การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้แผ่นคาร์บอนเคฟล่าร์ในงานประดับยนต์สำหรับทำเสื้อเกราะกันกระสุนป้องกันภัยคุกคามระดับ 3A – 3

A Study of Optimal Factor in Utilization Carbon-Kevlar in Car Accessories Materials for the Ballistic Armor Threats Level 3A - 3

ธรรม์ณชาติ วันแต่ง

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ประเภททั่วไป ประจำปีงบประมาณ 2556

การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้แผ่นคาร์บอนเคฟล่าร์ในงานประดับยนต์สำหรับทำเสื้อเกราะกันกระสุนป้องกันภัยคุกคามระดับ 3A – 3

A Study of Optimal Factor in Utilization Carbon-Kevlar in Car Accessories Materials for the Ballistic Armor Threats Level 3A - 3

ธรรม์ณชาติ วันแต่ง

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ประเภททั่วไป ประจำปีงบประมาณ 2556

ธรรม์ณชาติ วันแต่ง. 2556. การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้แผ่นคาร์บอนเคฟล่าร์ในงานประดับยนต์สำหรับทำเสื้อเกราะกันกระสุนป้องกันภัยคุกคามระดับ 3A–3. สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชเพชรบูรณ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยในด้านวัสดุสำหรับทำแผ่นเกราะกันกระสุนจากวัสดุงานประดับยนต์ที่มีผลต่อการป้องกันภัยคุกคราม ระดับ 3A – 3 ตามมาตรฐานยุทโธปกรณ์ กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหม ซึ่งเป็นการวิจัยต่อเนื่องจาก เรื่อง การประยุกต์ใช้แผ่นคาร์บอนเคฟล่าร์ในงานประดับยนต์เพื่อใช้ทำเสื้อเกราะกันกระสุน ระดับ 2 โดยออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดี่ยวที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง ทำการศึกษาปัจจัยด้านการเสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้คาร์บอนไฟเบอร์ไว้หน้าแผ่นคาร์บอนเคฟล่าห์ที่ส่งผลต่อการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ จากผลการทดลองปัจจัยด้านวัสดุสำหรับทำแผ่นเกราะกันกระสุนจากวัสดุงานประดับยนต์ที่มีผลต่อการป้องกันภัยคุกคราม ระดับ 3A ด้วยกระสุนจริงขนาด .357 magnum ทดลองซ้ำ 6 ครั้ง พบว่า ปัจจัยด้านการเสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์มีผลต่อการป้องกันการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ในเสื้อเกราะกันกระสุนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปัจจัยที่เหมาะสมชี้ให้เห็นว่าการใช้วัสดุในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 3 จะสามารถป้องกันการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ได้ดีที่สุด ส่วนการศึกษาปัจจัยในด้านวัสดุสำหรับทำแผ่นเกราะกันกระสุนป้องกันภัยคุกคราม ระดับ 3 นั้นไม่สามารถดำเนินการได้สำเร็จลุล่วงเนื่องจากความจำกัดด้านงบประมาณ

คำสำคัญ: เสื้อเกราะกันกระสุน; แผ่นเกราะกันกระสุน; วัสดุงานประดับยนต์

Tannachart Wantang. 2013. A Study of Optimal Factor in Utilization Carbon-Kevlar in Car Accessories Materials for the Ballistic Armor Threats Level 3A - 3. Research in Production Engineering, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Phetchabun Rajabhat University.

ABSTRACT

This research was aimed at to study of optimal factor in utilization carbon-kevlar in car accessories materials for the ballistic armor threats level 3A-3. (standard of defence science and technology department) this research is to R&D from the Utilization of carbon-kevlar car accessories for the bulletproof vest threats level 2. The research uses a single factorial designed at 95% confident level and analysis of variances. The first factor is the material layer of epoxy putty carbon fiber plate (the front of carbon kevlar) and second factor is non material layer has the affecting backface signature of bullet. The testing with bullet level 3A was repeated fired six times. The result indicates found that, the factor is material layer is epoxy putty carbon fiber plate has affecting penetrations of bullet in level 3A them are significant statistically and the factors indicated the used of materials in 3 bulletproof vest test. It will be able to resist the Backface Signature of bullet as will. But The testing with bullet level 3 can not be implemented successfully because of the Insufficient budget.

Keywords: Bullet Proof Vests; Ballistic Armor; Car Accessory Materials

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2556 และขอขอขอบคุณ ดาบตำรวจศิริชัย วิฤทธิ์ จาก สภ.เมืองเพชรบูรณ์ และนายตุลย์ตวัญช์ พวงจันทร์หอม จาก รพ.เพชรบูรณ์ ผู้ทำหน้าที่ยิงทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนในงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณจ่าสิบเอกประภาศ ประติโก ผู้ควบคุมสนามยิงปืน กองพันทหารม้าที่ 18 กองพลทหารม้าที่ 1 ค่ายพ่อขุนผาเมือง จ.เพชรบูรณ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกด้านต่างๆในการใช้สนามยิงปืน ขอขอบคุณ หจก.ไทยโพลีแอด กรุงเทพฯ ที่แบ่งจำหน่ายวัสดุและให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลด้านเทคนิคของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ อีกทั้งขอขอบคุณคณาจารย์และนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตที่ช่วยเหลืองานวิจัยตลอดจนจบโครงการ ข้าพเจ้าจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ข
กิตติกรรมประกาศ		ค
สารบัญตาราง		ฉ
สารบัญภาพ		ช
บทที่ 1	บทนำ	1
	1. ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
	2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
	3. ขอบเขตของงานวิจัย	2
	4. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย	2
	5. นิยามศัพท์	2
	6. ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
	7. ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
	1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเสื้อเกราะกันกระสุน	4
	2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	10
	3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง	13
	4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย	20
	1. การเลือกแผนการออกแบบการทดลอง	20
	2. เครื่องมือวิจัย	21
	3. การจัดทำเสื้อเกราะกันกระสุนในการทดลอง	21
	4. หลักเกณฑ์การทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน	23
	5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	23
บทที่ 4	ผลการวิจัย	25
	1. ผลการทดลองตามปัจจัย	25
	2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยการคำนวณ	26
	3. การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง	28
	4. การวิเคราะห์ผลการทดลองทางกายภาพ	32
บทที่ 5	สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	36
	1. สรุปและอภิปรายผล	36
	2. ข้อเสนอแนะ	37

บรรณานุกรม 38
ภาคผนวก 42
ภาคผนวก ก. คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย 43
ภาคผนวก ข. รูปภาพการดำเนินงาน 45
ภาคผนวก ค. การสร้างแผ่นเกราะกันกระสุนจากวัสดุคาร์บอนไฟเบอร์ 51
ภาคผนวก ง. เอกสารการเผยแพร่งานวิจัย 55
ประวัตินักวิจัย 67

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	มาตรฐาน NIJ Standard-0101.06 ของการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน	6
ตารางที่ 2.1	หลักเกณฑ์ที่ใช้ทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน	8
ตารางที่ 3.1	ตารางที่ออกแบบสำหรับเก็บผลการทดลอง ระดับ 3A	20
ตารางที่ 3.2	ตารางที่ออกแบบสำหรับเก็บผลการทดลอง ระดับ 3	21
ตารางที่ 4.1	ผลการทดลองค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ ระดับ 3A	25
ตารางที่ 4.2	ผลรวมและค่าเฉลี่ยการทดลองค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ ระดับ 3A	26
ตารางที่ 4.3	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยการคำนวณ	27
ตารางที่ ก.1	คุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	44

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1.1	สมมติฐานและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
ภาพที่ 2.1	ลำดับการยิงทดสอบจำนวน 6 นัด	8
ภาพที่ 2.2	การเกิดบลันท์ ทรอมาและการทดสอบค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์	9
ภาพที่ 2.3	การตรวจวัดค่าความลึกค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์	9
ภาพที่ 2.4	จุดการตรวจวัดความแข็งของวัสดุหนุนลองเสื้อเกราะกันกระสุน	10
ภาพที่ 2.5	วัสดุคาร์บอนไฟเบอร์	11
ภาพที่ 2.6	วัสดุเคฟล่าร์	12
ภาพที่ 2.7	วัสดุคาร์บอนเคฟล่าร์	13
ภาพที่ 2.8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยเดี่ยวและบล็อค	16
ภาพที่ 3.1	เสื้อเกราะกันกระสุนและวัสดุในการทดลองที่ระดับการทดลอง a	22
ภาพที่ 3.2	เสื้อเกราะกันกระสุนและวัสดุในการทดลองที่ระดับการทดลอง b	22
ภาพที่ 3.3	เสื้อเกราะกันกระสุนและวัสดุในการทดลองที่ระดับการทดลอง c	22
ภาพที่ 3.4	ชุดตรวจการวัดยุบตัวและวัดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์	23
ภาพที่ 3.5	วัสดุและเสื้อเกราะกันกระสุนในการทดลองตามปัจจัย	23
ภาพที่ 3.6	อาวุธปืนที่ใช้ทดสอบ ขนาด .357 magnum	24
ภาพที่ 3.7	เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์	24
ภาพที่ 3.8	เครื่องชั่งน้ำหนัก	24
ภาพที่ 4.1	ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวแบบปกติของค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์	28
ภาพที่ 4.2	ผลการวิเคราะห์ความเสถียรของความแปรปรวนของค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์	29
ภาพที่ 4.3	ผลการวิเคราะห์ความเป็นอิสระของค่าส่วนตกค้างของค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์	29
ภาพที่ 4.4	แผนภาพกล่องแสดงผลของปัจจัยด้านวัสดุของค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์	30
ภาพที่ 4.5	แผนภาพค่าต่างแสดงผลของปัจจัยด้านวัสดุของค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์	30
ภาพที่ 4.6	ผลการทดสอบวัสดุทดสอบในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 1	34
ภาพที่ 4.7	การทะลุจากแรงดันของกระสุนในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 1	34
ภาพที่ 4.8	ผลการทดสอบวัสดุทดสอบในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 2	34
ภาพที่ 4.9	ผลการทดสอบวัสดุทดสอบในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 3	35
ภาพที่ 4.10	แผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 20 ชั้น และ 10 ชั้น	35
ภาพที่ 4.11	ลักษณะผิดรูปของกระสุนในการทดลองและกระสุนทั้งหมดหลังการทดสอบ	35
ภาพที่ ข.1	สนามยิงปืนที่ใช้ในการทดสอบ กองพันทหารม้าที่ 18 ค่ายพ่อขุนผาเมือง	46
ภาพที่ ข.2	การจัดเตรียมเสื้อเกราะกันกระสุนที่ใช้ในการทดลอง	46
ภาพที่ ข.3	อาวุธปืนที่ใช้ในการทดลอง	46
ภาพที่ ข.4	การวางตำแหน่งเสื้อเกราะกันกระสุนเพื่อยิงทดสอบ	47
ภาพที่ ข.5	การยิงทดสอบที่ระยะ 5 เมตร	47

ภาพที่ ข.6 การตรวจสอบตำแหน่งที่ทำการยิงทดสอบ 47
ภาพที่ ข.7 การถอดเสื้อเกราะกันกระสุนออกจากชุดตรวจการวัดยุบตัวหลังยิงทดสอบ 48
ภาพที่ ข.8 การวัดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์จากชุดตรวจการวัดยุบตัวหลังยิงทดสอบ 48
ภาพที่ ข.9 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเสื้อเกราะกันกระสุนหลังยิงทดสอบ 48
ภาพที่ ข.10 ลักษณะแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ที่ผ่านการยิงทดสอบ 49
ภาพที่ ข.11 ลักษณะแผ่นคาร์บอนเคฟล่าห์ที่ผ่านการยิงทดสอบ 49
ภาพที่ ข.12 ลักษณะแผ่นเคฟล่าห์ที่ผ่านการยิงทดสอบ 49
ภาพที่ ข.13 การเก็บหัวกระสุนตามลำดับหลังยิงทดสอบ 50
ภาพที่ ข.14 การตรวจสอบปลอกกระสุน 50
ภาพที่ ข.15 ผู้ทำหน้าที่ยิงทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน 50
ภาพที่ ค.1 การเตรียมแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ 52
ภาพที่ ค.2 การตัดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ให้ได้ขนาดเท่ากับแผ่นเกราะกันกระสุน 52
ภาพที่ ค.3 การทากาวอีพ๊อกซี่พัตตี้ลงบนแผ่นแรกให้เรียบทั่วแผ่น 52
ภาพที่ ค.4 การนำแผ่นเปล่ามาวางบนแผ่นที่ทากาวอีพ๊อกซี่พัตตี้สลับลายในทุกแผ่น 53
ภาพที่ ค.5 เทคนิคการสลับลายเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ในแต่ละแผ่น 53
ภาพที่ ค.6 นำแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้คาร์บอนไฟเบอร์ประกอบไว้แผ่นหน้าสุดในเสื้อเกราะกันกระสุน 54
ภาพที่ ง.1 การเผยแพร่ผลงานวิจัย เรื่อง มรภ.เพชรบูรณ์ทำเสื้อเกราะ ในหนังสือพิมพ์ไทยรัฐ 56
ภาพที่ ง.2 นำเสนอผลงานวิจัย เรื่อง เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล ในงานมหกรรมการนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ 2556 สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ศูนย์ประชุมบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เซ็นทรัลเวิลด์ กรุงเทพฯ 56
ภาพที่ ง.3 การเผยแพร่ผลงานวิจัยในโครงการเครือข่ายห้องสมุดในประเทศไทย (ThaiLIS) 57
ภาพที่ ง.4 เผยแพร่ผลงานวิจัยในเว็ปไซต์เอ็กซ์พลอร์ ห้องสมุวิจัยสำหรับสาธารณะ http://thai-explore.net/ 57
ภาพที่ ง.5 เผยแพร่ผลงานวิจัย เรื่อง เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล ในระบบงานประชาสัมพันธ์และเว็ปไซต์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ 57
ภาพที่ ง.6 คำขอรับอนุสิทธิบัตร เลขที่ 1303000092 วันยื่นคำขอ 22 มกราคม 2556 ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์ แผ่นเกราะกันกระสุนจากวัสดุคาร์บอนไฟเบอร์ (ขณะนี้แก้ไขรอบ 3) 58

บทที่ 1
บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

จากการปฏิบัติหน้าที่ของทหาร ตำรวจ และเจ้าหน้าที่รัฐหน่วยต่างๆที่ปฏิบัติงานในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงหรือในพื้นที่ชายแดนภาคใต้ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ป้องกันตัวส่วนบุคคลที่ครบถ้วน เช่น เสื้อเกราะกันกระสุน โลห์กันกระสุน หมวก หรือชุดป้องกันขา เป็นต้น เพื่อว่าจะเป็นอุปกรณ์ในการรักษาชีวิตของเจ้าหน้าที่เหล่านั้นไว้ จากข้อมูลกำลังพลในจังหวัดเพชรบูรณ์ได้ลงปฏิบัติงานในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ตั้งแต่ปี 2549 เป็นต้นมาและก็ได้ประสบเหตุอันตรายจนมีการบาดเจ็บและสูญเสียชีวิต เช่นกัน ตัวอย่างเช่น ร.อ. มานพ พันธ์สะโม กองพันทหารม้าที่ 13 ค่ายพ่อขุนผาเมือง เจ้าของรางวัลคนดีของแผ่นดินประจำปี 2553 ที่ต้องประสบเหตุการณ์ร้ายแรงจนต้องสูญเสียขาทั้งสองข้างและบาดเจ็บหลายแห่ง ซึ่งนับว่าเป็นการสูญเสียที่ใกล้ตัวชาวจังหวัดเพชรบูรณ์ทุกคน และนอกจากการทำงานของทหารแล้วการทำงานด้านการปราบปรามยาเสพติดของตำรวจ สมาชิกกองอาสารักษาดินแดน (อส.) และเจ้าหน้าที่รัฐฝ่ายอื่นๆในปัจจุบันก็มีความเสี่ยงสูงเช่นกัน เพราะในปัจจุบันคนร้ายมักจะมีอาวุธและต่อสู้ขัดขืนเจ้าหน้าที่เป็นประจำดังข่าวสารที่ปรากฏ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีเสื้อเกราะกันกระสุนให้บุคลากรเหล่านั้นใช้เป็นเครื่องป้องกันตัวส่วนบุคคล ดังคำกล่าวของ พล.ต.อ. อดุลย์ แสงสิงแก้ว เมื่อครั้งเป็น รอง ผบ.ตร. ที่กล่าวว่าควรมีการทบทวนการทำงานเพื่อป้องกันการสูญเสีย โดยให้เจ้าหน้าที่ตำรวจใส่เสื้อเกราะกันกระสุนในขณะปฏิบัติหน้าที่เพื่อเป็นอุปกรณ์ป้องกันตัวส่วนบุคคลทุกคน เพราะว่าการใส่เสื้อเกราะกันกระสุนขณะปฏิบัติหน้าที่นั้นจะช่วยลดอันตรายจากกระสุนปืนหรือของมีคมอื่นๆที่มาทำร้ายบริเวณลำตัวของผู้ที่สวมใส่ได้เป็นอย่างดี เสื้อเกราะกันกระสุนคุณภาพดีจะมีน้ำหนักเบาและมีราคาสูงมาก ประมาณ 30,000 บาทขึ้นไป ส่วนใหญ่จะมีเฉพาะเจ้าหน้าที่ระดับสัญญาบัตรเท่านั้น ส่วนเจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการ (ชั้นประทวน) จะใช้เสื้อเกราะกันกระสุนจากการแจกของหน่วยงานต้นสังกัดซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 10 ก.ก. ขึ้นไป ด้วยเหตุจากน้ำหนักมากเกินไปจึงทำให้เจ้าหน้าที่ไม่นิยมใส่กัน และนอกจากนั้นแล้วการบริจาคเสื้อเกราะกันกระสุนให้ผู้ปฏิบัติงานในภาคใต้ก็ยังมีข้อสงสัยว่าไม่สามารถป้องกันกระสุนปืนได้จริงตามคุณสมบัติที่กล่าวอ้าง

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยถึงวัสดุที่ใช้ในการทำเสื้อเกราะกันกระสุนอย่างกว้างขวาง เช่น การประยุกต์ทำเสื้อเกราะกันกระสุนกันเองจากฟิล์มเอ็กสเรย์ในเสื้อเกราะพระเจ้าตาก จากใยแก้ว (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 4263, 2551) จากแผ่นเหล็กบวกกับแผ่นซับแรงต้านการหมุนของกระสุนจากเม็ดทรายอัดกับยาง (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 7274, 2555) จากเซรามิกส์ชนิดอลูมินาหุ้มอะลูมิเนียมและเส้นใยเคฟลาร์ความหนาแน่นสูงในเสื้อเกราะของเอ็มเท็ค เป็นต้น และมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ก็ได้ทำวิจัยวัสดุสำหรับทำเสื้อเกราะกันกระสุนดังข่าวในหนังสือพิมพ์ไทยรัฐ วันที่ 3 กันยายน 2556 โดยได้ประสบความสำเร็จในการใช้แผ่นคาร์บอนเคฟล่าร์ในงานประดับยนต์เพื่อใช้ทำเสื้อเกราะกันกระสุนสำหรับป้องกันภัยคุกคาม ระดับ 2 หรือกระสุนขนาด 9 มม., 11 มม. และ .45 ACP ได้จริง (ธรรม์ณ

ชาติ 2554) จากข้อมูลดังกล่าวจึงเป็นต้นแบบเสื้อเกราะกันกระสุนที่ควรมีการพัฒนาต่อยอดให้สามารถหยุดการทะลุของกระสุนในระดับที่สูงต่อไป

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่ศึกษาวิจัยต่อยอดงานวิจัยดังกล่าวโดยจะทำการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้วัสดุงานประดับยนต์สำหรับทำเสื้อเกราะกันกระสุน เพื่อให้สามารถป้องกันภัยคุกคามระดับ 3A ซึ่งกระสุนจะมีอำนาจการทะลุทะลวงที่สูงขึ้น ขนาดกระสุน .357 SIG FMJ (FN) หรือ .44 Magnum (SJHP) และจะพัฒนาต่อให้ถึงระดับ 3 โดยทำการศึกษาอิทธิพลด้านตัวแปรของวัสดุและการเสริมชั้นอีพ็อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ เพื่อจะเป็นการรวบรวมข้อมูลในการสร้างเสื้อเกราะกันกระสุนต้นแบบที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพ สำหรับทหาร ตำรวจ สมาชิกกองอาสารักษาดินแดน (อส.) และเจ้าหน้าฝ่ายความมั่นคงในจังหวัดเพชรบูรณ์และที่อื่นๆต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในด้านวัสดุสำหรับทำแผ่นเกราะกันกระสุนจากวัสดุงานประดับยนต์ที่มีผลต่อการป้องกันภัยคุกคามระดับ 3A – 3

3. ขอบเขตของงานวิจัย

3.1 การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยจะศึกษาวิจัยต่อยอดจากงานวิจัย เรื่อง การศึกษาการใช้แผ่นคาร์บอนเคฟล่าร์ในงานประดับยนต์เพื่อใช้ทำเสื้อเกราะกันกระสุน ระดับ 2 และพัฒนาสู่การป้องกันภัยคุกคามระดับ ระดับ 3A - 3

3.2 ใช้การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม โดยใช้เครื่องมือการทดลองแบบปัจจัยเดี่ยวและการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบอโนวาในการกำหนดระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ส่วนจำนวนซ้ำและวิธีการการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน U.S. NIJ. 0101.06

3.3 ทำการทดสอบด้วยกระสุนจริงตามมาตรฐานยุทโธปกรณ์กระทรวงกลาโหม (กมย.กห.) ระดับ 3A - 3 ณ สนามยิงปืน กองพันทหารม้าที่ 18 กองพลทหารม้าที่ 1 ค่ายพ่อขุนผาเมือง โดยเจ้าหน้าที่ที่มีความเชี่ยวชาญด้านอาวุธปืน พิจารณาผลตอบสนองผ่านสัดส่วนค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ (Backface Signature) และการป้องกันการทะลุของกระสุนทางกายภาพ

3.4 ทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองด้านปัจจัยที่เหมาะสม ในช่วงเวลาปีการศึกษา 2556-2557

4. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 ศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และศึกษาวิจัยต่อยอดในด้านเสื้อเกราะกันกระสุน

4.2 การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในด้านวัสดุสำหรับทำแผ่นเกราะกันกระสุนจากวัสดุงานประดับยนต์ที่มีผลต่อการป้องกันภัยคุกคามระดับ 3A – 3

4.3 จัดทำเสื้อเกราะกันกระสุนและซองทดสอบเพื่อใส่วัสดุตามปัจจัย

4.4 ดำเนินการทดลองด้วยกระสุนจริง ระดับ 3A – 3 ณ สนามยิงปืน กองพันทหารม้าที่ 18 กองพลทหารม้าที่ 1 ค่ายพ่อขุนผาเมือง วิธีการการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน U.S. NIJ. 0101.06

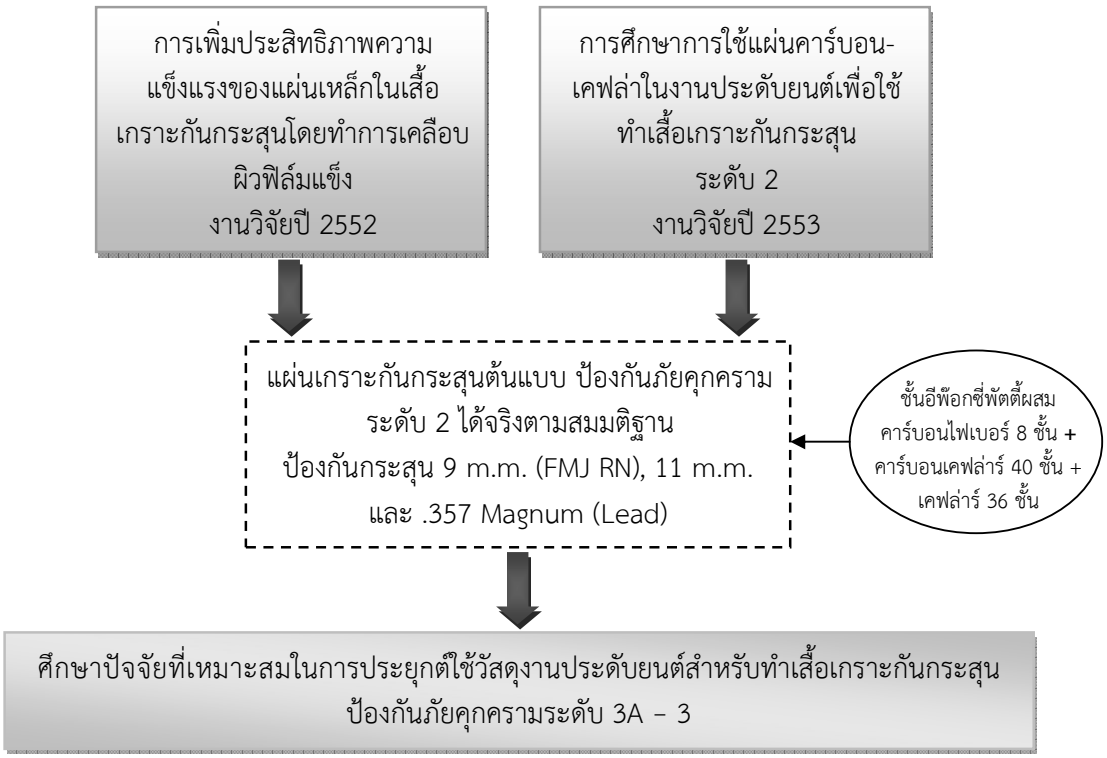
4.5 ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองโดยใช้เทคนิคการทดลองแบบปัจจัยเดี่ยวและการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบอโนวา

4.6 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะจากการทดลอง พร้อมจัดทำรูปเล่มวิจัยฉบับสมบูรณ์

