

ภาคผนวก ก

การวิจัย

การประเมินความเสี่ยงจากอันตรายของสถานีบริการก๊าซธรรมชาติรถยนต์

Hazard Risk Assessment for NGV Filling Station

1. กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับสถานีบริการก๊าซธรรมชาติรถยนต์ในประเทศไทย

สถานีบริการก๊าซธรรมชาติรถยนต์ในประเทศไทยอยู่ภายใต้การกำกับของกฎหมายหลักที่เกี่ยวข้องกับด้านความปลอดภัยของสาธารณชน ดังนี้

1.1 พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535

1.2 ประกาศของคณะปฏิวัติ ฉบับที่ 103 ลงวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2515 ว่าด้วยการคุ้มครองแรงงาน

1.3 พระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ. 2518

1.4 พระราชบัญญัติรถยนต์ พ.ศ. 2522

1.5 พระราชบัญญัติขนส่งทางบก พ.ศ. 2522

1.6 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2535

1.7 พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535

1.8 พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535

1.9 พระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2541

2. การป้องกันภัยสาธารณชนของกฎหมาย

ตามพระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ. 2518, พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 จะมีกฎกระทรวงหรือประกาศกระทรวง ซึ่งจะกำหนดเขตพื้นที่บางแห่งให้สามารถประกอบกิจการสถานบริการก๊าซธรรมชาติรถยนต์ได้

นอกจากนี้ยังมีกฎหมายที่กำหนดระยะปลอดภัยภายนอกของสถานประกอบการ คือตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และมาตรฐานความปลอดภัยของสถานบริการก๊าซธรรมชาติที่กรมธุรกิจพลังงานมีอำนาจหน้าที่รับผิดชอบ พ.ศ. 2546 ออกตามความในพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ข้อ 21 ซึ่งบัญญัติว่า “สถานบริการต้องมีระยะห่างระหว่างเขตสถานบริการกับอาคารสถานทูต โรงเรียน สถานพยาบาล โรงมหรสพ สนามกีฬา หรือศูนย์การค้า ไม่น้อยกว่า 60.00 เมตร เว้นแต่อาคารสาธารณะที่กล่าวข้างต้น จะมีขึ้นภายหลังที่ผู้ประสงค์จะประกอบกิจการได้ยื่นคำขอรับใบอนุญาตไว้แล้ว” และข้อ 22 ซึ่งบัญญัติว่า “สถานบริการต้องมีระยะห่างระหว่างเขตสถานบริการ กับเขตพระราชฐานไม่น้อยกว่า 500 เมตร”

3. แนวทางการประเมินความเสี่ยงในประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยการประเมินความเสี่ยงยังเป็นวิชาการที่อยู่ในวงจำกัด ซึ่งจะมีสถานประกอบการเฉพาะกลุ่มที่มีกฎหมายบังคับให้ทำการประเมินความเสี่ยง โดยมีกฎหมายและคู่มือในการประเมินความเสี่ยงที่ตีพิมพ์เผยแพร่ ได้แก่

3.1 การประเมินความเสี่ยงตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535

3.2 การประเมินความเสี่ยงตามพระราชบัญญัติโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2535

3.3 คู่มือการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงในระดับท้องถิ่น กรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2545

3.4 คู่มือการชี้แจงอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำรายงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2544

4. การประเมินความเสี่ยงตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535

แนวทางของกฎหมายดังกล่าว ๑ ประกอบไปด้วย

4.1 ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ ระเบียบปฏิบัติและแนวทางในการจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (พ.ศ. 2535)

4.2 ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ ระเบียบปฏิบัติและแนวทางในการจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535)

4.3 ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ ระเบียบปฏิบัติและแนวทางในการจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539)

ซึ่งได้กำหนดประเภทและขนาดของโครงการหรือกิจการของส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ หรือเอกชน และได้กำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ ระเบียบปฏิบัติและแนวทางในการจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมไว้อย่างกว้าง ๆ

5. การประเมินความเสี่ยงตามพระราชบัญญัติโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2535

แนวทางของกฎหมายดังกล่าว ๑ ประกอบไปด้วย

5.1 ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2542) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการดำเนินงานที่

กำหนดหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง

5.2 ระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543

ซึ่งได้กำหนดหลักเกณฑ์วิธีการในการชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยงสำหรับอุตสาหกรรมบางประเภท

6. คู่มือการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงในระดับท้องถิ่น กรมโรงงานอุตสาหกรรม

ศูนย์เทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้พัฒนาคู่มือการชี้บ่งอันตราย และการประเมินความเสี่ยงในชุมชนระดับท้องถิ่น (Hazard Identification and Evaluation in Local Community) เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินความเสี่ยงแก่ภาครัฐและเอกชน ซึ่งอาศัยแนวทางของ Awareness and Preparedness for Emergency at Local Level: APELL ซึ่งเป็นโครงการของ United Nations Environment Programmer's Industry and Environment Programmer Activity Center (UNEP IE/PAC) (เฮเลน: 2544)

7. คู่มือการชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำรายงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม

กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้พัฒนาคู่มือการชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำรายงาน เพื่อเป็นแนวทางในการจัดทำรายงานการวิเคราะห์ความเสี่ยงจากอันตรายที่อาจเกิดจากการประกอบกิจการโรงงาน ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2542) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการดำเนินงาน และระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม: 2545)

8. แนวทางในการประเมินความเสี่ยงและอันตรายของต่างประเทศ

ในต่างประเทศโดยเฉพาะสหรัฐอเมริกา มีคู่มือซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการประเมินความเสี่ยงและอันตรายที่นำมาปรับใช้กับสถานบริการก๊าซธรรมชาติรถยนต์ เช่น

8.1 Handbook of Chemical of Hazard Analysis Procedures (1989) ซึ่งเป็นการพัฒนา
ร่วมกันระหว่าง U.S. Federal Emergency Management Agency: FEMA, U.S. Department of
Transportation: DOT, U.S. Environmental Protection Agency: EPA

8.2 Risk Management Program Guidance for Offsite Consequence Analysis (EPA 550-B-
99-009 April 1999) ซึ่งพัฒนาโดย U.S. Environmental Protection Agency: EPA ออกตามความใน
มาตรา 112(R) ของ “Clean Air Act: CAA”

8.3 Military Standard System Safety Program Requirements: MIL-STD-882C (1993)
ของ U.S. Department of Defense ซึ่งพัฒนาสำหรับใช้ในหน่วยงานทางทหาร ซึ่ง U.S. Department
of Transportation ได้เผยแพร่แนะนำให้ใช้ไว้ในคู่มือ “Design Guidelines for Bus Transit System
Using Compressed Natural Gas as Alternative Fuel” (DOT-VNTSC-TA-96-3) ตามโครงการ
“Clean Air Program”

8.4 Awareness and Preparedness For Emergency at Local Level: APELL ซึ่งเป็นโครงการ
ของ United Nations Environment Programmer’s Industry and Environment Programmer Activity
Center (UNEP IE/PAC)

8.5 Working Material Guidelines for Integrated Risk Assessment and Management in
Large Industrial Areas (IAEA/NENS-SAS: 1995) ซึ่งพัฒนาโดย IAEA โดยได้รับการสนับสนุน
จาก UNEP, UNIDO, WHO

8.6 World Bank Technical Manual No. 55

8.7 Guideline for Chemical Process Quantitative Risk Analysis (1989), AIChE

9. แนวทางในการประเมินความเสี่ยงสถานบริการก๊าซธรรมชาติรถยนต์ในประเทศไทย

จากการศึกษาพบว่าในสถานประกอบการประเภทสถานบริการก๊าซธรรมชาติรถยนต์ มิได้ อยู่ในการกำกับของพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 และ พระราชบัญญัติโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2535 จึงมีต้องทำการประเมินความเสี่ยงตามกฎหมาย ดังกล่าว

แต่จากการที่มีการประกาศใช้กฎหมายทั้งสองฉบับ และมีสถานประกอบการบางประเภท เช่น กิจการท่อส่งก๊าซธรรมชาติ ซึ่งต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตาม พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 หรือโรงงานบรรจุก๊าซซึ่ง ต้องทำรายงานการประเมินความเสี่ยงและจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยงตาม พระราชบัญญัติโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2535 ดังนั้น จึงอาศัยแนวทางในบางส่วนมาใช้ในการ ประเมินความเสี่ยงสถานบริการก๊าซธรรมชาติรถยนต์

10. มาตรฐานสถานบริการก๊าซธรรมชาติรถยนต์

มาตรฐานหรือหลักเกณฑ์วิธีการที่ใช้เป็นแนวทางในการประกอบกิจการสถานบริการก๊าซ ธรรมชาติรถยนต์ในปัจจุบันสามารถตรวจพบได้ ดังนี้

10.1 NFPA 52 Compressed Natural Gas (CNG) Vehicular Fuel System Code. 1984-2002 (สหรัฐอเมริกา)

10.2 MS 1204: 1991 Code of Practice for CNG Compressor and Refueling Stations: on Site Storage and Location of Equipment (มาเลเซีย)

10.3 AG 901-1996/1998 Code of Practice for NGV Refueling Stations (ออสเตรเลีย)

10.4 PNS 2009-2003: Code of Practice for CNG Compressor Refueling Stations: on-Site Storage and Location of Equipment (ฟิลิปปินส์)

10.5 ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และมาตรฐานความปลอดภัยของสถานีบริการก๊าซธรรมชาติที่กรมธุรกิจพลังงานมีอำนาจหน้าที่รับผิดชอบ พ.ศ. 2546 ออกตามความในพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 (ประเทศไทย)

11. มาตรฐานสถานบริการก๊าซธรรมชาติรถยนต์ของ ปตท.

จากการศึกษาพบว่า รูปแบบสถานบริการก๊าซธรรมชาติของ ปตท. จะมีแนวทางคล้ายคลึงกับมาตรฐานดังต่อไปนี้

11.1 MS 1204: 1991 Code of Practice for CNG Compressor and Refueling Stations: on Site Storage and Location of Equipment

11.2 AG 901-1996 Code of Practice for NGV Refueling Stations.

11.3 NFPA 52 Compressed Natural Gas (CNG) Vehicular Fuel System Code. 1998 Edition

12. การชี้บ่งอันตราย (Hazard Identification)

12.1 การพิจารณาดำเนินและเส้นทางวัสดุและจำนวนลักษณะ โดยในปัจจุบัน (พฤษภาคม 2546) มีสถานบริการก๊าซธรรมชาติ จำนวน 26 แห่ง อยู่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งเป็นสถานบริการก๊าซธรรมชาติที่สร้างก่อนที่จะมีประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และมาตรฐานความปลอดภัยของสถานบริการก๊าซธรรมชาติ ที่กรมธุรกิจพลังงานมีอำนาจหน้าที่รับผิดชอบ พ.ศ.2546 ได้รับใบอนุญาตมิไว้ในครอบครองซึ่งวัตถุอันตราย ตามแบบวอ.8 เป็นกรณีพิเศษ ตามบทเฉพาะกาล

12.2 การพิจารณาชี้บ่งอันตรายของสถานบริการก๊าซธรรมชาติ จะพิจารณาจากสถานบริการที่ตั้งก่อนมีการใช้ประกาศกระทรวงพลังงาน ฯ และสถานบริการจะมีรูปแบบและที่ตั้ง ดังตารางผนวกที่ 14 ซึ่งพบว่า ในสถานบริการก๊าซธรรมชาติทั้งหมด จะเป็นระบบเติมเร็ว (Fast Fill CNG System) และจำแนกตามรูปแบบลักษณะได้ดังนี้

12.2.1 สถานีบริการแบบพื้นฐานหรือแบบมีท่อส่งก๊าซ (Conventional Station) จำนวน 2 แห่ง

12.2.2 สถานีบริการแบบสถานีแม่ (Mother Station) จำนวน 3 แห่ง

12.2.3 สถานีบริการแบบสถานีลูก (Daughter Station) จำนวน 19 แห่ง

12.3 การแยกแยะชนิดของถังเก็บและจ่ายก๊าซ (Pressure Vessel) ที่ใช้เป็นถังพักก๊าซธรรมชาติ (Storage Tank) ในสถานีบริการ สามารถแยกแยะตามมาตรฐานการสร้างได้ดังนี้

12.3.1 ASME Pressure Vessel Code Section VIII Division I 1998 Addenda 2000 and Appendix 22 (Use Safety Factor = 3) มีขนาดความจุ 1,200 ลิตร

12.3.2 ISO 11439: 2000 CNG – 1 Gas Cylinders -- High Pressure Cylinders for the on-Board Storage of Natural Gas as a Fuel for Automotive Vehicles มีขนาดความจุ 140 ลิตร

12.3.3 ISO 9809: 1999 – 1 Gas Cylinder - Refillable Seamless Steel Gas Cylinders – Design, Constriction Testing – Part 1: Quenched and Tempered Steel Cylinder with Tensile Storage Less Than 1 100 MPa มีขนาดความจุ 80 ลิตร

12.3.4 BS 5045 Part 1 (1982) Transportable Gas Containers – Specification for Seamless Steel Gas Container Above 0.5 ลิตร Water Capacity มีขนาดความจุ 75 ลิตร

