



พฤติกรรมการระเบิดในท่อเหล็กและแนวทางการประเมินอันตราย

อมรเทพ สมราช*

กองวิชาเคมี ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

* ผู้มีพันธบัตรประชาชน โทรศัพท์ 08 3137 9853 อีเมล: amornthep.so@crma.ac.th

DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.05.011

รับเมื่อ 16 มีนาคม 2563 แก้ไขเมื่อ 7 พฤษภาคม 2563 ตอรับเมื่อ 15 มิถุนายน 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 24 พฤษภาคม 2564

© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมการระเบิดในท่อเหล็ก (Pipe Bomb) โดยวัดค่า และเปรียบเทียบระดับความเสียหายจากการระเบิดที่เกิดขึ้นกับแผ่นพื้นคอนกรีตและฉากรับสะเก็ดระเบิด ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อระดับความเสียหายถูกกำหนดไว้สองส่วนคือ ปริมาณวัตถุระเบิดและปริมาตรของภาชนะท่อเหล็ก กำหนดการทดสอบเป็น 6 แบบ เพื่อพิจารณาผลจากตัวแปรดังกล่าว ได้แก่ ระเบิดที่เอ็นที 1/4 ปอนด์ไม่บรรจุท่อเหล็ก ระเบิดที่เอ็นที 1/4 ปอนด์ในท่อเหล็กขนาดเล็ก ระเบิดที่เอ็นที 1/2 ปอนด์ในท่อเหล็กขนาดเล็ก ระเบิดที่เอ็นที 1 ปอนด์ในท่อเหล็กขนาดกลาง ระเบิดที่เอ็นที 1/4 ปอนด์ในท่อเหล็กขนาดกลาง และระเบิดที่เอ็นที 1/4 ปอนด์ในท่อเหล็กขนาดใหญ่ ผลการทดสอบพบว่า แรงดันจากการระเบิดที่เอ็นที 1/4 ปอนด์ในท่อเหล็กขนาดเล็กมีค่าประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับแรงดันจากการระเบิดที่เอ็นที 1/4 ปอนด์ไม่บรรจุท่อเหล็ก (Bare Charge) แต่ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแผ่นพื้นคอนกรีตมีความรุนแรงมากกว่า และเมื่อเพิ่มปริมาณระเบิดในท่อเหล็กความเสียหายของแผ่นพื้นคอนกรีตจะเพิ่มมากขึ้น ส่วนการเพิ่มปริมาตรท่อเหล็กไม่พบว่า มีความเสียหายแตกต่างกันอย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาลักษณะสะเก็ดระเบิดที่เกิดขึ้นพบว่า ปริมาณระเบิดในท่อเหล็กที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สะเก็ดระเบิดมีขนาดเล็กลง และมีจำนวนมากขึ้น ส่วนการเพิ่มปริมาตรท่อเหล็กไม่พบว่า ขนาดและจำนวนสะเก็ดแตกต่างกันอย่างชัดเจน งานวิจัยนี้ยังได้เสนอแนวทางประเมินอันตรายจากการระเบิดอย่างง่ายซึ่งพบว่า อันตรายจากสะเก็ดระเบิดมีขอบเขตที่กว้างกว่าอันตรายจากแรงระเบิด

คำสำคัญ: นิติวิทยาศาสตร์ การระเบิดในท่อเหล็ก สะเก็ดระเบิด ความเสียหายจากการระเบิด



Blasting Behavior of Pipe Bomb and a Risk Evaluation Approach

Amornthep Somraj*

Chemistry Department Academic Division Chulachomkloa Royal Military Academy (CRMA), Nakhon Nayok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 3137 9853, E-mail: amornthep.so@crma.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.05.011

Received 16 March 2020; Revised 7 May 2020; Accepted 15 June 2020; Published online: 24 May 2021

© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research studied the blasting behavior in pipe bombs. Damage levels on the concrete slabs and the fragment-received panel resulted from the explosions were measured and compared. In this study, the damage levels were affected by two designated variables—mass of explosive material and volume of the steel pipe. By changing these variables, measurements were conducted on six different cases of explosion—TNT-1/4lb (no pipe), TNT-1/4lb (small pipe), TNT-1/2lb (small pipe), TNT-1lb (medium pipe), TNT-1/4lb (medium pipe), and TNT-1/4lb (large pipe). As results, the blasted pressure of the TNT-1/4lb (small pipe) case was 40% of that of the TNT-1/4lb (no pipe) case. However, the damage on concrete slabs were more severe in the TNT-1/4lb (small pipe) case than in the TNT-1/4lb (no pipe) case. Results found that damage on concrete slabs increased when the mass of explosive material was increased. Also, damages on concrete slabs remained nearly identical when the volume of steel pipe was increased. As for the blasted fragment measurement, when the mass of explosive material was increased, the number of fragments also increased while the fragment sizes decreased. In addition, increasing the pipe volume showed no effect on the number and size of fragments. A simple risk evaluation indicated that the blasted fragments could do more damage, and thus were more dangerous, than the blasted pressure.

Keywords: Forensic Science, Pipe Bomb, Blasted Fragments, Blasted Damage

1. บทนำ

อันตรายจากการระเบิดนั้นมีความรุนแรงสูง สามารถสร้างความเสียหายอย่างมหาศาลต่อทรัพย์สินและชีวิตของมนุษย์ แต่เดิมอันตรายจากการระเบิดจะเป็นรูปแบบของอุบัติเหตุจากสารเคมีอันตรายที่เกิดการระเบิดโดยไม่ตั้งใจหรือเป็นความผิดพลาดของการเก็บรักษาวัตถุระเบิดที่ไม่รัดกุมเพียงพอ แต่ในปัจจุบันพบว่า อันตรายจากการระเบิดได้เปลี่ยนรูปแบบไปเป็นความตั้งใจที่สร้างสถานการณ์ก่อความไม่สงบในประเทศต่างๆ มีเหตุการณ์ที่ผู้ก่อการร้ายใช้วัตถุระเบิดสร้างความเสียหายอย่างรุนแรงเป็นแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น [1] โดยสำหรับประเทศไทยเองในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาพบว่า มีระเบิดก่อการร้ายเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากที่สามจังหวัดชายแดนภาคใต้ [2] และมีหลายเหตุการณ์ที่ลุกลามมาถึงใจกลางเมืองกรุงเทพมหานคร เช่น ในปี 2558 เกิดเหตุการณ์ระเบิดที่ศาลท้าวมหาพรหม สีแยกราชประสงค์ ทำให้มีผู้เสียชีวิตถึง 20 ราย บาดเจ็บ 130 ราย [3] เหตุการณ์ก่อการร้ายดังกล่าวสันนิษฐานว่าวัตถุระเบิดที่ใช้เป็นระเบิดแสวงเครื่องชนิดการระเบิดในท่อเหล็ก (Pipe Bomb)

