



วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.

UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

การประเมินความปลอดภัยเบื้องต้นและผลกระทบที่เกิดจากอุบัติเหตุรั่วไหลของบิวเทน

Preliminary safety assessment and effect on the leakage accident of butane

ปภามณูชี่ ซีประเสริฐ* อัญชลี คัตรัมย์ กมลวรรณ กุลวัตร

สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย สำนักวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100

Prapamon Seeprasert* Anchalee Katramee Kamonwan Kunlawat

Occupational Health and Safety Program, School of Health Science, Mae Fah Luang University Chiang Rai 57100

* Corresponding author.

E-mail: prapamon.see@mfu.ac.th; Telephone: 0 5391 6821

วันที่รับบทความ 10 เมษายน 2563; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 22 พฤษภาคม 2563 ; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 5 สิงหาคม 2563

วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 3 21 สิงหาคม 2563 ; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 4 21 กันยายน 2563 ; วันที่ตอบรับบทความ 30 กันยายน 2563

บทคัดย่อ

จากแนวโน้มการขยายตัวด้านการลงทุนภาคอุตสาหกรรมในพื้นที่จังหวัดเชียงราย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตเศรษฐกิจพิเศษ ส่งผลให้มีแนวโน้มการขยายตัวด้านการลงทุนภาคอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลการประเมินความเสี่ยงความปลอดภัยสำหรับสถานประกอบการบางประเภทยังได้รับการยกเว้นตามกฎหมาย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการรั่วไหลและการระเบิดของถังเก็บบิวเทนที่อาจทำให้เกิดอุบัติเหตุร้ายแรงจากโรงงานแห่งหนึ่ง ในจังหวัดเชียงราย ดำเนินการเก็บตัวอย่างอากาศในสถานที่ทำงาน เพื่อตรวจวัดระดับปริมาณไอระเหยของบิวเทน และใช้โปรแกรม ALOHA (areal location of hazardous atmospheres) ในการประเมินผลกระทบที่เกิดจากอุบัติเหตุรั่วไหลของบิวเทน โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2551 – 2561 (ย้อนหลัง 10 ปี) ศึกษาผลกระทบจากสถานการณ์ 5 สถานการณ์จำลอง กำหนดขนาดรั่วของถังเก็บบิวเทน แบ่งเป็น 4 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ และเกิดการแตกหักของถังเก็บบิวเทน ผลการศึกษาพบว่า ผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นของไอระเหยของบิวเทนในสถานที่ทำงานอยู่ระหว่าง 171.39 – 189.61 ppm ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานความเข้มข้นสารเคมีเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ในบรรยากาศการทำงาน (TLV-TWA) ที่กำหนดไว้ที่ 1000 ppm ผลการจำลองสถานการณ์เหตุรั่วไหล และการระเบิดของบิวเทนพบว่า ความรุนแรงของผลกระทบที่รัศมีไกลสุดในการกำหนดสถานการณ์การรั่วไหลเป็นกลุ่มหมอกแก๊สไวไฟ กรณีที่เกิดรั่วขนาดใหญ่ มากกว่า 16 นิ้ว หรือเกิดการแตกหักของถังเก็บ พบว่ารัศมีสูงสุดมีการแพร่กระจายของบิวเทนและรัศมีการจุดระเบิดที่ 1.2 กิโลเมตร ซึ่งเป็นระยะที่ต้องมีการเฝ้าระวังการเกิดประกายไฟ และต้องดำเนินการให้บริเวณรัศมีดังกล่าวเป็นเขตปลอดภัยประกายไฟ อย่างไรก็ตามรัศมีของผลกระทบที่เกิดขึ้นจากบิวเทนรั่วไหลในทุกกรณีที่ทำกรจำลองสถานการณ์ ยังไม่ส่งผลกระทบต่อชุมชนโดยรอบ

คำสำคัญ

การประเมินความปลอดภัย บิวเทน ผลกระทบ การรั่วไหล การระเบิด

Abstract

Growing industrial investment trends in Chiang Rai province, especially within the special economic zone resulting in an increasing trend of industrial investment. Nevertheless, the safety risk assessment is legally exempted in some types of industry. The objective of this study was to analyze the potential effects of chemical leaks and explosions from a butane storage tank which could cause serious accidents at the one of factory in Chiang Rai province. Workplace air sampling was conducted to measure butane vapor. The ALOHA (areal location of hazardous atmospheres) program was used to assess the effect of butane leakage accidents by using monthly climate data between 2008 - 2018

(previous 10 years). A total of five situations were analyzed by determining the butane tank hole size, divided into four sizes: small; medium; large; and breakage of the butane tank. The results show that the butane vapor concentration in the workplace was in the range of 171.39 - 189.61 ppm, which does not exceed the threshold limit value - time-weighted average (TLV-TWA). The TLV-TWA is an average exposure based on an 8-hour day, 40-hour work week schedule at 1000 ppm. The simulation result of butane the leak, and explosion show that the severity impact at a maximum radius in the situation of butane spillage as flammable vapor cloud with the large tank holes over 16 inches or in cases where the tank storage broke. The maximum radius was found to have a butane spread and ignition radius of 1.2 kilometers. The area within this radius must be monitored for sparks and should be made into a spark-free area. However, in all simulated cases the butane leak effect radius did not affect the surrounding community.

Keywords

safety assessment; butane; effect; leakage; explosion

1. คำนำ

หลังการประกาศนโยบายพื้นที่เขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษ เชียงราย ส่งผลให้มีแนวโน้มการขยายตัวด้านการลงทุน ภาคอุตสาหกรรมในพื้นที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอุตสาหกรรมใน จังหวัดเชียงราย ส่วนมากเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กและ ขนาดกลาง จากข้อมูลการวิเคราะห์ความเสี่ยงอุบัติเหตุทาง สารเคมีจากทั้งประเทศ พบว่าจังหวัดเชียงรายเสี่ยงต่อการเกิด อุบัติภัยสารเคมีอยู่ในระดับสูง [1] โดยมีรายงานการเกิด อุบัติภัยทางสารเคมี ทั้งจากการจัดเก็บ เช่น กรณีการเกิดแก๊ส แอมโมเนียรั่วไหล จากโรงงานผลิตน้ำดื่มและน้ำแข็ง [2,3] และการขนส่ง [4]

จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และขนาดกลางในพื้นที่เขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษเชียงราย พบโรงงานผลิตและประกอบไฟแช็ค และอุปกรณ์จุดไฟ อเนกประสงค์ แห่งหนึ่ง ในจังหวัดเชียงราย ซึ่งใช้บิวเทนเป็น วัสดุดิบในการผลิต จัดเก็บอยู่ภายในพื้นที่

บิวเทน (Butane, C_4H_{10}) จัดเป็นหนึ่งในสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอน ที่ภายในโมเลกุลมีอะตอมของ C ต่อกันเป็น ลูกโซ่ ในลักษณะปลายเปิด (Aliphatic hydrocarbon) มี ลักษณะเป็นแก๊สอัดความดัน ไม่มีสี กลิ่นเหม็น คล้ายแก๊ส โซลีน หรือแก๊สธรรมชาติ มีคุณสมบัติไวไฟ ซึ่งจะถูกเก็บไว้ใน สถานะของเหลวภายใต้ความดัน แต่สามารถระเหยเป็นแก๊ส เมื่อความดันถูกปลดปล่อยออกมา โดยบิวเทนนั้นถูกนำไป ประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น แก๊ส พิโตรเลียมเหลวระบองสำหรับเตาหุงต้มแบบพกพา และ

ของเหลวในไฟแช็ค ซึ่งการใช้งานของบิวเทนที่เพิ่มมากขึ้นนี้ จะยิ่งเพิ่มโอกาสในการเกิดไฟไหม้ หรือการรั่วไหล

