

ผลการวิจัยและวิจารณ์

จากข้อมูลที่ได้ทำการวิจัยศึกษาและรวบรวมซึ่งได้ผลการวิจัย กล่าวคือ

1. จากการวิจัยพบว่า สถานีบริการก๊าซธรรมชาติรถยนต์ในประเทศไทยอยู่ภายใต้การกำกับของกฎหมายหลักคือ พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 นอกจากนี้ยังมีกฎหมายที่กำหนดระยะปลอดภัยภายนอกของสถานประกอบการ คือตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และมาตรฐานความปลอดภัยของสถานีบริการก๊าซธรรมชาติที่กรมธุรกิจพลังงานมีอำนาจหน้าที่รับผิดชอบ พ.ศ. 2546 ออกตามความในพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ข้อ 21 ซึ่งบัญญัติว่า “สถานีบริการต้องมีระยะห่างระหว่างเขตสถานีบริการกับอาคารสถานทูต โรงเรียน สถานพยาบาล โรงมหรสพ สนามกีฬา หรือศูนย์การค้า ไม่น้อยกว่า 60.00 เมตร เว้นแต่อาคารสาธารณะที่กล่าวข้างต้นจะมีขึ้นภายหลังที่ผู้ประสงค์จะประกอบกิจการได้ยื่นคำขอรับใบอนุญาตไว้แล้ว” และข้อ 22 ซึ่งบัญญัติว่า “สถานีบริการต้องมีระยะห่างระหว่างเขตสถานีบริการ กับเขตพระราชฐานไม่น้อยกว่า 500 เมตร”

2. ลักษณะของสถานีบริการก๊าซธรรมชาตินั้น ปัจจุบัน (พ.ศ. 2546) มีสถานีบริการก๊าซธรรมชาติ จำนวน 26 แห่ง อยู่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งเป็นสถานีบริการก๊าซธรรมชาติที่สร้างก่อนที่จะมีประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องหลักเกณฑ์และมาตรฐานความปลอดภัยของสถานีบริการก๊าซธรรมชาติ ที่กรมธุรกิจพลังงานมีอำนาจหน้าที่รับผิดชอบ พ.ศ.2546 และได้รับใบอนุญาตมีไว้ในครอบครองซึ่งวัตถุอันตราย ตามแบบ วอ.8 เป็นกรณีพิเศษ ตามบทเฉพาะกาล ซึ่งพบว่า ในสถานีบริการก๊าซธรรมชาติทั้งหมด จะเป็นระบบเติมเร็ว (Fast Fill CNG System) มีรูปแบบลักษณะเป็นสถานีบริการแบบสถานีแม่ (Mother Station) จำนวน 3 แห่ง สถานีบริการแบบสถานีลูก (Daughter Station) จำนวน 19 และแห่งสถานีบริการแบบพื้นฐานหรือแบบมีท่อส่งก๊าซ (Conventional Station) จำนวน 2 แห่ง

3. การวิจัยครั้งนี้ได้เลือกเอาสถานีบริการสวัสดิการรถไฟ (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 และเป็น 1 ใน 3 แห่งที่มีการใช้ถังเก็บและจ่ายก๊าซธรรมชาติมีความจุที่ใหญ่ที่สุดคือ 1,200 ลิตร และมีแรงดันใช้งาน 3600 psi

4. ข้อมูลความปลอดภัยก๊าซธรรมชาติจะพิจารณาตามแบบแจ้งรายละเอียดของสารเคมีอันตรายในสถานประกอบการของ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ซึ่งใช้ชื่อทางการค้าของก๊าซธรรมชาติชื่อว่า Sales Gas โดยพบว่าก๊าซธรรมชาติของ ปตท. ประกอบไปด้วย มีเทนเป็นส่วนใหญ่ และเนื่องจากก๊าซธรรมชาติของ ปตท. มีส่วนประกอบที่ไม่แน่นอน ดังนั้นในการคำนวณหาอันตรายจึงต้องนำมาหาค่าโมเลกุลเฉลี่ย และค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ก่อนที่จะเริ่มทำการคำนวณและได้ผลการคำนวณหาโมเลกุล $\sum M_i Y_i = 23.3 \text{ lb mole}$ ซึ่งนำมาใช้ในการประมาณน้ำหนักก๊าซธรรมชาติ

5. การประมาณการจากถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบ ASME มีขนาดความจุมากที่สุดคือ 1,200 ลิตร โดยใช้สมการก๊าซอุดมคติ คือ

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

โดยที่	P	=	ความดันสมบูรณ์	$3,600 + 14.7$	=	$3,614.7 \text{ psi}$
	V	=	ปริมาตรถัง	$1,200 \text{ ลิตร} \div 28.32$	=	42.37 ft^3
	Z	=	Factor	~ 0.8		
	n	=	จำนวนโมลของก๊าซ	mole		
	R	=	คือค่าคงที่ของก๊าซ	$19.31 \text{ psi-ft}^3/\text{lb mole K}$		
	T	=	อุณหภูมิสมบูรณ์	$25 + 273 = 298 \text{ K}$		
	n	=	$\frac{3,614.7 \times 42.37}{0.8 \times 19.31 \times 298}$	=	$33.26 \text{ lb mole (Mass/MW NG)}$	

$$\text{ดังนั้นน้ำหนักก๊าซในถังแบบ ASME 1,200 ลิตร} = (33.26 \times 23.29) \div 2.2 = 352.1 \text{ kg}$$

และประมาณการจากถังเก็บและจ่ายก๊าซบนรถขนส่งก๊าซธรรมชาติ แบบ DOT FMVSS 304 ANSI/AGA NGV 2 มีขนาดความจุ 10,428 cu. in

$$\text{โดยที่ } V = \text{ปริมาตรถัง} \quad 10,428 \text{ cu. in} \times 1728 = 6.034 \text{ ft}^3$$