ทุกครั้งหลังจากเกิดเหตุการณ์ระเบิด การเก็บข้อมูลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการถ่ายภาพร่องรอยความเสียหาย วัตถุพยาน รวมถึงสะเก็ดระเบิดต่างๆ ล้วนเป็นสิ่งสำคัญต่อการพิสูจน์หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ (Forensic Science) โดยหลักการพิสูจน์หลักฐานมีทั้งวิธีการพิสูจน์ทางเคมี (Forensic Chemistry) ที่ช่วยบ่งบอกชนิดของวัตถุระเบิด แต่การพิสูจน์ทางเคมีเพียงอย่างเดียวไม่สามารถใช้เป็นข้อมูลในการบ่งชี้ปริมาณของวัตถุระเบิดที่ใช่ออกเหตุได้ การสันนิษฐานปริมาณของวัตถุระเบิดจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลสภาพความเสียหายรวมถึงลักษณะของสะเก็ดระเบิดที่ตรวจพบในพื้นที่ระเบิดในประเทศไทยมีการวิเคราะห์เกี่ยวกับการประเมินปริมาณระเบิดและอันตรายจากเหตุการณ์ระเบิดอยู่ [4] แต่การวิเคราะห์ดังกล่าวยังขาดข้อมูลที่เป็นการทดลองจริง งานวิจัยนี้ถือเป็นงานวิจัยเชิงทดลองโดยจะพิจารณาพฤติกรรมการระเบิดและสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นจากสะเก็ดระเบิดของเปลือกท่อ Pipe Bomb ซึ่งสามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานด้านนิติวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการระเบิดได้

นอกจากนี้ยังได้เสนอแนวทางประเมินความเสี่ยงต่ออันตรายจากระเบิด Pipe Bomb โดยอ้างอิงจากปริมาณวัตถุระเบิดและขนาดสะเก็ดที่เกิดขึ้นจริงในการทดลอง

1.1 แรงระเบิดและสะเก็ดระเบิด

วัตถุระเบิดคือสารให้พลังงานสูง (Energetic Materials) ซึ่งเมื่อได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าภายนอกแล้วจะส่งผลให้เกิดการสลายตัวเป็นพลังงานความร้อนและแรงดันที่มีค่าสูง ลักษณะการสลายตัวของวัตถุระเบิดมีทั้งแบบการเผาไหม้อย่างรุนแรง (Deflagration) และการปะทุ (Detonation) ขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพแวดล้อมของการระเบิด การระเบิดของวัตถุระเบิดจะทำให้เกิดแรงดันแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับระยะทาง ชนิด ปริมาณ และรูปร่างวัตถุระเบิดที่ทำการระเบิด การเปรียบเทียบแรงระเบิดของวัตถุระเบิดแต่ละชนิดจะอ้างอิงกับแรงระเบิดที่เอ็นทีเป็นหลัก แรงระเบิดที่เกิดขึ้นจากวัตถุระเบิดที่มีน้ำหนักแตกต่างกันแต่ละชนิดจะถูกคำนวณเป็นน้ำหนักวัตถุระเบิดเทียบเท่าที่เอ็นที (Equivalent TNT Weight) โดยใช้ค่าเปรียบเทียบกำลัง (Relative Effective Factor; R.E. Factor) คูณกับน้ำหนักของวัตถุระเบิดที่เกิดการระเบิดจริง [5]

ความรุนแรงของการระเบิดนอกจากจะพิจารณาจากน้ำหนักวัตถุระเบิดเทียบเท่าที่เอ็นทีแล้ว ยังมีปัจจัยด้านระยะห่างระหว่างวัตถุระเบิดกับเป้าหมายมาเกี่ยวข้องด้วย ข้อมูลการระเบิดจึงใช้อัตราส่วนที่เรียกว่าระยะปรับทอน (Scaled Distance; Z) เป็นดัชนีบ่งชี้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการระเบิดซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการต่อไปนี้

$$Z = \frac{R}{W_E^{1/3}} \quad (1)$$

เมื่อ R คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางวัตถุระเบิดกับเป้าหมายมีหน่วยเป็นเมตร และ W_E คือ น้ำหนักวัตถุระเบิดเทียบเท่าที่เอ็นทีมีหน่วยเป็นกิโลกรัม การคำนวณตามสมการที่ (1) จะทำให้ระยะปรับทอน (Z) มีหน่วยเป็นเมตร/กิโลกรัม^{1/3}

เราสามารถประเมินระดับความรุนแรงโดยประมาณได้

จากค่าระยะปรับทอน ยิ่งระยะปรับทอนมีค่าน้อยลงเท่าไร ค่าแรงดันระเบิดจะมีค่ามากขึ้นซึ่งหมายถึงความรุนแรงของการระเบิดก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ ระยะปรับทอนยังบ่งชี้รูปแบบการระเบิดได้ด้วย โดยที่ค่า Z ไม่เกิน 1.2 เมตร/กิโลกรัม^{1/3} จะเป็นการระเบิดระยะใกล้ (Near-range Explosion) ถ้าเกินกว่านั้นจะถือเป็นการระเบิดระยะไกล (Far-range Explosion)

นอกจากแรงระเบิดที่เกิดขึ้นในการระเบิด สะเก็ดระเบิดก็ถือเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สามารถสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินได้ด้วยเช่นกัน สะเก็ดระเบิดที่เกิดขึ้นจากการระเบิดโดยทั่วไปมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ [6] คือ 1) สะเก็ดระเบิดปฐมภูมิ (Primary Fragments) เป็นสะเก็ดที่เกิดขึ้นจากภาชนะบรรจุวัตถุระเบิดหรือวัตถุใดๆ ที่สัมผัสกับวัตถุระเบิดโดยตรง ภาชนะบรรจุที่ถูกทำลายจากแรงระเบิดจนกลายเป็นสะเก็ดระเบิดเรียกว่า Natural Fragment ในการก่อการร้ายจะใส่ลูกปืน ตะปู เศษเหล็กต่างๆ ลงในภาชนะบรรจุด้วยเพื่อเพิ่มจำนวนสะเก็ดระเบิดเรียกว่า Prefomed Fragment และ 2) สะเก็ดระเบิดทุติยภูมิ (Secondary Fragments) เป็นสะเก็ดที่เกิดขึ้นจากคลื่นระเบิดที่แผ่ขยายจากจุดระเบิดไปกระทบกับวัตถุที่อยู่บริเวณข้างเคียง ส่งผลให้วัตถุนั้นแตกขาดและเคลื่อนที่ออกไปด้วยความเร่ง ซึ่งจะสร้างความเสียหายต่อเนื่องไปอีกจากการกระทบ (Impact Damage) กับวัตถุหรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ได้

ตารางที่ 1 ระดับความเสียหายต่อมนุษย์อันเนื่องมาจากแรงระเบิด [7]

ผลกระทบสำคัญ	ความเป็นไปได้	แรงดันสูงสุด [kPa]
แก้วทุ๊กขาด	เริ่มต้นเกิดขึ้น	35
	เกิดขึ้น 50%	325 ขึ้นไป
ปอดฉีกขาด	เริ่มต้นเกิดขึ้น	210-280
	เกิดขึ้น 50%	560 ขึ้นไป
อันตรายถึงชีวิต	เริ่มต้นเกิดขึ้น	700-850
	เกิดขึ้น 50%	900-1,300
	เกิดขึ้นได้เกือบ 100%	1,400 ขึ้นไป

