บทที่ 2

ผลงานวิจัย และงานเขียนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

น้ำมันเชื้อเพลิง

น้ำมันดิบ(สิริชัย ลีลากิจกุล, 2529)

น้ำมันดิบเกิดจากการทับถมและแปรสภาพของซากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ยุคก่อนประวัติศาสตร์ในชั้นหินใต้พื้นผิวโลก กล่าวคือเมื่อสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ที่เจริญเติบโตและอาศัยอยู่ในโลกนับหลายล้านปีมาแล้วตาย ซากพืชและซากสัตว์จะตกตะกอน หรือถูกกระแสน้ำพัดพาจมลงณ บริเวณที่เป็นทะเล หรือทะเลสาบในขณะนั้น แล้วจะคลุกเคล้าพร้อมทั้งถูกทับถมด้วยชั้นทราย ทราย และโคลนตมที่แม่น้ำพัดพามาสลับกันเป็นชั้นๆ ชั้นตะกอนต่างๆจะทับถมกันมากขึ้นจนหนาเป็นร้อยๆพันๆเมตรเกิดน้ำหนักกดทับกลายเป็นชั้นหินต่างๆเช่น ชั้นหินทราย ชั้นหินปูนและชั้นหินดินดานเป็นต้น ความกดดันจากชั้นหินเหล่านี้ผนวกกับความร้อนใต้พื้นผิวโลกและการสลายตัวของสารอินทรีย์ทำให้ซากพืชและสัตว์สลายตัวกลายสภาพเป็นน้ำมันและก๊าซธรรมชาติโดยมีไฮโดรเจนและคาร์บอนซึ่งได้จากการสลายตัวของอินทรีย์สารเป็นองค์ประกอบสำคัญ

คุณสมบัติของน้ำมันดิบแต่ละแหล่งกำเนิดจะแตกต่างกันออกไปตามองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอน และสิ่งเจือปนอื่นๆ ที่รวมอยู่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอินทรียวัตถุที่เป็นต้นกำเนิด และสภาพแวดล้อมของแหล่งที่เกิด น้ำมันดิบโดยทั่วไปจะมีสีดำหรือสีน้ำตาลมีกลิ่นคล้ายน้ำมันเชื้อเพลิงสำเร็จรูปแต่บางชนิดจะมีกลิ่นของสารผสมอื่นด้วย เช่น กลิ่นกำมะถันและกลิ่นก๊าซไข่เน่าเป็นต้น ความหนืดของน้ำมันดิบก็แตกต่างกันไปตั้งแต่เป็นของเหลวหนืดเหมือนน้ำจนกระทั่งหนืดคล้ายยางมะตอย โดยทั่วไปน้ำมันดิบจะมีค่าความถ่วงจำเพาะระหว่าง0.8-0.97 ที่ 15.6 องศาเซลเซียส ซึ่งเบากว่าน้ำเพื่อความสะดวกและเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์น้ำมันดิบจะถูกแปรเปลี่ยนสภาพให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปชนิดต่างๆ เช่น ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) น้ำมันเบนซิน น้ำมันเครื่องบินน้ำมันก๊าดน้ำมันดีเซลและน้ำมันเตาเป็นต้น(สิริชัย ลีลากิจกุล, 2529).

กระบวนการกลั่นน้ ามันเชื้ อเพลิง (สำรอง โชตะมังสะ, มปพ.)