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

ดังนั้น น้ำหนักก๊าซในถังเก็บและจ่ายก๊าซขนาด 10,428 cu. in = $(4.74 \times 23.29) \div 2.2 = 50.18 \text{ kg}$

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) บนรถพ่วงขนส่งก๊าซ 2 คันละ 80 ถัง มีน้ำหนักถังละ 50.18 kg

$$\text{รวม } (352.1 \times 4) + (50.18 \times 80 \times 2) = 9,437.2 \text{ kg}$$

$$\text{หรือ } 9,437.2 \text{ kg} \times 2.2 = 20,761.84 \text{ lb}$$

เพื่อตรวจสอบการคำนวณกับ RMP* Comp Ver.1.07 จึงคำนวณน้ำหนักก๊าซเป็น Methane 100 % เพื่อใช้ตรวจสอบสมการโดยประมาณการจากถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบ ASME มีขนาดความจุมากที่สุดคือ 1,200 ลิตร

$$\text{Molecular Weight } \text{CH}_4 = 16.04 \text{ lb mole}$$

$$\text{น้ำหนักก๊าซในถังแบบ ASME 1,200 ลิตร} = (33.26 \times 16.04) \div 2.2 = 242.5 \text{ kg}$$

และประมาณน้ำหนักก๊าซเป็นก๊าซชีวภาพ (Biogas) เพื่อใช้ตรวจสอบสมการและใช้พิจารณาหาความแตกต่างกรณีที่มีคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น

$$\text{Molecular Weight Biogas} = 26.26 \text{ lb mole}$$

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

6. การหาค่าความร้อนโดยพิจารณาจากคุณสมบัติวัตถุและข้อมูลวัตถุไวไฟ

ตารางที่ 20 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)

ตารางที่ 21 ค่าความร้อนส่วนประกอบที่ผสมกัน HC_m , $W_m = 352.198 \text{ kg}$ 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
$\sum Y_i = 1.00000981$		$\sum HC_m = 40124.54843$	

ตารางที่ 22 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
$\sum Y_i = 1.00000981$			$\sum HC_m = 30808.8046$

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

7. ในเบื้องต้นจะทำการการประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ (Qualitative Risk Assessment) ซึ่งจะพิจารณาโดยใช้ข้อมูลที่ได้มาและข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ (พ.ศ. 2546) พบว่าสถานบริการก๊าซธรรมชาติสวัสดิการรถไฟ (กำแพงเพชร 2) มีข้อมูลที่จะชี้บ่งความเสี่ยงจากอันตรายได้ คือ จากสภาพภายใน สรุปการประเมินทั่วไป พบว่าสถานบริการแห่งนี้มีความเสี่ยงส่วนใหญ่จะอยู่ที่ผู้ปฏิบัติงานที่ยังไม่สามารถยืนยันได้ว่ามีความรู้ความเข้าใจในขอบเขตการปฏิบัติงานอย่างเพียงพอ และยังไม่มีความพร้อมที่จะรับสถานการณ์ฉุกเฉิน นอกจากนี้อุปกรณ์ดับเพลิงขั้นต้น เช่น เครื่องดับเพลิงแบบพกหิ้วยังมีอัตราความสามารถในการดับเพลิงต่ำ อาจไม่เพียงพอที่จะรับสถานการณ์ฉุกเฉินได้ และสภาพภายนอกเนื่องจากสถานบริการสวัสดิการรถไฟ (ถนนกำแพงเพชร 2) ตั้งอยู่บนเส้นทางที่สามารถผ่านไปยังสวนสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ สวนจตุจักร พิพิธภัณฑเด็ก กรุงเทพมหานคร ตลาดนัดสวนจตุจักร สถานีขนส่งสายเหนือและสายตะวันออกเฉียงเหนือ และโรงซ่อมรถจักรยานซ่อ ซึ่งหากเกิดสถานการณ์ฉุกเฉินอาจทำให้สถานที่ใกล้เคียงได้รับผลกระทบไปด้วย กล่าวโดยรวมแล้ว สถานบริการสวัสดิการรถไฟ (ถนนกำแพงเพชร 2) จะมีความเสี่ยงในด้านผู้ปฏิบัติงานและการเตรียมจัดการกับเหตุฉุกเฉิน โดยมีความเสี่ยงในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง และนอกจากตัวสถานบริการจะมีสภาพความเสี่ยงของตัวเองแล้ว อาจทำให้สถานที่ใกล้เคียง

เกิดสภาพความเสี่ยงตามไปด้วย ซึ่งแนวทางแก้ไขเบื้องต้นควรมีการเร่งดำเนินการตามข้อกำหนดของกฎหมาย โดยเฉพาะการฝึกอบรมพนักงานเดิมก๊าซ การฝึกซ้อมดับเพลิงและฝึกซ้อมหนีไฟ การฝึกดับเพลิงขั้นต้น และทำการทดสอบการตอบโต้สถานการณ์การฉุกเฉิน

8. ในการประเมินความเสี่ยงกึ่งคุณภาพ (Semi-Qualitative Risk Assessment) ด้วยรายการตรวจสอบ ตามรูปแบบของระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543 โดยหาระดับความน่าจะเป็นและความเสี่ยงตามรายการตรวจสอบ ของตารางที่ 23 ซึ่งพบว่ามีความเสี่ยงสูงในทุกประเด็น ซึ่งทำให้ไม่สามารถแยกแยะและจัดลำดับการแก้ไขได้ ซึ่งแม้ว่าจะใช้ปัจจัยของโอกาสและความรุนแรงต่างกัน แต่ก็ให้ผลลัพธ์ที่เท่ากัน ซึ่งเป็นเพราะลักษณะของเมตริกซ์ เป็นขนาด 4×4 ซึ่งอาจไม่เพียงพอ โดยอาจใช้เป็นเมตริกซ์ 6×6 ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นแทน นอกจากนี้ยังอาจเป็นเพราะประสบการณ์ที่ผ่านการตรวจตราสถานบริการของผู้วิจัย

