

ชนวนหัวกระแทกแตกไว/ถ่วงเวลา สำหรับลูกระเบิดยิงจากเครื่องยิงลูกระเบิด

Point Detonating Quick/Delay Fuze of Mortar

ทวี ดีจะมาลา¹ และ นักรบ วาณิชนุเคราะห์²

Thawee Deejamala¹ and Nakrob Wanichnukhro²

Received: April 27, 2023

Revised: May 11, 2023

Accepted: May 16, 2023

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เพื่อ 1) สร้างองค์ความรู้และเทคโนโลยีในการพัฒนาชนวนหัวกระแทกแตกไว ถ่วงเวลา สำหรับลูกระเบิดยิงจากเครื่องยิงลูกระเบิด (ลย./ค.) 2) พัฒนาและสร้างชนวนหัวกระแทกแตกไว ถ่วงเวลา สำหรับ ลย./ค. 3) เป็นแนวทางในการสร้างชนวนหัวกระแทกแตกไว ถ่วงเวลา สำหรับ ลย./ค. ที่มีคุณลักษณะ และ ชีตความสามารถตามเกณฑ์มาตรฐานทางทหารและนำเข้าสู่สายการผลิตต่อไป โดยการวิจัยนี้จะใช้วิธีวิศวกรรม ย้อนรอยตรวจสอบข้อมูลทางเทคนิคและข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนอุปกรณ์กลไกการทำงานหลักอยู่ 2 ส่วน ส่วนแรกทำหน้าที่ด้านความปลอดภัย และส่วนที่สองทำหน้าที่จุดระเบิดให้ทำงานเมื่อชนวนกระแทกเป้าหมาย และ นำปัญหาข้อบกพร่องต่าง ๆ จากการศึกษาความเป็นไปได้ในอดีตมาปรับปรุงแก้ไข โดยได้เน้นเรื่องการพัฒนา ชิ้นส่วนกลไกทางกล ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและได้แบบรูปที่ถูกต้องแม่นยำเนื่องจากชิ้นส่วนต่าง ๆ ของกลไกทางกลมีขนาดค่อนข้างเล็กจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องจักรที่เหมาะสมมีความเที่ยงตรงสูงในการผลิต เพื่อนำมา กำหนดกระบวนการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ของชนวนหัวขึ้นเองโดยใช้วัสดุที่จัดหาภายในประเทศเป็นหลัก นอกจากนี้ ยังได้พัฒนาชนวนหัวลูกระเบิดที่มีอำนาจการระเบิดที่เหมาะสมกับ ลย./ค. ชนิดต่าง ๆ ซึ่งจากการดำเนินการวิจัย สามารถสร้างองค์ความรู้ให้กำลังพลของ ศอว.ศอพท. ผลิตชนวนหัวกระแทกแตกไว ถ่วงเวลา สำหรับ ลย./ค. ได้ และ ผ่านการทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานทางทหารที่กำหนด ชนวนหัวสามารถทำงานได้ดีคิดเป็นร้อยละ 97

คำสำคัญ: ชนวนหัว, ชนวนหัวลูกปืน ลย./ค., ชนวนหัวกระแทกแตกไว, ชนวนหัวกระแทกแตกไวถ่วงเวลาสำหรับ ลย./ค.

¹กองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝ้ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

¹Department of Physics and Chemistry, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy.

E-mail: taweemala@hotmail.com

²กองวิจัยพัฒนาและเทคโนโลยี, ศูนย์อำนวยการสร้างอาวุธ, ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร

²Research Development and Technology, Division Weapon Production Centre, Defence Industry and Energy Centre. E-mail: nakrob110@gmail.com

Abstract

The objectives of this research are 1) to create knowledge and technology for developing point detonating quick/delay fuze of Mortar 2) to develop and produce point detonating quick/delay fuze of Mortar 3) a guideline for producing point detonating quick/delay fuze of Mortar. The features and capabilities of point detonating quick/delay fuze of Mortar would be qualified military standards and to be brought into the production line. In this research, reverse engineering is method for analyzing technical data and other information. There are two main related mechanical parts. The function of the first part is for safety and the second part is for detonator when impacting the target and leading to various defects from the feasibility study in the past to improve. The development focuses on mechanical components to be able to work efficiently and accurately. Regarding the various parts of the mechanical mechanism relatively small, the high accuracy and precision machine is very important for determine production process of various parts. The fuzes are made domestically In addition, it has developed explosive convoys with explosive power suitable for various type of mortar. From the research, knowledge is to enable the personnel of Weapon Production Centre, Defence Industry and Energy centre to produce point detonating quick/delay fuze of Mortar. The result reveals that the fuze performs well accounting for 97 percent of success.

Keywords: Fuze, Mortar Fuze, Point Detonating Fuze, Point Detonating Quick Delay Fuze of Mortar.

1. บทนำ

ขบวนเป็นอุปกรณ์ หรืออาวุธยุทธโธปกรณ์ที่บรรจุวัตถุระเบิดไว้ภายใน เพื่อใช้สำหรับจุดวัตถุระเบิดตามเงื่อนไขที่กำหนด นอกจากนี้ขบวนยังมีอุปกรณ์นิรภัยที่มีกลไกด้านความปลอดภัยเพื่อปกป้องผู้ใช้งานจากการระเบิดก่อนเวลาอันควร หรือโดยไม่ได้ตั้งใจ ตัวอย่าง เช่น ลูกปืนใหญ่ ขบวนพร้อมทำงาน (Arms) [1], [2] โดยอาศัยความแรงของลูกปืนใหญ่ หรือการหมุนรอบตัวเองเพื่อปลดล็อกกลไกภายในขบวนที่แยกตัวจุดระเบิดออกจากส่วนบรรจุหลักจนกระทั่งลูกปืนถูกยิง [3]

1.1 ขบวนปืนใหญ่ (Artillery Fuze) [4] เป็นขบวนหัวที่ใช้กับลูกกระเบิดยิงจากเครื่องยิงลูกกระเบิด (ลย/ค.) หรือปืนใหญ่ ขบวนบางชนิดอาจมีเฉพาะองค์ประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ หรือทางกลที่จำเป็นในการส่งสัญญาณหรือกระตุ้นการระเบิด แต่มีขบวนบางตัวที่มีวัตถุระเบิดปฐมภูมิจำพวกดินเริ่มจำนวนเล็กน้อยเพื่อเริ่มต้นการระเบิด ขบวนสำหรับลูกปืนขนาดใหญ่อาจมีดินระเบิดที่เป็นตัวขยายการระเบิดรวมอยู่ด้วยเพื่อสนับสนุนการระเบิดให้สมบูรณ์ ขบวนปืนใหญ่ [5], [6], [7] เป็นอุปกรณ์กลไกประกอบเข้ากับเรือนหัวลูกปืนเพื่อให้ทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยทั่วไปแล้วจะจำแนกขบวนตามเงื่อนไขการจุดระเบิดดังนี้