การกลั่นน้ ามันเชื้ อเพลิง คือการแยกน้ ามันดิบออกเป็นส่วนต่างๆที่มีจุดเดือดใกล้เคียงกันแล้วผ่านน้ ามันเหล่านี้ เข้ากระบวนการอื่นๆ และแปรสภาพเพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน ในบางกรณีเราเติมสารอื่นลงไปเพื่อเพิ่มคุณภาพของน้ ามัน โดยทั่วไป การกลั่นน้ ามันเชื้ อเพลิงจะประกอบด้วยกระบวนการที่สำคัญ ดังนี้

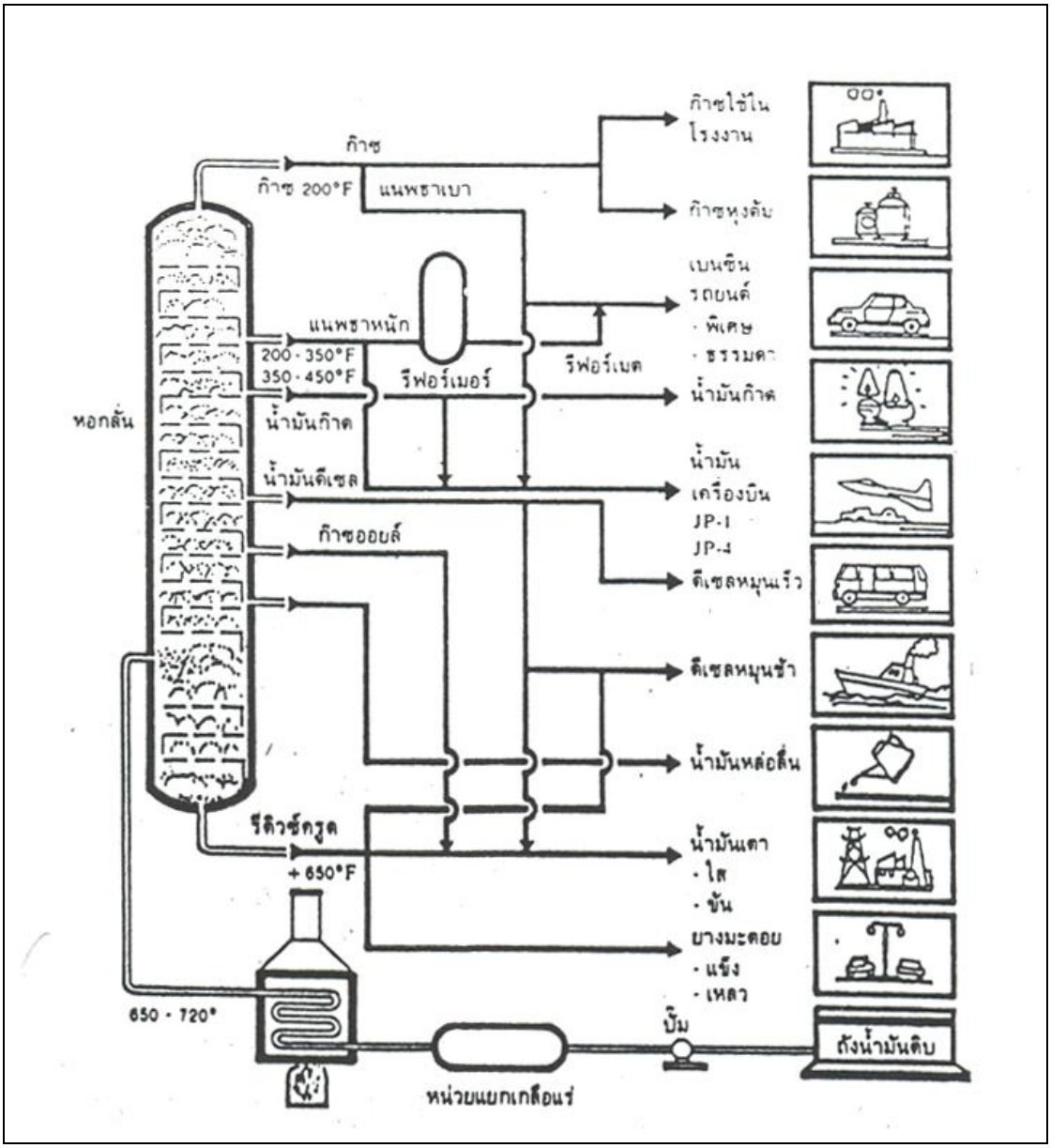
การกลั่นเบื้ องต้นหรือการแยก (Separation)

