



Received: 22 October 2025

Revised: 12 January 2026

Accepted: 14 February 2026

SUSTAINABLE GRAPHENE-COATED HEMP FIBER ARMORED TROUSERS FOR FORESTRY PATROL OFFICERS' SAFETY

Narongsak WANGSAN¹, Torsangrasmee TEETAKAEW¹ and Chaiwat PHROMPET¹

¹ College of Innovation and Industrial Management, King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang, Thailand; narongsakwangsan@gmail.com (N. W.)

Handling Editor:

Dr.Puthisat NAMDECH

North Bangkok University, Thailand

(This article belongs to Theme 2: Sciences & Technology for Sustainability)

Reviewers:

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1) Associate Professor Dr.Petch JEARANAISILAWONG | KMUTNB, Thailand |
| 2) Assistant Professor Dr.Chanchai LAOHA | RMUTI Khonkaen Campus, Thailand |
| 3) Assistant Professor Dr.Naphatara INTANON | RMUTI Khonkaen Campus, Thailand |

Abstract

This mixed-methods research developed and evaluated sustainable lightweight armored trousers using graphene-coated hemp fiber to enhance the safety of forestry and national park officers in Thailand. The study addressed the severe risks officers face from illegal homemade firearms during field patrols. The prototype armor plates were fabricated by compressing hemp fabric coated with graphene powder using a hydraulic press. Ballistic testing with a 12-gauge shotgun at a six-meter distance demonstrated that the composite material successfully prevented pellet penetration, proving its high protective efficacy. Subsequently, the armored trousers were field-tested by a sample group of 100 forestry and national park officers. Quantitative survey results, based on the Technology Acceptance Model, revealed a very high level of user satisfaction, particularly regarding convenience, durability, and perceived safety during operations. Furthermore, statistical analysis indicated a positive correlation between the officers' age and educational level with their overall acceptance of the innovation. This sustainable protective gear offers a viable, field-ready solution to significantly reduce operational casualties while promoting the utilization of natural agricultural resources.

Keywords: Armored Trousers Innovation, Hemp Fiber, Graphene-Coated Material, Technology Acceptance, Officer Safety

Citation Information: Wangsan, N., Teetakaew, T., & Phrompet, C. (2026). Sustainable Graphene-Coated Hemp Fiber Armored Trousers for Forestry Patrol Officers' Safety. *Thai Interdisciplinary and Sustainability Review*, 15(1), Article 5. <https://doi.org/10.14456/tisr.2026.5>

นวัตกรรมทางengerะโยกยชงเคลือบกราฟีนเพื่อความปลอดภัยของ เจ้าหน้าที่พิทักษ์ป่าอย่างยั่งยืน

ณรงค์ศักดิ์ ว่างสาร¹, ทอแสงรัศมี ถิณะแก้ว¹ และ ชัยวัฒน์ พรหมเพชร¹

1 วิทยาลัยการจัดการนวัตกรรมและอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง;
narongsakwangsan@gmail.com (ณรงค์ศักดิ์)

บรรณาธิการผู้รับผิดชอบบทความ:

ดร.พุทธิสัจจ์ นามเดช

มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ

(บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของหัวเรื่องที่ 2: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อความยั่งยืน)

ผู้ทรงคุณวุฒิผู้พิจารณาบทความ:

- | | |
|--|--|
| 1) รองศาสตราจารย์ ดร.เพชร เจียรนัยศิริวงศ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| 2) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เหล่าหา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น |
| 3) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณภัทร อินทนนท์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น |

บทคัดย่อ

งานวิจัยแบบผสานวิธีนี้มุ่งพัฒนาและประเมินนวัตกรรมทางเคมเกราเระน้ำหนักเบาจากเส้นใยคณูชงเคลือบกราฟีน เพื่อยกระดับความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่พิทักษ์ป่าและอุทยานแห่งชาติในประเทศไทย การศึกษาได้แกปัญหาความเสี่ยงร้ายแรงจากป็นผูกดัดแปลงระหว่างการผลิตระหว่าง เแผ่นเคมเระต้นแบบถูกสร้างขึ้นโดยการนำผาใยคณูชงเคลือบผงกราฟีนมาอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก การทดสอบทางชีพนวิธีด้วยป็นลูกชองขนาด 12 เกจ ที่ระยะห่าง 6 เมตร พิสูจน์ให้เห็นว่าวัสดุคอมโพสิตนี้สามารถป้องกันการเจาะทะลุของลูกปรายได้อย่างสมบูรณ์แบบ ซึ่งยืนยันถึงประสิทธิภาพการป้องกันชั้นสูง จากนั้นทางเคมเกราเระได้ถูกนำไปทดสอบภาคสนามโดยกลุ่มตัวอย่างเจ้าหน้าที่ป่าไม้จำนวน 100 นาย ผลการสำรวจเชิงปริมาณตามทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยีพบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับสูงมาก โดยเฉพาะด้านความสะดวกในการใช้งาน ความทนทาน และความรู้สึกปลอดภัยขณะปฏิบัติหน้าที่ นอกจากนี้ การวิเคราะห์ทางสถิติยังบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างอายุและระดับการศึกษาของเจ้าหน้าที่กับการยอมรับนวัตกรรมในภาพรวม อุปกรณ์ป้องกันที่ยั่งยืนนี้ถือเป็นทางเลือกที่พร้อมใช้งานจริงในภาคสนาม ซึ่งไม่เพียงแต่ช่วยลดอัตราการบาดเจ็บและสูญเสียระหว่างการปฏิบัติงานได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่ยังเป็นการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติทางการเกษตรอีกด้วย

คำสำคัญ: นวัตกรรมทางเกษตร, เส้นใยกันบูด, วัสดุเคลือบกราฟีน, การยอมรับเทคโนโลยี, ความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่

ข้อมูลการอ้างอิง: ณรงค์ศักดิ์ วัชรสาร, ทอแสงรัศมี ถีตะแก้ว และ ชัยวัฒน์ พรหมเพชร. (2569). นวัตกรรมทางเทคโนโลยีเกษตรเพื่อขับเคลื่อนการฟื้นฟูความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่พิทักษ์ป่าอย่างยั่งยืน. *สหวิทยาการและความยั่งยืนปริทัศน์ไทย*. 15(1). บทความที่ 5. <https://doi.org/10.14456/tisr.2026.5>

ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2569)

บทนำ

ปัจจุบันเจ้าหน้าที่ป่าไม้และเจ้าหน้าที่กรมอุทยานแห่งชาติในพื้นที่ประเทศไทยประสบอุบัติเหตุจากการลงพื้นที่ทำงานลาดตระเวนด้วยการเดินเท้าและเหยียบสะดุดอุปกรณ์ล่าสัตว์ที่เรียกว่า "ปืนผูกหรือจันท้าว" ทำให้เกิดบาดเจ็บสาหัสที่บริเวณน่องขา และบางรายพิการ ปืนผูกเป็นอุปกรณ์ล่าสัตว์ชนิดหนึ่งที่ชาวบ้านทำขึ้นเองโดยใช้กระสุนสำเร็จรูปพวกกระสุนปืนลูกซองหรือกระสุนกึ่งอัตโนมัติทำขึ้นเองแบบปืนแก๊ป โดยใช้เชือกหรือลวดสลิงไปผูกยึดกับไถปิ่นเมื่อมีสัตว์ป่าเดินมาเกี่ยวสะดุดกับเชือกหรือลวดสลิงก็จะทำให้ปืนลั่นอัตโนมัติ ข้อมูลจากกรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช รายงานข้อมูลเมื่อวันที่ 7 เมษายน 2565 ระบุว่า เจ้าหน้าที่ได้รับบาดเจ็บหรือเสียชีวิตจากการโดนปืนผูกหรือจันท้าว จำนวนมากถึง 2,498 ชิ้น โดยพบในหน่วยงานพื้นที่ป่าอนุรักษ์ 127 แห่ง แบ่งเป็น เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า 31 แห่ง เขตห้ามล่าสัตว์ป่า 12 แห่ง อุทยานแห่งชาติ 78 แห่ง และอื่นๆ 78 แห่ง "ปืนผูก" อาจทำให้เจ้าหน้าที่บาดเจ็บหรือเสียชีวิตได้ ทิศทางปืนจึงตั้งไม่สูงมากนัก ความสูงตั้งจากพื้นไม่เกิน 1 เมตร ประมาณหัวเข่าหรืออาจจะสูงกว่า โดยคาดคะเนเอาตามช่วงความสูงของสัตว์เป้าหมาย แต่ก็มักจะมีสัตว์ป่าที่ไม่ใช่เป้าหมายมาสะดุด เช่น ลูกกระทิง ลูกช้างป่า ลูกสัตว์เหล่านี้อาจถึงตายทันที แต่เป็นสัตว์ป่าตัวใหญ่ อย่างช้างป่า หมูควายหรือกระทิงบาดเจ็บล้มตายลงเช่นเดียวกับเจ้าหน้าที่ผู้ประสบเหตุเมื่อได้รับบาดเจ็บสาหัสที่ขาอาจส่งผลกระทบถึงขั้นพิการได้ ทั้งนี้ โอกาสได้รับอันตรายจากการลงพื้นที่ลาดตระเวนป่า อัตราการเกิดอุบัติเหตุจากการปฏิบัติหน้าที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและในปัจจุบันก็ยังมีอัตราการประสบเหตุเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่ออาการบาดเจ็บต่อร่างกายโดยตรง รวมทั้งเพิ่มภาระต่อครอบครัวในการดูแลระยะยาว มีค่าใช้จ่ายสูง การป้องกันที่สำคัญและป้องกันอันตรายอย่างยั่งยืน ได้แก่ การมีทางเกวกราบช่วยลดอาการบาดเจ็บระหว่างการปฏิบัติหน้าที่ จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยสนใจว่า ในเมื่อขาเป็นส่วนสำคัญในการเดินทางเข้าพื้นที่ปฏิบัติหน้าที่ของเจ้าหน้าที่ป่าไม้ ส่วนของขาที่ควรสร้างนวัตกรรมที่ป้องกันอันตราย ทำให้ทางเกวเป็นเกราะป้องกันได้ เป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดการบาดเจ็บและการสูญเสียให้แก่เจ้าหน้าที่ จากปัญหาทั้งหมดที่กล่าวมาผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาป้องกันปัญหาในการปฏิบัติหน้าที่และพบเจอกับ "ปืนผูกหรือจันท้าว" และการเดินที่มีความเสี่ยงต่อการจะได้รับบาดเจ็บจากการปฏิบัติหน้าที่ ช่วยให้เจ้าหน้าที่ปฏิบัติหน้าที่ได้ง่ายขึ้น ลดความกังวลว่าจะได้รับการบาดเจ็บจากปืนผูกหรือจันท้าว และจากการค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุที่สร้างความแข็งแกร่งให้กับทางเกวเกราะนั้นผู้วิจัยสนใจนวัตกรรมทางเกวเกราะด้วยผ้าใยkevlarเคลือบกราฟีน โดยมุ่งหวังให้ทางเกวเกราะมีความแข็งแรงเป็นประโยชน์จริงต่อการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพยั่งยืน ในการป้องกันการบาดเจ็บของเจ้าหน้าที่ผู้ลาดตระเวนลงพื้นที่ภาคสนาม และนำขยายผลมาสู่การผลิตต่อยอดเชิงพาณิชย์ต่อไป