5. นิยามศัพท์

ค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ คือ ค่าจากการยุบตัวของเสื้อเกราะหลังทดสอบด้วยกระสุนจริง ตามมาตรฐาน U.S. NIJ. 0101.06 โดยได้จากการทดสอบยึดเสื้อเกราะเข้ากับกระบะวัสดุหนุนรองซึ่งมีดินสังเคราะห์ (Roma Plastilina No.1) แล้วทำการยิงทดสอบ หัวกระสุนจะดันเสื้อเกราะเข้าไปจนเกิดเป็นรอยยุบตัวด้านหลังทำให้ตรวจวัดได้ ค่ามาตรฐานการทดสอบกำหนดไว้ว่าเสื้อเกราะจะยุบตัวเข้าไปได้ไม่เกินกว่า 44 ม.ม. เพราะถ้าเกินค่าที่กำหนดหัวกระสุนจะทำอันตรายโดยดันเสื้อเกราะให้เกิดการยุบตัวเข้าไปกระแทกอวัยวะสำคัญภายในร่างกาย เช่น หัวใจ ปอด กระดูกสันหลัง หรือศูนย์รวมประสาทอื่นๆได้

6. ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย



ภาพที่ 1.1 สมมติฐานและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

7. ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

ปัจจัยในด้านวัสดุและปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับทำแผ่นเกราะกันกระสุนจากวัสดุงานประดับยนต์ที่มีผลต่อการป้องกันภัยคุกคามระดับ 3A – 3 นอกจากนั้นแล้วยังสามารถเผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการ วารสารวิจัย การยื่นขอจดอนุสิทธิบัตร การประชาสัมพันธ์มหาวิทยาลัยฯ (เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล) และการต่อยอดใช้งานจริง สำหรับทำเสื้อเกราะราคาถูก มีประสิทธิภาพสูงเพื่อป้องกันชีวิตและลดระดับความรุนแรงจากกระสุนปืนที่ยิงบริเวณลำตัวของผู้ที่สวมใส่ ตลอดจนนำมาบูรณาการเข้ากับการเรียนการสอน วิชา กลศาสตร์ของวัสดุ และวิชาวัสดุวิศวกรรม

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของงานวิจัยนี้จะประกอบด้วย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเสื้อเกราะกันกระสุน ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุที่ใช้ในการทดลอง ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเสื้อเกราะกันกระสุน

เสื้อเกราะกันกระสุน หมายถึง เสื้อหรือสิ่งใดๆที่ประกอบขึ้นด้วยการมีแผ่นเกราะสำหรับป้องกันและลดอันตรายจากกระสุนปืนหรือสิ่งทำอันตรายอื่นๆที่บริเวณลำตัวของผู้ที่สวมใส่ เสื้อเกราะกันกระสุนเป็นเครื่องป้องกันส่วนบุคคลที่จำเป็นกับเจ้าหน้าที่เพราะในปัจจุบันคนร้ายมักจะใช้อาวุธต่อสู้ขัดขืนเจ้าหน้าที่เป็นประจำ การใส่เสื้อเกราะกันกระสุนขณะปฏิบัติหน้าที่จะช่วยลดอันตรายจากกระสุนปืนหรือของมีคมอื่นๆที่มาทำร้ายบริเวณลำตัวของผู้ที่สวมใส่ได้เป็นอย่างดี ส่วนประกอบของเสื้อเกราะจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ เสื้อนอก (Outside Shell Carrier) เป็นส่วนที่ใช้สำหรับรับแรงกระแทก อาจจะมีส่วนที่ใช้แผ่นเหล็กหรือเซรามิก เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทก ส่วนยึดรั้ง (Fastening Sys- tem) ใช้ยึดเสื้อเกราะกับร่างกายทำให้เกิดความกระชับ และ แผ่นรับแรงกระแทก (Ballistic Panel) ลักษณะเป็นใยสังเคราะห์ เมื่อถูกแรงกระแทกจะเกิดการยืดตัวช่วยดูดซับพลังงานเพื่อลดความเร็วของกระสุนที่ผ่านเข้ามา (สุพินท์ 2550) เสื้อเกราะจากใยสังเคราะห์จะมีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงกว่าโลหะ

การแบ่งเสื้อเกราะกันกระสุนสามารถแบ่งได้หลายแบบ เช่น การแบ่งตามชนิด แบ่งตามมาตรฐานการทดสอบ หรือแบ่งตามพันธะทางเคมีและพฤติกรรมของวัสดุ เป็นต้น ในประเทศไทยนั้นจะแบ่งตามมาตรฐานการทดสอบ โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ เสื้อเกราะอ่อนและเสื้อเกราะแข็ง ซึ่งรายละเอียดของเสื้อเกราะอ่อนนั้นจะถูกผลิตขึ้นมาเพื่อให้ป้องกันกระสุนได้จนถึงระดับ 3A (Michael et al. 2008) ส่วนเสื้อเกราะแข็งจะสามารถป้องกันกระสุนในระดับที่สูงกว่า ในปัจจุบันได้มีการคิดค้นวัสดุในเสื้อเกราะกันกระสุนในรูปแบบต่างๆ เช่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สามารถผลิตเสื้อเกราะกันกระสุนที่ผลิตจากผ้าใยประดิษฐ์หรือโพลีเอสเตอร์ (สมประสงค์ 2550) การนำฟิล์มเอกซ์เรย์มาประกอบเป็นเสื้อเกราะ ของหน่วยวิทยาการ จังหวัดตาก ในนามเสื้อเกราะพระเจ้าตาก (กฤษฎา กร, 2550) และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ทำแผ่นกระจายแรงจากเซรามิกส์ชนิดอลูมินาหุ้มด้วยโลหะอะลูมิเนียมและเส้นใยเคฟลาร์ความหนาแน่นสูง (ศิริลักษณ์ 2554) เป็นต้น

เสื้อเกราะกันกระสุนถูกประกาศให้เป็นยุทธภัณฑ์ตามพระราชบัญญัติควบคุมยุทธภัณฑ์ พ.ศ. 2530 และเป็นประกาศกระทรวงกลาโหม เรื่อง กำหนดยุทธภัณฑ์ที่ต้องขออนุญาต ดังนั้นการมีเสื้อเกราะไว้เป็นของส่วนตัวจึงต้องได้รับอนุญาตครอบครองจากนายทะเบียนตามกฎหมาย การขออนุญาตครอบครองเสื้อเกราะกันกระสุนนั้นสามารถยื่นขออนุญาต หรือให้หน่วยงานที่รับผิดชอบประสานงานที่กองควบคุมยุทธภัณฑ์และพัฒนาอุตสาหกรรม ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร กระทรวงกลาโหม ซึ่งจะมีหน้าที่ควบคุมยุทธภัณฑ์ในการสั่งเข้าหรือนำเข้าและการครอบครองตลอดจนควบคุมการส่งออกไปนอกราชอาณาจักรซึ่งอาวุธภัณฑ์และสิ่งที่ใช้ในการสงครามตามพระราชบัญญัติ

ควบคุมยุทธภัณฑ์ทั้งหมด ยกเว้นหน่วยงานทหารและตำรวจที่สามารถขออนุญาตมีเสื้อเกราะกันกระสุน มีอาวุธปืน และเครื่องกระสุนปืนไว้ในครอบครองได้ตามนโยบายของทางราชการ

1.1 มาตรฐานการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน

1.1.1 มาตรฐานการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนของเอ็นไอเจ

เอ็นไอเจอยู่ภายใต้พระราชบัญญัติการครอบครองเสื้อเกราะกันกระสุน (Bulletproof Vest Partnership Grant Act) ของกระทรงยุติธรรม (U.S. Department) สหรัฐอเมริกา เริ่มก่อตั้งตั้งแต่ปี 1998 ได้ทำการทดสอบและทำการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในการค้นหาวัสดุใหม่รวมถึงวิธีการใหม่เพื่อนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์เสื้อเกราะกันกระสุน โดยการพัฒนาในแต่ละครั้งจะกำหนดมาตรฐานภายใต้ชื่อ NIJ (United States National Institute of Justice) แล้วตามด้วยหมายเลขการพัฒนา เช่น NIJ Standard-0101.03 และ NIJ Standard-0101.04 ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาถึง NIJ Standard-0101.06 ในการพัฒนามาตรฐานแต่ละครั้งจะทำการกำหนดมาตรฐานวิธีการทดสอบอย่างชัดเจน (Compliance Testing Program (CTP)) ในการประเมินระดับของเสื้อเกราะกันกระสุนจึงจำเป็นต้องทำการทดสอบโดยการยิงด้วยกระสุนจริงและเป็นกระสุนปืนที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป ดังตารางที่ 1.1 ส่วนการยิงทดสอบสามารถยิงจากปืนธรรมดาหรือจากแท่นยิงสำหรับทดสอบก็ได้ แต่ในทางปฏิบัติจะนิยมยิงจากแท่นทดสอบมากกว่าปืนธรรมดาเนื่องจากการยิงด้วยแท่นยิงทดสอบจะใช้ลำกล้องปืนที่มีความยาวมาตรฐานทำให้ได้ความเร็วถูกต้องตามตารางการทดสอบ นอกจากนั้นการยิงด้วยแท่นยิงทดสอบยังเป็นการยิงในห้องปฏิบัติการซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นซึ่งจะได้ผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือมากขึ้น การกำหนดมาตรฐานเสื้อเกราะกันกระสุนให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ใช้เป็นเรื่องที่ละเอียดอ่อน เพราะจะมีการกระทบต่อผู้ประกอบการรายต่างๆที่ผลิตและจำหน่ายเสื้อเกราะกันกระสุนอย่างมาก ดังนั้นในแต่ละประเทศจะมีมาตรฐานการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนของตัวเอง โดยส่วนมากจะอยู่ภายใต้การควบคุมของกระทรวงกลาโหมของประเทศ เช่น เอ็นไอเจ (United States National Institute of Justice (NIJ)) ของประเทศสหรัฐอเมริกา เอช โอ เอส ดี บี (Home Office Scientific Development Branch (HOSDB)) ของประเทศอังกฤษ ประเทศไทยใช้มาตรฐานยุทโธปกรณ์กระทรวงกลาโหม (กมย.กห.) ว่าด้วยเกราะกันกระสุนและมาตรฐานอื่นๆ แต่การทดสอบตามมาตรฐานเอ็นไอเจถือว่าเป็นมาตรฐานที่นิยมใช้กันกว้างขวางมากที่สุด

ตารางที่ 1.1 มาตรฐาน NIJ Standard-0101.06 ของการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน

ระดับ	กระสุนขนาด	น้ำหนักหัวกระสุน (กรัม)	น้ำหนักหัวกระสุน (เกรน)	Velocities (m/s) ±9.1m/s	Velocities (fp/s) ±30fp/s
Level I	.22 (LR LRN)	2.6 g	40 gr	329 m/s	1080 ft/s
	.380ACP (FMJ RN)	6.2 g	95 gr	322 m/s	1055 ft/s
Level IIA	9 mm (FMJ RN)	8 g	124 gr	355 m/s	1165 ft/s
	9 mm (FMJ RN)	8 g	124 gr	373 m/s	1225 ft/s
	.40 S&W (FMJ)	11.7 g	180 gr	325 m/s	1065 ft/s
	.40 S&W (FMJ)	11.7 g	180 gr	352 m/s	1155 ft/s
รวมไปถึงป้องกันกระสุนในระดับ Type I]					
Level II	9 mm (FMJ RN)	8 g	124 gr	379 m/s	1245 ft/s
	9 mm (FMJ RN)	8 g	124 gr	398 m/s	1305 ft/s
	.357 Magnum (Lead)	10.2 g	158 gr	408 m/s	1340 ft/s
	.357 Magnum (Lead)	10.2 g	158 gr	436 m/s	1430 ft/s
รวมไปถึงป้องกันกระสุนในระดับ Types I และ IIA]					
Level IIIA	.357 SIG FMJ(FN)	8.1 g	125 gr	430 m/s	1410 ft/s
	.357 SIG FMJ(FN)	8.1 g	125 gr	448 m/s	1470 ft/s
	.44 Magnum (SJHP)	15.6 g	240 gr	408 m/s	1340 ft/s
	.44 Magnum (SJHP)	15.6 g	240 gr	436 m/s	1430 ft/s
รวมไปถึงป้องกันกระสุนในระดับ Types I, IIA และ II]					
Level III	7.62 × 51mm NATO หรือ M80 ball ของกองทัพอเมริกา หรือ.308 Caliber	9.6 g	148 gr	847 m/s	2780 ft/s
รวมไปถึงป้องกันกระสุนในระดับ Types I, IIA, II และ IIIA].					
Type IV	กระสุนเจาะเกราะขนาด 30-06 หรือ แบบ M2 AP ของกองทัพอเมริกา	10.8 g	166 gr	878 m/s	2880 ft/s
รวมไปถึงป้องกันกระสุนในระดับ Types I, IIA, II, IIIA และ III].					

ที่มา : Michael et al. (2008)

1.1.2 มาตรฐานการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนของกระทรวงกลาโหม ประเทศไทย

คณะกรรมการกำหนดมาตรฐานยุทโธปกรณ์กระทรวงกลาโหม (กมย.กห.) กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหม (วท.กห.) ได้กำหนดมาตรฐานยุทโธปกรณ์กระทรวงกลาโหมว่าด้วยเกราะกันกระสุน ซึ่งได้แปล วิเคราะห์ ประยุกต์ และเรียบเรียง ให้เหมาะสมกับประเทศไทยโดยอิงมาตรฐาน U.S. NIJ.0101.04 และทำการปรับให้เหมาะสมกับอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของไทยเป็นหลัก โดยจำแนกตามระดับได้เป็น 6 ระดับ ดังนี้

(1) ระดับที่ 1 เป็นระดับที่สามารถกันกระสุนที่เป็นภัยคุกคามที่มีหัวกระสุนขนาด .22LR และ .380ACP ได้

(2) ระดับที่ 2A สามารถป้องกันกระสุนในขนาด 9 มม. พาราฯ และกระสุนขนาด .40 S&W และระดับ 1 ได้

(3) ระดับที่ 2 เสื้อเกราะแบบมาตรฐานใช้กันอย่างกว้างขวางทั่วโลก เป็นเสื้อเกราะมาตรฐานของเจ้าหน้าที่ตำรวจสหรัฐ กันกระสุนได้เกือบทุกชนิด ยกเว้นกระสุนปืนพกที่มีอำนาจการทะลุทะลวงสูง

(4) ระดับที่ 3A เป็นระดับที่สามารถกันกระสุนปืนพกโดยทั่วไปได้ เป็นเสื้อเกราะที่ออกแบบโดยการรวมคุณสมบัติการป้องกันกระสุน และป้องกันการเสียบแทงด้วยวัตถุมีคมเข้าด้วยกัน สามารถป้องกันวัตถุมีคมได้ทุกชนิดที่มีแรง ไม่เกิน 81.2 ฟุต/ปอนด์

(5) ระดับที่ 3 เสื้อเกราะชนิดพิเศษถูกออกแบบมาเพื่อป้องกันกระสุนปืน 44 แมกนั่ม รีวอลเวอร์ ซึ่งโดยปกติ กระสุนชนิดนี้ สามารถทะลุทะลวงผ่านเสื้อเกราะคุณภาพต่ำได้ นอกจากนี้ยังสามารถกันกระสุนความเร็วสูงจำพวกกระสุนปืนพก และปืนกลเบาขนาด 9 มิลลิเมตรได้ดี

(6) ระดับที่ 4 เสื้อเกราะชนิดนี้ ถูกออกแบบมาสามารถกันกระสุนปืนเล็กยาวชนิดเจาะเกราะขนาด 30-40 และที่รุนแรงน้อยกว่าทั้งหมด

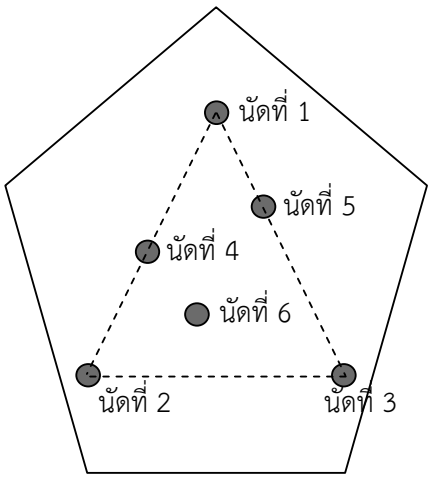
1.2 การทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน

1.2.1 การเตรียมเสื้อเกราะกันกระสุนก่อนการยิงทดสอบ

เสื้อเกราะกันกระสุนที่นำมายิงทดสอบจะต้องไม่ใช่เสื้อเกราะที่ผู้ผลิตจัดเตรียมไว้สำหรับการทดสอบโดยเฉพาะหรือผลิตขึ้นเป็นล็อตพิเศษ แต่จะทำการสุ่มทดสอบจากสต็อคที่มีทั้งหมด และก่อนการยิงทดสอบเสื้อเกราะจะต้องอยู่ในสภาพที่เปียกชื้น โดยจะทำการพ่นฝอยน้ำให้มีลักษณะคล้ายฝนตกในปริมาณตามที่กำหนด ซึ่งในปัจจุบันผู้ใช้งานได้ให้ความสำคัญกับการเตรียมก่อนการยิงทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนมากขึ้น เช่น กระทรวงยุติธรรม สหรัฐอเมริกา ได้เพิ่มขั้นตอนการเตรียมเสื้อเกราะก่อนการยิงทดสอบให้มีความใกล้เคียงกับเสื้อเกราะกันกระสุนที่ผ่านการใช้งานจริงมาแล้ว โดยกำหนดให้อบเสื้อเกราะกันกระสุนในเครื่องอบที่มีความร้อนสูงและมีความชื้นสูงเป็นเวลาหลายชั่วโมง และยังต้องนำไปปั่นในถังหมุน (Tumbling Generation) ก่อนการยิงทดสอบ

1.2.2 ตำแหน่งการยิงทดสอบ

การยิงทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน จะทำการยิงครั้งละ 6 นัด ตามตำแหน่งในภาพ และจะต้องทำการวัดความเร็วกระสุนพร้อมกันไปด้วย โดยใช้เครื่องวัดความเร็วกระสุนจำนวน 2 เครื่อง เพื่อหาค่าเฉลี่ย ดังภาพที่ 2.1 และหลักเกณฑ์ที่ใช้ทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน ดังตารางที่ 1.2



ภาพที่ 2.1 ลำดับการยิงทดสอบจำนวน 6 นัด
ที่มา : Michael et al. (2008)

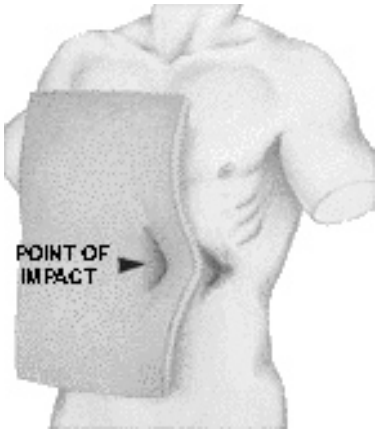
ตารางที่ 1.2 หลักเกณฑ์ที่ใช้ทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน

ระดับ	ระยะยิง	ลำดับการยิง	องศาการยิง	จำนวน	หมายเหตุ
I ถึง IIIA	5 เมตร	1	0 องศา	1 นัด	รวมทั้งหมด
		2	30 องศา	1 นัด	6 นัด
		3	- 30 องศา	1 นัด	
		4, 5, 6	0 องศา	3 นัด	
III	15 เมตร		0 องศา	6 นัด	
IV	15 เมตร		0 องศา	1 นัด	ยิงตรงจุดศูนย์กลาง

ที่มา : Michael et al. (2008)

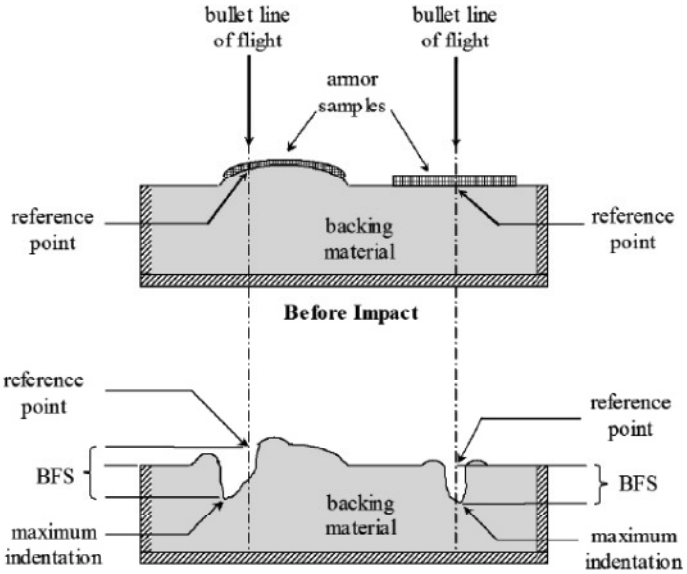
1.2.3 การทดสอบการยุบตัวของแผ่นโลหะของเสื้อเกราะ

เกณฑ์ในการประเมินการทดสอบการยุบตัวของแผ่นโลหะของเสื้อเกราะจะใช้ทดสอบเพื่อบอกถึงการหยุดยั้งหัวกระสุนไม่ให้ทะลุผ่านเสื้อเกราะและการยุบตัวของเสื้อเกราะที่อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย โดยข้อพิจารณาที่สำคัญที่สุดก็คือหัวกระสุนจะต้องไม่ทะลุผ่านเสื้อเกราะเข้าไปโดนร่างกาย แต่ก็ยังคงต้องพิจารณาถึงอันตรายที่เกิดจากแรงหัวกระสุนดันเสื้อเกราะให้เกิดการยุบตัวเข้าไปกระแทกอวัยวะสำคัญ การกระแทกร่างกายจะเรียกว่า บลันท์ทรอมา (Blunt Trauma) หมายถึง อาการฟกช้ำ ดังภาพที่ 2.2 ซึ่งอาการดังกล่าวจะต้องอยู่ในระดับที่ไม่ปรากฏอาการออกมาให้เห็น และร่างกายของมนุษย์สามารถทนทานต่ออาการบลันท์ทรอมาได้ ในการทดสอบจะคิดค่าออกมามีหน่วยเป็นมิลลิเมตร เรียกว่า แบล็คเฟซซิกเนเจอร์ ซึ่งจะกำหนดไว้ว่าเสื้อเกราะจะยุบตัวเข้าไปได้ไม่เกินกว่า 44 มิลลิเมตร

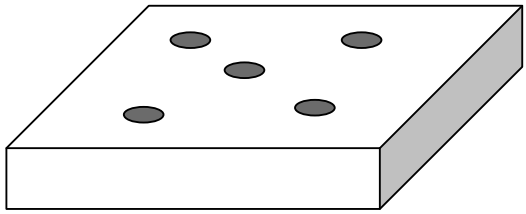


ภาพที่ 2.2 การเกิดบลันท์ ทรอมาและการทดสอบค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์
ที่มา : http://www.ondutygear.com/armor-express-armor-shoot.html, 27 มกราคม 2554.

