รายงานการวิจัย

การหาปัจจัยที่เหมาะสมในการประดิษฐ์เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล ป้องกันภัยคุกคามระดับ 2 สำหรับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวน

Identifying the Optimal Factors inInvention the Inthanin Bulletproof Vests ThreatsLevel 2for Non-Commissioned Officer

ธรรม์ณชาติ วันแต่ง และบุษบากร คงเรือง
สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2560

รหัสโครงการสัญญาPCRU_2560_N021

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การหาปัจจัยที่เหมาะสมในการประดิษฐ์เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลป้องกันภัยคุกคามระดับ 2 สำหรับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวน

Identifying the Optimal Factors inInvention the Inthanin Bulletproof Vests ThreatsLevel 2for Non-Commissioned Officer

ธรรม์ณชาติ วันแต่ง — **สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม**

บุษบากร คงเรือง — **สาขาวิชาเทคโนโลยีผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม**

ทุนอุดหนุนโดย งบประมาณแผ่นดินที่พิจารณาจากโดยผ่านความเห็นชอบจาก
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ประจำปีงบประมาณ 2560

ชื่องานวิจัย การออกแบบและประดิษฐ์เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลป้องกันภัยคุกคามระดับ 2 สำหรับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวน
ผู้วิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธรรม์ณชาติ วันแต่ง
ผู้ร่วมวิจัย บุษบากร คงเรือง
สาขาวิชา วิศวกรรมการผลิตและการจัดการ
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ 2561

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้คือการออกแบบและประดิษฐ์เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลป้องกันภัยคุกคามระดับ 2 สำหรับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวน โดยออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดี่ยวที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง ทำการศึกษาปัจจัยด้านรูปแบบการวางวัสดุเสริมชั้นลดแรงกระแทกตามอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250 กับจำนวนชั้นที่เหมาะสมที่มีผลต่อการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์น้อยที่สุดทำการทดสอบตามมาตรฐานยุทโธปกรณ์กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหมจากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยด้านรูปแบบวัสดุเสริมชั้นลดแรงกระแทกจำนวนชั้นมีผลต่อการป้องกันการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ในเสื้อเกราะกันกระสุนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปัจจัยที่เหมาะสมชี้ให้เห็นว่ารูปแบบการวางวัสดุเสริมชั้นลดแรงกระแทกไว้ด้านหลังกับจำนวนชั้นวัสดุที่ 60 ชั้นจะสามารถป้องกันการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ได้ดีที่สุดและผลของปัจจัยที่เหมาะสมนี้สามารถป้องกันภัยคุกคราม ระดับ 2A ตามมาตรฐานยุทโธปกรณ์หรือเทียบเท่าตามมาตรฐาน U.S. NIJ. 0101.04 จากโรงงานวัตถุระเบิดทหาร กรมการอุตสาหกรรมทหาร ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหารได้ และมอบให้กับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวนใช้ปฏิบัติงานต่อไป

คำสำคัญ : เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล; ปัจจัยที่เหมาะสม; เจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวน

Title Identifying the Optimal Factors inInvention the Inthanin Bulletproof Vests Threats Level 2 for Non-Commissioned Officer.

Author Asst. Prof. Tannachart Wantang

Co-Researcher Budsabagorn Kongreong

Branch Production Engineering and Management

Phetchabun Rajabhat University 2018

Abstract

This research was aimed at to study of Identifying the optimal factors ininvention the Inthanin bulletproof vests threats level 2for non-commissioned officer. The research uses a single factorial designed at 95% confident level and analysis of variances. study of the forming material layer has the affecting backface signature of bullet. (Thai Patent Trademark on9250) This research is testing on standard of defence science and technology department. The result indicates found that, the factor is material layer has affecting penetrations of bullet them are significant statistically and the factors indicated the used of materials in 4 bulletproof vest test. It will be able to resist the Backface Signature of bullet as will. And the effect of this factor can be to threats level 2 A based on the standard of defence science and technology department and standard of U.S. NIJ. 0101.04 from Military explosives factory, Department of military industry national defense and military energy center. And give it to the government Non-commissioned officials to continue to use.

Keywords : Inthanin Bulletproof Vests, Optimal factor, Non-Commissioned Officer

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีก็ด้วยความร่วมมือจากคณะผู้ร่วมวิจัยอาจารย์ ดร.สุวัฒน์ อินทรประไพ อาจารย์สุกาญดา ทองคำ จากสาขาวิชารัฐประศาสนศาสตร์คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ อาจารย์ว่าที่ร้อยตรี ศักดิ์ศิริชัย ศรีสวัสดิ์ อาจารย์หทัยนุช จันทรชัยภูมิ อาจารย์สุวิมล เทียกทุมจากสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่ทุกท่านได้ให้ความร่วมมือช่วยเหลือซึ่งกันและกัน บากบั่นติดต่อประสานงานกับเจ้าหน้าที่รัฐในจังหวัดเพชรบูรณ์ไม่ต่ำกว่า 150 ท่าน เพื่อให้ได้ข้อมูลครบถ้วนตามวัตถุประสงค์จนแผนงานวิจัยนี้เสร็จลงได้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้อำนวยการโรงงานวัตถุระเบิดทหาร กรมการอุตสาหกรรมทหารศูนย์การอุดสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหารกระทรวงกลาโหมจ.นครสวรรค์พลตรี ทินกร รังสิวัฒน์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการอนุญาตเข้าไปทดสอบแผ่นเกราะกันกระสุนได้ขอขอบพระคุณแผนกทดสอบทางขีปนวิธี โดยการนำของนาวาอากาศโทพชรพล อาจคำพันธ์ร้อยตรียุทธศาสตร์ คำสุพรหม จ่าสิบเอกคึกฤทธิ์ ผดุงพันธ์ จ่าสิบเอกชินวรช์ ชินะกุล และคณะผู้ทดสอบที่ได้ให้ความกรุณาทำการทดสอบตามมาตรฐานกระทรวงกลาโหมและมาตรฐาน NIJอีกทั้งให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัย ตลอดจนความร่วมมือช่วยเหลืออย่างดียิ่งในการเดินทางมาเป็นวิทยากร ขอขอบคุณนักศึกษาปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการที่ได้สละเวลาในการช่วยสร้างและทดสอบแผ่นเกราะกันกระสุนเบื้องต้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์หลายท่านที่ร่วมให้ความช่วยเหลือแนะนำข้อมูลขอบคุณภรรยาและลูกที่เข้าใจในเรื่องเวลาที่ทุ่มเทไปกับงานวิจัย และสุดท้ายขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธรรม์ณชาติ วันแต่ง

27 กุมภาพันธ์ 2561

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญรูป ..... ช
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 วิธีการดำเนินการวิจัย 2
1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย 3
1.5 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของการวิจัย 4
1.6 ประโยชน์ของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ 5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเสื้อเกราะกันกระสุน 6
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุในงานประดับยนต์ 15
2.3 มาตรฐานและวิธีการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน 21
2.4 การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่า 26
2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 27
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 33
3.1 การเลือกแผนการออกแบบการทดลอง 33
3.2 เครื่องมือวิจัย 33
3.3 การจัดทำเสื้อเกราะกันกระสุนตามปัจจัยการทดลอง 34
3.4 หลักเกณฑ์การทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน 35
3.5 การจัดทำเสื้อเกราะกันกระสุนเพื่อให้เจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวน 35
บทที่ 4 ผลการวิจัย 36
4.1 ผลการยิงทดสอบ 36
4.2 การวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ 38

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสม 40
4.4 ผลการทดสอบตามมาตรฐานกลาโหม 42
4.5 การจัดทำเสื้อเกราะกันกระสุนเพื่อให้เจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวน 46

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 48
5.1 สรุปผลการวิจัย 48
5.2 อภิปรายผล 48
5.2 ข้อเสนอแนะ 49
บรรณานุกรม 50
ภาคผนวก 55
ภาคผนวก ก (รูปภาพการทดสอบ) 56
ภาคผนวก ข (การสร้างแผ่นเกราะกันกระสุนจากวัสดุคาร์บอนไฟเบอร์) 62
ภาคผนวก ค (เอกสารการเผยแพร่งานวิจัย) 65
ภาคผนวก ง (ใบรับรองการป้องกันภัยคุกคามระดับ 2A ตามมาตรฐานยุทโธปกรณ์) .. 70
ประวัติผู้วิจัย 75

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงคุณสมบัติจุดเด่น-จุดด้อยของเคฟลาร์ 10
2.2 แสดงเส้นใยเคฟลาร์ที่ถูกใช้ในงานอุตสาหกรรม 11
2.3 เปรียบเทียบระหว่าง เคฟล่าร์กับคาร์บอน-ไฟเบอร์ 18
2.4 มาตรฐาน NIJ Standard-0101.06 ของการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน 22
2.5 หลักเกณฑ์ที่ใช้ทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน 24
3-1 ชนิดของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง 34
4-1 ค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ของปัจจัยต่างๆในการทดลองกระสุนขนาด 9 ม.ม. FMJ RN .. 36
4-2 ค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ของปัจจัยต่างๆในการทดลองกระสุนขนาด .40S&W FMJ 37
4-3 ค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ของปัจจัยต่างๆในการทดลองกระสุนขนาด 9 ม.ม. FMJ RN .. 43
4-4 ค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ของปัจจัยต่างๆในการทดลองกระสุนขนาด .45 ACP FMJ 44

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1-1	ทฤษฎีของโครงการวิจัย	4
1-2	สมมุติฐานของโครงการวิจัย	4
1-3	กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	5
2-1	การจำแนกกลุ่มวัสดุตามพันธะทางเคมี	7
2-2	การเกิดอาการฟกช้ำจากการกระแทกร่างกาย	9
2-3	โมเลกุลของคาร์บอน-ไฟเบอร์	15
2-4	คาร์บอน-ไฟเบอร์	17
2-5	การใช้งานคาร์บอน-เคฟล่าร์	17
2-6	ผ้าเคฟล่าร์	18
2-7	ผ้าคาร์บอน-เคฟล่าร์	19
2-8	การใช้งานคาร์บอน-เคฟล่าร์	19
2-9	เทคนิคอลเทคไท	20
2-10	ไฟเบอร์ เรนฟอส พลาสติก	20
2-11	ลำดับการยิงทดสอบจำนวน 6 นัด	24
2-12	การตรวจวัดความแข็งของวัสดุหนุนลองเสื้อเกราะกันกระสุน จำนวน 5 ครั้ง	25
3-1	เสื้อเกราะกันกระสุนในการทดลอง	35

4-1 ติดตั้งเสื้อเกราะกันกระสุนกับชุดทดสอบ....37
4-2 ทดสอบยิงกระสุน....37
4-3 ตรวจสอบเสื้อเกราะกันกระสุน....38
4-4 ตรวจวัดค่าชั้นการทะลุ....38
4-5 ลักษณะทางด้านกายภาพการวางแผ่นไว้ด้านหน้า....39
4-6 ลักษณะทางด้านกายภาพการวางแผ่นไว้ด้านหลัง....49
4-7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการทดลองกระสุนขนาด 9 ม.ม. FMJ RN....41
4-8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการทดลองกระสุนขนาด .40S&W FMJ....41
4-9 ผลการกระจายตัวจากการทดลองกระสุนขนาด 9 ม.ม. FMJ RN....41
4-10 ผลการกระจายตัวจากการทดลองกระสุนขนาด .40S&W FMJ....42
4-11 นำเสื้อเกราะกันกระสุนไปพรมด้วยน้ำ....44
4-12 ทดสอบค่าการยุบตัวของดินสังเคราะห์....44
4-13 ติดตั้งเสื้อเกราะกันกระสุนกับชุดทดสอบ....44
4-14 ยิงกระสุนจริงตรวจวัดด้วยเครื่องวัดความเร็วกระสุนตามมาตรฐาน....45
4-15 ตรวจสอบเสื้อเกราะกันกระสุน....45
4-16 ตรวจวัดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์และบันทึกค่า....46

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4-17 การจัดทำเสื้อเกราะกันกระสุน....47
4-18 การประกอบเสื้อเกราะกันกระสุน....47
4-19 เสื้อเกราะกันกระสุนเพื่อมอบใช้งานกับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวนในจังหวัดเพชรบูรณ์....47
ก-1 สนามยิงปืนกองพันทหารม้าที่ 18 ค่ายพ่อขุนผาเมืองสำหรับใช้ในการทดสอบ....57
ก-2 การจัดเตรียมเสื้อเกราะกันกระสุนและตำแหน่งการวางเพื่อยิงทดสอบ....57
ก-3 อาวุธปืนที่ใช้ในการทดลอง....57
ก-4 การยิงทดสอบที่ระยะ 5 เมตร....58
ก-5 การตรวจสอบตำแหน่งที่ทำการยิงทดสอบ....58
ก-6 การเก็บหัวกระสุนตามลำดับหลังยิงทดสอบ....58
ก-7 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเสื้อเกราะกันกระสุนหลังยิงทดสอบ....59
ก.8 โรงงานวัตถุระเบิดทางทหารสรรพาวุธทหารบก กรมอุตสาหกรรมทหาร....59
ก-9 การเตรียมให้เปียกชุ่ม....59

ก-10 การทดสอบการยุบตัวของวัสดุ 60
ก.11 การติดตั้งเสื้อเกราะกับวัสดุรองรองรับ 60
ก-12 การเตรียมชุดวัดความเร็วกระสุน 60
ก.13 การยิงทดสอบตามมาตรฐาน.....61
ก-14 การตรวจวัดค่าการยุบตัว 61
ก-15 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ 61
ข-1 การเตรียมวัสดุแผ่นเกราะกันกระสุน 63
ข-2 การตัดแผ่นเกราะกันกระสุนให้ได้ขนาด 63
ข-3 การทากาวอีพ๊อกซี่พัตตี้ลงบนแผ่นเกราะกันกระสุนให้ทั่วแผ่น.....63
ข-4 แผ่นเกราะกันกระสุนสำเร็จ.....64
ข-5 นำแผ่นเกราะกันกระสุนประกอบไว้แผ่นหน้าสุดในเสื้อเกราะกันกระสุน.....64
ค.1 เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล รุ่น 2 ในงานวันนักประดิษฐ์ประจำปี 2561 66
ค.2 การนำเสนอผลงานวิจัยเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล รุ่น 2กับผู้สนใจ.....66
ค.3 การเผยแพร่ผลงานวิจัย เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล รุ่น 2 บน Google+ 67
ค.4 การเผยแพร่ผลงานวิจัย เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล รุ่น 2 บน Youtube.....67
ค.5 การเผยแพร่ผลงานวิจัย เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล รุ่น 2 บน Facebook webpage.....67
ค.6 หนังสือพิมพ์เดลินิวส์ หัวข้อ อาจารย์ ม.ราชภัฏโชว์ผลงานเจ๋งประดิษฐ์"เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล"ต้นทุนต่ำ วันจันทร์ ที่ 7 พฤษภาคม 2561 : หน้า 15.....68
ค.7 หนังสือพิมพ์แนวหน้า หัวข้อ อาจารย์ ราชภัฏเพชรบูรณ์'มอบเสื้อเกราะกันกระสุนให้เจ้าหน้าที่ตร.วันพฤหัสบดี ที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2561 68

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

ค.8 หนังสือพิมพ์แนวหน้า หัวข้อ ราชภัฏเพชรบูรณ์เจ๋ง! ทำเสื้อเกราะได้ ต้นทุนแค่ 8,000บาท มอบให้ตร.ลองใช้งานวันพฤหัสบดี ที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2561.....68

ค.9 ข่าวช่อง 7 หัวข้อ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์มอบเสื้อกันกระสุนให้ตำรวจ วันที่ 27เมษายน พ.ศ. 256.1.....69

ค.10 สำนักข่าวกรมประชาสัมพันธ์ หัวข้อ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์มอบเสื้อเกราะกันกระสุนผลงานวิจัยของอาจารย์ให้ตำรวจเพชรบูรณ์ วันที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2561.....69

ค.11 สำนักข่าว INN news หัวข้อ สุดเจ๋งมรภ.เพชรบูรณ์ทำเสื้อกันกระสุนฝีมือคนไทย วันพฤหัสบดี ที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2561.....69

ง.1 ใบรายงานผล ที่ กห.๐๒๐๖.๑๒/๑๘๖ แผ่นเกราะกันกระสุนอินทนิล 70

ง.2 ใบรับรองป้องกันภัยคุกคราม ระดับ 2A ตามมาตรฐานยุทโธปกรณ์.....71

ง.3 ใบรับรองค่าการยุบตัวของวัสดุตรวจวัดตามมาตรฐาน.....72

ง.4 หนังสือการเดินทางไปราชการเพื่อทดสอบ 73

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

งานด้านการปราบปรามยาเสพติดในปัจจุบันคนร้ายมักจะมีอาวุธและจะต่อสู้ขัดขืนเจ้าหน้าที่เป็นประจำดังข่าวสารที่ปรากฏ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่เจ้าหน้าที่รัฐต้องใส่เสื้อเกราะกันกระสุน ดังคำกล่าวของ พล.ต.อ. สมยศ พุ่มพันธุ์ม่วง ผู้บัญชาการตำรวจ ได้กล่าวว่าควรจะต้องมีการเตรียมพร้อมทั้งอาวุธปืนประจำกาย อุปกรณ์ป้องกันตัวก่อนปฏิบัติหน้าที่ทุกครั้ง และควรมีการทบทวนการทำงานเพื่อป้องกันการสูญเสียมากขึ้น โดยกำหนดให้เจ้าหน้าที่ตำรวจใส่เสื้อเกราะกันกระสุนในขณะปฏิบัติหน้าที่ทุกคน (เดลินิวส์,2558) และจากข้อมูลการวิจัยของกองวิจัย สำนักงานยุทธศาสตร์ตำรวจ พบว่าหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อความเครียดของตำรวจจนส่งผลให้เกิดการฆ่าตัวตายก็คือการทำงานที่เสี่ยงอันตรายมาก โดยเฉพาะในกลุ่มเจ้าหน้าที่ตำรวจสายตรวจและสายสืบ แต่ต้องดำเนินการจัดซื้อเสื้อเกราะ อาวุธปืน กุญแจมือ และอุปกรณ์ป้องกันตัวต่างๆเอง (ปิยะ ต๊ะวิชัย, 2557) การใส่เสื้อเกราะกันกระสุนขณะปฏิบัติหน้าที่นั้นจะช่วยลดอันตรายจากกระสุนปืนหรือของมีคมอื่นๆที่มาทำร้ายบริเวณลำตัวของผู้ที่สวมใส่ได้เป็นอย่างดี และยังลดการเกิดอาการบลันท์ทรอมา (Blunt trauma) หรืออาการฟกช้ำจากแรงกระแทกของกระสุนด้วย เสื้อเกราะกันกระสุนถูกประกาศให้เป็นยุทธภัณฑ์ตามพระราชบัญญัติควบคุมยุทธภัณฑ์ พ.ศ. 2530 ดังนั้นการมีเสื้อเกราะไว้เป็นของส่วนตัวจึงต้องได้รับอนุญาตครอบครองจากนายทะเบียนตามกฎหมาย ยกเว้นหน่วยงานทหารและตำรวจที่สามารถขออนุญาตมีเสื้อเกราะกันกระสุนไว้ในครอบครองได้ตามนโยบายของทางราชการเท่านั้นเสื้อเกราะกันกระสุนคุณภาพดีที่มีน้ำหนักเบาและมีราคาสูง ประมาณ 30,000 บาทขึ้นไปนั้น ส่วนใหญ่จะมีเฉพาะเจ้าหน้าที่ระดับสัญญาบัตรเท่านั้น ส่วนเจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการ (ชั้นประทวน) จะใช้เสื้อเกราะกันกระสุนจากการแจกของหน่วยงานต้นสังกัดหรือจัดหาซื้อมาใส่เอง เสื้อเกราะกันกระสุนที่มีการแจกนั้นจะมีส่วนประกอบจากโลหะทำให้มีน้ำหนักประมาณ 10 ก.ก. ขึ้นไป ด้วยเหตุจากน้ำหนักมากเกินไปจึงทำให้เจ้าหน้าที่ไม่นิยมใส่กัน ในปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับวัสดุเสื้อเกราะกันกระสุนที่มีประสิทธิภาพที่ดีและมีราคาถูกกันอย่างกว้างขวาง เช่น เสื้อเกราะกันกระสุนจากใยสับปะรด(เอกรัฐ ใจบุญ,2558) การประยุกต์ทำแผ่นเกราะกันกระสุนกันเองจากฟิล์มเอกซเรย์ในเสื้อเกราะพระเจ้าตาก จากใยแก้ว (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 4263, 2551)จากแผ่นเหล็กบวกกับแผ่นซับแรงต้านการหมุนของกระสุนจากเม็ดทรายอัดกับยาง (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 7274, 2555) จากเซรามิกส์ชนิดอลูมินาหุ้มอะลูมิเนียมและเส้นใยเคฟลาร์ความหนาแน่นสูงในเสื้อเกราะของเอ็มเท็คแผ่นเกราะกันกระสุนจากวัสดุในงานประดับยนต์ (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250, 2557) เป็นต้น จาก

ข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าเสื้อเกราะกันกระสุนที่มีน้ำหนักที่เบาและมีราคาถูกจะเป็นส่วนสำคัญในการตัดสินใจใช้เสื้อเกราะกันกระสุนของเจ้าหน้าที่

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาเสื้อเกราะกันกระสุนจากวัสดุในงานประดับยนต์ อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250 หรือที่เรียกชื่อว่าเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลตามชื่อดอกไม้ประจำมหาวิทยาลัย นำมาพัฒนาสู่การใช้งานจริงตามแนวยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติในข้อที่ 5 ที่ว่าด้วยเรื่องการจัดการความรู้ผลงานวิจัย นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์ สู่การใช้ประโยชน์โดยชุมชนท้องถิ่นและสาธารณะ ด้วยยุทธวิธีที่เหมาะสม (สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ, 2555) ต้นแบบเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลนี้สามารถป้องกันภัยคุกคาม ระดับ 2 หรือกระสุนขนาด 9 มม.,11 มม., .45 ACP และ .357 SIG FMJ (FN) ซึ่งเป็นมาตรฐานของเสื้อเกราะอ่อนที่ใช้กันอย่างกว้างขวางทั่วโลกและเป็นมาตรฐานเดียวกันกับเสื้อเกราะของตำรวจสหรัฐที่ใส่ปฏิบัติหน้าที่ สามารถกันกระสุนได้เกือบทุกชนิดยกเว้นกระสุนปืนพกที่มีอำนาจการทะลุทะลวงสูง สามารถป้องกันการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ได้ดี ซึ่งค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์คือค่าการยุบตัวของเสื้อเกราะเข้าไปด้านในจากแรงกระแทกของกระสุนส่งผลให้เกิดอาการบลันท์ทรอมากับผู้สวมใส่ ซึ่งเกณฑ์มาตรฐาน NIJ Standard–0101.06 จะกำหนดการยุบตัวเข้าไปไม่เกินกว่า 44มิลลิเมตร ในการทดลองที่ผ่านมาได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากดาบตำรวจศิริชัย วิฤทธิ์ สถานีตำรวจภูธรเมืองเพชรบูรณ์ และจ่าสิบเอกประภาศ ประติโก กองพันทหารม้าที่ 18 กองพลทหารม้าที่ 1 ค่ายพ่อขุนผาเมือง จ.เพชรบูรณ์ โดยในโครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้วัสดุทำเสื้อเกราะกันกระสุนเพื่อให้สามารถป้องกันภัยคุกคามระดับ 2 และสามารถนำไปใช้งานได้จริง จะดำเนินการตั้งแต่การออกแบบ สร้าง และทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานเพื่อให้ได้เสื้อเกราะกันกระสุนที่มีมีน้ำหนักเบา ราคาถูกและมีประสิทธิภาพสำหรับทหาร ตำรวจ ชั้นประทวน สมาชิกกองอาสารักษาดินแดน (อส.) และเจ้าหน้าฝ่ายความมั่นคงอื่นๆต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในการประดิษฐ์เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลป้องกันภัยคุกคามระดับ 2 สำหรับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวน

1.2.2 ออกแบบและสร้างเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลตามปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อการใช้งานสำหรับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวน

1.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.3.1 ศึกษาปัญหา แนวทางการดำเนินงาน งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและวิเคราะห์ปัญหาที่ได้และกำหนดแนวทางการดำเนินงาน

1.3.2 ใช้การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม โดยใช้เครื่องมือการทดลองแบบปัจจัยเดี่ยวแบบแฟกทอเรียลและการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบอโนวาในการกำหนดระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย โดยออกแบบการทดลองเป็นการทดลองปัจจัยเดี่ยว (Single factor) มีตัวแปรในการทดลองประกอบด้วย 3 ระดับ (Level) การทดลองใน 1 เรพลิเคต (Replicate) ประกอบด้วยการทดลองซ้ำ 6 ครั้งต่อหนึ่งปัจจัยทั้งหมดจะมี 18 ค่า ตัวแปรที่ตรวจวัด คือ ค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ ตัวแปรควบคุมได้แก่ ขนาดอาวุธปืน ผู้ทดสอบ ระยะทดสอบ ชุดวัดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์และเครื่องมือวัดชุดเดียวกัน และรายละเอียดอื่นๆตามมาตรฐานการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน NIJStandard-0101.06

1.3.3 ออกแบบและเขียนแบบส่วนประกอบของเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล จัดหาวัสดุ-อุปกรณ์ และวางแผนการทดสอบ

1.3.4 สร้าง จัดทำเสื้อเกราะกันกระสุนและซองทดสอบเพื่อใส่วัสดุตามปัจจัย และปรับปรุงแก้ไข

1.3.5 ดำเนินการทดลองด้วยกระสุนจริงเบื้องต้น ณ สนามยิงปืน กองพันทหารม้าที่ 18 กองพลทหารม้าที่ 1 ค่ายพ่อขุนผาเมือง วิธีการการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน U.S. NIJ. 0101.06

1.3.6 ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองโดยใช้เทคนิคการทดลองแบบปัจจัยเดี่ยวและการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบอโนวา

1.3.7 ทดสอบสมรรถนะของเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลที่โรงงานวัตถุระเบิดทางทหาร สรรพาวุธทหารบก กรมอุตสาหกรรมทหาร กระทรวงกลาโหม และเก็บข้อมูลการทดสอบ

1.3.8 ประเมินผลทดสอบด้วยหลักสถิติ

1.3.9 สรุป วิเคราะห์ผล และข้อเสนอแนะจากการทดลอง พร้อมจัดทำรูปเล่มวิจัยฉบับสมบูรณ์

1.2 ขอบเขตของการวิจัย

1.2.1 ขอบเขตด้านประชากร

เจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวนในจังหวัดเพชรบูรณ์

1.4.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

1.4.2.1 ศึกษาปัญหา แนวทางการดำเนินงาน งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและวิเคราะห์ปัญหาที่ได้และกำหนดแนวทางแก้ไข

1.4.2.2 ออกแบบสร้าง ทดสอบ ปรับปรุงแก้ไขเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลตามปัจจัยที่เหมาะสม จำนวน 10 ตัว เพื่อนำไปทดสอบใช้งานสำหรับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวนโดยมีต้นทุนต่อตัวราคาต่ำ

1.4.2.3 ทำการทดสอบด้วยกระสุนจริงเบื้องต้น ณ สนามยิงปืน กองพันทหารม้าที่ 18 กองพลทหารม้าที่ 1 ค่ายพ่อขุนผาเมือง โดยเจ้าหน้าที่ที่มีความเชี่ยวชาญด้านอาวุธปืน พิจารณาผลตอบสนองผ่านสัดส่วนค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ (Backface Signature) และชั้นการป้องกันการทะลุของกระสุนทางกายภาพ

1.4.2.4 ทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลโรงงานวัตถุระเบิด กรมอุตสาหกรรมทหาร กระทรวงกลาโหม ตามเกณฑ์มาตรฐานยุทโธปกรณ์ (มาตรฐาน NIJ Standard–0101.04) กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงกลาโหม

1.4.2 ขอบเขตด้านพื้นที่

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการจ.เพชรบูรณ์

สนามยิงปืน กองพันทหารม้าที่ 18 กองพลทหารม้าที่ 1 ค่ายพ่อขุนผาเมืองจ.เพชรบูรณ์

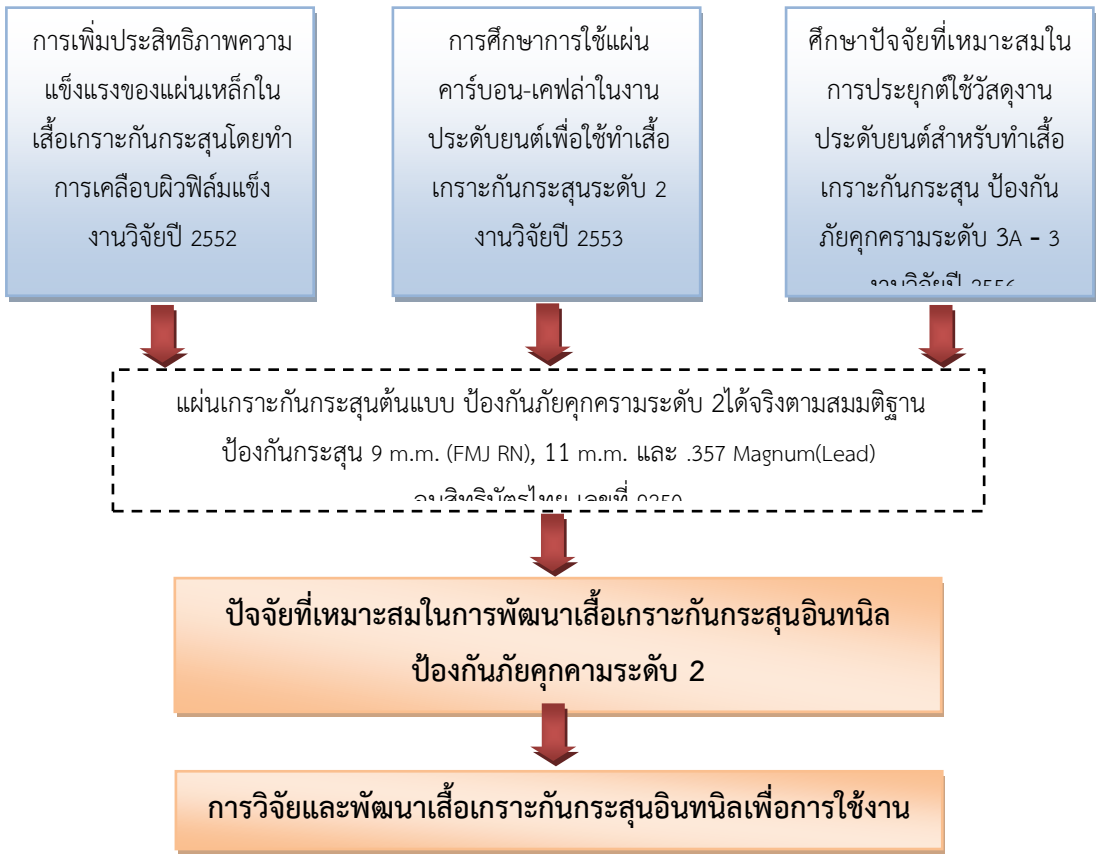
โรงงานวัตถุระเบิด กรมอุตสาหกรรมทหาร กระทรวงกลาโหมจ.นครสวรรค์

1.4.3 ขอบเขตด้านระยะเวลา

การวิจัยครั้งนี้ใช้ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย 8 เดือน ในช่วงปีงบประมาณ 2560-2561

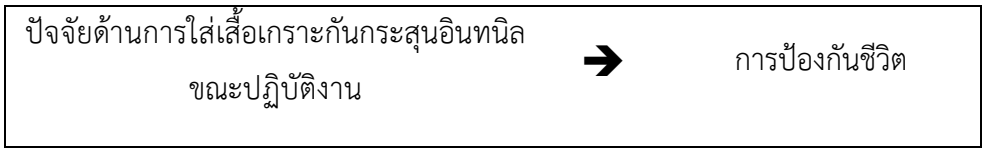
1.5 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของการวิจัย

1.5.1 ทฤษฎี



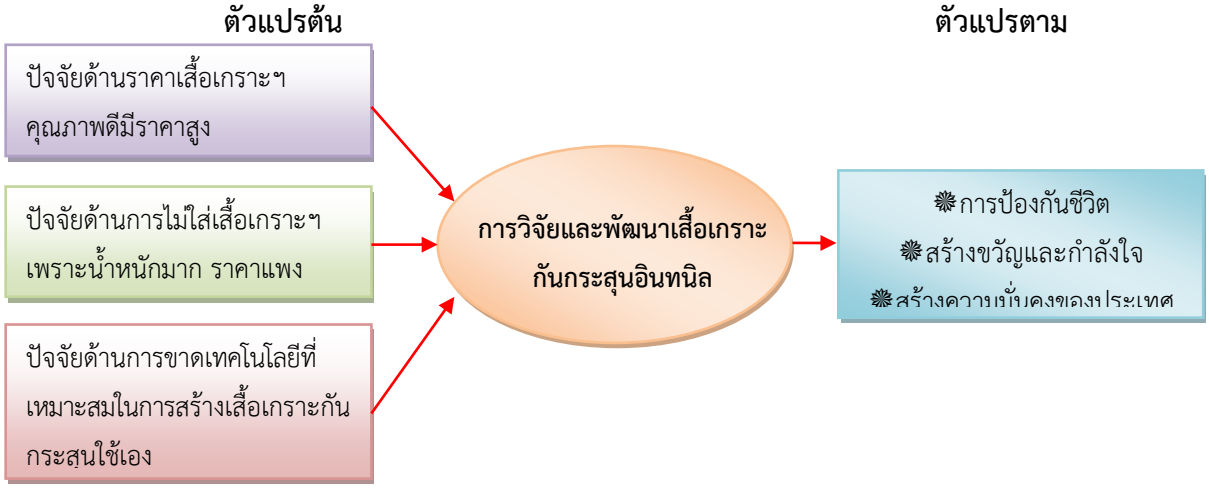
รูปที่ 1-1ทฤษฎีของโครงการวิจัย

1.5.2 สมมุติฐาน



รูปที่ 1-2สมมุติฐานของโครงการวิจัย

1.5.3 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย



รูปที่ 1-3กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

1.6 ประโยชน์ของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

11.1 ด้านวิชาการ

11.1.1การเผยแพร่ผลงานในวารสารวิชาการ วารสารวิจัยระดับชาติ

11.1.2ปัจจัยที่เหมาะสมในการประดิษฐ์เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลสำหรับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวนในจังหวัดเพชรบูรณ์

11.1.2 เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลสามารถป้องกันภัยคุกคาม ระดับ 2 ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน NIJ Standard–0101.04 หรือมาตรฐานยุทโธปกรณ์กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหม

11.2 ด้านนโยบาย

11.2.1การกำหนดนโยบายสู่ภาคปฏิบัติในการนำเสื้อเกาะกันกระสุนไปใช้ในหน่วยงานภาครัฐอื่นๆ เช่น เจ้าหน้าที่ป่าไม้ สมาชิกกองอาสารักษาดินแดน (อส.) เป็นต้น

11.3 ด้านเศรษฐกิจ/พาณิชย์

11.3.1 ต้นแบบเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลเพื่อจำหน่าย

11.4 ด้านสังคมและชุมชน

11.4.1 สร้างขวัญและกำลังใจเจ้าหน้าที่รัฐขณะปฏิบัติหน้าที่

11.4.2 ป้องกันและปราบปรามยาเสพติด ป้องกันปราบปรามอาชญากรรม ประชาชนมีความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน

11.4.3 มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์เป็นแหล่งความรู้แก่ท้องถิ่นตามพันธกิจ

11.4.4 ผู้เข้ารับการอบรมเชิงปฏิบัติการสามารถผลิตเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลสำหรับใช้งานได้เองตามคู่มือการผลิตเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล และดูแลรักษาเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลให้มีอายุการใช้งานที่นานได้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้คณะผู้วิจัยจะกล่าวถึงเอกสารที่เกี่ยวข้องกับเสื้อเกาะกันกระสุนมาตรฐานเสื้อเกาะกันกระสุน ปัจจัยที่เหมาะสม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและสร้างเสื้อเกาะกันกระสุน

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเสื้อเกราะกันกระสุน

เสื้อเกราะกันกระสุน หมายถึง เสื้อหรือสิ่งใดๆที่ผลิตหรือประกอบขึ้นด้วยแผ่นเกราะเพื่อป้องกันหรือลดอันตรายจากกระสุนปืนที่ยิงบริเวณลำตัวของผู้ที่สวมใส่มีหลักฐานบันทึกไว้ว่าเสื้อเกราะอ่อนได้ถูกใช้เป็นครั้งแรกโดยชาวญี่ปุ่นในยุคกลางเป็นเสื้อเกราะที่ทำจากผ้าไหม เสื้อเกราะกันกระสุนรุ่นต่อมาเกิดขึ้นสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ถูกเรียกว่า แฟลคแจ๊กเกต ผลิตขึ้นจากไนลอนสามารถกันสะเก็ดระเบิด และใช้ได้ผลอย่างดีกับการคุกคามของปืนพกรวมถึงปืนไรเฟิลแต่เสื้อเกราะชนิดนี้มีข้อจำกัดคือมีขนาดใหญ่เทอะทะและใช้ได้แต่ในวงการทหารเท่านั้น จนกระทั่งปลายยุค 1960 ได้มีการค้นพบเส้นใยสังเคราะห์ชนิดใหม่เรียกว่า เคฟล่าร์ (Kevlar) ของบริษัทดูปองที่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นับจากนั้นเสื้อเกราะก็ถูกผลิตขึ้นจากวัสดุต่างๆและจากหลายบริษัท

2.1.1 การแบ่งกลุ่มของเสื้อเกราะกันกระสุน

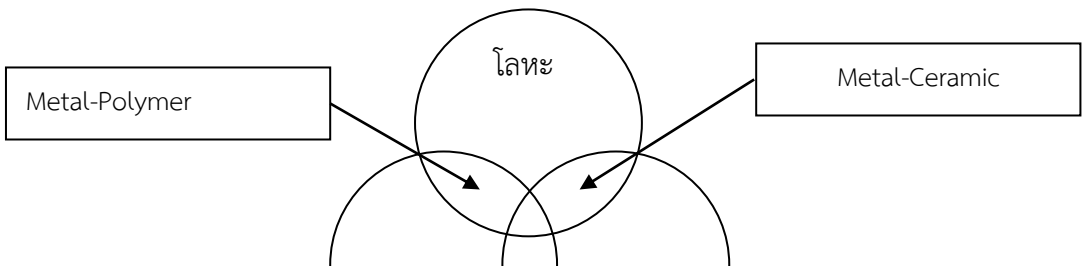
การแบ่งเสื้อเกราะกันกระสุนสามารถแบ่งได้หลายแบบ ทั้งการแบ่งตามชนิด แบ่งตามมาตรฐานการทดสอบ แบ่งตามชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเสื้อเกราะ แต่ในในประเทศไทยมีการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ เสื้อเกราะอ่อน และเสื้อเกราะแข็ง ซึ่งรายละเอียดของเสื้อเกราะอ่อนนั้นจะถูกผลิตมาเพื่อให้ป้องกันกระสุนได้จนถึงระดับ 3A ส่วนเสื้อเกราะแข็งจะสามารถป้องกันกระสุนในระดับที่สูงกว่า ซึ่งเสื้อเกราะแข็งส่วนใหญ่จะมีความหนามากจนบางครั้งไม่เหมาะที่จะใช้งาน จึงมีการกำหนดมาตรฐานขึ้นมาโดยให้เสื้อเกราะอ่อนที่ป้องกันกระสุนระดับ 3A เสริมด้วยแผ่นเกราะแข็ง ขนาด 10× 20 นิ้ว ทำให้สามารถป้องกันกระสุนได้จนถึงระดับ 3 และระดับ 4 เกราะอ่อนจะผลิตจากวัสดุเส้นใยอะรามิด (Aramid) กับเส้นใยโพลีเอสเตอร์ (Polyester) เป็นส่วนใหญ่ หรืออาจมีการคิดค้นต่อยอดใยสังเคราะห์ในรูปแบบต่างๆ เช่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สามารถผลิตเสื้อเกราะกันกระสุนที่ผลิตจากผ้าใยประดิษฐ์หรือโพลีเอสเตอร์ การนำฟิล์มเอกซ์เรย์มาประกอบเป็นเสื้อเกราะ ของหน่วยวิทยาการ จังหวัดตาก ในนามเสื้อเกราะพระเจ้าตาก และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ทำแผ่นกระจายแรงจากเซรามิกส์ชนิดอลูมินาหุ้มด้วยโลหะอะลูมิเนียมและเส้นใยเคฟลาร์ความหนาแน่นสูง เป็นต้น

การจำแนกวัสดุทำเสื้อเกราะกันกระสุนในปัจจุบันสามารถจำแนกตามพันธะทางเคมีและพฤติกรรมของวัสดุออกเป็น 3 ประเภทหลักๆได้แก่

1) พอลิเมอร์ (Polymers)

2) โลหะ (Metallic materials)

3) เซรามิก (Ceramics)



รูปที่ 2-1 การจำแนกกลุ่มวัสดุตามพันธะทางเคมี

วัสดุบางประเภทเป็นของผสมระหว่างวัสดุต่างชนิดกัน เรียกว่าวัสดุคอมโพสิต (Composite materials) เช่นไฟเบอร์กลาส (Fiber glass) ยางรถยนต์เสริมใยเหล็ก ทำให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น สามารถทนแรงดึงได้สูง และมีอายุการใช้งานที่นานขึ้น

2.1.1.1 วัสดุกลุ่มโพลีเมอร์

โพลีเมอร์หรือพลาสติกเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ (Organic materials) ประกอบขึ้นด้วยอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นส่วนใหญ่จับตัวกับธาตุอื่นเช่นออกซิเจนไนโตรเจนฟลูออรีน ซิลิคอนกำมะถันและคลอรีนโพลีเมอร์เป็นสารประกอบที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนต่อกันเป็นลูกโซ่ซึ่งสารประกอบที่ประกอบด้วยหน่วยเล็กๆหลายหน่วยที่ซ้ำกันซึ่งหน่วยที่เล็กที่สุดนี้เรียกว่าโมโนเมอร์ซึ่งโมโนเมอร์เป็นสารธรรมชาติแล้วนำมาสังเคราะห์ทางเคมีเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกโมโนเมอร์ วัตถุดิบที่สามารถทำเป็นโพลีเมอร์ได้เช่นเอตทีลีน (Ethylene) เมื่อเรียงตัวกันเป็นโพลีเมอร์แล้ว เรียกว่าโพลีเอตทีลีน (Polyethylene) เป็นต้นโพลีเมอร์ของพลาสติกประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนเป็นธาตุหลักแล้วจับตัวกับธาตุอื่นได้เป็นโพลีเมอร์ชนิดต่างๆมากกว่า 1,000 ชนิด ประเภทของพลาสติกพลาสติกแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆคือ เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics), เทอร์โมเซตพลาสติก (Thermoset plastics) และอีลาสโทเมอร์ (Elastomer)

2.1.1.2 วัสดุกลุ่มโลหะ

วัสดุกลุ่มโลหะจะมีลักษณะเด่น คือมีความแข็งที่ดี มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ค่าความสามารถในการยืดตัว (Ductility) ผิวมันวาวมีคุณสมบัติของการเป็นแม่เหล็กได้มีค่าการนำ

ความร้อนสูงและค่าการนำไฟฟ้าได้ดี วัสดุกลุ่มโลหะยังแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ โลหะกลุ่มเหล็กและโลหะนอกกลุ่มเหล็ก

2.1.1.3 วัสดุกลุ่มเซรามิก

เซรามิกเป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยธาตุอย่างน้อย 2 ธาตุจับตัวกันแบบโควาเลนต์และไอโอนิคมีทั้งโครงสร้างแบบผลึกเดียวและอสัญฐานเป็นวัสดุทางด้านวิศวกรรมที่มีความสำคัญเนื่องจากมีความแข็งมากแม้อยู่ในอุณหภูมิสูงค่าการนำความร้อนและการนำไฟฟ้าต่ำมีน้ำหนักเบากว่าโลหะทนต่อการสึกหรอ (Wear resistance) จุดหลอมเหลวสูงมีความเปราะ (Brittle) มีความเสถียรภาพทางเคมีและความร้อนสูงสามารถต้านทานการคืบตัว (Creep) ได้ดีเซรามิกเป็นสารอนินทรีย์พวกดินหินทรายและแร่ธาตุต่างๆผสมอยู่นอกจากนั้นยังมีสารประกอบที่มีธาตุโลหะ (Metallic) และธาตุอโลหะ (Nonmetallic) เป็นองค์ประกอบเช่นออกไซด์ไนไตรด์คาร์ไบด์เป็นต้น สารประกอบเหล่านี้มีการยึดตัวระหว่างอะตอมอย่างเหนียวแน่นการจับตัวเป็นแบบไอออนิก (Ionic) และแบบโควาเลนต์ (Covalent) ลักษณะการจับตัวแบบนี้เองจึงเป็นที่มาของคุณสมบัติต่างๆที่กล่าวมาข้างต้นซึ่งอาจจะแบ่งเซรามิกออกเป็น 2 ชนิด คือ เซรามิกดั้งเดิม และเซรามิกสมัยใหม่

2.1.1.4 วัสดุเชิงประกอบ (Composite materials) หรือวัสดุผสม

วัสดุเชิงประกอบหรือวัสดุผสมเป็นวัสดุที่มีการนำเอาวัสดุหลายชนิดตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมารวมกันทางโลหะวิทยาและทางกลทำให้มีคุณสมบัติแตกต่างไปจากเดิมซึ่งรวมถึงรูปร่างปริมาตรและส่วนประกอบทางด้านโลหะวิทยา โดยจะยังคงรักษาสภาพของคุณลักษณะเฉพาะตัวทางโครงสร้างไว้ ได้แก่คุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงความแข็งแกร่ง (Stiffness) การต้านทานการกัดกร่อนความแข็งความเป็นตัวนำและทางด้านอุณหภูมิที่สูงมาก วัสดุผสมเกิดขึ้นโดยการนำคุณสมบัติที่เด่นของแต่ละชนิดมาประกอบเช่น กลุ่มโลหะมีความแข็งแรงและความเหนียวสูงแต่เป็นสนิมได้ง่ายและมีน้ำหนักมาก กลุ่มโพลีเมอร์มีน้ำหนักเบาแต่ความแข็งแรงต่ำทนความร้อนไม่ได้นำไฟฟ้าไม่ได้ กลุ่มเซรามิกมีความแข็งสูง ทนความร้อน ทนต่อการสึกหรอและการผุกร่อนได้ดีแต่เปราะมีความเหนียวต่ำเป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเอาวัสดุต่างชนิดมาผสมกันเป็นวัสดุที่มีหลายภาค มีคุณสมบัติแตกต่างไปจากเดิมซึ่งรวมถึงรูปร่างปริมาตรและส่วนประกอบของภาคที่ฝังกระจายอยู่ในเนื้อวัสดุ

2.1.2 ส่วนประกอบของเสื้อเกราะกันกระสุน

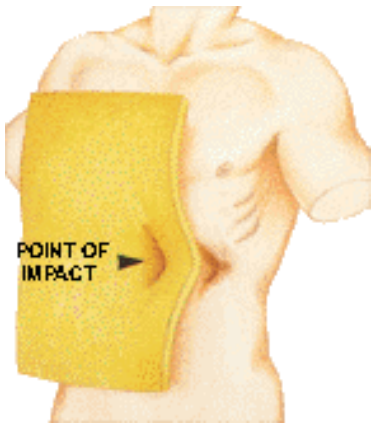
ส่วนประกอบของเสื้อเกราะนั้นโดยทั่วไปจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

2.1.2.1 เสื้อนอก (Outside shell carrier) เป็นส่วนที่ใช้สำหรับรับแรงกระแทกอาจจะมีส่วนที่ใช้แผ่นเหล็กหรือเซรามิกเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทก

2.1.2.2 ส่วนยึดรั้ง (Fastening system) ใช้ยึดเสื้อเกราะกับร่างกายทำให้เกิดความกระชับ

2.1.2.3 แผ่นรับแรงกระแทก (Ballistic panel) ลักษณะเป็นใยสังเคราะห์เมื่อถูกแรงกระแทกจะเกิดการยืดตัวช่วยดูดซับพลังงานเพื่อลดความเร็วของกระสุนที่ผ่านเข้ามา เสื้อเกราะจากใยสังเคราะห์จะมีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงกว่าโลหะ

ลักษณะการทำงานของเสื้อเกราะคือเมื่อกระสุนวิ่งมากระทบกับเสื้อเกราะ จะถูกยึดจับไว้ด้วยเส้นใยที่แข็งแรงมากเรียกว่าเว็บ (Web) เส้นใยเหล่านี้จะดูดซับและกระจายพลังงาน การกระแทกของกระสุนที่ส่งผ่านมายังตัวเสื้อเป็นผลให้กระสุนนั้นเกิดการบิดเบี้ยวหรือเสียรูปไป พลังงานที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซับด้วยแต่ละชั้นของเส้นใยจนกระทั่งกระสุนนั้นหยุดลง ดังนั้นการทอเส้นใยให้ยิ่งหนาแน่นมากขึ้นจะทำให้มีความทนทานต่อแรงกระสุนมากขึ้นเช่นกัน เพราะในขณะที่กระสุนมากระทบกับเสื้อเกราะพลังงานจากกระสุนจะถูกดูดซับและแพร่กระจายไปตามชั้นของเส้นใยเรื่อยๆ จนถึงร่างกาย การกระแทกร่างกายจะเรียกว่า บลันท์ ทรอมา (Blunt trauma) หมายถึงอาการฟกช้ำ ซึ่งอาการดังกล่าวจะต้องอยู่ในระดับที่ไม่ปรากฏอาการออกมาให้เห็นร่างกายของมนุษย์สามารถทนทานต่ออาการ บลันท์ ทรอมา ได้ปริมาณหนึ่งซึ่งเราสามารถทดสอบและคิดค่าออกมาได้เรียกว่า แบล็คเฟซซิกเนเจอร์ (Backface signature) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร



รูปที่ 2-2 การเกิดอาการฟกช้ำจากการกระแทกร่างกาย

2.1.3 วัสดุที่ใช้ทำเสื้อเกราะกันกระสุนในปัจจุบัน

2.1.3.1 เคฟลาร์ (Kevlar)

เคฟลาร์เป็นเส้นใยชนิดอะรามิด (Aramidfiber) ตระกูลพาราอะรามิด เคฟลาร์จึงเป็นชื่อเรียกทางการค้าของเส้นใยสังเคราะห์ของโพลิพาราฟีนิลีนเทเรฟทาลาไมด์ (Poly-P-phenylene terephth alamide, PPTA) เคฟลาร์ถูกสังเคราะห์ขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1965 โดย

โดยสเตฟานี กวอเลก (Stephanie kwolek) และเฮอร์เบิร์ต เบลดส์ (Herbert blades) นักวิทยาศาสตร์ของบริษัทดูปองท์ ประเทศสหรัฐอเมริกา และจดสิทธิบัตร ในปี 1966 บริษัท ดูปองท์ในปี 2514 (ค.ศ.1971) ด้วยการสังเคราะห์โดยอาศัยปฏิกิริยาควบแน่นจากในช่วงก่อนปี 2528 (ค.ศ.1985) เคฟลาร์เป็นเส้นใยเพียงตัวเดียวในกลุ่มนี้ที่มีอยู่ในตลาดแต่หลังจากนั้นมาก็มีบริษัทร่วมทุนของฮอลแลนด์กับเยอรมันในชื่อกลุ่มแอกโซ่ (Akzo group) ได้ผลิตเส้นใย PPTA โดยใช้ชื่อทางการค้าว่าทวารอน (Twaron) ตามมาในเวลาเดียวกันผู้ผลิตเส้นใยในญี่ปุ่น โดยบริษัทเทยิ่น (Teijin) ก็ได้ทดลองผลิตเส้นใยดัดแปรมาจาก PPTA และให้ชื่อว่า HM-50 ออกสู่ตลาดเช่นกันนอกจากนี้ในปัจจุบันเคฟลาร์ยังมีชื่อทางการค้าอื่นเช่น Armos (อาร์มอส) ของบริษัท Kaiser VIAM เคฟลาร์เป็นเส้นใยโพลิเมอร์ประเภทพารา-อะรามิด (Para-aramide) มีวงแหวนเบนซีนอยู่ในสายโซ่โมเลกุลหลัก ซึ่งเส้นใยอะรามิดสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทตามลักษณะโครงสร้างคือพารา-อะรามิดและเมตา-อะรามิด (Meta-aramide) โดยสังเกตจากตำแหน่งของหมู่เอไมด์ (CONH) บนวงแหวนเบนซีนที่ต่างกัน ความแข็งแรงของเคฟลาร์เป็นผลสืบเนื่องจากการที่โพลิเมอร์มีความเป็นผลึกสูงซึ่งความเป็นผลึกของโพลิเมอร์เกี่ยวข้องกับลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลโดยหากโมเลกุลส่วนใหญ่ของโพลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นเส้นยาวสามารถยืดเป็นเส้นตรงไม่พันกัน และจัดเรียงตัวได้เป็นระเบียบแล้ว ความเป็นผลึกของโพลิเมอร์ก็จะสูงแต่ขณะเดียวกันความเป็นผลึกของโพลิเมอรที่มากก็มีผลให้โพลิเมอร์แสดงสมบัติแข็งแต่เปราะ (Brittle) ได้ ในทางตรงกันข้ามหากโมเลกุลของโพลิเมอร์ไม่สามารถยืดเป็นเส้นตรงโพลิเมอร์จะมีความเป็นอสัณฐาน (Amorphous) ซึ่งมีผลให้มีความแข็งแรงลดลง แต่สามารถยืดหยุ่น (Flexible) ได้มากขึ้น

วัสดุเสื้อเกราะกันกระสุนที่ใช้เคฟลาร์จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงสูงแต่น้ำหนักเบา โดยหากเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าที่หนักเท่ากันแล้ว จะมีจุดหลอมเหลวที่ 500 องศาเซลเซียส มีความยืดหยุ่นน้อย แต่มีความแข็งแรงต่อหน้าตัดค่อนข้างสูง คือ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) มากกว่าเหล็ก 5 เท่า ที่น้ำหนักเท่าๆ กัน

ตารางที่ 2-1 แสดงคุณสมบัติจุดเด่น-จุดด้อยของเคฟลาร์

จุดเด่น	จุดด้อย
- เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ - มีความแข็งแรงต่อแรงดึงในทิศระนาบสูง - ทนทานต่อการกระแทก (Impact resistance)	- มีความแข็งแรงต่อแรงอัดต่ำ (Compression strength) - ความแข็งแรงดึงในทิศตั้งฉากกับแนวระนาบต่ำ - เคฟลาร์ดูดซับความชื้นได้ส่งผลให้ความแข็งแรงของวัสดุลดลง

- ทนต่อการขัดถู (Abrasion resistance) - ทนต่อสารเคมี (Chemical resistance) - ทนต่อการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงได้ดี	- เคฟลาร์จะเกิดการเสื่อมสภาพ (Degrade) หากได้รับรังสียูวี - ต้องใช้เครื่องมือพิเศษสำหรับตัดเคฟลาร์โดยเฉพาะ - ราคาแพง

ตารางที่ 2-2 แสดงเส้นใยเคฟลาร์ที่ถูกใช้ในงานอุตสาหกรรม

เกรด	ลักษณะการใช้งานอุตสาหกรรม
- เคฟลาร์ - เคฟลาร์ 29	เป็นเกรดที่นิยมใช้เสริมความแข็งแรงในการทำผ้าใบยางรถยนต์ ท่อ และสายพานในอุตสาหกรรม
- เคฟลาร์ 49	เป็นเกรดที่นิยมใช้ทำเสื้อเกราะกันกระสุน เชือก สายเคเบิลรับน้ำหนัก ร่มชูชีพและเทปเสริมแรง
- เคฟลาร์ 68	เป็นเกรดที่นิยมใช้ในการเพิ่มความแข็งแรงให้กับชิ้นส่วนอากาศยาน งานด้านอวกาศ เสื้อเกราะกันกระสุน อุปกรณ์ทางน้ำ และอุปกรณ์กีฬา
- เคฟลาร์ 100	เป็นเกรดที่มีคุณสมบัติเชิงกลอยู่ตรงกลางระหว่างเคฟลาร์ 29 และเคฟลาร์ 49
- เคฟลาร์ 119	เป็นเกรดที่มีสี ใช้ทำถุงมือและเสื้อผ้า เป็นเกรดที่ให้ความทนทานสูง ใช้เสริมความแข็งแรงในยางรถยนต์ และสายพาน
- เคฟลาร์	เป็นเกรดที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงที่สูง ใช้ทำเชือก เสื้อเกราะกันกระสุน และยาง

