

การประเมินพื้นที่อันตรายที่เกิดจากแรงดัน และสะเก็ดระเบิดจาก Pipe Bomb

Lethal Area from Blast and Fragment of Pipe Bomb

กันต์ไชย ธนาพรวิภิตต์* และสมนึก ตั้งเต็มสิริกุล

ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีก่อสร้างและบำรุงรักษา ภาควิชาวิศวกรรมและเทคโนโลยีโยธา

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Ganchai Tanapornraweekit* and Somnuk Tangtermsirikul

Construction and Maintenance Technology Research Center, School of Civil Engineering and

Technology, Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University,

Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

การประเมินความเสียหายจากการระเบิดนั้นสามารถวิเคราะห์ได้ตามหลักการทางวิศวกรรมที่ได้มาจากองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมการระเบิด บทความนี้ได้รวบรวมเกณฑ์ระดับของการบาดเจ็บ/เสียชีวิตจากการระเบิด ซึ่งส่วนใหญ่แล้วเป็นผลจากทั้งแรงดันระเบิดและสะเก็ดระเบิดสำหรับการวิเคราะห์หาแรงดันระเบิดที่แปรเปลี่ยนไปตามเวลานั้น ในบทความนี้อ้างอิงการวิเคราะห์จากสมการและกราฟใน UFC 3-340-02 โดยค่าแรงดันระเบิดสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ระยะห่างต่าง ๆ จากจุดศูนย์กลางการระเบิดจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์การเสียชีวิตจากการระเบิด เพื่อที่จะใช้ในการประเมินรัศมีการทำลายของการระเบิดนั้น ๆ นอกเหนือไปจากแรงระเบิด อีกปัจจัยหลักที่ส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บ/เสียชีวิตคือสะเก็ดระเบิด โดยที่เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินพื้นที่อันตรายของ pipe bomb ที่เกิดจากสะเก็ดระเบิดคือความหนาแน่นของสะเก็ดและ probability of kill โดยที่ในบทความนี้ได้ยกเหตุระเบิดที่ศาลท้าวมหาพรหม สีแครงราชประสงค์ เมื่อวันที่ 17 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 มาประกอบเป็นกรณีศึกษาการวิเคราะห์พื้นที่อันตรายที่เกิดจากการระเบิดของ pipe bomb

คำสำคัญ : พื้นที่อันตราย; แรงดันระเบิด; สะเก็ดระเบิด; ระดับการบาดเจ็บและเสียชีวิต

Abstract

Explosive engineering is a science which can be employed to evaluate damage resulted from an explosion. This article reviews criteria of human injury/fatality resulted from an explosion. Damage from a blast incident mainly comes from blast pressure and fragment impact. Blast

pressure-time histories at various distances from the center of pipe bomb explosion are calculated based on equations and charts presented in UFC 3-340-02. These peak pressures will be compared with the criteria of human injury/fatality from blast pressure. The standoff distance where its corresponded blast pressure meets the criteria of fatality is defined as lethal radius. In addition to blast pressure, blast fragments also cause human injury/fatality. Fragment hit density and probability of kill are additional two criteria to determine lethal area of pipe bomb. This article presents analytical approach to determine lethal area of pipe bomb by selecting the explosion incidence at Erawan shrine on August 17, 2015 as a case study.

Keywords: lethal area; blast pressure; fragment; damage levels and lethality

1. บทนำ

ปัจจุบันภัยที่เกิดจากการระเบิดได้เกิดขึ้นในหลายพื้นที่ของประเทศไทย เริ่มมาตั้งแต่การระเบิดที่ชายแดนภาคใต้ มาถึงการระเบิดในใจกลางกรุงเทพ เช่น การระเบิดที่ศาลท้าวมหาพรหม สีแยกราชประสงค์ โดยที่นอกเหนือจากการระเบิดเพื่อสร้างสถานการณ์ให้เกิดความรุนแรง หรือจากการก่อการร้าย ก็ยังมีวินาศภัยที่เกิดจากการระเบิดของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสารเคมี ก๊าซ และน้ำมัน อย่างไรก็ตาม การระเบิดแต่ละประเภทย่อมสร้างความเสียหายที่แตกต่างกัน เช่น การระเบิดเพื่อสร้างสถานการณ์ อาจมีเพียงแรงดันระเบิดที่เกิดจากดินระเบิดปริมาณไม่มาก และมีสะเก็ดที่เกิดจากการระเบิดน้อย ไม่ได้หวังผลให้เกิดการเสียชีวิตกับบุคคลโดยรอบ ก่อให้เกิดการระเบิดในวงจำกัด ซึ่งแตกต่างกับการระเบิดจากการก่อการร้ายหรือเพื่อการแก้แค้นใด ๆ ซึ่งจะมุ่งหวังให้เกิดการสูญเสียชีวิตของกลุ่มคนที่อยู่ในบริเวณนั้น ๆ โดยที่ในระเบิดประเภทนี้จะก่อให้เกิดแรงดันระเบิดที่สูง พร้อมทั้งมีสะเก็ดระเบิดที่เกิดจากการแตกของภาชนะบรรจุดินระเบิด (natural fragment) และสะเก็ดลูกปราย (preformed fragment) ที่ได้บรรจุลงไปในวัตถุระเบิดเพื่อให้มีจำนวนสะเก็ดระเบิดที่มากขึ้น และสำหรับการระเบิดที่

เกิดจากอุบัติเหตุในโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารเคมี ก๊าซ และน้ำมันนั้น โดยปกติแล้วจะเป็นการระเบิดที่แรงดันระเบิดเกิดขึ้นเป็นระยะเวลายาวนานกว่าการระเบิดในสองประเภทแรกที่ได้กล่าวมา รวมไปถึงก่อให้เกิดอัคคีภัยตามมาด้วย อย่างไรก็ตาม การจะระบุถึงความรุนแรงของการระเบิดในแต่ละประเภทนั้นต้องประเมินจากปริมาณของดินระเบิด และสารเคมีที่เกี่ยวข้องที่ทำให้เกิดการระเบิดว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงไร ซึ่งในบทความนี้จะกล่าวถึงการระเบิดของ pipe bomb ที่มีสะเก็ดลูกปรายเพื่อหวังผลให้เกิดการสูญเสียชีวิต ดังที่ได้เห็นจากเหตุการณ์ระเบิดที่ศาลท้าวมหาพรหม สีแยกราชประสงค์ เมื่อวันที่ 17 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558

2. องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้อง

2.1 การคำนวณที่เกี่ยวข้องกับสะเก็ดระเบิด

นอกเหนือจากแรงดันระเบิดที่เกิดขึ้น สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินก็คือสะเก็ดระเบิด การที่จะพิจารณาว่าสะเก็ดที่เกิดจากการระเบิดนั้นมีอำนาจรุนแรงเพียงใด จะต้องพิจารณาจากพลังงานจลน์ของสะเก็ด ซึ่งขึ้นอยู่กับมวลและความเร็วของสะเก็ด เศษที่เกิดจากการระเบิดนั้นยังแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

(1) natural fragment หรือสะเก็ดที่เกิดจากการฉีกขาดของวัสดุห่อหุ้ม (เปลือก/casing) ของดินระเบิด โดยขนาดและรูปร่างของสะเก็ดประเภทนี้จะมีลักษณะค่อนข้างไม่สม่ำเสมอและคาดเดาได้ยาก และ (2) preformed fragment ซึ่งเป็นสะเก็ดที่มีน้ำหนักและรูปทรงที่แน่นอนที่ผู้ออกแบบระเบิดตั้งใจใส่ลงไป โดยมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณสะเก็ดระเบิดให้มากขึ้นเพิ่มเติมไปจากสะเก็ดที่เกิดจากเปลือก (natural fragment)

สำหรับ natural fragment นั้น จากผลการทดสอบการระเบิด [1] พบว่าน้ำหนักและจำนวนของสะเก็ดที่เกิดขึ้นนั้นมีการกระจายตัวแบบ Mott's distribution เป็นไปตามสมการที่ 1 และ 2 รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างของการกระจายของน้ำหนัก (ขนาด) และจำนวนของสะเก็ด เห็นได้ชัดเจนว่าประเภทของ

ดินระเบิดมีผลอย่างมากต่อการกระจายของน้ำหนัก (ขนาด) และจำนวนของสะเก็ดที่เกิดขึ้น

$$N(m) = \frac{M_0}{2M_k^2} e^{-\left(\frac{m^{1/2}}{M_k}\right)} \quad (1)$$

$$M_k = Bt^{5/6} d^{1/3} \left(1 + \frac{t}{d}\right) \quad (2)$$

โดย m คือ มวลของสะเก็ด

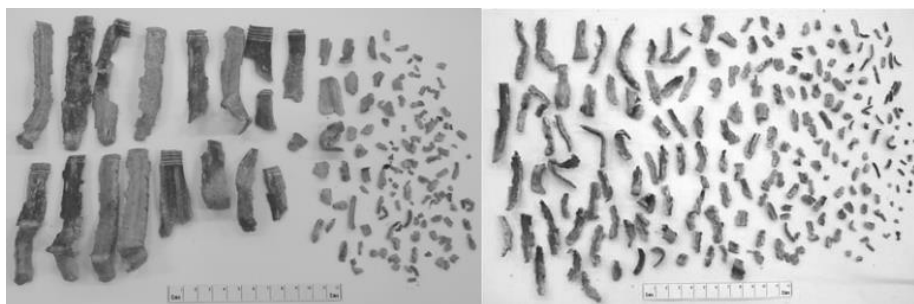
$N(m)$ คือ จำนวนสะเก็ดที่มีมวลมากกว่า m

M_0 คือ มวลของท่อ pipe bomb

M_k คือ ค่าการกระจายตัว

B คือ ค่าคงที่ระหว่างประเภทของดินระเบิดและวัสดุที่ใช้ทำเปลือก/casing

t และ d คือ ความหนาและเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ pipe bomb ตามลำดับ



รูปที่ 1 ตัวอย่างการกระจายของน้ำหนัก (ขนาด) และจำนวนของสะเก็ดที่เกิดจากการระเบิดของ Gelamex (รูปซ้าย) และ PE4 (รูปขวา) [2]

การคำนวณความเร็วต้นของ natural fragment นั้นสามารถคำนวณได้จากสมการของ Gurney [3] ดังแสดงในสมการที่ 3 ในขณะที่การคำนวณความเร็วต้นของ preformed fragment จะต้องมีการปรับแก้ค่าอัตราส่วนระหว่าง C ต่อ M โดยใช้ตัวคูณปรับค่าเท่ากับ 0.50 เพื่อคำนึงถึงการรั่วของแรงระเบิดที่เกิดขึ้นตามแนวพื้นที่ผิวของ preformed fragment [3]

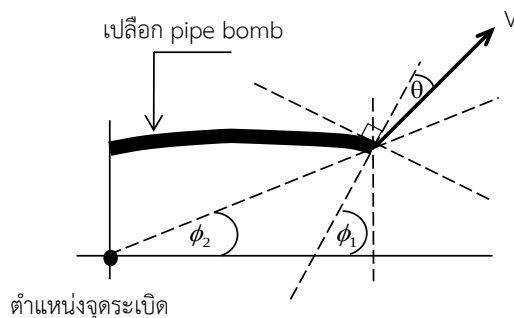
$$v = \sqrt{\frac{2E}{\frac{M}{C} + \frac{1}{2}}} \quad (3)$$

โดย V คือ ความเร็วต้นของสะเก็ด

$\sqrt{2E}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วของ Gurney ซึ่งเป็นค่าคงที่เฉพาะสำหรับดินระเบิดแต่ละชนิด