ตารางที่ 23 ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงาน ด้วยวิธีกึ่งปริมาณด้วยรายการ

ตรวจสอบสถานีบริการก๊าซธรรมชาติสวัสดิการรถไฟ 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 สูบอัดทำงาน บกพร่อง	เกิดการระเบิด แรงกระแทก (Shock Wave) จากแรงดันเกิน (Over Pressure) ทำอันตรายต่อบุคคล	Vapour Cloud Explosive = 1 psi	กำหนดพื้นที่ตั้ง สถานีบริการต้อง อยู่ห่างจากพื้นที่ สาธารณะตาม ข้อกำหนดทาง ราชการ	2	4	8	3 สูง

9. การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ (Quantitative Risk Assessment) โดยจะวิเคราะห์ความน่าจะเป็นด้วยวิธีการวิเคราะห์ฟอลท์ทรี และสามารถคำนวณความน่าจะเป็นเชิงปริมาณจากการวิเคราะห์ฟอลท์ทรี โดยหาเป็นเวลาเฉลี่ยความเสียหาย $MTBF$ ได้ผลดังนี้

9.1 อัตราการเสียหายของการรั่วไหลที่ TLV 5000 ppm มีอัตราการเสียหาย $\mu = 65.9628$ ครั้งต่อปี และเวลาเฉลี่ยความเสียหาย $MTBF = 0.01516$ ปี หรือ 5.5 วัน

9.2 อัตราการเสียหายของการเกิดเพลิงไหม้ (VCF) มีอัตราการเสียหาย $\mu = 1.150162$ ครั้งต่อปี และเวลาเฉลี่ยความเสียหาย $MTBF = 0.8694$ ปี หรือ 317 วัน

9.3 อัตราการเสียหายของการเกิดการระเบิด (VCE) $\mu = 1.15016$ ครั้งต่อปี และเวลาเฉลี่ยความเสียหาย $MTBF = 0.8694$ ปี หรือ 317 วัน

9.4 เวลาอัตราการเสียหายของการเกิด BLEVEs, Fireball $\mu = 0.59012$ ครั้งต่อปี และเวลาเฉลี่ยความเสียหาย $MTBF = 1.69457$ ปี หรือ 618.5 วัน

9.6 การเกิดอุบัติเหตุรวม มีอัตราการเสียหาย (ปี) $\mu = 67.703064$ ครั้งต่อปี และเวลาเฉลี่ยความเสียหาย $MTBF = 1.47704 \times 10^{-2}$ ปี หรือ 5 วัน (ดูภาคผนวก ก)

10. การวิเคราะห์ผลกระทบ (Consequence Analysis) จะพิจารณาตามเกณฑ์การยอมรับและการคำนวณของกลุ่มแนวทางจัดการความเสี่ยงสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นภายนอก (Risk Management Program Guidance for Offsite Consequence Analysis EPA 550-B-009 April 1999) โดยได้กำหนดการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นภายนอกต้องประกอบไปด้วยสองส่วน คือ

10.1 กรณีเหตุการณ์รั่วไหลร้ายแรง (A Worst-Case Scenario)

10.2 เหตุการณ์รั่วไหลทางอื่น (Alternative Release Scenario)

11. การวิเคราะห์ผลกระทบจะดำเนินการตาม EPA 550-B-99-009 April 1999 ดังนี้

11.1 ผลกระทบจากการรั่วไหลที่เป็นอันตราย โดยหาระยะที่หากมีการรั่วไหลจะมีค่าความเข้มข้นของก๊าซที่เป็นอันตรายต่อบุคคลไม่เกิน TLV = 5,000 ppm

11.2 ผลกระทบจากการรั่วไหลที่ก่อให้เกิดเพลิงไหม้ (Vapour Cloud Fire: VCF) โดยหาระยะที่หากมีการรั่วไหลจะมีความเข้มข้นของก๊าซธรรมชาติผสมกับอากาศที่ 5 % (Lower Fire Limit)

11.3 ผลกระทบจากการเกิดความร้อนจากเพลิงไหม้ โดยหาระยะที่เกิดกลุ่มความร้อน (Heat Flux) ของลูกไฟ (Fire Ball) หรือ BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion: BLEVE) ที่เป็นอันตรายของบุคคลของความร้อนที่ 5 kW ที่ 40 s

11.4 ผลกระทบจากแรงระเบิด (Vapour Cloud Explosive: VCE) โดยหาระยะการเกิดแรงกระแทก (Shock Wave) จากแรงดันเกิน (Over Pressure) ที่เป็นอันตรายต่อบุคคลที่ 1 Psi

12. ผลกระทบจากการรั่วไหลที่ 5000 ppm

12.1 โดยหาระยะทางที่ความเข้มข้นจากการรั่วไหล 5000 ppm ของก๊าซธรรมชาติ

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

เมื่อ	C_{PPM}	=	ค่าความเข้มข้นในส่วน	=	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 (มวล/โมล)	=	23.3 lb _m /lb-mol
	$C(x, y, z)$	=	ค่าความเข้มข้นในตำแหน่งที่จะหา		
	$C(x, y, z)$	=	$\frac{C_{ppm} PM}{TR_g 10^6}$	=	$2.975 \times 10^{-4} \text{ lb/ft}^3 \times 16.018 = 4.765 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$

12.2 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	=	$\frac{\pi D^2}{4} = 0.19625 \text{ in}^2 \div 144$	$= 0.001362847 \text{ ft}^2$
	P_0	=	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	=	ค่าคงตัวความโน้มถ่วง	$= 32.17 \text{ ft lb}_m/\text{lb}_f \text{ s}^2$
	γ	=	$\frac{C_p}{C_v}$	$= 1.32$
	$(Q_m)_{choked} 100\%$	=	$171.8 \text{ lb}_m/\text{s}$	$= 171.8 \div 2.2 = 78.09 \text{ kg/s}$

12.3 การหาระยะทางจากการรั่วไหลที่ระดับพื้นของแบบจำลองลูกคลื่นต่อเนื่อง (Plume) ของก๊าซธรรมชาติ

