

การสร้างแบบจำลองการรั่วไหลของสารทำความเย็น R290 เพื่อกำหนดเส้นทางอพยพ และระยะควบคุมแหล่งกำเนิดประกายไฟ

Modeling the Leak of R290 Refrigerant to Determine the Evacuation Route and the Control Distance of the Ignition Source

ธีระกานต์ สุทรพันธุ์¹ และ อนุสรณ์ สืบสาย²

¹สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, Theerakan.s@ku.ac.th

²สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, fengasn@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การสร้างแบบจำลองการรั่วไหลของสารทำความเย็น R290 จากถังเก็บขนาด 8,949 ลิตร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินระยะการรั่วไหลที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน และเพื่อกำหนดระยะปลอดภัยต่อการป้องกันการเกิดประกายไฟเพื่อป้องกันการติดไฟและการระเบิด โดยวิธีการดำเนินการใช้โปรแกรม ALOHA และแปลผลบน Google Earth และใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา 10 ปีย้อนหลัง (พ.ศ. 2558 - 2567) โดยมีตัวแปรทิศทางลมที่มีความถี่การพัดสูงสุด 5 ลำดับแรกจากสถิติย้อนหลัง คือ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และทิศเหนือ โดยมีอัตราส่วนของทิศทางลมอยู่ที่ร้อยละ 46.7, 23.8, 17.2, 9.8 และ 1.6 ตามลำดับ และจำลองสถานการณ์ตามความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ย 31.7 น็อต โดยกำหนดการรั่วไหลของสารทำความเย็น R290 จากหน้าแปลนท่อส่งใต้ถังเก็บสารทำความเย็น R290 ที่ขนาดรั่วไหล 3 นิ้ว ผลจากการสร้างแบบจำลอง โดยแบ่งเป็น แบบจำลองการรั่วไหลแบบกลุ่มหมอกเป็นพิษ 5 จำลอง ตามระดับอันตรายของการได้รับสัมผัสสารเคมีแบบเฉียบพลัน (Acute Exposure Guideline Levels: AEGLs) ที่ระดับความเข้มข้น AEGL-1 : 5,500 ppm, AEGL-2 : 17,000 ppm และ AEGL-3 : 33,000 ppm โดยพบระยะห่างจากจุดรั่วไหล 205 เมตร 98 เมตร และ 62 เมตรตามลำดับ และพบระยะการรั่วไหลมีผลกระทบต่อจุดอพยพหมายเลข 1 จึงต้องทำการกำหนดจุดอพยพให้เป็นจุดอพยพหมายเลข 2 เพื่อให้เกิดความปลอดภัย กรณีเกิดการรั่วไหลของสารทำความเย็น R290 และแบบจำลองการรั่วไหลแบบกลุ่มหมอกก๊าซไวไฟ 5 แบบจำลอง ตามความเข้มข้นของก๊าซที่ระดับ 2,100 ppm และ 12,600 ppm (ร้อยละ 10 และ 60 ของค่าความเข้มข้นต่ำสุดของก๊าซที่อาจการลุกติดไฟ) โดยมีระยะห่างจากจุดรั่วไหล 390 เมตร และ 119 เมตร ตามลำดับ เพื่อใช้ในการกำหนดเขตควบคุมการเกิดประกายไฟป้องกันการลุกติดไฟและการระเบิด ณ จุดรั่วไหล

คำหลัก: แบบจำลองการรั่วไหล สารทำความเย็น R290 โปรแกรม ALOHA

Abstract

Modeling of R290 refrigerant leakage from an 8,949-liter storage tank, focusing on assessing the leakage distance that affects worker health and determining the safety distance for preventing sparks to prevent ignition and explosion. By using the ALOHA program and interpreting the results on Google Earth using 10 years of meteorological data (2015-2024), with the top 5 wind direction variables with the highest frequency from past statistics being south, southwest, east, northeast, and north, with wind direction ratios of 46.7, 23.8, 17.2, 9.8, and 1.6 percent, respectively, and simulating a situation with an average maximum wind speed of 31.7 knots, determining the leakage of R290 refrigerant from the pipeline flange under the R290 refrigerant storage tank with a leak size of 3 inches. The results of the modeling are divided into 5 toxic fog leak models according to the acute exposure guideline level (Acute Exposure Guideline Levels: AEGLs) at a concentration level of AEGL-1: 5,500 ppm., AEGL-2: 17,000 ppm. and AEGL-3: 33,000 ppm., found at distances of 205 meters, 98 meters and 62 meters, respectively. The leak was found to affect evacuation point No. 1, so the evacuation point must be designated as evacuation point No. 2 for safety in case of R290 refrigerant leak and 5 flammable gas cloud leak models based on gas concentrations at 2,100 ppm and 12,600 ppm (10 and 60 percent of the minimum flammable gas concentration) at distances of 390 meters and 119 meters, respectively, from the leak. These are used to define ignition control zones, prevent ignition and explosion at the leak point.

Keywords: Leak modelling, R290 refrigerant, ALOHA Program

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ภาคอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องปรับอากาศในประเทศไทยได้มีการนำสารทำความเย็นเข้ามาใช้งาน ซึ่งสารทำความเย็นแต่ละชนิดมักมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ทั้งเป็นสารเคมีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังคงคุณสมบัติเป็นสารไวไฟ อีกทั้งอาจเป็นสารเคมีติดไฟ และมีผลกระทบทางด้านสุขภาพหากได้รับการสัมผัส ทำให้การทำงานกับสารทำความเย็นจะต้องระมัดระวังทั้งในเรื่องการติดไฟ การระเบิด และการสัมผัสโดยตรงเป็นอย่างยิ่ง