ตารางที่ 2 ระดับความเสียหายต่อมนุษย์อันเนื่องมาจากสะเก็ดระเบิด [8]

ระดับความเสียหาย	พลังงานจลน์ของสะเก็ดระเบิด [J]
เสียหายเล็กน้อย ($P_k = 0.1$)	100
เสียหายปานกลาง ($P_k = 0.5$)	1,000
เสียหายรุนแรง ($P_k = 0.9$)	4,000

1.2 ความเสียหายจากแรงระเบิดและสะเก็ดระเบิด

เมื่อเกิดการระเบิดในภาชนะปิด ปัจจัยที่สร้างความเสียหายให้กับวัตถุหรือสิ่งมีชีวิตที่อยู่บริเวณข้างเคียง ได้แก่ แรงระเบิด (แรงดัน) และสะเก็ดระเบิด (แรงกระแทก) การประเมินความเสียหายจึงต้องพิจารณาทั้ง 2 ปัจจัยนี้ ควบคู่กัน ข้อมูลของระดับความเสียหายที่ส่งผลต่อชีวิตมนุษย์จากแรงระเบิดและสะเก็ดระเบิดแสดงตามตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

จัดทำระเบิด Pipe Bomb โดยใช้ภาชนะบรรจุระเบิดเป็นท่อเหล็กชนิดกัลวาไนซ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้วหนา 3.2 มิลลิเมตร ตัดให้มีมีความยาว 100 มิลลิเมตร 200 มิลลิเมตร และ 300 มิลลิเมตร แสดงตามรูปที่ 1 ที่ปลายหัวท้ายทำเกลียวสำหรับหมุนปิดจุกท่อโดยที่จุกท่อด้านหนึ่งเจาะรูตรงกลางขนาด 5 มิลลิเมตร เพื่อให้สามารถสอดสายไฟของเชื้อปะทุไฟฟ้าออกมาภายนอกได้ ภายในท่อบรรจุวัตถุระเบิดชนิดทีเอ็นที (TNT) แบบแท่งทรงกระบอกสำหรับใช้ทางการทหารขนาด 1/4 ปอนด์ (0.11 kg), 1/2 ปอนด์ (0.23 kg) และ 1 ปอนด์ (0.45 kg) โดยใส่แท่งระเบิดแนวตั้งลงในท่อ กรณีทดสอบ Bare Charge ก็ใช้วัตถุระเบิดชนิดทีเอ็นทีแบบแท่งวางในแนวตั้งเช่นเดียวกับแท่งระเบิดใน Pipe Bomb

การประเมินความเสียหายจากระเบิด Pipe Bomb ใช้การพิจารณาสภาพความเสียหายของแผ่นคอนกรีตหนา 5 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 1 เมตร ที่รองไว้ใช้วัตถุระเบิด และสภาพความเสียหายของฉากรับสะเก็ดที่ห่างจาก



รูปที่ 1 ท่อเหล็กที่ใช้ในการทดสอบ จากซ้ายไปขวาสูง 100, 200 และ 300 มิลลิเมตร

ไม้อัดหนา 12 มิลลิเมตร มีขนาดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้างและยาว 2.4 เมตร วัดค่าแรงดันจากการระเบิดโดยใช้เซนเซอร์ Pressure Transducer ยี่ห้อ Kyowa รุ่น PG-2TH เชื่อมต่อกับส่วนบันทึกข้อมูล Universal Recorder รุ่น EDX-100A ที่อัตราเร็วในการบันทึกข้อมูล (Sampling Rate) 20 กิโลเฮิร์ตซ์ บันทึกภาพขณะเกิดการระเบิดด้วยกล้องวีดีโอที่มีความเร็วในการบันทึกภาพ 30 เฟรมต่อวินาที

2.2 วิธีการวิจัย

รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ จัดวางระเบิด Pipe Bomb บนแผ่นพื้นคอนกรีตในแนวตั้งโดยให้ห่างจากฉากรับสะเก็ดระเบิดที่ติดอยู่กับโครงเหล็กเป็นระยะทาง 2.4 เมตร ในการวัดค่าแรงดันจากการระเบิดจะติดตั้งเซนเซอร์วัดแรงดันห่างจากวัตถุระเบิด 150 มิลลิเมตร ต่อสายเซนเซอร์เข้ากับส่วนบันทึกข้อมูลที่อยู่ห่างออกไปด้านข้างเป็นระยะทาง 2.4 เมตร ใส่อุปกรณ์วัดค่าในหีบเหล็กและทำการกำบังด้วยแผ่นคอนกรีตเพื่อป้องกันแรงระเบิด การจุดระเบิดจะจุดด้วยเชื้อปะทุไฟฟ้าโดยลากสายออกจากรูที่เจาะเอาไว้ที่จุกปิดด้านบนไปยังเนินกำบังซึ่งอยู่ห่างออกไปเป็นระยะทางประมาณ 200 เมตร ติดตั้งกล้องบันทึกภาพการระเบิดบนขาตั้งกล้องที่ระยะห่างจากจุดระเบิดประมาณ 7.5 เมตร ในทิศตรงข้ามกับฉากรับสะเก็ดระเบิด หลังจากจุดระเบิดแล้วจะทำการเปลี่ยนแผ่นพื้นคอนกรีตและฉากรับสะเก็ดระเบิดใหม่ทุกครั้ง ข้อมูลพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3 ผลจากการทดลองจะถูกนำมาพิจารณาตัวแปรน้ำหนัก

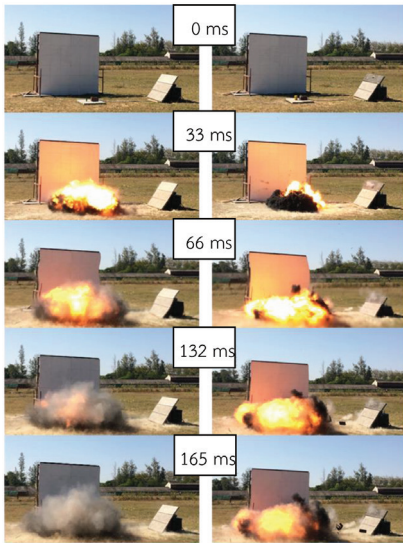


รูปที่ 2 การติดตั้งฉากรับสะเก็ดระเบิดและ Pipe Bomb

ระเบิดที่ขนาดท่อเหล็กเท่ากัน (เทียบ TNT-1/4lb-Case-S กับ TNT-1/2lb-Case-S และ TNT-1/4lb-Case-M กับ TNT-1lb-Case-M) และตัวแปรปริมาณท่อเหล็กที่น้ำหนักระเบิดคงที่ (เทียบ TNT-1/4lb-Case-S, TNT-1/4lb-Case-M และ TNT-1/4lb-Case-L)