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

$C(x, 0, 0)$	=	ความเข้มข้นในตำแหน่งที่จะหาด้านหน้า	$= 0.004765 \text{ kg/m}^3$
Q_m	=	แหล่งกำเนิด (มวล/เวลา)	kg/s
σ_x	=	สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายด้านหน้า	Class F, Class D, m
σ_y	=	สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายด้านข้าง	m
	=	$0.04 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2}$	(Class F)
	=	$0.08 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2}$	(Class D)
σ_z	=	สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายด้านบน	Class F, Class D, m
σ_x	=	$\sigma_y = 0.016 x (1 + 0.0003 x)^{-1}$	(Class F)
	=	$0.06 x (1 + 0.0015 x)^{-1/2}$	(Class D)

x = ระยะทางได้ลม m

u = ความเร็วกระแสลม Class F = 1.5 m/s, Class D = 3.0 m/s

ดังนั้น การหาระยะทางที่ความเข้มข้นจากการรั่วไหล 5000 ppm ที่ระดับพื้นดิน

ก. กรณีเหตุการณ์รั่วไหลร้ายแรง (A Worst-Case Scenario)

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

$$\text{Class F, } 0.04 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \times 0.016 x (1 + 0.0003 x)^{-1} = 3479.458 \text{ m}^2$$

$$\text{การหาค่า } x \text{ โดยวิธีลองผิดลองถูก} = 3647 \text{ m}$$

ข. กรณีเหตุการณ์รั่วไหลทางอื่น (Alternative Release Scenario)

$$\text{Class D, } 0.08 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \times 0.06 x (1 + 0.0015 x)^{-1/2} = 1739.729 \text{ m}^2$$

$$\text{การหาค่า } x \text{ โดยวิธีลองผิดลองถูก} = 963 \text{ m}$$

12.4 หาระยะทางที่ความเข้มข้นจากการรั่วไหลของมีเทน 100%

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

$$\text{เมื่อ } C_{PPM} = \text{ค่าความเข้มข้นในล้านส่วน} = 5000 \text{ ppm}$$

$$M = \text{มวลโมเลกุลมีเทน} = 16.04 \text{ lb}_m/\text{lb-mol}$$

$$C(x, y, z) = \text{ค่าความเข้มข้นในตำแหน่งที่จะหา}$$

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

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

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

12.5 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
 $(Q_m)_{choked} 100\% =$

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

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

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

12.6 การหาระยะทางจากการรั่วไหลที่ระดับพื้นของแบบจำลองลูกคลื่นต่อเนื่อง (Plume) ของมีเทน

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

$$C(x, 0, 0) = \text{ความเข้มข้นในตำแหน่งที่จะหาด้านหน้า} = 0.003282 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_m = \text{แหล่งกำเนิด (มวล/เวลา)} = 64.77 \text{ kg/s}$$

หาระยะทางที่ความเข้มข้นจากการรั่วไหล 5000 ppm ที่ระดับพื้นดินของมีเทน

ก) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลร้ายแรง (A Worst-Case Scenario)

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

$$\begin{aligned} \text{Class F, } 0.04 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \times 0.016 x (1 + 0.0003 x)^{-1} &= 5104.08 \text{ m}^2 \\ \text{การหาค่า } x \text{ โดยวิธีลองผิดลองถูก} &= 4905 \text{ m} \end{aligned}$$

ข) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลทางอื่น (Alternative Release Scenarios)

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

$$\begin{aligned} \text{Class D, } 0.08 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \times 0.06 x (1 + 0.0015 x)^{-1/2} &= 2552.04 \text{ m}^2 \\ \text{การหาค่า } x \text{ โดยวิธีลองผิดลองถูก} &= 1286 \text{ m} \end{aligned}$$

12.7 หาระยะทางที่ความเข้มข้นจากการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพ

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

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

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

$$\begin{aligned} C(x, y, z) &= 3.354 \times 10^{-4} \text{ lb/ft}^3 = 2.975 \times 10^{-4} \text{ lb/ft}^3 \times 16.018 \\ C(x, y, z) &= 5.373 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3 = 0.005373 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

12.8 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
 $(Q_m)_{choked} 100\%$ =

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

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

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

12.9 การหาระยะทางจากการรั่วไหลที่ระดับพื้นของแบบจำลองลูกคลื่นต่อเนื่อง (Plume) ของก๊าซชีวภาพ

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

$$C(x, 0, 0) = \text{ความเข้มข้นในตำแหน่งที่จะหาด้านหน้า} = 0.005373 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_m = \text{แหล่งกำเนิด (มวล/เวลา)} = 82.95 \text{ kg/s}$$

หาระยะทางที่ความเข้มข้นจากการรั่วไหล 5000 ppm ที่ระดับพื้นดินของมีเทน

ก) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลร้ายแรง (A Worst-Case Scenario)

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

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

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

ข) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลทางอื่น (Alternative Release Scenarios)

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

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

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

13. ผลกระทบจากการรั่วไหลที่ก่อให้เกิดเพลิงไหม้ LFL 5%

13.1 โดยหาผลกระทบจากการรั่วไหลที่ก่อให้เกิดเพลิงไหม้ของก๊าซธรรมชาติ

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

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

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

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

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

13.2 แบบจำลองก๊าซรั่วไหล (Vapor Release Model) ของก๊าซธรรมชาติ

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

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } (Q_m)_{choked} &= \text{อัตราไหลของก๊าซที่ผ่านรูรั่ว kg/s} \\ M &= \text{มวลโมเลกุลก๊าซธรรมชาติ} = 23.29 \text{ lb}_m/\text{lb-mol} \\ (Q_m)_{choked} 100\% &= \end{aligned}$$

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

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

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

13.3 การหาระยะทางจากการรั่วไหลที่ระดับพื้นของแบบจำลองลูกคลื่นต่อเนื่อง (Plume) ของก๊าซธรรมชาติ