การเกิดเหตุระเบิดขนาดเล็กจากไฟแช็คบิวเทน เนื่องจาก ข้อบกพร่องจากการผลิต ข้อบกพร่องในการออกแบบและค่า เตือนที่ไม่เพียงพอ ส่งผลให้ชายคนหนึ่งได้รับบาดเจ็บที่ดวงตา เนื่องจากเศษพลาสติก [5] นอกจากนี้ยังมีอีกหลายกรณีที่เกิด อุบัติเหตุจากการระเบิดของแก๊สบิวเทนภายในครัวเรือน ซึ่ง ส่วนใหญ่มักจะเกิดขึ้นในห้องครัว โดยเฉพาะการระเบิด บางครั้งมีความรุนแรงมาก ทำให้ที่อยู่อาศัยกว่าครึ่งหลังถูก ทำลาย [6] จากตัวอย่างอุบัติเหตุการรั่วไหลของบิวเทนที่มี ความรุนแรงครั้งหนึ่งที่เกิดขึ้นในประเทศเกาหลีใต้ ขณะการ ขนถ่ายสารบิวเทนจากรถขนส่งสู่ถังเก็บใต้ดิน แต่ท่อขนถ่าย แตกและแก๊สบิวเทนรั่วไหล แผ่กระจายไปตามพื้นและติดไฟ โดยแหล่งกำเนิดประกายไฟที่ไม่รู้จัก เมื่อเกิดไฟร้อนขึ้นส่งผล ให้ถัง Liquefied petroleum gas (LPG) 2 ถังเกิดการระเบิด แบบ Boiling liquid expanding vapor explosion (BLEVE) ต่อเนื่องตามมา กล่าวคือ ถัง LPG นั้นถูกตัมด้วยไฟ จากภายนอกจนทำให้ของที่อยู่ข้างในเดือด ส่งผลให้มี ผู้เสียชีวิต 84 คน รวมถึงนักดับเพลิงที่เข้าไประงับเหตุด้วย [7] ปัจจุบันข้อมูลการประเมินความเสี่ยงความปลอดภัยในสถาน ประกอบกิจการมุ่งเน้นไปยังสถานประกอบกิจการที่มีความ เสี่ยงสูง หรือสถานประกอบกิจการขนาดใหญ่ ทำให้สถาน ประกอบกิจการบางประเภท โดยเฉพาะสถานประกอบกิจการ ขนาดกลางและขนาดเล็กซึ่งเป็นสถานประกอบกิจการส่วน ใหญ่ที่อยู่ในเขตจังหวัดเชียงราย ยังได้รับการยกเว้นตาม กฎหมาย จึงทำให้ข้อมูลการประเมินความเสี่ยงหรืออันตรายที่

เป็นปัจจุบันของสถานประกอบการที่มีความเสี่ยงระดับปานกลาง จนถึงระดับต่ำ หรือสถานประกอบการขนาดกลาง หรือขนาดเล็กยังไม่ได้รับการประเมิน หรือข้อมูลไม่ครบถ้วน ทั้งนี้จากการสำรวจพื้นที่ก่อนการดำเนินการศึกษาพบว่าโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าว ผลิตไฟแช็คแบบจุดด้วยวงล้อตะไบกับหินขีดไฟ โดยมี แก๊สบิวเทน เป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิต ตั้งใกล้กับพื้นที่อยู่อาศัยของประชาชน

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการรั่วไหลและการระเบิดของถังเก็บบิวเทนของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตไฟแช็คแห่งหนึ่ง ในจังหวัดเชียงราย โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาทำการจำลองการแพร่กระจายของกลุ่มหมอกไอระเหยของบิวเทน หรือการระเบิดของกลุ่มหมอกไอระเหย เพื่อประโยชน์ในการนำมาสังเคราะห์ และกำหนดเป็นแผนรองรับ กำหนดระยะปลอดภัยสำหรับชุมชน และเจ้าหน้าที่ที่จะเข้าไปประจันเหตุฉุกเฉิน หรือกำหนดแนวทางในการตอบสนองต่อการเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินต่อไปในอนาคต ถึงแม้ว่าสถานการณ์ถังรั่วหรือแตกหักจะเกิดขึ้นไม่บ่อยก็ตาม แต่การรั่วไหลของสารเคมี โดยเฉพาะสารไวไฟอย่างบิวเทนก็มักนำความเสียหายต่อระบบ [8]

2. วิธีการศึกษา

2.1 พื้นที่ในการศึกษา

โรงงานประเภท 87(3) ผลิตและประกอบไฟแช็ค และอุปกรณ์จุดไฟอเนกประสงค์แห่งหนึ่ง ในจังหวัดเชียงราย ได้ถูกเลือกเพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษาคั้งนี้ โดยไม่สามารถเปิดเผยรายชื่อและสถานที่ตั้งของโรงงานดังกล่าว เพื่อมิให้ส่งผลกระทบต่อโรงงานดังกล่าว

2.2 วิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย

- 1) ติดต่อประสานงานเพื่อขออนุญาตในการทำวิจัย และเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการดำเนินกิจการ ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการเก็บข้อมูลแก่ผู้บริหารหรือคณะทำงานที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ของโรงงานที่เข้าร่วมการวิจัย
- 2) สํารวจข้อมูลโรงงานที่เข้าร่วมการวิจัย และดำเนินการตรวจวัดและวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของบิวเทน ในบรรยากาศของสถานที่ทำงาน ซึ่งเก็บตัวอย่างโดยใช้ personal sampling pump อัตราการดูดอากาศ 1 ลิตร

ต่อนาที จากนั้นวิเคราะห์โดยใช้ Gas Chromatography ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารโดยมีเฟสเคลื่อนที่เป็นแก๊ส และเฟสอยู่กับที่เป็นคอลัมน์ [9]

- 3) รวบรวมและทบทวนข้อมูลต่าง ๆ เช่น ข้อมูลสารเคมี ข้อมูลสภาพพื้นที่โดยรอบโรงงาน เช่น ชุมชน อาคารที่อาจจะได้รับผลกระทบจากการแพร่กระจายและการระเบิดของสารเคมี ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของบริเวณที่ตั้ง ได้แก่ ความเร็วลม ทิศทางลม สภาพพื้นที่ของโรงงาน ปริมาณเมฆ เป็นต้น
- 4) กำหนดตัวแปร ในการทดลองกรณีการเกิดการรั่วไหล และการระเบิดของบิวเทนในรูปแบบต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Area Location of Hazardous Atmospheres (ALOHA) Version 5.4.7 พัฒนาขึ้นโดย National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) และ Environmental Protection Agency (EPA) [10]
- 5) จำลองสถานการณ์การรั่วไหลของบิวเทน สภาพภูมิอากาศ คุณสมบัติของสารเคมี สภาพการบรรจุ รวมทั้งตัวแปรทางด้านภูมิอากาศ ภายใต้สภาวะที่เลวร้ายที่สุด ดังนี้
 - 5.1) คุณสมบัติทางเคมีของบิวเทน [11] กำหนดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีของบิวเทน

พารามิเตอร์	คุณสมบัติทางเคมี
น้ำหนักโมเลกุล	58.12
จุดเดือด	-0.5 °C
ณ ความดัน 760 mmHg	
จุดหลอมเหลวจุดเยือกแข็ง/	-138 °C
ความหนาแน่นไอ	2.11 g/l
ความดันไอ	2667.72 mmHg
ณ อุณหภูมิ 37.7 °C	
ความสามารถในการละลายน้ำ	61 mg/l
ณ อุณหภูมิ 20 °C	

- 5.2) การตั้งค่าตัวแปรทางด้านบรรยากาศ ได้กำหนดเงื่อนไขสภาพอากาศโดยใช้ข้อมูล ได้แก่ ความเร็วลม

ทิศทางลม อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณเมฆเฉลี่ย จากแบบตรวจสภาพอากาศระหว่าง พ.ศ. 2551 – 2561 (ย้อนหลัง 10 ปี) จากสถานีตรวจอากาศเชียงราย (รหัสสถานี/ WMO Index: 303201 / 48303) และ สถานีตรวจอากาศเชียงราย สกษ. (รหัสสถานี/ WMO Index : 303301 / 48304) [12] โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลจากแบบตรวจสภาพอากาศในพื้นที่ระหว่างช่วง ปี พ.ศ. 2551 – 2561

