



วิทยานิพนธ์

การประเมินความรุนแรงการรั่วไหลของก๊าซปิโตรเลียมเหลว

ภายในคลังเก็บ: กรณีศึกษาถังเก็บทรงกระบอกแนวนอน

**IMPACT EVALUATION OF LPG LEAKS FROM TANK FARM
: CASE STUDY HORIZONTAL CYLINDER STORAGE TANK**

นางสาวทิพวรรณ อังศิริ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. ๒๕๕๐



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินความรุนแรงการรั่วไหลของก๊าซปิโตรเลียมเหลว ภายในคลังเก็บ: กรณีศึกษา
ถังเก็บทรงกระบอกแนวนอน

Impact Evaluation of LPG Leaks From Tank Farm: Case Study Horizontal Cylinder
Storage Tank

นามผู้วิจัย นางสาวทิพวรรณ อังศิริ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรูญ นัตรมานพ, D.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ธงไชย ศรีนพคุณ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนนต์ วงษ์เกษม, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินความรุนแรงการรั่วไหลของก๊าซปิโตรเลียมเหลว ภายในคลังเก็บ:
กรณีศึกษาดังเก็บทรงกระบอกแนวนอน

Impact Evaluation of LPG Leaks From Tank Farm: Case Study
Horizontal Cylinder Storage Tank

โดย

นางสาวทิพวรรณ อังศิริ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)
พ.ศ. 2550

ทิพวรรณ อังศิริ 2550: การประเมินความรุนแรงการรั่วไหลของก๊าซปิโตรเลียมเหลวภายในคลังเก็บ: กรณีศึกษาถังเก็บทรงกระบอกแนวนอน ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรูญ ฉัตรมานพ, วศ.ด. 139 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาและประเมินความรุนแรงการรั่วไหลของก๊าซปิโตรเลียมเหลวภายในคลังเก็บของอุตสาหกรรมขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร โดยใช้โปรแกรม ALOHA ประเมินความรุนแรง ขอบเขตที่ได้รับผลกระทบ และแสดงระยะที่ได้รับผลกระทบด้วยแผนที่อิเล็กทรอนิกส์จากโปรแกรม Marplot และโปรแกรม Google Earth เพื่อใช้ปรับปรุงแผนฉุกเฉินและกำหนดระยะปลอดภัย

โดยการศึกษาครั้งนี้ประเมินสถานการณ์การรั่วไหลของก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่จัดเก็บในถังทรงกระบอกแนวนอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.35 เมตร ยาว 10.96 เมตร ปริมาณบรรจุสูงสุดร้อยละ 85 ของปริมาตรสูงสุด โดยมีอัตราส่วนของโพรเพนต่อบิวเทน 60:40 ติดตั้งบริเวณริมน้ำ มีสภาพแวดล้อมที่วิจัยคือ อุณหภูมิ 35.4 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 5 น็อต ทิศทางลมพัดจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือเข้าสู่ถังบรรจุก๊าซ เกิดการรั่วของถังบรรจุก๊าซบริเวณอุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว

การจำลองสถานการณ์ พบว่า ผลกระทบจากการรั่วไหลที่สำคัญ คือ การเกิดเพลิงไหม้และระเบิด ซึ่งเมื่อเกิดการรั่วไหล ก๊าซจะเกิดการแพร่กระจายซึ่งในรัศมี 29 เมตร เป็นระยะที่ต้องดำเนินการให้เป็นเขตปลอดภัย ประกายไฟ เนื่องจากจะทำให้เกิดการลุกไหม้และเกิดการระเบิด ซึ่งการระเบิดแบบ BLEVE จะทำให้เกิดอันตรายมากที่สุดจากการแผ่รังสีความร้อนและอันตรายจากชิ้นส่วน โครงสร้างที่เกิดจากแรงระเบิด โดยเกิดลูกไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 208 เมตร แผ่รังสีความร้อนในรัศมี 447 เมตร ซึ่งเป็นอันตรายต่อโครงสร้างอาคาร รวมทั้งทำอันตรายถึงแก่ชีวิต และในระยะรัศมี 630 เมตร รังสีความร้อนจะทำอันตรายประชาชนถึงขั้นเกิดแผลไหม้ระดับ 2 ทั้งนี้จากการประเมินอันตรายจากการเกิดเพลิงไหม้และระเบิด โดยการนำแผนที่อิเล็กทรอนิกส์จากโปรแกรมมาร์พอทและโปรแกรมกูเกิ้ลเอิร์ธ มาใช้ในการประเมินระยะที่ส่งผลกระทบ ซึ่งทำให้การประเมินสะดวกและรวดเร็วในการประมวลผลอย่างมาก เนื่องจากสามารถเห็นระยะผลกระทบที่เกิดขึ้นกับอาคารต่างๆ ได้ทันที และสามารถนำผลที่ได้มาทำการปรับปรุงแผนฉุกเฉินโดยกำหนดระยะปลอดภัยประกายไฟที่ระยะ 29 เมตร และระยะเขตปลอดภัยที่ 1.4 กิโลเมตร

Thippawan Angsiri 2007: Impact Evaluation of LPG Leaks from Tank Farm: Case Study
Horizontal Cylinder Storage Tank. Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field:
Safety Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Assistant Professor
Jarun Chutmanop, D.Eng. 139 pages.

This thesis is to study and evaluate the impact of LPG leaks from tank farm of a large scaled industry in Bangkok. The ALOHA program is used for evaluating the characteristic of gas dispersion, while the MARPLOT and Google Earth, as the electronic map, show the dispersion boundary which support the improvement of the emergency plan and identify the safety zone.

This case study is simulated on the LPG leak, stored in the horizontal cylindrical tank with diameter of 3.35 meter and 10.96 meter long at filling condition of 85% of maximum volume. The ratio of propane and butane is 60:40. The location of tank farm is riverside. The environment temperature is at 35.4 degree Celsius. Wind speed is 5 knot, North East direction to the tank. The accident is caused by the joint leak of the 0.5 inch diameter rotogage.

According to the simulation, it shows that the significant impact is fire and explosion. When the leakage occurs, gas disperses within 29 meters far. Therefore, the distance of 29 meters must be enforced to be the zone with no ignition, otherwise there would occur the BLEVE explosion which is seriously harmful by heat radiation and the exploded building construction. It would cause fire ball of 208 meters diameter and heat radiation of 447 meters wide, causing damage to buildings and people's death. With the peripheral area of 630 meters, the radiation would cause people burnt upto the 2nd level.

On this evaluation of the fire and explosion impact, the electronic map programs, MARPLOT and Google Earth, are very helpful to identify the impact area comfortably and rapidly. Moreover, they support the improvement of emergency plan to indicate the ignition-free area at 29 meters and the safety zone from BLEVE at 1.4 kilometers from the tank farm location.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. จรัญ นัฏรมานพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รศ.ดร.ธงไชย ศรีนพคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.พิชัย กฤษไมตรี ประธานการสอบ รศ.ดร.วิชัย พงษ์ธาราธิกุล ผู้ทรงคุณวุฒิ ภายนอก ที่ได้ให้ความกรุณาแนะนำในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่สั่งสอนให้วิชาความรู้ทางด้านต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย และขอขอบคุณทุกท่านที่ได้ศึกษาค้นคว้า เรื่องต่างๆ ที่ปรากฏในบรรณานุกรมของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ในฐานะที่เป็นครูให้ผู้วิจัยได้เรียนรู้เพิ่มเติม

ขอขอบคุณคุณศศิวิมล แนวทอง สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย และคุณสมภพร ช้างเอม กรมอุตุนิยมวิทยา ที่ช่วยเหลือและให้การสนับสนุนข้อมูล จนทำให้การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ประโยชน์และความดีอันเกิดจากการนำความรู้เนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไปใช้งาน ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ และครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้การอบรมสั่งสอนผู้วิจัยมาตั้งแต่ปฐมวัย

ทิพวรรณ อังศิริ

เมษายน 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	58
อุปกรณ์	58
วิธีการ	58
ผลและวิจารณ์	65
การรั่วไหล ในกรณีที่ไม่ติดไฟ	65
การรั่วไหลแบบกลุ่มหมอกก๊าซ (Flamable vapor cloud)	68
กรณีเกิดระเบิดของกลุ่มหมอกสารไวไฟ (Vapor Cloud Explosion: Overpressure Blast Force)	70
การเกิดเพลิงไหม้และระเบิดแบบ Jet Fire	72
การระเบิดแบบ BLEVE (Boiling Liquid Evaporating Vapor Explosion)	75
สรุปและข้อเสนอแนะ	79
สรุป	79
ข้อเสนอแนะ	80
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	83
ภาคผนวก	86
ภาคผนวก ก คู่มือการใช้งานโปรแกรม Aloha, Marplot และ Google Earth	
ผลจากการประมวลผล	87
ภาคผนวก ข คุณสมบัติทางเคมีของโพรเพนและบิวเทน	121
ภาคผนวก ค ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา	124
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	139

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงผลที่เกิดจากการได้รับรังสีความร้อนที่ความเข้มที่ระดับต่างๆ	26
2	แสดงเวลาในการสัมผัสรังสีความร้อนที่ยอมรับได้สำหรับมนุษย์ที่ระดับความเข้มต่างๆ	26
3	Thermal radiation burn injury criteria	27
4	ผลกระทบจาก Overpressure	31
5	แสดงระยะทางที่ระเบิด TNT ในอากาศจะสร้าง Overpressure (psig)	32
6	สรุปการเกิดอุบัติเหตุจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวในประเทศไทย	39
7	ตารางเทียบความเร็วลมและชนิดของลมของมาตรฐาน โบฟอร์ด์	52
8	ความเสถียรของบรรยากาศ	54
9	ผลกระทบจากความเข้มข้นของก๊าซปิโตรเลียมเหลวจากจุดรั่วไหลที่ระยะต่างๆ	66
10	แสดงผลกระทบจากการเกิดการระเบิดแบบบลิวี่ที่ระยะต่างๆ	76
11	แสดงการเปรียบเทียบความรุนแรงของแต่ละเหตุการณ์	77
ตารางผนวกที่		
ข1	แสดงคุณสมบัติของก๊าซปิโตรเลียมเหลว	122
ค1	แสดงทิศทางและความเร็วลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ปี 2549	125
ค2	ตารางผนวกที่ ค2 แสดงอุณหภูมิสูงสุดของกรุงเทพมหานครในรอบ 56 ปี	126

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ไคอะแกรมแสดงระบบการจ่ายก๊าซโดยผ่านหม้อต้มโดยตรง	17
2	ไคอะแกรมแสดงระบบจ่ายก๊าซแบบคัมววนเวียน	18
3	ไคอะแกรมแสดงระบบจ่ายก๊าซแบบหม้อต้มร่วม	19
4	แสดงรูปร่างของการกระจายตัวของกลุ่มก๊าซที่หนักกว่าอากาศ แบบที่มีการรั่วไหลออกมาอย่างต่อเนื่อง	23
5	แสดงรูปร่างของการกระจายตัวของกลุ่มก๊าซที่หนักกว่าอากาศแบบ ที่มีการรั่วไหลออกมาอย่างทันทีทันใด	23
6	แสดงเศษกระจายจากการระเบิดของโรงงานผลิตสารเคมีในรัฐอินเดียนา	33
7	กราฟแสดงสาเหตุจากการเกิดอุบัติเหตุของ Tank บรรจุสารไวไฟ	34
8	แสดงสถานที่ถัง LPG ที่เกิดเหตุ	36
9	แสดงความเสียหายจากสถานที่เกิดเหตุ	36
10	สภาพถังบรรจุ LPG หลังเกิดเหตุ	37
11	แสดงถัง LPG ขณะเกิดเหตุเพลิงไหม้	37
12	แสดงลักษณะการใช้โปรแกรม CAMEO	47
13	แสดงข้อมูลทั่วไปของสารเคมีและข้อมูลประกอบการตัดสินใจ ตอบโต้เหตุฉุกเฉินจากสารเคมี	47
14	แสดงฐานข้อมูลที่ผู้จัดทำจัดเก็บซึ่งเป็นข้อมูลเฉพาะ	48
15	แสดง Footprint ของไอสารเคมี	49
16	แผนที่จากโปรแกรม Marplot แสดงที่ตั้งสถานที่ต่างๆ	50
17	คำขอทิศทาง สำหรับงานอดุณิคมวิทยา	51
18	ภาพแสดงทิศทางลมและปริมาณในทิศทางต่างๆเข้าสู่สถานีวัดลม	52
19	ภาพรัศมีการกระจายตัวของก๊าซปิโตรเลียมเหลว	65
20	ภาพแสดงการรั่วไหลของก๊าซกรณีลมพัดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	67
21	ภาพแสดงการรั่วไหลของก๊าซกรณีลมพัดมาจากทิศใต้	68
22	แสดงการรั่วไหลของก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่แพร่กระจายโดยไม่ติดไฟ	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	แสดงผลกระทบเมื่อเกิดเหตุการณ์ก๊าซปิโตรเลียมรั่วไหล	70
24	แสดงภาพFootprint จากการเกิด Vapor Cloud Explosion	71
25	แสดงบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงที่จะได้รับอันตรายจาก Vapor Cloud explosion	71
26	แสดงบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงที่จะได้รับอันตรายจาก Jet Fire	73
27	แสดงบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงที่จะได้รับอันตรายจาก Jet Fire	73
28	ระยะที่ได้รับผลกระทบจากการเกิด Fire ball	75
29	แสดงบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงที่จะได้รับอันตรายจาก BLEVE	75
ภาพผนวกที่		
ก1	แสดงการระบุสถานที่เกิดเหตุ	88
ก2	แสดงการเพิ่มสถานที่นอกจากสถานที่ที่มีใน โปรแกรม	89
ก3	แสดงการใส่สถานที่ที่เกิดเหตุ	90
ก4	แสดงการระบุชื่อเมือง และเวลาที่แตกต่างของสถานที่เกิดเหตุ	90
ก5	แสดงข้อมูลสถานที่ที่เพิ่มเข้าไป	91
ก6	แสดงการเลือกลักษณะอาคารข้างเคียงที่เกิดเหตุ	92
ก7	แสดงหน้าต่างการระบุวันที่และเวลาที่เกิดเหตุตามเครื่องคอมพิวเตอร์	92
ก8	หน้าต่างการระบุวันที่และเวลาที่เกิดเหตุที่ผู้ใช้กำหนดเอง	93
ก9	แสดง Text Summary ข้อมูลที่ระบุไว้	93
ก10	แสดงการเลือกสารเคมี	94
ก11	แสดงข้อมูลสารเคมีในรูปข้อมูล	94
ก12	แสดงการเลือกหน้าต่างในการใส่ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ	95
ก13	แสดงหน้าต่างที่ใส่ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ	96
ก14	แสดงภาพ Footprint	104
ก15	แสดงส่วนประกอบของ Google Earth	106

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ก16	แสดงสถานที่กรุงเทพมหานครที่ทำการค้นหา	107
ก17	แสดงการปักหมุดสถานที่ที่ต้องการ	108
ก18	แสดงการขีจุดละติจูด ลองติจูด	109
ก19	แสดงการปลดล็อกชั้นที่ต้องการแทรกภาพ	109
ก20	แสดงการแทรกภาพจาก Google Earth เข้าโปรแกรม Marplot	110
ก21	การแสดงผลการขีจุดละติจูดและลองติจูดของ โปรแกรม Marplot และภาพจาก Google Earth	110
ก22	แสดงการลงภาพจาก Google Earth ไปยังโปรแกรม Marplot	111
ค1	แสดงทิศทางและความเร็วลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ปี 2549	125
ค2	แสดงอุณหภูมิสูงสุดของกรุงเทพมหานครในรอบ 56 ปี	126
ค3	ผังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน มกราคม 2549	127
ค4	ผังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน กุมภาพันธ์ 2549	128
ค5	ผังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน มีนาคม 2549	129
ค6	ผังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน เมษายน 2549	130
ค7	ผังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน พฤษภาคม 2549	131
ค8	ผังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน มิถุนายน 2549	132
ค9	ผังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน กรกฎาคม 2549	133
ค10	ผังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน สิงหาคม 2549	134
ค11	ผังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน กันยายน 2549	135
ค12	ผังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน ตุลาคม 2549	136
ค13	ผังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน พฤศจิกายน 2549	137
ค14	ผังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน ธันวาคม 2549	138

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Q_m	=	อัตราการไหลเชิงมวล (กิโลกรัมต่อวินาที)
g_c	=	ค่าคงที่แรงโน้มถ่วงของโลก ($1 \text{ kg-m} / \text{N-s}^2$)
A	=	พื้นที่หน้าตัดในการรั่วไหล(ตารางเมตร)
C_p	=	ความร้อนจำเพาะของของเหลวและก๊าซ (ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม)
V_{fx}	=	ความแตกต่างระหว่างปริมาตรจำเพาะของของเหลวและก๊าซ (ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม)
T	=	อุณหภูมิของของเหลวที่บรรจุอยู่ในภาชนะกักเก็บ (องศาเคลวิน)
ΔH	=	ความร้อนแฝงในการระเหยของของเหลว (จูลต่อกิโลกรัม)
TNT	=	น้ำหนักของไอของสารเคมีรั่วไหล เปรียบเทียบกับน้ำหนักของ TNT , kg
η	=	ค่า Empirical ของประสิทธิภาพในการระเบิด
M	=	น้ำหนักของไอของสารเคมีที่รั่วไหล, kg
E_c	=	ค่า Heat of Combustion ของสารเคมีที่รั่วไหล, kJ/kg
E_{TNT}	=	ค่า Heat of Combustion ของ TNT (4,437 kJ/kg)
Ze	=	ค่า Scale Distance, $\text{m/kg}^{1/3}$
r	=	ระยะจากจุดที่เกิดการระเบิดไปยังจุดที่สนใจ,(เมตร)
m	=	น้ำหนักของไอของสารเคมีที่รั่วไหลเปรียบเทียบกับค่า TNT , $\text{kg}^{1/3}$
P_o	=	Overpressure, kPa
P_a	=	ความดันบรรยากาศ, kPa

คำอธิบายอักษรย่อ

LPG	=	Liquefied Petroleum Gas
LEL	=	Lower Explosion Limit
UEL	=	Upper Explosion Limit
TEEL	=	Temporary Exposure Limits
BLEVE	=	Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion
USEPA	=	U.S. Environmental Protection Agency

การประเมินความรุนแรงการรั่วไหลของก๊าซปิโตรเลียมเหลว ภายในคลังเก็บ:

กรณีศึกษาคลังเก็บทรงกระบอกแนวนอน

Impact Evaluation of LPG Leaks From Tank Farm: Case Study

Horizontal Cylinder Storage Tank

คำนำ

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเรามากมาย และปริมาณการใช้ก๊าซในประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยมีการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมมากขึ้น และปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งของโรงงานอุตสาหกรรมคือ พลังงาน ซึ่งได้มาจากหลายแหล่ง เช่น น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซปิโตรเลียมเหลว เป็นต้น การเลือกใช้ปิโตรเลียมเหลวที่เหมาะสม จะเป็นการประหยัดพลังงานและลดต้นทุนการผลิตได้ ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งซึ่งนิยมใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ให้ความร้อนสูง และก๊าซปิโตรเลียมเป็นสารไวไฟ ดังนั้นจึงเป็นอันตรายอย่างยิ่ง หากการดูแลและใช้งานไม่ถูกต้อง เหมาะสม ดังจะเห็นจากความเสียหายเมื่อเกิดอุบัติเหตุจากปิโตรเลียมในแต่ละครั้ง ซึ่งอันตรายต่าง ๆ จากการใช้ก๊าซเกิดขึ้น มาจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการ

1. อันตรายจากการใช้อุปกรณ์ที่ไม่ถูกต้อง ไม่ได้มาตรฐาน รวมทั้งการติดตั้งที่ไม่ถูกวิธี
2. อันตรายจากความบกพร่องของคน เกิดจากความประมาท การละเลย หรือจากการที่ไม่มีความรู้ความเข้าใจในการทำงานกับก๊าซอย่างเพียงพอ

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีองค์ประกอบของก๊าซโพรเพน (Propane) เป็นส่วนใหญ่จึงเป็นก๊าซที่หนักกว่าอากาศ โดยตัวก๊าซปิโตรเลียมเหลวเองไม่มีสี ไม่มีกลิ่นเช่นเดียวกับก๊าซธรรมชาติ แต่เนื่องจากเป็นก๊าซที่หนักกว่าอากาศจึงมีการผสมและลูกไม้ได้ง่าย ดังนั้นจึงมีข้อกำหนดให้เติมสารมีกลิ่น เพื่อเป็นการเตือนภัยหากเกิดการรั่วไหล โดยบรรจุเป็นของเหลวใส่ถังที่ทนความดันเพื่อให้ขนถ่ายง่าย

จากความนิยมใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่สูงมากขึ้น ประโยชน์ที่มีมากและราคาถูกกว่าน้ำมัน แต่อันตรายก็มีมากด้วยเช่นกัน หากขาดการควบคุม ดูแลและตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ ดังจะเห็นได้ว่า อุบัติภัยของก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่เกิดขึ้นในอดีต ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของอัคคีภัย การระเบิดของไอ หรือการรั่วไหลของก๊าซปิโตรเลียมเหลว นั้นมีศักยภาพในการก่อให้เกิดความสูญเสียอย่างมหาศาล โดยเฉพาะการระเบิดของไอและการรั่วไหลของก๊าซปิโตรเลียมเหลว ทั้งนี้เพราะก๊าซปิโตรเลียมเหลว เก็บอยู่ในรูปของก๊าซอัดในภาชนะปิด (Compress Gas) หรือของเหลวที่มีความดัน ซึ่งสภาพของ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว วิธีการเก็บ และสถานะการใช้งานในกระบวนการ ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการส่งเสริมให้อุบัติภัยที่ตามมาเป็นเท่าทวีคูณ ทั้งนี้เพราะการแพร่กระจายในรูปก๊าซสามารถ แพร่กระจายไปได้ไกลและเป็นวงกว้าง ทำให้ส่งผลกระทบต่อแบบฉบับพันก้นใจ

ด้วยเหตุนี้จึงมีผู้พยายามทำการวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น โดยพัฒนาโปรแกรม คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการทำนายการแพร่กระจายและผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น หรือพัฒนา โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการประเมินความเสี่ยงของผลกระทบที่จะเกิดขึ้น แต่ทั้งนี้ โปรแกรมต่าง ๆ เหล่านี้ยังมีได้มีใช้ในวงกว้าง ปัจจัยองค์ประกอบที่นำมาใช้ในการพัฒนา โปรแกรมทำนายหรือประเมินผลกระทบเป็นเงื่อนไขที่ใช้ภายในประเทศ เป็นผลให้มาตรการ ป้องกันต่าง ๆ ไม่เพียงพอและเหมาะสม ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนารูปแบบและ แนวทางการประเมินอันตรายจากสารไวไฟดังกล่าวเพื่อที่จะทำการจัดเตรียมมาตรการป้องกัน ทั้งในส่วนของการกระบวนการภายในโรงงานและมาตรการป้องกันผลกระทบต่อชุมชนรอบข้าง ที่อาจได้รับผลกระทบจากการเกิดเหตุขึ้นให้เหมาะสมต่อการป้องกันและลดความสูญเสียหรือ อุบัติเหตุและความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากกระบวนการของโรงงานได้

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาประเมินการแพร่กระจาย ของก๊าซปิโตรเลียมเหลว ตั้งแต่แหล่งกำเนิดโดยใช้โปรแกรม อโลฮา ประเมินอัตราการรั่วไหล ของก๊าซปิโตรเลียมเหลวและใช้โปรแกรม มาร์พอท เพื่อประเมินผลกระทบต่อพนักงานในโรงงาน ชุมชนรอบข้าง โดยทำการแสดงผลลัพธ์ของผลกระทบด้วยเส้นชั้นความเสี่ยง เพื่อสามารถจำแนก พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อผลกระทบที่เกิดขึ้น และนำข้อมูลไปใช้ในการกำหนดมาตรการป้องกันและ แผนฉุกเฉินที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักที่จะนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มาทำการประเมินผลกระทบจากการแพร่กระจายของกลุ่มหมอก ไอระเหย การระเบิดของกลุ่มหมอกไอระเหยและจากการรั่วไหลของก๊าซปิโตรเลียมเหลว การแผ่รังสีความร้อนจากการเกิดเหตุเพลิงไหม้ภายในคลังเก็บภาคอุตสาหกรรม โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะช่วยในการประเมินอันตรายตลอดจนประเมินผลกระทบที่มีต่อพนักงานและสถานที่รอบข้างถึงเก็บและถึงจ่าย เพื่อจัดหาระยะปลอดภัยสำหรับจัดทำแผนฉุกเฉินที่เหมาะสมได้

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยเรื่องการประเมินความรุนแรงของก๊าซปิโตรเลียมเหลวรั่วไหลภายในคลังเก็บ: กรณีศึกษากรณีศึกษาถึงเก็บทรงกระบอกแนวนอน จะดำเนินการภายใต้ขอบเขตการวิจัย ดังนี้

1. โปรแกรมคำนวณนี้จะคำนวณตั้งแต่การแพร่กระจายที่แหล่งกำเนิด (Source Model) ผลกระทบที่เกิดขึ้น (Consequence Analysis) และนำข้อมูลของผลกระทบที่เกิดขึ้นมาจัดทำมาตรการป้องกันที่เหมาะสม
2. เพื่อคำนวณบริเวณหรือขอบเขตเสี่ยงอันตรายจากโปรแกรมโมโลฮา และสามารถกำหนดบริเวณที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบ
3. การศึกษาวิจัยเชิงปริมาณจะมุ่งเน้นผลกระทบในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับถังบรรจุก๊าซที่ทำให้เกิดความรุนแรงต่อบุคคล โดยใช้ถังเก็บแก๊สปิโตรเลียมเหลว เป็นตัวอย่างในการศึกษาผลกระทบการเกิดการรั่วไหลและผลกระทบจากการแผ่รังสีความร้อนจากเหตุเพลิงไหม้ ระเบิดต่อสถานที่เก็บเชื้อเพลิงและพื้นที่ข้างเคียง และอันตรายจากการเกิดเหตุที่ส่งผลต่อผู้ปฏิบัติงาน ในอาคารและชุมชนข้างเคียง
4. ถังก๊าซที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ คือ ถังเก็บก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นถังโลหะ (SA612) ลักษณะหัวถังครึ่งทรงกลมเป็นถังติดตั้งแนวนอนบนดิน ไม่มีช่องสำหรับคนเข้า เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3350 มิลลิเมตร ความยาว 10960 มิลลิเมตร ความจุ 96,000 ลิตร

5. ค่าคุณสมบัติของก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ใช้ในโปรแกรมจะแสดงด้วยสารชนิดเดียวที่อันตรายที่สุด เนื่องจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ จะมีส่วนผสมและอัตราส่วนของก๊าซปิโตรเลียมเหลวแตกต่างกัน โดยก๊าซปิโตรเลียมที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้ใช้ Propane (C_3H_8) เป็นตัวแทน

6. การวิเคราะห์ข้อมูลจำกัดที่การคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยไม่มีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ มุ่งเน้นการเกิดเหตุการณ์ที่ร้ายแรงที่สุด โดยไม่พิจารณาโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุซึ่งโปรแกรมที่นำมาใช้ในการดำเนินการวิจัย มีดังนี้

- 6.1 โปรแกรม ALOHA (อโลฮา)
- 6.2 โปรแกรม MARPLOT (มาร์พ็อต)
- 6.3 โปรแกรม Google Earth (กูเกิ้ล เอิร์ธ)

การตรวจเอกสาร

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Clutter and Whitney (2001) ได้ทำการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการบ่งชี้สาเหตุของอุบัติเหตุการระเบิดของกลุ่มหมอกไอสารเคมีได้กล่าวว่าความเสียหายของอุปกรณ์และสิ่งก่อสร้างภายหลังการระเบิดสามารถทำการจำลองเหตุการณ์ที่อาจเป็นไปได้ ซึ่งใช้แบบจำลองในการจำลองเหตุการณ์ระเบิดของกลุ่มหมอกไอ โดยทั้งนี้ในการจำลองต้องทำการเก็บรวบรวมข้อมูลสิ่งก่อสร้างที่มีความเสียหายเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์แรงระเบิดที่เกิดขึ้น จากนั้นจะทำการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองเหตุการณ์การระเบิดที่อาจเป็นไปได้ต่าง ๆ ซึ่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้จะแสดงในรูปแบบ 3 มิติ และทำการวิเคราะห์เพื่อให้เหลือเหตุการณ์ที่เป็นไปได้เพียงเหตุการณ์เดียว โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณนี้จะใช้หลักของ Computational Fluid dynamic (CFD) และ Computational Explosions and Blast Analysis Model (CEBAM) เพื่อใช้ในการจำลองเหตุการณ์ในรูปแบบ 3 มิติ และใช้ในการวิเคราะห์เหตุการณ์ระเบิดที่เกิดขึ้น

Deaves et al. (2001) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ แบบจำลองการเกิดมหันตภัยจากไฟไหม้สารไวไฟรั่วไหล กล่าวว่าสารที่มีจุดเดือดต่ำหลายตัวที่ถูกเก็บรวบรวมไว้ในภาชนะบรรจุปิดภายใต้อุณหภูมิของบรรยากาศทั่วไปนั้นใช้ความดันไอของตัวมันเองในการที่จะรักษาสถานะการเป็นของเหลวไว้ ซึ่งสารเหล่านี้บ่อยครั้งจะเป็นสารที่เป็นพิษ สารไวไฟ หรือเป็นทั้งสารเป็นพิษที่มีความไวไฟ ดังนั้นสถานะที่ขาดการควบคุมอาจนำไปสู่มหันตภัยที่ร้ายแรง โดยที่มีหนทางต่าง ๆ มากมายที่สารเคมีเหล่านี้จะรั่วไหลออกมาได้ ซึ่งที่รุนแรงที่สุดนั้นจะมาจากถังรั่วหรือแตก แม้จะเกิดไม่บ่อยก็ตาม การรั่วไหลจะนำไปสู่ความสูญเสียตลอดทั้งระบบหรือทำลายเป็นวงกว้าง ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการทดลองและจำลองเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้น โดยใช้ Computational Fluid Dynamic (CFD) เข้าช่วยในการประเมิน

สุกิต (2548) ได้ทำการประยุกต์ใช้โปรแกรมออลฮา เพื่อประเมินความเสี่ยงภัยสำหรับกรณีเหตุการณ์สารคลอรีนเหลวรั่วไหล โดยศึกษา 2 แบบ คือ แหล่งอยู่กับที่ และแหล่งเคลื่อนที่ ซึ่งแหล่งอยู่กับที่ได้กำหนดสถานการณ์จำลองการรั่วไหลจากถังเก็บขนาดใหญ่สำหรับโรงงานผลิตสารเคมีบริเวณนิคมอุตสาหกรรมบางปู ทำให้สามารถทราบถึงขอบเขตและผลกระทบ โดยถังเก็บสารคลอรีนที่ใช้เป็นต้นแบบการประเมิน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เมตร สูง 10 เมตร

สามารถบรรจุได้ 283 คัน มีสารคลอรีนบรรจุอยู่ 20 คัน (ร้อยละ 50 ของปริมาณบรรจุ) โดยมีการรั่วไหลจากถังเก็บมีรูรั่วขนาดกว้าง 0.5 นิ้ว ยาว 1 นิ้ว รอยรั่วสูงจากระดับพื้นดินเท่ากับ 50 เซนติเมตร ทำให้มีปริมาณการรั่วไหลทั้งหมดเท่ากับ 2,595 กิโลกรัม ลักษณะการรั่วไหลมี 2 ลักษณะ ทั้งก๊าซระเหยและของเหลว โดยกำหนดความหนาแน่นของประชากรภายในบริเวณโดยรอบเท่ากับ 200 คน ต่อ 1 ตารางกิโลเมตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติจะพบว่าขอบเขตผลกระทบเท่ากับ 10.18 ตารางกิโลเมตร ผู้คนที่อาจได้รับผลกระทบเท่ากับ 2,036 คน เมื่อติดตั้งระบบ Safety Scrubber จะสามารถลดขอบเขตผลกระทบลงเหลือเท่ากับ 0.19 ตารางกิโลเมตร โดยผู้ที่อาจได้รับผลกระทบเท่ากับ 38 คน ซึ่งสามารถลดความรุนแรงลงได้มากกว่าร้อยละ 98 สำหรับแหล่งเคลื่อนที่ ใ้ใช้กับกรณีสารคลอรีนรั่วไหลบนทางด่วนช่วงทางแยกบ่อนไก่ จากด้านบนามุ่งสู่ถนนสาธุประดิษฐ์ เนื่องจากเป็นช่วงโค้งและมีการจราจรหนาแน่น โดยสถานการณ์จำลองได้กำหนดให้รถบรรทุกสารคลอรีนเกิดพลิกคว่ำ สารคลอรีนรั่วไหลออกมาในลักษณะเจ็มนองบนผิวทางด่วน ช่วงการจราจรหนาแน่น การประเมินด้วยโปรแกรมออลฮาปว่าอาจมีผู้ได้รับบาดเจ็บถึง 581 คน เนื่องจากไม่สามารถออกจากบริเวณจุดเกิดเหตุได้ทัน และไม่มีช่องทางให้รถฉุกเฉินเข้ามาสู่สถานการณ์ได้อย่างรวดเร็ว จึงควรศึกษาสร้างทางเข้าออกฉุกเฉินเพิ่มเติมสำหรับรถกู้ภัยบนทางด่วน รวมทั้งเส้นทางอพยพสำหรับผู้ใช้งานบนทางด่วนเพิ่มเติม

ภิตติ (2548) ได้ทำการประเมินความเสี่ยงของคลังเก็บและจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซปิโตรเลียมเหลว โดยพัฒนาโปรแกรมช่วยคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องมาเขียนลงโปรแกรมไมโครซอฟต์เอกเซลสเปรดชีต เพื่อนำไปใช้ในการประเมินอันตรายที่เกิดจากการรั่วระเหยกลายเป็นไอแพร่กระจายออกไป เป็นเหตุให้เกิดการระเบิดและเกิดเพลิงไหม้ เพื่อศึกษาผลกระทบจากแรงระเบิด Vapor Cloud Explosion และ Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion รวมถึงการแผ่รังสีความร้อนของเหตุการณ์ดังกล่าว เมื่อนำโปรแกรมดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่มีใช้ในเชิงพาณิชย์ พบว่าผลของการคำนวณจะมีค่าที่ไม่เท่ากัน แต่ก็เป็นไปในทางเดียวกันความต่างนั้นอาจเกิดจากการใช้แบบจำลองที่แตกต่างกัน การกำหนดสัดส่วนที่ใช้ในการคำนวณต่างกัน การกำหนดคุณสมบัติของสารที่ต่างกัน เป็นต้น

นิริวัฒน์ (2548) ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อคำนวณการแพร่กระจายของสารเคมี โดยใช้เส้นชั้นความเสี่ยง จากอุบัติเหตุจากกระบวนการในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีนั้นสามารถก่อให้เกิดผลกระทบและความสูญเสียได้ในวงกว้าง การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณจึงเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการบ่งชี้อันตรายและระดับผลกระทบของเหตุการณ์ แต่การประเมินต้องอาศัยแรงงานคนและ

เวลาเป็นจำนวนมาก เนื่องจากความซับซ้อนของเหตุการณ์และกระบวนการประเมิน ดังนั้น เพื่อช่วยในการบริหารและจัดการความเสี่ยง การใช้คอมพิวเตอร์ในการประเมินและสร้างแบบจำลองผลกระทบที่เกิดขึ้นจะช่วยลดระยะเวลาของการประเมินและสามารถนำเสนอขอบเขตของผลกระทบได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โปรแกรม Simplified Individual Risk Contour (SIMIRC) ถูกพัฒนาขึ้นจากภาษา Visual Basic เพื่อช่วยในการประเมินเหตุการณ์การรั่วไหลของก๊าซพิษ ที่มีการแพร่กระจายแบบ Neutrally Buoyant โปรแกรมจะประกอบ 5 โมดูล คือ โมดูลเพิ่มข้อมูลสารเคมี โมดูลเหตุการณ์จำลอง โมดูลประเมินอัตราการรั่วไหล โมดูลประเมินผลกระทบ และโมดูลเส้นชั้นความเสี่ยง โดยแต่ละโมดูลจะทำหน้าที่เป็นโปรแกรมย่อยที่มีหน้าที่ในการประเมินอัตราการรั่วไหลก๊าซ ประเมินความเข้มข้นก๊าซ และหาขอบเขตผลกระทบของเหตุการณ์ โปรแกรม SIMIRC ได้ทดสอบกับตัวอย่างการคำนวณและกรณีศึกษาที่เคยเกิดขึ้น พบว่า โปรแกรมสามารถคำนวณอัตราการรั่วไหล ความเข้มข้น ณ จุดที่สนใจ และสร้างเส้นชั้นความเสี่ยงได้ไม่แตกต่างกับผลจากตัวอย่างการคำนวณหรือผลจากกรณีศึกษา ผลลัพธ์สุดท้ายของการประเมินจะสามารถแสดงได้ 2 รูปแบบ คือ การบอกเป็นตำแหน่งของบริเวณที่มีระดับความเข้มข้นสูงจนถึงระดับชีวิต โดยจะเก็บผลลัพธ์ในรูปแบบไฟล์ข้อความกับการแสดงผลในรูปแบบของเส้นชั้นความเสี่ยงของผลกระทบ ซึ่งจะนำเส้นชั้นความเสี่ยงนี้วางซ้อนทับกับแผนที่ของจุดที่เกิดการรั่วไหล เพื่อบ่งชี้ขอบเขตของผลกระทบและสามารถกำหนดมาตรการฉุกเฉินและป้องกันที่เหมาะสมได้

ชาติชาย (2549) ศึกษาและประเมินผลกระทบความรุนแรงจากการระเบิดแบบ BLEVE ของถังบรรจุก๊าซปิโตรเลียมเหลวในคลังเก็บก๊าซเชื้อเพลิง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ “Shell FRED” จำลองสถานการณ์ BLEVE เพื่อศึกษาผลกระทบจากแรงระเบิดและรังสีความร้อน และใช้โปรแกรม “Shell PIPA” ในการจัดทำแผนการป้องกันการระเบิดแบบ BLEVE พบว่า เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ถึงทรงกลมบรรจุก๊าซปิโตรเลียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เมตร และมีปริมาตรบรรจุสูงสุด 1,400 ลูกบาศก์เมตร โดยเก็บที่ปริมาตรร้อยละ 80 ของปริมาตรสูงสุด เมื่อเกิดการระเบิดแบบ BLEVE จะทำให้เกิดลูกไฟขนาด 406 เมตร โดยมีระยะเวลาการเกิดลูกไฟ 49.3 วินาที ก่อให้เกิดอันตรายต่ออาคารบ้านเรือนอย่างรุนแรงในระยะ 41.9 เมตร และประชาชนที่อยู่ในรัศมี 300 เมตร ได้รับอันตรายจากรังสีความร้อนในระดับที่จะทำให้เกิดแผลไหม้ระดับสอง

ศิริประภา (2549) ทำการวิเคราะห์การเกิดอัคคีภัยที่เกิดจากก๊าซหุงต้มในร้านอาหารและอาคารที่มีการเดินแนวท่อก๊าซเข้ามาในร้านโดยใช้โปรแกรมภาพเสมือนในการจำลองเหตุการณ์เพลิงไหม้ (Fire Dynamics Simulation, FDS) จำลองการเกิดเพลิงไหม้ที่เกิดจากการรั่วของก๊าซหุงต้ม เพื่อดูการกระจายตัวของเพลิงและควันไฟ และนำผลการศึกษามาออกแบบระบบป้องกันและระงับ

อัคคีภัยสำหรับร้านอาหาร โดยผลการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายของเพลิงและทิศทางของการเคลื่อนที่ของควันภายในร้านเปรียบเทียบกับผลจากการติดตั้งระบบป้องกันและระงับอัคคีภัย พบว่าหลังจากการติดตั้งระบบป้องกันและระงับอัคคีภัยตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์จะทำให้สามารถระงับเหตุได้ทันทั่วทั้งที่

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ก๊าซปิโตรเลียมเหลว

กรมธุรกิจพลังงาน (2549) ก๊าซปิโตรเลียมเหลว หมายถึง “ก๊าซไฮโดรคาร์บอนเหลว คือ โพรเพน โพรปีลีน นอร์มัลบิวเทน ไอโซบิวเทน หรือบิวทีลีน อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างผสมกันเป็นส่วนใหญ่” โดยทั่วไปเรามักเรียกก๊าซปิโตรเลียมเหลวนี้ว่าก๊าซ แก๊ส แก๊สเหลว หรือแก๊สหุงต้ม ส่วนในวงการค้าและอุตสาหกรรม ชื่อที่เรารู้จักกันดี คือ แอล พี แก๊ส (LP GAS) หรือ แอล พี จี (LPG) ซึ่งเป็นอักษรย่อมาจาก Liquefied Petroleum Gas ก๊าซปิโตรเลียมเหลว มีสภาพเป็นก๊าซที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ โดยมีน้ำหนักประมาณ 1.5-2 เท่าของอากาศการที่ได้ชื่อว่าปิโตรเลียมเหลวเนื่องจากก๊าซจะถูกอัดให้อยู่ในสภาพของเหลวภายใต้ความดันเพื่อสะดวกต่อการเก็บและการขนส่ง เมื่อลดความดันก๊าซเหลวนี้นี้จะกลายเป็นไอ สามารถนำไปใช้งานได้ ก๊าซปิโตรเลียมเหลวถูกเก็บไว้ในลักษณะเป็นของเหลวภายใต้ความดัน เมื่อรั่วไหลออกมาจากภาชนะบรรจุจะเป็นของเหลวแล้วระเหยเป็นไอ หรือก๊าซ ก๊าซนี้หนักกว่าอากาศ ไอสารเคมีอาจวิ่งเข้าหาแหล่งติดไฟและเปลวไฟวิ่งย้อนกลับได้ ภาชนะบรรจุสารเคมีอาจจะเปิดได้เมื่อได้รับความร้อน และอาจพุ่งออกไปอย่างรวดเร็ว

1.1 คุณสมบัติทางเคมี

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน ที่มีส่วนประกอบของคาร์บอน (C) 3 อะตอม และคาร์บอน (C) 4 อะตอม ใน 1 โมเลกุล ไฮโดรคาร์บอนกลุ่มนี้ประกอบด้วย



บิวเทน (Butane) = C_4H_{10}

บิวทิลีน (Butylene) = C_4H_8

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ปรากฏอยู่ในส่วนผสมของก๊าซปิโตรเลียมเหลว อาจแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ พวกไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated Hydrocarbon) และ ไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Unsaturated Hydrocarbon) ไอโซบิวทิลีน (iso-Butylene) ได้แก่ โพรเพน (Propane) นอร์มัลบิวเทน (n-Butane) ไอโซบิวเทน (iso-Butane) ได้แก่ โพรปีลีน (Propylene) นอร์มัลบิวทิลีน (n-Butylene)

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ได้มาจากระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติจะประกอบด้วย โพรเพน (Propane) เป็นส่วนใหญ่ สัดส่วนของ C3 และ C4 ขึ้นอยู่กับแหล่งของก๊าซธรรมชาติ หากได้จากระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ จะประกอบด้วยบิวเทน (Butane) เป็นส่วนใหญ่และอาจมีการผสม C3 และ C4 ในรูปของไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ซึ่งมักประกอบด้วยโพรปีลีน (Propylene) นอร์มัลบิวทิลีน (n-Butylene) ไอโซบิวทิลีน (iso-Butylene) และ Butylene-2

1.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ใช้กันอยู่มี 2 สถานะ คือ ของเหลว และก๊าซ ดังนั้น จำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซปิโตรเลียมเหลวทั้งสองสถานะ ดังนี้

1.2.1 ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่ออยู่ในสถานะเป็นของเหลว

1) จุดเดือด และสภาวะวิกฤติ

เนื่องจากแอลพีจีมีจุดเดือดต่ำมาก คือ โพรเพน มีจุดเดือด เท่ากับ -42 องศาเซลเซียส นอร์มัลบิวเทนเท่ากับ -0.5 องศาเซลเซียส ไอโซบิวเทนเท่ากับ -11.7 องศาเซลเซียส ดังนั้น แอลพีจี มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิปกติและความดันบรรยากาศเว้นเสียแต่จะถูกอัดให้เป็นของเหลวอยู่ในถังภายใต้ความดันหรือนำลงไปแช่เย็นเอาไว้ ค่าความดันที่ทำให้แอลพีจี เป็นของเหลว คือ ค่าความดันไอ (Vapor Pressure) เช่น ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความดันไอของโพรเพนเท่ากับ 7.3 บรรยากาศ และที่อุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความดันไอก็จะสูงขึ้นด้วย

โพรเพนที่อุณหภูมิ 96.67 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้อัดเท่ากับ 41.94 บรรยากาศ เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้โพรเพนจะไม่เป็นของเหลว แม้ว่าจะอัดด้วยความดันมากกว่า 41.94บรรยากาศก็ตาม อุณหภูมิ 96.67 องศาเซลเซียส และความดัน 41.94 บรรยากาศ ก็คือ สภาวะวิกฤติสำหรับโพรเพน

2) ความหนาแน่น ปริมาตรจำเพาะและความถ่วงจำเพาะ

ความหนาแน่น คือ อัตราส่วนของน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร เช่น ที่อุณหภูมิ 15.5 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของโพรเพนมีค่าเท่ากับ 507 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับส่วนกลับของความหนาแน่นก็คือ ปริมาตรจำเพาะ โพรเพนมีค่าปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 2 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ดังนั้นถ้าต้องการเก็บโพรเพนไว้ใช้ 10 วัน โดยในแต่ละวันมีความต้องการ 0.5 ตัน จะต้องใช้ถังที่มีขนาดความจุอย่างน้อยที่สุด 10 ลูกบาศก์เมตร

สำหรับค่าความถ่วงจำเพาะจะแสดงถึงอัตราส่วนของความหนาแน่น ระหว่างก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่อุณหภูมิใด อุณหภูมิหนึ่งกับน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อย่างเช่น ค่าความถ่วงจำเพาะของโพรเพนเหลวที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0.5077 ส่วนนอร์มัลบิวเทน เท่ากับ 0.5844 และไอโซบิวเทนเท่ากับ 0.5631

ดังนั้นก๊าซปิโตรเลียมเหลวในสถานะที่เป็นของเหลวจะเบากว่าน้ำ ถ้าเกิดมี ก๊าซรั่วขึ้นในขณะที่อุณหภูมิโดยรอบในขณะนั้นต่ำมาก และก๊าซปิโตรเลียมเหลวเกิดไหลลงไปในรางระบายน้ำ ลูกลอง ก๊าซปิโตรเลียมเหลวก็จะลอยไปกับน้ำ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดอัคคีภัย ในท้องที่ห่างไกลจากบริเวณที่ก๊าซปิโตรเลียมเหลวรั่วออกไปได้

นอกจากนี้อุณหภูมียังมีผลต่อค่าความหนาแน่น คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของสารเมื่ออยู่ในสถานะของเหลวจะลดลง

3) ความหนืด

ความหนืด (ความข้นใส) คือ ความสามารถในการต้านทานการไหลของของไหล (ของเหลวหรือก๊าซ) ที่มีต่อภาชนะหรือท่อ ของไหลต่างชนิดกันจะมีความหนืดแตกต่างกัน

จะเห็นว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลวในสภาพของเหลวจะมีความหนืดน้อยมาก (ความหนืดของน้ำเท่ากับ 1 เซนติพอยส) จากคุณสมบัติอันนี้ทำให้ก๊าซเหลวรั่วซึมได้ง่ายกว่าของเหลวชนิดอื่น และนอกจากนี้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวไม่มีคุณสมบัติในการหล่อลื่น เนื่องจากมีความหนืดต่ำ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ปั๊ม จึงมีการสึกหรอสูง เพราะฉะนั้นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับก๊าซปิโตรเลียมเหลว จึงต้องออกแบบให้เหมาะสมทนต่อการสึกหรอและแรงดันสูงได้

อนึ่งอุณหภูมิจะมีผลต่อความหนืดของของไหล กล่าวคือ ของไหลที่มีสถานะเป็นของเหลวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความหนืดจะลดลง แต่ถ้าเป็นก๊าซเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความหนืดก็สูงขึ้นด้วย