ตารางที่ 3 ข้อมูลพารามิเตอร์ที่ใช้ในแต่ละการทดสอบ

No.	ชื่อการทดสอบ	ความยาวท่อ Pipe Bomb (น้ำหนักรวมจุกปิด)	ปริมาณ TNT ต่อการจุด 1 ครั้ง (kg)	จำนวนทดสอบ (ครั้ง)
1	TNT-1/4lb-Bare	ไม่มี	0.11	2
2	TNT-1/4lb-Case-S	100 mm (1.5 kg)	0.11	2
3	TNT-1/2lb-Case-S	100 mm (1.5 kg)	0.23	2
4	TNT-1lb-Case-M	200 mm (2.1 kg)	0.45	2
5	TNT-1/4lb-Case-M	200 mm (2.1 kg)	0.11	2
6	TNT-1/4lb-Case-L	300 mm (2.6 kg)	0.11	2



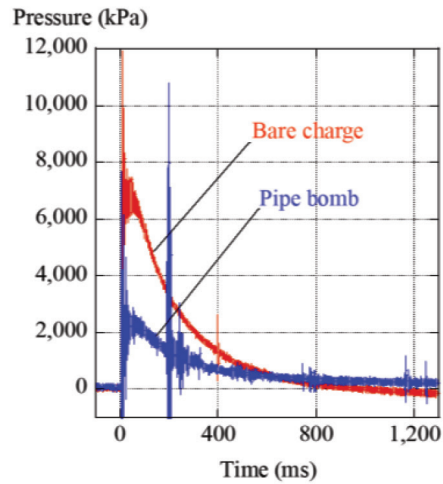
รูปที่ 3 ลักษณะการระเบิดจากระเบิดที่เอ็นที 1/4 ปอนด์ (ภาพซ้าย: Bare Charge ภาพขวา: Pipe Bomb)

3. ผลการทดลอง

3.1 พฤติกรรมการระเบิดในท่อเหล็ก

รูปที่ 3 แสดงภาพเป็นเฟรมในแต่ละช่วงเวลาเพื่อเปรียบเทียบลักษณะการระเบิดระหว่าง Bare Charge (TNT-1/4lb-Bare) กับ Pipe Bomb (TNT-1/4lb-Case-S) ที่ปริมาณระเบิดเท่ากัน พบว่า ที่เวลา 33 มิลลิวินาที ระเบิดของ Bare Charge จะมีลักษณะลูกไฟ (Fireball) เป็นทรงกลมแผ่ออกทุกทิศทาง ส่วนการระเบิดของ Pipe Bomb จะมีลูกไฟที่เริ่มต้นขยายตัวได้ช้ากว่า ลักษณะลูกไฟดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการระเบิด Pipe Bomb จะต้องใช้เวลาส่วนหนึ่งในการทำให้ภาชนะบรรจุปริแตกออก ต่อมาในภาพที่เวลา 66 มิลลิวินาที พบว่า ลูกไฟจากระเบิด Pipe Bomb สามารถขยายไปทางด้านข้างได้มากกว่าและใช้เวลานานกว่าที่จะดับลง

ลักษณะของลูกไฟที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้ทั้งหมดเป็นรูปแบบทรงกลมครึ่งลูก (Hemispherical) เหตุผลที่ลูกไฟไม่สามารถพัฒนาไปเป็นทรงกลมเต็มใบ (Spherical) ได้อย่างสมบูรณ์ คาดว่าเป็นเพราะปริมาณระเบิดมีไม่มากพอที่จะทำให้เกิดเป็นลูกไฟขนาดใหญ่จนยกตัวลอยขึ้นได้ นอกจากนี้ เมื่อสังเกตภาพการระเบิดในแต่ละเฟรมพบว่า ณ เวลา 66 มิลลิวินาที ภาพการระเบิดทั้ง Bare Charge และ Pipe Bomb



รูปที่ 4 แรงดันของระเบิด Bare Charge และ Pipe Bomb ที่ระยะปรับทอน 0.31 เมตร/กิโลกรัม^{1/3}

เกิดการบิดเบี้ยว แสดงว่าแรงระเบิดจากคลื่นปะทุ (Shock Wave) ที่ทำให้ตัวกล่องขยับได้มีความเร็วไม่ต่างกัน

3.2 แรงดันและความเสียหายจากการระเบิด

เมื่อติดตั้งเซนเซอร์วัดแรงดันห่างจากวัตถุระเบิด 15 เซนติเมตร แล้วทดสอบระเบิด Bare Charge และ Pipe Bomb ด้วยระเบิดที่เอ็นทีขนาด 1/4 ปอนด์ เท่ากัน จะได้ค่าแรงดันของการระเบิดทั้งสองแบบที่ระยะปรับทอนเท่ากับ 0.31 เมตร/กิโลกรัม^{1/3} ข้อมูลแรงระเบิดแสดงในรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าเส้นแรงดันเหนือแรงดันบรรยากาศ (Overpressure) พุ่งขึ้นสูงแล้วกลับคืนสู่ระดับแรงดันบรรยากาศปกติอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 1 วินาที โดยการระเบิดของ Bare Charge จะแสดงค่าแรงระเบิดช่วงลบให้เห็นชัดเจนกว่าการระเบิดของ Pipe Bomb แรงดันสูงสุดจากการระเบิด Bare Charge มีค่าประมาณ 8,000 กิโลปาสกาล ส่วนการระเบิดของ Pipe Bomb ที่ปริมาณระเบิดและระยะปรับทอนเท่ากัน มีแรงดันสูงสุดที่ค่าประมาณ 3,000 กิโลปาสกาล เทียบได้เป็น 38% ของแรงระเบิดสูงสุดจากการระเบิด Bare Charge ผลที่ได้บ่งชี้ถึงการสูญเสียพลังงานการระเบิดในรูปของแรงดันบางส่วนไปกับการทำลายภาชนะบรรจุที่เป็นท่อเหล็ก ซึ่งเป็นไปตาม



(ก) TNT-1/4lb-Bare



(ข) TNT-1/4lb-Case-S

รูปที่ 5 สภาพความเสียหายของแผ่นคอนกรีต ณ จุดวางระเบิด

กฎการอนุรักษ์พลังงานว่าพลังงานทำลายท่อเหล็กให้แตกออกเป็นสะเก็ดระเบิดได้จะต้องอาศัยพลังงานจากการระเบิดส่วนหนึ่งเป็นการแปลงรูปพลังงานจากการระเบิดไปเป็นพลังงานจลน์ที่ทำให้ท่อเหล็กฉีกขาด

แม้ว่าค่าแรงระเบิดในรูปที่ 4 จะแสดงให้เห็นว่าการระเบิด Pipe Bomb มีค่าแรงดันต่ำกว่าระเบิด Bare Charge แต่เมื่อพิจารณาสภาพความเสียหายของแผ่นคอนกรีต ณ จุดวางระเบิดในรูปที่ 5 จะเห็นว่าความเสียหายจากรระเบิด Pipe Bomb มีความรุนแรงสูงกว่ามาก โดยการระเบิด Bare Charge ทำให้เกิดหลุมระเบิดขนาดประมาณ 10 เซนติเมตร พร้อมเศษคอนกรีตที่แตกละเอียดเล็กน้อย ในขณะที่การระเบิด Pipe Bomb ด้วยปริมาณระเบิดเท่ากันพบว่าเกิดรอยหลุมระเบิดขนาดประมาณ 20-25 เซนติเมตร พร้อมเศษคอนกรีตแตกละเอียดเป็นชิ้นเล็กๆ จำนวนมาก ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าความเสียหายจากการชนของเปลือกท่อเหล็กมีความรุนแรงมากกว่าแรงดันจากการระเบิด