129 - เ ค ฟ ล า ร์ 149	รถยนต์ เป็นเกรดที่ให้ค่ายังมอดูลัสสูงเป็นพิเศษใช้ทำเชือกและเคเบิล

2.1.3.2 สเป็คตร้า ไฟเบอร์ (Spectra fiber)

สเป็คตร้า ไฟเบอร์ เป็นเส้นใยที่พัฒนาโดยบริษัทอไลอัน ซิกแนล(Allied signal)หรือฮันนี่เวลล์ บางทีอาจเรียกว่าเส้นใยโกลเฟล็ก (Gold flex) มีค่าความแข็งแรงที่สูง เบากว่าเคฟล่าร์ แข็งแรงกว่า และอ่อนตัวกว่า แต่ราคาแพงมาก เป็นกลุ่มโพลี่เอธเทอรีน ไฟเบอร์ (Polyethylene fiber) เรียกชื่อทางการค้าว่า สเปคตร้าชีลด์มีคุณสมบัติคล้ายกับเคฟลาร์คือมีความยืดหยุ่นน้อยกว่า สเปคตราถูกใช้เป็นสายโยงยึดของนักบินอวกาศขณะทำงานนอกยานอวกาศ สเปคตราเส้นเล็กเท่าด้ายเย็บผ้าสามารถทนแรงดึงได้มากกว่า 50 กิโลกรัม แต่ยืดหยุ่นน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของความยาว สเปคตราผลิตจากสารละลายโซเวนท์และขึ้นรูปเป็นใยแล้วนำไปผสมกับวัสดุอื่นๆทำเป็นแผ่นสเป็คตร้า (Spectra shield composite)ชั้นของแผ่นสเป็คตร้าจะถูกอัดทับร่วมเป็นชั้นเดียวแต่ละชั้นจะสลับกันที่ 0 และ 90 องศา และเคลือบด้วยเรซินด้านหน้า ทั้งสองแผ่นถูกห่อปิดด้วยแผ่นโพลี่ยูลีเทนคล้ายกับการห่ออาหาร สเป็คตร้า ไฟเบอร์ ถูกใช้เป็นวัสดุในการทำเสื้อเกราะเสื้อกันกระสุน เมื่อเทียบน้ำหนักปอนด์ต่อปอนด์จะเข็งแรงเป็น10 เท่าของเหล็ก ทนทานและน้ำหนักเบา จึงทำให้เสื้อเกราะกันกระสุนที่ทำจากแผ่นสเป็คตร้ามีความแข็งแรง น้ำหนักเบา ป้องกันหัวกระสุนได้ดี และยังนิยมใช้ทำเครื่องใช้เครื่องมืออื่นๆเช่น สายเอ็นตกปลาที่มีความเหนียวสูง

2.1.3.3 โพลีเอสเตอร์ (Polyesterfiber)

เส้นใยโพลีเอสเตอร์ถูกเรียกชื่อแตกต่างกันออกไปตามประเทศผู้ผลิต เมื่อผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกามักเรียกว่าดาดรอน (Dacron) สหราชอาณาจักรเรียกว่าเทอรี่ลีน (Terylene) ญี่ปุ่นใช้ชื่อทางการค้าว่าเททโตรอน (Tetoron) เยอรมันใช้ชื่อว่าไดโอเลน (Diolen) อิตาลี เรียกว่าเทอริทัล (Terital) และประเทศฝรั่งเศสใช้ชื่อทางการว่าเทอร์กัล (Tergal) เส้นใยในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียมโดยกลั่นออกมาเป็นกรดเทเรฟทาลิคแล้วให้ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์จึงกดผ่านแว่นกด (Spinnerets) เป็นเส้นแผ่นบางๆปล่อยให้แห้งแล้วตัดเป็นท่อนสี่เหลี่ยมเล็กๆเมื่อต้องการทำเป็นเส้นใยต้องหลอมละลายก่อนแล้วกดผ่านแว่นกดอีกครั้งหนึ่ง จึงจะเป็นเส้นใยตามที่ต้องการสามารถผลิตได้ทั้งเส้นใยยาวที่มีหน่วยวัดเป็นฟุตหรือเป็นเมตร และเส้นใยสั้นที่มีหน่วยวัดเป็น นิ้ว เซนติเมตร หรือมิลลิเมตรใช้ผลิตเป็นเสื้อผ้าทั้งของสุภาพบุรุษและสุภาพสตรี สามารถนำมาผสมกับเส้นใยชนิดอื่นได้ดีเช่นผสมกับฝ้ายเรียกว่าโพลีเอสเตอร์คอตตอน บางโอกาสอาจเรียกอัตราส่วนผสมนี้ว่า T/C อันเนื่องมาจากชื่อทางการค้าของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ที่ผลิตจากประเทศญี่ปุ่นเรียกว่าเททโตรอน (T) หรือผสมกับเส้นใยกึ่งสังเคราะห์ จำพวกเรยอน (Rayon) เพื่อช่วยเพิ่ม

คุณสมบัติทางด้านอื่นเช่นระบายความร้อน ยืดหยุ่นตัว ทนต่อการเสียดสี เป็นต้น เส้นด้ายที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์จะมีคุณสมบัติพิเศษเด่นชัดคือราคาถูกกว่าฝ้าย มีสีขาวนวล ผิวเรียบความแข็งแรงสูงมาก ทนต่อการเสียดสีได้ดีเป็นพิเศษ ใยเหนียวคงทนต่อสารเคมีและแสงแดดแมลง มอด และแบคทีเรียมีข้อจำกัดคือดูดซับความชื้นได้ค่อนข้างต่ำเกิดไฟฟ้าสถิตย์ได้ง่ายเวลาสวมใส่เสื้อผ้าทำให้รู้สึกคันเหมือนถูกไฟดูดฉะนั้นจึงนิยมนำเส้นใยโพลีเอสเตอร์มาผสมกับเส้นใยชนิดอื่น เช่น ผสมกับฝ้าย เส้นใยโพลีเอสเตอร์ที่นำมาปั่นเป็นเส้นด้ายเพื่อใช้ทอผ้า

2.1.3.4 ไดนีม่า-ไฟเบอร์ (Dyneema-fiber)

ไดนีม่า ไฟเบอร์ถูกผลิตขึ้นโดยบริษัทดีเอสเอ็ม(DSM)ซึ่งมีโรงงานอยู่ที่เมืองฮีเลียน(Heerlen)ประเทศเนเธอแลนด์ บริษัทดีเอสเอ็มได้ทำการจดลิขสิทธิ์กรรมวิธีในการแปรรูปสารพีอีในกลุ่มโพลีเอสเทอรีนรับแรงสูง(Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)) ขึ้นเป็นเส้นใยในปี 1979 และเริ่มทำการผลิตในเชิงพาณิชย์ในปี 1990 มีการร่วมทุนกับบริษัท (Toyobo)เพื่อตั้งโรงงานผลิตในญี่ปุ่นมีโรงงานอีกหนึ่งแห่งที่เมืองกรีนวิลล์ รัฐนอร์ทแคโรไลน่า ชื่อของเส้นใยที่บริษัทดีเอสเอ็มจดทะเบียนไว้คือไดนีม่า กรรมวิธีในการผลิตก็คือการนำเอาวัตถุดิบกลุ่มโพลีเอสเทอรีนรับแรงสูง (UHMWPE polyethylene)มาแปรรูปเป็นเส้นใยโดยใช้กรรมวิธีในการรีดเส้นใยไดนีม่า เมื่อผลิตเป็นเส้นใยจะมีคุณสมบัติพิเศษที่อัตราความแข็งแรง 1 ม.ม. สามารถรับน้ำหนักได้ถึง 240 กก. มีค่าความแข็งกว่าเหล็ก 15 % ทนทานต่อการบาดเฉือนจากวัสดุมีคม สามารถดูดซับแรงกระแทกได้ดี ไม่ค่อยมีปฏิกิริยากับผิวหนังจึงทำให้รู้สึกลื่นมือมีความต้านทานต่อน้ำความชื้น สารเคมีหลายชนิด รังสียูวี รวมถึงไมโครชีวภาพ นอกจากใช้ทำเสื้อเกราะกันกระสุนแล้วยังใช้ทำอุปกรณ์อื่นๆ เช่น สายเอ็นตกปลาที่มีความเหนียวสูงเสื้อเกราะตามมาตรฐานกองทัพไทยก็ทำจากเส้นใยในตระกูลโพลีเอสเทอรีนรับแรงสูง ผลิตจากโรงงานร่วมทุนระหว่างเยอรมันกับฮอลแลนด์ นอกเหนือจากนี้ยังมีชื่อทางการค้าที่จดทะเบียนไว้โดยบริษัทอื่นๆ อีก เช่น ไทวา (TIVAR)ของบริษัทโพลีไฮโซลิเดอร์ และโพลีสโตน-เอ็มของบริษัท (Rochling engineered plastics)

2.1.3.5 แผ่นโลหะ

คุณสมบัติที่เด่นของโลหะ คือมีค่าความแข็งที่ดี มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และมีความสามารถในการยืดตัว (Ductility) ที่ดี แต่ในการนำวัสดุโลหะมาใช้ทำแผ่นป้องกันกระสุนนั้นยังมีข้อจำกัดอยู่ คือ แผ่นเหล็กที่มีคุณสมบัติที่ดีจะต้องหนามากซึ่งเป็นผลให้มีน้ำหนักสูงไม่เหมาะกับการใช้งาน วิธีที่เหมาะสมคือใช้แผ่นเหล็กที่มีค่าน้ำหนักไม่มากนัก มีขนาดบางลงแต่ใช้กระบวนการปรับปรุงคุณภาพทางความร้อนก่อน (Heat treatment) เพื่อให้มีความแข็งผิวและความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เหล็กประเภทนี้ เรียกว่าเอชเอชเอ (HHA = High hardness armour)เป็นเหล็กประเภทผ่านกระบวนการชุบแข็งและอบคืนไฟ (Quenched and tempered) จากข้อมูลทางทหารพบว่าอำนาจการหยุดยั้งหัวกระสุนของเหล็กแผ่นหนา 6 มม.กรณีที่เป็นเหล็กชุบแข็งสามารถหยุดยั้งหัว

กระสุน .308 และ AK-47 ได้ แต่ไม่สามารถหยุดยั้งหัวกระสุน .223 ได้ ถ้าจะให้ป้องกัน .223 ได้ ต้องเพิ่มเป็นขนาด 6.5 มม. แต่ถ้าในกรณีเหล็กธรรมดาควรหนา 6 มม. ถ้าใช้แผ่นเหล็กธรรมดาเพื่อหยุดยั้งหัวกระสุน .223 ต้องใช้ความหนาประมาณ 11 มม.ขึ้นไปหรือแผ่นบอลลิสติกชีท 7 มม. ขึ้นไป ส่วนแผ่นเหล็กในเกราะพิเศษจะเป็นแบบลามิเนตแบบเดียวกับที่ใช้ในรถถังรุ่นใหม่ซึ่งสามารถหยุดยั้งหัวกระสุนได้เกือบทุกประเภท

2.1.3.6 แผ่นเซลามิก

เซลามิกมีคุณสมบัติในการหยุดยั้งหัวกระสุนได้ดี เพราะเมื่อหัวกระสุนกระทบแผ่นเซลามิก จะมีการดูดซับพลังงานได้สูงและเกิดการแตกออก น้ำหนักเสื้อเกราะกันกระสุนทำจากเซลามิกหนักประมาณ 6 กิโลกรัม มีความหนาประมาณ 1 นิ้ว สามารถกัน กระสุนเอ็ม 16 ขนาด 5.56 ×45 ม.ม. และอาก้า ขนาด 7.62×39 ม.ม.ได้ เสื้อเกราะกันกระสุนแบบเซลามิกที่ได้มาตรฐาน level IV จะมีวิธีทำอยู่ 2 แบบ คือ นำแผ่นเซลามิกไปประกอบเข้าใช้กับเสื้อเกราะที่ได้มาตรฐาน level IIIA แล้ว และอีกแบบคือแบบที่เรียกว่ามาตรฐานเดี่ยว (Stand alone)คือไม่ต้องใช้ร่วมกับสิ่งอื่น แผ่นเซลามิกในเสื้อเกราะของทหารอเมริกัน เรียกว่า ซาพีเพลท (SAPI plate) ราคาประมาณ 1000 เหรียญ สามารถป้องกันกระสุนเจาะเกราะ ขนาด 7.62 มม.ได้ ชั้นในประกอบด้วย level 3A มีการปิดหมดถึงต้นคอและมีช่องสำหรับใส่แผ่นวัสดุป้องกันซึ่งมีหลายแบบแล้วแต่พื้นที่ทำงาน เช่น แผ่นหน้าเป็น PE หรือเคฟล่าร์เนื้อเดียว เป็น PE หรือเคฟล่าร์ปิดหน้าด้วยไททาเนียม ส่วนเซรามิกแบบโบรอนอ็อกไซด์ด้านหลังเป็นไททาเนียมปิดหน้าด้วยเคฟล่าร์จะใช้เพื่อป้องกันกระสุนเจาะเกราะ

2.1.3.7 เสื้อเกราะกันกระสุนในอนาคตผลิตจากนาโนทิวป์ (Nanotube)

คาร์บอนนาโนทิวป์ (Carbon nanotube) มีความแข็งแรง, น้ำหนักเบาและมีความยืดหยุ่นสูงซึ่งสามารถดูดกลืนพลังงานจลน์ได้เป็นจำนวนมากจากการจำลองพฤติกรรมของวัสดุนาโนเหล่านี้ในขณะถูกกระแทก เคซาล่า ไมแวกนัม (Kaysala mylvaganam)และเลียงซี เชง (Liangchi Zhang)จากมหาวิทยาลัยซิดนีย์ได้แสดงให้เห็นว่านาโนทิวป์สามารถทนต่อกระสุนความเร็วสูงได้และมีแนวโน้มที่จะทนต่อความเสียหายที่เกิดจากการกระแทกหลายๆครั้งได้ซึ่งเป็นจุดสำคัญในการตัดสินว่ามันจะสามารถนำไปผลิตเป็นเสื้อเกราะได้หรือไม่และจากผลการจำลองบนคอมพิวเตอร์โดยทีมงานวิศวกรในออสเตรเลียแสดงให้เห็นว่า กระสุนจะกระเด็นออกจากเสื้อเกราะที่ทำจากนาโนทิวป์เนื่องจากความยืดหยุ่นที่สูงของวัสดุและวัสดุชนิดนี้จะเพิ่มขีดความสามารถของเสื้อเกราะในการหยุดกระสุนโดยการกระจายแรงของกระสุนจึงมีแนวโน้มว่าเสื้อเกราะกันกระสุนในอนาคตจะผลิตจากนาโนทิวป์ วิธีการจำลองนี้จะได้จากการจำลองพฤติกรรมของคาร์บอนนาโนทิวป์เดี่ยว ที่ถูกตรึงปลายทั้งสองด้านซึ่งถูกชนโดยกระสุนขนาดเล็กที่ทำจากเพชรกระสุนนั้นจะมีความเร็วระหว่าง 1000 ถึง 3500 เมตรต่อวินาที และถูกยิงตั้งฉากกับแกนของนาโนทิวป์ ทีมวิจัยได้ค้นคว้าความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีของนาโนทิวป์ตำแหน่ง ความเร็วที่กระสุนกระทบ และพลังงานที่ถูกดูดกลืนโดยนาโนทยูบ

ไมแวกนัมและเซ็งพบว่านาโนทยูบสามารถทนต่อกระสุนที่มีความเร็ว 2000 เมตรต่อวินาทีได้แม้จะมีการกระทบหลายครั้ง (ความเร็วของกระสุนปืนไรเฟิลสามารถสูงถึง 1500 เมตรต่อวินาทีและกระสุนปืนส่วนใหญ่มีความเร็วน้อยกว่า 1000 เมตรต่อวินาที)จุดกึ่งกลางของนาโนทิวป์เป็นจุดที่มีความต้านทานสูงสุดทั้งคู่กล่าวว่าเสื้อเกราะกันกระสุนสามารถสร้างได้จากเส้นใยนาโนทิวป์ โดย คาร์บอนนาโนทิวป์สามารถทำเส้นใยได้โดยอาศัยวิธีการที่เรียกว่า อิเล็กโตรสปินนิ่ง(Electrospinning)ทีมวิจัยได้คำนวณว่าเสื้อเกราะนั้นจะมีความหนา 600 ไมครอนโดยประกอบชั้นเส้นใยทีมีความหนา 100 ไมครอน จำนวน 6 ชั้นซึ่งจะสามารถสะท้อนกระสุนที่มีพลังงาน 320 จูลได้ซึ่งจะเท่ากับพลังงานของกระสุนปืนขนาดเล็ก

เสื้อเกราะชนิดนี้จะดีกว่าเสื้อเกราะในปัจจุบันซึ่งส่วนใหญ่ทำจากเส้นใยเคฟลาร์, ทวารอนและไดมีน่าหลายๆชั้นถึงแม้เสื้อเกราะในปัจจุบันจะสามารถหยุดกระสุนจากการทะลุทะลวงได้แต่การหยุดกระสุนของเสื้อเกราะในปัจจุบันอาศัยการกระจายแรงเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งยังทำให้เกิดอาการบาดเจ็บที่เรียกว่าบลันท์ ทรอมาโดยมีระดับความรุนแรงตั้งแต่แผลฟกช้ำไปจนถึงอาการบาดเจ็บของอวัยวะภายในอย่างรุนแรงการที่คาร์บอนนาโนทิวป์สามารถดูดกลืนพลังงานได้เป็นจำนวนมากนั้นสามารถลดอาการบาดเจ็บนี้ได้อย่างมากจากการรายงานของสมาคมอุตสาหกรรมผ้านานาชาติ (Industrial fabrics association international) กล่าวว่าคาร์บอนนาโนทิวป์ที่มีชั้นเดียวจะมีความแข็งแรงประมาณ 10 เท่าเมื่อเทียบกับเส้นใยเหล็กและทีมนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยเท็กซัสสามารถผลิตได้ยาวประมาณ200 เมตรโดยการผสมคาร์บอนนาโนทิวป์กับพลาสติกและได้กล่าวว่าเส้นใยดังกล่าวสามารถทนแรงฉีกขาดได้ประมาณ 17 เท่าเมื่อเทียบกับแรงที่กระทากับเส้นใยเคฟล่าร์ ดังนั้นจึงสามารถนามาผลิตเป็นเสื้อเกราะกันกระสุนได้ส่วนในด้านการทหารมีการพัฒนาเส้นใยเคฟล่าห์โดยนักวิจัยของบริษัทดูปองท์ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีมากหลายประการคือทนต่อแรงดึงสูงยืดหยุ่นสูงทนความร้อนและสารเคมีไม่ติดไฟและมีน้ำหนักเบาโดยมีความเหนียวและแข็งแรงกว่าเส้นใยเหล็กกล้าที่มีขนาดเท่ากันมากถึง 5 เท่าจึงนิยมนำเส้นใยเคฟล่าห์มาทอเป็นผ้าผืนโดยทอเป็นตาข่ายเช่นเดียวกับตาข่ายประตูฟุตบอลจากนั้นนำไปตัดเย็บเพื่อผลิตเป็นเสื้อเกราะกันกระสุน

2.1.3.8 เสื้อเกราะกันกระสุนในอนาคตผลิตจากสิ่งทอเฉพาะทาง

นักวิจัยแห่งมหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (University of science and technology) ของฮ่องกงได้ประกาศเมื่อเดือนมิถุนายน 2549 ถึงผลสำเร็จในการวิจัยและพัฒนาเส้นใยที่มีความแข็งแรงสูงโดยใช้นาโนเทคโนโลยีกล่าวคือนำคาร์บอนนาโนทิวป์(Carbon Nanotubes)เข้าไปเสริมโพลีเอททีลีนที่มีน้ำหนักมาก (Ultrahigh molecular weight polyethylene) ซึ่งนับเป็นวัสดุที่เหมาะสมที่สุดในการทำเสื้อเกราะกันกระสุนเนื่องจากมีความแข็งแรงมากกว่าเหล็กถึง 8 เท่ามากกว่าเคฟล่าห์ถึง 2 เท่าและมากกว่าสเป็คตร้า ไฟเบอร์ ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้ผลิตเป็นเสื้อเกราะกันกระสุนในปัจจุบัน 1 เท่าเสื้อเกราะกันกระสุนแบบนี้ยังมีน้ำหนักเบา

และสามารถลอยน้ำได้การสวมใส่สบายเนื่องจากมีความยืดหยุ่นสูงและต้นทุนการผลิตต่ำปัจจุบันผลการวิจัยและพัฒนาข้างต้นได้รับความสนใจจากบริษัทดีเอสเอ็มของเนเธอร์แลนด์ซึ่งทำธุรกิจผลิตเสื้อเกราะกันกระสุนในการร่วมมือกันทำการวิจัยและพัฒนา

ปัจจุบันมีการนำเส้นใยคาร์บอนหรือบางครั้งเรียกในชื่อว่าเส้นใยกราไฟต์ (Graphite fiber) ซึ่งนับเป็นเส้นใยในด้านสิ่งทอประเภทหนึ่งมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกที่เสริมความแข็งแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon fiber reinforced plastic - CFRP) หรือบางครั้งเรียกในชื่อคาร์บอน-ไฟเบอร์ เช่นเดียวกันกรรมวิธีการผลิตเริ่มจากนำเส้นใยมาถักเป็นผ้าแล้วนำผ้าไปจุ่มเข้ากับพลาสติกในสภาพเหนียวข้นเช่นอีพ็อคซี่เรซิน (Epoxy resin)โพลีเอสเธอร์ (Polyester), ไนลอน (Nylon)ฯลฯกลายเป็นวัสดุเชิงประกอบซึ่งเป็นการนำวัสดุ 2 ชนิดมาทำงานร่วมกันโดยไม่หลอมเป็นเนื้อเดียวกันญี่ปุ่นนับเป็นประเทศผู้ผลิตคาร์บอน-ไฟเบอร์(Carbon fiber)รายใหญ่ที่สุดในโลกโดยบริษัทญี่ปุ่น 3 บริษัทคือบริษัทโทเรอินดัสทรียส์จำกัดบริษัทโตโฮ เทแน็คจำกัดและบริษัทมิตซูบิชิเรยอนจำกัดครองส่วนแบ่งตลาดโลกรวมกันมากถึงร้อยละ 70 ตลาดของคาร์บอน-ไฟเบอร์เติบโตในอัตราสูงคือเฉลี่ยร้อยละ 12 ต่อปีในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาทั้งนี้มีการใช้คาร์บอนไฟเบอร์ในอุตสาหกรรมอากาศยานมากที่สุดคือร้อยละ 21 รองลงมาคือการผลิตอุปกรณ์กีฬาร้อยละ 14 การผลิตใบพัดกังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้าร้อยละ 11 การผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ร้อยละ 10 และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ร้อยละ 9

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุในงานประดับยนต์

2.3.1 วัสดุคาร์บอน-ไฟเบอร์ (Carbon fiber)

คาร์บอน-ไฟเบอร์ คาร์บอน-เคฟล่าร์ และเคฟล่าร์ วัสดุสามชนิดนี้มีความคล้ายกันมากจนบางครั้งอาจแยกไม่ออก ส่วนใหญ่จะถูกใช้ในวงการการแข่งรถความเร็วสูง หรือการตกแต่งรถเพื่อความสวยงาม ซึ่งบางครั้งการใช้งานอาจจะสับสนกันระหว่างคาร์บอน-ไฟเบอร์และเคฟล่าร์เพราะมีความเหมือนกันมาก ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเส้นใยสังเคราะห์เหมือนกันแต่มีคุณสมบัติและสีที่แตกต่างกัน สำหรับคาร์บอน-ไฟเบอร์นั้นจะเริ่มต้นกระบวนการผลิตด้วยการนำกราไฟต์ (Graphite) มาผ่านกระบวนการสังเคราะห์ที่มีอุณหภูมิสูงจนกลายเป็นเส้นใยพิเศษเพราะฉะนั้นคาร์บอนไฟเบอร์จึงแตกต่างไปจากเคฟล่าร์โดยสิ้นเชิงและมีลักษณะเป็นสีดำในปัจจุบันได้ถูกผลิตเพิ่มมากขึ้นเพราะมีคุณสมบัติด้านความเหนียว การทนแรงเสียดสี แต่จะมีความเปราะสูง

รูปที่ 2-3 โมเลกุลของคาร์บอน-ไฟเบอร์

คาร์บอน-ไฟเบอร์ มีพื้นฐานมาจากโพลิเมอร์หรือพลาสติกธรรมดาอยู่ในตระกูลโพลีอะไครลอนไนไตร (Polyacrylonitrile)เรียกย่อๆว่า พีเอเอ็น (PAN)ต้นกำเนิดเริ่มต้นมาจากการผลิตผ้าเรยองในยุคแรกและถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง นำมาผ่านกระบวนการสังเคราะห์ที่มีอุณหภูมิสูงจนกลายเป็นเส้นใยที่เรียกว่าโพลีอะไครลอนไนไตรไฟเบอร์ (Polyacrylonnitrite fiber) โมเลกุลที่ผ่านกระบวนการจะมีการ

เปลี่ยนแปลงโดยการเรียงลำดับโครงสร้างทางเคมีกันใหม่เพื่อให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ซึ่งการผลิตเส้นใยคาร์บอนจาก PAN นั้นมี 4 ขั้นตอนดังนี้

2.3.1.1 อ็อกซิเดชั่น (Oxidation) คือ ขั้นตอนที่เอาเส้นใยพีเอเอ็นมาเผาที่ความร้อนสูงถึง 3,000 องศาเซลเซียส จนเส้นใยพีเอเอ็นเปลี่ยนจากสีขาวกลายเป็นสีดำ โดยจะต้องเผาให้ทั่วจนถึงส่วนที่ลึกที่สุดของเส้นใยพีเอเอ็นเมื่อจบขั้นตอนนี้จะได้ผ้า โนเม็ก (Nomex) หรือผ้าชนิดเดียวกับการทำเสื้อกันไฟ

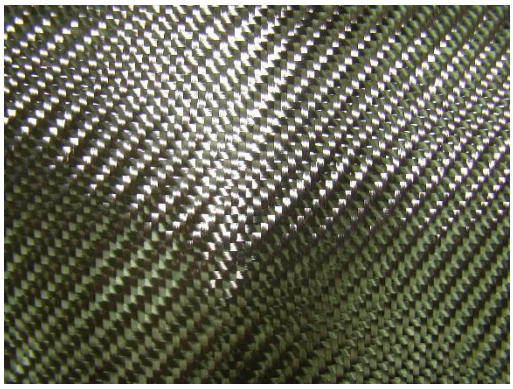
2.3.1.2 คาร์โบนิเซชั่น (Carbonisation) คือ การแยกธาตุทุกชนิดที่ไม่ใช้คาร์บอนออกจากเส้นใยพีเอเอ็น โดยใช้วิธีแยกด้วยการนำไปเผาที่ความร้อน 10,000-30,000 องศาเซลเซียสในบรรยากาศความดันสูงด้วยสารไนโตรเจน โดยคาร์บอน-ไฟเบอร์ที่ถูกเผาให้มีความร้อนสูงมากจะมีความแข็งแรงมาก

2.3.1.3 กระบวนการปรับปรุงผิว (Surface treatment) คือ การเคลือบผิวหน้าของเส้นใยให้สามารถรวมตัวกันเป็นเส้นใยที่ใหญ่ขึ้นเพื่อนำไปใช้งานได้ดีโดยการเคลือบจะใช้สารประกอบโพลิเมอร์ซึ่งสามารถยึดเกาะโครงสร้างเล็กๆให้สามารถคงรูปได้และทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงหากการเคลือบผิวไม่ดีจะมีโพรงอากาศเกิดขึ้นเวลานำเส้นใยไปใช้งานจะไม่แข็งแรงมีความเปราะสูง

2.3.1.4 การเคลือบผิว (Surface coating) คือ การนำเอาอีพ็อกซี่มาเคลือบผิวเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้โดยไม่มีการหลุดลุ่ยของผิวคาร์บอน-ไฟเบอร์ เพราะคาร์บอน-ไฟเบอร์ที่นำไปใช้

ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปผืนผ้าที่จะต้องนำมาตัดและขึ้นรูปกับแม่พิมพ์ แล้วจึงทำการหล่อเพื่อนำไปใช้งาน โดยหากการเคลือบไม่ดีเส้นใยคาร์บอนจะหักเป็นเศษเล็กๆในระดับที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็นและการสูดดมเข้าไปจะเป็นอันตรายต้นเหตุของการเกิดมะเร็งขั้วปอดได้