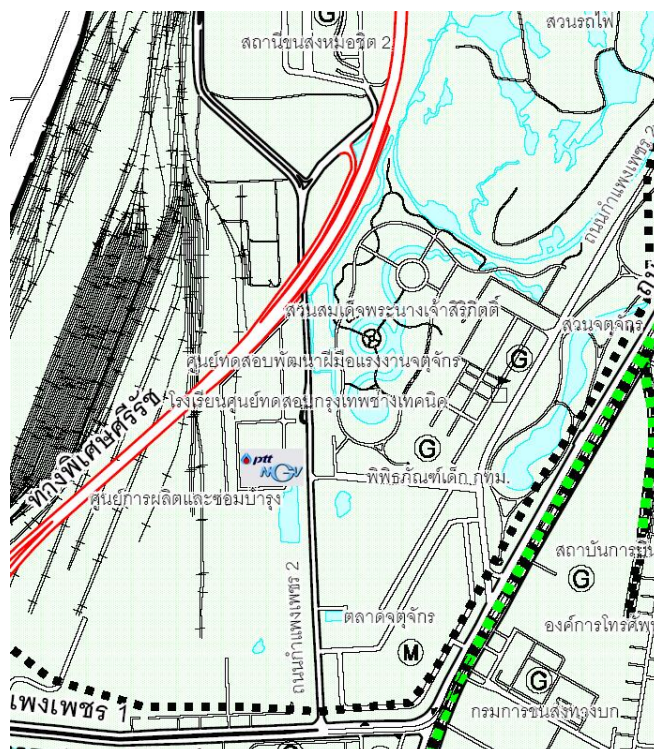
และเมื่อพิจารณาแล้ว พบว่าถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบ ASME มีขนาดความจุมากที่สุดคือ 1,200 ลิตร และมีใช้อยู่ในสถานีบริการ 3 แห่ง โดยอยู่ในสถานีบริการถนนรังสิต-ปทุมธานี (อยู่ริมเมล์ ขสมก.) จำนวน 6 ถัง, สถานีบริการสวัสดิการรถไฟ (ถนนกำแพงเพชร 2) จำนวน 4 ถัง, สถานีบริการถนนจรัญสนิทวงศ์ (บจก. เพชรดีออยล์) จำนวน 3 ถัง ดังนั้น จึงเลือกซื้อถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบ ASME มาพิจารณา และเลือกเอาสถานีบริการสวัสดิการรถไฟ (ถนนกำแพงเพชร 2) มาสร้างแบบจำลองจำนวน ซึ่งสถานีบริการแห่งนี้สามารถหาแผนผัง แผนที่และรายละเอียดที่ต้องการได้

12.4 สถานีบริการสวัสดิการรถไฟ (ถนนกำแพงเพชร 2) ซึ่งตั้งอยู่เลขที่ 882 ถนนกำแพงเพชร 2 แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร เป็นสถานีบริการแบบสถานีลูก (Daughter Station) และระบบเติมก๊าซจะเป็นระบบเติมเร็ว (Fast Fill CNG System) เริ่มเปิดให้บริการเมื่อวันที่ 18 เมษายน 2545 ได้รับใบอนุญาตมีไว้ในครอบครองซึ่งวัตถุอันตราย วอ.8 เมื่อวันที่ 23 สิงหาคม 2547 ได้รับอนุญาตมีไว้ในครอบครอง ก๊าซธรรมชาติอัด (Compressed Natural Gas) ปริมาณครอบครองสูงสุด 9,300 เมตริกตัน พื้นที่เฉพาะในส่วนครอบครองสูงสุด 236 ตารางเมตร



ภาพผนวกที่ ก 1 สถานีบริการสวัสดิการรถไฟ (ถนนกำแพงเพชร 2)

ที่มา: ถ่ายจากสถานที่จริง (2547)



ภาพผนวกที่ ก 2 แผนที่สถานีบริการสวัสดิการรถไฟ (ถนนกำแพงเพชร 2)
ที่มา: แผนที่กรุงเทพมหานคร



ภาพผนวกที่ ก 3 ถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบ ASME ขนาดความจุ 1,200 ลิตร
ที่มา: ถ่ายจากสถานที่จริง (2547)

12.5 การติดตั้งถังเก็บและจ่ายก๊าซของสถานบริการแห่งนี้มีการติดตั้งถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบ ASME มีขนาดความจุ 1,200 ลิตร จำนวน 4 ถัง ไว้ในอาคารร่วมกับชุดเครื่องสูบน้ำอัด และเก็บก๊าซธรรมชาติไว้บนรถพ่วงขนส่งก๊าซได้อีก 2 คัน ซึ่งรถขนส่งก๊าซที่ตรวจพบเมื่อ ปี พ.ศ. 2546 จะมีทั้งหมด 3 แบบ คือ

12.5.1 แบบที่ 1 มีถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบ DOT FMVSS 304 ANSI/AGA NGV 2 มีขนาดความจุ 10,428 cu. in (170.9 ลิตร) จำนวน 80 ถัง

12.5.2 แบบที่ 2 มีถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบ ISO 11439: 2000 CNG – 1 มีขนาดความจุ 140 ลิตร จำนวน 86 ถัง

12.5.3 แบบที่ 3 มีถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบ ISO 11439: 2000 CNG – 2 มีขนาดความจุ 150 ลิตร จำนวน 64 ถัง

12.6 สำหรับรถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาตินั้น จะพบว่ามีการใช้ถังก๊าซรถยนต์ ดังนี้

12.6.1 ถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบ BS 5045 Part 7 ในรถยนต์โดยสารประจำทางของ องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ

12.6.2 ถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบ ISO 11439 - 1 ของรถยนต์โดยสารรับจ้าง มีขนาดความจุ 70-80 ลิตร



ภาพผนวกที่ ก 4 รถขนส่งก๊าซแบบติดตั้งถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบ ANSI/AGA NGV 2
ที่มา: ปตท. (2544)



ภาพผนวกที่ ก 5 รถยนต์โดยสารประจำทางที่ใช้ก๊าซธรรมชาติของขนส่งมวลชนกรุงเทพ
ที่มา: ปตท. (2544)



ภาพผนวกที่ ก 6 รถยนต์โดยสารรับจ้างที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ
ที่มา: ปตท. (2544)



ภาพผนวกที่ ก 7 ระบบเครื่องสูบลมอัดจะบรรจุก๊าซเข้าถังก๊าซรถยนต์เป็น 3 จังหวะ
ที่มา: ถ่ายจากสถานที่จริง (2547)



ภาพผนวกที่ ก 8 ตู้จ่ายก๊าซ (Dispenser) ชนิด 2 หัวจ่าย
ที่มา: ถ่ายจากสถานที่จริง (2547)

12.7 ในการจ่ายก๊าซจะจ่ายจากถังเก็บและจ่ายก๊าซของสถานีบริการที่มีความดัน 3,600 psi โดยเครื่องสูบอัด โดยระบบเครื่องสูบอัดจะบรรจุก๊าซเข้าถังก๊าซรถยนต์เป็น 3 จังหวะ (Three Lime System) ตั้งแต่ 600 psi , 2,250 psi จนถึง 3,000 psi เข้าสู่ถังก๊าซรถยนต์โดยตู้จ่ายก๊าซ (Dispenser) ชนิด 2 หัวจ่าย จำนวน 2 ตู้จ่าย ทำให้สามารถเติมก๊าซให้รถยนต์ได้คราวละ 4 คัน

12.8 ข้อมูลความปลอดภัยก๊าซธรรมชาติของบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) จะพิจารณาตามแบบแจ้งรายละเอียดของสารเคมีอันตรายในสถานประกอบการของ ปตท. ซึ่งใช้ชื่อทางการค้าของก๊าซธรรมชาติชื่อว่า Sales Gas

ตารางผนวกที่ ก 1 ข้อมูลจากแบบแจ้งรายละเอียดของสารเคมีอันตราย

สารประกอบที่เป็นอันตราย (Hazardous Ingredients)	
ชื่อสารเคมี (Substances)	ความเข้มข้น (Concentrate)
มีเทน	66.4-68.9%
อีเทน	7.2-8.6%
คาร์บอนไดออกไซด์	15.7-16.8%
ไนโตรเจน	1.0-2.9%
ข้อมูลทางกายภาพและทางเคมี (Physical And Chemical Data)	
จุดเดือด (Boiling Point) °C	-162
จุดหลอมเหลว (Melting Point) °C	-183
ความดันไอ (Vapour Pressure)	760 mm hg ที่ 161 °C
การละลายได้ในน้ำ (Solubility In Water)	3.5 % ที่ 17 °C
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	0.53-0.8 (15 °C อากาศ = 1)
อัตราการระเหย (Evaporation Rate)	100% (%Volatile)
ความหนาแน่นไอ (Vapour Density)	0.555 %
ความเป็นกรด-ด่าง (Ph-Value)	NAV
ลักษณะสีและกลิ่น (Appearance Colour and Odour)	เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส (Tasteless)
ข้อมูลด้านอัคคีภัยและการระเบิด (Fire And Explosion Hazard Data)	
จุดวาบไฟ (Flash Point)	-223 °C
ขีดจำกัดการติดไฟ (Flammable Limits)	
ค่าต่ำสุด (Lower Flammable Limit-LFL) %	5 %
ค่าสูงสุด (Upper Flammable Limit-UFL) %	15 %
อุณหภูมิที่สามารถติดไฟได้เอง (Auto Ignition Temperature)	537 °C
การเกิดปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Reactivity)	ปกติจะเสถียร
สารที่ต้องหลีกเลี่ยงจากกัน (Materials To Avoid)	สารออกซิไดซ์ต่างๆ
	เช่น คลอรีนเปอร์ออกไซด์ คลอรีนไดออกไซด์ (เนื่องจากทำปฏิกิริยารุนแรงต่อกัน)
สารอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว (Hazardous Decomposition Products)	คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ (Hazardous Combustion Products)

ที่มา: สุกิตติ (2547)

12.9 ในการพิจารณาข้อมูลทางกายภาพ โดยจะเห็นว่าก๊าซธรรมชาติของ ปตท. ประกอบไปด้วย มีเทน (Methane: CH₄) เป็นส่วนใหญ่ และเนื่องจากก๊าซธรรมชาติของ ปตท. มีส่วนประกอบที่ไม่แน่นอน ดังนั้นในการคำนวณหาอันตรายจึงสมมุติเฉลี่ยส่วนประกอบก๊าซจากข้อมูลคุณสมบัติ

จากแนวท่อก๊าซด้านธรรมชาติตะวันออกของ ปตท. ซึ่งเป็นแนวท่อก๊าซที่ส่งมาให้สถานบริการก๊าซธรรมชาติรถยนต์ ซึ่งในแนวท่อนี้จะใช้เครื่อง Chromatography ในการวัดหาคุณสมบัติ และจะวัดค่าและแสดงผล Online ตลอดเวลา (Real Time)

12.20 ส่วนประกอบ (Composition)

ตารางผนวกที่ ก 2 ข้อมูลส่วนประกอบก๊าซธรรมชาติ เมื่อวันที่ 26 พฤศจิกายน 2547

Gas Composition From Online GC at MTP (At DPCU) - Current	
Compound	Composition
Co ₂	16.68317
C ₁	70.19666
C ₂	7.237522
C ₃	2.314148
Ic ₄	0.538588
Nc ₄	0.498462
Ic ₅	0.162866
Nc ₅	0.103858
C ₆ +	0.106184
N ₂	2.159523
HHV(Dry) (Btu/Scf)	949.8905
Sg.	0.8064305
WI (Btu/Scf)	1057.767

ที่มา: สุกิตติ (2547)

ซึ่งจะต้องนำมาหาค่าโมลเฉลี่ย และค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ก่อนที่จะเริ่มทำการคำนวณ

12.21 น้ำหนักโมเลกุลของส่วนประกอบ

ตารางผนวกที่ ก 3 น้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบในก๊าซธรรมชาติ

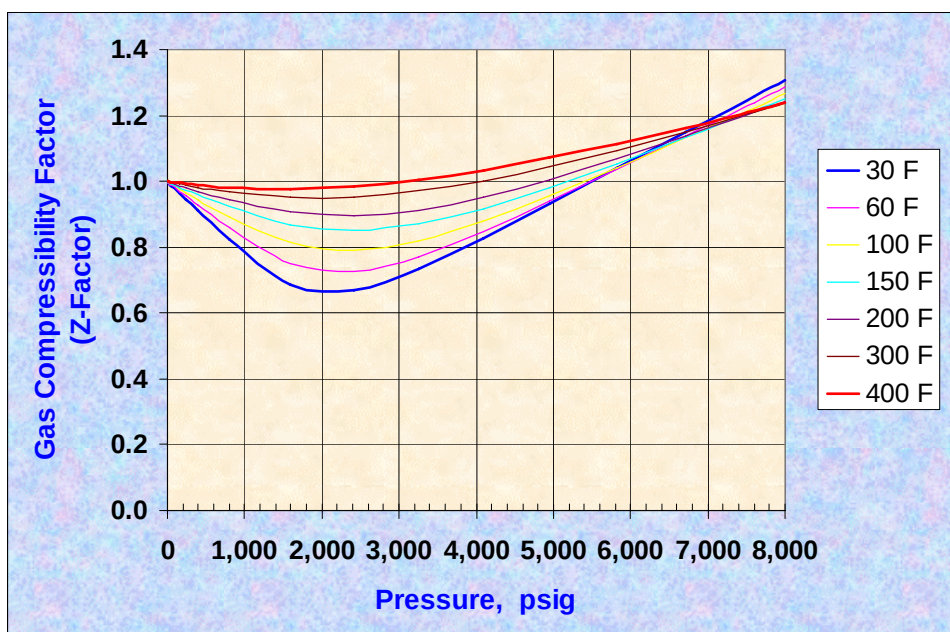
Compound	Molecular Weigh
Carbon Dioxide	44.01
Methane CH ₄	16.04
Ethane, C ₂ H ₆	30.07
Propane C ₃ H ₈	44.09
ISO Butane, C ₄ H ₁₀	58.12
Normal Butane, C ₄ H ₁₀	58.12
ISO Pentane, C ₅ H ₁₂	72.15
Normal Pentane, C ₅ H ₁₂	72.15
Hexane C ₆ H ₁₄	86.17
Nitrogen, N ₂	28.01