3.3 ข้อมูลสะเก็ดระเบิด

ตามที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 1.1 ในเรื่องชนิดของสะเก็ดระเบิดปฐมภูมิว่ามีทั้งเป็นชนิดแบบ Natural Fragment และ



(ก) TNT-1/4lb-Case-S



(ข) TNT-1/2lb-Case-S



(ค) TNT-1lb-Case-M



(ง) TNT-1/4lb-Case-M



(จ) TNT-1/4lb-Case-L

รูปที่ 6 สะเก็ดระเบิด Pipe Bomb บริเวณพื้นที่วางระเบิด

Preformed Fragment สำหรับงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะสะเก็ดระเบิดแบบ Natural Fragment ที่เกิดจากท่อเหล็กเท่านั้น ในการเก็บข้อมูลสะเก็ดระเบิดที่เกิดขึ้นจากท่อเหล็กหลังการจุดระเบิด Pipe Bomb ในแต่ละครั้ง ได้ผลของสะเก็ดระเบิดในบริเวณพื้นที่จุดวางระเบิดและฉากรับสะเก็ดระเบิดโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 สะเก็ดระเบิดในบริเวณพื้นที่วางระเบิด

สะเก็ดระเบิดที่รวบรวมได้ในบริเวณพื้นที่วางระเบิด Pipe Bomb แต่ละครั้งแสดงตามรูปที่ 6 เมื่อเพิ่มปริมาณระเบิดมากขึ้น (เทียบ TNT-1/4lb-Case-S กับ TNT-1/2lb-Case-S และ TNT-1/4lb-Case-M กับ TNT-1lb-Case-M) พบว่าสะเก็ดระเบิดที่รวบรวมได้มีขนาดเล็กลง ส่วนกรณีที่มีปริมาณระเบิดคงที่แต่เพิ่มปริมาตรท่อเหล็ก (เทียบระหว่าง TNT-1/4lb-Case-S, TNT-1/4lb-Case-M และ TNT-1/4lb-Case-L) สะเก็ดระเบิดที่รวบรวมได้จะมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยเฉพาะกรณีการทดลองระเบิด Pipe Bomb ที่ท่อเหล็กซึ่งมีขนาดความยาว



(ก) ด้านหน้า

(ข) ด้านหลัง

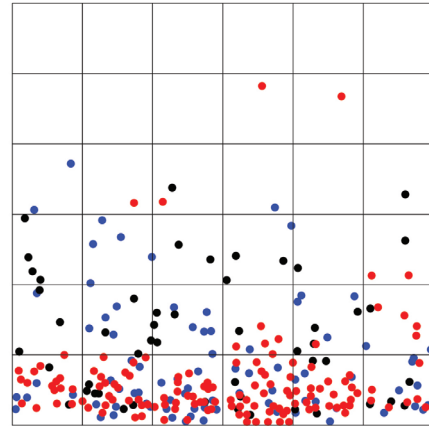
รูปที่ 7 ตัวอย่างสะเก็ดระเบิด Pipe Bomb ที่เกิดขึ้นบนฉาก

30 เซนติเมตร (TNT-1/4lb-Case-L) จะพบเศษท่อเหล็กที่ยังคงรูปร่างเป็นท่อแต่มีการฉีกขาดเป็นริ้วตามยาว สันนิษฐานได้ว่าเป็นผลจากการขึ้นรูปวัสดุท่อเหล็กที่ดึงยืด และเชื่อมตะเข็บในแนวยาว เมื่อระเบิดแรงดันจึงดันให้รอยเชื่อมเกิดการปริแตกออกมาก่อน

3.3.2 สะเก็ดระเบิดที่สร้างความเสียหาย ณ ฉากรับสะเก็ดระเบิด

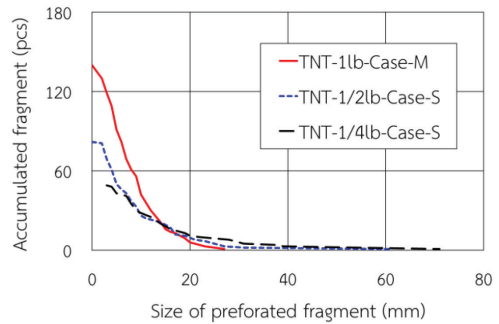
รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างภาพร่องรอยสะเก็ดระเบิด Pipe Bomb ที่เกิดขึ้น ณ ฉากรับสะเก็ดระเบิด ผู้วิจัยได้นำภาพทั้งสองมาซ้อนกันเพื่อหาตำแหน่งที่สะเก็ดระเบิดทะลุออกข้างหลัง แล้วทำการบ่งชี้ตำแหน่งสะเก็ดระเบิดที่ทะลุฉากรับได้ ข้อมูลที่ได้มีทั้งตำแหน่ง และจำนวนสะเก็ดระเบิดที่ทะลุฉากรับแสดงให้เห็นลักษณะอันตรายของสะเก็ด และพฤติกรรมการระเบิด Pipe Bomb ภาพสเก็ตตำแหน่งสะเก็ดระเบิดทะลุฉากที่ปริมาณวัตถุระเบิดแตกต่างกันแสดงตามรูปที่ 8 เมื่อปริมาณระเบิด Pipe Bomb เพิ่มขึ้นพบว่า จำนวนสะเก็ดระเบิดก็จะเพิ่มขึ้นด้วยและบริเวณการพุ่งเข้าชนฉากที่มีความหนาแน่นสูงจะอยู่ที่ระยะความสูงจากพื้นไม่เกิน 40 เซนติเมตร

ข้อมูลในรูปที่ 8 ทำให้ทราบจำนวนและตำแหน่งสะเก็ดระเบิดที่ทะลุฉากได้ แต่การประเมินระดับความเสียหายนั้นขนาดของสะเก็ดระเบิดถือเป็นข้อมูลสำคัญอย่างหนึ่ง การทดลองนี้ได้เก็บข้อมูลขนาดสะเก็ดระเบิดโดยวัดรอยสะเก็ดระเบิดที่ทะลุฉากได้ในส่วนที่ยาวที่สุด เมื่อนำข้อมูลสะเก็ดระเบิด Pipe Bomb แต่ละครั้งมาสร้างเป็นกราฟแสดงการ



