1.0 rpm.

The drum shall be rotated through 72,000 \pm 1,500 complete rotations during the test. To ensure that the proper number of complete rotations is obtained, a counter or totalizer shall be used to record the total number of rotations. The drum rotation rate may be varied within the given tolerance to achieve the necessary number of rotations, as long as the rate does not exceed the above specified tolerance.

5.2.3.4 Test duration

The test shall last a total of 10 d \pm 1 h.

5.3 Laboratory Configuration and Test Equipment

5.3.1 General Parameters

5.3.1.1 Facility Design

Use a stand-alone or walk-in temperature and humidity chamber with the tumbling accessory inside.

5.3.1.2 Monitoring Conditioning Chamber Parameters

To provide proof of parameter level maintenance, the laboratory must keep a manually or electronically produced log of parameter levels. Exact parameter monitoring intervals and exact methods of recording parameter levels may vary for different laboratories. The technology involved in recording parameter levels may involve visual checks at prescribed intervals, real time continuous recording such as a circular chart, periodic recording on a device such as a data logger, or other techniques as appropriate for each individual laboratory.

5.3.1.3 Humidity Generation

Use steam or water injection to create the relative humidity within the test chamber as appropriate for the device. Set up a system to drain and discard any condensate developed within the chamber during the test.

5.3.1.3.1 Water Purity

It is essential that the water used for humidity tests not unfairly impose contaminants on the test samples. Chemicals commonly found in commercial water supplies, such as chlorine, as well as nonneutral pH, can cause unintended corrosive effects to materials. It is highly recommended that the water used for this test be relatively free from impurities and chemicals

and have a pH in the range of 6.5 to 7.2. **NOTE:** A water resistivity of no less than 150,000 ohm cm is recommended. This can be produced using distillation, demineralization, reverse osmosis, or deionization. Many humidity chambers have a built in deionization system.

5.3.1.4 Tumbling Generation

Use a tumbling device to generate tumbling action during the protocol.

The tumbler drum shall have an internal diameter of 832 mm \pm 6 mm (32 3/4 in \pm 1/4 in) and an internal depth of 651 mm \pm 6 mm (25 5/8 in \pm 1/4 in). The tumbler drum shall have four fins (ribs) running the full depth of the drum and spaced at 90° intervals about the circumference. Each fin shall be 114 mm \pm 3 mm (4 1/2 in \pm 1/8 in) high. The top edge of the fins shall be rounded with a minimum diameter of 19 mm \pm 3 mm (3/4 in \pm 1/8 in), and the width of the fin at the top shall be 19 mm \pm 3 mm (3/4 in \pm 1/8 in). The fins may be either straight or tapered. The base of the fin shall not be thinner than 19 mm (3/4 in) and shall not be thicker than 76 mm (3.0 in). The inside of the drum shall be smooth, with no sharp edges to catch, tear, or abrade the armor samples. The drum surface may be perforated. The drum shall have sufficient openings to allow air flow such that the air within the drum remains within the specified tolerances.

The tumbling apparatus should be placed in a chamber capable of generating temperature and humidity during the conditioning protocol. The tumbler must maintain tolerances of temperature, humidity, and revolutions per minute specified in section 5.2.3. Verify the apparatus maintains conditions within the tolerances specified at periodic intervals throughout each cycle of the conditioning protocol. The tumbler and chamber must be arranged such that if the chamber goes out of the tolerance conditions, the tumbler rotation will cease until the chamber returns to its in-tolerance condition.

5.3.1.5 Contamination Prevention

Do not bring any material other than water into physical contact with the test armors. Do not introduce any material other than water into the chamber.

Care shall be taken to prevent condensation within the humidity chamber from coming in contact with the armor samples.

5.3.2 Controls

(a) Ensure the test chamber includes measurement and recording device(s), separate from the chamber controllers.

(b) Unless otherwise specified, make continuous analog temperature and relative humidity measurements during the test. Conduct digital measurements at intervals of 10 min. or less.

(c) Use only instrumentation with the selected conditioning chamber that meets the accuracies, tolerances, etc., described herein.

5.3.3 Test Interruption

Analyze any interruption carefully. If the decision is made to continue the protocol from a point of interruption or to add additional time onto the protocol, and a failure occurs, it is essential to be able to determine the effects of the protocol interruption. The flow chart shown in figure 10 will assist in the determination of how to proceed if an interruption occurs.

5.3.4 Procedure

This procedure consists of a 24-h acclimation period to ensure all armor samples start with the same conditions followed by a 10-d period of temperature, humidity, and mechanical wear exposure. This procedure shall be performed on only one compliance test group at a time.

- [1] When a compliance test group is received, place the samples in a controlled laboratory environment for at least 24 h prior to beginning the test as specified in section 5.2.1.
- [2] Place the compliance test group inside of the tumbler at the specified conditions of temperature and relative humidity (see section 5.2.3).
- [3] Program the tumbler to rotate as specified in section 5.2.3.3.
- [4] Expose the armors to the specified conditions for the period specified in section 5.2.3.4.
- [5] Return armors to pretest conditions (see section 5.2.1).
- [6] Perform a thorough visual examination of each test sample and document any change in physical appearance resulting from exposure.
- [7] Armors shall remain at pretest conditions (see section 5.2.1) for a minimum of 12 h before transporting them to a different facility or before beginning ballistic testing.

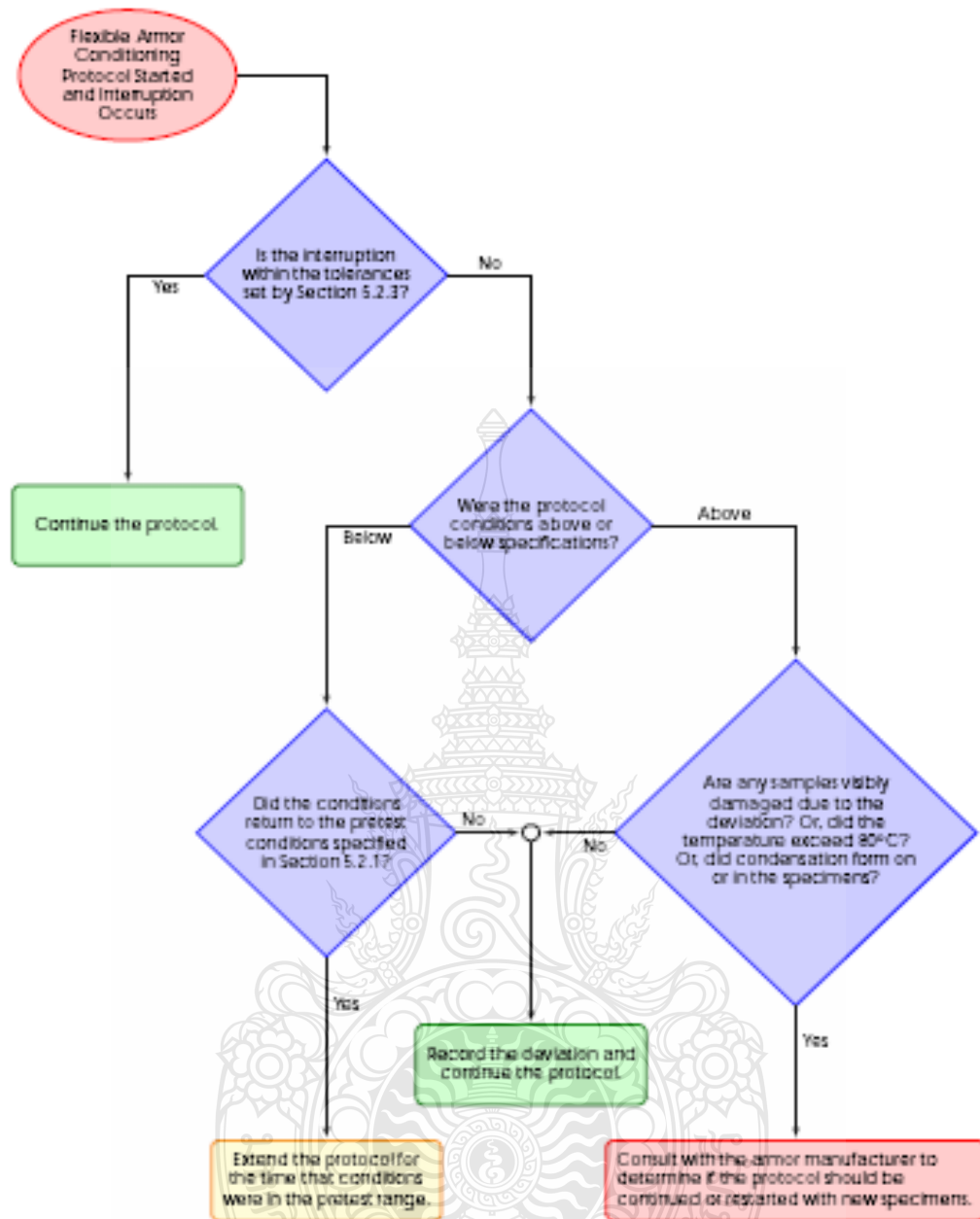


Figure 10. Flexible armor conditioning test interruption flow chart

This page intentionally left blank.



6. HARD ARMOR CONDITIONING PROTOCOL

6.1 Purpose and Scope

This section is designed to subject hard armors or plate inserts to conditions that are intended to provide some indication of armor's ability to maintain ballistic performance after being exposed to conditions of heat, moisture, and mechanical wear. This protocol is intended to apply only to rigid systems. After this armor conditioning protocol, the ballistic performance will be verified with ballistic testing as described in section 7.

This protocol will not predict the service life of the armor nor does it simulate an exact period of time in the field.

This protocol consists of a four step process: (1) a 24-h acclimation period to ensure all items at any intended climatic test location will start with the same conditions, (2) a 10-d uniform thermal exposure, (3) a thermal cycle exposure, and (4) mechanical durability testing.

6.2 Pretest Parameters

6.2.1 Storage of Armors

To allow for equilibration of armors, store the test armors at a temperature of $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($77\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 18\text{ }^{\circ}\text{F}$) and relative humidity of 20 % to 50 % for at least 24 h prior to starting the armor conditioning protocol.

6.2.2 Pretest Calibrations

Prior to and following each armor conditioning protocol, the accuracy of all instruments and test equipment used to control or monitor the test parameters shall be verified. The calibration intervals must meet ANSI or ISO guidelines for good laboratory practices.

6.2.3 Test Conditions

6.2.3.1 Air Temperature

Keep the air temperature uniform, both inside the test chamber and in the storage environment. Verify that the air temperature is uniform by using verification sensors to ensure that the air temperature is within $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 3.6\text{ }^{\circ}\text{F}$) of the required temperature. Storage temperatures are given in section 6.2.1. Test temperatures are given in table 2 for uniform thermal exposure testing and in table 3 for the thermal cycle testing.

Table 2. Uniform thermal exposure conditions

Time	Temperature	Relative Humidity
10 d	65 °C (149 °F)	80 %

Table 3. Thermal cycle testing conditions

Time (hr)	Temperature (°C)	Relative humidity (%)
2	25	50
2	15	N/A
2	5	N/A
2	-5	N/A
2	-15	N/A
2	0	N/A
2	15	N/A
2	30	50
2	45	50
2	60	50
2	75	50
2	90	50

6.2.3.2 Relative Humidity

Keep the relative humidity uniform, both inside the test chamber and in the storage environment. Verify that the relative humidity is uniform by using verification sensors to ensure that the relative humidity is within $\pm 5\%$. Storage relative humidities are given in section 6.2.1. Test relative humidities are given in table 2 for uniform thermal exposure and in table 3 for the thermal cycle testing.

6.2.3.3 Armor Drop Test

A flat hardened concrete surface with a thickness of at least 76.2 mm (3.0 in) and a mass much greater than that expected from the weighted plate must be available for mechanical durability testing.

6.2.3.4 Test Duration

The uniform thermal exposure test shall last a total of 10 d. The thermal cycle test will last a total of 1 d.

6.2.3.5 Monitoring Conditioning Chamber Parameters

(a) To provide proof of parameter level maintenance, keep a manually or electronically produced log of parameter levels. Exact parameter monitoring intervals and exact methods of recording parameter levels may vary for different laboratories.

(b) The technology involved in recording parameter levels may involve visual checks at prescribed intervals, real time continuous recording such as a circular chart, periodic recording on a device such as a data logger, or other techniques as appropriate for each individual laboratory.

6.3 Laboratory Configuration and Test Equipment

6.3.1 General Parameters

6.3.1.1 Facility Design

Use a stand-alone or walk-in humidity chamber with racks positioned such that the plates can be mounted in a vertical orientation (the orientation in which they will be used).

6.3.1.2 Test Sensors and Measurements

The laboratory must have a method of measuring and recording the temperature and relative humidity inside the chamber at intervals not less than once every 10 min. This can be accomplished by using monitoring software on the humidity chamber, an array of sensors, a chart recorder, or other appropriate methods.

6.3.1.3 Humidity Generation

Use steam or water injection to create the relative humidity within the test chamber as appropriate for the device. Set up a system to drain and discard any condensate developed within the chamber during the test.

6.3.1.3.1 Water Purity

It is essential that the water used for humidity tests not unfairly impose contaminants on the test armors. Chemicals commonly found in commercial water supplies such as chlorine as well as nonneutral pH can cause unintended corrosive effects to materials. It is highly recommended that the water used for this test be relatively clean of impurities and chemicals, and have a pH in the range of 6.5 to 7.2 at 25 °C at the time of test. **NOTE:** A water resistivity of no less than 150,000 ohm cm is recommended. This can be produced using distillation, demineralization, reverse osmosis, or deionization. Many humidity chambers have a built-in deionization system.

6.3.2 Controls

- (a) Ensure the test chamber includes measurement and recording device(s), separate from the chamber controllers.
- (b) Unless otherwise specified, make continuous analog temperature and relative humidity measurements during the test. Conduct digital measurements at intervals of 10 min or less.
- (c) Use only instrumentation with the selected test chamber that meets the accuracies, tolerances, etc., described herein.