ในการตรวจพิสูจน์ว่ารอยยุบตัวที่เกิดขึ้นเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่จะใช้วิธีการยึดเสื้อเกราะเข้ากับวัสดุหนุนรองซึ่งเป็นดินสำหรับงานปั้นประติมากรรมหรือดินสังเคราะห์ (Roma Plastilina No.1) ซึ่งมีเสถียรภาพดีกว่าดินธรรมชาติ ดินที่ใช้เป็นวัสดุหนุนรองจะบรรจุในกระบะเมื่อถูกยิงหัวกระสุนจะดันเสื้อเกราะเข้าไปเกิดเป็นรอยยุบตัวถาวรทำให้สามารถตรวจวัดค่าความลึกได้ ดังภาพที่ 2.3 และสามารถปรับแต่งรูปร่างเพื่อนำกลับมาใช้เป็นวัสดุหนุนรองสำหรับการยิงทดสอบซ้ำได้ในครั้งต่อไป ในการตรวจสอบความแข็งของวัสดุหนุนรองตามมาตรฐาน U.S. NIJ.0101.04 ได้กำหนดการตรวจสอบด้วยการใช้ลูกเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5 มม. (น้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม) ทิ้งจากระยะความสูง 2 เมตร จำนวน 5 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย ซึ่งต้องมีค่ามาตรฐานที่ 19 มม.±2 มม. ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.3 การตรวจวัดค่าความลึกค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์
ที่มา : Michael et al. (2008)



ภาพที่ 2.4 จุดการตรวจวัดความแข็งของวัสดุหนุนลองเสื้อเกราะกันกระสุน
ที่มา : ดัดแปลงมาจาก Michael et al. (2008)

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองทำเสื้อเกราะกันกระสุนในการทดลองนี้มีหลายชนิดและมีคุณภาพที่แตกต่างกันไปแต่จะสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ได้ดังนี้

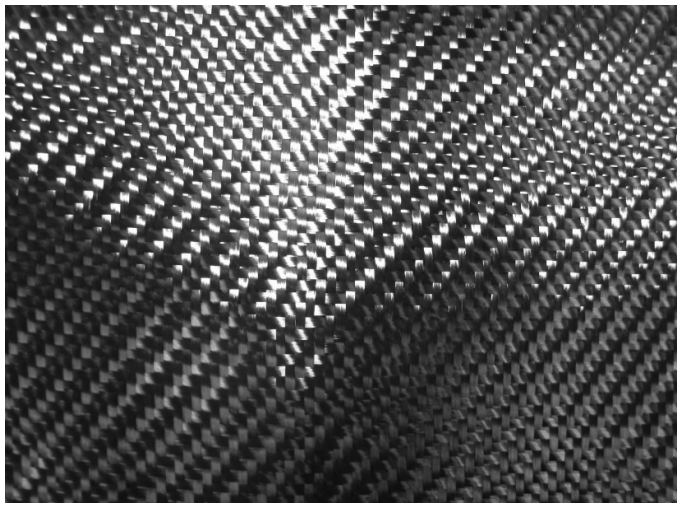
2.1 คาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber)

คาร์บอนไฟเบอร์ มีลักษณะคล้ายกับ คาร์บอนเคฟล่าร์ และเคฟล่าร์จนบางครั้งอาจแยกความแตกต่างได้ยาก ส่วนใหญ่จะถูกใช้ในวงการการแข่งรถความเร็วสูงหรือการตกแต่งรถเพื่อความสวยงาม ซึ่งจะมีลักษณะคาร์บอนไฟเบอร์และเคฟล่าร์เป็นเส้นใยสังเคราะห์เหมือนกันแต่มีคุณสมบัติและสีที่แตกต่างกัน สำหรับคาร์บอนไฟเบอร์มีกระบวนการผลิตด้วยการนำกราไฟต์ (Graphite) มาผ่านกระบวนการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิสูงจนกลายเป็นเส้นใยพิเศษ เพราะฉะนั้นคาร์บอนไฟเบอร์จึงมีลักษณะเป็นสีดำเท่านั้น ดังภาพที่ 2.5 และในปัจจุบันได้ถูกผลิตเพิ่มมากขึ้นเพราะมีคุณสมบัติด้านความเหนียวสูง ทนแรงเสียดสีได้ดี แต่จะมีความเปราะสูงเช่นกัน คาร์บอนไฟเบอร์มีพื้นฐานมาจากโพลิเมอร์หรือพลาสติกทั่วไปอยู่ในตระกูลโพลีอะไครลอนไนไตร (Polyacrylonitrile) เรียกย่อๆว่า พีเอเอ็น (PAN) ต้นกำเนิดเริ่มต้นมาจากการผลิตผ้าเรยองในยุคแรกและถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง หลังจากนั้นจึงนำมาผ่านกระบวนการสังเคราะห์ที่มีอุณหภูมิสูงจนกลายเป็นเส้นใยที่เรียกว่า โพลีอะไครลอนไนไตรไฟเบอร์ (Polyacrylonnitrite Fiber) โมเลกุลที่ผ่านกระบวนการจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยการเรียงลำดับโครงสร้างทางเคมีกันใหม่เพื่อให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ซึ่งการผลิตเส้นใยคาร์บอนนั้นมี 4 ขั้นตอนดังนี้

- อ็อกซิเดชั่น (Oxidation) คือ ขั้นตอนที่เอาเส้นใยพีเอเอ็นมาเผาที่ความร้อนสูง 3,000 องศาเซลเซียส จนเส้นใยเปลี่ยนจากสีขาวกลายเป็นสีดำ โดยจะต้องเผาให้ทั่วจนถึงส่วนที่ลึกที่สุดของเส้นใยเมื่อจบขั้นตอนนี้จะได้ผ้าโนเม็ก (Nomex) หรือผ้าชนิดเดียวกับการทำเสื้อกันไฟ
- คาร์โบนิเซชั่น (Carbonisation) คือ การแยกธาตุทุกชนิดที่ไม่ใช้คาร์บอนออกจากเส้นใยพีเอเอ็นโดยใช้วิธีแยกด้วยการนำไปเผาที่ความร้อน 10,000-30,000 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศความดันสูงด้วยสารไนโตรเจน คาร์บอนไฟเบอร์ที่ถูกเผาให้มีความร้อนสูงมากจะมีความแข็งแรงมากด้วย
- กระบวนการปรับปรุงผิว (Surface Treatment) คือ การเคลือบผิวหน้าของเส้นใยให้สามารถรวมตัวกันเป็นเส้นใยที่ใหญ่ขึ้นเพื่อเหมาะนำไปใช้งาน การเคลือบจะใช้สารประกอบโพลิเมอร์ซึ่งสามารถยึดเกาะโครงสร้างเล็กๆให้คงรูปได้และทำให้เส้นใยมีความแข็งแรง หากการเคลือบผิวไม่ดีจะมีโพรงอากาศเกิดขึ้นเวลานำเส้นใยไปใช้งานจะมีความเปราะสูง

- การเคลือบผิว (Surface Coating) คือ การนำเอาอีพ็อกซี่มาเคลือบผิวเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้โดยไม่มีการหลุดลุ่ยของผิวคาร์บอนไฟเบอร์ เพราะคาร์บอนไฟเบอร์ที่นำไปใช้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปผืนผ้าที่จะต้องนำมาตัดและขึ้นรูปกับแม่พิมพ์แล้วจึงทำการหล่อเพื่อนำไปใช้งาน หากการเคลือบไม่ดีเส้นใยคาร์บอนจะหักเป็นเศษเล็กๆในระดับที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็นและการสูดดมเข้าไปจะเป็นอันตรายต้นเหตุของการเกิดมะเร็งขั้วปอดได้

เมื่อเสร็จกระบวนการสี่ขั้นตอนดังกล่าวแล้วจะได้ผืนผ้าคาร์บอนไฟเบอร์ซึ่งมีความทนทานกว่าเหล็กประมาณ 5 เท่าเมื่อเทียบที่มวลเท่ากัน นอกจากนี้ยังสามารถทนแรงบิด-ความเค้นได้สูง มีความเบาและมีความหนาแน่นน้อย โดยคาร์บอนไฟเบอร์สามารถทนแรงดึงได้มากกว่าวัสดุไททาเนียม เนื่องจากเป็นการจัดเรียงตัวของโมเลกุลธาตุคาร์บอน ในการใช้งานผืนผ้าคาร์บอนไฟเบอร์กับงานประดับยนต์จะนำเส้นใยไฟเบอร์กลาส (Fiber Glass) มาใช้เคลือบคล้ายกับกระบวนการการทำเรซินแต่ว่าเรซินที่ใช้กับคาร์บอนไฟเบอร์จะมีความแตกต่างกับน้ำยาที่ใช้ในงานไฟเบอร์ทั่วไป เพราะทางโรงงานผู้ผลิตผืนผ้าคาร์บอนไฟเบอร์จะจำหน่ายผืนผ้าคาร์บอนไฟเบอร์พร้อมกับน้ำยาเรซินเฉพาะตัวบวกกับน้ำยาทำให้แข็ง (Hardener) นอกจากน้ำยาที่แตกต่างกันแล้วการจะนำคาร์บอนไฟเบอร์ไปขึ้นรูปจะต้องใช้การอบหรือให้ความร้อนตามเกรดและจำนวนชั้นของคาร์บอนไฟเบอร์ตามที่โรงงานผู้ผลิตกำหนด มิฉะนั้นจะไม่ได้ความแข็งแรงเทียบเท่ากับมาตรฐานที่กำหนด



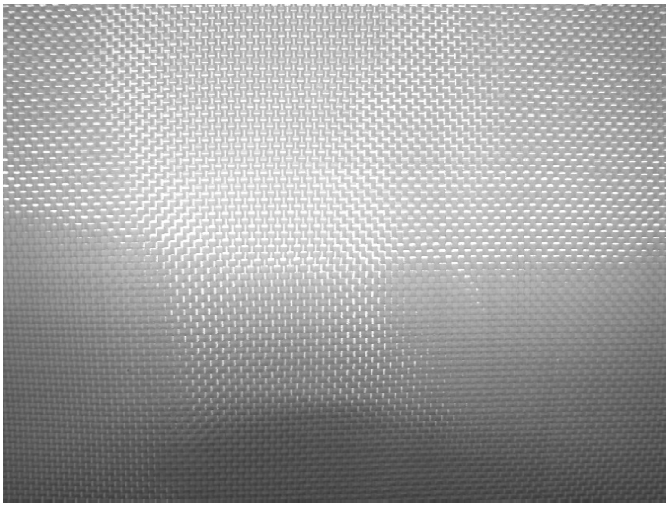
ภาพที่ 2.5 วัสดุคาร์บอนไฟเบอร์

2.2 เคฟล่าร์ (Kevlar)

เคฟลาร์เป็นเส้นใยชนิดอะรามิด (Aramid Fiber) ตระกูลพาราอะรามิดเคฟลาร์จึงเป็นชื่อเรียกทางการค้าของเส้นใยสังเคราะห์ของโพลิพาราฟีนิลีนเทเรฟทาลาไมด์ (Poly-P-Phenylene Terephth Alamide, PPTA) เคฟลาร์ถูกสังเคราะห์ขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1965 โดย โดยสเตฟานี กวอเลก (Stephanie Kwolek) และเฮอร์เบิร์ต เบลดส์ (Herbert Blades) นักวิทยาศาสตร์ของบริษัทดูปองท์ ประเทศสหรัฐอเมริกา และจดสิทธิบัตร ในปี 1966 ต่อมาในปี 1971 บริษัทดูปองท์ได้ทำการสังเคราะห์โดยอาศัยปฏิกิริยาควบแน่นจากเอซิดครอไรด์ (Acid Chloride)ของ Terephthaloylchloride (TPC) กับ P-Phenylene Diamine (PDA) เคฟลาร์เป็นเส้นใยโพลิเมอร์ประ

เภทพารา-อะรามิด (Para-Aramide) มีวงแหวนเบนซีนอยู่ในสายโซ่โมเลกุลหลัก ซึ่งเส้นใยอะรามิดสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทตามลักษณะโครงสร้างคือ พารา-อะรามิดและเมตา-อะรามิด (Meta-Aramide) โดยสังเกตจากตำแหน่งของหมู่เอไมด์ (CONH) บนวงแหวนเบนซีนที่ต่างกัน ความแข็งแรงของเคฟลาร์เป็นผลสืบเนื่องจากการที่โพลิเมอร์มีความเป็นผลึกสูง ซึ่งความเป็นผลึกของโพลิเมอร์เกี่ยวข้องกับลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุล โดยหากโมเลกุลส่วนใหญ่ของโพลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นเส้นยาวสามารถยืดเป็นเส้นตรงไม่พันกันและจัดเรียงตัวได้เป็นระเบียบแล้ว ความเป็นผลึกของโพลิเมอร์ก็จะสูง แต่ขณะเดียวกันความเป็นผลึกของโพลิเมอรที่มากก็มีผลให้โพลิเมอร์แสดงสมบัติแข็งแต่เปราะ (Brittle) ได้ ในทางตรงกันข้ามหากโมเลกุลของโพลิเมอร์ไม่สามารถยืดเป็นเส้นตรง โพลิเมอร์จะมีความเป็นอสัณฐาน (Amorphous) ซึ่งมีผลให้มีความแข็งแรงลดลง แต่สามารถยืดหยุ่น (Flexible) ได้มากขึ้น ในปัจจุบันจึงมีชื่อทางการค้าของเคฟลาร์มากมาย เช่น อาร์มอส (Armos) ของบริษัทไกเซอร์วีไอเอเอ็ม (Kaiser VIAM) ทวารอน (Twaron) ของกลุ่มแอกโซ่ (Akzo Group) ประเทศฮอลแลนด์กับเยอรมัน HM-50 ของบริษัทเทยิ่น (Teijin) ประเทศญี่ปุ่น

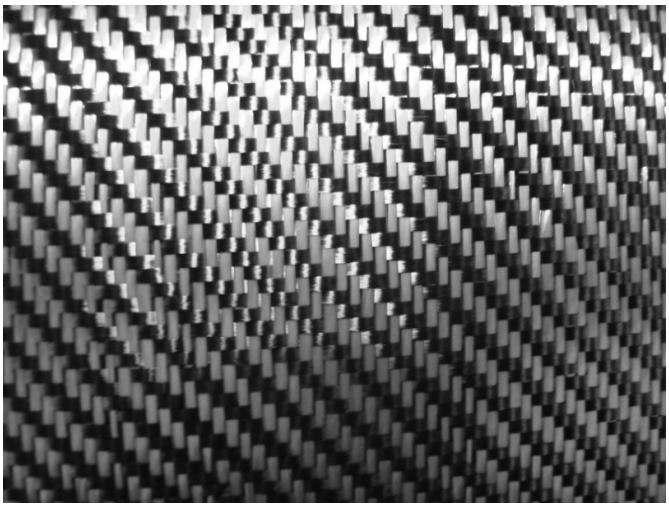
วัสดุเคฟลาร์จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) มากกว่าเหล็ก 5 เท่า เมื่อเทียบที่มวลเท่ากัน มีน้ำหนักเบา มีจุดหลอมเหลวที่ 500 องศาเซลเซียส มีความยืดหยุ่นน้อย ในงานประดับยนต์เคฟล่าร์ถูกนำมาใช้เป็นตัวถังรถแข่งความเร็วสูง ใช้ทำชิ้นส่วนรถแข่งและอุปกรณ์ตกแต่งเพราะมีน้ำหนักและมีความแข็งแรงสูง เคฟล่าร์จะถูกนำมาทอเป็นผืนเรียกว่าผ้าเคฟล่าร์ (Kevlar Fabric) แล้วนำมาทำการหล่อด้วยเรซิ่นซึ่งจะคล้ายกับการหล่อไฟเบอร์กล๊าส ผ้าเคฟล่าร์ที่ผลิตจากโรงงานจะมีมาตรฐานสูงมากโดยใช้กรรมวิธีการเคลือบด้วยเรซิ่นต่อสลับกันภายใต้ระบบสุญญากาศ ผ่านขั้นตอนของการอบขึ้นรูปที่อุณหภูมิประมาณ 150 - 300 องศาเซลเซียสและควบคุมด้วยความดัน 5-10 บาร์ เพื่อให้เรซิ่นละลายจับตัวกันแน่น ลดการเกิดฟองอากาศที่ผิว และเนื้องานมีความสม่ำเสมอ นอกจากความทนทานที่อุณหภูมิสูงแล้วจุดเด่นอันสำคัญอีกประการ คือ ความเหนียว เนื่องจากการเลียนแบบโครงสร้างและคุณสมบัติมาจากเส้นไหมซึ่งทำให้เคฟล่าร์มีความเหนียวกว่าเหล็กประมาณ 5 - 6 เท่า การใช้งานจึงแพร่หลายมากขึ้นด้วยการถักเป็นเชือกหรือนำมาทอเป็นผืน ดังภาพที่ 2.6 เพื่อใช้ทำชุดนักแข่งรถ หมวกกันน็อค และรองด้านในของหมวกสำหรับป้องกันแรงกระแทก เป็นต้น



ภาพที่ 2.6 วัสดุเคฟล่าร์

2.3 คาร์บอนเคฟล่าร์ (Carbon – Kevlar)

จากหัวข้อข้างต้นระหว่างเคฟล่าร์กับคาร์บอนไฟเบอร์จะเห็นได้ว่าวัสดุทั้งสองชนิดมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป นักวิทยาศาสตร์จึงได้มีการคิดค้นและนำเอาข้อดีของวัสดุสังเคราะห์ทั้งสองชนิดนี้มารวมกัน ดังภาพที่ 2.7 โดยนำเอาความแข็งแรงของคาร์บอนไฟเบอร์มาผสมกับความเหนียวของเคฟล่าร์ แล้วผ่านกรรมวิธีการทอประสานกันจนกลายเป็นคาร์บอนเคฟล่าร์ ทำให้วัสดุที่ได้มีความแข็งแรงและความเหนียวสูงรองรับแรงกระแทกได้ดีมาก และนอกจากการทอประสานแล้วการผลิตบางแห่งจะใช้การวางซ้อนทับกันเป็นชั้นๆแล้วเทเรซิ่นทับเพื่อเชื่อมประสานอีกชั้นหนึ่งจึงทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้นอีก กระบวนการผลิตทั่วไปจะคล้ายกับการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์แต่จะใช้เรซิ่นชนิดพิเศษที่ไม่ทำปฏิกิริยากับเส้นใยของเคฟล่าร์และคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อเชื่อมประสาน ดังนั้น ผู้ประกอบการส่วนใหญ่จึงมักจะไม่เปิดเผยถึงข้อมูลกระบวนการผลิต อุณหภูมิการอบ ความดันที่ใช้ ตลอดจนระยะเวลาที่ใช้ในการอบ เพราะเป็นความรู้เฉพาะบุคคล (Know How) ที่เป็นความลับของบริษัทไม่ต้องการเปิดเผย



ภาพที่ 2.7 วัสดุคาร์บอนเคฟล่าร์

2.4 อีพ๊อกซี่พัตตี้

อีพ๊อกซี่พัตตี้เป็นพลาสติกชนิดหนึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นใช้แทนวัสดุธรรมชาติ อยู่ในกลุ่มของเทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting plastic) พลาสติกประเภทนี้โมเลกุลจะเชื่อมโยงกันเป็นร่างแหจับกันแน่นมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแข็งแรงมากจึงไม่สามารถนำมาหลอมเหลวได้ มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี คงรูปหลังการผ่านความร้อนหรือแรงดันเพียงครั้งเดียว เมื่อเย็นตัวลงจะมีความแข็งมากทนความร้อนและความดัน ไม่อ่อนตัวและเปลี่ยนรูป แต่ถ้าอุณหภูมิสูงก็จะแตกและไหม้เป็นขี้เถ้าสีดำเมื่ออุณหภูมิสูงถึงระดับ

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เป็นการออกแบบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสม โดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ซึ่งอาศัยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยสามารถศึกษาผล

ของหลายๆปัจจัยพร้อมกันในเวลาเดียวกัน การออกแบบการทดลองจึงเป็นวิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของปัจจัย (Factors) อย่างมีจุดมุ่งหมายที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลตอบ (Response) ที่เกิดขึ้น กระบวนการที่มีปัจจัยหรือผลตอบ (Response : X1, X2, X3, X4) ต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่า Y ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้าน คุณภาพ (Quality Characteristic) ของกระบวนการ ในการออกแบบการทดลองเราต้องทำการทดลองอย่างเป็นระบบเพื่อที่จะหาความสัมพันธ์เชิงสถิติของ Y และ X อื่นๆ โดยที่พยายามใช้ทรัพยากรในการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ความสัมพันธ์เชิงสถิติที่ได้จะทำให้เรามีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการที่เหมาะสมและเพื่อการปรับปรุงต่อไป

3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (ANOVA)

โรนอล ฟิชเชอร์ (Ronald A. Fisher) ได้คิดค้นวิธีการการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไปด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีรูปแบบและวิธีการหลากหลาย เช่น การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA) การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบหลายทาง (Factorial ANOVA) หากพิจารณาการออกแบบการวิจัยด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวก็สามารถออกแบบย่อยได้อีกหลายวิธี เช่น การทดลองอย่างสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CR-k), การทดลองอย่างสุ่มสมาชิกภายในบล็อค (Randomized Block, RB-k) แต่โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวมักจะหมายถึงรูปแบบการวิเคราะห์แบบ CR-k เมื่อ k คือ ระดับของตัวแปรอิสระหรือปัจจัย (บุญชม 2547) และในงานวิจัยนี้จะเสนอเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยใช้รูปแบบการวิเคราะห์แบบ CR-k เท่านั้น (สมประสงค์ 2553)

3.1.1 ลักษณะของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นวิธีการที่แบ่งความแปรปรวนของข้อมูลออกเป็นส่วนๆตามสาเหตุที่ทาให้เกิดความแปรปรวน โดยจะแยกออกเป็นความแปรปรวนระหว่างกลุ่มกับความแปรปรวนภายในกลุ่มแต่ละกลุ่ม การทดสอบสมมติฐานจะพิจารณาอัตราส่วนของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มและความแปรปรวนภายในกลุ่มเดียวกันว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด โดยข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์จะประกอบด้วยตัวแปรต้นหรือบางครั้งเรียกว่าตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ที่แบ่งเป็น 2 กลุ่มขึ้นไป ตัวแปรตาม (Dependent Variable) เป็นข้อมูลต่อเนื่องที่อยู่ในช่วงระดับ (Interval Scale)

ตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์ความแปรปรวน เรียกว่า ปัจจัย (Factor) แต่ในการวิจัยเชิงทดลอง เรียกว่า สิ่งทดลอง (Intervention) สิ่งทดลองหรือปัจจัยจึงเป็นประเด็นสำคัญของการวิเคราะห์ความแปรปรวน การวิเคราะห์ที่มีปัจจัยเดียวหรือตัวแปรอิสระตัวเดียว เรียกว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (บุญธรรม 2549) เช่น ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการสอน 3 วิธี ตัวแปรอิสระ คือ วิธีการสอนแบ่งเป็น 3 วิธี และ ตัวแปรตาม คือ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

3.1.2 ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโรเจอร์ (Roger E. Kirk) ได้ให้ข้อกำหนดไว้ 3 ประเด็น (Roger 1968) คือ

(1) ความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นอย่างอิสระ (Independence of Errors) ซึ่งข้อตกลงเบื้องต้นข้อนี้จะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อมีการสุ่มตัวอย่างจากประชากร (Random Selection)

(2) ประชากรแต่ละกลุ่มมีการแจกแจกปกติ (Normality)

(3) ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จะต้องได้มาจากประชากรที่มีความแปรปรวนเท่ากันทุกกลุ่ม (Homogeneity of Variance)

3.1.3 วิธีการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น

(1) การตรวจสอบว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นปกติหรือไม่ (Normality) สามารถตรวจสอบเบื้องต้นด้วยการดูจากกราฟ จะต้องอาศัยความเชี่ยวชาญในการดูกราฟและอาจเกิดการผิดพลาดได้ง่าย (ศิริชัย 2551) ดังนั้นผู้วิเคราะห์แต่ละคนจะสรุปแตกต่างกันจึงควรใช้วิธีการตรวจสอบที่ละเอียดตรวจสอบทางสถิติควบคู่ไปด้วย เช่น การทดสอบแบบโคลโมโกรอฟ-สเมียร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov Test) ในกรณีที่ไม่ทราบค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของประชากรจะใช้ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างแทน หรือใช้การทดสอบแบบชาปิโรส์วิลค์ (Shapiro-Wilk Test) ในกรณีที่ทราบหรือไม่ทราบค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของประชากรก็ได้ แต่กลุ่มตัวอย่างต้องมีขนาดไม่เกิน 50 (กัลยา 2546) หรือการทดสอบแบบลีลีฟอส (Lilliefors Test) ซึ่งเป็นวิธีการที่ปรับปรุงมาจากวิธีของโคลโมโกรอฟ-สเมียร์นอฟ แต่จะให้ค่าความน่าจะเป็นในการทดสอบน้อยกว่าวิธีของโคลโมโกรอฟ-สเมียร์นอฟ (ศิริชัย 2551)

(2) การทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) สามารถตรวจสอบได้ด้วยวิธีการทางสถิติ เช่น ในกรณี 2 กลุ่ม สามารถใช้ค่าเอฟเรโช (F-ratio) เป็นสถิติทดสอบและกรณีมีตัวอย่างมากกว่า 2 กลุ่ม สามารถใช้การทดสอบความแปรปรวนเท่ากันด้วยการทดสอบแบบบาร์ตเลต (Bartlett test) การทดสอบแบบเลวิล (Levene test) หรือการทดสอบแบบไฟลเกอร์ (Fligner test) เป็นต้น

(3) การตรวจสอบความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน (Independence of Errors) สามารถตรวจสอบได้จากการออกแบบการวิจัย (ทรงศักดิ์ 2551)

ถ้าผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว พบว่ามีความแตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มก็จะต้องทดสอบความแตกต่างต่อไปเพื่อดูว่าค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน แต่ถ้าผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวพบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มก็ไม่ต้องทดสอบต่อไปแสดงว่าไม่มีค่าเฉลี่ยคู่ใดที่แตกต่างกัน วิธีการทางสถิติที่ใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Post-hoc tests) ใช้การทดสอบเปรียบเทียบเชิงซ้อน (Multiple Comparison tests) (สมบัติ 2551) ซึ่งมีอยู่หลายวิธี แต่วิธีที่ได้รับความนิยมและควบคุมความคลาดเคลื่อนได้ดี ได้แก่ วิธีของตูเก้ (Tukey) และเชฟเฟ่ (Scheffe) วิธีของตูเก้ จะใช้ในกรณีที่กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มเท่ากัน ส่วนวิธีของเชฟเฟ่จะใช้ในกรณีที่กลุ่มตัวอย่างไม่เท่ากัน (ทรงศักดิ์ 2551)

3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบอโนวา (Analysis of Variance : ANOVA)

ในความแปรปรวนทั้งหมดจะประกอบด้วยความแปรปรวนเนื่องมาจากอิทธิพลของระดับของปัจจัย (variance of treatment effects) และความแปรปรวนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (variance of errors) ดังนั้นในการทดลองจึงจำเป็นต้องควบคุมข้อมูล จึงได้กำหนดความหมายของนิยามต่างๆไว้ดังนี้

- หน่วยทดลอง (Experimental Unit) หมายถึงกลุ่มของวัตถุทดลองที่ได้รับการปฏิบัติอย่างเดียวกันซึ่งหน่วยทดลองไม่ควรแตกต่างกัน

- สิ่งทดลองหรือปัจจัย (treatment) หมายถึงวิธีการต่างๆที่กระทำต่อหน่วยทดลองเพื่อวัดผลเปรียบเทียบ

- อโนวาเป็นการวิเคราะห์เพื่อแบ่งแยกความคลาดเคลื่อนหรือความแปรปรวนออกเป็นส่วนๆ โดยแบ่งตามแหล่งกำเนิดของความคลาดเคลื่อนนั้นๆเป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวอย่างโดยที่ใช้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรหลายๆประชากร (มากกว่าสองประชากรขึ้นไป) ตัวอย่าง การตั้งสมมติฐานจะให้ค่าระดับนัยสำคัญ α (level of significant) ที่คงที่ α = 0.05

$$H_0 : \ \mu_A = \mu_B = \mu_C = \mu_D$$

$$H_1 : \ \mu_A \neq \mu_B \neq \mu_C \neq \mu_D$$

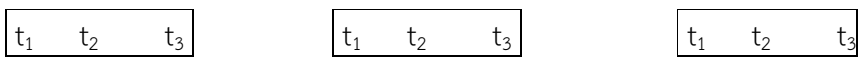
ในกรณีต้องการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากร 4 ประชากร ถ้าใช้การทดสอบสมมติฐานแบบทีเทส (t-test) จะต้องทำการทดสอบสมมติฐานถึง 6 ครั้ง และระดับนัยสำคัญที่แท้จริง α จะไม่เท่ากับ 0.05 แต่จะมีค่าเป็น α = 1- (1- α)^6 = 1- (0.95)^6 = 0.265

4.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว (Completely Randomized Single Factor ANOVA)

เป็นการวิเคราะห์ปัจจัยเพียงปัจจัยเดียวหรือตัวแปรเดียวว่ามีผลต่อหน่วยทดลองหรือไม่ โดยวิเคราะห์ระดับของปัจจัย (Treatment) มากกว่าสองระดับขึ้นไป

4.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยเดี่ยวและบล็อค (Randomized Complete Block Design : Single Factor)

ใช้สำหรับการทดลองที่มีตัวแปรสองตัวแปรหรือมีปัจจัยสองปัจจัย แต่ต้องการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรหรือปัจจัยเดียวเท่านั้นจะควบคุมความแปรผันของข้อมูลที่มาจากอิทธิพลของตัวแปรที่เราไม่ต้องการศึกษาโดยการบล็อคอิทธิพลของตัวแปรนั้นไว้ ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 2.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยเดี่ยวและบล็อค