ข้อมูล	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่ากำหนดเงื่อนไขในโปรแกรม
ความเร็วลม (นอต)	1.06±0.66	2 ^{1/}
ทิศทางลม ^{2/}	NE	NE
อุณหภูมิสูงสุด (°C)	34.4±0.65	34.4
อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	17.1±0.5	-
อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	24.9±0.39	-
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	78.4±2.65	78
ปริมาณเมฆเฉลี่ย (เดคะ)	4.3±0.36	4

^{1/}ใช้ค่าความเร็วลมสูงสุด เท่ากับ 2 นอต

^{2/}ทิศทางลมในพื้นที่ที่มีความไม่แน่นอนในแต่ละเดือน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกทิศทางลมที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุด ได้แก่ NE

5.3) การจำลองการรั่วไหล เนื่องจากผลกระทบจากการรั่วไหลของบิวเทนนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณบิวเทนที่รั่วไหลและอัตราการรั่วไหลของบิวเทน ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูรั่ว และระยะเวลาของการรั่วไหล ว่าสามารถตรวจพบและแก้ไขรูรั่วได้เร็วแค่ไหน ผู้วิจัยจึงได้ทำการสร้างสถานการณ์จำลองการรั่วไหล ผ่านการกำหนดเงื่อนไขภายใต้ข้อมูลพื้นฐานบางอย่างจากของโรงงานตัวอย่างที่ใช้เป็นกรณีศึกษา ได้แก่

- ชนิดของถังบรรจุเป็น Horizontal Cylindrical Tank
- ขนาดถังบรรจุเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.15 เมตร ยาว 7.6 เมตร

- ปริมาณการบรรจุ แก๊สบิวเทนสูงสุด 15 ตัน กำหนดขนาดรูรั่วของถังเก็บบิวเทน แบ่งเป็น 4 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ และเกิดการแตกหักของถังเก็บบิวเทน บริเวณก้นถัง โดยใช้ข้อมูลการวิเคราะห์โอกาสการเกิดและความเสี่ยงอ้างอิงจาก API Publication 581 แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขนาดความกว้างของรูรั่ว (เซนติเมตร)

ขนาดรูรั่ว	ช่วงพิจารณา	ค่าที่นำมาใช้
ขนาดเล็ก	0 – 0.635	0.635 (1/4 นิ้ว)
ขนาดกลาง	0.635 – 5.08	5.08 (2 นิ้ว)
ขนาดใหญ่	5.08 - 15.24	10.16 (4 นิ้ว)
แตกหัก	มากกว่า 4.064	40.64 (16 นิ้ว)

ที่มา: American Petroleum Institute [13]

- 6) ศึกษาผลกระทบจากสถานการณ์จำลอง โดยทำการทดสอบ 5 สถานการณ์จำลอง ได้แก่
- การรั่วไหลจากถังเก็บในกรณีที่ไม่ลุกติดไฟ (Toxic area of vapor cloud)
 - การรั่วไหลแบบกลุ่มหมอกแก๊สไวไฟ (Flammable vapor cloud)
 - การระเบิดของกลุ่มหมอกสารไวไฟ (Vapor cloud explosion)
 - การเกิดเพลิงไหม้แบบลำเปลวไฟ (Jet fire)
 - การระเบิดแบบของเหลวเดือดเป็นไอ (Boiling liquid expanding vapor explosion, BLEVE)

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา

การเก็บตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของบิวเทนในบรรยากาศสถานที่ทำงาน ดำเนินการตรวจวัดบริเวณ แผนกบรรจุแบบแก๊ส ทั้งแบบบรรจุด้วยคน และบรรจุอัตโนมัติ ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของสารบิวเทนในบรรยากาศที่ตรวจวัดได้แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ระดับความเข้มข้นของบิวเทน ในบรรยากาศของสถานที่ทำงาน

จุดเก็บตัวอย่าง	ระดับความเข้มข้น
แผนกบรรจุแก๊ส (Manual)	171.39 ppm
แผนกบรรจุแก๊ส (Auto)	189.61 ppm

จากตารางที่ 4 พบว่าค่าระดับความเข้มข้นของบิวเทน ในบรรยากาศของสถานที่ทำงานบริเวณแผนกบรรจุ ทั้งแบบอัตโนมัติ และบรรจุด้วยคน มีค่าไม่เกินค่าขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ (Threshold limit value - time weighted average; TLV-TWA) หรือ ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามเวลา สำหรับวันทำงานปกติ 8 ชั่วโมง หรือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ซึ่งคนงานเกือบทั้งหมดอาจได้รับการสัมผัสซ้ำ ๆ กันทุกวันโดยไม่มีผลกระทบใด ๆ เท่ากับ 1000 ppm [14] หรือไม่เกินค่ารับสัมผัสที่แนะนำตามเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง (Recommended exposure limit - time weighted average; REL-TWA) เท่ากับ 800 ppm และไม่เกินค่าความเข้มข้นสูงสุดที่คนงานสามารถสัมผัสได้เป็นระยะเวลานานถึง 60 นาทีโดยไม่เกินสามช่วงเวลาการสัมผัสต่อกะทำงานเท่ากับ 2000 ppm [15]

การศึกษาผลกระทบจากสถานการณ์จำลองโดยทำการทดสอบ 5 สถานการณ์จำลอง กำหนดขนาดรูรั่วของถังเก็บบิวเทน แบ่งเป็น 4 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ จากการศึกษาโอกาสในการรั่วไหลของระบบท่อ/ถังพบว่าโอกาสในการรั่วไหลที่รูรั่วขนาด 0.25 นิ้ว และขนาด 1 นิ้ว มีโอกาสในการเกิดมากที่สุด และเกิดการแตกหักของถังเก็บบิวเทน ซึ่งเป็นกรณีร้ายแรงที่สุด โดยแสดงผลการศึกษาทั้ง 5 สถานการณ์จำลองดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 การรั่วไหลจากถังเก็บในกรณีที่ไม่ลุกติดไฟ (Toxic area of vapor cloud)

ลักษณะการรั่วไหลในกรณีนี้ จะไม่ทำให้เกิดเพลิงไหม้ แต่จะเกิดความเป็นพิษของแก๊ส เนื่องจากไม่มีแหล่งประกายไฟในบริเวณดังกล่าว การประเมินจะประเมินปริมาณความเข้มข้นของแก๊สที่แพร่กระจาย และประเมินความเป็นพิษของสารเคมีที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียง ผลการประเมินจากโปรแกรม ALOHA ที่แสดงความ

เข้มข้นของบิวเทนที่รั่วไหลออกมาที่ระยะต่าง ๆ โดยจะพิจารณาจากรัศมีการแพร่กระจายของบิวเทน (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบระยะอันตรายและขนาดความกว้างรูรั่ว

ขนาดรูรั่ว	พื้นที่สีแดง	พื้นที่สีส้ม	พื้นที่สีเหลือง
	AEGL-3	AEGL-2	AEGL-1
ขนาดเล็ก	11 เมตร	22 เมตร	34 เมตร
ขนาดกลาง	144 เมตร	235 เมตร	380 เมตร
ขนาดใหญ่	284 เมตร	471 เมตร	710 เมตร
แตกหัก	336 เมตร	532 เมตร	804 เมตร

พบว่ารัศมีการแพร่กระจายของบิวเทน แสดงผลการประเมินออกมาในรูปค่ามาตรฐานค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีแบบเฉียบพลัน (Acute Exposure Guideline Levels; AEGL) [16] ซึ่งเป็นค่าที่ประชาชนทั่วไปสามารถรับสัมผัสได้สามารถจำแนกความรุนแรงของผลกระทบด้านความเป็นพิษออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

AEGL-3 (53,000 ppm) คือ ค่าความเข้มข้นของสารในอากาศ ซึ่งเกิดผลกระทบต่อประชาชนโดยรอบ ในระดับรุนแรงมากเป็นอันตรายต่อสุขภาพจนถึงขนาดทำให้เสียชีวิตได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยส่วนบุคคล