6.3.3 Test Interruption

Analyze any interruption carefully. If the decision is made to continue the protocol from a point of interruption or to add additional time onto the protocol, and a failure occurs, it is essential to be able to determine the effects of the test interruption. The flow chart shown in figure 11 will assist in the determination of how to proceed if an interruption occurs.

6.3.4 Conditioning Procedure

The conditioning procedure is detailed below:

- [1] When samples are received, place them in a controlled laboratory environment for at least 24 h prior to beginning the test.
- [2] Place the armors inside of the chamber at the specified conditions of temperature and relative humidity.
- [3] Expose the armors to the conditions specified in table 2 for 10 d.

[4] Perform a thorough visual examination of the test item and document any change in physical appearance resulting from exposure.

[5] Expose the armors to the conditions specified in table 3 for 24 h.

[6] Perform a thorough visual examination of the test item and document any change in physical appearance resulting from exposure.

[7] Perform drop testing on the armors by attaching them with a strap, belt, or other nonobstructive retaining device to the front surface of 10.0 lb of P-BFS backing material. The backing material clay will be contoured to the back surface of the plate. If the plate is part of an in conjunction system, the plate shall be backed for drop testing by the in conjunction flexible armor design intended to be sold with the plate. This flexible armor design must be supplied by the manufacturer in template size NIJ-C-2. This flexible armor is placed between the armor and the weighted object as shown in figure 12. If the plate is intended to be sold as a stand-alone item, no flexible armor backing will be used in drop testing. A fixture similar to that shown in Figure 12 has been shown to provide accurate and reproducible results. For further details and specifications on this fixture, see the publication entitled, *Description of Fixture for Hard Armor Drop Testing According to NIJ Standard-0101.06*. At a minimum free fall height of 48.0 in (90° from horizontal) from the flat hardened surface and with the strike face of the armor pointing down, drop the weighted fixture twice. Impacts must occur at the center of the face (not at an edge). Following conditioning testing, the armor shall be subjected to further testing according to section 7.

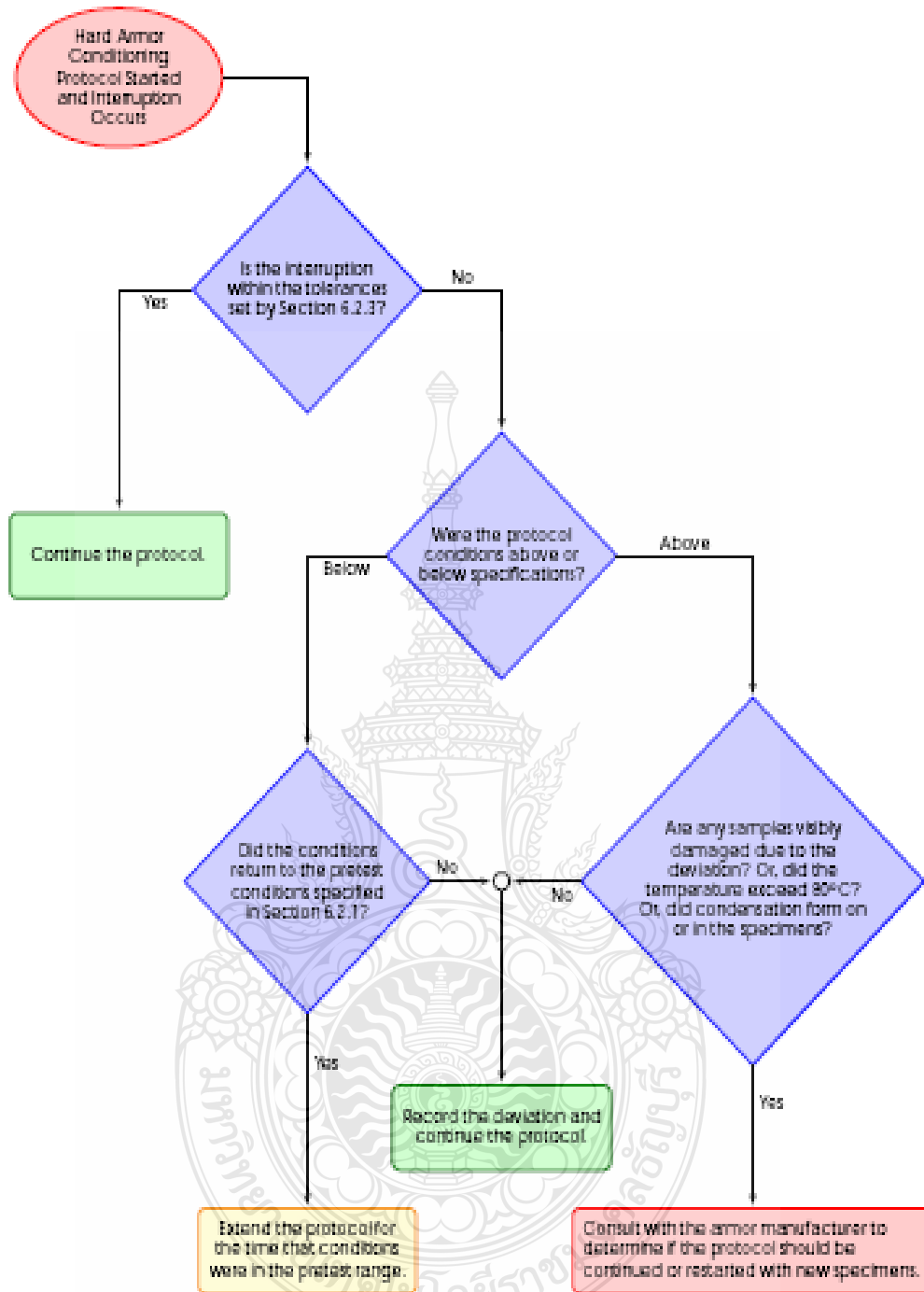
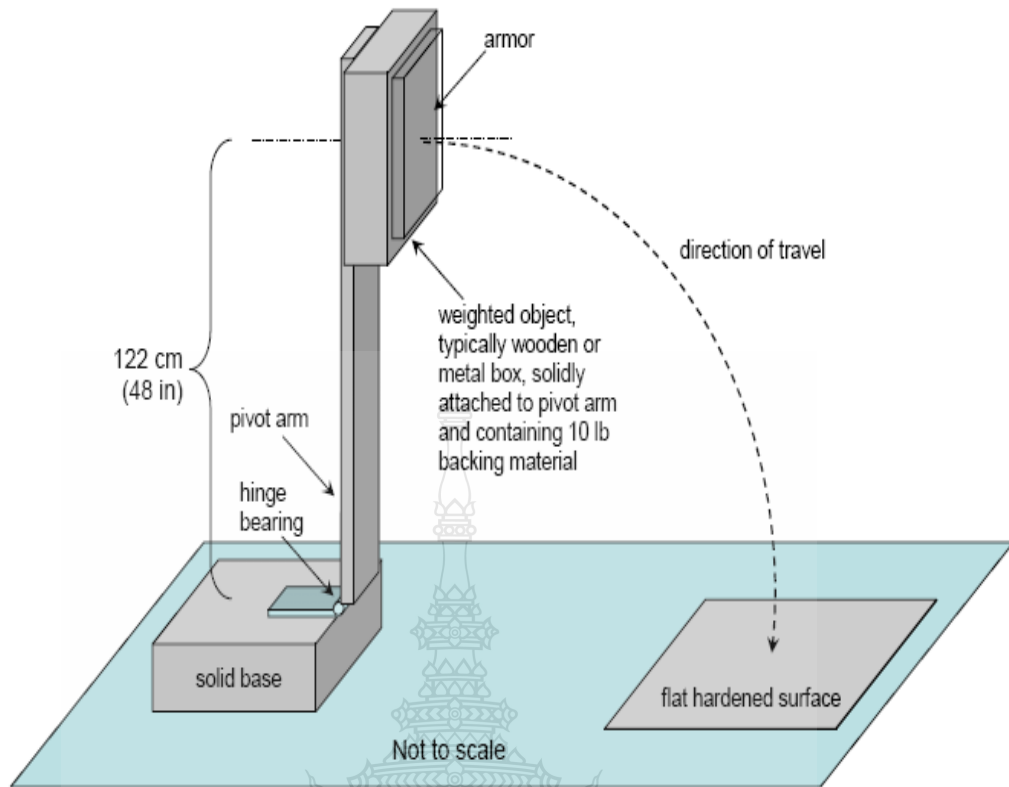


Figure 11. Test interruption flowchart for hard armor



*Figure 12. Proposed mechanical durability test apparatus*³

³ From *Purchase Description Personal Armor, Enhanced Small Arms Protective Insert CO/PD*

04-19A 28 February 2005.

7. BALLISTIC TEST METHODS

7.1 Purpose and Scope

This section specifies the methods and performance requirements for ballistic testing of body armor and includes the formal test procedures for the Perforation-Backface Signature (PBFS) and baseline Ballistic Limit (BL) tests. The first test series is P-BFS testing and requires the armor to demonstrate consistent ballistic resistance to both perforation and excessive blunt force trauma. The second test series is BL testing and is designed to statistically estimate perforation performance. In addition, for flexible vests and jackets, a portion of the sample set will be subjected to the flexible armor conditioning protocol described in section 5. For hard armor and plate inserts, the entire sample set will be subjected to the hard armor conditioning protocol described in section 6. The conditioned samples will be subjected to ballistic testing.

7.2 Test Order

The ballistic test series may be performed in any order, at the discretion of the manufacturer.

7.3 Workmanship Examination

All armor samples received for compliance testing shall be inspected before testing, and any deficiencies shall be noted. Samples that do meet the requirements of section 4.1 shall be reported to both the armor manufacturer and the Compliance Testing Program (CTP) before testing commences. Documentary photographs shall be taken for use in deficiency notification reporting.

7.3.1 Armor Carriers and Ballistic Panel Covers

All armor sample carriers and ballistic panel covers received for compliance testing will be inspected for damage, material flaws, or poor workmanship as defined in section 4.1.4. Documentary photographs shall be taken for use in deficiency notification reporting.

7.3.2 Ballistic Panels

Pretest – Before testing, all armor sample ballistic panels and inserts received for compliance testing will be individually inspected for damage, material flaws, or poor workmanship as defined in section 4.1.4.

Post-Test - Each sample's ballistic components will be inspected immediately after testing to verify their construction details (layers, weave, stitching, material, etc.).

7.3.3 Label Examination

The complete armor sample and each part (carrier and ballistic panels) will be examined

for conformance to the labeling requirements of section 4.1.5.

7.4 Sampling

Test samples will be selected according to the requirements of section 4.1.1.2.

7.5 Sample Acclimation

All armor samples received for compliance testing shall be stored and acclimated for a minimum of 24 h at ambient range conditions.

7.5.1 Inserts

All armor samples will be tested in their final design and end use configuration, including all system components (e.g., carriers and straps), with the following exceptions. Armors with removable carriers that may be manufactured with more than one carrier design shall be tested with the minimal carrier defined in section 4.1.6. Except for plate inserts being tested as in conjunction armors, all removable inserts or trauma packs shall be removed from the armor before acclimation and shall not be tested.

7.6 Fair Hit Requirements for All Ballistic Tests

A test shot shall be considered a fair hit if it impacts the armor panel at an angle of incidence no greater than $\pm 5^\circ$ from the intended angle of incidence, no closer to the edge of the ballistic panel than the minimum *shot-to-edge distance*, and no closer to a prior hit than the minimum *shot-to-shot distance*.

In addition, for a P-BFS test shot to be considered a fair hit, it must meet the impact location requirements of section 7.8.1, and the measured velocity must either: (1) be within ± 9.1 m/s (30 ft/s) of the reference velocity for the specified bullet; (2) be *less than* the minimum velocity and *produce a perforation or an excessive BFS*; or (3) be *greater than* the maximum velocity and *not produce a perforation or an excessive BFS*.

7.6.1 Minimum Shot-to-Edge Distance

The armor manufacturer shall define the acceptable minimum shot-to-edge distance for each armor model and each threat that will be tested against the armor. For armor types subjected to a single threat and for the lighter weight threat round when two threats are specified, the minimum shot-to-edge distance shall not be greater than 51 mm (2.0 in). For the heavier threat round when two threats are specified, the minimum shot-to-edge distance shall not be greater than 76 mm (3.0 in). Table 4 indicates which rounds are lighter weight and heavier weight.

7.6.2 Minimum Shot-to-Shot Distance

The minimum shot-to-shot distance shall be 51 mm (2.0 in).

This distance may be decreased at the request of the armor manufacturer.

7.7 Backing Material Preparation and Sample Mounting for All Ballistic Tests

7.7.1 Backing Material Fixture Preparation

The backing material fixture shall meet the requirements of section 4.2.5.

The clay in each backing material fixture will be manipulated to produce a block free of voids and with a smooth, flat front surface for the accurate and consistent measurement of depression depths. The front surface of the backing material shall be even with the reference surface plane defined by the fixture edges. Striking devices of sufficient length shall be used to ensure the reference surface is established using the edges of the fixture as index points.

For BL tests only, the removable back shall be removed from the backing material fixture.

7.7.2 Mounting Armor for Ballistic Testing

7.7.2.1 Strapping

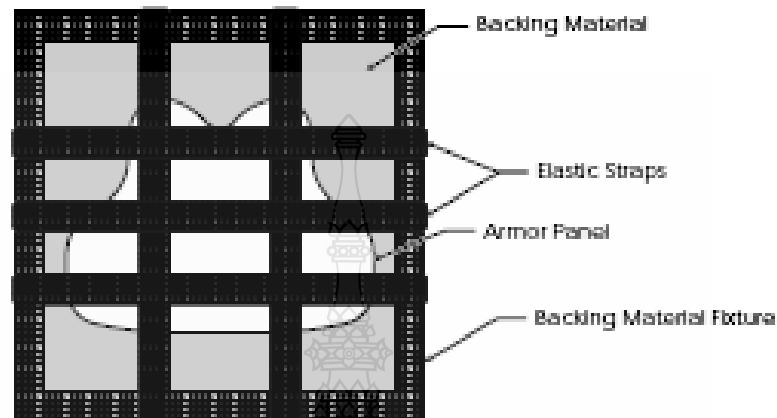
The armor panel shall be positioned on the backing material such that the point of impact, projected through the armor onto the surface of the backing material, is no closer than 106 mm (4.2 in) from the edge of the backing material fixture.