ที่มา: NFPA and SFPE (1995)

ตารางผนวกที่ ก 4 ผลการคำนวณหามวลโมเลกุล

Compound	Molecular Weigh			
	M_i lb mole	Composition %	Composition Y_i	$M_i Y_i$ lb mole
Carbon Dioxide, CO ₂	44.01	16.68317	0.1668317	7.342263
Methane CH ₄	16.04	70.19666	0.7019666	11.25954
Ethane, C ₂ H ₆	30.07	7.237522	0.07237522	2.176323
Propane C ₃ H ₈	44.09	2.314148	0.02314148	1.020308
Iso Butane, C ₄ H ₁₀	58.12	0.538588	0.00538588	0.313027
Normal Butane, C ₄ H ₁₀	58.12	0.498462	0.00498462	0.289706
Iso Pentane, C ₅ H ₁₂	72.15	0.162866	0.00162866	0.117508
Normal Pentane, C ₅ H ₁₂	72.15	0.103858	0.00103858	0.074934
Hexane C ₆ H ₁₄	86.17	0.106184	0.00106184	0.091499
Nitrogen, N ₂	28.01	2.159523	0.02159523	0.604882
		$\sum \%$	$\sum Y_i$	$\sum M_i Y_i$
		100.000981	1.00000981	23.28999

12.22 ค่า Z Factor อาจหาได้จากการเฉลี่ยค่า Z Factor จากคุณสมบัติของส่วนประกอบแต่ละชนิดหรืออาจได้จากการอ่านกราฟสำเร็จรูป



ภาพผนวกที่ ก 9 ภาพตาราง Z Factor

ที่มา: Han and Juvkam (2000)

12.23 การประมาณน้ำหนักก๊าซและค่าความร้อน

12.23.1 การประมาณน้ำหนักก๊าซธรรมชาติ

โดยประมาณการจากถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบ ASME มีขนาดความจุมากที่สุดคือ 1,200 ลิตร

จากสมการก๊าซอุดมคติ

$$PV = ZnRT, \quad n = \frac{PV}{ZRT} \quad (10)$$

โดยที่	P	=	ความดันสมบูรณ์	$3,600 + 14.7$	=	$3,614.7 \text{ psi}$
	V	=	ปริมาตรถัง	$1,200 \text{ ลิตร} \div 28.32 \text{ ft}^3$	=	42.37 ft^3
	Z	=	Factor	~ 0.8		
	n	=	จำนวน โมลของก๊าซ	mole		
	R	=	คือค่าคงที่ของก๊าซ	$1.314 \text{ atm-ft}^3/\text{lb mole K} \times 14.696$		
	R	=	คือค่าคงที่ของก๊าซ	$19.31 \text{ psi-ft}^3/\text{lb mole K}$		
	T	=	อุณหภูมิสมบูรณ์	$25 + 273 = 298 \text{ K}$		

$$n = \frac{3,614.7 \times 42.37}{0.8 \times 19.31 \times 298} = 33.26 \text{ lb mole (Mass/MW)}$$

$$\text{Molecular Weight} = 23.29 \text{ lb mole}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักก๊าซในถังแบบ ASME 1,200 ลิตร} &= \text{mole} \times \text{Molecular Weight} \\ &= 33.26 \times 23.29 = 774.62 \text{ lb} \\ &= 774.62 \text{ Lb} \div 2.2 = 352.1 \text{ kg} \end{aligned}$$

และประมาณการจากถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบ DOT FMVSS 304 ANSI/AGA NGV 2 มี
ขนาดความจุ 10,428 cu. in

โดยที่	P	=	ความดันสมบูรณ์	$3,600 + 14.7$	=	$3,614.7 \text{ psi}$
	V	=	ปริมาตรถัง	$10,428 \text{ cu. in} \times 1728$	=	6.034 ft^3
	Z	=	Factor	~ 0.8		
	n	=	จำนวน โมลของก๊าซ	mole		
	R	=	คือค่าคงที่ของก๊าซ	$19.31 \text{ psi-ft}^3/\text{lb mole}^{\circ}\text{K}$ จาก		
	T	=	อุณหภูมิสมบูรณ์	$25 + 273 = 298^{\circ}\text{K}$		

$$n = \frac{3,614.7 \times 6.034}{0.8 \times 19.31 \times 298} = 4.74 \text{ lb mole (Mass/MW)}$$

$$\text{Molecular Weight} = 23.29 \text{ lb mole}$$

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักก๊าซในถังแบบ DOT FMVSS 304 10,428 Cu In} &= 4.74 \times 23.29 = 111.4 \text{ lb} \\ &= 111.4 \text{ Lb} \div 2.2 = 50.18 \text{ kg}\end{aligned}$$

รวมปริมาณก๊าซธรรมชาติในสถานีบริการสวัสดิการรถไฟจากถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบ ASME มีขนาดความจุ 1,200 ลิตร 4 ถัง ในอาคารเก็บ มีน้ำหนักถังละ 352.1 kg และจากถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบ DOT FMVSS 304 ANSI/AGA NGV 2 มีขนาดความจุถังละ 10,428 cu. in (170.9 ลิตร) บนรถขนส่งก๊าซ 2 คันละ 80 ถัง มีน้ำหนักถังละ 50.18 kg

$$\begin{aligned}\text{รวม } (352.1 \times 4) + (50.18 \times 80 \times 2) &= 9,437.2 \quad \text{kg} \\ \text{หรือ } 9,437.2 \text{ Kg} \times 2.2 &= 20,761.84 \quad \text{lb}\end{aligned}$$

อนึ่ง ก๊าซที่อยู่บนรถโดยสารประจำทางและรถโดยสารรับจ้างจะไม่ถูกนำมาพิจารณา

12.23.2 การประมาณน้ำหนักก๊าซถ้าเป็นมีเทน 100 % เพื่อใช้ตรวจสอบสมการเนื่องจาก ซอฟต์แวร์ Rmp* Comp™ Ver 1.07 ที่จะนำมาเปรียบเทียบซึ่งรับข้อมูลเป็นมีเทน 100 %

โดยประมาณการจากถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบ ASME มีขนาดความจุมากที่สุดคือ 1,200 ลิตร

$$\begin{aligned}\text{Molecular Weight มีเทน} &= 16.04 \quad \text{lb mole} \\ \text{น้ำหนักก๊าซในถังแบบ ASME 1,200 ลิตร} &= \text{Mole} \times \text{Molecular Weight} \\ &= 33.26 \times 16.04 = 533.5 \quad \text{lb} \\ &= 533.5 \text{ lb} \div 2.2 = 242.5 \quad \text{kg}\end{aligned}$$

12.23.3 การประมาณน้ำหนักก๊าซเป็นก๊าซชีวภาพ (Biogas) เพื่อใช้ตรวจสอบสมการและใช้พิจารณาหาความแตกต่างกรณีที่มีคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เช่น กรณีที่โรงแยกก๊าซปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น หรือนำเอาก๊าซชีวภาพมาอัดใส่ในถังเก็บและจ่ายก๊าซของสถานีบริการ ซึ่งจะพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ก๊าซตัวอย่างจากพื้นที่ฝังกลบขยะกำแพงแสน (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน: 2539)

ตารางผนวกที่ ก 5 ผลการวิเคราะห์ก๊าซตัวอย่างจากพื้นที่ฝังกลบขยะกำแพงแสน

Compound	Composition %
Carbon Dioxide, CO ₂	33.73
Methane CH ₄	59.99
Ethane, C ₂ H ₆	1.75
Nitrogen, N ₂	4.53

ที่มา: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน (2539)

ตารางผนวกที่ ก 6 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักโมเลกุลของก๊าซชีวภาพ

Molecular Weigh				
Compound	M_i	Composition %	Composition Y_i	$M_i Y_i$ lb mole
	lb mole			
Carbon Dioxide, CO ₂	44.01	33.73	0.3373	14.84457
Methane CH ₄	16.04	59.99	0.5999	9.622396
Ethane, C ₂ H ₆	30.07	1.75	0.0175	0.526225
Nitrogen, N ₂	28.01	4.53	0.0453	1.268853
		$\sum \%$	$\sum Y_i$	$\sum M_i Y_i$
		100	1	26.26205

ดังนั้น Molecular Weigh Biogas = 26.26 lb mole

น้ำหนักก๊าซในถังแบบ ASME 1,200 ลิตร = Mole $\times$ Molecular Weight
 = $33.26 \times 26.26 = 873.4$ lb
 = $873.4 \text{ lb} \div 2.2 = 397$ kg

12.23.4 การหาความร้อนโดยพิจารณาจากคุณสมบัติวัตถุและข้อมูลวัตถุดิบ

ตารางผนวกที่ ก 7 ข้อมูลสำหรับวัตถุไวไฟ

Cas No.	ชื่อทางเคมี	สถานะ ทางกายภาพที่ 25 °C	ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (kJ/kg)
106-97-8	บิวเทน (Butane)	ก๊าซ	45,719
74-84-0	อีเทน (Ethane)	ก๊าซ	45,509
75-28-5	ไอโซบิวเทน (Iso butane)	ก๊าซ	45,576
74-28-8	มีเทน (Methane)	ก๊าซ	50,029
109-66-0	เพนเทน (Pentane)	ของเหลว	44,697
109-67-1	ไอโซเพนเทน (Iso pentane)	ของเหลว	44,625
74-98-6	โพรเพน (Propane)	ก๊าซ	46,333

ที่มา: EPA 550 (1999)

ตารางผนวกที่ ก 8 ค่าความร้อนส่วนประกอบที่ผสมกัน HC_m , $W_m = 352.198$ kg ของ NG

Compound	Composition %	HC_x (kJ/kg)	$\frac{W_x}{W_m} \times HC_x$ (kJ/kg)
Carbon Dioxide, CO_2	0.1668317	0	0
Methane CH_4	0.7019666	50,029	35118.68703
Ethane, C_2H_6	0.07237522	45,509	3293.723887
Propane C_3H_8	0.02314148	46,333	1072.214193
ISO Butane, C_4H_{10}	0.00538588	45,576	245.4668669
Normal Butane, C_4H_{10}	0.00498462	45,719	227.8918418
ISO Pentane, C_5H_{12}	0.00162866	44,625	72.6789525
Normal Pentane, C_5H_{12}	0.00103858	44,697	46.42141026
Hexane C_6H_{14}	0.00106184	44,700	47.464248
Nitrogen, N_2	0.02159523	0	0
$\sum Y_i = 1.00000981$		$\sum HC_m = 40124.54843$	
Hexane $C_6H_{14} = 44,700$ เทียบเคียงจาก SFPE Handbook			

ตารางผนวกที่ ก 9 ค่าความร้อนส่วนประกอบที่ผสมกัน HC_m , $W_m = 397$ kg ของก๊าซชีวภาพ

Compound	Composition %	HC_x (kJ/kg)	$\frac{W_x}{W_m} \times HC_x$ (kJ/kg)
Carbon Dioxide, CO_2	0.1668317	0	0
Methane CH_4	0.7019666	50,029	30012.3971
Ethane, C_2H_6	0.07237522	45,509	796.4075
Nitrogen, N_2	0.02159523	0	0
$\sum Y_i = 1.00000981$		$\sum HC_m = 30808.8046$	

12.24 เกณฑ์การยอมรับและการคำนวณ โดยพิจารณาตามคู่มือแนวทางการจัดการความเสี่ยงสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นภายนอก (Risk Management Program Guidance for Offsite Consequence Analysis EPA 550-B-009 April 1999) โดยได้กำหนดการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นภายนอกต้องประกอบไปด้วยสองส่วน คือ

12.24.1 กรณีเหตุการณ์รั่วไหลร้ายแรง (A Worst-Case Scenario)

12.24.2 เหตุการณ์รั่วไหลทางอื่น (Alternative Release Scenarios)

13. วิเคราะห์ความน่าจะเป็น (Probability Analysis)

โดยพิจารณาความเป็นไปได้ของอุบัติเหตุ ผลลัพธ์ของเหตุการณ์

13.1 การจัดลำดับความเสี่ยง โดยพิจารณาเหตุการณ์ร้ายแรงที่สุด (Worst Case Scenario) และเหตุการณ์ทางเลือก (Alternative Scenario) ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นกับบุคคลที่อาจบาดเจ็บและเสียชีวิต โดยพิจารณาตามความต้องการสำหรับการจำลองแบบ ที่ระบุไว้ใน 40 CFR 68.2 ซึ่งอ้างถึงไว้ใน EPA 550-B-99-009 April 1999 และใช้แนวทางตามแบบบัญชีรายการสิ่งของที่เป็นความเสี่ยงและอันตรายระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความปลอดภัย พ.ศ. 2543