เมื่อเสร็จกระบวนการสี่ขั้นตอนดังกล่าวแล้วจะได้ผืนผ้าคาร์บอน-ไฟเบอร์ซึ่งมีความทนทานกว่าเหล็กประมาณ 5 เท่าเมื่อเทียบกับมวลที่เท่ากันนอกจากนี้ยังสามารถทนแรงบิด-แรงเค้นได้สูง มีความเบาและมีความหนาแน่นน้อยโดยความสามารถในการทนแรงดึงของคาร์บอน-ไฟเบอร์สามารถทนแรงดึงได้มากกว่าวัสดุไททาเนียมเนื่องมาจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุลธาตุคาร์บอน เมื่อได้ผืนผ้าคาร์บอน-ไฟเบอร์ก็นำเส้นใยไฟเบอร์กลาส (Fiber glass)มาใช้เคลือบคล้ายกับกระบวนการการทำเรซิน แต่ว่าเรซินที่ใช้กับคาร์บอน-ไฟเบอร์จะมีความแตกต่างกับน้ำยาที่ใช้ในงานไฟเบอร์ทั่วไป เพราะทางโรงงานผู้ผลิตผืนผ้าคาร์บอน - ไฟเบอร์จะจำหน่ายผืนผ้าคาร์บอน-ไฟเบอร์พร้อมกับน้ำยาเรซินเฉพาะตัวบวกกับน้ำยาทำให้แข็ง (Hardener) นอกจากน้ำยาที่แตกต่างกันแล้วการจะนำคาร์บอน-ไฟเบอร์ไปขึ้นรูปจะต้องใช้การอบหรือให้ความร้อนตามเกรดและจำนวนชั้นของคาร์บอน-ไฟเบอร์ตามที่โรงงานผู้ผลิตกำหนดมิฉะนั้นจะไม่ได้ความแข็งแรงเทียบเท่ากับมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นการเลือกซื้อคาร์บอน-ไฟเบอร์จึงเป็นสิ่งสำคัญเพราะผู้ผลิตคาร์บอน-ไฟเบอร์ในประเทศไทยส่วนใหญ่มักจะไม่ใช้น้ำยาพิเศษของโรงงานผู้ผลิตซึ่งมีราคาแพงและอุณหภูมิการอบชิ้นงานอาจไม่เป็นไปตามเกรดที่โรงงานผู้ผลิตกำหนดเช่นกัน จึงทำให้ชิ้นส่วนคาร์บอน-ไฟเบอร์ไม่ได้ความแข็งแรงตามมาตรฐาน



รูปที่ 2-4 คาร์บอน-ไฟเบอร์

รูปที่ 2-5 การใช้งานคาร์บอน-เคฟล่าร์

2.3.2 เคฟล่าร์ (Kevlar)

วัสดุเคฟล่าร์มีประวัติและความเป็นมาตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.1 ในงานประดับยนต์เคฟล่าร์ถูกนำมาใช้เป็นตัวถังรถแข่งความเร็วสูงใช้ทำชิ้นส่วนรถแข่งและอุปกรณ์ตกแต่งเพราะมีน้ำหนักและมีความแข็งแรงสูง เคฟล่าร์จะถูกนำมาทอเป็นผืนเรียกว่าผ้าเคฟล่าร์ (Kevlar fabric)แล้วนำมาทำการหล่อด้วยเรซิ่นซึ่งจะคล้ายกับการหล่อไฟเบอร์กล๊าสผ้าเคฟล่าร์ที่ผลิตจากโรงงานจะมีมาตรฐานสูงมาก โดยใช้กรรมวิธีการเคลือบด้วยเรซิ่นต่อสลับกันภายใต้ระบบสุญญากาศผ่านขั้นตอนของการอบขึ้นรูปที่อุณหภูมิประมาณ 150-300 องศาเซลเซียสและควบคุมด้วยความดัน 5-10 บาร์ เพื่อต้องการให้เรซิ่นละลายจับตัวกันแน่นลดการเกิดฟองอากาศที่ผิว เนื้องานมีความแน่นสม่ำเสมอ อันจะเป็นผลให้ชิ้นงานที่ได้มีความแข็งแรงมากแต่มีน้ำหนักเบานอกจากความทนทานที่อุณหภูมิสูงแล้วจุดเด่นอันสำคัญอีกประการ คือ ความเหนียวเนื่องจากการเลียนแบบโครงสร้างและคุณสมบัติมาจากเส้นไหมซึ่งทำให้เคฟล่าร์มีความเหนียวกว่าเหล็กประมาณ 5-6 เท่าการใช้งานจึงแพร่หลายมากขึ้นด้วยการถักเป็นเชือกหรือนำมาทอเป็นผืน เพื่อใช้ทำชุดนักแข่งรถ หมวกกันน็อค และรองด้านในของหมวกสำหรับป้องกันแรงกระแทก

รูปที่ 2-6 ผ้าเคฟล่าร์

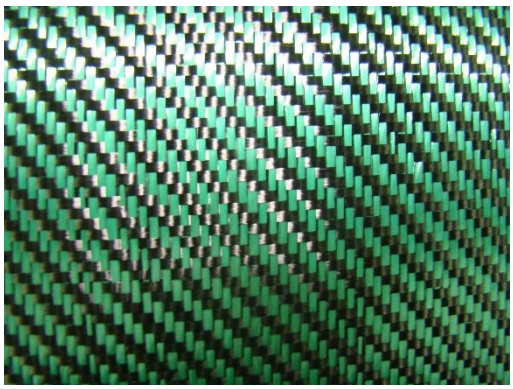
ตารางที่2-3 เปรียบเทียบระหว่าง เคฟล่าร์กับคาร์บอน-ไฟเบอร์

ตารางคุณสมบัติ			
วัสดุ	**เคฟล่าร์**	**คาร์บอน-ไฟเบอร์**	**เหล็ก**
ลักษณะทั่วไป	สีเหลือง	สีดำ	-
คุณสมบัติ	เหนียว	แข็ง	-
ข้อดี	ทนต่อแรงดึง	ทนต่อแรงเค้น	-
ข้อเสีย	อ่อนตัวง่าย	เปราะ	-
Tensile Strength (GPA)	3.6	3.5	1.6
Tensile Modulus (GPA)	60	230	210
Special Strength (GPA)	2.50	2.00	0.17
ความหนาแน่น (g/sq.cm)	1.44	1.75	7.87

2.3.3 คาร์บอน – เคฟล่าร์ (Carbon – Kevlar)

จากตารางการเปรียบเทียบข้างต้นระหว่างเคฟล่าร์กับคาร์บอน-ไฟเบอร์ จะเห็นได้ว่าวัสดุทั้งสองชนิดมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไปนักวิทยาศาสตร์จึงได้มีการคิดค้นและนำเอาข้อดีของวัสดุสังเคราะห์ทั้งสองชนิดนี้มารวมกันโดยนำเอาความแข็งแรงของคาร์บอน-ไฟเบอร์มาผสมกับความเหนียวของเคฟล่าร์แล้วผ่านกรรมวิธีการทอประสานกันจนกลายเป็นคาร์บอน-เคฟล่าร์ทำให้วัสดุที่ได้มีความแข็งแรงและรองรับแรงกระแทกได้ดีมากและนอกจากการทอประสานแล้วการผลิตบางแห่งจะใช้การวางซ้อนทับกันเป็นชั้นๆแล้วเทเรซิ่นทับเพื่อเชื่อมประสานอีกชั้นหนึ่ง จึงทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้นอีก กระบวนการผลิตทั่วไปจะคล้ายกับการผลิตคาร์บอน-ไฟเบอร์แต่จะใช้เรซิ่นชนิด

พิเศษที่ไม่ทำปฏิกิริยากับเส้นใยของเคฟล่าร์และคาร์บอน-ไฟเบอร์เพื่อเชื่อมประสาน ดังนั้นผู้ประกอบการส่วนใหญ่จึงมักจะไม่เปิดเผยถึงข้อมูลกระบวนการผลิต อุณหภูมิการอบ ความดันที่ใช้ตลอดจนระยะเวลาที่ใช้ในการอบเพราะเป็นความรู้เฉพาะบุคคล (Know how) ที่เป็นความลับของบริษัทไม่ต้องการเปิดเผย



รูปที่ 2-7 ผ้าคาร์บอน-เคฟล่าร์

รูปที่ 2-8 การใช้งานคาร์บอน-เคฟล่าร์

2.3.4 เทคนิคอลเทคไท (Technical textile)

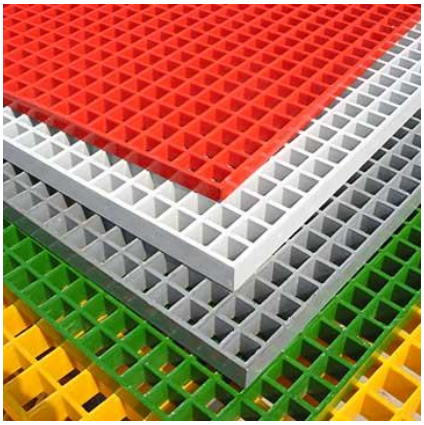
เทคนิคอลเทคไทเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ผลิตขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการใช้สอยเฉพาะทางมากกว่าผลิตขึ้นเพื่อความสวยงามหรือเพื่อการตกแต่งตลาดสิ่งทอชนิดนี้มีอัตราเติบโตโดยเฉลี่ยร้อยละ 4 ต่อปีนับว่าสูงกว่าอุตสาหกรรมสิ่งทอทั่วไปซึ่งเติบโตในอัตราเพียงร้อยละ 1 ต่อปีบริษัทหลายแห่งของประเทศไทยได้หันมาให้ความสนใจกับอุตสาหกรรมเทคนิคอลเทคไท เป็นต้นว่าบริษัทโทเรไนล่อนไทยจำกัดซึ่งเดิมเน้นผลิตเส้นใยป้อนอุตสาหกรรมสิ่งทอทั่วไปแต่ในภายหลังได้หันมาผลิตเส้นใยพิเศษที่พัฒนาขึ้นสำหรับป้อนให้กับอุตสาหกรรมรถยนต์เช่นเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเข็มขัดนิรภัยพรมรถยนต์ผ้าหุ้มเบาะเข็มขัดนิรภัยถุงลมนิรภัยไส้กรองน้ำมันเครื่องไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงไส้

กรองอากาศที่บังแดดรวมถึงเป็นผ้าใบไนลอนหรือผ้าใบโพลีเอสเตอร์สำหรับเป็นวัตถุดิบในการผลิตยางรถยนต์ทั้งนี้ได้มีการคำนวณว่าในรถยนต์แต่ละคันมีปริมาณการใช้เทคนิคอลเทคไทคิดเป็นน้ำหนักโดยเฉลี่ย 10 - 15 กิโลกรัม

รูปที่ 2-9 เทคนิคอลเทคไท

2.3.5 ไฟเบอร์ เรนฟอส พลาสติก (Fiber reinforced plastics)

ไฟเบอร์ เรนฟอส พลาสติกหรือ FAP เป็นวัสดุในกลุ่มของวัสดุคอมโพสิท (วัสดุเชิงประกอบ) ชนิดที่ใช้งานแพร่หลายในอุตสาหกรรมทั้งในวัสดุอปกรณ์กีฬาชิ้นส่วนยานยนต์ อิเล็กทอรนิกส์ เครื่องบิน และยานอากาศ FRP ประกอบด้วยเส้นใยเสริมแรงในพลาสติก ทางเทคนิคเส้นใยจะถูกเรียกว่าวัสดุเสริมแรงและพลาสติกหรือโพลิเมอร์จะถูกเรียกว่าเมตริกซ์หรือส่วนประกอบที่ทำหน้าที่คล้ายกาวเชื่อมประสานเส้นใยให้เป็นรูปร่างตามผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเส้นใยเสริมแรงที่นิยมใช้มีหลายประเภท เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน เส้นใยเคฟลาร์หรือเส้นใยโบรอน และซิคิคอนคาร์ไบด์ พลาสติกที่ใช้ทั่วไปเป็นเทอร์โมเซทซึ่งในกระบวนการผลิตขึ้นรูปมักจะผ่านความร้อน หรือเกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อเปลี่ยนเทอร์โมเซทจากของเหลวเป็นของแข้ง พลาสติกเทอร์โมเซทเช่นโพลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว หรืออีพ็อคซี ฯลฯ



รูปที่ 2-10 ไฟเบอร์ เรนฟอส พลาสติก

2.3 มาตรฐานและวิธีการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน

2.3.1 ข้อจำกัดทางกฎหมาย

เสื้อเกราะกันกระสุนถูกประกาศให้เป็นยุทธภัณฑ์ตามพระราชบัญญัติควบคุมยุทธภัณฑ์ พ.ศ. 2530 และเป็นประกาศกระทรวงกลาโหมเรื่องกำหนดยุทธภัณฑ์ที่ต้องขออนุญาตดังนั้นการมีเสื้อเกราะไว้เป็นของส่วนตัวจึงต้องได้รับอนุญาตครอบครองจากนายทะเบียนตามกฎหมาย ในปัจจุบันเสื้อเกราะกันกระสุนเป็นสิ่งจำเป็นในพื้นที่การปฏิบัติราชการที่มีความเสี่ยงสูงเช่นเขตพื้นที่สามจังหวัดชายแดนภาคใต้ การขออนุญาตครอบครองเสื้อเกราะกันกระสุนนั้นสามารถยื่นขออนุญาตหรือให้หน่วยงานที่รับผิดชอบประสานงานที่กองควบคุมยุทธภัณฑ์และพัฒนาอุตสาหกรรม ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหารเลขที่ 76 กรมการอุตสาหกรรมทหารสี่แยกเกียกกาย ถนนทหาร เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร ซึ่งจะมีหน้าที่ควบคุมยุทธภัณฑ์ในการสั่งเข้าหรือนำเข้าและการครอบครองตลอดจนควบคุมการส่งออกไปนอกราชอาณาจักรซึ่งอาวุธภัณฑ์และสิ่งที่ใช้ในการสงครามตามพระราชบัญญัติควบคุมยุทธภัณฑ์ กระทรวงกลาโหมจะรับผิดชอบควบคุมรัฐวิสาหกิจและส่วนราชการอื่นๆยกเว้นหน่วยงานทหารและตำรวจในการขออนุญาตมีเสื้อเกราะกันกระสุน มีอาวุธปืนเครื่องกระสุนปืน และวัตถุระเบิดไว้ในครอบครองตามนโยบายของทางราชการ

2.3.2 มาตรฐานการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนของเอ็นไอเจ

เอ็นไอเจ (United States National Institute of Justice) อยู่ภายใต้พระราชบัญญัติการครอบครองเสื้อเกราะกันกระสุนของกระทรงยุติธรรม (U.S. Department) สหรัฐอเมริกาเริ่มก่อตั้งตั้งแต่ปี 1998 ได้ทำการทดสอบและทำการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในการค้นหาวัสดุใหม่รวมถึงวิธีการใหม่เพื่อนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์เสื้อเกราะกันกระสุน โดยการพัฒนาในแต่ละครั้งจะกำหนดมาตรฐานภายใต้ชื่อ NIJ Standard-0101 แล้วตามด้วยหมายเลขการพัฒนาเช่น NIJ Standard-0101.03 และ NIJ Standard-0101.04 ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาถึง NIJ Standard-0101.06 ในการพัฒนามาตรฐานแต่ละครั้งจะทำการกำหนดมาตรฐานวิธีการทดสอบอย่างชัดเจน การประเมินระดับของเสื้อเกราะกันกระสุนจึงจำเป็นต้องทำการทดสอบโดยการยิงด้วยกระสุนจริง และเป็นกระสุนปืนที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป ส่วนการยิงทดสอบสามารถยิงจากปืนธรรมดาหรือจากแท่นยิงสำหรับในทาง

ปฏิบัติจะนิยมยิงจากแท่นทดสอบมากกว่าปืนธรรมดา เนื่องจากการยิงด้วยแท่นยิงทดสอบจะใช้ลำกล้องปืนที่มีความยาวมาตรฐานทำให้ได้ความเร็วถูกต้องตามตารางการทดสอบ นอกจากนั้นการยิงด้วยแท่นยิงทดสอบยังเป็นการยิงในห้องปฏิบัติการซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นซึ่งจะได้ผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือมากขึ้นการกำหนดมาตรฐานเสื้อเกราะกันกระสุนให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ใช้เป็นเรื่องที่ละเอียดอ่อน เพราะจะมีการกระทบต่อผู้ประกอบการรายต่างๆที่ผลิตและจำหน่ายเสื้อเกราะกันกระสุนอย่างมาก ดังนั้นในแต่ละประเทศจะมีมาตรฐานการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนของตัวเอง โดยส่วนมากจะอยู่ภายใต้การควบคุมของกระทรวงกลาโหมของประเทศ เช่น เอ็นไอเจ ของประเทศสหรัฐอเมริกา เอช โอ เอส ดี บี (Home office scientific development branch (HOSDB)) ของประเทศอังกฤษ ประเทศไทยใช้มาตรฐานยุทโธปกรณ์กระทรวงกลาโหม (กมย.กห.)ว่าด้วยเกราะกันกระสุนและมาตรฐานอื่นๆแต่การทดสอบตามมาตรฐานเอ็นไอเจถือว่าเป็นมาตรฐานที่นิยมใช้กันกว้างขวางมากที่สุด

ตารางที่ 2-4 มาตรฐาน NIJ Standard-0101.06 ของการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน

ระดับ	รูป	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		กระสุนเจาะเกราะ ขนาด 30-06 หรือ แบบ M2 AP ของ กองทัพอเมริกา	10.8 g	166 gr	878 m/s	2880 ft/s
[รวมไปถึงป้องกันกระสุนในระดับ Types I, IIA, II, IIIA และ III].						

2.3.3 มาตรฐานการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนของกระทรวงกลาโหมประเทศไทย

มาตรฐานยุทโธปกรณ์กระทรวงกลาโหม (กมย.กห.)ว่าด้วยเกราะกันกระสุนซึ่งได้แปลวิเคราะห์ ประยุกต์ และเรียบเรียงให้เหมาะสมกับประเทศไทยโดยอิงมาตรฐาน U.S. NIJ.0101.04 และทำการปรับให้เหมาะสมกับอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของไทยเป็นหลักในคราวประชุมครั้งที่ 4/47 เมื่อ 25 ส.ค. 47 และครั้งที่ 5/47 เมื่อ 1 ก.ย. 47 ได้พิจารณามีมติเห็นชอบให้การรับรองมาตรฐานเสื้อเกราะกันกระสุนเป็นมาตรฐานยุทโธปกรณ์กระทรวงกลาโหมโดยสามารถจำแนกตามระดับความสามารถในการกันกระสุน ปืนได้เป็น 6 ระดับ

ระดับที่ 1 เป็นระดับที่สามารถกันกระสุนที่เป็นภัยคุกคามที่มีหัวกระสุนขนาด .22LR และ.380ACP ได้

ระดับที่ 2A สามารถป้องกันกระสุนในขนาด 9 ม.ม. พาราฯ, .40 S&W,.45 ACP และระดับ 1 ได้

ระดับที่ 2 เสื้อเกราะแบบมาตรฐานใช้กันอย่างกว้างขวางทั่วโลกเป็นเสื้อเกราะมาตรฐานของเจ้าหน้าที่ตำรวจสหรัฐ กันกระสุนได้เกือบทุกชนิดยกเว้นกระสุนปืนพกที่มีอำนาจการทะลุทะลวงสูง

ระดับที่ 3A เป็นระดับที่สามารถกันกระสุนปืนพกโดยทั่วไปได้เป็นเสื้อเกราะที่ออกแบบโดยการรวมคุณสมบัติการป้องกันกระสุนและป้องกันการเสียบแทงด้วยวัตถุมีคมเข้าด้วยกันสามารถป้องกันวัตถุมีคมได้ทุกชนิดที่มีแรง ไม่เกิน 81.2 ฟุต/ปอนด์

ระดับที่ 3 เสื้อเกราะชนิดพิเศษถูกออกแบบมาเพื่อป้องกันกระสุนปืน 44 แมกนั่ม รีวอลเวอร์ซึ่งโดยปกติ กระสุนชนิดนี้สามารถทะลุทะลวงผ่านเสื้อเกราะคุณภาพต่ำได้นอกจากนี้ยังสามารถกันกระสุนความเร็วสูงจำพวกกระสุนปืนพกและปืนกลเบาขนาด 9 มิลลิเมตรได้ดี

ระดับที่ 4 เสื้อเกราะชนิดนี้ถูกออกแบบมาสามารถกันกระสุนปืนเล็กยาวชนิดเจาะเกราะขนาด 30-40 และที่รุนแรงน้อยกว่าทั้งหมด

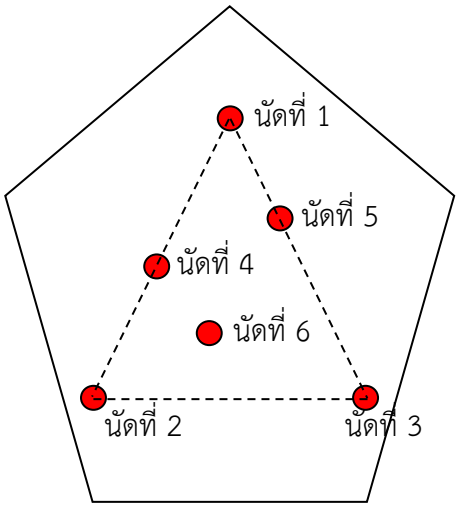
2.3.4 หลักเกณฑ์การยิงทดสอบ

2.3.4.1 การเตรียมเสื้อเกราะกันกระสุนก่อนการยิงทดสอบ

เสื้อเกราะกันกระสุนที่นำมายิงทดสอบจะต้องไม่ใช่เสื้อเกราะที่ผู้ผลิตจัดเตรียมไว้สำหรับการทดสอบโดยเฉพาะ แต่จะทำการสุ่มทดสอบจากคลังที่มีทั้งหมด และก่อนการยิงทดสอบเสื้อเกราะจะต้องอยู่ในสภาพที่เปียกชื้น โดยจะทำการพ่นฝอยน้ำให้มีลักษณะคล้ายฝนตกในปริมาณตามที่กำหนด ซึ่งในปัจจุบันผู้ใช้งานได้ให้ความสำคัญกับการเตรียมก่อนการยิงทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนมากขึ้น FBI กระทรวงยุติธรรม สหรัฐอเมริกา ได้ริเริ่มปรับปรุงมาตรฐานการทดสอบขึ้น โดยเพิ่มขั้นตอนการเตรียมเสื้อเกราะก่อนการยิงทดสอบให้มีความใกล้เคียงกับเสื้อเกราะกันกระสุนที่ผ่านการใช้งานจริงมาแล้ว โดยกำหนดให้อบเสื้อเกราะกันกระสุนในเครื่องอบที่มีความร้อนสูงและมีความชื้นสูงเป็นเวลาหลายชั่วโมงและยังต้องนำไปปั่นในถังหมุน (Tumbling generation) ก่อนการยิงทดสอบ

2.3.4.2 การยิงทดสอบ

การยิงทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน จะทำการยิงครั้งละ 6 นัด ตามตำแหน่งในภาพ และจะต้องทำการวัดความเร็วกระสุนพร้อมกันไปด้วย โดยใช้เครื่องวัดความเร็วกระสุน 2 เครื่อง เพื่อหาค่าเฉลี่ย สำหรับเครื่องวัดกระสุนนั้นสามารถใช้ได้ทั้งแบบฉากแสง (Photo electric screens) และแบบเรดาห์ (Ballistics radar)



รูปที่ 2-11 ลำดับการยิงทดสอบจำนวน 6 นัด

ตารางที่ 2-5 หลักเกณฑ์ที่ใช้ทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน

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

2.3.4.3 การเพิ่มขั้นตอนพิเศษ

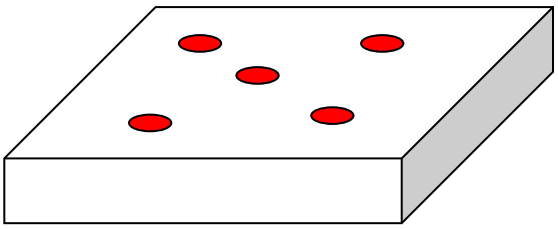
การทดสอบตามมาตรฐาน NIJ - 0101 04 เป็นการทดสอบขั้นพื้นฐานแต่ในการจัดหาเสื้อเกราะกันกระสุนที่ใช้ในทางทหารหน่วยงานที่จัดหาอาจจะกำหนดให้เพิ่มขั้นตอนการทดสอบที่สามารถต่อต้านต่อภัยคุกคามที่คาดว่ากำลังพลฝ่ายเราจะต้องพบได้เช่นในพื้นที่ 3จังหวัดภาคใต้จะมีการใช้ ปลย. เอ็ม 16เอ 1 และ เอเค 47 กับระเบิดสังหาร แต่ยังไม่พบว่ามีการใช้กระสุนเจาะเกราะดังนั้นในการจัดหาเสื้อเกราะกันกระสุน ก็ไม่มีความจำเป็นที่จะหัดหาเสื้อเกราะที่เผชิญภัยคุกคามในระดับ 4 ใช้เสื้อเกราะป้องกันกระสุนปืนระดับ 3 (กปล. 7.62 ม.ม. ความเร็ว 2.780 ฟุต/วินาที) แต่ก็อาจป้องกันกระสุนแกนตะกั่วหุ้มด้วยทองแดงได้ไม่เพียงพอ ดังนั้นในการจัดหาจึงอาจกำหนดให้เป็นเสื้อเกราะกันกระสุนในระดับ 3 แล้วเพิ่มขีดความสามารถให้สามารถป้องกันสะเก็ดระเบิด, กระสุน 5.56 ม.ม. แบบเอ็ม 193 และกระสุน เอเค 47 ขนาด 7.62 × 39ม.ม. ได้ สำหรับการทดสอบการป้องกันสะเก็ดระเบิดจะนิยมใช้วิธีจำลองสะเก็ดระเบิดด้วยการยิงแท่งเหล็กน้ำหนัก 17 เกรน เป็นรูปท่อนกลมตันมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.4 ม.ม. ส่วนหน้าปาดมุมให้แหลมคม ส่วนท้ายอัดหัวให้บานขึ้นเป็นทรงกรวยขนาด 5.7 ม.ม. เพื่อให้รีดกับเกลียวลำกล้องปืน แล้วบรรจุในปลอกกระสุนปืนขนาด 5.56 ม.ม. ให้ได้ความเร็วประมาณ 2,230 ฟุต/วินาที

2.3.4.4 การทดสอบการยุบตัวของแผ่นวัสดุของเสื้อเกราะ

เกณฑ์ในการประเมินการทดสอบการยุบตัวของแผ่นวัสดุของเสื้อเกราะจะพิจารณาจากการหยุดยั้งหัวกระสุนไม่ให้ทะลุผ่านเสื้อเกราะและการยุบตัวของเสื้อเกราะที่อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยข้อพิจารณาที่สำคัญที่สุดก็คือหัวกระสุนจะต้องไม่ทะลุผ่านเสื้อเกราะออกไป นั้นจึงหมายถึงการดูดซับพลังงานทั้งหมดของหัวกระสุนเอาไว้ได้ 100% แต่ยังคงมีอันตรายที่เกิดจากหัวกระสุนดันเสื้อเกราะให้เกิดการยุบตัวเข้าไปกระแทกอวัยวะสำคัญ เช่น กระดูกสันหลัง หรือศูนย์รวมประสาทอื่นๆ ดังนั้นในมาตรฐานการทดสอบจึงกำหนดไว้ว่าเสื้อเกราะจะยุบตัวเข้าไปได้ไม่เกินกว่า 44 ม.ม.

ในการตรวจพิสูจน์ว่ารอยยุบตัวที่เกิดขึ้นเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ จะใช้วิธีการยึดเสื้อเกราะเข้ากับวัสดุหนุนรองซึ่งเป็นดินสำหรับงานปั้นประติมากรรม สำหรับในปัจจุบันจะใช้ดินสังเคราะห์ (Roma plastilina No.1) ซึ่งมีเสถียรภาพดีกว่าดินธรรมชาติ ช่วยให้การทดสอบดำเนินไปโดยสะดวก ราบรื่น ไม่ติดขัด ไม่ต้องคอยปรับอุณหภูมิและความชื้นเพื่อให้ดินอ่อนแข็งพอเหมาะ ดินที่ใช้เป็นวัสดุหนุนรองจะบรรจุในกระบะ ที่มีขนาดบรรจุ 610× 610 ×140 มม. เมื่อถูกยิงหัวกระสุนจะดันเสื้อเกราะเข้าไปเกิดเป็นรอยยุบตัวถาวรทำให้ตรวจวัดได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และสามารถปรับแต่งรูปร่างเพื่อนำกลับมาใช้เป็นวัสดุหนุนรองสำหรับการยิงทดสอบซ้ำได้อีกครั้ง

มาตรฐาน U.S. NIJ.0101.04ได้กำหนดให้ทำการตรวจสอบความแข็งของวัสดุหนุนรองด้วยการใช้ลูกเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5 มม. (น้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม) ทิ้งจากระยะความสูง 2 เมตร จำนวน 5 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานคือ 19 มม.±2 มม.