Armor samples or panels shall be held in contact with the backing material and secured to the backing material fixture using mounting straps that conform to one of the following two options:

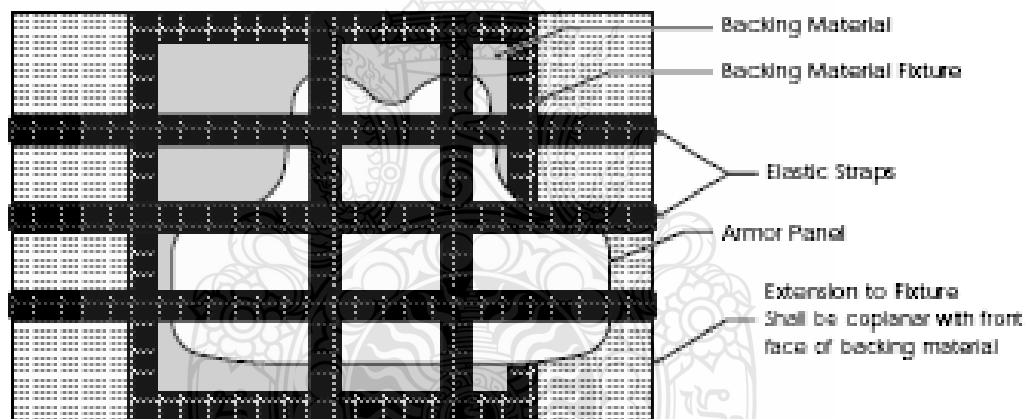
- (a) The default strapping method uses 51 mm (2.0 in) wide elastic straps, held together using hook-and-loop fasteners. If these straps are used, two vertical and three horizontal straps shall be positioned such that they do not interfere with the impact points on the armor panel. Figure 13, diagram A shows a typical example of strapping using this method. For larger armor sizes, the backing material fixture is not large enough to accommodate the entire armor. For these cases, extension panels shall be added to the sides of the fixture, as shown in figure 13, diagram B, such that the combined backing material, backing material fixture, and extensions form a planar surface at least 1016 mm (40.0 in) wide by 610 mm (24.0 in) high. The extensions may be part of the backing material support fixture, and this configuration may be used for smaller armors.
- (b) The alternative strapping method applies to armor panels that normally would have strapping as an integral part of their construction. This strapping method requires the armor manufacturer to supply armor panels with extended strapping devices to allow the

armor, as a unit, to be mounted on the backing material fixture. Figure 13, diagram C shows a typical example of strapping using this method.

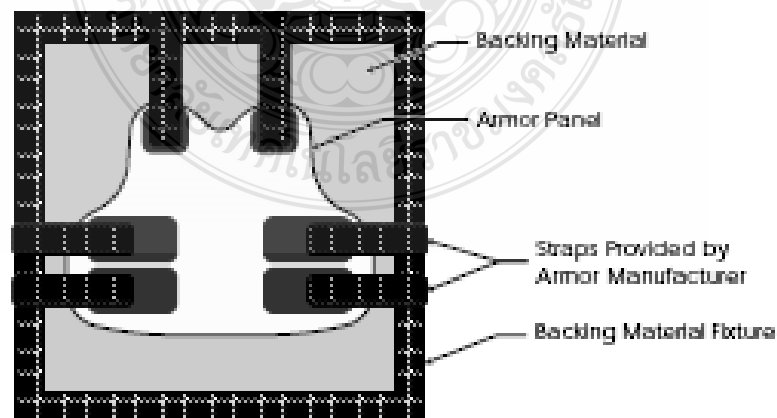
The laboratory shall record which strapping arrangement was used.



A. Standard Strapping Arrangement for Smaller Samples



B. Standard Strapping Arrangement for Larger Samples



C. Special Strapping Arrangement Using the Armor's Strap Attachments

Figure 13. Acceptable strapping methods

7.7.2.2 Remounting of Armor

Once the armor panel has been subjected to any ballistic tests, no effort shall be made to recover any bullets trapped in the armor panel, and no effort shall be made to fill in any BFS indentations in the test fixture backing material. When necessary, the backing material shall be struck to return the surface to a flat configuration; however, the BFS indentation should not be repaired. The armor panel shall be manipulated by hand so that any deformations in the armor are smoothed out. Also, the armor panel shall be repositioned on the backing material such that the next impact will not occur over any BFS indentation and such that the panel is supported by smooth clay backing material for a distance of no less than 76 mm (3.0 in) in all directions around the next shot location.

7.7.2.3 Backing Material Fixture Positioning

The backing material fixture shall be positioned to ensure proper bullet impact placement and angle of incidence of the test round. For any shots requiring a nonzero angle of incidence, the backing material fixture shall be positioned so that the bullet line of flight is directed toward the vertical centerline of the armor panel at the point of impact. An exception will be made for armors where shots directed in a different orientation will likely be more problematic for the armor to stop. In these cases, for shots requiring a nonzero angle of incidence, the armor shall be oriented such that the shot will exploit the perceived weakness.

7.8 Perforation and Backface Signature Test (P-BFS)

All armor models submitted for compliance testing will undergo P-BFS testing using the threat rounds specified in section 2 and table 4. These impact tests measure three BFS indentations and demonstrate the armor's resistance to perforation. This test series requires the use of a plastically deforming witness media (clay backing material) held in direct contact with the back surface of the armor panel. This configuration is used to capture and measure the BFS depression produced in the backing material during nonperforating threat round impacts.

The number of armor samples defined in section 4.1 shall be subjected to P-BFS tests in accordance with the following procedures.

7.8.1 Shot Location Marking

Clearly mark the shot locations directly on each sample according to the following criteria.

Flexible Vests and Jackets: All flexible vests and jackets shall be tested with six shots in the approximate pattern shown in figure 14. Shots 1, 2, and 3 shall meet the shot-to-edge

distance requirements, but they shall not be located more than the minimum shot-to-edge distance plus 19 mm (0.75 in) from the edge of the panel. Shots 4, 5, and 6 shall meet the shot-to-shot distance requirements, but all three shots shall be located within a 100 mm (3.94 in) diameter circle. For panels with sufficient area, the locations of shots 4, 5, and 6 shall be randomly moved to different areas on different panels. When there are no discontinuities or apparent weaknesses in the armor as considered below, refer to guidance from the CTP on the specific locations for shots 4, 5, and 6 on each panel.

For the case of armor samples sized to Template NIJ-C-1 (smallest template) when tested with threat 2 only, the panel may be subjected to only five shots if space limitations prevent taking six shots. In this case, shots 1 through 5 shall be taken, but shot 6 may be skipped. In this case only, the total number of shots required for a complete P-BFS test series shall be 66 shots per test threat.

For armors where the construction and material thickness vary across the panel, the locations of shots 4, 5, and 6 shall be adjusted to exploit the weakest portion of the armor. For armors that have folds, seams, or other discontinuities (such as the bust cups of some female armors or the closures of front closing vests), additional shots shall be fired so that at least one shot impacts each fold, seam, or discontinuity. If a single fold, seam, or discontinuity extends more than one half the width or height of the armor (such as closure of a front closing vest), at least two shots shall impact that discontinuity. For small armors with limited shot area, the locations of shots 4, 5, and 6 may be varied such that one of these shots impacts the discontinuity.

Hard Armors and Plate Inserts: All hard armors and plate inserts shall be tested with the appropriate number of shots as defined in section 4.1.2. The shots shall be placed on the panel in any pattern that meets the shot-to-edge and shot-to-shot spacing requirements.

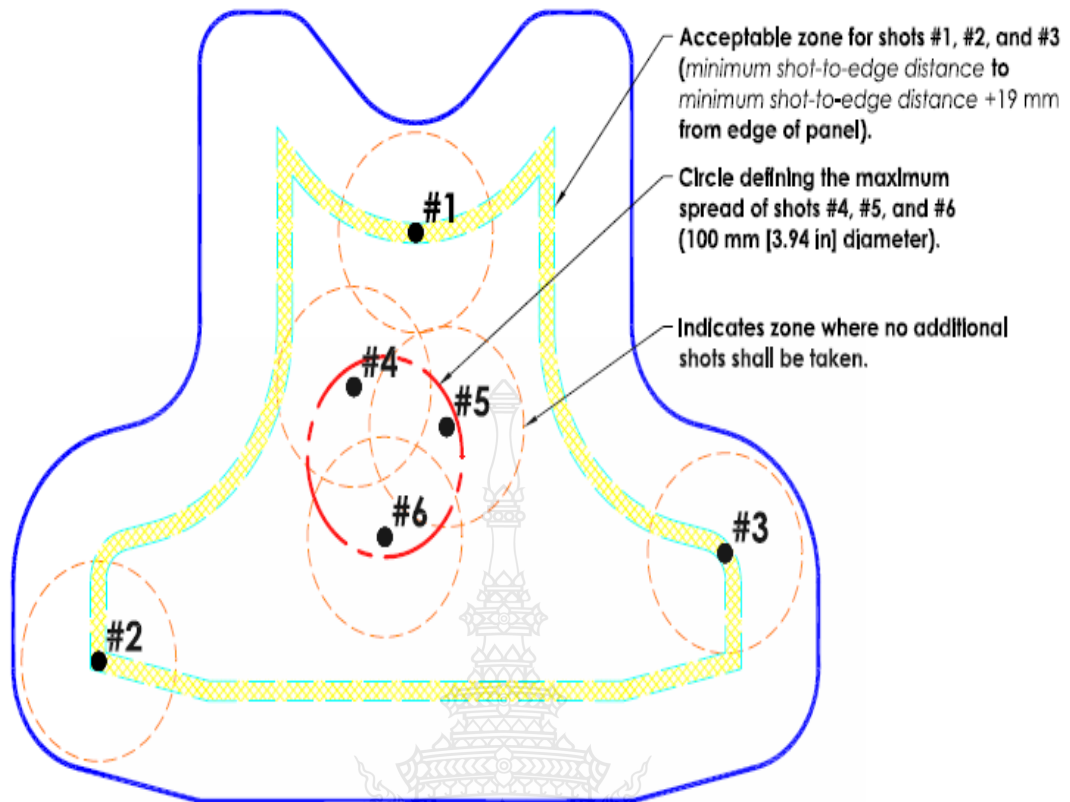


Figure 14. General armor panel impact locations (front and back)

7.8.2 Armor Submersion

New Flexible Vests and Jackets: All new flexible vests and jackets shall be submersed and tested wet. Each armor panel shall be hung vertically in a water bath meeting the requirements of section 4.2.4 for 30 min (+ 5 min/- 0 min) with the top edge of the armor positioned 100 mm \pm 25 mm (3.9 in \pm 1.0 in) below the water surface. For armors that are buoyant, weights shall be attached to the bottom edge of the armor with clothes pins or similar clips to allow the armor to hang vertically. After removing the panel from the water, it shall be hung vertically and allowed to dry for 10 min (+ 5 min/- 0 min) before mounting on the test fixture. All testing of the panel shall be completed within 40 min of when the panel is removed from the water.

Conditioned Flexible Vests and Jackets: All flexible vests and jackets that have been subjected to the conditioning protocol described in section 5 shall not be submersed but shall be tested dry.

Hard Armors and Plate Inserts: All hard armors and plate inserts shall be submersed and tested wet. When plate inserts are tested in conjunction with a flexible vest or jacket, the

flexible component shall have previously demonstrated its full compliance with this standard at its appropriate level. Both the plate and the flexible vest or jacket shall be tested wet.

7.8.3 Test Threats for P-BFS Tests

All armors shall be tested with the appropriate threats for the armor type as defined in section 2 and listed in table 4. In addition, a manufacturer may specify additional special type threats for a particular armor model.

7.8.4 Test Duration

The duration of the ballistic test on each armor panel shall be no longer than 30 min, from the time the first shot is fired until the last shot is fired. The first shot shall be fired within 10 min. after completion of the armor submersion cycle described in section 7.8.2. Testing shall be repeated if either of these requirements is not met. All test results, including the noncompliant test series, shall be reported. Test start and stop times shall be recorded for each test series.

7.8.5 Requirements for Number of Shots and Number of Armor Samples

A complete P-BFS test for an armor type consists of the total required number of fair hits accumulated on the required number of armor samples for each of the specified test rounds, as defined in table 5 for new condition armors and table 6 for conditioned armors. Each armor panel or plate shall be subjected to the number of fair hits specified in table 5 or table 6, as appropriate, using the specified test round. The shots on each panel shall be fired in order of their location numbers, as shown in figure 14. The angles of the shots shall be as specified in table 7. For flexible vests and jackets, one shot on each panel shall have an angle of incidence of 30°, and one shot shall have an angle of incidence of 45°. The angle of incidence for location 4 on the first P-BFS panel tested shall be randomly selected as either 30° or 45°, and the other angle used at shot location 5. For all subsequent P-BFS panels of that model, the order of the two angles shall alternate.

Table 5. Number of shots and fair hits on each size of new condition armor samples

Armor Type	Test Round (see table 4)	Required Fair Hits Per Test Round	Required Number of Complete Armor Samples	Required Number of Armor Panels or Plates	Required Fair Hits per Panel or Plate	Maximum Number of Shots Allowed per Panel or Plate	Required Total Fair Hits per Size
IIA	1	24	2	4	6	8	48
	2	24	2	4	6	8	
II	1	24	2	4	6	8	48
	2	24	2	4	6	8	
IIIA	1	24	2	4	6	8	48
	2	24	2	4	6	8	
III	1	24	4	4	6	6	24
IV	1	24	TBD	TBD	1 to 6	6	24

Table 6. Number of shots and fair hits on each size of conditioned samples

Armor Type	Test Round (see table 4)	Required Fair Hits Per Test Round	Required Number of Complete Armor Samples	Required Number of Armor Panels or Plates	Required Fair Hits per Panel or Plate	Maximum Number of Shots Allowed per Panel or Plate	Required Total Fair Hits per size
IIA	1	12	1	2	6	8	24
	2	12	1	2	6	8	
II	1	12	1	2	6	8	24
	2	12	1	2	6	8	
IIIA	1	12	1	2	6	8	24
	2	12	1	2	6	8	
III	1	24	4	4	6	6	24
IV	1	24	TBD	TBD	1 to 6	6	24

Table 7. Angle of incidence locations

Armor Type	Test Round (see table 4)	Shot Location(s) for Fair Hits at 0° Angle of Incidence	Location(s) for Fair Hits at 30° or 45° Angle of Incidence	Shot Locations for BFS Measurement(s)
IIA	1	1, 2, 3, 6	4, 5	1, 2, 3
	2	1, 2, 3, 6	4, 5	1, 2, 3
II	1	1, 2, 3, 6	4, 5	1, 2, 3
	2	1, 2, 3, 6	4, 5	1, 2, 3
IIIA	1	1, 2, 3, 6	4, 5	1, 2, 3
	2	1, 2, 3, 6	4, 5	1, 2, 3
III	1	All	-	1, 2
IV	1	All	-	1, 2

Before each shot, the armor panel or plate shall be positioned as described in section 7.7.2.