สถานีกักเก็บและจ่ายที่ใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษาเป็นส่วนหนึ่งของโรงงานผลิตเครื่องปรับอากาศแห่งหนึ่ง ในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง โดยสารทำความเย็น R290 ถูกบรรจุในรูปถังเก็บและจ่ายทรงกระบอกแนวนอนขนาดปริมาตร 8,949 ลิตร หากกรณีเกิดการรั่วไหล และสัมผัสประกายไฟจากแหล่งใกล้เคียงอาจติดไฟย้อนกลับไปที่แหล่งบรรจุจนเกิดความเสียหายวงกว้าง ทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สิน และอาจรวมไปถึงโรงงานที่อยู่ใกล้เคียงได้

จากรายงานข้อมูลสรุปสถิติการเกิดอุบัติเหตุในโรงงานประจำปี พ.ศ. 2562 – 2566 (กองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัยโรงงาน, 2567) กรมโรงงานอุตสาหกรรม การรั่วไหลของสารเคมียังคงเป็นสาเหตุสองอันดับแรกของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น 5 ปี ย้อนหลัง อีกทั้งผลการคัดเลือกประเด็นปัญหาของโรงงานตัวอย่าง เรื่อง การรั่วไหลของสารเคมีจากสถานีกักเก็บและจ่าย ยังเป็นประเด็นที่ยังคงต้องระมัดระวังและต้องเตรียมความพร้อมในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินมาเป็นอันดับแรก อีกทั้งมีการรั่วไหลของ LPG จากโรงงานข้างเคียง 1 ครั้ง แต่ไม่มีข้อมูลอ้างอิงทิศทาง และระยะการรั่วไหลของสารเคมีสำหรับกำหนดเส้นทางอพยพ จุดรวมพลที่ปลอดภัย และขอบเขตสำหรับควบคุมแหล่งกำเนิดประกายไฟในแผนฉุกเฉิน ทำให้เกิดการอพยพ และรวมพลสำหรับผู้ปฏิบัติงานที่อยู่ในพื้นที่ในขอบเขตของการรั่วไหล ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อตัวผู้ปฏิบัติงาน

ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยี หรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เข้าช่วยเหลือในการจัดการและวิเคราะห์ผลกระทบของสารเคมีอันตราย เพื่อนำวางแผนป้องกันผลกระทบจากการรั่วไหลของสารเคมีที่รู้จักในชื่อโปรแกรม Areal Location of Hazardous Atmosphere (ALOHA) เป็นโปรแกรมการคำนวณการแพร่กระจายของสารเคมีที่รั่วไหลในอากาศ โดยสามารถประเมินอันตราย ได้แก่ ความเป็นพิษ ความไวไฟ รั้งสีความร้อน และการระเบิด โดยมีการใช้โปรแกรม ALOHA ในสถานประกอบการต่าง ๆ ได้แก่ 1) การวิเคราะห์เชิงสมรรถนะเพื่อความปลอดภัยต่อชีวิตด้วยโปรแกรม ALOHA และ Pathfinder กรณีศึกษา โรงงานประกอบชิ้นส่วนยานยนต์พบว่าผลกระทบและระยะสัญญาณของเส้นทางอพยพหนีไฟมีความแตกต่างกันในแต่ละสถานการณ์ที่กำหนด จึงมีข้อเสนอให้กำหนดเส้นทางอพยพให้เหมาะสม เพื่อให้สามารถอพยพได้ภายในระยะเวลาที่กฎหมายกำหนด (ไม่เกิน 5 นาที) และเพิ่มตำแหน่งจุดรวมพลอีก 2 จุด เพื่อให้สอดคล้องกับประเภทของอันตรายจากสารเคมีที่อาจรั่วไหลได้ (อภิวัฒน์ เขียวอร่าม, 2563) 2) การประยุกต์โปรแกรม ALOHA เพื่อประเมินผลกระทบและความเสี่ยงการรั่วไหลของก๊าซคลอรีน : กรณีศึกษาก๊าซคลอรีนในโรงงานผลิตคลอรีน พบว่าการอาศัยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาลัยย้อนหลัง 10 ปี รวมถึงปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา เช่น ความเร็วลมสูงสุดและต่ำสุด, ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย, ปริมาณเมฆเฉลี่ย และอุณหภูมิสูงสุด และสร้างแบบจำลองผ่านโปรแกรม Aloha สามารถแสดงระยะการรั่วไหลของก๊าซคลอรีนที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ตามเกณฑ์ ERPGs (Emergency Response Planning Guidelines) มีแนวโน้มแตกต่างกัน โดยพบว่าที่ระดับ ERPG-3 (ระดับอันตรายสูงสุด) การรั่วไหลจากหน้าแปลนของท่อส่งก๊าซและถังเก็บก๊าซสามารถแผ่กระจายได้ไกลถึง 3,900 เมตร ส่วนที่ระดับ ERPG-2 ระยะรั่วไหลสูงสุดจากหน้าแปลนของท่อส่งก๊าซอยู่ที่ 8,500 เมตร และในระดับ ERPG-1 ระยะรั่วไหลอาจขยายไกลกว่า 10,000 เมตร จากทั้งท่อส่งและถังเก็บก๊าซ (ณัฐชยา พลະสุช, 2565)

ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของการศึกษาข้อมูลทิศทาง และระยะการรั่วไหลของสารทำความเย็น R290 จากถังเก็บและจ่ายผ่านโปรแกรม ALOHA และ Google Earth ซึ่งปัจจุบันยังไม่พบข้อมูลการศึกษาที่เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองการรั่วไหลของสารทำความเย็น R290 และเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับแนวทางการจัดทำแผนอพยพไปในจุดที่ปลอดภัยของพนักงาน กำหนดระยะปลอดภัยเพื่อลดความเสี่ยง และควบคุมแหล่งเกิดประกายไฟเพื่อป้องกันการติดไฟ และการระเบิดภายในโรงงาน หรือพื้นที่ข้างเคียง เพื่อให้เกิดความปลอดภัยมากที่สุด