ตารางผนวกที่ ก 10 แบบบัญชีรายการสิ่งที่เป็นอันตราย การจัดลำดับความเสี่ยง

การดำเนินงาน ในสถานบริการ	สิ่งที่เป็นความเสี่ยง และอันตราย	ผลกระทบ ที่อาจเกิดขึ้น	การควบคุม ตาม EPA 550
การเก็บเชื้อเพลิง ในถังเก็บและจ่ายก๊าซ	ก๊าซธรรมชาติอัดซึ่ง ประกอบไปด้วยก๊าซ มีเทนเป็นส่วนใหญ่	การควบคุมดูแล ต้องใช้เจ้าหน้าที่ ๆ มีความชำนาญ หากเกิดเหตุจะทำให้อุณหภูมิและความ เสียหายเกินกว่าจะควบคุม	ไม่เกิน 10,000 lb (4,545.45 kg)
มีการรั่วไหล	การรั่วไหล	การสูดเอาก๊าซเข้าไป ทำให้ขาดอากาศ สลบ	TLV = 5,000 ppm
มีแหล่งเกิดประกายไฟ		เกิดเพลิงไหม้	LFL = 5 %
มีการรั่วไหล มีแหล่งเกิดประกายไฟ	การเกิดเพลิงไหม้	เกิดความร้อน (Heat Flux) ที่เป็นอันตรายต่อบุคคล	Fire Ball or Heat Flux or BLEVE 5 kW/ 40 s
มีการรั่วไหล มีแหล่งเกิดประกายไฟ เครื่องสูบลมอัดบกพร่อง	เกิดการระเบิด	แรงกระแทก (Shock Wave) จากแรงดันเกิน (Over Pressure) ทำอันตรายต่อบุคคล	Vapour Cloud Explosive = 1 psi

13.2 การประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ (Qualitative Risk Assessment) โดยจากข้อมูลที่ได้มาและข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ (ปี พ.ศ. 2546) พบว่าสถานบริการก๊าซธรรมชาติสวัสดิการรถไฟ (กำแพงเพชร 2) มีข้อมูลที่จะชี้บ่งความเสี่ยงจากอันตรายได้ดังนี้

13.2.1 สภาพภายใน

ก) สภาพโดยทั่วไปพบว่า การก่อสร้างและติดตั้งระบบต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์ดี มีการเลือกใช้อุปกรณ์คุณภาพสูง ยกเว้นอุปกรณ์ของระบบไฟฟ้าในบริเวณอันตราย พบว่ามีการใช้อุปกรณ์ที่ไม่ได้มีการรับรองตามมาตรฐาน นอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องดับเพลิงแบบยกหัวชนิดผงเคมีแห้งมีอัตราความสามารถในการดับเพลิงต่ำกว่าที่กำหนดไว้ใน ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการ เพื่อความปลอดภัยในการทำงานของลูกจ้าง ประกาศ ณ วันที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2534

ข) มีการครอบครองก๊าซธรรมชาติ 9,483.512 kg (20,863.726 lb) (ปริมาณครอบครองสูงสุดตามใบอนุญาต 9.300 เมตริกตัน) ซึ่งข้อกำหนดตาม 40 CFR 68.2 หากมีการครอบครองเกิน 10,000 lb (4,545.45 kg) จะต้องดำเนินการบริหารจัดการความเสี่ยง ซึ่งทาง ปตท. มิได้ดำเนินการบริหารจัดการความเสี่ยงที่ชัดเจน นอกจากนี้สถานบริการแห่งนี้ยังอยู่ในพื้นที่เดียวกับสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงอีกด้วย

ค) สถานบริการแห่งนี้ตั้งก่อนประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และมาตรฐานความปลอดภัยของสถานบริการก๊าซธรรมชาติที่กรมธุรกิจพลังงานมีอำนาจหน้าที่รับผิดชอบ พ.ศ. 2546 ออกตามความในพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ประกาศบังคับใช้จึงได้รับใบอนุญาตให้ครอบครองวัตถุอันตรายโดยบทเฉพาะกาล และได้รับยกเว้นที่ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขบางอย่าง โดยเฉพาะการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานก๊าซธรรมชาติ และการทดสอบและตรวจสอบระบบความปลอดภัยต่าง ๆ ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ที่สามารถผ่อนผันได้อีก 1 ปี

ง) ในสถานบริการแห่งนี้ยังไม่มีพนักงานเดิมก๊าซที่ได้รับการฝึกอบรม ตามประกาศกรมธุรกิจก๊าซธรรมชาติ เรื่อง คุณสมบัติและคุณวุฒิผู้ปฏิบัติงานก๊าซธรรมชาติของสถานบริการก๊าซธรรมชาติ ประกาศ ณ วันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2547

จ) ในสถานบริการแห่งนี้ยังไม่มี การฝึกอบรมการฝึกซ้อมดับเพลิงและฝึกซ้อมหนีไฟ และการฝึกอบรมดับเพลิงขั้นต้น ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานของลูกจ้าง ประกาศ ณ วันที่ 21 พฤษภาคม พ.ศ. 2539

ฉ) ในสถานบริการแห่งนี้ยังไม่มีเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยที่ชัดเจนตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานของลูกจ้าง ประกาศ ณ วันที่ 31 มีนาคม 2540

สรุปการประเมินทั่วไป พบว่าสถานบริการแห่งนี้มีความเสี่ยงส่วนใหญ่จะอยู่ที่ผู้ปฏิบัติงานที่ยังไม่สามารถยืนยันได้ว่ามีความรู้ความเข้าใจในขอบเขตการปฏิบัติงานอย่างเพียงพอ และยังไม่มีความพร้อมที่จะรับสถานการณ์ฉุกเฉิน นอกจากนี้อุปกรณ์ดับเพลิงขั้นต้น เช่น เครื่อง

ดับเพลิงแบบยกหัวยังมีอัตราความสามารถในการดับเพลิงต่ำ อาจไม่เพียงพอที่จะรับสถานการณ์ฉุกเฉินได้

13.2.2 สภาพภายนอก

เนื่องจากสถานีบริการสวัสดิการรถไฟ (ถนนกำแพงเพชร 2) ตั้งอยู่บนเส้นทางที่สามารถผ่านไปยังสวนสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ สวนจตุจักร พิพิธภัณฑ์เด็กกรุงเทพมหานครถาดสวนจตุจักร สถานีขนส่งสายเหนือและสายตะวันออกเฉียงเหนือ และโรงซ่อมรถจักรบางซื่อ ซึ่งหากเกิดสถานการณ์ฉุกเฉินอาจทำให้สถานที่ใกล้เคียงได้รับผลกระทบไปด้วย

13.2.3 สภาพความเสี่ยงโดยรวม

กล่าวโดยรวมแล้ว สถานีบริการสวัสดิการรถไฟ (ถนนกำแพงเพชร 2) มีความเสี่ยงอยู่ในระดับปานกลาง โดยเฉพาะในด้านผู้ปฏิบัติงานและการเตรียมจัดการกับเหตุฉุกเฉิน และนอกจากตัวสถานีบริการสวัสดิการรถไฟ (ถนนกำแพงเพชร 2) จะมีสภาพความเสี่ยงของตัวเองแล้ว อาจทำให้สถานที่ใกล้เคียงเกิดสภาพความเสี่ยงตามไปด้วย

13.2.4 แนวทางแก้ไขเบื้องต้น

ควรมีการเร่งดำเนินการตามข้อกำหนดของกฎหมายโดยเฉพาะการฝึกอบรมพนักงานเติมก๊าซ การฝึกซ้อมดับเพลิงและฝึกซ้อมหนีไฟ การฝึกดับเพลิงขั้นต้น และทำการทดสอบการตอบโต้สถานการณ์การฉุกเฉิน

13.3 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็น (Probability Analysis) การหาความเป็นไปได้ของอุบัติเหตุ ผลลัพธ์ของเหตุการณ์ สามารถหาได้โดย

13.3.1 การประเมินความเสี่ยงกึ่งคุณภาพ (Semi-Qualitative Risk Assessment) ด้วยรายการตรวจสอบตามรูปแบบของระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543 และ

สามารถพิจารณาได้โดยหาระดับความน่าจะเป็นและความเสี่ยงตามรายการตรวจสอบ ของตาราง
ผนวกที่ 11

13.3.2 การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ (Quantitative Risk Assessment) โดยจะ
วิเคราะห์ความน่าจะเป็นด้วยวิธีการวิเคราะห์ฟอลท์ทรี (Fault Tree Analysis) และสามารถพิจารณา
ได้โดยหาจาก ความเสี่ยง (Risk) = ความน่าจะเป็น (Probability) $\times$ ผลกระทบ (Consequence) ซึ่งจะ
หาความน่าจะเป็นโดยใช้การวิเคราะห์ฟอลท์ทรี โดยพิจารณาข้อมูลอัตราความเสียหายของ
ส่วนประกอบระบบ โดยข้อมูลอัตราความเสียหายของส่วนประกอบที่นำมาพิจารณาสามารถนำมา
สรุปได้ ดังตารางผนวกที่ ค 2

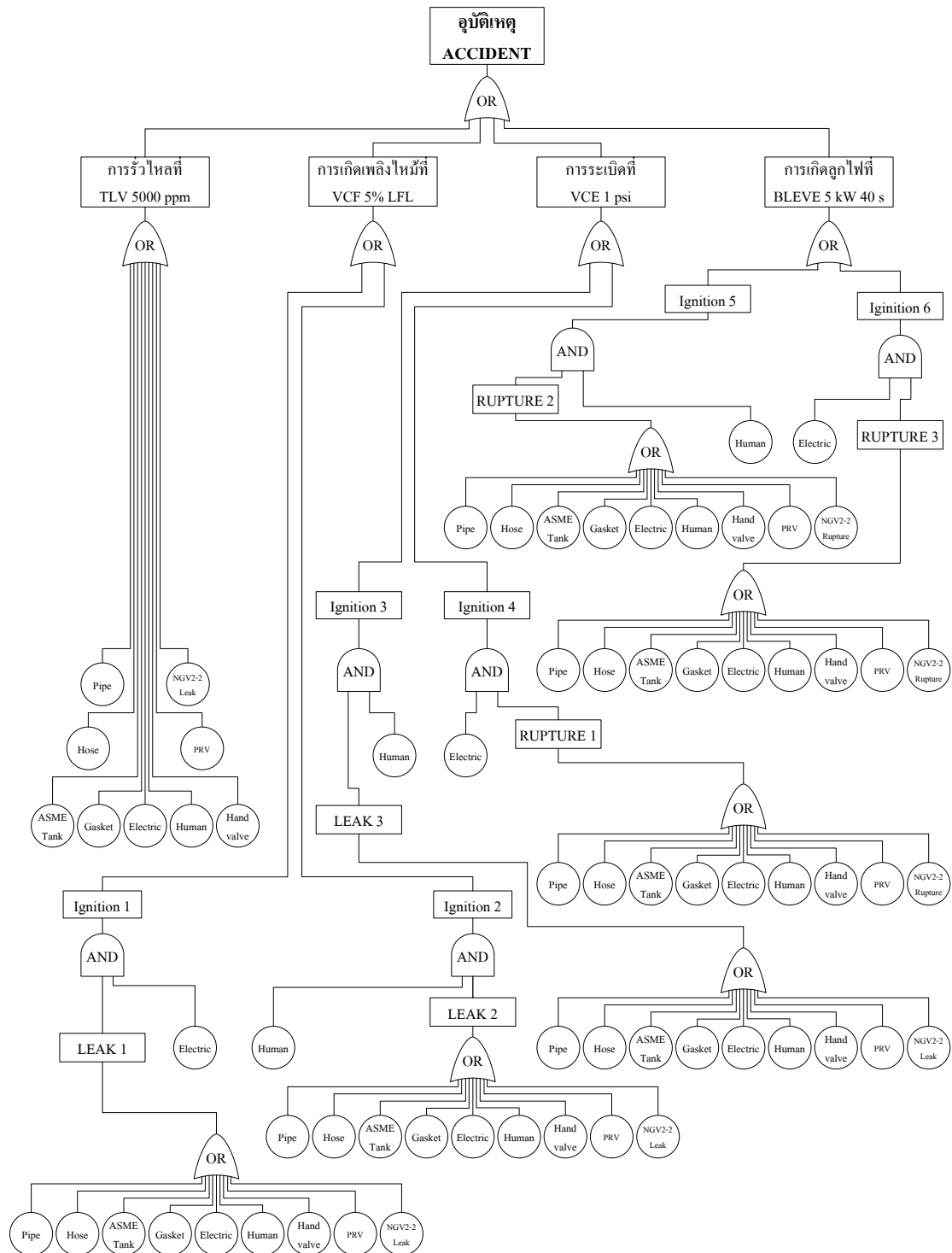
ตารางผนวกที่ ก 11 ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงาน ด้วยวิธีกึ่งปริมาณ

ด้วยรายการตรวจสอบของสถานบริการก๊าซธรรมชาติสวัสดิการรถไฟ

ถนนกำแพงเพชร 2 กรุงเทพมหานคร วันที่ทำการศึกษา ธันวาคม 2547

ผลจากการทำ Checklist	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการ ป้องกัน และควบคุม อันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความ รุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับ ความ เสี่ยง
การเก็บ เชื้อเพลิง ในถังเก็บและ จ่ายก๊าซ	การควบคุมไม่ทั่วถึง อาจเกิดอันตรายจน เกินความสามารถใน การรับมือ	ไม่เกิน 10,000 lb (4,545.45 kg)	หากไม่สามารถ จำกัดการจัดเก็บได้ ควรจัดให้มีการ ควบคุมและมี เจ้าหน้าที่ โดยเฉพาะ	3	3	9	3 สูง
มีการรั่วไหล	การรั่วไหล การสูดเอาก๊าซเข้าไป	TLV = 5,000 ppm	ควบคุมการรั่วไหล โดยจัดให้มีการ ตรวจสอบตาม ข้อกำหนดตาม มาตรฐาน	3	3	9	3 สูง
มีแหล่งเกิด ประกายไฟ	เกิดเพลิงไหม้	LFL = 5 %	ควบคุมบริเวณ อันตราย ตามมาตรฐาน	2	4	8	3 สูง
มีการรั่วไหล มีแหล่งเกิด ประกายไฟ	การเกิดเพลิงไหม้ เกิดความร้อน (Heat Flux) ที่เป็นอันตรายต่อ บุคคล	Fire Ball or Heat Flux or BLEVE = 5 kW/ 40 s	วัสดุ อาคารที่อยู่ใน บริเวณข้าง ให้มี อัตราการทนไฟ ตามมาตรฐาน	2	4	8	3 สูง
มีการรั่วไหล มีแหล่งเกิด ประกายไฟ ระบบเครื่อง สูบน้ำทำงาน บกพร่อง	เกิดการระเบิด แรงกระแทก (Shock Wave) จากแรงดันเกิน (Over Pressure) ทำอันตรายต่อบุคคล	Vapour Cloud Explosive = 1 psi	กำหนดพื้นที่ตั้ง สถานบริการต้อง อยู่ห่างจากพื้นที่ สาธารณะตาม ข้อกำหนดทาง ราชการ	2	4	8	3 สูง