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

$$C(x, 0, 0) = \text{ความเข้มข้นในตำแหน่งที่จะหาด้านหน้า} = 4.765 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^3$$

$$Q_m = \text{แหล่งกำเนิด (มวล/เวลา)} = 78.09 \text{ kg/s}$$

หาระยะทางที่ความเข้มข้นจากการรั่วไหล 5 % LFL หรือ 50000 ppm ของก๊าซธรรมชาติ

ก) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลร้ายแรง (A Worst-Case Scenario)

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

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

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

ข) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลทางอื่น (Alternative Release Scenarios)

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

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

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

13.4 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		

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

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

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

13.5 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 CH ₄ = 16.04 lb _m /lb-mol

$$\begin{aligned}
 (Q_m)_{choked} 100\% &= \\
 1.0 \times 0.001362847 \times 520516.8 &\sqrt{\frac{1.32 \times 32.17 \times 16.04}{19.31 \times 298} \left(\frac{2}{1.32 + 1} \right)^{\frac{(1.32+1)}{(1.32-1)}}} \\
 &= 709.385 \sqrt{(0.118)(0.341)}
 \end{aligned}$$

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

13.6 การหาระยะทางจากการรั่วไหลที่ระดับพื้นของแบบจำลองลูกคลื่นต่อเนื่อง (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)

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

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

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

ข) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลทางอื่น (Alternative Release Scenarios)

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

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

การหาค่า x โดยวิธีลองผิดลองถูก = 246 m

13.7 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

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

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

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

13.8 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
 $(Q_m)_{choked} 100\% =$

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

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

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

13.9 การหาระยะทางจากการรั่วไหลที่ระดับพื้นของแบบจำลองลูกคลื่นต่อเนื่อง (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)

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

$$\begin{aligned} \text{Class F, } 0.04 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \times 0.016 x (1 + 0.0003 x)^{-1} &= 327.62 \text{ m}^2 \\ \text{การหาค่า } x \text{ โดยวิธีลองผิดลองถูก} &= 814 \text{ m} \end{aligned}$$

ข) กรณีเหตุการณ์รั่วไหลทางอื่น (Alternative Release Scenarios)

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

$$\begin{aligned} \text{Class D, } 0.08 x \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2} \times 0.06 x (1 + 0.0015 x)^{-1/2} &= 163.82 \text{ m}^2 \\ \text{การหาค่า } x \text{ โดยวิธีลองผิดลองถูก} &= 213 \text{ m} \end{aligned}$$

14. ผลกระทบจากความร้อนจากเพลิงไหม้ (เบลเว่: BLEVEs) จากสมการของ AIChE

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

โดย

$$\begin{aligned}
 q &= \text{การรับรังสีที่ปลายสุด } \text{W/m}^2 \\
 Dose &= tq^{4/3} \quad (41) \\
 t &= \text{ระยะเวลาของการสัมผัส} = 40 \text{ s} \\
 q &= \text{ความรุนแรงการแผ่รังสี} = 5,000 \text{ W/m}^2 \\
 Dose &= 40 \times 5,000^{4/3} \\
 &= 3,419,951.893 \text{ (W/m}^2)^{4/3}\text{-s หรือ} \\
 &= 3,420,000 \text{ (W/m}^2)^{4/3}\text{-s}
 \end{aligned}$$

14.1 สำหรับการประมาณระยะจากลูกไฟโดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

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

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

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

เมื่อ

$$\begin{aligned}
 L &= \text{ระยะจากศูนย์กลางลูกไฟถึงจุดรับ} &= & \text{m} \\
 q &= \text{ปลายสุดที่รับรังสีความร้อน} &= & \left(\frac{3,420,000}{t} \right)^{\frac{3}{4}} \\
 m_f &= \text{มวลเชื้อเพลิงในลูกไฟ} &= & 352.198 \text{ kg} \\
 \tau_a &= \text{บรรยากาศที่ส่งผ่าน สมมุติ} &= & 1 \\
 H_c &= \text{ค่าความร้อนการเผาไหม้ } 40124.548 \text{ kJ/kg} \times 1000 &= & 40,124,548 \text{ J/kg} \\
 &= 40,124,548 \text{ J/kg} \div 352.198 \text{ kg} &= & 113926 \text{ J} \\
 R &= \text{ส่วนของการแผ่รังสีของค่าความร้อนการเผาไหม้ สมมุติ} &= & 0.4 \\
 t_c &= 0.45m_f^{1/3} \quad \text{สำหรับ } m_f < 30,000 \text{ kg} &= & (39) \\
 &= 0.45 \times 352.198^{1/3} &= & 3.18 \text{ s}
 \end{aligned}$$

$$\pi = 3.14$$

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

$$= 62.945 \text{ m}$$

14.2 การใช้มีเทน 100% เพื่อทดสอบผลกับ RMP* Comp Ver.1.07

เมื่อ	m_f	=	มวลเชื้อเพลิงในลูกไฟของมีเทน	=	242.496 kg
	H_c	=	ค่าความร้อนการเผาไหม้ 50,029 kJ/kg × 1000	=	50,029,000 J/kg
		=	50,029,000 J/kg ÷ 242.581 kg	=	206236 J
	t_c	=	$0.45m_f^{1/3}$ สำหรับ $m_f < 30,000 \text{ kg}$	(39)	
		=	$0.45 \times 242.581^{1/3}$	=	2.81 s

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

$$= 62.4 \text{ m}$$

14.3 การใช้ก๊าซชีวภาพเพื่อทดสอบสมการ

เมื่อ	m_f	=	มวลเชื้อเพลิงในลูกไฟของมีเทน	=	397 kg
	H_c	=	ค่าความร้อนการเผาไหม้ 30,808.805 kJ/kg × 1000	=	30,808,805 J/kg
		=	30,808,805 J/kg ÷ 397 kg	=	77604 J
	t_c	=	$0.45m_f^{1/3}$ สำหรับ $m_f < 30,000 \text{ kg}$	(39)	
		=	$0.45 \times 242.581^{1/3}$	=	3.31 s