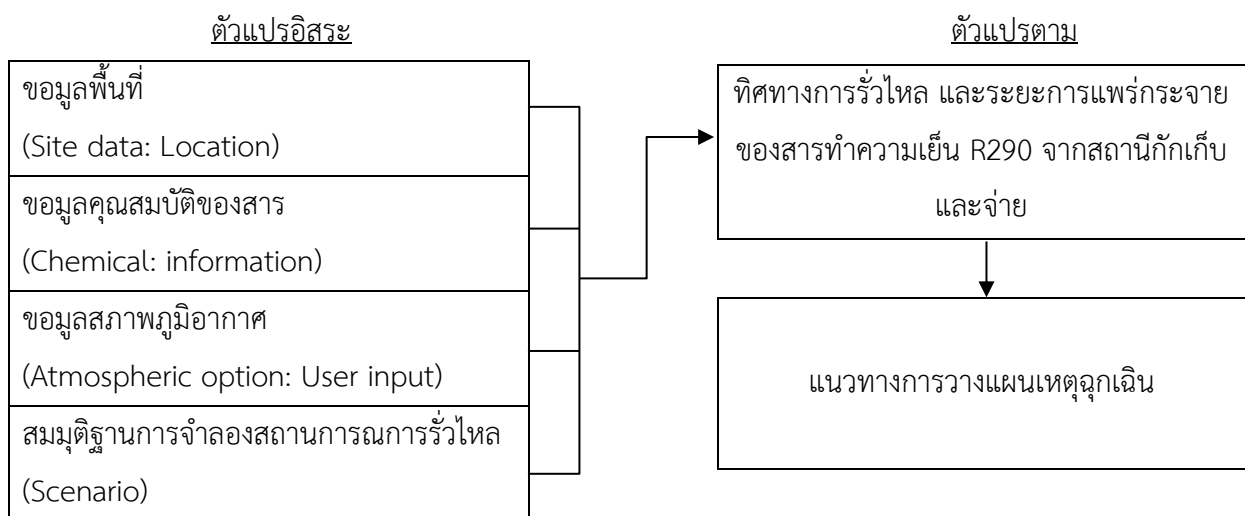
วัดกุประสังค์

1. เพื่อศึกษาระยะการรับรู้ไหล และผลกระทบที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานไปใช้ในการวางแผนเส้นทางอพยพ และกำหนดจุดรวมพลที่ปลอดภัย
2. เพื่อศึกษาระยะการรับรู้ไหลที่อยู่ในช่วงที่มีความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถถูกติดไฟได้ ไปใช้กำหนดระยะควบคุมแหล่งกำเนิดประกายไฟ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงระยะการรั่วไหลของสารทำความเย็น R290 และนำมาใช้ในการวางแผนเส้นทางอพยพ จุดรวมพล และใช้กำหนดระยะควบคุมแหล่งกำเนิดประกายไฟ ในการป้องกันการติดไฟ และการระเบิด
2. สามารถนำข้อมูลการศึกษาครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้กับสารเคมีชนิดอื่นในเขตพื้นที่เดียวกันได้

กรอบแนวคิด



วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้โปรแกรม ALOHA ร่วมกับ Google Earth เพื่อจำลองการแพร่กระจายของก๊าซรั่วไหลใน
อากาศ โดยอ้างอิงข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และแสดงผลบนแผนที่อิเล็กทรอนิกส์

เครื่องมือ โปรแกรม ALOHA (Areal Location of Hazardous Atmospheres) version 5.4.7 (ฟรีลิขสิทธิ์) และโปรแกรม Google earth pro version 7.1 (ฟรีลิขสิทธิ์)

การเก็บและรวบรวมข้อมูล

1 ตำแหน่งที่ตั้ง ถึงกักเก็บและจ่ายสารทำความเย็น R290 ที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเป็นส่วนหนึ่งของโรงงานผลิตเครื่องปรับอากาศแห่งหนึ่ง ในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ระดับความสูงจาก

ระดับน้ำทะเล 0.5 เมตร ละติจูด $13^{\circ}46' N$ ลองจิจูด $100^{\circ}47' E$ โดยถังเก็บสารทำความเย็น R290 เป็นถัง
แนวนอน ขนาด 8,949 ลิตร โดยภายในโรงงานมีการแบ่งจุดอพยพทั้งหมด 2 จุด ดังแสดงในภาพ 1



ภาพ 1 แสดงตำแหน่งที่ตั้งถังเก็บและจ่ายสารทำความเย็น R290 และจุดรวมพล

2. ข้อมูลสารเคมีในโปรแกรม ALOHA สารทำความเย็น R290 คือ โพรเพน ร้อยละ 99 จากเอกสาร

ข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี (SDS)

สารเคมี : ก๊าซโพรเพน (C_3H_8)

CAS Number: 74-98-6

น้ำหนักโมเลกุล : 44.10 กรัม/โมล

จุดเดือด : - 42.00 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของการจุดติดไฟ : 460-580 องศาเซลเซียส

ความหนาแน่นไอ : 1.5 เท่า

ความหนาแน่น : 0.51

ขีดจำกัดของการติดไฟ : ร้อยละ 2.0 – 10.0 ของก๊าซในอากาศ

สัมประสิทธิ์ของการขยายตัวของ R290 ที่ 15 องศาเซลเซียส : 0.00300 ต่อ 1 องศาเซลเซียส