1.1.1 เมื่อกระทบเป้า (Impact Fuze) จะทำการจุดระเบิดซึ่งจะมี 2 ตำแหน่ง คือ จุดที่ส่วนปลายหัวลูกปืน (Point Detonating: PD) หรือจุดที่ส่วนท้ายหัวลูกปืน (Base Detonating: BD) เรียกชว่นแบบนี้ว่า ชว่นกระทบแตก

1.1.2 เมื่อถึงเวลาที่กำหนดไว้หลังจากการยิง ซึ่งจะมีกลไกแบบลานนาฬิกาหรือมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เรียกว่า ชว่นเวลา (Time Fuze)

1.1.3 จุดระเบิดเมื่อส่งสัญญาณตรวจพบเป้าในระยะใกล้กับพื้น โครงสร้าง หรือเป้าหมายอื่น ๆ เรียกว่า ชว่นคลื่นวิทยุ (Proximity Fuze) [8], [9]

1.2 ชว่นทุกประเภทจะมีการออกแบบให้มีอุปกรณ์นิรภัยเพื่อความปลอดภัยในการเก็บรักษาหรือนำไปใช้งาน ซึ่งคุณลักษณะด้านความปลอดภัยของชว่นจะเป็นดังนี้

1.2.1 เป็นลักษณะลวดนิรภัยขัดเสียบขัดอุปกรณ์ภายในชว่นไม่ให้กลไกเกิดการเคลื่อนที่

1.2.2 เป็นลักษณะกลไกการทำงานขัดขวางหรือเอียงหลบชว่นการวัดระเบิดไม่ให้อยู่ในแนวเดียวกัน โดยทั่วไปชว่นที่ผลิตสำหรับใช้กับลูกปืนจะปลดล็อกเพื่อให้ชว่นพร้อมทำงาน (Arms) ตามคุณลักษณะของอาวุธปืนที่ใช้ทำการยิงมี 2 ประเภท ดังนี้

1) ชว่นที่ใช้กับปืนที่ไม่มีเกลียวในลำกล้อง เช่น เครื่องยิงลูกระเบิด (Mortars) ชว่นชนิดนี้จะอาศัยหลักการปลดล็อกเพื่อให้ชว่นพร้อมทำงาน โดยอาศัยแรงเฉื่อยถอยหลัง (Setback Forces) ที่เกิดจากความเร่งในการเคลื่อนที่ของลูกปืนภายในลำกล้องปืน

2) ชว่นที่ใช้กับปืนที่มีเกลียวในลำกล้องปืน เช่น ปืนใหญ่ (Artillery) ชว่นชนิดนี้จะอาศัยหลักการปลดล็อกเพื่อให้ชว่นพร้อมทำงาน โดยอาศัยแรงเฉื่อยถอยหลังที่เกิดจากความเร่งในการเคลื่อนที่ของลูกปืนภายในลำกล้องปืน และแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Forces) ที่เกิดจากการหมุนรอบตัวเองเมื่อหัวลูกปืนเคลื่อนที่ตามเกลียวลำกล้องปืน

ศูนย์อำนวยการสร้างอาวุธ ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร (ศอว.ศอพท.) มีขีดความสามารถและประสบการณ์ในการประกอบรวมชว่นหัวของกระสุนปืนใหญ่และลูกระเบิดยิงมามากกว่า 100,000 ชว่นหัว โดยในปี พ.ศ.2527 ศอว.ศอพท.ได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีในการประกอบและทดสอบชว่นหัวสำหรับกระสุนปืนใหญ่ และ ลย./ค. จากสาธารณรัฐเกาหลี ซึ่งองค์ประกอบของชว่นหัวมีความจำเป็นต้องจัดหาจากต่างประเทศ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการจัดหาค่อนข้างนาน และราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องบางกรณีไม่สามารถจัดหาองค์ประกอบของชว่นหัวจากต่างประเทศได้ เนื่องจากประเทศผู้ผลิตไม่ขายให้ ศอว.ศอพท.จึงได้ดำเนินการศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาชว่นหัวกระทบแตกไว/ถ่วงเวลา ร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสถาบันไทย - เยอรมัน โดยได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหม ผลการศึกษาวิจัยได้ต้นแบบ และองค์ความรู้ทางเทคนิคต่าง ๆ สำหรับนำมาต่อยอด และต่อมาได้ดำเนินการวิจัยและพัฒนาชว่นหัวกระทบแตกไว/ถ่วงเวลา สำหรับ ลย./ค. โดยได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อสร้างองค์ความรู้และเทคโนโลยีในการพัฒนาชนวนหัวกระแทกไวถ่วงเวลา สำหรับ ลย./ค.
- 2.2 เพื่อพัฒนาและสร้างชนวนหัวกระแทกไว ถ่วงเวลา สำหรับ ลย./ค.
- 2.3 เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างชนวนหัวกระแทกไว ถ่วงเวลา สำหรับ ลย./ค. ที่มีคุณลักษณะ และขีดความสามารถตามเกณฑ์มาตรฐานทางทหารและนำเข้าสู่สายการผลิตต่อไป