4.2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากสองปัจจัย (Two-Factor Factorial Experiments: Two variables)

เมื่อการทดลองมีสองปัจจัยที่ต้องการศึกษาและต้องการศึกษาผลที่เกิดขึ้นเมื่อสองปัจจัยนั้นอยู่ร่วมกันด้วย (Interaction) จะต้องทำการทดลองหลายๆครั้งและลำดับการทดลองภายใต้ปัจจัยทั้งสองจะเป็นแบบสุ่ม โดยสมมติว่าค่าของหน่วยทดลองมีการแจกแจงแบบปกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2550 กฤษฎากร เชวงศักดิ์โสภาคย์ นักวิทยาศาสตร์ (สบ. 3) พิสูจน์หลักฐาน กองบังคับการตำรวจภูธรจังหวัดตาก ได้จัดทำเสื้อเกราะพระเจ้าตาก โดยใช้ฟิล์มเอกซ์เรย์มาประกอบทำเสื้อเกราะกันกระสุน จากการทดสอบคุณภาพของเสื้อเกราะกันกระสุนโดยใช้แผ่นฟิล์มเอกซเรย์ 200 แผ่นนำมาเรียงซ้อนอัดกันจนแน่นใส่แผ่นอะลูมิเนียมด้านหน้าเกราะกันกระสุนและใส่แผ่นสแตนเลสด้านหลัง ผลทดสอบอยู่ในระดับ 3A ตามมาตรฐานการทดสอบ NIJ Standard 0101.04 กระสุนขนาด .38 สเปเชี่ยว 9 มม. 11 มม. .357 แมกนั่ม .357 เจาะเกราะ . 38 ซุปเปอร์ .44 แมกนั่ม และเล็กยาว M16 A1 น้ำหนักประมาณ 4 กิโลกรัม และในปีเดียวกัน สมประสงค์ ภาษาประเทศ และคณะ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้ทำการศึกษาการผลิตเสื้อเกราะกันกระสุนจากใยประดิษฐ์ โดยใช้เส้นใยโพลีเอสเตอร์ เส้นใยไนลอน 66 และเส้นใยพอลีเอทิลีนความแข็งแรงสูง แล้วทำการเคลือบสารแบบเชียติกเนสฟลูอิด (Shear Thickening Fluids) จำนวน 40 ชั้น/ตารางฟุต ในสภาวะเปียก จากผลการทดสอบได้ระดับ 2A ตามมาตรฐาน NIJ กระสุนขนาด .45ACP FMJ และค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ (Back Face Signature) ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนผ้าทอที่เคลือบสารเชียติกเนสฟลูอิดและผ้าชนิดอื่นไม่สามารถป้องกันกระสุนดังกล่าวได้ น้ำหนักประมาณ 4-4.5 กิโลกรัม ต้นทุนการผลิตตัวละ 2 หมื่นบาท และในปีเดียวกันนี้ สำนักงานการอาชีวศึกษาร่วมกับสำนักวิจัยและพัฒนาการทหาร กระทรวงกลาโหม จัดทำเสื้อเกราะกันกระสุนรักแผ่นดินที่ผลิตขึ้นจากโลหะสแตนเลส 304 ขนาด 12× 12 นิ้ว ความหนา 2 มม. และอะลูมิเนียม ความหนา 2 มม. รวมความหนา 4 มม. และยึดแผ่นโฟมที่มีความเหนียวและอ่อนตัวเพื่อช่วยกันการกระแทกทั้งด้านหน้าและด้านหลัง จากนั้นทำแผ่นเกราะข้างลำตัวด้วยวิธีเดียวกันแต่มีขนาดเล็กกว่า และขนาด 3×10 จำนวน 2 ชิ้น จากการทดสอบโดยสำนักงานวิจัยและพัฒนาการทหารกลาโหม สามารถป้องกันกระสุนในระดับ 3A กระสุนขนาด 9 ม.ม. (น้ำหนักหัวกระสุน 124 แกรน) กระสุน .357 กระสุนเปลือกแข็งหัวอ่อน (158 แกรน) กระสุน.44 แม็กนั่ม กระสุนเปลือกแข็งหัวอ่อน (240 แกรน)

ต่อมาในปี 2552 ธรรม์ณชาติ วันแต่ง มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุฟิล์มแข็งเคลือบผิวในการเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นเหล็กในเสื้อเกราะกันกระสุน โดยทำการเคลือบผิวฟิล์มแข็งชนิดต่างๆ ทำการทดสอบ 3 ปัจจัย คือ แผ่นเหล็กกล้า S50C ชุบผิวแข็งด้วยเปลวไฟ แผ่นเหล็กกล้า K100 เคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiC ด้วยกรรมวิธี CVD ความหนาฟิล์มแข็ง 10 μm และแผ่นเหล็กกล้า K100 เคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiCN กรรมวิธี CVD ความหนาฟิล์มแข็ง 10 μm ทดลองด้วยกระสุนปืนจริงตามมาตรฐาน NIJ Standard-0101.06 ระดับ 2 ขนาดกระสุน 9 มม. (FMJ RN) จากผลการทดลองพบว่าเหล็กกล้าที่ทำการเคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiC และ TiCN ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพความแข็งแรงของแผ่นเหล็กในเสื้อเกราะกันกระสุนได้ เนื่องจากวัสดุทั้งสองมีค่าความแข็งผิวที่สูงมากกว่าเหล็กถึง 12 เท่า จึงเกิดการแตกของแผ่นเหล็กเมื่อเกิดการชนปะทะของกระสุน ส่วนแผ่นเหล็กกล้า S50C ที่เพิ่มความแข็งผิวเหล็กตามกระบวนการทางความร้อนพื้นฐานสามารถหยุดการทะลุของกระสุนได้ โดยเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ มีค่าเท่ากับ 7.02 มม. แต่น้ำหนักรวมของเสื้อเกราะจะมีน้ำหนักที่สูง ในปีเดียวกัน ศิริลักษณ์ นิวิฐจรรยงค์ และคณะ จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ได้ร่วมวิจัยกับหลายหน่วยงานผลิตเสื้อเกราะกันกระสุนคุณภาพสูงต้นแบบ เป็นเสื้อเกราะแข็งที่ใช้แผ่นกันกระสุนทำจากแผ่นเซรามิกและแผ่นโพลิเมอร์ HDPE (เม็ด

พลาสติก InnoPlus HDPE) ซึ่งแผ่นเซรามิกที่อยู่ด้านนอกส่วนแผ่นโพลิเมอร์คอมพอสิทจะอยู่ด้านในทำหน้าที่กระจายแรงและลดแรงกระแทก การทดสอบคุณภาพจากกรมพลาธิการตำรวจ มีประสิทธิภาพการป้องกันภัยของเกราะบุคคลในระดับ 3 ตามมาตรฐาน NIJ ป้องกันกระสุนปืน 7.62 ม.ม. ปืนเอ็ม-16 และปืนไรเฟล ต้นทุนการผลิตประมาณ 30,000 บาทต่อชุด มีน้ำหนัก 10 ก.ก. และในปีเดียวกัน กฤษฎากร เชวงศักดิ์โสภาคย์ นักวิทยาศาสตร์ (สบ 3) พิสูจน์หลักฐาน กองบังคับการตำรวจภูธรจังหวัดตาก ได้วิจัยวัสดุติดกระจกหน้ารถและกระจกหน้าต่างด้านข้างเพื่อป้องกันกระสุนปืนที่ทะลุกระจกทำอันตรายแก่ผู้ขับขี่ได้ โดยประยุกต์ใช้วัสดุกันกระสุนที่มีน้ำหนักเบาทำจากแผ่นพลาสติกใสปิดทับทั้งสองด้านด้วยแผ่นฟิล์มพลาสติกโพลีคาร์บอเนตซึ่งใช้เป็นแผ่นฟิล์มกรองแสงหรือแผ่นฟิล์มนิรภัยของกระจกรถยนต์ทั้งสองด้านเป็นโครงสร้างแบบแซมวิชหรือแบบกระดองปูแข็งนอกอ่อนใน ใช้หลักการดูดซับพลังงานและการสั่นสะเทือนเช่นเดียวกับการกระเพื่อมของน้ำ แผ่นบังกระสุนสามารถป้องกันกระสุนจากปืนพกขนาด .38, 9 มม. และ 11 มม. กระสุนหัวมน

และในปี 2010 (2553) Chocron Sidney และคณะ ได้ทำการสร้างแบบจำลองและใช้การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเสื้อเกราะกันกระสุนเคฟล่าร์ เบอร์ 29 และ 129 ด้วยการจำลองกระสุนปืน 3 ขนาด คือ .357 Magnum, 9 มม. FMJ และ .30 แคล FSP สร้างแบบจำลองขนาดเล็กในระดับเส้นด้ายแล้วใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลขกับการทำนายผลที่เกิดกับเส้นด้าย แบ่งเป็นการทดลองแบบชั้นเดียวและหลายชั้น ผลการทดลองโดยแบบจำลองพบว่าสามารถป้องกันกระสุนขนาด 9 มม. FMJ และ .30 แคล FSP ในขณะที่ .357 ป้องกันเพียง 15% และในปีเดียวกัน Bilisik K. และ Korkmaz M. ได้ทำการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจกลไกการดูดซับพลังงานและการทะลุของผ้าพาราอะรามิดแบบมัลติเลเยอร์เคฟล่าร์ 129 ระหว่างผ้าที่ไม่ได้ทำการเย็บด้านหน้ากับผ้าที่ทำการเย็บด้านหน้าด้วยเส้นด้ายไนล่อนเบอร์ 6.6 (ขนาดเท่าที่ปักครอสติส) โดยเย็บเป็นแบบหนึ่งแถว สองแถว และสี่แถว การทดสอบโดยใช้กระสุนขนาด 9 มม. หัวโลหะเต็ม ด้วยความเร็ว 300-400 เมตรต่อวินาที ผลการทดลองพบว่าขั้นตอนการเปลี่ยนรูปผ้าเกิดขึ้นในทิศทางระนาบของโครงสร้าง พลังงานของกระสุนจะดึงให้ผ้าเกิดการจีบจากชั้นนอกและถูกดันจีบเข้าไปภายในแล้วเส้นด้ายจึงขาด ระดับการดูดซับพลังงานของโครงสร้างที่มีการเย็บจะรับพลังงานได้สูงกว่าโครงสร้างที่ไม่มีการเย็บ เนื่องมาจากบางส่วนของพลังงานถูกดูดซับไปและถูกล็อคโดยเส้นด้ายที่เย็บนั้น นอกจากนี้ความลึกรูปทรงกรวยจากการจีบภายเข้าด้านในของผ้าที่ทำการเย็บต่ำกว่าเมื่อเทียบกับของโครงสร้างไม่มีการเย็บ ต่อมาในปีเดียวกัน Lee, H. P. และ Gong, S. W. ใช้การสร้างแบบจำลอง (ไฟไนท์เอลิเมนท์) สำหรับการประเมินผลประสิทธิภาพการป้องกันของหมวกนิรภัยกันกระสุนเพื่อศึกษาผลกระทบของกระสุนกับแบบจำลองศีรษะมนุษย์โดยใช้หมวกนิรภัยเคฟล่าร์ (R) กองกำลังทหาร ใช้กระสุนปืนโลหะเต็มแบบ FMJ และ FSP การจำลองผลว่าบริเวณที่ได้รับแรงกระทบมากคือหน้าผากและด้านข้าง และจากผลการทดลองพบว่าหมวกนิรภัยเคฟล่าร์ (R) ที่มีไนลอนภายในไม่สามารถป้องกันกระสุนแบบ FMJ ได้ ถึงแม้การทดลองกระสุนจะไม่ทะลุหมวกแต่แรงกระแทกอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บที่ศีรษะและอาจถึงแก่ชีวิตได้ ส่วนการทดลองแรงกระแทกในหมวกกันน็อคเคฟล่าร์จะมีส่วนด้านข้างที่มีพื้นที่ว่างสำหรับรับแรงและการเสียรูปจึงทำให้เกิดการบาดเจ็บศีรษะรุนแรงน้อยลง ในปีเดียวกัน Soykasap, O. และ Colakoğlu, M. ทำการวิจัยถึงสมรรถนะของเสื้อเกราะกันกระสุนสำหรับทหารจากเคฟลาร์ 29 ผสมไฟเบอร์ ภายใต้การใช้งานที่มีอุณหภูมิ ฤดูกาล และสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันซึ่งเป็นตัวส่งผลต่อคุณภาพเสื้อเกราะกันกระสุนนั้น การทดสอบได้จำลองภายใต้

สภาวะอุณหภูมิที่แตกต่างกัน สภาวะเปียกแบบหมาดๆ ด้วยกระสุนขนาด 9 มม. FMJ ซึ่งผลการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ต่อมาในปี 2554 ศิริลักษณ์ นิวิฐจรรยงค์ และคณะ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ได้ทำการต่อยอดวัสดุที่ใช้ทำเกราะกันกระสุนประกอบด้วยแผ่นกระจายแรงและแผ่นดูดซับแรง ซึ่งแผ่นกระจายแรงทำจากเซรามิกส์ชนิดอลูมินานำมาหุ้มประกอบกับโลหะอะลูมิเนียมและเส้นใยเคฟลาร์ความหนาแน่นสูงทำหน้าที่ดูดซับแรงและช่วยเก็บสะเก็ดไม่ให้เป็นอันตราย ผลการทดสอบจากกองพลาธิการและสรรพาวุธ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ได้ระดับ 3A ตามมาตรฐาน NIJ มีประสิทธิภาพการป้องกันกระสุน .44 แม็คนั่ม M855 และระดับ 3 ที่ยิงด้วยกระสุน 7.62 มม. เมื่อใช้ร่วมกับเสื้อเกราะอ่อน 3A มีน้ำหนัก 8 กิโลกรัม

และในปี 2556 ธรรม์ณชาติ วันแต่ง จากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ได้ศึกษาชนิดของวัสดุในงานประดับยนต์สำหรับทำแผ่นเกราะกันกระสุน โดยออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่ส่งผลต่อการป้องกันการทะลุทะลวงของคมกระสุน ระดับ 2 อ้างอิงตามมาตรฐาน NIJ Standard-0101.06 ปัจจัยที่ทำการศึกษาประกอบด้วยปัจจัยด้านชนิดของวัสดุ และปัจจัยด้านการเสริมชั้นกาวอีพ๊อกซี่พัตตี้ จากผลการศึกษาพบว่าทุกปัจจัยมีผลต่อการป้องกันการทะลุทะลวงของคมกระสุน ระดับ 2 ขนาด 9 มม. และ .45 ACP ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปัจจัยที่เหมาะสมชี้ให้เห็นว่าการใช้วัสดุในชองทดสอบที่ 3 จะสามารถต้านทานการทะลุผ่านของกระสุนได้ดีที่สุด ประกอบด้วยเสริมแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ด้านหน้า 8 ชั้น คาร์บอนเคฟล่าร์ จำนวน 40 ชั้น และแผ่นเคฟล่าร์ จำนวน 36 ชั้น น้ำหนักรวม 6.2 กิโลกรัม

จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น ได้กล่าวถึงตัวแปรหลายอย่างที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการหยุดยั้งกระสุน ได้แก่ ความแข็งแรงของวัสดุ ความเหนียว และการดูดซับพลังงาน ตลอดจนน้ำหนักที่ใช้ต้องมีน้ำหนักเบา วัสดุในกลุ่มที่น่าจะเลือกใช้ในการทดลองต่อเนื่องจากปีที่ผ่านมาจึงน่าจะเป็นกลุ่มของพอลิเมอร์และวัสดุเชิงประกอบเพราะมีประสิทธิภาพสูง น้ำหนักเบา และใช้งานได้สะดวก จากงานวิจัยหลายชิ้นกล่าวว่าวัสดุกลุ่มเคฟล่าร์มีประสิทธิภาพสูงมากแต่มีราคาสูงมาก การประยุกต์ทำเสื้อเกราะกันกระสุนจากฟิล์มเอ็กสเรย์ยังมีข้อจำกัดเรื่องการรับความร้อนที่สูงได้น้อย เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาวิจัยต่อยอดในประยุกต์ใช้คาร์บอนไฟเบอร์ คาร์บอนเคฟล่าร์ ในงานประดับยนต์มาประยุกต์ทำแผ่นเกราะในเสื้อเกราะกันกระสุนระดับที่สูงขึ้นต่อไป

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากการได้ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีแล้วในเนื้อหาบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการดำเนินงานวิจัย โดยมุ่งเน้นในการศึกษาต่อยอดจากงานวิจัย ในปี พ.ศ. 2554-2556 และพัฒนาสู่การป้องกันภัยคุกคามระดับ ระดับ 3A - 3 ตามมาตรฐานยุทโธปกรณ์กระทรวงกลาโหม โดยเริ่มตั้งแต่การเลือกแผนการออกแบบการทดลอง การออกแบบและจัดทำเสื้อเกราะกันกระสุน ทำการทดลอง และวิเคราะห์การทดลอง ซึ่งมีวิธีการดำเนินงานวิจัน ดังนี้

1. การเลือกแผนการออกแบบการทดลอง

เนื่องจากเป็นการศึกษาต่อยอดจากงานวิจัย เรื่อง การศึกษาการใช้แผ่นคาร์บอนเคฟล่าร์ในงานประดับยนต์เพื่อใช้ทำเสื้อเกราะกันกระสุน ระดับ 2 ที่ป้องกันกระสุนขนาด .45 ACP ขนาด 11 มม. และ 9 มม. ได้ แล้วทำการศึกษาวิจัยต่อยอดเพื่อทดสอบสมมุติฐานที่ว่าวัสดุแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ (ที่ผู้วิจัยได้ยื่นขออนุสิทธิบัตร) สามารถป้องกันภัยคุกคามระดับที่สูงขึ้น ระดับ 3A – 3 ได้หรือไม่ และถ้าได้ปัจจัยที่เหมาะสมในด้านวัสดุคือวัสดุชนิดใด โดยออกแบบการทดลองเป็นการทดลองปัจจัยเดี่ยว (Single factor) มีตัวแปรในการทดลองประกอบด้วย 3 ระดับ (Level) การทดลองใน 1 เรพลิเคต (Replicate) ประกอบด้วยการทดลองซ้ำ 6 ครั้งต่อหนึ่งปัจจัย ทั้งหมดจะมี 18 ค่า ตัวแปรที่ตรวจวัด คือ ค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ ตัวแปรควบคุมได้แก่ ขนาดอาวุธปืน ผู้ทดสอบ ระยะทดสอบ ชุดวัดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์และเครื่องมือวัดชุดเดียวกัน และรายละเอียดอื่นๆตามมาตรฐานการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน NIJ Standard-0101.06 แล้วนำผลการทดลองที่ได้ใส่ลงในตารางการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูล ดังตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้การคำนวณและใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของวัสดุหลังการทดสอบอีกครั้งเพื่อสนับสนุนผลการทดลองอีกครั้ง

ตารางที่ 3.1 ตารางที่ออกแบบสำหรับเก็บผลการทดลอง ระดับ 3A

ปัจจัย	การทดลองซ้ำ 6 ครั้ง					
เสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 1 ไม่เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ (non ECC)	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
เสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 2 เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 10 ชั้น (ECC 10 plate)	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6
เสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 3 เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 20 ชั้น (ECC 20 plate)	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6

ตารางที่ 3.2 ตารางที่ออกแบบสำหรับเก็บผลการทดลอง ระดับ 3

ปัจจัย	การทดลองซ้ำ 6 ครั้ง					
เสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 2 เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 10 ชั้น (ECC 10 plate)	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
เสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 3 เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 20 ชั้น (ECC 20 plate)	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6

2. เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือวิจัย ได้แก่ การทดลองแบบปัจจัยเดี่ยวและการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบอโนวา (Analysis of Variances : ANOVA) จากผลการทดลองเบื้องต้นอันเกี่ยวกับการคัดเลือกปัจจัยที่จะศึกษาถึงค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์หรือค่าการยุบตัวของเสื้อเกราะที่อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยโดยอาศัยการทดลองอย่างสุ่มสมบูรณ์หรือการจำแนกทางเดียวหรือการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA)

3. การจัดทำเสื้อเกราะกันกระสุนในการทดลอง

ในการจัดทำเสื้อเกราะกันกระสุนจะกำหนดจำนวนตามตารางที่ได้ออกแบบไว้สำหรับเก็บผลการทดลอง โดยจัดซื้อและจัดทำเสื้อเกราะกันกระสุนเพื่อศึกษาอิทธิพลของวัสดุที่ส่งผลต่อการป้องกันการทะลุทะลวงของคมกระสุนตามปัจจัย โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.2.1 จัดทำเสื้อเกราะกันกระสุนตามปัจจัย ระดับ 3A มีจำนวน 3 ตัว ปัจจัยในการทดลองประกอบด้วย 3 ระดับ (Level) ดังนี้

- ระดับ a ไม่เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ + วัสดุคาร์บอนเคฟล่าร์ 48 ชั้น + วัสดุเคฟล่าร์ 30 ชั้น น้ำหนัก 1.25 กิโลกรัม ดังภาพที่ 3.1
- ระดับ b เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 10 ชั้น + วัสดุคาร์บอนเคฟล่าร์ 48 ชั้น + วัสดุเคฟล่าร์ 30 ชั้น น้ำหนัก 2.30 กิโลกรัม (น้ำหนักเพิ่มขึ้นประมาณ 1 กิโลกรัม) ดังภาพที่ 3.2
- ระดับ c เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 20 ชั้น + วัสดุคาร์บอนเคฟล่าร์ 48 ชั้น + วัสดุเคฟล่าร์ 30 ชั้น น้ำหนัก 3.40 กิโลกรัม (น้ำหนักเพิ่มขึ้นประมาณ 2 กิโลกรัม) ดังภาพที่ 3.3

ภาพที่ 3.1 เสื้อเกราะกันกระสุนและวัสดุในการทดลองที่ระดับการทดลอง a

ภาพที่ 3.2 เสื้อเกราะกันกระสุนและวัสดุในการทดลองที่ระดับการทดลอง b

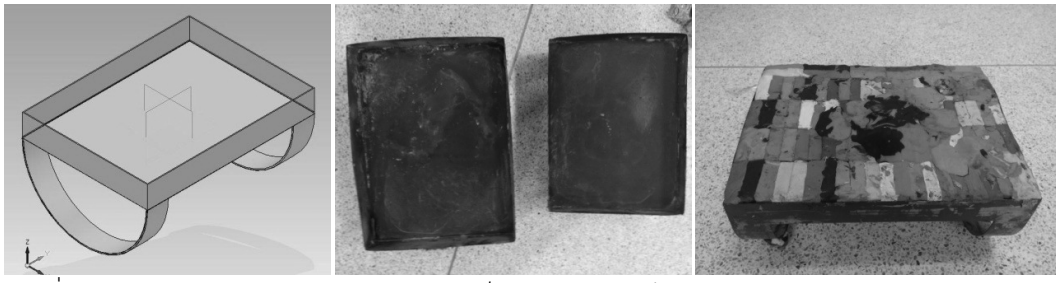
ภาพที่ 3.3 เสื้อเกราะกันกระสุนและวัสดุในการทดลองที่ระดับการทดลอง c

3.2.1 เสื้อเกราะกันกระสุนตามปัจจัย ระดับ 3 จำนวน 2 ตัว ในการดำเนินการและจัดหาวัสดุในการทดลองเสื้อเกราะกันกระสุนตามปัจจัย ระดับ 3 นั้นไม่สามารถดำเนินการได้สำเร็จลุล่วง เนื่องจากความจำจัดด้านงบประมาณ จึงดำเนินการทดลองได้เฉพาะการทดลองเสื้อเกราะกันกระสุนตามปัจจัย ระดับ 3A เท่านั้น

4. หลักเกณฑ์การทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน

ในการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนตามปัจจัยข้างต้นด้วยกระสุนจริง ณ ม.พัน 18 กองพลทหารม้าที่ 1 ค่ายพ่อขุนผาเมือง จ.เพชรบูรณ์ โดยมีหลักเกณฑ์ที่ใช้ทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน ระดับ 3A ตามมาตรฐานยุทโธปกรณ์กระทรวงกลาโหม ใช้กระสุนขนาด .357 magnum หรือ .357 SIG FMJ ส่วนลำดับการยิงทดสอบและตำแหน่งการยิงทดสอบจะดำเนินการตามหัวข้อการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน ในบทที่ 2 ด้านผู้ทำหน้าที่ยิงทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนในงานวิจัยนี้ คือ ดาบตำรวจศิริชัย วิฤทธิ์ จาก สภ.เมืองเพชรบูรณ์ และนายตุลย์ตวัญช์ พวงจันทร์หอม จาก รพ.เพชรบูรณ์ ผู้ร่วมทดสอบโดยมีจ่าสิบเอกประภาศ ประติโก กองพันทหารม้าที่ 18 เป็นผู้ควบคุมสนามยิงปืน

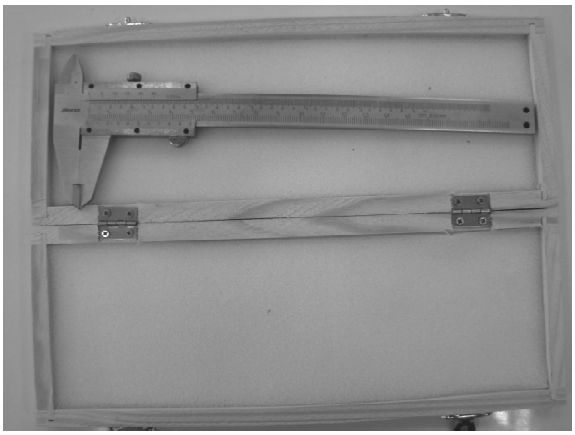
5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย



ภาพที่ 3.4 ชุดตรวจการวัดยุบตัวและวัดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์

ภาพที่ 3.5 วัสดุและเสื้อเกราะกันกระสุนในการทดลองตามปัจจัย

ภาพที่ 3.6 อาวุธปืนที่ใช้ทดสอบ ขนาด .357 magnum



ภาพที่ 3.7 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

ภาพที่ 3.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ผลการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนตามปัจจัยในบทที่ 3 ด้วยการใช้กระสุนจริง ขนาด .357 magnum ณ ม.พัน 18 กองพลทหารม้าที่ 1 ค่ายพ่อขุนผาเมือง จ.เพชรบูรณ์ เพื่อให้ได้มาซึ่งผลการทดลองในการศึกษาวัสดุทดสอบสำหรับป้องกันภัยคุกคาม ระดับ 3A ตามมาตรฐานยุทโธปกรณ์กระทรวงกลาโหม โดยมีรายละเอียดการทดลอง ดังนี้