IDLH: 2100 ppm

3. ข้อมูลแหล่งกำเนิดการรั่วไหล ถังเก็บและจ่ายสารทำความเย็น R290 ถังเก็บสารทำความเย็น R290 เป็นถังแนวนอน ขนาด 8,949 ลิตร มีปริมาณสารเคมีในถังร้อยละ 85 ของปริมาตรถังเพื่อให้มีที่ว่างในการขยายตัวของก๊าซที่เป็นของเหลว ที่ความดัน 7 บาร์ และอุณหภูมิสารเคมี 28 องศาเซลเซียส โดยปริมาณเก็บสูงสุด 1 ถัง ในพื้นที่โล่ง บริเวณโดยรอบเป็นอาคารโรงงานชั้นเดียว ทำการจำลองสถานการณ์ 2 รูปแบบ คือ 1) Toxic Area of Vapor Cloud. 2) Flammable area of vapor cloud จำลองสถานการณ์การเกิดรั่วขนาด 3 นิ้ว ที่ท่อข้อต่อหน้าแปลน (Pipe flange of tank failure) บริเวณวาล์วที่หัวถังสูง 85 เซนติเมตร

4. ข้อมูลสภาพอากาศ สภาพภูมิอากาศจะใช้สถิติ 10 ปี ย้อนหลัง เป็นค่าเฉลี่ยทั้งปี ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วลมโดยวัดที่ระดับความสูง 10 เมตร ปริมาณเมฆปกคลุมบนท้องฟ้า และความชื้นสัมพัทธ์ จากสถานีตรวจวัดอากาศสถานที่ตั้งสถานีอุตุนิยมวิทยาสุวรรณภูมิ เลขที่สถานี 429601 ต.ราชาเทวะ อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ Latitude 13.3772222 Longitude 100.5994444 เนื่องจากเป็นสถานที่ตั้งสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ใกล้กับที่ตั้งของสถานที่กักเก็บและจ่ายสารทำความเย็น R290 ที่ใช้เป็นกรณีศึกษามากที่สุด ความเร็วลมคือ ค่าความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดรายเดือนของ 10 ปีย้อนหลังเท่ากับ 31.5 น็อต (16.21 m/s) เนื่องจากความเร็วลมสูงสุดมีผลให้การแพร่กระจายออกไปในระยะทางไกลที่สุดเพื่อใช้ประเมินระยะการรั่วไหลข้อมูลทิศทางลมที่เป็นทิศทางลมที่มีความถี่การพัดสูงสุด 5 ลำดับแรกแบ่งเป็น ทิศใต้ (S) ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ทิศตะวันออก (E) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) และทิศเหนือ (N) โดยมีอัตราส่วนของทิศทางลมอยู่ที่ร้อยละ 46.7, 23.8, 17.2, 9.8 และ 1.6 ตามลำดับ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2568)

5. สร้างแบบจำลองการรั่วไหลและการแปรผล

จากการรวบรวมข้อมูลข้อ 1-4 นำข้อมูลป้อนลงในโปรแกรม ALOHA โดยโปรแกรมจะแปลผลออกมาเป็นระยะทางการรั่วไหลกรณีผลกระทบต่อสุขภาพ จะแบ่งระดับความเข้มข้นสารทำความเย็น R290 ที่รั่วไหลที่มีผลกระทบต่อสุขภาพตามระดับอันตรายของการได้รับสัมผัสสารเคมีแบบเฉียบพลัน (Acute Exposure Guideline Levels: AEGs) เป็นค่ามาตรฐานที่กำหนดโดย U.S. Environmental Protection Agency (EPA) เพื่อใช้ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนจากการสัมผัสสารเคมี 3 ระดับ ภาพ 2 (ก) ได้แก่

1) AEG-1 5,500 ppm คือ ค่าความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศที่ระดับ 5,500 ppm คาดว่าประชาชนทั่วไปหรือคนที่อ่อนแอกว่าปกติอาจรู้สึกไม่สบาย ระคายเคือง ผลกระทบหรืออาการนั้นคงอยู่ชั่วคราว

2) AEG-2 17,000 ppm คือ ค่าความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศที่ระดับ 17,000 ppm คาดว่าประชาชนทั่วไปหรือคนที่อ่อนแอกว่าปกติอาจได้รับผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น: หอบหืดชั่วคราว หายใจลำบาก มีอาการเวียนศีรษะอย่างรุนแรง แต่ยังไม่ถึงขั้นเสียชีวิต หรือทำให้เกิดความเสียหายถาวรต่อร่างกาย

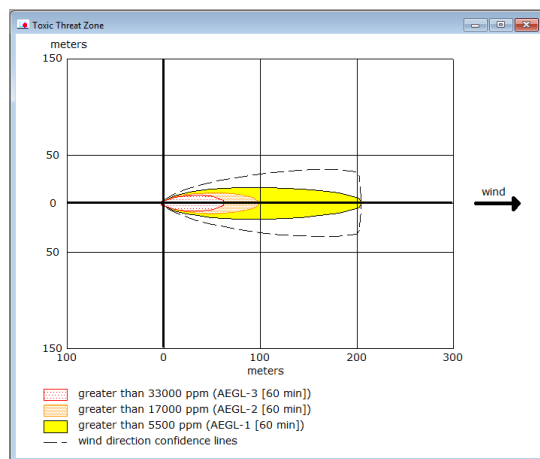
3) AEG-3 33,000 ppm คือ ค่าความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศที่ระดับ 17,000 ppm คาดว่าประชาชนทั่วไปหรือคนที่อ่อนแอกว่าปกติอาจได้รับผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น หอบหืดรุนแรง หรือเสียชีวิต (ธนวัฒน์ เทียมทะนงค์, 2563)

และโปรแกรมจะแปลผลแสดงระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัย (Level of Concern: LOC) ค่าความเข้มข้นที่สามารถระเบิดได้ในโปรแกรม ALOHA แบ่งออกเป็น 2 ระดับ ภาพ 2 (ข) ได้แก่