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- 3.1 ในทางการทหาร ชนวนเป็นส่วนหนึ่งของอาวุธ ที่มีอุปกรณ์กลไกการทำงานหลักอยู่ 2 ส่วน คือ
 - 3.1.1 ส่วนที่ทำหน้าที่ด้านความปลอดภัย ซึ่งจะป้องกันการทำงานของชนวนก่อนเวลาอันควร เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน หรือความปลอดภัยในการเก็บรักษา รวมถึงความปลอดภัยในการขนส่ง ซึ่งกลไกจะเป็นลักษณะประเภทเชิงกล หรือไฟฟ้า หรือทั้งสองอย่างรวมกัน
 - 3.1.2 ส่วนที่ทำหน้าที่จุดระเบิดให้ทำงาน [10], [11] แบบกระแทกแตก (Point Detonating: PD) ชนวนจะทำงานเมื่อชนวนหัวกระแทกเป้าหมาย พลังงานจลน์ที่เกิดจากการกระแทก จะถูกส่งไปยังเข็มแทงชนวน พลังงานจากเข็มแทงชนวนจะส่งต่อไปกับวัตถุระเบิดประเภทดินเริ่มที่ไวต่อการเสียดสี เช่น Lead Styphnate [12] เกิดการจุดตัวขึ้น ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะได้ในรูปของแรงดันและความร้อนส่งต่อไปตามขบวนการวัตถุระเบิด ชนวนลูกปืน ลย./ค. ที่ใช้ตามเหล่าทัพของไทยส่วนใหญ่เป็นแบบกระแทกไว ถ่วงเวลา รุ่น PD DM 111 A5 [13]
- 3.2 ชุดนิรภัยชนวนลูกปืน ลย./ค. PD DM 111 A5 ประกอบด้วยชุดนิรภัยจิ้งหะ (Pulse Safety) และสลักนิรภัย (Safety Pin) ตัวสลักนิรภัยจะขัดอยู่ในชุดนิรภัยจิ้งหะ ซึ่งจะทำหน้าที่ ยึดล็อกตัวโรเตอร์ (Rotor) ที่มีเชื้อประทุ (Detonator) อยู่ 2 ตัว และยังทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ส่วนประกอบต่าง ๆ หลุดออกจากตำแหน่ง ตัวโรเตอร์ ของชนวนจะถูกยึดล็อกเยื้องแนวอยู่ในตำแหน่งปลอดภัย ป้องกันขบวนการจุดตัวของวัตถุระเบิด ยิ่งไปกว่านั้นตัวเข็มแทงชนวน (Firing Pin) ยังถูกวางอยู่ในตำแหน่งรูช่องว่างของโรเตอร์อีกด้วย เมื่อถอดสลักนิรภัยออก และมีแรงเฉื่อยถอยหลังมากกว่าหรือเท่ากับ 650g เมื่อทำการยิงลูกปืน ชุดจิ้งหะนิรภัยจะปลดล็อกโรเตอร์ ทำให้โรเตอร์หมุนเคลื่อนที่ไปอยู่ในตำแหน่งแนวขบวนการวัตถุระเบิดพร้อมทำงาน (Armed) ซึ่งระบบนี้จะถูกหน่วงเวลาไว้ให้ลูกปืนเคลื่อนที่จากปากลำกล้องเป็นระยะมากกว่า 40 เมตร ชนวนจะยังไม่พร้อมทำงาน จนกว่าลูกปืนจะพ้นระยะ 40 เมตร ห่างจากปากลำกล้อง ชุดความปลอดภัยของชนวนนี้จะประกันความปลอดภัยทั้งในระหว่างการบรรจุ การยิง การเก็บ และการเคลื่อนย้ายขนส่งด้วย โดยเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ MIL STD 331C [14] และ MIL STD 1316C [15]
- 3.3 มาตรฐานการทดสอบ MIL STD 331C เป็นมาตรฐานทางทหารที่นำเสนอการทดสอบและประเมินความปลอดภัย ความน่าเชื่อถือ และประสิทธิภาพของชนวน และส่วนประกอบ โดยจำแนกชนิดการทดสอบเป็น 6 กลุ่ม ดังนี้
 - 3.3.1 กลุ่ม A การทดสอบความทนทานต่อการกระแทกทางกล (Mechanical Shock Test) เป็นการทดสอบชนวนโดยการควบคุมการกระแทกแบบครั้งเดียว หรือแบบกระแทกซ้ำ ซึ่งเป็นการทดสอบความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นขณะทำการขนส่ง หรือในการใช้งาน

3.3.2 กลุ่ม B การทดสอบความต้านทานการสั่นสะเทือน (Vibration Test) เป็นการทดสอบชนวนโดยการควบคุมการสั่นสะเทือนที่ความถี่แอมพลิจูด และสภาพความคงทนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นขณะขนส่ง หรือขณะการใช้งาน

3.3.3 กลุ่ม C การทดสอบความต้านทานต่อสภาพภูมิอากาศ (Climatic Test) เป็นการทดสอบชนวนโดยให้ชนวนสัมผัสกับสภาพภูมิอากาศที่สุดขั้วในช่วงเวลาที่กำหนด

3.3.4 กลุ่ม D การทดสอบความปลอดภัย และความพร้อมในการทำงาน (Safety, Arming and Functioning Test) เป็นการทดสอบสมรรถนะของชนวน เช่น ความปลอดภัยในการระเบิด (Explosive Safety) ระยะในการพร้อมทำงาน (Arming Distance) หรือเวลาพร้อมทำงาน (Arming Time) และผลการจุดระเบิดหลัก

3.3.5 กลุ่ม E การทดสอบความต้านทานการส่งทางอากาศ (Aircraft Munition Test) เป็นการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งทางอากาศของชนวนทั้งการกระแทก และการรับแรงที่อาจจะเกิดขึ้นขณะทำการบินขึ้น และขณะทำการลงจอด รวมถึงอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดจากเครื่องบิน หรือจากการโยนโดยเจตนา

3.3.6 กลุ่ม F การทดสอบความต้านทานต่อไฟฟ้า และอิทธิพลของแม่เหล็ก (Electric and Magnetic Test) เป็นการทดสอบความต้านทานต่อไฟฟ้าสถิต (ESD) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMR) และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแรงสูง (EMP) แสง และในสภาพอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

3.4 มาตรฐาน MIL STD 1316C เป็นมาตรฐานทางทหารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ความปลอดภัยในการออกแบบชนวน อุปกรณ์สำหรับความปลอดภัย และการพร้อมทำงานของชนวน ซึ่งเป็นระเบียบย่อยของชนวน การกำหนดเกณฑ์ความปลอดภัยที่จำเป็นสำหรับการออกแบบชนวน มีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 มีระบบความปลอดภัยของชนวน เพื่อเป็นการสร้างความมั่นใจในการใช้งานชนวน ไม่ให้ชนวนพร้อมทำงานโดยไม่ตั้งใจ

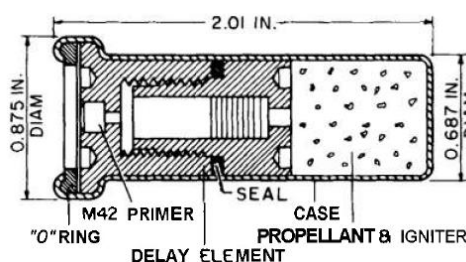
3.4.2 มีการขัดจังหวะลำดับการทำงานของวัตถุระเบิด (Explosive Train Interruption) โดยลำดับการทำงานของวัตถุระเบิด โดยเริ่มจากวัตถุระเบิดที่มีความไวในการจุดตัวมาก ไปยังวัตถุระเบิดที่มีความไวในการจุดตัวน้อย (ขบวนการวัตถุระเบิด, Explosive Train) [16],[17] มีดังนี้