รูปที่ 2-12 การตรวจวัดความแข็งของวัสดุหนุนลองเสื้อเกราะกันกระสุน จำนวน 5 ครั้ง

2.4 การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่า

ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ต้องคำนึงถึงความต้องการของบุคคล 2 ฝ่ายคือ ผู้บริโภคและผู้ผลิต ดังนั้นผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์จึงต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ 8 ประการ ดังต่อไปนี้ที่มา

2.4.1 สมรรถนะ

สมรรถนะเป็นสิ่งที่สำคัญและเป็นพื้นฐานที่สุดคุณภาพผลิตภัณฑ์คือ การประเมินระดับสมรรถนะเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคพึงประสงค์ที่จะให้ผลิตภัณฑ์ทำงานได้สำเร็จถูกต้อง สมรรถนะเป็นสิ่งที่สามารถวัดได้ ก่อนตัดสินใจพัฒนาสมรรถนะของผลิตภัณฑ์ให้ไปในแนวทางใด และระดับไหน มิฉะนั้นจะเสียเวลาเปล่าอ่านทำให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์ล่าช้ากว่าคู่แข่ง

2.4.2 ความมั่นใจได้

ผู้บริโภคมุ่งหวังผลิตภัณฑ์ที่ซื้อสามารถทำงานได้โดยไม่เสียในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบมาไม่ดี มีการเสียเกิดขึ้น ผู้บริโภคต้องเสียเวลา เสียค่าใช้จ่าย เสียอารมณ์ บางครั้งอาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้เองด้วย ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกรณีนี้ไม่ใช่มีแต่เฉพาะค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ที่เสียเท่านั้น ยังอาจมีค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น อุปกรณ์ที่ต้องพลอยเสียไปด้วย การเสียโอกาสในการดำเนินธุรกิจ เป็นต้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่จะออกสู่ตลาด ควรผ่านขั้นตอนการตรวจสอบต่าง ๆ เพื่อสร้างความมั่นใจต่อผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์ที่มีชิ้นส่วนมาก ๆ ชิ้นส่วนที่สลับซับซ้อน มีโอกาสเสียได้ง่าย จึงควรออกแบบให้มีชิ้นส่วนน้อยที่สุด เพื่อลดโอกาสการเสียน้อยลง

2.4.3 ซ่อมแซมได้ง่าย

เมื่อผลิตภัณฑ์เสีย การซ่อมแซมได้ง่ายแล้วสามารถใช้งานได้ดีเหมือนเดิมเป็นสิ่งที่มีคุณค่ามาก ถ้าผู้ออกแบบไม่คำนึงถึงความยากลำบากในการซ่อมแซมก็จะเป็นภาระแก่ผู้บริโภคเป็นอย่างมาก เสียเวลาด้วย การออกแบบจึงควรคำนึงถึงด้วยว่าชิ้นส่วนใดที่เสียได้ง่าย ต้องออกแบบให้สามารถถอดเปลี่ยนได้สะดวก ไม่ต้องซื้อชิ้นส่วนอื่นอีกมากมายเพื่อให้เข้าถึงชิ้นส่วนที่จะเปลี่ยน เพราะการรื้อออกแล้วเปลี่ยนเข้าไปใหม่ นอกจากจะเสียเวลาแล้วยังอาจทำให้ชิ้นส่วนที่ไม่เสีย พลอยเสียไปด้วย

2.4.4 ความประทับใจเมื่อได้เป็นเจ้าของ

ถ้าออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สะดุดตา ให้ประทับใจเมื่อเห็นเครื่องและใช้งานได้สะดวกคล่องแคล่ว ก็เพิ่มความเชื่อถือให้แก่ผู้บริโภคอย่างเป็นเจ้าของการออกแบบเพื่อให้เกิดความประทับใจแก่ผู้พบเห็น ควรพิจารณาปัจจัยเพิ่มเติมดังนี้

2.4.4.1 รูปร่าง ให้มีรูปร่างสวยงามเข้ากับสมัยนิยมกลมกลืนกับผลิตภัณฑ์อื่นที่ผู้บริโภคต้องใช้ร่วมกัน

2.4.4.2 วัสดุ เลือกวัสดุที่ดูสวยงามตามสมัยนิยม ขณะเดียวกันก็มีคุณสมบัติตามความต้องการในการใช้ผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปง่าย

2.4.4.3 เลือกสี ใช้สีให้เหมาะกับผู้บริโภคส่วนใหญ่ หรือมีหลากสีให้เลือก

2.4.4.4 เนื้อผิว จัดทำเนื้อผิวให้สะดุดตา ทำความสะอาดได้ง่าย ทำให้ใช้งานสะดวก ไม่เมื่อยล้า ออกแบบให้ใช้งานง่าย ไม่ต้องเสียเวลาในการศึกษาวิธีการใช้ผลิตภัณฑ์นาน โอกาสการใช้งานผิดพลาดน้อยลง

2.4.5 ความปลอดภัย

ผู้บริโภคคำนึงถึงความปลอดภัยมากขึ้น มีกฎหมายต่าง ๆ ออกมาบังคับอีกต่างหาก ผู้ออกแบบจึงต้องมีความรับผิดชอบในด้านความปลอดภัยของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ด้วย ต้องวิเคราะห์ว่าการใช้งานนั้นอาจมีอุบัติเหตุใดเกิดขึ้นได้บ้าง ควรหาทางป้องกันไว้ก่อน ขณะเดียวกันต้องมีการเตือนให้ผู้ใช้ระมัดระวังอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ บอกวิธีป้องกันหรือแก้ไขให้ด้วย นอกจากนี้สิ่งใดที่มีกฎหมายบังคับก็ต้องทำให้เป็นไปตามกฎหมายนั้น ๆ

2.4.6 ค่าใช้จ่าย

ค่าใช้จ่ายสำหรับผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยที่สำคัญมากที่ต้องพิจารณาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ค่าใช้จ่ายนี้ไม่เพียงแต่ค่าใช้จ่ายของผู้บริโภคที่นำผลิตภัณฑ์นี้ไปใช้งานเท่านั้นแต่รวมไปถึงค่าใช้จ่ายของผู้ผลิตในการผลิตตัวนี้ขึ้นมา การออกแบบที่ดีจะต้องทำให้ทั้งสองฝ่ายประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากที่สุด ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงสภาพการผลิต และการใช้งานว่ามีค่าใช้จ่ายส่วนใดเกี่ยวข้องบ้าง จะลดได้อย่างไร โดยไม่กระทบกระเทือนต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์บางอย่างถ้าออกแบบเป็นที่พอใจของผู้บริโภคอาจขายราคาแพงได้ ผู้ผลิตได้กำไรสูง แต่ในทางตรงข้ามถ้าออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพสูงเกินความต้องการของผู้บริโภค ผู้บริโภคอาจมองไม่เห็นประโยชน์ในจุดนี้ ก็จะเป็นต้นทุนการผลิตโดยไม่จำเป็น อาจขายราคาสูงไม่ได้ทำกำไรลดลงหรืออาจขาดทุนได้

2.4.7 ความทันสมัย

ผลิตภัณฑ์ที่ประสบความสำเร็จนอกจากมีจุดอ่อนน้อยที่สุดแล้วยังต้องออกสู่ตลาดให้ได้ในเวลาที่เหมาะสมอีกด้วย การออกสู่ตลาดของผลิตภัณฑ์เร็วเกินหรือช้าเกินไป อาจเป็นผลเสียต่อตัวผลิตภัณฑ์เอง นอกจากนี้ความทันสมัยของผลิตภัณฑ์ยังทำให้ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์นั้นรู้สึกได้ เป็นคนทันสมัย เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบมือถือ เมื่อออกสู่ตลาดใหม่ ๆ มีผู้นิยมมาก นอกจากสามารถนำมาใช้ในงานได้สะดวก ยังแสดงให้เห็นว่าผู้ใช้เป็นผู้มีฐานะและทันสมัย แม้ค่าใช้จ่ายค่อนข้างแพงก็ตาม

2.4.8 การผลิตได้ง่าย

ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบใหม่ควรผลิตได้ง่าย ทำให้ไม่เสียเวลาและค่าใช้จ่ายปัจจุบันผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตมักมีความสลับซับซ้อนมาก การออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อให้ผลิตได้ง่าย จึงต้องอาศัยทีมงานจากหลาย ๆ ฝ่ายมาช่วยกันให้ความคิดเห็นในตอนออกแบบทั้งจากฝ่ายผลิต ฝ่ายจัดซื้อ ฝ่ายซ่อมบำรุง การออกแบบต้องคำนึงถึงประโยชน์ใช้สอย ความประหยัด เทคโนโลยีการผลิตที่มีอยู่ ข้อจำกัดต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่ใช้ผลิต ขณะออกแบบต้องคำนึงถึงด้วยว่า เมื่อผลิตจริงต้อง

ทำได้ง่ายและไม่มีปัญหา เคล็ดลับอย่างหนึ่งของการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ผลิตได้ง่าย คือ ออกแบบให้มีชิ้นส่วนน้อยที่สุดพิกัดความเผื่อของแต่ละชิ้นส่วนต้องไม่มากหรือน้อยเกินไป

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2008 Lou, Ching-Wen และคณะ ได้ทำวิจัยเรื่องลักษณะและผลที่เกิดจากแรงกระแทกของกระสุนปืนต่อวัสดุยางกันกระแทกที่ทำจากใยสังเคราะห์ และยางสังเคราะห์คลอโรพรีน (Chloroprene)เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุต้านกระสุนเจาะทะลุสูง วัสดุยางสังเคราะห์คลอโรพรีนเป็นยางที่สังเคราะห์จากมอนอเมอร์ของคลอโรพรีน มีสมบัติคล้ายยางธรรมชาติ ทนไฟ ทนต่อสารเคมีและน้ำมัน จากผลการทดสอบด้วยกระสุนปืนพบว่าวัสดุชนิดนี้สามารถรับและส่งถ่ายพลังงานหลังจากถูกกระแทกได้ดี การเสียรูปของดินน้ำมันจากแรงกระแทกในระหว่างการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับดังนั้นการนำยางสังเคราะห์คลอโรพรีนไปใช้งานด้านหน้าร่วมกับผ้าเคฟล่าร์ สามารถเพิ่มความยืดหยุ่น ลดการเปลี่ยนรูป และลดความเสียหายได้

ในปีเดียวกัน Tham, C. Y. และคณะ ทำการวิจัยถึงผลกระทบของหมวกนิรภัย เคฟลาร์ (R) ด้วยการทดลองจริงและแบบจำลอง โดยแบบจำลอง 3D ใช้โปรแกรม AUTODYN - 3D(R)เพื่อเก็บผลด้านการพุ่งชนและผลกระทบที่เกิดขึ้นประกอบกับการถ่ายภาพด้วยความเร็วสูงการทดลองใช้ปืนอัดแก๊สยิงทดสอบที่ความเร็ว 205 เมตรต่อวินาที (น้ำหนัก 11.9 กรัม)บนหมวกนิรภัย เคฟลาร์ (R) เปรียบเทียบกับโปรแกรม AUTODYN - 3D (R) ผลการทดลองปรากฏว่าการทดลองจริงและการใช้แบบจำลองมีความสอดคล้องกัน จากนั้นใช้โปรแกรมแบบจำลองทดสอบหมวกนิรภัยเคฟลาร์ (R) ยี่ห้อ STD 0,106.01 Type II และ V - 50 พบว่าทั้ง 2 ชนิดสามารถรับความเร็วกระสุนได้ที่ 358 ตารางเมตร / วินาที (กระสุนหัวเต็ม 9 ม.ม.) จึงจะเกิดการทะลุ ส่วนหมวกกองกำลังทหารสหรัฐ (PASGT)MIL - H - 44099A. สามารถรับแรงกระสุนได้ที่ความเร็ว 610 เมตรต่อวินาที

ในปีเดียวกัน Lin Chia-Chang และคณะ ทำการวิจัยเสื้อเกราะกันกระสุนจากตาข่ายสแตนเลสผสมกับใยสังเคราะห์ เพื่อศึกษาพลังงานกระสุนปืนต่อโครงสร้างตาข่ายสแตนเลส โดยการใช้ตาข่ายสแตนเลสแบบถี่ละเอียดสองชั้นประกอบกับผ้าใยสังเคราะห์ชนิดไม่ถักท่อ (Nonwoven Fabric) ประกบเข้าด้วยกันเปรียบเทียบกับผ้ากันกระสุนเคฟล่าร์ การทดสอบสรุปว่าตาข่ายสแตนเลสผสมกับผ้าใยสังเคราะห์ชนิดไม่ถักท่อมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับผ้าเคฟล่าร์ แต่มีราคาที่ถูกกว่าผ้ากันกระสุนเคฟล่าร์

และในปีเดียวกันนี้ Li X., Cao และคณะ ก็ได้ทำการวิจัยวัสดุชนิดใหม่เพื่อใช้ทำวัสดุเกราะกันกระสุนเพื่อป้องกันส่วนลำตัวของทหารรวมทั้งคอและข้อต่อต่างๆ วัสดุชนิดใหม่นี้ทำจากผ้าเคฟล่าร์และของไหลแบบเชียร์ทิคเคนนิ่ง (Shear Thickening Fluid (STF)) ประกอบกับซิลิกาคอลลอยด์ (Colloidal Silica) โดยวิธีการสังเคราะห์แบบสโตเบอร์(Stober)แล้วใช้ตัวทำละลายของโพลีเอธเทอ

รีน ไกลคอน 200 (Polyethylene Glycol 200) ใช้ชื่อว่านาโนคอมพอสิต STF-เคฟล่าร์คุณสมบัติของนาโนคอมพอสิต STF-เคฟล่าร์ได้เปรียบเทียบกับผ้าเคฟล่าร์ พบว่านาโนคอมพอสิต STF-เคฟล่าร์มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นมีความเหนียวและยืดหยุ่นมากขึ้น

ต่อมาในปี 2009L.A. Dobrzanski และคณะ ได้วิจัยวัสดุคอมโพสิตในกลุ่มผ้าอะรามิด-ซิลิกอนเพื่อใช้ในทางการแพทย์ โดยในการออกแบบเส้นใยอะรามิด-ซิลิกอนจะเป็นระบบเมทริกแล้วเคลือมผิวด้วยซิลิโคนหลังจากนั้นใช้วิธีการชุบแข็งด้วยความร้อน ผลการศึกษาพบว่าเทคโนโลยีการผลิตเบื้องต้นของวัสดุอะรามิด-ซิลิกอนผ่านการเคลือบผิว สามารถให้ความความยืดหยุ่นสูง ช่วยให้สามารถนำมาใช้ในทางการแพทย์ได้ เช่น หลอดอาหารเทียม

ในปีเดียวกัน Grujicic, M. และคณะ ได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเสื้อเกราะกันกระสุนจากวัสดุน้ำหนักเบาตระกูลคอมโพสิต-ไฮบริด ได้แก่ คาร์บอน-ไฟเบอร์เสริมอีพ็อกซี (CFRE) และอีพ็อกซี่เสริมใยเคฟล่าร์ (KFRE) ที่ความหนาแตกต่างกัน โดยทดสอบยิงด้วยกระสุนจริงแล้วทำการวิเคราะห์ความยืดหยุ่นของวัสดุ พฤติกรรมการเกิดแรงกระแทก และคลื่นการสะท้อนกลับ ผลการทดลองพบว่าการใช้วัสดุ CFRE ไว้ด้านนอกซ้อนกับ KFRE ด้านในของเกราะสามารถต้านทานความเสียหายได้ดี

ต่อมาในปี 2010 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 เมตรต่อวินาทีผลการทดลองพบว่าขั้นตอนการเปลี่ยนรูปผ้าเกิดขึ้นในทิศทางระนาบของโครงสร้างพลังงานของกระสุนจะดึงให้ผ้าเกิดการจีบจากชั้นนอกและถูกดันจีบเข้าไปภายในแล้วเส้นด้ายจึงขาด ระดับการดูดซับพลังงานของโครงสร้างที่มีการเย็บจะรับพลังงานได้สูงกว่าโครงสร้างที่ไม่มีการเย็บเนื่องมาจากบางส่วนของพลังงานถูกดูดซับไปและถูกล็อคโดยเส้นด้ายที่ เย็บนั้น นอกจากนี้ความลึกรูปทรงกรวยจากการจีบภายเข้าด้านในของผ้าที่ทำการเย็บต่ำกว่าเมื่อเทียบกับของโครงสร้างไม่มีการเย็บ

และ Lee, H. P. และ Gong, S. W.ใช้การสร้างแบบจำลอง (ไฟไนท์เอลิเมนท์) สำหรับการประเมินผลประสิทธิภาพการป้องกันของหมวกนิรภัยกันกระสุนเพื่อศึกษาผลกระทบของกระสุนกับ

แบบจำลองศีรษะมนุษย์โดยใช้หมวกนิรภัยเคฟล่าร์ (R) กองกำลังทหาร ใช้กระสุนปืนโลหะเต็มแบบ FMJ และ FSP การจำลองผลว่าบริเวณที่ได้รับแรงกระทบมากคือหน้าผากและด้านข้างและจากผลการทดลองพบว่าหมวกนิรภัยเคฟล่าร์ (R) ที่มีไนลอนภายในไม่สามารถป้องกันกระสุนแบบ FMJ ได้ ถึงแม้การทดลองกระสุนจะไม่ทะลุหมวกแต่แรงกระแทกอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บที่ศีรษะและอาจถึงแก่ชีวิตได้ ส่วนการทดลองแรงกระแทกในหมวกกันน็อคเคฟล่าร์จะมีส่วนด้านข้างที่มีพื้นที่ว่างสำหรับรับแรงและการเสียรูปจึงทำให้เกิดการบาดเจ็บศีรษะรุนแรงน้อยลง

และ Soykasap, O. และ Colakoglu, M. ทำการวิจัยถึงสมรรถนะของเสื้อเกราะกันกระสุนสำหรับทหารจากเคฟลาร์ 29 ผสมไฟเบอร์ภายใต้การใช้งานที่มีอุณหภูมิ ฤดูกาล และสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันซึ่งเป็นตัวส่งผลต่อคุณภาพเสื้อเกราะกันกระสุนนั้น การทดสอบได้จำลองภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่แตกต่างกัน สภาวะเปียกแบบหมาดๆด้วยกระสุนขนาด 9 มม. FMJ ซึ่งผลการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ในปี 2543 พ.ต.ทรงพล เอี่ยมบุญฤทธิ์ ร่วมกับ สกว. และสำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงกลาโหม ทำการวิจัยเกี่ยวกับเสื้อเกราะบางระจันโดยได้นำแผ่นเหล็กที่ประกอบอยู่ในเสื้อเกราะต้นแบบมาทำการชุบเคลือบด้วยเทคนิคพิเศษ เพื่อให้มีคุณสมบัติเป็นเหล็กกันกระสุนได้ ผลการทดสอบสามารถป้องกันกระสุนขนาด .357 กระสุนเจาะเกราะได้ มีระดับป้องกัน ระดับ 3A ตามมาตรฐาน NIJ มีราคาเพียง 1 ใน 5 ของเสื้อเกราะจากอเมริกา แต่มีน้ำหนักมากกว่าตัวต้นแบบจากอเมริกา 2 กก.

ในปี 2548 สำนักงานการอาชีวศึกษาร่วมกับสำนักวิจัยและพัฒนาการทหารกระทรวงกลาโหม จัดทำเสื้อเกราะกันกระสุนที่ผลิตขึ้นจากโลหะสแตนเลส 304 ขนาด 12×12 นิ้ว ความหนา 2 ม.ม. และ อะลูมิเนียม ความหนา 2 ม.ม. รวมความหนา 4 ม.ม. และยึดแผ่นโฟมที่มีความเหนียวและอ่อนตัวเพื่อช่วยกันการกระแทกทั้งด้านหน้าและด้านหลังจากนั้นทำแผ่นเกราะข้างลำตัวด้วยวิธีเดียวกันแต่มีขนาดเล็กกว่าและขนาด 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 2550 พ.ต.ต.กฤษฎากรเชวงศักดิ์โสภาคย์ [สบ.3 วิทยาการจังหวัดตาก ได้จัดทำเสื้อเกราะพระเจ้าตาก โดยได้นำฟิล์มเอกซ์เรย์มาประกอบทำเสื้อเกราะกันกระสุนจากการทดสอบคุณภาพของเสื้อเกราะกันกระสุนโดยใช้แผ่นฟิล์มเอกซเรย์ 200 แผ่นนำมาเรียงซ้อนอัดกันจนแน่นใส่แผ่นอะลูมิเนียมด้านหน้าเกราะกันกระสุน และใส่แผ่นสแตนเลสด้านหลัง ผลทดสอบอยู่ในระดับ 2A ตามมาตรฐานการทดสอบ NIJ Standard 0101.04 กระสุนขนาด .38 สเปเชี่ยว9 มม. 11 มม..357

แมกนั่ม .357 เจาะเกราะ. 38 ซุปเปอร์.44 แมกนั่มและเล็กยาว M16 A1 น้ำหนักประมาณ 4 กิโลกรัม

และในปีเดียวกัน สมประสงค์ภาษาประเทศ และคณะได้ทำการศึกษาการผลิตเสื้อเกราะกันกระสุนจากใยประดิษฐ์เพื่อนำไปใช้ผลิตในเชิงพาณิชย์ โดยใช้เส้นใยโพลีเอสเตอร์ เส้นใยไนลอน 66 และเส้นใยพอลีเอทิลีนความแข็งแรงสูง แล้วทำการเคลือบสาร Shear Thickening Fluids น้ำหนัก 803+50 กรัม จำนวน 40 ชั้น/ตารางฟุต ในสภาวะเปียก จากผลการทดสอบได้ระดับ 2A ตามมาตรฐาน NIJ กระสุนขนาด .45ACP FMJ และค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ (Back Face Signature) หรือรอยยุบตัวของดินน้ำมันไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนผ้าทอที่เคลือบสาร Shear Thickening Fluids และผ้าชนิดอื่นไม่สามารถป้องกันกระสุนดังกล่าวได้ น้ำหนักประมาณ 4-4.5 กิโลกรัม ต้นทุนการผลิตตัวละ 2 หมื่นบาท

และในปีเดียวกัน สำนักงานการอาชีวศึกษาร่วมกับสำนักวิจัยและพัฒนาการทหารกระทรวงกลาโหมจัดทำเสื้อเกราะกันกระสุนรักแผ่นดินที่ผลิตขึ้นจากโลหะสแตนเลส 304 ขนาด 12× 12 นิ้ว ความหนา 2 มม. และอะลูมิเนียม ความหนา 2 มม. รวมความหนา 4 มม. และยึดแผ่นโฟมที่มีความเหนียวและอ่อนตัวเพื่อช่วยกันการกระแทกทั้งด้านหน้าและด้านหลังจากนั้นทำแผ่นเกราะข้างลำตัวด้วยวิธีเดียวกันแต่มีขนาดเล็กกว่าและขนาด 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)

ในปี 2552 ธรรม์ณชาติ วันแต่ง มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุฟิล์มแข็งเคลือบผิวในการเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นเหล็กในเสื้อเกราะกันกระสุน โดยทำการเคลือบผิวฟิล์มแข็งชนิดต่างๆ ทำการทดสอบ 3 ปัจจัย คือ แผ่นเหล็กกล้า S50C ชุบผิวแข็งด้วยเปลวไฟ แผ่นเหล็กกล้า K100เคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiC ด้วยกรรมวิธี CVD ความหนาฟิล์มแข็ง10μm และแผ่นเหล็กกล้า K100เคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiCN กรรมวิธี CVD ความหนาฟิล์มแข็ง10μm ทดลองด้วยกระสุนปืนจริงตามมาตรฐาน NIJStandard-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

และในปีเดียวกัน กฤษฎากรเชวงศักดิ์โสภาคย์นักวิทยาศาสตร์ (สบ 3) พิสูจน์หลักฐาน กองบังคับการตำรวจภูธรจังหวัดตาก ได้วิจัยวัสดุติดกระจกหน้ารถและกระจกหน้าต่างด้านข้างเพื่อป้องกันกระสุนปืนที่ทะลุกระจกทำอันตรายแก่ผู้ขับขี่ได้โดยประยุกต์ใช้วัสดุกันกระสุนที่มีน้ำหนักเบาทำจากแผ่นพลาสติกใสปิดทับทั้งสองด้านด้วยแผ่นฟิล์มพลาสติกโพลีคาร์บอเนตซึ่งใช้เป็นแผ่นฟิล์มกรองแสงหรือแผ่นฟิล์มนิรภัยของกระจกรถยนต์ทั้งสองด้านเป็นโครงสร้างแบบแซมวิชหรือแบบกระดองปูแข็งนอกอ่อนใน ใช้หลักการดูดซับพลังงานและการสั่นสะเทือนเช่นเดียวกับการกระเพื่อมของน้ำแผ่นบังกระสุนสามารถป้องกันกระสุนจากปืนพกขนาด .38, 9 มม. และ11 มม. กระสุนหัวมน

ในปีเดียวกัน ศิริลักษณ์ นิวิฐจรรยงค์ และคณะ จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ได้ร่วมวิจัยกับหลายหน่วยงานผลิตเสื้อเกราะกันกระสุนคุณภาพสูงต้นแบบเป็นเสื้อเกราะแข็งที่ใช้แผ่นกันกระสุนทำจากแผ่นเซรามิกและแผ่นโพลิเมอร์ HDPE (เม็ดพลาสติก InnoPlus HDPE) ซึ่งแผ่นเซรามิกที่อยู่ด้านนอกส่วนแผ่นโพลิเมอร์คอมพอสิทจะอยู่ด้านในทำหน้าที่กระจายแรงและลดแรงกระแทก การทดสอบคุณภาพจากกรมพลาธิการตำรวจมีประสิทธิภาพการป้องกันภัยของเกราะบุคคลในระดับ 3 ตามมาตรฐาน NIJ (National Institute of Justice) ป้องกันกระสุนปืน 7.62 ม.ม.ปืนเอ็ม-16 และปืนไรเฟล ต้นทุนการผลิตประมาณ 30,000 บาทต่อชุด มีน้ำหนัก 10 ก.ก. เบากว่าเสื้อเกราะที่ใช้อยู่ในปัจจุบันขณะที่ต้นทุนการผลิตต่ำกว่า

ในปีเดียวกัน พ.ต.ต.กฤษฎากรเชวงศักดิ์โสภาคย์ได้วิจัยวัสดุติดกระจกหน้ารถและกระจกหน้าต่างด้านข้างเพื่อป้องกันกระสุนปืนที่ทะลุกระจกทำอันตรายแก่ผู้ขับขี่ได้โดยประยุกต์ใช้วัสดุกันกระสุนที่มีน้ำหนักเบาทำจากแผ่นพลาสติกใสปิดทับทั้งสองด้านด้วยแผ่นฟิล์มพลาสติกโพลีคาร์บอเนตซึ่งใช้เป็นแผ่นฟิล์มกรองแสง หรือแผ่นฟิล์มนิรภัยของกระจกรถยนต์ทั้งสองด้านเป็นโครงสร้างแบบแซมวิชหรือแบบกระดองปูแข็งนอกอ่อนใน เมื่อกระสุนกระทบแผ่นฟิล์มโพลีคาร์บอเนตซึ่งมีความเหนียวและยืดหยุ่นสูงจะเกิดการยืดและยุบตัวเพื่อรั้งกระสุนไว้ ส่วนบริเวณแกนกลางเป็นพลาสติกจะกระจายแรงปะทะออกไปรอบๆโดยใช้หลักการดูดซับพลังงานและการสั่นสะเทือนเช่นเดียวกับการกระเพื่อมของน้ำแผ่นบังกระสุนสามารถป้องกันกระสุนจากปืนพกขนาด .38, 9 มม. และ11 มม. ซึ่งมีลักษณะกระสุนหัวมน