1. ผลการทดลองตามปัจจัย

จากผลการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน ระดับ 3A ด้วยกระสุนปืนจริงดังผลในตารางที่ 4.1 ตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ ซึ่งเป็นการออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดี่ยว แบบ 3 ระดับ ปัจจัยในการทดลองคือ ชนิดของวัสดุและจำนวนชั้นของการเสริมชั้นหน้าด้วยแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ โดยจากสมมุตฐานคาดว่าการเสริมชั้นหน้าด้วยแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์จะช่วยหยุดยั้งการทะลุทะลวงของกระสุนขนาด .357 magnum ได้ดีกว่าไม่ทำการเสริม ถึงแม้ตัวเสื้อเกราะจะมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ก็ตาม ในการทดลองจะใช้ค่าที่ตรวจวัดคือค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์หรือค่าการยุบตัวของเสื้อเกราะหลังการยิงทดสอบมาแล้วจะต้องมีค่าที่น้อยที่สุดและต้องอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยโดยจะยุบตัวเข้าไปได้ไม่เกินกว่า 44 มิลลิเมตร ปัจจัยในการทดลองมี 3 ระดับ ทำการทดลองซ้ำหรือการยิงซ้ำจำนวน 6 ครั้ง และในการทดลองทั้งหมด 18 ครั้ง ดังนั้นในการทดลองจึงมี a = 3 ระดับ และ n = 6 เรพลิเคต

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ ระดับ 3A

วัสดุ	ค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ (มม.)					
	1	2	3	4	5	6
เสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 1 ไม่เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ (non ECC)	34	40	36	47	39	19
เสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 2 เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 10 ชั้น (ECC 10 plate)	10	12	15	11	7	12
เสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 3 เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 20 ชั้น (ECC 20 plate)	8	10	10	6	10	8

2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยการคำนวณ

ในการวิเคราะห์การทดลองเบื้องต้นด้วยหลักสถิติจะนำค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ที่ได้จากตารางมาคำนวณผลรวมหาค่าผลรวมและค่าเฉลี่ย แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลรวมและค่าเฉลี่ยการทดลองค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ ระดับ 3A

วัสดุ	ค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ (มม.)						ผลรวม	ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	y_i	$\overline{y}_i$
เสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 1 ไม่เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ (non ECC)	34	40	36	47	39	19	217	36.17
เสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 2 เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 10 ชั้น (ECC 10 plate)	10	12	15	11	7	12	67	11.17
เสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 3 เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 20 ชั้น (ECC 20 plate)	8	10	10	6	10	8	52	8.66
							$y_{...}$ =336	$\overline{y}_{...}$ =18.67

ก่อนการวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วย ANOVA จะต้องตั้งสมมติฐานว่าในการทดลองนี้ที่ H_0 การทดลองทุกระดับไม่มีความแตกต่างกันหรืออาจกล่าวได้ว่าเสื้อเกราะกันกระสุนที่ไม่เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ซึ่งมีความเบาจะให้ผลเหมือนกันกับเสื้อเกราะกันกระสุนที่เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ที่มีน้ำหนักมากเพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้น ส่วนสมมติฐานที่ H_1 จะปฏิเสธ H_0 เพราะว่าจะมีการทดลองอย่างน้อย 1 คู่ที่ต่างกัน หรืออาจกล่าวได้ว่าเสื้อเกราะกันกระสุนที่เสริมและไม่เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์อย่างน้อย 1 คู่มีความต่างกัน ดังสมมติฐานด้านล่าง

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_1 : \mu_i \neq \mu_j$ อย่างน้อย 1 คู่ที่ต่างกัน

เมื่อ μ คือ ค่าเฉลี่ย (Mean) ของกลุ่มประชากร (Population)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนมาจากความหมายการแบ่งความแปรปรวนออกเป็นส่วนย่อยๆในการวิเคราะห์สามารถหาได้จากสมการ

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n} y_{ij}^2 - \frac{y_{...}^2}{N}$$

เมื่อ SS_T คือ ผลรวมแก้ไข

ค่าผลรวมแก้ไขสามารถหาได้จากผลรวมของกำลังสองที่เกิดเนื่องจากระดับและค่าแตกต่างระหว่างภายในระดับกับค่าเฉลี่ยหรือที่เรียกว่าความผิดพลาดสุ่ม

$$SS_T = SS_{Treatment} + SS_E$$

เมื่อ $SS_{Treatment}$ คือ ผลรวมของกำลังสองที่เกิดเนื่องจากระดับ

SS_E คือ ค่าแตกต่างระหว่างภายในระดับกับค่าเฉลี่ยหรือความผิดพลาดสุ่ม

ผลรวมของกำลังสองที่เกิดเนื่องจากระดับ สามารถคำนวณได้จาก

$$SS_{Treatment} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a} y_{i...}^2 - \frac{y_{...}^2}{N}$$

ค่าแตกต่างระหว่างภายในระดับกับค่าเฉลี่ยหรือความผิดพลาดสุ่ม สามารถคำนวณได้จาก

$$SS_E = SS_T - SS_{Treatment}$$

ดังนั้น ค่าผลรวมของกำลังสองสามารถคำนวณได้จาก

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n} y_{ij}^2 - \frac{y_{...}^2}{N}$$

$$= (34)^2 + (40)^2 + (36)^2 + ... + (10)^2 + (8)^2 - \frac{(336)^2}{16} = 3278$$

$$SS_{Treatment} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a} y_{i...}^2 - \frac{y_{...}^2}{N}$$

$$= \frac{1}{6}\left[(217)^2 + (67)^2 + (52)^2\right] - \frac{(336)^2}{16} = 2775$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Treatment}$$

$$= 3278 - 2775 = 503$$

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยการคำนวณ

Source	df	Sum of Squares	Mean Squares	F-Statistic	P-Value
material	2	2775	1387.5	41.38	0.000
Error	15	503	33.53		
Total	17	3278			

จากการคำนวณ ดังตารางที่ 4.3 ค่า P-Value = 0 มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงทำให้ปฏิเสธ H_0 ซึ่งแปลความหมายว่า การเสริมแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์มีผลต่อการต้านทานการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์อย่างมีนัยสำคัญ นั้นแปลความหมายว่าการเสริมแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ทั้ง 10 และ 20 ชั้น สามารถต้านทานการการทะลุของกระสุนได้ดีกว่าไม่ทำการเสริมที่ค่าระดับนัยสำคัญของการทดลองเท่ากับ 0.05 ที่ความเชื่อมั่น 95%

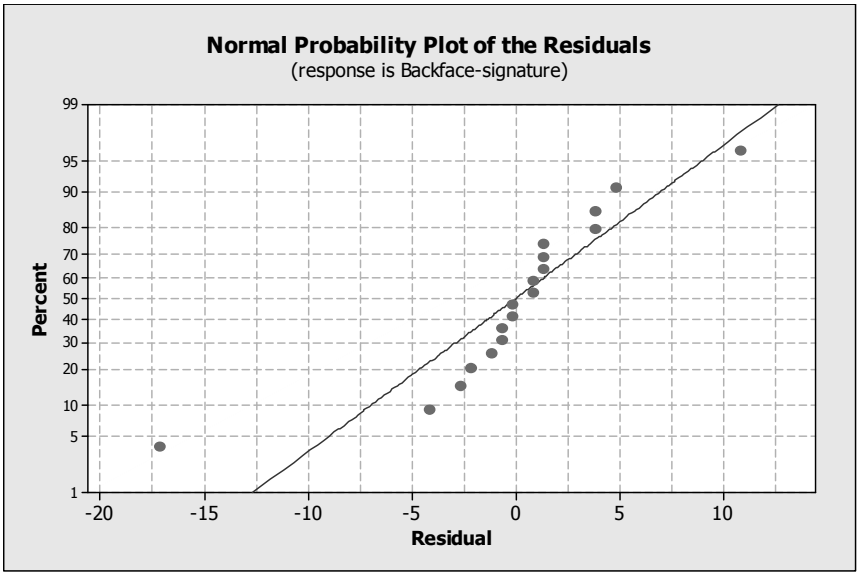
3. การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทำการวิเคราะห์ผลการทดลองจะทำสองส่วนคือการตรวจสอบให้เป็นไปตามสมมติฐาน และใช้โปรแกรมวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทำการทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติสำหรับปัจจัยที่ระดับต่างๆ ในการเปรียบเทียบจะใช้เทคนิคการทดสอบของตูเก้ (Tukey) ในการเปรียบเทียบแบบพหุคูณ ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 การตรวจสอบการทดลองให้เป็นไปตามสมมติฐาน

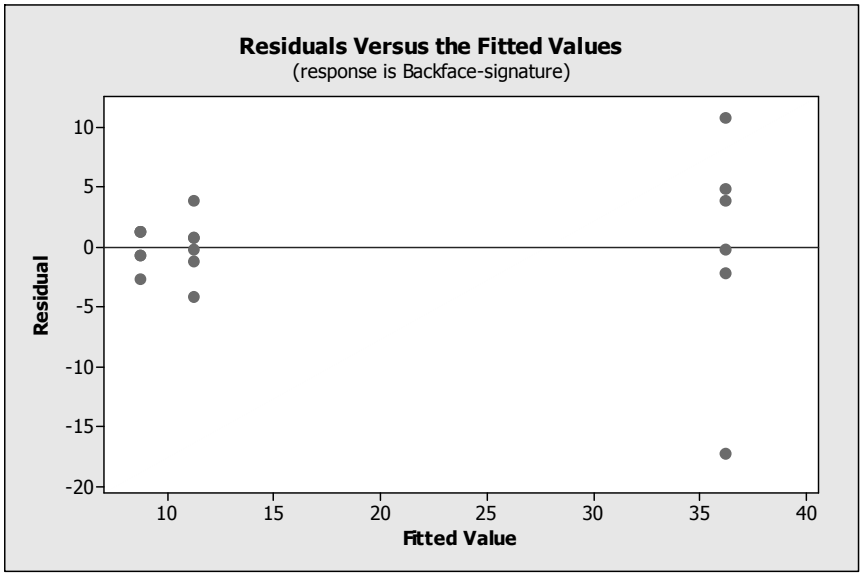
จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยการคำนวณ และการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทำการวิเคราะห์ผลการทดลองมีผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน แต่ก่อนการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความผิดพลาดหรือค่าส่วนตกค้าง (Residual) ของข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะต้องตรวจสอบให้เป็นไปตามสมมติฐานทั้งหมด 3 ข้อ ได้แก่ การกระจายตัวแบบปกติ ตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน และตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าส่วนตกค้างตามทฤษฎีของมอนโกเมอร์รี่ (Montgomery 2001) ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ ดังต่อไปนี้

3.1.1 การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูล (Normal Distributed) ของส่วนตกค้าง ในภาพที่ 4.1 พบว่าค่าของส่วนตกค้างมีการกระจายไปตามแนวเส้นตรง แต่จะมีจุดจะไม่มีข้อมูลที่ซ้ำกันและข้อมูลที่ได้มีแนวโน้มอยู่ในแนวเส้นตรงจึงประมาณได้ว่าค่าของส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ



ภาพที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวแบบปกติของค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์

3.1.2 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองการถดถอย (Fitted Value) ในภาพที่ 4.2 จะพบว่ามีการกระจายตัวของค่าเศษเหลือในแต่ละย่านของข้อมูลไม่พบรูปแบบการกระจายตัวที่ผิดปกติ และมีการกระจายแบบสุ่มรอบค่าศูนย์



ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความเสถียรของความแปรปรวนของค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์

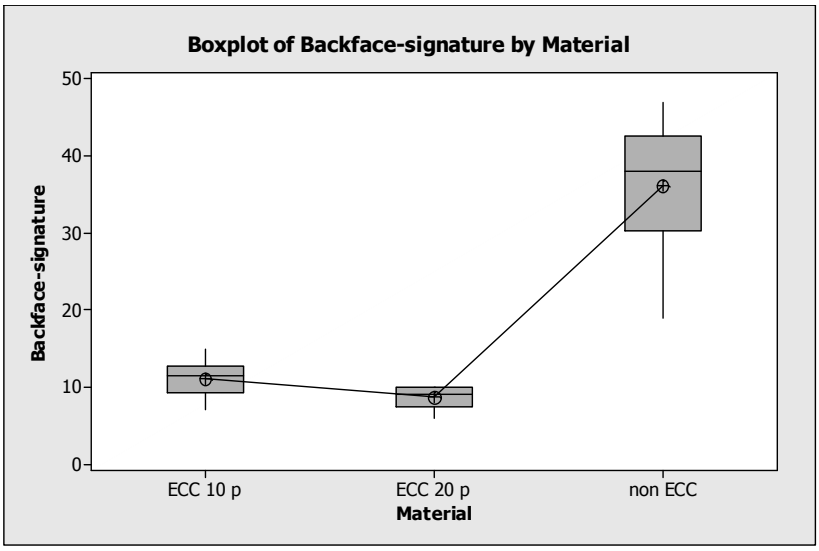
3.1.3 จากการตรวจสอบความเป็นอิสระต่อกันของข้อมูล (Independent) ในภาพที่ 4.3 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างมีแนวโน้มความเป็นอิสระต่อกันและไม่สามารถทำนายรูปแบบได้อย่างแน่นอน

ภาพที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความเป็นอิสระของค่าส่วนตกค้างของค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์

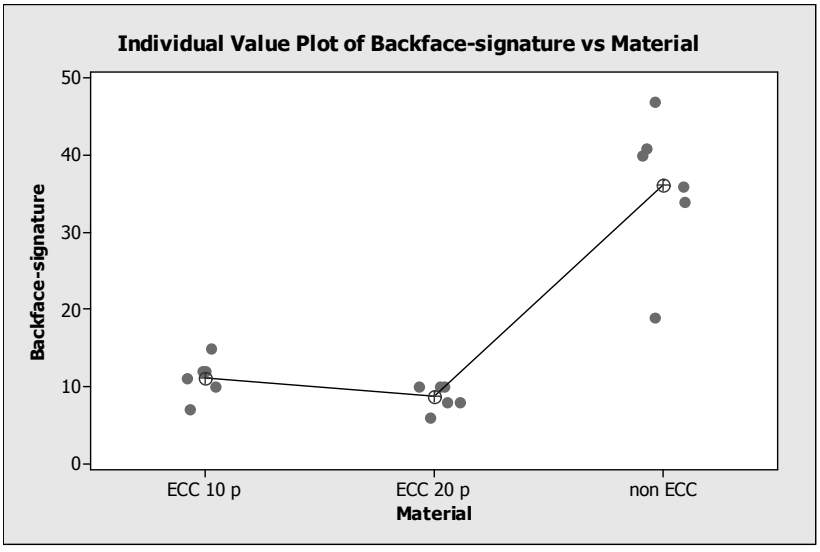
จากการตรวจสอบการทดลองจะต้องเป็นไปตามสมมติฐานทั้งหมด 3 ข้อ ตามทฤษฎีของมอนโกเมอร์รี่ปรากฏว่าข้อมูลในการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานทั้งหมดนั้นหมายความว่าข้อมูลที่ได้มาทั้งหมดมีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ มีความเสถียรของความแปรปรวนโดยไม่พบรูปแบบการกระจายตัวที่ผิดปกติ และมีความเป็นอิสระของค่าส่วนตกค้างข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแผนภาพกล่องและแผนภาพค่านิยมเฉพาะตัว

ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะพิจารณาจากแผนภาพกล่อง (Box Plot) ในภาพที่ 4.4 และแผนภาพค่านิยมเฉพาะตัว (Individual Value Plot) ภาพที่ 4.5 ในการวิเคราะห์จากภาพทั้งสองจะเห็นว่าปัจจัยที่เหมาะสมดานวัสดุในการทำเสื้อเกราะกันกระสุนป้องกันภัยคุกคราม ระดับ 3A คือการเสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 10 ชั้น และ 20 ชั้น จะเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ที่น้อยใกล้เคียงกัน นั้นหมายความว่าในสองปัจจัยนี้จะให้ผลในการต้านทานการทะลุของกระสุนได้ดีที่สุดเช่นกัน



ภาพที่ 4.4 แผนภาพกล่องแสดงผลของปัจจัยด้านวัสดุของค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์



ภาพที่ 4.5 แผนภาพค่าต่างแสดงผลของปัจจัยด้านวัสดุของค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์

3.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนและใช้การทดสอบของตูเก้

เมื่อใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทำการวิเคราะห์ผลการทดลองสามารถสร้างข้อมูลด้านล่างนี้เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติสำหรับปัจจัยที่ระดับต่างๆ และใช้การทดสอบของตูเก้ (Tukey) ในการเปรียบเทียบแบบพหุคูณซึ่งจะแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของคู่ปัจจัย

Descriptive Statistics: Backface-signature

Variable	Material	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Maximum
Backface-signatu	ECC 10 p	6	11.17	1.08	2.64	7.00	15.00
	ECC 20 p	6	8.667	0.667	1.633	6.000	10.000
	non ECC	6	36.17	3.89	9.54	19.00	47.00

One-way ANOVA: Backface-signature versus Material

Source	DF	SS	MS	F	P
Material	2	2775.0	1387.5	41.38	0.000
Error	15	503.0	33.5		
Total	17	3278.0			

S = 5.791 R-Sq = 84.66% R-Sq(adj) = 82.61%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
ECC 10 p	6	11.167	2.639
ECC 20 p	6	8.667	1.633
non ECC	6	36.167	9.538

```
                  (----*----)
        (----*----)
                                    (----*----)
        ------+---------+---------+---------+---
              10        20        30        40
```

Pooled StDev = 5.791

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Material

Individual confidence level = 97.97%

Material = ECC 10 p subtracted from:

Material	Lower	Center	Upper
ECC 20 p	-11.176	-2.500	6.176
non ECC	16.324	25.000	33.676

```
                    (----*---)
                                        (----*---)
        --------+---------+---------+---------+-
              -20         0        20        40
```

Material = ECC 20 p subtracted from:

Material	Lower	Center	Upper
non ECC	18.824	27.500	36.176

```
                                        (----*---)
        --------+---------+---------+---------+-
              -20         0        20        40
```

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า P-Value กับค่าระดับนัยสำคัญของการทดลองเท่ากับ 0.05 ที่ความเชื่อมั่น95% โดยค่า P-Value ของแต่ละปัจจัยจะต้องมีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญจึงจะถือว่าปัจจัยด้านวัสดุในการเสริมชั้นหน้าด้วยแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์มีผลต่อการป้องกันการทะลุของกระสุน ระดับ 3A อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจากค่า P-Value = 0 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงทำให้ปฏิเสธ H_0 ซึ่งแปลความหมายว่า การเสริมแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อต้านทานการทะลุของกระสุนมีผลต่อการต้านทานการทะลุของกระสุนอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น การเสริมแผ่นอิพ๊อกซีพัตตี้ สามารถต้านทานการทะลุของกระสุนได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากข้อมูลการเปรียบเทียบแต่ละระดับของข้อมูลที่ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ของค่าเฉลี่ยในวัสดุแต่ละชนิด ในย่อหน้าที่สองของข้อมูล One-way ANOVA สังเกตว่ามีช่วงความเชื่อมั่นของกลุ่มที่เหลื่อมกัน 1 ชุด ได้แก่กลุ่มวัสดุที่ทำการเสริมแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 10 ชั้น และ 20 ชั้น ที่เหลื่อมกันมาก ส่วนกลุ่มวัสดุที่ไม่ทำทำการเสริมนั่นจะออกห่างไม่เหลื่อมกับกลุ่มใด ดังนั้นหมายความว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันระหว่างการเสริมแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์และการไม่เสริมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดจนการเสริมแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 10 ชั้น และ 20 ชั้น จะให้ผลในการป้องกันการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ใกล้เคียงกัน

ในย่อหน้าที่สามของข้อมูล One-way ANOVA เป็นวิธีเปรียบเทียบแบบแบบตูเก่จะแสดงตารางเปรียบเทียบช่วงความเชื่อมั่นของแต่ละกลุ่มโดยแสดงทั้งกลุ่มที่ไม่แตกต่างกันและกลุ่มแตกต่างกันในแต่ละระดับของปัจจัย ผลลัพท์จากการทดสอบแบบตูเก่ได้แสดงผลเป็นช่วงความเชื่อมั่นจากการเปรียบเทียบ 2 ชุด ดังนี้ ชุดแรกเป็นการเปรียบเทียบค่าที่มากสุดกับน้อยสุด มีค่าเท่ากับ -11.176 ถึง 6.176 นั่นแปลว่าค่าเฉลี่ยแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ของเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 3 เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 20 ชั้น ลบออกจากค่าเฉลี่ยแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ของเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 1 ไม่เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ จะมีความต่างของค่าเฉลี่ยแบล็คเฟซซิกเนเจอร์อยู่ถึง -11.176 ถึง 6.176 มม. และช่วงความเชื่อมั่นที่ได้นี้ครอบคลุมค่า 0 แสดงว่าเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 2 ที่เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 10 ชั้น และเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 3 ที่เสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 20 ชั้น มีความใกล้เคียงกันของวัสดุทั้งสองชนิด แต่ ในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 3 จะมีค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ที่น้อยสุดโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.667 มม.

4. การวิเคราะห์ผลการทดลองทางกายภาพ

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางด้านสถิติแล้วจึงได้ทำการวิเคราะห์ผลทางกายภาพโดยพิจารณาจากผลการทดสอบค่าเฉลี่ยแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ที่เกิดจากแรงดันของกระสุน ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ คือ 36.17, 11.17 และ 8.66 มม. ตามลำดับ จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าวัสดุที่ทำการเสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์จะมีค่าเฉลี่ยแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ที่ต่ำกว่าไม่ทำการเสริมหรืออาจกล่าวได้ว่าชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์จะเป็นตัวต้านทานกระสุนปืนได้ดีกว่าถึงแม้จะมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นก็ตาม โดยมีรายละเอียดการทดสอบทางกายภาพ ดังนี้ วัสดุทดสอบในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 1 ดังภาพที่ 4.6 มีค่าเฉลี่ยแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ที่สูงถึง 36.17 มม. แม้ว่าจะไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานก็ตาม แต่กระสุนจะทะลุแผ่นหน้าที่ทำด้วยคาร์บอนเคฟล่าร์ทั้งหมด 48 ชั้น และเข้าไปค้างอยู่ในแผ่นเคฟล่าร์ซึ่งเป็นแผ่นหลังทั้งหมด และผลทางกายภาพชี้ให้เห็นว่าแรงกระแทก

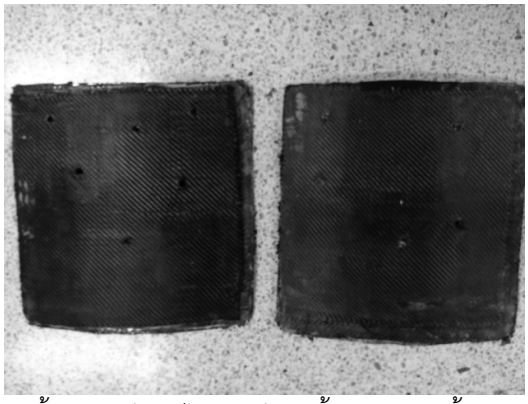
ของกระสุนปืนจะทำให้เกิดแรงดันมากจนเสื้อเกราะกันกระสุนในการทดลองขาดด้านหลังตามรอยแรงดันของกระสุน ดังภาพที่ 4.7 จากผลดังกล่าวถึงแม้ว่าลูกกระสุนจะไม่ทะลุออกไปแต่จะมีแรงดันที่พุ่งไปตามแนวกระสุนจนดันให้เสื้อเกราะกันกระสุนขาดได้ซึ่งนับว่าเป็นอันตรายมาก ส่วนวัสดุทดสอบในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 2 ดังภาพที่ 4.8 มีค่าเฉลี่ยแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ 11.17 มม. ค่าที่ได้ไม่เกินมาตรฐานกำหนด ด้านผลทางกายภาพพบว่าลูกกระสุนมีการทะลุแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์และเข้าไปค้างอยู่ที่แผ่นคาร์บอนเคฟล่าร์เท่านั้นโดยไม่ทะลุถึงแผ่นเคฟล่าร์ และเสื้อเกราะกันกระสุนในการทดลองไม่มีรอยขาด ส่วนวัสดุทดสอบในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 3 ดังภาพที่ 4.9 มีค่าเฉลี่ยแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ 8.67 มม. ซึ่งค่าที่ได้ไม่เกินมาตรฐานกำหนดเช่นกัน โดยผลการทดลองพบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกับการทดลองในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 2 ซึ่งสามารถสรุปผลจากการทดลองได้ว่าการเสริมชั้นหน้าด้วยแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 2 และ 3 จะทำให้ลดแรงปะทะได้ดี โดยพบว่าลูกกระสุนส่วนใหญ่จะทะลุแค่แผ่นหน้าที่เป็นแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์เท่านั้นไม่ทะลุเข้าไปในแผ่นหลังที่ทำด้วยคาร์บอนเคฟล่าร์และเคฟล่าร์ ดังภาพที่ 4.10 อีกทั้งไม่ก่อให้เกิดการห่อตัวจากแรงกระแทกด้วย และผลการทดลองด้านลักษณะผิดรูปของกระสุนมีผลไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อทำการเสริมชั้นหน้าด้วยแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์จะทำให้กระสุนมีลักษณะผิดรูปได้มากกว่าไม่ทำการเสริม และกระสุนมีลักษณะผิดรูปไปมากตามจำนวนชั้นแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ เนื่องจากแผ่นดังกล่าวนี้จะทำหน้าที่ประทะกับกระสุนทำให้กระสุนมีลักษณะผิดรูปและแรงลดลง ดังภาพที่ 4.11 ซึ่งข้อมูลทางกายภาพทั้งหมดสรุปได้ว่าในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 2 และ 3 ที่มีการเสริมชั้นหน้าด้วยแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์จะมีค่าเฉลี่ยแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ที่ต่ำใกล้เคียงกัน โดยในวัสดุทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 3 จะมีจะมีค่าเฉลี่ยแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ที่ต่ำสุด แต่จะมีน้ำหนักที่มากที่สุดในการทดลองเช่นกัน ซึ่งจะมีน้ำหนักประมาณ 3.40 กิโลกรัม/แผ่น เมื่อทำการประกอบเข้ากับเสื้อเกราะกันกระสุนครบชุดจะมีน้ำหนักประมาณ 7.80 กิโลกรัม/ตัว ส่วนวัสดุทดสอบในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 2 เมื่อทำการประกอบเข้ากับเสื้อเกราะกันกระสุนครบชุดจะมีน้ำหนักประมาณ 5.60 กิโลกรัม/ตัว ซึ่งจะมีน้ำหนักลดลงประมาณ 2 กก. แต่ยังคงประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ใกล่เคียงกับวัสดุทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 3 ดังนั้น วัสดุทดสอบในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 2 และ 3 สามารถนำไปเป็นพื้นฐานในการออกแบบเสื้อเกราะกันกระสุนป้องกันภัยคุกคราม ระดับ 3A เพื่อใช้ในการทำงานจริงได้ โดยวัสดุทดสอบในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 3 จะมีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ได้ดีที่สุด ส่วนวัสดุทดสอบในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพในด้านน้ำหนักเบาที่สุด ประมาณ 5.60 กิโลกรัม/ตัว