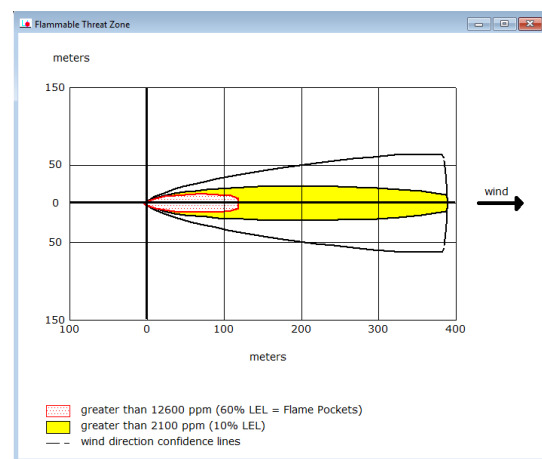
1) 10% LEL คือ ระดับความเข้มข้นของสารเคมีที่ระดับ 10% ของค่าที่จะเกิดการติดไฟหรือระเบิดได้ต่ำสุด (Lower Explosive Limit)

2) 60% LEL คือ ระดับความเข้มข้นของสารเคมีที่ระดับ 60% ของค่าที่จะเกิดการติดไฟหรือระเบิดได้ต่ำสุด (Lower explosive limit) ความเข้มข้นระดับนี้ พบว่าสามารถเกิดกลุ่มก้อนของสารเคมีที่สามารถระเบิดได้ (วันวิสาข์ เสาศิริ, 2559)

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม ALOHA โดยอธิบาย Footprint ของค่าความเข้มข้น รัศมีการแพร่กระจาย ขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ และนำเสนอผลการประเมินการแพร่กระจายพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบบนแผนที่โดยใช้โปรแกรม Google earth (ธนวัฒน์ เทียมทะนงค์, 2563) เพื่อพิจารณาเส้นทางอพยพ และจุดรวมพลที่เหมาะสม รวมถึงใช้ระยะทางการรั่วไหลในการกำหนดพื้นที่ควบคุมประกายไฟ เช่น การไม่สตาร์ทเครื่องยนต์ พาหนะ การไม่ติดตั้งเครื่องจักร หรือมีกระบวนการผลิตที่ก่อให้เกิดประกายไฟ ในระยะการรั่วไหล



ภาพ 2 (ก) ระยะ AEGL ของสารทำความเย็น R290



ภาพ 2 (ข) ระยะ LOC ของสารทำความเย็น R290

ผลการวิจัย

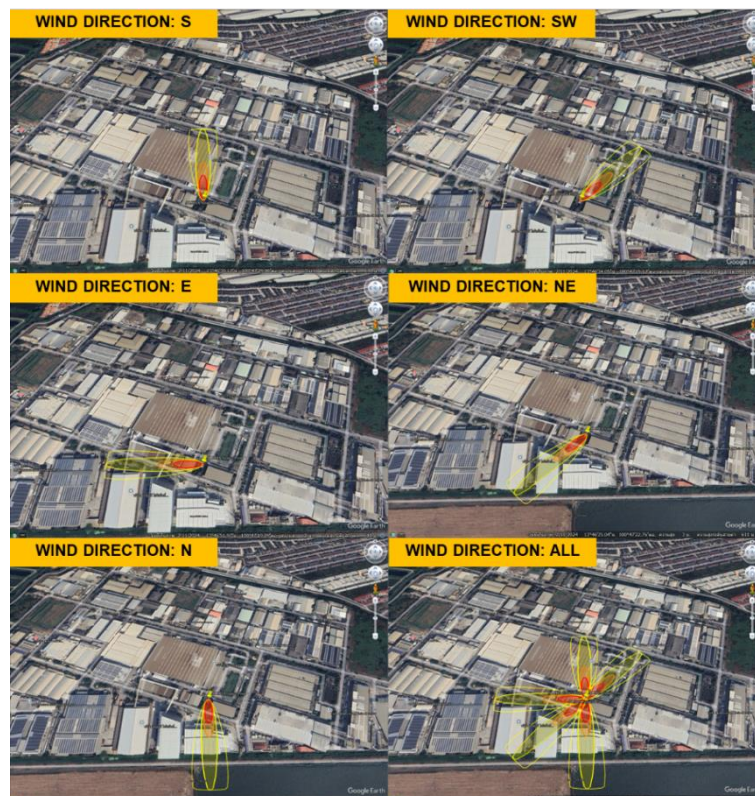
จากการจำลองการรั่วไหลของสารทำความเย็น R290 จะได้แบบจำลองทั้งสิ้น 10 แบบจำลอง ภาพ 3 และ ภาพ 6 เป็นการนำภาพ Footprint จากโปรแกรม ALOHA นำเข้าสู่โปรแกรม Google earth เพื่อแสดงตำแหน่ง และระยะการรั่วไหล โดยแบ่งเป็น

1. การรั่วไหลแบบกลุ่มหมอกเป็นพิษ (Toxic area of vapor cloud) 5 แบบจำลอง ภาพ 5

รัศมีการแพร่กระจายในพื้นที่สีแดง AEGL-3 ค่าความเข้มข้น 33,000 ppm พบว่ามีระยะห่างจากถังเก็บแก๊บและจ่ายสารทำความเย็น R290 ที่ระยะ 62 เมตร (ตารางที่ 4) อาจทำให้ผู้คนที่อยู่ในระยะการรั่วไหลนี้เกิดอันตรายเนื่องจากในบริเวณพื้นที่รั่วไหล ออกซิเจนในอากาศลดลง จนเกิดภาวะขาดอากาศหายใจ (asphyxiation) ซึ่งเป็นอันตรายถึงชีวิต