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

ต่อมาในปี 2556 ธรรม์ณชาติ วันแต่ง จากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ได้ศึกษาชนิดของวัสดุในงานประดับยนต์สำหรับทำแผ่นเกราะกันกระสุนโดยออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 22 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%และวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่ส่งผลต่อการป้องกันการทะลุทะลวงของคมกระสุน ระดับ 2 อ้างอิงตามมาตรฐาน NIJStandard-0101.06ปัจจัยที่ทำการศึกษาประกอบด้วยปัจจัยด้านชนิดของวัสดุ และปัจจัยด้านการเสริมชั้นกาวอีพ๊อกซี่พัตตี้ จากผลการศึกษาพบว่าทุกปัจจัยมีผลต่อการป้องกันการทะลุทะลวงของคมกระสุนระดับ 2 ขนาด 9 มม. และ .45 ACP ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปัจจัยที่เหมาะสมชี้ให้เห็นว่าการใช้วัสดุในซองทดสอบที่ 3 จะสามารถต้านทานการทะลุผ่านของกระสุนได้ดีที่สุด ประกอบด้วยเสริมแผ่นอีพ๊อกซี่พัตตี้ด้านหน้า 8 ชั้น คาร์บอนเคฟล่าร์ จำนวน40 ชั้น และแผ่นเคฟล่าร์ จำนวน 36 ชั้นน้ำหนักรวม 6.2 กิโลกรัม

และในปี 2558ธรรม์ณชาติ วันแต่ง จากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ได้พัฒนาหาปัจจัยที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้แผ่นคาร์บอนเคฟล่าร์ในงานประดับยนต์สำหรับทำเสื้อเกราะกันกระสุนป้องกันภัยคุกคามระดับ 3A–3. ตามมาตรฐานยุทโธปกรณ์กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหมซึ่งเป็นการวิจัยต่อเนื่องจากเรื่อง การประยุกต์ใช้แผ่นคาร์บอนเคฟล่าร์ในงานประดับยนต์เพื่อใช้ทำเสื้อเกราะกันกระสุน ระดับ 2 โดยออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดี่ยวที่ระดับความเชื่อมั่น 95%และวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง ทำการศึกษาปัจจัยด้านการเสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้คาร์บอนไฟเบอร์ไว้หน้าแผ่นคาร์บอนเคฟล่าห์ที่ส่งผลต่อการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ จากผลการทดลองปัจจัยด้านวัสดุสำหรับทำแผ่นเกราะกันกระสุนจากวัสดุงานประดับยนต์ที่มีผลต่อการป้องกันภัยคุกครามระดับ 3A ด้วยกระสุนจริงขนาด .357 magnum ทดลองซ้ำ 6 ครั้ง พบว่า ปัจจัยด้านการเสริมชั้นอีพ๊อกซี่พัตตี้ผสมคาร์บอนไฟเบอร์มีผลต่อการป้องกันการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ในเสื้อเกราะกันกระสุนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปัจจัยที่เหมาะสมชี้ให้เห็นว่าการใช้วัสดุในเสื้อเกราะกันกระสุนตัวที่ 3 จะสามารถป้องกันการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ได้ดีที่สุด ส่วนการศึกษาปัจจัยในด้านวัสดุสำหรับทำแผ่นเกราะกันกระสุนป้องกันภัยคุกคราม ระดับ 3 นั้นไม่สามารถดำเนินการได้สำเร็จลุล่วงเนื่องจากความจำกัดด้านงบประมาณ

นอกจากนั้นแล้วในปัจจุบันมีอนุสิทธิบัตรผลงานที่เกี่ยวกับการประยุกต์ทำเสื้อเกราะกันกระสุนได้แก่ เสื้อเกราะกันกระสุนกันเองจากฟิล์มเอ็กสเรย์ในเสื้อเกราะพระเจ้าตาก จากใยแก้ว (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 4263, 2551)จากแผ่นเหล็กบวกกับแผ่นซับแรงต้านการหมุนของกระสุนจากเม็ดทรายอัดกับยาง (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 7274, 2555)

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

ในเนื้อหาบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการดำเนินงานวิจัย โดยมุ่งเน้นในการศึกษาต่อยอดจากงานวิจัยในการหาปัจจัยที่เหมาะสมในการประดิษฐ์เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลป้องกันภัยคุกคามระดับ 2 สำหรับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวน ทดสอบตามมาตรฐานยุทโธปกรณ์กระทรวงกลาโหม โดยเริ่มตั้งแต่การเลือกแผนการออกแบบการทดลอง การออกแบบการทดลอง และวิเคราะห์การทดลอง ซึ่งมีวิธีการดำเนินงานวิจัน ดังนี้

3.1 การเลือกแผนการออกแบบการทดลอง

เนื่องจากเป็นการศึกษาต่อยอดจากงานที่ผ่านมาของผู้วิจัยเพื่อทดสอบสมมุติฐานที่ดีที่สุดในการเลือกรูปแบบการวางชั้นวัสดุตามอนุสิทธิบัตรที่เหมาะสมให้สามารถป้องกันภัยคุกครามระดับ 2 โดยออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟกทอเรียล 2^2 เพื่อศึกษาผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ที่น้อยที่สุด ซึ่งค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์คือค่าการยุบตัวของเสื้อเกราะเข้าไปด้านในจากแรงกระแทกของกระสุนส่งผลให้เกิดอาการบลันท์ทรอมากับผู้สวมใส่ ซึ่งเกณฑ์มาตรฐาน NIJ Standard–0101.06 จะกำหนดการยุบตัวเข้าไปไม่เกินกว่า 44 มิลลิเมตร การออกแบบการทดลองมีปัจจัยที่ควบคุม 2 ปัจจัย (Factor) คือ ปัจจัย A ปัจจัยด้านการวางแผ่นอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250 มี 2 ระดับ (Level) ประกอบด้วยการวางแผ่นไว้ด้านหน้ากับวางแผ่นไว้ด้านหลัง กับปัจจัย Bคือจำนวนชั้นคาร์บอนเคฟล่าร์ในงานประดับยนต์เพื่อใช้ทำเสื้อเกราะกันกระสุน มี 2 ระดับคือ 36 ชั้น น้ำหนักรวม 3 กิโลกรัม/ตัว กับ 60 ชั้น น้ำหนักรวม 4 กิโลกรัม/ตัว ดังตารางที่ 3-1 เนื่องจากปัจจัยทั้งสองเป็นปัจจัยที่สำคัญและส่งผลต่อค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์มาก การทดลองใน 1 เรพลิเคต (Replicate) ประกอบด้วย 3 เรพลิเคต หรือการทำซ้ำ 3 ครั้งต่อหนึ่งปัจจัย ทั้งหมดจะมี 12 ค่า ตัวแปรควบคุมได้แก่ ขนาดอาวุธปืน ผู้ทดสอบ ระยะทดสอบ ตามมาตรฐานการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน NIJStandard-0101.04 และน้ำหนักรวมเสื้อเกราะกันกระสุนตามขอบเขตการทดลองไม่เกิน 4กิโลกรัมแล้วนำผลการทดลองที่ได้ใส่ลงในตารางการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูล นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบอโนวาทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับความ

เชื่อมั่น 95% ตัวแปรที่ตรวจวัด คือค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์และทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของวัสดุหลังการทดสอบอีกครั้งเพื่อสนับสนุนผลการทดลอง

3.2 เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือวิจัย ได้แก่ ออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟกทอเรียล 2^2 และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบอโนวาจากผลการทดลองเบื้องต้นอันเกี่ยวกับการคัดเลือกปัจจัยที่จะศึกษาถึงค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์หรือค่าการยุบตัวของเสื้อเกราะที่อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยโดยอาศัยการทดลองอย่างสุ่มสมบูรณ์หรือการจำแนกทางเดียวการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวด้วยโปรแกรม Minitab R17โปรแกรมลิขสิทธิ์ของสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ค่ากำลังการทดสอบที่มีค่ากำลังมากกว่า 0.95 (Power of test ; 1-β)หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 3-1ชนิดของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย B จำนวนชั้นคาร์บอนเคฟล่าร์ในงานประดับยนต์	ปัจจัย A การวางแผ่นอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250					
	ด้านหน้า			ด้านหลัง		
36ชั้น	a_1b_1 1	a_1 b_1 2	a_1 b_1 3	a_2 b_1 1	a_2 b_1 2	a_2 b_1 3
	ผลรวม			ผลรวม		
60 ชั้น	a_1b_2 1	a_1 b_2 2	a_1 b_2 3	a_2 b_2 1	a_2 b_2 2	a_2 b_2 3
	ผลรวม			ผลรวม		

3.3 การจัดทำเสื้อเกราะกันกระสุนตามปัจจัยการทดลอง

ในการจัดทำเสื้อเกราะกันกระสุนจะกำหนดจำนวนตามตารางที่ได้ออกแบบไว้สำหรับเก็บผลการทดลอง โดยจัดซื้อและจัดทำเสื้อเกราะกันกระสุนเพื่อศึกษาอิทธิพลของวัสดุที่ส่งผลต่อการป้องกันการทะลุทะลวงของคมกระสุนตามปัจจัย โดยมีรายละเอียดการจัดทำเสื้อเกราะกันกระสุนตามปัจจัยมีจำนวน 4 ตัว ปัจจัยในการทดลองประกอบด้วย 2 ระดับ (Level) ดังนี้

- ตัวที่ 1 เสริมชั้นอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250 ไว้ด้านหน้า+ วัสดุคาร์บอนเคฟล่าร์ 36ชั้น น้ำหนัก 3 กิโลกรัม
- ตัวที่ 2 เสริมชั้นอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250 ไว้ด้านหลัง + วัสดุคาร์บอนเคฟล่าร์ 36ชั้น น้ำหนัก 3 กิโลกรัม

- ตัวที่ 3 เสริมชั้นอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250 ไว้ด้านหน้า+ วัสดุคาร์บอนเคฟล่าร์ 60ชั้น น้ำหนัก 4 กิโลกรัม

- ตัวที่ 4 เสริมชั้นอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250 ไว้ด้านหลัง + วัสดุคาร์บอนเคฟล่าร์ 60ชั้น น้ำหนัก 4 กิโลกรัม

รูปที่ 3.1 เสื้อเกราะกันกระสุนในการทดลอง

3.4 หลักเกณฑ์การทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน

ในการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนตามปัจจัยข้างต้นด้วยกระสุนจริงมีการทดลองเบื้องต้น ณ กองพันทหารม้าที่ 18 กองพลทหารม้าที่ 1 ค่ายพ่อขุนผาเมือง จ.เพชรบูรณ์ และทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลที่โรงงานวัตถุระเบิดทางทหารสรรพาวุธทหารบก กรมอุตสาหกรรมทหาร กระทรวงกลาโหม ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหารกระทรวงกลาโหมจ.นครสวรรค์ ตามเกณฑ์มาตรฐานยุทโธปกรณ์กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหมหรือมาตรฐาน NIJ Standard–0101.04 โดยแผนกทดสอบทางขีปนวิธี โดยมีหลักเกณฑ์ที่ใช้ทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน ระดับ 2A ตามมาตรฐานยุทโธปกรณ์กระทรวงกลาโหม ใช้กระสุนขนาด 9 ม.ม. FMJ RN และ .45 ACP FMJ ซึ่งเป็นมาตรฐานของเสื้อเกราะอ่อนที่ใช้กันอย่างกว้างขวางทั่วโลกและเป็นมาตรฐานเดียวกันกับเสื้อเกราะของตำรวจสหรัฐที่ใส่ปฏิบัติหน้าที่ สามารถกันกระสุนได้เกือบทุกชนิดยกเว้นกระสุนปืนพกที่มีอำนาจการทะลุทะลวงสูง สามารถป้องกันการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ได้ดี ส่วนลำดับการยิงทดสอบและตำแหน่งการยิงทดสอบจะดำเนินการตามหัวข้อการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน ในบทที่ 2 ด้าน โดยผู้ควบคุมสนามยิงปืนกองพันทหารม้าที่ 18 หลักการทดลองด้วยกระสุนปืนจริงตามมาตรฐาน NIJ ที่ระยะ 5 เมตร ลำดับการยิง 1 ที่ 0องศาจำนวน1 นัดลำดับการยิง2 - 30 องศาจำนวน1 นัดลำดับการยิง3จำนวน1 นัด

3.5 การจัดทำเสื้อเกราะกันกระสุนเพื่อให้เจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวน

หลังจากทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานยุทโธปกรณ์กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหม ได้ข้อมูลด้านด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่า จึงทำการเขียนแบบส่วนประกอบของเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลรุ่น 2 สร้างเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลตามปัจจัยที่เหมาะสม จำนวน 20 ตัว เพื่อนำไปทดสอบใช้งานสำหรับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวนโดยมีต้นทุนต่อตัวราคาต่ำมอบใช้งานและทดสอบภาคสนามกับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวนในจังหวัดเพชรบูรณ์ ทำการการประชาสัมพันธ์ต่อไปเพื่อสามารถนำไปถึงการกำหนดนโยบายสู่ภาคปฏิบัติในการนำเสื้อเกาะกันกระสุนไปใช้ในหน่วยงานภาครัฐอื่นๆ เช่น เจ้าหน้าที่ป่าไม้ สมาชิกกองอาสารักษาดินแดน (อส.) เป็นต้น

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ในการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อทดสอบสมมุติฐานที่ดีที่สุดในการเลือกรูปแบบการวางชั้นวัสดุตามอนุสิทธิบัตรที่เหมาะสมให้สามารถป้องกันภัยคุกคามระดับ 2 โดยออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟกทอเรียล 2^2 โดยมีผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการยิงทดสอบ

การทดลองเป็นแบบแฟกทอเรียล 2^2 และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบอโนวาในการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนตามปัจจัยข้างต้นด้วยกระสุนจริงมีการทดลองเบื้องต้น ณ กองพันทหารม้าที่ 18 กองพลทหารม้าที่ 1 ค่ายพ่อขุนผาเมือง จ.เพชรบูรณ์ อันเกี่ยวกับการคัดเลือกปัจจัยที่จะศึกษาถึงค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์หรือค่าการยุบตัวของเสื้อเกราะที่อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยหรือไม่ ทำการทดสอบตามมาตรฐานกระทรวงกลาโหมและมาตรฐานโดยใช้กระสุนขนาด 9 ม.ม. FMJ RN และ .40 S&W FMJ

1) เริ่มตั้งแต่การนำเสื้อเกราะกันกระสุนไปพรมด้วยน้ำเป็นเวลา 15 นาที จนเปียกชุ่ม

2) ติดตั้งเสื้อเกราะกันกระสุนกับชุดทดสอบ ดังรูปที่ 4-1

3) ทดสอบยิงกระสุนขนาด 9 ม.ม. FMJ RN จำนวน 3 ซ้ำ ทดสอบยิงกระสุนขนาด .40 S&W FMJ จำนวน 3 ซ้ำ ตามตำแหน่งและลำดับการยิงดังรูปที่ 4-2

4) ตรวจสอบเสื้อเกราะกันกระสุน บันทึกภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพดังรูปที่ 4-3

5) ตรวจวัดค่าชั้นการทะลุและบันทึกค่าดังรูปที่ 4-4

หลังจากการทดสอบด้วยกระสุนขนาด 9 ม.ม. FMJ RN และ .40 S&W FMJ จากอุปกรณ์ยิงทดสอบมาตรฐานที่ไม่ใช่ปืนพกทั่วไป ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดความเร็วกระสุนตามมาตรฐาน มีผลดังนี้

ตารางที่ 4-1 ค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ของปัจจัยต่างๆในการทดลองกระสุนขนาด 9 ม.ม.FMJ RN

ปัจจัย B จำนวนชั้นคาร์บอนเคฟล่าร์ในงานประดับยนต์	ปัจจัย A การวางแผ่นอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250					
	ด้านหน้า			ด้านหลัง		
36ชั้น	36	36	36	36	36	36
	ผลรวม			ผลรวม		
60 ชั้น	48	48	36	24	36	36
	ผลรวม			ผลรวม		

ตารางที่ 4-2ค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ของปัจจัยต่างๆในการทดลองกระสุนขนาด .40S&W FMJ

ปัจจัย B จำนวนชั้นคาร์บอนเคฟล่าร์ในงานประดับยนต์	ปัจจัย A การวางแผ่นอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250					
	ด้านหน้า			ด้านหลัง		
36ชั้น	12	12	12	12	12	12
	ผลรวม			ผลรวม		
60 ชั้น	12	12	12	12	12	12
	ผลรวม			ผลรวม		

รูปที่ 4-1ติดตั้งเสื้อเกราะกันกระสุนกับชุดทดสอบ

รูปที่ 4-2ทดสอบยิงกระสุน

รูปที่ 4-3ตรวจสอบเสื้อเกราะกันกระสุน

รูปที่ 4-4ตรวจวัดค่าชั้นการทะลุ

4.2 การวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ

เมื่อทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนเบื้องต้น ณ กองพันทหารม้าที่ 18 กองพลทหารม้าที่ 1 ค่ายพ่อขุนผาเมือง จ.เพชรบูรณ์ ก็ใช้การวิเคราะห์ทางด้านกายภาพในการเปรียบเทียบแบบพหุคูณซึ่งจะแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของคู่ปัจจัย การวิเคราะห์ผลทางกายภาพโดยพิจารณาจากผลการทดสอบค่าเฉลี่ยแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ที่เกิดจากแรงดันของกระสุน ดัง**รูปที่4-5**, **4-6**ซึ่งจากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการวางแผ่นไว้ด้านหน้ากับวางแผ่นไว้ด้านหลังมีผลที่ต่างกันซึ่งข้อมูลทางกายภาพทั้งหมดสรุปได้ว่าการวางแผ่นไว้ด้านหลังในการทดลองที่ 2 และ 4 จะมีการเสียหายจากผลของค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ที่ต่ำใกล้เคียงกัน โดยในการทดลองที่ 4 จะมีการเกิดความเสียหายที่น้อยสุดจึงสันนิษฐานว่าค่าเฉลี่ยแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ที่เกิดขึ้นจึงน่าจะต่ำสุดเช่นกัน เมื่อวิเคราะห์ตามขนาดกระสุนจะเห็นได้ว่าค่าชั้นการทะลุกระสุนขนาด 9 ม.ม. FMJ RN ตัวที่ 1 เสริมชั้นอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250 ไว้ด้านหน้า วัสดุคาร์บอนเคฟล่าร์ 36ชั้น และตัวที่ 2 เสริมชั้นอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250 ไว้ด้านหลัง วัสดุคาร์บอนเคฟล่าร์ 36ชั้น มีค่าชั้นการทะลุที่สูงทั้งสองแบบส่วนตัวที่ 3 เสริมชั้นอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250 ไว้ด้านหน้า วัสดุคาร์บอนเคฟล่าร์ 60ชั้น และตัวที่ 4 เสริมชั้นอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250 ไว้ด้านหลัง วัสดุคาร์บอนเคฟล่าร์ 60ชั้น มีค่าชั้นการทะลุที่น้อยกว่าชัดเจนโดยเฉพาะตัวที่ 4 จะมีการป้องกันภัยคุกคามได้ดีมีค่าชั้นการทะลุที่ต่ำทั้งในกระสุนขนาด 9 ม.ม. และ .40S&W FMJ ซึ่งสามารถคาดการณ์ว่าการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์จะต่ำที่สุดเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้จะมีน้ำหนักที่มากที่สุดในการทดลองเช่นกันซึ่งจะมีน้ำหนักประมาณ 1.8 กิโลกรัม/แผ่น เมื่อทำการประกอบเข้ากับเสื้อเกราะกันกระสุนครบชุดจะมีน้ำหนักประมาณ 4

กิโลกรัม/ตัว แต่เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพดังนั้นวัสดุทดสอบในในการทดลองที่ 4 สามารถนำไปเป็นพื้นฐานในการออกแบบเสื้อเกราะกันกระสุนป้องกันภัยคุกคราม ระดับ 2เพื่อใช้ในการทำงานจริงได้

รูปที่ 4-5ลักษณะทางด้านกายภาพการวางแผ่นไว้ด้านหน้า

รูปที่ 4-6ลักษณะทางด้านกายภาพการวางแผ่นไว้ด้านหลัง

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสม

จากผลการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^2 เพื่อศึกษาผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ที่น้อยที่สุด ออกแบบการทดลองมี

ปัจจัยที่ควบคุม 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยด้านการวางแผ่นอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250 2 ระดับ ประกอบด้วยการวางแผ่นไว้ด้านหน้ากับวางแผ่นไว้ด้านหลังกับปัจจัยด้านจำนวนชั้นคาร์บอนเคฟล่าร์ในงานประดับยนต์เพื่อใช้ทำเสื้อเกราะกันกระสุน มี 2 ระดับคือ 36 ชั้น น้ำหนักรวม 3 กิโลกรัม/ตัว กับ 60 ชั้น น้ำหนักรวม 4 กิโลกรัม/ตัว

จากผลการทดลองกระสุนขนาด 9 ม.ม.พบว่ามีค่า P-Value = 0.330**รูปที่ 4-7**และผลการทดลองกระสุนขนาด .40S&W FMJ พบว่ามีค่า P-Value = 0.541**รูปที่ 4-8**ซึ่งทุกปัจจัยมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 (ความเชื่อมั่น 95%) ทำให้สรุปผลได้ว่าการวางแผ่นไว้ด้านหน้ากับวางแผ่นไว้ด้านหลัง (A) ไม่มีผลต่อการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์สูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและปัจจัยด้านจำนวนชั้นวัสดุในงานประดับยนต์ (B) ก็ไม่มีผลต่อการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์สูงเช่นกัน จึงสรุปผลได้ว่าข้อมูลทั้งสองไม่มีอันตรกิริยาต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและจากข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-sq) มีค่าเท่ากับ33.33% ในกระสุนขนาด 9 ม.ม. และ 12.78% ในกระสุนขนาด .40S&W FMJก็ชี้ตรงกันว่าสมการถดถอยสามารถอธิบายตัวแปรตอบสนองได้น้อยนอกจากนั้นแล้วก็ทำการตรวจสอบการทดลองว่าข้อมูลน่าเชื่อถือและมีการกระจายตัวมากน้อยเพียงไร โดยข้อมูลจะต้องเป็นไปตามสมมติฐานทั้งหมด 3 ข้อ ตามทฤษฎีของมอนโกเมอร์รี่ปรากฏว่าข้อมูลในการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานทั้งหมดนั้นหมายความว่าข้อมูลที่ได้มาทั้งหมดมีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ มีความเสถียรของความแปรปรวนโดยไม่พบรูปแบบการกระจายตัวที่ผิดปกติ และมีความเป็นอิสระของค่าส่วนตกค้างข้อมูลเป็นอิสระต่อกันดังนี้การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูล (NormalDistributed) ของส่วนตกค้าง ใน**รูปที่ 4-9รูปที่ 4-10**พบว่าค่าของส่วนตกค้างมีการกระจายไปตามแนวเส้นตรง แต่จะมีจุดจะไม่มีข้อมูลที่ซ้ำกันและข้อมูลที่ได้มีแนวโน้มอยู่ในแนวเส้นตรงจึงประมาณได้ว่าค่าของส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ ต่อมาเป็นการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองการถดถอย(Fitted Value) จะพบว่ามีการกระจายตัวของค่าเศษเหลือในแต่ละย่านของข้อมูลไม่พบรูปแบบการกระจายตัวที่ผิดปกติ และมีการกระจายแบบสุ่มรอบค่าศูนย์ และสุดท้ายเป็นการตรวจสอบความเป็นอิสระต่อกันของข้อมูล (Independent)พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างมีแนวโน้มความเป็นอิสระต่อกันและไม่สามารถทำนายรูปแบบได้อย่างแน่นอน

```
Source   DF    SS   MS     F      P
Respond   3   576  192  1.33  0.330
Error     8  1152  144
Total    11  1728

S = 12   R-Sq = 33.33%   R-Sq(adj) = 8.33%

                          Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N   Mean  StDev   +---------+---------+---------+---------
12     2  48.00  16.97           (-----------*-----------)
24     2  36.00   0.00   (-----------*-----------)
```

รูปที่ 4-7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการทดลองกระสุนขนาด 9 ม.ม. FMJ RN

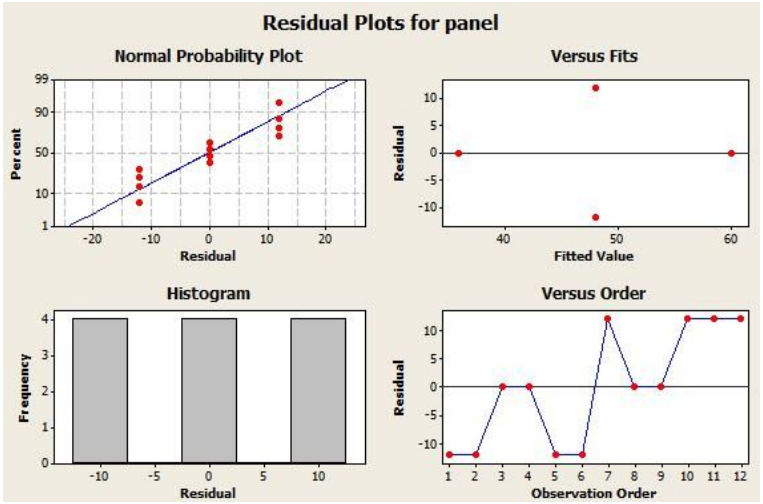
Results for: Worksheet 2

One-way ANOVA: panel versus Respond

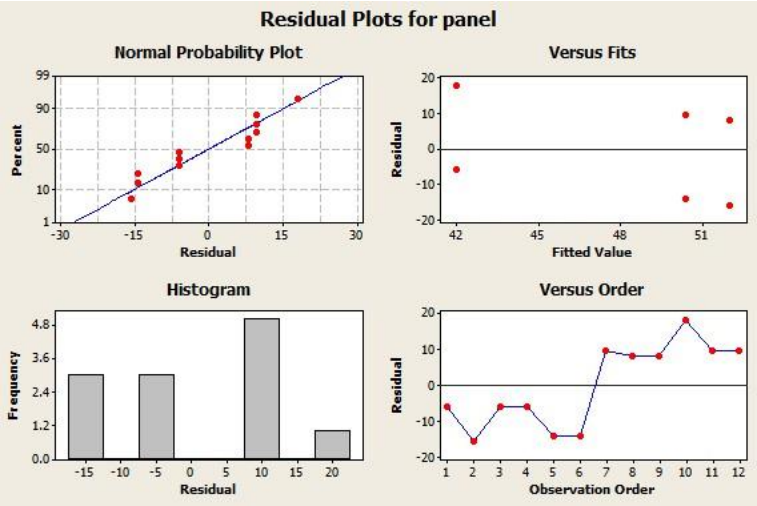
```
Source   DF    SS   MS     F      P
Respond   2   221  110  0.66  0.541
Error     9  1507  167
Total    11  1728

S = 12.94   R-Sq = 12.78%   R-Sq(adj) = 0.00%
```

รูปที่ 4-8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการทดลองกระสุนขนาด.40S&W FMJ



รูปที่ 4-9ผลการกระจายตัวจากการทดลองกระสุนขนาด 9 ม.ม. FMJ RN



รูปที่ 4-10ผลการกระจายตัวจากการทดลองกระสุนขนาด .40 S&W FMJ

4.4 การทดสอบตามมาตรฐานกลาโหม

การทดลองเป็นแบบแฟกทอเรียล 2^2 และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบอโนวา จากผลการทดลองเบื้องต้นอันเกี่ยวกับการคัดเลือกปัจจัยที่จะศึกษาถึงค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์หรือค่าการยุบตัวของเสื้อเกราะที่อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยหรือไม่ การทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนตามปัจจัยด้วยกระสุนจริง ณ โรงงานวัตถุระเบิดทหาร กรมการอุตสาหกรรมทหารศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหารกระทรวงกลาโหมจ.นครสวรรค์โดย พลตรี ทินกร รังสิวัฒน์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการอนุญาตเข้าไปทดสอบแผ่นเกราะกันกระสุนได้ที่แผนกทดสอบทางขีปนวิธี ผู้นำการทดสอบนาวาอากาศโทพชรพล อาจคำพันธ์ ร้อยตรียุทธศาสตร์ คำสุพรหม จ่าสิบเอกคึกฤทธิ์ ผดุงพันธ์ จ่าสิบเอกชินวรช์ ชินะกุล และคณะผู้ทดสอบ ทำการทดสอบตามมาตรฐานกระทรวงกลาโหมและมาตรฐาน NIJStandard-0101.04 โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

1) เริ่มตั้งแต่การนำเสื้อเกราะกันกระสุนไปพรมด้วยน้ำเป็นเวลา 15 นาที จนเปียกชุ่ม ดังรูปที่ 4-1

2) ทดสอบค่าการยุบตัวของดินสังเคราะห์ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ดังรูปที่ 4-2