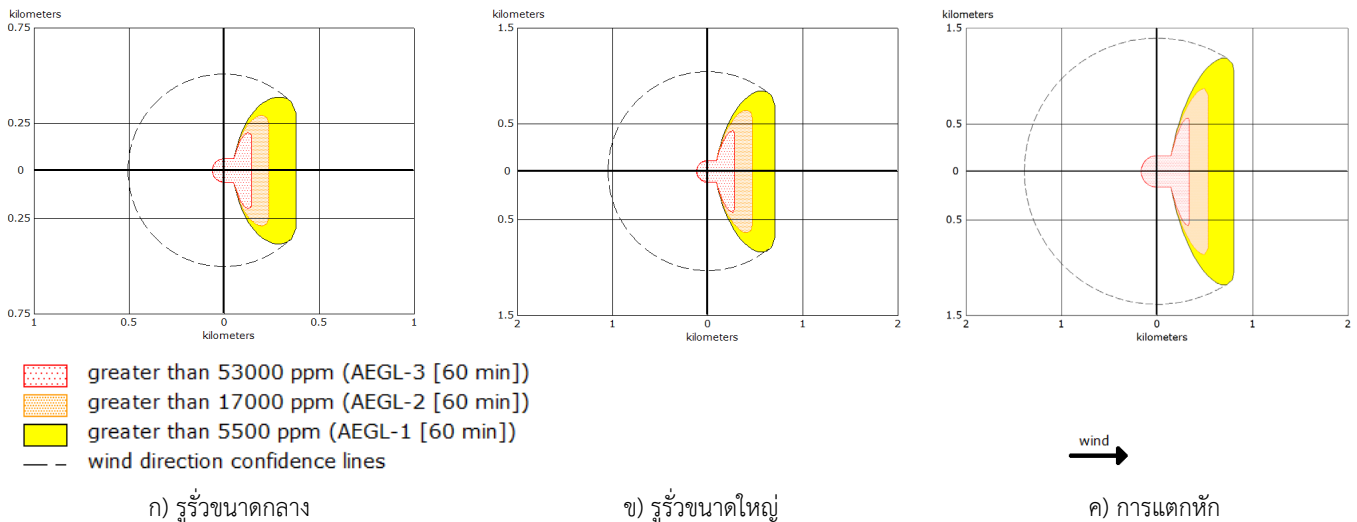
AEGL-2 (17,000 ppm) คือ ค่าความเข้มข้นของสารในอากาศ ซึ่งคาดว่าประชาชนทั่วไป รวมทั้งผู้ได้รับผลกระทบเกิดผลกระทบระดับรุนแรง ไม่สามารถปฏิบัติงานได้อย่างปลอดภัย อาจเกิดการระคายเคืองหรือเกิดผลข้างเคียงได้

AEGL-1 (5,500 ppm) คือ ค่าความเข้มข้นของสารในอากาศ ซึ่งคาดว่าประชาชนทั่วไป รวมทั้งผู้ได้รับผลกระทบเกิดผลกระทบเกิดความไม่สบาย การระคายเคือง หรือผลกระทบที่ไม่แสดงอาการ แต่อย่างไรก็ตาม ผลกระทบนี้จะไม่ก่อให้เกิดความพิการ และเกิดเพียงชั่วคราว สามารถกลับเป็นปกติได้หากหยุดการรับสัมผัส

รูปที่ 1 แสดงระยะอันตรายและขนาดความกว้างรูรั่วพบว่า เมื่อเกิดรูรั่วบิวเทนจะรั่วออกมาเป็นของผสมทั้งแก๊สและละอองของเหลว (aerosol) โดยหากเกิดรูรั่วขนาดเล็ก มีปริมาณการรั่วไหลของบิวเทนภายใน 1 ชั่วโมง ทั้งหมด 1,130 กิโลกรัม โดยมีอัตราการรั่วไหลต่อเนื้อที่ 18.9 กิโลกรัมต่อวินาที ซึ่งผลการศึกษาพบว่าที่ขนาดรูรั่วขนาดเล็กนั้น มีเขต

ผลกระทบในพื้นที่แคบ ๆ ไม่สามารถแสดงภาพเขตผลกระทบได้ ในขณะที่เดียวกันหากเกิดเป็นรั้วรั้วขนาดกลาง โปรแกรมได้คาดคะเนเวลาการรั้วไหล ประมาณ 12 นาที มีอัตราการรั้วไหลแบบต่อเนื่องเฉลี่ย 1,200 กิโลกรัมต่อนาที มีเขตผลกระทบแสดงในรูปที่ 1-ก หากเกิดกรณีรั้วรั้วขนาดใหญ่ โปรแกรมได้คาดคะเนเวลาการรั้วไหล ประมาณ 3 นาที มี

อัตราการรั้วไหลแบบต่อเนื่องเฉลี่ย 4,780 กิโลกรัมต่อนาที มีเขตผลกระทบแสดงดังรูปที่ 1-ข หรือในกรณีที่เกิดการแตกหัก โปรแกรมดำเนินการคาดคะเนเวลาการรั้วไหล ประมาณ 1 นาที มีอัตราการรั้วไหลแบบต่อเนื่องเฉลี่ย 227 กิโลกรัมต่อนาที มีเขตผลกระทบแสดงดังรูปที่ 1-ค



รูปที่ 1 รัศมีการแพร่กระจายของบิวเทนแสดงความรุนแรงของผลกระทบด้านความเป็นพิษจากจุดที่เกิดเหตุรั้วรั้ว

ความเป็นพิษของบิวเทน เกิดจากการที่อนุภาคของแก๊สเข้าไปแทนที่ออกซิเจนทำให้เกิดภาวะขาดอากาศ รวมทั้งยังส่งผลโดยตรงกับระบบประสาทส่วนกลาง[15] รวมถึงการเกิดภาวะหัวใจเต้นผิดปกติหะวะ[17] ซึ่งถึงแม้ว่าความเป็นพิษของบิวเทนจะต่ำ แต่ก็มีรายงานผู้เสียชีวิตที่เสียชีวิตอย่างกะทันหันที่เกิดขึ้นขณะสูดดมบิวเทน จากการศึกษาและชันสูตรผู้เสียชีวิต 3 ราย มีการตรวจความเข้มข้นของ n-butane ในเลือดหัวใจ พบว่ามีค่าเท่ากับ 54.3, 25.5 และ 30.7 $\mu\text{g} / \text{mL}$ ตามลำดับซึ่งระดับความเข้มข้นดังกล่าวถือเป็นอันตรายถึงชีวิต[18] อย่างไรก็ตาม ค่า AEGL-1 ของบิวเทนศึกษาที่อาสาสมัครเกี่ยวกับการแสดงอาการ ต่อการรับสัมผัสบิวเทนในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ พบว่า เมื่อทดสอบการรับสัมผัสบิวเทนอย่างต่อเนื่องจนระดับความเข้มข้นสูงถึง 50,000 ppm ก็ยังไม่พบว่ามีอาการแสดงอาการที่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม เมื่อความเข้มข้นของบิวเทน 10,000 ppm ต่อการรับสัมผัส 10 นาที หรือ ความเข้มข้นของบิวเทน 6,900 ppm ต่อการรับสัมผัส 30 นาที หรือความเข้มข้นของบิวเทน

5,500 ppm ต่อการรับสัมผัส มากกว่า 1 ชั่วโมงขึ้นไป จากการสังเกตผู้ที่ได้รับสัมผัสพบว่าจะเริ่มแสดงอาการง่วงนอน [19]

กรณีที่ 2 การรั้วรั้วไหลแบบกลุ่มหมอกแก๊สไวไฟ (Flammable Vapor Cloud)

การประเมินการรั้วรั้วไหลกรณีนี้เพื่อประเมินการรั้วรั้วไหลของบิวเทน โดยที่บิวเทนมีความหนาแน่นที่หนักกว่าอากาศทำให้เมื่อเกิดการรั้วรั้วไหล จะลอยต่ำตามพื้น และมักเข้าแทนที่อากาศ ทำให้เสี่ยงต่อการติดไฟได้ง่าย ทั้งนี้การรั้วรั้วไหลแบบกลุ่มหมอกแก๊สไวไฟจะพิจารณาความเข้มข้นของบิวเทนที่รั้วรั้วไหลออกมาจากถังเก็บ เพื่อกำหนดระยะปลอดภัยในการป้องกันการเกิดเพลิงไหม้ ซึ่งจะพิจารณาจากค่าต่ำสุดที่สามารถถูกติดไฟ (LEL: Lower Explosion Limit) และค่าสูงสุดที่สามารถถูกติดไฟได้ (UEL: Upper Explosion Limit) โดยที่บิวเทน มีค่า LEL 1.8 %(v/v) หรือ 16000 ppm และ UEL 1.4 %(v/v) หรือ 84000 ppm