3.5 ขบวนการวัตถุระเบิดแรงต่ำ (Low Explosive Train) มีองค์ประกอบสำคัญหลักอยู่ 2 ส่วน

3.5.1 ส่วนบรรจุประเภดินเริ่ม อยู่ในไพรเมอร์ หรือตัวจุดระเบิด

3.5.2 ดินขับ หรือตัวสร้างแก๊สอื่นๆ

อาจจะมีส่วนประกอบอื่นรวมอยู่ด้วย เช่น ตัวถ่วงเวลา ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขบวนการวัตถุระเบิดแรงต่ำ

3.6 ขบวนการวัตถุระเบิดแรงสูง (High Explosive Train) มีองค์ประกอบสำคัญดังนี้

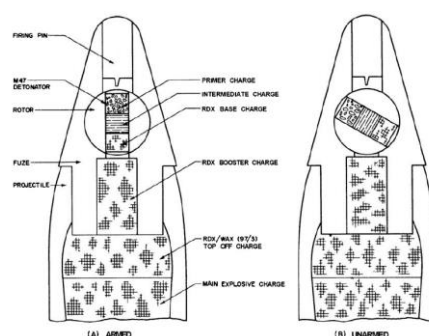
3.6.1 ส่วนบรรจุดินระเบิด (Primer) ซึ่งจะทำงานเมื่อได้รับพลังงานกล หรือพลังงานไฟฟ้า จะเกิดปฏิกิริยาให้ก๊าซร้อนออกมา

3.6.2 ส่วนวัตถุระเบิดที่แรงระดับกลาง (Detonator) จะเปลี่ยนจากการลุกไหม้เป็นการระเบิด

3.6.3 ส่วนวัตถุระเบิดประเภทดินขยายการระเบิด (Booster) จะสร้างคลื่นกระแทกออกมา

3.6.4 ส่วนบรรจุดินระเบิดหลัก (Main Charge)

อาจมีองค์ประกอบอื่นอีกเพื่อวัตถุประสงค์พิเศษ เช่น ตัวถ่วงเวลาการระเบิด ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขบวนการวัตถุระเบิดแรงสูง

การทำงานของชนวนอาศัยการระเบิดแบบต่อเนื่องของวัตถุระเบิด ภายในชนวนมีการทำงานของอุปกรณ์เชิงกล หรือไฟฟ้า หรือทั้งสองอย่างรวมกัน สำหรับจุดดินระเบิดในขบวนการวัตถุระเบิด สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ ประกอบรวมอยู่ในเรือนชนวน ประกอบด้วย ดินระเบิด ดินนำระเบิด ดินขยายการระเบิด สำหรับชนวนถ่วงเวลาจะมีดินถ่วงเวลาคั่นอยู่ระหว่างดินระเบิดกับดินนำระเบิด การทำงานเริ่มต้นจากเข็มแทงชนวนกระแทกที่จอกกระแทก (Primer) หรือพลังงานไฟฟ้าจุดวัตถุระเบิด แรงระเบิดจากจอกกระแทกแตกจะส่งพลังงาน ทำให้เกิดการระเบิดที่เชื้อปะทุ (Detonator) ตามด้วยดินระเบิดนำ (Lead Charge) และส่งต่อพลังงานไปยังดินขยายการระเบิด (Booster) เกิดการระเบิดไปจุดดินระเบิดหลัก (Main Charge) ตามลำดับ

4. วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

ชนวนหัวลูกปืนที่จะศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะเป็นชนวนหัวชนิดกระแทกแตกไว (Point Detonating) ถ่วงเวลา (Delay) สำหรับลูกปืน ลย./ค. โดยใช้วิธีวิศวกรรมย้อนรอยตรวจสอบข้อมูลทางเทคนิคและข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนอุปกรณ์กลไกการทำงานหลักอยู่ 2 ส่วน ส่วนแรกทำหน้าที่ด้านความปลอดภัย และส่วนที่สองทำหน้าที่จุดระเบิดให้ทำงานเมื่อชนวนกระแทกเป้าหมาย และนำปัญหาข้อบกพร่องต่าง ๆ จากการศึกษาความเป็นไปได้ในอดีตมาปรับปรุงแก้ไข โดยเริ่มศึกษาคุณลักษณะในส่วนของอุปกรณ์ชิ้นส่วนด้านความปลอดภัย อุปกรณ์ชิ้นส่วนชุดจุดระเบิด และขบวนการวัตถุระเบิด จากนั้นดำเนินการออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของชนวน

หัวลูกปืน โดยใช้วัสดุที่สามารถจัดหาในประเทศเป็นหลัก ชิ้นส่วนอุปกรณ์ทั้งหมดของชนวนจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานด้านสรรพาวุธ

4.1 ศึกษาหลักการทำงาน : ชนวนหัวชนิดกระทบแตกไว/ถ่วงเวลา สำหรับลูกปืน ลย./ค. จะพร้อมทำงานเมื่อถอดสลักนิรภัย และลูกปืนถูกยิงออกจากลำกล้องปืนด้วยความแรง โดยแรงเฉื่อยถอยหลังของแกนแท่งขัดจังหวะนิรภัยจะทำให้สปริงเคลื่อนที่ยุบตัวลง และปลดล็อกชุดชิ้นส่วนกลไกภายในชุดนิรภัยจังหวะของชนวนให้โรเตอร์หมุนมายังตำแหน่งพร้อมทำงาน เรียกตำแหน่งนี้ว่าตำแหน่ง อาร์ม โดยมีอุปกรณ์ดังนี้

4.1.1 อุปกรณ์นิรภัย มีระบบความปลอดภัย 2 เงื่อนไขตามมาตรฐานที่กำหนด ทำงานดังนี้

เงื่อนไขที่ 1 ระบบป้องกันแรง และการเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนอุปกรณ์ภายในชนวนที่จะให้ไพโรเมอร์จุดตัว มีสลักนิรภัยขัดอยู่ในชุดนิรภัยจังหวะ ซึ่งจะทำหน้าที่ยึดล็อกตัวโรเตอร์ที่มีเชื้อประทุอยู่ และยังทำหน้าที่ป้องกันไม่ไห้ส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในชนวนเคลื่อนตัวหลุดออกจากตำแหน่ง เพื่อป้องกันแรงเฉื่อยที่จะเกิดขึ้นจากอุบัติเหตุต่าง ๆ โดยจะต้องผ่านเกณฑ์การทดสอบด้วยวิธีการ Drop Test ตามมาตรฐานที่กำหนด