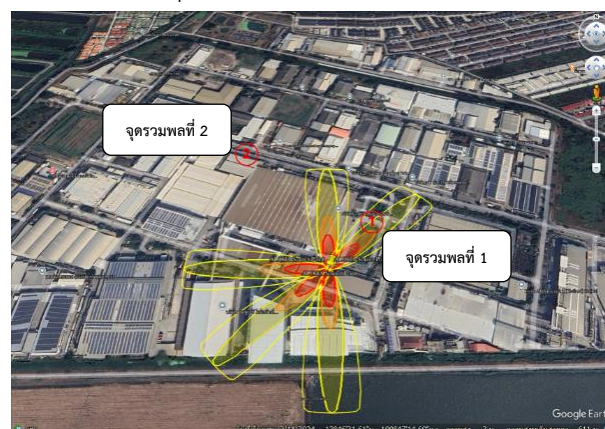
รัศมีการแพร่กระจายในพื้นที่สีส้ม AEGL-2 ค่าความเข้มข้น 17,000 ppm พบว่ามีระยะห่างจากถังเก็บแก๊บและจ่ายสารทำความเย็น R290 ที่ระยะ 98 เมตร (ตารางที่ 4) สามารถส่งผลกระทบต่อผู้คนที่อยู่ในระยะการรั่วไหลนี้ และหากเกิดการสัมผัสเป็นเวลานานจะทำให้ หมดสติชั่วคราว หรือหายใจลำบาก

รัศมีการแพร่กระจายในพื้นที่สีเหลือง AEGL-1 ค่าความเข้มข้น 5,500 ppm พบว่ามีระยะห่างจากสถานี ถังเก็บแก๊บและจ่ายสารทำความเย็น R290 ที่ระยะ 205 เมตร (ตารางที่ 4) สามารถส่งผลกระทบต่อผู้คนที่อ่อนแอกว่าปกติ หากการรั่วไหลเข้าไปในพื้นที่ปิดอาจทำให้ผู้คนที่อยู่ในระยะนี้ รู้สึกหายใจลำบาก เวียนหัว มึนงง คลื่นไส้ หากอยู่ในพื้นที่ปิดนาน



ภาพ 3 แบบจำลองการรั่วไหลของสารทำความเย็น R290 แบบกลุ่มหมอกเป็นพิษ บนโปรแกรม Google earth โดยลมพัดจากทิศทิศใต้ (S) ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ทิศตะวันออก (E) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) และทิศเหนือ (N) แบบแยก และรวมการแพร่กระจาย

จากแบบจำลองการรั่วไหลแบบกลุ่มหมอกเป็นพิษของสารทำความเย็น R290 โดยโปรแกรม Aloha ได้ทำการวิเคราะห์แนวทางแก้ปัญหาจากผลกระทบตามแบบจำลองต่อจุดอพยพหมายเลข 1 ที่ได้รับผลกระทบจากสารทำความเย็น R290 รั่วไหล จึงมีความจำเป็นต้องกำหนดจุดอพยพเพื่อให้เกิดความปลอดภัยตามภาพ 4 โดยกำหนดแผนอพยพไปยังจุดอพยพหมายเลข 2 เพียงจุดเดียว ในกรณีเกิด R290 รั่วไหล



ภาพ 4 แบบจำลองการรั่วไหลของสารทำความเย็น R290 บนโปรแกรม Google earth ลมที่พัดรวมการแพร่กระจายทั้ง ทั้ง 5 แบบจำลอง เปรียบเทียบกับจุดอพยพที่แนะนำเพื่อความปลอดภัย

2. การรั่วไหลแบบกลุ่มหมอกก๊าซไวไฟ (Flammable Vapor Cloud) 5 แบบจำลอง ภาพ 5

เมื่อเกิดการรั่วไหลของสารทำความเย็น R290 และอยู่ในสถานะก๊าซหรือไอระเหย จนก่อตัวเป็นกลุ่มไอระเหยลอยตัวอยู่ในอากาศ ซึ่งสามารถติดไฟหรือระเบิดได้หากพบแหล่งจุดติดไฟ (Ignition Source) โดยกำหนดขอบเขตความเข้มข้นของก๊าซที่ร้อยละ 10 ของค่า LEL หรือ 2,100 ppm โดยระยะสูงสุดจากจุดที่รั่วไหลอยู่ที่ระยะ 390 เมตร (ตารางที่ 4) ซึ่งขอบเขตดังกล่าวจะนำมากำหนดเป็นขอบเขตที่ใช้ในการควบคุมประกายไฟเมื่อเกิดเหตุ โดยจะกำหนดเป็นมาตรการในแผนฉุกเฉิน และในขณะเกิดเหตุ เช่น ห้ามสตาร์ทรถที่จอดในบริเวณดังกล่าว หยุดกิจกรรมที่ก่อให้เกิดประกายไฟ เช่น การเชื่อม

และเมื่อเกิดการรั่วไหลของสารทำความเย็น R290 ทำให้เกิดกลุ่มหมอกก๊าซไวไฟกระจาย โดยกำหนดขอบเขตความเข้มข้นของก๊าซที่ร้อยละ 60 ของค่า LEL หรือ 12,600 ppm โดยระยะสูงสุดจากจุดที่รั่วไหลอยู่ที่ระยะ 119 เมตร (ตารางที่ 4) ซึ่งขอบเขตดังกล่าวจะถูกนำมากำหนดเป็นขอบเขตที่ใช้ในการควบคุมประกายไฟอย่างเคร่งครัด ตั้งแต่การวางแผนผังโรงงาน และกำหนดเป็นมาตรการในแผนฉุกเฉิน เพื่อไม่ให้มีกิจกรรมที่ก่อให้เกิดประกายไฟในบริเวณขอบเขตนี้ รวมถึงมาตรการควบคุมอื่นๆ เช่น การห้ามสูบบุหรี่ หรือกำหนดพื้นที่ห้ามจอดยานพาหนะ



ภาพ 5 แบบจำลองการรั่วไหลของสารทำความเย็น R290 แบบกลุ่มหมอกก๊าซไวไฟบนโปรแกรม Google earth โดยลมพัดจากทิศทิศใต้ (S) ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ทิศตะวันออก (E) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) และทิศเหนือ (N) แบบแยก และการแพร่กระจาย

