

การประเมินผลกระทบการระเบิดของภาชนะบรรจุก๊าซ CNG สำหรับรถยนต์ ขณะเติมก๊าซในสถานีสบริการ

Explosion impact assessment of CNG cylinders for cars during gas filling in authorized stations

วิวัฒน์ ขาวสวนงาม¹ และ นันทิยา หานสุพลัก^{2,*}

Wittawat Chaosuangam¹ and Nanthiya Hansupalak^{2,*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: Wittawat.sj56@gmail.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ E-mail: fengnyh@ku.ac.th

*ผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding Author) E-mail: fengnyh@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการประเมินความรุนแรงจากการระเบิดของภาชนะบรรจุก๊าซ CNG สำหรับรถยนต์ขณะเติมก๊าซภายในสถานีสบริการ เพื่อหาพื้นที่ปลอดภัยภายในสถานีสบริการ โดยใช้วิธีการเทียบมวล TNT เพื่อหาค่าแรงระเบิดที่ประสิทธิภาพการระเบิดเท่ากับ 0.00005 0.01 0.05 และ 0.10 จากนั้นใช้ Probit analysis เพื่อคำนวณโอกาสที่จะเกิด 1) โครงสร้างได้รับความเสียหาย 2) เสียชีวิตจากการตกเลือดในปอด และ 3) เยื่อแก้วหูฉีกขาด ซึ่งระยะปลอดภัยคือระยะที่มีโอกาสการได้รับอันตรายจากทั้ง 3 กรณีมีค่าเป็น 0 ผลการคำนวณพบว่า ระยะปลอดภัยสำหรับประสิทธิภาพการระเบิด 0.00005 0.01 0.05 และ 0.10 คือ 3.63 เมตร 21.22 เมตร 36.28 เมตร และ 45.71 เมตร จากจุดเกิดระเบิด ตามลำดับ

Abstract

This research studied a consequence of explosion of CNG cylinders for cars during gas filling to find safe area in gas station. The TNT equivalency method was used to determine peak overpressures resulting from the explosion at various explosion efficiencies (0.00005, 0.01, 0.05 and 0.10). Furthermore, the Probit analysis was conducted to estimate the probabilities of structural damage, death from lung hemorrhage, and eardrum rupture. In this study, the safe distance was defined as the distance from the explosion point, beyond which those three probabilities were zero. The calculation revealed that the safe distance at the explosion efficiency of 0.00005, 0.01, 0.05 and 0.10 was 3.63, 21.22, 36.28, and 45.71 m, respectively

Keywords : CNG cylinder / Explosion / TNT equivalency / Probit analysis / Safe distance

1. บทนำ

ในอดีตจนถึงปัจจุบัน น้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ เพราะสามารถใช้ได้ทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน โดยเฉพาะทางด้านการคมนาคม เนื่องจากปริมาณความต้องการในการใช้งานเชื้อเพลิงทางด้านการขนส่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงเป็นเหตุให้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ต้องหาเชื้อเพลิงชนิดใหม่หรือที่เรียกว่า พลังงานทดแทน เช่น ก๊าซธรรมชาติอัด (Compressed Natural Gas: CNG) ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied petroleum gas: LPG) ไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดใหม่อื่นๆ แล้ว ก๊าซธรรมชาติอัดหรือต่อไปนี้จะเรียกว่า ก๊าซ CNG ที่ประกอบด้วยมีเทนเป็นส่วนใหญ่ เป็นก๊าซ

ที่มีราคาถูกที่สุด และเนื่องจากมีจำนวนคาร์บอนอะตอมต่ำที่สุด เมื่อเกิดการเผาไหม้ จึงปล่อยไนโตรเจนออกไซด์และซัลเฟอร์ออกไซด์ออกมาน้อยมาก ทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเชื้อเพลิงประเภทอื่น ๆ นอกจากนี้ยังเป็นก๊าซที่มีความหนาแน่นเบาอากาศ ทำให้เมื่อก๊าซที่รั่วไหลออกมาลอยตัวขึ้นข้างบน ทำให้การใช้งานเป็นไปอย่างปลอดภัย ด้วยเหตุผลข้างต้น จึงทำให้ก๊าซ CNG เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ปตท.(2555)^[6]

ก๊าซ CNG ใช้งานกับรถยนต์ในประเทศไทยมานานกว่า 80 ปี แต่เพิ่งได้รับความนิยมใช้อย่างกว้างขวางเมื่อประมาณปี 2549 โดยมีการเพิ่มสถานีสเป็นจำนวนมากในช่วงเวลานั้น สำหรับการใช้ในประเทศไทยนี้ ก๊าซ CNG จะถูกบีบอัดที่สถานีสแม่ (Mother Station) ลงในภาชนะที่แข็งแรงและทนทานแรงดันได้สูง (260 bar) จากนั้นจะ