4) ความดันไอ

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่อถูกบรรจุอยู่ในภาชนะปิดภายใต้ความดันจะมีสถานะเป็นของเหลวก๊าซปิโตรเลียมเหลวจะระเหยเป็นไอเต็มช่องว่างที่อยู่เหนือระดับส่วนที่เป็นของเหลวจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัว (Saturation Point) จึงจะหยุดระเหย ค่าความดันของก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่จุดอิ่มตัวนี้เรียกว่า “ค่าความดันไออิ่มตัว”

ค่าความดันไออิ่มตัวเป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติการระเหยของสาร กล่าวคือ ถ้าสารใดมีความดันไอสูงแสดงว่าสารนั้นสามารถระเหยได้เร็ว และเป็นค่าที่ขึ้นกับอุณหภูมิโดยตรง กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิสูง ค่าความดันไออิ่มตัวก็สูงขึ้นด้วย

5) ความร้อนแฝงในการระเหย

ความร้อนแฝงในการระเหย คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการระเหยต่อหน่วยน้ำหนักของสาร เพื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซที่จุดเดือดปกติ (ณ ความดันบรรยากาศ)

หรือปริมาณความร้อนที่ต้องถูกดึงออกต่อหน่วยน้ำหนักของสาร เพื่อให้ได้กลิ่นตัวเป็นของเหลว ที่ความดันบรรยากาศ และค่าความร้อนแฝงจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีค่าความร้อนแฝงน้อยกว่าน้ำมาก

ดังนั้น เมื่อก๊าซถูกปล่อยออกจากภาชนะเก็บ ก๊าซเหลวจะระเหย การที่ก๊าซเหลวระเหยได้ต้องได้รับความร้อนหรือดึงความร้อนจากบริเวณใกล้เคียงซึ่งจะทำให้บริเวณที่ถูกดึงความร้อนไปจะมีความเย็นจัด เพราะฉะนั้นถ้าก๊าซเหลวรั่วมาถูกผิวหนังหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายจะทำให้ผิวหนังหรือส่วนของร่างกายนั้นได้รับความเย็นจัดจนถึงกับไหม้

6) ความร้อนจำเพาะ

ค่าความร้อนจำเพาะ คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุหนึ่งหน่วยน้ำหนักมีอุณหภูมิสูงขึ้นหนึ่งองศา มีหน่วยเป็นกิโลแคลอรี/กิโลกรัม/องศาเซลเซียส หรือ บีทียู/ปอนด์/องศาฟาเรนไฮต์ เช่น เมื่ออยู่ในสถานะของเหลว ความดันคงที่ 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่าความร้อนจำเพาะของโพรเพนเท่ากับ 0.6023 นอร์มัลบิวเทนเท่ากับ 0.5748 ไอโซบิวเทนเท่ากับ 0.5824 commercial propane เท่ากับ 0.60 และ commercial butane เท่ากับ 0.57

7) สัมประสิทธิ์การขยายตัว

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ 15 องศาเซลเซียส ประมาณ 0.300 องศาเซลเซียส สำหรับโพรเพน และ 0.002 องศาเซลเซียส สำหรับบิวเทน อุณหภูมิยิ่งสูงการขยายตัวยิ่งมาก ตัวเลขนี้จำเป็นอย่างยิ่งในการคำนวณปริมาตรสูงสุดที่สามารถจะบรรจุก๊าซลงภาชนะหรือถังเก็บได้ในสภาพอุณหภูมิต่าง ๆ กัน ดังนั้นการบรรจุก๊าซปิโตรเลียมเหลวลงในถังจะต้องเหลือที่ว่างเหนือก๊าซเหลวไว้ โดยในส่วนของช่องว่างนี้จะมีไอก๊าซอยู่ ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความดันที่เกิดการขยายตัวของของเหลวในกรณีที่ก๊าซได้รับความร้อนผิดปกติ นอกจากนี้ระบบท่อส่งต่าง ๆ ที่ส่งก๊าซปิโตรเลียมเหลวจำเป็นต้องมีกลอุปกรณ์รั้งแบบระบาย (Hydrostatic Relief Valve) ไว้ในระบบด้วย ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญตัวหนึ่ง

1.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซปิโตรเลียมเหลว เมื่ออยู่ในสถานะเป็นก๊าซ

1) ความหนาแน่น ปริมาตรจำเพาะและความถ่วงจำเพาะ

ค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่อเป็นก๊าซจะแสดงถึงอัตราส่วนของความหนาแน่นระหว่างก๊าซกับอากาศที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นตัวเลขที่ชี้ให้เห็นว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลว เมื่อเป็นก๊าซจะหนักเป็นกี่เท่าของอากาศ (เมื่อความหนาแน่นของอากาศ = 1)

2) ความสามารถในการอัดตัวของก๊าซปิโตรเลียมเหลว

สำหรับก๊าซอุดมคติ (Ideal Gas) ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความดันและปริมาตร สามารถแสดงโดย สมการสถานะ (Equation of State) คือ $PV = nRT$ (P = ความดัน, V = ปริมาตร, n = จำนวน โม, R = Gas Constant T = อุณหภูมิ) (แต่สำหรับก๊าซปิโตรเลียมเหลว จะมีลักษณะเบี่ยงเบนไปจากก๊าซอุดมคติ ดังนั้นเพื่อให้สามารถใช้สมการสถานะได้ จึงจำเป็นต้องเพิ่มค่าความสามารถในการอัดตัวของก๊าซ (Compressibility Factor, Z) เข้าไปในสมการคือ $PV = ZnRT$ สำหรับก๊าซไม่อุดมคติ โดยที่ Z จะมีค่าน้อยกว่า 1 คือที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ณ ความดันบรรยากาศ โพรเพนออร์มัลบิวเทน และไอโซบิวเทน มีค่า $Z = 0.984, 0.969$ และ 0.971 ตามลำดับ

3) ช่วงการลุกไหม้

ก๊าซที่สันดาปได้จะมีช่วงส่วนผสมกับอากาศเพียงช่วงเดียวที่จุดไฟแล้วลุกไหม้ได้ เพราะมีอากาศผสมอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะ ช่วงการลุกไหม้ได้จะแสดงค่าเป็นอัตราส่วนร้อยละ ปริมาตรก๊าซต่ออากาศ ค่าทางด้านความเข้มข้นสูงของช่วงการลุกไหม้ เรียกว่าค่าขอบบน ส่วนทางด้านต่ำเรียกว่าค่าขอบล่าง ก๊าซปิโตรเลียมเหลวจะสามารถลุกไหม้หรือติดไฟได้ก็ต่อเมื่อมีก๊าซผสมอยู่ในอากาศ 2-9% คือ ถ้ามีก๊าซปิโตรเลียมเหลวต่ำกว่า 2 ส่วนหรือมากกว่า 9 ส่วนในส่วนผสมของก๊าซกับอากาศกับอากาศ 100 ส่วน ส่วนผสมนั้นก็จะไม่ติดไฟ

4) อุณหภูมิของจุดติดไฟ

เมื่อก่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิให้กับเชื้อเพลิงจนเลยอุณหภูมิค่าหนึ่งแล้ว เชื้อเพลิงก็จะเริ่มลุกไหม้เอง แม้จะไม่มีประกายไฟหรือสาเหตุของการติดไฟ อุณหภูมิต่ำสุดที่เริ่มเกิดการลุกไหม้ตามธรรมชาตินี้เรียกว่าอุณหภูมิของจุดติดไฟ (Ignition Temperature) เนื่องจากอุณหภูมิจุดติดไฟของโปรเปน คือ 460-580 องศาเซลเซียส และของบิวเทนคือ 410-550 องศาเซลเซียส ดังนั้นก๊าซปิโตรเลียมเหลวจึงติดไฟได้ยากกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซินซึ่งมีจุดติดไฟ 280-430 องศาเซลเซียส และน้ำมันดีเซล 250-340 องศาเซลเซียส ดังนั้นเกี่ยวกับเรื่องนี้จึงกล่าวได้ว่า ก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีความปลอดภัยสูงกว่า

5) อุณหภูมิของเปลวไฟ (Flame Temperature)

อุณหภูมิของเปลวไฟที่ได้จากการเผาไหม้ของก๊าซปิโตรเลียมเหลวสูงมากพอที่จะหลอมโลหะต่าง ๆ ได้ เช่น หลอมเหล็ก ทองเหลือง อลูมิเนียม และแก้ว เป็นต้น โดยโพรเพนเผาไหม้บิวเทน มีอุณหภูมิของเปลวไฟในอากาศ 1,930 องศาเซลเซียส และบิวเทน 1,900 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับงานอุตสาหกรรมหลอมโลหะ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการอบเครื่องเคลือบดินเผา อบสี ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6) ค่าออกเทน (Octane Number)

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีค่าออกเทนสูง ประมาณ 95-110 ซึ่งสูงกว่าค่าออกเทนของน้ำมันเบนซิน จึงเหมาะกับการใช้เป็นเชื้อเพลิงของรถยนต์มาก

7) อัตราส่วนปริมาตรของเหลว/ก๊าซ (Liquid/Vapor Volume Ratio)

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่อระเหยและเปลี่ยนสถานะไปเป็นก๊าซปริมาตรจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก กล่าวคือที่อุณหภูมิ 15.5 องศาเซลเซียส (60 องศาฟาเรนไฮต์) โปรเปนเหลว 1 หน่วยปริมาตร เมื่อกลายเป็นก๊าซจะมีปริมาตรเป็น 274 หน่วย ส่วนบิวเทนเหลว 1 หน่วยปริมาตร เมื่อกลายเป็นก๊าซจะมีปริมาตรเป็น 233 หน่วย

ดังนั้นก๊าซปิโตรเลียมเหลวในสถานะที่เป็นของเหลว ถ้ารั่วออกมาจะมีอันตรายมากกว่าที่เป็นก๊าซ เพราะจำนวนที่ออกมาเป็นของเหลว เมื่อกลายเป็นก๊าซจะเพิ่มปริมาณมากขึ้น ปริมาณก๊าซมากอันตรายและความรุนแรงก็ย่อมมีมาก

8) ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Air Requirement)

ก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีส่วนผสมอยู่ในอากาศร้อยละ 21 โดยปริมาตร และเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ ดังนั้นปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าไปในห้องเผาไหม้จะต้องมีปริมาณที่แน่นอนในกรณีที่ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ทั้งหมดก็จะกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ การเปลี่ยนแปลงนี้เขียนเป็นสมการเคมีได้ดังต่อไปนี้



ดังจะเห็นได้จากสมการเหล่านี้ ปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นต่อการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะเป็น 5 เท่าในกรณีของโพรเพน และ 6.5 เท่าในกรณีของบิวเทน เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในอากาศมีประมาณร้อยละ 21 ฉะนั้นในการเผาไหม้โพรเพนอย่างสมบูรณ์ 1 ลูกบาศก์เมตร จะต้องใช้อากาศ 24 ลูกบาศก์เมตร ส่วนบิวเทน 1 ลูกบาศก์เมตร จะใช้อากาศ 31 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินแล้ว แอลพีจีต้องการปริมาณอากาศมากกว่าเล็กน้อย

9) ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of Combustion)

ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของก๊าซปิโตรเลียมเหลว หมายถึง ค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการนำเอาก๊าซปิโตรเลียมเหลวหนึ่งหน่วยน้ำหนัก หรือหนึ่งหน่วยปริมาตรมาเผาไหม้ที่ความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิปกติ (25 องศาเซลเซียส) ค่าความร้อนของการเผาไหม้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติของเชื้อเพลิง และใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องจักร

10) สี กลิ่น และการละลาย

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว บริสุทธิ์ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตก๊าซปิโตรเลียมเหลว จึงต้องเติมสารประกอบที่มีกลิ่นเหม็นลงไปด้วย เพื่อให้ผู้ใช้รู้ตัวเมื่อก๊าซปิโตรเลียมเหลวเกิดรั่ว หรือผู้ใช้ลืมปิดวาล์วใช้ก๊าซ สารประกอบที่เติมลงไปเพื่อให้ก๊าซแอลพีจีมีกลิ่นเหม็นเป็นสารพวกเมอร์แคปแทน

นอกจากนี้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย เช่นเดียวกับพวกน้ำมันระเหย จึงสามารถละลายหรือทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำมาจากยางธรรมชาติเสียคุณสมบัติได้ เช่น ปะเก็น หรือซีลต่าง ๆ

การแบ่งระบบก๊าซปิโตรเลียมเหลว ตามการใช้งาน

ในปัจจุบันก๊าซปิโตรเลียมเหลว เป็นเชื้อเพลิงที่ใช้กันแพร่หลาย กันทั้งในครัวเรือนไปจนถึงภาคอุตสาหกรรม จึงมีการแบ่งระบบก๊าซปิโตรเลียมเหลวตามการใช้งาน ดังนี้

1) ระบบก๊าซปิโตรเลียมเหลว ในครัวเรือนและเพื่อการพาณิชย์

1.1) ระบบก๊าซปิโตรเลียมเหลวใช้ในครัวเรือน ได้แก่ การนำก๊าซออกจากถัง โดยผ่านเครื่องปรับความดันบนหัวถังและต่อท่อมายังเตา โดยทั่วไปเครื่องปรับความดัน สำหรับการหุงต้มในครัวเรือนจะเป็นชนิดต่ำ คือ มีความดันประมาณ 0.4 ถึง 1 psi แต่ในเตาทำอาหารบางประเภท เช่น เตาฟู่ และเตาจีน จำเป็นต้องใช้ความดันก๊าซสูงกว่าปกติ เพราะฉะนั้นจึงควรเลือกใช้เครื่องปรับความดันที่ให้ความดันก๊าซสูงกว่ามาใช้แทน โดยส่วนใหญ่ความดันที่ใช้งานของเตาประเภทนี้จะมีค่ามากกว่า 1 psi (โดยทั่วไปมีความดันประมาณ 6-10 psi)

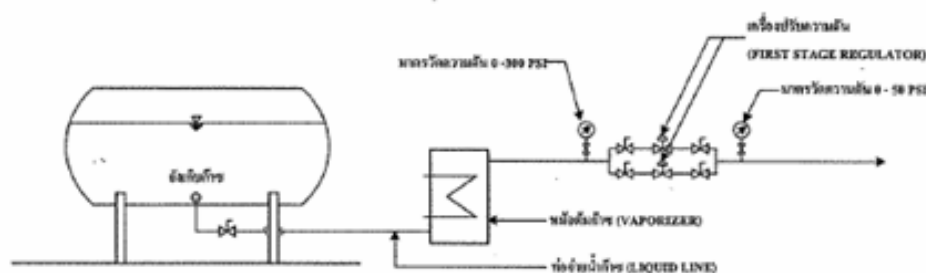
1.2) ระบบก๊าซหุงต้มที่ใช้ถังก๊าซปิโตรเลียมเหลวหลายถังต่อรวมกัน ในกรณีที่มีการใช้เตาหรืออุปกรณ์ที่ใช้ก๊าซหลาย ๆ ชุดขึ้นไป เช่น โรงแรม ภัตตาคาร ถังก๊าซขนาด 48 กิโลกรัม อาจไม่เพียงพอในการใช้งาน จึงมีการนำถังก๊าซหลาย ๆ ถังมาต่อรวมกัน โดยใช้ท่อร่วมเพื่อเพิ่มอัตราการจ่ายก๊าซให้เพียงพอกับการใช้งาน

2) ระบบก๊าซปิโตรเลียมเหลวในอุตสาหกรรม

ในโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารพาณิชย์ขนาดใหญ่มีความต้องการใช้ก๊าซปริมาณมาก ๆ จึงจำเป็นต้องใช้อัตราการระเหยของก๊าซจากถังเก็บก๊าซขนาดใหญ่ตั้งแต่ 1 ถึง หรือหลายถังรวมกัน ซึ่งในปัจจุบันขนาดถังเก็บที่มีใช้ทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 500 อเมริกันแกลลอน หรือขนาด 1 ตันขึ้นไปจนถึงขนาด 12,000 แกลลอน ในการออกแบบและติดตั้งระบบจำเป็นต้องทำอย่างรอบคอบตามมาตรฐานและกฎหมายกำหนดการใช้งานในระบบก๊าซอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้ก๊าซจากถังเก็บก๊าซหลายใบรวมกัน

2.1) ระบบจ่ายก๊าซผ่านหม้อต้มโดยตรง

ระบบนี้ทำการจ่ายก๊าซโดยการนำเอาก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่อยู่ในสภาพของเหลวมาทำเป็นไอโดยผ่านหม้อต้มแล้วนำก๊าซที่เป็นไอแล้วไปใช้โดยตรง ตามภาพที่ 1

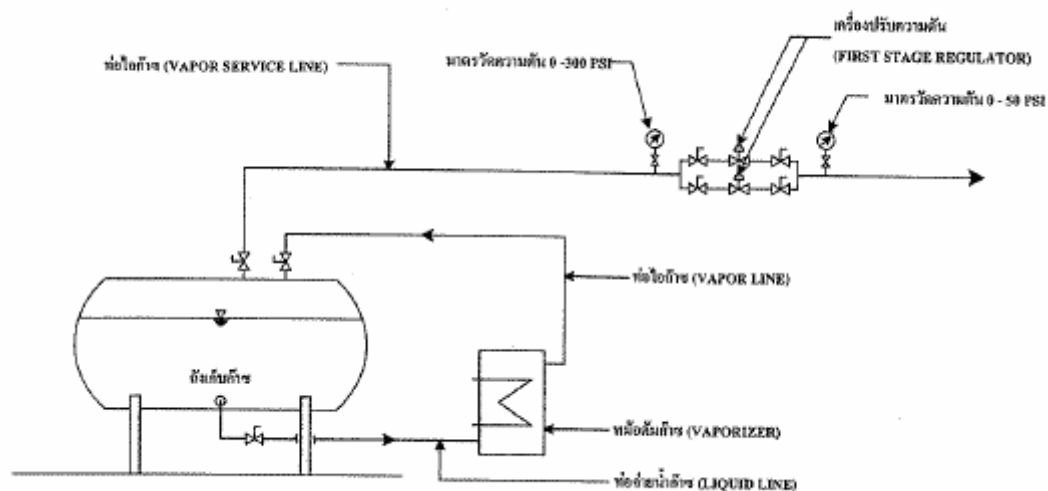


ภาพที่ 1 ไดอะแกรมแสดงระบบการจ่ายก๊าซโดยผ่านหม้อต้มโดยตรง

ที่มา: สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2548)

2.2) การจ่ายก๊าซแบบหม้อต้มวนเวียน

ระบบนี้ทำหน้าที่ดึงน้ำก๊าซมาทำให้เป็นไอ จากนั้นจ่ายไอก๊าซกลับเข้าไปในถังอีกทีหนึ่ง ระบบนี้มีข้อดีกว่าระบบจ่ายก๊าซผ่านหม้อต้ม ตรงที่ได้อัตราการจ่ายก๊าซและได้อัตราการจ่ายมาจากการระเหยของก๊าซในถังมาเสริมอีกด้วย นอกจากนี้ยังมั่นใจได้ว่าในช่วงแรกของการจ่ายก๊าซจะไม่มีน้ำก๊าซผสมไปกับไอก๊าซอีกด้วย ซึ่งเป็นเหตุให้การควบคุมความดันเป็นไปได้ยาก ตามภาพที่ 2

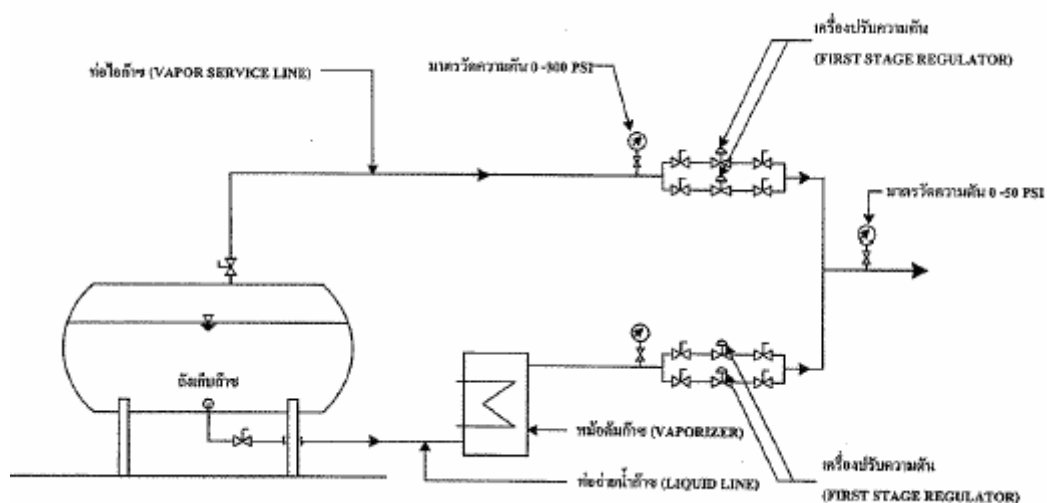


ภาพที่ 2 ไดอะแกรมแสดงระบบจ่ายก๊าซแบบดัมวเนี่ยน

ที่มา: สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2548)

2.3) ระบบจ่ายก๊าซแบบหม้อต้มร่วม

ระบบการจ่ายก๊าซแบบนี้จะคล้ายกับหม้อต้มวเนี่ยน คือ จะใช้ก๊าซมาจากวิธีระเหยตามธรรมชาติรวมกับหม้อต้ม แต่มันตรงที่ใช้ท่อจ่ายก๊าซแยกกันได้อนต้นก่อนที่จะมาร่วมกัน โดยใช้เครื่องควบคุมความดันทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน ดูภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ไดอะแกรมแสดงระบบจ่ายก๊าซแบบหม้อต้มร่วม

ที่มา: สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2548)

2. อุบัติภัยที่เกิดจากก๊าซปิโตรเลียมเหลว

ปกติแล้วการเกิดระเบิดหรือการเกิดเพลิงไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว หรือก๊าซปิโตรเลียมเหลว มักเกิดจากเหตุการณ์ที่มีความต่อเนื่องกัน เช่น เริ่มจากการรั่วไหลของของเหลวไหลฟุ้งออกสู่ภายนอก ภาชนะบรรจุ ซึ่งพฤติกรรมการรั่วหรือแพร่กระจายของก๊าซอันตราย การรั่วไหลของก๊าซ จะมีหลายรูปแบบต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสิ่งดังต่อไปนี้

2.1 ความหนาแน่นก๊าซโดยอัตราการแพร่กระจายของก๊าซ เข้าสู่บรรยากาศจะเป็น สัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นก๊าซ และมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของอากาศด้วย โดยสามารถแยกประเภทได้ดังนี้

2.1.1 ก๊าซที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศมาก เช่น ก๊าซไฮโดรเจนจะสามารถ แพร่กระจายสู่บรรยากาศได้อย่างรวดเร็วโดยมีลักษณะการลอยตัวขึ้นคล้ายการลอยตัวของควันบุหรี่

2.1.2 ก๊าซที่มีความหนาแน่นมากกว่าอากาศจะเกิดปรากฏการณ์ตรงกันข้ามกับ ข้อ 1 คือ มีแนวโน้มที่จะเกาะตัวอยู่บริเวณพื้นและการแพร่กระจายออกไปนั้นขึ้นอยู่กับกระแสของ อากาศในบริเวณนั้นๆ

2.1.3 ก๊าซที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับความหนาแน่นของอากาศ ก็จะไม่แพร่กระจายไปมากนัก แต่มีแนวโน้มที่จะแพร่กระจายไปตามกระแสของอากาศในบริเวณนั้น ๆ

2.2 การไหลเวียนของอากาศโดยรอบเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศจะส่งผลกระทบต่อ การแพร่กระจายของก๊าซอันตราย ดังนั้นเมื่อจะทำการกำหนดตำแหน่งติดตั้ง Sensor จะต้องพิจารณาถึงลักษณะการไหลเวียนของอากาศด้วย ยกตัวอย่างเช่น ในระบบระบายอากาศถ้าก๊าซรั่ว จะช่วยให้แพร่กระจายได้เร็วจนทำให้ก๊าซที่รั่วไหลเจือจาง และทำให้การติดตั้ง Sensor เพียง ตัวเดียวภายในห้องใหญ่ที่มีระบบระบายอากาศตรวจจับไม่พบ

2.3 อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมจะส่งผลต่อการแพร่กระจายของก๊าซด้วย ถ้าอุณหภูมิของ อากาศบริเวณเพดานห้อง มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศบริเวณอื่น ๆ แล้ว อากาศบริเวณเพดาน ห้องจะมีความหนาแน่นน้อย เนื่องจากอากาศร้อนจะลอยตัวสูงขึ้นและทำหน้าที่เหมือนผนัง ความร้อนปิดกั้นการแพร่กระจายตัวของก๊าซได้ในระยะเวลาชั่วขณะหนึ่ง

ลักษณะอันตรายที่เกิดขึ้นกับถังบรรจุก๊าซปิโตรเลียมเหลว

1) การรั่วไหล (Release or Source Model)

การรั่วไหลมีได้หลายลักษณะแต่ที่จะพิจารณาในงานวิจัยนี้จะมีเพียง การรั่วไหลของ ของเหลวผ่านรูรั่วของถังเก็บซึ่งก๊าซปิโตรเลียมเหลวมักจะเก็บภายใต้ความดันที่มากกว่าหรือเท่ากับ ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิห้องปกติ

การรั่วไหลมักจะตามมาด้วยระเหยกกลายเป็นไอ ในการพิจารณาเรื่องการแพร่กระจาย ของไอก๊าซหรือเชื้อเพลิง (Dispersion)

ส่วนการกลายเป็นไออย่างรวดเร็วจะเกิดกับของเหลวที่ถูกบรรจุไว้ภายใต้ความดัน เหนือจุดเดือดปกติมาก เช่น ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) หากเก็บไว้ในสภาวะความดันบรรยากาศ จะเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการระเหยกตัวกลายเป็นไอจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อดังเก็บหรือท่อเกิดการรั่วไหลโดยมีของเหลวออกมา ของเหลวบางส่วนจะระเหยกกลายเป็นไอ โดยทันที

2) การระเหิดตัวอย่างรวดเร็ว (Flashing Liquid)

การรั่วไหลของก๊าซปิโตรเลียมเหลว จะพิจารณาว่าของเหลวถูกบรรจุที่ความดันไออิ่มตัวหรือ $P = P_{sat}$ อัตราการไหลเชิงมวลจากรั่วรั่วสามารถหาได้จาก (Crowl and Louvar, 2002)

$$Q_m = \frac{\Delta H_v A}{V_{fg}} \sqrt{\frac{g_c}{TCp}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

เมื่อ

Q_m = อัตราการไหลเชิงมวล (กิโลกรัมต่อวินาที)

g_c = ค่าคงที่แรงโน้มถ่วงของโลก ($1 \text{ kg-m} / \text{N-s}^2$)

A = พื้นที่หน้าตัดในการรั่วไหล (ตารางเมตร)

Cp = ความร้อนจำเพาะของของเหลวและก๊าซ (ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม)

V_{fg} = ความแตกต่างระหว่างปริมาตรจำเพาะของของเหลวและก๊าซ (ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม)

T = อุณหภูมิของของเหลวที่บรรจุอยู่ในภาชนะกักเก็บ (องศาเซลเซียส)

ΔH = ความร้อนแฝงในการระเหิดของของเหลว (จูลต่อกิโลกรัม)

ละอองของเหลวเล็ก ๆ จะถูกพ่นออกมาในขณะที่ก๊าซปิโตรเลียมเหลวรั่วไหลและการกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว แพร่กระจายออกไปพร้อมก๊าซที่เกิดขึ้น โดยตั้งสมมุติฐานว่าปริมาณของละอองของเหลวเล็ก ๆ นี้มีปริมาณเท่ากับปริมาณของก๊าซที่เกิดการกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว และมีการกระจายตัวสม่ำเสมอไปกับกลุ่มก๊าซ ดังนั้นความหนาแน่นของกลุ่มก๊าซนี้สามารถสมมุติได้ว่ามีค่าเป็นสองเท่าของความหนาแน่นของก๊าซ หรือปริมาณของเชื้อเพลิงที่อยู่ในกลุ่มก๊าซมีค่าเป็นสองเท่าของปริมาณก๊าซที่คำนวณได้ข้างต้นนั่นเอง

3) การแพร่กระจายของก๊าซที่มีความหนาแน่นมากกว่าอากาศ (Dense Gas Dispersion)

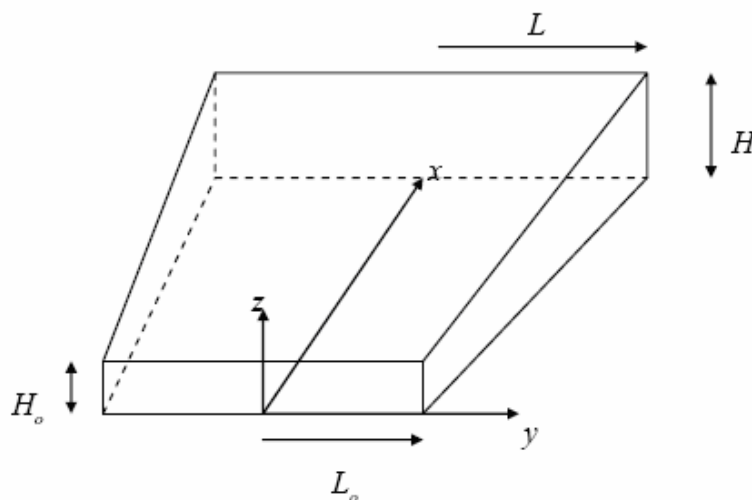
เมื่อมีการรั่วไหลรวมทั้งการระเหยตัวเกิดการสะสมกลายเป็นกลุ่มหมอกไอระเหย (Vapor or Flammable Cloud) ในกรณีที่สภาพอากาศสงบนิ่ง ไอก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นจะมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศเพื่อการอ้างอิงสำหรับปริมาตรที่ปกคลุมโดยกลุ่มหมอกไอระเหยตามส่วนผสมแบบสมมูลของมวล (Stoichiometric) ซึ่งมีค่าประมาณ 0.1 กิโลกรัมของไฮโดรคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรพบว่า 1 ตัน ไฮโดรคาร์บอนที่รั่วไหลทำให้เกิดหมอกไอมิรัสมิ 17 เมตร และ 10 ตัน ไฮโดรคาร์บอนที่รั่วไหลทำให้เกิดหมอกไอมิรัสมิ 36 เมตร หรือ

$$R = \frac{\left[15m_r \right]^{\frac{1}{3}}}{\pi} \dots\dots\dots (4)$$

m_r = มวลของไฮโดรคาร์บอนที่รั่วออกมา (กิโลกรัม)

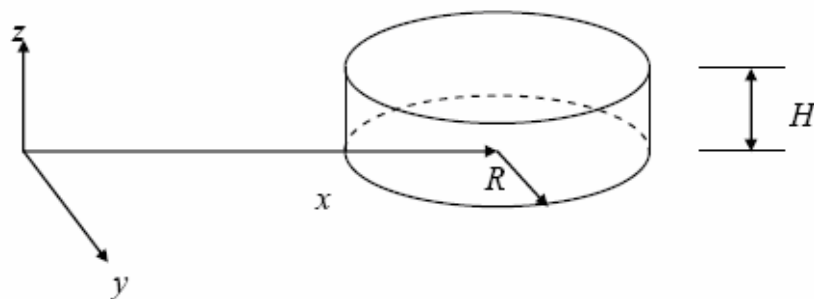
ในสถานะที่มีการเคลื่อนไหวของอากาศหรือลม จะต้องพิจารณาการแพร่กระจายของกลุ่มไอเชื้อเพลิงที่ระเหยออกไปในทิศทางลมนั้น ทิศทางลม และความเร็วลมจะมีผลต่อการแพร่กระจายและมีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดทั้งปี สามารถใช้ข้อมูลทางสถิติเพื่อกำหนดความเร็ว และทิศทางของลม การแพร่กระจายของกลุ่มไอเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นมากกว่าหรือหนักกว่าอากาศ จะถูกนำมาใช้ในการวิจัยนี้โดยลมจะทำให้ไอระเหยของเชื้อเพลิงแพร่กระจายออกไปในทิศทางลมในระยะทางที่ไกลออกไปจากการคำนวณเป็นรัศมีในสถานะอากาศสงบนิ่ง

โดยปกติการแพร่กระจายจะเกิดขึ้นตามลักษณะการรั่วไหลของก๊าซ หรือการระเหยของไอเชื้อเพลิง โดยแบ่งเป็นสองลักษณะคือ การกระจายตัวของกลุ่มก๊าซที่หนักกว่าอากาศแบบที่มีการรั่วไหลออกมาอย่างต่อเนื่อง (Continuous Release, Plume) และการกระจายตัวของกลุ่มก๊าซที่หนักกว่าอากาศแบบที่มีการรั่วไหลออกมาอย่างทันทีทันใด (Instantaneous Release, Puff) แสดงดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5



ภาพที่ 4 แสดงรูปร่างของการกระจายตัวของกลุ่มก๊าซที่หนักกว่าอากาศแบบที่มีการรั่วไหลออกมาอย่างต่อเนื่อง

ที่มา: Louvar and Louvar (1998)



ภาพที่ 5 แสดงรูปร่างของการกระจายตัวของกลุ่มก๊าซที่หนักกว่าอากาศแบบที่มีการรั่วไหลออกมาอย่างทันทีทันใด

ที่มา: Louvar and Louvar (1998)

เนื่องจากการระเหยของก๊าซปิโตรเลียมเหลวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนหมด จึงพิจารณาเป็นการรั่วไหลออกมาอย่างต่อเนื่อง การกักเก็บสารในสถานะก๊าซภายใต้ความดันเมื่อมีการเสียหายของถังเก็บ จนทำให้เกิดการระบายออกมาอย่างทันทีทันใดก๊าซที่รั่วไหลออกมาจะขยายตัวปกคลุมทั่วบริเวณ และแพร่กระจายออกไปดัง ภาพที่ 5

โอกาสเกิดการแพร่กระจายตามภาพที่ 5 นี้มักเกิดกับสารที่ไม่ติดไฟเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากสารที่ติดไฟจะเกิดการระเบิดหรือเผาไหม้ก่อนการแพร่กระจายจะเกิดขึ้น ทั้งนี้เพราะถังเก็บมักเสียหายจากผลต่อเนื่องของการเกิดเพลิงไหม้ หรือการเสียหายนั้นก็จะทำให้สารติดไฟ

โดยปกติไอของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีช่วงค่าความเข้มข้นเป็นส่วนผสมในที่สามารถทำให้เกิดการติดไฟหรือระเบิดได้ไม่เท่ากัน โดยจะระบุเป็นขีดจำกัดบน (Upper Flammable Limit) และขีดจำกัดล่าง (Lower Flammable Limit) ลมหรือการเคลื่อนไหวของอากาศ อาจมีความหมายสองลักษณะคือ ลดค่าความเข้มข้นของไอเชื้อเพลิงในอากาศ เพื่อไม่ให้มีความเข้มข้นจนถึงขีดจำกัดล่าง หรือเรียกอีกอย่างว่า การรั่วไหลอากาศ และการพัดพาอากาศไอเชื้อเพลิงที่มีความเข้มข้นสูงไปตามทิศทางของลม โดยความเข้มข้นของไอเชื้อเพลิงจะลดลงไปตามระยะทางที่มากขึ้น ดังแสดงลักษณะการแพร่กระจายใน ภาพที่ 4

จะเห็นได้ว่าการรั่วไหลกลายเป็นไอ หรือการรั่วไหลของก๊าซติดไฟที่มีปริมาณน้อย ลมจะช่วยพัดพาหรือรั่วไหลของไอเชื้อเพลิงเหล่านั้นไปไม่ให้เกิดการสะสมถึงความเข้มข้นในขีดจำกัดล่าง จึงไม่เกิดอันตราย ส่วนการพัดพาอากาศไอเชื้อเพลิงที่มีความเข้มข้นสูงกระจายออกไปยังแหล่งชุมชนที่ห่างออกไป และยังคงเหลือความเข้มข้นสูงกว่าหรือเท่ากับขีดจำกัดล่าง ก็มีโอกาสดังไฟจากกิจกรรมต่าง ๆ ในชุมชนเหล่านั้น ดังนั้นการคำนวณหาระยะทางจากจุดกำเนิดของไอเชื้อเพลิงไปจนถึงจุดที่มีความเข้มข้นของไอเชื้อเพลิงในอากาศที่ขีดจำกัดบนและล่าง จึงมีความจำเป็นเพื่อประเมินหาความเป็นไปได้ในการเกิดเพลิงไหม้และการระเบิด

การคำนวณจะเริ่มต้นจากการพิจารณาว่าเป็นการรั่วไหลอย่างต่อเนื่องหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะดำเนินการต่อไป โดยการตรวจสอบว่าเป็นการแพร่กระจายของก๊าซที่หนักกว่าอากาศ ซึ่งจะมีการแพร่กระจายลงตามแนวพื้นดิน (Slumping) หรือเป็นการแพร่กระจายของก๊าซที่เบากว่าอากาศ ซึ่งจะมีการแพร่กระจายขึ้นไปในอากาศ (Neutrally Buoyant) แนวโน้มของการเกิดการแพร่กระจายไปตามแนวพื้นดินนั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาแน่น และผกผันกับความปั่นป่วนของสภาพแวดล้อม (Surrounding Turbulence)

4) การแผ่รังสีความร้อนจากเพลิงไหม้ (Thermal Radiation From Fires)

เมื่อศึกษาการรั่วไหลของไอเชื้อเพลิงที่เกิดการระเหย และสามารถแพร่กระจายออกไปได้แล้ว ส่วนต่อไปที่เกี่ยวข้องคือ การเกิดเพลิงไหม้ เนื่องจากกลุ่มหมอกไอระเหยที่มีอยู่ อาจเกิดการติดไฟทำให้เกิดการระเบิด หรือการลุกลามของไฟอันตรายจากการเกิดเพลิงไหม้มาจากการแผ่รังสีความร้อนออกมาทำอันตรายต่อสิ่งก่อสร้างและผู้คนโดยรอบ

วิธีการหาระดับความร้อน (Heat Flux) หรือผลของการแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation) นั้นจะจำแนกออกไปตามชนิดของเพลิงไหม้ หากทราบหรือคาดเดาลักษณะของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงได้ ชนิดของเพลิงไหม้ที่พิจารณาจะแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

4.1) การเกิดเพลิงไหม้แบบ Pool Fire เกิดจากการติดไฟของของเหลวหรือเชื้อเพลิงในแอ่งหรือบริเวณเปิดขนาดใหญ่ รวมถึงเขื่อนกั้น (Bund or Dike) อ่างกักเก็บ (Impounding Basin) หรือ ถังเก็บขนาดใหญ่ที่หลังคาด้านบนเสียหาย (Storage Tank)

4.2) การเกิดเพลิงไหม้แบบ Fire Ball ซึ่งมักจะเป็นผลต่อเนื่องของการเกิดระเบิดแบบบลีวี (BLEVE) และการระเบิดของกลุ่มหมอกไอระเหย การเกิดบลีวีทำให้เกิดจากการพังเสียหาย และติดไฟของภาชนะความดันที่บรรจุของเหลวภายใต้ความดันเหนือจุดเดือดที่ความดันบรรยากาศถึงแม้ว่าชื่อจะบอกว่าเป็นการระเบิดแต่อันตรายหลักของบลีวี คือ ความร้อนมหาศาลที่แผ่ออกมาของลูกบอลไฟ

เมื่อกลุ่มหมอกไอระเหยเคลื่อนตัวไปในทิศทางของลมอาจติดไฟจากแหล่งกำเนิดประกายไฟ เมื่อเงื่อนไขของการติดไฟครบ ผลของการระเบิดทำให้เกิดความเสียหายจากคลื่นกระแทก และทำให้เกิดเป็นลูกบอลไฟสร้างความเสียหายจากการแผ่รังสีความร้อนได้ หากเป็นการรั่วไหลภายในเขื่อนกักเก็บ และการระเหยเกิดอย่างต่อเนื่องจนของเหลวหมดมีเพียงส่วนหนึ่งของเชื้อเพลิงในกลุ่มหมอกไอระเหยเท่านั้น ที่จะก่อให้เกิดความเสียหายจากการแผ่รังสีความร้อน และจากการเกิดคลื่นกระแทกโดยประมาณ สัดส่วน (η) ร้อยละ 3 ของหมอกไอระเหยที่เกิดการเผาไหม้ในบริเวณเปิด และ ประมาณร้อยละ 10 ของไอหมอกจะเกิดการเผาไหม้ ในกรณีเป็นไอหมอก ในบริเวณที่ปิดล้อมบางส่วน (Partially Confined)

ผลของการแผ่รังสีความร้อนจะเทียบกับ ความเข้มของการแผ่รังสีไปยังตัวรับ มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ต่อตารางเมตร แสดงดังตารางที่ 1 ตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 จะแสดงผลที่เกิดขึ้นกับมนุษย์ ในเวลาสัมผัสที่คำนวณได้ในแต่ละความเข้มข้นของการแผ่รังสี เพื่อให้ทราบว่าไม่ควรสัมผัสกับรังสีความร้อนที่มีความเข้มข้นนั้นเกินเวลาเท่าใด

ตารางที่ 1 แสดงผลที่เกิดจากการได้รับรังสีความร้อนที่ความเข้มที่ระดับต่างๆ

ความเข้มของการแผ่รังสี (กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร)	ผลกระทบ
37.5	เกิดความเสียหายกับเครื่องจักรในระบบ และเป็นพลังงานขั้นต่ำสุดที่ทำให้ไม้จุดติดไฟ เมื่อได้รับความร้อนที่จุดนี้เป็นเวลานาน
12.5	พลังงานขั้นต่ำสุดที่ทำให้ไม้ติดไฟและหลอมละลายท่อพลาสติก
9.5	ทำให้เกิดความเจ็บปวด หลังได้สัมผัสเป็นเวลามากกว่า 8 วินาที เป็นแผลไหม้ในระดับ 2 หลังได้รับสัมผัสนาน 20 วินาที
4.0	ทำให้เกิดความเจ็บปวด หลังได้รับสัมผัสเป็นเวลามากกว่า 20 วินาที และเป็นแผลพุพอง
1.6	รู้สึกอึดอัด ไม่สบายตัวเมื่อต้องสัมผัสเป็นระยะเวลานาน

ที่มา: Louvar and Louvar (1998)

ตารางที่ 2 แสดงเวลาในการสัมผัสรังสีความร้อนที่ยอมรับได้สำหรับมนุษย์ที่ระดับความเข้มต่างๆ

Heat Flux (kW/m ²)	Exposure Time (Sec)
1.74	60
2.33	40
2.9	30
4.73	16
6.94	9
9.46	6
11.67	4
19.81	2

ที่มา: API (1997)

ตารางที่ 3 Thermal radiation burn injury criteria

Radiation Intensity (kW/m ²)	Time for Severe Pain(s)	Time for 2 nd Degree Burn(s)
1	115	663
2	45	187
3	27	92
4	18	57
5	13	40
6	11	30
8	7	20
10	5	14
12	4	11

ที่มา: Aloha Manual (2007)

5) การระเบิด (Explosion)

นอกจากอันตรายจากการแผ่รังสีความร้อนแล้ว พลังงานที่เกิดขึ้นจากการระเบิดก็สามารถทำให้เกิดความเสียหายได้อย่างมากและรุนแรง

การระเบิด (Hammer, 2001) หมายถึง เกิดจากการรั่วไหลของแก๊สอย่างรุนแรงและทันทีทันใด ก่อให้เกิดความเสียหายจากการระบายความดันส่วนเกิน และเศษวัสดุที่แตกกระจายของภาชนะบรรจุ ความร้อน และอ็อกซิเจน หรือมีการปล่อยแก๊สพิษออกมา ท่ออัดอากาศหรือหม้อน้ำแตกเนื่องจากแรงดันสูงถือว่าเป็นการระเบิด และอาจจะส่งผลกระทบเหมือนการระเบิดที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี การระเบิดหมายความว่ารวมไปถึงปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้เกิดมหันตอ็อกซิเจนและการระเบิดด้วย

การระเบิดโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิง และสารออกซิเจนที่ได้รับการผสมไว้ก่อนเกิดการจุดติดส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยไม่มีการชะลอตัวลง หากสารอยู่ในภาชนะปิดความรุนแรงของการขยายตัว หรือการเผาไหม้อาจทำให้เกิดความดันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

หรือเกิดการระเบิด ปรากฏการณ์นี้จะตรงข้ามกับการเกิดเพลิงไหม้ ซึ่งเมื่อแรกเริ่มนั้นตัวเชื้อเพลิง และสารออกซิเจนจะแยกกันอยู่ และอัตราการเผาไหม้ถูกควบคุมโดยอัตราการผสมระหว่าง เชื้อเพลิงและสารออกซิเจนนั้น

การระเบิดเป็นผลจากการปลดปล่อยพลังงานออกมาอย่างรวดเร็ว และมากพอที่จะ ทำให้เกิดการสะสมของพลังงานในบริเวณที่เกิดการระเบิด พลังงานนี้เองจะแพร่กระจายออกไป ในหลายลักษณะไม่ว่าเป็นคลื่นความดัน (Pressure Wave) แรงขับเคลื่อน (Projectile) การแผ่รังสี ความร้อน (Thermal Radiation) และพลังงานของเสียงสะท้อน (Acoustic Energy) ความเสียหาย ที่เกิดขึ้นก็มาจากการแพร่กระจายพลังงานเหล่านี้นั่นเอง

เมื่อการระเบิดเกิดขึ้นในก๊าซ พลังงานทำให้ก๊าซเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ผลักดันก๊าซที่อยู่รอบ ๆ ออกไป และก่อให้เกิดเป็นคลื่นความดันเคลื่อนที่ออกไปอย่างรวดเร็วจาก จุดที่เกิดการระเบิด คลื่นความดันนี้มีพลังงานที่สามารถทำให้เกิดความเสียหายแก่สิ่งที่อยู่รอบ ด้านความดันจากการระเบิดจะสมดุลที่ความเร็วเท่ากับความเร็วเสียง สำหรับพลังงานที่ปลดปล่อย ออกมาเป็นคลื่นกระแทกนั้น ค่าความเร็วในการปลดปล่อยจะมีความเร็วเท่ากับความเร็วเสียง (Sonic) หรือมากกว่าความเร็วเสียง (Super Sonic) คลื่นกระแทกจะเริ่มแผ่ออกจากจุดที่มีการรั่วไหล และ ค่อย ๆ ลดลงตามระยะทาง ถ้าก๊าซถูกปล่อยออกมาอย่างทันทีทันใดและกระจายตัวทั่วทุกทิศทาง คลื่นกระแทกจะกระจายตัวเป็นทรงกลม ซึ่งการระเบิดส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการระเบิดของภาชนะ หรือโครงสร้างซึ่งก๊าซสะสมที่ความดันสูง จนเมื่อความดันของก๊าซมีค่ามากเกินไปที่ภาชนะบรรจุ จะทนทานได้ ภาชนะจะอ่อนตัวและแตก ทำให้เกิดคลื่นกระแทกในทิศทางที่ภาชนะแตก ดังนั้น การระเบิดของภาชนะจะทำให้เกิดคลื่นกระแทกซึ่งจะไม่ได้มีค่าเท่ากันในทุกทิศทางโดยทั่วไป ลักษณะของการระเบิดถ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

(1) Detonation เป็นการระเบิดที่ความเร็วของคลื่นกระแทก (Shock wave) มีค่า มากกว่าความเร็วเสียง

(2) Deflagration เป็นการระเบิดที่ความเร็วของคลื่นกระแทก (Shock wave) มีค่า น้อยกว่าความเร็วเสียง