Before each shot, the armor panel or plate shall be positioned as described in section 7.7.2.

After each shot: The bullet velocity shall be recorded. The actual location of the shot shall be examined to confirm that it complies with shot location requirements. The armor panel or plate and the backing material shall be examined to determine if a perforation occurred. All of the preceding observations shall be considered to determine if the shot was a fair hit, as defined in section 7.6.

If impact is not a fair hit: If an impact is determined to not be a fair hit, a second attempt shall be made immediately to obtain a fair hit in the same general location of the preceding unfair hit. No more than two attempts shall be made to obtain a fair hit at any general shot location. The maximum number of shots on any armor panel or plate shall not exceed the number specified in table 5 or table 6, as appropriate.

If more than two attempts are required to obtain a fair hit for any shot location, the test series on that panel shall be considered noncompliant. If the maximum number of allowable shots on the given armor panel/plate is exceeded, the test series on that panel/plate shall be considered noncompliant. Testing shall be repeated for any panel test series considered noncompliant. All test results, including the noncompliant test series, shall be reported.

If impact is a fair hit: If the impact did not produce a perforation and the shot was a fair

hit, the BFS depression depth for the locations shown in table 7 shall be measured and recorded. If necessary, the backing material shall be struck (as described in section 4.2.5.4) or manipulated to produce an acceptable surface for remounting the armor.

7.8.5.1 BFS Measurement

The BFS shall be measured using a device capable of 1 mm (0.04 in) or better accuracy. The BFS shall be recorded. All measurements necessary to determine the BFS for a shot shall use a common reference surface. When the measured BFS exceeds 40 mm (1.58 in), the measurement shall be verified by a second measurement. Additionally, when the measurements are not fully automated and human interaction is required with the measuring device or backing material, a different individual shall make the second measurement.

7.8.6 P-BFS Test for Special Type Armor

The materials of construction and the construction details of special type armor shall be examined to determine the appropriate test methodology.

7.8.7 P-BFS Test for Accessory Ballistic Panels

7.8.7.1 Groin and Coccyx Protectors

Each protector shall be tested in its external carrier. Each protector shall be impacted with at least three evenly spaced fair hits at an angle of incidence of 0° (24 shots total). A single BFS depth measurement shall be taken on the first fair hit impact for each panel, for a total of eight BFS measurements.

7.8.7.2 Removable Side Protection

Removable side protection panels shall be tested in the primary armor's external carriers as appropriate for each armor model designation.

The samples shall be tested in accordance with the requirements of sections 7.6 and 7.7, placing as many fair hit impacts as possible, but not more than six shots, on each test sample to achieve a total of 24 fair hits per test caliber at the prescribed angles of incidence, per table 4. A single BFS depth measurement shall be taken on the first fair hit impact for each panel.

7.8.8 P-BFS Performance Requirements

Each test panel must withstand the appropriate number of fair hits and may not experience any perforations. Any complete perforation by a fair hit constitutes a failure. Fair hit is as defined in section 7.6.

New Samples: Each tested size of an armor model shall either have no BFS depth measurements that exceed 44 mm (1.73 in), or for each threat round an estimated probability of a

single BFS depth measurement exceeding 44 mm (1.73 in) of less than 20 % with a confidence of 95 %.

The armor model shall be deemed to meet these requirements if no BFS depth measurement due to a fair hit exceeds 50 mm (1.97 in), and either:

(a) All BFS depth measurements due to fair hits are 44 mm (1.73 in) or less.

Or:

(b) The one-sided tolerance interval for a normal distribution indicates that there is 95 % probability that 80 % of the test BFS measurements for armor samples of that particular model, size, condition, and test threat will be 44 mm (1.73 in) or less. In this case the average, Y , and sample standard deviation, s , of all recorded BFS measurements for armor samples of that particular model, size, condition, and test threat shall be calculated, and:

$$44\text{mm} \leq Y + k s$$

For the case where there are 12 BFS measurements, $k = 1.568$. For other quantities of BFS measurements, or for more details, see appendix D or Reference [9], section 7.2.6.3 (<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/prc/section2/prc263.htm>).

Conditioned Samples: For flexible armors that have been subjected to the conditioning protocol described in section 5, the BFS depth shall be recorded. However, an excessive BFS measurements will not constitute a failure.

Table 8. Baseline ballistic limit determination test summary

Armor Samples Required	Test Threat	Ballistic Panels Required	Minimum Shots Required	Minimum Penetration Results*
Type IIA through IIIA Approximately 5 armors per caliber.	Test Round 1	10	120	At least 60 stops. At least 30 perforations
	Test Round 2	10	120	At least 60 stops. At least 30 perforations
Type III 4 Armors	7.62 mm M80 FMJ	4	24	6 perforations, 12 stops, 6 either, velocity range of 27 m/s (90 ft/s)
Type IV 2 to 12 Armors	.30 caliber M2 AP	2 – 12**	12	3 perforations, 6 stops, 3 either, velocity range of 27 m/s (90 ft/s)

* When the armor's ballistic limit is sufficiently high that achieving the velocity necessary to perforate the armor is difficult or impossible, the test laboratory shall document that this situation has occurred. In such cases, the test will be considered acceptable even if the minimum number of perforations is not achieved.

** Quantity determined by section 4.1.2.2 and panel, plate, or insert size and ability to withstand multiple impacts.

7.9 Ballistic Limit (BL) Determination Test

The appropriate number of armor samples, as defined in section 4.1, shall be subjected to BL tests. The armor's ballistic performance will be estimated from the results. Each ballistic panel or plate shall be tested in accordance with the following procedures.

7.9.1 Requirements for Number of BL Tests and Test Samples

A complete BL test for an armor type consists of successful individual BL tests being conducted on the required number of armor samples specified in table 8. The armor panels or plates that comprise a sample shall each be subjected to a BL test using all threat rounds for which the armor will be certified (see table 4).

(a) Flexible Vests and Jackets: BL testing shall be conducted on complete armor samples (e.g., ballistic fabric panels, covers, carriers, and strapping). Removable trauma inserts/packs shall not be included as part of the complete armor sample used for BL determination.

(b) Hard Plates: Testing shall be conducted on complete armor samples, except when the armor's Type III or IV protection is provided entirely by rigid panels, plates, or inserts. In those instances, only the rigid panels, plates, or inserts shall be tested for baseline BL. When plate inserts are tested in conjunction with a flexible vest or jacket, the flexible component shall have previously demonstrated its full compliance with this standard at its appropriate level.

7.9.2 Test Procedure Requirements

The angles of incidence for all shots shall be 0°. All samples shall be tested dry.

All BL testing shall follow the basic procedures of sections 5.3.3 and 5.3.5 of MIL-STD-662F; however, the specific test parameters in table 9 shall be adopted. For each panel, shooting shall continue until either 12 shots or the maximum number of shots allowed on the panel has been reached. For armors that are limited to less than 12 shots, the firing sequence shall be continued on additional panels until 12 shots are reached. After each 12 shot sequence, a new sequence shall be performed until the total required number of shots as listed in table 8 has been reached.

Table 9. Test parameters and requirements for ballistic limit test

Parameter Description	Value	Section Reference in MIL-STD-662F
Velocity of first shot	The reference velocity for the armor type and caliber (table 4).	5.3.3
Velocity step until first reversal.	- 30.5 m/s (- 100 ft/s) if first shot was a perforation. + 30.5 m/s (+ 100 ft/s) if first shot was a stop.	5.3.5 exception to 5.3.5
Velocity step until a second reversal.	± 22.9 m/s (± 75 ft/s), depending on result of previous shot	5.3.5
Velocity step after second reversal.	± 15.2 m/s (50 ft/s), depending on result of previous shot	5.3.5

When the armor's ballistic limit is sufficiently high that achieving the velocity necessary to perforate the armor is difficult or impossible, the test laboratory shall document this situation has occurred. In such cases, the test will be considered acceptable even if the minimum number of perforations is not achieved.

7.9.3 Backing Material Conditioning

The backing material fixtures shall be prepared and conditioned to the same temperatures as those used to conduct the P-BFS tests for that armor model. Drop test validation shall be performed before each 12 shot series. However, post-test validation is not necessary. The backing material temperature shall be recorded before and after tests on a single armor panel/plate.

7.9.4 Data Set Tabulation

All shots fired for a BL test shall be reported. The shot information shall be reported in the order fired and shall include, at a minimum, shot number, velocity desired, actual velocity, and shot outcome.

7.9.5 Ballistic Limit Performance Requirements

All Armors: No perforations shall occur at or below the corresponding maximum P-BFS fair hit velocity, which is equal to the P-BFS reference velocity plus 9.1 m/s (30 ft/s).

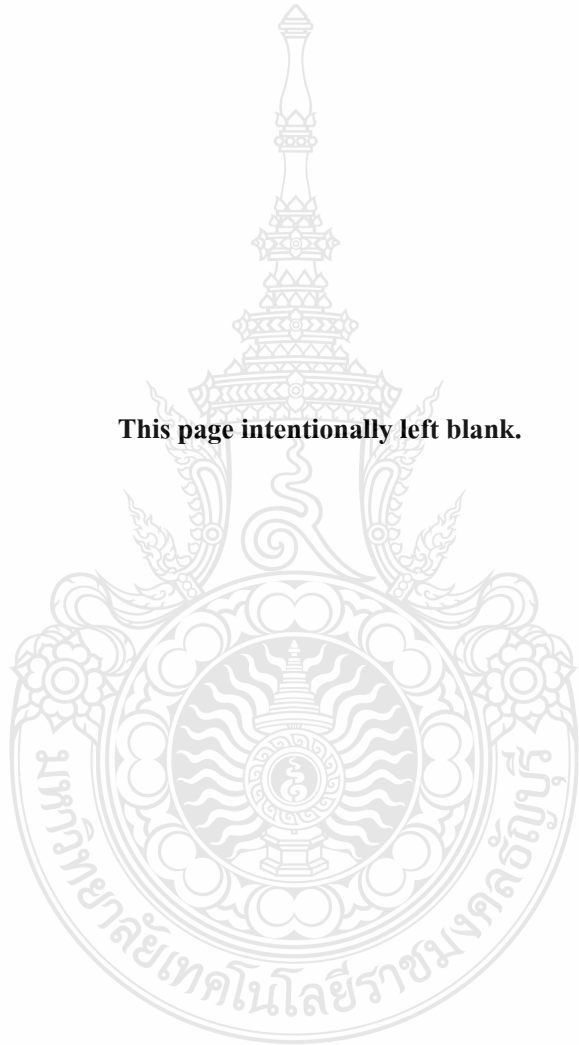
New Armors: For new condition armors the BL test data shall be analyzed as described in appendix E, and the estimated probability of complete perforation at the corresponding P-BFS reference velocity must be less than 5 %. In other words, $\hat{P}_{new} \leq 0.05$.

8. REFERENCES

The following references form a basis for and support the procedures described in this standard:

- [1] AATCC Recommended Washers and Dryers list, available from <http://www.aatcc.org/Technical/WashDry.htm>
- [2] American National Standards Institute. SAAMI Z299.1–1992, *Voluntary Industry Standards for Pressure & Velocity of Rimfire Sporting Ammunition for the Use of Commercial Manufacturers*, 1992.
- [3] American National Standards Institute. SAAMI Z299.3–1993, *Voluntary Industry Standards for Pressure and Velocity of Centerfire Pistol and Revolver Ammunition for the Use of Commercial Manufacturers*, 1993.
- [4] American National Standards Institute. SAAMI Z299.4–1992, *Voluntary Industry Standards for Pressure & Velocity of Centerfire Rifle Sporting Ammunition for the Use of Commercial Manufacturers*, 1992.
- [5] Department of Defense. MIL-STD-662F, *Department of Defense Test Method Standard, V50 Ballistic Test for Armor*, 1997 or latest version.
- [6] Department of Defense. MIL-STD-810F, *Department of Defense Test Method Standard for Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests*, 2000 or latest version.
- [7] National Institute of Justice. NIJ Standard–0101.04, *Ballistic Resistance of Police Body Armor*, 2000.
- [8] NIST/SEMATECH *e-Handbook of Statistical Methods*, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>, May 2008.
- [9] U.S. Army Test and Evaluation Command. TOP 2–2–710, *Test Operations Procedure, Ballistic Tests of Armor Materials*, 1984 or latest version.

This page intentionally left blank.



APPENDIX A –ACCEPTABLE BULLETS FOR HANDLOADING

Table 10 below lists the acceptable bullets for testing. For the purpose of inter-laboratory consistency, for threat levels IIA, II, and IIIA, only those model numbers specified in table 10 shall be acceptable.¹ For threat levels III and IV, bullets from alternate manufacturers may be used if they meet the specified weight, geometry, jacket, and core material requirements. All jacket materials shall be of copper or copper alloy (approximately 90 % copper and 10 % zinc), with the exception of Type III, which shall be steel.