การทบทวนวรรณกรรม

แนวคิดเกี่ยวกับเกราะและทางเกวเกราะ คำว่า "เกราะ" ตามพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ.2542 (Sasiwannapong, 2013) หมายถึง เครื่องสวมใส่หรือเครื่องหุ้มสำหรับป้องกันอาวุธหรืออันตราย "ชุดเกราะ" คือ เกราะที่ใช้หุ้มส่วนต่างๆ ของร่างกายโดยสวมใส่ในลักษณะเดียวกับเครื่องแต่งกาย วัสดุที่ใช้ทำเสื้อเกราะมีความหลากหลาย เช่น เส้นใยอะรามิด (Aramid) อย่าง Twaron9 ซึ่งเป็นเส้นใยละเอียดมากกว่า 1,000 เส้นรวมกัน ใช้ในการทำเสื้อเกราะซึ่งส่งผลให้เจ้าหน้าที่มีความปลอดภัยมากขึ้น มาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดระดับการป้องกันของเสื้อเกราะ ได้แก่ มาตรฐาน NIJ (National Institute of Justice) ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในประเทศชั้นนำทางทหาร เช่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย เอเชีย ตะวันออกกลาง และบางประเทศในยุโรป เสื้อเกราะสามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆ เช่น เสื้อเกราะชนิดกันแรงระเบิด ซึ่งใช้โดยเจ้าหน้าที่ถอดทำลายวัตถุระเบิด (EOD) ในการกำจัดอันตรายทำลายวัตถุอันตราย เสื้อเกราะชนิดนี้มีคุณสมบัติป้องกันสะเก็ดระเบิดความเร็วสูง ชันในทำจากเส้นใยอะรามิด ส่วนชั้นนอกทำจากเส้นใยโพลีเอทิลีนที่ทนไฟ ชุดประกอบด้วย เสื้อคลุมแขนยาว ปกเสื้อที่ถอดได้ ส่วนป้องกันขาหนีบ ทางเกว (เฉพาะด้านหน้า) หมวก หน้ากาก แผ่นป้องกันหน้าอก และส่วนหุ้มรองเท้า นอกจากนี้ ยังมีเสื้อเกราะสำหรับสุนัขตำรวจ (เสื้อเกราะ K-9) สำหรับกันกระสุน แม้เสื้อเกราะจะถูกออกแบบมาเพื่อป้องกันภัยคุกคามต่างๆ ทั้งกระสุน

ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2569)

สะเก็ดระเบิด หรือแรงระเบิด หากแต่พึงระลึกไว้เสมอว่าเป็นเพียงอุปกรณ์ป้องกันอันตรายได้เพียงส่วนหนึ่งในร่างกายเท่านั้น การใช้งานจึงต้องคำนึงถึงสภาวะและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่การปฏิบัติงานจริงของผู้ใช้งาน

แนวคิดวัสดุที่ใช้ในการทำกระาะ ปัจจุบันนี้มีการพัฒนาแผ่นกระาะกันกระสุนจากเส้นใยสังเคราะห์มาเป็นเส้นใยจากธรรมชาติ เพราะถึงแม้เส้นใยสังเคราะห์จะมีความแข็งแรงทนทาน แต่เนื่องจากต้นทุนในการผลิตที่ค่อนข้างสูงมาก เส้นใยจากธรรมชาติจึงเป็นอีกตัวเลือกที่น่าสนใจในการพัฒนาแผ่นกระาะกันกระสุน เนื่องจากมีต้นทุนที่ต่ำกว่า เพราะสามารถหาได้ตามธรรมชาติ รวมถึงสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับพืชผลทางการเกษตร และความยั่งยืนในการจัดหาวัสดุในการผลิตให้ได้อย่างต่อเนื่อง