C, M คือ น้ำหนักของดินระเบิดและน้ำหนักของเปลือก/casing ตามลำดับ

นอกเหนือจากความเร็วต้นของสะเก็ด ในการหาพื้นที่อันตรายของการระเบิดนั้น ยังต้องคำนึงถึงทิศทางของสะเก็ดระเบิดที่เริ่มวิ่งออกไป ณ ขณะที่เกิดการระเบิดของเปลือก pipe bomb ออกไปแล้วนั้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่เสนอโดย Shapiro [4] ดังแสดงในสมการที่ 4 โดยที่ทิศทางของสะเก็ด (θ) นั้นจะขึ้นอยู่กับความเร็วต้นของสะเก็ดระเบิด V และความเร็วของการระเบิด V_0 และยังขึ้นกับตำแหน่งของเปลือก pipe bomb เมื่อเทียบกับตำแหน่งจุดระเบิด (ϕ_1, ϕ_2) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 spray angle ของสะเก็ดที่พุ่งออกจากเปลือกของ pipe bomb

2.2 การวิเคราะห์พื้นที่อันตรายของการระเบิด pipe bomb

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น ความเสียหายจากการระเบิดของ pipe bomb เป็นผลมาจากทั้งแรงดันระเบิดและสะเก็ดระเบิด ดังนั้นในการวิเคราะห์พื้นที่อันตรายจากการระเบิดของ pipe bomb นี้จะต้องพิจารณาเกณฑ์ที่ทำให้เกิดความเสียหายทั้งจากแรงดันระเบิดและสะเก็ดระเบิด โดยตารางที่ 1 แสดงถึงเกณฑ์ขนาดแรงดันระเบิดที่ส่งผลต่อการบาดเจ็บของบุคคลในระดับต่าง ๆ รวมไปถึงแรงดันระเบิดที่ส่งผลต่อชีวิต

ตารางที่ 1 เกณฑ์ขนาดแรงดันระเบิดที่ส่งผลต่อการบาดเจ็บในระดับต่าง ๆ [5]

การบาดเจ็บและเสียชีวิต	ขนาดแรงดันระเบิดที่ส่งผล (kPa)
สูญเสียการได้ยินจากแก้วหูฉีกขาด	
เริ่มเป็นไปได้ที่จะเกิด	35
ความเป็นไปได้ 50 % ที่จะเกิด	100
ปอดฉีกขาด	
เริ่มเป็นไปได้ที่จะเกิด	205-275
ความเป็นไปได้ 50 % ที่จะเกิด	550
เสียชีวิต	
เริ่มเป็นไปได้ที่จะเกิด	690-830
ความเป็นไปได้ 50 % ที่จะเกิด	900-1,240
เกิดขึ้นแน่นอน	1,380-1,724

สำหรับการบาดเจ็บที่เกิดจากการถูกสะเก็ดระเบิดนั้นจะอ้างอิงว่าพื้นที่ผิวของบุคคลในส่วนที่ถ้าถูกสะเก็ดยิงเข้าไปแล้วจะส่งผลต่อชีวิตนั้น (vulnerable surface area) มีค่าประมาณ 0.5 ตร.ม. [6] ดังนั้นพื้นที่อันตรายจะต้องมีความหนาแน่นของสะเก็ดเท่ากับ 2 ชิ้น/ตร.ม. นั้นหมายความว่าบุคคลที่อยู่ภายในพื้นที่อันตรายจะต้องถูกสะเก็ดยิงทำให้ถึงแก่ชีวิตแน่นอน อย่างไรก็ตาม บุคคลที่อยู่ภายนอกรัศมีการทำลายก็ยังมีโอกาสที่จะได้รับบาดเจ็บจากสะเก็ดและ/หรือแรงดันระเบิด รวมถึงการบาดเจ็บหรือเสียชีวิตจากไฟคลอกได้เช่นเดียวกัน

นอกเหนือไปจากเกณฑ์ความหนาแน่นของสะเก็ดเท่ากับ 2 ชิ้น/ตร.ม. ในการวิเคราะห์พื้นที่อันตรายแล้ว จะต้องพิจารณาถึงความน่าจะเป็นในการที่บุคคลจะเสียชีวิตจากสะเก็ด (probability of kill) ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของสะเก็ดและพลังงานจลน์ของสะเก็ดว่ามีค่าเพียงพอในการที่จะทำให้เกิด

การบาดเจ็บหรือเสียชีวิตหรือไม่ ในการคำนวณพลังงานจลน์ของสะเก็ดนั้นจะต้องประเมินค่าน้ำหนักเฉลี่ยของสะเก็ดและความเร็วของสะเก็ดที่ลดลงตามระยะทางเนื่องจากแรงต้านอากาศ (drag force) สำหรับน้ำหนักเฉลี่ยของสะเก็ดสามารถหาได้จากการกระจายตัวของจำนวนและน้ำหนักของสะเก็ดตามสมการที่ 1 และ 2 สำหรับความเร็วของสะเก็ดที่ลดลงไปตามระยะทางเนื่องจากแรงต้านอากาศจะขึ้นอยู่กับความเร็วต้นของสะเก็ด รูปทรง พื้นที่หน้าตัด และน้ำหนักของสะเก็ด ซึ่งความเร็วปลายของสะเก็ดก่อนกระทบเป้าหมายที่ห่างจากจุดศูนย์กลางการระเบิดที่ระยะ s สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$\ln\left(\frac{V_s}{V}\right) = -\frac{C_D A_f \rho_a s}{2m} \quad (5)$$