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

$$= 60.58 \text{ m}$$

15. ผลกระทบจากแรงระเบิดโดยการวิเคราะห์ผลกระทบธรรมชาติของอันตรายความรุนแรงของผลกระทบของวัตถุไวไฟ (Flammable Substance)

15.1 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

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

$$= 114.051 \text{ m}$$

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

$$\begin{aligned} \text{โดย } W_f &= \text{น้ำหนักของวัตถุไวไฟ} &= 242.561 \text{ kg} \\ HC_f &= \text{ค่าความร้อนการเผาไหม้ของ CH}_4 &= 50,029 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= 17 \times \left(0.1 \times 242.561 \times \frac{50029}{4680} \right)^{1/3} \\ &= 108 \text{ m} \end{aligned}$$

15.3 การใช้ HC_f เป็นก๊าซชีวภาพเพื่อทดสอบสมการ

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

$$\begin{aligned} D &= 17 \times \left(0.1 \times 397 \times \frac{30,808.805}{4680} \right)^{1/3} \\ &= 108.69 \text{ m} \end{aligned}$$

16. ดังนั้น จึงนำผลการวิจัยมาพิจารณากำหนดแนวทางมาตรการวางแผนเพื่อป้องกันอุบัติเหตุ (Planning Prevention Accidents) และเป็นข้อเสนอแนะต่อหน่วยราชการเพื่อปรับปรุงพัฒนากฎหมาย และสำหรับผู้ประกอบกิจการสถานบริการก๊าซธรรมชาติเพื่อวางแผนการฝึกซ้อมและการซ่อมบำรุงตามข้อเสนอแนะ ดังนี้

16.1 จากผลกระทบจากการรั่วไหลที่เป็นอันตรายต่อบุคคลไม่เกิน TLV เท่ากับ 5,000 ppm หรือ 0.005 % ซึ่งพบว่ามีเวลาเฉลี่ยความเสียหาย MTBF เท่ากับ 5.5 วัน และมีระยะทางที่ได้รับผลกระทบสูงสุด เท่ากับ 3,647 m โดยควรมีแนวทางปฏิบัติ (Procedure) ให้ทำการตรวจสอบการรั่วไหลทุก 5 วัน หรือทุกสัปดาห์ และอาจเตรียมมาตรการอพยพ การกำหนดจุดรวมพลและการประกาศแจ้งเตือนสถานที่ ๆ มีการชุมนุมคนในรัศมี 3500 - 4000 m โดยรอบสถานบริการ

16.2 ผลกระทบจากการรั่วไหลที่ก่อให้เกิดเพลิงไหม้ (Vapour Cloud Fire: VCF)

ที่ความเข้มข้นของก๊าซธรรมชาติผสมกับอากาศที่ 5 % (Lower Fire Limit) ซึ่งพบว่ามีเวลาเฉลี่ยความเสียหาย *MTBF* เท่ากับ 317 วัน และมีระยะทางที่ได้รับผลกระทบสูงสุด เท่ากับ 842 m โดยควรมีแนวทางปฏิบัติ (Procedure) ให้ทำการตรวจสอบ เครื่องวัดปริมาณก๊าซรั่วไหล ทุก 6 เดือน หรือทุกปี และกำหนดพื้นที่ในรัศมี 850 m โดยรอบสถานีบริการเป็นพื้นที่ ๆ ต้องวางแผนฝึกซ้อมดับเพลิง

16.3 ผลกระทบจากการเกิดความร้อนจากเพลิงไหม้ ที่ 5 kW ที่ 40 s ซึ่งพบว่ามีเวลาเฉลี่ยความเสียหาย *MTBF* เท่ากับ 618.5 วัน และมีระยะที่อาจได้รับผลกระทบ เท่ากับ 63 m โดยตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และมาตรฐานความปลอดภัยของสถานีบริการก๊าซธรรมชาติที่กรมธุรกิจพลังงานมีอำนาจหน้าที่รับผิดชอบ พ.ศ. 2546 ออกตามความในพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ข้อ 21 ซึ่งบัญญัติว่า “สถานีบริการต้องมีระยะห่างระหว่างเขตสถานีบริการกับอาคารสถานทูต โรงเรียน สถานพยาบาล โรงมหรสพ สนามกีฬา หรือศูนย์การค้า ไม่น้อยกว่า 60.00 เมตร เว้นแต่อาคารสาธารณะที่กล่าวข้างต้น จะมีขึ้นภายหลังที่ผู้ประสงค์จะประกอบกิจการได้ยื่นคำขอรับใบอนุญาตไว้แล้ว” ซึ่งเห็นว่าเหมาะสมดีแล้ว แต่อาจเพิ่มเติมสถานที่ เช่น สถานีที่มีการชุมนุมคน ตลาดนัด ฯ นอกจากนี้ยังอาจเพิ่มมาตรการทางวิศวกรรมโดยกำหนดให้พื้นที่ตั้งถังเก็บและจ่ายก๊าซติดตั้งระบบวอเตอร์สเปรย์เพื่อลดความร้อน โดยอาจอาศัยแนวทางจากมาตรฐานสำหรับระบบวอเตอร์สเปรย์สำหรับป้องกันเพลิงไหม้ NFPA 15 Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection

16.4 ผลกระทบจากแรงระเบิด (Vapour Cloud Explosive: VCE) ที่ 1 psi ซึ่งพบว่ามีเวลาเฉลี่ยความเสียหาย *MTBF* เท่ากับ 317 วัน มีระยะที่อาจได้รับผลกระทบ เท่ากับ 114 m โดยตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และมาตรฐานความปลอดภัยของสถานีบริการก๊าซธรรมชาติที่กรมธุรกิจพลังงานมีอำนาจหน้าที่รับผิดชอบ พ.ศ. 2546 ออกตามความในพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ข้อ 22 ซึ่งบัญญัติว่า “สถานีบริการต้องมีระยะห่างระหว่างเขตสถานีบริการ กับเขตพระราชฐานไม่น้อยกว่า 500 เมตร” ซึ่งเห็นว่าเหมาะสมดีแล้ว แต่อาจลดระยะปลอดภัยเหลือ 120 m ได้ หรือลดระยะปลอดภัยแต่เพิ่มตัวคูณความปลอดภัยเป็น 120×2 เป็นเท่ากับ 240 m และอาจเพิ่มเติมสถานที่ ๆ ต้องพิจารณา เช่น โบราณสถาน ศาสนาสถาน ฯ เว้นแต่ว่า จะใช้เหตุผลทางสถาปัตยกรรมหรือผังเมืองที่จะไม่ลดระยะความปลอดภัย นอกจากนี้ยังอาจเพิ่มมาตรการทางวิศวกรรม โดยกำหนดให้ตัวห้องถังเก็บและจ่ายก๊าซและกำแพงกันแนวเขตสถานีบริการใช้ผนังกันระเบิด (Blast Wall) แทนผนังทึบไฟ (Fire Wall)

ตารางที่ 24 สรุปผลการหาค่าเฉลี่ยความเสียหายต่อปี

ประเด็น	MTBF วัน	MTBF ปี
TLV 5000 ppm	5.5334	0.01516
LEL 5% Vapour Cloud Fire:VCF	317.3456	0.86944
Vapour Cloud Explosive: VCE Overpressure 1 psi	317.3456	0.86944
Fireball, Heat Flux or BLEVE 5 kW/40 s	618.5180	1.69457

ตารางที่ 25 สรุปผลการคำนวณหาผลกระทบ

ประเด็น	ผลการคำนวณ		ผลการคำนวณด้วย	
			RMP* Comp Ver .1.07	
	กรณีเหตุการณ์ รั่วไหลร้ายแรง	กรณีเหตุการณ์ รั่วไหลทางอื่น	กรณีเหตุการณ์ รั่วไหลร้ายแรง	กรณีเหตุการณ์ รั่วไหลทางอื่น
การคำนวณโดยใช้ก๊าซธรรมชาติ 1200 liter, 3600 psi, 352.1 kg				
TLV 5000 ppm	3647 m	964 m	-	-
LEL 5%	842 m	239 m	-	200 m
VCE 1 psi	114.051 m		120 m	80 m
Heat Flux 5 kW/40 s	62.945 m		-	70 m
การคำนวณโดยใช้มีเทน 100% 1,200 liter, 3600 psi, 242.496 kg				
TLV 5000 ppm	4905 m	1286 m	-	-
LEL 5%	936 m	246 m	-	200 m
VCE 1 psi	108.0 m		120 m	80 m
Heat Flux 5 kW/40 s	62.4 m		-	70 m
การคำนวณโดยใช้ก๊าซชีวภาพ 1,200 liter, 3600 psi, 397 kg				
TLV 5000 ppm	3338 m	883 m	-	-
LEL 5%	814 m	213 m	-	200 m
VCE 1 psi	108.69 m		120 m	80 m
Heat Flux 5 kW/40 s	60.58 m		-	70 m

ซึ่งจากผลการวิจัยทำให้สามารถวิจารณ์ผลที่เกิดขึ้นได้ กล่าวคือ

1. จากผลการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ (Qualitative Risk Assessment) พบว่าจะให้ผลความเสี่ยงอยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากเป็นการบันทึกข้อมูลตามสภาพที่ได้พบเห็นซึ่งไม่มีสถิติหรือข้อมูลใด ๆ มาสนับสนุน การประเมินจะอาศัยวิธีการตรวจสอบการปฏิบัติตามข้อกำหนดหรือมาตรฐานทั่วไป ทำให้ไม่สามารถแยกแยะและจัดลำดับความสำคัญในการแก้ไขได้ ถึงแม้ว่าจะเป็น การประเมินโดยผู้ที่มีประสบการณ์

2. สำหรับการประเมินความเสี่ยงกึ่งคุณภาพ (Semi-Qualitative Risk Assessment) ด้วยรายการตรวจสอบตามรูปแบบของระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้แจงอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543 โดยหาระดับความน่าจะเป็นและความเสี่ยงตามรายการตรวจสอบพบว่ามีความเสี่ยงสูงในทุกประเด็น ซึ่งทำให้ไม่สามารถแยกแยะและจัดลำดับการแก้ไขได้ ซึ่งแม้ว่าจะใช้ปัจจัยของโอกาสและความรุนแรงต่างกัน แต่ก็ให้ผลลัพธ์ที่เท่ากัน ซึ่งเป็นเพราะลักษณะของเมตริกซ์ เป็นขนาด 4×4 ซึ่งอาจไม่เพียงพอ โดยอาจพิจารณาใช้เป็นเมตริกซ์ 6×6 ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นแทน นอกจากนี้ยังอาจเป็นเพราะประสบการณ์ที่ผ่านการตรวจตราสถานบริการของผู้ประเมินเอง

3. สำหรับการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณนั้น การใช้ FTA เพื่อหาความน่าจะเป็นหรืออัตราการพังเสียหาย สามารถให้คำตอบที่เป็นตัวเลขค่าอัตราการพังเสียหายต่อปี และการพิจารณาความรุนแรงในด้านผลกระทบ (Consequence) ซึ่งทำให้สามารถจัดลำดับและวางมาตรการแก้ไขได้ดีกว่าการประเมินทั้งสองแบบข้างต้น