เงื่อนไขที่ 2 ขบวนการวัดระยะเปิดจัดเรียงแนวแบบเอียงศูนย์กัน

1) อาศัยแรงเฉื่อยถอยหลังมากกว่าหรือเท่ากับ 340g เพื่อปลดล็อกสลัก ซึ่งเป็นระบบป้องกันที่ดีที่สุดเนื่องจากแรงที่เกิดจากอุบัติเหตุจากการหยิบยกขนย้ายโดยทั่วไปจะไม่สูงพอ สลักที่อยู่ภายในชนวนจะไม่ปลดล็อก ไม่อาร์ม

2) มีโรเตอร์เพื่อหมุนหน่วงเวลาและเอียงเอียงหลบขบวนการวัดระยะเปิด เมื่อสลักปลดล็อกจะทำให้โรเตอร์เป็นอิสระในการเคลื่อนที่เป็นจังหวะ ซึ่งโรเตอร์จะใช้เวลาประมาณ 0.8 วินาที ในการหมุนเพื่อให้ตำแหน่งแนวของดินเริ่มมาอยู่ในแนวเข็มแทงชนวนเมื่อหัวลูกปืนเคลื่อนที่ห่างจากปากลำกล้องมากกว่า 50 เมตร เป็นเกณฑ์ระยะความปลอดภัยที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานการทดสอบ

4.1.2 การทำงานเมื่อกระทบเป้าแบบระเบิดเร็ว (Super Quick) เมื่อหัวลูกปืนกระทบเป้าจะส่งพลังงานไปยังเข็มแทงชนวนไปกระทบดินเริ่มในชุดของหลอดดินปะทุชนิดระเบิดไว เปลวไฟจากดินเริ่มไปจุดดินนำ ดินขยายการระเบิด และดินระเบิดหลัก ตามลำดับ

4.1.3 การทำงานเมื่อกระทบเป้าแบบถ่วงเวลา (Delay) เมื่อหัวลูกปืนกระทบเป้าจะส่งพลังงานไปยังเข็มแทงชนวนไปกระทบดินเริ่มในชุดของหลอดดินเชื้อปะทุชนิดระเบิดหน่วงเวลาประมาณ 0.05 วินาที เปลวไฟจากดินเริ่มไปจุดดินนำ ดินขยายการระเบิด และดินระเบิดหลัก ตามลำดับ

ชนวนหัวชนิดกระทบแตกไว/ถ่วงเวลา สำหรับลูกปืน ลย./ค. ตามรูปที่ 3 รุ่นนี้เป็นรุ่นแรกที้ออกแบบให้ถ่ายทอดการผลิต มีกลไกการทำงานไม่ซับซ้อนมาก เน้นความปลอดภัยในการใช้งานเป็นหลัก ตัวเรือนทำจากอะลูมิเนียมแข็งแบบขึ้นเดียวและมีฐานเกลียวที่สามารถประกอบเข้ากับส่วนปลายเรือนหัวลูกปืน ลย./ค. ขนาดต่าง ๆ ได้ มีช่องบรรจุชิ้นส่วนชุดนิรภัยกลไกด้านความปลอดภัยและชุดกลไกการจุดระเบิดพร้อมชุดดินขยายการระเบิด



รูปที่ 3 ขนวนหัวชนิดกระแทกแตกไว ถ่วงเวลา สำหรับลูกปืน ลย./ค.

4.2 ออกแบบและเขียนแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของขนวน

การออกแบบชิ้นส่วนขนวนหัวลูกปืน ลย./ค. จะอ้างอิงองค์ความรู้จากหน่วยงานที่ได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากต่างประเทศ และเอกสารเกี่ยวกับคุณลักษณะเฉพาะของขนวน ลย./ค. ชนิดต่างๆ ตามรูปที่ 4 โดยเน้นการใช้วัสดุที่สามารถจัดหาได้ในประเทศ ที่มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานทางทหารที่กำหนด ดังนี้

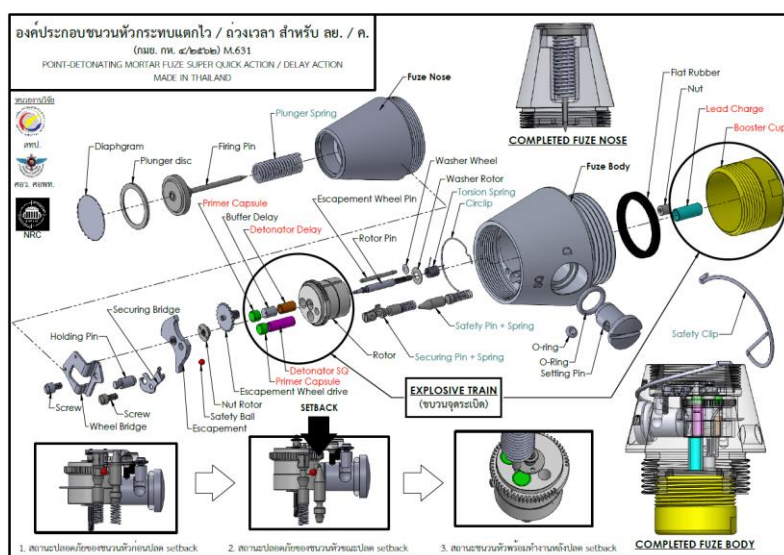
4.2.1 ชุดขนวนส่วนบน ประกอบด้วย

- 1) เรือนส่วนปลาย (Fuze Nose) ทำจาก อลูมิเนียม AL7075
- 2) แผ่นปิดส่วนปลาย (Diaphragm) ทำจาก อลูมิเนียม AL6061
- 3) แหวนรับเข็มแทงขนวน (Plunger Disc) ทำจาก อลูมิเนียม AL7075
- 4) เข็มแทงขนวน (Firing Pin) ทำจาก สแตนเลส SUS303Cu
- 5) สปริงรับเข็มแทงขนวน (Plunger Spring) ทำจาก สแตนเลส SUS304