โดย V_s คือ ความเร็วของสะเก็ดที่ระยะทาง s

V คือ ความเร็วต้นของสะเก็ด

C_D คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ

A_f คือ พื้นที่ผิวของสะเก็ด

ρ_a คือ ความหนาแน่นอากาศ

s คือ ระยะทางที่สะเก็ดวิ่งออกไป

m คือ มวลของสะเก็ด

Probability of kill (P_k) สามารถคำนวณจากสมการที่ 6 โดยที่ N_{hits} คือ ความหนาแน่นของสะเก็ด และค่า $P_{k\ hit}$ คือ เกณฑ์ระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากพลังงานจลน์ของสะเก็ดต่อเป้าหมายแบบต่าง ๆ ซึ่งสามารถอ้างอิงได้จาก **Error! Reference source not found.** โดยเกณฑ์การกำหนดขอบเขตพื้นที่อันตรายจากค่า P_k ของ pipe bomb นี้จะอิงตามเกณฑ์การกำหนดขอบเขตพื้นที่อันตรายของหัวรบจรวดที่กำหนดว่าขอบเขตของพื้นที่อันตรายจะมีค่า P_k เท่ากับ 0.5 หรือ 50 % probability of kill [7]

$$P_k = 1 - (1 - P_{k|hit})^{N_{hits}} \quad \text{เมื่อ } N_{hits} > 1 \quad (6)$$

$$P_k = N_{hits} \cdot P_{k|hit} \quad \text{เมื่อ } N_{hits} < 1$$

ตารางที่ 2 เกณฑ์ระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากพลังงานของสะเก็ดต่อเป้าหมายแบบต่าง ๆ [7]

ประเภทของเป้าหมาย	พลังงานจลน์ของสะเก็ดที่ทำให้เกิดความเสียหายในระดับต่าง ๆ (kJ)		
	ความเสียหายเล็กน้อย ($P_k=0.1$)	ความเสียหายปานกลาง ($P_k=0.5$)	ความเสียหายมาก ($P_k=0.9$)
บุคคล	0.1	1	4
เครื่องบิน	4	10	20
รถหุ้มเกราะ	10	500	1000

3. น้ำหนักของดินระเบิดใน pipe bomb

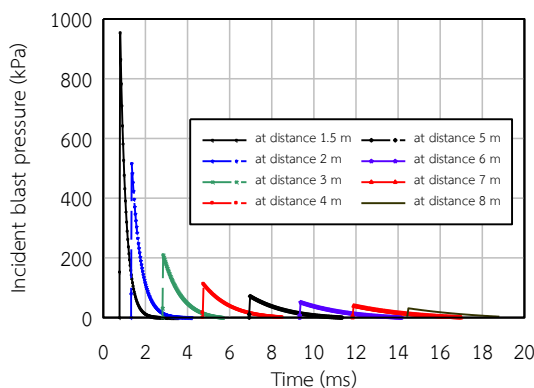
ภายหลังการเกิดเหตุระเบิดที่ศาลท้าวมหาพรหม สี่แยกราชประสงค์ ได้มีการรายงานวาระเบิดที่ใช้เป็นระเบิดแสวงเครื่องที่บรรจุในท่อประปาเหล็กชุบกัลวาไนซ์มีฟาปิด 2 ด้าน รูปแบบเดียวกับ pipe bomb [8] ทั้งนี้ได้มีการวิเคราะห์ [9] ภายหลังเกิดเหตุว่าถ้าดินระเบิดที่ใช้ในการก่อเหตุครั้งนี้เป็น TNT ก็จะต้องใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. ความหนา

3.6 มม. หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 มม. ความหนา 5 มม. ความยาวประมาณ 250 มม. โดยที่น้ำหนักรวมดินระเบิดและท่อเหล็กเท่ากับ 6.07 กก. (ท่อเหล็ก 2.43 กก. + ดินระเบิด 3.64 กก.) อาณาภาความรุนแรงเทียบเท่าระเบิด bare charge TNT 2.37 กก. สำหรับท่อขนาด 100 มม. และน้ำหนักรวมดินระเบิด

และท่อเหล็กเท่ากับ 9.6 กก. (ท่อเหล็ก 4.15 กก. + ดินระเบิด 5.45 กก.) อาณาภาควัสดุแรงเทียบเท่าระเบิด bare charge TNT 3.48 กก. สำหรับท่อขนาด 125 มม.

ในขณะที่ถ้าเป็นระเบิด C4 ก็มีความเป็นไปได้ที่จะบรรจุอยู่ในท่อเหล็กขนาด 100 มม. ความยาวประมาณ 250 มม. โดยที่น้ำหนักรวมดินระเบิดและท่อเหล็กจะประมาณ 6 กก. (ท่อเหล็ก 2.43 กก. + ดินระเบิด 3.58 กก.) โดยที่อาณาภาควัสดุแรงเทียบเท่ากับ bare charge TNT 3.33 กก.

อย่างไรก็ตาม ในบทความนี้ขอกล่าวถึงการวิเคราะห์รัศมีทำลาย และรูปร่างของพื้นที่อันตรายจาก pipe bomb ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 100 มม. ความยาว 250 มม. ภายในบรรจุดินระเบิด TNT และ preformed fragment ดังจะได้กล่าวต่อไป

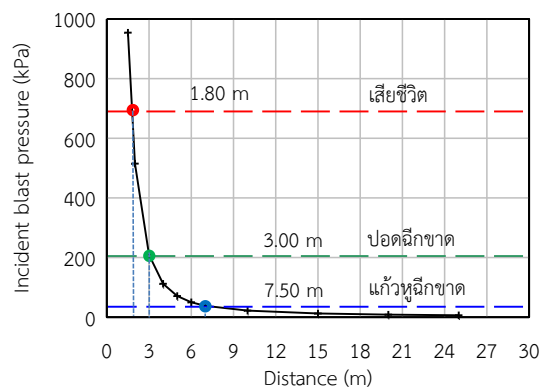


รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันระเบิดและเวลาที่ระยะห่างตั้งแต่ 1.5 ถึง 7 เมตร จากการระเบิดของ pipe bomb ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 100 มม. ความยาว 250 มม.