ภาพที่ 4.6 ผลการทดสอบวัสดุทดสอบในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 1

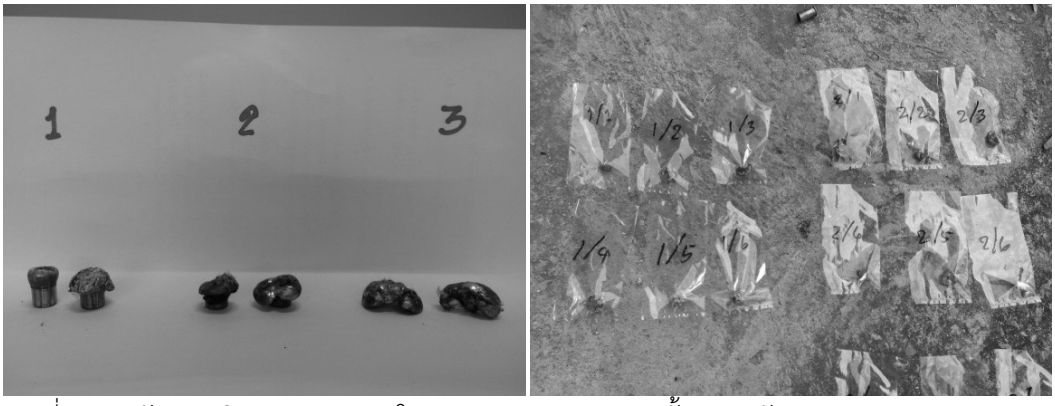
ภาพที่ 4.7 การทะลุจากแรงดันของกระสุนในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 1

ภาพที่ 4.8 ผลการทดสอบวัสดุทดสอบในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 2

ภาพที่ 4.9 ผลการทดสอบวัสดุทดสอบในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 3



ภาพที่ 4.10 แผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 20 ชั้น และ 10 ชั้น



ภาพที่ 4.11 ลักษณะผิดรูปของกระสุนในการทดลองและกระสุนทั้งหมดหลังการทดสอบ

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลและอภิปรายผล

จากทฤษฎีการใช้แผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์และคาร์บอนเคฟล่าร์ในงานประดับยนต์เพื่อใช้ทำเสื้อเกราะกันกระสุน ระดับ 2 (ธรรม์ณชาติ, 2556) นำมาพัฒนาสู่การป้องกันภัยคุกคามระดับ ระดับ 3A-3 ตามมาตรฐานยุทโธปกรณ์กระทรวงกลาโหม พบว่าสมมุตฐานเบื้องต้นในการประยุกต์ใช้วัสดุดังกล่าวสามารถหยุดการทะลุของกระสุน ระดับ 3A ได้จริงตามสมมุตฐาน และปัจจัยด้านการเสริมแผ่นอิพ็อกซีพัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ไว้ด้านหน้าสามารถต้านทานการทะลุผ่านของกระสุนได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 และในด้านกายภาพข้อมูลก็มีความสอดคล้องตรงกันว่าการเสริมชั้นหน้าด้วยแผ่นอีพ็อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ในเสื้อเกราะกันกระสุนที่ 2 และ 3 จะมีการต้านทานกระสุนปืนของวัสดุได้ดีกว่าไม่ทำการเสริมได้ชัดเจนเนื่องจากความแข็งของชั้นแผ่นอีพ็อกซี่พัตตี้จะทำหน้าที่รับแรงปะทะ ด้านปัจจัยที่เหมาะสมในชนิดของวัสดุและรูปแบบการวางชั้นวัสดุที่มีประสิทธิภาพต้านทานการเกิดแบล็คเฟซซิกเนเจอร์หรือการทะลุทะลวงของกระสุน ระดับ 3A ได้ดีที่สุด คือ วัสดุทดสอบในเสื้อเกราะกันกระสุนที่ 3 (แผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 20 ชั้น, แผ่นคาร์บอนเคฟล่าร์ 48 ชั้น และวัสดุเคฟล่าร์ 30 ชั้น) จะสามารถป้องกันการทะลุทะลวงของคมกระสุน ระดับ 3A ได้ดีที่สุด แต่วัสดุทดสอบดังกล่าวยังคงมีน้ำหนักที่มากกว่าในทุกการทดลองประมาณ 7.80 กิโลกรัม/ตัว ส่วนวัสดุทดสอบในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 2 (แผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ 20 ชั้น, แผ่นคาร์บอนเคฟล่าร์ 48 ชั้น และวัสดุเคฟล่าร์ 30 ชั้น) จะให้ประสิทธิภาพในด้านน้ำหนักเบาได้ดีที่สุด ประมาณ 5.60 กิโลกรัม/ตัว สามารถนำไปเป็นพื้นฐานในการออกแบบแผ่นเกราะในเสื้อเกราะกันกระสุนหรือแผ่นกำบังกันกระสุนเพื่อใช้ในการทำงานจริงได้ ส่วนการทดลองเสื้อเกราะกันกระสุนตามปัจจัย ระดับ 3 นั้นไม่สามารถดำเนินการได้สำเร็จลุล่วงเนื่องจากความจำจัดด้านงบประมาณ

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองในปัจจัยที่ดีที่สุดในการทดสอบกับงานวิจัยอื่นๆจะมีผลดังนี้ ด้านประสิทธิภาพการป้องกันภัยคุกคามจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเสื้อเกราะกันกระสุนจากใยประดิษฐ์ ที่ป้องกันกระสุนได้ใน ระดับ 2A (สมประสงค์, 2550) และมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเสื้อเกราะกันกระสุนเคฟล่าร์อย่างเดียว ที่สามารถป้องกันกระสุน .357 ได้เพียง 15% เท่านั้น (Chocron, 2010) ส่วนด้านน้ำหนักเสื้อเกราะกันกระสุนนั้นจะมีน้ำหนักที่เบากว่าเสื้อเกราะกันกระสุนจากสำนักงานการอาชีวศึกษา เพราะเสื้อเกราะกันกระสุนจากสำนักงานการอาชีวศึกษาจะใช้โลหะทั้งหมด โดยมีประสิทธิภาพในการป้องกันกระสุน ระดับ 3A เท่ากัน และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ฟิล์มเอกซ์เรย์มาประกอบทำเสื้อเกราะกันกระสุนที่การป้องกันกระสุน ระดับ 3A เสื้อเกราะกันกระสุนในการทดลองนี้จะมีน้ำหนักที่เบากว่าประมาณ 2-3 กิโลกรัม เพราะเสื้อเกราะกันกระสุนที่ใช้ฟิล์มเอกซ์เรย์ถ้าต้องการป้องกันกระสุน ในระดับ 3A ต้องนำแผ่นอะลูมิเนียมมาเพิ่มไว้ด้านหน้าอีกชั้น (กฤษฎากร, 2550) ในด้านต้นทุนวัสดุเปรียบเทียบกัน เสื้อเกราะกันกระสุนของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติจะมีราคาที่แพงกว่าประมาณ 3 เท่า แต่จะมีน้ำหนักที่เบากว่ามากประมาณ 1-2 กิโลกรัม ที่ประสิทธิภาพในการป้องกันกระสุน ระดับ 3A

เท่ากัน (ศิริลักษณ์, 2554) ส่วนเสื้อเกราะกันกระสุนจากใยประดิษฐ์ ก็ยังมีราคาที่ต้นทุนวัสดุที่แพงกว่าประมาณ 2 เท่า (สมประสงค์, 2550)

5.2 ข้อเสนอแนะ

ทำการทดสอบวัสดุต้นแบบกับหน่วยงานที่รับผิดชอบของกระทรวงกลาโหมเพื่อสามารถให้การรับรองมาตรฐานระดับชาติได้ ในการทดสอบต่อไปวัสดุที่ใช้ควรรีดอัดด้วยเครื่องจักรเฉพาะเพื่อให้มีความบางและแน่นซึ่งคาดว่าน่าจะทำให้ได้ประสิทธิภาพในการป้องกันการทะลุของกระสุนได้ดีขึ้น และควรทำการศึกษาวิจัยต่อเนื่องในวัสดุต้นแบบให้มีค่าน้ำหนักที่ลดลงและยังคงประสิทธิภาพเพื่อพัฒนาสู่การใช้งานจริง

บรรณานุกรม

กฤษฎากร เชวงศักดิ์โสภาคย์. **แผ่นบังกระสุนฝีมือตำรวจไทย**. เดลินิวส์ 18 กันยายน 2552 ; หน้า

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2546. **การวิเคราะห์สถิติ: สถิติสำหรับการบริหารและวิจัย**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทรงพล เอี่ยมบุญฤทธิ์. 2548. **อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 1806** .กรุงเทพฯ : กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.

ทรงพล เอี่ยมบุญฤทธิ์. 2552. **เสื้อเกราะบางระจัน.** แหล่งที่มา : http://www.bangrajun.com/index.php?option=com_content&task=view&id=40&Itemid=46, 14 กันยายน 2556.

ทรงศักดิ์ ภูสีอ่อน. 2551. **การประยุกต์ใช้ SPSS วิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กาฬสินธุ์ : ประสานการพิมพ์.

ธรรม์ณชาติ วันแต่ง. 2554. การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุฟิล์มแข็งเคลือบผิวในการเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นเหล็กในเสื้อเกราะกันกระสุน. **ราชภัฏเพชรบูรณ์สาร**. 13 (1) : 40-45.

ธรรม์ณชาติ วันแต่ง. 2556. การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการใช้วัสดุในงานประดับยนต์สำหรับทำแผ่นเกราะกันกระสุน ระดับ 2 โดยออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%. **วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร**. 21 (1) : 1-8.

ธรรม์ณชาติ วันแต่ง. **มรภ.เพชรบูรณ์ทำเสื้อเกราะ**. ไทยรัฐ 3 กันยายน 2556 ; หน้า 15.

นวัตกรรมใหม่เสื้อเกราะกันกระสุนภูมิใจฝีมือคนไทย. เดลินิวส์ 4 กุมภาพันธ์ 2554 ; หน้า 20

บุญชม ศรีสะอาด. 2547. **วิธีการทางสถิติสำหรับการวิจัย**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : สุวีริยาสาส์น.

บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์. 2549. **สถิติวิเคราะห์เพื่อการวิจัย**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: จามจุรีโปรดักท์.

บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. 2554. **เคฟลาร์**. แหล่งที่มา : http://www.neutron.rmutphysics.com/news/index.php?option=com_content&task=view&id=1611&Itemid=9, 27 มกราคม 2556**.**

ปารเมศ ชุติมา. 2545. **การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมศาสตร์**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรชัย คล้ายยา. 2551. **อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 4263**. กรุงเทพฯ : กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.

พลาม พรมจำปา**.** 2555. **อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 7274**. กรุงเทพฯ : กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.

ศิริชัย พงษ์วิชัย. 2551. **การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยคอมพิวเตอร์**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมบัติ ท้ายเรือคำ. 2551. **ระเบียบวิธีวิจัยสำหรับมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์.** กาฬสินธุ์ : ประสานการพิมพ์.

สมประสงค์ ภาษาประเทศ และคณะ. 2550. การศึกษาการผลิตเสื้อเกราะกันกระสุนจากใยประดิษฐ์เพื่อนำไปใช้ผลิตในเชิงพาณิชย์ - ระยะที่ 1 ศึกษาเส้นใยและโครงสร้างที่เหมาะสมในการผลิตเสื้อเกราะกันกระสุน, **วารสาร 33 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี** : 80-84.

สมประสงค์ เสนารัตน์. 2557. **การวิเคราะห์เปรียบเทียบโปรแกรม R, Instat และ SPSS: กรณี ANOVA**. แหล่งที่มา : http://netra.lpru.ac.th/~phaitoon/assumption&proof/ANOVA_by_R.pdf, 20 มกราคม 2557.

สุพินท์ สมิตเกษตริน. 2550. เสื้อเกราะกันกระสุน ตอนที่ 1. **นิตยสารยุทธโกษ.** 115 (4) : 39-44.

สุพินท์ สมิตเกษตริน. 2550. เสื้อเกราะกันกระสุน ตอนที่ 2. **นิตยสารยุทธโกษ.** 116 (1) : 79-85.

สุรวรรณ ลิ้มสัมพันธ์. 2546. เสื้อเกราะกันกระสุน. **นิตยสารนาวิกศาสตร์**. 12 : 8-9.

อภิชาติ สนธิสมบัติ. 2552. **เสื้อเกราะกันกระสุนจากใยประดิษฐ์**. แหล่งที่มา : http://www.naewna.com/news.asp?ID=114829, 19 สิงหาคม 2552.

เอ็กซ์พลอร์ห้องสมุวิจัยสำหรับสาธารณะ. 2556. **เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล**. แหล่งที่มา : http://thai-explore.net/watch.php?w=bWVkaWExOTAy, 20 ธันวาคม 256.

_____. 2550. **เสื้อเกราะอาชีวะ**. แหล่งที่มา : http://www.oknation.net/blog/print.php?id=71854**,** 29 ตุลาคม 2555.

_____. 2552. **เสื้อเกราะรุ่นพระเจ้าตาก**. แหล่งที่มา : http://www.aithaikid.com/armor.htm, 11 กันยายน 2552.

_____. 2552. **เอ็มเทค ปตท.และม.มหิดล ร่วมเปิดตัวเสื้อเกราะกันกระสุนคุณภาพสูง**. แหล่งที่มา: http://www.bangkokbiznews.com/home/news/it/innovation/2009/01/30/news_11859.php, 19 สิงหาคม 2556.

_____. 2552**. การทดสอบเสื้อเกราะพระเจ้าตาก กันกระสุน M16 A1**. แหล่งข้อมูล : http://www.jabchai.com/main/view_joke.php?id=9952, 29 ตุลาคม 2555**.**

_____. 2554. **เส้นใยอะรามีด : เคฟลาร์**. แหล่งที่มา : http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=75&Itemid=36&limit=1&limitstart=1, 14 กรกฎาคม 2554.

_____. 2554. **เอ็มเทคมอบเสื้อเกราะกันกระสุนให้กองทัพ**. แหล่งข้อมูล : http://www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID=9540000010097, 29 ตุลาคม 2555**.**

_____. 2554. **การทดสอบและตรวจวัดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์**. แหล่งที่มา : http://www.ondutygear.com/armor-express-armor-shoot.html, 27 มกราคม 2554.

_____. 2554. **คาร์บอนไฟเบอร์ & คาร์บอนเคฟล่าร์**. แหล่งที่มา : www.fcciracing.com/TipsModifies/show.php?id=122, 27 มกราคม 2554**.**

_____. 2554. **คาร์บอน-ไฟเบอร์ คาร์บอน-เคฟล่าร์**. แหล่งที่มา : http://www.lancer-club.net/forum/index.php?topic=39851.0, 27 มกราคม 2554**.**

_____. 2554. **บลันท์ ทรอมา**. แหล่งที่มา : http://www.pinnaclearmor.com, 27 มกราคม 2554.

_____. 2554. **สั่งทบทวนเซฟชีวิตเจ้าหน้าที่ปะทะคนร้ายตายไม่ได้ใส่เกราะ.** แหล่งข้อมูล : http://www.thairath.co.th/content/region/216590, 29 ตุลาคม 2555**.**

_____. 2557. **การออกแบบการทดลอง**. แหล่งที่มา : http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2553/enin20453as_ch2.pdf, 20 มกราคม 2557.

_____.2557. **การวิเคราะห์ความแปรปรวน**. แหล่งที่มา : app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20080528Sombat28.doc, 24 กุมภาพันธ์ 2557.

_____.2557. **การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (ANOVA)**. แหล่งที่มา : netra.lpru.ac.th/...proof/4การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว.doc, 24 กุมภาพันธ์ 2557.

Bilisik, K., & Korkmaz, M. 2010. Multilayered and Multidirectionally-stitched aramid Woven Fabric Structures: Experimental Characterization of Ballistic Performance by Considering the Yarn Pull-out Test. **Textile Research Journal**, 80 (16) : 1697-1720.

Grujicic M., Glomski P. S., He T., Arakere G., Bell W. C., and Cheeseman B. A. 2009. Material Modeling and Ballistic-Resistance Analysis of Armor-Grade Composites Reinforced with High-Performance Fibers. **Journal of Materials Engineering and Performance**, 18 (9) : 1169-1182.

Lee, H. P., Gong, S. W. (2010). Finite element analysis for the evaluation of protective functions of helmets against ballistic impact, **Computer Method in Biomechanics and Biomedical Engineering**, 13 (5) : 537-550.

Lin Chia-Chang., Huang Chao-Chiung., Chen You-Liang., Lou Ching-Wen., Lin Chin-Mei. and Hsu Chan-Hung. 2008. Ballistic-resistant stainless steel mesh compound nonwoven fabric. **Fibers and Polymers**, 9 (6) : 761-767.

Lou Ching-Wen., Lin Ching-Wen., Hsu Chan-Hung., Chen Jin-Mao., Lin Jia-Horng., & Meng, Hsien-Hui. 2008. Process and bullet-resistant buffer effect of an elastic cushioning structure made of polyamide non-woven fabric and chloroprene rubber. **Textile Research Journal**, 78 (3) : 258-263.

Michael B. Mukasey, Jeffrey L. Sedgwick and David W. Hagy. 2008. **Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard–0101.06**. Washington : National Institute of Justice. Available Source : http://nist.gov/oles/upload/ballistic.pdf, December 17, 2013.

Montgomery, D.C. 2001. **Design and Analysis of Experiments**. 5th ed. New York : John Wiley& Sons.

Roger E. Kirk. 1968. **Experimental Design: Procedures for the Behavioral Sciences**. Belmont, California : Brooks/Cole Publishing Company.

Sarawut Rimdusit, Somsiri Pathomsap1, Pornnapa Kasemsiri1, Chanchira Jubsilp and Sunan Tiptipakorn. 2011. KevlarTM Fiber-Reinforced Polybenzoxazine Alloys for Ballistic Impact Applications. **Engineering Journal**, 15 : 23-39.

Somsiri Pathomsap, Tharathon Mongkhonsi, Kuljira Sujirote, & Sarawut Rimdusit. 2006. Development of Light Weight Ballistic Armor from Polybenzoxazine Alloys and Kevlar™ Fiber**. 4th Thailand Materials Science Technology Conference.** Thailand.

Soykasap, O., Colakoglu, M. (2010). Ballistic Performance of a Kelvar-29 Woven Fiber Composite Under Varied Temperatures. **Mechanics of Composite Materials**, 46 (1) : 35-42.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

คุณสมบัติทางกล	คาร์บอนเคฟล่าร์ (Carbon kevlar hybrid fabric)	เส้นใยคาร์บอน (Carbon fabric)	เคฟล่าร์ (Aramid fabric)
น้ำหนัก	200 g/m^2	240 g/m^2	460 g/m^2
ค่าความหนาแน่น	1.82 g/cm^2	1.76 g/cm^2	1.44 g/cm^2
ค่ามอดูลัสของยัง	187 GPa	230 GPa	102 GPa
เปอร์เซนต์การยืดตัว	-	1.50%	2.90%
Tensile Strength	-	4,410 MPa	3,620 MPa
Tensile Strength, Yield	400 MPa	600 MPa	428 MPa
ยี่ห้อ	Kevlar® 49 FCKG 196 Green/black ลาย 2	Mitsubishi Rayon IM Series MR40 (Plain)	Twaron® 2200 TI-9920 Hexcel® HexForce™

ภาคผนวก ข

รูปภาพการดำเนินงาน

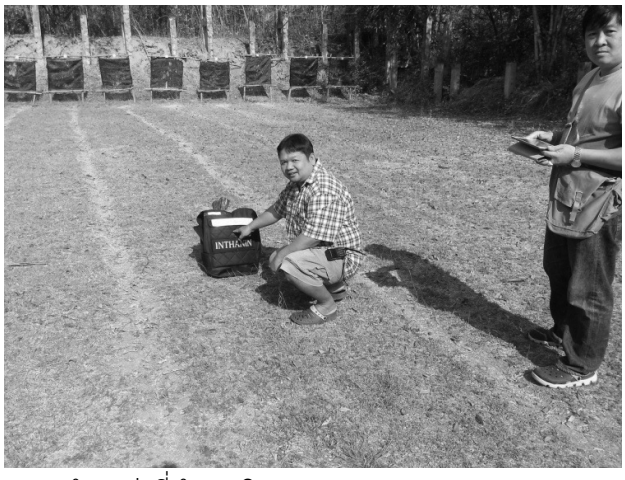
ภาพที่ ข.1 สนามยิงปืนที่ใช้ในการทดสอบ กองพันทหารม้าที่ 18 ค่ายพ่อขุนผาเมือง

ภาพที่ ข.2 การจัดเตรียมเสื้อเกราะกันกระสุนที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ ข.3 อาวุธปืนที่ใช้ในการทดลอง

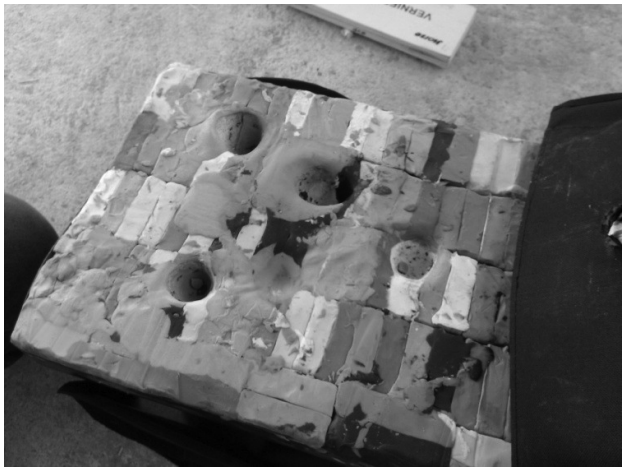
ภาพที่ ข.4 การวางตำแหน่งเสื้อเกราะกันกระสุนเพื่อยิงทดสอบ

ภาพที่ ข.5 การยิงทดสอบที่ระยะ 5 เมตร

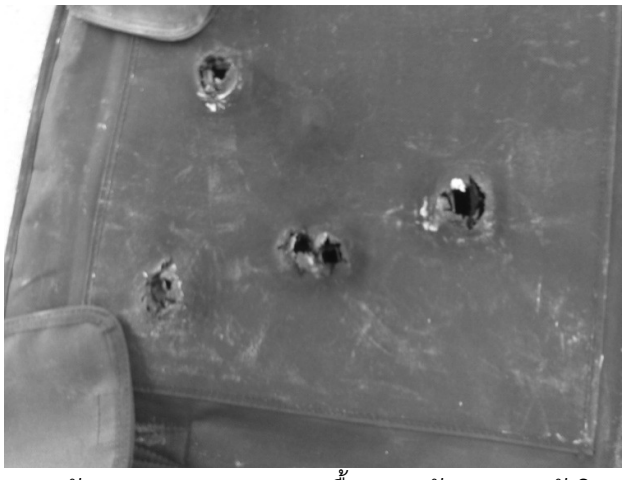


ภาพที่ ข.6 การตรวจสอบตำแหน่งที่ทำการยิงทดสอบ

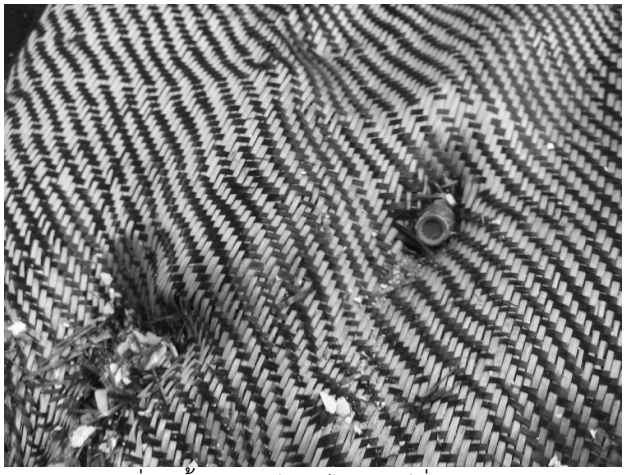
ภาพที่ ข.7 การถอดเสื้อเกราะกันกระสุนออกจากชุดตรวจการวัดยุบตัวหลังยิงทดสอบ



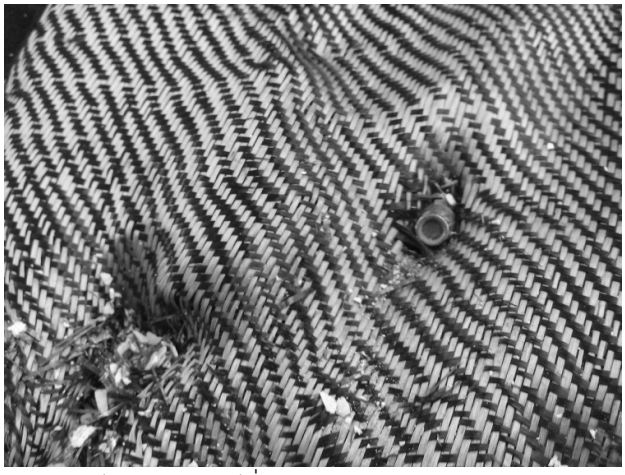
ภาพที่ ข.8 การวัดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์จากชุดตรวจการวัดยุบตัวหลังยิงทดสอบ