- TNT-1/4lb-Case-S
- TNT-1/2lb-Case-S
- TNT-1lb-Case-M

รูปที่ 8 ภาพสเก็ตรอยสะเก็ดระเบิด Pipe Bomb บนฉาก



รูปที่ 9 การกระจายตัวของสะเก็ดระเบิด Pipe Bomb ที่ปริมาณระเบิดที่เอ็นทีต่างๆ กัน

กระจายตัวในลักษณะเดียวกับการกระจายตัวของมวลสะเก็ดระเบิดตามสมการของ Mott [6] จะได้กราฟที่มีลักษณะตามรูปที่ 9 จากกราฟพบว่า ถ้าปริมาณวัตถุระเบิดใน Pipe Bomb เพิ่มขึ้นแล้วจำนวนสะเก็ดระเบิดจะเพิ่มสูงขึ้นและในขณะเดียวกันขนาดความยาวสะเก็ดที่ทะลุฉากได้จะลดลง แสดงให้เห็นว่าแรงระเบิดที่เพิ่มขึ้นทำให้ท่อเหล็กเกิดการฉีกขาดเป็นสะเก็ดขนาดเล็กจำนวนมาก จากข้อมูลสะเก็ดระเบิดในรูปที่ 9 พบว่า เกือบ 80 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนสะเก็ดที่เกิดขึ้นบนฉากมีขนาดไม่เกิน 20 มิลลิเมตร

4. แนวทางประเมินอันตรายจากระเบิด Pipe Bomb

การประเมินอันตรายจากระเบิด Pipe Bomb ของงานวิจัยนี้จะพิจารณาทั้งปัจจัยด้านแรงระเบิด และสะเก็ดระเบิดควบคู่กันโดยกำหนดขอบเขตการพิจารณาเฉพาะความเสียหายต่อชีวิตมนุษย์ตามเกณฑ์ความเสียหายในตารางที่ 1 และ 2

ข้อมูลเบื้องต้นที่จำเป็นในการประเมินอันตรายของ Pipe Bomb คือน้ำหนักระเบิดและน้ำหนักท่อเหล็ก ในที่นี้จะนำข้อมูลระเบิดที่ใช้ในการทดลองมาประเมินอันตรายตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การประเมินปริมาณน้ำหนักระเบิดและขอบเขตอันตรายจากแรงระเบิด Pipe Bomb

จากผลการทดลองแรงระเบิดในรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่ากรณีที่ระเบิดมีปริมาณเท่ากัน แรงดันจากการระเบิด Pipe Bomb จะมีค่าน้อยกว่าการระเบิด Bare Charge ผลดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองระเบิด Pipe Bomb กลางอากาศแบบอิสระ (Free Air Explosion) ที่ทดสอบโดย Oxley และคณะ[9] จึงเป็นการยืนยันได้ว่าที่ค่าแรงระเบิดเท่ากัน ปริมาณระเบิดที่บรรจุใน Pipe Bomb จะต้องมากกว่าปริมาณระเบิด Bare Charge

จากการศึกษาของ Hutchinson [10] พบว่า อัตราส่วนน้ำหนักระเบิดเทียบเท่าของ Bare Charge (Equivalent Weight of Bare Charge, C_B) กับน้ำหนักระเบิด Pipe Bomb (C) จะแปรผกผันกับสัดส่วนระหว่างน้ำหนักภาชนะท่อเหล็กกับน้ำหนักระเบิด Pipe Bomb (M/C) งานวิจัยนี้ทำการคำนวณหาน้ำหนักระเบิด Pipe Bomb โดยใช้สมการของ Fisher [11] ซึ่งใช้สำหรับการระเบิดภายในภาชนะทรงกระบอกดังนี้

$$\frac{C_B}{C} = 0.2 + \frac{0.8}{1 + M/C} \quad (2)$$

ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบความแตกต่างของแรงดันระเบิดระหว่างระเบิด Pipe Bomb กับระเบิด Bare Charge โดยนำข้อมูลน้ำหนักท่อเหล็กและน้ำหนักระเบิด Pipe Bomb ที่ทดสอบในงานวิจัยมาคำนวณน้ำหนักระเบิดเทียบเท่า Bare

Charge ตามสมการที่ (2) จากนั้นคำนวณหาค่าระยะปรับทอนตามสมการที่ (1) โดยใช้ระยะห่างจากจุดระเบิดถึงฉากรับสะเก็ดระเบิด 2.4 เมตรเท่ากัน แต่น้ำหนักระเบิดใช้ค่าเป็น C และ C_B ส่วนการคำนวณค่าแรงระเบิดที่สร้างความเสียหายจะใช้สมการของ Kinney [12] คำนวณค่าแรงระเบิดโดยตรง (P_{so}) ด้วยสมการที่ (3) ก่อนแล้วใช้สมการของ Mill [5] คำนวณค่าแรงระเบิดสะท้อน (P_r) ด้วยสมการที่ (4) ตามลำดับ

$$P_{so} = P_o \frac{808 \left[1 + \left(\frac{Z}{4.5} \right)^2 \right]}{\left\{ \left[1 + \left(\frac{Z}{0.048} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{Z}{0.32} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{Z}{1.35} \right)^2 \right] \right\}^{0.5}} \quad (3)$$

$$P_r = 2P_{so} \left(\frac{7P_o + 4P_{so}}{7P_o + P_{so}} \right) \quad (4)$$

เมื่อค่า Z คือ ระยะปรับทอนในหน่วยเมตร/กิโลกรัม^{1/3} ค่า P_o คือ แรงดันบรรยากาศที่กำหนดให้เท่ากับ 100 กิโลปาสกาล

ความแตกต่างของแรงดันจากการระเบิดแสดงเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างแรงระเบิดสะท้อนของน้ำหนักระเบิดเทียบเท่ากับน้ำหนักระเบิด Pipe Bomb ($P_r(C_B)/P_r(C)$) ผลในแต่ละการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4 พบว่า สัดส่วนการลดลงของแรงระเบิดสะท้อนจากระเบิด Pipe Bomb เทียบกับระเบิด Bare Charge มีค่าเฉลี่ย 44% ซึ่งใกล้เคียงกับสัดส่วนแรงระเบิดระหว่างระเบิด Pipe Bomb กับระเบิด Bare Charge ที่ทดลองจริงในรูปที่ 5

การคำนวณหาขอบเขตอันตรายจากแรงระเบิด Pipe Bomb ในการทดลองนี้ทำได้โดยนำข้อมูลระดับแรงดันสูงสุดที่เริ่มความเสียหายในแต่ละระดับจากตารางที่ 1 มาคำนวณย้อนกลับเพื่อหาระยะปรับทอนด้วยสมการที่ (4) และ (3) ตามลำดับ จากนั้นจึงนำค่า C_B ที่คำนวณได้ในแต่ละการทดลองมาหาระยะทางไกลสุดที่ทำให้เกิดความเสียหายในแต่ละระดับด้วยสมการที่ (1) ผลคำนวณขอบเขตอันตรายจากแรงระเบิด Pipe Bomb ที่ปริมาณที่เอ็นทีขนาดต่างๆ แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ผลการคำนวณค่า C_B และการเปรียบเทียบค่าแรงระเบิดสะท้อนของระเบิด Bare Charge กับระเบิด Pipe Bomb ที่ระยะห่างจากฉาก 2.4 เมตร