ขนส่งไปยังสถานีลูก (Daughter Station) ซึ่งจะเป็นสถานีที่แจกจ่ายก๊าซให้กับรถยนต์ที่เข้ามาใช้บริการโดยจะอัดก๊าซ CNG ลงภาชนะบรรจุของรถยนต์ด้วยแรงดัน 200 bar ด้วยแรงดันที่สูงนี้พบว่าจากการรวบรวมสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากยานพาหนะที่ใช้ก๊าซ CNG ในประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2551 - 2562 พบอุบัติเหตุจำนวน 5 ครั้ง โดยพบว่าอุบัติเหตุ 4 ใน 5 ครั้ง มีสาเหตุมาจากภาชนะบรรจุไม่ได้อัดจนแน่นเป็นเหตุให้เกิดการระเบิด (ดังแสดงในตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุของยานพาหนะที่ใช้ก๊าซ CNG ในปากีสถานในช่วงปี พ.ศ.2551-2557^[9] พบว่า จากการเกิดอุบัติเหตุจำนวน 55 ครั้ง สาเหตุส่วนใหญ่ที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุมาจากการระเบิดขณะเติมก๊าซ CNG ในสถานีบริการ เนื่องจากภาชนะบรรจุมีคุณภาพต่ำ

ตารางที่ 1 อุบัติเหตุของยานพาหนะที่ใช้ก๊าซ CNG ในประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2551 - 2562

วันที่เกิดเหตุ	สถานที่เกิดเหตุ	สาเหตุ	ความเสียหาย
30 มีนาคม พ.ศ.2551	สถานีบริการ NGV ปตท. นาคสวัสดิ์ ถนนบางนา-ตราด กม.29	ภาชนะบรรจุก๊าซไม่ได้มาตรฐาน	โครงสร้างสถานีบริการรถยนต์เสียหาย 5 คัน ผู้ได้รับบาดเจ็บ 5 คน
8 สิงหาคม พ.ศ.2551	สถานีบริการ NGV ปตท. บริษัท รีเทลบิส ซิเนสส์โลแอนด์ จำกัด	สายเติมก๊าซฉีกขาด	โครงสร้างสถานีบริการรถยนต์เสียหาย 10 คัน ผู้ได้รับบาดเจ็บ 1 คน
14 มีนาคม พ.ศ.2554	สถานีบริการ NGV ทราฟฟองบ่อวิน	ภาชนะบรรจุก๊าซไม่ได้มาตรฐาน	โครงสร้างสถานีบริการรถยนต์เสียหายหลายคัน ผู้ได้รับบาดเจ็บ 1 คน
5 กันยายน พ.ศ.2560	สถานีบริการ NGV หจก. ทรัพย์ประมวล มาศ	ภาชนะบรรจุก๊าซไม่ได้มาตรฐาน	โครงสร้างสถานีบริการรถยนต์เสียหาย 2 คัน ผู้ได้รับบาดเจ็บ 5 คน
14 มกราคม พ.ศ.2562	สถานีบริการ NGV ซอยวัดศรีวารีน้อย	ภาชนะบรรจุก๊าซไม่ได้มาตรฐาน	โครงสร้างสถานีบริการรถยนต์เสียหาย 2 คัน ผู้ได้รับบาดเจ็บ 3 คน

ที่มา : ทีมข่าวอาชญากรรม (2551ก)^[2], (2551ข)^[3], แกสไทยดอทคอม (2554)^[1], ไทยรัฐออนไลน์ (2560)^[4], (2562)^[5]

โดยงานวิจัยนี้สนใจหาพื้นที่ปลอดภัยภายในสถานีบริการเดิม CNG 6 สถานี ในเขตอำเภอเมืองนครปฐม โดยใช้วิธีการประเมินความรุนแรงจากการระเบิดของภาชนะบรรจุก๊าซ CNG ภายในสถานีบริการด้วยการเทียบมวล TNT เพื่อหาค่าแรงระเบิดที่ประสิทธิภาพการระเบิดเท่ากับ 0.00005 0.05 0.01 และ 0.10 จากนั้นใช้ Probit analysis เพื่อคำนวณโอกาสที่จะเกิด 1) โครงสร้างได้รับความเสียหาย 2) เสียชีวิตจากการตกเลือดในปอด และ 3) เยื่อแก้วหูฉีกขาด ซึ่งระยะปลอดภัยคือระยะที่มีโอกาสการได้รับอันตรายจากทั้ง 3 กรณีมีค่าเป็น 0 ในการประเมินนี้กำหนดให้ใช้ภาชนะบรรจุ CNG มีน้ำหนักบรรจุขนาด 15 กิโลกรัมสำหรับรถยนต์ไม่เกิน 7 ที่นั่ง