จากเกณฑ์ของขนาดแรงดันระเบิดต่อการบาดเจ็บในตารางที่ 1 และแรงดันระเบิดที่ระยะทางต่าง ๆ ในรูปที่ 3 สามารถที่จะหาค่าระยะห่างจากจุด

4. รัศมีทำลายจากแรงระเบิดต่อบุคคล

แรงดันระเบิดที่เกิดขึ้นในเหตุการณ์ครั้งนี้ อ้างอิงการวิเคราะห์จากสมการและกราฟที่ให้ไว้ใน UFC 3-340-02 [5] โดยที่ค่าแรงดันระเบิดที่ใช้ในการประเมินการบาดเจ็บและเสียชีวิตเป็นค่า incident blast pressure จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าแรงดันระเบิด หรือ blast pressure นั้นลดลงไปตามระยะห่างจากจุดศูนย์กลางการระเบิดและเวลาที่ผ่านไป โดยที่แรงดันระเบิดสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการระเบิดของ pipe bomb ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 100 มม. ความยาว 250 มม. ที่ระยะห่าง 1.5, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ม. นั้นมีค่าเท่ากับ 954, 515, 209, 112, 71, 50, 38 และ 31 kPa ตามลำดับ

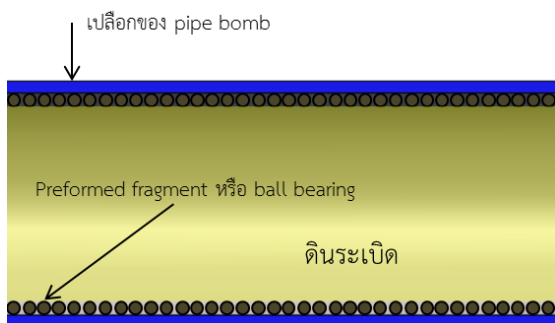


รูปที่ 2 ระดับการบาดเจ็บของบุคคลที่ระยะต่างๆจากการระเบิดของ pipe bomb ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 100 มม. ความยาว 250 มม.

ศูนย์กลางการระเบิดที่จะทำให้เกิดการบาดเจ็บและสูญเสียชีวิตจากการระเบิดของ pipe bomb ได้ดังแสดงในรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าบุคคลที่อยู่ในระยะห่าง

จากจุดศูนย์กลางการระเบิดไม่เกิน 1.8 เมตร จะเสียชีวิตแน่นอน ในขณะที่ถ้าอยู่ห่างออกไปเกิน 1.8 เมตร แต่ไม่ถึง 3.0 เมตร ก็จะได้รับบาดเจ็บจากการที่ปอดฉีกขาด และถ้าอยู่ไกลกว่า 3.0 เมตร แต่ไม่เกิน 7.5 เมตร ก็จะได้รับบาดเจ็บจากแก้วหูฉีกขาด อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาเหล่านี้ได้มาจากการคำนวณและข้อมูลจาก Department of Defense [5] และ กันต์ไชย และ สมนึก [9] ซึ่งในความเป็นจริงยังมีปัจจัยด้านอื่น ๆ เข้ามาส่งผลอีกมากมาย ตัวเลขเหล่านี้เป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นในการประเมินเท่านั้น และระยะเหล่านี้เป็นเกณฑ์การบาดเจ็บที่เกิด ขึ้นจากแรงระเบิดเพียงเท่านั้น ยังไม่ได้ครอบคลุมถึงการบาดเจ็บและสูญเสียชีวิตที่เกิดขึ้นจากสะเก็ดระเบิด ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป

อย่างไรก็ตาม การที่จะยืนยันความถูกต้องของการวิเคราะห์ว่าบุคคลที่อยู่โดยรอบที่เกิดเหตุเป็นระยะทางต่าง ๆ จากตำแหน่งการระเบิดจะบาดเจ็บหรือเสียชีวิต จำเป็นที่จะต้องมีความรู้ข้อมูลภายหลังเหตุการณ์ว่าบุคคลที่ได้รับบาดเจ็บในระดับต่าง ๆ อยู่ห่างจากตำแหน่งการระเบิดเท่าไร จึงจะสามารถยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองการวิเคราะห์ได้



รูปที่ 5 ภาคตัดขวางของ pipe bomb

5. วิธีการทำลายจากสะเก็ดระเบิดต่อบุคคล

สำหรับการคำนวณความเสียหายที่เกิดจากสะเก็ดจากเปลือกของ pipe bomb เองและสะเก็ดลูก

ปรายหรือลูกปืนเม็ดกลมโลหะที่เก็บได้ในบริเวณที่เกิดเหตุ นั้น เนื่องจากไม่มีหลักฐานจากที่เกิดเหตุเพียงพอที่จะระบุถึงจำนวนสะเก็ดลูกปรายทั้งหมดที่ใช้ ในที่นี้ขอสมมติว่าสะเก็ดลูกปรายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ได้ถูกวางกระจายโดยรอบของ pipe bomb ติดอยู่กับท่อเหล็กด้านใน โดยมีดินระเบิดอยู่ตรงกลาง ดังแสดงในรูปที่ 5

ขั้นตอนในการคำนวณหาความหนาแน่นของสะเก็ดที่ระยะทางต่าง ๆ จากจุดศูนย์กลางการระเบิดนั้น จะเริ่มจากการคำนวณหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องก่อน เช่น จำนวนของสะเก็ดระเบิดที่เกิดจากเปลือก (natural fragment) ที่คำนวณโดยใช้สมการที่ 1 และ 2 จำนวน preformed fragment คำนวณได้จากพื้นที่ผิวภายในของท่อที่บรรจุดินระเบิด และพื้นที่ผิวของ preformed fragment โดยมีการจัดเรียง preformed fragment ให้ได้จำนวนมากที่สุด ความเร็วต้นของสะเก็ดคำนวณจากสมการของ Gurney [3] ดังแสดงในสมการที่ 3 มุมของสะเก็ดที่วิ่งออกไปคำนวณได้จากสมการของ Shapiro [4] ดังแสดงในสมการที่ 4 โดยใช้สมมติฐานที่ว่ามุมของสะเก็ดนั้นมีความคงที่ตลอดการเดินทางของสะเก็ด และเมื่อสะเก็ดพุ่งออกไปภายหลังจากการระเบิดของ pipe bomb แล้ว จะต้องพิจารณาถึงความเร็วของสะเก็ดที่จะลดลงไปจากแรงต้านของอากาศด้วยดังแสดงในสมการที่ 5 โดยหลักการข้างต้นที่ได้กล่าวมานั้น สรุปย่อแสดงในรูปที่ 6 หลักการดังกล่าวนี้สามารถนำไปใช้กับการหาพื้นที่อันตรายของกระสุนปืนใหญ่และหัวรบของจรวดได้ เนื่องจากได้คำนึงถึงผลของเวกเตอร์ความเร็วตกกระทบของวัตถุระเบิดต่อรูปร่างและขนาดของพื้นที่อันตราย แต่เมื่อนำหลักการนี้มาใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่อันตรายของ pipe bomb ความเร็วตกกระทบจะมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจาก pipe bomb ถูกวางนิ่งไว้ก่อนที่จะมีการจุดระเบิด