การเกิด Detonation และ Deflagration ต้องการเวลาในการเกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์ประมาณ 1/10,000 วินาที และ 1/3,000 วินาที ตามลำดับ ความดันที่เกิดขึ้นในกรณีของ Detonation จะมีค่ามากกว่าความดันที่เกิดจากการระเบิดแบบ Deflagration โดยทั่วไปแล้วในอุตสาหกรรมเคมีจะมีการระเบิดแบบ Deflagration มากกว่าการระเบิดแบบ Detonation การประเมินแรงระเบิดซึ่งเกิดจากไอของสารเคมีที่รั่วไหลออกมายังพื้นที่เปิดโล่ง จะสามารถใช้สมการคำนวณค่าแรงดันที่ตกกระทบต่อสิ่งที่สนใจ (Overpressure) โดยวิธีเปรียบเทียบกับค่าแรงระเบิดของ TNT (TNT Equivalent Method) ดังสมการต่อไปนี้

$$m_{TNT} = \eta \frac{MEc}{E_{TNT}} \dots\dots\dots (5)$$

เมื่อ

m_{TNT} = น้ำหนักของไอของสารเคมีที่รั่วไหล เปรียบเทียบกับน้ำหนักของ TNT , kg

η = ค่า empirical ของประสิทธิภาพในการระเบิด

M = น้ำหนักของไอของสารเคมีที่รั่วไหล, kg

Ec = ค่า Heat of combustion ของสารเคมีที่รั่วไหล, kJ/kg

E_{TNT} = ค่า Heat of combustion ของ TNT (4,437 kJ/kg)

$$Ze = r / m \frac{1/3}{TNT} \dots\dots\dots (6)$$

เมื่อ

Ze = ค่า Scale distance, m/kg^{1/3}

r = ระยะจากจุดที่เกิดการระเบิดไปยังจุดที่สนใจ,

m = น้ำหนักของไอของสารเคมีที่รั่วไหลเปรียบเทียบกับค่า TNT, kg^{1/3}

$$Po = \frac{1,616 Pa \cdot 1 + \frac{Ze^2}{4.5}}{1 + \frac{Ze^2}{0.048} \cdot \frac{1 + \frac{Ze^2}{0.32} \cdot \frac{1 + \frac{Ze^2}{1.35}}{2^{0.5}}} \dots\dots\dots (7)$$

เมื่อ

P_o = Overpressure, (kPa)

P_a = ความดันบรรยากาศ, (kPa)

ปัจจัยที่มีผลต่อการระเบิด

- 1) อุณหภูมิบรรยากาศ
- 2) ความดันบรรยากาศ
- 3) ส่วนประกอบของสารที่ก่อให้เกิดระเบิด
- 4) คุณสมบัติทางกายภาพของสารที่ก่อให้เกิดการระเบิด
- 5) ธรรมชาติของสิ่งที่ก่อให้เกิดการจุดติดไฟ
- 6) ลักษณะของสิ่งแวดล้อมว่าเป็นบริเวณจำกัด (Confined) หรือ บริเวณโล่ง

(Unconfined)

- 7) ปริมาณทั้งหมดของสารก่อให้เกิดการระเบิด
- 8) ความปั่นป่วน (Turbulence) ของสารก่อให้เกิดการระเบิด
- 9) เวลาก่อนการจุดติดไฟ
- 10) อัตราการปล่อยพลังงานของสารที่เกิดการระเบิด

คลื่นความดันที่แพร่กระจายออกไปในอากาศเรียกว่าคลื่นระเบิด ซึ่งจะเกิดเป็นเหมือนลมพัดกรโชกอย่างรุนแรงตามมาหลังเกิดคลื่นความดัน ส่วน Shock wave หรือ shock front เกิดเมื่อความดันด้านนอก (Pressure Front) มีการเปลี่ยนแปลงของความดันอย่างทันทีทันใด ซึ่งมักเกิดจากวัตถุระเบิดแรงสูง อย่างเช่น TNT หรือ อาจเกิดจากการเสียหายอย่างทันทีทันใดของถังความดัน (Pressure Vessel) ความดันสูงสุดที่เกิดเหนือความดันบรรยากาศเรียกว่า Peak Overpressure เมื่อสารถูกเผาไหม้หมด Reaction front ก็สิ้นสุดลงแต่คลื่นความดันยังเคลื่อนที่ออกไป คลื่นความดันนี้รวมกับลมกรโชกที่เกิดภายหลังเรียกว่า คลื่นระเบิด ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เกิดความเสียหาย ซึ่งประมาณความเสียหายที่เกิดจาก Overpressure แสดงดัง ตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลกระทบจาก Overpressure

Overpressure	ผลกระทบ
0.2	ทำลายเฉพาะพื้นที่ที่ไม่มีการควบคุม ไม่เป็นอันตรายต่อคนหรือสิ่งอำนวยความสะดวก
0.4	เป็นอันตรายต่อบุคคลที่ไม่มีการป้องกัน
0.5 - 1	กระจกแตก
0.75	ทำลายเฉพาะหน้าต่างและโครงสร้างทั่วไป
1-2	เกิดความเสียหายเล็กน้อยถึงปานกลางสำหรับการขนส่งชนิดอากาศยาน
3	บุคคลที่ได้รับ overpressures โดยตรงอาจกระดอนและปลิว มีอำนาจการทำลายรุนแรง อาคารโรงงานที่โครงสร้างเป็นหลักที่ไม่ยึดหยุ่นแต่โครงสร้าง corrugated steel ถูกทำลายไม่มาก
3-4	ทำลายรุนแรงสำหรับโครงสร้างไม้ หรือบ้านที่ทำด้วยอิฐ
4-6	อากาศยานถูกทำลายอย่างสมบูรณ์ หรือทำความเสียหายทางด้านเศรษฐกิจเกินกว่าจะแก้ไขได้
5	ทำลายการได้ยิน บุคคลที่ได้รับแรงระเบิดโดยตรงจะกระดอนและปลิว ทำลายเสร็จสิ้นโครงสร้างไม้หรือบ้านที่สร้างด้วยอิฐ ทำลายรถยนต์และรถบรรทุก
6	ทำความเสียหายให้กับเรือปานกลาง
6-7	ทำลายทั้งหมด โครงสร้างผนัง อาคารต่าง ๆ
7	ทำให้มนุษย์บาดเจ็บภายใน
9	ทำลายทางรถไฟอย่างเสร็จสิ้น
10 – 12	ทำลายอย่างรุนแรงและสามารถจมเรือได้ทุกชนิด
12	ทำให้เกิดการบาดเจ็บที่ปอดของคน
20-30	50% ทำให้เชื้อเพลิงแตก
25	ทำให้เกิดการบาดเจ็บจากความร้อน

ที่มา: Hammer (2001)

แม้ว่าตัวอาคารจะสามารถทนต่อ Overpressures ภายนอก ได้ถึง 3–4 psi. โดยปกติผนังอาคารไม่สามารถทนต่อ Overpressures ภายใน 1 psi. 1 และหน้าต่างทนได้น้อยกว่ามาก คู่มือทหารเรือชี้ให้เห็นว่า ระเบิด TNT 1 lb. ในอากาศจะสามารถสร้าง overpressures (psig) ดังตารางที่ 5

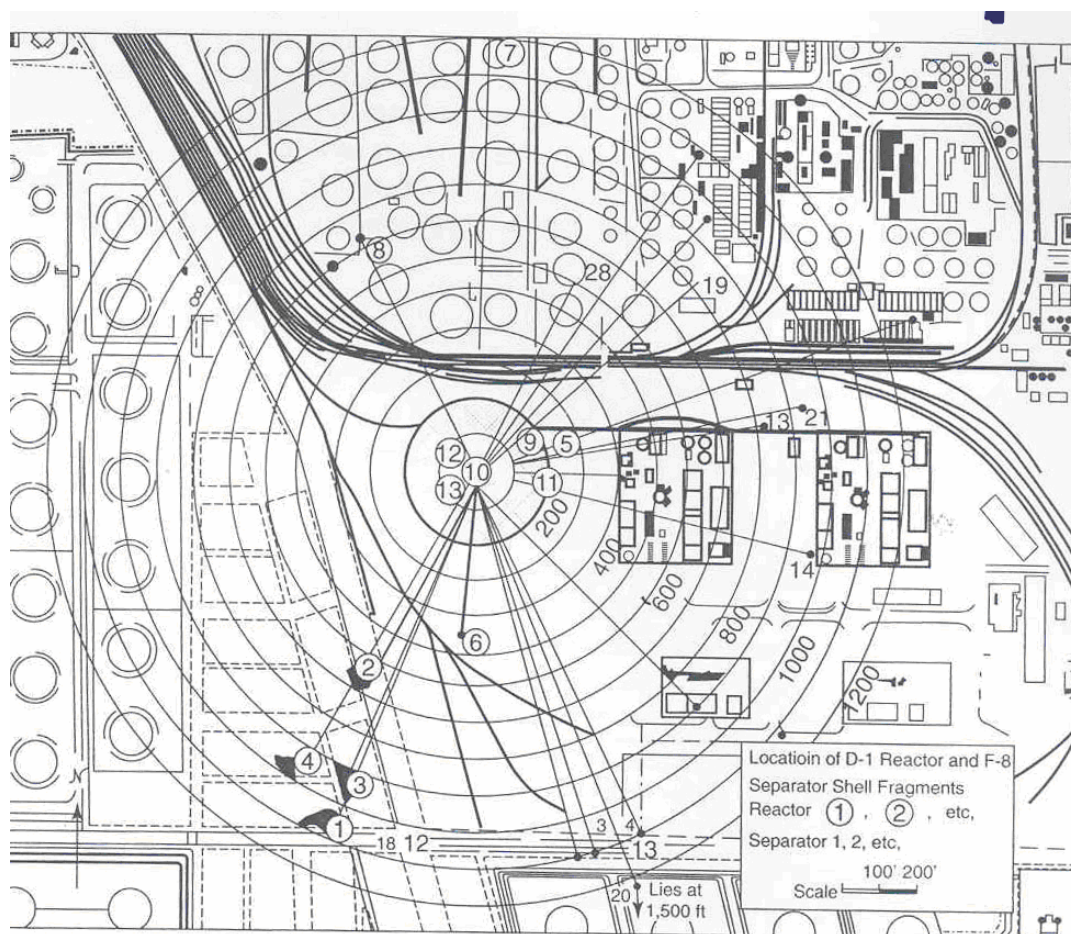
ตารางที่ 5 แสดงระยะทางที่ระเบิด TNT ในอากาศจะสร้าง Overpressure (psig)

ระยะทาง (ฟุต)	2	4	6	8	10	20	40	100	200	400
Overpressures	320	70	28	15	9.6	3.0	1.2	0.35	0.13	0.05

ที่มา: Hammer (2001)

คลื่นสะท้อนส่งผลต่อโครงสร้างต่าง ๆ เช่น ผนัง แรงอัดอากาศมีความดันสูงกว่าแรงอัดที่เกิดก่อนหรือหลังคลื่นสะท้อน และมีแรงอัดมากกว่า 5-6 เท่าของแรงดันที่เกิดขึ้นปกติ คนที่อยู่ใกล้ชนิดผนังที่ระเบิดจากคลื่นจะทำให้ถึงแก่ความตายในขณะที่คนที่อยู่ในที่โล่งจะได้รับบาดเจ็บเพียงเล็กน้อย

นอกจากอันตรายจากคลื่นสะท้อนแล้ว อันตรายจากเศษวัสดุที่แตกออกเป็นอีกสาเหตุหลักของการบาดเจ็บจากการระเบิด ซึ่งในการระเบิดทุก ๆ ครั้ง อันตรายสำคัญอย่างที่สอง คือ การแตกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยของภาชนะบรรจุวัสดุจะกลายเป็นเหมือนจรวดนำวิถี เศษที่แตกกระจายด้วยความเร็วสูงจากแรงระเบิดจะกระจายครอบคลุมออกไปได้ในระยะทางที่ไกล ยิ่งกว่านั้นเศษที่แตกกระจายที่เล็กที่สุดสามารถจะผ่านทะลุและทำให้เกิดการบาดเจ็บได้ ผลกระทบจากเศษที่แตกกระจายที่ใหญ่ทำให้กระดูกและเนื้อแตกละเอียด ดังตัวอย่างในภาพที่ 6



*R. B. Jacobs, W.L. Bulkley, J. C. Rhodes, and T. L. Spear, "Destruction of a Large Refining Unit by Gaseous Detonation," *Chemical Engineering Progress*, Dec. 1957.

ภาพที่ 6 แสดงเศษกระจายจากการระเบิดของโรงงานผลิตสารเคมีในรัฐอินเดียนา

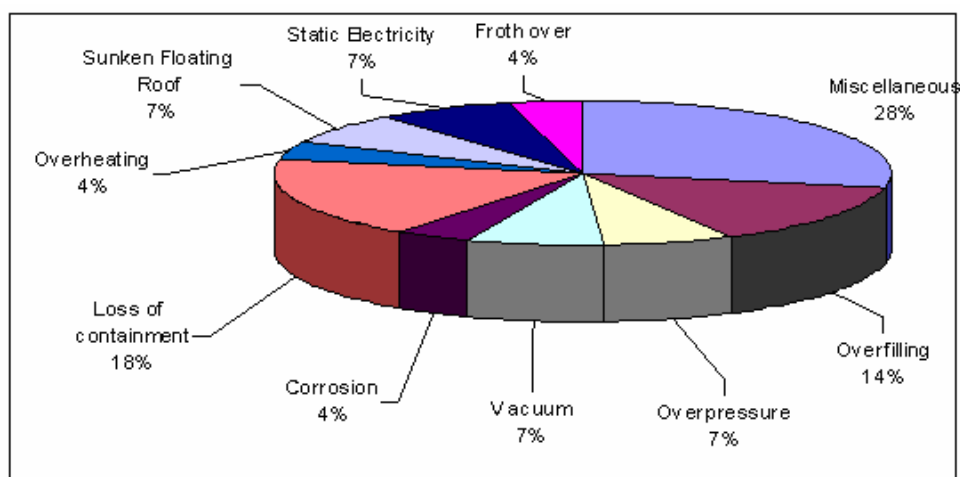
ที่มา: Hammer (2001)

ในภาพแสดงให้เห็นเศษที่แตกกระจายไปทั่วของการระเบิดเครื่องสกัดความดันสูงที่โรงงานผลิตสารเคมี ใน Whiting รัฐอินเดียนา ในวันที่ 27 สิงหาคม 1955 แรงระเบิดทำให้แผ่นสแตนเลสหนามากกว่า 2 นิ้ว ยาว 127 ฟุตและกว้าง 23.5 ฟุต ในขณะที่เกิดการระเบิดท่อที่บรรจุส่วนผสมของ Naphtha 3 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจน 16 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซเฉื่อยที่ความดัน 105 psig ผลการสอบสวนและการวิเคราะห์พบว่า การระเบิดเริ่มจาก pipe run และถ่ายทอดไปหลอดปฏิกิริยาในทิศทางเดียว และไปที่เครื่องสกัดความดันสูง แรงระเบิดส่งผลให้ชิ้นส่วนหนึ่งที่มีน้ำหนัก 60 ตันปลิวไปไกลถึง 1,200 ฟุต (ชิ้นที่ 7 อยู่ด้านบนของรูป) และปลิวกระจายไปทั่ว และถึงบรรจุแก๊สโซลีนแตกละเอียดเกิดไฟลุกไหม้ เศษชิ้นส่วนของหลอดปฏิกิริยาปลิวไปไกลถึง 1,500 ฟุต ถึงบรรจุน้ำมันปิโตรเลียมจำนวน 63 ถัง (1,270,000 บาร์เรล) ถูกทำลายหมดสิ้นเพราะเกิดไฟไหม้ตามมา

การแตกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยที่เกิดจากการระเบิดไม่เป็นที่รู้จักจนกระทั่งเกิดเหตุการณ์นี้ขึ้นมา นี่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความไม่แน่ใจในความแข็งแรงของภาชนะบรรจุในที่ ๆ อาจเกิดการระเบิด รวมทั้งคุณสมบัติและทิศทางของแรงระเบิดที่เกิดขึ้น ควรจะได้รับการดูแลอย่างเหมาะสมในสภาพการทำงานในระยะเวลาที่ยาวนาน ในกรณีนั้นอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของอากาศกับอะเซทิลีน, น้ำมันหรือสารอื่น ๆ ที่มีความไวไฟสูงในที่ ๆ มีความร้อนของเครื่องอัดอากาศ ผลของการระเบิดจะขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสารที่ปนเปื้อนในขณะนั้น การระเบิดของเครื่องอัดอากาศจะทำให้เกิดแรงดันต่ำกว่า 100 psi การเผาไหม้ของสารปนเปื้อนจะทำให้เกิดแก๊สที่มีส่วนทำให้เกิด Overpressurize ของกระบอกสูบในคอมเพรสเซอร์

สถิติการเกิดอุบัติเหตุกับปิโตรเลียมเหลว

Jesse (2004) ได้สรุปสาเหตุจากการเกิดอุบัติเหตุของถังบรรจุสารไวไฟจากอุบัติเหตุที่สำคัญตามรายงานจาก บริษัทน้ำมันนานาชาติ ตั้งแต่ปี 1997 – 2001 พบว่าสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการรั่วไหลและเกิดการติดไฟ และจากการเกิดอุบัติเหตุทั้ง 28 ครั้ง พบว่าในการเกิด 9 ครั้ง เกิดเพลิงไหม้ มีผู้เสียชีวิต 9 ราย และบาดเจ็บสาหัส 33 ราย ซึ่งสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 กราฟแสดงสาเหตุจากการเกิดอุบัติเหตุของถังบรรจุสารไวไฟ

ที่มา: Ducommun (2004)

กรณีศึกษาการเกิดอุบัติเหตุจากก๊าซปิโตรเลียมเหลว: ต่างประเทศ

กรณีศึกษา บริษัท PEMEX

บริษัท PEMEX ได้ทำการก่อสร้างถังเก็บก๊าซปิโตรเลียมเหลวไว้ที่ซานเมือง เม็กซิโก ในปี 2505 ได้เกิดอุบัติเหตุในปี 2507 ในช่วงเวลาที่เกิดเหตุมีประชาชนอาศัยอยู่บริเวณรอบ ๆ ราว 100,000 คน โดยอาคารที่อยู่อาศัยที่ใกล้ที่สุด อยู่ห่างจากถังเก็บก๊าซปิโตรเลียมเหลวไปทางใต้ ประมาณ 130 เมตร ประมาณ 05.30 นาฬิกาของวันที่ 19 พฤศจิกายน 2527 ท่อส่งก๊าซปิโตรเลียมเหลว (ร้อยละ 20 บิวเทน, ร้อยละ 80 โพรเพน) ขนาด 8 นิ้ว ได้แตกขึ้น ทำให้เกิดกลุ่มหมอกของก๊าซปิโตรเลียมเหลวสูง 2 เมตร แผ่กระจายเป็นบริเวณ 150 x 200 เมตร ไม่มีอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซ (gas detector) ไม่มีมาตรการป้องกันก่อนที่กลุ่มหมอกก๊าซปิโตรเลียมเหลวจะถูกจุดติดไฟขึ้น เวลา 05.45 นาฬิกา และเกิดระเบิดขึ้น และก่อให้เกิดการระเบิดแบบ Knock-on ไฟได้ลุกลามไปตามท่อส่งก๊าซปิโตรเลียมเหลวอย่างรวดเร็ว จนถึงถังทรงกลมขนาด 1,600 ลบ.ม. จำนวน 2 ถัง ก่อให้เกิดการระเบิดของถังอื่น ๆ ต่อมา

ก๊าซได้แพร่กระจายเข้าสู่เขตที่อยู่อาศัยและทำให้เกิดการระเบิดครั้งที่ 2 เป็นผลให้ โปรเปนพุ่งไปไกลถึง 1,200 เมตร ผู้เสียชีวิต 560 คน และบาดเจ็บ กว่า 7,000 ราย และมีลูกไฟที่เกิดขึ้นจากการระเบิดต่อเนื่องหลายชุด ทำให้มีผู้ได้รับบาดเจ็บร่างกายถูกเผาไหม้อย่างรุนแรงกว่า 2,000 ราย และต้องอพยพคนออกจากพื้นที่ข้างเคียงกว่า 60,000 คน เหตุการณ์เกิดขึ้นจากการระเบิดของถังกักเก็บก๊าซปิโตรเลียมเหลวรูปทรงกลมขนาด 1,500 ลบ.ม. จำนวน 4 ถัง และขนาดเล็กกว่าอีกหลายถัง ทำให้เกิดมวลไฟมหึมา และขึ้นส่วนขนาด 10-40 ตัน พุ่งกระจายออกไปไกลกว่า 900 เมตร

อาคารบ้านเรือนที่ตั้งอยู่ใกล้โรงงานอุตสาหกรรมก็เป็นสาเหตุทำให้มีผู้เสียชีวิตและบาดเจ็บจำนวนมาก ในกรณีของ San Juan นั้น บ้านที่อยู่ใกล้ถังก๊าซที่สุดอยู่ห่างเพียง 130 เมตร เท่านั้น ระยะห่างอย่างน้อย 400 เมตร จะช่วยปกป้องรังสีของลูกไฟได้บ้าง แม้ว่าอาจจะยังได้รับผลกระทบจากการพุ่งกระจายของวัตถุก็ตาม



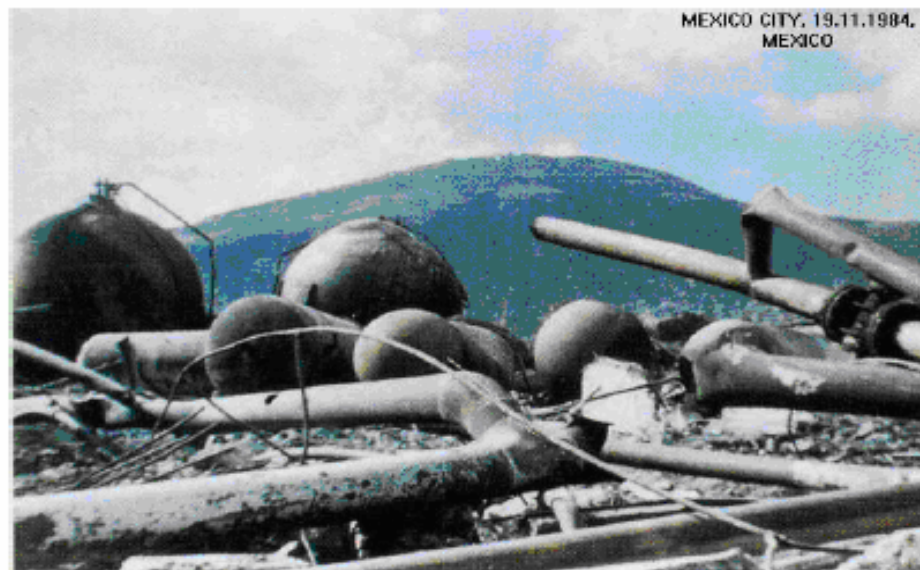
ภาพที่ 8 แสดงสถานที่ถัง LPG ที่เกิดเหตุ

ที่มา: Misumi (2006)



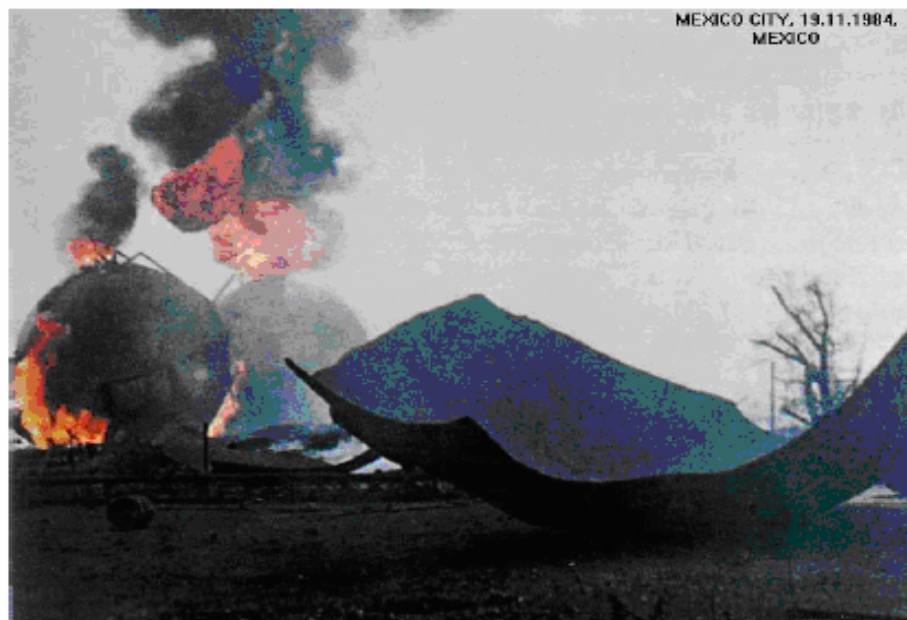
ภาพที่ 9 แสดงความเสียหายจากสถานที่เกิดเหตุ

ที่มา: Misumi (2006)



ภาพที่ 10 สภาพถังบรรจุก๊าซปิโตรเลียมเหลวหลังเกิดเหตุ

ที่มา: Misumi (2006)



ภาพที่ 11 แสดงถังก๊าซปิโตรเลียมเหลวขณะเกิดเหตุเพลิงไหม้

ที่มา: Misumi (2006)

การเกิดอุบัติเหตุจากก๊าซปิโตรเลียมเหลว ภายในประเทศไทย

ที่ผ่านมาประเทศไทยเคยเกิดการระเบิดจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวแบบบลิ้ว การระเบิดจากของเหลวขยายตัวเป็นก๊าซและก๊าซเหลวขยายตัวกลายเป็นไอ และลูกไฟระเบิดอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการระเบิดที่รุนแรง และก่อให้เกิดความเสียหายมากที่สุด ที่สถานีบรรจุก๊าซแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย เมื่อปี พ.ศ. 2537 และต่อมาที่สถานีบรรจุก๊าซในจังหวัดสงขลา เมื่อปี พ.ศ. 2544 ซึ่งเป็นการระเบิดจากถังเก็บ และจ่ายก๊าซขนาด 8,949 ลิตร ทำให้สถานีบรรจุก๊าซเสียหายทั้งหมด

สำหรับประเทศไทยหน่วยข้อเสนอเทศวัตถุอันตรายและความปลอดภัย ศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ทำการรวบรวมข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวของประเทศไทยไว้ ดังตารางที่ 6

จะเห็นว่าการเกิดอุบัติเหตุแต่ละครั้งจากสารไวไฟที่เก็บในภาชนะบรรจุแรงดันจะมีการสูญเสียตามมา และบ่อยครั้งที่การระเบิดก่อให้เกิดความสูญเสียด้านทรัพย์สินมหาศาล ดังนั้นการจัดเก็บภายใต้ภาชนะอัดแรงดัน ต้องให้ความสำคัญในการดูแล ควบคุมป้องกันด้านความปลอดภัยในลำดับต้น ๆ เพื่อป้องกันอันตรายและผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น

ตารางที่ 6 สรุปการเกิดอุบัติเหตุจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวในประเทศไทย

วันที่	เหตุการณ์	สถานที่	ความเสียหาย/การจัดการ
2533	รถบรรทุกถังแก๊ส LPG ของบริษัท สยามแก๊ส ขนาดใหญ่ พลิกคว่ำ เกิดแก๊สรั่วไหลออกจากถังเป็นจำนวนมาก แล้วเกิดเพลิงลุกไหม้	ถนนเพชรบุรีตัดใหม่ กทม.	มีผู้เสียชีวิต -ทรัพย์สินเสียหายมาก
2535	เกิดระเบิดเนื่องจากการเชื่อมโลหะในบริเวณ ที่มีแก๊ส LPG รั่ว	โรงไฟฟ้าบางปะกง อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา	มีคนงานเสียชีวิต
29 ม.ค. 44	ท่อส่งก๊าซ LPG ของ ปตท. รั่ว เนื่องจากรถแทรกเตอร์ที่กำลังทำงานขยายถนนสายชลบุรี-ระยอง กม .26 มีการกระแทกกับท่อส่งก๊าซ LPG ที่ฝังอยู่ใต้ดิน ทำให้เกิดการรั่วของก๊าซประมาณ 25,000 ลบ.ม.	อ.บางละมุง จ.ชลบุรี	กลุ่มควันหนาสร้างความตื่นตระหนกแก่ประชาชนผู้ใช้ถนนและผู้ที่อยู่ใกล้เคียงบริเวณที่เกิดเหตุ
12 พ.ย.44	รถบรรทุกก๊าซ LPG พลิกคว่ำและเกิดเพลิงลุกไหม้	ถ.แจ้งวัฒนะ เขตหลักสี่ กทม.	รถบรรทุกได้รับความเสียหายและการจราจรติดขัด
2544	รถบรรทุกก๊าซ LPG เสียหลักชนราวสะพานพลิกคว่ำเกิดก๊าซระเบิด และไฟไหม้	สะพานข้ามถนนวิภาวดีหลักสี่ กทม.	มีผู้เสียชีวิต 10 คนและมีผู้บาดเจ็บ 1 คน

ตารางที่ 6 (ต่อ)

วันที่	เหตุการณ์	สถานที่	ความเสียหาย/การจัดการ
17 ก.พ. 2547 02.50 น.	ก๊าซระเบิดที่ร้านจำหน่ายก๊าซหุงต้ม ริมถนนสุข สวัสดิ์ขาออก เป็นเหตุให้เกิดเพลิงไหม้และอาคาร พาณิชย์ถล่ม	ร้านพงษ์สวัสดิ์แก๊ส เลขที่ 338/7-8 หมู่ 18 ไกล่สาม แยกพระประแดง จ.สมุทรปราการ	มีผู้เสียชีวิต 2 ราย และบาดเจ็บ 17 ราย อาคาร พาณิชย์ 4 ชั้น 5 คูหา ถูกเพลิงไหม้ทั้งหมด อาคารและทรัพย์สินโดยรอบถูกแรงระเบิด เสียหาย รวมมูลค่าประมาณ 25 ล้านบาท / เจ้าหน้าที่จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ร่วมกันให้ความช่วยเหลือเบื้องต้นแก่ผู้ประสบภัย และรื้อซากอาคารถล่ม รวมทั้งแก้ไขระบบ บริการสาธารณะต่าง ๆ ให้ใช้งานได้ตามปกติ
7 ก.ย. 2547 11.30 น.	เกิดเหตุโรงงานผลิตวาล์วถังแก๊สของบริษัท เอสซีจี (ไทยแลนด์) จำกัด ระเบิดและเพลิงลุกไหม้ เหตุเกิด ขณะที่พนักงานตรวจสอบคุณภาพของหัววาล์วถัง แก๊สนำวาล์วที่ผลิตมาตรวจสอบด้วยการสวมหัว วาล์วเข้ากับถังแก๊สแล้วหมุนให้เกลียว เข้ากันสนิท จากนั้นเปิดแรงดันของถังแก๊สเพื่อทดสอบความ แข็งแรง	โรงงานผลิตวาล์วถังแก๊ส ของบริษัท เอสซีจี (ไทยแลนด์) จำกัด ต.คูคต อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี	พนักงานเสียชีวิต 1 ราย บาดเจ็บสาหัส 3 ราย และทำให้อาคารโรงงานพังเสียหายเหลือเพียง เสาเหล็กโครงหลังคา มีกล่องกระดาษจำนวน มากถูกเพลิงไหม้ และโทรศัพท์มือถือของผู้ เสียชีวิต ถูกเพลิงไหม้ 1 เครื่อง สันนิษฐานว่า ขณะพนักงานกำลังหมุนวาล์วถัง อาจจะเกิด แรงดันอย่างแรงจนหัววาล์วกระเด็นไปถูก เหล็ก ทำให้เกิดประกายไฟ แก๊สที่อยู่ภายในถัง จึงพุ่งออกมากระทบ

ตารางที่ 6 (ต่อ)

วันที่	เหตุการณ์	สถานที่	ความเสียหาย/การจัดการ
1 ก.ค .2548	ถังก๊าซระเบิดในห้องเก็บของของเรือประมง ที่ดัดแปลงเป็นเรือบรรทุกสินค้า ทำให้เกิดเพลิง ลุกไหม้	ท่าเทียบเรือ"บ้านทองรุ่งเช้า " หมู่ 3 ต. ปากน้ำชุมพร อ .เมืองชุมพร จ .ชุมพร	ไฟไหม้เรือเสียหาย 4 ลำ ลูกเรือ บาดเจ็บ 2 คน
3 ก.ย .2548 01:00 น.	รถ 10 ล้อบรรทุกก๊าซหุงต้มของบริษัทปิคนิคแก๊ส แอนด์ เอ็นจิเนียริง จำกัด พุ่งชนรถบรรทุก 6 ล้อที่ จอดอยู่ริมทาง เป็นเหตุให้ก๊าซรั่วออกมาส่งกลิ่น เหม็นไปทั่ว	ถนนบางนา-ตราด กม .6 ต .บางแก้ว อ .บางพลี จ. สมุทรปราการ	มีผู้บาดเจ็บ 1 ราย
26 ก.ย .2548	ถังก๊าซหุงต้มรั่วและระเบิด	ร้านข้าวต้มปรีชา ริมถนน ประชาสโมสร เทศบาลนคร ขอนแก่น จ.ขอนแก่น	ทรัพย์สินเสียหายประมาณ 2 แสนบาท ผู้ได้รับบาดเจ็บ 1 คน
1 ต.ค .2548 18:30 น.	ระเบิดและเพลิงไหม้และมีก๊าซรั่วกระจายเกิดกลิ่น เหม็นทั่วบริเวณ	โรงบรรจุแก๊สของบริษัท บ้า นาปิยะแก๊ส จำกัด ตั้งอยู่ริม ถนนเพชรเกษม หมู่ 7 ต.นาใต้ อ .บ้านนาเดิม จ .สุราษฎร์ธานี	ผู้เสียชีวิต 1 คน บาดเจ็บ 16 คน

ตารางที่ 6 (ต่อ)

วันที่	เหตุการณ์	สถานที่	ความเสียหาย/การจัดการ
2 ต.ค .2548 10:00 น.	รถบรรทุกถังบรรจุก๊าซหุงต้มพลิกคว่ำ เกิดเพลิงไหม้ท่วมคัน	ถนนบริเวณหมู่ 4 ต .ทับยาย เขียง อ .พรหมพิราม จ .พิษณุโลก	
26 ต.ค .2548 02:15 น.	รถบรรทุกก๊าซหุงต้มของ หจก .กิจสมรสยามแก๊สชนกับรถสิบล้อและพลิกคว่ำ	สี่แยกถนนพระราม 3 ตัดถนน รัชดาภิเษก ใต้ทางด่วน พระราม 9 แขวงบางโพงพาง เขตยานนาวา กทม.	
24 พ.ย .2548 15:10 น.	รถกระบะบรรทุกก๊าซหุงต้มเต็มคันเกิดยางระเบิดพุ่งชนเกาะกลางและพลิกคว่ำ ถังก๊าซระเบิดและเกิดเพลิงไหม้	ถนนพหลโยธินระหว่างหลัก ก.ม .ที่ 143 - 144 หมู่ 3 ต .นายาว อ .พระพุทธบาท จ .สระบุรี	บาดเจ็บสาหัส 1 คน
23 ม.ค .2549 18:10 น.	รถบรรทุกถังก๊าซหุงต้มเบรคแตกและลื่นไถลตกเขาทำให้ก๊าซรั่วไหลออกจากถังส่งกลิ่นเหม็นไปทั่ว	เขาป่าตอง ถนนทวิวงศ์ อ .กระทุ่ม จ .สงขลา	เสียชีวิต 1 คน บาดเจ็บ 2 คน

ตารางที่ 6 (ต่อ)

วันที่	เหตุการณ์	สถานที่	ความเสียหาย/การจัดการ
28 ก.พ .2549 15:30 น.	เกิดเหตุระเบิดและเพลิงไหม้ในโรงงานบรรจุ ก๊าซหุงต้ม	หจก .ศรีนครินทร์ 89 เลขที่ 89 หลังปั้มน้ำมันเอสโซ่ ถนนศรี นครินทร์ หมู่ 5 ต .บางเมือง อ .เมือง จ .สมุทรปราการ	บาดเจ็บสาหัส 2 คน บาดเจ็บเล็กน้อย 2 คน ประเมินความเสียหายประมาณ 50 ล้านบาท
1 พ.ค .2549	ก๊าซหุงต้มรั่วออกจากบริเวณซื้อต่อถังเก็บขนาด 5,000 ลิตร จำนวน 3 ถัง	บริษัท แบตเตอรี่ยั่วซ่า เลขที่ 164 หมู่ 5 ต. ท้ายบ้านใหม่ อ .เมือง จ .สมุทรปราการ	
22 พ.ค .2549 14:30 น.	รถกระบะบรรทุกก๊าซหุงต้มขนาดถัง 15 กิโลกรัม พลิกคว่ำและเกิดไฟลุกไหม้และถังก๊าซ ระเบิด	ถนนบางนา-ตราด กม .13 ต .บางพลี อ .บางพลี จ. สมุทรปราการ	

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2549)

3. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลอง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ประมวลการแพร่กระจาย สามารถแบ่งเป็นตามลักษณะที่เกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ

3.1 แหล่งกำเนิดที่จำเป็นต้องปล่อยออกมาจากการผลิต ซึ่งได้แก่ ปล่อยระบายอากาศเพื่อหาข้อมูลว่าก๊าซที่ปล่อยออกมาด้วยความเข้มข้นของมลพิษจำนวนหนึ่ง กระจายตัวเป็นบริเวณกว้างเท่าใด และกระทบต่อสภาพแวดล้อมชุมชนอย่างไร หากอยู่ในระดับความเข้มข้นที่สูงแต่มีมาตรการลดอย่างไร สมควรอนุญาตให้ประกอบกิจการหรือไม่

3.2 อุบัติเหตุ จะเป็นแหล่งกำเนิดที่ปล่อยก๊าซออกมาในกรณีไม่ปกติ ข้อมูลต่าง ๆ จะประมวลว่าหากเกิดเหตุการณ์ขึ้น ความเสียหายจะเป็นบริเวณกว้างเท่าไร ควรมีมาตรการควบคุมอย่างไร หรือเมื่อเกิดเหตุแล้วควรปฏิบัติตัวอย่างไร

หน่วยงานที่ เป็นผู้ดูแลเรื่องของอุบัติเหตุ ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีหลายหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยพิจารณาจากสถานที่เกิดเหตุและชนิดของอุบัติเหตุ ซึ่งหน่วยงานต่าง ๆ เหล่านั้นได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการเหตุฉุกเฉินต่าง ๆ ขึ้น โดยแบ่งตามลักษณะของผลกระทบจากการเกิดเหตุ เช่น ดิน น้ำ อากาศ สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเอาแบบจำลองทางด้านอากาศมาทำการศึกษา ซึ่งแบบจำลองด้านอากาศนี้ ศึกษาและพัฒนาโดยหน่วยงานโดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีการจัดทำแบบจำลองด้านอากาศ ไว้ดังนี้

- 1) ALOHA
- 2) Ausplume
- 3) CALRoads View
- 4) PLUMES
- 5) ISC-AERMOD
- 6) ISC-AERMOD View
- 7) Screen View
- 8) AirQUIS
- 9) AFTOX

เมื่อศึกษาถึงรูปแบบการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จัดการเหตุฉุกเฉินที่กล่าวมาในต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศสหรัฐอเมริกา หน่วยงานที่มีหน้าที่ดูแลเรื่องเหล่านี้คือ U.S. Environmental Protection Agency's Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office (EPA CEPPO) และหน่วยงาน National Oceanic and Atmospheric Administration 's Office of Response and Restoration (NOAA OR&R) ทั้งสองหน่วยงานได้ร่วมกันพัฒนาโปรแกรม ALOHA เพื่อเป็นแนวทางการจัดการเหตุฉุกเฉินอย่างถูกวิธี และเป็นการสอดคล้องกับกฎหมาย Clean Air Act (CAA) รวมทั้ง กฎหมาย Emergency Planning and Community Right-to-Know Act of 1986 โดยฐานข้อมูลเรื่องของสารเคมีที่เป็นอันตรายในโปรแกรม CAMEO ส่วนใหญ่จะสอดคล้องกับฐานข้อมูลของ กฎหมาย Section 112 (r) of Clean Air Act ฉบับแก้ไขเมื่อปี 1990

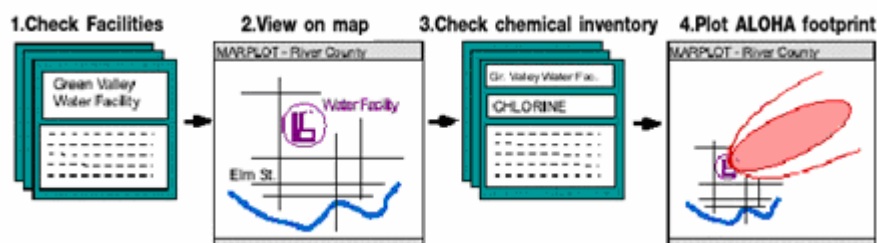
สำหรับประเทศไทยมีการนำแบบจำลองมาใช้โดยมีการจัดตั้งศูนย์แบบจำลองและประเมินความเสี่ยงด้าน สิ่งแวดล้อม (Center for Environmental Modeling and Risk Assessment: CEMRA) โดยจัดตั้งขึ้นตามคำสั่งกรมควบคุมมลพิษ ในระยะแรกให้ดำเนินการแบบศูนย์และประสานงาน รวบรวมและเผยแพร่ความรู้ด้านแบบจำลองและการประเมินความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม เช่น Environmental Modeling และ Risk Assessment รวมถึง Biological Modeling และ Economic Modeling บริหารงานแบบกึ่งองค์กรหรือศูนย์การดำเนินงาน เพื่อสนับสนุนให้มีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หรือแบบจำลองที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการจัดการ การวางแผนด้าน สิ่งแวดล้อมและการควบคุมมลพิษ สนับสนุนการวิจัยและพัฒนา การประสานกับหน่วยงานทั้งในและต่างประเทศ ในการขอเงินทุนสนับสนุนการวิจัยกิจกรรมและการดำเนินงานของ CEMRA

นอกจากศูนย์แบบจำลองและประเมินความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมแล้ว ทางศูนย์เทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้มีการศึกษาและนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการเตรียมความพร้อมรับภาวะฉุกเฉิน และจัดทำแผนตอบโต้ภาวะฉุกเฉิน การประเมินอันตราย (Hazard Analysis) จากสารเคมีเป็นขั้นตอนที่สำคัญของการจัดทำแผนปฏิบัติการฉุกเฉินจากสารเคมี โดยจะบ่งบอกถึงอันตรายที่อาจจะพบเพื่อการเตรียมพร้อมรับมือกับอันตรายนั้น กระบวนการประเมินอันตรายประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่

- 1) การบ่งชี้อันตราย (Hazard Identification) จากชนิดและปริมาณสารเคมีในพื้นที่
- 2) การประเมินผลกระทบ (Vulnerability Analysis) โดยการประเมินรัศมีผลกระทบ การรั่วไหลของสารเคมีจากปริมาณการรั่วไหล สภาพภูมิอากาศ และสภาพภูมิประเทศ และการระบุประชากรกลุ่มเสี่ยงและสิ่งแวดล้อมที่อาจได้รับผลกระทบ
- 3) การประเมินความเสี่ยง (Risk Analysis) โดยพิจารณาจากโอกาสที่จะเกิดการรั่วไหล และความรุนแรงของผลกระทบ ปัจจุบันได้มีการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป CAMEO (Computerized-Aid Management in Emergency Operation) มาใช้ในการตอบโต้เหตุฉุกเฉินจากสารเคมีอย่างแพร่หลาย

CAMEO เป็นโปรแกรมที่จัดทำขึ้นโดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US EPA) ร่วมกับหน่วยงาน National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยในการจัดทำแผนเตรียมความพร้อมในการตอบโต้เหตุฉุกเฉินสารเคมี (Planning) การใช้ข้อมูลประกอบการตอบโต้เหตุฉุกเฉินจากสารเคมีในพื้นที่เกิดเหตุอย่างรวดเร็ว (Response) และการสนับสนุนข้อมูลเพื่อการดำเนินงานตามกฎหมายระเบียบต่าง ๆ (Compliance) CAMEO ประกอบด้วยโปรแกรมย่อย 3 โปรแกรมที่สามารถดึงข้อมูลมาใช้งานร่วมกัน ได้แก่ CAMEO ALOHA และ MARPLOT และสามารถนำมาใช้ได้ 2 ลักษณะ คือ

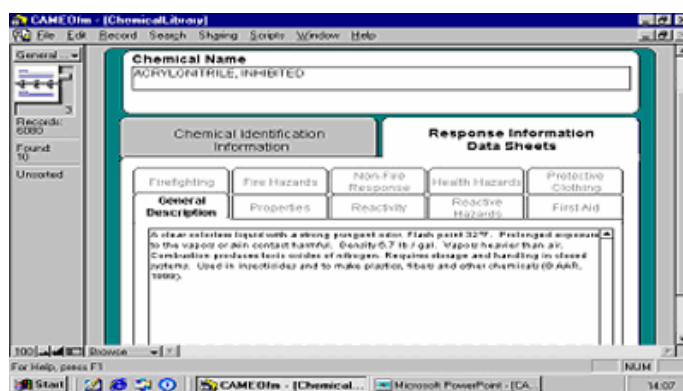
- 1) จัดเก็บข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการตอบโต้เหตุฉุกเฉินจากสารเคมีในรูปแบบที่สามารถดึงมาใช้งานได้ง่าย (ภาพที่ 12)
- 2) นำมาช่วยในการวางแผนตอบโต้เหตุฉุกเฉินจากสารเคมีเฉพาะพื้นที่



ภาพที่ 12 แสดงลักษณะการใช้โปรแกรม CAMEO

ที่มา: เฮเลน (2543)

โปรแกรมคามีโอ (CAMEO: Computerized-Aid Management in Emergency Operation) มีลักษณะเป็นฐานข้อมูล มีข้อมูลสารเคมีกว่า 6,000 ชนิด ประกอบด้วยข้อมูลด้านการบ่งชี้สารเคมี อันตรายต่อสุขภาพ อันตรายเมื่อเกิดเพลิงไหม้ อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล และวิธีระงับภัยเบื้องต้น ฯลฯ ซึ่งผู้ใช้สามารถค้นหาข้อมูลเมื่อเกิดเหตุได้ (ภาพที่ 13) อีกทั้งคณะกรรมการจัดทำแผนปฏิบัติการฉุกเฉินจากสารเคมียังสามารถกรอกข้อมูลเพิ่มเติมในส่วน of โรงงานอุตสาหกรรม/สถานประกอบการสารเคมีที่เก็บและใช้ รวมทั้งรายชื่อผู้ที่สามารถติดต่อได้ในกรณีฉุกเฉินเฉพาะพื้นที่ได้ด้วย ดังแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 13 แสดงข้อมูลทั่วไปของสารเคมีและข้อมูลประกอบการตัดสินใจตอบโต้เหตุฉุกเฉินจากสารเคมี

ที่มา: เฮเลน (2543)

ภาพที่ 14 แสดงฐานข้อมูลที่ผู้จัดทำจัดเก็บซึ่งเป็นข้อมูลเฉพาะ

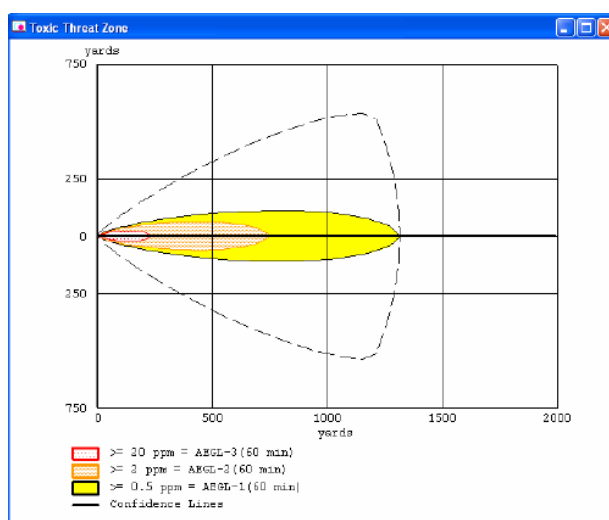
ที่มา: เฮเลน (2543)

โปรแกรมอโลฮา ALOHA: (Ariel Location of Hazardous Atmosphere) เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ทำนายการกระจายของสารเคมีในอากาศรวมทั้งระดับที่จะเกิดอันตราย ดังนั้นสารเคมีที่โปรแกรมอโลฮา รู้จักจึงมักเป็นก๊าซหรือของเหลวที่สามารถระเหยเป็นก๊าซได้โปรแกรมอโลฮา มีลักษณะบางอย่างคล้ายกับโมดูล ซึ่งโปรแกรมคามโอใช้ทำนายการเกิดอุบัติเหตุ (Module Screenings and Scenarios: S&S) แต่โปรแกรมอโลฮามีข้อดีคือ โปรแกรมอโลฮา มีข้อมูลทางด้านภูมิประเทศของสถานที่เกิดเหตุดีกว่า ทั้งนี้เพราะโปรแกรมอโลฮามีฐานข้อมูลเส้นทางและเส้นทางของเมืองในสหรัฐอยู่ในตัวโปรแกรมเองแต่ถ้าเป็นสถานที่ในประเทศไทยผู้ใช้งานจะต้องใส่เพิ่มเข้าไปขณะกรอกข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ข้อมูลเส้นทางและเส้นทาง ทำให้โปรแกรมอโลฮาคำนวณความหนาแน่นของอากาศ ความสูงของพื้นที่ และการทำมุมของแสงอาทิตย์ต่อพื้นที่ได้ สิ่งเหล่านี้มีผลโดยตรงต่อการกระจายของสารเคมีในอากาศโดยเฉพาะกรณีที่สารเคมีรั่วไหลลงบนพื้นดินแบบเจ็นอง (Puddle)