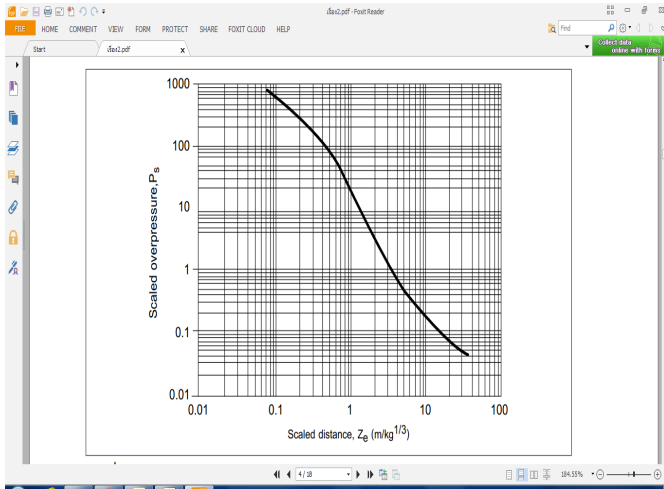
2. วิธีดำเนินการ

2.1 การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสถานีบริการก๊าซ CNG

สถานีบริการก๊าซ CNG ที่สนใจนี้ตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม พบว่ามีทั้งสิ้น 6 สถานี โดยข้อมูลของสถานีบริการที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วย ขนาดพื้นที่ จำนวนหัวจ่าย จำนวนตู้จ่าย และแผนผังของสถานีบริการได้มาจากการเข้าสำรวจสถานีบริการแต่ละแห่ง นอกจากนี้ได้ใช้ google earth ver. 9.2.70.4 ในการประเมินพื้นที่ของสถานีบริการ เพื่อนำมาจัดทำแผนผังของสถานีบริการแต่ละแห่ง

2.2 การประเมินผลกระทบจากการระเบิดของภาชนะบรรจุก๊าซ CNG และโอกาสที่จะได้รับอันตราย

ในการศึกษานี้ได้กำหนดให้ภาชนะบรรจุก๊าซ CNG ที่เกิดการระเบิดนั้นเป็นชนิด CNG -1 สามารถบรรจุก๊าซ CNG ได้ 15 กิโลกรัม โดยมีน้ำหนักของถังเท่ากับ 70 กิโลกรัม เนื่องจากกรณีที่น่าสนใจเกี่ยวกับการปล่อยก๊าซออกมาทั้งหมดในระยะเวลาอันสั้นดังนั้นการประเมินผลกระทบที่เกิดจากการระเบิดนี้ จึงได้ใช้วิธีการเทียบมวลกับทีเอ็นที (TNT Equivalent)^[7] โดยคำนวณหาค่ามวลของ TNT โดยเทียบกับมวลของสารที่สนใจ (m_{TNT}) ได้จากสมการที่ 1 จากนั้นนำค่า m_{TNT} ที่ได้แทนค่าในสมการที่ 2 เพื่อหาค่า Scaled distance (Z_e) และนำไปเทียบกับภาพที่ 1 เพื่อหาค่า Scaled overpressure (P_s) และแปลงค่าเป็น Peak Overpressure (P_o) เพื่อนำไปใช้ในการประเมินความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดดังสมการที่ 3 โดยกำหนดให้ประสิทธิภาพของการระเบิด (η) ที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ คือ 0.00005 0.01 0.05 และ 10.0



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Scaled overpressure (P_s) และ Scaled distance (Z_e)

ที่มา : Crawl and Louvar (2011)

$$m_{TNT} = \frac{\eta m \Delta H_C}{E_{TNT}} \quad (1)$$

m_{TNT} คือมวลของ TNT โดยเทียบกับมวลของสารที่สนใจ (kg)

m คือ มวลของของสารที่สนใจ (mol)

ΔH_C คือ พลังงานจากการระเบิดของสารที่สนใจ (kJ/mol)