Table 10. Acceptable bullets

Threat Level	Caliber	Bullet Weight	BULLET DESCRIPTION	Nominal Bullet Diameter	Acceptable Manufacturer	Bullet Model Number
IIA	9 mm Luger	8.0 g (124 gr)	FMJ RN	9 mm (.355 in)	Remington	23558
	.40 S&W	11.7 g (180 gr)	FMJ	10 mm (.400 in)	Remington	23686
II	9 mm Luger	8.0 g (124 gr)	FMJ RN	9 mm (.355 in)	Remington	23558
	.357 Mag	10.2 g (158 gr)	JSP	9.1 mm (.357 in)	Remington	22847
IIIA	.357 SIG	8.1 g (125 gr)	TMJ	9.0 mm (.355 in)	Speer	4362
	.44 Mag	15.6 g (240 gr)	JHP	10.9 mm (.429 in)	Speer	4453 or 4736**
III	7.62 mm NATO	9.6 g (147 gr)	FMJ – SPIRE PT BT*	7.62 mm (.308 in)	***	***
IV	30.06 M2 AP	10.8 g (166 gr)	FMJ – SPIRE PT AP	7.62 mm (.308 in)	May be obtained from U.S. Military M2 AP ammunition	

* Verify that jacket is ferrous (use of a magnet is acceptable).

** Note: These two models are the same bullet but sold in different quantities.

*** Bullet may be obtained from U.S. military/NATO M80 ammunition, or from other manufacturers meeting the

This page intentionally left blank.



APPENDIX B –COMMON SPECIAL TYPE THREATS

Table 11 lists some common threat rounds that may be problematic for some armors. These threats, with their accompanying test velocities, may be used in the special type testing to validate that a particular armor model may stop these rounds in addition to the standard threats.

The threat rounds listed in the table are not the only rounds that can be tested in the special type tests. A purchaser or manufacturer may specify any round for testing with the special type tests. These are included in the standard only to simplify the procedure of specifying common special threat rounds.



Table 11. Special type threats of particular concern to law enforcement

Manufacturer	Model	Caliber	Weight	Description	Diameter	Nominal (Factory) Velocity (ft/s)	Recommended Conditioned Test Velocity (ft/s)	Recommended New Armor Test Velocity (ft/s)
Federal	Tactical Bonded	9mm Luger	135 gr	Tactical HP	9 mm (0.355 in)	1000	1120	1150
Federal	Tactical Bonded	.357SIG	125 gr	Tactical HP	9 mm (3.55 in)	1350	1410	1440
Federal	Tactical Bonded	.40 S&W	165 gr	Tactical HP	10 mm (400 in)	1050	1110	1140
Federal	Tactical Bonded	.40 S&W	180 gr	Tactical HP	10 mm (400 in)	1000	1060	1090
Federal	Tactical Bonded	.45 ACP	230 gr	Tactical HP	11.5mm (451 in)	950	1010	1040
Spears	Gold Dot	9 mm Luger	124 gr	GDHP	9 mm (0.355 in)	1220	1280	1310
Spears	Gold Dot	.357SIG	125 gr	GDHP	9 mm (0.355 in)	1375	1435	1465
Spears	Gold Dot	.40 S&W	165 gr	GDHP	10 mm (400 in)	1150	1210	1240
Spears	Gold Dot	.40 S&W	190 gr	GDHP	10 mm (400 in)	1025	1085	1115
Spears	Gold Dot	.45 ACP	185 gr	GDHP	11.5mm (451 in)	1050	1110	1140
Spears	Gold Dot	.45 ACP	230 gr	GDHP	11.5mm (451 in)	850	950	980
Winchester	Ranger T-Series	9 mm Luger	127 gr	JHP	9 mm (0.355 in)	1250	1310	1340
Winchester	Ranger T-Series	.357SIG	125 gr	JHP	9 mm (0.355 in)	1350	1410	1440
Winchester	Ranger T-Series	.40 S&W	165 gr	JHP	10 mm (400 in)	1140	1200	1230
Winchester	Ranger T-Series	.40 S&W	180 gr	JHP	10 mm (400 in)	990	1050	1080
Winchester	Ranger T-Series	.45 ACP	230 gr	JHP	11.5mm (451 in)	990	1050	1080
FN	SS192	5.7 mm	28 gr	JHP	5.7 mm (224 in)	2050	2110	2140
FN/Hermady	SS197SR	5.7 mm	40 gr	V-Max	5.7 mm (224 in)	1700	1760	1790

APPENDIX C –ARMOR SIZING TEMPLATES

The following five templates are intended for use with most models of flexible armor in the form of concealable or tactical vests or jackets. The same templates may be used for male, female, or unisex armor designs. The five templates are:

- [1] Template NIJ-C-1 (Smallest)
- [2] Template NIJ-C-2 (Small)
- [3] Template NIJ-C-3 (Medium)
- [4] Template NIJ-C-4 (Large)
- [5] Template NIJ-C-5 (Largest)

The dimensions of these templates are shown in drawings on the following five pages, and the maximum and minimum areas are shown in table 12 below. Table 13 and table 14 list the smallest and largest allowable production armors for each of the available template sizes.

Table 12. Surface areas of armor sizing templates

Template	Maximum Area (Largest Rear Panel)	Minimum Area (Smallest Front Panel)
NIJ-C-1	0.0939 m ² (146 in ²)	0.0659 m ² (102 in ²)
NIJ-C-2	0.1354 m ² (210 in ²)	0.1020 m ² (158 in ²)
NIJ-C-3	0.1835 m ² (284 in ²)	0.1443 m ² (224 in ²)
NIJ-C-4	0.2393 m ² (371 in ²)	0.1945 m ² (301 in ²)
NIJ-C-5	0.3022 m ² (468 in ²)	0.2517 m ² (390 in ²)

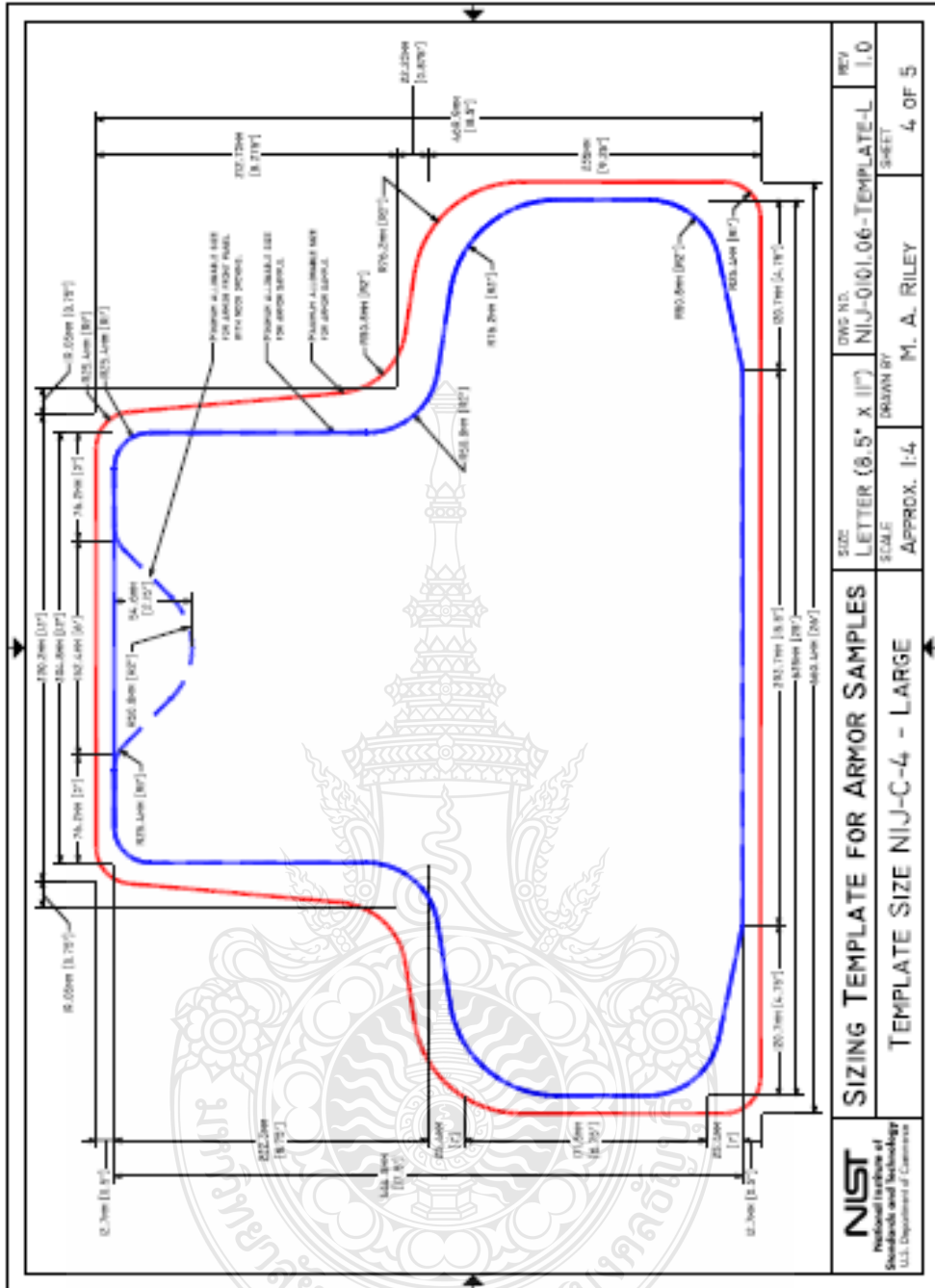
Table 13. Minimum allowable surface areas for production armor

If the smaller template tested is:	The minimum area of production armor shall be:
NIJ-C-1	No limit
NIJ-C-2	0.0980 m ² (152 in ²)
NIJ-C-3	0.1399 m ² (217 in ²)
NIJ-C-4	0.1890 m ² (293 in ²)
NIJ-C-5	Not applicable

Table 14. Maximum allowable surface areas for production armor

If the larger template tested is:	The maximum area of production armor shall be:
NIJ-C-1	Not applicable
NIJ-C-2	0.1399 m ² (217 in ²)
NIJ-C-3	0.1890 m ² (293 in ²)
NIJ-C-4	0.2455 m ² (381 in ²)
NIJ-C-5	No limit





NIST National Institute of Standards and Technology U.S. Department of Commerce	SIZING TEMPLATE FOR ARMOR SAMPLES		DRG NO. NIJ-010.06-TEMPLATE-L	REV I.0
	LETTER (8.5" X 11")		DRAWN BY M. A. RILEY	SHEET 4 OF 5
TEMPLATE SIZE NIJ-C-4 - LARGE		SCALE APPROX. 1:4		

APPENDIX D – ANALYSIS OF BACKFACE SIGNATURE DATA

The measured backface signatures from a P-BFS test for new armor shall be analyzed to determine if the armor will provide adequate protection against behind armor blunt trauma. The requirements given in section 7.8.8 specify that either all measured BFS depths due to fair hits shall be 44 mm (1.73 in) or less, or if any BFS depth exceeds 44 mm (1.73 in) then there shall be 95 % confidence that 80 % of all BFS depths will be 44 mm (1.73 in) or less. In no case may a BFS depth exceed 50 mm (1.97 in).

The requirements of the second condition can be verified using a statistical tolerance limit (see section 8, Reference [8]). In this case, we expect a stated portion of the entire population of all BFS measurements to lie at or below the statistical upper tolerance limit. To achieve this, the population of BFS measurements is assumed to be normally distributed, and the upper tolerance limit, Y_{UL} , must be less than or equal to 44 mm (1.73 in). The upper tolerance limit is defined as:

Here, \bar{Y} is the average of all BFS measurements for armor samples of that particular model, size, condition, and test threat; s is the sample standard deviation of the same set of BFS measurements; and k is a factor that must be determined such that the interval covers the appropriate proportion.

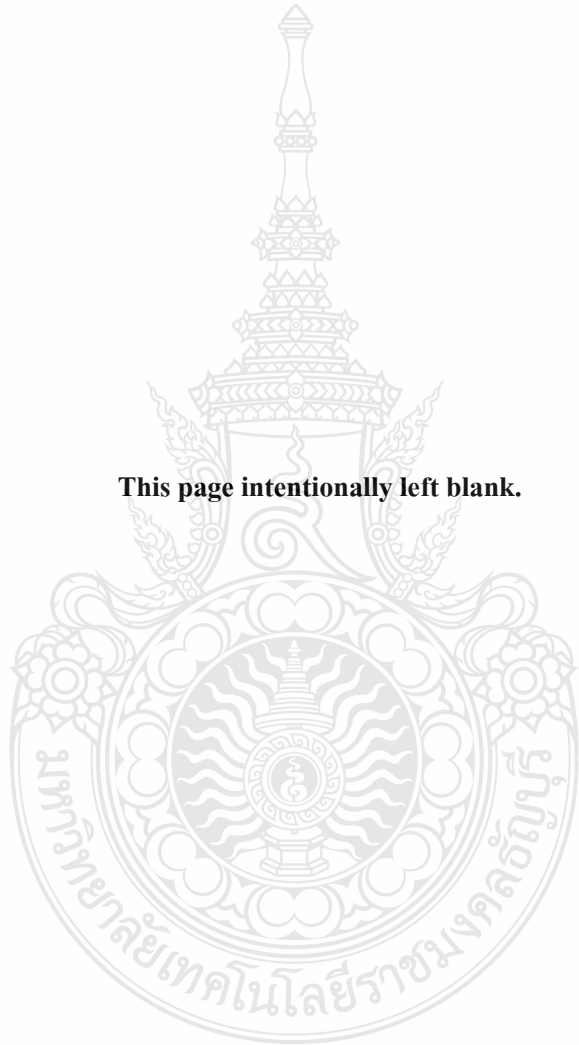
The allowable excessive BFS probability, 20 %, may appear to be high; however, this value is intended to account for both the variation in the armor's performance, which should be small, and the variation in the BFS measurement due to the backing material and the backing material preparation. While careful treatment and preparation of the backing material by the test laboratory can minimize the variation due to the backing material, there will always be some inherent variation introduced into the test results by the backing material. The required probability is chosen to reduce that possibility that an acceptable armor design will fail the PBFS test due to reasonable variation in the backing material.

Table 15. k factors for 80 % probability with 95 % confidence

Number of BFS Measurements, N	k factor, k_1
6	2.143
7	1.961
8	1.837
9	1.745
10	1.673
11	1.616
12	1.568



This page intentionally left blank.