ภาพที่ ข.9 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเสื้อเกราะกันกระสุนหลังยิงทดสอบ



ภาพที่ ข.10 ลักษณะแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์ที่ผ่านการยิงทดสอบ



ภาพที่ ข.11 ลักษณะแผ่นคาร์บอนเคฟล่าห์ที่ผ่านการยิงทดสอบ

ภาพที่ ข.12 ลักษณะแผ่นเคฟล่าห์ที่ผ่านการยิงทดสอบ

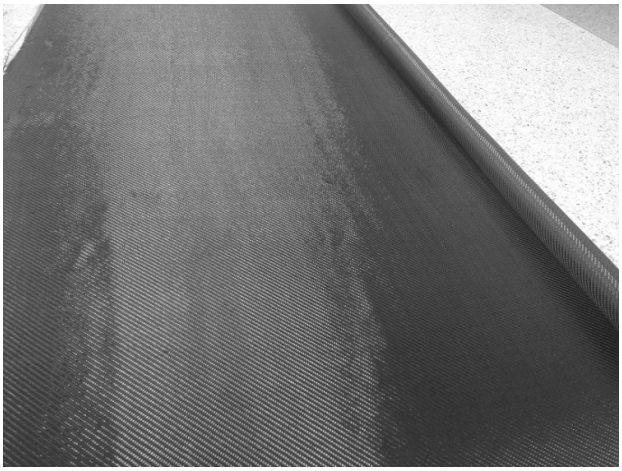
ภาพที่ ข.13 การเก็บหัวกระสุนตามลำดับหลังยิงทดสอบ

ภาพที่ ข.14 การตรวจสอบปลอกกระสุน

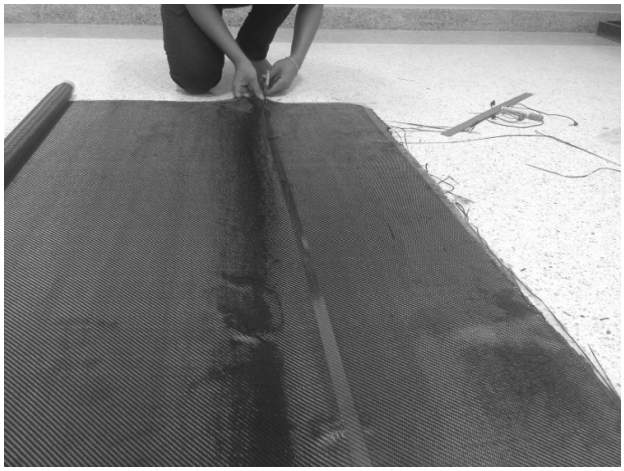
ภาพที่ ข.15 ผู้ทำหน้าที่ยิงทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน

ภาคผนวก ค

การสร้างแผ่นเกราะกันกระสุนจากวัสดุคาร์บอนไฟเบอร์



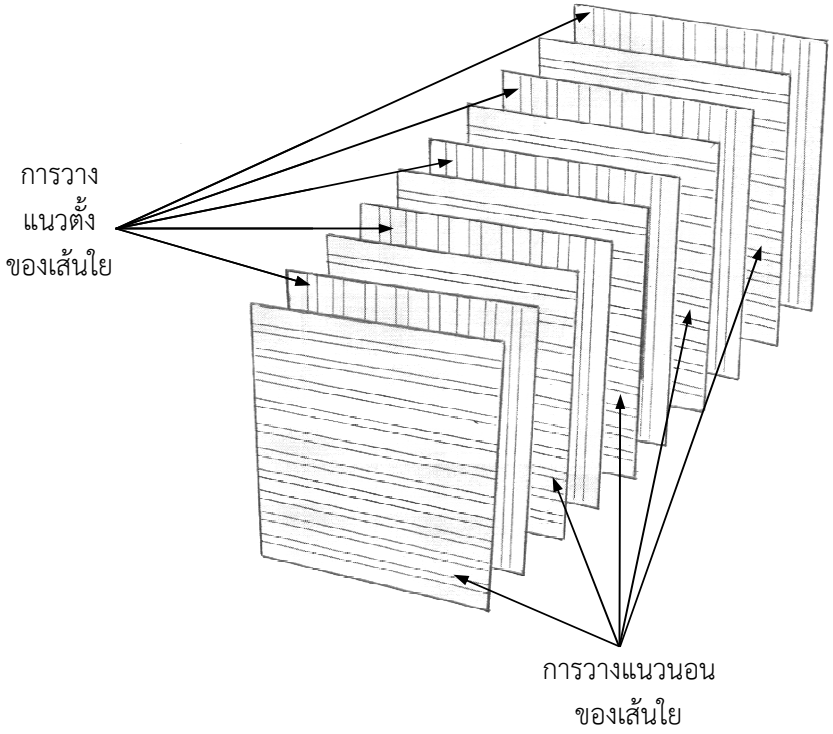
ภาพที่ ค.1 การเตรียมแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์



ภาพที่ ค.2 การตัดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ให้ได้ขนาดเท่ากับแผ่นเกราะกันกระสุน

ภาพที่ ค.3 การทากาวอีพ็อกซี่พัตตี้ลงบนแผ่นแรกให้เรียบทั่วแผ่น

ภาพที่ ค.4 การนำแผ่นเปล่ามาวางบนแผ่นที่ทากาวอีพ๊อกซี่พัตตี้สลับลายในทุกแผ่น



ภาพที่ ค.5 เทคนิคการสลับลายเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ในแต่ละแผ่น

ภาพที่ ค.6 นำแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้คาร์บอนไฟเบอร์ประกอบไว้แผ่นหน้าสุดในเสื้อเกราะกันกระสุน

ภาคผนวก ง

เอกสารการเผยแพร่งานวิจัย

ตรวจพล สลาก ลอตเตอรี่ หน้า 2

นสพ.จำหน่ายมากที่สุดของประเทศ

ไทยรัฐ

ปีที่ 64 ฉบับที่ 20314 วันอังคารที่ 3 กันยายน พ.ศ.2556 ราคา 10.00 บาท

http://www.thairath.co.th

มรภ.เพชรบูรณ์ทำเสื้อเกราะ

นายธรรม์ณชาติ วันแต่งอาจารย์คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ (มรภ.) เพชรบูรณ์ จ.เพชรบูรณ์ เปิดเผยว่า มรภ.เพชรบูรณ์ ประสบความสำเร็จในการสร้างเสื้อเกราะอ่อนกันกระสุน ที่มีน้ำหนักเบาเพียง 6 กิโลกรัมและกระสุนไม่สามารถทำอันตรายกับร่างกายได้แถมมีราคาถูก ขณะนี้ กำลังจดสิทธิบัตรในชื่อเสื้อเกราะอ่อนกันกระสุนอินทนิล

นายธรรม์ณชาติกล่าวต่อว่า แนวคิดในการทำเสื้อเกราะอ่อนกันกระสุนอินทนิลมาจากนักศึกษาที่ไปเป็นทหารและอาสาสมัคร ได้กลับมาศึกษาต่อ บอกว่าตอนไปรับใช้ชาติ แม้เสื้อเกราะดีๆ จะมีอยู่แต่จะมีใส่เฉพาะทหารชั้นสัญญาบัตร ส่วนทหารใหม่ชั้นประทวนจะได้ใช้เสื้อที่ต้นสังกัดแจก ซึ่งมีน้ำหนักมากถึง 10 กิโลกรัมขึ้นไป ทำให้เคลื่อนไหวลำบาก จึงคิดที่จะทำเสื้อเกราะกันกระสุนที่น้ำหนักเบา โดยนำแผ่นเคฟล่าร์ ซึ่งมีคุณสมบัติทนทานต่อการขีดข่วน กันสะเก็ดหินมาทดสอบก่อนประสบความสำเร็จได้เสื้อเกราะที่สามารถหยุดความแรงของกระสุนปืน ขนาดตั้งแต่ 9-11 มม.ได้ เสื้อเกราะอ่อนกันกระสุนอินทนิล มีต้นทุนอยู่ที่ 10,000 บาทต่อตัว ซึ่งถูกกว่าเสื้อเกราะอ่อนทั่วๆไปที่ขายกันถึงราคาตัวละ 80,000 บาท หลังจดสิทธิบัตรแล้ว จะส่งไปยังหน่วยทหารในพื้นที่ชายแดนใต้ได้ใช้กันต่อไป.

นายบุญชอบ สุทธมนัสวงษ์ อธิบดีกรมป่าไม้ และ นายชินภัทร ภูมิรัตน เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ลงนามความร่วมมือโครงการประชาอาสาปลูกป่า 800 ล้านต้นถวาย 80 พรรษา มหาราชินี ที่กระทรวงศึกษาธิการ.

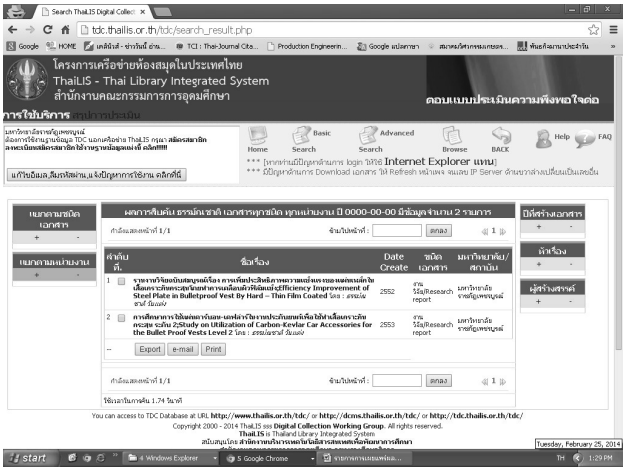
ทช.ม

●เหตุจา

นายนิพนธ์ พงศ์ส
และพัฒนาทรัพยากรท
ทางทะเลและชายฝั่ง(ท
ให้สัมภาษณ์ว่า นับตั้งแ
ครั้งใหญ่ที่สุดเมื่อปี 25
ไร่ เสียหายไปถึง 90%
เพียงแค่ 10% เท่านั้นถือ
สามารถมีส่วนช่วยคือท
น้ำเสี่ยลงไปเพิ่มอุณหภู
ที่อยู่ใกล้ชายฝั่งทะเล
"การขุดพื้นที่เป็

ภาพที่ ง.1 การเผยแพร่ผลงานวิจัย เรื่อง มรภ.เพชรบูรณ์ทำเสื้อเกราะ ในหนังสือพิมพ์ไทยรัฐ

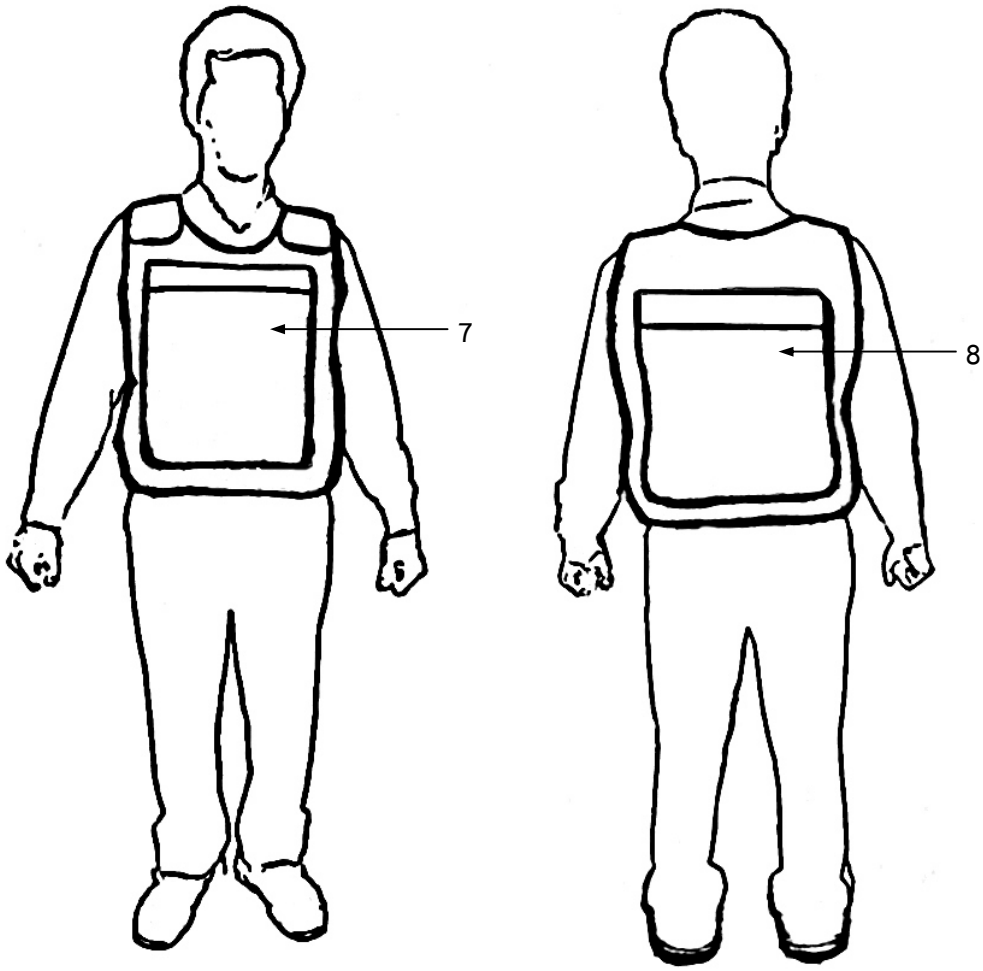
ภาพที่ ง.2 นำเสนอผลงานวิจัย เรื่อง เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล ในงานมหกรรมการนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ 2556 สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ศูนย์ประชุมบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เซ็นทรัลเวิลด์ กรุงเทพฯ



ภาพที่ ง.3 การเผยแพร่ผลงานวิจัยในโครงการเครือข่ายห้องสมุดในประเทศไทย (ThaiLIS)

ภาพที่ ง.4 เผยแพร่ผลงานวิจัยในเว็ปไซต์เอ็กซ์พลอร์ ห้องสมุวิจัยสำหรับสาธารณะ http://thai-explore.net/

ภาพที่ ง.5 เผยแพร่ผลงานวิจัย เรื่อง เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล ในระบบงานประชาสัมพันธ์และเว็ปไซต์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์



ภาพที่ ง.6 คำขอรับอนุสิทธิบัตร เลขที่ 1303000092 วันยื่นคำขอ 22 มกราคม 2556 ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์ แผ่นเกราะกันกระสุนจากวัสดุคาร์บอนไฟเบอร์ (ขณะนี้แก้ไขรอบ 3)

การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการใช้วัสดุในงานประดับยนต์สำหรับทำแผ่นเกราะกันกระสุน ระดับ 2 โดยออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ธรรม์ณชาติ วันแต่ง

A Study of Optimal Factor in Utilization Car Accessories Materials for the Ballistic Armor Level 2 Using a 2^2 Factorial Design at 95% Confidence Level

Tannachart Wantang

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ 67000
Department of Production Engineering, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun 67000, Thailand
* Corresponding author. E-mail address: tannachart@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดของวัสดุในงานประดับยนต์สำหรับทำแผ่นเกราะกันกระสุน โดยออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่ส่งผลต่อการป้องกันการทะลุทะลวงของคมกระสุน ระดับ 2 อ้างอิงตามมาตรฐาน NIJ Standard-0101.06 ปัจจัยที่ทำการศึกษาประกอบด้วยปัจจัยด้านชนิดของวัสดุ และปัจจัยด้านการเสริมชั้นกาวอีพ็อกซี่พัตตี้ ในการทดสอบจะนำวัสดุแต่ละปัจจัยบรรจุในซองทดสอบผ้าแบบเปิด-ปิดได้ จำนวน 4 ซองทดสอบ ทำการทดสอบด้วยกระสุนจริง ระดับ 2 ทดลองซ้ำ 6 ครั้ง จากผลการศึกษาพบว่าทุกปัจจัยมีผลต่อการป้องกันการทะลุทะลวงของคมกระสุน ระดับ 2 ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปัจจัยที่เหมาะสมชี้ให้เห็นว่าการใช้วัสดุในซองทดสอบที่ 3 จะสามารถต้านทานการทะลุผ่านของกระสุนได้ดีที่สุด

คำสำคัญ: เสื้อเกราะกันกระสุน แผ่นเกราะกันกระสุน คาร์บอนเคฟล่าร์ เส้นใยคาร์บอน อีพ็อกซี่พัตตี้ งานประดับยนต์

Abstract

The purpose of this research is to study the materials in the car accessories to make a bullet proof vests. The research uses a 2^2 factorial designed at 95% confident level and analysis of variances. That can stop a bullet through the level 2 (NIJ Standard-0101.06.). The first factor is the materials type and second factor is material layer is epoxy putty plate. The test material in each of the factors contained in the cloth bag open - closed. The material to test 4 type. The testing with bullet level 2 in NIJ Standard-0101.06. was repeated fired six times. The result indicates found that, the all factors, It has affecting penetrations of bullet in level 2 them are significant statistically and the factors indicated the used of materials in 3 envelope test. It will be able to resist the penetration of bullet as will.

Keywords: Bullet Proof Vests, Ballistic Armor, Carbon-Kevlar, Carbon-fiber, Epoxy Putty, Car Accessory

บทนำ

จากการปฏิบัติหน้าที่ของทหารและตำรวจในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ หรือในพื้นที่ชายแดนอื่น ๆ ที่มีความเสี่ยงสูง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่เจ้าหน้าที่ต้องใส่เสื้อเกราะกันกระสุนเป็นเครื่องป้องกันตัวส่วนบุคคล เพื่อรักษาชีวิตหรือลดความรุนแรงจากการถูกทำร้าย นอกจากนั้นแล้วการทำงานภายในประเทศด้านการปราบปรามยาเสพติดในปัจจุบันก็ยิ่งจำเป็นที่ต้องมีเสื้อเกราะกันกระสุนเป็นเครื่องป้องกันส่วนบุคคลให้กับเจ้าหน้าที่ เพราะในปัจจุบันคนร้ายมักจะใช้อาวุธต่อสู้ขัดขืนเจ้าหน้าที่เป็นประจำ การใส่เสื้อเกราะกันกระสุนขณะปฏิบัติหน้าที่จะช่วยลดอันตรายจากกระสุนปืนหรือของมีคมอื่น ๆ ที่มาทำร้ายบริเวณลำตัวของผู้ที่สวมใส่ได้เป็นอย่างดี ส่วนประกอบของเสื้อเกราะจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ 1. เกราะนอกเป็นส่วนที่ใช้สำหรับรับแรงกระแทกอาจจะใช้แผ่นเหล็กหรือเซรามิกเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทก 2. แผ่นรับแรงกระแทกด้านในลักษณะเป็นใยสังเคราะห์เมื่อถูกแรงกระแทกจะเกิดการยืดตัวช่วยดูดซับพลังงานเพื่อลดความเร็วของกระสุนที่ผ่านเข้ามา 3. ส่วนยึดรั้ง ใช้ยึดเสื้อเกราะกับร่างกายทำให้เกิดความกระชับ (สุพินท์, 2550) เสื้อเกราะกันกระสุนคุณภาพดีจะมีน้ำหนักเบาและมีราคาสูง ส่วนใหญ่จะมีเฉพาะเจ้าหน้าที่ระดับสัญญาบัตรเท่านั้น ส่วนเจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการจะใช้เสื้อเกราะกันกระสุนจากการแจกของหน่วยงานต้นสังกัด ซึ่งจะมีน้ำหนักมากจึงทำให้ไม่นิยมที่จะใส่กัน ในปัจจุบันมีงานวิจัยที่ศึกษาถึงวัสดุที่ใช้ทำเสื้อเกราะกันกระสุนอย่างกว้างขวาง ได้แก่ การใช้เคฟล่าร์-129 เย็บด้านหน้าด้วยไนล่อน, เคฟลาร์-29 ผสมไฟเบอร์, ยางสังเคราะห์คลอโรพรีน, อีพ็อกซี่เสริมใยเคฟล่าร์, ตาข่ายสแตนเลสผสมกับใยสังเคราะห์, แผ่นโลหะหุ้มด้วยยางสังเคราะห์ (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 1806, 2548), จากใยแก้ว (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 4263, 2551), แผ่นเหล็กบวกกับแผ่นซับแรงต้านการหมุนของกระสุนจากเม็ดทรายอัดกับยาง (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 7274, 2555), แผ่นเหล็กในเสื้อเกราะบางระจัน, แผ่นสเตนเลสและอะลูมิเนียมในเสื้อเกราะรักแผ่นดิน, เส้นใยโพลีเอสเตอร์ไนลอน 66 และพอลีเอทิลีนในเสื้อเกราะราชมงคลธัญบุรี, เซรามิกส์ชนิดอะลูมินาหุ้มอะลูมิเนียมและเส้นใยเคฟลาร์ความหนาแน่นสูงในเสื้อเกราะของเอ็มเท็ค และฟิล์มเอกซ์เรย์ในเสื้อเกราะพระเจ้าตาก จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น ได้กล่าวถึงตัวแปรหลายอย่างที่มีอิทธิพลต่อการหยุดยั้งกระสุนปืน ส่วนในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุในงานประดับยนต์เพื่อใช้ทำแผ่นเกราะในเสื้อเกราะกันกระสุนที่มีราคาถูกกว่าเคฟล่าร์แท้ มีน้ำหนักเบาและหาซื้อได้ง่าย โดยทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรด้านชนิดของวัสดุและด้านการเสริมแผ่นรับแรงด้วยกาวอีพ็อกซี่พัตตี้ที่ส่งผลต่อการต้านทานการทะลุของคมกระสุน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่ส่งผลต่อการป้องกันการทะลุทะลวงของคมกระสุน ระดับ 2 อ้างอิงตามมาตรฐาน NIJ Standard-0101.06 ซึ่งเป็นเสื้อเกราะแบบมาตรฐานใช้กันอย่างกว้างขวางทั่วโลก เป็นเสื้อเกราะมาตรฐานของเจ้าหน้าที่ตำรวจสหรัฐ กันกระสุนได้เกือบทุกชนิดยกเว้นกระสุนปืนพกที่มีอำนาจการทะลุทะลวงสูง (สุรวรรณ, 2546) โดยปัจจัยในการทดลองมีรายละเอียด ดังนี้ ปัจจัยแรกเป็นปัจจัยด้านชนิดของวัสดุมี 2 ระดับ ประกอบด้วยวัสดุคาร์บอนอะรามิดไฮบริดฟาบริค (Carbon Aramid Hybrid Fabric) หรือคาร์บอนเคฟล่าร์ น้ำหนัก 200 กรัมต่อตารางเมตร หรือ g/m^2 ค่าความหนาแน่น 1.82 กรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ g/cm^2 ค่ามอดูลัสของยัง 187 กิกะปาสคาล หรือ GPa และเส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber) น้ำหนัก 240 g/m^2 ค่าความหนาแน่น 1.76 g/cm^2 ค่ามอดูลัสของยัง 230 GPa ปัจจัยที่สองเป็นปัจจัยด้านการเสริมและไม่เสริมชั้นหน้าด้วยแผ่นกาวอีพ็อกซี่พัตตี้ (Epoxy Putty Stick) ในการทดลองจะนำแผ่นอะรามิดฟาบริค (Aramid Fabric) หรือแผ่นเคฟล่าร์ น้ำหนัก 460 g/m^2 ค่าความหนาแน่น 1.44 g/cm^2 ค่ามอดูลัสของยัง 102 GPa ประกบด้านหลังเพื่อป้องกันการทะลุในทุกการทดลอง การทดลองใน 1 เรพลิเคต ประกอบด้วยการทดลองซ้ำ 6 ครั้ง (จำนวนกระสุนทดสอบ 6 นัด) โดยนำวัสดุในแต่ละปัจจัยบรรจุลง

ในซองทดสอบแบบเปิด-ปิดได้ทำด้วยผ้าลายพรางทหาร ขนาด 32x32 เซนติเมตร จำนวน 4 ซองทดสอบมีรายละเอียด ดังนี้

ซองทดสอบที่ 1 ใช้วัสดุคาร์บอนเคฟล่าร์ จำนวน 40 ชั้น+แผ่นเคฟล่าร์ จำนวน 36 ชั้น น้ำหนักรวม 1.2 กิโลกรัม

ซองทดสอบที่ 2 ใช้วัสดุเส้นใยคาร์บอน จำนวน 40 ชั้น+แผ่นเคฟล่าร์ จำนวน 36 ชั้น น้ำหนักรวม 1.3 กิโลกรัม

ซองทดสอบที่ 3 เสริมแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ด้านหน้า+คาร์บอนเคฟล่าร์ จำนวน 40 ชั้น+แผ่นเคฟล่าร์ จำนวน 36 ชั้น น้ำหนักรวม 2.6 กิโลกรัม

ซองทดสอบที่ 4 เสริมแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ด้านหน้า+เส้นใย คาร์บอน จำนวน 40 ชั้น แผ่นเคฟล่าร์ จำนวน 36 ชั้น น้ำหนักรวม 2.7 กิโลกรัม

ในการสร้างแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้เพื่อประกบไว้ด้านหน้าในซองทดสอบที่ 3 และ 4 นั้น จะทำมาจากกาวอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมแผ่นเส้นใยคาร์บอนโดยวิธีการทำจะทากาว อีพ๊อกซี่พัตตี้ลงบนแผ่นเส้นใยคาร์บอน ขนาด 30 x 30 เซนติเมตร จนทั่วแผ่นแล้วนำแผ่นเส้นใยคาร์บอนอีกแผ่นมาปิดทับในลักษณะขวางแนวกัน 90 องศา รอจนแห้งหมาด ๆ ที่ประมาณ 30 นาที แล้วเริ่มทากาวอีพ๊อกซี่พัตตี้ลงบนแผ่นที่ 2 นำมาประกบสลับแนวขวางกัน สลับกันไปในทุก ๆ แผ่นจนครบ 8 แผ่นโดยไม่ทำการอัดแน่น ทิ้งระยะให้แห้งสนิทเป็นเวลา 1 วัน แล้วจึงนำไปทดสอบ ในขั้นตอนการเตรียมก่อนการยิงทดสอบแผ่นเกราะทดสอบจะต้องอยู่ในสภาพที่เปียกชื้น โดยจะทำการพ่นฝอยน้ำให้มีลักษณะคล้ายฝนตกตามมาตรฐาน ทำการทดสอบด้วยกระสุนปืนขนาด .45 ACP (FMJ) น้ำหนักหัวกระสุน 230 เกรน หรือ 15 กรัม ระยะยิง 5 เมตร จำนวน 6 นัดต่อแผ่นทดสอบ โดยมีลำดับการยิงครั้งที่ 1 มุม 0 องศา จำนวน 3 นัด ลำดับการยิงครั้งที่ 2 มุม 30 องศา จำนวน 1 นัด ลำดับการยิงครั้งที่ 3 มุม -30 องศา จำนวน 1 นัด ลำดับการยิงครั้งที่ 4 กลับมาที่มุม 0 องศา จำนวน 1 นัด และบันทึกผลการทดลอง