13.4 การคำนวณความน่าจะเป็นเชิงปริมาณจากการวิเคราะห์ฟอลท์ทรี



ภาพผนวกที่ ก 10 แผนผังฟอลท์ทรีจากข้อมูลต่าง ๆ

13.5 การคำนวณหาอัตราความเสียหายของระบบ

เมื่อพิจารณาแล้วสาเหตุอัตราการเสียหายจะแยกได้เป็นหลัก 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีถังเก็บและจ่ายก๊าซ แบบ NGV 2-2 Leak และ NGV 2-2 Rupture โดยใช้ข้อมูลอัตราการเสียหายต่อปี (μ) จากข้อมูลที่ได้จากแหล่งที่น่าเชื่อถือ ตามตารางผนวกที่ 15 ดังนั้นจึงเริ่มจากการหาอัตราการเสียหายในระบบของแต่ละกลุ่มเหตุการณ์ก่อน

กลุ่มที่มี NGV 2-2 Leak

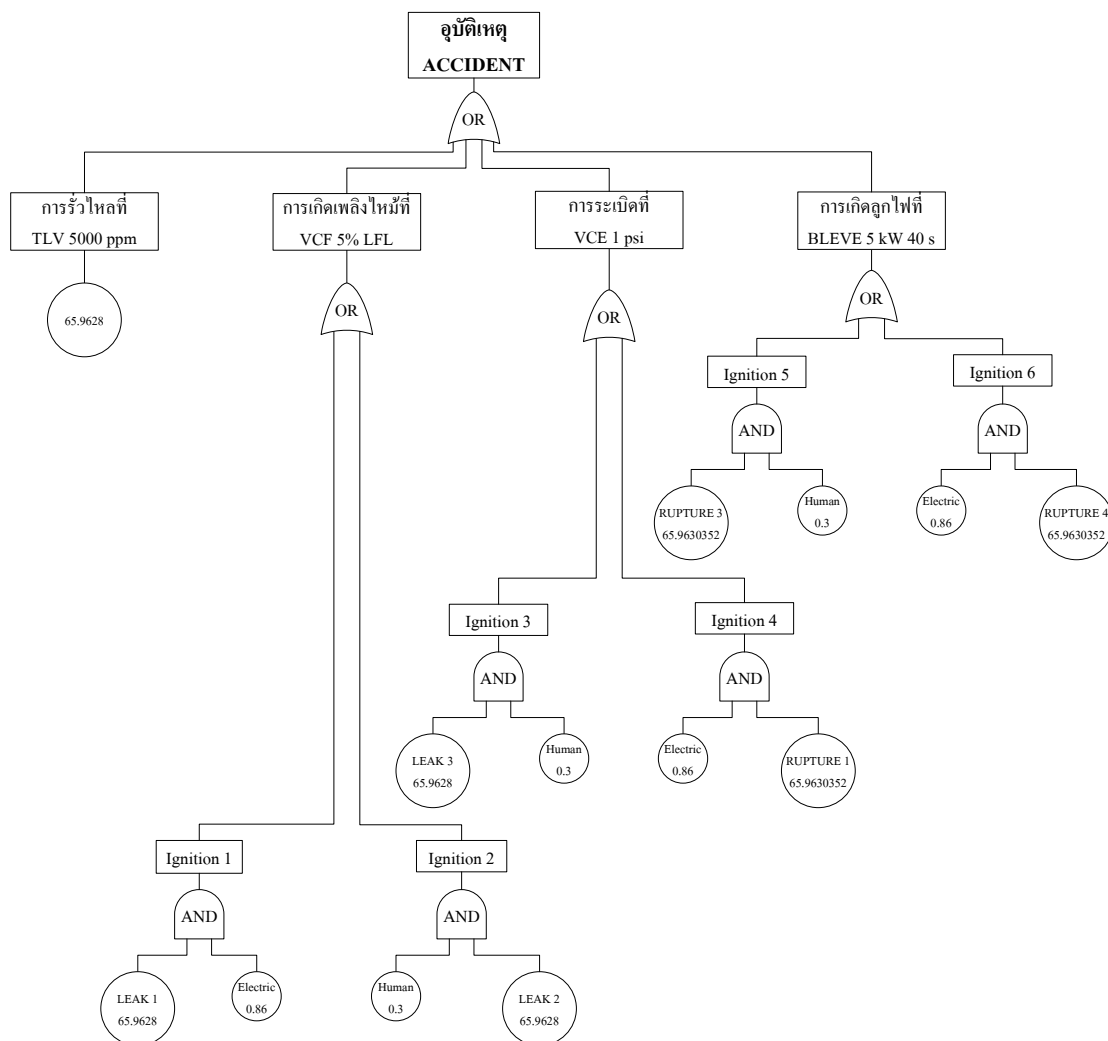
$$\begin{aligned}\mu &= \sum_{i=1}^n \mu_i \\ &= 0.0004 + 6.8 + 0.0024 + 1.6 + 0.86 + 0.3 + 52 + 4.4 + 0 \\ &= 65.9628 \quad \text{ครั้งต่อปี} \\ &= 66 \quad \text{ครั้งต่อปี}\end{aligned}$$

กลุ่มที่มี NGV 2-2 Rupture

$$\begin{aligned}\mu &= \sum_{i=1}^n \mu_i \\ &= 0.0004 + 6.8 + 0.0024 + 1.6 + 0.86 + 0.3 + 52 + 4.4 + 0.0002352 \\ &= 65.9630352 \quad \text{ครั้งต่อปี} \\ &= 66 \quad \text{ครั้งต่อปี}\end{aligned}$$

ซึ่งในเบื้องต้นพบว่าอัตราการพังเสียหายของถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบ NGV 2-2 ที่มีสภาพ Leak ซึ่งไม่เคยเกิดขึ้นจากประวัติการใช้งาน และที่มีสภาพ Rupture ซึ่งเคยเกิดขึ้น 2 ครั้ง ใน 17 ปี จากที่มีการใช้ทั้งหมด 80,000 ถัง มีค่าน้อยมากทำให้อัตราการพังเสียหายของเหตุการณ์ Leak และ Rupture แทบจะใกล้เคียงกันมาก

และสามารถพิจารณา FTA ให้ง่ายขึ้นได้อีกครั้ง ดังนี้



ภาพผนวกที่ ก 11 การรวมแผนผังฟอลท์ทรีจากข้อมูลที่คำนวณ

13.6 การเวลาอัตราการเสียหายของการรั่วไหลที่ TLV 5000 ppm

อัตราการเสียหาย (ปี), μ	=	65.9628	ครั้งต่อปี
เวลาเฉลี่ยความเสียหาย $MTBF = \frac{1}{\mu}$ (24)	=	0.01516	ปี
	=	0.01516×365	วัน
	=	5.5	วัน

13.7 การเวลาอัตราการเสียหายของการเกิดเพลิงไหม้ (VCF)

$$\begin{aligned}
 &\text{อัตราการเสียหาย (ปี),} & \mu_1 &= 65.9628 & \mu_2 &= 0.86 \\
 &R_1 &= e^{-\mu t} &(22) &= e^{-65.9628} &= 2.25278 \times 10^{-29} \\
 &R_2 &= e^{-\mu t} &(22) &= e^{-0.86} &= 0.42316 \\
 &R &= 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) &&& &(27) \\
 &R &= 1 - (1 - 2.25278 \times 10^{-29}) \times (1 - 0.42316) \\
 &R &= 0.42316 \\
 \text{จาก } \mu &= \frac{-\ln R}{t} \\
 \mu &= -\ln 0.42316 \\
 \mu &= 0.86005 && \text{ครั้งต่อปี}
 \end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned}
 &\text{อัตราการเสียหาย (ปี),} & \mu_1 &= 65.9628 & \mu_2 &= 0.3 \\
 &R_1 &= e^{-\mu t} &(22) &= e^{-65.9628} &= 2.25278 \times 10^{-29} \\
 &R_2 &= e^{-\mu t} &(22) &= e^{-0.3} &= 0.740818 \\
 &R &= 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) &&& &(27) \\
 &R &= 1 - (1 - 2.25278 \times 10^{-29}) \times (1 - 0.740818) \\
 &R &= 0.740818 \\
 \text{จาก } \mu &= \frac{-\ln R}{t} \\
 \mu &= -\ln 0.740818 \\
 \mu &= 0.290112 && \text{ครั้งต่อปี}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 \mu_1 + \mu_2 &= 0.86005 + 0.290112 && \text{ครั้งต่อปี} \\
 \mu &= 1.150162 && \text{ครั้งต่อปี}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{เวลาเฉลี่ยความเสียหาย } MTBF &= \frac{1}{\mu} &(24) &= 0.86944 && \text{ปี} \\
 &&&= 0.86944 \times 365 && \text{วัน} \\
 &&&= 317 && \text{วัน}
 \end{aligned}$$

13.8 การเวลาอัตราการเสียหายของการเกิดกระเบิด (VCE)

$$\begin{aligned}
 &\text{อัตราการเสียหาย (ปี),} & \mu_1 &= 65.9628 & \mu_2 &= 0.3 \\
 &R_1 &= e^{-\mu t} &(22) &= e^{-65.9628} &= 2.25278 \times 10^{-29} \\
 &R_2 &= e^{-\mu t} &(22) &= e^{-0.3} &= 0.740818 \\
 &R &= 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) &&& &(27) \\
 &R &= 1 - (1 - 2.25278 \times 10^{-29}) \times (1 - 0.740818) \\
 &R &= 0.740818 \\
 \text{จาก } \mu &= \frac{-\ln R}{t} \\
 \mu &= -\ln 0.740818 \\
 \mu &= 0.290112 &&\text{ครั้งต่อปี}
 \end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned}
 &\text{อัตราการเสียหาย (ปี),} & \mu_1 &= 65.9630352 & \mu_2 &= 0.86 \\
 &R_1 &= e^{-\mu t} &(22) &= e^{-65.9630352} &= 2.25226 \times 10^{-29} \\
 &R_2 &= e^{-\mu t} &(22) &= e^{-0.86} &= 0.42316 \\
 &R &= 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) &&& &(27) \\
 &R &= 1 - (1 - 2.25226 \times 10^{-29}) \times (1 - 0.42316) \\
 &R &= 0.42316 \\
 \text{จาก } \mu &= \frac{-\ln R}{t} \\
 \mu &= -\ln 0.42316 \\
 \mu &= 0.86005 &&\text{ครั้งต่อปี}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 \mu_1 + \mu_2 &= 0.290112 + 0.86005 &&\text{ครั้งต่อปี} \\
 \mu &= 1.150162 &&\text{ครั้งต่อปี}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{เวลาเฉลี่ยความเสียหาย } MTBF &= \frac{1}{\mu} &(24) &= 0.86944 &&\text{ปี} \\
 &&&= 0.86944 \times 365 &&\text{วัน} \\
 &&&= 317 &&\text{วัน}
 \end{aligned}$$

13.9 การเวลาอัตราการเสียหายของการเกิด BLEVEs, Fireball

$$\text{อัตราการเสียหาย (ปี), } \mu_1 = 65.9630352 \quad \mu_2 = 0.86$$

$$R_1 = e^{-\mu t} \quad (22) = e^{-65.9630352} = 2.25226 \times 10^{-29}$$

$$R_2 = e^{-\mu t} \quad (22) = e^{-0.86} = 0.42316$$

$$R = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) \quad (27)$$

$$R = 1 - (1 - 2.25226 \times 10^{-29}) \times (1 - 0.42316)$$

$$R = 0.42316$$

$$\text{จาก } \mu = \frac{-\ln R}{t}$$

$$\mu = -\ln 0.42316$$

$$\mu = 0.86005 \quad \text{ครั้งต่อปี}$$

และ

$$\text{อัตราการเสียหาย (ปี), } \mu_1 = 65.9630352 \quad \mu_2 = 0.3$$

$$R_1 = e^{-\mu t} \quad (22) = e^{-65.9630352} = 2.25226 \times 10^{-29}$$

$$R_2 = e^{-\mu t} \quad (22) = e^{-0.3} = 0.74082$$

$$R = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) \quad (27)$$

$$R = 1 - (1 - 2.25226 \times 10^{-29}) \times (1 - 0.74082)$$

$$R = 0.74082$$

$$\text{จาก } \mu = \frac{-\ln R}{t}$$

$$\mu = -\ln 0.42316$$

$$\mu = 0.29999 \quad \text{ครั้งต่อปี}$$

ดังนั้น

$$\mu_1 + \mu_2 = 0.290112 + 0.29999 \quad \text{ครั้งต่อปี}$$

$$\mu = 0.59012 \quad \text{ครั้งต่อปี}$$

$$\text{เวลาเฉลี่ยความเสียหาย } MTBF = \frac{1}{\mu} \quad (24) = 1.69457 \quad \text{ปี}$$

$$= 1.69457 \times 365 \quad \text{วัน}$$

$$= 618.5 \quad \text{วัน}$$

13.10 การเกิดอุบัติเหตุรวม

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการเสียหาย (ปี),} &= \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 \\
 &= 65.9628 + 0.290112 + 1.150162 + 0.29999 \text{ ครั้งต่อปี} \\
 \mu &= 67.703064 \text{ ครั้งต่อปี}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{เวลาเฉลี่ยความเสียหาย MTBF} &= \frac{1}{\mu} (24) = 1.47704 \times 10^{-2} \text{ ปี} \\
 &= 1.47704 \times 10^{-2} \times 365 \text{ วัน} \\
 &= 5 \text{ วัน}
 \end{aligned}$$