ตารางที่ 6 บริเวณขอบเขตผลกระทบ

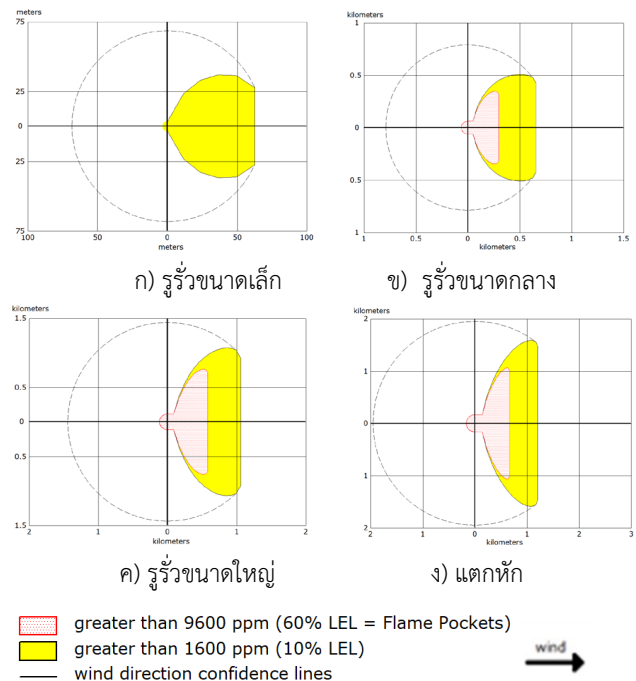
ขนาดรั้ว	พื้นที่สีแดง 9600 ppm (60% LEL)	พื้นที่สีเหลือง 1600 ppm (10% LEL)
ขนาดเล็ก	28 เมตร	63 เมตร
ขนาดกลาง	299 เมตร	655 เมตร
ขนาดใหญ่	585 เมตร	1.1 กิโลเมตร
แตกหัก	660 เมตร	1.2 กิโลเมตร

ตารางที่ 6 แสดงบริเวณขอบเขตผลกระทบจากการรั่วไหลแบบกลุ่มหมอกแก๊สไวไฟ โดยปกติค่าความเข้มข้นที่สามารถระเบิดของสารที่ติดไฟได้จะอยู่ในช่วงค่า LEL ถึง UEL ซึ่งการแสดงผล แบ่งออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ 10%LEL คือค่าระดับความเข้มข้นของสารเคมี 10% ของค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดที่จะเกิดการติดไฟหรือระเบิดได้ และ 60% LEL คือค่าระดับความเข้มข้นของสารเคมี 60% ของค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดที่จะเกิดการติดไฟหรือระเบิดได้ ซึ่งค่าความเข้มข้นในระดับนี้ พบว่าสามารถก่อให้เกิดกลุ่มก้อนของสารเคมีที่สามารถระเบิดได้ โดยจากการศึกษาพบว่าบริเวณ

ขอบเขตผลกระทบที่ได้รับผลกระทบไกลที่สุดจะเกิดขึ้นในกรณีที่มีการแตกหัก โดยบริเวณพื้นที่สีแดง (60% LEL) มีค่าต่ำสุดที่สามารถลุกติดไฟได้ที่รัศมีไกลสุด 660 เมตร จากแหล่งกำเนิด และบริเวณพื้นที่สีเหลือง (10% LEL) มีค่าต่ำสุดที่สามารถลุกติดไฟได้ที่รัศมี 1.2 กิโลเมตรจากแหล่งกำเนิด โดยคิดจากกรณีที่เกิดการแตกหัก ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการเกิดประกายไฟในบริเวณดังกล่าว

รูปที่ 2 แสดงรัศมีการแพร่กระจายของบิวเทน เมื่อเกิดการรั่วไหลจะเกิดการระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว ลอยต่ำตามพื้น ซึ่งจะควบแน่นกับไอน้ำในบรรยากาศทำให้สามารถมองเห็นเป็นหมอกแก๊ส ซึ่งหากไม่มีการจุดระเบิดกลุ่มหมอกนี้ก็จะถูกเจือจางไปกับบรรยากาศ โดยในกรณีที่เกิดรั้วขนาดเล็ก เขตผลกระทบของบริเวณพื้นที่สีแดง (60% LEL) เกิดใกล้กับแหล่งกำเนิดในพื้นที่แคบ ๆ ไม่สามารถแสดงภาพเขตผลกระทบได้ (รูปที่ 2-ก) ในขณะที่รั้วขนาดกลาง เขตผลกระทบที่ของบริเวณพื้นที่สีแดง (60% LEL) และ ของบริเวณพื้นที่สีเหลือง (10% LEL) ซึ่งควรหลีกเลี่ยงการเกิดประกายไฟ เท่ากับ 299-655 เมตร ตามลำดับ (รูปที่ 1-ข) ในขณะที่ผลการประเมินระยะเขตผลกระทบ ของการเกิดรั้ว

ขนาดใหญ่และการแตกหัก มีค่าไม่แตกต่างกันมาก คือผลกระทบที่ของบริเวณพื้นที่สีแดง (60% LEL) เท่ากับ 585 - 660 เมตร และของบริเวณพื้นที่สีเหลือง (10% LEL) ซึ่งควรหลีกเลี่ยงการเกิดประกายไฟ เท่ากับ 1.1-1.2 กิโลเมตรตามลำดับ (รูปที่ 2-ค และ รูปที่ 2-ง) เนื่องจากหากเกิดการแตกหักจะใช้ระยะเวลาการรั่วไหลเพียงแค่ 1 นาที และประมาณ 3 นาที สำหรับรั้วขนาดใหญ่ ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวปริมาณบิวเทนทั้งหมดที่บรรจุอยู่ก็จะรั่วออกมาจนหมด เมื่อเทียบกับการศึกษาการรั่วไหลของแก๊สปิโตรเลียมเหลว ที่กำหนดสาเหตุการรั่วไหลจากถัง ที่มีขนาดรั้วรูปร่างกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ซึ่งจัดเป็นรั้วขนาดปานกลาง สูงจากกันถึง 0.8 เมตร แบบกลุ่มหมอกแก๊สไวไฟพบว่าค่าความเข้มข้นของแก๊สโพรเพนในบรรยากาศจะเกิดกลุ่มหมอกแก๊สไวไฟสูงสุดที่สามารถลุกติดไฟที่ 60%LEL (12,000 ppm) อยู่ในรัศมี ไกลสุด 105 เมตร และค่าต่ำสุดที่สามารถลุกติดไฟได้ 10%LEL (2,100 ppm) ที่รัศมีไกลสุด 319 เมตร [20]



รูปที่ 2 รัศมีการแพร่กระจายของบิวเทนเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการลุกติดไฟ จากจุดที่เกิดเหตุรั้วไหล

กรณีศึกษาที่ 3 การระเบิดของกลุ่มหมอกสารไวไฟ (Vapor Cloud Explosion)

เมื่อเกิดการรั่วไหลออกจากถังเก็บและบิวเทนมีการแพร่กระจายครอบคลุมไปทั่วบริเวณ และผสมกับอากาศในสัดส่วนที่พอเพียง ประกอบกับมีแหล่งประกายไฟ ทำให้เกิดการลุกติดไฟอย่างรวดเร็ว และระเบิดในที่สุด จากการประเมินสามารถแสดงผลออกมาในรูปแบบของแรงดัน โดยที่ขนาดและการกระจายของ แรงดันระเบิดนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้

- 1) คุณสมบัติของระเบิด เช่น ชนิดของวัตถุระเบิด พลังงานของการระเบิด และน้ำหนักวัตถุระเบิด
- 2) ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางระเบิดไปยังโครงสร้าง
- 3) ขนาดและการขยายขนาดของแรงดันระเบิดเนื่องจากปฏิสัมพันธ์กับพื้นดินหรือโครงสร้าง [21]