Velocity and spray angle of fragment

$$V_0 = \sqrt{\frac{2E(c/m)}{1+(c/2m)}}$$

$$\tan \theta = \frac{V_0}{2V_D} \cos \left(\frac{\pi}{2} + \phi_2 - \phi_1 \right)$$

$$\ln \left(\frac{V}{V_0} \right) = - \frac{C_D A_f \rho_a x}{2m}$$

$\bar{v}_w$ = impact velocity

θ = impact angle

H = height of detonation

SIDE-VIEW

Casing of pipe bomb

Point of detonation

Number of fragments

$$N(m) = \frac{M_0}{2M_k^2} e^{-\left(\frac{m^{1/2}}{M_k}\right)}$$

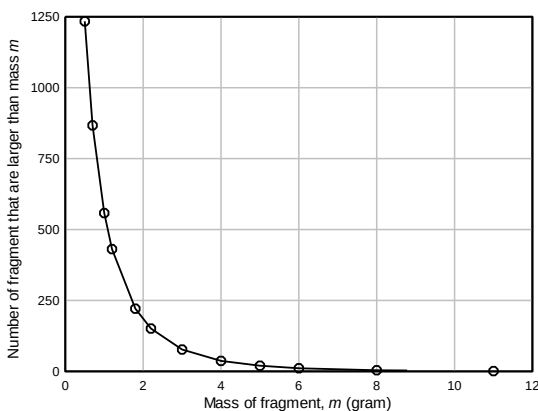
$$M_k = Bt^{5/6} d^{1/3} \left(1 + \frac{t}{d} \right)$$

Section of pipe bomb

i=1 i=2 i=3 i=4 i=5 i=6 i=7 i=8 i=9 i=10 i=11

CROSS SECTION-VIEW

รูปที่ 6 ภาพรวมการหารัศมีการทำลายของระเบิดที่มีสะเก็ด [10]



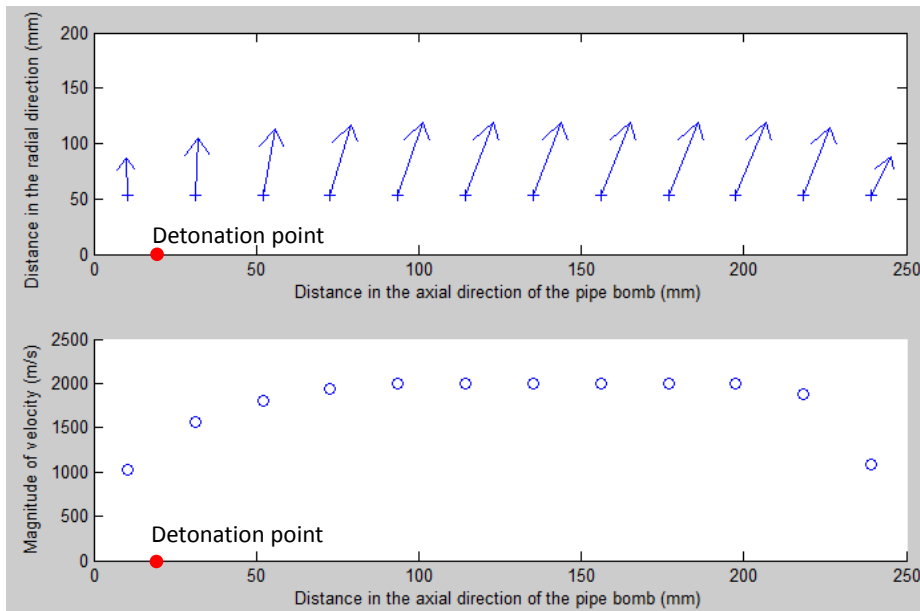
รูปที่ 7 การกระจายตัวของน้ำหนักและจำนวนของสะเก็ดที่เกิดจากการแตกของ pipe bomb

การคำนวณหาการกระจายตัวของน้ำหนักและจำนวนของสะเก็ดระเบิดตามสมการที่ 1 และ 2 พบว่าการกระจายตัวเป็นไปดังแสดงในรูปที่ 7 โดยพบว่าจำนวนของสะเก็ดที่มีน้ำหนักมากกว่า 0.5 กรัม มีอยู่เท่ากับ 1,230 ชิ้น และสะเก็ดที่มีขนาดใหญ่สุดมีน้ำหนักเท่ากับ 11 กรัม ในขณะที่จำนวนของสะเก็ดลูกปรายที่ใช้ในการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 1,840 ชิ้น ซึ่งได้