E_{TNT} คือ พลังงานจากการระเบิดของ TNT ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4,686 kJ/kg

$$Z_e = \frac{r}{(m_{TNT})^{\frac{1}{3}}} \quad (2)$$

Z_e คือ Scaled distance ($m/kg^{1/3}$) และ

r คือ ระยะทางจากจุดระเบิดถึงจุดที่สนใจ (m)

$$P_s = \frac{P_o}{P_a} \quad (3)$$

P_s คือ Scaled overpressure

P_o คือ Peak overpressure

P_a คือ Ambient pressure

2.3 การหาพื้นที่ปลอดภัยในสถานีบริการก๊าซ CNG

นำค่าแรงระเบิดที่ได้ (P_o) ไปคำนวณหาค่า Probit (Y)^[8] โดยใช้สมการที่ 4 และค่าคงที่ในตารางที่ 2 เพื่อหาโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยง

หาย 3 ชนิด คือ โครงสร้างได้รับความเสียหายเสียชีวิตจากการตกเลือดในปอด และแก้วหูฉีกขาด ข้อมูลที่ได้เหล่านี้จะนำไปใช้กำหนดพื้นที่ปลอดภัยในสถานีบริการก๊าซ CNG ทั้งนี้พื้นที่ที่มีโอกาสของการเกิดความเสี่ยงทั้งสามชนิดเท่ากับศูนย์เท่านั้นจึงจะเรียกว่า พื้นที่ปลอดภัย

$$Y = k_1 + k_2 (\ln V) \quad (4)$$

Y คือ โพรบิต

k_1 และ k_2 คือ ค่าคงที่ของสมการ โดยมีค่าขึ้นอยู่กับประเภทการบาดเจ็บ

V คือ ตัวแปรอิสระที่เป็นสาเหตุของอันตราย

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ของสมการโพรบิตตามประเภทการบาดเจ็บที่เกิดจากการระเบิด

ความเสียหาย	ตัวแปรที่เป็นสาเหตุ	Probit	
		k_1	k_2
เสียชีวิตจากการตกเลือดในปอด	P_o	-77.1	6.91
แก้วหูฉีกขาด	P_o	-15.6	1.93
โครงสร้างได้รับความเสียหาย	P_o	-23.8	2.92

3. ผลและวิจารณ์

3.1 ข้อมูลของสถานีบริการก๊าซ CNG

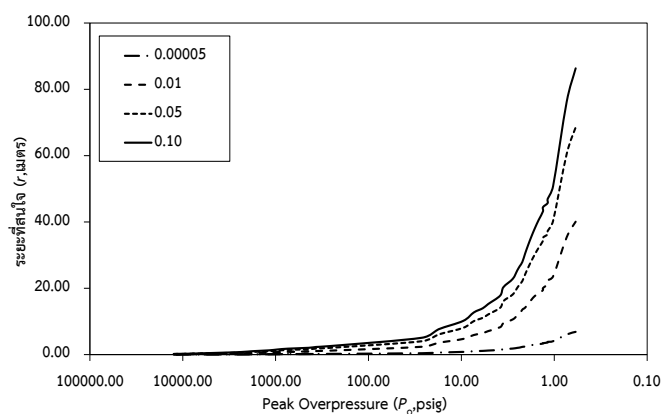
จากการสำรวจพบว่า ทุกสถานีบริการประกอบไปด้วยส่วนของตู้จ่ายก๊าซ ส่วนของเครื่องสูบลดก๊าซ ถังเก็บและจ่ายก๊าซ และลานจอดรถสำหรับรอเข้ารับบริการ โดยพนักงานส่วนใหญ่ของสถานีบริการจะปฏิบัติงานอยู่ในบริเวณตู้จ่ายก๊าซ สำหรับลูกค้าที่เข้ารับบริการก็จะอยู่ที่บริเวณตู้จ่ายก๊าซเช่นเดียวกัน โดยจำนวนหัวจ่าย จำนวนตู้จ่ายก๊าซ พื้นที่ของบริเวณหัวจ่าย และพื้นที่ของแต่ละสถานีบริการได้ทำการสรุปไว้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลสถานีบริการก๊าซ CNG ในเขตอำเภอเมืองนครปฐม

สถานีบริการที่	พื้นที่สถานีบริการ (ม.รต)	จำนวนหัวจ่าย	จำนวนตู้จ่าย	พื้นที่บริเวณหัวจ่าย (x ม.ม)
1	6,338	10	5	12 x 50
2	5,058	10	5	12 x 50
3	3,602	8	4	12 x 36
4	6,959	8	4	18 x 28
5	4,651	4	2	10 x 28
6	2,629	6	3	12 x 36

พบว่าจำนวนหัวจ่าย จำนวนตู้จ่าย และขนาดของพื้นที่ของสถานีบริการไม่ได้มีความสัมพันธ์กันแต่อย่างใด โดยสถานีบริการที่ 6 ซึ่งมีขนาดพื้นที่ที่เล็กที่สุด กลับมีจำนวนหัวจ่าย และจำนวนตู้จ่ายมากกว่าสถานีบริการที่ 5 ซึ่งเป็นสถานีที่มีพื้นที่มากกว่าถึง 2 เท่าโดยประมาณ นอกจากนี้ยังพบว่า พื้นที่บริเวณหัวจ่ายในสถานีบริการเหล่านี้มีขนาดที่หลากหลาย โดยไม่ได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ของสถานีบริการ