ซึ่งการศึกษาได้แบ่งพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบออกเป็น 3 ระดับความรุนแรงได้แก่พื้นที่ที่สีเหลืองแรงดันต่ำสุด 1.0 psi มีผลทำให้ได้รับบาดเจ็บ และแก้วกระจกแตกละเอียด พื้นที่สีส้มได้รับแรงดันมากกว่า 3.5 psi มีผลทำให้ได้รับบาดเจ็บอย่างรุนแรง ในขณะที่พื้นที่สีแดง แรงดันมากกว่า 8.0 psi ซึ่งแรงดันในระดับดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อประชาชนในบริเวณนั้นเสียชีวิต ทำลายสิ่งปลูกสร้าง เช่น อาคารหรือตึก จากการศึกษาพบว่าปริมาณการเก็บบิวเทนของโรงงานที่ใช้ในการศึกษานั้น แสดงผลเช่นเดียวกับเมื่อเปรียบเทียบการศึกษารั่วไหลของแก๊สปิโตรเลียมเหลว ที่กำหนดสาเหตุการรั่วไหลจากถัง ที่มีขนาดรูรั่วรูปร่างกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ซึ่งจัดเป็นรูรั่วขนาดปานกลาง สูงจากกันถึง 0.8 เมตร พบว่า [21] คือ ไม่สามารถแสดงผลออกมาในรูปแบบแรงดันที่เกิดจากการระเบิดได้ แทบจะไม่มีโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ เนื่องจากไม่มีกลุ่มหมอกสารเคมี ที่มีระดับสูงกว่าค่าขีดจำกัดล่างของการระเบิด อย่างไรก็ตามไม่ใช่ทุกอุบัติเหตุการรั่วไหลของไอระเหยของสารเคมีไวไฟจะเกิดการระเบิด หากไม่มีแหล่งกำเนิดประกายไฟ หรือเกิดประกายไฟ แต่ส่วนใหญ่ก่อให้เกิดแรงดันที่มีค่ามากกว่าแรงดันบรรยากาศ (overpressure) ในระดับต่ำหรือปานกลางเท่านั้น [22] โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าหากกลุ่มหมอกสารเคมีนี้เกิดขึ้นในพื้นที่เปิดดังเช่นพื้นที่ศึกษา ซึ่งจาก 71% ของเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้น สอดคล้องกับอัตราการรั่วไหลที่

ค่อนข้างเล็ก ในภาวะที่ลมสงบนิ่ง หรือความเร็วลมต่ำทำให้เกิดการรวมตัวกันของกลุ่มหมอก จากการศึกษา กล่าวว่า เขตไวไฟนั้นกระจายไกลถึง 500 เมตรจากแหล่งกำเนิดในหลายกรณี [23]

กรณีศึกษาที่ 4 การเกิดเพลิงไหม้แบบลำเปลวไฟ (Jet Fire)

กรณีนี้เป็นไฟที่เกิดจากการรั่วไหลของสารเคมี ออกจากภาชนะบรรจุสารแล้วติดไฟออกมาเป็นลำพุ่งออกไป โดยจะสร้างแบบจำลองการเกิดลำเปลวไฟจากถังบรรจุ เป็นการสร้างแบบจำลองการแผ่รังสีความร้อน แต่จะไม่สร้างแบบจำลองควันทัน สารพิษจากไฟ ทั้งนี้ขอบเขตผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นกับประชาชนเมื่อเกิดเพลิงไหม้ จะมีการแผ่รังสีความร้อนแบบลำเปลวไฟ

ตารางที่ 7 แสดงรังสีความร้อนเนื่องมาจากการเกิดเพลิงไหม้แบบลำเปลวไฟ ซึ่งสามารถแบ่งระดับผลกระทบดังนี้

ตารางที่ 7 บริเวณรัศมีขอบเขตผลกระทบ

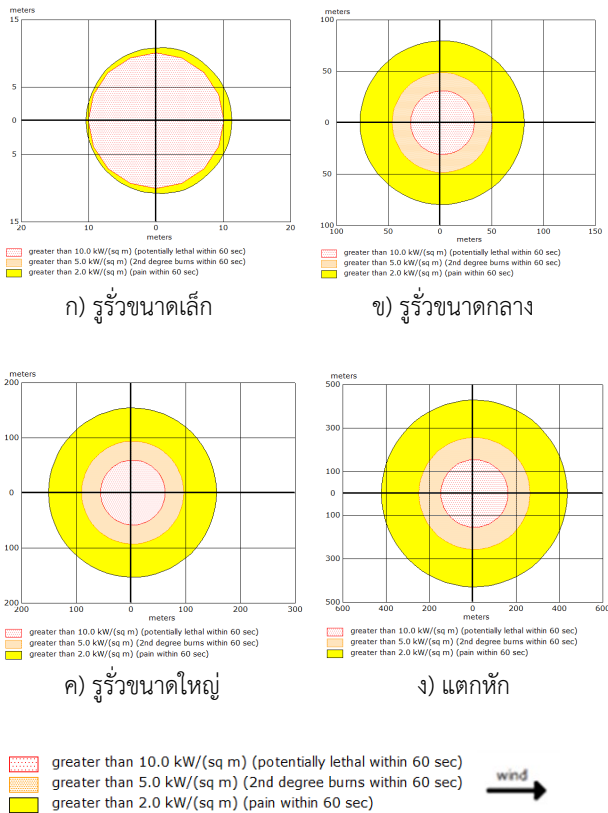
ขนาดรูรั่ว	พื้นที่สีแดง 10kW/m ²	พื้นที่สีส้ม 5 kW/m ²	พื้นที่สีเหลือง 2 kW/m ²
ขนาดเล็ก	10 เมตร	10 เมตร	11 เมตร
ขนาดกลาง	33 เมตร	51 เมตร	81 เมตร
ขนาดใหญ่	63 เมตร	97 เมตร	157 เมตร
แตกหัก	163 เมตร	264 เมตร	436 เมตร

พื้นที่สีแดง หมายถึง ภายในรัศมีดังกล่าวจากแหล่งกำเนิด มีค่าพลังงานความร้อน 10.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีความรุนแรงมากอาจถึงขั้นเสียชีวิตภายใน 60 นาที ในขณะที่

พื้นที่สีส้ม หมายถึง ภายในรัศมีดังกล่าว จากแหล่งกำเนิด มีค่าพลังงานความร้อน 5.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีความรุนแรงในระดับสอง ทำให้ผิวหนังเกิดการฟองใสขึ้น และถ้าแตกจะมีน้ำใสๆ ออกมาเป็นการทำลายชั้นหนังกำพร้าได้ภายใน 60 นาที

พื้นที่สีเหลือง หมายถึง ภายในรัศมีดังกล่าว จากแหล่งกำเนิด จากแหล่งกำเนิด มีค่าพลังงานความร้อน 2.0

กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีความรุนแรงทำให้เกิดอาการปวด แสบปวดร้อนภายใน 60 นาที



รูปที่ 3 รังสีความร้อนเนื่องมาจากแบบลำเปลวไฟจากจุดที่เกิดเหตุ รุ้ร้วไหล

ในกรณีที่เกิดรุ้ร้วขนาดเล็กพบว่า ในบริเวณรัศมี 10 เมตร จากจุดเกิดเหตุมีโอกาสได้รับรังสีความร้อนเนื่องมาจากการเกิดเพลิงไหม้แบบลำเปลวไฟ โดยมีค่าพลังงานความร้อนสูงสุดที่ได้รับ เท่ากับ 10.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีความรุนแรงมากอาจถึงขั้นเสียชีวิตภายใน 60 นาที (รูปที่ 3-ก) ในขณะที่ถ้าเกิดรุ้ร้วขนาดกลางในบริเวณรัศมี 33 เมตร จากจุดเกิดเหตุมีโอกาสได้รับรังสีความร้อนเนื่องมาจากการเกิดเพลิงไหม้แบบลำเปลวไฟ โดยมีค่าพลังงานความร้อนสูงสุดที่ได้รับ เท่ากับ 10.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร และค่าพลังงานความร้อนที่ได้รับ เท่ากับ 2.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรในบริเวณที่ห่างออกไปไกลสุด 81 เมตร (รูปที่ 3-ข) หากเกิดรุ้ร้วขนาดใหญ่ ในบริเวณรัศมี 63 เมตร จากจุดเกิดเหตุมีโอกาส