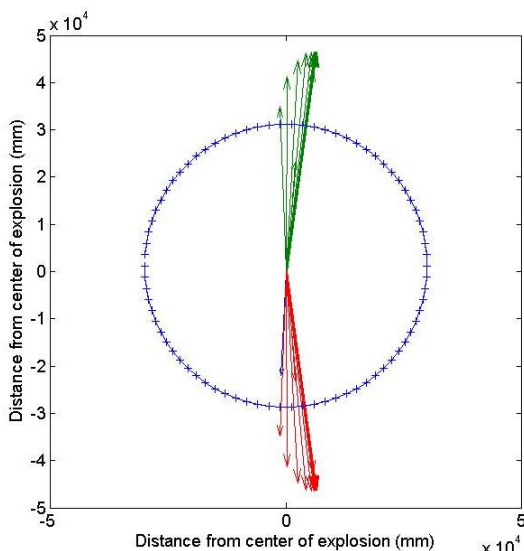
จากการคำนวณให้สะเก็ดลูกปรายเรียงตัวอยู่ที่ผิวในของเปลือก pipe bomb ดังแสดงในรูปที่ 5 และจากการคำนวณความเร็วต้นและมุมของสะเก็ดที่เกิดจากการระเบิดของ pipe bomb พบว่าความเร็วต้นของสะเก็ดมีค่ามากที่สุดประมาณ 2,000 เมตร/วินาทีสำหรับสะเก็ดที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งกึ่งกลาง pipe bomb โดยที่เวกเตอร์ความเร็วต้นแสดงในรูปที่ 8 จะเห็นว่าทิศทางของสะเก็ดที่พุ่งออกไปไม่ได้มีลักษณะสมมาตร ซึ่งเป็นผลมาจากตำแหน่งจุดระเบิด (detonation point) ไม่ได้อยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของ pipe bomb (รูปที่ 8) แต่อยู่มาทางปลายด้านใดด้านหนึ่ง ในขั้นตอนถัดไปคือการหาว่าที่ระยะรัศมีค่าหนึ่ง ๆ สะเก็ดระเบิดวิ่งออกไปชนเป้าหมายที่ตำแหน่งใดบ้าง และมีความหนาแน่นของสะเก็ดที่เข้าเป้าเท่าไร คำนวณในลักษณะเดียวกันสำหรับระยะทาง (รัศมี) อื่น ๆ แล้วนำข้อมูลความหนาแน่นของสะเก็ดและตำแหน่งที่เข้าเป้าเหล่านั้นไปพลอต contour ความหนาแน่นของสะเก็ดที่เท่ากับ 2 ชิ้น/ตร.ม. ก็จะได้รูปร่างพื้นที่การทำลายที่เกิดจากสะเก็ดระเบิด รูปที่ 9 เป็นตัวอย่างที่แสดงให้

เห็นถึงตำแหน่งที่สะเก็ดชนเป้าหมายรอบ ๆ จุดศูนย์กลางการระเบิดที่ระยะห่าง 30 เมตร จากจุดศูนย์กลางการระเบิด และรูปที่ 10 เป็นรูปร่างพื้นที่อันตรายที่เกิดจากเหตุระเบิดที่ราชประสงค์โดยใช้

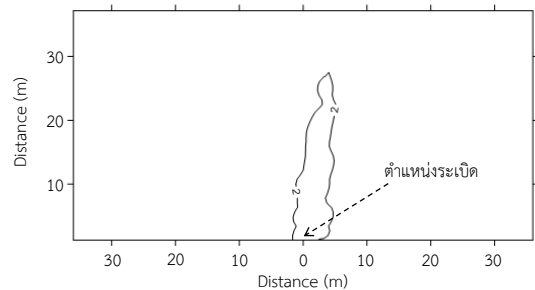
เกณฑ์ความหนาแน่นของสะเก็ดเท่ากับ 2 ชิ้น/ตร.ม. โดยจะเห็นว่ารัศมีการทำลายจะมีค่าประมาณเกือบ 30 เมตร



รูปที่ 8 ความเร็วต้นและมุมของสะเก็ดที่เกิดจากการระเบิดของ pipe bomb



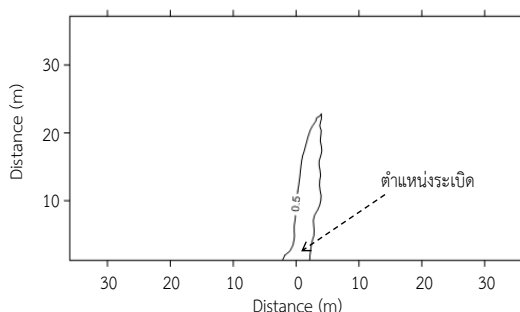
รูปที่ 9 ตัวอย่างแบบจำลองเพื่อหาตำแหน่งที่สะเก็ดวิ่งออกไป ณ ตำแหน่งที่ห่างออกไป 30 เมตร



รูปที่ 10 รูปร่างพื้นที่อันตรายที่เกิดจากสะเก็ดของระเบิด pipe bomb โดยใช้เกณฑ์ความหนาแน่นของสะเก็ดเท่ากับ 2 ชิ้น/ตร.ม.

อย่างไรก็ตาม เกณฑ์ในการหาพื้นที่อันตรายยังต้องพิจารณาจากค่า probability of kill (Pk) ด้วย ซึ่งหลักการในการหารัศมีการทำลายจาก Pk ก็คล้ายคลึง

กับวิธีการหาค่ารัศมีการทำลายจากความหนาแน่นของสะเก็ด นั่นคือ ต้องจำลองการระเบิดแล้วตั้งเป้ารับสะเก็ดไว้ที่ระยะ (รัศมี) ต่าง ๆ เพื่อคำนวณหาความหนาแน่นของสะเก็ด เพียงแต่จะต้องพิจารณาพลังงานจลน์ของสะเก็ดที่เข้าเป้าตามตำแหน่งต่าง ๆ โดยจะต้องคำนึงถึงความเร็วของสะเก็ดที่ลดลงจากแรงต้านอากาศด้วย แล้วจึงคำนวณค่า P_k ตามสมการที่ 6 หลังจากนั้นจึงนำผลการวิเคราะห์ทั้งหมดมาพลอต contour ค่า P_k แล้วขอบเขตพื้นที่อันตรายของ pipe bomb ที่พิจารณาจากเกณฑ์ของ P_k จึงเป็นเส้น contour ที่ค่า P_k เท่ากับ 0.5 ดังแสดงในรูปที่ 11 จะเห็นได้ว่าขอบเขตของพื้นที่อันตรายเมื่อพิจารณาจากค่า P_k มีค่า 22 เมตร ซึ่งครอบคลุมระยะทางที่น้อยกว่าเมื่อพิจารณาจากเกณฑ์ความหนาแน่นของสะเก็ด 2 ชิ้น/ตร.ม. ทั้งนี้เป็นผลมาจากพลังงานจลน์ของสะเก็ดที่ระยะทางมากกว่า 22 เมตร มีค่าไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการบาดเจ็บอย่างมากหรือเสียชีวิตได้ดังเกณฑ์ที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 จากรูปที่ 10 และ 11 จะเห็นได้ว่ารูปร่างพื้นที่อันตรายไม่ได้มีลักษณะสมมาตรซึ่งเป็นผลมาจากการที่ตำแหน่งการจุดระเบิดอยู่มาทางปลายท่อ pipe bomb ด้านใดด้านหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 11 รูปร่างพื้นที่อันตรายที่เกิดจากสะเก็ดของระเบิด pipe bomb โดยใช้เกณฑ์ probability of kill (P_k) เท่ากับ 0.5