โปรแกรมอโลฮาเป็นโปรแกรมคำนวณการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยใช้สมการการคิดแบบ Gaussian Dispersion Model แต่อยู่ในรูปของ Window พัฒนาขึ้นโดย National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ซึ่งได้พัฒนาจากหลายมิติซึ่งประกอบด้วย มิติด้านพิษวิทยา, มิติด้านวิชาการแพร่ของสารเคมี, มิติด้านวิศวกรรมศาสตร์ และมิติด้านกฎหมาย เพื่อประกอบรวมเป็นเกณฑ์การระบุขอบเขตที่ได้รับผลกระทบ

นอกจากนี้โปรแกรมอลoha ยังมีความรู้ทางอุณหภูมิตามความเป็นอย่างดี เช่น สามารถคำนวณความแตกต่างระหว่างวันที่มีฝนตกกับแดดจ้า เข้าใจความแตกต่างระหว่างสถานที่โล่งแจ้งกับสถานที่ที่ทรงร่มในขณะที่มีอุณหภูมิการถ่ายเทการเกิดอุบัติเหตุของโปรแกรมคามโอไม่ค่อยเข้าใจนัก ทั้งนี้เพราะโมดูลการถ่ายเทการเกิดอุบัติเหตุในส่วนของการ Screening จะสมมติให้เหตุการณ์เลวร้ายที่สุดอยู่เสมอ ส่วนโปรแกรมอลoha เน้นที่ความถูกต้อง ดังนั้นโมดูลการถ่ายเทการเกิดอุบัติเหตุควรใช้ในกรณีที่ต้องวางแผนรับมืออุบัติเหตุ แต่โปรแกรมอลoha ควรใช้เวลาเกิดเหตุจริง

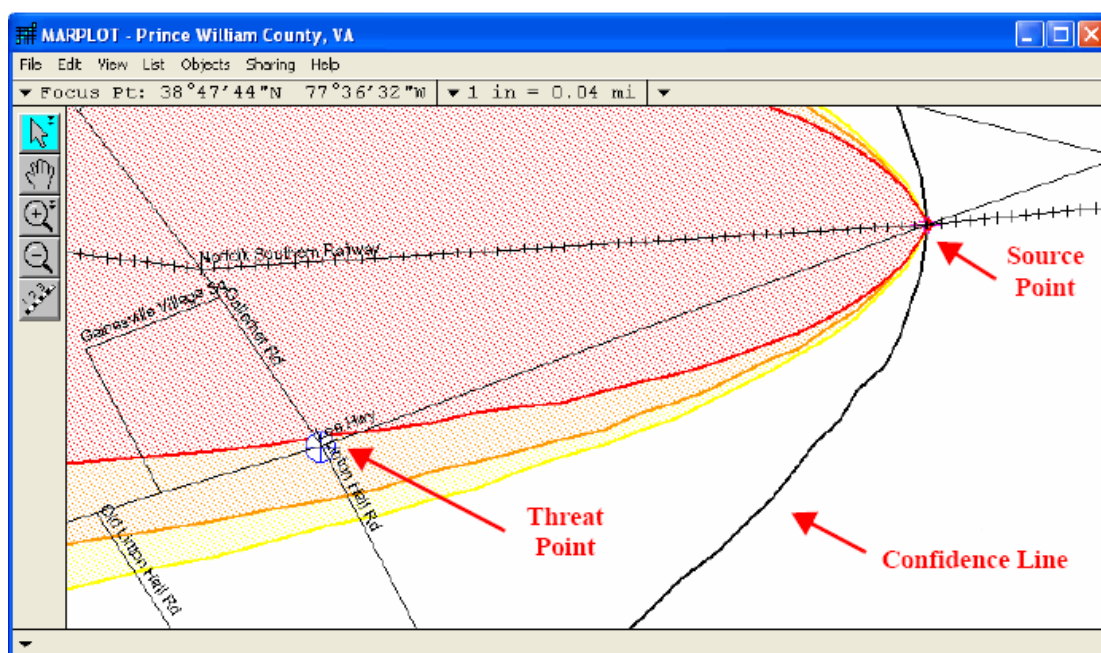
การแพร่กระจายของสารเคมีที่รั่วไหลไปในอากาศตามสภาพภูมิอากาศและลักษณะเฉพาะของสารเคมี สามารถแสดงลักษณะการแพร่กระจาย ทิศทางการแพร่กระจาย และความเข้มข้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของไอสารเคมีบนแผนที่อิเล็กทรอนิกส์ในโปรแกรมมาพ็อต (Marplot) ได้ เมื่อใส่ข้อมูลเฉพาะของเหตุรั่วไหลสารเคมีแล้ว โปรแกรมอลoha จะแสดงผลเรียกว่า "footprint" ดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 แสดง Footprint ของไอสารเคมี

ที่มา: Aloha Manual (2007)

โปรแกรมมาพ็อต (MARPLOT: Mapping Application for Response, Planning, and Operation) เป็นโปรแกรมที่แสดงข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์บนแผนที่อิเล็กทรอนิกส์ แสดงที่ตั้งโรงงาน/สถานประกอบการ โรงพยาบาล โรงเรียน แม่น้ำ และถนน เป็นต้น (ภาพที่ 16) สามารถแสดงพื้นที่เสี่ยงจากการเกิดอุบัติเหตุจากสารเคมี โดยแสดงเป็นบริเวณรอบโรงงานที่เกิดเหตุและมีรัศมีตามที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมคาเมโอหรือแสดงลักษณะและทิศทางการแพร่กระจายจากการคำนวณของโปรแกรมอโลฮา ทำให้เวลาเกิดอุบัติเหตุสามารถค้นข้อมูลได้ง่าย รวมทั้งภาพ footprint ของสารเคมีนั้นกระจายไปถึง ทำให้ผู้ศึกษาสามารถอธิบายผลกระทบของอุบัติเหตุที่มีต่อชุมชนได้อย่างสะดวก ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการนำโปรแกรมกูเกิ้ล เอิร์ท (Google Earth) มาใช้งานร่วมกับโปรแกรมมาพ็อต เพื่อให้สามารถพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นได้ทันที



ภาพที่ 16 แผนที่จากโปรแกรม Marplot แสดงที่ตั้งสถานที่ต่างๆ

ที่มา: Aloha Manual (2007)

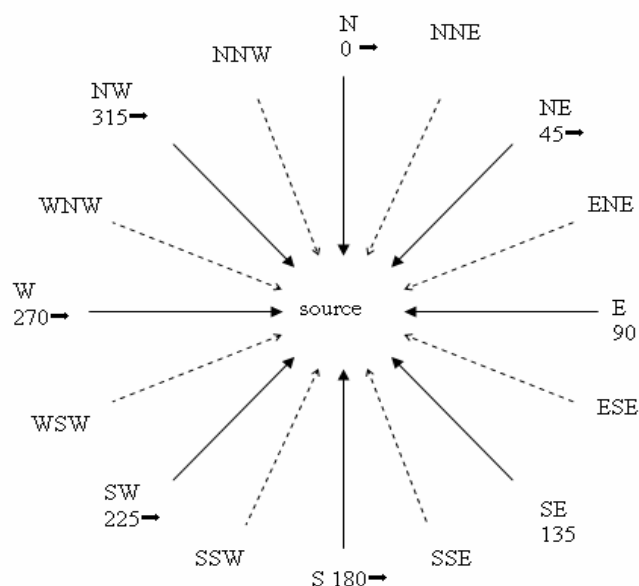
4. วรรณกรรมด้านอุตุนิยมวิทยา

อุตุนิยมวิทยา คือ ศาสตร์แห่งการตรวจวัดและวิเคราะห์สภาพของบรรยากาศในสถานที่และเวลาหนึ่ง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เมื่อนำมาศึกษาในระยะเวลาหนึ่ง เรียกว่า ภูมิอากาศ (Weather) ในการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาการแพร่กระจายของสารมลพิษในอากาศ ผู้ใช้จะต้องเข้าใจคำนิยามด้านอุตุนิยมวิทยาซึ่งต้องใช้ในแบบจำลองดังต่อไปนี้

4.1 อุณหภูมิ ใช้หน่วยองศา เซลเซียส หรือ ฟาเรนไฮต์ วัดโดย เทอร์โมมิเตอร์

4.2 ลม การวัดลมมี 2 วิธี คือ ตรวจวัดทิศทางลมโดย Wind Vane และตรวจวัดความเร็วลมโดยใช้ Anemometer โดยสามารถใช้หน่วย Knots MPH หรือ mps

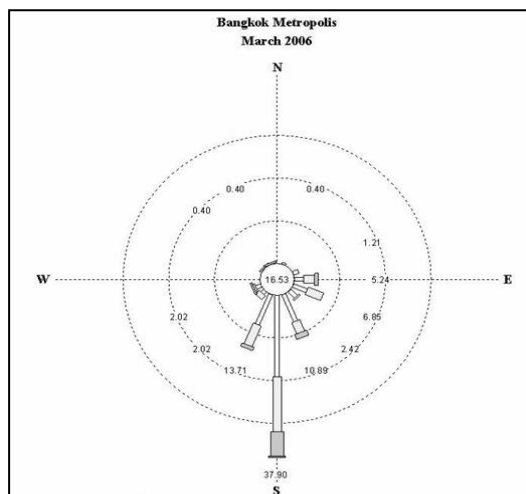
ทิศลมเรียกตามทิศทางต่าง ๆ ของเข็มทิศ หรือเรียกเป็นองศาทิศจริง ปัจจุบันนิยมวัดทิศลมเป็นองศา เช่น ทิศลมมีค่า 0 องศา จะหมายถึง ลมพัดมาจากทิศเหนือ 180 องศา จะหมายถึง ลมพัดมาจากทิศใต้



ภาพที่ 17 คำย่อทิศทาง สำหรับงานอุตุนิยมวิทยา

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2007)

ในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลลมจากสถานีศูนย์สิริกิติ์ เป็นที่เก็บข้อมูลทิศทางลมในกรณี
ที่ผู้ศึกษาไม่มีที่วัดความเร็วลมสามารถใช้วิธีประเมินความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อม ดังตารางที่ 7



ภาพที่ 18 ภาพแสดงทิศทางลมและปริมาณในทิศทางต่าง ๆ เข้าสู่สถานีวัดลม (Wind rose)

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2007)

แผนที่ลมจะแสดงถึงทิศทางและปริมาณลมรวมทั้งความเร็ว ที่เข้าในทิศต่าง ๆ เช่น
ในภาพที่ 18 จะแสดงค่าปริมาณลมที่เข้าทางทิศใต้ ด้วยความเร็วลม 37.9 knots

ตารางที่ 7 ตารางเทียบความเร็วลมและชนิดของลมของมาตรโบฟอร์ด์

มาตราโบฟอร์ด์	ความเร็วลม		ชนิดลม
	นอต	กม./ชม.	
0	1	1.6	ลมสงบ
1	1-3	1.6-4.8	ลมเบา
2	4-6	6.4-8.6	ลมอ่อน
3	7-10	12.8-19.2	ลมเฉื่อย
4	11-21	20.8-28.8	ลมปานกลาง
5	17-21	30.4-38.4	ลมกระโชก

ตารางที่ 7 (ต่อ)

มาตราโบฟอร์ด	ความเร็วลม		ชนิดลม
	นอต	กม./ชม.	
6	22-27	40.0-38.4	ลมแรง
7	28-33	51.2-60.8	พายุปานกลาง
8	34-40	62.4-73.6	พายุกระโชก
9	41-47	75.2-86.4	พายุแรง
10	48-55	88.0-100.8	พายุจัด
11	56-63	102.4-115.2	พายุจัด
12	64-71	116.8-131.2	เฮอริเคน
13	72-80	132.8-147.3	เฮอริเคน
14	81-89	148.8-164.8	เฮอริเคน
15	90-99	166.4-182.4	เฮอริเคน
16	100-108	184-200	เฮอริเคน
17	109-118	201.6-217.6	เฮอริเคน

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2007)

4.3 ความเสถียรของบรรยากาศ (Atmospheric Stability) คือ สภาพของบรรยากาศที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์ของการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ นิยมใช้ของ Pasquill-Gifford โดยกำหนดเป็นระดับ A, B, C, D, E และ F ซึ่งระดับ A หมายถึง บรรยากาศที่ไม่เสถียรอย่างมาก ความเสถียรของบรรยากาศหาได้จากความเร็วลม การแผ่รังสีของแสงแดดในเวลากลางวัน และ ปริมาณเมฆปกคลุมท้องฟ้าในเวลากลางวัน

ตารางที่ 8 ความเสถียรของบรรยากาศ

Wind Speed (m/s)	Day Radiation Intensity			Night Cloud Cover	
	Strong	Medium	Slight	Cloudy	Clam and Clear
< 2	A	A-B	B		
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

ที่มา: Aloha Manual (2007)

4.4 เมฆ จากการสังเกตท้องฟ้าว่าถูกเมฆปกคลุมกี่ส่วน โดยปกติจะให้ท้องฟ้าทั้งหมดเต็ม 10 ส่วน

- ท้องฟ้าแจ่มใส(Fine) ท้องฟ้าไม่มีเมฆหรือมีแต่น้อยกว่า 1 ส่วนของท้องฟ้า
- ท้องฟ้าโปร่ง(Fair) ท้องฟ้ามีเมฆตั้งแต่ 1 ส่วน ถึง 3 ส่วนของท้องฟ้า
- ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน(Partly Cloudy Sky) ท้องฟ้ามีเมฆเกินกว่า 3 ส่วน ถึง 5 ส่วนท้องฟ้า
- ท้องฟ้ามีเมฆเป็นส่วนมาก(Cloudy Sky) ท้องฟ้ามีเมฆเกินกว่า 5 ส่วน ถึง 8 ส่วนของท้องฟ้า
- ท้องฟ้ามีเมฆมาก(Very Cloudy Sky) ท้องฟ้ามีเมฆเกินกว่า 8 ส่วน ถึง 9 ส่วนของท้องฟ้า
- ท้องฟ้ามีเมฆเต็มท้องฟ้า (Overcast Sky) ท้องฟ้ามีเมฆเกินกว่า 9 ส่วน ถึง 10 ส่วนของท้องฟ้า

จะเห็นได้ว่าการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาจำลองเหตุการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นนั้น จะมีความน่าเชื่อถือมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ การนำปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมา คำนวณผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น จากเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ได้กำหนดลงในแบบจำลองเหล่านั้น

5. กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

สำหรับประเทศไทย ภาชนะบรรจุก๊าซ ตามกฎหมาย กฎกระทรวงฉบับ 2 พ.ศ. 2529 ออกตามความในพระราชบัญญัติของคณะปฏิวัติ ฉบับที่ 28 ลงวันที่ 29 ธันวาคม พ.ศ. 2514 กระทรวงมหาดไทย แบ่งประเภทของ ภาชนะบรรจุก๊าซไว้ 6 ชนิด ดังนี้

- 5.1 กระป๋องก๊าซ
- 5.2 ถังก๊าซหุงต้ม
- 5.3 ถังก๊าซรถยนต์
- 5.4 ถังก๊าซเรือยนต์
- 5.5 ถังเก็บและจ่ายก๊าซ
- 5.6 ถังขนส่งก๊าซ

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะถังเก็บและถังจ่ายก๊าซเท่านั้น ถังเก็บและถังจ่ายก๊าซตามกฎหมาย ฉบับนี้ต้องเป็นภาชนะที่มีขนาดและลักษณะดังนี้

- 1) ใช้บรรจุก๊าซได้เกิน 500 ลิตร
- 2) ตัวถังเก็บและถังจ่ายก๊าซชนิดที่มีรอยตะเข็บต้องเชื่อมตะเข็บด้วยไฟฟ้า
- 3) เป็นถังที่ทำด้วยเหล็กที่มีความเค้นประลัย (Ultimate Stress) ไม่น้อยกว่าสี่เท่าของความเค้นที่เกิดขึ้น (Allowable Stress) เนื่องจากความดันใช้งานสูงสุดของก๊าซภายในถัง หรือใช้เหล็กที่มีความเค้นในการออกแบบตามมาตรฐานที่กรมโยธาเห็นชอบ

4) เป็นถึงที่คำนวณออกแบบให้รับความดันของก๊าซได้ไม่น้อยกว่า 1.724 เมกาปาสคา

5) ถังเก็บและจ่ายก๊าซที่ได้เจาะแล้ว ต้องเสริมความมั่นคงแข็งแรงตามที่เจาะให้เพียงพอและเกลียวของรอยเจาะต้องเป็นแบบเกลียวเรียบมีขนาดตามเกณฑ์คุณภาพมาตรฐานของสถาบันที่เชื่อถือได้หรือเป็นเกลียวตรงซึ่งเกินเกลียวกันอย่างสนิทไม่น้อยกว่าสี่เกลียว และต้องทนแรงเฉือนได้ไม่น้อยกว่าสิบเท่าของความดันที่ใช้ทดสอบถังเก็บและจ่ายก๊าซ และต้องมีวัตถุกันก๊าซรั่วที่แน่นอน

6) ส่วนประกอบนำมายึดติดหรือต่อกับถังเก็บและจ่ายก๊าซ ต้องไม่ทำให้ถังเก็บและจ่ายก๊าซรั่วได้

7) การต่อท่อหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับถังเก็บและจ่ายก๊าซต้องมีลิ้นปิดเปิดซึ่งอยู่ใกล้กับถังเก็บและจ่ายก๊าซมาก

8) ผิวภายนอกของถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบเหนือพื้นดินต้องทาสีรองพื้นกันสนิมไม่น้อยกว่าสองครั้ง แล้วทาด้วยสีลดความร้อนจากภายนอกไม่น้อยกว่าสองครั้ง

9) ผิวภายนอกของถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบกลบหรือถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบฝังไว้ในดินต้องทาด้วยวัสดุป้องกันการผุกร่อน เช่น ฟลีนโค้ทหรือยางแอสฟัลท์หรือวัสดุอื่นที่ใช้แทนกันได้ไม่น้อยกว่าสองครั้ง

10) ตัวถังเก็บและจ่ายก๊าซไม่ว่าจะเป็นถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบเหนือพื้นดินหรือถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบกลบ หรือถังเก็บและจ่ายก๊าซแบบฝังไว้ในดินต้องยึดแน่นกับฐานของถังก๊าซและจ่ายก๊าซ และฐานของถังเก็บและจ่ายก๊าซต้องยึดแน่นกับเสารับถังเก็บและจ่ายก๊าซและฐานรากของถังเก็บและจ่ายก๊าซในลักษณะที่ไม่อาจเคลื่อนหรือลอยตัวได้ และเสารับถังเก็บและจ่ายก๊าซและฐานรากของถังเก็บและจ่ายก๊าซต้องมีความมั่นคงแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักของถังเก็บและจ่ายก๊าซและน้ำหนักของก๊าซในอัตราสูงสุดที่บรรจุอยู่ในถังเก็บและจ่ายก๊าซนั้น รวมทั้งน้ำหนักอื่น ๆ ที่อาจกระทำต่อเสาหรือฐานรากนั้นได้โดยปลอดภัย

11) ฐานถึงเก็บและจ่ายก๊าซและเสารับถึงเก็บและจ่ายก๊าซ ต้องทำด้วยวัสดุทนไฟที่สามารถทนความร้อนที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ได้ไม่น้อยกว่าสองชั่วโมง

นอกจากกฎหมาย กฎกระทรวงฉบับ 2 พ.ศ. 2529 ออกตามความในพระราชบัญญัติของคณะปฏิวัติ ฉบับที่ 28 ลงวันที่ 29 ธันวาคม พ.ศ. 2514 แล้วยังกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับก๊าซปิโตรเลียม ดังนี้

1) ประกาศของคณะปฏิวัติ ฉบับที่ 28 ว่าด้วยการบรรจุก๊าซปิโตรเลียมเหลวของกรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย

2) พระราชบัญญัติน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ.2521 กระทรวงพาณิชย์

3) พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 กระทรวงอุตสาหกรรม

4) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2542) เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการดำเนินงาน

5) มาตรฐานอุตสาหกรรม เรื่อง

5.1) ถังก๊าซปิโตรเลียม มอก. 27-2540

5.2) กลอุปกรณ์รับภัยแบบระบายของถังก๊าซปิโตรเลียมเหลว มอก.151-2528

5.3) การใช้และซ่อมบำรุงถังก๊าซปิโตรเลียมเหลว มอก.151-2528

5.4) ลิ้นสำหรับถังก๊าซปิโตรเลียมเหลว มอก.915-2532

5.5) ถังเก็บและจ่ายก๊าซปิโตรเลียมเหลว มอก.945-2533

5.6) ก๊าซปิโตรเลียมเหลว มอก.450-2525

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์พกพา, CPU: Pentium M, Hard Disk 60 Gb., หน่วยความจำสำรอง 512 MB
2. โปรแกรมการคำนวณเฉพาะทาง
 - 2.1 โปรแกรมอโลฮา (ALOHA Version 5.4.1)
 - 2.2 โปรแกรมมาร์พ็อต (MARPLOT Version 3.3.2)
 - 2.3 โปรแกรมกูเกิลเอิร์ธ (Google Earth Version 4.1)

วิธีการ

1. การกำหนดตัวแปรในการทดลองกรณี เกิดการรั่วไหล และการเกิดเพลิงไหม้ในแบบต่าง ๆ ใช้สถานการณ์จำลองในสภาพภูมิอากาศและคุณสมบัติของสารเคมีที่อยู่ในสภาวะที่เลวร้ายที่สุด ดังนี้

1.1 แก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นแก๊สที่เกิดจากการผสมกันระหว่างโพรเพนและบิวเทน โดยอัตราส่วนของทั้งสองสารแตกต่างกันตามแหล่งผลิตและผู้ผลิต ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพิ่มแก๊สปิโตรเลียมเหลวลงในโปรแกรมอโลฮา โดยใช้อัตราส่วนระหว่างโพรเพนและบิวเทนที่ 60:40 โดยกำหนดค่าต่าง ๆ ในโปรแกรม ดังนี้

Molecular Weight	70.914	g/mol
Normal Boiling Point	-34.5	degree celcieous
Critical Pressure	118.36	psia
Critical Temperature	114	degree celcieous
Density Gas Value	2.5405	kg/(cm ³)
Density(gas) Temperature	305.15	kelvin
Density(gas) Pressure	101325	pa

Normal Freezing point	-100.98	degree celcieous
LEL	19000	ppm
UEL	95000	ppm
Heat Capacity (gas con.st. press)		
Heat Cap.(gcp) Value	834	J/Kg
Heat Cap.(gcp) Temperature	298.15	kelvin
Heat Cap.(gcp) Pressure	101325	pa
Heat Capacity (liq. con.st. press)		
Heat Cap.(lcp) Value	409430	J/Kg
Heat Cap.(lcp) Temperature	247.69	kelvin
Heat Cap.(lcp) Pressure	101325	pa
Heat Combusion	844.54	Kcal/mol

พบว่าค่าของผลกระทบที่เกิดขึ้นไม่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง เนื่องจากค่าที่ได้ไม่ได้มาจากการทดลองทางเคมีของก๊าซปิโตรเลียมเหลว แต่มาจากการคำนวณทางเคมีตามอัตราส่วนของโพรเพนและบิวเทน และเนื่องจากการผสมกันของโพรเพนและบิวเทนไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันและไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกันภายในถัง ในการรั่วของก๊าซปิโตรเลียมเหลวจะทำให้โพรเพนซึ่งเบากว่าบิวเทนรั่วไหลออกมาก่อน ดังนั้นในการทดลองการรั่วไหลแบบไม่ติดไฟและติดไฟจนเกิดเพลิงไหม้จะใช้ก๊าซโพรเพนเป็นตัวแทนของก๊าซปิโตรเลียมเหลว

สำหรับกรณีระเบิดแบบบลิ๊วจะใช้บิวเทนเป็นตัวแทนของก๊าซปิโตรเลียมเหลว เนื่องจากคุณสมบัติของบิวเทน ระเหยได้ง่ายกว่าและหนักกว่าโพรเพน และหากเกิดการระเบิดก๊าซบิวเทนจะเกิดอันตรายมากกว่าโพรเพน ดังนั้นเพื่อเป็นการประเมินกรณีเกิดเหตุในสภาวะเลวร้ายที่สุดจึงใช้บิวเทนเป็นตัวแทนก๊าซปิโตรเลียมเหลวในกรณีเกิดการระเบิดแบบบลิ๊ว

1.2 การตั้งค่าตัวแปรทางด้านบรรยากาศ

1.2.1 ทิศทางลมเป็นการใส่ทิศทางลมที่พัดเข้ามาสู่แหล่งกำเนิดก๊าซ ถึงแม้ว่าทิศทางลมส่วนใหญ่จะพัดไปทางทิศใต้ แต่เนื่องจากทิศดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อบุคคลจึงกำหนดให้ทิศทางลมที่ใช้ศึกษาเป็นทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากเป็นทิศที่ส่งผลกระทบกับพนักงานและอาคาร

1.2.2 ความเร็วลม เนื่องจากความเร็วลมส่งผลกระทบโดยตรงกับความรุนแรงของการรั่วไหลของสารเคมี ลมที่พัดแรงจะพัดพาสารเคมีออกสู่ภายนอกอย่างรวดเร็ว ทำให้สารเคมีเจือจาง จึงทำให้เกิดความรุนแรงน้อย แต่หากความเร็วลมต่ำสารเคมีที่เกิดเหตุจะมี ความเข้มข้นมาก จึงทำให้อันตรายมีมากด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำข้อมูลความเร็วลมและอุณหภูมิ ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ ในปี 2549 ตามตารางในภาคผนวกที่ ค1 มาพิจารณาหาความเร็วลมที่ต่ำที่สุด และอุณหภูมิที่สูงที่สุด เพื่อจัดให้เป็นสภาวะที่เลวร้ายที่สุด ซึ่งพบว่าความเร็วลมที่ 5 น็อต เป็นความเร็วลมที่ต่ำที่สุด ที่อุณหภูมิ 35.4 องศาเซลเซียส

1.2.3 ความระกระระกะของพื้นที่ในกรณีศึกษานี้เป็นแบบ Urban or Forest คือ มีต้นไม้ใหญ่หรืออาคารอยู่ทั่วไป ตามสภาพพื้นที่ที่ทำการศึกษาซึ่งมีต้นไม้และอาคารข้างเคียง

1.2.4 ระดับเมฆปกคลุม เพราะต้องนำไปใช้ในการคำนวณการระเหยของสารเคมี ซึ่งแปรผันไปตามปริมาณแสงแดดที่ส่องผ่านเมฆลงมา โดยเฉพาะสารเคมีที่กระจายออกมาในแบบ เจ็นนอง คือ เป็นของเหลวไหลนองออกมาก่อนจะระเหย ในงานวิจัยนี้จึงเลือกกระดับที่เมฆปกคลุมมาก ทำให้ปริมาณสารเคมีระเหยได้ไม่คิดจะทำให้เกิดอันตรายมาก เพื่อให้ได้สถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุด

1.2.5 อุณหภูมิของอากาศมีผลต่อการกระจายของสารเคมี อุณหภูมิสูงทำให้เกิดความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้ของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซได้ อย่างรวดเร็ว จากการตรวจสอบสถิติอุณหภูมิที่สูงที่สุด ของกรุงเทพมหานครจากกรม อุตุนิยมวิทยา พบว่า อุณหภูมิที่สูงที่สุดในขณะที่ความเร็วลมต่ำ อยู่ที่ 35.4 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 5 น็อต (วันที่ 30 มกราคม 2549) ดังแสดงรายละเอียดในตารางผนวกที่ ค1 และ ค2

1.2.6 เสถียรภาพของบรรยากาศ เช่น ในเวลาที่แดดจัด อุณหภูมิของอากาศเหนือ ผิวดินจะสูง ทำให้เกิดกระแสลมบริเวณเหนือผิวดินขึ้นทำให้อากาศมีเสถียรภาพต่ำ ในกรณีเช่นนี้ การกระจายของสารเคมีจะเพิ่มขึ้น แต่ระยะทางที่แพร่กระจายอาจต่ำลง (เพราะสารเคมีกระจาย ออกไปในระยะทางใกล้ๆ ห่มด) ปกติโปรแกรมอโลฮายจะทำนายเสถียรภาพของบรรยากาศให้เอง จากข้อมูลที่ได้รอกมาแล้ว

1.2.7 สภาพความชื้น โปรแกรมมีการจัดสภาพความชื้นให้เลือกใช้ได้ตาม ลักษณะภาพที่ปรากฏ เช่น ฝนตก แดดจ้า หรือกลาง ๆ เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้เลือกสภาพ ความชื้นที่ร้อยละ 50 เนื่องจากเป็นสภาพความชื้นที่เหมาะสม และใกล้เคียงกับพื้นที่ที่ทำการศึกษา

1.3 การกำหนดสภาพการบรรจุ

แหล่งแพร่กระจาย	ถึง
รูปแบบภาชนะ	ทรงกระบอกแนวนอน
ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง	3.35 เมตร
ยาว	10.96 เมตร
ปริมาณความจุ	96,000 ลิตร
สภาพของสารเคมีในถัง	เก็บในสภาพของของเหลว
น้ำหนักหรือปริมาตรสาร	85 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรถัง

1.4 กำหนดสาเหตุและลักษณะการรั่วไหล

จากสถิติการซ่อมบำรุงและผลการตรวจสอบการรั่วของวาล์วและข้อต่อต่าง ๆ ภายในคลังบรรจุก๊าซพบว่า ตลอดอายุการใช้งานไม่เคยมีประวัติการรั่วซึมตามวาล์วและข้อต่อต่าง ๆ ของถังบรรจุก๊าซปิโตรเลียมเหลวกรณีศึกษา เนื่องจากมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ดังกล่าวตามอายุการใช้งานคือ ทุก 3 และ 5 ปี จะทำการเปลี่ยนวาล์วและข้อต่อใหม่ โดยไม่ต้องรอให้อุปกรณ์ชำรุด ดังนั้นการเลือกลักษณะสาเหตุการรั่วไหลจึงเลือกการเกิดความผิดพลาดจากอุปกรณ์ที่เรียกว่า ท่อวัดปริมาณก๊าซ (Dip Tube) เนื่องจากเคยมีประวัติชำรุด 1 ครั้ง ประกอบกับมีอุบัติเหตุจากท่อวัด ปริมาณก๊าซได้หลุดออกจากอุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซ โดยไม่ทราบสาเหตุจึงเป็นเหตุให้ก๊าซ ปิโตรเลียมเหลวรั่วไหลผ่านช่องของท่อวัดปริมาณก๊าซซึ่งเป็นสถานการณ์ที่เคยเกิดขึ้นที่โรงงาน บรรจุก๊าซ ห้างหุ้นส่วนจำกัด บ้านนาปิยะแก๊ส จังหวัดสุราษฎร์ธานี เมื่อวันที่ 1 ตุลาคม 2548 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

ดังนั้น ในการวิจัยนี้ได้กำหนดสาเหตุของการรั่วของก๊าซปิโตรเลียมเหลวจากสาเหตุดังกล่าวโดยขนาดของท่อวัดปริมาณก๊าซมีรูปร่างเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว ความสูงจากกันถึง 1.9 เมตร ซึ่งผลจากการรั่วทำให้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในสถานะของเหลวรั่วออกมาออกมาในสถานะที่เป็นก๊าซเหลวและระเหยเป็นไอก๊าซ

2. ศึกษาผลกระทบจากการสถานการณ์จำลอง ในสภาวะที่เลวร้ายที่สุด ซึ่งทำการทดสอบ 5 สถานการณ์จำลอง ซึ่งเป็นความสามารถของโปรแกรมอโลฮาที่สามารถประเมินได้ เพื่อศึกษาผลกระทบจากการรั่วไหลของก๊าซปิโตรเลียมเหลวในทุกกรณี ได้แก่

2.1 การรั่วไหล ในกรณีที่ไม่ติดไฟ

สำหรับการประเมินลักษณะนี้ เป็นการประเมินเพื่อพิจารณาด้านความเป็นพิษของสารเคมีที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของบุคคลที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงสถานที่เกิดเหตุ รวมทั้งความปลอดภัยของผู้ที่จะเข้าไประงับเหตุ โดยพิจารณาจากกรณีการแพร่กระจายของก๊าซ ซึ่งโปรแกรมอโลฮาทำนายจากการใช้สมการ Heavy Dispersion โดยแสดงผลการคำนวณในรูปของค่ามาตรฐาน TEEL (Temporary Exposure Limits) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นอันตรายคล้ายกับค่า ERPG (Emergency Response Planning Guideline) ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของสารเคมี สำหรับการวางแผนจัดการเหตุฉุกเฉิน ซึ่งกำหนดโดย American Industrial Hygiene Association (AIHA), 1991. Emergency Response Planning Guideline for Air Contaminants. AIHA Publication, Akron, OH. โดยโปรแกรม ALOHA จะประมวลผลค่า TEEL ใน 3 ระดับจากระดับความเข้มข้นของสารเคมี ดังนี้

TEEL-1	อาจก่อให้เกิดการระคายเคือง หรือได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อย
TEEL-2	อาจก่อให้เกิดการระคายเคืองแต่เกิดผลข้างเคียง
TEEL-3	อาจเกิดผลกระทบรุนแรงหรือเสียชีวิตได้ขึ้นกับปัจจัยส่วนบุคคล

โดยค่า TEEL จะไม่ก่อให้เกิดความเป็นอันตรายกับทุกคน ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยส่วนบุคคลด้วย เนื่องจาก TEEL ได้มาจากการทดลองในสัตว์ โดยคิดที่ระยะเวลาที่ได้รับสารเคมีนาน 60 นาที

ในงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดค่าความเข้มข้นที่ 100,000 พีพีเอ็ม เป็นตัวกำหนดค่าความปลอดภัยในการกำหนดขอบเขตที่ต้องสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ซึ่งเป็นค่าที่ได้มาจากเอกสารข้อมูลความปลอดภัยของเคมีภัณฑ์ (Material Safety Data Sheet) โดยใช้ค่า IDLH (Immediate Danger to Life & Health) เป็นค่าที่จัดตั้งขึ้นมาจาก National Institute for Occupational safety and Health (NIOSH) เพื่อหาข้อจำกัดในการเลือกอุปกรณ์ป้องกันทางระบบหายใจที่ใช้ในสถานที่ทำงาน ค่า IDLH ถูกคาดคะเนจากปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีที่สูงที่สุดในพื้นที่ปฏิบัติงาน ซึ่งผู้ปฏิบัติงานได้รับแล้วยังไม่เกิดผลกระทบต่อร่างกายอย่างรุนแรง หรือถาวร หรืออวัยวะบางส่วนไม่สามารถทำงานได้อย่างปกติ จากค่าที่ได้จากการประมวลผลพบว่าในกรณีที่ต้องเข้าไปจัดการเหตุฉุกเฉิน ต้องมีการสวมใส่หน้ากากป้องกันก๊าซปิโตรเลียมเหลว เข้าพื้นที่เกิดเหตุที่ระยะเท่าใด

ในการทำการวิจัยในเรื่อง การรั่วไหลแบบไม่ติดไฟทำการประเมินโดยระบุประเภทของการประเมินในส่วนของ Hazard To Analyze โดยเลือกในช่องของ Toxic Area of Vapor Cloud จะได้ภาพแสดงการแพร่กระจายของก๊าซปิโตรเลียมเหลวในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่สนใจศึกษา

2.2 การรั่วไหลแบบกลุ่มหมอกก๊าซไวไฟ (Flammable Vapor Cloud)

การประเมินกรณีนี้เป็นการประเมินการรั่วไหลของก๊าซปิโตรเลียมเหลว โดยพิจารณาความเข้มข้นของสารเคมีที่แพร่กระจายออกมาจากภาชนะบรรจุ เพื่อกำหนดระยะปลอดภัยต่อการป้องกันการเกิดเพลิงไหม้ โดยพิจารณาที่ค่าขีดจำกัดบนของการระเบิด และค่าขีดจำกัดล่างของการระเบิด ซึ่งโปรแกรมโอเอสสามารถทำนายการกระจายของสารได้ตามความเข้มข้น และประเมินการรั่วไหลแบบกลุ่มหมอกก๊าซไวไฟได้โดยการเลือกแถบเมนู Hazard To Analyze และเลือกในส่วนของ Flammable Area of Vapor Cloud

2.3 การเกิดการระเบิดแบบ Vapor Cloud Explosion (Overpressure Blast Force)

การพิจารณาการเกิดระเบิดแบบ Vapor Cloud จะพิจารณาแรงดันที่เกิดขึ้นแล้วส่งผลกระทบต่อบุคคลและโครงสร้างอาคารตามระยะของความเข้มรังสีความร้อน โดยสามารถเข้าไปเลือกในแถบเมนู Hazard To Analyze และเลือกในส่วนของ Blast Force of Vapor Cloud Explosion โปรแกรมจะทำนายระยะทางที่เกิดความเข้มรังสีต่าง ๆ กัน ตามที่ผู้ใช้อยู่ต้องการ

2.4 การเกิดเพลิงไหม้แบบ Jet Fire

เป็นเพลิงไหม้ที่มีลักษณะเปลวไฟแคบพุ่งแรง ซึ่งเกิดจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่รั่วไหลออกจากถัง แล้วเกิดการจุดระเบิดขึ้นในทันที ทำให้เกิดการลุกไหม้ ในลักษณะคล้ายคบบเพลิง เพื่อพิจารณาผลกระทบจากเปลวเพลิงและความเข้มของการแผ่รังสี

ซึ่งในการศึกษานี้โปรแกรมโอโลฮาทำนายการเกิดเพลิงไหม้แบบ jet fire โดยอันตรายที่สนใจคือ อันตรายจากรังสีความร้อน คว้น สารพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งในโปรแกรมโอโลฮาจะสามารถทำนายได้เฉพาะอันตรายจากรังสีความร้อนเท่านั้น

2.5 การเกิดระเบิดแบบบลีว

การระเบิดแบบบลีว คือ การเกิดอ็อกซิเจนและการเกิดระเบิดรวมกัน และระบายรังสีความร้อนออกมาเป็นระยะ ๆ ช่วงสั้น ๆ การเกิดบลีวเกิดได้ในกรณีที่ก๊าซรั่วไหลออกมาในรูปของของเหลวและขยายตัวอย่างรวดเร็วกระจายไปในบรรยากาศเป็นหมอกควัน และมีการสันดาปเกิดขึ้นก็จะปรากฏเป็นลูกไฟ เป็นสาเหตุให้เกิดความรังสีความร้อนขึ้นจำนวนมากภายในไม่กี่วินาที ซึ่งอาจทำให้ผู้ที่อยู่ในรัศมีเสียชีวิตหรือผิวหนังถูกทำลายอย่างรุนแรงขึ้นกับปริมาณก๊าซที่มีอยู่ในภาชนะ หรือถังที่เก็บ

ในการวิจัยผลกระทบจากการเกิดระเบิดแบบบลีว จะทำการเปลี่ยนตัวแทนสารเคมีที่ใช้แทนก๊าซปิโตรเลียมเหลวจากโพรเพนเป็นบิวเทน เนื่องจากบิวเทนระเหยได้เร็วกว่าโพรเพน ซึ่งอันตรายที่สำคัญของบลีว คือ อันตรายจากรังสีความร้อน ความดันที่สูงเกินอันตรายจากวัสดุที่แตกจากการระเบิดแล้วเกิดการกระเด็น คว้นพิษจากการเกิดเพลิงไหม้ ซึ่งโปรแกรมโอโลฮาสามารถประเมินได้เฉพาะอันตรายจากรังสีความร้อนเท่านั้น

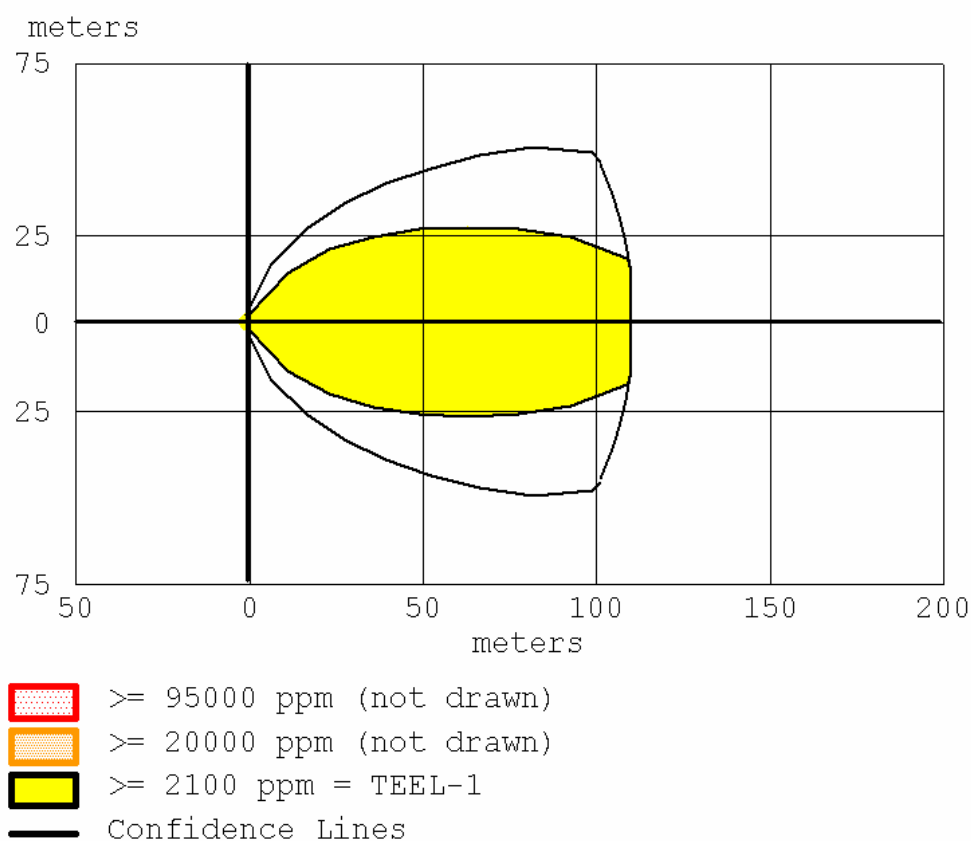
ในการกำหนดความรุนแรงในการเกิดลูกไฟในกรณีสถานการณ์เลวร้ายที่สุดได้กำหนดให้เกิดระเบิดแบบบลีวที่ร้อยละ 100 ของปริมาตรสารที่มีอยู่ในถัง

ผลและวิจารณ์

ผลกระทบที่แปรผลด้วยโปรแกรม ALOHA ในการเกิดอุบัติเหตุในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

การรั่วไหล ในกรณีที่ไม่ติดไฟ

ผลการจากประเมินโดยโปรแกรมโลฮา เพื่อพิจารณารัศมีการแพร่กระจายของก๊าซ ในกรณีการรั่วไหลแต่ไม่ติดไฟ



ภาพที่ 19 ภาพรัศมีการกระจายตัวของก๊าซปิโตรเลียมเหลว

จากภาพพบว่า โปรแกรมโลฮาทำการประมวลผลค่า TEEL (Temporary Exposure Limits) ที่ระดับความเข้มข้นเดียว คือ ที่ระดับมากกว่า 2100 พีพีเอ็ม ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นที่ทำให้อันตรายต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่ในระยะรัศมีที่ระดับอันตรายที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองหรือได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อย ในรัศมี 110 เมตร จากจุดเกิดเหตุ ดังแสดงในตารางที่ 9 แสดงผลกระทบ

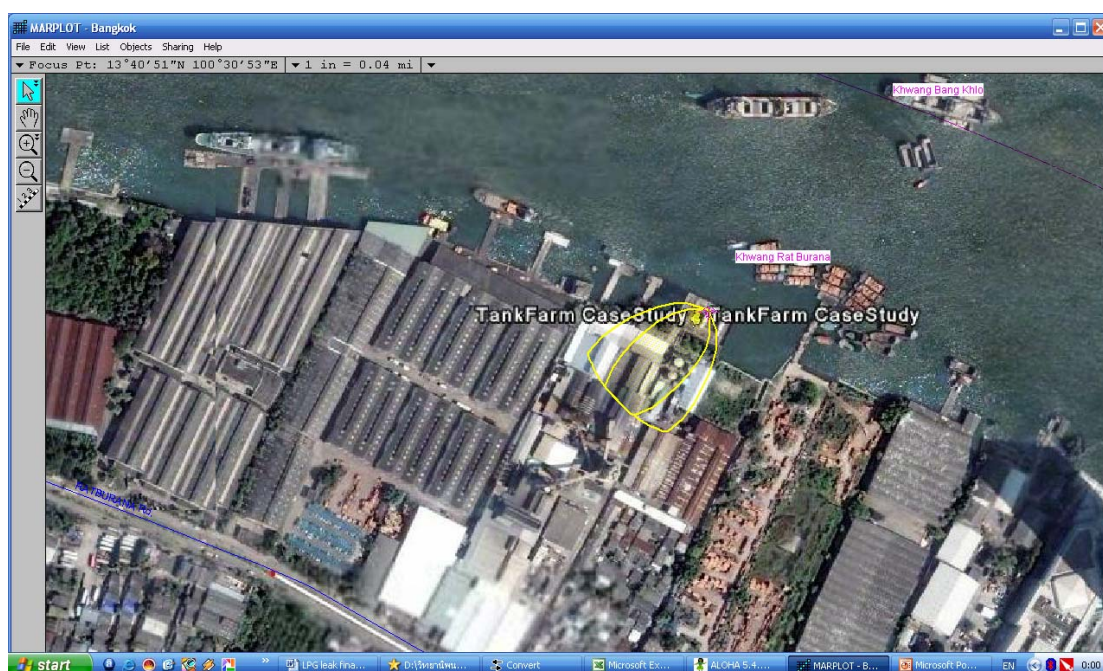
จากความเข้มข้นของก๊าซที่แพร่จากจุดรั่วไหลที่ระยะต่าง ๆ ซึ่งระดับความเข้มข้นของก๊าซปิโตรเลียมเหลวในบรรยากาศการทำงานต่ำกว่า 1,000 พีพีเอ็ม ก๊าซปิโตรเลียมเหลวจะไม่มีอันตรายต่อร่างกายซึ่งอยู่ที่ระยะ 176 เมตร ที่ระดับความเข้มข้น 100,000 พีพีเอ็ม ซึ่งอยู่ในรัศมี 11 เมตร จะทำให้มีอาการมึนงงเล็กน้อยภายหลังการสัมผัสไม่กี่นาที แต่จะไม่ทำให้เกิดการระคายเคือง แต่จะทำให้ขาดอากาศหายใจ ดังนั้นจึงต้องรักษาระดับออกซิเจนให้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 18 หากมีระดับของออกซิเจนในอากาศร้อยละ 12-16 อัตราการหายใจ และการเต้นของชีพจร จะเพิ่มขึ้น การประสานงานของกล้ามเนื้อผิดปกติไปเล็กน้อย หากมีระดับความเข้มข้นของออกซิเจนอยู่ระหว่างร้อยละ 10-14 จะมีอารมณ์หงุดหงิด เหนื่อยล้าผิดปกติ การหายใจถูกรบกวน หากมีระดับของออกซิเจนร้อยละ 6-10 จะมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ชักและหมดสติได้ หากระดับของออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 6 จะทำให้เกิดอาการชัก ระบบการหายใจล้มเหลวและถึงแก่ชีวิตได้ ดังนั้นในการเข้าไปดำเนินการใด ๆ ในระยะ 11 เมตรจะต้องสวมอุปกรณ์ช่วยหายใจ

ตารางที่ 9 ผลกระทบจากความเข้มข้นของก๊าซปิโตรเลียมเหลวจากจุดรั่วไหลที่ระยะต่างๆ

ค่าผลกระทบ	ระดับความเข้มข้น(ppm)	ระยะจากจุดเกิดเหตุ(เมตร)	
		ผิวดิน	ผิวน้ำ
IDLH	100,000	11	36
UEL	95,000	11	38
LEL	20,000	29	109
TEEL	2100	110	367
	1000	176	545