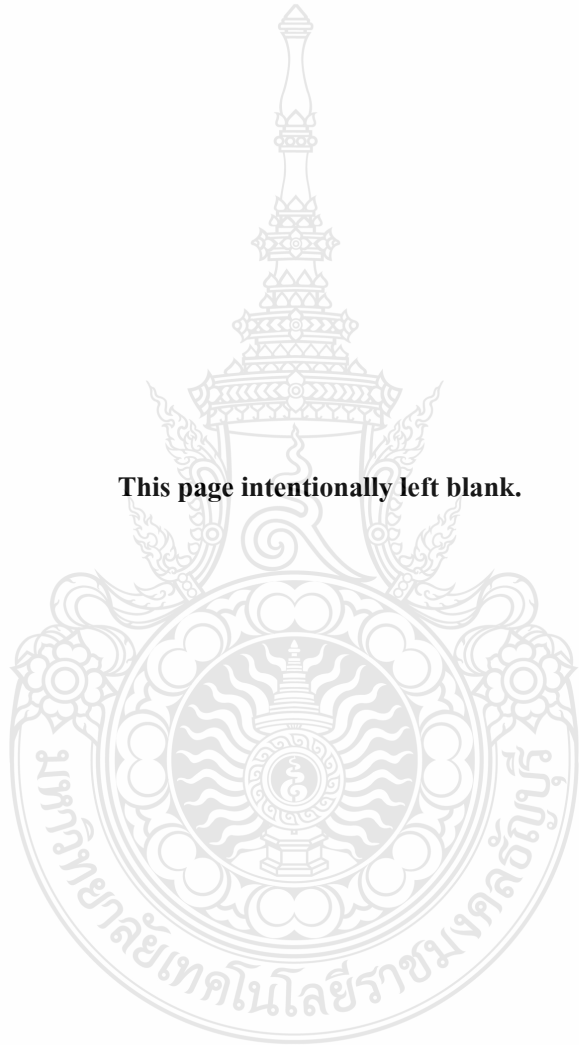


APPENDIX E –ANALYSIS OF BALLISTIC LIMIT DATA

Once the ballistic limit testing has been completed, the test results should be analyzed for each test threat by performing a regression to estimate what the armor's performance will be over a range of velocities. In particular, the analysis should attempt to estimate the velocity where the probability of perforation becomes reasonably small. In general a logistic regression can be used for this purpose; however, other probability distributions and regression methods may be used when one can be shown to better estimate the performance of a particular armor model.



This page intentionally left blank.



APPENDIX F –EXPLANATORY MATERIALS

The following information is provided as explanation for the sections indicated.

Explanatory Material for Section 2 NIJ Body Armor Classification

The ballistic threat posed by a bullet depends on its composition, shape, caliber, mass, angle of incidence, and impact velocity, among other things. Because of the wide variety of bullets and cartridges available in a given caliber and the existence of handloaded ammunition, armors that will defeat a standard test round may not defeat other threats of the same caliber. An armor that defeats a given lead bullet may not resist perforation by other bullets of the same caliber having different construction or configuration. The test ammunitions specified in this standard represent higher velocity versions of threats that law enforcement officers may face in the United States, but which also are among the more difficult threats to safely stop. By testing armors against these threats, the armor will generally be able to stop a wide variety of similar and lesser threats.

As of the publication of this standard, ballistic resistant body armor suitable for full-time wear throughout an entire shift of duty is available in classification Types IIA, II, and IIIA, which provide increasing levels of protection from handgun threats. Type IIA body armor will provide minimal protection against smaller caliber handgun threats. Type II body armor will provide protection against many handgun threats, including many common, smaller caliber pistols with standard pressure ammunition, and against many revolvers. Type IIIA body armor provides a higher level of protection, and will generally protect against most pistol calibers, including many law enforcement ammunitions, and against many higher powered revolvers. Types III and IV armor, which protect against rifle rounds, are generally used only in tactical situations or when the threat warrants such protection.

Type I body armor, which was first issued during the NIJ demonstration project in 1975, has been removed from this test standard due to the increasing prevalence of higher powered threats and the increased power of most law enforcement duty weapons. While it is not yet necessary to remove Type IIA armor from service, agencies that are using this level of protection are advised to review the threats they face and to consider upgrading to a higher level of protection when their current armor reaches the end of its service life.

Explanatory Material for Section 3 Definitions

The definition of perforation was added to improve the clarity of the document and make

the terminology consistent with international standards. *Perforation* replaces *complete penetration*. Although the terms *partial penetration* and *complete penetration* are no longer used in this standard, they may still be used for compatibility with military standards.

Explanatory Material for Section 4 Sample Requirements and Laboratory Configuration

4.1 Test Samples

Ballistic limit testing is not required on smaller sized armor panels for the following reasons. Past research has shown that the size of the armor generally has only a small impact on the penetrability of the armor and that the larger armors tend to be slightly easier to perforate. Therefore, the larger armors are expected to perform slightly worse than the smaller armors. Additionally, there is not enough area on the smaller armors for good ballistic limit testing, and many more panels would be required for the smaller armors.

4.1.5 Labeling

The requirement for English on the label has been removed for the sake of allowing this standard to be more widely used. The requirement for use of a particular language for the label markings should be inserted into the appropriate conformity program or procurement requirements.

4.2.2.1 Handloads

Test laboratories are advised to consider factors that might produce variable ballistic results (day-to-day variations, powder lot, bullet lot, etc.), and to confirm that required velocities will be achieved before testing armor. For ballistic limit testing, sufficiently accurate records should be kept for each test threat such that the load required for particular velocity can be estimated with reasonable accuracy.

4.2.2.3 Test Barrel Fixtures

Test laboratories are advised to verify that correct velocities will be achieved, ensure that the test barrel has achieved thermal stability, and use an appropriate aiming system to ensure proper placement of the test bullet.

4.2.4 Armor Submersion Equipment

No formal test method is provided for measuring impurities in the water used for armor submersion. “Visible impurities” refers to seeing any debris, material, or particles floating in the water or seeing discoloration in the water. Manufacturers may request fresh water for armor submersion of their products.

Explanatory Material for Section 5 Flexible Armor Conditioning Protocol

This method may not reproduce all of the humidity effects associated with the natural environment, such as long-term effects of exposure to high humidity or to low humidity situations. This method does not attempt to duplicate the complex temperature/humidity environment but provides a generally stressful situation that is intended to reveal potential problem areas in the armor.

Accordingly, this procedure does not reproduce naturally occurring or service-induced temperature-humidity time histories, nor is it intended to produce humidity effects that have been preceded by solar effects. It may induce problems that are indicative of long-term effects.

Explanatory Material for Section 6 Hard Armor Conditioning Protocol

This method may not reproduce all of the humidity effects associated with the natural environment, such as long-term effects of exposure to high humidity or to low humidity situations. This method does not attempt to duplicate the complex temperature/humidity environment but, rather, provides a generally stressful situation that is intended to reveal potential problem areas in the armor. This test method will not predict the service life of the armor. Accordingly, this procedure does not reproduce naturally occurring or service-induced temperature-humidity time histories, nor is it intended to produce humidity effects that have been preceded by solar effects. It may induce problems that are indicative of long-term effects. This method does not simulate an exact period of time in the field, nor is it intended as an absolute predictor of actual armor service life.

There is no armor conditioning requirement for the in conjunction flexible armor portions. The plate inserts are required to undergo conditioning, and the flexible armor shall be listed on the NIJ Compliant Products List, indicating that they have already passed both conditioning and ballistic testing.

Explanatory Material for Section 7 Ballistic Test Methods

7.3 Workmanship Examination

Photographs of all samples are not necessary; however, pretest and post-test photographs of all samples, along with photographs of any deficiencies, failures, or unusual results can provide useful information to both the armor manufacturer and the conformity assessment body, and are, therefore, preferred. Such photographic documentation may be required by either the manufacturer or the CTP.

7.6.1 Minimum Shot-to-Edge Distance

The minimum shot-to-edge distance for many test threats is now 51 mm (2.0 in), as opposed to 76 mm (3.0 in) in NIJ Standard–0101.03 and NIJ Standard–0101.04. This returns the limit to distance it was at in earlier versions of the standard.

For the heavier threat rounds used against the Type IIA, II, and IIIA armors, the minimum shot-to-edge distance remains at 76 mm (3.0 in).

The minimum shot-to-edge distance may be further reduced for a particular model at the request of the manufacturer.

7.8 Ballistic Perforation and Backface Signature Testing

Neither the clay backing material nor the backface signature depth measurement reflects characteristics of the human torso or its response to ballistic impact. The clay backing material provides a medium for making BFS measurements.

Explanatory Material for Section 7.9.5

While not a requirement of the current standard, the ballistic limit results may be used to estimate whether a conditioned or a field return has degraded to the point where its performance may be questionable.

From the analysis described above, an acceptable degradation margin for aged armors, m_{in} , can be defined as: V_{arg}

This degradation margin is based on the assumption that while the armor's performance will have declined, the velocity coefficient of the performance curve will have remained nearly the same. Once this margin has been estimated, and assuming that while the armor's performance will have declined, the velocity coefficient of the performance curve will have remained nearly the same, a minimum allowable aged armor ballistic limit may be established. For aged armors the ballistic limit should not have degraded more than the degradation margin. Due to the limited amount of data available to determine the aged armor ballistic limit, some additional reduction might be allowed to account for the variation in the aged armor ballistic limit estimate. This leads to a minimal aged armor ballistic limit that can be defined as:

Or:

Care should be taken when analyzing response data from aged, and particularly field returned, armors. Ballistic limit test data from armors that have not been aged in the same way should generally not be lumped together, and the results from any single specimen may not be

typical of an armor model. However, if estimated ballistic limits from more than a small percentage of aged armors are either close to or less than the established minimum, there may be reason to be concerned with the armor's long term-performance.



About the Law Enforcement and Corrections Standards and Testing Program

The Standards and Testing Program is sponsored by the Office of Science and Technology of the National Institute of Justice (NIJ), Office of Justice Programs, U.S. Department of Justice. The program responds to the mandate of the Homeland Security Act of 2002, which directed the Office of Science and Technology to establish and maintain performance standards in accordance with the National Technology Transfer and Advancement Act of 1995 (Public Law 104-113) to test and evaluate law enforcement technologies that may be used by Federal, State, and local law enforcement agencies. The Homeland Security Act of 2002 also directed the Office of Science and Technology to establish and maintain a program to certify, validate, and mark or otherwise recognize law enforcement technology products that conform to the standards mentioned above.

The Standards and Testing Program is a basic and applied research effort that determines the technological needs of justice system agencies, sets minimum performance standards for specific devices, tests commercially available equipment against those standards, and disseminates the standards and the test results to criminal justice agencies nationally and internationally.

The Office of Law Enforcement Standards (OLES) at the National Institute of Standards and Technology develops voluntary national performance standards for compliance testing to ensure that individual items of equipment are suitable for use by criminal justice agencies. The standards are based upon laboratory testing and evaluation of representative samples of each item of equipment to determine the key attributes, develop test methods, and establish minimum performance requirements for each essential attribute. In addition to the technical standards, OLES also produces technical reports and user guidelines that explain in nontechnical terms the capabilities of available equipment.

The National Law Enforcement and Corrections Technology Center (NLECTC), operated by a grantee, coordinates a national compliance testing program conducted by independent laboratories. The standards developed by OLES serve as performance benchmarks against which commercial equipment is measured.

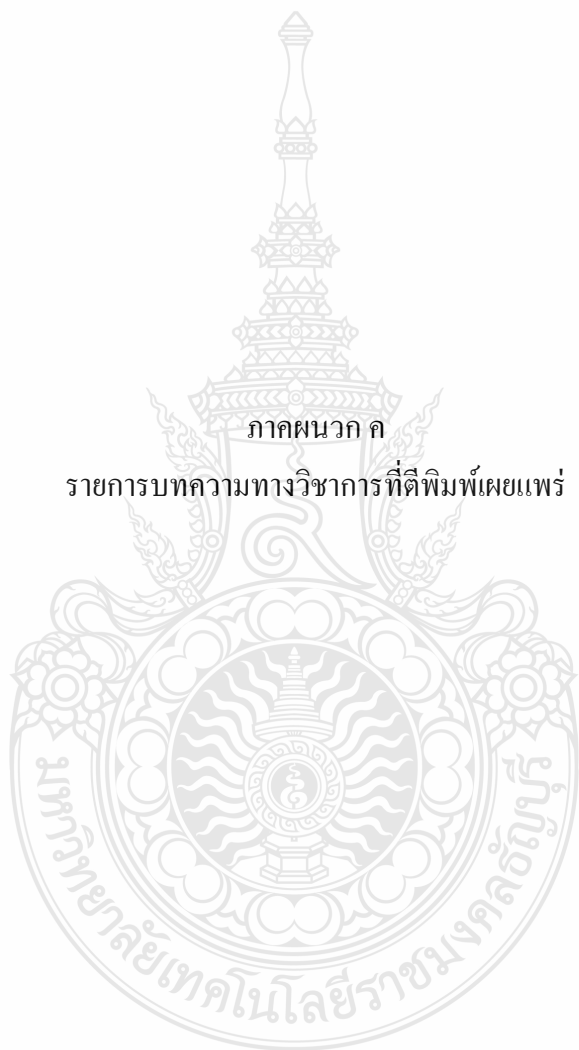
Publications are available at no charge through NLECTC. Some documents are also available online at <https://www.justnet.org/justnet.html>. To request a document or additional information, call 800-248-2742 or 301-519-5050, or write:

National Law Enforcement and Corrections Technology Center
2277 Research Boulevard, Mailstop 8J
Rockville, MD 20850
E-mail: asknlectc@nlectc.org
World Wide Web address: <http://www.justnet.org>

This document is not intended to create, does not create, and may not be relied upon to create any rights, substantive or procedural, enforceable at law by any party in any matter civil or criminal.

Opinions or points of view expressed in this document represent a consensus of the authors and do not represent the official position or policies of the U.S. Department of Justice. The products and manufacturers discussed in this document are presented for informational purposes only and do not constitute product approval or endorsement by the U.S. Department of Justice.