14. วิเคราะห์ผลกระทบ (Consequence Analysis)

การวิเคราะห์ผลกระทบจะดำเนินการตามข้อกำหนดของ EPA 550-1999 ดังนี้

14.1 ผลกระทบจากการรั่วไหลที่เป็นอันตราย โดยหาระยะที่หากมีการรั่วไหลจะมีค่าความเข้มข้นของก๊าซที่เป็นอันตรายต่อบุคคลไม่เกิน TLV = 5,000 ppm

14.2 ผลกระทบจากการรั่วไหลที่ก่อให้เกิดเพลิงไหม้ (Vapour Cloud Fire: VCF) โดยหาระยะที่หากมีการรั่วไหลจะมีความเข้มข้นของก๊าซธรรมชาติผสมกับอากาศที่ 5 % (Lower Fire Limit) โดยหาแบบจำลองทางเลือกอื่น (Alternate Case) ที่ความเร็วลม 3.0 m/s เสงเดียวภาพ D

14.3 ผลกระทบจากการเกิดความร้อนจากเพลิงไหม้ โดยหาระยะที่เกิดกลุ่มความร้อน (Heat Flux) ของลูกไฟ (Fire Ball) หรือ BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion: BLEVE) ที่เป็นอันตรายของบุคคลของความร้อนที่ 5 kW ที่ 40 s โดยหาแบบจำลองทางเลือกอื่น (Alternate Case) ที่ความเร็วลม 3.0 m/s เสงเดียวภาพ D

14.4 ผลกระทบจากแรงระเบิด (Vapour Cloud Explosive: VCE) โดยหาระยะการเกิดแรงกระแทก (Shock Wave) จากแรงดันเกิน (Over Pressure) ที่เป็นอันตรายต่อบุคคลที่ 1 psi โดยหาแบบเหตุการณ์ร้ายแรง (Worst Case) ที่ความเร็วลม 1.5 m/s เสงเดียวภาพ F และแบบจำลองทางเลือกอื่น (Alternate Case) ที่ความเร็วลม 3.0 m/s เสงเดียวภาพ D

14.1 ผลกระทบจากการรั่วไหลที่ 5000 ppm หรือ 0.005%

14.1.1 หาระยะทางที่ความเข้มข้นจากการรั่วไหลของก๊าซธรรมชาติ

$$C_{PPM} = R_g \frac{T}{PM} C(x, y, z) 10^6 \quad (31)$$

เมื่อ	C_{PPM}	=	ค่าความเข้มข้นในล้านส่วน	=	5000 ppm
	R_g	=	คือค่าคงที่ของก๊าซธรรมชาติ	=	19.31 psi-ft ³ /lb mole K
	T	=	อุณหภูมิสมบูรณ์	=	25 + 273 = 298 K
	P	=	ความดันบรรยากาศ	=	14.7 psi
	M	=	มวลโมเลกุล NG	=	23.29 lb _m /lb-mol
	$C(x, y, z)$	=	ค่าความเข้มข้นในตำแหน่งที่จะหา		

$$C(x, y, z) = \frac{C_{ppm} PM}{TR_g 10^6} = \frac{5000 \times 14.7 \times 23.29}{298 \times 19.31 \times 10^6}$$

$$C(x, y, z) = 2.975 \times 10^{-4} \text{ lb/ft}^3 = 2.975 \times 10^{-4} \text{ lb/ft}^3 \times 16.018$$

$$C(x, y, z) = 4.765 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3 = 0.004765 \text{ kg/m}^3$$

14.1.2 แบบจำลองก๊าซรั่วไหล (Vapor Release Model) ของก๊าซธรรมชาติ

$$(Q_m)_{choked} = C_0 A P_0 \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{R_g T_0} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{(\gamma+1)}{(\gamma-1)}}} \quad (32)$$

เมื่อ	$(Q_m)_{choked}$	=	อัตราไหลของก๊าซที่ผ่านรูรั่ว kg/s
	C_0	=	1.00 สำหรับกรณีไหลทะลัก (Choked)
	A	=	พื้นที่รูคิดจากข้อต่อถึงแบบ ASME หรือขนาดท่อทั่วไปมี $\phi = 1/2$ " และคิด การรั่วไหล 100 %
	A	=	$\frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \times 0.5^2}{4} = 0.19625 \text{ in}^2 \div 144 = 0.001362847 \text{ ft}^2$

$$\begin{aligned}
 P_0 &= \text{ความดันสมบูรณ์} = 3,600 + 14.7 = 3,614.7 \text{ psi} \\
 &= 3,614.7 \text{ lb}_f/\text{in}^2 \times 144 = 520,516.8 \text{ lb}_f/\text{ft}^2 \\
 g_c &= \text{ค่าคงตัวความโน้มถ่วง} = 32.17 \text{ ft lb}_m/\text{lb}_f \text{ s}^2 \\
 M &= \text{มวลโมเลกุล NG} = 23.29 \text{ lb}_m/\text{lb-mole} \\
 R_g &= \text{คือค่าคงที่ของก๊าซ} = 19.31 \text{ psi-ft}^3/\text{lb-mole K} \\
 T_0 &= \text{อุณหภูมิสมบูรณ์} = 25 + 273 = 298 \text{ K} \\
 \gamma &= \frac{C_p}{C_v} = 1.32
 \end{aligned}$$

$$(Q_m)_{choked} 100\% =$$

$$\begin{aligned}
 &1.0 \times 0.001362847 \times 520,516.8 \sqrt{\frac{1.32 \times 32.17 \times 23.29}{19.31 \times 298} \left(\frac{2}{1.32 + 1} \right)^{\frac{(1.32+1)}{(1.32-1)}}} \\
 &= 709.385 \sqrt{(0.172)(0.341)}
 \end{aligned}$$

$$(Q_m)_{choked} 100\% = 171.8 \text{ lb}_m/\text{s} = 171.8 \div 2.2 = 78.09 \text{ kg/s}$$

14.1.3 การหาระยะทางจากการรั่วไหลที่ระดับพื้นของแบบจำลองลูกควันท่อเนื่อง (Plume) ของก๊าซธรรมชาติ

$$C(x, y, z) = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \quad (35)$$

$$\begin{aligned}
 C(x, 0, 0) &= \text{ความเข้มข้นในตำแหน่งที่จะหาด้านหน้า} = 0.004765 \text{ kg/m}^3 \\
 Q_m &= \text{แหล่งกำเนิด (มวล/เวลา)} = 78.09 \text{ kg/s} \\
 \sigma_x &= \text{สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายด้านหน้า Class F, Class D, m} \\
 \sigma_y &= \text{สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายด้านข้าง m} \\
 &= 0.04 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \quad (\text{Class F}) \\
 &= 0.08 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \quad (\text{Class D}) \\
 \sigma_z &= \text{สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายด้านบน Class F, Class D, m} \\
 \sigma_x &= \sigma_y
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.016 x (1 + 0.0003 x)^{-1} && \text{(Class F)} \\
 &= 0.06 x (1 + 0.0015 x)^{-1/2} && \text{(Class D)} \\
 x &= \text{ระยะทางใต้ลม m} \\
 u &= \text{ความเร็วกระแสลม Class F = 1.5 m/s, Class D = 3.0 m/s}
 \end{aligned}$$

หาระยะทางที่ความเข้มข้นจากการรั่วไหล 5000 ppm ที่ระดับพื้นดินของก๊าซธรรมชาติ

ก) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลร้ายแรง (A Worst-Case Scenario) สมมุติความเร็วลมให้เป็น 1.5 m/s เสถียรภาพบรรยากาศ F และอุณหภูมิเป็น 25°C

$$C(x,0,0) = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \quad (35)$$

$$\sigma_y \sigma_z = \frac{Q_m}{\pi u C(x,0,0)} = \frac{78.09}{3.14 \times 1.5 \times 4.765 \times 10^{-3}} \quad \text{(Class F)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Class F, } 0.04 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \times 0.016 x (1 + 0.0003 x)^{-1} &= 3479.458 \text{ m}^2 \\
 \text{การหาค่า } x \text{ โดยวิธีลองผิดลองถูก} &= 3647 \text{ m} \\
 \text{การคำนวณโดย RMP* Comp Ver.1.07} &= \text{NA (ดูภาคผนวก ข)}
 \end{aligned}$$

ข) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลทางอื่น (Alternative Release Scenarios) สมมุติความเร็วลมให้เป็น 3.0 m/s, เสถียรภาพบรรยากาศ D และอุณหภูมิเป็น 25°C

$$C(x,0,0) = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \quad (35)$$

$$\sigma_y \sigma_z = \frac{Q_m}{\pi u C(x,0,0)} = \frac{78.09}{3.14 \times 3.0 \times 4.765 \times 10^{-3}} \quad \text{(Class D)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Class D, } 0.08 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \times 0.06 x (1 + 0.0015 x)^{-1/2} &= 1739.729 \text{ m}^2 \\
 \text{การหาค่า } x \text{ โดยวิธีลองผิดลองถูก} &= 963 \text{ m} \\
 \text{การคำนวณโดย RMP* Comp Ver.1.07} &= \text{NA (ดูภาคผนวก ข)}
 \end{aligned}$$

14.1.4 หาระยะทางที่ความเข้มข้นจากการรั่วไหลของมีเทน 100%

$$C_{PPM} = R_g \frac{T}{PM} C(x, y, z) 10^6 \quad (31)$$

เมื่อ

C_{PPM}	=	ค่าความเข้มข้นในล้านส่วน	=	5000 ppm
M	=	มวลโมเลกุลมีเทน	=	16.04 lb _m /lb-mol
$C(x, y, z)$	=	ค่าความเข้มข้นในตำแหน่งที่จะหา		

$$C(x, y, z) = \frac{C_{ppm} PM}{TR_g 10^6} = \frac{5000 \times 14.7 \times 16.04}{298 \times 19.31 \times 10^6}$$

$$C(x, y, z) = 2.049 \times 10^{-4} \text{ lb/ft}^3 = 2.975 \times 10^{-4} \text{ lb/ft}^3 \times 16.018$$

$$C(x, y, z) = 3.282 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3 = 0.003282 \text{ kg/m}^3$$

14.1.5 แบบจำลองก๊าซรั่วไหล (Vapor Release Model) ของมีเทน

$$(Q_m)_{choked} = C_0 A P_0 \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{R_g T_0} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{(\gamma+1)}{(\gamma-1)}}} \quad (32)$$

เมื่อ

$(Q_m)_{choked}$	=	อัตราไหลของก๊าซที่ผ่านรูรั่ว kg/s		
M	=	มวลโมเลกุลมีเทน	=	16.04 lb _m /lb-mol
$(Q_m)_{choked} 100\%$	=			

$$1.0 \times 0.001362847 \times 520516.8 \sqrt{\frac{1.32 \times 32.17 \times 16.04}{19.31 \times 298} \left(\frac{2}{1.32 + 1} \right)^{\frac{(1.32+1)}{(1.32-1)}}}$$

$$= 709.385 \sqrt{(0.118)(0.341)}$$

$$(Q_m)_{choked} 100\% = 142.5 \text{ lb}_m/\text{s} = 171.8 \div 2.2 = 64.77 \text{ kg/s}$$

14.1.6 การหาระยะทางจากการรั่วไหลที่ระดับพื้นของแบบจำลองลูกกวานต่อเนื่อง (Plume) ของมีเทน

$$C(x, y, z) = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \quad (35)$$

$$\begin{aligned} C(x, 0, 0) &= \text{ความเข้มข้นในตำแหน่งที่จะหาด้านหน้า} = 0.003282 \text{ kg/m}^3 \\ Q_m &= \text{แหล่งกำเนิด (มวล/เวลา)} = 64.77 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

หาระยะทางที่ความเข้มข้นจากการรั่วไหล 5000 ppm ที่ระดับพื้นดินของมีเทน

ก) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลร้ายแรง (A Worst-Case Scenario) สมมุติ
ความเร็วลมให้เป็น 1.5 m/s เสถียรภาพบรรยากาศ F และอุณหภูมิเป็น 25°C

$$\sigma_y \sigma_z = \frac{Q_m}{\pi u C(x, 0, 0)} = \frac{78.09}{3.14 \times 1.5 \times 3.282 \times 10^{-3}} \quad (\text{Class F})$$

$$\text{Class F, } 0.04 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \times 0.016 x (1 + 0.0003 x)^{-1} = 5104.08 \text{ m}^2$$

$$\text{การหาค่า } x \text{ โดยวิธีลองผิดลองถูก} = 4905 \text{ m}$$

$$\text{การคำนวณโดย RMP* Comp Ver.1.07} = \text{NA (ดูภาคผนวก ข)}$$

ข) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลทางอื่น (Alternative Release Scenarios) สมมุติ
ความเร็วลมให้เป็น 3.0 m/s, เสถียรภาพบรรยากาศ D และอุณหภูมิเป็น 25°C

$$\sigma_y \sigma_z = \frac{Q_m}{\pi u C(x, 0, 0)} = \frac{78.09}{3.14 \times 3.0 \times 3.282 \times 10^{-3}} \quad (\text{Class D})$$

$$\text{Class D, } 0.08 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \times 0.06 x (1 + 0.0015 x)^{-1/2} = 2552.04 \text{ m}^2$$

$$\text{การหาค่า } x \text{ โดยวิธีลองผิดลองถูก} = 1286 \text{ m}$$

$$\text{การคำนวณโดย RMP* Comp Ver.1.07} = \text{NA (ดูภาคผนวก ข)}$$

14.1.7 หาระยะทางที่ความเข้มข้นจากการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพ

$$C_{PPM} = R_g \frac{T}{PM} C(x, y, z) 10^6 \quad (31)$$

เมื่อ C_{PPM} = ค่าความเข้มข้นในล้านส่วน = 5000 ppm
 M = มวลโมเลกุลก๊าซชีวภาพ = 26.26 lb_m/lb-mol
 $C(x, y, z)$ = ค่าความเข้มข้นในตำแหน่งที่จะหา

$$C(x, y, z) = \frac{C_{ppm} PM}{TR_g 10^6} = \frac{5000 \times 14.7 \times 26.26}{298 \times 19.31 \times 10^6}$$

$$C(x, y, z) = 3.354 \times 10^{-4} \text{ lb/ft}^3 = 2.975 \times 10^{-4} \text{ lb/ft}^3 \times 16.018$$

$$C(x, y, z) = 5.373 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3 = 0.005373 \text{ kg/m}^3$$