คือการให้ความร้อนแก่น้ ามันดิบ (ประมาณ 400 องศาเซลเซียส) จนเดือดเป็นไอในหอกลั่น ไอน้ ามันนี้ จะกลั่นตัวกลับเป็นของเหลว บนถาดที่เรียงกันเป็นชั้ นๆ หลายสิบชั้ น และจะอยู่ในถาดชั้ นใดก็ขึ้ นอยู่กับช่วงจุดเดือดของน้ ามันส่วนนั้นๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 ชั้ นบนสุดของหอกลั่นจะเป็นก๊าซซึ่งก็คือเชื้ อเพลิงเหมือนกัน น้ ามันอื่นๆจะแยกออกจากหอกลั่นตามช่วงต่างๆ กัน ส่วนที่เบาที่สุดเป็นก๊าซ ในอุณหภูมิและบรรยากาศธรรมดา ส่วนที่หนักขึ้ นสามารถกลั่นตัวเป็นของเหลวในอุณหภูมิและบรรยากาศธรรมดาเรียกว่า “สิ่งกลั่น” (Distillate) อย่างเบา ได้แก่ เบนซิน อย่างกลางได้แก่ น้ ามันก๊าดและน้ ามันดีเซล ส่วนที่หนักที่สุดไม่ระเหยเป็นไอในหอกลั่น เรียกว่า “ภากกลั่น” (Residual Fuel) ได้แก่ น้ ามันเตา

ผลิตภัณฑ์ส่วนสุดท้ายนั้ นขึ้ นอยู่กับประเภทของน้ ามันดิบที่นำมากลั่นเพราะน้ ามันดิบบางชนิดเมื่อกลั่นแล้ว ส่วนที่เหลืออาจจะได้เป็นคาร์บอนเสียส่วนใหญ่เรียกน้ ามันดิบชนิดนี้ ว่า “ปิโตรเลียมโค้ก” (Petroleum Coke) หรือบางชนิดอาจจะได้ของแข็งอ่อนๆ ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่มาก (รวมทั้ งมีโมเลกุลชนิดอื่นๆอยู่ด้วย) เรียกน้ ามันดิบชนิดนี้ ว่าปิโตรเลียมแอสฟัสต์ (Petroleum Asphalt) หรือยางมะตอย

ภาพที่ 2.1

หอกลั่นน้ ามัน



ที่มา : ธำรง โชตะมังสะ, มปพ.

ตารางที่ 2.1

ช่วงจุดเดือดของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมต่างๆ

ผลิตภัณฑ์	จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	สถานะ	จำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล
ก๊าซปิโตรเลียม	ต่ำกว่า 30	ก๊าซ	1 – 4
น้ำมันเบนซิน	0 - 65	ของเหลว	5 – 6
แนพธา	65 – 170	ของเหลว	6 – 10
น้ำมันก๊าด	170 – 250	ของเหลว	10 - 14
น้ำมันดีเซล	250 – 340	ของเหลว	14 – 19
น้ำมันหล่อลื่น	340 – 500	ของเหลว	19 – 35
ไข	340 – 500	ของแข็ง	19 – 35
น้ำมันเตา	สูงกว่า 500	ของเหลว	มากกว่า 35
บิทูเมน	สูงกว่า 500	ของแข็ง	มากกว่า 35