The National Institute of Justice is a component of the Office of Justice Programs, which also includes the Bureau of Justice Assistance; the Bureau of Justice Statistics; the Community Capacity Development Office; the Office for Victims of Crime; the Office of Juvenile Justice and Delinquency Prevention; and the Office of Sex Offender Sentencing, Monitoring, Apprehending, Registering and Tracking (SMART).



เอกสารเผยแพร่
ประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยรังสิต
เมื่อ 2 เมษายน 2552



สารบัญบทความ (ต่อ)

หน้า

กลุ่มที่ 2 วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี (ต่อ)

G2-24	พฤติกรรมการชะล้างของโครเมียมจากมอร์ต้าที่ได้จากการเผาไหม้ในกระบวนการผลิตซีเมนต์ด้วยวิธีการชะล้างแบบ Modified TCLP Leaching behavior of Cr from Mortar Derived from Co-Burning in Cement Process by Modified Toxicity Characteristic Leaching Procedure อัครวิน เอี่ยมคล้าย, จารุรัตน์ วรรณสรากุล และ พวงรัตน์ ขจิตวิษยานุกุล	205
G2-25	การประเมินการใช้งานที่เหมาะสมของมอร์ต้าที่ปนเปื้อนกับสังกะสีในการใช้งานระดับอุตสาหกรรม Determination of Appropriate Application of Zinc Contaminated Mortar in Industrial Level กิตติพิงศ์ คุณเจริญกุล, จารุรัตน์ วรรณสรากุล และ พวงรัตน์ ขจิตวิษยานุกุล	215
G2-26	การศึกษาการเชื่อมพอกผิวแข็งทนแรงกระแทกสูงในวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ Study of high Impact Hardfacing Weld Metal of Carbon Steel by SMAW วีชรพงษ์ มุขเชิด และ บวร โชค ผู้พัฒนา	223
G2-27	การศึกษาอิทธิพลของแรงอัดบนผืนผ้าทอไนลอนต่อการเจาะทะลุของกระสุนปืน A Study of the Influence of Compressive Force on Nylon Fabric on the Penetration of Bullet ชูพงศ์ ไชยหลาก และ สมประสงค์ ภาษาประเทศ	232
G2-28	การศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ในการเชื่อมที่มีผลต่อขนาดแนวเชื่อมในกระบวนการเชื่อมลวดไส้ฟลักซ์ Study of Effect of Welding Parameters on Weld Area in FCAW เอกชัย วารินศิริรักษ์ และ บวร โชค ผู้พัฒนา	239

การศึกษาอิทธิพลของแรงอัดบนผืนผ้าทอไนลอนต่อการเจาะทะลุของกระสุนปืน

A study of the influence of compressive force on nylon fabric on the penetration of bullet

ชูพงศ์ ไชยหลาก และ สมประสงค์ ภาษานประเทศ

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของแรงอัดบนผืนผ้าทอไนลอนต่อการเจาะทะลุของกระสุนปืนขนาด 9 มม. สำหรับการผลิตเกราะกันกระสุน โดยนำเส้นด้ายไนลอน 66 มาทอเป็นผืนผ้าลายตะกร้า (Basket) 2x2 นำผ้ามาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 12x12 ตารางนิ้ว หลังจากนั้นนำผืนผ้าจำนวน 100 ผืนมาวางซ้อนกัน โดยให้แนวด้ายพุ่งและยืนวางสลับกันและประกอบเป็นแผ่นเกราะกันกระสุน 2 แบบ แบบที่ 1 วางซ้อนโดยไม่มีการเย็บผืนผ้าให้ติดกัน แบบที่ 2 วางซ้อนกันพร้อมทั้งเย็บผืนผ้าให้ติดกันทีละ 20 ผืน เท่ากับ 1 ชุด ทำเช่นเดียวกันให้ได้ 5 ชุด แล้วนำมาเย็บกันริมติดกัน นำแผ่นอลูมิเนียมหนา 3 มิลลิเมตรประกบด้านบนและด้านล่างของชั้นผ้าแบบเย็บและไม่เย็บ นำเข้าเครื่องแรงอัดและอัดด้วยแรงอัด 0, 200, 400, 600, 800 และ 1,000 กิโลกรัมแรง และยึดแผ่นเกราะด้วยสกรู นำไปทดสอบการป้องกันกระสุนปืน ตามมาตรฐานชุดโพรโทคอลกระทรวงกลาโหมว่าด้วยเสื้อเกราะกันกระสุน โดยใช้กระสุนขนาด 9 มม. มุมยิง 0 องศา จำนวน 4 จุด และมุมยิง 30 องศา จำนวน 2 จุด ตามมาตรฐานกำหนด ผลการทดสอบพบว่าจำนวนชั้นที่กระสุนทะลุแผ่นเกราะลดลง เมื่อแรงอัดชั้นผืนผ้าเพิ่มสูงขึ้น และการเย็บทำให้จำนวนชั้นที่กระสุนทะลุแผ่นเกราะลดลงด้วยเช่นกัน สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มแรงอัดและการเย็บทำให้แผ่นเกราะสามารถรับแรงที่หัวกระสุนกระทำต่อแผ่นเกราะได้ดีขึ้น และยังทำให้หัวกระสุนเสียความแหลมคมไปจากเดิม และหยุดการทะลุผ่านแผ่นเกราะไปในที่สุด

คำสำคัญ: ไนลอน 66, โครงสร้างผ้า Basket 2X2, มาตรฐานชุดโพรโทคอลกระทรวงกลาโหมว่าด้วยเสื้อเกราะกันกระสุน

Abstract

The purpose of this research is to study the influence of compressive force on woven nylon fabric on the penetration of 9 mm ammunition for the production of armor plate. Nylon 66 yarns were woven into fabric with basket 2x2 structure. The fabric was cut into 12x12 sq. in. 100 layers of the fabric were stacked such that the warp and the weft yarn were placed alternately and assembled into armor plate. Two types of armor plate were prepared. Type 1, fabrics were only stacked on top of one another without being sewn. Type 2, 5 sets of fabrics were sewn together (20 layer of fabrics = 1 set). The fabrics were put between two aluminum plates which 3 millimeter thick and placed in the compression machine. Different levels of compressive forces were applied to the assembly such as 0, 200, 400 600, 800 and 1,000 kilogram force.

Screws were used to hold the plates in place and retain the compressive force. The armor plates were tested according to Thai military standard for armor, 0 degree of the angle of incidence for 4 spots and 30 degree of the angle of incidence for 2 spots with 9 mm ammunition. The results showed that the number of penetrated fabric layers decreased with increasing the compressive force and sewing. It can be concluded that the compressive force and sewing enable better performance for the armor plate. The bullet tip was deformed and stopped eventually.

Keyword: Nylon 66, Basket 2x2 structure, Thai military standard for armor

1. บทนำ

จากงานวิจัยการศึกษาการผลิตเสื้อเกราะกันกระสุนจากผ้าใยประดิษฐ์ เพื่อนำไปใช้ผลิตเชิงพาณิชย์ ระยะที่ 1 ของ สมประสงค์ ภาษาประเทศ และคณะ (2550) เป็นการศึกษาเส้นใยและโครงสร้างผ้าที่เหมาะสมในการผลิตเสื้อเกราะกันกระสุน ซึ่งเส้นใยที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ เส้นใยพอลิเอทิลีน, เส้นใยไนลอน 66 และเส้นใยพอลิเอสเตอร์ โดยนำเส้นใย พอลิเอทิลีน และเส้นใยไนลอน ใช้ผลิตผ้าไม่ทอ และทำการผลิตผ้าทอลายตะกร้า (Basket) 2x2 จากเส้นใยไนลอน 66 และพอลิเอสเตอร์ เพื่อใช้ในการเตรียมชิ้นทดสอบยิง จากนั้นจัดทำแบบชิ้นทดสอบ ทำการวางชิ้นทดสอบบนแบบ ตัดชิ้นทดสอบตามแบบ กำหนดทิศทางการวางผ้า กำหนดวิธีเข็มในการเย็บชิ้นทดสอบและเย็บชิ้นทดสอบ จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปทำการทดลองยิงด้วยกระสุนปืนชนิดต่างๆ ความเร็วกระสุน น้ำหนักของลูกกระสุน มุมในการยิงทดสอบและระยะห่างในการยิงชิ้นทดสอบ อ้างอิงตามที่มาตรฐาน National Institute of Justice Standard-0101.04 กำหนดจากผลการทดสอบยิงขึ้นตัวอย่างพบว่า ผ้าตัวอย่างที่ทอจากเส้นใยพอลิเอสเตอร์ น้ำหนัก 803 ± 50 กรัม (จำนวน 40 ชั้น) ยิงด้วยกระสุนทดสอบชนิด .45 ACP FMJ (Automatic Colt Pistol, Full Metal Jacket) และยิง

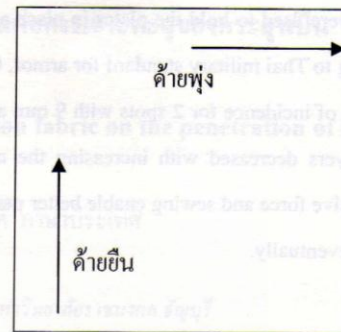
ในสภาวะเปียก สามารถทนแรงทะลุของกระสุนดังกล่าวได้คือไม่มีการทะลุของกระสุนและมีรอยยุบตัวของวัสดุหุนหรือคินน้ำมัน ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งผ่านมาตรฐาน NIJ Standard-0101.04 ระดับ 2A สำหรับผ้าไม่ทอที่ผลิตจากเส้นใยพอลิเอทิลีนและเส้นใยไนลอน ไม่สามารถทนแรงทะลุของกระสุนชนิดดังกล่าวได้

งานวิจัยดังกล่าวมีข้อดีคือได้ศึกษาเส้นใยที่เหมาะสมมีใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมสิ่งทอสามารถใช้ทำเป็นเส้นใยเสื้อเกราะกันกระสุนในการป้องกันกระสุนระดับต้นได้ ซึ่งมีความแข็งแรงสูง มีความเหนียวเป็นพิเศษ ทนแรงกระแทกรวมถึงการกระจายแรงได้ดี มีคุณสมบัติใกล้เคียงเส้นใยอะรามิก ที่ผลิตเป็นเส้นใยเสื้อเกราะกันกระสุนซึ่งมีราคาแพงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่คณะวิจัยฯ ทำการวิจัย ปัญหาของงานวิจัยนี้ เส้นใยที่ผ่านการวิจัยแล้วและผลิตเป็นเสื้อเกราะกันกระสุนสามารถป้องกันกระสุนได้ในระดับ 2 A แต่ผลการทดลองยิงมีการทะลุกระสุนของชั้นพื้นผ้าเสื้อเกราะมากเมื่อเทียบกับเส้นใยอะรามิก และมีน้ำหนักมาก จากปัญหาดังกล่าวจึงมีแนวคิดต้องการพัฒนาเสื้อเกราะให้มีขีดความสามารถป้องกันกระสุนดีขึ้นกว่าเดิม จึงได้ศึกษาวิธีการผลิต การใช้แรงอัดกระทำต่อเส้นใยจะมีผลอย่างไรต่อการป้องกันกระสุน โดยได้เลือกเส้นใยไนลอน

66 จากงานวิจัยของ สมประสงค์ ภาษาประเทศ และคณะ (2550) มาทำการทดลอง

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของแรงอัดบนผืนผ้าต่อการเจาะทะลุของกระสุนปืน
2. เพื่อศึกษาการป้องกันกระสุนของแผ่นเกราะแบบเย็บและไม่เย็บผืนผ้า



3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์

1. เส้นด้าย ไนลอน 66
2. เครื่องทอผ้า
3. เครื่องทดสอบแรงดึง
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก
5. เครื่องทดสอบแรงอัด
6. แผ่นอลูมิเนียมหนา 3 มิลลิเมตร
7. เครื่องวัดความเร็ว
8. วัสดุหนูนแผ่นเกราะ
9. ปืนพกสั้น ขนาด 9 มม
10. กระสุนปืน ขนาด 9 มม

วิธีการทดลอง

1. นำเส้นด้ายไนลอน 66 มาทอเป็นผืนผ้าลายตะกร้า (Basket) 2x2
2. นำผ้าจากการทอตัดทำแบบชิ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยม ขนาด 12x12 ตารางนิ้ว
3. นำผืนผ้าจำนวน 100 ผืนมาวางซ้อนกัน โดยให้แนวด้ายพุ่งและยืนวางสลับกัน

4. นำผ้า 100 ผืนประกอบเป็นแผ่นเกราะกันกระสุน 2 แบบ

4.1 แบบที่ 1 วางซ้อนกันโดยไม่มีการเย็บผืนผ้าให้ติดกัน

4.2 แบบที่ 2 วางซ้อนกันพร้อมเย็บผืนผ้าติดให้ติดกันทีละ 20 ผืน เท่ากับ 1 ชุด ทำเช่นเดียวกันให้ได้ 5 ชุดแล้วนำมาเย็บกันริมติดกัน และกำหนดหลายรูปแบบในการเย็บดังนี้

ก. เย็บเป็นรูปขามเปียกปูน ขนาดประมาณ 1 นิ้ว

ข. เย็บเป็นเส้นทแยงมุม ตามแนวการวางผืนผ้า

5. นำแผ่นอลูมิเนียมหนา 3 มิลลิเมตร ขนาด 13x13 ตารางนิ้ว พร้อมเจาะรูใส่สกรูวางประกบด้านบนและด้านล่างของชิ้นผ้าทั้ง 2 แบบ

6. นำเข้าเครื่องแรงอัด และอัดด้วยแรงอัดที่ 0, 200, 400, 600, 800 และ 1,000 กิโลกรัมแรง แต่ละชิ้นงานทดสอบ และยึดแผ่นเกราะด้วยสกรู

7. นำแผ่นเกราะแบบเย็บและไม่เย็บ ไปทดสอบการป้องกันกระสุนปืน ตามมาตรฐานยูทโพรปรแกรมกระทรวงกลาโหมว่าด้วยเสื้อเกราะกันกระสุนดังนี้