กัญชง หรือ เฮมพ์ (Hemp) เส้นใยกัญชงเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีความแข็งแรงสูงและเหนียว โดยการปลูกกัญชงนั้นสามารถใช้ประโยชน์ได้จากทุกส่วน แต่สำหรับการนำเส้นใยมาใช้ในการผลิตแผ่นกระาะกันกระสุนจะนำส่วนของลำต้น (Bast Fiber) มาใช้ ส่วนใหญ่มักจะเพาะปลูกทางจังหวัดตอนบนของประเทศไทย เช่น เชียงใหม่ เชียงราย และ ตาก เป็นต้น (Yanaphan et al., 2023) และงานวิจัยของ Plasin (2018) ผลการศึกษาพบว่า โดยทั่วไปแล้วแผ่นกระาะกันกระสุนเป็นส่วนหนึ่งของเสื้อกระาะที่มีหน้าที่ในการดูดซับพลังงานที่เกิดจากแรงกระแทก เพื่อลดความเร็วของกระสุนซึ่งผลิตมาจากวัสดุที่ทำด้วยเหล็ก โลหะ เซรามิก และใยสังเคราะห์ ถึงแม้ว่าวัสดุเหล่านี้มีความแข็งแรงทนทาน แต่อย่างไรก็ตามวัสดุเหล่านี้มีต้นทุนในการผลิตที่สูง Amatariyakul & Amatariyakul (2016) จากการศึกษาพบว่า เส้นใยกัญชงเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีความแข็งแรงและเหนียว เหมาะแก่การนำมาผลิตแผ่นกระาะกันกระสุนทดแทนการใช้เส้นใยสังเคราะห์ นำมาซึ่งการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาแผ่นกระาะกันกระสุนจากวัสดุประกอบเรซินเสริมแรงด้วยเส้นใยกัญชง โดยขั้นตอนการทดลองนี้ได้นำเส้นใยกัญชงมาปั่นเป็นด้าย ซึ่งก่อนนำเส้นใยไปทอจะต้องผ่านกระบวนการเตรียมเส้นใย (Fiber Pretreatment) ด้วยวิธีการใช้สารเคมี ได้แก่ Ethylenediaminetetraacetic Acid (EDTA) เพื่อกำจัดส่วนประกอบที่ไม่ใช่เซลลูโลส (Non-Cellulose Component) ออกจากเส้นใย เนื่องจากส่วนประกอบเหล่านั้นทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลง ซึ่งจากการนำเส้นใยที่ผ่านกระบวนการเตรียมเส้นใยด้วยสารเคมีแล้วไปทดสอบค่าความแข็งแรงดึง พบว่า เส้นใยที่ผ่านการหมักด้วยสารเคมี EDTA มีค่าความแข็งแรงดึงที่สูงกว่าเส้นใยดิบที่ไม่ได้ผ่านการหมักด้วยความเร็วในการดึงที่เท่ากัน เมื่อเตรียมเส้นใยที่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นแล้วจะนำไปผ่านกระบวนการทอในรูปแบบต่างๆ จากนั้นนำมาผสมกับเรซินโดยผสมกันระหว่างอีพ็อกซีเรซิน (Epoxy Resins, Part A) กับสารเพิ่มความแข็งแรง (Hardener, Part B) ในอัตราส่วน 100 ต่อ 35 ผ่านวิธีการแวคคัมอินฟิวชัน (Vacuum Infusion) ปลอ่ยให้ส่วนผสมไหลผ่านเส้นใยและชั้นต่างๆ ในกระบวนการแวคคัมอินฟิวชันจนเต็มแผ่นและทิ้งไว้เพื่อให้เรซินกระจายตัวและแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยอย่างทั่วถึงและเท่ากัน หลังจากขึ้นรูปเป็นแผ่นกระาะกันกระสุนจากวัสดุประกอบเรซินเสริมแรงด้วยเส้นใยกัญชงแล้วจึงนำไปทดสอบคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) ต่างๆ ได้แก่ วิธีการทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) และวิธีการทดสอบแรงกระแทก (Impact Test) (Wantang et al., 2023; Ribeiro et al., 2021) นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้เชิงอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ เช่น กระดาษ อุตสาหกรรมยานยนต์ ฉนวนกันความร้อน ก่อสร้าง เป็นต้น ดังนั้น เส้นใยกัญชงจึงมีความยืดหยุ่นและมีมิติความยั่งยืนสูงในการผลิตเนื่องจากสามารถปลูกและแปรรูปการผลิตได้ในประเทศไทย

กราฟีน กราฟีน (อังกฤษ: Graphene) เป็นรูปแบบหนึ่งของผลึกคาร์บอนเคียงข้างกับ เพชร, แกรไฟท์, ท่อนาโนคาร์บอน และฟูลเลอรีน โดยที่อะตอมของคาร์บอนจะเรียงตัวในรูปแบบหกเหลี่ยมรังผึ้งทั่วไป กราฟีนสามารถอธิบายได้ว่าเป็นชั้นหนาเพียงอะตอมเดียวของแร่แกรไฟต์ที่เป็นชั้นๆ (Park & Ruoff, 2009) กราฟีนที่มีคุณภาพสูง มีความแข็งแรงมาก น้ำหนักเบา (กราฟีนขนาด 1 ตารางเมตร มีน้ำหนักเพียง 0.77 มิลลิกรัมเท่านั้น) เกือบโปร่งใส และเป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าที่ดี การที่มันมีปฏิสัมพันธ์ที่ดีกับวัสดุอื่นๆ และกับแสง และการที่โดยธรรมชาติเป็นแบบสองมิติของมัน ทำให้มีคุณสมบัติเฉพาะที่ไม่เหมือนใคร กราฟีน (Graphene) วัสดุคาร์บอนที่มีโครงสร้างแบบ 2 มิติ เพิ่งค้นพบเมื่อปี พ.ศ.2547 (Novoselov et al., 2004) และได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ในปี พ.ศ.2553 ได้ปฏิวัติวงการวัสดุศาสตร์แบบไม่เคยมีวัสดุใดทำได้มาก่อนหลังจากการค้นพบพลาสติก กราฟีนถูกนำไปใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เนื่องจาก

ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2569)

คุณสมบัติอันพิเศษสุด (Shin et al., 2012; Dikin et al., 2007) เช่น มีความแข็งแรงกว่าเหล็กกล้าถึง 200 เท่า นำไฟฟ้าได้ดีและนำความร้อนได้ดีกว่าโลหะใดๆ จุดเด่นของกราฟีนนั้นคือ การมีความบางและโปร่งใส แต่กลับมีความแข็งแรงและยังนำไฟฟ้าได้อย่างยอดเยี่ยม โดยสามารถนำไฟฟ้าได้มากกว่าทองแดงหลายเท่าตัว และยังสามารถนำความร้อนได้ดีอีกด้วย ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ กราฟีนจึงเป็นวัสดุที่น่าทึ่งสำหรับนักวิจัยและนักออกแบบที่มองเห็นความเป็นไปได้ใหม่ๆ ของวัสดุนี้ และหาจุดมุ่งหมายในการนำกราฟีนไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบอื่น ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ได้อิเล็กทรอนิกส์ ทางเคมีไฟฟ้า (Karaphun et al., 2021; Khammahong et al., 2025; Wongjom et al., 2022) การประยุกต์ใช้งานด้านตัวเก็บประจุ (Phrompet et al., 2020; Ruttanapun et al., 2021) ด้านวัสดุก่อสร้างซีเมนต์ (Janjaroen et al., 2022; Phrompet et al., 2019) และด้านพลังงาน เทอร์โมอิเล็กทริก ไฮโดรเจน (Maneesai et al., 2023; Hankoy et al., 2023; Thongsamrit et al., 2020) เป็นต้น อีกอุตสาหกรรมหนึ่งที่กราฟีนกำลังจะเข้ามามีบทบาทต่อวัสดุที่ใช้ได้แก่ อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ (Defense Industry) เพื่อความมั่นคงของประเทศ ดังแสดงในภาพที่ 1 เป็นแนวทางการจัดทำนวัตกรรมแผ่นเกราะกันกระสุนที่ทำจากเส้นใยกัญชงผสมกราฟีนและขั้นตอนการอัดขึ้นรูปต้นแบบแผ่นเกราะผ้ากัญชงเคลือบกราฟีน

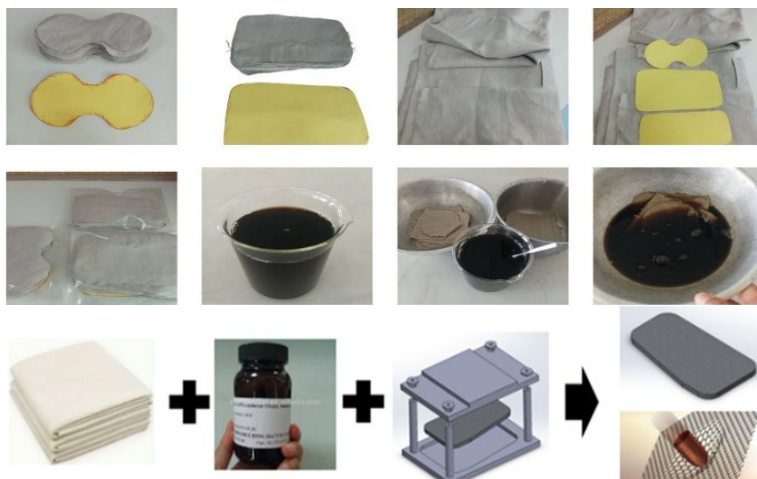


Figure 1 Fabrication process of the innovative graphene-mixed hemp fiber prototype armor plates

แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการยอมรับนวัตกรรม เช่น ทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model - TAM) อธิบายว่า การรับรู้ถึงประโยชน์ (Perceived Usefulness - PU) เป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อความตั้งใจที่จะใช้เทคโนโลยีนั้นๆ PU คือ ความเชื่อของบุคคลว่า เทคโนโลยีจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานรูปแบบเดิมได้มากน้อยเพียงใด หากผู้ใช้รับรู้ว่ามีประโยชน์และช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพงาน โอกาสที่จะยอมรับก็จะเพิ่มขึ้น อีกแนวคิดคือ การรับรู้ความง่ายในการใช้งาน (Perceived Ease of Use - PEOU) ซึ่งคือ ความเชื่อของบุคคลต่อความยาก-ง่ายในการใช้งานเทคโนโลยี หากรับรู้ว่าการใช้งานง่ายและเข้าใจง่าย โอกาสยอมรับก็จะสูงขึ้น PEOU ส่งผลต่อ PU และทัศนคติและการรับรู้ถึงประโยชน์มีผลต่อความตั้งใจในการใช้เทคโนโลยี ซึ่งนำไปสู่การใช้งานจริง กรอบแนวคิดในการวิจัยนี้จึงศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านคุณลักษณะของนวัตกรรม การรับรู้ต่อการใช้งาน และความพึงพอใจต่อการใช้งาน ที่มีทางเกราะในระหว่างสวมใส่ขณะปฏิบัติหน้าที่ว่า มีผลต่อการยอมรับทางเกราะสำหรับเจ้าหน้าที่ งานวิจัยนี้สนใจนวัตกรรมทางเกราะที่ใช้วัสดุอย่างผ้าใยกัญชงเคลือบกราฟีน โดยมุ่งหวังให้มีความแข็งแรงและเป็นประโยชน์จริงในการป้องกันการบาดเจ็บของเจ้าหน้าที่ ที่ออกลาดตระเวนในพื้นที่

ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2569)

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Methods) ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยเริ่มต้นจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ได้แก่ เอกสาร สิ่งพิมพ์ วิทยานิพนธ์ บทความ ตำรา และสื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อใช้เป็นฐานความรู้เชิงคุณภาพในการพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมกางเกงเกราะ ลำดับถัดมา ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องมือสำหรับการวิจัยเชิงสำรวจในรูปแบบของแบบประเมินการยอมรับการใช้นวัตกรรมกางเกงเกราะ ซึ่งครอบคลุมการจัดเก็บข้อมูลส่วนบุคคล อายุงาน ระดับการศึกษา และประสบการณ์เดิมในการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายขณะลาดตระเวน ควบคู่ไปกับการประเมินความคิดเห็นของผู้ใช้งานเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการยอมรับนวัตกรรมใน 4 ด้านหลัก ได้แก่ การรับรู้ความง่ายในการใช้งาน การรับรู้ความสอดคล้องกับรูปแบบการทำงานในพื้นที่จริง การรับรู้ประโยชน์ในการยกระดับประสิทธิภาพและลดความเสี่ยง และการรับรู้ถึงความปลอดภัยที่นำไปสู่ความตั้งใจในการนำไปใช้ปฏิบัติงานจริงในอนาคต สำหรับขั้นตอนของการทดสอบภาคสนามและการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้นำนวัตกรรมกางเกงเกราะน้ำหนักเบาดังกล่าวไปให้กลุ่มตัวอย่างทดลองสวมใส่ปฏิบัติงานจริง ซึ่งประกอบด้วยเจ้าหน้าที่กรมป่าไม้และเจ้าหน้าที่กรมอุทยานแห่งชาติ จำนวน 100 นาย โดยกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดได้เข้าร่วมการทดสอบด้วยความสมัครใจ และให้การยินยอมรับทราบอย่างเป็นทางการก่อนที่ผู้วิจัยจะดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลตามกระบวนการต่อไป

ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพขีปนาวุธ

จากการศึกษาเชิงคุณภาพและกระบวนการทางวิศวกรรม ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบแผ่นเกราะต้นแบบแบ่งเป็น 3 ส่วนสำคัญ เพื่อให้สอดคล้องกับสรีระและการเคลื่อนไหวของเจ้าหน้าที่ ได้แก่ ส่วนต้นขา หัวเข่า และน่อง โดยใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกเพื่อสร้างแผ่นคอมโพสิตจากใยสังเคราะห์เคลือบกราฟีนที่มีความแข็งแรงสูง เมื่อนำแผ่นเกราะดังกล่าวไปทดสอบขีปนาวุธด้วยปืนลูกซองขนาด 12 เกจ ที่ระยะ 6 เมตร พบว่าวัสดุสามารถป้องกันการเจาะทะลุของลูกปรายได้ 100% ซึ่งยืนยันถึงประสิทธิภาพความปลอดภัยขั้นสูง



Figure 2 Prototype of graphene-coated hemp plates and ballistic testing results using 12-gauge shotgun

ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2569)

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

เพื่อให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์และการนำไปใช้จริงในระดับนโยบาย ผู้วิจัยได้รวบรวมงบประมาณในการจัดสร้างต้นแบบกางเกงเกราะนวัตกรรม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าต้นทุนส่วนใหญ่เน้นไปที่การประกอบชุดและการเตรียมวัสดุพื้นฐาน ดังรายละเอียดในตารางที่ 1

Table 1 Material and fabrication costs for the armored trousers prototype

List	Description	Cost (THB)
Hemp Fabric	Prototype hemp cloth (1m x 5m)	1,000
Graphene Powder	High-purity graphene powder	1,200
Assembly & Sewing	Uniform integration and labor cost	2,200
Total		4,400

การประเมินการยอมรับนวัตกรรมจากผู้ปฏิบัติงาน

จากการนำกางเกงเกราะไปทดสอบภาคสนามกับเจ้าหน้าที่ลาดตระเวนจำนวน 100 นาย พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ (ร้อยละ 86) ไม่เคยมีประสบการณ์การใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายมาก่อน ผลการประเมินความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีมิติด้านการใช้งานได้สะดวกและความรู้สึกปลอดภัยได้รับคะแนนเฉลี่ยสูงสุด

Table 2 Descriptive statistics of user satisfaction with armored trousers innovation

Satisfaction Factor	Mean	S.D.	Interpretation
Ease of use and convenience	4.58	0.87	Highest
Perceived safety and strength	4.41	1.10	Highest
Ease of cleaning and maintenance	4.20	1.43	Highest
Wearability and comfort	3.90	1.14	High



Figure 3 Field testing and user trial of armored trousers by forestry patrol officers

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติ

ผลการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's Correlation) บ่งชี้ว่า ปัจจัยส่วนบุคคลอันได้แก่ อายุ และ ระดับการศึกษา มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการยอมรับนวัตกรรมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีค่าสหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.301 ถึง 0.473 ข้อมูลนี้สะท้อนว่าผู้ที่มีอายุและระดับการศึกษาสูงขึ้นมีแนวโน้มที่จะรับรู้ถึงประโยชน์และพร้อม

ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2569)