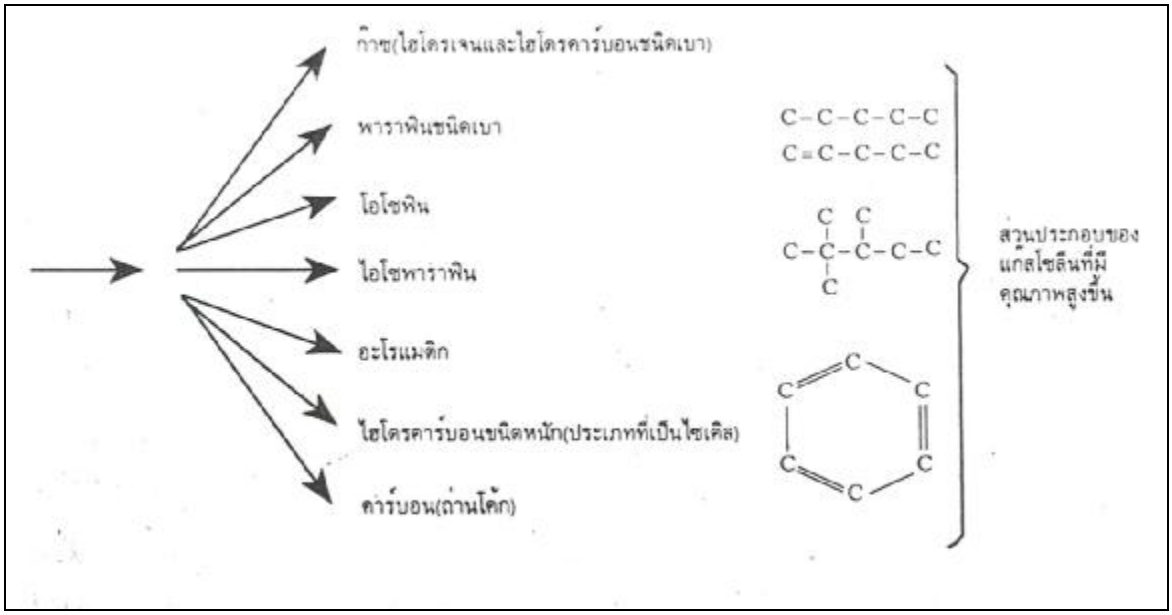
ที่มา : ธำรง โชตะมังสะ, มปพ.

การแปรรูปหรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (Conversion)

เป็นกระบวนการทางเคมี ใช้ในการแปรน้ำมันให้มีคุณค่าสูงขึ้น โดยการแปรสภาพหรือเปลี่ยนโครงสร้างของโมเลกุลของน้ำมัน ตัวอย่างเช่น การแปรน้ำมันที่หนักให้แตกตัวเป็นน้ำมันที่ซึ่งมีคุณค่าดีกว่า และการแปรผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สให้เป็นน้ำมันแก๊สโซลีนหรือที่เรียกกันอย่างแพร่หลายว่า น้ำมันเบนซิน ซึ่งมีหลายวิธีเช่น กระบวนการแยกสลาย (Cracking) เป็นการแยกสลายไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่และหนัก ให้เล็กและเบาลง โดยใช้ความร้อน (Thermal Cracking) ใช้ตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking) หรือใช้ไฮโดรเจนช่วย (Hydro cracking) ดังแสดงในภาพที่ 2.2