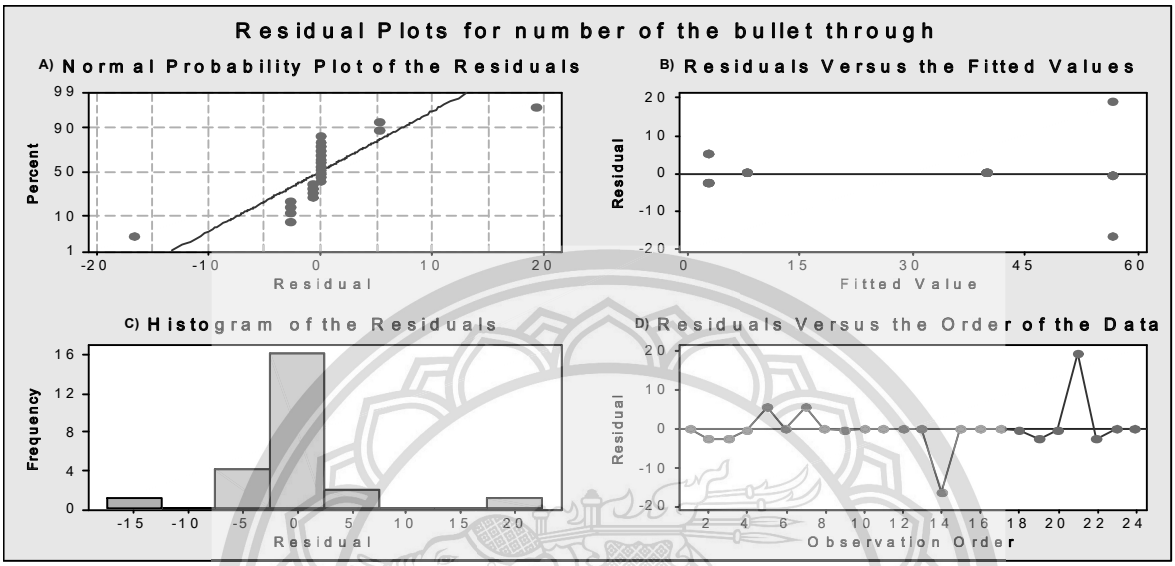
ผลการศึกษา

จากผลการทดลองด้วยกระสุนปืนที่ได้ในตารางที่ 1 เพื่อนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบสองทาง (Two-Way ANOVA: Analysis of Variances) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปกำหนดให้ชนิดของวัสดุเป็นปัจจัยที่ระดับต่างกัน (Treatment) และการเสริมและไม่เสริมชั้นหน้าด้วยแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้เป็นปัจจัยกลุ่ม (Block) ก่อนการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าส่วนตกค้าง (Residual) ของข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะต้องตรวจสอบให้เป็นไปตามสมมติฐานทั้งหมด 3 ข้อ ได้แก่ การกระจายตัวแบบปกติ ตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน และตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าส่วนตกค้าง (Montgomery, 2001) ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 จำนวนชั้นของวัสดุที่เกิดการทะลุจากกระสุนปืน

การเสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้	ชนิดของวัสดุ					
	คาร์บอนเคฟล่าร์ (ชั้น)			เส้นใยคาร์บอน (ชั้น)		
ไม่เสริม	40	40	40	56	56	40
	40	40	40	64	40	76
ค่าเฉลี่ยการทะลุ		40			55.33	
เสริม	0	0	8	8	8	8
	8	0	0	8	8	8
ค่าเฉลี่ยการทะลุ		2.66			8	

1. การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปรกติ (Normal Distributed) ของส่วนตกค้าง ในรูปที่ 1A พบว่าค่าของส่วนตกค้างมีการกระจายไปตามแนวเส้นตรง แต่จะมีจุดจะมีข้อมูลซ้ำกันอยู่ในชั้นที่ 8 40 และ 56 ดังข้อมูลในตารางที่ 1 เนื่องจากแผ่นวัสดุที่ใช้ในการทดสอบจะถูกรวมชั้นไว้เป็นชุด ๆ ชุดละ 8 แผ่น ทำให้ข้อมูลเกิดซ้ำกันมาก แต่ข้อมูลที่ได้มีแนวโน้มอยู่ในแนวเส้นตรงจึงประมาณได้ว่าค่าของส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าส่วนตกค้างของจำนวนชั้นในการต้านทานการทะลุทะลวงของคมกระสุน

2. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองการถดถอย (Fitted Value) ในรูปที่ 1B จะพบว่ามีการกระจายตัวของค่าเศษเหลือในแต่ละย่านของข้อมูล และมีการกระจายแบบสุ่มรอบค่าศูนย์

3. จากการตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าส่วนตกค้างในรูปที่ 1D พบว่า การกระจายตัวของส่วนตกค้างมีแนวโน้มความเป็นอิสระต่อกัน (Independent) ต่อมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่ส่งผลต่อการป้องกันการทะลุทะลวงของคมกระสุน ระดับ 2 โดยการเปรียบเทียบค่า P-Value กับค่านัยสำคัญของการทดลองเท่ากับ 0.05 โดยค่า P-Value ของแต่ละปัจจัยจะต้องมีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญจึงจะถือว่าปัจจัยที่กำหนดขึ้นมีผลต่อการต้านทานการทะลุของกระสุนอย่างมีนัยสำคัญ

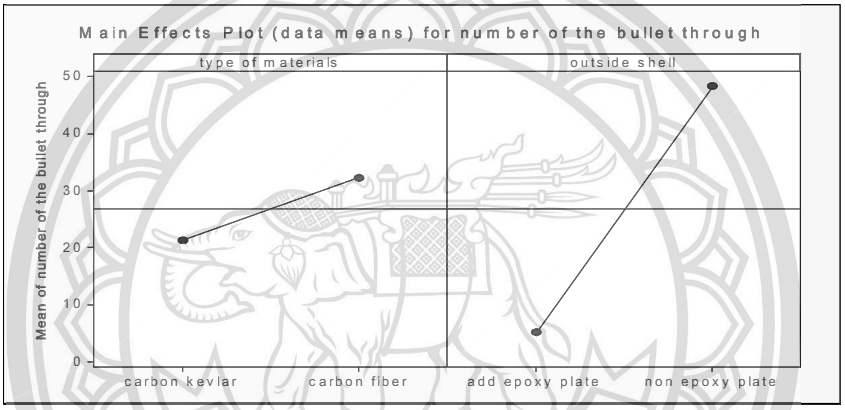
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ปัจจัย	P-Value	ค่าสัมประสิทธิ์
ชนิดของวัสดุ	0.000	5.500
การเสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้	0.000	21.500
ชนิดของวัสดุ*การเสริมชั้น อีพ๊อกซี่พัตตี้	0.033	2.833

S = 6.07728 R-Sq = 94.21% R-Sq(adj) = 93.34%

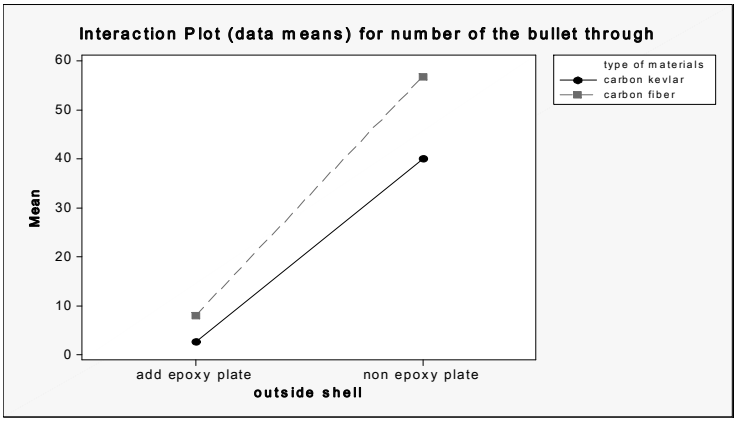
ผลจากการวิเคราะห์ในตารางที่ 2 จากข้อมูล พบว่าปัจจัยด้านชนิดของวัสดุ มีค่า P-Value=0 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 ทำให้สรุปผลได้ว่า ชนิดของวัสดุมีผลต่อการต้านทานการทะลุของกระสุนอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนด้านการเสริมแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้เพื่อต้านทานการทะลุของกระสุน พบว่าค่า P-Value=0 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 เช่นกัน ทำให้สรุปผลได้ว่าการเสริมแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้มีผลทำให้วัสดุสามารถต้านทานการทะลุของกระสุนเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ

และเมื่อพิจารณาผลร่วมด้านชนิดของวัสดุกับการเสริมแผ่นอีพ็อกซี่พัตตี้ ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ค่า P-Value=0.033 ซึ่งยังคงน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปผลได้ว่าข้อมูลทั้งสองมีอันตรกิริยาต่อกัน ดังนั้น ชนิดของวัสดุการเสริมแผ่นอิพ็อกซีพัตตี้และผลร่วมระหว่างชนิดของวัสดุกับการเสริมแผ่นอิพ็อกซีพัตตี้นั้นสามารถต้านทานการทะลุของกระสุนได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square)=94.21% กับค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจที่ปรับแก้ (R-Square adjusted) =93.34% ซึ่งจะมีค่าสูงกว่า 90% แสดงว่าสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวมีความแม่นยำและสามารถอธิบายค่าการต้านทานการทะลุของกระสุนในการทดลองนี้ได้ดี เมื่อพิจารณากราฟอิทธิพลหลัก (Main Effects Plot) จากรูปที่ 2 ซึ่งแสดงผลการต้านทานการทะลุผ่านของกระสุนระหว่างวัสดุคาร์บอนเคฟล่าร์เทียบกับเส้นใยคาร์บอน และการเสริมชั้นอีพ็อกซี่พัตตี้เทียบกับการไม่เสริม จะเห็นได้ว่าปัจจัยด้านชนิดของวัสดุทั้งสองและปัจจัยด้านการเสริมชั้นอีพ็อกซี่พัตตี้ส่งผลกระทบต่อการต้านการทะลุผ่านของกระสุนคล้ายกัน นอกจากนั้นกราฟยังแสดงให้เห็นว่าแผ่นคาร์บอนเคฟล่าร์สามารถต้านการทะลุผ่านของกระสุนได้ดีกว่าและการเสริมชั้นอีพ็อกซี่พัตตี้ก็สามารถต้านการทะลุผ่านของกระสุนได้ดีกว่าเช่นกัน



รูปที่ 2 กราฟอิทธิพลหลัก

จากกราฟอันตรกิริยา (Interaction Plot) ในรูปที่ 3 ซึ่งเป็นผลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย เพื่อหาผลกระทบจากการเปลี่ยนระดับของปัจจัยหนึ่งต่ออีกปัจจัยหนึ่ง ผลจากกราฟแสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุคาร์บอนเคฟล่าร์บวกกับเสริมชั้นอีพ็อกซี่พัตตี้ในชองทดสอบที่ 3 จะสามารถต้านการทะลุผ่านของกระสุนได้ดีที่สุด จึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยด้านวัสดุและการเสริมชั้นหน้าด้วยแผ่นอีพ็อกซี่พัตตี้จะส่งผลกระทบใกล้เคียงกัน



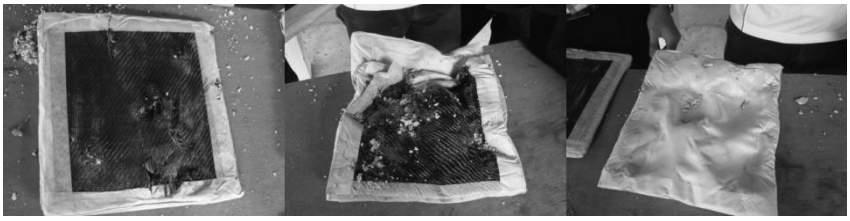
รูปที่ 3 กราฟอันตรกิริยา

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางด้านสถิติแล้วจึงได้ทำการวิเคราะห์ผลทางกายภาพโดยพิจารณาจากผลการทดสอบค่าเฉลี่ยจำนวนชั้นที่เกิดการทะลุจากกระสุนดังตารางที่ 1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการทะลุ คือ 40, 55.33, 2.66 และ 8 ชั้น ตามลำดับ จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าวัสดุที่ทำการเสริมชั้นอีพ็อกซี่พัตตี้จะมีผลการต้านทานกระสุนปืนได้ดีกว่าโดยมีรายละเอียด ดังนี้ ในซองทดสอบที่ 1 ดังรูปที่ 4 กระสุนจะทะลุแผ่นหน้าที่ทำด้วยคาร์บอนเคฟล่าร์ทั้งหมดและเข้าไปค้างอยู่ในแผ่นเคฟล่าร์ซึ่งเป็นแผ่นหลัง จะมีค่าเฉลี่ยการทะลุที่ 40 ชั้น แต่ผลจากแรงกระแทกของกระสุนปืนจะทำให้เกิดการห่อตัวของแผ่นทดสอบที่สูงมาก ส่วนซองทดสอบที่ 2 ดังรูปที่ 5 พบว่าลูกกระสุนมีการทะลุแผ่นทดสอบทั้งหมด 1 นัด ส่วนที่เหลือจะทะลุแผ่นหน้าที่ทำด้วยเส้นใยคาร์บอนผ่านไปเข้าไปค้างอยู่ในแผ่นหลังที่ทำด้วยเคฟล่าร์ ประมาณ 16–24 ชั้น มีค่าเฉลี่ยการทะลุที่ 55.33 ชั้น ส่วนในซองทดสอบที่ 3 ดังรูปที่ 6 พบว่าลูกกระสุนส่วนใหญ่จะทะลุแค่แผ่นหน้าอีพ็อกซี่พัตตี้เท่านั้นไม่ทะลุถึงแผ่นหลังที่ทำด้วยคาร์บอนเคฟล่าร์ มีค่าเฉลี่ยการทะลุที่ 2.66 ชั้น เท่านั้น อีกทั้งไม่เกิดการห่อตัวจากแรงกระแทก ด้านซองทดสอบที่ 4 ดังรูปที่ 7 ผลการทดลองพบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกับการทดลองในซองทดสอบที่ 3 โดยมีค่าเฉลี่ยการทะลุที่ 8 ชั้น ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าการเสริมชั้นหน้าด้วยแผ่นอีพ็อกซี่พัตตี้จะมีการลดแรงปะทะได้ดี

รูปที่ 4 ผลการทดสอบทางกายภาพในซองทดสอบที่ 1

รูปที่ 5 ผลการทดสอบทางกายภาพในซองทดสอบที่ 2

รูปที่ 6 ผลการทดสอบทางกายภาพในซองทดสอบที่ 3



รูปที่ 7 ผลการทดสอบทางกายภาพในซองทดสอบที่ 4

วิจารณ์และสรุปผลการศึกษา

จากผลการทดลองด้านการต้านทานการทะลุผ่านของกระสุน พบว่า สมมุตฐานเบื้องต้นในการประยุกต์ใช้แผ่นคาร์บอนเคฟล่าร์และเส้นใยคาร์บอนในงานประดับยนต์เพื่อใช้ทำแผ่นเกราะกันกระสุนสามารถหยุดการทะลุของกระสุน ระดับ 2 ได้จริงตามสมมุตฐานและทั้งสองปัจจัย คือ ปัจจัยด้านชนิดของวัสดุ และปัจจัยด้านการเสริมแผ่นอิพ็อกซีพัตตี้สามารถต้านทานการทะลุผ่านของกระสุนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดจนผลร่วมทั้งสองปัจจัยนั้นก็สามารถต้านทานการทะลุผ่านของกระสุนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน กล่าวคือ มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 และในด้านกายภาพการเสริมชั้นหน้าด้วยแผ่นอีพ็อกซี่พัตตี้ในซองทดสอบที่ 3 และ 4 จะมีการต้านทานกระสุนปืนของวัสดุได้ดีกว่าไม่ทำการเสริมได้ชัดเจน เนื่องจากความแข็งของชั้นแผ่นอีพ็อกซี่พัตตี้จะทำหน้าที่รับแรงปะทะ ด้านชนิดวัสดุและรูปแบบการวางชั้นวัสดุที่มีประสิทธิภาพต้านทานการทะลุทะลวงได้ดีที่สุด คือ วัสดุในซองทดสอบที่ 3 และการใช้วัสดุอีพ็อกซี่พัตตี้ไว้ด้านหน้าแผ่นคาร์บอนเคฟล่าร์จำนวน 40 ชั้น จะสามารถป้องกันการทะลุทะลวงของคมกระสุนระดับ 2 ได้เป็นอย่างดีสามารถนำไปเป็นพื้นฐานในการออกแบบแผ่นเกราะในเสื้อเกราะกันกระสุนหรือแผ่นกำบังกันกระสุนเพื่อใช้ในการทำงานจริงได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์การทดสอบจาก ม.พัน 18 กองพลทหารม้าที่ 1 ค่ายพ่อขุนผาเมือง จ.เพชรบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

ทรงพล เอี่ยมบุญฤทธิ์. (2548). *อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 1806*. กรุงเทพฯ: กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.

ปารเมศ ชุติมา. (2545). *การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมศาสตร์*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรชัย คล้ายยา. (2551). *อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 4263*. กรุงเทพฯ: กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.

พลาม พรมจำปา. (2555). *อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 7274*. กรุงเทพฯ: กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.

สุพินท์ สมิตเกษตริน. (2550). เสื้อเกราะกันกระสุน ตอนที่ 1. *นิตยสารยุทธโกษ, 4*, 39-44.

สุรวรรณ ลิ้มสัมพันธ์. (2546). เสื้อเกราะกันกระสุน. *นิตยสารนาวิกศาสตร์, 12*, 8-9.

Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06. (2013). Retrieved September 7, 2013, from http://nist.gov/oles/upload/ballistic.pdf

Bilisik, K., & Korkmaz, M. (2010). Multilayered and Multidirectionally-stitched aramid Woven Fabric Structures: Experimental Characterization of Ballistic Performance by Considering the Yarn Pull-out Test. *Textile Research Journal, 80*, 1697-1720.

Grujicic M., Glomski P. S., He T., Arakere G., Bell W. C., & Cheeseman B. A. (2009). Material Modeling and Ballistic-Resistance Analysis of Armor-Grade Composites Reinforced with High-Performance Fibers. *Journal of Materials Engineering and Performance, 18*, 1169-1182.

Lin Chia-Chang., Huang Chao-Chiung., Chen You-Liang., Lou Ching-Wen., Lin Chin-Mei., Hsu Chan-Hung., et al. (2008). Ballistic-resistant stainless steel mesh compound nonwoven fabric. *Fibers and Polymers, 9*, 761-767.

Lou Ching-Wen., Lin Ching-Wen., Hsu Chan-Hung., Chen Jin-Mao., Lin Jia-Horng., & Meng, Hsien-Hui. (2008). Process and bullet-resistant buffer effect of an elastic cushioning structure made of polyamide non-woven fabric and chloroprene rubber. *Textile Research Journal, 78*, 258-263.

Montgomery, D.C. (2001). Design and Analysis of Experiments (5th ed.). New York: John Wiley& Sons.

Sarawut Rimdusit, Somsiri Pathomsap1, Pornnapa Kasemsiri1, Chanchira Jubsilp, & Sunan Tiptipakorn. (2011). KevlarTM Fiber-Reinforced Polybenzoxazine Alloys for Ballistic Impact Applications. *Engineering Journal, 15*, 23-39.

Somsiri Pathomsap, Tharathon Mongkhonsi, Kuljira Sujirote, & Sarawut Rimdusit. (2006, March). *Development of Light Weight Ballistic Armor from Polybenzoxazine Alloys and Kevlar™ Fiber*. 4th Thailand Materials Science Technology Conference [MS@T], Thailand.

Soykasap, O., & Colakoglu, M. (2010). Ballistic Performance of a Kevlar-29 Woven Fiber Composite Under Varied Temperatures. *Mechanics of Composite Materials, 46*, 35-42.

ประวัตินักวิจัย

อาจารย์ธรรม์ณชาติ วันแต่ง อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ประวัติการศึกษา

- ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.)
  สาขาวิชาเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.)
  สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
- ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ
  ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมในประเทศไทย (กว.)
  ภาคีวิศวกร เลขที่ ภอ.23477 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ สภาวิศวกร
  ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพครู (กค.) เลขที่ 53209000487381 คุรุสภา

งานในหน้าที่

- กรรมการสภาคณาจารย์และข้าราชการ (2554-ปัจจุบัน)
- กรรมการบริหารคณะฯ (2555-ปัจจุบัน)
- ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต (2555-ปัจจุบัน)
- คณะกรรมการพิจารณาทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภททั่วไป มหาวิทยาลัยฯ (2556-ปัจจุบัน)
- คณะกรรมการพิจารณาทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทโครงงานนักศึกษา (2555-ปัจจุบัน)
- คณะกรรมการฝ่ายงานวิจัย/พีเลี้ยงนักวิจัย คณะฯ (2555-ปัจจุบัน)

รายวิชาที่สอน

- กลศาสตร์ของวัสดุ
- ความแข็งแรงของวัสดุ
- วัสดุวิศวกรรม
- งานเครื่องมือกล
- เทคโนโลยีแม่พิมพ์ปั๊มโลหะ

งานวิจัย

- โครงการวิจัย เรื่อง การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ปั๊มโลหะเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าของที่ระลึก สินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ กลุ่มสตรีก้าวหน้า ต.สักหลง อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์ (2557)
- โครงการวิจัย เรื่อง การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้วัสดุงานประดับยนต์สำหรับทำเสื้อเกราะกันกระสุนป้องกันภัยคุกคามระดับ 3A–3. (2556)
- ผู้ร่วมโครงการวิจัย เรื่อง การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการบ่มเทียมโลหะผสมอลูมิเนียม เกรด 6061 โดยการทดลองแบบแฟกทอเรียล (2556)
- โครงการวิจัย เรื่อง เครื่องบรรจุดินใส่ถุงเพาะชำกล้ายางพารา (2554)
- โครงการวิจัย เรื่อง การศึกษาการใช้แผ่นคาร์บอน - เคฟล่าในงานประดับยนต์เพื่อใช้ทำเสื้อเกราะกันกระสุน ระดับ 2 (2553)

- โครงการวิจัย เรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการการทำงานเป็นกลุ่มในการสร้างแม่พิมพ์โลหะให้สำเร็จ (2553)
- โครงการวิจัย เรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพความแข็งแรงของแผ่นเหล็กในเสื้อเกราะกันกระสุนโดยทำการเคลือบผิวฟิล์มแข็ง (2552)
- โครงการวิจัย เรื่อง การออกแบบและพัฒนาเครื่องคั่วข้าวใหม่ม้งแบบระบายความชื้นด้วยลมร้อนผสมกับกลิ่นกาแฟ (2552)

งานตีพิมพ์และการเผยแพร่ผลงานวิจัย

- การออกแบบและสร้างเครื่องทำขนมผิง. ใน**:** เอกสารการประชุมวิชาการพะเยาวิจัย ครั้งที่ 3 วันที่ 23–24 มกราคม 2557; กองบริหารงานวิจัยและประกันคุณภาพการศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา. พะเยา: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยพะเยา; 2557.
- การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการใช้วัสดุในงานประดับยนต์สำหรับทำแผ่นเกราะกันกระสุนระดับ 2 โดยออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร 2556; 21(1): 1-8. (2556)
- การออกแบบและสร้างเครื่องกรอกดินใส่ถุงเพาะชำกล้ายางพารา. วารสารราชภัฏเพชรบูรณ์สาร 2556; 15(2): 30-37. (2556)
- มรภ.เพชรบูรณ์ทำเสื้อเกราะ. ไทยรัฐ 3 กันยายน 2556; หน้า 15. (2556)
- เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล. ในงาน: มหกรรมการนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ 2556; สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.)**.** ศูนย์ประชุมบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เซ็นทรัลเวิลด์ กรุงเทพฯ: 2556. (2556)
- เครื่องกรอกดินใส่ถุงเพาะชำกล้ายางพารา. ในงาน: การนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ 2555; สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.). ศูนย์ประชุมบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เซ็นทรัลเวิลด์ กรุงเทพฯ: 2555. (2555)
- การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุฟิล์มแข็งเคลือบผิวในการเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นเหล็กในเสื้อเกราะกันกระสุน. ราชภัฏเพชรบูรณ์สาร ปีที่ 13 ฉบับที่ 1. หน้า 40 – 45. (2554)
- การออกแบบและพัฒนาเครื่องคั่วข้าวใหม่ม้งแบบระบายความชื้นด้วยลมร้อนผสมกับกลิ่นกาแฟ, การรวบรวมผลงานโครงงานที่ได้รับทุนโครงการ IRPUS สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ประจำปี 2552
- อิทธิพลของฟิล์มแข็งเคลือบผิวแม่พิมพ์ของกรรมวิธีดึงลวดเหล็กกล้าไร้สนิม, ใน**:** เอกสารการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17, เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, 2003

เกียรติคุณหรือรางวัลต่างๆ

- <u>รางวัลเชิดชูเกียรติ นักวิจัยดีเด่น</u> มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประจำปี พ.ศ. 2556
- <u>นักวิจัยดีเด่น</u> ด้านการตีพิมพ์และเผยแพร่ผลงานวิจัย คณะเทคโนโลยีการเกษตรฯ ประจำปี พ.ศ. 2556
- <u>เกียรติบัตร</u> นักวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ระดับชาติ/นานาชาติ ในงานราชภัฏวิชาการ 2556 มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์