14.1.8 แบบจำลองก๊าซรั่วไหล (Vapor Release Model) ของก๊าซชีวภาพ

$$(Q_m)_{choked} = C_0 A P_0 \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{R_g T_0} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{(\gamma+1)}{(\gamma-1)}}} \quad (32)$$

เมื่อ $(Q_m)_{choked}$ = อัตราไหลของก๊าซที่ผ่านรูรั่ว kg/s
 M = มวลโมเลกุลก๊าซชีวภาพ = 26.26 lb_m/lb-mol
 $(Q_m)_{choked} 100\% =$

$$1.0 \times 0.001362847 \times 520516.8 \sqrt{\frac{1.32 \times 32.17 \times 26.26}{19.31 \times 298} \left(\frac{2}{1.32 + 1} \right)^{\frac{(1.32+1)}{(1.32-1)}}}$$

$$= 709.385 \sqrt{(0.194)(0.341)}$$

$$(Q_m)_{choked} 100\% = 182.5 \text{ lb}_m/\text{s} = 182.5 \div 2.2 = 82.95 \text{ kg/s}$$

14.1.9 การหาระยะทางจากการรั่วไหลที่ระดับพื้นของแบบจำลองลูกกวานต่อเนื่อง (Plume) ของก๊าซชีวภาพ

$$C(x, y, z) = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \quad (35)$$

$$\begin{aligned} C(x, 0, 0) &= \text{ความเข้มข้นในตำแหน่งที่จะหาด้านหน้า} = 0.005373 \text{ kg/m}^3 \\ Q_m &= \text{แหล่งกำเนิด (มวล/เวลา)} = 82.95 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

หาระยะทางที่ความเข้มข้นจากการรั่วไหล 5000 ppm ที่ระดับพื้นดินของมีเทน

ก) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลร้ายแรง (A Worst-Case Scenario) สมมุติความเร็วลมให้เป็น 1.5 m/s เสถียรภาพบรรยากาศ F และอุณหภูมิเป็น 25°C

$$\sigma_y \sigma_z = \frac{Q_m}{\pi u C(x, 0, 0)} = \frac{78.09}{3.14 \times 1.5 \times 5.373 \times 10^{-3}} \quad (\text{Class F})$$

$$\text{Class F, } 0.04 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \times 0.016 x (1 + 0.0003 x)^{-1} = 3085.728 \text{ m}^2$$

$$\text{การหาค่า } x \text{ โดยวิธีลองผิดลองถูก} = 3338 \text{ m}$$

$$\text{การคำนวณโดย RMP* Comp Ver.1.07} = \text{NA (ดูภาคผนวก ข)}$$

ข) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลทางอื่น (Alternative Release Scenarios) สมมุติความเร็วลมให้เป็น 3.0 m/s, เสถียรภาพบรรยากาศ D และอุณหภูมิเป็น 25°C

$$\sigma_y \sigma_z = \frac{Q_m}{\pi u C(x, 0, 0)} = \frac{78.09}{3.14 \times 3.0 \times 5.373 \times 10^{-3}} \quad (\text{Class D})$$

$$\text{Class D, } 0.08 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \times 0.06 x (1 + 0.0015 x)^{-1/2} = 1542.864 \text{ m}^2$$

$$\text{การหาค่า } x \text{ โดยวิธีลองผิดลองถูก} = 883 \text{ m}$$

$$\text{การคำนวณโดย RMP* Comp Ver.1.07} = \text{NA (ดูภาคผนวก ข)}$$

14.2 ผลกระทบจากการรั่วไหลที่ก่อให้เกิดเพลิงไหม้ LFL 5% หรือ 50000 ppm

14.2.1 โดยหาผลกระทบจากการรั่วไหลที่ก่อให้เกิดเพลิงไหม้ของก๊าซธรรมชาติ

$$C_{PPM} = R_g \frac{T}{PM} C(x, y, z) 10^6 \quad (31)$$

เมื่อ

C_{PPM}	=	ค่าความเข้มข้นในล้านส่วน	=	50000 ppm
M	=	มวลโมเลกุล (มวล/โมล)	=	23.29 lb _m /lb-mol
$C(x, y, z)$	=	ค่าความเข้มข้นในตำแหน่งที่จะหา		

$$C(x, y, z) = \frac{C_{ppm} PM}{TR_g 10^6} = \frac{50000 \times 14.7 \times 23.29}{298 \times 19.31 \times 10^6}$$

$$C(x, y, z) = 2.975 \times 10^{-3} \text{ lb/ft}^3 = 2.975 \times 10^{-3} \text{ lb/ft}^3 \times 16.018$$

$$C(x, y, z) = 4.765 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^3 = 0.04765 \text{ kg/m}^3$$

14.2.2 แบบจำลองก๊าซรั่วไหล (Vapor Release Model) ของก๊าซธรรมชาติ

$$(Q_m)_{choked} = C_0 A P_0 \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{R_g T_0} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{(\gamma+1)}{(\gamma-1)}}} \quad (32)$$

เมื่อ

$(Q_m)_{choked}$	=	อัตราไหลของก๊าซที่ผ่านรูรั่ว kg/s		
M	=	มวลโมเลกุลก๊าซธรรมชาติ	=	23.29 lb _m /lb-mol

$$(Q_m)_{choked} 100\% =$$

$$1.0 \times 0.001362847 \times 520516.8 \sqrt{\frac{1.32 \times 32.17 \times 23.29}{19.31 \times 298} \left(\frac{2}{1.32 + 1} \right)^{\frac{(1.32+1)}{(1.32-1)}}}$$

$$= 709.385 \sqrt{(0.172)(0.341)}$$

$$(Q_m)_{choked} 100\% = 171.8 \text{ lb}_m/\text{s} = 171.8 \div 2.2 = 78.09 \text{ kg/s}$$

14.2.3 การหาระยะทางจากการรั่วไหลที่ระดับพื้นของแบบจำลองลูกกวานต่อเนื่อง (Plume) ของก๊าซธรรมชาติ

$$C(x, y, z) = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \quad (35)$$

$$\begin{aligned} C(x, 0, 0) &= \text{ความเข้มข้นในตำแหน่งที่จะหาด้านหน้า} = 4.765 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^3 \\ Q_m &= \text{แหล่งกำเนิด (มวล/เวลา)} = 78.09 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

หาระยะทางที่ความเข้มข้นจากการรั่วไหล 5 % LFL หรือ 50000 ppm ของก๊าซธรรมชาติ

ก) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลร้ายแรง (A Worst-Case Scenario) สมมุติความเร็วลมให้เป็น 1.5 m/s เสถียรภาพบรรยากาศ F และอุณหภูมิเป็น 25°C

$$\sigma_y \sigma_z = \frac{Q_m}{\pi u C(x, 0, 0)} = \frac{78.09}{3.14 \times 1.5 \times 4.765 \times 10^{-2}} \quad (\text{Class F})$$

$$\text{Class F, } 0.04 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \times 0.016 x (1 + 0.0003 x)^{-1} = 347.946 \text{ m}^2$$

$$\text{การหาค่า } x \text{ โดยวิธีลองผิดลองถูก} = 842 \text{ m}$$

$$\text{การคำนวณโดย RMP* Comp Ver.1.07} = \text{NA (ดูภาคผนวก ข)}$$

ข) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลทางอื่น (Alternative Release Scenarios) สมมุติ ความเร็วลมให้เป็น 3.0 m/s เสถียรภาพบรรยากาศ D และอุณหภูมิเป็น 25°C

$$\sigma_y \sigma_z = \frac{Q_m}{\pi u C(x, 0, 0)} = \frac{78.09}{3.14 \times 3.0 \times 4.765 \times 10^{-2}} \quad (\text{Class D})$$

$$\text{Class D, } 0.08 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \times 0.06 x (1 + 0.0015 x)^{-1/2} = 173.973 \text{ m}^2$$

$$\text{การหาค่า } x \text{ โดยวิธีลองผิดลองถูก} = 239 \text{ m}$$

$$\text{การคำนวณโดย RMP* Comp Ver.1.07} = 200 \text{ m (ดูภาคผนวก ข)}$$

14.2.4 การหาผลกระทบจากการรั่วไหลโดยใช้ มีเทน 100 % ที่ LFL 5%

$$C_{PPM} = R_g \frac{T}{PM} C(x, y, z) 10^6 \quad (31)$$

เมื่อ C_{PPM} = ค่าความเข้มข้นในล้านส่วน = 50000 ppm
 M = มวลโมเลกุลมีเทน = 16.04 lb_m/lb-mol
 $C(x, y, z)$ = ค่าความเข้มข้นในตำแหน่งที่จะหา

$$C(x, y, z) = \frac{C_{ppm} PM}{TR_g 10^6} = \frac{50000 \times 14.7 \times 16.04}{298 \times 19.31 \times 10^6}$$

$$C(x, y, z) = 2.049 \times 10^{-3} \text{ lb/ft}^3 = 2.975 \times 10^{-3} \text{ lb/ft}^3 \times 16.018$$

$$C(x, y, z) = 3.282 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^3 = 0.03282 \text{ kg/m}^3$$

14.2.5 แบบจำลองก๊าซรั่วไหล (Vapor Release Model)

$$(Q_m)_{choked} = C_0 A P_0 \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{R_g T_0} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{(\gamma+1)}{(\gamma-1)}}} \quad (32)$$

เมื่อ $(Q_m)_{choked}$ = อัตราไหลของก๊าซที่ผ่านรูรั่ว kg/s
 M = มวลโมเลกุล CH₄ = 16.04 lb_m/lb-mol

$$(Q_m)_{choked} 100\% =$$

$$1.0 \times 0.001362847 \times 520516.8 \sqrt{\frac{1.32 \times 32.17 \times 16.04}{19.31 \times 298} \left(\frac{2}{1.32 + 1} \right)^{\frac{(1.32+1)}{(1.32-1)}}}$$

$$= 709.385 \sqrt{(0.118)(0.341)}$$

$$(Q_m)_{choked} 100\% = 142.3 \text{ lb}_m/\text{s} = 171.8 \div 2.2 = 64.68 \text{ kg/s}$$

14.2.6 การหาระยะทางจากการรั่วไหลที่ระดับพื้นของแบบจำลองลูกกวานต่อเนื่อง (Plume) ของมีเทน

$$C(x, y, z) = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \quad (35)$$

$$\begin{aligned} C(x, 0, 0) &= \text{ความเข้มข้นในตำแหน่งที่จะหาด้านหน้า} = 3.282 \times 10^{-2} \text{ Kg/m}^3 \\ Q_m &= \text{แหล่งกำเนิด (มวล/เวลา)} = 64.68 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

ดังนั้นระยะทางที่ความเข้มข้นจากการรั่วไหล 5 % LFL, 50000 ppm สำหรับมีเทน 100 %

ก) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลร้ายแรง (A Worst-Case Scenario) สมมุติ ความเร็วลมให้เป็น 1.5 m/s เสถียรภาพบรรยากาศ F และอุณหภูมิเป็น 25°C

$$\sigma_y \sigma_z = \frac{Q_m}{\pi u C(x, 0, 0)} = \frac{64.68}{3.14 \times 1.5 \times 3.282 \times 10^{-2}} \quad (\text{Class F})$$

$$\text{Class F, } 0.04 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \times 0.016 x (1 + 0.0003 x)^{-1} = 418.418 \text{ m}^2$$

$$\text{การหาค่า } x \text{ โดยวิธีลองผิดลองถูก} = 936 \text{ m}$$

$$\text{การคำนวณโดย RMP* Comp Ver.1.07} = \text{NA (ดูภาคผนวก ข)}$$

ข) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลทางอื่น (Alternative Release Scenarios) สมมุติ ความเร็วลมให้เป็น 3.0 m/s, เสถียรภาพบรรยากาศ D และอุณหภูมิเป็น 25°C

$$\sigma_y \sigma_z = \frac{Q_m}{\pi u C(x, 0, 0)} = \frac{64.68}{3.14 \times 3.0 \times 3.282 \times 10^{-2}} \quad (\text{Class D})$$

$$\text{Class D, } 0.08 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \times 0.06 x (1 + 0.0015 x)^{-1/2} = 209.209 \text{ m}^2$$

$$\text{การหาค่า } x \text{ โดยวิธีลองผิดลองถูก} = 246 \text{ m}$$

$$\text{การคำนวณโดย RMP* Comp Ver.1.07} = 200 \text{ m (ดูภาคผนวก ข)}$$

14.2.7 การหาผลกระทบจากการรั่วไหลโดยใช้ก๊าซชีวภาพ ที่ LFL 5%

$$C_{PPM} = R_g \frac{T}{PM} C(x, y, z) 10^6 \quad (31)$$

เมื่อ

C_{PPM}	=	ค่าความเข้มข้นในล้านส่วน	=	50000 ppm
M	=	มวลโมเลกุลก๊าซชีวภาพ	=	26.26 lb _m /lb-mol
$C(x, y, z)$	=	ค่าความเข้มข้นในตำแหน่งที่จะหา		

$$C(x, y, z) = \frac{C_{ppm} PM}{TR_g 10^6} = \frac{50000 \times 14.7 \times 26.26}{298 \times 19.31 \times 10^6}$$

$$C(x, y, z) = 3.354 \times 10^{-3} \text{ lb/ft}^3 = 2.975 \times 10^{-3} \text{ lb/ft}^3 \times 16.018$$

$$C(x, y, z) = 5.373 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^3 = 0.05373 \text{ kg/m}^3$$