ภาพที่ 2.2

ทฤษฎีการแปรรูปหรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง



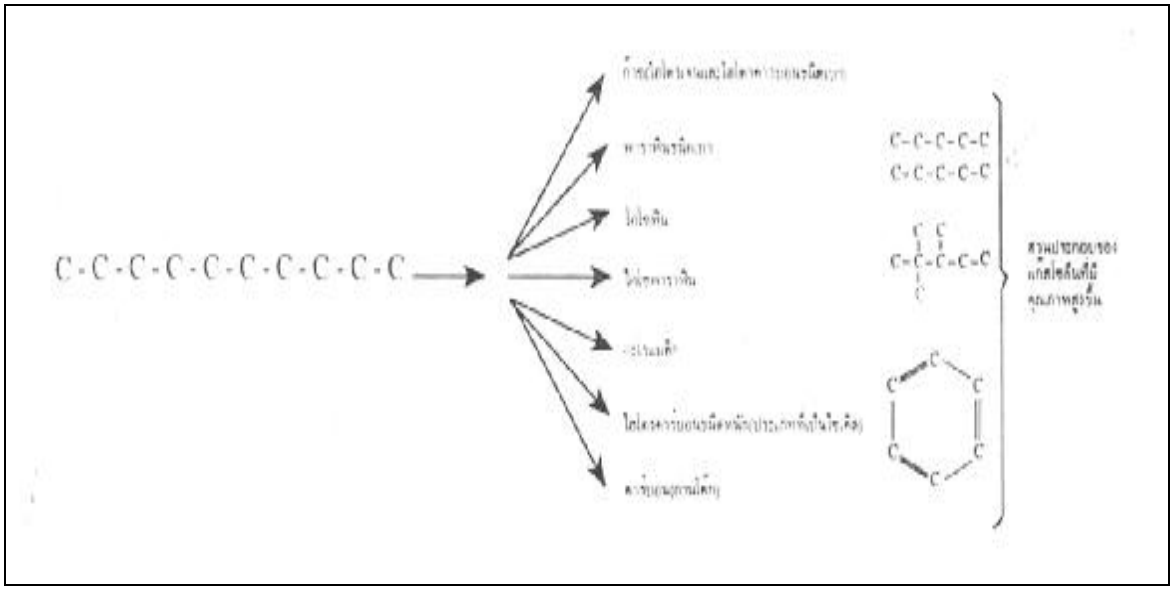
ที่มา : ธำรง โชตะมังสะ, มปพ.

<u>กระบวนการเปลี่ยนสภาพ (Reforming)</u>

เป็นการจัดรูปแบบโมเลกุลเสียใหม่ เช่น จากโซ่ตรงเป็นโซ่กิ่งและวงแหวนเพื่อเพิ่มค่าออกเทนสำหรับน้ำมันเบนซิน(Isomerization และ Reforming) ดังแสดงในภาพที่ 2.3 และ 2.4

ภาพที่ 2.3

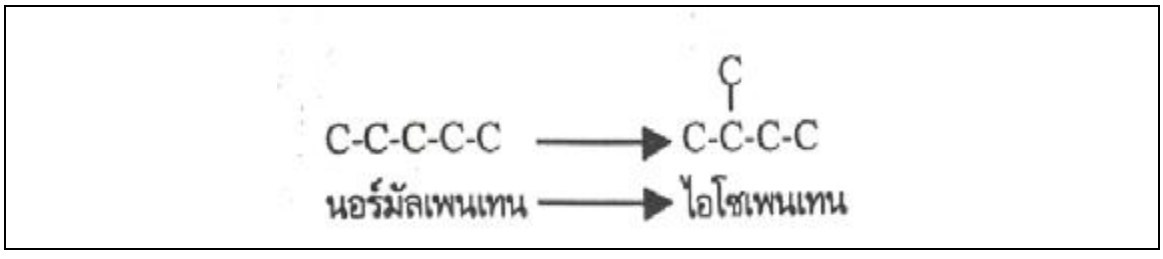
ทฤษฎีการเปลี่ยนสภาพ แบบ Isomerization



ที่มา : ธำรง โชตะมังสะ, มปพ.

ภาพที่ 2.4

ทฤษฎีการเปลี่ยนสภาพ แบบ Reforming



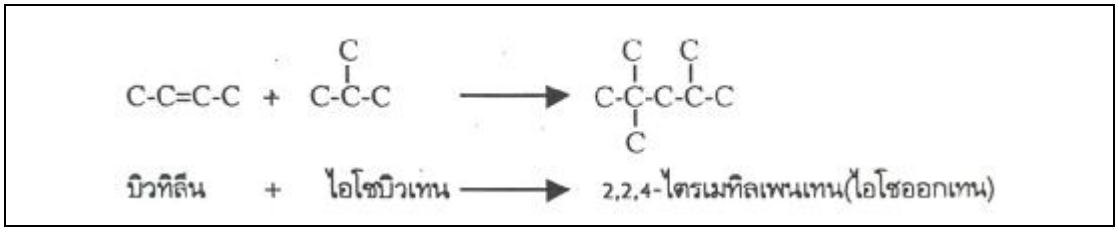
ที่มา : ธำรง โชตะมังสะ, มปพ.