7.1 เตรียมการทดสอบยิง

1) ติดตั้งฉากจับความเร็วให้อยู่ในแนวตั้งฉากกับแนววิถีกระสุน

2) เตรียมกระบะวัสดุหุ่่นที่ผ่านการทดสอบความหนาแน่น (วัสดุหุ่่นใช้ ดินน้ำมัน ยี่ห้อ Roma Plastilina No. 1)

3) เตรียมเครื่องวัดความเร็วกระสุน

7.2 เตรียมกระสุนและปืนที่จะทดสอบ กระสุน ขนาด 9 มม FMJ น้ำหนัก 124

เกรน

7.3 การเตรียมการยิงทดสอบ

1) การเตรียมล้ากล้อ่งปืนทดสอบ

2) ตั้งระยะห่างจากปลายกระบอกปืน ถึงแผ่นเกราะทดสอบ ระยะห่าง 5 เมตร

3) ยิงล้ากล้อ่งปืนกับกระสุนใช้ทดสอบ

4) ยิงทดสอบความเร็วของกระสุนให้ได้ตามกำหนด ในระดับ 2A

5) กำหนดจุดยิงบนชั้นทดสอบ จำนวน 6 จุด มุม 0 องศา จำนวน 4 จุด และมุม 30 องศา จำนวน 2 จุด

6) ทำการยึดตรึงชั้นตัวอย่างให้แน่น

7.4 ทำการยิงตัวอย่างทดสอบ ด้วยกระสุน 9 มม มุม 0 องศา จำนวน 4 นัด และมุมเอียง 30 องศา จำนวน 2 นัด ต่อ 1 ตัวอย่าง

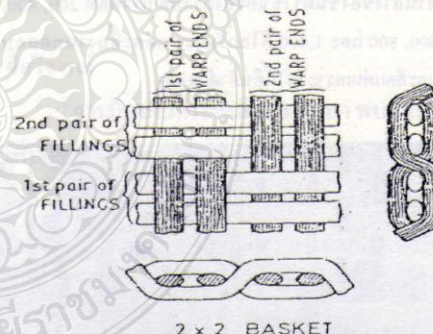
7.5 ตรวจสอบ บันทึกผลการยิงทดสอบ รอยยุบของวัสดุหุ่่นและตรวจนับจำนวนชั้นทะลุกระสุน



รูปภาพที่ 1 เส้นด้ายไบนลอน 66 ความเหนียวสูง



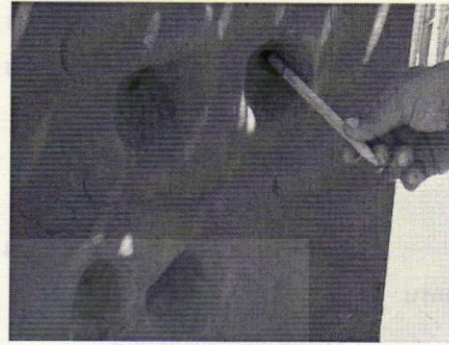
รูปภาพที่ 2 ผืนผ้าไบนลอน 66 เมื่อทอหลายตะกร้า (Basket) 2x2 สำเร็จเป็นผืนผ้าแล้ว



รูปภาพที่ 3 การทอหลายตะกร้า (Basket) 2x2



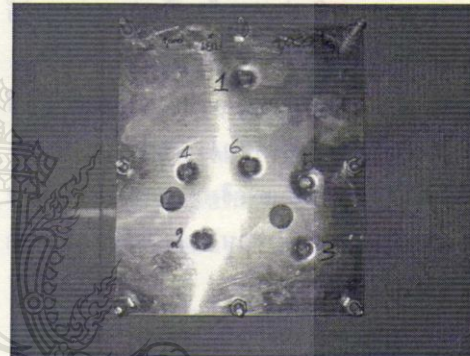
รูปภาพที่ 4 รูปแบบลายเส้นเป็นรูปขมมเปือกปูน ขนาดประมาณ 1 นิ้ว เส้นเป็นเส้นทแยงมุม ตามแนวการวางผืนผ้า



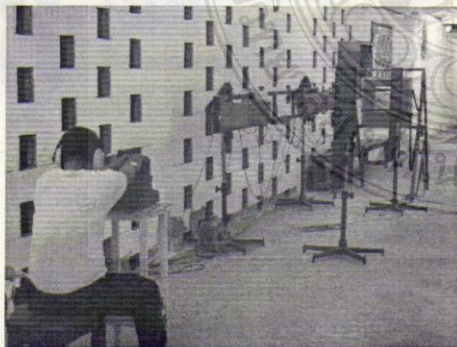
รูปภาพที่ 7 รอยขูดวัสดุหนุนแผ่นเกราะหลังยิงทดสอบ ความลึกไม่เกิน 44 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานกำหนด



รูปภาพที่ 5 นำแผ่นอลูมิเนียมวางประกบด้านบนและด้านล่างของชิ้นผ้า เข้าเครื่องแรงอัด แรงอัดที่ 200, 400, 600, 800 และ 1,000 กิโลกรัมแรง แต่ละชิ้นงานทดสอบ และขีดแผ่นเกราะไม่ให้คืนตัวด้วยสกรู



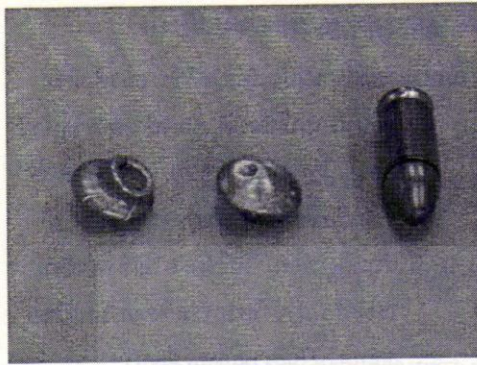
รูปภาพที่ 8 แผ่นเกราะป้องกันกระสุนหลังยิงทดสอบเสร็จแล้ว



รูปภาพที่ 6 นำแผ่นเกราะไปทดสอบการป้องกันกระสุนปืน



รูปภาพที่ 9 ผ่าชิ้นทดสอบแผ่นเกราะเพื่อตรวจนับจำนวนชั้นทะลุของกระสุน



รูปภาพที่ 10 เปรียบเทียบหัวกระสุน 9 มม ก่อนยิงและหลังยิงแผ่นเกราะ

4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

ผลการทดสอบการป้องกันกระสุนปืน ตามมาตรฐานยุโรปกรณีกระสุนกลาโหมว่าด้วยเสื้อเกราะกันกระสุน

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะ ค่าเฉลี่ยจำนวนชั้นทะลุ มุม 0 องศา

แรงกด (กก.แรง)	จำนวนชั้นทะลุแบบเย็บ (ชั้น)	จำนวนชั้นทะลุแบบไม่เย็บ (ชั้น)
0	51	69
200	44	61
400	43	59
600	37	64
800	37	56
1000	21	46

จากตารางที่ 1 ผลการทดลองการยิงทดสอบแผ่นเกราะป้องกันกระสุนพบว่า เมื่อมีการเพิ่มแรงอัดฝืนผ้าจาก 0, 200, 400, 600, 800 และ 1,000 กิโลกรัมแรงตามลำดับ ทำให้หัวกระสุนทะลุฝืนผ้าของแผ่นเกราะลดลงตามลำดับ แต่แผ่นเกราะ

แบบไม่เย็บฝืนผ้ามีจำนวนชั้นของหัวกระสุน ทะลุมากกว่าแบบเย็บทุกๆ แรงอัด

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบยิงแผ่นเกราะ ค่าเฉลี่ยจำนวนชั้นทะลุ มุม 30 องศา

แรงกด (กก.แรง)	จำนวนชั้นทะลุแบบเย็บ (ชั้น)	จำนวนชั้นทะลุแบบไม่เย็บ (ชั้น)
0	62	71
200	50	55
400	47	55
600	50	54
800	41	48
1000	31	46

จากตารางที่ 2 ผลการทดลองการยิงแผ่นเกราะป้องกันกระสุน มุม 30 องศา ในแรงอัดฝืนผ้าต่างๆกัน พบว่าแรงอัดฝืนผ้าที่เพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนชั้นทะลุฝืนผ้าของหัวกระสุนปืนทะลุชั้นน้อยลง แต่แบบไม่เย็บฝืนผ้ามีการทะลุของหัวกระสุนมากกว่าแบบเย็บ แต่จำนวนชั้นทะลุฝืนผ้าไม่ห่างกันมาก

ข้อวิจารณ์

การป้องกันกระสุนมุม 0 องศา พบว่าเมื่อเพิ่มแรงอัดชั้นทดสอบ จำนวนชั้นที่กระสุนทะลุแผ่นเกราะลดลง เนื่องจากการเพิ่มแรงอัดบนแผ่นเกราะทำให้ฝืนผ้าบีบตัวแน่นขึ้น จึงเป็นการเพิ่มความหนาแน่นให้กับเส้นใย ทำให้หัวกระสุนทะลุผ่านเส้นใยได้ยากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชั้นทดสอบแบบเย็บกับแบบไม่เย็บ จะเห็นได้ว่าแบบเย็บชั้นทดสอบ มีการทะลุของกระสุนน้อยกว่าแบบไม่เย็บ เนื่องจากการเย็บชั้นทดสอบเปรียบเสมือนการเพิ่มแรงอัดอย่างหนึ่ง จึงทำให้จำนวนชั้นที่หัวกระสุนทะลุแผ่นเกราะลดลง ผล

การทดลองการป้องกันกระสุนมุม 30 องศา แรงอัดจากน้อยไปหามาก การทะลุของกระสุนจำนวนชั้นของแผ่นเกราะลดลงเช่นกันกับมุม 0 องศา แต่มีจำนวนชั้นผืนผ้าที่ห้วกระสุนทะลุ มากกว่ามุม 0 องศา เนื่องจากการยิงมุม 30 องศา เป็นการยิงมุมเฉียง ทำให้ห้วกระสุนสามารถทะลุผืนผ้าไปได้ง่ายกว่า มุม 0 องศา เนื่องจากช่องว่างของเส้นด้ายที่เกิดจากการทอ เป็นช่องทางที่ทำให้ห้วกระสุนสามารถทะลุทะลวงได้ง่ายขึ้นกว่ามุม 0 องศา ที่ผืนผ้ารับแรงกระสุนในแนวระนาบตรง ห้วกระสุนจะปะทะกับเส้นด้ายโดยตรง

5. สรุปผลการวิจัย

การเพิ่มแรงอัดและการเย็บผืนผ้ามีผลต่อการป้องกันกระสุนของแผ่นเกราะอย่างมาก ทำให้แผ่นเกราะสามารถรับแรงที่กระสุนกระทำต่อแผ่นเกราะได้ดีขึ้น ห้วกระสุนจะทะลุแผ่นเกราะได้น้อยลง การผลิตเสื้อเกราะที่ดี ควรใช้แรงอัดและการเย็บผืนผ้าช่วยในการผลิตเสื้อเกราะ จะทำให้ได้เสื้อเกราะสามารถป้องกันกระสุนได้ดีกว่าเสื้อเกราะแบบไม่ใช้แรงอัดและเย็บให้กับผืนผ้า

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย ผศ.ดร.สมนึก ตั้งษ์หนู, นาวาอากาศตรียอดเยี่ยม ยืนยงค์, เจ้าหน้าที่ตรวจทดลองทุกท่านมหาวิทยาลัยราชวมงคล รัชฎบุรี, และ กรมสรรพาวุธทหารอากาศ ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- สมประสงค์ ภาษาประเทศ, ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย อภิชาติ สนธิสมบัติ, บิณฑสันต์ ขวัญข้าว ชูพงศ์ ไชยหลาก. (2550). การศึกษาการผลิตเสื้อเกราะกันกระสุนจากผ้าใยประดิษฐ์เพื่อนำไปใช้ผลิตในเชิงพาณิชย์ ระยะที่ 1.สาขาวิศวกรรมสิ่งทอ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล รัชฎบุรี.
- สมประสงค์ ภาษาประเทศ. (2545). เอกสารประกอบการเรียนวิชาวิศวกรรมสิ่งทอ ชั้นสูง. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัชฎบุรี
- มาตรฐานยูทโรปรกรณ์ กระทรวงกลาโหม ว่าด้วยเสื้อเกราะกันกระสุน (กมย. กท. 1/2547)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นาวาอากาศตรี ชูพงศ์ ไชยหลาก
วัน เดือน ปีเกิด	14 กุมภาพันธ์ 2507
ที่อยู่	20/43 หมู่ที่ 4 หมู่บ้านสุขญา ตำบลบึงยี่โถ อำเภอัญญบุรี ปทุมธานี 12130
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรบัณฑิต สาขาการจัดการ สิ่งทอ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เมื่อ พ.ศ.2549
ทุนการศึกษา	ทุนกองทัพอากาศศึกษาประกาศนียบัตรบัณฑิต สาขาการจัดการ สิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
สถานที่ทำงาน	ฝ่ายตรวจทดลอง แผนกวิจัยและตรวจทดลอง กองวิทยาการ กรมพลธิการทหารอากาศ
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2527 - 2539	เจ้าหน้าที่ตรวจทดลอง ฝ่ายตรวจทดลอง แผนกวิจัยและตรวจทดลอง กองวิทยาการ กรมพลธิการทหารอากาศ
พ.ศ. 2539 - 2547	นายทหารตรวจทดลอง แผนกวิจัยและตรวจทดลอง กองวิทยาการ กรมพลธิการทหารอากาศ
พ.ศ. 2547 - 2551	รองหัวหน้าฝ่ายตรวจทดลอง แผนกวิจัยและตรวจทดลอง กองวิทยาการ กรมพลธิการทหารอากาศ
พ.ศ. 2551- ปัจจุบัน	หัวหน้าฝ่ายตรวจทดลอง แผนกวิจัยและตรวจทดลอง กองวิทยาการ กรมพลธิการทหารอากาศ
ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์	การศึกษาอิทธิพลของแรงอัดบนพื้นผ้าทอในลอนต่อการเจาะทะลุของกระสุนปืน