จากที่กล่าวมาข้างต้น จำนวนหัวจ่าย จำนวนตู้จ่าย และขนาดของพื้นที่หัวจ่ายที่หลากหลายนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของสถานีบริการ แต่ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น รูปร่างแปลงที่ดินที่ใช้เป็นที่ตั้งของสถานีบริการ เงินลงทุน จำนวนลูกค้า ประเภทลูกค้า (เช่น รถบรรทุกหรือรถส่วนตัวขนาดเล็ก) เป็นต้น หมายเหตุ ภาพที่ 2 นั้น ผู้วิจัยได้ดัดแปลงจากพื้นที่จริงที่ได้จาก google earth และสเกลในแต่ละภาพสอดคล้องกับค่าจริง ทำให้ได้ว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของสถานีบริการเป็นพื้นที่ว่างสำหรับลานจอดรถสำหรับรอเข้ารับบริการ และส่วนน้อยเท่านั้นที่เป็นตู้จ่ายก๊าซและเครื่องสูบลูกก๊าซ ถังเก็บและจ่ายก๊าซ



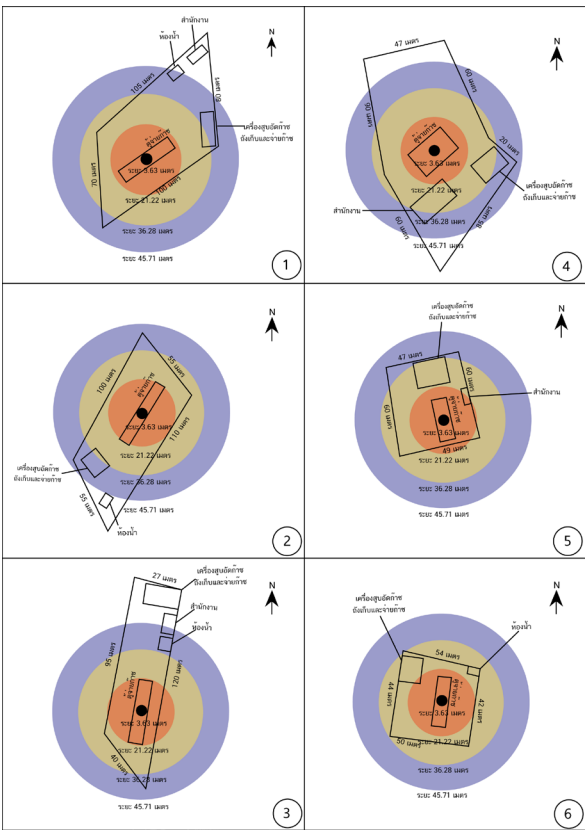
ภาพที่ 2 กราฟที่อิงล็อกของค่าแรงระเบิด (Peak Overpressure) ที่ระยะและประสิทธิภาพการระเบิดต่างๆ ในกรณีถังก๊าซ CNG ของผู้ใช้บริการระเบิดขณะเติมก๊าซ

3.2 ผลการประเมินแรงระเบิด

ภาพที่ 2 แสดงค่าประสิทธิภาพการระเบิดที่มีผลต่อระยะทางจากจุดเกิดระเบิดถึงระยะที่สนใจ โดยใช้กราฟที่อิงล็อก พบว่า ที่ค่าประสิทธิภาพการระเบิดที่สูงขึ้น จะทำให้บริเวณทั้งหมดที่ได้รับผลกระทบขยายเพิ่มขึ้น โดยเมื่อพิจารณา จะเห็นว่าบริเวณที่ได้รับแรงระเบิดหนึ่ง ๆ ก็จะมีพื้นที่กว้างมากขึ้นเมื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระเบิด เช่น ที่แรงระเบิดเท่ากับ 1 psig การเพิ่มประสิทธิภาพการระเบิดก็จะทำให้บริเวณที่ได้รับผลกระทบนี้ขยายกว้างขึ้นด้วย เป็นต้น

3.3 ผลการประเมินโอกาสการเกิดความเสียหาย และการประเมินพื้นที่ปลอดภัยในสถานีบริการก๊าซ CNG