14.2.8 แบบจำลองก๊าซรั่วไหล (Vapor Release Model)

$$(Q_m)_{choked} = C_0 A P_0 \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{R_g T_0} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{(\gamma+1)}{(\gamma-1)}}} \quad (32)$$

เมื่อ

$(Q_m)_{choked}$	=	อัตราไหลของก๊าซที่ผ่านรูรั่ว kg/s		
M	=	มวลโมเลกุลก๊าซชีวภาพ	=	26.26 lb _m /lb-mol

$$(Q_m)_{choked} 100\% =$$

$$1.0 \times 0.001362847 \times 520516.8 \sqrt{\frac{1.32 \times 32.17 \times 26.26}{19.31 \times 298} \left(\frac{2}{1.32 + 1} \right)^{\frac{(1.32+1)}{(1.32-1)}}}$$

$$= 709.385 \sqrt{(0.194)(0.341)}$$

$$(Q_m)_{choked} 100\% = 182.4 \text{ lb}_m/\text{s} = 171.8 \div 2.2 = 82.91 \text{ kg/s}$$

14.2.9 การหาระยะทางจากการรั่วไหลที่ระดับพื้นของแบบจำลองลูกกวานต่อเนื่อง (Plume) ของก๊าซชีวภาพ

$$C(x, y, z) = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \quad (35)$$

$$\begin{aligned} C(x, 0, 0) &= \text{ความเข้มข้นในตำแหน่งที่จะหาด้านหน้า} = 5.373 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^3 \\ Q_m &= \text{แหล่งกำเนิด (มวล/เวลา)} = 82.91 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

ดังนั้นระยะทางที่ความเข้มข้นจากการรั่วไหล 5 % LFL, 50000 ppm ของก๊าซชีวภาพ

ก) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลร้ายแรง (A Worst-Case Scenario) สมมุติ ความเร็วลมให้เป็น 1.5 m/s เสถียรภาพบรรยากาศ F และอุณหภูมิเป็น 25°C

$$\sigma_y \sigma_z = \frac{Q_m}{\pi u C(x, 0, 0)} = \frac{82.91}{3.14 \times 1.5 \times 5.373 \times 10^{-2}} \quad (\text{Class F})$$

$$\begin{aligned} \text{Class F, } 0.04 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \times 0.016 x (1 + 0.0003 x)^{-1} &= 327.62 \text{ m}^2 \\ \text{การหาค่า } x \text{ โดยวิธีลองผิดลองถูก} &= 814 \text{ m} \\ \text{การคำนวณโดย RMP* Comp Ver.1.07} &= \text{NA (ดูภาคผนวก ข)} \end{aligned}$$

ข) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลทางอื่น (Alternative Release Scenarios) สมมุติ ความเร็วลมให้เป็น 3.0 m/s, เสถียรภาพบรรยากาศ D และอุณหภูมิเป็น 25°C

$$\sigma_y \sigma_z = \frac{Q_m}{\pi u C(x, 0, 0)} = \frac{82.91}{3.14 \times 3.0 \times 5.373 \times 10^{-2}} \quad (\text{Class D})$$

$$\begin{aligned} \text{Class D, } 0.08 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \times 0.06 x (1 + 0.0015 x)^{-1/2} &= 163.82 \text{ m}^2 \\ \text{การหาค่า } x \text{ โดยวิธีลองผิดลองถูก} &= 213 \text{ m} \\ \text{การคำนวณโดย RMP* Comp Ver.1.07} &= 200 \text{ m (ดูภาคผนวก ข)} \end{aligned}$$

14.3 ผลกระทบจากความร้อนจากเพลิงไหม้ (เบลเว่: BLEVEs)

จากสมการของ AICHE สมการจะใช้สำหรับโดยการรับการแผ่รังสี (EPA 550-1999)

$$q = \frac{2.2\tau_a RH_c m_f^{0.67}}{4\pi L^2} \quad (38)$$

โดย q = การรับรังสีที่ปลายสุด W/m^2

ผลของอุณหภูมิการแผ่รังสีโดยทั่วไปคือสัดส่วนความรุนแรงการแผ่รังสี $4/3$ ช่วงเวลาพลังงานของเวลาในการสัมผัส เช่น ปริมาณความร้อน (Dose) จะประมาณการโดยใช้สมการ

$$Dose = tq^{4/3} \quad (41)$$

โดย t = ระยะเวลาของการสัมผัส = 40 s

q = ความรุนแรงการแผ่รังสี = $5,000 \text{ W/m}^2$

ปริมาณความร้อน (Dose) ในกรณีการถูกไฟลวกระดับสอง (Second-Degree Burns) สมมุติให้เป็น 40 วินาที และ $5,000 \text{ W/m}^2$ ตามความรุนแรงการแผ่รังสี ตามส่วนปริมาณคือ 3,420,000 $(\text{W/m}^2)^{4/3}$ -s หรือ

$$\begin{aligned} Dose &= 40 \times 5,000^{4/3} \\ &= 3,419,951.893 \text{ } (\text{W/m}^2)^{4/3}\text{-s หรือ} \\ &= 3,420,000 (\text{W/m}^2)^{4/3}\text{-s} \end{aligned}$$

14.3.1 สำหรับการประมาณระยะจากลูกไฟ (Fireball) ที่ซึ่งปลายสุดที่รับการแผ่รังสีในกรณีไฟลวกระดับที่สอง การประมาณปริมาณสูงพอที่จะนำไปสู่สมการการรับการแผ่รังสีจากลูกไฟโดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

$$q = \left(\frac{3,420,000}{t} \right)^{\frac{3}{4}}$$

$$\left(\frac{3,420,000}{t}\right)^{\frac{3}{4}} = \frac{2.2\tau_a RH_c m_f^{0.67}}{4\pi L^2}$$

$$L = \sqrt{\frac{2.2\tau_a RH_c m_f^{0.67}}{4\pi \left(\frac{3,420,000}{t}\right)^{\frac{3}{4}}}}$$

เมื่อ	L	=	ระยะจากศูนย์กลางลูกไฟถึงจุดรับ	=	m
	q	=	ปลายสุดที่รับรังสีความร้อน	=	$\left(\frac{3,420,000}{t}\right)^{\frac{3}{4}}$
	m_f	=	มวลเชื้อเพลิงในลูกไฟ	=	352.198 kg
	τ_a	=	บรรยากาศที่ส่งผ่าน สมมุติ	=	1
	H_c	=	ค่าความร้อนการเผาไหม้ 40124.548 kJ/kg × 1000	=	40,124,548 J/kg
		=	40,124,548 J/kg ÷ 352.198 kg	=	113926 J
	R	=	ส่วนของการแผ่รังสีของค่าความร้อนการเผาไหม้ สมมุติ (สำหรับการรั่วประทุที่แรงดันสูงกว่าลิ้นระบายแรงดัน)	=	0.4
	t	=	ระยะเวลาของลูกไฟ s สมมุติ	=	s
	t_c	=	$0.45m_f^{1/3}$ สำหรับ $m_f < 30,000$ kg (39)		
		=	$0.45 \times 352.198^{1/3}$		
	t_c	=	3.18 s		
	π	=	3.14		

$$L = \sqrt{\frac{2.2 \times 1 \times 0.4 \times 113926 \times 352.198^{0.67}}{4 \times 3.14 \left(\frac{3,420,000}{3.18}\right)^{\frac{3}{4}}}}$$

$$= 62.945 \text{ m}$$

การคำนวณโดย Rmp* Comp Ver.1.07 = NA (ดูภาคผนวก ข)

14.3.2 การใช้มีเทน 100% เพื่อทดสอบผลกับ RMP* Comp Ver.1.07

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } m_f &= \text{มวลเชื้อเพลิงในถังไฟของมีเทน} &= 242.496 \text{ kg} \\
 H_c &= \text{ค่าความร้อนการเผาไหม้ } 50,029 \text{ kJ/kg} \times 1000 &= 50,029,000 \text{ J/kg} \\
 &= 50,029,000 \text{ J/kg} \div 242.581 \text{ kg} &= 206236 \text{ J} \\
 t_c &= 0.45m_f^{1/3} \quad \text{สำหรับ } m_f < 30,000 \text{ kg} &(39) \\
 &= 0.45 \times 242.581^{1/3} &= 2.81 \text{ s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L &= \sqrt{\frac{2.2 \times 1 \times 0.4 \times 50,029,000 \times 242.581^{0.67}}{4 \times 3.14 \left(\frac{3,420,000}{2.81} \right)^{\frac{3}{4}}}} \\
 &= 62.4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

การคำนวณโดย RMP* Comp Ver.1.07 = 70 m (ดูภาคผนวก ข)

14.3.3 การใช้ก๊าซชีวภาพเพื่อทดสอบสมการ

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } m_f &= \text{มวลเชื้อเพลิงในถังไฟของมีเทน} &= 397 \text{ kg} \\
 H_c &= \text{ค่าความร้อนการเผาไหม้ } 30,808.805 \text{ kJ/kg} \times 1000 &= 30,808,805 \text{ J/kg} \\
 &= 30,808,805 \text{ J/kg} \div 397 \text{ kg} &= 77604 \text{ J} \\
 t_c &= 0.45m_f^{1/3} \quad \text{สำหรับ } m_f < 30,000 \text{ kg} &(39) \\
 &= 0.45 \times 242.581^{1/3} &= 3.31 \text{ s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L &= \sqrt{\frac{2.2 \times 1 \times 0.4 \times 30,808,805 \times 397^{0.67}}{4 \times 3.14 \left(\frac{3,420,000}{3.31} \right)^{\frac{3}{4}}}} \\
 &= 60.58 \text{ m}
 \end{aligned}$$

การคำนวณโดย RMP* Comp Ver.1.07 = NA (ดูภาคผนวก ข)

14.4 ผลกระทบจากแรงระเบิด

14.4.1 โดยการวิเคราะห์ผลกระทบธรรมชาติของอันตรายความรุนแรงของผลกระทบของวัตถุไวไฟ (Flammable Substance) โดยพิจารณาจากสมการประมาณระยะแรงระเบิดที่ 1 psi สำหรับการระเบิดจากหมอกไอก๊าซ โดยใช้ HC_m หรือค่าความร้อนการเผาไหม้ของที่ผสมกัน (kJ/kg) โดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

$$D = 17 \times \left(0.1 \times W_f \times \frac{HC_f}{HC_{TNT}} \right)^{1/3} \quad (36)$$

โดย	D	=	ระยะแรงระเบิดที่ 1 psi	m
	W_f	=	น้ำหนักของวัตถุไวไฟ	= 352.198 kg
	HC_f	=	ค่าความร้อนการเผาไหม้ของวัตถุไวไฟ	= 40,124.548 kJ/kg
	HC_{TNT}	=	ค่าความร้อนของการระเบิดของไตรไนโตรโทลูอิน (TNT)	= 4,680 kJ/kg
	17	=	ค่าคงที่สำหรับที่สัมพันธ์กับความเสียหายของแรงระเบิด 1 psi	
	0.1	=	ใช้อ้างแทนประสิทธิภาพการระเบิดที่ร้อยละ 10	

$$D = 17 \times \left(0.1 \times 352.198 \times \frac{40124.548}{4680} \right)^{1/3}$$

$$= 114.051 \text{ m}$$

การคำนวณโดย RMP* Comp Ver.1.07 = 120 m (ดูภาคผนวก ข)

14.4.2 การใช้ HC_f มีเทน 100 % เพื่อทดสอบโปรแกรม RMP* Comp Ver.1.07

โดย	W_f	=	น้ำหนักของวัตถุไวไฟ	= 242.561 kg
	HC_f	=	ค่าความร้อนการเผาไหม้ของ CH_4	= 50,029 kJ/kg

$$D = 17 \times \left(0.1 \times 242.561 \times \frac{50029}{4680} \right)^{1/3}$$

$$= 108 \text{ m}$$

การคำนวณจาก Rmp* Comp Ver.1.07 = 120 m (ดูภาคผนวก ข)

14.4.3 การใช้ HC_f เป็นก๊าซชีวภาพเพื่อทดสอบสมการ

$$\begin{aligned} \text{โดย } W_f &= \text{น้ำหนักของวัตถุไวไฟ} = 397 \text{ kg} \\ HC_f &= \text{ค่าความร้อนการเผาไหม้ของก๊าซชีวภาพ} = 30,808.805 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$D = 17 \times \left(0.1 \times 397 \times \frac{30,808.805}{4680} \right)^{1/3}$$

$$= 108.69 \text{ m}$$

การคำนวณจาก Rmp* Comp Ver.1.07 = 120 m (ดูภาคผนวก ข)