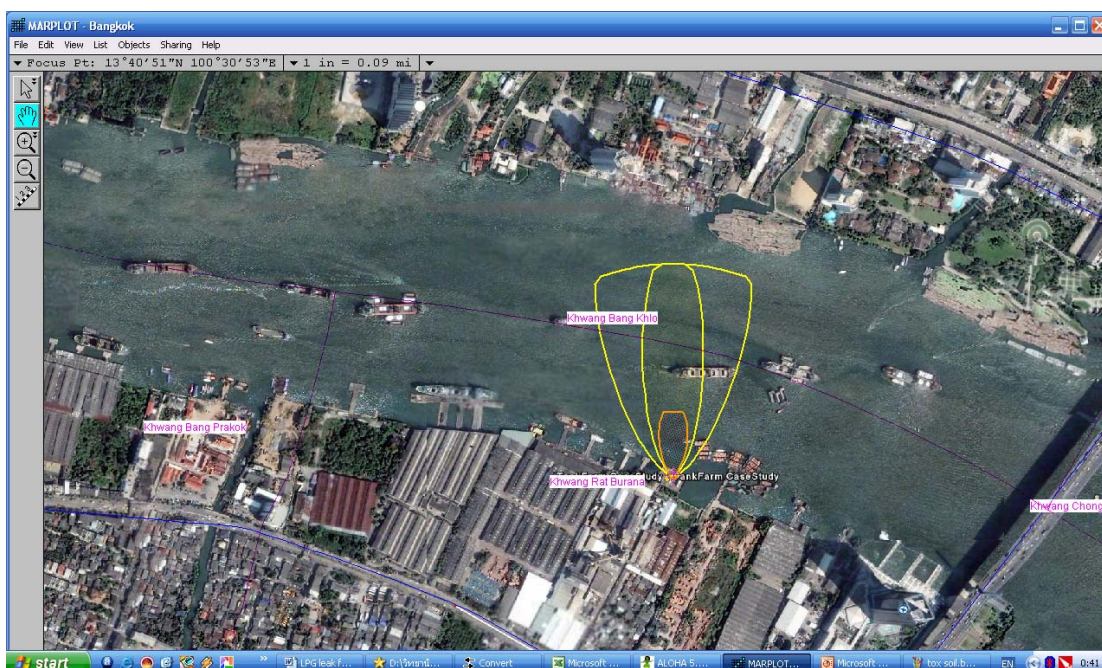
ค่า IDLH (Immediate Danger to Life & Health) เป็นค่าที่จัดตั้งขึ้นมาจาก National Institute for Occupational safety and Health (NIOSH) เพื่อหาข้อจำกัดในการเลือกอุปกรณ์ป้องกันทางระบบหายใจที่ใช้ในสถานที่ทำงาน ค่า IDLH ถูกคาดคะเนจากปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีที่สูงที่สุดในพื้นที่ปฏิบัติงาน ซึ่งผู้ปฏิบัติงานได้รับแล้วยังไม่เกิดผลกระทบต่อร่างกายอย่างรุนแรงหรือถาวร หรืออวัยวะบางส่วนไม่สามารถทำงานได้อย่างปกติ จากค่าที่ได้จากการประมวลผลพบว่าในกรณีที่ต้องเข้าไปจัดการเหตุฉุกเฉิน ต้องมีการสวมใส่หน้ากากป้องกันก๊าซปิโตรเลียมเหลวเข้าพื้นที่เกิดเหตุในรัศมี 11 เมตร

สำหรับค่าขีดจำกัดล่างของการระเบิด (LEL: Lower Explosion Limit) ค่าขีดจำกัดล่างของการระเบิดเป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่ทำให้เกิดการระเบิดได้ โดยค่าขีดจำกัดล่างของการระเบิดของโพรเพนมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 20,000 พีพีเอ็ม จากการทำนายการกระจายของโพรเพนจากโปรแกรมโอฮา พบว่าค่าความเข้มข้นที่จะทำให้เกิดการระเบิดได้หากมีแหล่งกำเนิดประภาสไฟอยู่ระหว่างรัศมี 22 เมตรจากแหล่งกำเนิด ซึ่งพบว่าที่ระยะและทิศทางลมดังกล่าวไม่มีกิจกรรมที่ก่อให้เกิดประภาสไฟ ดังแสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ภาพแสดงการรั่วไหลของก๊าซกรณีลมพัดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

แต่หากลมเปลี่ยนจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือมาเป็นทิศใต้ จะทำให้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวแพร่ไปทางแม่น้ำ ซึ่งทำให้การแพร่กระจายเป็นไปอย่างรวดเร็วและไปได้ไกลกว่าบนผิวดิน เนื่องจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวหนักกว่าอากาศแต่เบากว่าน้ำ ประกอบมีการช่วยพัดพาของกระแสน้ำ จึงสามารถแพร่ไปบนผิวน้ำได้อย่างรวดเร็ว จากการทำนายของโปรแกรมโอฮาพบว่าในรัศมีระหว่าง 38 – 109 เมตร เป็นระยะที่ความเข้มข้นของก๊าซปิโตรเลียมเหลวอยู่ในช่วงที่สามารถติดไฟได้ ซึ่งจากภาพที่ 21 จะเห็นว่าในระยะดังกล่าวอาจมีเรือวิ่งผ่าน หรือเรือที่จอดซึ่งอาจมีกิจกรรมที่ก่อให้เกิดประภาสไฟบนเรือ ซึ่งอาจก่อให้เกิดเพลิงไหม้และเกิดการระเบิดได้

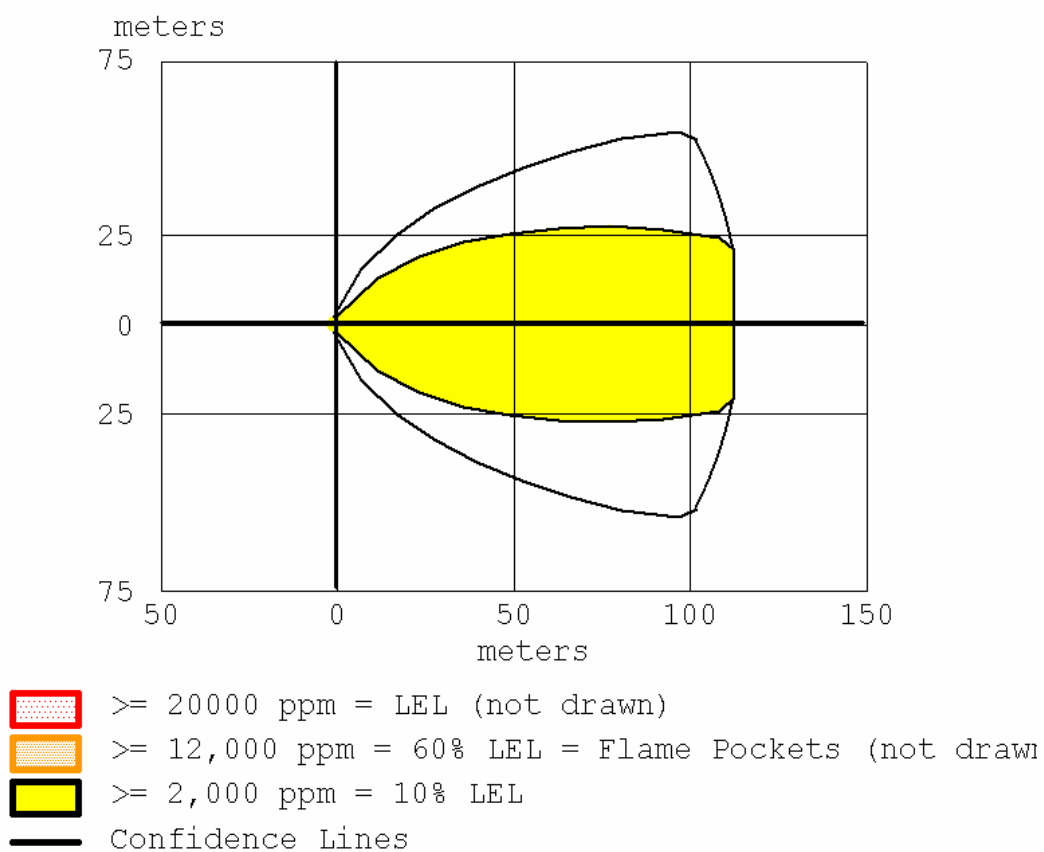


ภาพที่ 21 ภาพแสดงการรั่วไหลของก๊าซกรณีลมนพัดมาจากทิศใต้

การรั่วไหลแบบกลุ่มหมอกก๊าซ (Flamable vapor cloud)

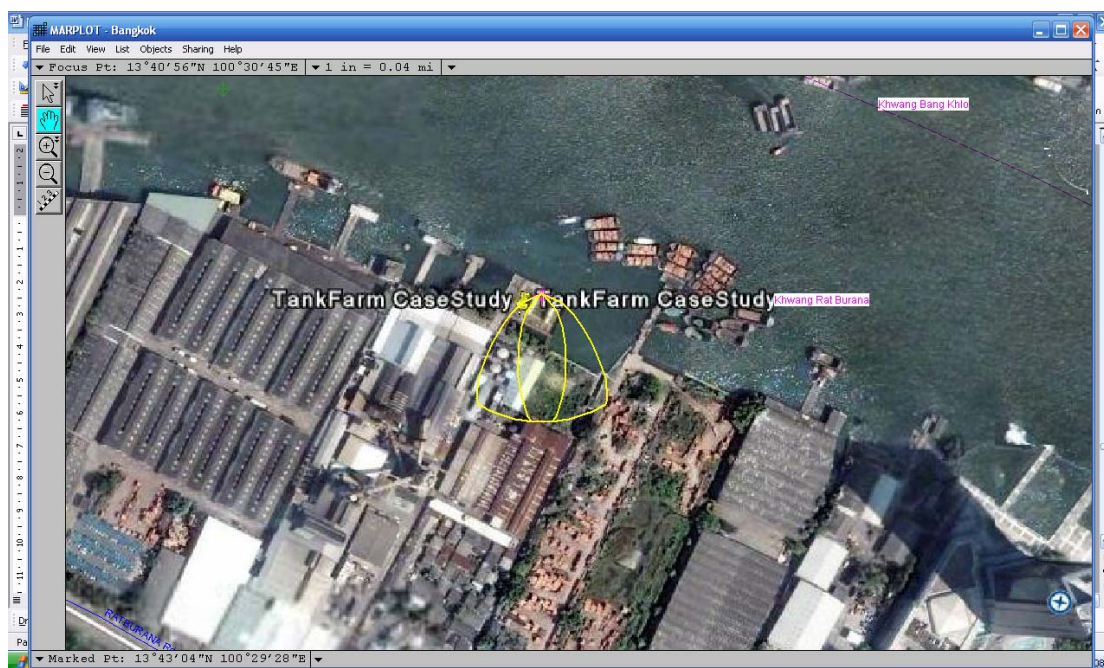
ในการเกิดเหตุการณ์กลุ่มหมอกก๊าซซึ่งเกิดจากการรั่วไหลของก๊าซแล้วแพร่กระจายไปตามทิศทางลม โดยถูกทำให้เจือจางลงโดยอากาศจะเข้ามารวมตัวกับกลุ่มหมอกก๊าซนี้ โปรแกรมโมโลฮาสามารถประเมินการรั่วไหลจำกัดที่ 1 ชั่วโมง เนื่องจากระยะเวลาที่เกินกว่า 1 ชั่วโมง ทิศทางและความเร็วจะมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งทำให้ผลการทำนายคลาดเคลื่อน ซึ่งผู้วิเคราะห์ต้องทำการประเมินสถานการณ์ใหม่ เมื่อเกิดเหตุเกิน 1 ชั่วโมง ดังนั้นโปรแกรมจึงคาดคะเนระยะเวลาการรั่วไหลที่ 1 ชั่วโมง โดยมีอัตราการรั่วไหลแบบต่อเนื่องเฉลี่ยที่ 152 กิโลกรัมต่อนาที ปริมาณการรั่วไหลรวม 9,035 กิโลกรัม ซึ่งจะทำให้เกิดกลุ่มหมอกก๊าซไวไฟ กระจายทั่วพื้นที่เกิดเหตุ ดังแสดงในภาพที่ 22 ทำให้เกิดพื้นที่เสี่ยงต่อการติดไฟและเกิดการระเบิด โดยมีความเสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้จากปริมาณความเข้มข้นของโพรเพนอยู่ในช่วงของการระเบิด คือค่าขีดจำกัดบนของการระเบิด 95,000 พีพีเอ็ม และค่าขีดจำกัดล่างของการระเบิด 20,000 พีพีเอ็ม จากการประมวลผลของโปรแกรมโมโลฮาแสดงให้เห็นว่าจะเกิดกลุ่มหมอกที่มีความเข้มข้นของสารที่อยู่ในช่วงดังกล่าวจะสามารถทำให้เกิดการระเบิดได้ในรัศมี 29 เมตรจากแหล่งกำเนิด หากมีแหล่งกำเนิดประกายไฟ และเนื่องจาก 29 เมตร เป็นระยะที่ใกล้แหล่งกำเนิดมากทำให้โปรแกรมโมโลฮาไม่สามารถวาดภาพ Footprint

ออกมาได้ แต่โปรแกรมจะวาดภาพระยะที่ต้องเฝ้าระวังโดยประเมินที่ความเข้มข้นของสารร้อยละ 10 ของค่าขีดจำกัดล่างของการระเบิดที่ระยะรัศมี 96 เมตรตามภาพ Footprint (ภาพที่ 22 และ 23)



ภาพที่ 22 แสดงการรั่วไหลของก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่แพร่กระจายโดยไม่ติดไฟ

เมื่อนำภาพแผนที่มาทำการ Footprint พบว่าระยะรัศมีที่เกิดการแพร่กระจายของก๊าซในระยะที่จะเกิดกลุ่มหมอกที่มีความเข้มข้นของสารที่สามารถทำให้เกิดการระเบิดได้ในรัศมี 29 เมตรจากแหล่งกำเนิด



ภาพที่ 23 แสดงผลกระทบเมื่อเกิดเหตุการณ์ก๊าซปิโตรเลียมรั่วไหล

กรณีเกิดระเบิดของกลุ่มหมอกสารไวไฟ (Vapor Cloud Explosion: Overpressure Blast Force)

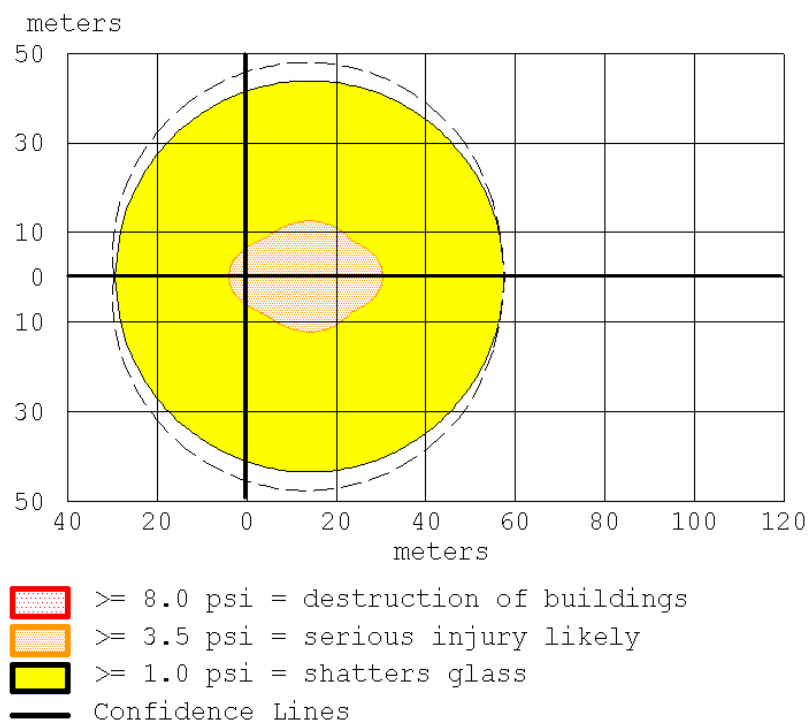
เมื่อก๊าซปิโตรเลียมเหลวรั่วออกจากถังและแพร่กระจายไปครอบคลุมอาณาบริเวณรอบ ๆ เมื่อได้ผสมกับอากาศในสัดส่วนที่พอเพียง และมีแหล่งเกิดประกายไฟที่มีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดการติดไฟด้วยความเร็วสูงทำให้เกิดระเบิดแบบ Vapor Cloud

ระยะเวลาการรั่วไหล: จำกัดที่ 1 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของโปรแกรม ALOHA
อัตราเฉลี่ยการรั่วไหลสูงสุด 152 กิโลกรัมต่อนาที
ปริมาณก๊าซที่รั่วไหลทั้งหมด 9,035 กิโลกรัม

ผลการศึกษาพบว่า

- ที่รัศมี 31 เมตร จะเกิดคลื่นความดัน 3.5 psi ซึ่งจะทำอันตรายผู้ที่อยู่ในรัศมีได้รับบาดเจ็บรุนแรง

- ที่รัศมี 58 เมตร จะเกิดคลื่นความดัน 1.0 psi ที่จะทำให้กระจกแตกได้
รัศมีผลกระทบที่เกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 24 แสดงภาพFootprint จากการเกิด Vapor Cloud Explosion



ภาพที่ 25 แสดงบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงที่จะได้รับอันตรายจากระเบิดของกลุ่มหมอก

การเกิดเพลิงไหม้และระเบิดแบบ Jet Fire

เมื่อก๊าซที่รั่วไหลออกจากถังแล้วเกิดการจุดระเบิดขึ้นในทันที ทำให้เกิดการลุกไหม้ในลักษณะคล้ายคบเพลิงทั้งนี้เปลวไฟที่เกิดขึ้น ดังแสดงในภาพ Foot Print ที่ 26 ซึ่งแสดงผลกระทบได้ดังนี้

ความยาวของเปลวไฟ	7	เมตร
ระยะเวลาการเผาไหม้ของ Aloha	1	ชม.
(โปรแกรม Aloha มีข้อจำกัดในการประเมินที่ 1 ชั่วโมง)		
อัตราการเผาไหม้สูงสุด	152	กิโลกรัม/ชม.
ปริมาณการเผาไหม้	9,035	กิโลกรัม

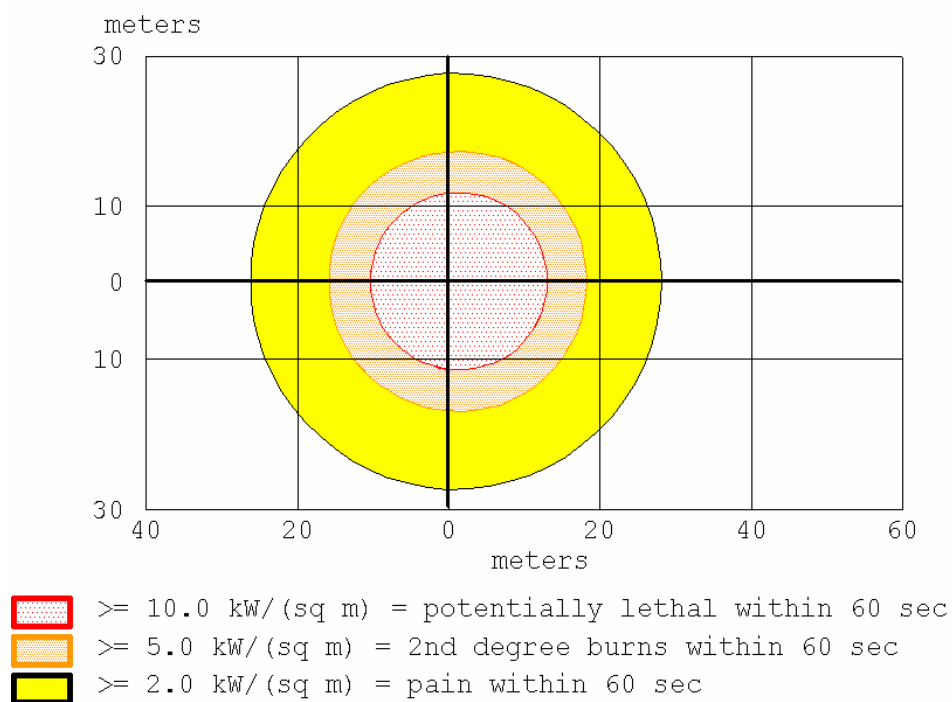
บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความเข้มของการแผ่รังสี

ในรัศมี 13 เมตรจากจุดเกิดเหตุ จะเกิดรังสีความร้อนความเข้ม 10 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ระดับอันตรายถึงขั้นเสียชีวิต และ โครงสร้างอาคารถูกทำลาย

ในรัศมี 18 เมตร จะเกิดรังสีความร้อนความเข้ม 5.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร โดยจะทำอันตรายผู้ที่อยู่ภายในรัศมีได้รับอันตรายเกิดแผลไหม้ระดับ 2

ในรัศมี 28 เมตร จะเกิดรังสีความร้อนความเข้ม ที่ระดับความเข้มของรังสีความร้อน 2.0 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ทำให้ผู้ที่อยู่ภายในรัศมีดังกล่าว ได้รับบาดเจ็บเป็นแผลพุพอง

ซึ่งในระยะดังกล่าว เป็นเขตคลังเก็บเชื้อเพลิงของโรงงาน จึงไม่มีการปฏิบัติงานของพนักงานในบริเวณดังกล่าว ทำให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นจะนำความเสียหายทางด้านทรัพย์สินเท่านั้น



ภาพที่ 26 รัศมีการเกิดรังสีความร้อน ในกรณีเกิด Jet Fire



ภาพที่ 27 แสดงบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงที่จะได้รับอันตรายจาก Jet Fire

การระเบิดแบบ BLEVE (Boiling Liquid Evaporating Vapor Explosion)

การระเบิดแบบบลีวีเกิดจากการรั่วไหลของก๊าซ และเกิดการติดไฟเกิดขึ้น ทำให้ภาชนะบรรจุได้รับความร้อน จนถึงไม่สามารถทนรับแรงดันได้ จนทำให้เกิดการระเบิดและปรากฏเป็นลูกไฟเกิดขึ้น ซึ่งผลจากการคำนวณโดยโปรแกรมโอโลซา พบว่า

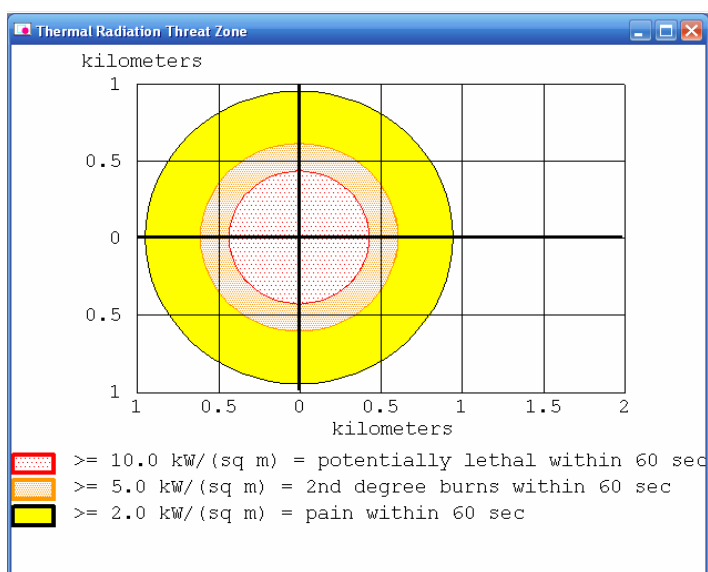
อันตรายที่เกิดจากการเกิดลูกไฟ จะเกิดปริมาณรังสีความร้อน ซึ่งพบว่าจากกรณีศึกษา หากเกิดการระเบิดแบบบลีวีขึ้นจะทำให้เกิดลูกไฟตามภาพที่ 28 ลูกไฟมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 208 เมตร สำหรับระยะเวลาที่เกิดเพลิงไหม้ภาชนะบรรจุจนกระทั่งเกิดระเบิดแบบบลีวี ใช้เวลาเผาไหม้นาน 13 วินาที

ผลกระทบจากการเกิดระเบิดแบบบลีวีจะทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของชิ้นส่วนภาชนะบรรจุ เนื่องจากมีแรงผลักดันจากการระเบิด ดังแสดงในตารางที่ 10 จากตารางเป็นการประเมินความเสียหาย จากค่าความเข้มของรังสีความร้อนโดยเทียบกับค่าผลกระทบที่ได้มาจากตารางที่ 4 โปรแกรมโอโลซา มีข้อจำกัดในการประเมินความเสียหายด้านโครงสร้างอาคารแต่ความสามารถของโปรแกรมโอโลซา ใน Version 5.4.1 มีความสามารถในการประเมิน กรณีเกิดการระเบิดแบบบลีวี และประเมินผลกระทบจากการเกิดรังสีความร้อนได้ ซึ่งโปรแกรมได้ตั้งค่าที่สนใจไว้ผลปรากฏ ดังนี้

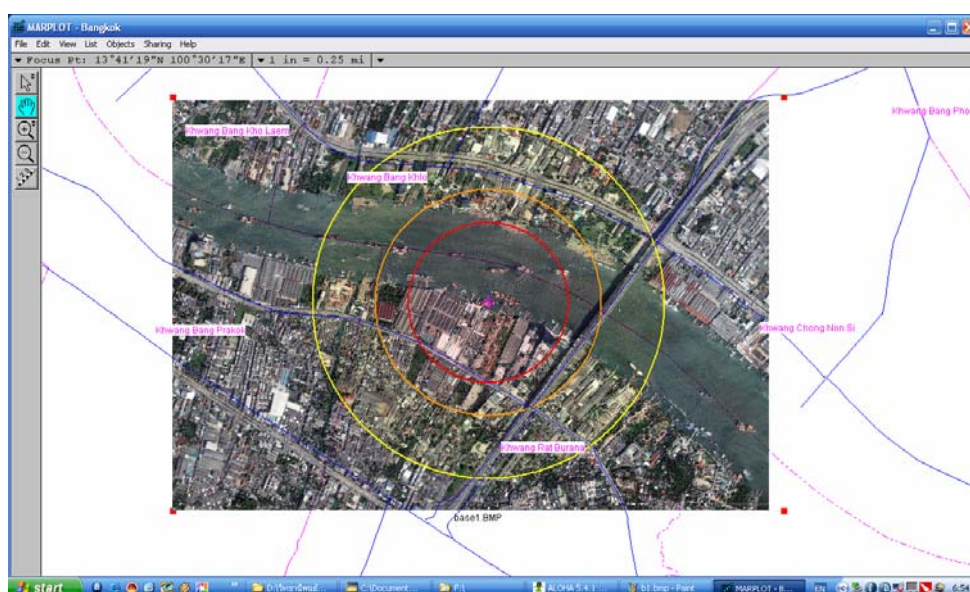
1. ที่ระยะรัศมี 447 เมตร ความเข้มของรังสี 10 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร จะทำให้ผู้ที่อยู่ในรัศมี 431 เมตร จากแหล่งกำเนิด ได้รับอันตรายร้ายแรงโดยในรัศมีดังกล่าว พื้นที่ส่วนหนึ่งเป็นโกดัง ทำให้เป็นพื้นที่ประชากรเบาบาง ทำให้เมื่อเกิดการระเบิดนอกจากพนักงานในโรงงานแล้วจะมีประชาชนได้รับผลกระทบจำนวน 3 ชุมชน ประกอบไปด้วย 354 ครัวเรือน จำนวนประชากร 2,148 คน ได้รับอันตราย

2. ที่ระยะรัศมี 630 เมตร ความเข้มของรังสี 5 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร จะทำให้ผู้ที่อยู่ในรัศมี 609 เมตร จากแหล่งกำเนิด เกิดแผลไหม้ลึกระดับ 2 หลังได้รับสัมผัสความร้อนนาน 60 วินาที

ที่ระยะรัศมี 982 เมตร ความเข้มของรังสี 2 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร จะทำให้ผู้ที่อยู่ในรัศมี 948 เมตร จากแหล่งกำเนิด เกิดแผลไหม้ผุพองได้รับความเจ็บปวด



ภาพที่ 28 ระยะที่ได้รับผลกระทบจากการเกิด Fire ball



ภาพที่ 29 แสดงบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงที่จะได้รับอันตรายจาก BLEVE

จากภาพพบว่าความรุนแรงจากการเกิดระเบิดแบบบลิวี่ส่งผลกระทบรุนแรงที่สุดจากทุกกรณีศึกษาโดยผลกระทบส่งผลถึงระยะ 1400 เมตร ซึ่งเป็นเขตที่อยู่อาศัย จึงทำให้ส่งผลกระทบต่อจำนวนประชากรจำนวนมาก ซึ่งความรุนแรงของผู้ที่อยู่ในรัศมีต่าง ๆ จะได้รับบาดเจ็บ ดังแสดงในตารางที่ 10 และในตารางที่ 11 จะทำการเปรียบเทียบแต่ละเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 10 แสดงผลกระทบจากการเกิดการระเบิดแบบบลิ๊วที่ระยะต่าง ๆ

ค่าความเข้มรังสีความร้อน (kw/m^3)	ระยะทาง (เมตร)	ผลกระทบ
1	1400	กระจกแก้วแตก
2	982	ทำลายเฉพาะหน้าต่างและโครงสร้างทั่วไป
3	808	บุคคลที่ได้รับ overpressures โดยตรงอาจกระดอนและปลิว มีอำนาจการทำลายรุนแรง อาคารโรงงานที่โครงสร้างเป็นเหล็กที่ไม่ยึดหยุ่นแต่โครงสร้าง corrugated steel ถูกทำลายไม่มาก
4	703	ทำลายรุนแรงสำหรับโครงสร้างไม้ หรือบ้านที่ทำด้วยอิฐ
5	630	ทำลายการไต่ขึ้น บุคคลที่ได้รับแรงระเบิดโดยตรงจะกระดอนและปลิว ทำลายเสร็จสิ้น โครงสร้างไม้หรือบ้านที่สร้างด้วยอิฐ ทำลายรถยนต์และรถบรรทุก
6	576	ทำลายทั้งหมด โครงสร้างผนัง อาคารต่าง ๆ
7	534	ทำให้มนุษย์บาดเจ็บภายใน
8	500	ทำลายทั้งหมด โครงสร้างผนัง อาคารต่าง ๆ
9	471	ทำลายอย่างรุนแรง
10	447	ทำให้เกิดความเจ็บปวด หลังได้สัมผัสเป็นเวลา มากกว่า 8 วินาที เป็นแผลไหม้ในระดับ 2 หลังได้รับสัมผัสนาน 20 วินาที

ตารางที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบความรุนแรงของแต่ละเหตุการณ์

สถานการณ์	Threat Modeled	Threat Zone		
		Red	Orange	Yellow
Flammable area		110 m	110 m	110 m
Flamable vapor cloud	Thermal Radiation, If a flash fire occurs	29 m	38 m	113 m
Vapor cloud explosion (Congested)	Overpressure	LOC never exceeded	31 m	58 m
Jet Fire	Thermal Radiation	13 m	18 m	28 m
BLEVE	Thermal Radiation	447 m.	630 m	982 m

จากตารางสรุประยะที่ได้รับอันตรายจากการเกิดเหตุการณ์ก๊าซปิโตรเลียมเหลวรั่วไหลตามสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งจะบอกเป็นระยะทาง แต่เพื่อให้การประเมินผลกระทบที่ชุมชนและอาคารใกล้เคียงที่อยู่ในเขตที่จะได้รับอันตรายได้พิจารณาได้สะดวกขึ้น ผู้วิจัยจึงนำโปรแกรมกูเกิ้ล เอิร์ธ ซึ่งเป็นโปรแกรมแสดงแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมทั่วโลก มาประยุกต์ใช้กับโปรแกรมมาร์พอท เพื่อให้สามารถประเมินสถานการณ์ได้ทันที ซึ่งได้ผลการทดลองตามตารางที่ 11 ซึ่งหลังจากที่โปรแกรมคำนวณผลเรียบร้อยแล้วจะปรากฏผลในรูปแบบของภาพที่สามารถประเมินได้ทันทีว่า ความรุนแรงมีมากน้อย และมีความรุนแรงไกลเพียงใด ซึ่งจะทำให้สามารถอพยพผู้คนในพื้นที่เกิดเหตุไปยังพื้นที่ปลอดภัยได้ทันที เนื่องจากภาพที่ปรากฏจากการประมวลผล ทำให้ประเมินระยะที่เกิดผลกระทบอย่างชัดเจน จะเห็นได้ว่าภาพจากแผนที่ กูเกิ้ล เอิร์ธ ทำให้ประเมินความรุนแรงของแต่ละเหตุการณ์ได้ชัดเจน และสามารถแก้ไขปัญหาคาราคาเข่งด้านทรัพยากรด้านแผนที่ของสถานที่เกิดเหตุ

จากผลการวิจัยพบว่าการประเมินความรุนแรงที่น่าเชื่อถือ นั้น นอกจากการใช้วิธีการและและอุปกรณ์ที่น่าเชื่อถือแล้ว ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินมีส่วนสำคัญต่อการประเมินเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นการทำการสำรวจเก็บและรวบรวมข้อมูลจึงต้องดำเนินการอย่างถี่ถ้วน มีความถูกต้องแม่นยำในงานวิจัยฉบับนี้ ข้อมูลบางส่วนเป็นข้อมูลที่มีอยู่อย่างจำกัด และบางส่วนไม่สามารถนำออกมาเผยแพร่ได้

ในงานวิจัยนี้มีข้อมูลหลายส่วนที่ไม่ชัดเจน ได้แก่ ข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีของก๊าซปิโตรเลียมเหลว ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ค่าคุณสมบัติของก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีค่าคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงได้สูงจากต่างแหล่งผลิต ถึงแม้ว่าจะมีบางค่าที่ถูกกำหนดจากหน่วยงานราชการแล้วก็ตามทำให้ไม่สามารถระบุคุณสมบัติที่แท้จริงของก๊าซปิโตรเลียมเหลวได้ ทำให้งานวิจัยครั้งนี้ใช้ก๊าซโพรเพนเป็นตัวแทนก๊าซปิโตรเลียมเหลว ในกรณีเกิดการรั่วไหลและเกิดเพลิงไหม้ซึ่งมีค่าคุณสมบัติที่เป็นอันตรายมากกว่าบิวเทน อีกทั้งอัตราส่วนผสมของโพรเพนกับบิวเทนของก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ใช้ในกรณีศึกษาอยู่ที่อัตราส่วน 60:40 ดังนั้นอาจมีการแย่งได้ว่าผลที่ได้ อาจมีค่าเกินจริง อย่างไรก็ตามการพิจารณาสิ่งที่มีอันตรายสูงสุดเป็นพื้นฐานของงานในด้านความปลอดภัย โดยบางครั้งอาจไม่คำนึงถึงโอกาสในการเกิดมีมาน้อยเพียงใด

สภาพภูมิอากาศทางอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลนี้มีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าข้อมูลอื่น ๆ ในการวิจัยฉบับนี้ใช้ข้อมูลด้านภูมิอากาศ บางส่วนมาจากกรมอุตุนิยมวิทยา ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ ที่ซึ่งอยู่ใกล้สถานที่เกิดเหตุมากที่สุด เนื่องจากสถานที่เกิดเหตุจริงไม่มีเครื่องมือวัดซึ่งอาจทำให้ผลที่ได้จากการประมวลผลมีค่าคลาดเคลื่อน เมื่อเกิดเหตุการณ์จริงโดยเฉพาะทิศทางลมซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงกับค่าที่ได้ ดังนั้นในการพิจารณาแนวทางป้องกันจึงต้องมีความมีการพิจารณาرسیโดยรอบการเกิดเหตุด้วย เพื่อดำเนินการป้องกันในกรณีทิศทางลมเปลี่ยน

สภาพพื้นที่ที่มีกำแพงกันบริเวณด้านหัวถังบรรจุก๊าซ ด้านข้างมีอาคารใกล้เคียง ซึ่งจะสามารถลดแรงปะทะจากการเกิดระเบิดของถังได้ แต่โปรแกรมไม่สามารถประเมินสภาวะรอบข้างลักษณะเช่นนี้ของแหล่งกำเนิดได้ ซึ่งอาจทำให้ผลร้ายแรงกว่าความเป็นจริง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาการนำโปรแกรมโมโลฮาและโปรแกรมมาร์พอทโดยองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา ร่วมกับ NOAA มาใช้งานร่วมกับโปรแกรมกูเกิ้ลเอิร์ท เพื่อประเมินผลกระทบจากการแพร่กระจายของกลุ่มหมอก ไอระเหย การแผ่รังสีความร้อน การระเบิดของกลุ่มหมอกไอระเหยจากรั่วไหลของก๊าซปิโตรเลียมภายในคลังเก็บ โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมวลผลตามสถานการณ์ที่กำหนดตามหลักการของ Heavy Gas Dispersion ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

การศึกษาผลกระทบจากการแพร่กระจายของก๊าซปิโตรเลียมเหลว

ผลกระทบจากการแพร่กระจายของก๊าซปิโตรเลียมเหลว เนื่องจากก๊าซปิโตรเลียมเหลว มีคุณสมบัติไม่เป็นพิษต่อร่างกาย แต่ถ้าสูดดมมาก ๆ ก๊าซจะเข้าไปแทนที่อากาศบริสุทธิ์ในร่างกาย จะเกิดอาการหมดสติได้ ซึ่งปริมาณที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ (IDLH) ที่ระดับความเข้มข้นที่ 21000 ppm เป็นความเข้มข้นที่อยู่ในช่วงของค่าขีดจำกัดล่างของการระเบิด (LEL) ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดของสารที่ทำให้เกิดการระเบิดได้ หากมีส่วนผสมของอากาศและสัมผัสกับประกายไฟในรัศมี 29 เมตร จะทำให้เกิดการติดไฟและอาจเกิดการระเบิด ซึ่งต้องทำการควบคุมพื้นที่ในบริเวณดังกล่าวให้เป็นเขตปลอดภัยประกายไฟ

การศึกษาผลกระทบจากการเกิดเพลิงไหม้

ผลกระทบจากพลังงานการแผ่รังสีความร้อน เป็นสิ่งที่สนใจในการเกิดเพลิงไหม้ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า ในการเกิดเหตุเพลิงไหม้ ทั้งแบบ Jet Fire และแบบการเกิดการระเบิดของกลุ่มหมอกก๊าซไวไฟ จะไม่ทำอันตรายกับพนักงานที่ปฏิบัติงานในพื้นที่ใกล้เคียง เนื่องจากรัศมีความร้อนแผ่ไปไม่ถึงอาคารที่มีการปฏิบัติงานใกล้เคียงที่สุด

การศึกษาผลกระทบจากการเกิดการระเบิดแบบบลีว

ผลการกระทบจากการเกิดระเบิดแบบบลีว ส่วนใหญ่เกิดจากภาชนะบรรจุแตก เนื่องจากการเกิดเพลิงไหม้ โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นมีทั้งเกิดอันตรายจากการฟุ้งกระจายของชิ้นส่วนของภาชนะบรรจุ เนื่องจากมีแรงดันจากการระเบิดซึ่งโปรแกรมไม่สามารถประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ แต่โปรแกรมสามารถที่จะประเมินผลกระทบจากการแผ่รังสีความร้อนได้ โดยรัศมีที่ 447 เมตร ความเข้มของรังสีความร้อนอยู่ที่ 10 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร จะทำให้ผู้ที่อยู่ในรัศมีได้รับอันตรายถึงขั้นเสียชีวิต

ผลจากการวิจัยพบว่า ผลกระทบของความรุนแรงจากการเหตุเพลิงไหม้และระเบิดของคลังเก็บปิโตรเลียมเหลวต่อสิ่งที่สนใจคือ ความปลอดภัยของพนักงานและชุมชนใกล้เคียงซึ่งหากเกิดการรั่วไหลหลังจากที่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณส่งสัญญาณเตือนภัย ทีมฉุกเฉินต้องดำเนินการป้องกันการติดไฟที่ระยะ 29 เมตรทันที ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในการป้องกันการเกิดเหตุเพลิงไหม้เนื่องจากเป็นจุดเสี่ยงที่เกิดการติดไฟและลุกลามเป็นการระเบิด

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับสถานประกอบการ

1. การป้องกันเชิงรุก

เป็นการป้องกันในลักษณะก่อนเกิดเหตุหรือ Proactive โดยมุ่งเน้นในการลดความเสี่ยงหรือลดปัจจัยก่อนเกิดเหตุ โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1.1 ควรมีการทบทวนแผนฉุกเฉินในส่วนการป้องกันก่อนการเกิดเหตุในส่วนของการตั้งเขตปลอดภัยจากเดิม 15 เมตร เป็น 29 เมตร เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดประกายไฟจากการรั่วไหลและทำการติดตั้งสัญญาณเตือนภัยในบริเวณ 110 เมตรรัศมีโดยรอบ ซึ่งเป็นระยะที่โปรแกรมโอโลซานแนะนำให้ทำการควบคุม และเนื่องจากระยะดังกล่าวเป็นระยะที่ใช้เนื้อที่มากและบางครั้งอาจมีงานซ่อมบำรุง ซึ่งอาจต้องมีกิจกรรมเชื่อม หรือตัดในรัศมีระหว่าง 29 – 110 เมตร ดังนั้นจึงแนะนำให้เพิ่มสัญญาณเตือนภัยในรัศมี 110 เมตร เข้ากับระบบตรวจจับก๊าซรั่ว และ

ทำการแจ้งพนักงานในพื้นที่ทราบว่าเมื่อได้ยินเสียงสัญญาณเตือนภัยก๊าซรั่ว พนักงานทุกคนที่อยู่ในรัศมีที่กำหนด จะต้องหยุดกิจกรรมทั้งหมดที่ก่อให้เกิดประกายไฟ

1.2 ทบทวนแผนสื่อสารในการอพยพกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินขั้นรุนแรงโดยประสานงานกับผู้นำชุมชนและหน่วยงานในพื้นที่และที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งทำงานซ้อมเพื่อทดสอบแผน

1.3 ทบทวนอุปกรณ์ดับเพลิงในการเตรียมรับเหตุ โดยเพิ่มหัวฉีดที่ยึดติดกับที่เพื่อลดความเสี่ยงของบุคลากรทีมฉุกเฉิน ในการเข้าไปประจักษ์เหตุในระยะใกล้

2. การป้องกันเชิงรับ

เป็นการป้องกันในขณะที่เกิดเหตุฉุกเฉินเกิดขึ้น โดยเป็นการเตรียมรับสถานการณ์ที่คาดการณ์ว่าอาจเกิดขึ้น เพื่อดำเนินการวางแผนในการจัดการสถานการณ์ให้เกิดความเสียหายและความสูญเสีย

2.1 ควบคุมการตรวจสอบ ดูแลรักษาอุปกรณ์ของระบบต่าง ๆ ของระบบรับจ่ายก๊าซ

2.2 ดูแล ตรวจสอบระบบป้องกันระบบดับเพลิงตั้งแต่ ป้อนน้ำดับเพลิง ระบบสเปรย์น้ำดับเพลิง อุปกรณ์เตือนภัยก๊าซรั่วอย่างสม่ำเสมอ

2.3 จัดให้มีการซ้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉินขั้นรุนแรง เพื่อสร้างความเข้าใจกับหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.4 ติดตั้งเครื่องวัดทิศทางลมเพื่อวางแผนอพยพได้อย่างทันทั่วทั้งที่ เนื่องจากทิศทางเป็นสิ่งสำคัญของระยะผลกระทบต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้น

ข้อเสนอแนะสำหรับหน่วยงานราชการผู้ดูแล

1. การอนุญาตให้ก่อสร้างถังบรรจุก๊าซที่มีขนาดใหญ่ ควรมีการกำหนดระบบป้องกันการระเบิด

2. ควรมีการกำหนดระยะปลอดภัยต่าง ๆ ในการอนุญาตให้มีการก่อสร้างถังเก็บสารเคมี ที่ก่อให้เกิดการระเบิด ทั้งในส่วนของโรงงานและชุมชนข้างเคียง

ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาโปรแกรม

1. ควรเพิ่มประเภทของสภาพพื้นที่ที่เกิดเหตุไถ่แหล่งน้ำ เพื่อประเมินความรุนแรงของ เหตุการณ์ของสารเคมีที่มีพิษ ที่มีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับน้ำ กรณีที่มีการรั่วไหลผสม กับน้ำ

2. พัฒนาโปรแกรมให้สามารถเชื่อมโยงกับโปรแกรม Google Earth หรือโปรแกรมแผนที่ อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ได้โดยตรง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อเตรียมความพร้อมด้านการตอบโต้เหตุฉุกเฉิน
จากสารเคมี. สารเคมีและของเสียอันตราย. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/haz_cameo.html, 15 สิงหาคม 2549
- กรมธุรกิจพลังงาน. 2549. ความรู้เกี่ยวกับก๊าซปิโตรเลียมเหลว. แหล่งที่มา
http://www.doeb.go.th/dbd/knowledge/lpg_2/lpg_2.htm, 14 สิงหาคม 2549.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม . 2549. การเกิดอุบัติเหตุเพลิงไหม้โรงงานบรรจุ LPG กรณีศึกษาโรงงาน
ห้างหุ้นส่วนจำกัด บ้านนาปิยะแก๊ส จังหวัดสุราษฎร์ธานี. แหล่งที่มา [http://www2.
diw.go.th/safety/pdf/.กรณีศึกษาเพลิงไหม้โรงงานบรรจุก๊าซ.pdf](http://www2.diw.go.th/safety/pdf/.กรณีศึกษาเพลิงไหม้โรงงานบรรจุก๊าซ.pdf), 15 สิงหาคม 2549.
- แดน แสร์สุวรรณ. 2548. การประเมินความรุนแรงของเหตุเพลิงไหม้ถังน้ำมันในคลังน้ำมัน
เชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิธิวัฒน์ วัฒนานนท์กิจ. 2547. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อคำนวณการแพร่กระจาย
ของสารเคมีโดยใช้เส้นชั้นความเสี่ยง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บรรจง นุชน้อง. 2546. การใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในโรงงานอุตสาหกรรม. **Safety Life**.
20: 68-70.
- บุญพงษ์ กิจวัฒนาชัย. ม.ป.ป. ระบบก๊าซแอล พี จี . สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยใน
พระบรมราชูปถัมภ์, ม.ป.ท.
- ปิติ ภควงศ์. 2548. การพัฒนาเครือข่าย และบุคลากร ด้านการป้องกันการจัดการการตอบโต้และ
การรองรับผลกระทบ จากการเกิดอุบัติเหตุฉุกเฉินจากสารเคมี จังหวัดสมุทรปราการ.
วารสาร ส่งเสริมสุขภาพ และอนามัยสิ่งแวดล้อม 28 (2 เม.ย – มิ.ย 48).

ภิญโญ พานิชพันธ์, เอื้อนพร ภู่อึ้ง และ ชีระศักดิ์ พงษ์พานาไกร. 2544. **ความรู้เรื่องไฟ.**
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. กรุงเทพฯ .

ภิตติ บทดกลอน. 2548. **การประเมินความเสี่ยงของคลังเก็บและจำหน่ายน้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซ**
ปิโตรเลียม เหลว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน กระทรวงสวัสดิการและ
แรงงานสังคม . 2543. **ความปลอดภัยเกี่ยวกับการป้องกันการระเบิด.** บริษัท เอสเอ็ม เซอร์
คิเดเพรส จำกัด. กรุงเทพฯ.

สำนักพยากรณ์อากาศ. กรมอุตุนิยมวิทยา.กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร.2550.
สภาวะอากาศของประเทศไทย พ.ศ.2549. แหล่งที่มา: [http://www.tmd.go.th](http://www.tmd.go.th/programs/uploads/yearlySummary/weather2549-1.pdf)
[/programs/uploads/yearlySummary/weather2549-1.pdf](http://www.tmd.go.th/programs/uploads/yearlySummary/weather2549-1.pdf), 10 กุมภาพันธ์ 2550.

สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. Chemical Safety Community of Practice.
2550. **คู่มือการใช้ ALOHA , CAMEO,MARPLOT.** แหล่งที่มา:
<http://geocities.com/cameothai/>, 10 กุมภาพันธ์ 2550.