ชื่อการทดสอบ	M [kg]	C [kg]	M/C	C_B [kg]	การระเบิดที่ระยะห่างจากฉาก 2.4 เมตร				$P_r(C_B)/P_r(C)$
					$W_E = C$		$W_E = C_B$		
					Z [m/kg ^{1/3}]	P_r [kPa]	Z [m/kg ^{1/3}]	P_r [kPa]	
TNT-1/4lb-Case-S	1.5	0.11	13.6	0.03	5.0	64.33	7.9	28.88	0.45
TNT-1/2lb-Case-S	1.5	0.23	6.5	0.07	3.9	109.47	5.8	48.39	0.44
TNT-1lb-Case-M	2.1	0.45	4.7	0.15	3.1	190.30	4.5	81.03	0.43
TNT-1/4lb-Case-M	2.1	0.11	19.1	0.03	5.0	64.33	8.1	28.01	0.44
TNT-1/4lb-Case-L	2.6	0.11	23.6	0.03	5.0	64.33	8.1	27.57	0.43

ตารางที่ 5 ขอบเขตอันตรายจากแรงระเบิด Pipe Bomb

ความเสียหายที่เกิดกับมนุษย์	ขอบเขตอันตราย [m]		
	ที่เอ็นที 1/4 ปอนด์	ที่เอ็นที 1/2 ปอนด์	ที่เอ็นที 1 ปอนด์
แก้วหูเริ่มฉีกขาด	2.18	2.89	3.72
ปอดเริ่มฉีกขาด	0.94	1.24	1.60
เริ่มเป็นอันตรายถึงชีวิต	0.62	0.82	1.06

ตารางที่ 6 ความเร็วเริ่มต้นของสะเก็ดระเบิด Pipe Bomb

ชื่อการทดสอบ	M/C	ความเร็วเริ่มต้นของสะเก็ดระเบิด [m/s]
TNT-1/4lb-Case-S	13.6	648
TNT-1/2lb-Case-S	6.5	920
TNT-1lb-Case-M	4.7	1073
TNT-1/4lb-Case-M	19.1	551
TNT-1/4lb-Case-L	23.6	496

4.2 การประเมินความเร็วและขอบเขตอันตรายจากสะเก็ดระเบิด Pipe Bomb

การประเมินอันตรายจากสะเก็ดระเบิดในขั้นแรกต้องหาค่าความเร็วสะเก็ดระเบิดก่อน จากโมเดลการระเบิดของ Gurney [13] สามารถคำนวณค่าความเร็วสะเก็ดที่เกิดจากเปลือกท่อเหล็กทรงกระบอกได้ตามสมการที่ (5)

$$V_0 = \sqrt{\frac{2E}{\frac{M}{C} + \frac{1}{2}}} \quad (5)$$

เมื่อ V_0 คือ ความเร็วต้นของสะเก็ดระเบิด $\sqrt{2E}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของ Gurney Velocity ขึ้นอยู่กับชนิดวัตถุระเบิด กรณีของระเบิดที่เอ็นทีจะมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 2,438

เมตรต่อวินาที [14] ผลคำนวณค่าความเร็วเริ่มต้นของสะเก็ดระเบิด Pipe Bomb ในแต่ละการทดลองแสดงตามตารางที่ 6

การคำนวณหาขอบเขตอันตรายจากสะเก็ดระเบิด Pipe Bomb ในแต่ละการทดลองทำได้โดยนำข้อมูลระดับความเสียหายจากสะเก็ดระเบิดในตารางที่ 2 มาเทียบโดย ณ ที่นี่จะใช้เกณฑ์ระดับความเสียหายปานกลาง ($P_k = 0.5$) ซึ่งมีค่าพลังงานจลน์เท่ากับ 1,000 จูล กำหนดน้ำหนักสะเก็ดจากข้อมูลขนาดสะเก็ดระเบิดที่เกิดขึ้นมากที่สุดคือไม่เกิน 20 มิลลิเมตร ในช่วงขนาดสะเก็ดระเบิดดังกล่าวจะมีน้ำหนักมากที่สุดเมื่อเป็นสะเก็ดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งคำนวณเป็นน้ำหนักได้ 10.24 กรัม คำนวณความเร็วปลายที่สร้างความเสี่ยงปานกลางจากกฎอนุรักษ์พลังงานจลน์ในสมการที่ (6)

$$E = \frac{1}{2} W_f \times v^2 \quad (6)$$

เมื่อ E คือ พลังงานจลน์ที่ทำให้เกิดความเสียหาย W_f คือน้ำหนักสะเก็ดระเบิด v คือ ความเร็วปลายของสะเก็ดระเบิด เมื่อได้ค่าความเร็วเริ่มต้นและความเร็วปลายของสะเก็ดระเบิดจากสมการที่ (5) และ (6) แล้วสามารถคำนวณขอบเขตอันตรายของสะเก็ดได้โดยใช้สมการความเร็วสะเก็ดซึ่งเคลื่อนที่ไปได้ในระยะเวลาต่างๆ จากมาตรฐาน UFC 3-340-02 [15] ที่แสดงตามสมการที่ (7)

$$v = V_0 \times e^{-[0.004 R_f / w_f^{1.3}]} \quad (7)$$

เมื่อ R_f คือ ระยะทางที่สะเก็ดเคลื่อนที่ออกจากจุดระเบิด ทั้งนี้ หน่วยความเร็ว ระยะทาง และน้ำหนักของตัวแปรในสมการที่ (7) เป็น ฟุต/วินาที ฟุต และออนซ์ ตามลำดับ ผลคำนวณขอบเขตอันตรายจากสะเก็ดระเบิด Pipe Bomb ในแต่ละการทดลองแสดงในตารางที่ 7 ขอบเขตที่คำนวณได้พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณระเบิด Pipe Bomb จะทำให้ขอบเขตอันตรายเพิ่มมากขึ้น ส่วนการเพิ่มปริมาตรของภาชนะบรรจุ Pipe Bomb โดยปริมาณระเบิดคงที่จะทำให้ขอบเขตอันตรายลดลง

ตารางที่ 7 ขอบเขตอันตรายจากสะเก็ดระเบิด Pipe Bomb

ชื่อการทดสอบ	ขอบเขตอันตราย ($P_k = 0.5$) [m]
TNT-1/4lb-Case-S	20
TNT-1/2lb-Case-S	39
TNT-1lb-Case-M	47
TNT-1/4lb-Case-M	12
TNT-1/4lb-Case-L	6

จากผลประเมินอันตรายของระเบิด Pipe Bomb ด้วยวิธีข้างต้นพบว่า อันตรายจากสะเก็ดระเบิดมีขอบเขตที่กว้างกว่าอันตรายจากแรงระเบิด ทั้งนี้ ความน่าจะเป็นในแง่