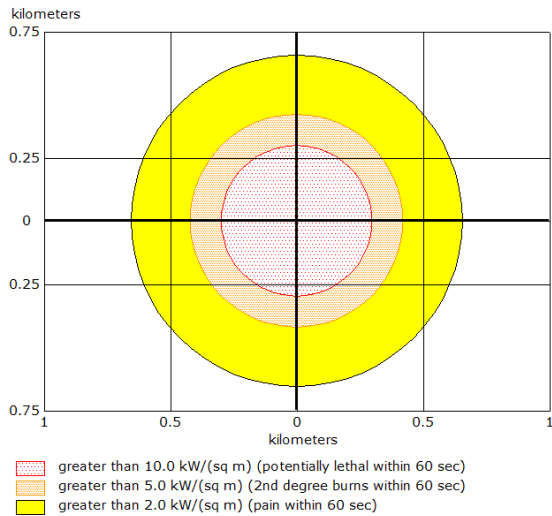
ได้รับรังสีความร้อนเนื่องมาจากการเกิดเพลิงไหม้แบบลำเปลวไฟ โดยมีค่าพลังงานความร้อนสูงสุดที่ได้รับ เท่ากับ 10.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร และค่าพลังงานความร้อนที่ได้รับ เท่ากับ 2.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรในบริเวณที่ห่างออกไปไกลสุด 157 เมตร (ภาพที่ 3-ค) และหากเกิดการแตกหัก ในบริเวณรัศมี 163 เมตร จากจุดเกิดเหตุมีโอกาสได้รับรังสีความร้อนเนื่องมาจากการเกิดเพลิงไหม้แบบลำเปลวไฟ โดยมีค่าพลังงานความร้อนสูงสุดที่ได้รับ เท่ากับ 10.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร และค่าพลังงานความร้อนที่ได้รับ เท่ากับ 2.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรในบริเวณที่ห่างออกไปไกลสุด 436 เมตร (รูปที่ 3-ง)

เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาการรุ้ร้วไหลของแก๊สปิโตรเลียมเหลว ที่กำหนดสาเหตุการรุ้ร้วไหลจากถัง ที่มีขนาดรุ้ร้วรูปร่างกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ซึ่งจัดเป็นรุ้ร้วขนาดปานกลาง สูงจากก้นถัง 0.8 เมตร พบว่ารังสีความร้อนเนื่องมาจากการเกิดเพลิงไหม้แบบลำเปลวไฟ ภายในรัศมี 37 เมตร มีค่าพลังงานความร้อนสูงสุดที่ได้รับ เท่ากับ 10.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร รัศมี 52 เมตร มีค่าพลังงานความร้อนสูงสุดที่ได้รับ เท่ากับ 5.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร และภายในรัศมี 80 เมตร มีค่าพลังงานความร้อนสูงสุดที่ได้รับ เท่ากับ 2.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร [21]

กรณีที่ 5 การระเบิด BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)

การระเบิด BLEVE เกิดจากการที่ถังเก็บได้รับรังสีความร้อนด้วยไฟจากภายนอก (external fire) จนเกิด

การระเบิดเกิดรังสีความร้อนแบบ fireball จากการที่แก๊สขยายตัวมหาศาลโดยเป็นการรุ้ร้วไหลออกมาในปริมาณมากในระยะเวลานั้น และเกิดการลุกไหม้ติดไฟทันที ถึงแม้ว่าโอกาสเกิดในการระเบิด 6 ใน 1,000,000,000 ครั้ง/ปี ซึ่งยากมาก แต่ความเสียหายหลักจาก BLEVE นั้นคือเปลวไฟที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่มาก และมีการแผ่รังสีความร้อนที่สูงมาก [24] ซึ่งขอบเขตผลกระทบแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 รัศมีการระเบิดแบบ BLEVE แสดงในรูปของรัศมีความร้อน

จากรูปที่ 4 พื้นที่สีแดง หมายถึง ภายในรัศมี 298 เมตร จากแหล่งกำเนิด มีค่าพลังงานความร้อน 10.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีความรุนแรงมากอาจถึงขั้นเสียชีวิตภายใน 60 นาที พื้นที่สีส้ม หมายถึง ภายในรัศมี 420 เมตร จากแหล่งกำเนิด มีค่าพลังงานความร้อน 5.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีความรุนแรงในระดับสอง ทำให้ผิวหนังเกิดอาการพองใสขึ้น และถ้าแตกจะมีน้ำใสๆ ออกมาเป็นการทำลายชั้นหนังกำพร้าได้ภายใน 60 นาที และพื้นที่สีเหลือง หมายถึง ภายในรัศมี 654 เมตร จากแหล่งกำเนิด มีค่าพลังงานความร้อน 2.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีความรุนแรงทำให้เกิดอาการปวดแสบปวดร้อนภายใน 60 นาที ในขณะการศึกษาแบบจำลองของรังสีความร้อนชนิดลูกไฟ (Fireball) เนื่องจากการระเบิดของโพรเพน ของถังบรรจุโพรเพนทรงกลม (spherical tank) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22.3 เมตร บรรจุโพรเพน 1,800 ตัน โดยกำหนดเงื่อนไขการเกิดรูรั่วทรงสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตร สูงจากระดับก้นถัง 22.3 เมตร พบว่าภายในรัศมี 1.4 กิโลเมตร มีค่าพลังงานความร้อนสูงสุดที่ได้รับ เท่ากับ 10.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ภายในรัศมี 2.0 กิโลเมตร มีค่าพลังงานความร้อนสูงสุดที่ได้รับ เท่ากับ 5.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร และภายในรัศมี 3 กิโลเมตร มีค่าพลังงาน

ความร้อนสูงสุดที่ได้รับ เท่ากับ 2.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร [25] ปรากฏการณ์ BLEVE ส่งผลกระทบต่อชีวิตทั้งพนักงาน ประชาชน รวมถึงนักดับเพลิงซึ่งส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับถังบรรจุขนาดใหญ่ ที่น่าสนใจคือ นักดับเพลิงที่เสียชีวิตทั้งหมดเกิดขึ้น เกิดจากการที่ผู้ปฏิบัติหน้าที่ที่เข้าไประงับเหตุปรากฏการณ์ BLEVE อาจมองข้ามตัวแปรที่เป็นความเสี่ยงขั้นวิกฤต ดังนั้นความจำเป็นคือการศึกษาและฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานเพื่อกระจายความรู้เกี่ยวกับการระงับเหตุอัคคีภัยจากแก๊สปิโตรเลียมเหลวและที่บรรจุที่ถูกต้อง เป็นการส่งเสริมความปลอดภัยของนักดับเพลิงเพื่อให้สามารถระบุอันตรายจาก BLEVE พร้อมกำหนดการตอบโต้ได้อย่างเหมาะสม [24] ป้องกันไม่ให้เกิดเหตุการณ์ เช่น เหตุการณ์แก๊สโพรเพนรั่วไหลจากถังเก็บ ณ เมือง Feyzin ประเทศฝรั่งเศส เหตุการณ์ดังกล่าวทำให้มีผู้เสียชีวิต 18 ราย ซึ่ง 11 รายเป็นพนักงานดับเพลิงที่เข้าไปปฏิบัติหน้าที่ควบคุมเพลิง [26]

4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาปริมาณไอระเหยของสารบิวเทน บริเวณแผนกบรรจุโดยที่ไอระเหยของบิวเทนบริเวณนี้มีศักยภาพที่จะส่งผลต่อผู้ปฏิบัติงาน จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของบิวเทนในบรรยากาศไม่เกินค่าขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ จึงไม่ส่งผลกระทบในระดับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพผู้ปฏิบัติงานในสภาวะปกติ