ตารางที่ 4 แสดงระยะการรั่วไหล จากการทำนายของโปรแกรม ALOHA

ตำแหน่งการรั่วไหล	ทิศทางลม	ขอบเขตการรั่วไหลแบบหมอกพิษ (เมตร)			ขอบเขตการรั่วไหลก๊าซไวไฟ (เมตร)	
		สีแดง	สีส้ม	สีเหลือง	สีแดง	สีเหลือง
ท่อเชื่อมต่อหน้าแปลน	S	62	98	205	119	390
ท่อเชื่อมต่อหน้าแปลน	SW	62	98	205	119	390
ท่อเชื่อมต่อหน้าแปลน	E	62	98	205	119	390
ท่อเชื่อมต่อหน้าแปลน	NE	62	98	205	119	390
ท่อเชื่อมต่อหน้าแปลน	N	62	98	205	119	390

สรุปผลการวิจัย

การสร้างแบบจำลองการรั่วไหลของสารทำความเย็น R290 ด้วยโปรแกรม ALOHA และแปลผลด้วยแผนที่อิเล็กทรอนิกส์ (Google Earth) มีตัวแปรของสถิติทิศทางลมที่เกิดขึ้นจริงตามข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา 5 ทิศทาง คือ ทิศใต้ (S) ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ทิศตะวันออก (E) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) และทิศเหนือ (N) โดยมีอัตราส่วนของทิศทางลมอยู่ที่ร้อยละ 46.7, 23.8, 17.2, 9.8 และ 1.6 ตามลำดับ และศึกษาจุดรั่วไหลจากหน้าแปลนของท่อส่งก๊าซได้ถึงกักเก็บ โดยมีแบบจำลองทั้งสิ้น 10 แบบจำลอง โดยแบ่งเป็น แบบจำลองการรั่วไหลแบบกลุ่มหมอกเป็นพิษ 5 จำลอง ตามระดับอันตรายของการได้รับสัมผัสสารเคมีแบบเฉียบพลัน (Acute Exposure Guideline Levels: AEGLs) ที่ระดับความเข้มข้น AEGL-1 : 5,500 ppm, AEGL-2 : 17,000 ppm และ AEGL-3 : 33,000 ppm โดยพบระยะห่างจากจุดรั่วไหล 205 เมตร 98 เมตร และ 62 เมตรตามลำดับ จากแบบจำลองพบระยะการรั่วไหลมีผลกระทบต่อจุดอพยพหมายเลข 1 จึงต้องทำการกำหนดจุดอพยพให้เป็นจุดอพยพหมายเลข 2 เพื่อให้เกิดความปลอดภัย กรณีเกิดการรั่วไหลของสารทำความเย็น R290 และแบบจำลองการรั่วไหลแบบกลุ่มหมอกก๊าซไวไฟ 5 แบบจำลอง ตามความเข้มข้นของก๊าซที่ระดับ 2,100 ppm และ 12,600 ppm (ร้อยละ 10 และ 60 ของค่าความเข้มข้นต่ำสุดของก๊าซที่อาจการลุกติดไฟ) โดยมีระยะห่างจากจุดรั่วไหล 390 เมตร และ 119 เมตร ตามลำดับ เพื่อใช้ในการกำหนดเขตควบคุมการเกิดประกายไฟ เพื่อป้องกันการลุกติดไฟและการระเบิด ณ จุดรั่วไหล

อภิปรายผล

จากผลการสร้างแบบจำลองการรั่วไหลของสารทำความเย็น R290 (โพรเพน) ในงานวิจัยฉบับนี้ พบว่าแนวโน้มของผลการแพร่กระจายของสารเคมีมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาในอดีต เช่น งานวิจัยของ (ณัฐชา พลสุข, 2565) และ (อภิวัฒน์ เขียวอร่าม, 2563) ซึ่งได้ดำเนินการศึกษาการรั่วไหลของก๊าซคลอรีนและก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) โดยใช้โปรแกรม ALOHA และแสดงผลการแพร่กระจายผ่านระบบแผนที่ Google Earth เช่นเดียวกัน งานวิจัยทั้งสองฉบับได้อ้างอิงข้อมูลทิศทางลมจากกรมอุตุนิยมวิทยาใน 5 ทิศทางหลัก และได้ทำการ

จำแนกลักษณะของอันตรายที่อาจเกิดจากการรั่วไหลของสารเคมีออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) การรั่วไหลที่ไม่เกิดการลุกติดไฟ (Toxic Area of Vapor Cloud) และ 2) การรั่วไหลที่ก่อให้เกิดหมอกก๊าซไวไฟ (Flammable Vapor Cloud) ซึ่งแนวทางการวิเคราะห์นี้สอดคล้องกับกรอบแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัยฉบับปัจจุบัน

นอกจากนี้ ยังพบว่างานวิจัยทั้งหมดให้ความสำคัญกับการประเมินผลกระทบต่อการอพยพของบุคลากรในพื้นที่เสี่ยง โดยการกำหนดระยะปลอดภัยและจุดอพยพในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน ซึ่งถือเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยในการจัดทำแผนรองรับภาวะวิกฤตได้อย่างเป็นระบบ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าแบบจำลองการแพร่กระจายของสารเคมีที่ได้จากโปรแกรม ALOHA จะมีความน่าเชื่อถือและประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว แต่จากผลการศึกษาที่รวมถึงงานของ (กิจจา จิตรภิมย์, 2566) แสดงให้เห็นว่า หากไม่มีการนำข้อมูลด้านสภาพอุตุนิยมวิทยา เช่น ความเร็วลมหรือเสถียรภาพของชั้นบรรยากาศ เข้ามาประกอบในการพิจารณา แบบจำลองที่ได้อาจให้ผลการแพร่กระจายในระยะต่าง ๆ ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากปริมาณก๊าซตัวอย่างที่ใช้ในการจำลองซึ่งไม่เท่ากัน รวมถึงปัจจัยอื่น ๆ เช่น ขนาดรูรั่ว ความดัน และความเข้มข้นของก๊าซที่แตกต่างกัน