<u>กระบวนการรวมโมเลกุล (Alkylation และ Polymerization)</u>

เป็นการรวมโมเลกุลส่วนเบา ให้ได้โมเลกุลที่หนักขึ้ น พร้อมทั้งคุณสมบัติดีกว่า ดังแสดงในภาพที่ 2.5 และ 2.6

ภาพที่ 2.5

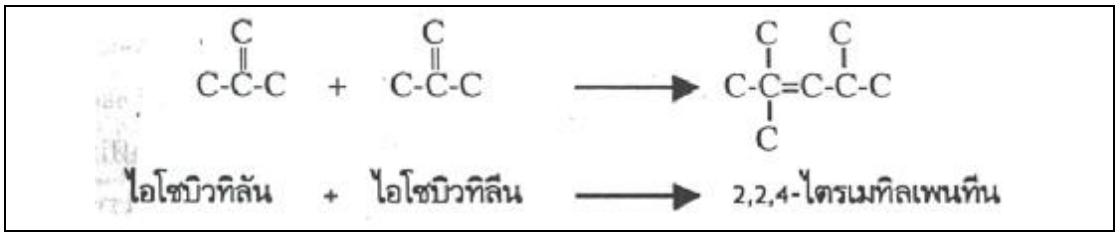
ทฤษฎีการรวมโมเลกุล แบบ Alkylation



ที่มา : ธำรง โชตะมังสะ, มปพ.

ภาพที่ 2.6

ทฤษฎีการรวมโมเลกุล แบบ Polymerization



ที่มา : ธำรง โชตะมังสะ, มปพ.

<u>การปรับปรุงให้บริสุทธิ์หรือการปรับปรุงคุณภาพ(Treating)</u>

คือการขจัดส่วนที่ไม่ต้องการออกจากน้ำมัน เช่น กำมะถัน เมอร์แคปตัน เกลือ เป็นต้น เพื่อให้ได้น้ำมันที่มีความคงตัวและคุณภาพดีขึ้น โดยเฉพาะกำมะถัน ซึ่งมีวิธีการขจัดออก เช่น

– ฟอกด้วยไฮโดรเจน ไฮโดรเจนจะทำปฏิกิริยากับกำมะถันกลายเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ก๊าซไข่เน่า) ซึ่งอาจนำไปผลิตกำมะถัน อันเป็นผลพลอยได้ต่อไป

– ฟอกด้วยโซดาไฟ กำมะถันในน้ำมันจะถูกแยกออกมาอยู่ในรูปเกลือโซเดียมซัลไฟด์

การผสม (Blending)

คือการเอาส่วนต่างๆของน้ำมันมาผสมกัน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม เช่น น้ำมันเบนซิน น้ำมันเครื่องบินไอพ่น เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมถึงการเติมสารเคมีบางอย่างลงไปในน้ำมัน เช่น การเติมสารในน้ำมันเบนซินเพื่อต้านทานการน็อคของเครื่องยนต์ ป้องกันการรวมตัวของน้ำมันและออกซิเจน ขจัดคราบเขม่าเป็นต้น

ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (สิริชัย ลีลากิจกุล, 2529)

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquified Petroleum Gas)