ยอมรับเทคโนโลยีเพื่อความปลอดภัยนี้มากกว่ากลุ่มอื่น ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการวางแผนการแจกจ่ายอุปกรณ์ในอนาคต

สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ประสบความสำเร็จอย่างเป็นรูปธรรมในการพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมกางเกงเกราะน้ำหนักเบาจากใยแก้วเคลือบกราฟีน ซึ่งพิสูจน์ให้เห็นถึงประสิทธิภาพขั้นสูงในการปกป้องชีวิตและร่างกายของเจ้าหน้าที่พิทักษ์ป่าจากภัยคุกคามของปืนลูกซอง ที่สำคัญที่โดดเด่นของงานวิจัยนี้คือการผสมผสานศาสตร์ด้านวัสดุศาสตร์เชิงนวัตกรรมเข้ากับวิถีการปฏิบัติงานจริงในพื้นที่เสี่ยงภัย ผลการทดสอบทางชีววิธีที่ยืนยันว่าวัสดุคอมโพสิตนี้สามารถป้องกันการเจาะทะลุจากกระสุนลูกซองขนาด 12 เกจได้อย่างสมบูรณ์ ถือเป็นการก้าวข้ามขีดจำกัดของวัสดุเส้นใยจากธรรมชาติ เมื่อได้รับการเสริมความแข็งแรงด้วยคุณสมบัติพิเศษของเทคโนโลยีกราฟีน นวัตกรรมนี้ไม่เพียงแต่ช่วยลดอัตราการบาดเจ็บรุนแรงหรือความพิการ แต่ยังช่วยบรรเทาภาระค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลระยะยาวของครอบครัวเจ้าหน้าที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ

ในการอภิปรายผล ประเด็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งคือความสอดคล้องระหว่างคุณลักษณะทางกายภาพของนวัตกรรมและจิตวิทยาการยอมรับเทคโนโลยีของผู้ใช้งานตามทฤษฎี TAM (Technology Acceptance Model) การที่กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจในระดับสูงมาก โดยเฉพาะมิติด้านความสะดวกในการใช้งาน การดูแลรักษาทำความสะอาดที่ง่ายดาย ตลอดจนความรู้สึกปลอดภัยที่เพิ่มขึ้น สะท้อนให้เห็นว่านวัตกรรมนี้ตอบโจทย์ทั้งการป้องกันเชิงเทคนิคและการลดทอนความกังวลใจ ช่วยเพิ่มขวัญกำลังใจในการลาดตระเวนภาคสนาม นอกจากนี้ ข้อค้นพบที่ว่าปัจจัยด้านอายุและระดับการศึกษาแปรผันตรงกับระดับการยอมรับนวัตกรรม บ่งชี้ว่าเจ้าหน้าที่ที่มีวุฒิภาวะ ประสบการณ์ และการศึกษาสูง มีวิสัยทัศน์ในการประเมินความเสี่ยงและตระหนักถึงความจำเป็นของการใช้เทคโนโลยีเพื่อความปลอดภัยที่ยั่งยืน ข้อมูลนี้เป็นฐานรากเชิงนโยบายที่สำคัญในการออกแบบกระบวนการสื่อสารและจัดกิจกรรมสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องก่อนที่จะมีการนำนวัตกรรมนี้ไปแจกจ่ายและประยุกต์ใช้งานจริงอย่างแพร่หลายในบุคลากรทุกระดับ

สำหรับข้อเสนอแนะเพื่อการขับเคลื่อนและพัฒนานวัตกรรมนี้อย่างยั่งยืน ผู้วิจัยเห็นควรให้มีการต่อยอดในมิติของการขยายพื้นที่นำร่องของแผ่นเกราะให้ครอบคลุมส่วนที่เปราะบางเพิ่มเติม เช่น บริเวณหน้าแข้งและข้อเท้า เพื่อยกระดับการป้องกันภัยคุกคามจากกับดักประเภทอื่น อาทิ บ่วงสลิงรัดข้อเท้าที่อาจนำไปสู่ภาวะติดเชื้อมากยิ่งขึ้น รวมไปถึงการพัฒนารองเท้าเกราะเพื่อป้องกันตะปูหรือกับดักแบบหนามแหลมขนาดใหญ่ ขณะเดียวกันต้องรักษาสมดุลด้วยการวิจัยให้แผ่นเกราะบางลงและมีน้ำหนักเบาขึ้นเพื่อคงความคล่องตัวสูงสุดในการเดินป่า ในเชิงการบริหารและยุทธศาสตร์ภาครัฐและหน่วยงานต้นสังกัดควรนำผลการศึกษานี้ไปผลักดันให้นวัตกรรมดังกล่าวได้รับการพิจารณา และจัดสรรงบประมาณเพื่อบรรจุเป็นอุปกรณ์ความปลอดภัยพื้นฐานประจำกายสำหรับแจกจ่ายให้เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานภาคสนามทั่วประเทศ ซึ่งจะเป็นการยกระดับสวัสดิภาพและคุณภาพชีวิตของบุคลากรผู้เสียสละดูแลทรัพยากรธรรมชาติของชาติอย่างเป็นรูปธรรมและยั่งยืน

References

- Amatariyakul, C., & Amatariyakul, W. (2016). Analysis of the Material for Making Bulletproof Vests a More Efficient Level II. *Research on Modern Science and Utilizing Technological Innovation Journal*, 9(2), 161-176.
- Dikin, D., Stankovich, S., Zimney, E., Piner, R., Dommett, G., Evmenenko, G., Nguyen, S., & Ruoff, R. (2007). Preparation and characterization of graphene oxide paper. *Nature*, 448(7152), 457-460.