ตารางที่ 4 แสดงโอกาสที่จะเกิดความเสียหายที่ได้จากวิธี Probit analysis ทั้ง 3 ชนิดคือ โครงสร้างได้รับความเสียหาย เสียชีวิตจากการตกเลือดในปอด และแก้วหูฉีกขาด เทียบกับระยะที่สนใจ โดยแสดงให้เห็นว่า สำหรับแต่ละประสิทธิภาพการระเบิด โอกาสการเกิดความเสียหายทั้งสามชนิดมีค่าสูงสุดที่จุดเกิดระเบิด จากนั้นมีค่าลดลงจนเข้าสู่ศูนย์เมื่ออยู่ห่างจากจุดเกิดระเบิดมากพอ นอกจากนี้ที่ระยะห่างจากจุดเกิดระเบิดหนึ่ง ๆ โอกาสเกิดความเสียหายแต่ละชนิดเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระเบิดเมื่อกำหนดให้พื้นที่ปลอดภัยสำหรับผู้ให้บริการในแต่ละสถานีบริการ คือ พื้นที่ที่มีโอกาสในการเกิดโครงสร้างได้รับความเสียหาย มีผู้เสียชีวิตจากการตกเลือดในปอด และเยื่อแก้วหูฉีกขาดเป็น 0 % โดยที่ประสิทธิภาพการระเบิดที่ 0.00005 0.01 0.05 และ 0.10 พบว่า จุดที่เป็นพื้นที่ปลอดภัย คือ ที่ระยะ 3.63 เมตร 21.22 เมตร 36.28 เมตร และ 45.71 เมตรจากจุดเกิดระเบิดตามลำดับดังตารางที่ 4 และเมื่อนำขนาดพื้นที่ปลอดภัยไปเทียบกับขนาดของสถานีบริการทั้ง 6 แห่ง จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในภาพที่ 3 และเมื่อพิจารณาจากเหตุการณ์อุบัติเหตุที่เคยเกิดขึ้นในประเทศไทย พบว่า ประสิทธิภาพการระเบิดที่ใกล้เคียงกับเหตุการณ์จริงที่สุด คือ ประสิทธิภาพการระเบิด 0.00005 กล่าวคือ ไม่พบการเสียชีวิตจากการได้รับอันตรายจากแรงระเบิดที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 3 พื้นที่สถานีบริการที่ 1-6 ที่มีโอกาสได้รับอันตรายจากการระเบิดของภาชนะบรรจุก๊าซ CNG ที่ประสิทธิภาพการระเบิดต่างๆ

ตารางที่ 4 ผลการประเมินโอกาสการเกิดอันตรายจากการระเบิดของภาชนะบรรจุก๊าซ CNG ที่ระยะต่างๆ ด้วยProbit analysis

ระยะที่สนใจ (ม.)	ประสิทธิภาพการระเบิด											
	0.00005			0.01			0.05			0.10		
	A ¹	B ²	C ³	A ¹	B ²	C ³	A ¹	B ²	C ³	A ¹	B ²	C ³
0 - 1	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
> 1 - 2	50	0	6	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
> 2 - 3	9	0	0	99.9	95	99.8	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
> 3 - 4	0	0	0	99.9	12	98	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
> 4 - 5	0	0	0	99.9	0	80	99.9	95	99.8	99.9	99.9	99.9
> 5 - 6	0	0	0	99.8	0	62	99.9	64	99.3	99.9	95	99.8
> 6 - 7	0	0	0	99	0	46	99.9	12	98	99.9	64	99.3
> 7 - 8	0	0	0	98	0	40	99.9	0	93	99.9	12	98
> 8 - 9	0	0	0	82	0	17	99.9	0	80	99.9	0	93
> 9 - 10	0	0	0	76	0	14	99.9	0	75	99.9	0	89
> 13 -14	0	0	0	25	0	3	91	0	25	99	0	46
> 14 -15	0	0	0	19	0	2	82	0	17	98	0	42
> 15 - 16	0	0	0	14	0	2	79	0	16	98	0	40
> 16 - 17	0	0	0	9	0	0	76	0	14	91	0	25
> 20 - 21	0	0	0	2	0	0	38	0	4	76	0	14
> 23 - 24	0	0	0	0	0	0	25	0	3	50	0	6
> 24 -25	0	0	0	0	0	0	19	0	2	44	0	5
> 25 -26	0	0	0	0	0	0	19	0	2	38	0	4
> 26 -27	0	0	0	0	0	0	14	0	2	31	0	3
> 27 -28	0	0	0	0	0	0	14	0	2	25	0	3
> 28 -29	0	0	0	0	0	0	9	0	0	25	0	3
> 29 -30	0	0	0	0	0	0	9	0	0	25	0	3
> 30 -31	0	0	0	0	0	0	6	0	0	19	0	2
> 31 - 32	0	0	0	0	0	0	6	0	0	19	0	2
> 32 - 33	0	0	0	0	0	0	4	0	0	19	0	2
> 33 - 34	0	0	0	0	0	0	4	0	0	14	0	2
> 34 - 35	0	0	0	0	0	0	2	0	0	14	0	2
> 36 - 37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0
> 37 - 38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0
> 38 - 39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0
> 39 - 40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0
> 40 - 41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
> 41 - 42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
> 42 - 43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
> 43 - 44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
> 44 - 45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
> 45 - 46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 46 - 47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 47 - 48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 48 - 49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 49 - 50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 60 - 70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 70 - 80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 80 - 87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ : ¹ A คือ โครงสร้างได้รับความเสียหาย, ² B คือ เสียชีวิตจากการตกเลือดในปอด, ³ C คือ เยื่อแก้วหูฉีกขาด