เมื่อทำนายผลกระทบจากการรั่วไหลของสารบิวเทน จาก 5 สถานการณ์จำลอง พบว่าการรั่วไหลจากถังเก็บในกรณีที่ไม่ลุดติดไฟ ทั้งในด้านของความเป็นพิษของแก๊สและการเกิดกลุ่มหมอกแก๊สไวไฟ ส่งผลกระทบไกลที่สุดประมาณ 1.2 กิโลเมตร จากบริเวณถังเก็บ ไม่ส่งผลกระทบต่อชุมชนโดยรอบ เนื่องจากรัศมีของผลกระทบที่เกิดขึ้นจากบิวเทนรั่วไหลในทุกกรณีที่ทำกรจำลอง อยู่ห่างจากแหล่งชุมชน แต่อย่างไรก็ตามสิ่งที่ผู้ปฏิบัติงานด้านความปลอดภัยในโรงงานต้องดำเนินการเฝ้าระวังคือการเกิด

ประกายไฟ โดยเฉพาะในบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดระเบิด รวมถึงจำเป็นต้องศึกษาและฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานเพื่อกระจายความรู้เกี่ยวกับการระงับเหตุอัคคีภัย เพื่อกำหนดวิธีการตอบโต้ได้อย่างถูกต้องต่อไปในอนาคต

การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการศึกษาจากสารอันตรายเพียงชนิดเดียวในโรงงานขนาดเล็ก ซึ่งมีปริมาณการจัดเก็บไม่มาก ดังนั้นในการศึกษารั้งต่อไปแนะนำให้ดำเนินการศึกษาเพิ่มเติมในโรงงานหรือในกิจกรรมที่มีการจัดเก็บหรือมีการใช้สารเคมีอันตรายในปริมาณมาก และมีหลายชนิด รวมทั้งดำเนินการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในการทำงาน ได้แก่ การตรวจวัดปริมาณไอระเหยของสารเคมีในสถานที่ทำงาน รวมทั้งศึกษาระยะเวลาการสัมผัสของสารเคมีดังกล่าว กำหนดเป็นแผนตรวจสอบสุขภาพของลูกจ้างตามปัจจัยเสี่ยง ระบุตำแหน่งของสถานที่ ระบุชุมชน และสถานที่สำคัญ เช่น โรงเรียน โรงพยาบาล เป็นต้นที่อยู่โดยรอบ และกำหนดเป็นแผนฉุกเฉิน

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษารั้งนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนการวิจัยจากทุนงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2562 (งบบุคลากรวิจัยและนวัตกรรม) มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ประจำปีงบประมาณ 2562

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- [1] สำนักโรคจากการประกอบอาชีพ, กรมควบคุมโรค. *การวิเคราะห์ความเสี่ยงอุบัติเหตุทางสารเคมี*. นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข; 2558.
- [2] เติลินิวส์. *ระทึกแอมโมเนียรั่วคนงานโรงงานน้ำแข็งวังเหนือ*. เข้าถึงได้จาก: <https://www.dailynews.co.th/regional/137673> [เข้าถึงเมื่อ 13 สิงหาคม 2564]
- [3] MGR online. *แก๊สแอมโมเนีย รง. น้ำดื่มรั่วกลิ่นคูลิ่งทั่วชาวบ้านหนักน้ำจืดห้วย-หามส่ง รพ.เชียงใหม่ 2 ราย*. เข้าถึงได้จาก: <https://mgronline.com/local/detail/9600000095929> [เข้าถึงเมื่อ 23 กรกฎาคม 2563]
- [4] สราวุธ คำฟูบุตร. *ระทึกหวาดเสียว!!! คนขับรถบรรทุกน้ำมันหลับในพุ่งชนตึก*. เข้าถึงได้จาก: <https://www.77kaoded.com/news/big/1005541> [เข้าถึงเมื่อ 23 กรกฎาคม 2563]
- [5] Fox M. *Butane Cigarette Lighter Explosion*. Available from: https://www.chemaxx.com/butane_lighter1.htm [Accessed 27th March 2020].
- [6] Masellis M, Gunn S. *The Management of Mass Burn Casualties and Fire Disasters*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 1992.
- [7] Pieter C. van Beek. *Chemical accident in South Korea with butane*. Available from: <http://www.factsonline.nl/free-example/13836/chemical-accident-in-south-korea-with-butane> [Accessed 23rd July 2020].
- [8] Deaves D, Gilham S, Mitchell B, Woodburn P, Shepherd A. *Modelling of catastrophic flashing releases*. *Journal of Hazardous Materials*. 2001; 88(1): 1-32.
- [9] Occupational safety and health administration. *Sampling and Analytical Methods: n-Butane, PV2010*. Available from: <https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/partial/pv2010/2010.html> [Accessed 23rd July 2020].
- [10] EPA united states environmental protection Agency. *ALOHA Software*. Available from: <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software> [Accessed 23rd July 2020]
- [11] SIGMA-ALDRICH. *เอกสารข้อมูลความปลอดภัย*. เข้าถึงได้จาก: <http://www.chemtrack.org/MSDSSG/Trf/msdst/msdst106-97-8.html> [เข้าถึงเมื่อ 23 กรกฎาคม 2563]
- [12] กรมอุตุนิยมวิทยา. *ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของจังหวัดเชียงรายปี พ.ศ. 2551 – 2561*.

- [13] American Petroleum Institute (API). *Risk-Based Inspection Base Resource Document*. American Petroleum Institute (API); 2000.
- [14] The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). *Butane*. Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/pel88/106-97.html> [Accessed 13rd August 2021].
- [15] National Research Council. *Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 12*. Washington, DC: The National Academies Press; 2012. <https://doi.org/10.17226/13377>.
- [16] กองประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ. เอกสารประกอบการดำเนินงานตอบโต้ภาวะฉุกเฉินด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม เรื่อง มลพิษทางอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพ. กระทรวงสาธารณสุข. 2558
- [17] Fuke C, Miyazaki T, Arao T, Morinaga Y, Takaesu H, Takeda T, Iwamasa T. A fatal case considered to be due to cardiac arrhythmia associated with butane inhalation. *Legal Medicine*. 2002; 4(2): 134-138.
- [18] Sasao A, Yonemitsu K, Ohtsu Y, Mishima S, Nishitani Y. Quantitative determination of n-butane metabolites in three cases of butane sniffing death. *Forensic Science International*. 2015; 254: 180-184.
- [19] Patty FA, Yant WP. *Odor Intensity and Symptoms Produced by Commercial Propane, Butane, Pentane, Hexane, and Heptane Vapor*. Washington, DC: U.S. Department of Commerce, Bureau of Mines; 1929
- [20] วันวิสาข์ เสาศิริ. การประเมินการแพร่กระจายและการระเบิดของแก๊สปิโตรเลียมเหลวจากการรั่วไหลของสถานีบริการแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) ในกรุงเทพมหานคร ด้วยโปรแกรม ALOHA [สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2559.
- [21] กรมโยธาธิการและผังเมือง. คู่มือการคำนวณแรงระเบิดและผลกระทบจากแรงระเบิดที่มีต่อโครงสร้างอาคาร. กระทรวงมหาดไทย. 2559.
- [22] Chamberlain G, Oran E, Pekalski A. Detonations in industrial vapour cloud explosions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2019; 62: 103918.
- [23] Atkinson G, Cowpe E, Halliday J, Painter D. A review of very large vapour cloud explosions: cloud formation and explosion severity. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2017; 48: 367-375.
- [24] Bunn A, Hailwood M. Fire and explosion of LPG tanks at Feyzin, France. *Loss Prevention Bulletin*. 2016; 251: 11-13.
- [25] ณีฐพงษ์ จุลาเกตุโพธิชัย. การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ กรณีการรั่วไหลและการระเบิดของวัตถุอันตราย เพื่อสร้างแผนรองรับเหตุฉุกเฉิน : กรณีศึกษาถังบรรจุแก๊สไฮโดรคาร์บอนเบา ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี [วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย]. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2550.
- [26] Safety Life Thailand, ระเบิดของเหลวเดือดกลายเป็นไอ. เข้าถึงได้จาก: <http://www.safetylifethailand.com/download/News-1129.pdf> [เข้าถึงเมื่อ 24 กรกฎาคม 2020]