สุจิต หัทยาสมบุญ . 2547. **การประยุกต์ใช้โปรแกรม Aloha ทำนายการกระจายตัวของสาร**
คลอรีนเหลวเพื่อทำการประเมินผลกระทบของการฟุ้งกระจาย และทำการจัดสร้างแผนงาน
ป้องกันและบรรเทาความเสียหายจากอุบัติเหตุจากการรั่วไหล . วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เฮเลน อารมณดี. 2543. **คู่มือการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการเตรียมพร้อมรับภาวะฉุกเฉิน และ**
การจัดทำแผนตอบโต้ภาวะฉุกเฉิน จาก โปรแกรม Cameo computer aided management
of emergency operation. ศูนย์เทคโนโลยีความปลอดภัย.

Jesse, C. D. 2004. **Tank Farm and(un) Loading Safe Operation.** Sunbury-on-Thames, UK.

Louvar, J.F and B.D Louvar. 1998. **Health and Environment Risk Analysis Fundamentals with Applications**. Prentice Hall, Inc., New Jersey.

Misumi Ryuta.Yokohama National University. 2006. **Pemex LPG BLEVE Explosion** .
Available Source : <http://www.bsk.ynu.ac.jp/~kaminoyamalab/rinri/Case%20Study%204%20-%20Pemex.pdf> , 17 July 2006.

National Fire Protection Association. 2004. **Liquefied Petroleum Gas Code 2004 Edition**. USA.

SIGMA-ALDRICH. 2004. Material Safety Data Sheet. **LPG**. Available Source: <http://www.sigma-aldrich.com>, Jan 10,2007.

U.S.Environmental Protection Agency and National Oceanic And Atmospheric Administration. . 2007. **ALOHA user's manual**. Available Soure: <http://www.cameo.com>, Mar 1, 2007.

Willie Hammer and Dennis Price. 2001. **Occupational Safety Management and Engineering**. Prentice Hall, Inc., New Jersey.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

คู่มือการใช้งาน โปรแกรม Aloha, Marplot และ Google Earth
ผลจากการประมวลผล

คู่มือการใช้งานโปรแกรม ALOHA , MARPLOT และ Google Earth

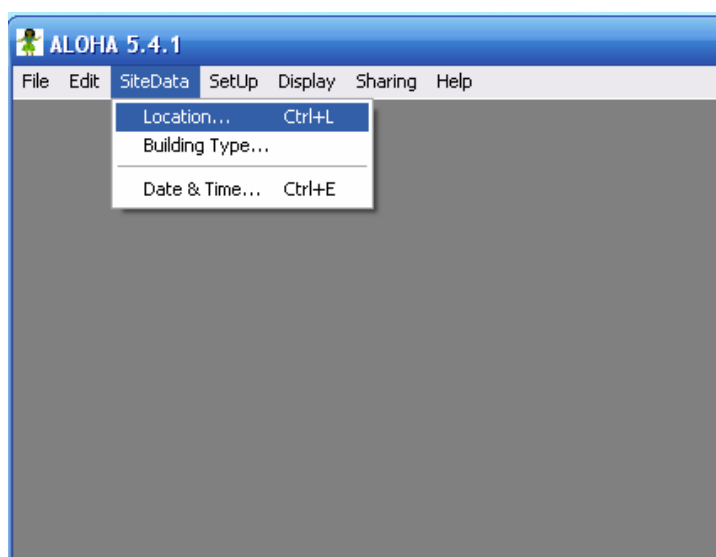
การติดตั้งโปรแกรม Aloha จะต้องติดตั้งค่าที่จำเป็นใน Aloha คือ สถานที่เกิดเหตุ และ สารเคมี ซึ่งสามารถดำเนินการได้ ดังนี้

1. สถานที่เกิดเหตุ

ส่วนของฐานข้อมูลทางด้านสถานที่ ที่มีอยู่ในโปรแกรมจะครอบคลุมทุกเมืองของ สหรัฐ โดย ALOHA จะมีข้อมูลว่าแต่ละเมืองอยู่ในรัฐใด และรัฐนั้นมีสภาพทางภูมิศาสตร์เป็น อย่างไร เช่นความสูงจากระดับน้ำทะเล ค่า Latitude และLongitude ของสถานที่นั้นๆ ในการนำ โปรแกรมมาใช้งานในประเทศไทย ซึ่งไม่มีข้อมูลอยู่ในโปรแกรม จึงจำเป็นต้องใส่ข้อมูลของ ประเทศไทยให้กับโปรแกรม โดยผู้ใช้งานต้องทำการเพิ่มข้อมูลสถานที่ให้กับโปรแกรม ซึ่งทำได้ดังนี้

จากหน้าต่างแรกของโปรแกรม เลือกแถบคำสั่งเมนู (Menu Bar) ซึ่งประกอบไปด้วย คำสั่ง File , Edit , SiteData , SetUp , Display , Sharing , Help

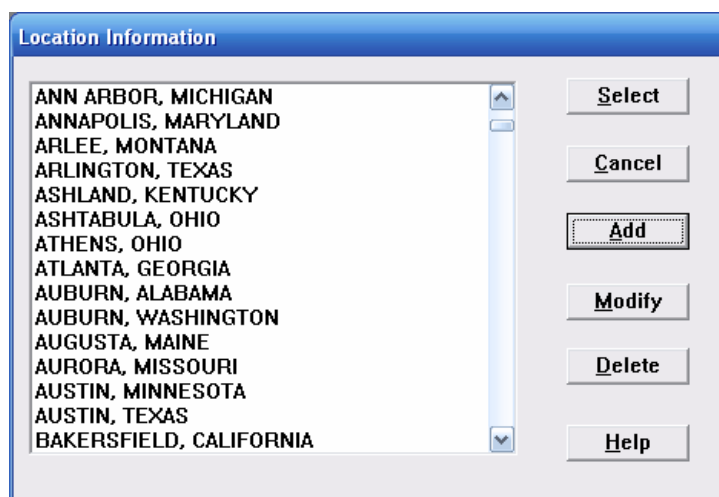
เลือกแถบคำสั่ง SiteData เพื่อทำการเพิ่มสถานที่เกิดเหตุในประเทศไทย ดังแสดงใน ภาพผนวกที่ ก1



ภาพผนวกที่ ก1 แสดงการระบุสถานที่เกิดเหตุ

เลือก Location โปรแกรมจะขึ้นหน้าต่างแสดงเมืองในประเทศสหรัฐฯ แต่เนื่องจากเมืองที่เกิดเหตุไม่ใช่เมืองในประเทศสหรัฐฯ จึงต้องทำการเพิ่มเมือง กรุงเทพฯ

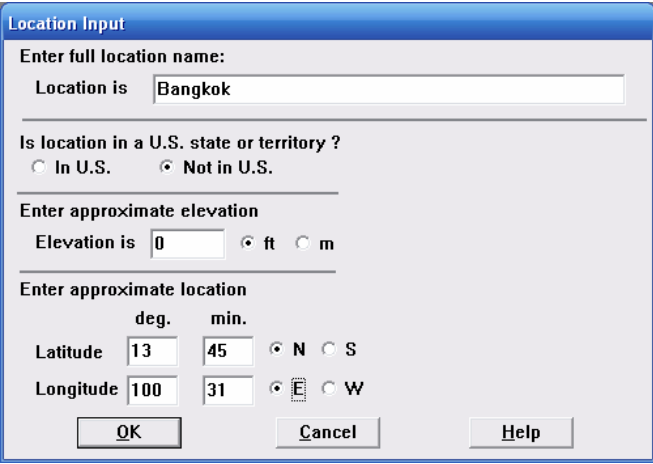
เลือก Add ดังแสดงในภาพผนวกที่ ก2



ภาพผนวกที่ ก2 แสดงการเพิ่มสถานที่นอกจากสถานที่ที่มีในโปรแกรม

โปรแกรมจะปรากฏหน้าต่าง Location Input

ในหน้าต่างนี้ โปรแกรมให้ใส่ สถานที่เกิดเหตุโดยจะมีช่องว่างให้กรอกชื่อเมือง และต้องเลือกว่าเป็นเมืองในสหรัฐ (US) หรือ นอกสหรัฐ (NonUS) ถ้าเลือก US ก็ต้องเลือกรัฐด้วย แต่ถ้าเลือก Non US ช่องชื่อรัฐจะหายไป จากนั้นต้องกรอกความสูงจากระดับน้ำทะเล (Elevation) ค่า Latitude และ Longitude ค่า Latitude และ Longitude อาจค้นหาได้จากแผนที่ประเทศไทย โดยค่า Latitude ของไทยอยู่ที่ประมาณ 12 North และ Longitude อยู่ที่ประมาณ 100 East แล้วกดปุ่ม OK ในที่นี้ กรอกข้อมูลกรุงเทพให้กับโปรแกรม ตามภาพผนวกที่ ก3



Location Input

Enter full location name:
Location is

Is location in a U.S. state or territory ?
☐ In U.S. ☒ Not in U.S.

Enter approximate elevation
 Elevation is ☒ ft ☐ m

Enter approximate location

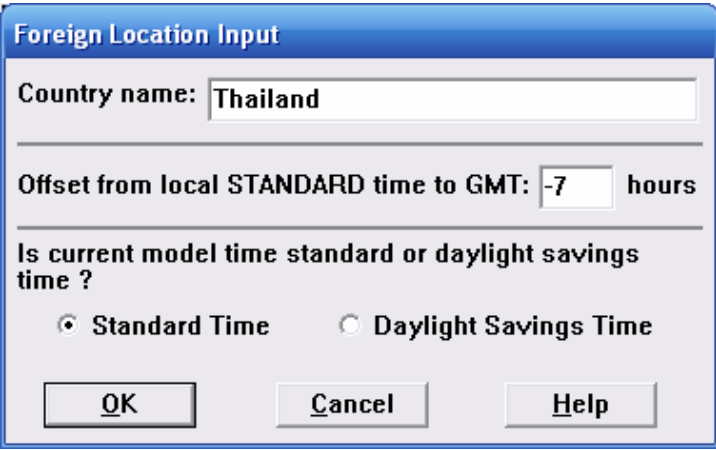
	deg.	min.	
Latitude	13	45	☒ N ☐ S
Longitude	100	31	☒ E ☐ W

OK Cancel Help

ภาพผนวกที่ ก3 แสดงการใส่สถานที่ที่เกิดเหตุ

หน้าต่างต่อไป โปรแกรมจะให้ผู้ใช้เลือกประเทศและเวลา โดยเวลาที่ใส่ จะเป็นค่าเวลาที่แตกต่างจาก GMT (Greenwich Mean Time) ของประเทศไทยจะต้องใส่ค่าติดลบ 7 ดังแสดงการใส่ค่าดังภาพผนวกที่ ก4 กด OK เมื่อใส่ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

เมื่อใส่ข้อมูลสถานที่ที่เกิดเหตุเรียบร้อยแล้ว กลับไปเลือกแถบคำสั่ง SiteData เลือก Location หน้าต่าง Location Information จะปรากฏ เมืองที่เพิ่มเข้าไป คือ Bangkok,Thailand เลือกสถานที่ที่เกิดเหตุ โดยการเลือกเมืองที่ต้องการ กดคำสั่ง Select โปรแกรมจะรันคำสั่งเข้าสู่ Text Summary แสดงข้อมูล Site data ดังภาพผนวกที่ ก5



Foreign Location Input

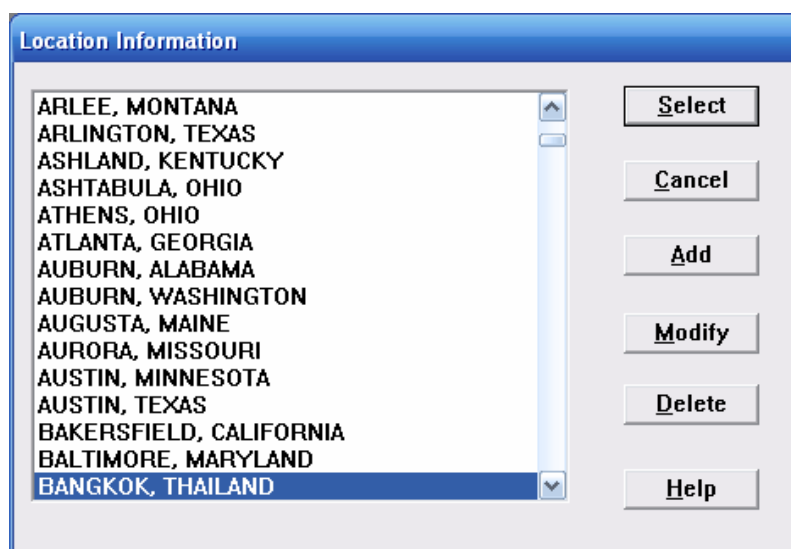
Country name:

Offset from local STANDARD time to GMT: hours

Is current model time standard or daylight savings time ?
☒ Standard Time ☐ Daylight Savings Time

OK Cancel Help

ภาพผนวกที่ ก4 แสดงการระบุชื่อเมือง และเวลาที่แตกต่างของสถานที่ที่เกิดเหตุ



ภาพผนวกที่ ก5 แสดงข้อมูลสถานที่ที่เพิ่มเข้าไป

การระบุสถานที่ที่ได้รับผลกระทบ

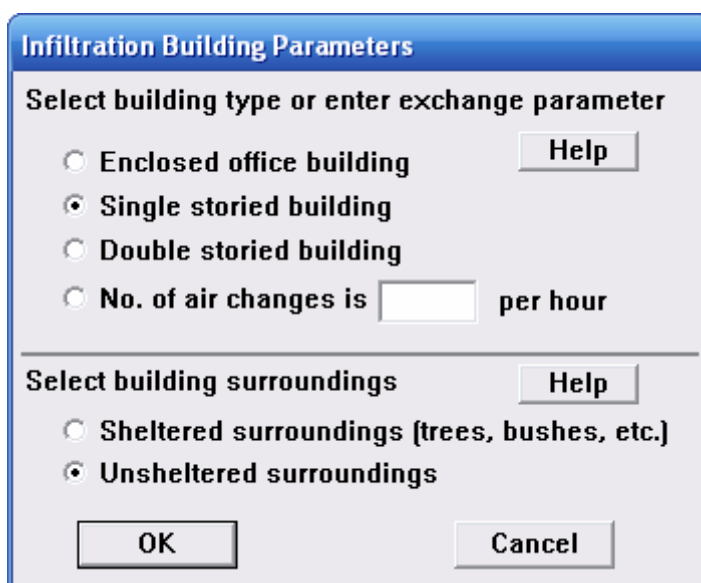
เลือกแถบคำสั่ง SiteData เลือก Building Type จะเข้าสู่หน้าต่าง “Infiltration Building Parameter” ดังแสดงในภาพผนวก ที่ 6k โปรแกรมให้เลือกชนิดของอาคารที่เป็น “เหยื่อของ อุบัติภัย” ไม่ใช่อาคารที่เกิดการรั่วไหลของสารเคมี โดยโปรแกรมมีลักษณะอาคารที่อยู่ใกล้เคียงที่เกิดเหตุ ดังนี้

อาคารปิดทึบ (Enclosed Office Building)

อาคารชั้นเดียว (Single Storied Building)

อาคารสองชั้น (Double Storied Building)

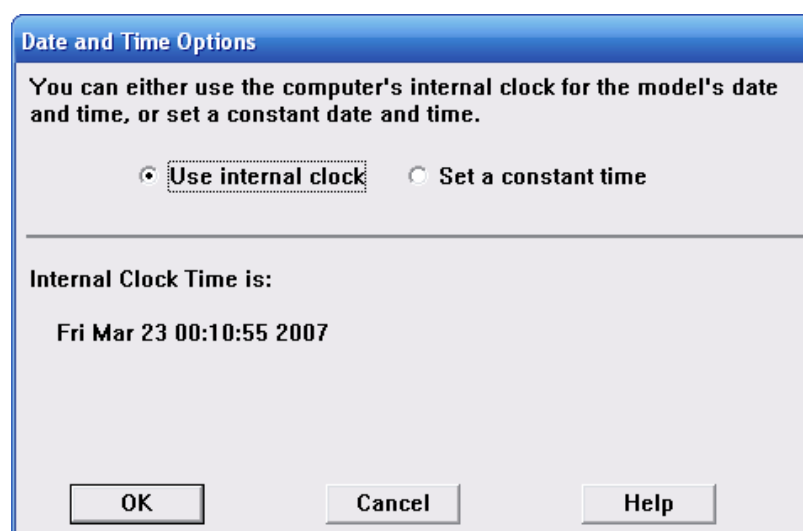
ถ้าผู้ใช้ทราบค่าอัตราการถ่ายเทอากาศโปรแกรมอนุญาตให้ใส่ค่าได้ (No. of air change is) โดยอัตราการถ่ายเทอากาศ หมายถึง ปริมาตรอากาศภายใน 1 ชั่วโมง โดยมีหน่วยเป็น เท่าของปริมาตรอาคาร เช่น อาคารขนาด 250 ลูกบาศก์เมตร อัตราการถ่ายเทอากาศชั่วโมงละ 750 ลูกบาศก์เมตร ใส่ค่าอัตราการถ่ายเทอากาศเป็น 3



ภาพผนวกที่ ก6 แสดงการเลือกลักษณะอาคารข้างเคียงที่เกิดเหตุ

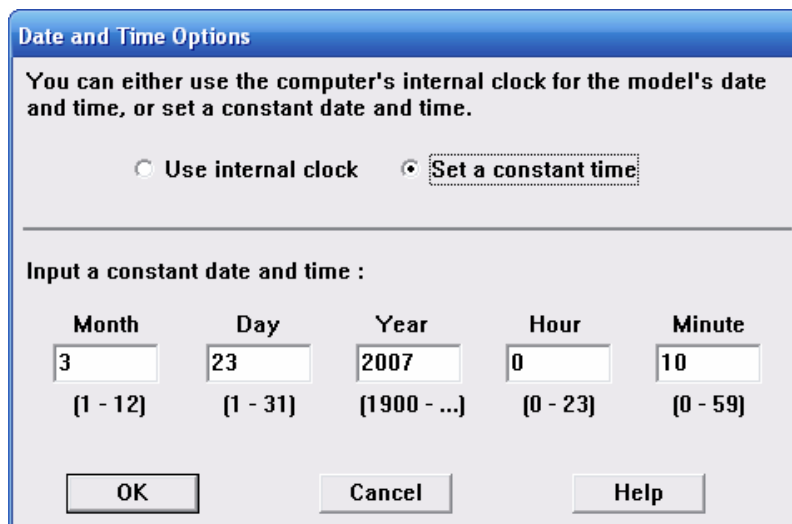
การระบุเวลาที่เกิดเหตุ

การระบุเวลาที่เกิดเหตุ ผู้ใช้สามารถระบุช่วงเวลาที่เกิดเหตุได้ โดยสามารถเลือกได้ว่าจะใช้เวลาที่เกิดเหตุจากเวลาที่ทำนายตามเวลาเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือ ผู้ใช้จะกำหนดเวลาเองได้ โดยเลือกแถบคำสั่ง Sitedata เลือก Date &Time โปรแกรมจะแสดงหน้าต่าง Date and Time Potion ตามภาพผนวกที่ ก7



ภาพผนวกที่ ก7 แสดงหน้าต่างการระบุวันที่และเวลาที่เกิดเหตุตามเครื่องคอมพิวเตอร์

หากผู้ใช้ต้องการกำหนดค่าเวลาเอง สามารถทำได้โดยเลือก ตามภาพผนวกที่ ก 8



Date and Time Options

You can either use the computer's internal clock for the model's date and time, or set a constant date and time.

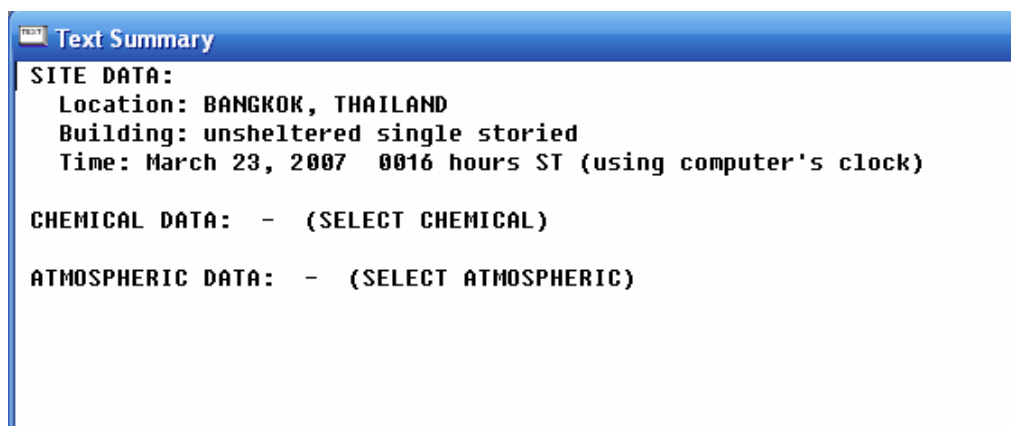
☐ Use internal clock
 ☒ **Set a constant time**

Input a constant date and time :

Month	Day	Year	Hour	Minute
3	23	2007	0	10
(1 - 12)	(1 - 31)	(1900 - ...)	(0 - 23)	(0 - 59)

ภาพผนวกที่ ก8 หน้าต่างการระบุวันที่และเวลาที่เกิดเหตุที่ผู้ใช้กำหนดเอง

โปรแกรมจะรันข้อมูลโดยจะแสดงข้อมูลที่ผู้ใช้ใส่ ในหน้าต่าง text summary ดังแสดงในภาพผนวกที่ ก9



Text Summary

SITE DATA:
 Location: BANGKOK, THAILAND
 Building: unsheltered single storied
 Time: March 23, 2007 0016 hours ST (using computer's clock)

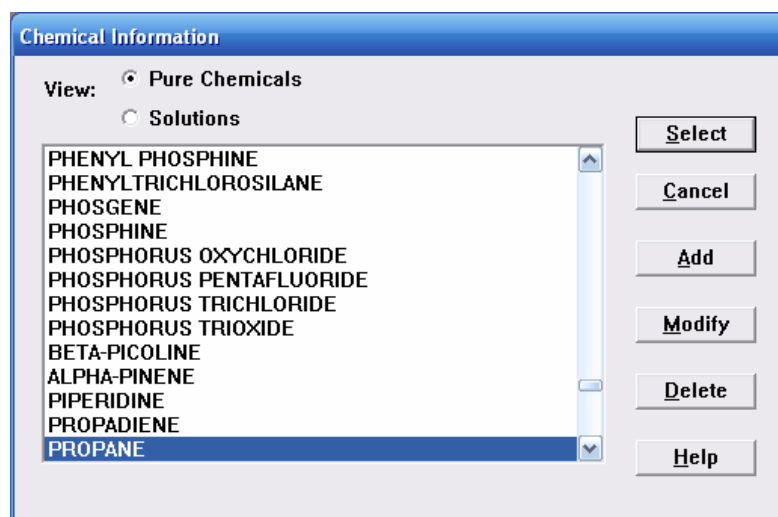
CHEMICAL DATA: - (SELECT CHEMICAL)

ATMOSPHERIC DATA: - (SELECT ATMOSPHERIC)

ภาพผนวกที่ ก9 แสดง Text Summary ข้อมูลที่ระบุไว้

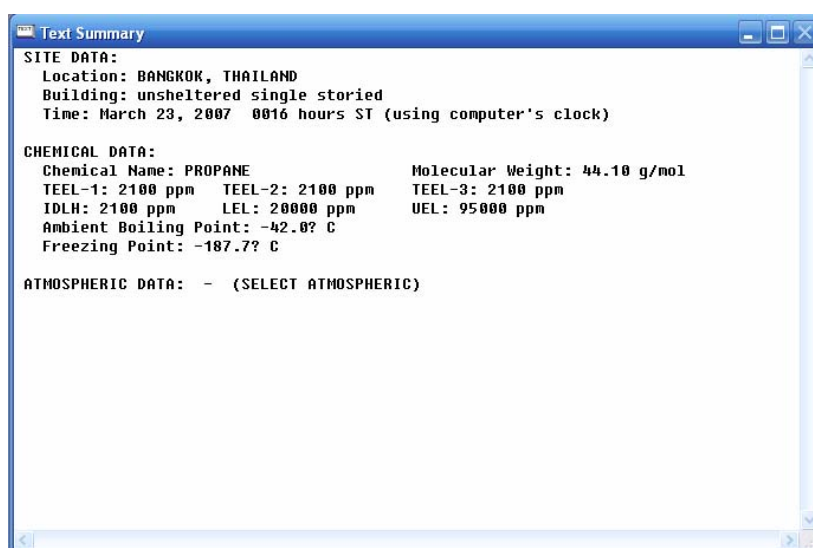
2. การกำหนดสารเคมี

การเลือกสารเคมีที่ไปที่แถบคำสั่ง Setup เลือก Chemical ดังแสดงในภาพผนวกที่ 10 ก
ในงานวิจัยนี้เลือก Propane



ภาพผนวกที่ 10 แสดงการเลือกสารเคมี

หลังจากที่เลือกโปรแกรมจะแสดงข้อมูลของสารเคมีที่เลือก ดังนี้ในภาพผนวกที่ 11ก



ภาพผนวกที่ 11 แสดงข้อมูลสารเคมีในรูปแบบข้อมูล

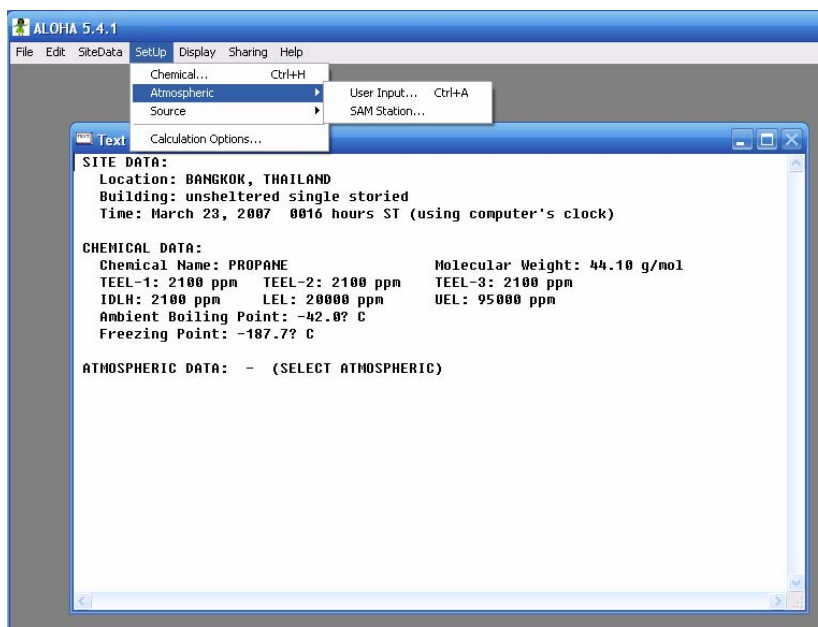
3. กำหนดสภาพภูมิอากาศ

ข้อมูลสำหรับใส่ในโปรแกรมด้านภูมิอากาศ เช่น ความเร็วลม ความชื้น จากสองแหล่ง
คือ

- 3.1 จากการวัดโดยใช้เครื่องมือต่างๆ ซึ่งผู้ใช้งานจะต้องอ่านผลแล้วนำมากรอกด้วยตัวเอง (User Input) ทำได้จาก Menu SetUp ☐ Atmospheric ☐ User Input เมื่อเราเลือกจะได้หน้าต่าง “Atmospheric Option” เปิดขึ้น ในหน้าต่างนี้จะมีช่องให้กรอกข้อความดังนี้ (ภาพผนวก 12ก)
- 3.2. โดยการใช้เครื่องมืออัตโนมัติ เครื่องมือนี้สามารถต่อเข้ากับ Port ขนานของคอมพิวเตอร์ ทำให้ ALOHAสามารถรับข้อมูลได้โดยตรง แต่ในที่นี้จะไม่กล่าวถึงการใช้เครื่อง SAM

ส่วนประกอบของหน้าต่าง Atmospheric Options

Wind Speed is: (ความเร็วลม) ผู้ใช้ต้องใส่ความเร็วลมที่วัดได้จากเครื่องวัดลงไป แต่ไม่ควรใส่เกิน 106.57 miles/ชั่วโมง ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดที่โปรแกรมยอมรับ ถ้าไม่มีเครื่องวัดอาจจะใช้ตารางที่ 10 ช่วยประเมินความเร็วลมได้



ภาพผนวกที่ ก12 แสดงการเลือกหน้าต่างในการใส่ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

Atmospheric Options 2

Air Temperature is : Degrees ☐ F ☒ C

Stability Class is : ☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E ☐ F

Inversion Height Options are :

☒ No Inversion ☐ Inversion Present, Height is : ☒ feet ☐ meters

Select Humidity :

☒  ☐  ☐  ☐ OR ☐ enter value : %

wet medium dry (0 - 100)

ภาพผนวกที่ ก13 แสดงหน้าต่างที่ใส่ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

Wind is from ให้ใส่ทิศทางลมที่พัดเข้ามาสู่แหล่งกำเนิดก๊าซ โดยอาจใส่ได้สองแบบคือ

- ใส่เป็นตัวอักษร เช่น ตะวันออกคือ “E” ตะวันตกคือ “W” ใต้คือ “S” เป็นต้น ถ้าหากทิศอื่นๆ ก็เอาคำเหล่านี้มาประกอบกัน เช่น ตะวันตกเฉียงใต้ คือ “SW” แต่จะใส่ว่า “WS” ไม่ได้ (จะต้องใส่ทิศเหนือหรือได้ก่อนทิศตะวันออกหรือตะวันตก) ถ้าทิศที่อยู่ระหว่าง SW กับ S ให้ใส่ SWS หรือถ้าทิศนั้นอยู่ระหว่าง SE กับทิศตะวันออก ก็ให้ใส่ว่า ESE เหมือนเช่นในตัวอย่าง

- ใส่เป็น Degrees True คือมุมที่ทิศทางลมพัดมาเป็นองศา เช่นจากเหนือลงใต้ใส่ 0 องศา จากตะวันตกไปตะวันออกใส่ 90 องศา เป็นต้น ดังแสดงภาพทิศทางลมที่ 17

รายละเอียดของทิศและมุมมีดังนี้

N = 0 degrees or 360 degrees

NNE = 22.5 degrees

NE = 45 degrees

ENE = 67.5 degrees

E = 90 degrees

ESE = 112.5

SE = 135 degrees

SSE = 157.5 degrees

S = 180 degrees

SSW = 202.5 degrees

SW = 225 degrees

WSW = 247.5 degrees

W = 270 degrees

WNW = 292.5 degrees

NW = 315 degrees

NNW = 337.5 degrees

Ground Roughness is: (ความระเกะระกะของพื้นที่) มีสองแบบคือ Open Country คือพื้นที่โล่งๆ มีเฉพาะต้นไม้เตี้ยๆ หรือเป็นทุ่งหญ้า แบบ Urban or Forest คือมีต้นไม้ใหญ่หรืออาคารอยู่ทั่วไป นอกจากนี้ถ้าเรารู้ค่าความรก ก็สามารถใส่ลงไปในช่วง Input Roughness ได้

Select Cloud Cover: (ปริมาณเมฆ) วิธีที่ดีที่สุดคือให้เลือกตามภาพ เช่นเมฆทึบมากให้เลือก complete cover ถ้าแค่จัดให้เลือก clear การเลือกให้ Click ที่ปุ่มข้างใต้ภาพ

นอกจากนี้ยังมีปุ่มที่อยู่ตรงระหว่างภาพให้เลือกอีกในกรณีที่สภาพเมฆในตอนนั้นอยู่กลางๆ ระหว่างสองภาพเช่นเมฆน่าจะอยู่ระหว่าง partly cloudy กับ clear

ถ้าต้องการใส่เป็นตัวเลข ให้ใส่ตัวเลขจำนวนเต็มระหว่าง 0 — 10 10 คือระดับที่มีเมฆปกคลุมสูงสุด ALOHA ต้องการค่า Cloud Cover เพราะต้องนำไปใช้ในการคำนวณการระเหยของสารเคมีซึ่งแปรผันไปตามปริมาณแสงแดดที่ส่องผ่านเมฆลงมา โดยเฉพาะสารเคมีที่กระจายออกมาในแบบ Paddle คือเป็นของเหลวไหลนองออกมาก่อนจะระเหยเมื่อใส่ข้อมูลครบแล้วให้กด OK ก็จะเป็นการปิดหน้าต่าง Atmospheric Options ไป และเข้าสู่หน้าต่างที่สอง (Atmospheric Options 2) ถ้าเราใส่ข้อมูลไม่ครบจะมีหน้าต่างเตือนให้กลับไปใส่ใหม่ ให้พยายามอ่านข้อความที่ปรากฏขึ้นให้ดีๆ เช่นอาจลืมใส่ข้อมูลความเร็วลมหรือทิศทางลม เป็นต้น

การเลือกแหล่งรั่วไหล

จาก Menu SetUp Source เมื่อเรา Click ที่ Menu นี้ก็จะเข้าสู่ช่วงของการใส่ข้อมูลแหล่งของการรั่วไหลซึ่งเป็นข้อมูลช่วงสุดท้ายที่จะต้องกรอก โดยจะมี Menu ย่อยเกิดขึ้นเพื่อให้เลือกชนิดของแหล่งแพร่กระจายเช่น Direct, Puddle, Tank, Pipe

- **Direct** หมายถึงการกระจายโดยตรง และเรารู้ปริมาณของสารที่กำลังกระจายอย่างแน่ชัด
- **Puddle** หมายถึงการกระจายของสารเคมีในแบบไหลนองกับพื้น
- **Tank** หมายถึงการกระจายจากถัง ไม่ว่าแบบทรงกระบอก หรือแบบทรงกลม
- **Pipe** หมายถึงการรั่วออกจากท่อ ไม่ว่าท่อนั้นจะออกจากถังหรือเป็นท่อตัน

ถ้าเลือก Tank

จะเข้าสู่ หน้าต่าง “Tank Size and Orientation” ซึ่งหน้าต่างนี้แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ Select tanktype and orientation: ซึ่งมีสามแบบคือ ถังนอน(Horizontal cylinder), ถังตั้ง(Vertical cylinder), และถังทรงกลม(Sphere) ให้เลือกโดย Click ที่ปุ่มเล็กๆ ได้ภาพท่อนั้นคือท่อนั้นที่ติดกับผนังของ Tank แต่ต้องยาวเกิน 10 ซม.จากนั้นให้กด OK จะเข้าสู่หน้าจอที่เรียกว่า “Height of the tank opening” ซึ่งทางซ้ายจะมีภาพแสดงระดับของของเหลวในถัง ผู้ใช้มีหน้าที่ต้องระบุว่ารั่วอยู่ตรงที่ใดเทียบกับผิวของของเหลว (คืออยู่ใต้ระดับของเหลว หรืออยู่เหนือผิวของเหลว คือในช่วงที่เป็นก๊าซ) ผู้ใช้สามารถที่จะเลื่อนแถบเลื่อนที่อยู่ตรงกลางภาพขึ้นลงได้โดยที่ตัวเลขต่างๆ จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จากนั้นให้กด OK

ผู้ใช้อาจจะเข้าสู่หน้าต่างของ “Puddle Parameter” ถ้าหาก ALOHA เชื่อว่าเมื่อสารชนิดนี้ตกลงไปที่พื้นจะก่อตัวเป็น Puddle ก่อนแล้วจึงค่อยระเหยไป แต่บางครั้งก็ไม่เข้าหน้าจอนี้ถ้า ALOHA เชื่อว่าสารเคมีจะรั่วออกมาในสภาพของก๊าซ (ผู้ใช้ ALOHA จะต้องคำนึงว่า ALOHA เป็นโปรแกรมประเภท Expert System ดังนั้น หน้าจอที่ขึ้นมาให้ผู้ใช้ดูในแต่ละครั้งอาจไม่เหมือนกันแล้วแต่ข้อมูลที่ใส่ลงไป)หน้าจอ Puddle Parameter นี้จะต่างจากกรณีที่เราเข้า Menu Puddle ในกรณีที่เลือกการรั่วไหลเป็นPuddle ตั้งแต่แรก เล็กน้อยและจะประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

- ชนิดของพื้น (Select ground type) default/concrete/sandy/moist
- อุณหภูมิของพื้น (Input ground temperature) ซึ่งอาจจะใช้อุณหภูมิเดียวกับอากาศ (Use air temperature) หรือใส่โดยตรง (Ground temperature isdeg)
- บริเวณที่กว้างที่สุดของการไหลนอง (Maximum Puddle diameter or area)
unknown/maximum diameter/maximum area

เมื่อเราเลือก OK ก็จะเป็นการสิ้นสุดการ Input ข้อมูล

ถ้าตอนแรกผู้ใช้เลือก Tanks contains gas only ผู้ใช้จะพบว่า ALOHA จะพยายามบังคับให้เราใส่อุณหภูมิการเก็บให้เหมาะสมกับการที่สารอยู่ในสภาพก๊าซ คือต้องอยู่ในอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเดือดของมัน เมื่อเราคลิก OK เราจะได้หน้าต่างอีกบานหนึ่งคือ หน้าต่าง “Mass or pressure of gas” ซึ่งมีส่วนประกอบของหน้าต่างดังนี้

- ใส่จำนวนก๊าซหรือแรงดันในถัง (Enter either tank pressure or amount of gas)
โดยเราต้องใส่แรงดันให้เหมาะสม และเลือกหน่วยวัดซึ่งอาจเป็น มิลลิเมตรปรอท (mmHG), บรรยากาศ (atm), ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi), และ Pa
- น้ำหนักของก๊าซ ถ้าเราไม่ใส่แรงดันก๊าซก็ต้องใส่น้ำหนักของก๊าซในส่วนล่างของหน้าต่าง (มีหน่วยเป็นปอนด์ ตัน ฯลฯ)

การใส่แรงดันก๊าซหรือน้ำหนักก๊าซนี้ต้องใส่ให้เหมาะสม มิฉะนั้นเมื่อกด OK ALOHA อาจเตือนว่าในสภาพที่ผู้ใช้กำหนดนั้นสารเคมีอาจไม่อยู่ในสภาพก๊าซ เช่นมีแรงดันสูงเกินไปทำให้ก๊าซกลายเป็นของเหลว ผู้ใช้ควรอ่านคำเตือนของ ALOHA ให้ละเอียดและปรับค่าแรงดันให้เหมาะสม หลังจากนั้นผู้ใช้ต้องมาใส่ข้อมูลในช่วงล่างที่ชื่อว่า “Enter two of three values:” ถ้าเลือกถึงทรงกระบอกชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือ “Enter one of two values:” ถ้าเลือกถึงทรงกลม เวลาผู้ใส่กรอกข้อมูลบางส่วนลงไป ส่วนที่เหลือจะถูกคำนวณโดยอัตโนมัติ เช่นในกรณีของถังทรงกระบอก ถ้าเรากรอกเส้นผ่าศูนย์กลาง (Diameter) ลงไป และใส่ปริมาตรของถัง มันจะคำนวณความยาวให้

โดยอัตโนมัติจากนั้นให้กดปุ่ม OK ซึ่งจะทำให้เข้าสู่หน้าจอถัดไปที่ชื่อว่า “Chemical State and Temperature” หน้าจอส่วนแรกจะชื่อว่า “Enter state of the chemical:” ซึ่งมีสามแบบคือ

- Tanks contains liquid ให้เลือกปุ่มนี้ ถ้าใน Tank มีของเหลวแม้แต่เพียงเล็กน้อย

- Tanks contains gas only ถ้าใน Tank มีแต่ก๊าซ

- Unknown ถ้าไม่ทราบ (ผู้เรียบเรียงคิดว่าโดยทั่วไปน่าจะเลือกหัวข้อนี้ เพราะ ALOHA สามารถตัดสินใจได้ว่าจากอุณหภูมิ และแรงดันหนึ่งๆ สารนั้นจะอยู่ในสภาพของเหลวหรือก๊าซ) หน้าจอส่วนล่างจะเป็นเรื่องของอุณหภูมิของ Tank คือ

- Chemical stored at ambient temperature อุณหภูมิปกติ (68 ฟาเรนไฮต์)

- หรือกรอกอุณหภูมิเอง (Chemical stored atdegrees) จากนั้นให้กด OK

ถ้าเราเลือก Tanks contains liquid เราก็จะเข้าสู่หน้าจอที่เรียกว่า “Liquid Mass or Volume” ซึ่งหน้าจอส่วนนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกจะให้ใส่น้ำหนักหรือปริมาตรของสาร (Enter the mass in the tank OR volume of the liquid) ให้เติมจำนวนลงในช่องที่เขียนว่า The mass in the tank is..... วิธีที่ดียิ่งวิธีหนึ่งคือเลือกจากส่วนล่างของหน้าจอ โดยผู้ใช้จะเห็นแถบเลื่อนอยู่ตรงกลาง ให้ใช้ Mouse กดที่ส่วนที่เลื่อนได้ ของแถบเลื่อนแล้วลากขึ้นลง จะเห็นว่าตัวเลขต่างๆ จะเปลี่ยนไปและขีดที่อยู่ในภาพของถังก็จะเปลี่ยนไปด้วย (ขีดนี้คือผิวบนของสารในส่วนที่เป็นของเหลว)

เราจะเข้าสู่หน้าจอที่เรียกว่า “Area and Type of Leak” ซึ่งจะกล่าวถึงรูรั่วที่ถัง หน้าจอนี้จะแบ่งเป็นสามส่วน ส่วนแรกจะกล่าวถึงรูปร่างของรอยรั่วที่ถังว่าเป็นวงกลม (Circular Opening) หรือสี่เหลี่ยม (Rectangular Opening) แถบสำหรับเลื่อน หน้าจอในส่วนที่สองจะกล่าวถึงขนาดของรอยรั่ว เช่นถ้าตอนแรกเราเลือกวงกลม ก็จะมีช่องให้เติมเส้นผ่าศูนย์กลางของรูรั่ว หรือถ้าตอนแรกเลือกรอยรั่วแบบสี่เหลี่ยม เราก็จะต้องใส่ค่าความกว้างและความยาวเป็นต้น

หน้าจอในส่วนที่สามจะถามว่ารอยรั่วนั้นเกิดที่ผนัง Tank โดยตรง (Hole) หรือท่อสั้น (Shortpipe/valve) ท่อสั้นคือท่อสั้นที่ติดกับผนังของ Tank แต่ต้องยาวเกิน 10 ซม.