4.2.2 ชุดขนวนส่วนล่าง ประกอบด้วย

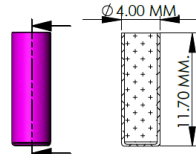
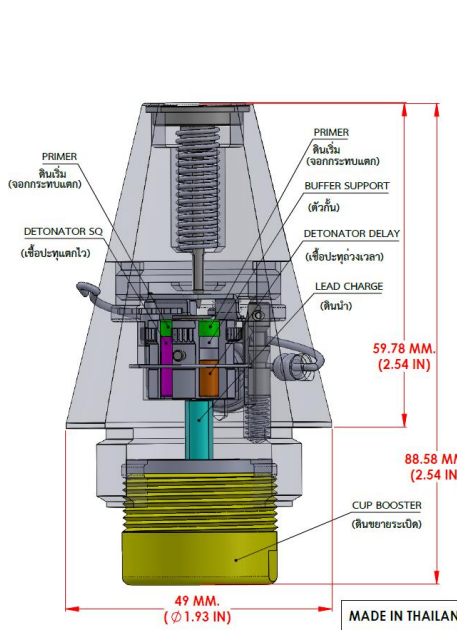
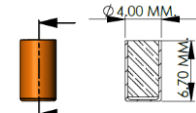
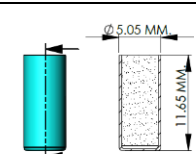
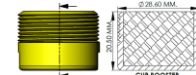
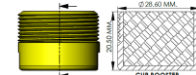
- 1) เรือนส่วนล่าง (Fuze Body) ทำจาก อลูมิเนียม AL7075
- 2) ชุดเลือกการทำงาน
 - (1) แกนตั้งการทำงาน (Setting Pin) ทำจาก อลูมิเนียม AL7075
 - (2) แหวนยาง (O Ring) ทำจาก ยาง NBR
 - (3) เข็มล็อก (Holding Pin) ทำจาก สแตนเลส SUS303Cu
- 3) ชุดโรเตอร์
 - (1) แกนโรเตอร์ (Rotor Pin) ทำจาก เหล็ก 12L14
 - (2) แหวนโรเตอร์ (Washer Rotor) ทำจาก ทองเหลือง C3604
 - (3) น็อตยึดแกนโรเตอร์ (Nut) ทำจาก ทองเหลือง C3604
 - (4) โรเตอร์ (Rotor) ทำจาก อลูมิเนียม AL6061
 - (5) หลอดดินระเบิดไว (Detonator SQ) ทำจาก อลูมิเนียม AL7075
 - (6) หลอดดินระเบิดถ่วงเวลา (Detonator Delay) ทำจาก อลูมิเนียม AL7075

- (7) สปริงโรเตอร์ (Torsion Spring) ทำจาก สแตนเลส SUS304
- (8) น็อตโรเตอร์ (Nut Rotor) ทำจาก ทองเหลือง C3604
- (9) หมุดหยุด (Stopper Pin) ทำจาก สแตนเลส SUS303Cu
- 4) ชุดนิรภัย
 - (1) สลักนิรภัย (Safety Clip) ทำจาก สแตนเลส SUS304
 - (2) แกนขัดโรเตอร์ (Securing Pin) ทำจาก สแตนเลส SUS303Cu
 - (3) สปริงแกนขัดโรเตอร์ (Securing Pin Spring) ทำจาก สแตนเลส SUS304
 - (4) แกนนิรภัย (Safety Pin) ทำจาก สแตนเลส SUS303Cu
 - (5) สปริงแกนนิรภัย (Safety Pin Spring) ทำจาก สแตนเลส SUS304
 - (6) ลูกบอล (Ball) ทำจาก เหล็ก K510
 - (7) แผ่นล็อกแกน (Securing Bridge) ทำจาก สแตนเลส SUS304
 - (8) น็อต (Screw) ทำจาก สแตนเลส SUS303Cu
 - (9) แหวนล็อก (Circlip) ทำจาก สแตนเลส SUS304
- 5) ชุดความคุมจังหวะการหมุนของโรเตอร์
 - (1) แกนเฟืองควบคุมจังหวะ (Escapement Wheel Pin) ทำจาก เหล็ก SKS3
 - (2) แหวนแกนเฟือง (Washer Wheel) ทำจาก ทองเหลือง C3604
 - (3) เฟืองควบคุมจังหวะ (Escapement Wheel) ทำจาก สแตนเลส SUS303Cu
 - (4) แผ่นควบคุมจังหวะ (Escapement) ทำจาก ทองเหลือง C2680
 - (5) แผ่นล็อก (Wheel Bridge) ทำจาก สแตนเลส SUS304
 - (6) น็อต (Screw) ทำจาก สแตนเลส SUS303Cu



รูปที่ 4 ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของขบวนหัวชนิดกระสุนแตกไว/ถ่วงเวลา สำหรับลูกปืน ลย./ค.

4.3 ออกแบบขบวนการวัดถูกระเบิด

รายการ	ส่วนประกอบ (%)		รูปประกอบรวม
 DETONATOR SQ	เลทสติฟเนท (Lead Styphnate)	20	
 DETONATOR DELAY	เททราซีน (Tetrazene)	30	
	แบเรียมไนเตรท (Barium Nitrate)	5	
	แอนติโมนีซัลไฟด์ (Antimony Sulfide)	5	
 LEAD CHARGE	อลูมิเนียมพาวเดอร์ (Aluminium Powder)	15	
	PETN	25	
 CUP BOOSTER	เลทสติฟเนท (Lead Styphnate)	30	
	เททราซีน (Tetrazene)	30	
	PETN	40	
 CUP BOOSTER	PETN	100	

4.4 สร้างชิ้นส่วนต่าง ๆ ของชนวน ตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลิตขึ้นส่วนต่าง ๆ ของชนวนหัวชนิดกระพบแตกไว/ถ่วงเวลา สำหรับลูกปืน ลย./ค.