3) ติดตั้งเสื้อเกราะกันกระสุนกับชุดทดสอบ ดังรูปที่ 4-3

4) ทดสอบยิงกระสุนขนาด 9 ม.ม. FMJ RN ความเร็ว 341 เมตร/วินาที $\pm$9.1 เมตร/วินาที จากอุปกรณ์ยิงทดสอบมาตรฐานที่ไม่ใช่ปืนพกทั่วไป ตรวจวัดค่าความเร็วด้วยเครื่องวัดความเร็วกระสุนตามมาตรฐาน ปรับความเร็วกระสุนเพื่อเป็นไปตามมาตรฐาน

5) ยิงกระสุนขนาด 9 ม.ม. FMJ RN จำนวน 3 ซ้ำ ตามตำแหน่งและลำดับการยิง บันทึกความเร็วกระสุนดังรูปที่ 4-4

6) ตรวจสอบเสื้อเกราะกันกระสุน บันทึกภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพดังรูปที่ 4-5

7) ตรวจวัดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์และบันทึกค่าดังรูปที่ 4-6

8) ทดสอบยิงกระสุนขนาด .45 ACPFMJ ความเร็ว 256 เมตร/วินาที ±9.1 เมตร/วินาที จากอุปกรณ์ยิงทดสอบมาตรฐานที่ไม่ใช่ปืนพกทั่วไป ตรวจวัดค่าความเร็วด้วยเครื่องวัดความเร็วกระสุนตามมาตรฐาน ปรับความเร็วกระสุนเพื่อเป็นไปตามมาตรฐาน

5) ยิงกระสุนขนาด .45 ACPFMJ จำนวน 3 ซ้ำ ตามตำแหน่งและลำดับการยิง บันทึกความเร็วกระสุน

6) ตรวจสอบเสื้อเกราะกันกระสุน บันทึกภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพ

7) ตรวจวัดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์และบันทึกค่า

หลังจากการทดสอบด้วยกระสุนขนาด 9 ม.ม. FMJ RN และ .45 ACPFMJ จากอุปกรณ์ยิงทดสอบมาตรฐานที่ไม่ใช่ปืนพกทั่วไป ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดความเร็วกระสุนตามมาตรฐาน มีผลดังนี้

ตารางที่ 4-3ค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ของปัจจัยต่างๆในการทดลองกระสุนขนาด 9 ม.ม. FMJ RN

ปัจจัย B จำนวนชั้นคาร์บอนเคฟล่าร์ในงานประดับยนต์	ปัจจัย A การวางแผ่นอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250					
	ด้านหน้า			ด้านหลัง		
36 ชั้น	0	0	0	0	0	0
	ผลรวม			ผลรวม		
60 ชั้น	18.60	17.80	21.30	7.40	11.30	10.30
	ผลรวม			ผลรวม		

ตารางที่ 4-4ค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ของปัจจัยต่างๆในการทดลองกระสุนขนาด .45 ACP FMJ

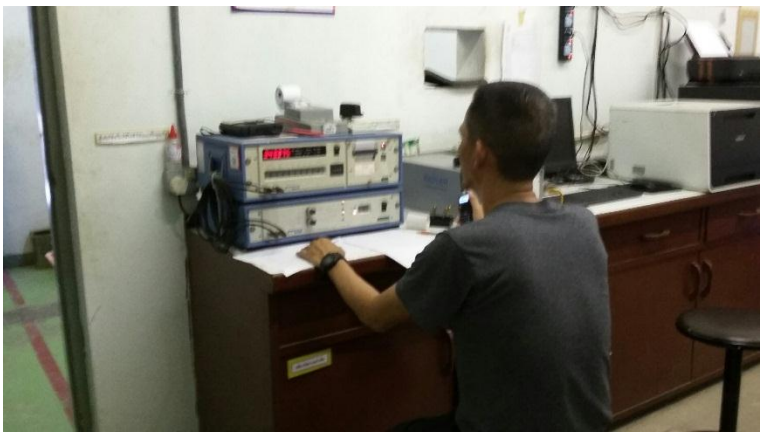
ปัจจัย B จำนวนชั้นคาร์บอนเคฟล่าร์ในงานประดับยนต์	ปัจจัย A การวางแผ่นอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250					
	ด้านหน้า			ด้านหลัง		
30 ชั้น	0	0	0	0	0	0
	ผลรวม			ผลรวม		
60 ชั้น	15.20	16.80	15.40	7.30	5.70	5.90

	ผลรวม	ผลรวม

รูปที่ 4-11นำเสื้อเกราะกันกระสุนไปพรมด้วยน้ำ

รูปที่ 4-12ทดสอบค่าการยุบตัวของดินสังเคราะห์

รูปที่ 4-13ติดตั้งเสื้อเกราะกันกระสุนกับชุดทดสอบ



รูปที่ 4-14ยิงกระสุนจริงตรวจวัดด้วยเครื่องวัดความเร็วกระสุนตามมาตรฐาน

รูปที่ 4-15ตรวจสอบเสื้อเกราะกันกระสุน

รูปที่ 4-16ตรวจวัดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์และบันทึกค่า

เมื่อทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล ณ โรงงานวัตถุระเบิดทางทหารสรรพาวุธทหารบก กรมอุตสาหกรรมทหาร กระทรวงกลาโหม ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร กระทรวงกลาโหมจ.นครสวรรค์ ตามเกณฑ์มาตรฐานยุทโธปกรณ์กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหมหรือมาตรฐาน NIJ Standard–0101.04 โดยแผนกทดสอบทางขีปนวิธี ค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ของปัจจัยต่างๆในการทดลองกระสุนขนาด 9 ม.ม. FMJ RN ตัวที่ 1 เสริมชั้นอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250 ไว้ด้านหน้า และวัสดุคาร์บอนเคฟล่าร์ 30ชั้น น้ำหนัก 3 กิโลกรัมและตัวที่ 2 เสริมชั้นอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250 ไว้ด้านหลัง + วัสดุคาร์บอนเคฟล่าร์ 30ชั้น น้ำหนัก 3 กิโลกรัม มีค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ที่ 0 ส่วน ตัวที่ 3 เสริมชั้นอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250 ไว้ด้านหน้า + วัสดุคาร์บอนเคฟล่าร์ 60ชั้น น้ำหนัก 4 กิโลกรัมมีค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ 18.6017.80 21.30 7.40 11.30 10.30 ซึ่งทั้งหมดไม่เกินคาสมาตรฐานที่ 44 ม.ม. จึงผ่านการรับรองมาตรฐานการป้องกันภัยคุกคาม ระดับ 2A กระสุนขนาด 9 ม.ม. และ .45 ACP ซึ่งเป็นมาตรฐานของเสื้อเกราะของตำรวจสหรัฐที่ใส่ปฏิบัติหน้าที่ สามารถป้องกันการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ได้ดี

4.5 การจัดทำเสื้อเกราะกันกระสุนเพื่อให้เจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวน

หลังจากทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานยุทโธปกรณ์กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหม ได้ข้อมูลด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่า จึงทำการเขียนแบบส่วนประกอบของเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลรุ่น 2 สร้างเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลตามปัจจัยที่เหมาะสม จำนวน 10 ตัว เพื่อนำไปทดสอบใช้งานสำหรับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวนโดยมีต้นทุนต่อตัวราคาต่ำมอบใช้งานและทดสอบภาคสนามกับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวนในจังหวัดเพชรบูรณ์ ทำการการประชาสัมพันธ์ต่อไปเพื่อ

สามารถนำไปถึงการกำหนดนโยบายสู่ภาคปฏิบัติในการนำเสื้อเกาะกันกระสุนไปใช้ในหน่วยงานภาครัฐอื่นๆ เช่น เจ้าหน้าที่ป่าไม้ สมาชิกกองอาสารักษาดินแดน (อส.) เป็นต้น

รูปที่ 4-17 การจัดทำเสื้อเกราะกันกระสุน

รูปที่ 4-18การประกอบเสื้อเกราะกันกระสุน

รูปที่ 4-19เสื้อเกราะกันกระสุนเพื่อมอบใช้งานกับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวนในจังหวัดเพชรบูรณ์

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^2 การทดลองมีปัจจัย 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยด้านการวางแผ่นอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250 2 ระดับประกอบด้วยการวางแผ่นไว้ด้านหน้ากับวางแผ่นไว้ด้านหลังกับ

ปัจจัยด้านจำนวนชั้นคาร์บอนเคฟล่าร์ในงานประดับยนต์เพื่อใช้ทำเสื้อเกราะกันกระสุนที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ที่น้อยที่สุด

ผลการทดลองกระสุนขนาด 9 ม.ม.และ .40 S&W FMJ ณ กองพันทหารม้าที่ 18 กองพลทหารม้าที่ 1 ค่ายพ่อขุนผาเมือง จ.เพชรบูรณ์ ใช้การวิเคราะห์ทางด้านกายภาพในตัวที่ 4 จะมีการป้องกันภัยคุกคามได้ดีมีค่าชั้นการทะลุที่ต่ำทั้งในกระสุนขนาด 9 ม.ม. และ .40 S&W FMJ ซึ่งสามารถคาดการณ์ว่าการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์จะต่ำที่สุดเช่นกัน

และจากผลการทดลองกระสุนขนาด 9 ม.ม. พบว่ามีค่า P-Value = 0.330 และผลการทดลองกระสุนขนาด .40 S&W FMJ พบว่ามีค่า P-Value = 0.541 ซึ่งทุกปัจจัยมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 (ความเชื่อมั่น 95%) ทำให้สรุปผลได้ว่าการวางแผ่นไว้ด้านหน้ากับวางแผ่นไว้ด้านหลัง (A) ไม่มีผลต่อการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์สูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและปัจจัยด้านจำนวนชั้นวัสดุในงานประดับยนต์ (B) ก็ไม่มีผลต่อการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์สูงเช่นกัน จึงสรุปผลได้ว่าข้อมูลทั้งสองไม่มีอันตรกิริยาต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากนั้นนำค่าที่เหมาะสมที่สุดนำไปทำการทดสอบ ณ โรงงานวัตถุระเบิดทางทหารสรรพาวุธทหารบก กรมอุตสาหกรรมทหาร กระทรวงกลาโหม ศูนย์การอุดสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหารกระทรวงกลาโหมจ.นครสวรรค์ ตามเกณฑ์มาตรฐานยุทโธปกรณ์กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหมหรือมาตรฐาน NIJ Standard–0101.04 โดยแผนกทดสอบทางขีปนวิธี ผลการทดลองมีค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ของปัจจัยต่างๆ มีค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ 18.60 17.80 21.30 7.40 11.30 10.30 ซึ่งทั้งหมดไม่เกินคาสมาตรฐานที่ 44 ม.ม. จึงผ่านการรับรองมาตรฐานการป้องกันภัยคุกคาม ระดับ 2A กระสุนขนาด 9 ม.ม. และ .45 ACP ซึ่งเป็นมาตรฐานของเสื้อเกราะของตำรวจสหรัฐที่ใส่ปฏิบัติหน้าที่ สามารถป้องกันการเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ได้ดี

หลังจากทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานยุทโธปกรณ์กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหมจะได้ข้อมูลด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าจึงทำการเขียนแบบส่วนประกอบของเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลรุ่น 2 สร้างเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลตามปัจจัยที่เหมาะสม จำนวน 10 ตัว เพื่อนำไปทดสอบใช้งานสำหรับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวนต่อไป

5.2 อภิปรายผล

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองในปัจจัยที่ดีที่สุดในการทดสอบกับงานวิจัยอื่นๆจะมีผลดังนี้ ด้านประสิทธิภาพการป้องกันภัยคุกคามจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเสื้อเกราะกันกระสุนจากใยประดิษฐ์ ที่ป้องกันกระสุนได้ใน ระดับ 2A สอดคล้องกับสมประสงค์ ภาษาประเทศ (2550) และมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเสื้อเกราะกันกระสุนเคฟล่าร์อย่างเดียวที่สามารถป้องกันกระสุน .357 ได้เพียง 15% เท่านั้นสอดคล้องกับ Chocron (2010) ส่วนด้านน้ำหนักเสื้อเกราะกันกระสุนนั้นจะมีน้ำหนักที่

เบากว่าเสื้อเกราะกันกระสุนจากสำนักงานการอาชีวศึกษา เพราะเสื้อเกราะกันกระสุนจากสำนักงานการอาชีวศึกษาจะใช้โลหะทั้งหมด โดยมีประสิทธิภาพในการป้องกันกระสุน ระดับ 3A เท่ากัน และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ฟิล์มเอกซ์เรย์มาประกอบทำเสื้อเกราะกันกระสุนที่การป้องกันกระสุนระดับ 3A เสื้อเกราะกันกระสุนในการทดลองนี้จะมีน้ำหนักที่เบากว่าประมาณ 2-3 กิโลกรัม เพราะเสื้อเกราะกันกระสุนที่ใช้ฟิล์มเอกซ์เรย์ถ้าต้องการป้องกันกระสุน ในระดับ 3A ต้องนำแผ่นอะลูมิเนียมมาเพิ่มไว้ด้านหน้าอีกชั้นตามงานของ กฤษฎากร เชวงศักดิ์โสภาคย์ (2550) ในด้านต้นทุนวัสดุเปรียบเทียบกับ ศิริลักษณ์ นิวิฐจรรยงค์ (2554) เสื้อเกราะกันกระสุนของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติจะมีราคาที่แพงกว่าประมาณ 3 เท่า แต่จะมีน้ำหนักที่เบากว่ามากประมาณ 1-2 กิโลกรัม ที่ประสิทธิภาพในการป้องกันกระสุน ระดับ 3A เท่ากัน ส่วนเสื้อเกราะกันกระสุนจากใยประดิษฐ์ก็ยังมีต้นทุนราคาวัสดุที่แพงกว่าสมประสงค์ ภาษาประเทศ (2550) ประมาณ 2 เท่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

ทำการพัฒนาเสื้อเกราะกันกระสุนให้สามารถป้องกันกระสุนในระดับที่สูงขึ้นต่อไป เช่น ระดับ 3 ระดับ 3A ที่มีน้ำหนักที่เบาและมีราคาที่ต้นทุนต่ำ

บรรณานุกรม

กฤษฎากร เชวงศักดิ์โสภาคย์. **แผ่นบังกระสุนฝีมือตำรวจไทย**. เดลินิวส์ 18 กันยายน 2552 ; หน้า 12

กลุ่มงานยุทธศาสตร์การพัฒนาจังหวัด. (2557). **ยุทธศาสตร์การพัฒนาจังหวัดเพชรบูรณ์ 4 ปี (พ.ศ. 2558-2561)**. เพชรบูรณ์:สำนักงานจังหวัดเพชรบูรณ์.

กัลยาวานิชย์บัญชา. 2546. **การวิเคราะห์สถิติ: สถิติสำหรับการบริหารและวิจัย**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กัลยา วานิชย์บัญชา. **สถิติสำหรับงานวิจัย**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

คณะกรรมการการอาชีวศึกษา. 2552. เสื้อเกราะอาชีวะ. แหล่งที่มา : **http://www.oknation.net/blog/print.php?id=71854**, [14 สิงหาคม 2558]

ชุมพลเสมาขันธ์. 2552. **รูปแบบการวิจัยและพัฒนา**. วารสารวิทยาศาสตร์. 10(1) : 97-104.

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 สิงหาคม 2558]

ทรงศักดิ์ ภูสีอ่อน. **การประยุกต์ใช้ SPSS วิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย**. พิมพลักษณ์กาฬสินธุ์ : ประสานการพิมพ์, 2551.

ธรณิศวร์ บุญแข็ง.2550. สถานการณ์และผลการดำเนินงานป้องกันและแก้ไขปัญหายาเสพติดจังหวัดเพชรบูรณ์ ปี 2550. แหล่งที่มา: **https://www.gotoknow.org/posts/150915**, [14 สิงหาคม 2558]

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. 2556. การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการทำแผ่นเกราะกันกระสุนจากวัสดุงานประดับยนต์สำหรับทำเสื้อเกราะกันกระสุนป้องกันภัยคุกครามระดับ 3-3A.**รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์**.

ธรรม์ณชาติ วันแต่ง. 2557. **อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 9250**. กรุงเทพฯ : กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.

ธรรม์ณชาติ วันแต่ง. 2558. **การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการพัฒนาวัสดุจากงานประดับยนต์สำหรับทำเสื้อเกราะกันกระสุน ระดับ 2 ที่มีค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ต่ำ**. ใน: รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ราชภัฏวิจัย ครั้งที่ 3วันที่ 20-22 พฤษภาคม 2558; ม.ราชภัฏนครศรีธรรมราช.

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

นวัตกรรมใหม่เสื้อเกราะกันกระสุนภูมิใจฝีมือคนไทย. เดลินิวส์ 4 กุมภาพันธ์ 2554 ; หน้า 20

บุญชม ศรีสะอาด. **การวิจัยเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 7 กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น, 2545.

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

บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์. **สถิติเพื่อการวิจัย**. กรุงเทพ ฯ : จามจุรีโปรดักท์. 2549.

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.**การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมศาสตร์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2545.

ปิยะ ต๊ะวิชัย.2557.**ผลการวิเคราะห์ข้อมูลข้าราชการตำรวจฆ่าตัวตาย**, กองวิจัย สำนักงานยุทธศาสตร์ตำรวจ.

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

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

ศิริชัย กาญจนวาสี.**การเลือกใช้สถิติที่เหมาะสมสำหรับการวิจัย**. พิมพลักษณ์กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

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

สมบัติ ท้ายเรือคำ. **การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป**. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2546.

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]

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

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

_____. เสื้อเกราะรุ่นพระเจ้าตาก.[online].2552.แหล่งที่เข้าถึง:**http://www.aithaikid.com/armor.htm**. [11 กันยายน 2552]

_____. เสื้อเกราะรุ่นพระเจ้าตาก.[online].2552.แหล่งที่เข้าถึง:**http://www.aithaikid.com/armor.htm**. [11 สิงหาคม 2558]

_____. เสื้อเกราะอาชีวะ. [online].2550.แหล่งที่เข้าถึง: **http://www.oknation.net/blog/print.php?id=71854**. [29 ตุลาคม 2555]

_____. เอ็มเทค ปตท. และ ม.มหิดล ร่วมเปิดตัวเสื้อเกราะกันกระสุนคุณภาพสูง. [online].2552.แหล่งที่

เข้าถึง:**http://www.bangkokbiznews.com/home/news/it/innovation/2009/01/30/news_11859.php**. [19 สิงหาคม 2558]

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

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

_____. การทดสอบและตรวจวัดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์.[online].2554.แหล่งที่เข้าถึง:**http://www.ondutygear.com/armor-express-armor-shoot.html**, [27 มกราคม 2554]

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

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

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

_____. บลันท์ ทรอมา.[online].2554.แหล่งที่เข้าถึง:**http://www.pinnaclearmor.com**, [27 มกราคม 2554]

_____. สั่งทบทวนเซฟชีวิตเจ้าหน้าที่ปะทะคนร้ายตายไม่ได้ใส่เกราะ. [online].2554.แหล่งที่เข้าถึง:**http://www.thairath.co.th/content/region/216590**, [29 ตุลาคม 2555]

_____. การวิเคราะห์ความแปรปรวน. [online].2557.แหล่งที่เข้าถึง:**app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20080528Sombat28.doc**. [24 กุมภาพันธ์ 2557]

_____. การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (ANOVA). [online].2557.แหล่งที่เข้าถึง:**netra.lpru.ac.th/...proof/4การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว.doc.** [24 กุมภาพันธ์ 2557]

Bilisik, K., & Korkmaz, M. “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) 2010: 1697-1720.

Chocron, Sidney, Figueroa, Eleonora, King, Nikki, Kirchdoerfer, Trenton, Nicholls, Arthur E., Sagebiel, Erick, Weiss, Carl, Freitas, Christopher J. "Modeling and validation of full fabric targets under ballistic impact, **COMPOSITES SCIENCE AND TECHNOLOGY**, 70(13) 2010: 2012-2022.

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.

L.A. Dobrzanski , A. Pusz , A.J. Nowak. 2009. "The effect of micropores on output properties of laminate materials with assumed medical implantation, **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, 37(2) : 408-415.

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.

Li, X., Cao, H. L., Gao, S., Pan, F. Y., Weng, L. Q., Song, S. H., Huang, Y. D.2008."Preparation of body armour material of Kevlar fabric treated with colloidal silica nanocomposite, **PLASTICS RUBBER AND COMPOSITES**, 37(5) : 223-226.

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

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

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.

Tham, C. Y., Tan, V. B. C., Lee, H. P. (2008). Ballistic impact of a KEVLAR((R)) helmet: Experiment and simulations,**INTERNATIONAL JOURNAL OF IMPACT ENGINEERING**, 35(5) : 304-318.

ภาคผนวก

ภาคผนวกก

รูปภาพการทดสอบ

รูปที่ ก-1สนามยิงปืนกองพันทหารม้าที่ 18 ค่ายพ่อขุนผาเมืองสำหรับใช้ในการทดสอบ

รูปที่ ก-2การจัดเตรียมเสื้อเกราะกันกระสุนและตำแหน่งการวางเพื่อยิงทดสอบ

รูปที่ ก-3 อาวุธปืนที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ ก-4การยิงทดสอบที่ระยะ 5 เมตร

รูปที่ ก-5 การตรวจสอบตำแหน่งที่ทำการยิงทดสอบ

รูปที่ ก-6การเก็บหัวกระสุนตามลำดับหลังยิงทดสอบ

รูปที่ ก-7การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเสื้อเกราะกันกระสุนหลังยิงทดสอบ

รูปที่ ก-8โรงงานวัตถุระเบิดทางทหารสรรพาวุธทหารบก กรมอุตสาหกรรมทหาร

รูปที่ ก-9การเตรียมให้เปียกชุ่ม

รูปที่ ก-10 การทดสอบการยุบตัวของวัสดุ

รูปที่ ก-11การติดตั้งเสื้อเกราะกับวัสดุรองรองรับ

รูปที่ ก-12การเตรียมชุดวัดความเร็วกระสุน

รูปที่ ก-13การยิงทดสอบตามมาตรฐาน

รูปที่ ก-14 การตรวจวัดค่าการยุบตัว

รูปที่ ก-15 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ

ภาคผนวก ข

การสร้างแผ่นเกราะกันกระสุนจากวัสดุคาร์บอนไฟเบอร์

รูปที่ ข-1การเตรียมวัสดุแผ่นเกราะกันกระสุน

รูปที่ ข-2การตัดแผ่นเกราะกันกระสุนให้ได้ขนาด

รูปที่ ข-3การทากาวอีพ๊อกซี่พัตตี้ลงบนแผ่นเกราะกันกระสุนให้ทั่วแผ่น

รูปที่ ข-4แผ่นเกราะกันกระสุนสำเร็จ

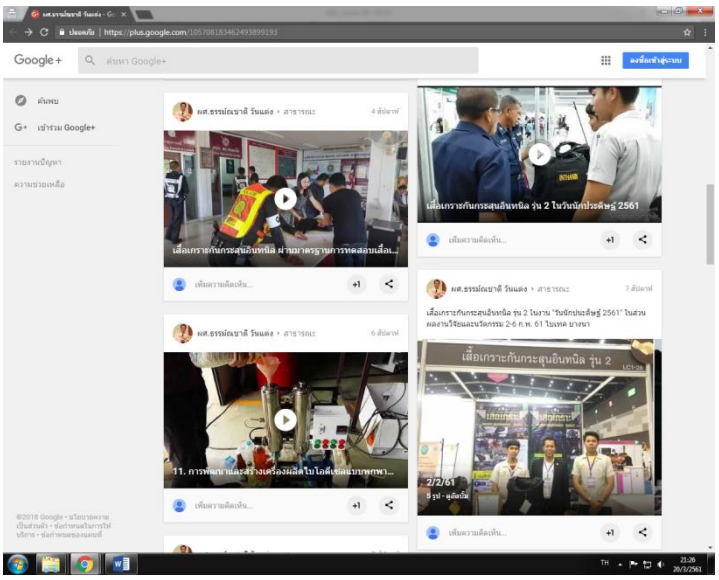
รูปที่ ข-5นำแผ่นเกราะกันกระสุนประกอบไว้แผ่นหน้าสุดในเสื้อเกราะกันกระสุน

ภาคผนวก ค

เอกสารการเผยแพร่งานวิจัย

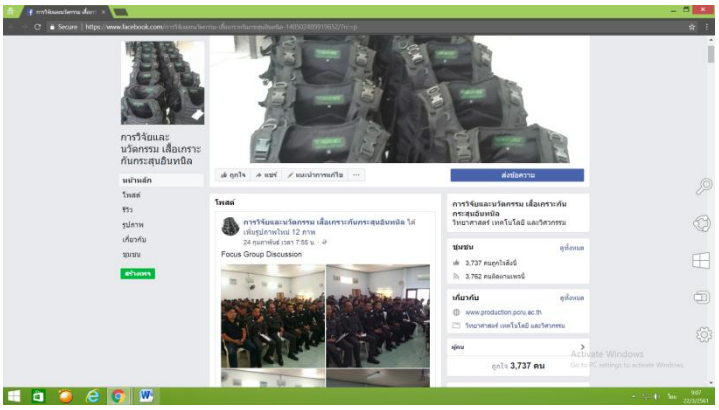
รูปที่ ค-1เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล รุ่น 2 ในงานวันนักประดิษฐ์ประจำปี 2561

ภาพที่ ค.2การนำเสนอผลงานวิจัยเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล รุ่น 2กับผู้สนใจ



ภาพที่ ค.3การเผยแพร่ผลงานวิจัย เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล รุ่น 2 บน Google+

ภาพที่ ค.4 การเผยแพร่ผลงานวิจัย เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล รุ่น 2 บน Youtube



ภาพที่ ค.5การเผยแพร่ผลงานวิจัย เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล รุ่น 2 บน Facebook webpage

อาจารย์ม.ราชภัฏเพชรบูรณ์โชว์ผลงานเจ๋ง!
ประดิษฐ์'เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล'ต้นทุนต่ำ

ภาพที่ ค.6 หนังสือพิมพ์เดลินิวส์ หัวข้อ อาจารย์ ม.ราชภัฏโชว์ผลงานเจ๋งประดิษฐ์"เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล"ต้นทุนต่ำ วันจันทร์ ที่ 7 พฤษภาคม 2561 : หน้า 15.