6. สรุป

บทความนี้ได้แสดงการวิเคราะห์พื้นที่อันตรายที่เกิดจากการระเบิดของ pipe bomb โดยยกกรณีศึกษาจากเหตุระเบิดที่ศาลท้าวมหาพรหม สีแยกราชประสงค์ การวิเคราะห์ได้อ้างอิงถึงเกณฑ์แรงดันและสะเก็ดระเบิดที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บและเสียชีวิตเปรียบเทียบกับแรงดันระเบิดและการกระจายตัวความหนาแน่น พลังงานจลน์ และ probability of kill จากสะเก็ด การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการระเบิดจาก pipe bomb จากกรณีศึกษาในครั้งนี้บุคคลที่อยู่ในระยะห่างจากจุดศูนย์กลางการระเบิดน้อยกว่า 1.8 เมตร จะเสียชีวิตแน่นอน ในขณะที่ถ้าอยู่ห่างออกไปเกิน 1.8 เมตร แต่ไม่ถึง 3.0 เมตร จะบาดเจ็บจากปอดฉีกขาด และถ้าอยู่ไกลกว่า 3.0 เมตร แต่ไม่เกิน 7.5 เมตร แก้วหูจะฉีกขาด

สำหรับพื้นที่อันตรายที่เป็นผลมาจากสะเก็ดระเบิดจะต้องพิจารณาจากทั้งความหนาแน่นของสะเก็ดระเบิดและ probability of kill (P_k) จากการวิเคราะห์พบว่าพื้นที่อันตรายที่เกิดจากสะเก็ดของ pipe bomb ที่ใช้ก่อเหตุที่ศาลท้าวมหาพรหม ราชประสงค์ครอบคลุมออกไปเป็นระยะทางเท่ากับ 22 เมตร ในขณะที่ระยะห่างออกไปเกินกว่า 22 เมตร แต่น้อยกว่า 30 เมตร ถึงแม้จะมีความหนาแน่นของสะเก็ดมากพอ (2 ชิ้น/ตร.ม.) ที่จะพุ่งเข้าหาบุคคล แต่พลังงานจลน์ของสะเก็ดไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการบาดเจ็บรุนแรงหรือเสียชีวิตได้ อย่างไรก็ตาม บุคคลที่อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางการระเบิดมากกว่า 22 เมตร ก็มีโอกาที่จะถูกสะเก็ดระเบิดได้ เพียงแต่ถ้าอยู่ภายในรัศมี 22 เมตร และอยู่ในแนวทิศทางของสะเก็ดที่พุ่งออกมาจากการระเบิดก็จะเกิดการบาดเจ็บหรือสูญเสียชีวิตอย่างแน่นอน ทั้งนี้ค่ารัศมีการทำลายเหล่านี้ก็ยังคงตั้งอยู่บนสมมติฐานของจำนวนสะเก็ดถูกปราย ที่ได้ใส่ลงไปใน pipe bomb ในเหตุการณ์นี้ว่า

กระจายอยู่โดยรอบภายในท่อเหล็ก ซึ่งในความเป็นจริงอาจมีจำนวน สะเก็ดลูกปรายที่น้อยกว่า หรือมากกว่าจำนวนที่อยู่ในแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์ในบทความนี้ รวมไปถึงขนาดท่อเหล็ก ชนิดและปริมาณดินระเบิดที่ใช้จริง ซึ่งก็จะส่งผลถึงค่ารัศมีการทำลายของระเบิดในครั้งนี้อย่างเช่นกัน

7. รายการอ้างอิง

- [1] Mott, N.F., 1943, Fragmentation of High Explosive Shells: A Theoretical Formula for the Distribution of Weights of Fragments, Army Operations Research Group.
- [2] Dawson, S., Dean, R. and Edwards, M., 2004, Microstructure of steel fragments produced by explosives charges, pp. 289-296, The 21st International Symposium on Ballistics, Adelaide.
- [3] Charron, Y.J., 1979, Estimation of Velocity Distribution of Fragmenting Warheads Using a Modified Gurney Method, Master's Thesis, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson AFB.
- [4] Headquarters, U.S. Army Materiel Command, 1962, Elements of Terminal Ballistics - Part One: Introduction, Kill Mechanics and Vulnerability.
- [5] Department of Defense, U.S., 2008, Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions, UFC 3-340-02.
- [6] Johnson, D., AAV 30 mm HE Lethality Testing, Test Procedures and Casualty Models, NAVSEA, Dahlgren.
- [7] Introduction to Naval Weapons Engineering, Available Source: http://www.fas.org/man/dod-101/navy/docs/es310/dam_crit/dam_crit.htm.
- [8] โพสต์ทูเดย์, 20 สิงหาคม 2558.
- [9] กนต์ไชย ธนาพรวิจิตรดี และสมนึก ตั้งเต็มสิริกุล, 2558, การใช้เทคนิค Forensic Engineering ในการวิเคราะห์เหตุการณ์ระเบิดที่ราชประสงค์, ว.คอนกรีต 24: 1-10.
- [10] Tanapornraweekit, G. and Kulsirikasem, W., 2011, Lethality assessment of high explosive (HE) warhead with preformed fragments, pp. 277-285, 26th International Symposium on Ballistics, Miami.