4.5 ทดสอบชนวน

4.5.1 การทดสอบยอมรับงานชิ้นการทดสอบภาคโรงงาน (ห้องปฏิบัติการ) เป็นการทดสอบชนวนที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว

ตารางที่ 1 การทดสอบชนวนหัว

ลำดับ	ประเภทการทดสอบ	วัตถุประสงค์	เกณฑ์การทดสอบ
1.	การตรวจสอบความเรียบร้อย การประกอบทางกายภาพ ของชนวนหัว แบบสุ่มตัวอย่าง	เพื่อตรวจสอบขนาดมิติและ ความเรียบร้อยของการ ประกอบรวม	AQL = 0.1 - ขนาดของชนวนหัวเป็นไปตามแบบ AQL = 1.0 - เกิดการสึกกร่อนที่เรือนชนวน AQL = 2.5 - ความถูกต้องของการพันสี
2.	การทดสอบการกระแทก (Jolt Test) จำนวน 10 ชุด	เพื่อตรวจสอบความปลอดภัย ขณะขนย้ายในการบรรทุก ด้วยรถยนต์	AQL = 0.1 - ชิ้นส่วนดินระเบิดของเชื้อประทุ ไม่หลุด, หลวม หรือ หายไป - วัตถุระเบิดต้องไม่มีการระเบิด
3.	การทดสอบการกลิ้งกระทบ (Jumble Test) จำนวน 10 ชุด	เพื่อตรวจสอบความปลอดภัย ขณะขนย้ายด้วยรถยนต์	AQL = 0.1 - ชิ้นส่วนดินระเบิดของเชื้อประทุ ไม่หลุด, หลวม หรือ หายไป - ชนวนหัวอยู่ในสภาพที่ปลอดภัย
4.	Drop 12 เมตร จำนวน 10 ชุด	เพื่อจำลองการเกิดอุบัติเหตุ ในกรณีที่มีการขนย้ายขึ้นที่ สูง เช่น การยกชนวนหัวขึ้น เรือ	AQL = 0.1 - เมื่อทดสอบแล้ว ชนวนหัวจะต้อง อยู่ในสภาพปลอดภัย - ชิ้นส่วนดินระเบิดของเชื้อประทุ ไม่หลุด, หลวม หรือ หายไป
5.	การทดสอบ Transportation Vibration จำนวน 10 ชุด	เพื่อจำลองการสั่นเหือน ในขณะขนย้าย	AQL = 0.1 - ชิ้นส่วนดินระเบิดของเชื้อประทุ ไม่หลุด, หลวม หรือ หายไป - ไม่มีชิ้นส่วนหลุดออกมา
6.	การทดสอบรอยรั่ว (Leak Detection) แบบ Bubble Method จำนวน 10 ชุด	เพื่อทดสอบการรั่วซึมของ ชนวนหัว	AQL = 1.0 - ต้องไม่พบฟองอากาศที่ออกจาก ชนวนหัวขณะทำการทดสอบ
7.	Salt Fog จำนวน 10 ชุด	เพื่อจำลองเหตุการณ์การ เก็บรักษาในสภาวะแวดล้อม ที่ใกล้กับทะเล	AQL = 0.1 - ชนวนหัวอยู่ในสภาพที่ปลอดภัย

4.5.2 การทดสอบความปลอดภัย (Arming Safety) และ การทดสอบการทำงาน (Functioning)

ตารางที่ 2 ยิงทดสอบกระบอกปืน

ลำดับ	ประเภทการทดสอบ	วัตถุประสงค์	เกณฑ์การทดสอบ
1.	การทดสอบความปลอดภัย (Arming Safety) จำนวน 10 นัด	เพื่อทดสอบการทำงานของ ชนวนหัวเมื่อกระบอกปืนหมายถึง ชนวนหัวจะต้องไม่ทำงาน	AQL = 0.1 - ชนวนหัวระเบิดก่อนถึงเป้าหมาย AQL = 1.0 - ชนวนทำงานที่เป้าหมาย
2.	การทดสอบการทำงาน (Functioning) จำนวน 10 นัด	เพื่อทดสอบการทำงานของ ชนวนหัวเมื่อกระบอกปืนหมายถึง ชนวนหัวจะต้องทำงาน	AQL = 0.1 - ชนวนหัวระเบิดก่อนถึงเป้าหมาย

4.5.3 การทดสอบภาคสนาม จำนวน 30 นัด

ตารางที่ 3 ยิงทดสอบภาคสนาม

ลำดับ	ประเภทการทดสอบ	วัตถุประสงค์	เกณฑ์การทดสอบ
1.	การทดสอบเมื่อกระบอกปืนหมายถึงแบบกระบอกแตกไว	เพื่อทดสอบการทำงานของชนวนหัวเมื่อกระบอกปืนหมายถึงเป็นพื้นที่โล่งง่ายต่อการตรวจการณ์ ไม่มีสิ่งกีดขวาง เมื่อชนวนหัวกระบอกปืนหมายถึง ชนวนหัวจะต้องทำงาน	AQL = 0.1 - ชนวนหัวระเบิดก่อนถึงเป้าหมาย
2.	การทดสอบการทำงานเมื่อกระบอกปืนหมายถึงแบบถ่วงเวลา	เพื่อทดสอบการทำงานของชนวนหัวเมื่อกระบอกปืนหมายถึงเป็นพื้นที่โล่งง่ายต่อการตรวจการณ์ ไม่มีสิ่งกีดขวาง เมื่อชนวนหัวกระบอกปืนหมายถึง ชนวนหัวจะต้องทำงาน	AQL = 0.1 - ชนวนหัวระเบิดก่อนถึงเป้าหมาย

5. ผลการศึกษา

การตรวจสอบความเรียบร้อยการประกอบทางกายภาพของชนวนหัว ใช้แผนการชักตัวอย่างระดับการตรวจสอบทั่วไป (Level II) แบบเชิงเดี่ยว (Single Sampling Plan) ตรวจสอบด้วยสายตา และตรวจวัดขนาดมิติชิ้นส่วนต่าง ๆ ของชนวน ตามแบบพิมพ์เขียว ทดสอบภาคโรงงาน ตามรูปที่ 6 ถึง 11 และยิงทดสอบตามรูปที่ 12 ถึง 13 ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานที่กำหนด

5.1 ผลการทดสอบภาคโรงงาน ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานที่กำหนด



รูปที่ 6 ทดสอบการกระแทก (Jolt Test)



รูปที่ 7 ทดสอบการกลิ้งกระทบ (Jumble Test)



รูปที่ 8 ทดสอบสั่นสะเทือน
(Transportation Vibration Test)



รูปที่ 9 ทดสอบการตกกระทบ (Drop test) ที่
ความสูง 1.5 เมตร และ 12 เมตร



รูปที่ 10 ทดสอบการกันน้ำ (Waterproofness)



รูปที่ 11 ทดสอบผลกระทบจากละอองน้ำเกลือ
(Salt Spray Test)

5.2 การทดสอบความปลอดภัยที่ระยะ 50 เมตร ห่างจากปากลำกล้อง (Non Arming) และชนวนพร้อมทำงานที่ระยะ 120 เมตร ห่างจากปากลำกล้อง (Arming) ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานที่กำหนด