ภาพที่ ค.7 หนังสือพิมพ์แนวหน้า หัวข้อ อาจารย์ ราชภัฏเพชรบูรณ์'มอบเสื้อเกราะกันกระสุน ให้เจ้าหน้าที่ตร.วันพฤหัสบดี ที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2561

ภาพที่ ค.8หนังสือพิมพ์แนวหน้า หัวข้อ ราชภัฏเพชรบูรณ์เจ๋ง! ทำเสื้อเกราะได้ ต้นทุนแค่8,000บาท มอบให้ตร.ลองใช้งาน วันพฤหัสบดี ที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2561

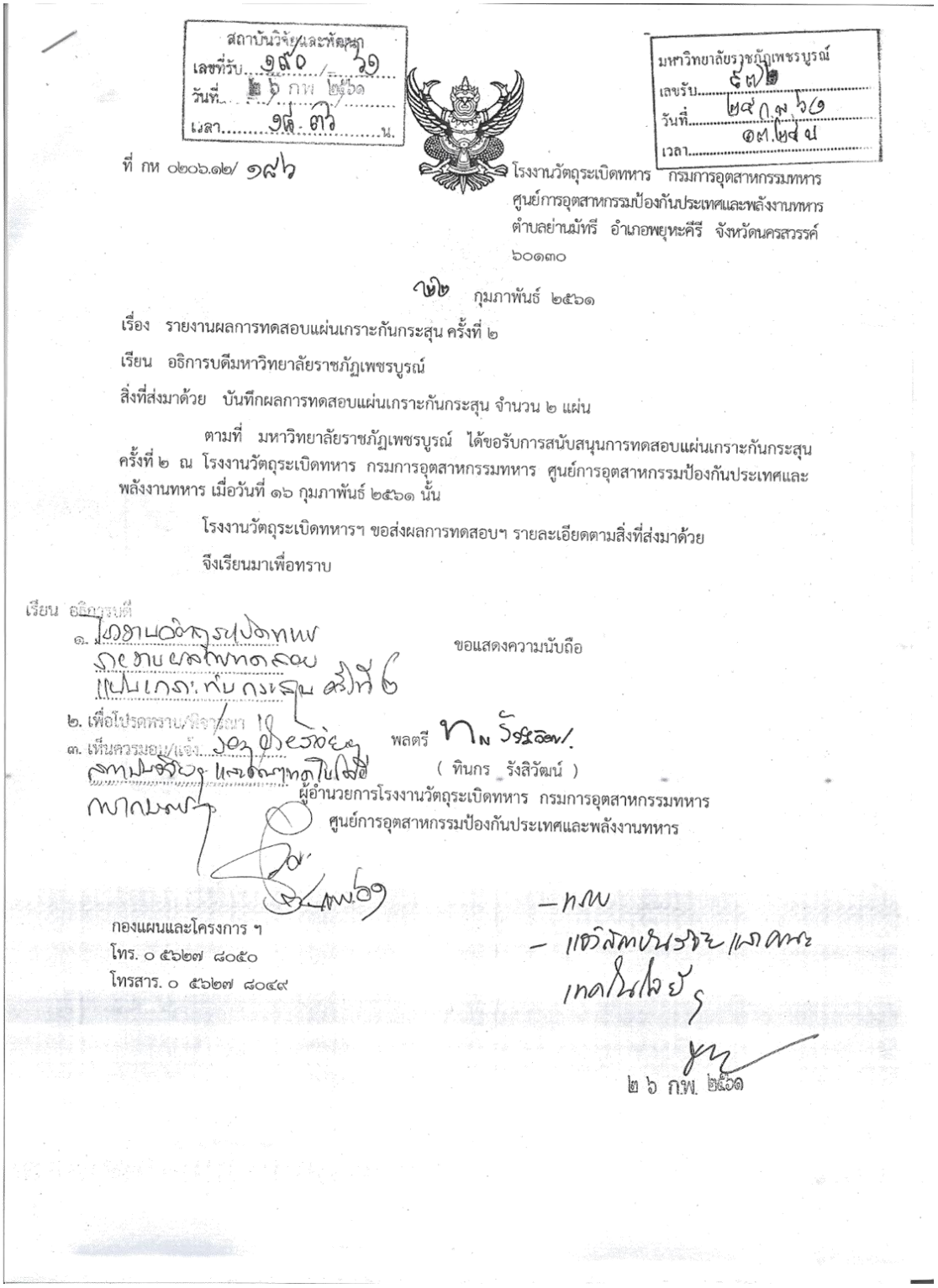
ภาพที่ ค.9ข่าวช่อง 7 หัวข้อ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์มอบเสื้อกันกระสุนให้ตำรวจวันที่ 27 เมษายน พ.ศ. 2561

ภาพที่ ค.10สำนักข่าวกรมประชาสัมพันธ์ หัวข้อ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ มอบเสื้อเกราะกันกระสุน ผลงานวิจัยของอาจารย์ ให้ตำรวจเพชรบูรณ์วันที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2561

ภาพที่ ค.10สำนักข่าว INN news หัวข้อ สุดเจ๋งมรภ.เพชรบูรณ์ทำเสื้อกันกระสุนฝีมือคนไทยวันพฤหัสบดี ที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2561

ภาคผนวก ง

ใบรับรองการป้องกันภัยคุกคราม ระดับ 2A ตามมาตรฐานยุทโธปกรณ์



สถาบันวิจัยและพัฒนา
เลขที่รับ ๑๕๐ / ๖๑
วันที่ ๒๖ กพ ๒๕๖๑
เวลา ๑๕.๓๖ น.

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
เลขรับ ๕๗๒
วันที่ ๒๙ ก.พ. ๖๑
เวลา ๑๓.๒๔ น

ที่ กห ๐๒๐๖.๑๒/ ๑๘๖

โรงงานวัตถุระเบิดทหาร กรมการอุตสาหกรรมทหาร
ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร
ตำบลย่านมัทรี อำเภอพยุหะคีรี จังหวัดนครสวรรค์
๖๐๑๓๐

๒๒ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๑

เรื่อง รายงานผลการทดสอบแผ่นเกราะกันกระสุน ครั้งที่ ๒

เรียน อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

สิ่งที่ส่งมาด้วย บันทึกผลการทดสอบแผ่นเกราะกันกระสุน จำนวน ๒ แผ่น

ตามที่ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ได้ขอรับการสนับสนุนการทดสอบแผ่นเกราะกันกระสุน ครั้งที่ ๒ ณ โรงงานวัตถุระเบิดทหาร กรมการอุตสาหกรรมทหาร ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร เมื่อวันที่ ๑๖ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๑ นั้น

โรงงานวัตถุระเบิดทหารฯ ขอส่งผลการทดสอบฯ รายละเอียดตามสิ่งที่ส่งมาด้วย

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

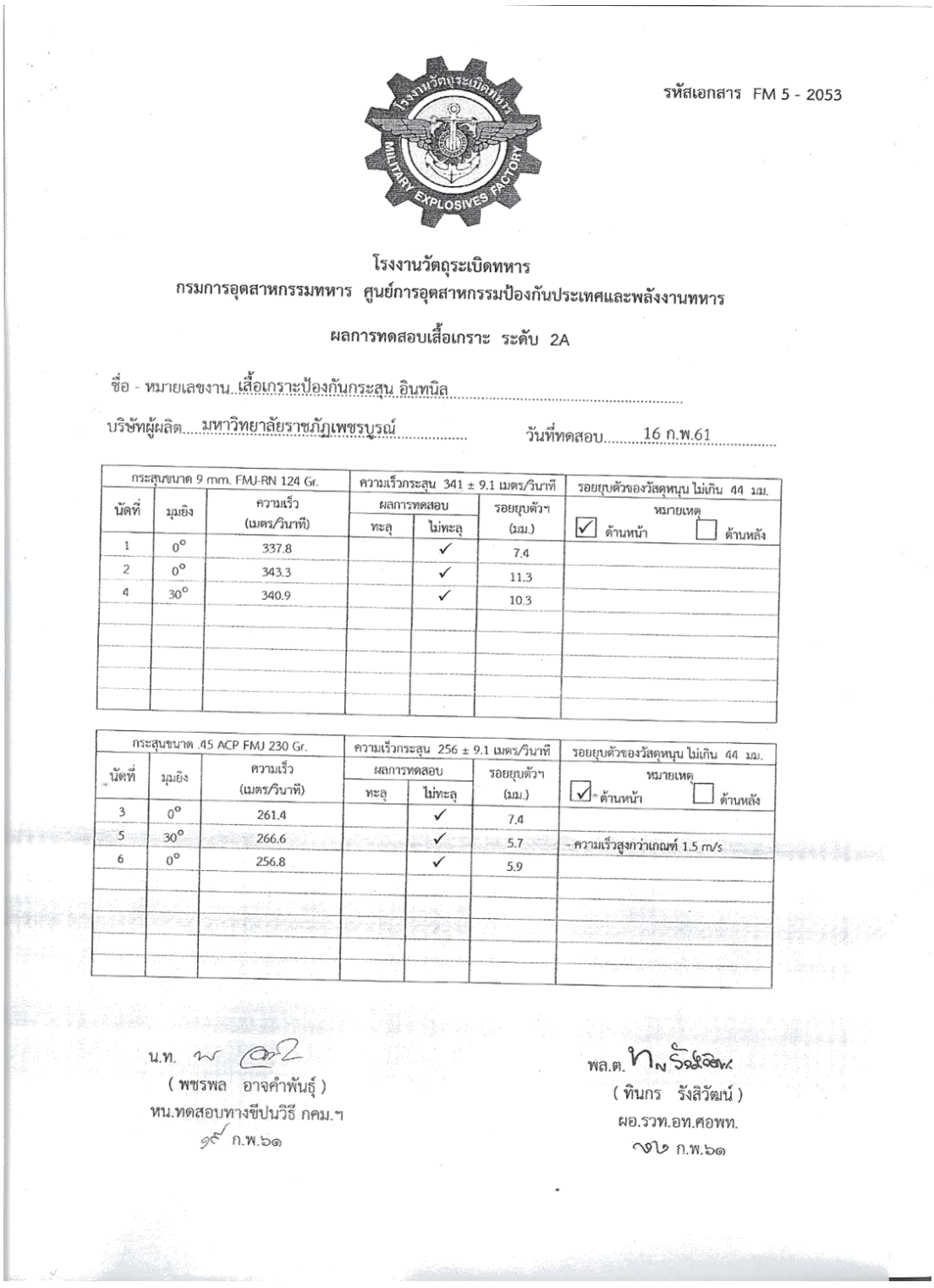
ขอแสดงความนับถือ

พลตรี
(ทินกร รังสิวัฒน์)
ผู้อำนวยการโรงงานวัตถุระเบิดทหาร กรมการอุตสาหกรรมทหาร
ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร

กองแผนและโครงการ ฯ
โทร. ๐ ๕๖๒๗ ๘๐๕๐
โทรสาร. ๐ ๕๖๒๗ ๘๐๔๙

๒๖ กพ ๒๕๖๑

ภาคผนวกง-1ใบรายงานผล ที่ กห.๐๒๐๖.๑๒/๑๘๖ แผ่นเกราะกันกระสุนอินทนิล



รหัสเอกสาร FM 5 - 2053

โรงงานวัตถุระเบิดทหาร
กรมการอุตสาหกรรมทหาร ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร

ผลการทดสอบเสื้อเกราะ ระดับ 2A

ชื่อ - หมายเลขงาน เสื้อเกราะป้องกันกระสุน อินทนิล

บริษัทผู้ผลิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ วันที่ทดสอบ 16 ก.พ.61

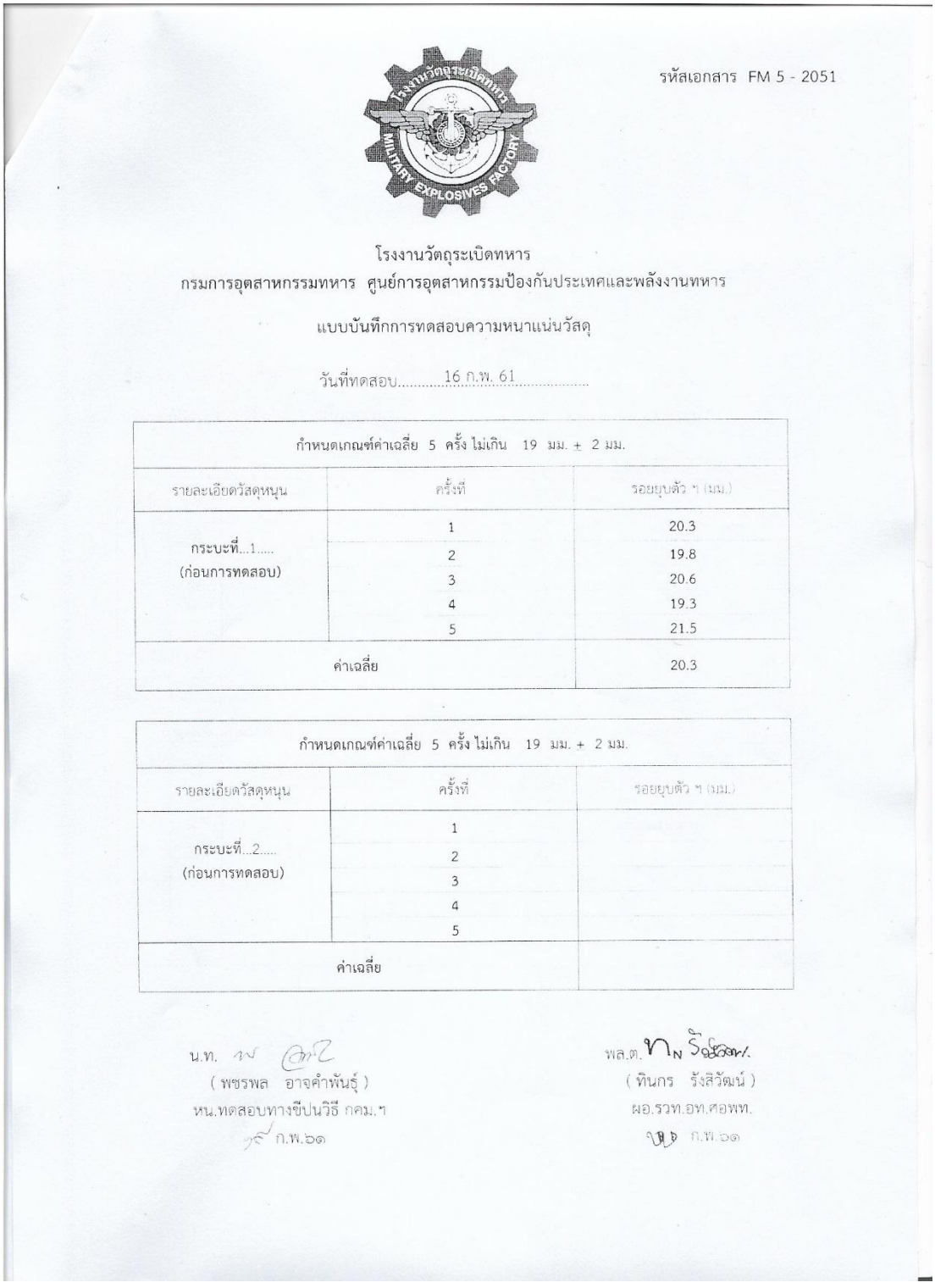
กระสุนขนาด 9 mm. FMJ-RN 124 Gr.			ความเร็วกระสุน 341 ± 9.1 เมตร/วินาที			รอยยุบตัวของวัสดุหนุน ไม่เกิน 44 มม.
นัดที่	มุมยิง	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ผลการทดสอบ		รอยยุบตัวฯ (มม.)	หมายเหตุ ☑ ด้านหน้า ☐ ด้านหลัง
			ทะลุ	ไม่ทะลุ		
1	0°	337.8		✓	7.4	
2	0°	343.3		✓	11.3	
4	30°	340.9		✓	10.3	

กระสุนขนาด .45 ACP FMJ 230 Gr.			ความเร็วกระสุน 256 ± 9.1 เมตร/วินาที			รอยยุบตัวของวัสดุหนุน ไม่เกิน 44 มม.
นัดที่	มุมยิง	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ผลการทดสอบ		รอยยุบตัวฯ (มม.)	หมายเหตุ ☑ ด้านหน้า ☐ ด้านหลัง
			ทะลุ	ไม่ทะลุ		
3	0°	261.4		✓	7.4	
5	30°	266.6		✓	5.7	- ความเร็วสูงกว่าเกณฑ์ 1.5 m/s
6	0°	256.8		✓	5.9	

น.ท. พชรพล อาจคำพันธุ์
(พชรพล อาจคำพันธุ์)
หน.ทดสอบทางขีปนวิธี กคม.ฯ
๑๙ ก.พ.๖๑

พล.ต. ทินกร รังสิวัฒน์
(ทินกร รังสิวัฒน์)
ผอ.รวท.อท.ศอพท.
๑๖ ก.พ.๖๑

รูปที่ ง-2ใบรับรองป้องกันภัยคุกคาม ระดับ 2A ตามมาตรฐานยุทโธปกรณ์



รหัสเอกสาร FM 5 - 2051

โรงงานวัตถุระเบิดทหาร
กรมการอุตสาหกรรมทหาร ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร

แบบบันทึกการทดสอบความหนาแน่นวัสดุ

วันที่ทดสอบ 16 ก.พ. 61

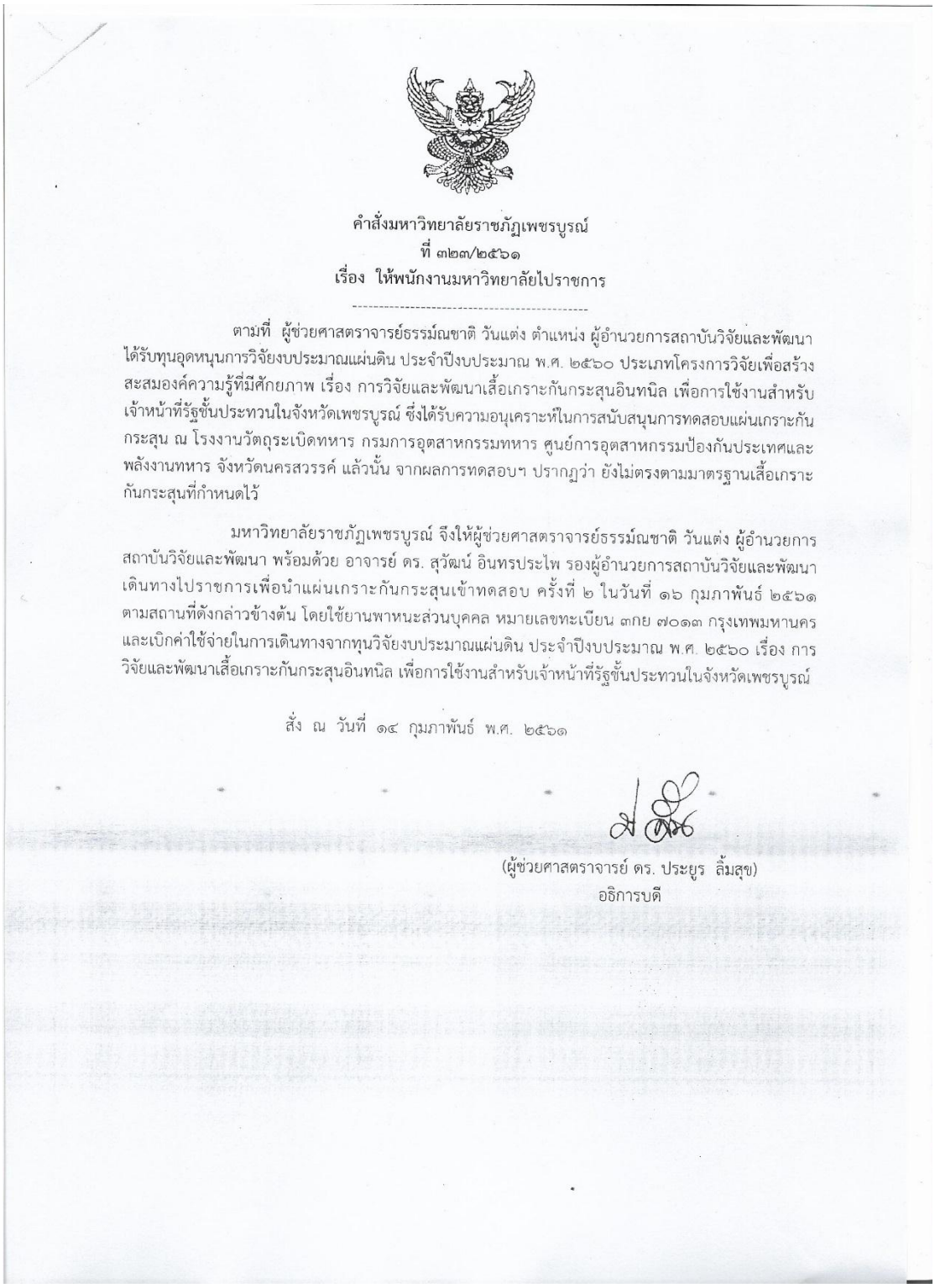
กำหนดเกณฑ์ค่าเฉลี่ย 5 ครั้ง ไม่เกิน 19 มม. ± 2 มม.		
รายละเอียดวัสดุหนุน	ครั้งที่	รอยยุบตัว ฯ (มม.)
กระบะที่...1..... (ก่อนการทดสอบ)	1	20.3
	2	19.8
	3	20.6
	4	19.3
	5	21.5
ค่าเฉลี่ย		20.3

กำหนดเกณฑ์ค่าเฉลี่ย 5 ครั้ง ไม่เกิน 19 มม. ± 2 มม.		
รายละเอียดวัสดุหนุน	ครั้งที่	รอยยุบตัว ฯ (มม.)
กระบะที่...2..... (ก่อนการทดสอบ)	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
ค่าเฉลี่ย		

น.ท. (พชรพล อาจคำพันธุ์)
หน.ทดสอบทางชีปนวิธี กคม.ฯ
๒๕ ก.พ.๖๑

พล.ต. (ทินกร รังสิวัฒน์)
ผอ.รวท.อท.ศอพท.
๒๖ ก.พ.๖๑

รูปที่ ง-3 ใบรับรองค่าการยุบตัวของวัสดุตรวจวัดตามมาตรฐาน



คำสั่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ที่ ๓๒๓/๒๕๖๑
เรื่อง ให้พนักงานมหาวิทยาลัยไปราชการ

ตามที่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธรรม์ณชาติ วันแต่ง ตำแหน่ง ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๐ ประเภทโครงการวิจัยเพื่อสร้างสะสมองค์ความรู้ที่มีศักยภาพ เรื่อง การวิจัยและพัฒนาเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล เพื่อการใช้งานสำหรับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวนในจังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ในการสนับสนุนการทดสอบแผ่นเกราะกันกระสุน ณ โรงงานวัตถุระเบิดทหาร กรมการอุตสาหกรรมทหาร ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร จังหวัดนครสวรรค์ แล้วนั้น จากผลการทดสอบฯ ปรากฏว่า ยังไม่ตรงตามมาตรฐานเสื้อเกราะกันกระสุนที่กำหนดไว้

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ จึงให้ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธรรม์ณชาติ วันแต่ง ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา พร้อมด้วย อาจารย์ ดร. สุวัฒน์ อินทรประไพ รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา เดินทางไปราชการเพื่อนำแผ่นเกราะกันกระสุนเข้าทดสอบ ครั้งที่ ๒ ในวันที่ ๑๖ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๑ ตามสถานที่ดังกล่าวข้างต้น โดยใช้ยานพาหนะส่วนบุคคล หมายเลขทะเบียน ๓กย ๗๐๑๓ กรุงเทพมหานคร และเบิกค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๐ เรื่อง การวิจัยและพัฒนาเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล เพื่อการใช้งานสำหรับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวนในจังหวัดเพชรบูรณ์

สั่ง ณ วันที่ ๑๔ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๖๑

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประยูร ลิ้มสุข)
อธิการบดี

รูปที่ ง-4หนังสือการเดินทางไปราชการเพื่อทดสอบ

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธรรม์ณชาติ วันแต่ง
(ภาษาอังกฤษ) Asst. Prof.TANNACHART WANTANG
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-6009-00087-04-7
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (พนักงานมหาวิทยาลัยสายวิชาการ)
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก
สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์โทรศัพท์ 05671-7100 ต่อ 1610
โทรสาร 05671-7164 E-mail : tannachart@gmail.com

5. ประวัติการศึกษา
- วศ.ม (เทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- วศ.บ (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- วุฒิบัตรประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม (กว.) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการสภาวิศวกร

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
- วิศวกรรมการเกษตร

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นหัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

7.1.1การวิจัยและพัฒนาเสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิลเพื่อการใช้งานสำหรับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวนในจังหวัดเพชรบูรณ์, 2560

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย: ชื่อโครงการวิจัย

7.2.1การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกขนาดละมุดแบบเพลาหมุนวางคู่สำหรับเกษตรกรชาวสวนละมุด : กรณีศึกษาหมู่บ้านสวนละมุด ต.หนองไขว่ อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์, 2559

7.2.2 การพัฒนาเครื่องทำขนมผิง,2557

7.2.3 การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ปั๊มโลหะเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าของที่ระลึก สินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ กลุ่มสตรีก้าวหน้า ต.สักหลง อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์, 2557

7.2.4การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการทำแผ่นเกราะกันกระสุนจากวัสดุงานประดับยนต์สำหรับทำเสื้อเกราะกันกระสุนป้องกันภัยคุกคามระดับ 3-3A, 2556

7.2.5 เครื่องบรรจุดินใส่ถุงเพาะชำกล้ายางพารา, 2554

7.2.6 การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการการทำงานเป็นกลุ่มในการสร้างแม่พิมพ์โลหะให้สำเร็จ, 2553

7.2.7 การศึกษาการใช้แผ่นคาร์บอน - เคฟล่าในงานประดับยนต์เพื่อใช้ทำเสื้อเกราะกันกระสุนระดับ 2, 2553

7.2.8 การเพิ่มประสิทธิภาพความแข็งแรงของแผ่นเหล็กในเสื้อเกราะกันกระสุนโดยทำการเคลือบผิวฟิล์มแข็ง, 2552

7.2.9 การออกแบบและพัฒนาเครื่องคั่วข้าวใหม่ม้งแบบระบายความชื้นด้วยลมร้อนผสมกับกลิ่นกาแฟ, 2552

7.3งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน

- **Wantang**, T. (2018). The Development of the Expanding Rollers, Sapodilla Sizing Machine Model 2. The Thai Society of Agricultural Engineering Journal (TSAEJ). 24(1): 23-30.

- **ธรรม์ณชาติ วันแต่ง**. (2560). การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกขนาดละมุดแบบเพลาหมุนวางคู่. ใน: รายงานสืบเนื่องจากการประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55 The 55th Kasetsart University Annual Conference วันที่ 31 มกราคม 2560 ถึงวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2560; มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- **ธรรม์ณชาติ วันแต่ง**, ศักดิ์ศิริชัย ศรีสวัสดิ์ และวิทยา ทรงศิรินันทกุล. (2559). การพัฒนาเครื่องคั่วข้าวใหม่ม้งแบบแนวนอน ใน:รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2559 วันที่ 7-8 กรกฎาคม 2559 ; ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2559. ทุนวิจัยจากธกส.

- หทัยนุช จันทร์ชัยภูมิ ปัญญา เทียนนาวา และ **ธรรม์ณชาติ วันแต่ง**. (2559). การพัฒนาชุดกระทุ้งถ่านสำหรับเตาแก๊สซิไฟเออร์. ใน: รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 3 "งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น" 22 กรกฎาคม 2559; ทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์; 2559.

-**ธรรม์ณชาติ วันแต่ง**หทัยนุช จันทรชัยภูมิ และสุวิมลเทียกทุม. (2558). การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ปั๊มโลหะเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าของที่ระลึกพวงกุญแจโลหะรูปฝักมะขามกลุ่มสตรีก้าวหน้า อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์ และสำรวจความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง. 8(1) : 24-33. ทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ 2557

-**ธรรม์ณชาติ วันแต่ง**. (2557). การพัฒนาเครื่องกรอกดินใส่ถุงเพาะชำกล้ายางพารา รุ่น ๒. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 20(2): 8-14. ทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

-Kanokporn Boonjubut and **Tannachat Wantang**. (2014).Study of factors affecting artificial and aging of6061 aluminium alloy by factorial design. In: Conference on interdisciplinary business and economics research, 2014 Sep 27-28; Hong Kong; 2014. ทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

-**ธรรม์ณชาติ วันแต่ง**. (2557).การออกแบบและสร้างเครื่องทำขนมผิง. ใน: รายงานสืบเนื่องจากการประชุมทางวิชาการระดับชาติ พะเยาวิจัย ครั้งที่ 3วันที่ 23–24มกราคม 2557; กองบริหารงานวิจัยและประกันคุณภาพการศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา. พะเยา. หน้า 515-522.ทุนวิจัยจากสถาบันไทย-เยอรมัน กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

-**ธรรม์ณชาติ วันแต่ง**. (2556). การออกแบบและสร้างเครื่องกรอกดินใส่ถุงเพาะชำกล้ายางพารา. วารสารราชภัฏเพชรบูรณ์สาร. 15(2): 30-37. ทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

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

-**ธรรม์ณชาติ วันแต่ง**. (2556). เสื้อเกราะกันกระสุนอินทนิล ในงาน:มหกรรมการนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ 2556วันที่ 23–27สิงหาคม 2556; สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) .ศูนย์ประชุมบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เซ็นทรัลเวิลด์กรุงเทพฯ.

-**ธรรม์ณชาติ วันแต่ง**. (2555). เครื่องกรอกดินใส่ถุงเพาะชำกล้ายางพาราในงาน:การนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ 2555วันที่ 24–28สิงหาคม 2555; สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.). ศูนย์ประชุมบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เซ็นทรัลเวิลด์กรุงเทพฯ.

-**ธรรม์ณชาติ วันแต่ง**. (2554). การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุฟิล์มแข็งเคลือบผิวในการเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นเหล็กในเสื้อเกราะกันกระสุน, ราชภัฏเพชรบูรณ์สาร ปีที่ 13 ฉบับที่ 1, ทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

-**ธรรม์ณชาติ วันแต่ง**. (2552). การออกแบบและพัฒนาเครื่องคั่วข้าวใหม่ม้งแบบระบายความชื้นด้วยลมร้อนผสมกับกลิ่นกาแฟ, การรวบรวมผลงานโครงงานที่ได้รับทุนโครงการ IRPUS สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)ประจำปี 2552

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ: ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

- การพัฒนาเครื่องขึ้นรูปและแม่พิมพ์สำหรับผลิตสินค้าของที่ระลึกจังหวัดเพชรบูรณ์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร หัวหน้าโครงการวิจัยย่อยภายใต้แผนงานวิจัย, ทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ปี 2561