จุดเด่นของโปรแกรม ALOHA คือสามารถใช้งานได้ง่าย มีความคล่องตัวในการประเมินสถานการณ์ฉุกเฉิน และให้ผลการประมวลผลที่รวดเร็ว จึงเหมาะสำหรับใช้ในการวางแผนการอพยพ ป้องกันเหตุระเบิด และการวิเคราะห์ความเสี่ยงเบื้องต้น อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของโปรแกรมหดงกล่าว คือ ความแม่นยำของแบบจำลองจะลดลงเมื่อใช้กับพื้นที่ที่มีความเร็วลมต่ำ หรือมีสิ่งกีดขวางจำนวนมาก ซึ่งอาจมีผลต่อรูปแบบการแพร่กระจายของสารเคมีอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ในพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิอากาศที่มีความเสถียรสูง อาจต้องการระยะทางที่มากขึ้นจากแหล่งรั่วไหลในการตรวจจับผลกระทบ

ผลการวิจัยในครั้งนี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่นที่มีลักษณะทางภูมิอากาศและลักษณะกายภาพใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะในบริเวณโรงงานหรือพื้นที่อุตสาหกรรมที่มีความเสี่ยงต่อการรั่วไหลของสารไวไฟ ทั้งยังสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบในการจัดทำแผนเตรียมความพร้อมและแผนตอบโต้เหตุฉุกเฉิน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันและลดความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นจากอุบัติเหตุจากสารเคมีในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาวิจัยในอนาคต ควรมีการประยุกต์ใช้โปรแกรมการสร้างแบบจำลองที่สามารถวิเคราะห์ขอบเขตและทิศทางการรั่วไหลอย่างแม่นยำ โดยนำข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมโดยรอบ เช่น สิ่งกีดขวาง กำแพง และตัวอาคาร มาเป็นองค์ประกอบการสร้างแบบจำลอง ซึ่งจะช่วยให้แบบจำลองมีความใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้การกำหนดเส้นทางอพยพและระยะปลอดภัยมีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ควรมีการจำลองการอพยพของผู้ใช้อาคาร ด้วยโปรแกรม Pathfinder ซึ่งสามารถคำนวณระยะเวลาในการอพยพไปยังจุดรวมพล และนำไปสู่การจัดทำแผนฉุกเฉินที่ครอบคลุมและเพิ่มประสิทธิภาพด้านความปลอดภัยได้ดียิ่งขึ้น

2. ควรนำข้อมูลเกี่ยวกับระยะการรั่วไหลของสารทำความเย็น R290 มาจัดทำแผนเตรียมความพร้อมและแผนตอบโต้สถานการณ์ฉุกเฉินให้ครอบคลุม โดยควรมีการฝึกซ้อมร่วมกับพื้นที่ข้างเคียง รวมถึงหน่วยงานที่

เกี่ยวข้อง เพื่อสร้างความพร้อมในการเผชิญเหตุจริง ลดความเสี่ยงและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น ทั้งในระดับบุคคล และระดับองค์กร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยงานต้นสังกัด และกรมอุตุนิยมวิทยาในการสนับสนุนข้อมูล ขอขอบคุณคณะอาจารย์ ที่ปรึกษา และผู้ให้คำปรึกษาทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำสนับสนุนจนทำให้การศึกษานี้สำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กรมอุตุนิยมวิทยา, (2568, 6 มกราคม). บริการข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระหว่างปี พ.ศ. 2558 – 2567.

<https://www.tmd.go.th/service/tmdData>

กองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัยโรงงาน. (2567, 7 ธันวาคม). ข้อมูลสถิติอุบัติเหตุ.

<http://reg3.diw.go.th/safety/อุบัติเหตุ>

กิจจา จิตรภิมย์, เบญจมาภรณ์ ดรตะโกน, ภูวดล สารผล, และณัฐพร บุญโต. (2566). การจำลองสถานการณ์ และผลกระทบจากการรั่วไหลของรถบรรทุกถัง ก๊าซปิโตรเลียมเหลวจากการขนส่งด้วยโปรแกรม ALOHA และ Google Earth บน ถนนบางนา-ตราด กม.19 จังหวัดสมุทรปราการ. วารสารก้าวหน้าโลกวิทยาศาสตร์, 24(1), 102-126.

ณัฐชา พลสุข. (2565). การประยุกต์โปรแกรม ALOHA เพื่อประเมินผลกระทบและความเสี่ยงการรั่วไหลของ ก๊าซคลอรีน: กรณีศึกษาก๊าซคลอรีนในโรงงานผลิตคลอรีน. การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 5, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ชลบุรี, ประเทศไทย.

ธนวัฒน์ เทียมทะนงค์. (2563). การสร้างแบบจำลองการรั่วไหลของก๊าซปิโตรเลียมเหลวในลักษณะสามมิติ ด้วย โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ เพื่อกำหนดระยะปลอดภัย. การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 4, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ชลบุรี, ประเทศไทย.

วันวิสาข์ เสาศิริ. (2559). การประเมินการแพร่กระจายและการระเหิดของก๊าซปิโตรเลียมเหลว จากการรั่วไหลของสถานีบริการก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ในกรุงเทพมหานคร ด้วยโปรแกรม ALOHA [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์].

สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา. (2568, 7 มกราคม). Acute Exposure Guideline Levels.

<https://www.epa.gov/aegl/propane-results-aegl-program>

อภิวัฒน์ เขียวอร่าม. (2563). การวิเคราะห์เชิงสมรรถนะ เพื่อความปลอดภัยต่อชีวิตด้วยโปรแกรม ALOHA และ Pathfinder กรณีศึกษาโรงงานประกอบชิ้นส่วนยานยนต์. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์].