4. ในการหาความน่าจะเป็น (Probability) โดยพิจารณาอัตราการพังเสียหายต่อปี (Failure Rate) และตอบผลออกมาเป็นเวลาเฉลี่ยความเสียหาย (Mean Time of Failure) น่าจะให้ผลที่เข้าใจง่ายกว่าการให้ผลเป็นความเชื่อมั่น (Reliability) หรือความน่าจะเป็นที่จะเสียหาย (Failure Probability) เนื่องจากจะให้ผลเป็นเวลาเฉลี่ยที่จะเสียหายเป็นปีต่อครั้ง หรือ วันต่อครั้ง ทำให้ผู้ที่อ่านผลการวิเคราะห์สามารถตีความผลและหามาตรการปฏิบัติได้ง่ายกว่า นอกจากนี้การเก็บข้อมูลโดยส่วนใหญ่ มักจะเก็บเป็นผลอัตราการพังเสียหาย จึงน่าจะนำข้อมูลที่จัดเก็บมาใช้ในการหาอัตราการพังเสียหายของระบบได้ง่ายและสะดวกกว่า

5. สำหรับการประเมินผลกระทบ (Consequence) ซึ่งอาศัยแนวทางการวิเคราะห์ผลกระทบ จะดำเนินการตาม EPA 550-B-99-009 April 1999 โดยมีประเด็นให้พิจารณาที่สำคัญ คือ

5.1 ผลกระทบจากการรั่วไหลที่เป็นอันตราย โดยหาระยะที่หากมีการรั่วไหลจะมีค่าความเข้มข้นของก๊าซที่เป็นอันตรายต่อบุคคลไม่เกิน TLV = 5,000 ppm

5.2 ผลกระทบจากการรั่วไหลที่ก่อให้เกิดเพลิงไหม้ (Vapour Cloud Fire: VCF) โดยหาระยะที่หากมีการรั่วไหลจะมีความเข้มข้นของก๊าซธรรมชาติผสมกับอากาศที่ 5 % (Lower Fire Limit)

5.3 ผลกระทบจากการเกิดความร้อนจากเพลิงไหม้ โดยหาระยะที่เกิดกลุ่มความร้อน (Heat Flux) ของลูกไฟ (Fire Ball) หรือ BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion: BLEVE) ที่เป็นอันตรายของบุคคลของความร้อนที่ 5 kW ที่ 40 s

5.4 ผลกระทบจากแรงระเบิด (Vapour Cloud Explosive: VCE) โดยหาระยะการเกิดแรงกระแทก (Shock Wave) จากแรงดันเกิน (Over Pressure) ที่เป็นอันตรายต่อบุคคลที่ 1 Psi โดยหาแบบเหตุการณ์ร้ายแรง (Worst Case)

ซึ่งเป็นข้อกำหนดดังกล่าวเป็นข้อกำหนดของรัฐบาลกลางสหรัฐซึ่งกำกับโดย U.S. EPA นั้น สามารถให้คำตอบที่ครอบคลุมความเป็นอันตรายในระดับที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง แต่ข้อกำหนดดังกล่าว ๆ ถูกประกาศออกมาเพื่อใช้กับการป้องกันอุบัติเหตุทางเคมีและวัตถุอันตราย จึงไม่อาจพิจารณาได้ว่าข้อกำหนดฉบับนี้ ได้ให้แนวทางครอบคลุมในการประเมินผลกระทบในด้านสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เช่น ด้านนิเวศวิทยา สังคม ฯ หากแต่สามารถนำผลมาพิจารณาผลกระทบในด้านที่กล่าวมาเพิ่มเติมต่อไปได้

6. ปัญหาที่พบอีกอย่างหนึ่งก็คือการสอบทานผล (Verify) การหาซอฟต์แวร์เพื่อเปรียบเทียบการคำนวณซึ่งพบว่ามีความแพงมาก และมักจะไม่มีเปิดเผยสมการที่นำมาใช้พัฒนา จึงต้องอาศัย RMP* Comp™ Ver. 1.07 ซึ่งได้แนะนำไว้ใน EPA 550-B-99-009 April 1999 ซึ่งให้ผลได้อย่างรวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถแสดงผลเป็นแผนภาพ (Graphic) ได้ และแม้ RMP* Comp™ Ver. 1.07 จะคาดเคลื่อนอยู่บ้างแต่ก็ใกล้เคียงและให้ผลดีในระดับหนึ่ง และยังมีขีดจำกัดที่ยังไม่สามารถ

ผสมวัตถุไวไฟหลายชนิดเข้าด้วยกัน อย่างไรก็ตามวิธีการสร้างแผนภาพโดยอาศัยแผนที่จาก Google Earth เป็นวิธีหนึ่งที่จะแก้ไขการสร้างแผนภาพ ซึ่งได้ความคมชัดและสมจริงได้ดีในรูปแบบ 2 มิติ

จากการที่ได้ดำเนินการมาทั้งหมดได้เกิดความล่าช้าขึ้น เนื่องจากการค้นคว้าข้อมูลที่กระจัดกระจาย และการที่ไม่สามารถหาต้นแบบในการวิจัยได้ ดังนั้น จึงอาศัยแนวทฤษฎีที่มีอยู่และข้อกำหนดต่าง ๆ มาปรับใช้เพื่อให้บรรลุผล ดังนั้นในการหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสถานประกอบการเชื้อเพลิง จึงเป็นส่วนสำคัญในการทำวิจัยในลักษณะนี้ ดังนั้น ถ้าหากมีหน่วยงานที่ติดตามรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่น่าเชื่อถือ ก็น่าจะทำให้การวิจัยในครั้งต่อไปรวดเร็ว และแม่นยำขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยในครั้งนี้จะใช้เป็นแนวทางในการวิจัยสถานประกอบการที่มีการครอบครองเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ ได้ และผลที่ได้รับในครั้งนี้ถึงแม้จะไม่สามารถสร้างภาพจำลองที่สวยงามเหมือนซอฟต์แวร์ที่มีราคาแพง แต่สามารถให้ผลที่ใกล้เคียงโดยอาศัย Google Earth ช่วยในการสร้างภาพ และยังสามารถนำผลที่ได้ไปปรับใช้กับกิจการจริงได้ และน่าจะสามารถนำไปกล่าวอ้างเพื่อประกาศใช้เป็นกฎหมายต่อไปได้