จากนั้นให้กด OK จะเข้าสู่หน้าจอที่เรียกว่า “Height of the tank opening” ซึ่งทางซ้ายจะมีภาพแสดงระดับของของเหลวในถัง ผู้ใช้มีหน้าที่ต้องระบุว่ารูอยู่ตรงที่ใดเทียบกับผิวของของเหลว (คืออยู่ใต้ระดับของเหลว หรืออยู่เหนือผิวของเหลว คือในช่วงที่เป็นก๊าซ) ผู้ใช้สามารถที่จะเลื่อนแถบเลื่อนที่อยู่ตรงกลางภาพขึ้นลงได้โดยที่ตัวเลขต่างๆ จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จากนั้นให้กด OK ผู้ใช้จะเข้าสู่หน้าต่างของ “Puddle Parameter” ถ้าหาก ALOHA เชื่อว่าเมื่อสารชนิดนี้ตกลงไปที่พื้นจะก่อตัวเป็น Puddle ก่อนแล้วจึงค่อยระเหยไป แต่บางครั้งก็ไม่เข้าหน้าจอนี้ ถ้า ALOHA เชื่อว่าสารเคมีจะรั่วออกมาในสภาพของก๊าซ (ผู้ใช้ ALOHA จะต้องคำนึงว่า ALOHA เป็นโปรแกรมประเภท Expert System ดังนั้นหน้าจอที่ขึ้นมาให้ผู้ใช้ดูในแต่ละครั้งอาจไม่เหมือนกันแล้วแต่ข้อมูลที่ใส่ลงไป) หน้าจอ Puddle Parameter นี้จะต่างจากกรณีที่เข้า Menu Puddle ในกรณีที่เลือกการรั่วไหลเป็น Puddle ตั้งแต่แรก เล็กน้อยและจะประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

- ชนิดของพื้น (Select ground type) default/concrete/sandy/moist

- อุณหภูมิของพื้น (Input ground temperature) ซึ่งอาจจะใช้อุณหภูมิเดียวกับอากาศ (Use air temperature) หรือใส่โดยตรง (Ground temperature is . . .deg)

- บริเวณที่กว้างที่สุดของการไหลนอง (Maximum Puddle diameter or area)
unknown/maximum diameter/maximum area

เมื่อเราเลือก OK ก็จะเป็นการสิ้นสุดการ Input ข้อมูล

ถ้าตอนแรกผู้ใช้เลือก Tanks contains gas only ผู้ใช้จะพบว่า ALOHA จะพยายามบังคับให้เราใส่อุณหภูมิการเก็บให้เหมาะสมกับการที่สารอยู่ในสภาพก๊าซ คือต้องอยู่ในอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเดือดของมันเมื่อเรากดปุ่ม OK เราจะได้หน้าต่างอีกบานหนึ่งคือ หน้าต่าง “Mass or pressure of gas” ซึ่งมีส่วนประกอบของหน้าต่างดังนี้

- ใส่จำนวนก๊าซหรือแรงดันในถัง (Enter either tank pressure or amount of gas)
โดยเราต้องใส่แรงดันให้เหมาะสม และเลือกหน่วยวัดซึ่งอาจเป็น มิลลิเมตรปรอท (mmHG), บรรยากาศ (atm), ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi), และ Pa

- น้ำหนักของก๊าซถ้าเราไม่ใส่แรงดันก๊าซก็ต้องใส่น้ำหนักของก๊าซในส่วนล่างของหน้าต่าง (มีหน่วยเป็นปอนด์ ตัน ฯลฯ) การใส่ 3649 . แรงดันก๊าซหรือน้ำหนักก๊าซนี้ต้องใส่ให้เหมาะสม มิฉะนั้นเมื่อกด OK ALOHA อาจเตือนว่าในสภาพที่ผู้ใช้กำหนดนั้นสารเคมีอาจไม่อยู่ในสภาพก๊าซ เช่นมีแรงดันสูงเกินไปทำให้ก๊าซกลายเป็นของเหลว ผู้ใช้ควรอ่านคำเตือนของ ALOHA ให้ละเอียด และปรับค่าแรงดันให้เหมาะสม

ในกรณีที่เรารู้แน่ชัดว่าสารนั้นอยู่ในฐานะเป็นก๊าซ หรือของเหลวให้เลือก Unknown

(ALOHA จะคำนวณให้เองโดยดูจากน้ำหนักของสารเคมีและขนาดถัง แรงดัน และ อุณหภูมิ) ที่หน้าจอ “Chemical state and temperature” ให้เลือก Unknown แล้วกด OK จะได้ หน้าต่างชื่อ “Mass of chemical in tank” ซึ่งสิ่งมีช่องให้กรอกข้อความเพียงช่องเดียวคือ “The amount of chemicals in.....” ให้เราใส่น้ำหนักของสารนั้นลงไป ซึ่งควรจะเหมาะสมกับขนาดของ ถังด้วย จากนั้นให้กด OK ซึ่ง ALOHA มักหยุดทักว่าในสภาพที่กำหนดนี้สารอาจมีสภาพเป็น ของเหลว หรือก๊าซแล้วแต่กรณีจากนั้นเราก็จะเข้าสู่หน้าจอที่เรียกว่า “Area and Type of Leak” และ หน้าจอถัดๆ ไป เหมือนกับในกรณีที่เลือกว่า Tank Contains Liquid ทุกประการ

ถ้าเราเลือก Pipe จาก Menu Setup - Source - Pipe เราจะได้หน้าจอ Pipe Input ซึ่ง ประกอบด้วยสิ่งที่น่าสนใจคือ เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (Input pipe diameter) ความยาวของท่อ Input pipe length และส่วนต่อมาจะถามว่าท่อด้านที่ยังติดอยู่ต่อกับถัง (Connected to infinite tank source) หรือปิดอยู่ และส่วนสุดท้ายคือถามความขรุขระของผิวถึง Smooth pipe/Rough pipe จากนั้น ให้กด OK เราจะเข้าสู่หน้าจอ “Pipe Pressure and Hole size) ซึ่งเราจะต้องใส่ข้อมูลเกี่ยวกับแรงดัน ในท่อ (Input pipe pressure), อุณหภูมิ (Input pipe temperature) ส่วนขนาดของรูทะลุที่ท่อนี้จะ เท่ากับขนาดท่อพอดี เมื่อเรากด OK ก็เป็นอันว่าจบการกรอกข้อมูล

Menu SetUp - Computational

จะเข้าสู่หน้าต่าง “Computational Preference” ซึ่งในส่วนบนมีตัวเลือกสามตัวคือ ให้โปรแกรมตัดสินใจ (Let model decide) ซึ่งเป็นค่า Default ในกรณีที่ผู้ใช้ไม่แน่ใจว่าจะใช้ Model แบบใด

- ใช้การกระจายแบบ Gaussian (Gaussian dispersion only) ใช้ในกรณีที่เรารับว่ากลุ่มก๊าซมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับอากาศ

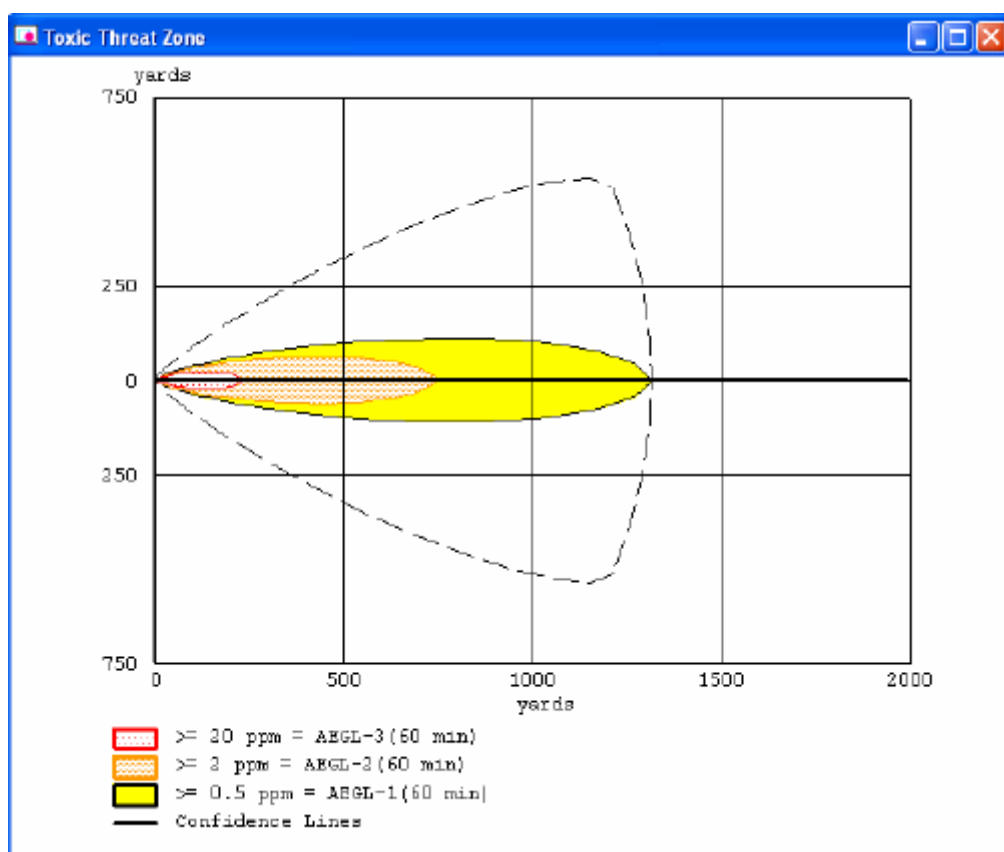
- ใช้การกระจายแบบก๊าซหนัก (Heavy gas dispersion only) ใช้ในกรณีที่เรารับว่ากลุ่มก๊าซมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศในส่วนล่างของหน้าต่างจะเป็นการกำหนดสูตรที่ใช้ในการคำนวณ Dose ที่บุคคลจะได้รับ จากนั้นให้กด OK Menu ที่อาจใช้ประโยชน์ได้อีกส่วนหนึ่งคือ Display -----Options เราสามารถ Set ค่าของ IDLH ของสารเคมีในการคำนวณแต่ละครั้งได้ ในกรณีที่

- ค่า IDLH ของสารเคมีนั้นไม่มีใน ALOHA

- ค่า IDLH ของสารเคมีนั้นมีการเปลี่ยนแปลง ตามกลุ่มประชากร เช่นในเด็กอาจมี IDLH ต่ำกว่าผู้ใหญ่ นอกจากนี้เรายังสามารถตั้งค่าหน่วยวัดได้ด้วยว่าจะใช้ระบบอังกฤษ (ฟุต ปอนด์ หลา) หรือระบบเมตริก (เมตร กิโลกรัม)

ส่วนของ Menu ที่เกี่ยวกับการแสดงผล

Menu Display -Footprint จะแสดงสิ่งที่เรียกว่า Footprint ซึ่งก็คือกราฟที่วาดขึ้นเพื่อแสดงบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงที่จะได้รับสารเคมีในระดับที่เกิน LOC (Level of Concern) โดยรูปร่างของ Footprint มักเป็นทางยาวตามกระแสลม(บริเวณที่แรงๆ) รอบๆ Footprint จะเป็นบริเวณที่แสดงด้วยเส้นประ (Wind Confidence Line)ถือว่าเป็นบริเวณที่สารเคมีอาจจะกระจายได้ตามกระแสลมที่แปรเปลี่ยน โดยประมาณว่าอย่างน้อย 95เปอร์เซ็นต์ของการกระจายจะต้องอยู่ภายในเส้นประเท่านั้น



ภาพผนวกที่ ก14 แสดง Footprint

การ Save ผลจากการทำงานของโปรแกรม

เราสามารถ Save ได้สองแบบคือ แบบ SPY และแบบ ALOHA

การ Save แบบ Spy

เป็นการ Save แบบที่นำมาแสดงผลได้ใหม่และพิมพ์ได้ แต่เป็นข้อมูลที่ “ตาย” แล้วไม่สามารถแก้ไขได้ ก่อน Save จะต้องเปิดหน้าต่างทุกหน้าต่างให้ครบ จึงจะได้ข้อมูลอย่างครบถ้วน แฟ้มที่ได้จากการ Save จะเป็นแฟ้มนามสกุล .spy

การ Save แบบ ALOHA

เป็นการ Save ที่นำมาแสดงผลได้ใหม่ พิมพ์ได้ และแก้ไขหรือดู Concentration ที่จุดต่างๆ ได้ คล้ายกับตอนที่สร้างขึ้นครั้งแรก แฟ้มที่ได้จากการ Save จะเป็นแฟ้มนามสกุล .alo

การเปิดแฟ้มที่ Save ไว้

การเปิดแฟ้ม .spy ต้องใช้โปรแกรม AlohaSpy โดยจากปุ่ม Start ของ Windows

Programs-Aloha - AlohaSpy

เมื่อเราเข้าไปในโปรแกรม AlohaSpy แล้ว ให้เลือก Menu File - Open Window Archive แล้วเลือกแฟ้มที่ Save ไว้

แฟ้มนี้แก้ไขไม่ได้ แต่พิมพ์ได้โดยใช้ Menu File - Print

การเปิดแฟ้ม .alo สามารถเปิดได้โดยโปรแกรม ALOHA เอง แต่การเปิดมีสองแบบคือ

- Response Mode
- Planning Mode

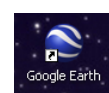
Response Mode ใช้ในกรณีฉุกเฉิน เช่น สมมุติว่าเราเคยวางแผนเกี่ยวกับอุบัติเหตุจากก๊าซ Phosgene เอาไว้เมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้น เราก็เรียกแฟ้มที่ Save ไว้มาเปิดดู ซึ่งเราจะได้เฉพาะข้อมูลที่คงที่มาใช้ เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับ SiteData เช่น เมือง สถานที่ที่สนใจ (เช่น โรงเรียนอนุบาล) ส่วนวันและเวลาที่ใส่จะเป็นเวลาใหม่ ซึ่งก็คือเวลาของเครื่องคอมพิวเตอร์นั่นเอง Planning Mode ใช้ในการวางแผน เวลาเราเปิดแฟ้มใน Mode นี้เราจะได้ข้อมูลทุกอย่างกับมาหมดและสามารถใช้งานได้ คล้ายกับตอนก่อน Save แต่เวลาจะถูกบล็อก เป็นเวลาขณะที่โปรแกรมถูก Save เอาไว้ (เป็น Constant Time)

การนำภาพถ่ายดาวเทียมจากโปรแกรม Google Earth มาใช้งาน

ดาวน์โหลดโปรแกรม **Google Earth** จาก <http://earth.google.com> ซึ่งมีทั้งหมด 4 เวอร์ชัน ได้แก่

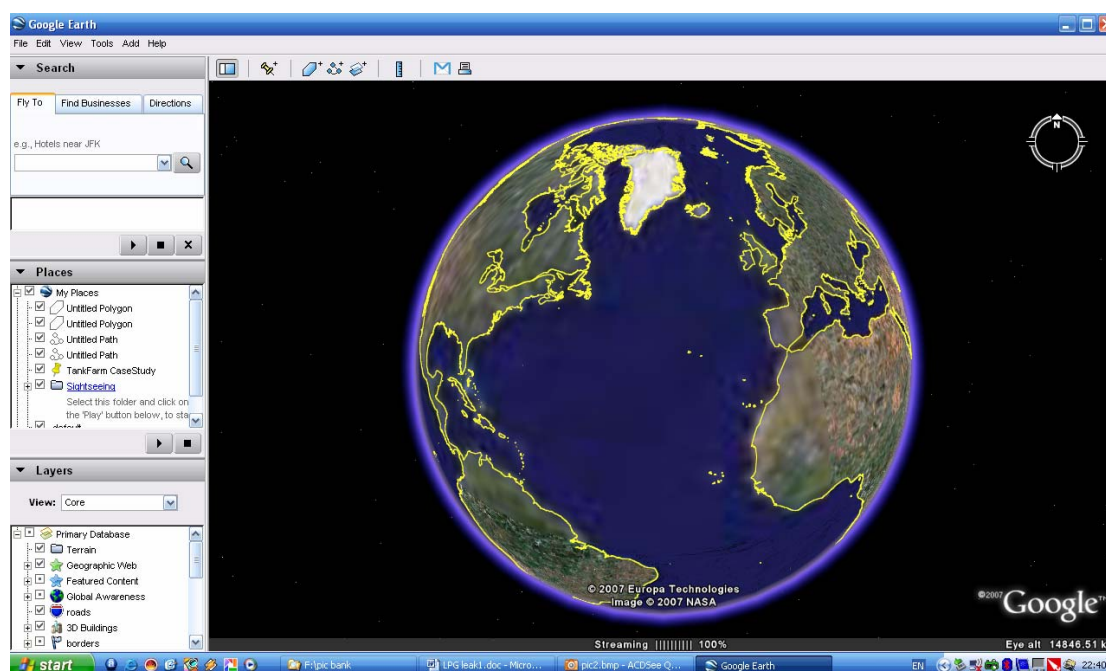
1. Google Earth Version ธรรมดาที่เป็นฟรีแวร์ (ในงานวิจัยนี้ ใช้เวอร์ชันนี้)
2. Google Earth Plus สามารถใช้งานฟรี 30 วัน
3. Google Earth Pro เสียค่าบริการ 400 เหรียญสหรัฐต่อปี
4. Google Earth Enterprise เสียค่าบริการ เหมาะกับธุรกิจด้านที่ดิน หรืออสังหาริมทรัพย์

หลังจากที่ดาวน์โหลดโปรแกรม Google Earth เรียบร้อยแล้ว ให้ทำการติดตั้งโดยดับเบิลคลิกที่ไอคอน GoogleEarth Setup.exe เพื่อทำการติดตั้งโปรแกรม



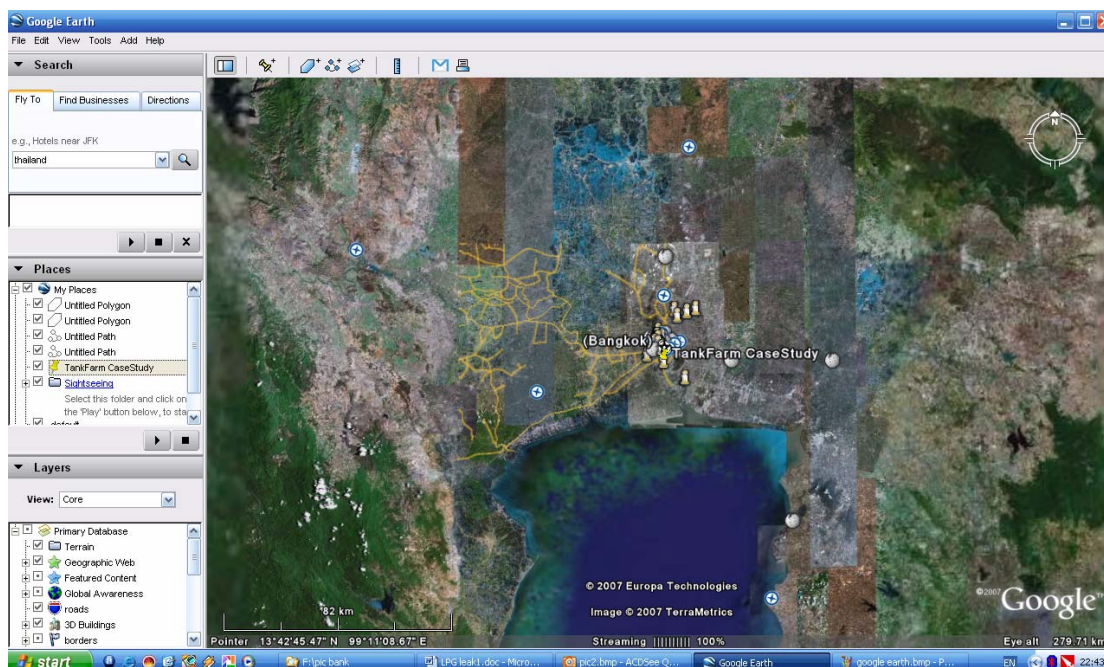
การค้นหาสถานที่ที่เกิดเหตุ

เมื่อเปิดโปรแกรม Google Earth จะพบรูปโลก ดังแสดงในภาพที่ ก 14



ภาพผนวกที่ ก15 แสดงส่วนประกอบของ Google Earth

ทำการค้นหาสถานที่ที่เกิดเหตุ โดยการพิมพ์ สถานที่ที่ต้องการในส่วนแท็บ Fly to เช่น Bangkok ส่วนแสดงผลจะทำการแสดงผลสถานที่ที่สั่งให้ค้นหา ดังแสดงในภาพผนวกที่ ก15



ภาพผนวกที่ ก16 แสดงสถานที่ (Bangkok) ที่ทำการค้นหา

การกำหนดสถานที่ที่เกิดเหตุโดยการปักหมุด

เมื่อทำการค้นหาสถานที่ที่ต้องการพบแล้ว และต้องการเก็บสถานที่นั้นไว้ โดยไม่ต้องหาสถานที่นั้นอีก สามารถทำได้โดยการปักหมุด ซึ่งสามารถทำได้ ดังนี้

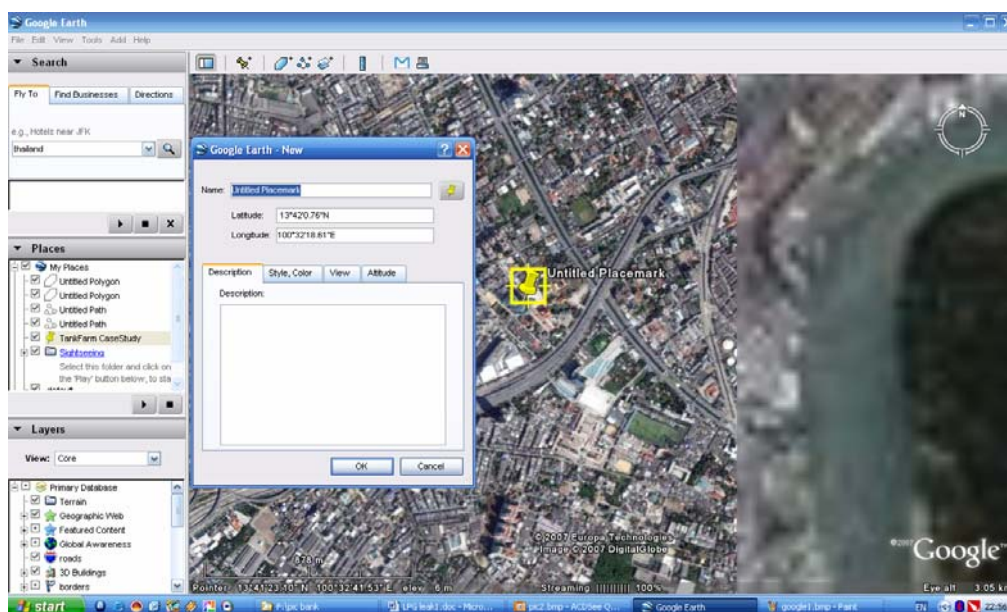
1. เลือกจากเมนูของโปรแกรมโดยเลือกที่ Add >Placemark
2. จะปรากฏหน้าต่าง Google Earth New Placemark ขึ้นมาเพื่อใส่รายละเอียด และปรากฏไอคอนหมุดขึ้นมา ให้นำหมุดไปวางยังตำแหน่งที่ต้องการและตั้งชื่อสถานที่ที่ทำการปักหมุดตามภาพที่ 16ก

3. การบันทึกภาพ ซึ่งสามารถเลือกได้ ดังนี้

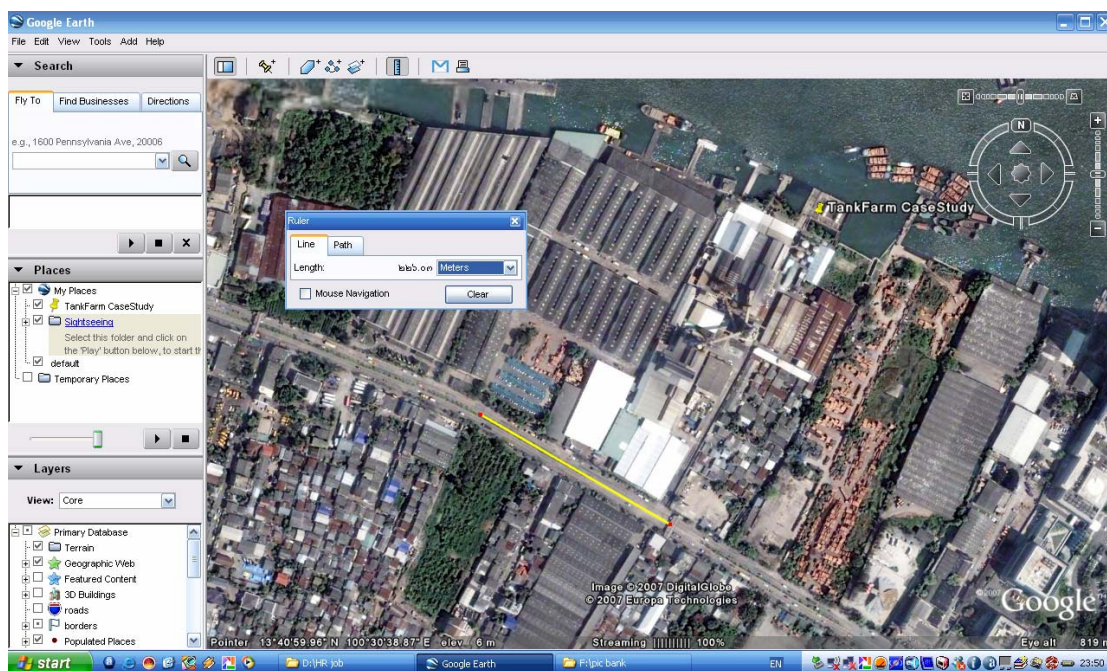
เลือก File save as เพื่อบันทึกไฟล์แผนที่

เลือก File Save Image เพื่อบันทึกไฟล์ภาพแบบต่างๆ

ในงานวิจัยฉบับนี้ต้องบันทึก file ให้เป็นนามสกุล . bmp เมื่อทำการบันทึกภาพจะได้ภาพที่เห็นซึ่งเมื่อนำมาใช้จะพบว่า เป็นภาพที่เล็กจะไม่ครอบคลุมภาพ Footprint ที่เกิดจากโปรแกรม Aloha ดังนั้นจึงต้องมีการบันทึกภาพหลายๆภาพเพื่อนำมาเรียงต่อกันให้เป็นภาพใหญ่ และก่อนที่จะทำการบันทึกภาพต้องทำการปรับทิศซึ่งอยู่ด้านขวาบนของโปรแกรม Google earth ไปที่ทิศเหนือเท่านั้น และภาพที่บันทึกหนึ่งในนั้นต้องทำการกำหนดจุดละติจูด ลองติจูด ดังแสดงในภาพผนวกที่ 17 ก เพื่อนำไปยึดกับจุดละติจูด ลองติจูดกับโปรแกรม Marplot โดยทำการบันทึกตำแหน่งละติจูด ลองติจูดของแต่ละจุดไว้เพื่อนำไปใส่ในโปรแกรม Matplotlib



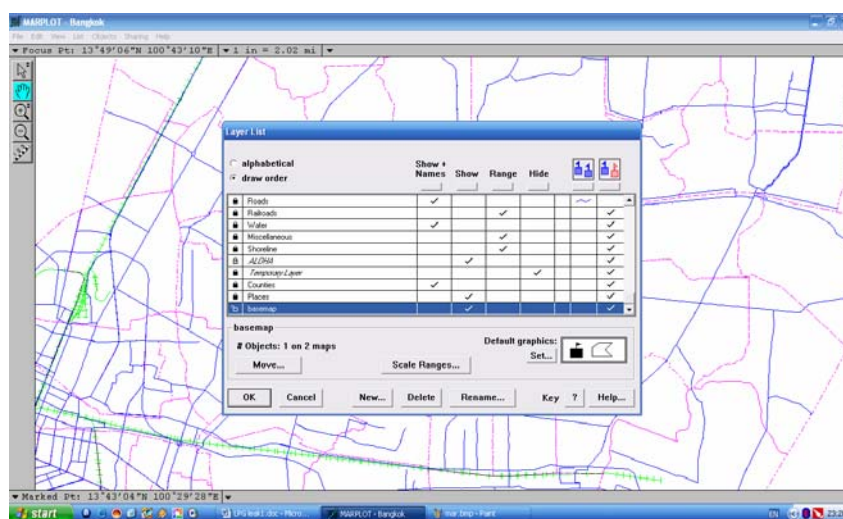
ภาพผนวกที่ ก17 แสดงการปักหมุดสถานที่ที่ต้องการ



ภาพผนวกที่ ก18 แสดงการขีดจุดละติจูด ลองจิจูด

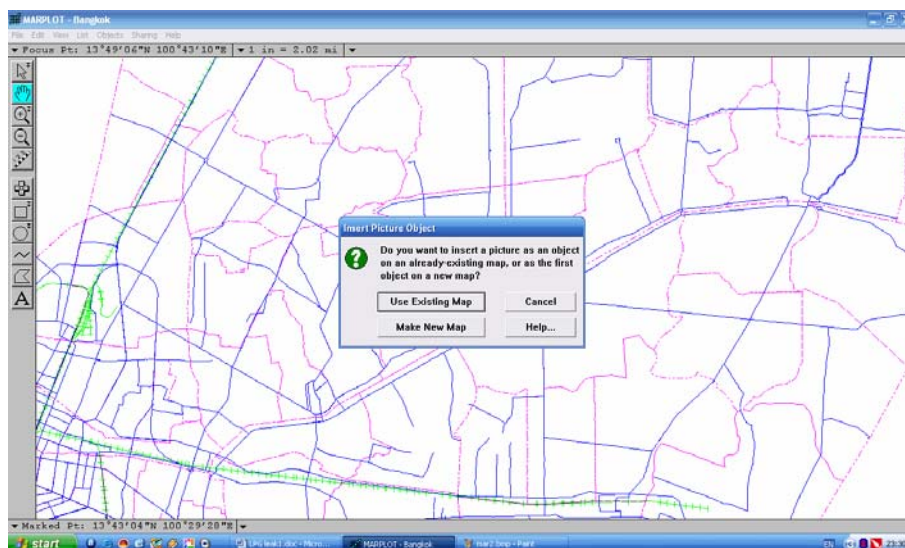
การยัดภาพจาก Google Earth มายังโปรแกรม Marplot

เปิดโปรแกรม Marplot ทำการปลดล๊อคชั้นที่ต้องการนำภาพเข้าไปใส่ใน Marplot ดังแสดงในภาพผนวกที่ ก18 โดยการคลิกที่รูปกุญแจด้านซ้าย กด OK



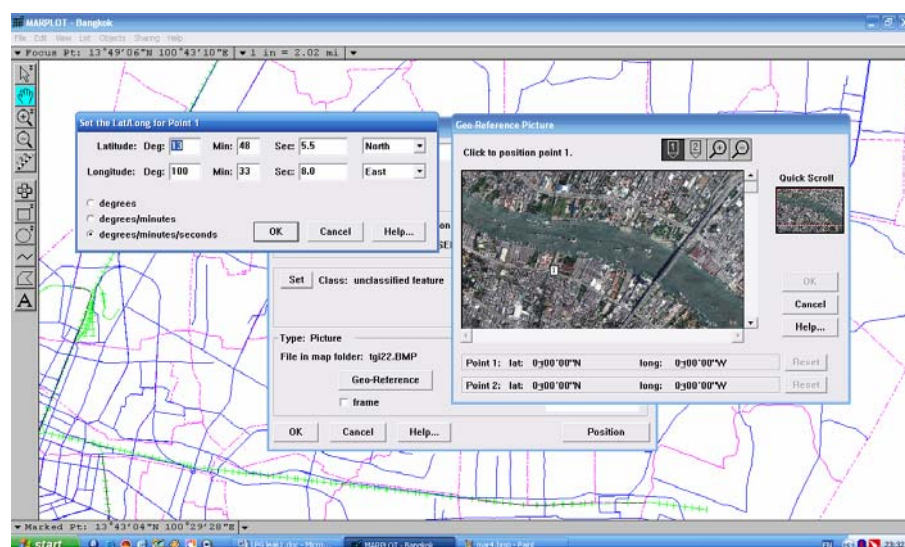
ภาพผนวกที่ ก19 แสดงการปลดล๊อคชั้นที่ต้องการแทรกภาพ

ทำการแทรกภาพจากโปรแกรม Google Earth บนชั้นของภาพโปรแกรม Marplot โดยเลือก
แถบเมนู Edit เลือก insert picture object ดังแสดงในภาพผนวกที่ ก19 เลือก use existing map



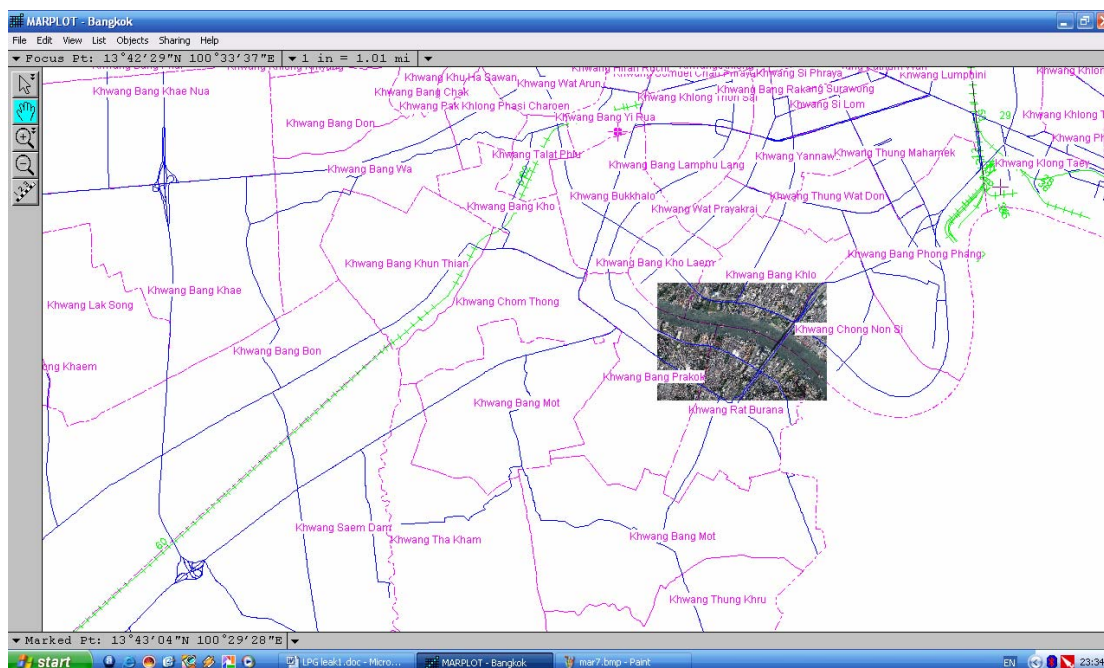
ภาพผนวกที่ ก20 แสดงการแทรกภาพจากGoogle earth เข้าโปรแกรม marplot

เลือกภาพที่ต้องการจากแฟ้มที่เก็บภาพ โปรแกรมจะปรากฏภาพที่เลือก ต่อจากนั้นเลือกที่
แถบ Geo- Reference ดังแสดงในภาพผนวกที่ ก20



ภาพผนวกที่ ก21 การแสดงการยัดจุดละติจูดและลองจิจูดของโปรแกรม Marplot และภาพ
จาก Google Earth

ทำการยัดจุดโดยเลือกที่จุดปักเลข 1 โปรแกรมจะให้ใส่ค่าละติจูดและลองจิจูดที่บันทึกไว้ ในขณะที่ทำการบันทึกภาพจาก Google Earth กด OK เลือกหมวดที่ 2 ใส่ค่าละติจูดและลองจิจูด กด OK ภาพที่เลือกจะปรากฏขึ้น ดังแสดงในภาพผนวกที่ ก21



ภาพผนวกที่ ก22 แสดงการลงภาพจาก Google Earth ไปยังโปรแกรม Marplot

การใช้โปรแกรม Aloha ร่วมกับ Marplot

หน้าจอหลักจะประกอบไปด้วย Menu ของ MARPLOT คือ File, Edit, View, List, Objects, Sharing, Help และด้านล่างลงมาจะมี Menu รองซึ่งบางส่วนจะทำหน้าที่ที่ต้องใช้บ่อยๆ เช่นหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ไปยัง Latitude และ Longitude ต่างๆ การกำหนดจุดบนแผนที่เป็นต้น ส่วนทางซ้ายจะเป็นเครื่องมือคล้ายกับ กล่องเครื่องมือ (Toolbox) ของโปรแกรมวาดภาพทั่วไป ตรงกลางหน้าจอจะเป็นแผนที่ แผนที่ของ MARPLOT ถูกสร้างขึ้นโดยข้อมูลจากระบบฐานข้อมูล TIGER ซึ่งเป็นข้อมูลทางด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ของอเมริกา ข้อมูลจะถูกจัดเป็นชั้นๆ (Layers) เริ่มแรกจะมีประมาณ 17 ชั้น จำนวนชั้นนี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ ผู้ใช้อาจลบออกหรือเพิ่มเติมได้ ชั้นแต่ละชั้นจะประกอบไปด้วยวัตถุ ที่คล้ายคลึงกัน เช่นโรงเรียน โรงงาน ถนนหลัก ถนนสายย่อย ทางรถไฟ และแหล่งน้ำเป็นต้น แม้ว่าในความเป็นจริงวัตถุแต่ละชนิดไม่จำเป็นจะต้องจรรีกรักติดต่อกัน

ชั้นของตนเอง วัตถุหนึ่งๆจะอยู่ในชั้นใดก็ได้ แล้วแต่ว่าในขณะที่ผู้ใช้สร้างวัตถุลงบนแผนที่นั้น ชั้นใดจะถูกกลายสื่อ

นอกจากนี้วัตถุยังสามารถย้ายชั้นจากชั้นหนึ่งไปอีกชั้นหนึ่งได้ด้วย เช่นวัตถุชั้นหนึ่งเป็นตัวแทนของคลอง ต่อมาคลองนี้ถูกถมกลายเป็นถนน ผู้ใช้สามารถย้ายวัตถุนี้จากชั้นน้ำ (Water) มาเป็นชั้นถนน (Road) ได้โดยไม่ต้องวาดใหม่

ผลจากการประมวลผล

1. ผลจากการประมวลผลจากการเกิดการรั่วไหลแบบไม่ติดไฟ

กรณีเกิดขณะทาสีทางลมพัดเข้าโรงงาน

SITE DATA:

Location: BANGKOK, THAILAND

Building Air Exchanges Per Hour: 0.64 (unsheltered single storied)

Time: January 30, 2006 1131 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: PROPANE Molecular Weight: 44.10 g/mol

TEEL-1: 2100 ppm TEEL-2: 2100 ppm TEEL-3: 2100 ppm

IDLH: 2100 ppm LEL: 20000 ppm UEL: 95000 ppm

Ambient Boiling Point: -42.0? C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm

Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 knots from NE at 3 meters

Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 10 tenths

Air Temperature: 35.4? C Stability Class: D

No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank

Flammable chemical escaping from tank (not burning)

Tank Diameter: 3.35 meters Tank Length: 10.96 meters

Tank Volume: 96.6 cubic meters

Tank contains liquid Internal Temperature: 35.4? C

Chemical Mass in Tank: 43.3 tons Tank is 85% full

Circular Opening Diameter: 0.5 inches

Opening is 1.68 meters from tank bottom

Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour

Max Average Sustained Release Rate: 152 kilograms/min

(averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 9,035 kilograms

Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas

Red : 11 meters --- (95000 ppm)

Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
make dispersion predictions less reliable for short distances.

Orange: 29 meters --- (20000 ppm)

Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
make dispersion predictions less reliable for short distances.

Yellow: 110 meters --- (2100 ppm = TEEL-1)

กรณีทิศทางการเปลี่ยนแปลงเป็นทิศใต้

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 knots from NE at 3 meters

Ground Roughness: open water Cloud Cover: 10 tenths

Air Temperature: 35.4? C Stability Class: D

No Inversion Height Relative Humidity: 50%

THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas

Red : 38 meters --- (95000 ppm)

Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness make dispersion predictions less reliable for short distances.

Orange: 109 meters --- (20000 ppm)

Yellow: 367 meters --- (2100 ppm = TEEL-1)

2. ผลจากการประมวลผลกรณีเกิดกลุ่มหมอกของสารไวไฟ

SITE DATA:

Location: BANGKOK, THAILAND

Building Air Exchanges Per Hour: 0.64 (unsheltered single storied)

Time: January 30, 2006 1131 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: PROPANE Molecular Weight: 44.10 g/mol

TEEL-1: 2100 ppm TEEL-2: 2100 ppm TEEL-3: 2100 ppm

IDLH: 2100 ppm LEL: 20000 ppm UEL: 95000 ppm

Ambient Boiling Point: -42.0? C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm

Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 knots from NE at 3 meters

Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 10 tenths

Air Temperature: 35.4? C Stability Class: D

No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank

Flammable chemical escaping from tank (not burning)

Tank Diameter: 3.35 meters Tank Length: 10.96 meters

Tank Volume: 96.6 cubic meters

Tank contains liquid Internal Temperature: 35.4? C
 Chemical Mass in Tank: 43.3 tons Tank is 85% full
 Circular Opening Diameter: 0.5 inches
 Opening is 1.68 meters from tank bottom
 Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
 Max Average Sustained Release Rate: 152 kilograms/min
 (averaged over a minute or more)
 Total Amount Released: 9,035 kilograms
 Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE:

Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud
 Model Run: Heavy Gas
 Red : 29 meters --- (20000 ppm = LEL)
 Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
 make dispersion predictions less reliable for short distances.
 Orange: 38 meters --- (12,000 ppm = 60% LEL = Flame Pockets)
 Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
 make dispersion predictions less reliable for short distances.
 Yellow: 113 meters --- (2,000 ppm = 10% LEL)

3. ผลจากการประมวลผลกรณีเกิดระเบิดของกลุ่มหมอกของสารไวไฟ

SITE DATA:

Location: BANGKOK, THAILAND
 Building Air Exchanges Per Hour: 0.64 (unsheltered single storied)
 Time: January 30, 2006 1131 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: PROPANE Molecular Weight: 44.10 g/mol
 TEEL-1: 2100 ppm TEEL-2: 2100 ppm TEEL-3: 2100 ppm

IDLH: 2100 ppm LEL: 20000 ppm UEL: 95000 ppm

Ambient Boiling Point: -42.0? C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm

Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 knots from NE at 3 meters

Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 10 tenths

Air Temperature: 35.4? C Stability Class: D

No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank

Flammable chemical escaping from tank (not burning)

Tank Diameter: 3.35 meters Tank Length: 10.96 meters

Tank Volume: 96.6 cubic meters

Tank contains liquid Internal Temperature: 35.4? C

Chemical Mass in Tank: 43.3 tons Tank is 85% full

Circular Opening Diameter: 0.5 inches

Opening is 1.68 meters from tank bottom

Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour

Max Average Sustained Release Rate: 152 kilograms/min

(averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 9,035 kilograms

Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE:

Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion

Type of Ignition: ignited by spark or flame

Level of Congestion: congested

Model Run: Heavy Gas

Red : LOC was never exceeded --- (8.0 psi = destruction of buildings)

Orange: 31 meters --- (3.5 psi = serious injury likely)

Yellow: 58 meters --- (1.0 psi = shatters glass)

4. ประมวลผลแบบการเกิดเพลิงไหม้แบบ JetFire

SITE DATA:

Location: BANGKOK, THAILAND

Building Air Exchanges Per Hour: 0.55 (sheltered single storied)

Time: January 30, 2006 1131 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: PROPANE Molecular Weight: 44.10 g/mol

TEEL-1: 2100 ppm TEEL-2: 2100 ppm TEEL-3: 2100 ppm

IDLH: 2100 ppm LEL: 20000 ppm UEL: 95000 ppm

Ambient Boiling Point: -42.0? C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm

Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 knots from NE at 3 meters

Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 10 tenths

Air Temperature: 35.4? C Stability Class: D

No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank

Flammable chemical is burning as it escapes from tank

Tank Diameter: 3.35 meters Tank Length: 10.96 meters

Tank Volume: 96.6 cubic meters

Tank contains liquid Internal Temperature: 35.4? C

Chemical Mass in Tank: 43.3 tons Tank is 85% full

Circular Opening Diameter: 0.5 inches

Opening is 1.68 meters from tank bottom

Max Flame Length: 7 meters

Burn Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour

Max Burn Rate: 152 kilograms/min

Total Amount Burned: 9,035 kilograms

Note: The chemical escaped from the tank and burned as a jet fire.

THREAT ZONE:

Threat Modeled: Thermal radiation from jet fire

Red : 13 meters --- (10.0 kW/(sq m) = potentially lethal within 60 sec)

Orange: 18 meters --- (5.0 kW/(sq m) = 2nd degree burns within 60 sec)

Yellow: 28 meters --- (2.0 kW/(sq m) = pain within 60 sec)

5. ประมวลผลแบบการเกิดการระเบิดแบบ BLEVE

SITE DATA:

Location: BANGKOK, THAILAND

Building Air Exchanges Per Hour: 0.55 (sheltered single storied)

Time: January 30, 2006 1131 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: BUTANE Molecular Weight: 58.12 g/mol

TEEL-1: 2400 ppm TEEL-2: 4000 ppm TEEL-3: 19000 ppm

LEL: 15000 ppm UEL: 90000 ppm

Ambient Boiling Point: -0.5? C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm

Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 knots from NE at 3 meters

Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 10 tenths

Air Temperature: 35.4? C Stability Class: D

No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

BLEVE of flammable liquid in horizontal cylindrical tank

Tank Diameter: 3.35 meters Tank Length: 10.96 meters

Tank Volume: 96.6 cubic meters

Tank contains liquid

Internal Storage Temperature: 35.4? C

Chemical Mass in Tank: 50.9 tons Tank is 85% full

Percentage of Tank Mass in Fireball: 100%

Fireball Diameter: 208 meters Burn Duration: 13 seconds

THREAT ZONE:

Threat Modeled: Thermal radiation from fireball

Red : 447 meters --- (10.0 kW/(sq m) = potentially lethal within 60 sec)

Orange: 630 meters --- (5.0 kW/(sq m) = 2nd degree burns within 60 sec)

Yellow: 982 meters --- (2.0 kW/(sq m) = pain within 60 sec)

ภาคผนวก ข

คุณสมบัติทางเคมีของโพรเพนและบิวเทน

ตารางผนวกที่ ข1 แสดงคุณสมบัติของก๊าซ LPG

	Commercial Propane	Commercial Butane
Specific gravity of liquid 15 °C/4 °C	0.510	0.58
Boiling point at 10 °C and 760 mm.Hg.	-42.0	-0.5
Specific gravity of gas at 15 °C and 760 mm.Hg. (air = 1)	1.5	1.9
Vapor density at 15 °C and 760 mm.Hg		
lb/cft	0.12	0.15
kg / m ³	1.89	2.5
Gas formed from unit liquid at 15 °C		
Cft/Tap. gas	44	40
Cft / Lb	8.6	6.8
Liter/Kg	540	400
Ratio of gas volume to liquid volume	270	239
Vapour pressure bar		
At 0 °C	3.9	0
At 20 °C	7.5	1.0
At 50 °C	16.0	3.8
Calorific Values		
K.cal/Kg. gross	11,900	11,800
K.cal/Kg. nett	11,000	10,900
Btu/lb gross	21,500	21,300
Btu/lb nett	19,900	19,700
K.cal/m ³ 0° 960 mm. Hg. gross	23,400	30,600
K.cal/m ³ 0° 960 mm. Hg. nett	21,600	23,650

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

	Commercial Propane	Commercial Butane
Calorific Values		
Btu/m ³ 60° 960 mm. Hg. gross	2,500	3,200
Btu/m ³ 60° 960 mm. Hg. nett	2,310	3,000
Lower explosive limits , % gas in air/gas mixture	3.2	1.5
Upper explosive limits , % gas in air/gas mixture	10.0	9.0
Theoretical max. flame temperature in air °C	2,000	2,000
Theoretical max. flame temperature in oxygen °C	2,830	2,830
Dry air required for compustion for combustion lb/lb	15.6	15.4
cft/cft	23.8	32.0

ที่มา : Shell (2003)

ภาคผนวก ค
ข้อมูลทางอุตุนิยมิวิทยา

ตารางผนวกที่ ค1 แสดงทิศทางและความเร็วลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ปี 2549

Daily maximum wind direction & speed (Degree & Knots)

STATION : 455201

BANGKOK METROPOLIS

YEAR : 2006

DATE	Jan		Feb		Mar		Apr		May		Jun		Jul		Aug		Sep		Oct		Nov		Dec	
	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp
1	330	7	350	10	180	10	130	8	190	7	260	10	240	14	230	6	190	12	330	7	60	8	240	7
2	60	5	180	6	120	9	180	10	310	6	180	12	200	8	190	6	210	10	280	26	20	9	120	5
3	330	7	180	8	190	14	220	10	180	8	240	19	240	8	320	16	210	8	180	8	100	8	120	6
4	330	5	40	10	210	8	200	8	150	7	220	9	240	14	220	15	270	9	240	8	330	12	40	10
5	180	7	100	10	210	9	150	10	120	10	210	7	200	8	240	15	230	13	300	11	330	9	330	7
6	90	6	60	9	190	15	180	8	120	8	210	9	270	15	240	10	180	12	190	8	100	9	30	7
7	90	10	90	12	180	9	90	21	220	12	270	16	200	8	230	12	180	8	150	12	100	9	330	8
8	120	9	360	6	180	9	170	10	210	7	270	8	180	12	210	8	180	10	190	8	60	10	110	12
9	120	7	10	10	120	23	330	23	180	8	190	10	180	7	180	10	190	12	180	9	90	7	360	10
10	360	5	120	14	190	11	160	6	270	8	320	15	240	27	210	9	180	4	230	8	120	8	80	5
11	280	8	120	7	240	9	180	10	190	14	240	6	260	4	180	9	330	8	180	7	90	12	90	8
12	210	6	290	7	180	10	190	12	270	7	270	17	270	30	270	14	120	1	100	8	90	10	60	6
13	210	5	330	10	200	12	120	8	20	13	180	8	240	7	290	18	180	7	120	12	120	4	120	7
14	220	9	330	6	60	7	230	10	60	16	270	10	240	14	240	31	240	5	260	12	90	8	330	6
15	210	9	190	8	100	12	30	14	90	7	300	9	230	14	270	9	180	12	100	5	120	6	40	10
16	170	7	180	12	180	8	120	7	90	5	310	17	180	8	180	12	330	12	260	6	340	6	360	10
17	200	7	190	8	210	10	240	15	330	8	260	15	210	9	190	8	270	19	90	8	30	10	340	7
18	210	10	150	7	180	12	180	10	130	4	360	5	200	12	180	15	300	8	90	14	130	21	60	7
19	120	7	180	12	180	10	210	6	280	18	180	5	210	7	190	14	300	11	30	9	360	7	90	7
20	150	6	210	9	170	8	240	8	220	12	190	10	180	12	180	10	300	6	360	4	180	6	310	7
21	180	11	210	5	180	14	210	7	110	8	150	6	240	14	260	7	300	10	280	7	190	7	30	10
22	210	12	190	8	180	11	190	9	180	9	190	9	300	14	270	12	320	16	90	8	180	8	90	6
23	200	7	120	3	180	13	180	12	180	10	280	16	230	10	280	15	320	12	180	10	160	7	90	11
24	60	8	90	12	190	9	180	8	190	8	120	12	270	7	270	10	180	6	30	5	340	16	320	7
25	120	5	180	8	200	8	230	7	180	10	270	6	180	15	190	15	270	8	90	6	190	8	330	8
26	330	12	180	10	150	9	190	10	120	8	180	10	270	9	210	14	20	4	30	5	170	6	330	9
27	330	7	170	8	190	14	180	5	170	10	160	7	270	7	240	7	180	8	360	8	180	7	320	5
28	290	8	190	12	230	25	180	10	150	12	180	9	180	10	180	7	180	8	330	10	270	4	60	4
29	310	7			150	9	190	14	210	15	210	15	200	14	210	15	270	12	30	7	120	4	10	7
30	210	5			300	18	180	12	210	8	200	12	190	10	330	15	310	12	100	7	230	6	120	10
31	210	7			330	19			180	9			270	15	190	12			90	5			30	5
N	31		28		31		30		31		30		31		31		30		31		30		31	
Mean	7.5		8.8		11.7		10.3		9.4		10.6		11.7		12.1		9.4		8.6		8.4		7.55	
Max	12		14		25		23		18		19		30		31		19		26		21		12	
Day	22,26		10		28		9		19		3		12		14		17		2		18		31	
Min	5		3		7		6		4		5		4		6		1		4		4		4	