สำหรับประสิทธิภาพการระเบิดต่าง ๆ ขนาดพื้นที่ปลอดภัยจะมีขนาดเล็กลงตามการเพิ่มของประสิทธิภาพการระเบิดสรุปไว้ในตารางที่ 5 ผลการศึกษายังได้แสดงให้เห็นว่ารูปร่างของสถานีบริการที่เหมาะสมคือสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีด้านยาวมากกว่าระยะอันตรายที่ประสิทธิภาพการระเบิดต่าง ๆ โดยความยาวนี้ขึ้นอยู่กับทุนทรัพย์ของเจ้าของกิจการ นั่นคือ หากมีทุนทรัพย์มากก็ควรมีที่ดินที่ยาวกว่า 45.71 เมตร แต่หากมีน้อยก็ควรมีที่ดินยาวอย่างน้อย 3.63 เมตร เป็นต้น ซึ่งสถานีบริการทั้ง 6 สถานี ล้วนมีความยาวมากกว่าระยะอันตรายสำหรับประสิทธิภาพ

การระเบิดที่ 0.00005 0.10 และ 0.05 ทำให้ทุกสถานีบริการมีพื้นที่ปลอดภัย โดยมีเพียง 4 สถานีเท่านั้น ที่มีพื้นที่ปลอดภัยที่สามารถรองรับประสิทธิภาพการระเบิดที่ 0.10 โดยสถานีบริการที่ 3 มีพื้นที่ปลอดภัยมากที่สุด รองลงมาเป็นสถานีบริการที่ 2 สถานีบริการที่ 1 และสถานีบริการที่ 4 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าขนาดของพื้นที่ไม่ได้มีผลต่อขนาดของพื้นที่ปลอดภัย แต่เป็นรูปทรงของสถานีและจุดติดตั้งตู้จ่ายก๊าซที่เป็นปัจจัยสำคัญ

ตารางที่ 5 ขนาดพื้นที่ปลอดภัยภายในสถานีบริการก๊าซ CNG

สถานี	พื้นที่สถานี (ตร.ม.)	ประสิทธิภาพการระเบิด							
		0.00005		0.01		0.05		0.10	
		ตร.ม.	%	ตร.ม.	%	ตร.ม.	%	ตร.ม.	%
1	6338	6297	99.35	4925	77.71	2903	45.80	1495	23.59
2	5058	5017	99.19	3645	72.06	1803	35.65	1322	26.14
3	3602	3561	98.86	2410	66.90	1635	45.39	1230	34.15
4	6959	6918	99.41	5546	79.70	2987	42.92	1491	21.43
5	4651	4610	99.12	3238	69.62	1117	24.02	0	0
6	2629	2588	98.44	1216	46.25	31	1.18	0	0

อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาความเสียหายที่อาจเกิดได้จากการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนขนาดเล็กในแนวนอน (Missile damage)^[7] เพิ่มเติมที่ประสิทธิภาพการระเบิดต่ำสุด ระยะที่ชิ้นส่วนเคลื่อนที่ไป (0.00005) ในแนวนอนได้สูงที่สุด คือ ประมาณ 200 เมตร การเพิ่มประสิทธิภาพการระเบิดจะทำให้ชิ้นส่วนขนาดเล็กเคลื่อนที่ไปได้ไกลมากยิ่งขึ้น ดังนั้นระยะ 200 เมตรนี้จึงเป็นระยะปลอดภัยจากชิ้นส่วนขนาดเล็กที่น้อยที่สุด โดยไม่พบพื้นที่ปลอดภัยในสถานีบริการทั้ง 6 แห่ง