- Hankoy, M., Phrompet, C., Ruttanapun, C., Kaewpengkrow, P., Vichaphund, S., Atong, D., Kitiwan, M., & Tunthawiroon, P. (2023). Enhancing the hydrogen permeation of alumina composite porous membranes via graphene oxide addition. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(4), 1380-1390.
- Janjaroen, T., Khammahong, S., Tuichai, W., Karaphun, A., Phrompet, C., Sriwong, C., & Ruttanapun, C. (2022). The mechanical and thermal properties of cement CAST mortar/graphene oxide composite materials. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 16, 34.
- Karaphun, A., Phrompet, C., Tuichai, W., Chanlek, N., Sriwong, C., & Ruttanapun, C. (2021). The influence of annealing on a large specific surface area and enhancing the electrochemical properties of reduced graphene oxide to improve the performance of the active electrode of supercapacitor devices. *Materials Science and Engineering: B*, 264, 114941.
- Khammahong, S., Phrompet, C., Ruttanapun, C., & Sriwong, C. (2025). Effect of rGO nanosheet loading in SiO₂/rGO hybrid nanocomposites for enhancing optoelectrical, physical, and electrochemical properties. *Diamond and Related Materials*, 155, 112330.
- Maneesai, K., Khammahong, S., Siripoom, P., Phrompet, C., Sriwong, C., Maensiri, S., & Ruttanapun, C. (2023). Fabrication and thermoelectric conversion of thermoelectric concrete brick with a buried unileg N-type CaMnO₃ thermoelectric module inside. *Scientific Reports*, 13, 916.
- Novoselov, K., Geim, A., Morozov, S., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S., Grigorieva, I., & Firsov, A. (2004). Electric field effect in atomically thin carbon films. *Science*, 306(5696), 666-669.
- Park, S., & Ruoff, R. (2009). Chemical methods for the production of graphenes. *Nature Nanotechnology*, 4, 217-224.
- Phrompet, C., Maneesai, K., Tuichai, W., Karaphun, A., Sriwong, C., & Ruttanapun, C. (2020). Electrochemical properties of tricalcium aluminate hexahydrate-reduced graphene oxide nanocomposites for a supercapacitor device. *Journal of Energy Storage*, 30, 101474.
- Phrompet, C., Sriwong, C., & Ruttanapun, C. (2019). Mechanical, dielectric, thermal, and antibacterial properties of reduced graphene oxide (rGO)-nanosized C3AH6 cement nanocomposites for smart cement-based materials. *Composites Part B: Engineering*, 175, 107128.
- Plasin, A. (2018). *Design and Development of Protective Armor for Bulletproof Vest Using Metal Plate, Carbon Fiber Composite, and Reused X-Ray Films*. Master of Engineering Thesis, Chulalongkorn University.
- Ribeiro, M., de Mendonça Neuba, L., da Silveira, P., da Luz, F., da Silva Figueiredo, A., Monteiro, S., & Moreira, M. (2021). Mechanical, thermal, and ballistic performance of epoxy composites reinforced with Cannabis sativa hemp fabric. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 221-233.
- Ruttanapun, C., Phrompet, C., Tuichai, W., Karaphun, A., Daengsakul, S., & Sriwong, C. (2021). Influence of free electron charge and free extra framework anions in calcium aluminate@ rGO (CA@ rGO) cement composites with enhanced dielectric and electrochemical properties. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 127, 334-348.
- Sasiwannapong, P. (2013). *A Study of the Warrior's Armour in Thailand before 19th Century*. Master of Arts Thesis, Silpakorn University.
- Shin, D., Bae, S., Yan, C., Kang, J., Ryu, J., Ahn, J., & Hong, B. (2012). Synthesis and applications of graphene electrodes. *Carbon Letters*, 13(1), 1-16.

- Thongsamrit, W., Phrompet, C., Maneesai, K., Karaphun, A., Tuichai, W., Sriwong, C., & Ruttanapun, C. (2020). Effect of grain boundary interfaces on electrochemical and thermoelectric properties of a Bi₂Te₃/reduced graphene oxide composite. *Materials Chemistry and Physics*, 250, 123196.
- Wantang, T., Pipathattakul, M., & Wiwatwongwana, F. (2023). Sustainable innovation in ballistic vest design: Exploration of polyurethane-coated hemp fabrics and reinforced sandwich epoxy composites against 9 mm and .40 S&W bullets. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 33(4), 1830.
- Wongjom, P., Tuichai, W., Karaphun, A., Phrompet, C., Daengsakul, S., Pimanpang, S., Moontragoon, P., Srepusharawoot, P., Sriwong, C., & Ruttanapun, C. (2022). Characterization and electrochemical properties of CuO–Cu₂O@ rGO nanocomposite synthesized by a seed-mediated growth process. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 163, 110540.
- Yanaphan, R., Kuppatarat, S., & Pinmanee, S. (2023). The test of hemp varieties and their potential for fiber production. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 51(Suppl. 1), 140-145.

Data Availability Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

Conflicts of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's Note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors, and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or that its manufacturer may claim, is not guaranteed or endorsed by the publisher.



Copyright: © 2026 by the authors. This is a fully open-access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).