ตารางผนวกที่ ค2 แสดงอุณหภูมิสูงสุดของกรุงเทพมหานครในรอบ 56 ปี

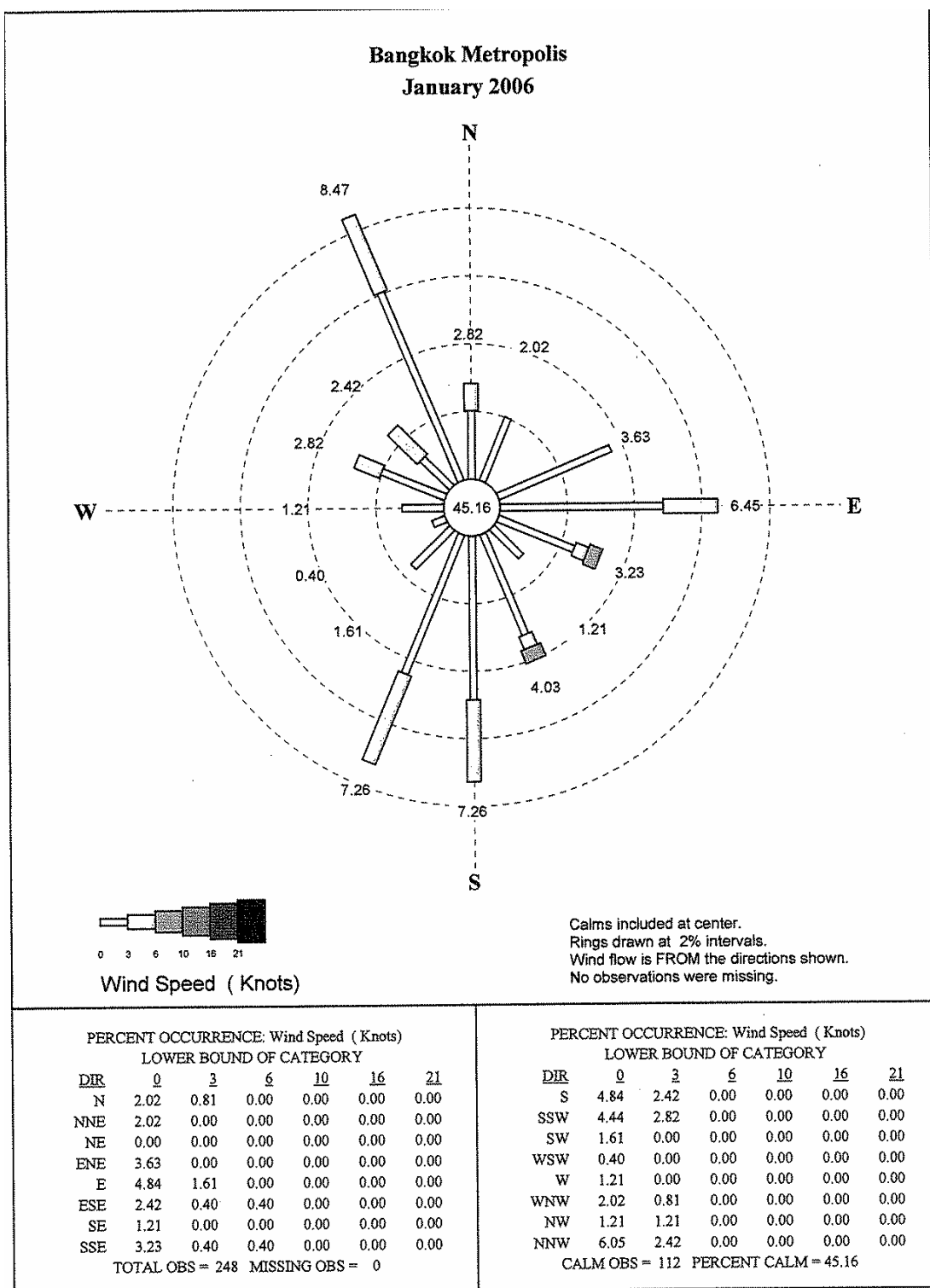
สถิติอุณหภูมิสูงสุด (°ซ.) ของกรุงเทพมหานคร (Bangkok Metropolis)
ในรอบ 56 ปี (พ.ศ.2494-2549)

พ.ศ.	27 เม.ย.	เดือนเมษายน		พ.ศ.	27 เม.ย.	เดือนเมษายน	
		°ซ.	วันที่			°ซ.	วันที่
2494	35.6	37.0	12	2522	35.1	40.0	20
2495	34.5	37.0	2,3,30	2523	36.0	38.4	25
2496	34.4	37.6	19	2524	35.0	37.8	2
2497	37.3	37.5	17	2525	36.9	36.9	27
2498	33.6	36.5	19	2526	36.0	37.2	30
2499	34.2	37.5	29	2527	34.6	37.0	20
2500	35.8	37.0	21	2528	33.3	39.7	13
2501	36.0	38.4	5	2529	36.7	36.7	1-27
2502	37.9	37.9	27	2530	36.2	37.7	11
2503	37.4	39.0	24	2531	33.7	36.3	22
2504	30.2	36.9	22	2532	36.1	37.5	8
2505	34.3	37.0	19	2533	37.7	39.5	23
2506	34.8	36.1	25	2534	35.5	37.3	30
2507	36.0	36.9	25	2535	37.0	39.1	12
2508	34.2	36.0	2,8,30	2536	35.4	37.4	30
2509	35.4	38.0	30	2537	35.5	38.0	6
2510	33.9	37.3	30	2538	37.1	37.2	30
2511	34.7	34.7	27	2539	33.9	37.9	20
2512	34.9	36.7	15	2540	35.3	37.0	22
2513	35.0	35.8	21	2541	36.6	37.8	24
2514	33.8	36.8	30	2542	32.4	36.3	18
2515	32.5	35.3	8	2543	33.6	37.1	8
2516	35.1	38.3	23	2544	35.7	37.4	20
2517	32.7	37.0	22	2545	34.0	38.0	9
2518	37.5	36.7	28	2546	37.3	38.2	28
2519	34.7	37.5	16	2547	39.0	39.0	16
2520	35.5	37.6	8	2548	36.6	36.6	26
2521	35.2	37.0	2,4,28	2549	35.8	36.8	6

หมายเหตุ อุณหภูมิสูงสุดในช่วงวันที่ 1-10 มีจำนวน 16 ครั้ง

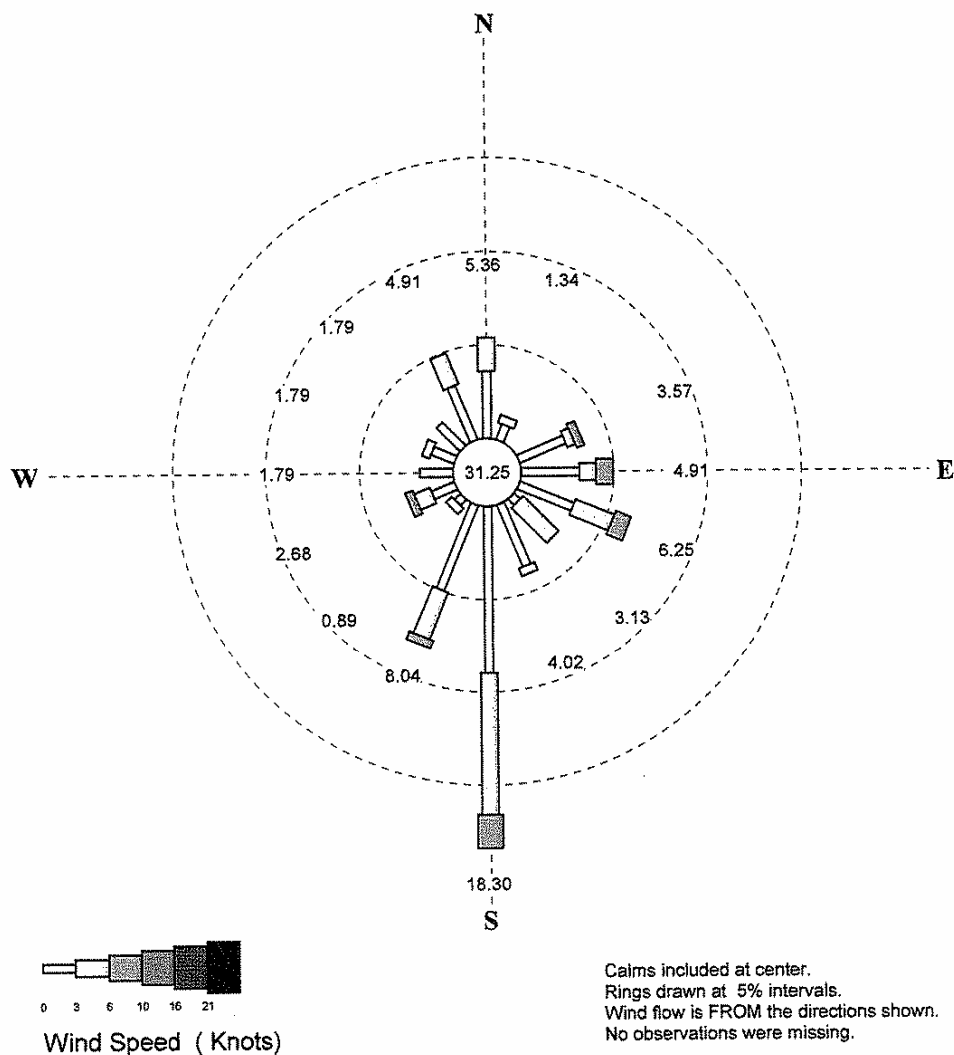
อุณหภูมิสูงสุดในช่วงวันที่ 11-20 มีจำนวน 16 ครั้ง

อุณหภูมิสูงสุดในช่วงวันที่ 21-30 มีจำนวน 31 ครั้ง



ภาพผนวกที่ ค3 ฟังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือนมกราคม 2549

Bangkok Metropolis
February 2006



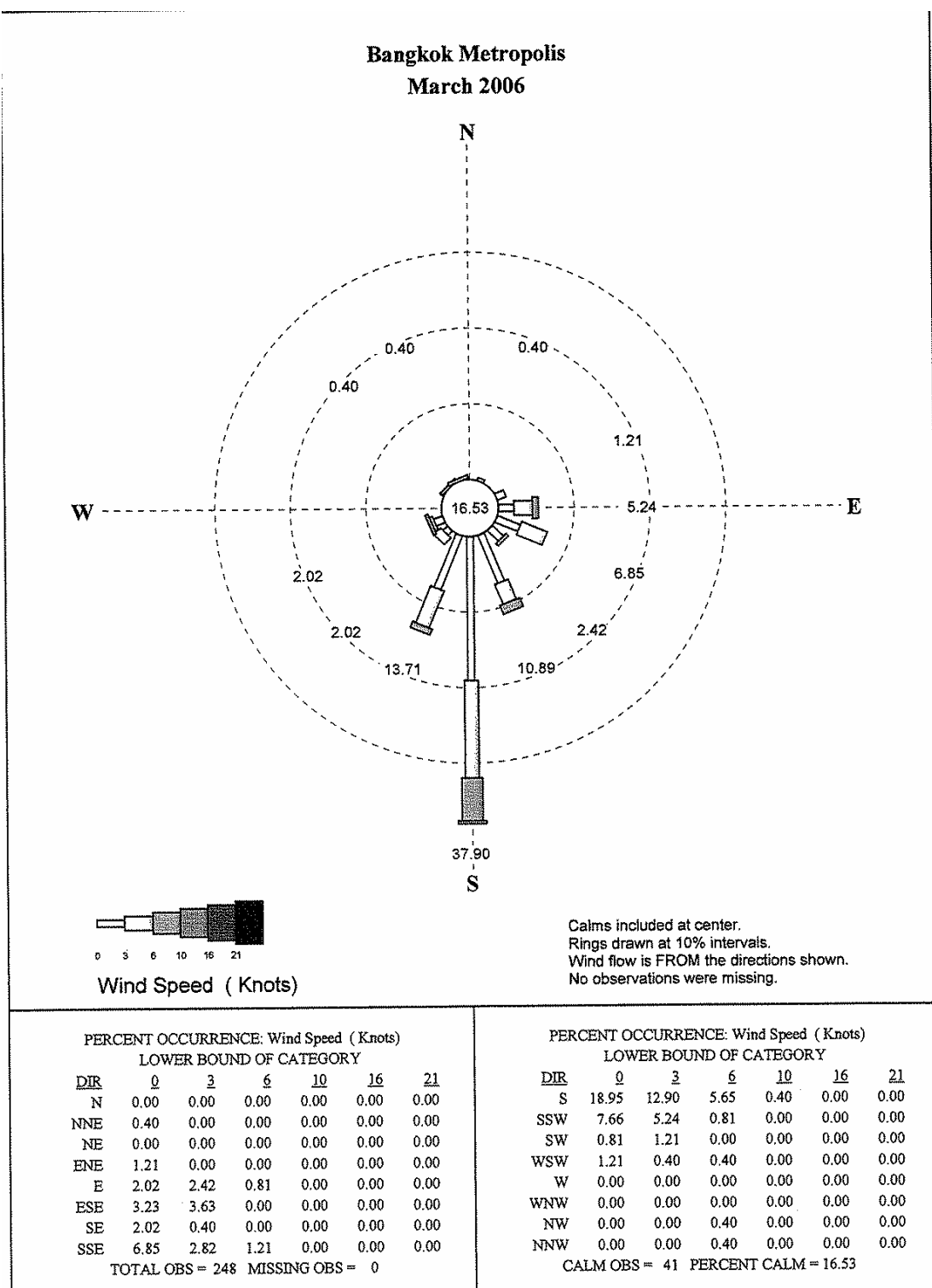
PERCENT OCCURRENCE: Wind Speed (Knots)
LOWER BOUND OF CATEGORY

DIR	0	3	6	10	16	21
N	3.57	1.79	0.00	0.00	0.00	0.00
NNE	0.89	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00
NE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ENE	2.68	0.45	0.45	0.00	0.00	0.00
E	3.13	0.89	0.89	0.00	0.00	0.00
ESE	3.13	2.23	0.89	0.00	0.00	0.00
SE	0.45	2.68	0.00	0.00	0.00	0.00
SSE	3.57	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL OBS = 224 MISSING OBS = 0						

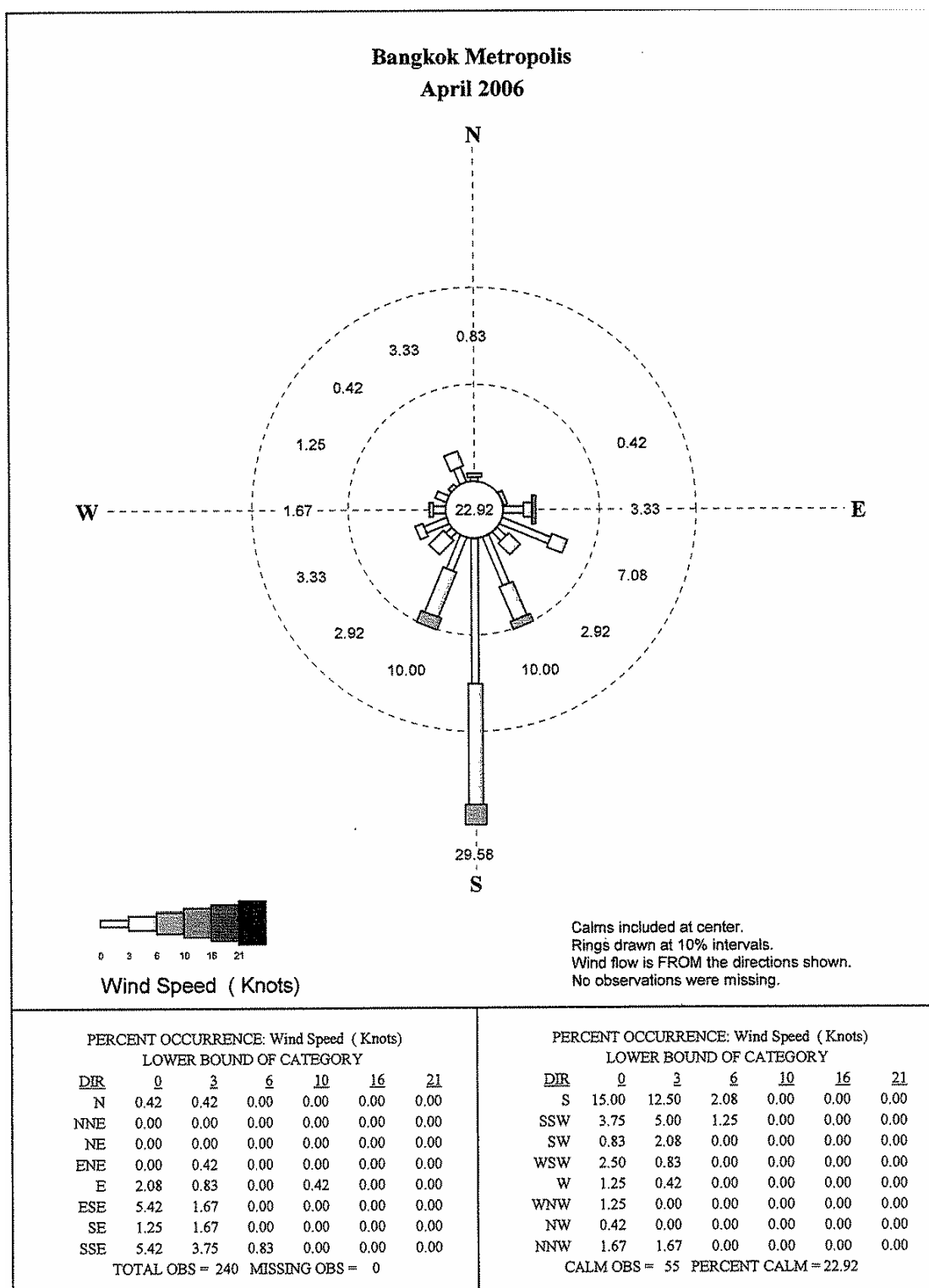
PERCENT OCCURRENCE: Wind Speed (Knots)
LOWER BOUND OF CATEGORY

DIR	0	3	6	10	16	21
S	8.93	7.59	1.79	0.00	0.00	0.00
SSW	4.91	2.68	0.45	0.00	0.00	0.00
SW	0.45	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00
WSW	1.34	0.89	0.45	0.00	0.00	0.00
W	1.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
WNW	1.34	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00
NW	1.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NNW	3.13	1.79	0.00	0.00	0.00	0.00
CALM OBS = 70 PERCENT CALM = 31.25						

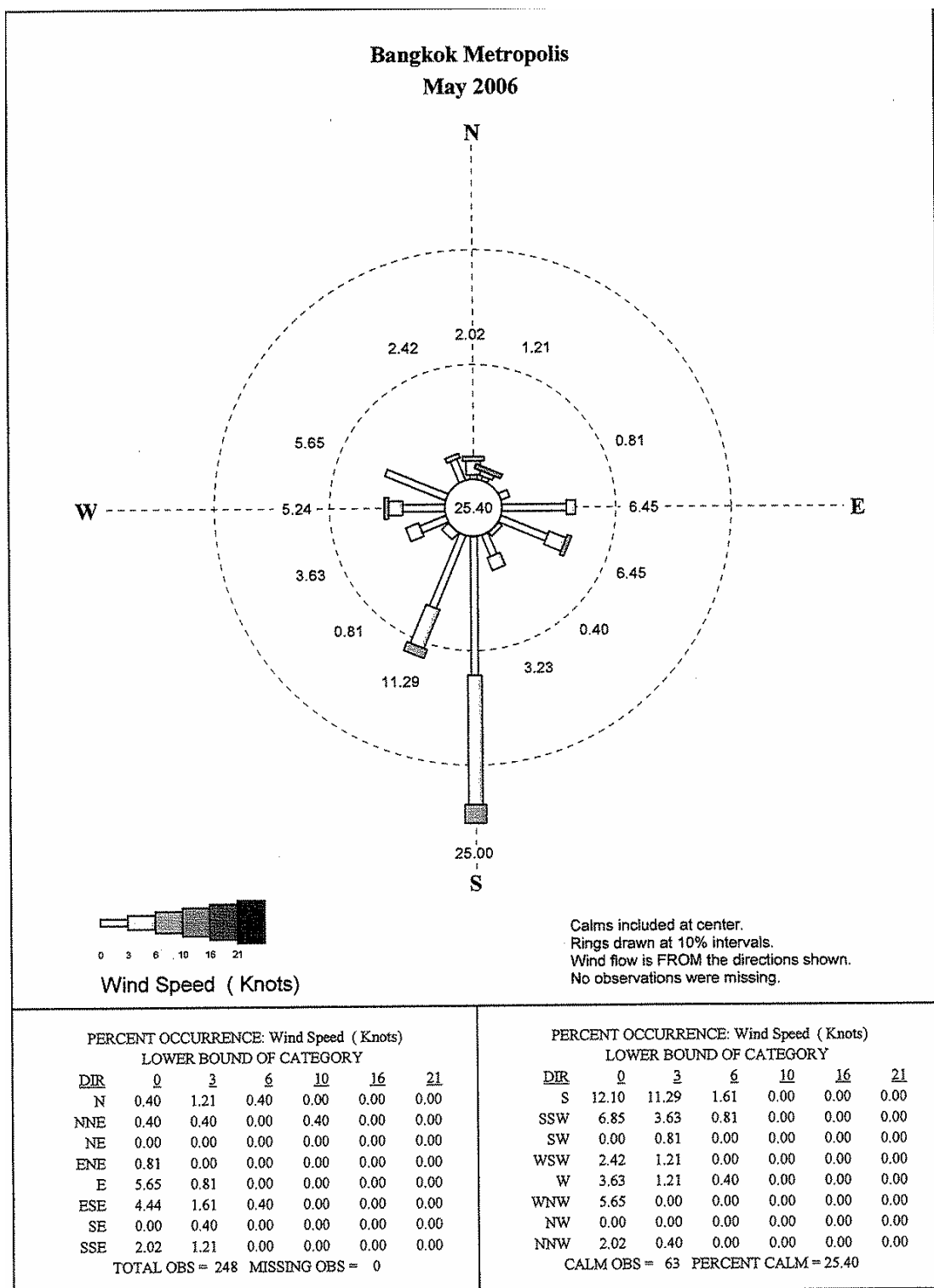
ภาพผนวกที่ ค4 ผังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน กุมภาพันธ์ 2549



ภาพผนวกที่ ค5 พังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน มีนาคม 2549

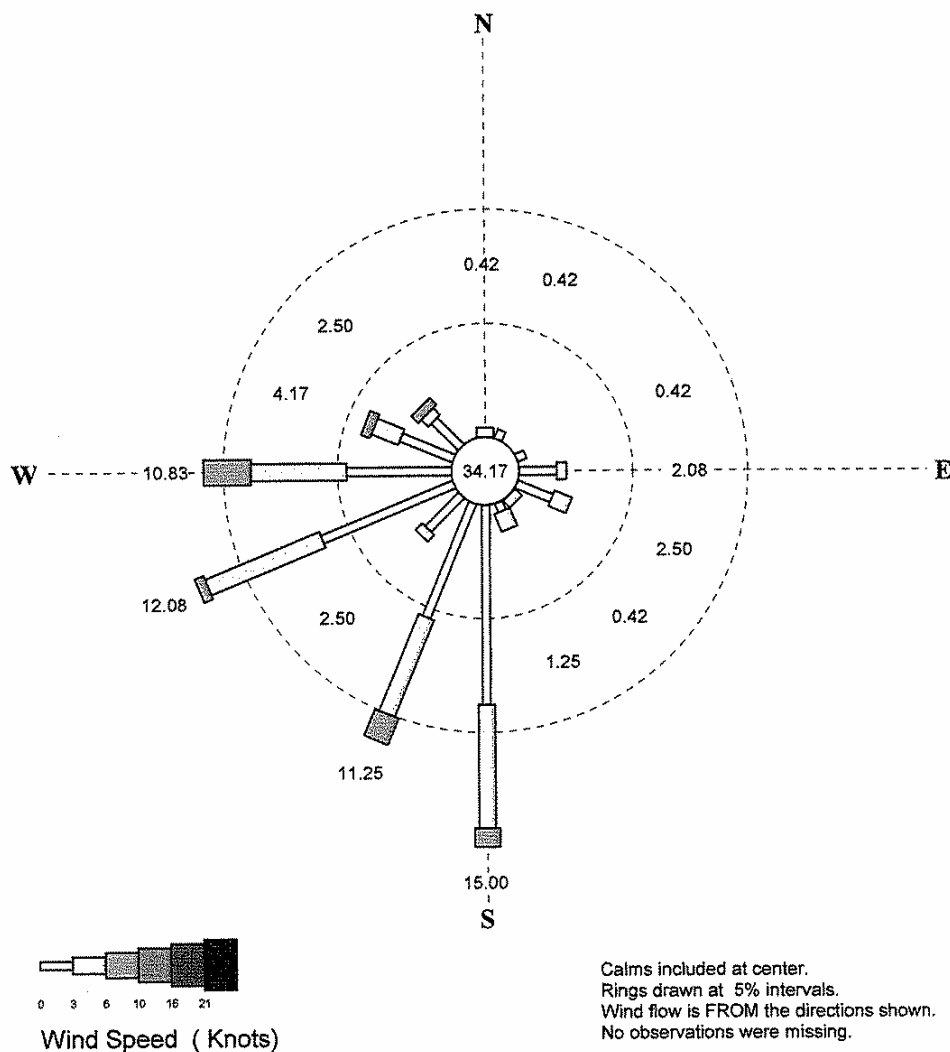


ภาพผนวกที่ ๑๖ พังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน เมษายน 2549



ภาพผนวกที่ ค7 ฟังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือนพฤษภาคม 2549

Bangkok Metropolis
June 2006



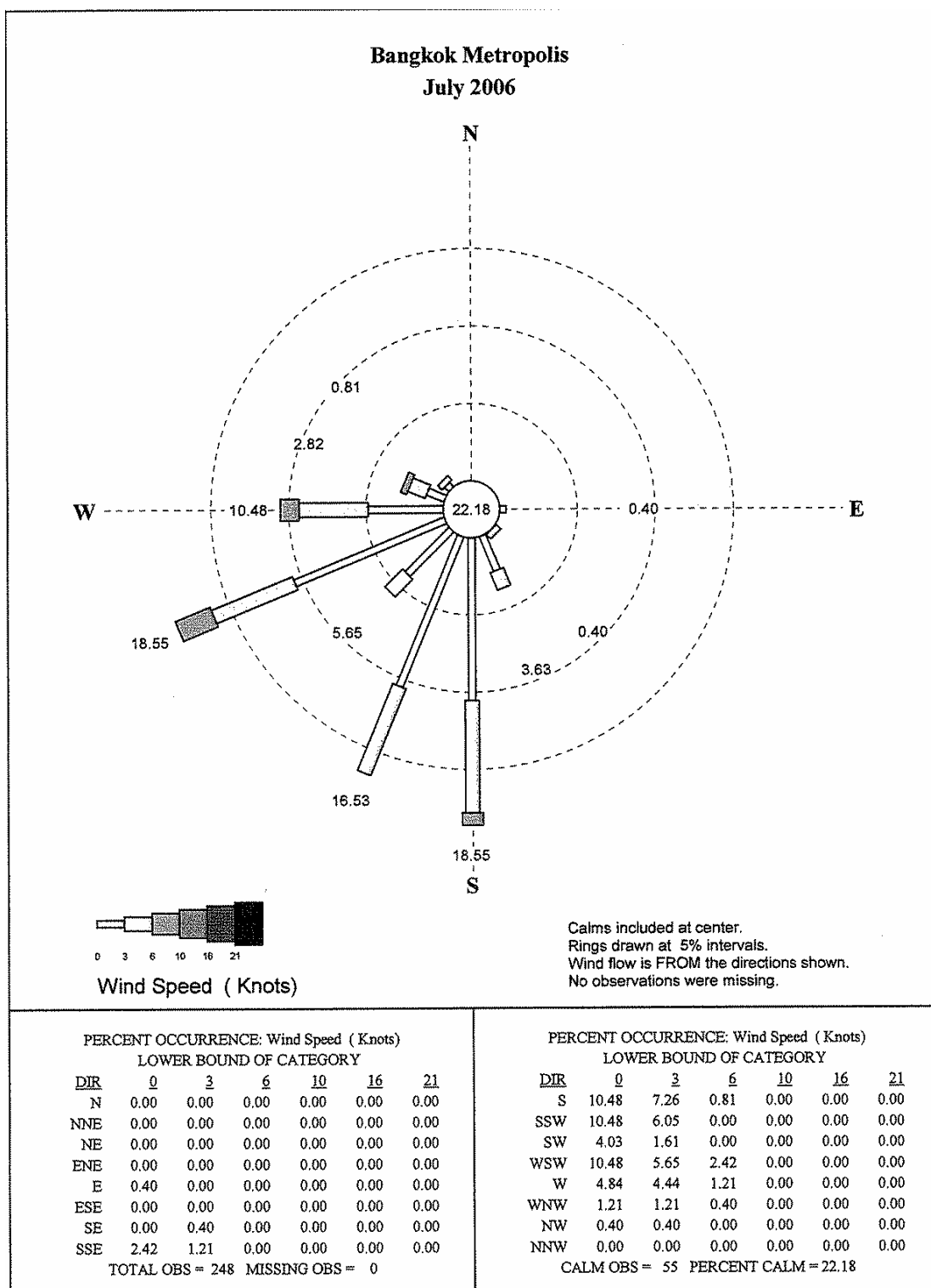
PERCENT OCCURRENCE: Wind Speed (Knots)
LOWER BOUND OF CATEGORY

DIR	0	3	6	10	16	21
N	0.00	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00
NNE	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ENE	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E	1.67	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00
ESE	1.67	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00
SE	0.00	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00
SSE	0.42	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL OBS = 240 MISSING OBS = 0						

PERCENT OCCURRENCE: Wind Speed (Knots)
LOWER BOUND OF CATEGORY

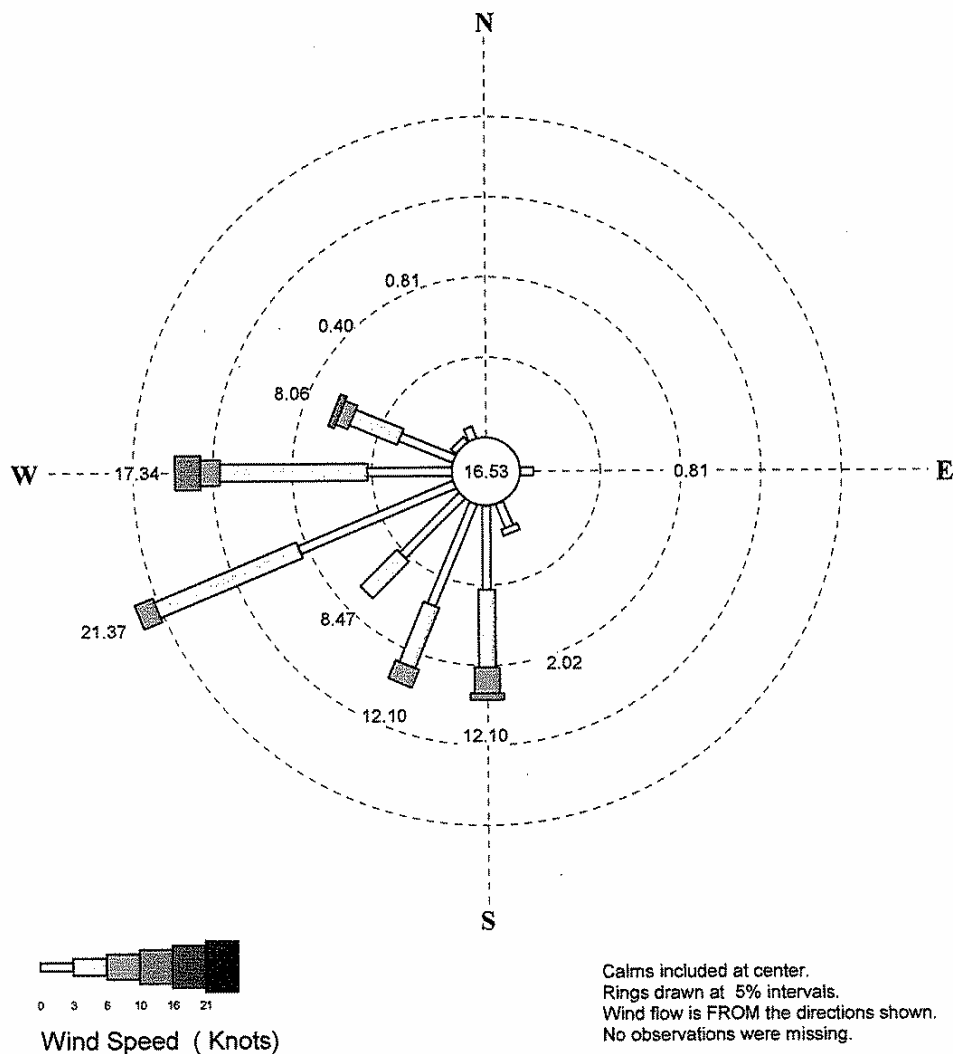
DIR	0	3	6	10	16	21
S	8.75	5.42	0.83	0.00	0.00	0.00
SSW	5.42	4.58	1.25	0.00	0.00	0.00
SW	2.08	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00
WSW	6.25	5.42	0.42	0.00	0.00	0.00
W	4.58	4.17	2.08	0.00	0.00	0.00
WNW	2.50	1.25	0.42	0.00	0.00	0.00
NW	1.67	0.42	0.42	0.00	0.00	0.00
NNW	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CALM OBS = 82 PERCENT CALM = 34.17						

ภาพผนวกที่ ๘ พังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน มิถุนายน 2549



ภาพผนวกที่ ๙ พังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน กรกฎาคม 2549

Bangkok Metropolis
August 2006



PERCENT OCCURRENCE: Wind Speed (Knots)
LOWER BOUND OF CATEGORY

DIR	0	3	6	10	16	21
N	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NNE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ENE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ESE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SSE	1.61	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00

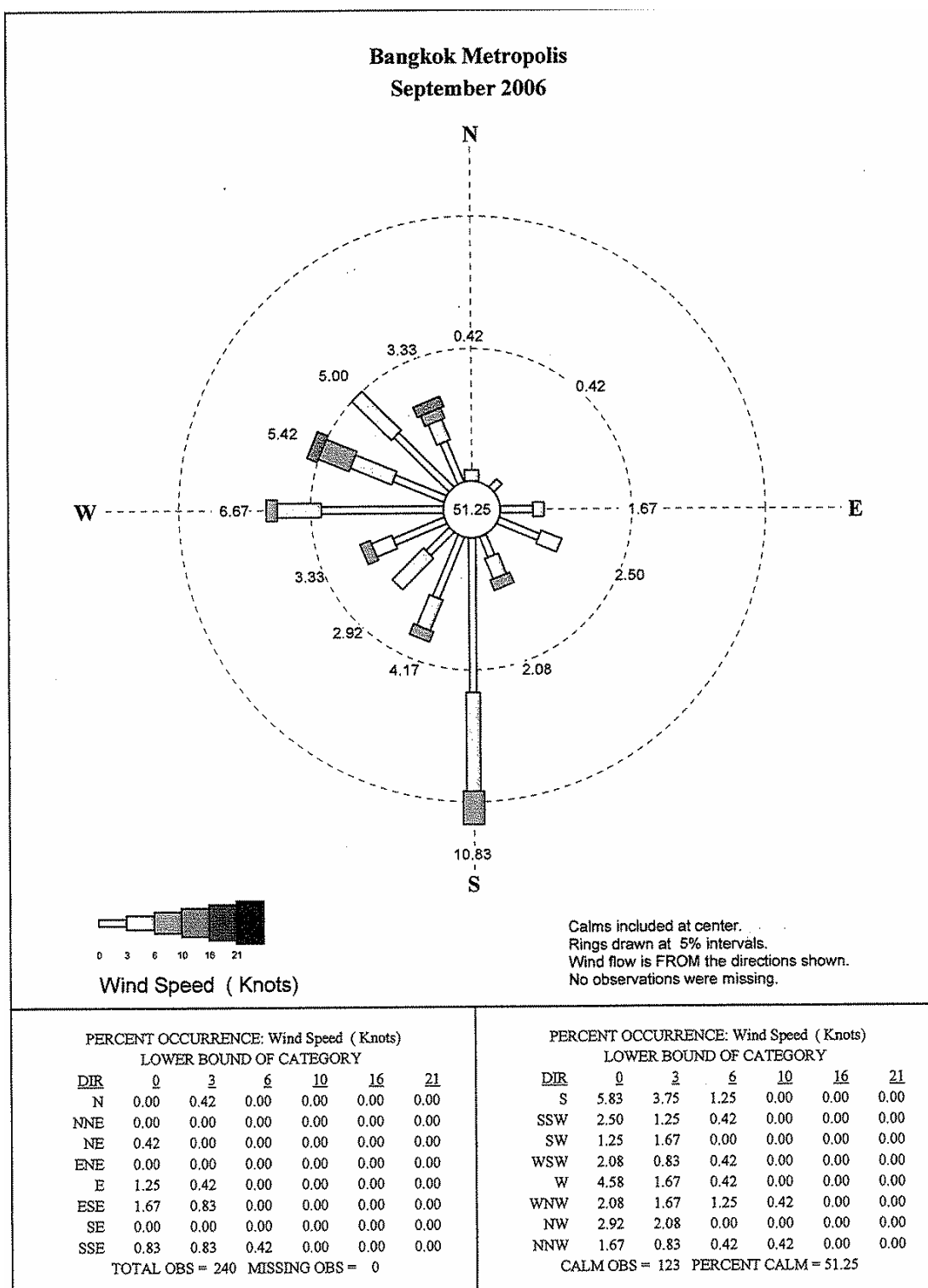
TOTAL OBS = 248 MISSING OBS = 0

PERCENT OCCURRENCE: Wind Speed (Knots)
LOWER BOUND OF CATEGORY

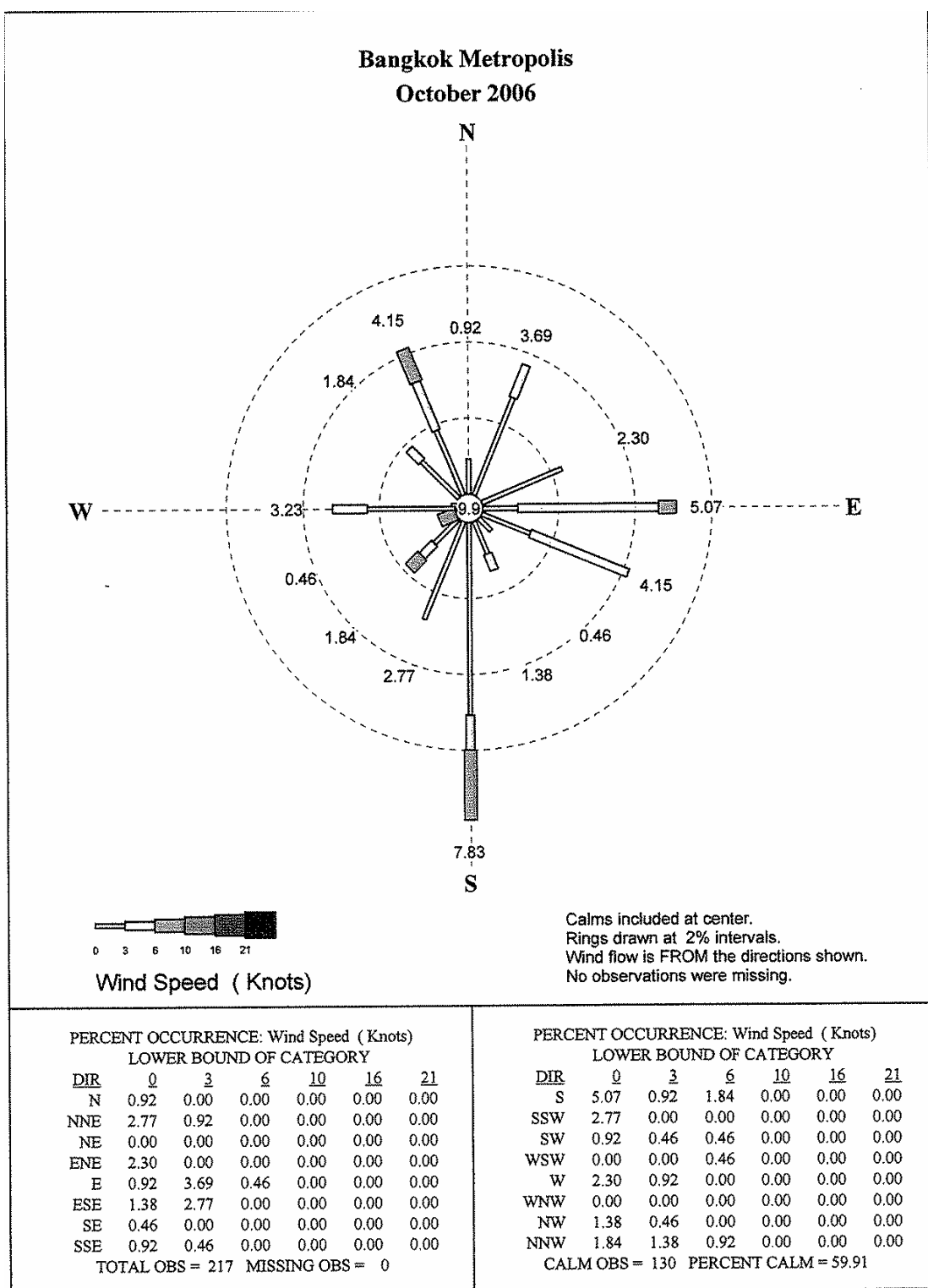
DIR	0	3	6	10	16	21
S	5.24	4.84	1.61	0.40	0.00	0.00
SSW	6.85	4.03	1.21	0.00	0.00	0.00
SW	5.24	3.23	0.00	0.00	0.00	0.00
WSW	10.48	9.68	1.21	0.00	0.00	0.00
W	5.24	9.27	1.21	1.61	0.00	0.00
WNW	3.63	3.23	0.81	0.40	0.00	0.00
NW	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00
NNW	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

CALM OBS = 41 PERCENT CALM = 16.53

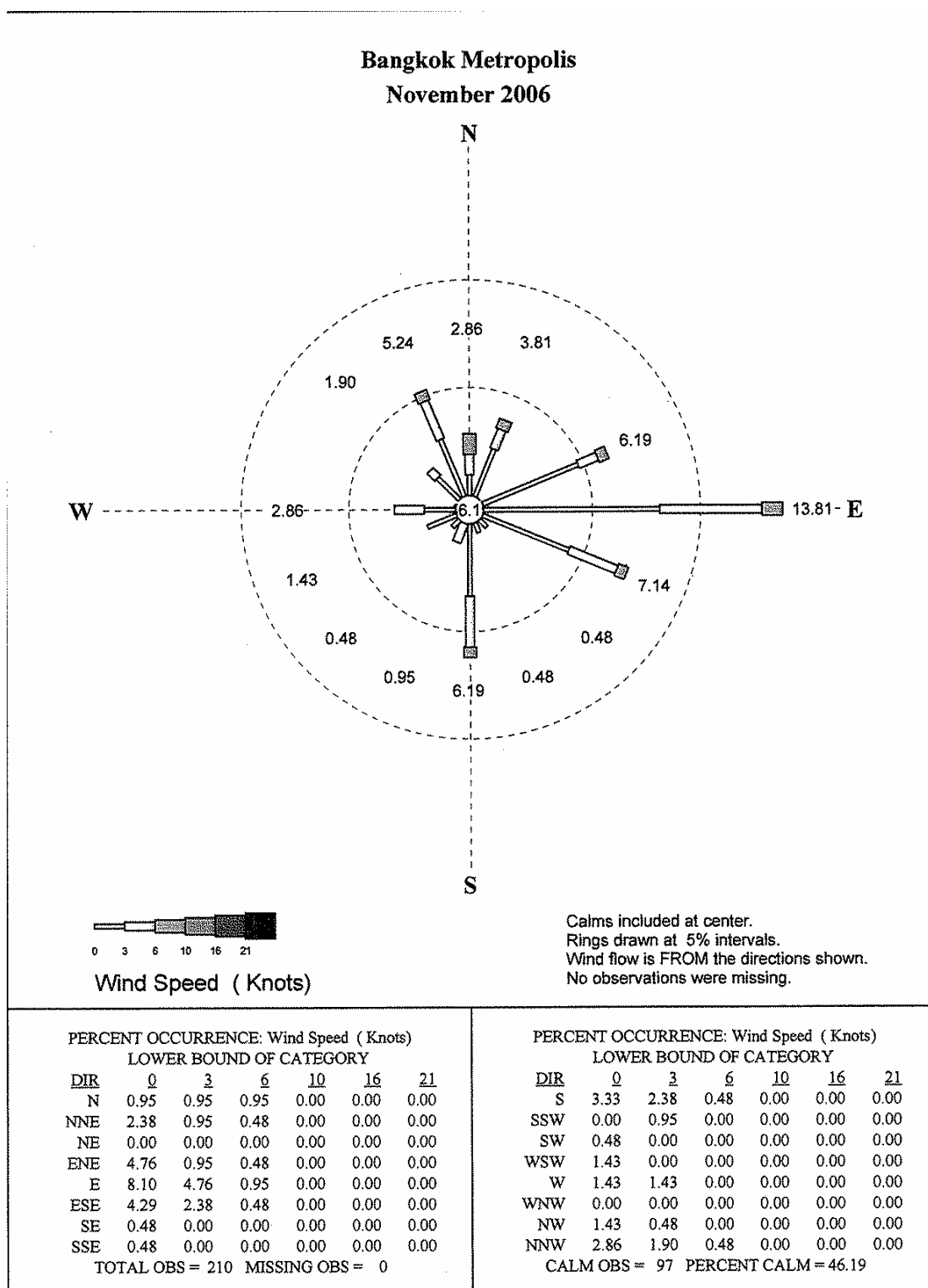
ภาพผนวกที่ ค10 พังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน สิงหาคม 2549



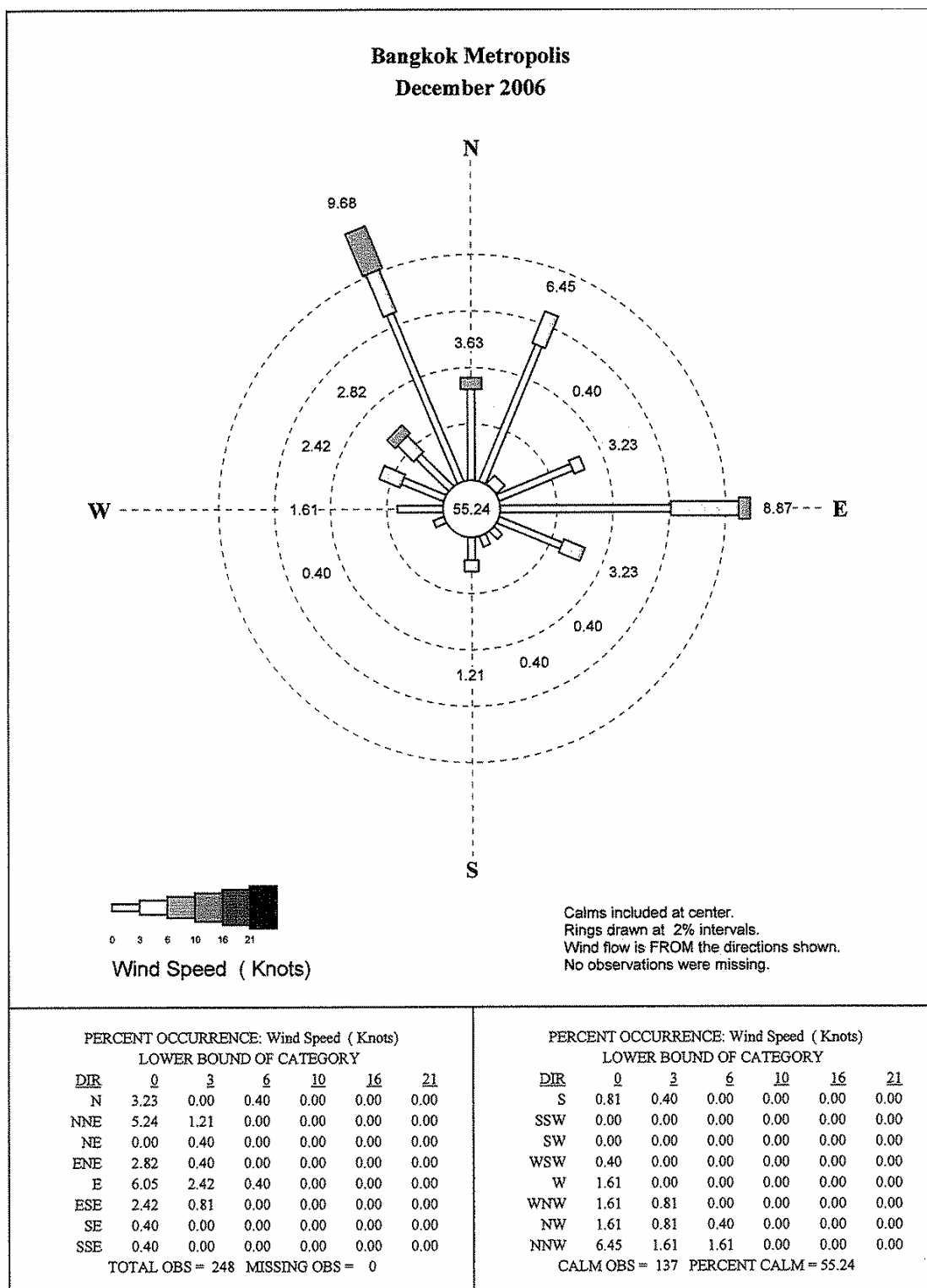
ภาพผนวกที่ ค11 พังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน กันยายน 2549



ภาพผนวกที่ ค12 พังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน ตุลาคม 2549



ภาพผนวกที่ ค13 พังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน พฤศจิกายน 2549



ภาพผนวกที่ ค14 พังลม ณ สถานีศูนย์สิริกิติ์ เดือน ธันวาคม 2549

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นางสาวทิพวรรณ อังศิริ
เกิดวันที่	19 สิงหาคม 2519
สถานที่เกิด	อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (สุขศึกษา) มหาวิทยาลัยบูรพา (2541) ศศ.บ. (อาชีวอนามัยและความปลอดภัย) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช (2547)