4. สรุป

ความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากการระเบิดของภาชนะบรรจุก๊าซ CNG ความจุ 15 กิโลกรัม สำหรับรถยนต์ขณะเติมก๊าซภายในสถานีบริการสามารถประเมินได้ด้วยวิธีเทียบมวล TNT โดยกำหนดค่าประสิทธิภาพการระเบิดเท่ากับ 0.00005 0.01 0.05 และ 0.10 ซึ่งพบว่าความรุนแรงของการระเบิดและระยะทางที่ได้รับอันตรายจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของประสิทธิภาพการระเบิด นอกจากนี้ยังสามารถใช้วิธี Probit analysis ประเมินโอกาสของการเกิดอันตรายทั้ง 3 กรณี คือ โครงสร้างได้รับความเสียหายเสียชีวิตจากการตกเลือดในปอด และเยื่อแก้วหูฉีกขาด โดยพื้นที่ที่มีโอกาสในการเกิดอันตรายจาก 3 กรณีข้างต้นมีค่าเป็นศูนย์ เรียกว่า

«พื้นที่ปลอดภัย» ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่ารูปร่างพื้นที่ของสถานีบริการมีผลต่อขนาดพื้นที่ปลอดภัย โดยพื้นที่ที่เหมาะสมคือพื้นที่ที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ปลอดภัยในแต่ละสถานีที่ประสิทธิภาพการระเบิดที่ 0.10 พบว่า ขนาดของพื้นที่ปลอดภัยของสถานีบริการที่ 3 มีขนาดมากที่สุด รองลงมาเป็นสถานีบริการที่ 2 1 และ 4 ตามลำดับ โดยไม่พบพื้นที่ปลอดภัยในสถานีบริการที่ 5 และ 6 นั้นแสดงให้เห็นว่ารูปร่างพื้นที่ของสถานีบริการมีผลต่อขนาดพื้นที่ปลอดภัยจริง

เอกสารอ้างอิง

[1] แก๊สไทยดอทคอม.รวบรวมอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ใช้NGV. 2554. แก๊สไทยดอทคอม.
แหล่งที่มา : <http://www.gasthai.com/article/html/417.html>, 15 มีนาคม 2562.
[2] ทีมข่าวอาชญากรรม. ก๊าซปัมปตพ!ระนาวระเบิดเจ็บ. 2551ก. ข่าวอาชญากรรม. ผู้จัดการออนไลน์.
แหล่งที่มา : <https://mgronline.com/crime/detail/951000038161>, 15 มีนาคม 2562.

- [3] ทีมข่าวอาชญากรรม. เมล์เอ็นจีวีบีเอ็มขณะเติมแก๊สปั๊มปตท. ปากน้ำ สำหรับ 1. 2551ข. ข่าวอาชญากรรม. ผู้จัดการออนไลน์.
แหล่งที่มา : <https://mgronline.com/crime/detail/9510000093609>, 15 มีนาคม 2562.
- [4] ไทยรัฐออนไลน์. ปตท.สอบเหตุรถบรรทุกติดเอ็นจีวีบีเอ็ม
คาบิ์ที่รังสิต. 2560. ไทยรัฐออนไลน์.
แหล่งที่มา : <https://www.thairath.co.th/news/business/1061930>, 15 มีนาคม 2562.
- [5] ไทยรัฐออนไลน์. แท้ก็ซื้อเติมก๊าซระเบิดตูมแหวกทั้งคัน
คาบิ์ที่สมุทรปราการ เจ็บ 3 ราย. 2562. ไทยรัฐออนไลน์.
แหล่งที่มา : <https://www.thairath.co.th/news/local/central/1469423>, 15 มีนาคม 2562.
- [6] ปตท. ก๊าซธรรมชาติ คืออะไร. BASIC OF NATURAL GAS, 2555.
แหล่งที่มา : [https://dscng.pttplc.com\(S\(vc5jk5o5pagyp{duisv20h0k0}\)\)/Knowledge/Knowledge-inside?C=Mjk2](https://dscng.pttplc.com(S(vc5jk5o5pagyp{duisv20h0k0}))/Knowledge/Knowledge-inside?C=Mjk2), 15 มีนาคม 2562.
- [7] Crowl DA, Louvar JF. Chemical Process Safety Fundamentals with Applications. 3rd ed. Boston:Pearson Education, 2011
- [8] Health and Safety Executive. Methods of approximation and determination of human vulnerability for offshore major accident hazard assessment. 2019.
Available at: http://www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid_circs/technical_osd/spc_tech_osd_/03spctecocsd.03pdf, accessed March 19, 2019
- [9] Khan MI, Yasmin T, Khan NB. Safety issues associated with the use and operation of natural gas vehicles: learning from accidents in Pakistan. *J BrazSocMechSci* 2016; **38**: 2481-97.