ของโอกาสได้รับอันตรายจะแตกต่างกัน กล่าวคือ กรณีของแรงระเบิดที่เกิดขึ้นจะขยายไปเต็มพื้นที่ ภายในขอบเขตอันตรายที่คำนวณได้จึงมีโอกาสได้รับอันตราย 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกรณีสะเก็ดระเบิดจะตั้งสมมุติฐานในเงื่อนไขที่สะเก็ดพุ่งเข้าชนโดนเป้าหมายแน่นอน และหาขอบเขตจากระยะทางเคลื่อนที่ได้ไกลสุดของสะเก็ดที่สร้างความเสียหายปานกลาง ดังนั้นหากต้องพิจารณาโอกาสการโดนสะเก็ดระเบิดจะต้องนำปัจจัยเรื่องความหนาแน่นของสะเก็ดระเบิดต่อพื้นที่เป้าหมายมาพิจารณาประกอบด้วยเพิ่มเติม

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมการระเบิดในท่อเหล็กและเสนอแนะแนวทางการประเมินอันตรายโดยพิจารณาเฉพาะตัวแปรด้านน้ำหนักวัตถุระเบิดและปริมาตรภาชนะบรรจุเท่านั้น ซึ่งพฤติกรรมการระเบิดยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ นอกจากนี้ก็เช่น รูปร่างระเบิด ความหนาแน่นในการบรรจุสภาพสิ่งแวดล้อมข้างเคียงต่างๆ จึงควรทำการศึกษาปัจจัยนอกเหนือจากนี้เพิ่มเติมอีกในอนาคต และสะเก็ดที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มีเฉพาะสะเก็ดแบบ Primary Fragments เท่านั้น แต่ในการระเบิด Pipe Bomb ของผู้ก่อการร้ายจะพบสะเก็ดแบบ Preformed Fragments เพิ่มเข้ามาด้วย หากต้องการศึกษาสะเก็ดดังกล่าวควรออกแบบการทดลองให้รัดกุมเป็นพิเศษเนื่องจากสะเก็ดที่เพิ่มขึ้นจะมีความอันตรายสูง

ผลที่เกิดขึ้นตามเงื่อนไขตัวแปรในการทดลองนี้พบว่า แรงดันจากการระเบิด Pipe Bomb มีค่าน้อยกว่าแรงดันจากการระเบิด Bare Charge แต่สามารถสร้างความเสียหายต่อแผ่นคอนกรีต ณ ตำแหน่งจุดระเบิดได้มากกว่าและยังมีอันตรายจากสะเก็ดระเบิดที่เกิดขึ้นด้วย น้ำหนักระเบิดใน Pipe Bomb ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สะเก็ดระเบิดจากท่อเหล็กมีขนาดเล็กลงและมีจำนวนเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มปริมาตรท่อเหล็กไม่พบว่ามีผลทำให้ขนาดหรือจำนวนสะเก็ดระเบิดเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ข้อมูลเหล่านี้ถือเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่ช่วยให้เราเข้าใจพฤติกรรมการระเบิด Pipe Bomb ลักษณะการเกิด Primary Fragments รวมถึงการกระจายตัวของสะเก็ดสู่เป้าหมาย ซึ่งนับเป็นประโยชน์ต่องานด้านนิติ

วิทยาศาสตร์ หรืองานออกแบบโครงสร้างป้องกันระเบิดในอนาคตต่อไป

แนวทางการประเมินอันตรายในงานวิจัยนี้กำหนดขอบเขตอันตรายของสะเก็ดระเบิดคือ ระยะทางที่สะเก็ดจะเคลื่อนที่ไปได้ไกลที่สุดแต่ไม่ได้รวมปัจจัยด้านความหนาแน่นของสะเก็ดเพราะจำนวนสะเก็ดในการทดสอบไม่สามารถระบุได้โดยตรงเนื่องจากเป็น Natural Fragment ที่ขึ้นอยู่กับน้ำหนักระเบิดและน้ำหนักภาชนะบรรจุ และขอบเขตดังกล่าวเป็นผลจากการระเบิดของท่อเหล็กที่วางแนวตั้งเท่านั้นหากมีการวางในลักษณะอื่นๆ จะต้องดูปัจจัยเรื่องของทิศทางซึ่งมีผลต่อแรงระเบิดและความเร็วต้นของสะเก็ดระเบิดที่มีความแตกต่างกันออกไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ กองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ที่กรุณาให้การสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ ร.ศ. วิฑิต ปานสุข คณะวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความอนุเคราะห์อุปกรณ์เซนเซอร์วัดแรงระเบิด และขอบคุณหน่วยงานส่วนบริการ รร. จปร. สำหรับพื้นที่ทดสอบและการสนับสนุนด้านวัสดุระเบิด

เอกสารอ้างอิง

- [1] National Consortium for the study of Terrorism and Responses to Terrorism (2019). *Global Terrorism Database (GTD)*. [Online]. Available: <https://www.start.umd.edu/gtd/>
- [2] Prince of Songkla University (2020, March). *Deep South Watch*. [Online]. Available: <https://deepsouthwatch.org/th/dsid> (in Thai)
- [3] Royal Thai Police Bomb Data Center (2015, August). *Activities of Office of Forensic Science*. [Online]. Available: <http://thaibdc.forensic.police.go.th/?p=523> (in Thai)
- [4] G. Tanapornraweekit and S. Tangtermsirikul, “Lethal area from blast and fragment of pipe bomb,” *Thai Journal of Science and Technology*, vol. 24, no. 3, pp. 514–524, 2016 (in Thai).
- [5] *Handbook for Blasting Calculation and Blast Effect on Building Structure*, Department of Public Works and Town & Country Planning, Bangkok, Thailand, 2016, pp. 3–8, a–4 (in Thai).
- [6] *A manual for the prediction of blast and fragment loadings on structures*, U.S. Department of Energy, 1981, pp. 6–1.
- [7] A. Malhotra, D. Carson, and S. M. Fadden, “Blast pressure leakage into building and effect on humans,” *Procedia Engineering*, vol. 210, pp. 386–392, 2017.
- [8] Federation of American Scientists, Military Analysis Network (1998, January). *Damage Criterial*. [Online] Available: https://fas.org/man/dod-101/navy/docs/es310/dam_crit/dam_crit.html
- [9] J.C. Oxley, J.L. Smith, E.T. Bernier, F. Sandstrom, G.G. Weiss, G.W. Recht, and D. Schatzer, “Characterizing the performance of pipe bombs,” *Journal of Forensic Sciences*, vol. 63, no. 1, pp. 86–101, 2018.
- [10] M. D. Hutchinson, “With-fracture gurney model to estimate both fragment and blast impulses,” *Central European Journal of Energetic Materials*, vol. 7 no. 2, pp. 175–186, 2010.
- [11] E. M. Fisher, *The Effect of the Steel Case on the Air Blast from High Explosive*. Defense Technical Information Center., 1953.
- [12] V. Karlos and G. Solomos, *Calculation of Blast Loads for Application to Structural Components*. Italy: Publications Office of the



- European Union, 2013, pp. 22.
- [13] R. W. Gurney, *The initial velocities of fragments from bombs, shell and grenades*, Ballistic Research Laboratories (BRL), 1943.
- [14] *International Ammunition Technical Guideline* (IATG), United Nations Office for Disarmament Affairs (UNODA). New York, USA, 2015, pp. 10.
- [15] *Structure to Resist the Effects of Accidental Explosions (UFC 3-340-02)*. U.S. Department of Defense, 2008, pp. 2-294.