รูปที่ 12 ทดสอบยิงเป้าระยะ 50 เมตร และ 120 เมตร

5.3 การยิงทดสอบการทำงานของชนวนหัวกับ ลย./ค.60 (Function Test) ชนวนทำงานสมบูรณ์จำนวน 29 นัด ทำงานไม่สมบูรณ์จำนวน 1 นัด ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานที่กำหนด



รูปที่ 13 ทดสอบยิงภาคสนาม

6. สรุป

ชนวนหัวกระแทกแตกไว ถ่วงเวลา สำหรับ ลย./ค. ที่ศึกษาวิจัยมีคุณลักษณะ และขีดความสามารถตามเกณฑ์มาตรฐานทางทหาร โดยการวิจัยนี้จะใช้วิธีวิศวกรรมย้อนรอยตรวจสอบข้อมูลทางเทคนิคและข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนอุปกรณ์กลไกการทำงานหลักอยู่ 2 ส่วน ส่วนแรกทำหน้าที่ด้านความปลอดภัย และ

ส่วนที่สองทำหน้าที่จุดระเบิดให้ทำงานเมื่อชนวนกระทบเป้าหมาย และนำปัญหาข้อบกพร่องต่าง ๆ จากการศึกษาความเป็นไปได้ในอดีตมาปรับปรุงแก้ไข โดยได้เน้นเรื่องการพัฒนาชิ้นส่วนกลไกทางกล ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและได้แบบรูปที่ถูกต้องแม่นยำ เพื่อนำมากำหนดกระบวนการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ของชนวนหัวขึ้นเองโดยใช้วัสดุที่จัดหาภายในประเทศเป็นหลัก นอกจากนี้ยังได้พัฒนาชนวนวัตถุระเบิดที่มีอำนาจการระเบิดที่เหมาะสมกับ ลย./ค. ชนิดต่าง ๆ ซึ่งจากการดำเนินการวิจัยสามารถสร้างองค์ความรู้ให้กำลังพลของ ศอว.ศอพท. ผลิตชนวนหัวกระทบแตกไว ถ่วงเวลา สำหรับ ลย./ค. ได้ และจากการยิงทดสอบการทำงานของชนวนหัวกระทบแตกไว ถ่วงเวลา สำหรับ ลย./ค. 60 มม. จำนวน 30 หัว พบว่าชนวนไม่ทำงาน 1 หัว พิจารณาในภาพรวมชนวนมีประสิทธิภาพ 97 เปอร์เซ็นต์ ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานการทดสอบของศูนย์อำนวยการสร้างอาวุธ ผลงานวิจัยนี้ได้นำไปขยายผลสู่การผลิตแล้ว จำนวน 10,000 ชุด มีคุณภาพตามเกณฑ์ที่คณะกรรมการมาตรฐานยุทธโธปกรณ์กระทรวงกลาโหมกำหนด โดย ศอว.ศอพท. แต่ยังไม่ข้อมูลประสิทธิภาพจากหน่วยผู้ใช้

กิติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับงบประมาณจากสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.) ดำเนินการขยายผลงานวิจัยสู่สายการผลิตโดย ศอว.ศอพท. และผ่านการรับรองมาตรฐานจากคณะกรรมการมาตรฐานยุทธโธปกรณ์กระทรวงกลาโหม (กมย.กท.) กมย.กท. 4/2562

เอกสารอ้างอิง

- [1] U.S. Army. Technical manual, Army ammunition data sheets artillery, Ammunition guns, Howitzers, Mortars, Recoilless Rifles, Grenade launchers, and Artillery fuzes. Washington, DC, Department of the Army; 2003.
- [2] Global Security. Safing, arming, fuzing, and firing (SAFF) [Internet]. Virginia: Global Security ; c2000-2023 [cited 2022 May 9]. Available from: <http://www.globalsecurity.org/wmd/intro/safe.htm>
- [3] United States Naval Academy. Weapons and systems engineering department: Fundamentals of naval weapons systems [Internet]. Maryland: United States Naval Academy; (date unknown) [cited 2022 May 9]. Available from: <http://www.fas.org/man/dod-101/navy/docs/fun/part14.htm>
- [4] Authority of the Chief of the Defence Staff. Field artillery Volume 6: Ballistics and ammunition [Internet]. [place unknown]: [publisher unknown]; 1992 [cited 2022 May 9]. Available from: <https://web.archive.org/web/20100209173804/http://armyapp.dnd.ca/ael/pubs/B-GL-371-006-FP-001.PDF>
- [5] Bethel CHA. Modern artillery in the field. London: Macmillan; 1911.

- [6] Hogg OFG. Artillery: its origin, heyday and decline. Hamden: Archon Books; 1970.
- [7] Hogg IV, Thurston LF. British artillery weapons & ammunition 1914-1918. London: Ian Allan; 1972.
- [8] Department of the Army. Ammunition, general. 5th ed. Washington DC; 1969.
- [9] Wali A. Delta M137 Mod 3: Next generation electronic Fuze [Internet]. [place unknown]: [publisher unknown]; c2023 [cited 2022 May 9]. Available from: https://www.academia.edu/34860350/DELTA_M137_MOD_3_Next_Generation_Electronic_Fuze_Chapter_1_AN_INTRODUCTION_TO_MECHANICAL_AND_ELECTRONIC_FUZES
- [10] Ness L, Williams AG. Jane's ammunition handbook 2007-2008. 16th ed. Croydon: Janes Information Group; 2007.
- [11] Ness L, Williams AG. IHS Jane's weapons ammunition. Croydon: Janes Information Group; 2012.
- [12] Department of the Army. Military explosive. 4th ed. Washington, DC: [publisher unknown]; 1984.
- [13] Junghans Defence. DM111A5 Point-Detonating Mortar Fuze [Internet]. [place unknown]: [publisher unknown]; c2023 [cited 2022 May 9] Available from: <https://www.defenceprocurementinternational.com/Content/Profiles/junghans-defence/mortarfuze-dm111a5-datasheet.pdf>
- [14] Department of Defense Test Method Standard. MIL-STD-331C: Fuze and fuze components, Environmental and performance tests for department of defense United States of America. [place unknown]: [publisher unknown]; 2005.
- [15] Safety Criteria for Department of Defense United States of America. Military standard: Fuze design. [place unknown]: [publisher unknown]; 1991.
- [16] Department of the Army Headquarters United States Army Materiel Command. Engineering design handbook: Explosives series explosive trains. Alexandria (VA): [publisher unknown]; 1974.
- [17] NAVAL ORDNANCE LAB WHITE OAK MD. Ordnance explosive train designers' handbook. [place unknown]: [publisher unknown]; 1952.