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือที่เรียกโดยทั่วไปว่า แอล.พี.จี. (LPG) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากส่วนบนสุดของหอกลั่นในกระบวนการกลั่นน้ำมันหรือผลิตภัณฑ์ที่แยกออกจากก๊าซธรรมชาติ ก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีจุดเดือดต่ำมาก ดังนั้นในการเก็บรักษาจึงต้องเพิ่มความดันหรือลดอุณหภูมิเพื่อให้เป็นของเหลว ก๊าซปิโตรเลียมเหลวใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดีเวลาลุกไหม้ให้ความร้อนสูงและมีเปลวสะอาด โดยปกติจะไม่มีสีและกลิ่น แต่ผู้ผลิตจะใส่กลิ่นเพื่อให้สังเกตได้ง่ายในกรณีที่เกิดมีก๊าซรั่วอันอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ ประโยชน์ของก๊าซปิโตรเลียมเหลว ได้แก่ ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหุงต้ม เชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์และเครื่องยนต์เป็นต้น

น้ำมันเบนซิน(Gasoline)

น้ำมันเบนซินได้จากการกลั่นน้ำมันดิบหรือจากการแยกก๊าซธรรมชาติเหลวและเบนซินธรรมชาติ (Condensate) น้ำมันเบนซินจะผสมสารเคมีเพิ่มคุณภาพเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น สารเคมีเพิ่มค่าอ๊อกเทน (Octane Number) สารเคมีสำหรับป้องกันสนิมและการกัดกร่อนในตัวน้ำมันและท่อน้ำมัน รวมทั้งสารเคมีช่วยทำความสะอาดคาร์บูเรเตอร์เป็นต้น

น้ำมันเบนซินในประเทศไทยแบ่งเป็น 2 ชนิด คือชนิดพิเศษค่าอ๊อกเทนสูงสำหรับเครื่องยนต์เบนซินที่มีกำลังอัดสูง และน้ำมันเบนซินชนิดธรรมดาสำหรับเครื่องยนต์เบนซินกำลังอัดต่ำ

น้ ามันเครื่องบิน

แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. น้ ามันเครื่องบินใบพัด(Aviation Gasoline) น้ ามันเชื้ อเพลิงสำหรับเครื่องบินใบพัด มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับน้ ามันเบนซินสำหรับรถยนต์แต่มีค่าอ๊อกเทนสูงกว่า เพื่อให้เหมาะสมกับเครื่องยนต์ของเครื่องบินซึ่งต้องใช้กำลังขับดันมาก

2. น้ ามันเครื่องบินไอพ่น(Jet Fuel) น้ ามันเชื้ อเพลิงเครื่องบินไอพ่น(Aviation Turbine Fuels) เครื่องยนต์ไอพ่นในสมัยแรกๆ ได้ใช้น้ ามันก๊าดที่มีจำหน่ายทั่วไปเป็นเชื้ อเพลิง เนื่องจากน้ ามันก๊าดมีคุณสมบัติในการระเหยตัวต่ำ(ระเหยช้า) อันเป็นคุณสมบัติอันสำคัญของเชื้ อเพลิงสำหรับเครื่องบินไอพ่น หรือที่เรียกว่าเครื่องเจ็ท ในปัจจุบันเครื่องบินไอพ่นของสายการบินพาณิชย์ส่วนใหญ่ยังนิยมใช้เชื้ อเพลิงที่มีช่วงจุดเดือดเช่นเดียวกับของน้ ามันก๊าด แต่จะต้องมีความสะอาด บริสุทธิ์ และมีคุณสมบัติบางอย่างดีกว่าน้ ามันก๊าด

น้ ามันก๊าด(Kerosene)

ในยุคต้นๆของการกลั่นน้ ามันนั้ นน้ ามันก๊าดเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ผู้กลั่นผลิตออกมาเพื่อใช้เป็นเชื้ อเพลิงจุดตะเกียงแต่ปัจจุบันน้ ามันก๊าดสามารถนำมาใช้ประโยชน์อย่างอื่นอีกหลายประการ เช่น ใช้เป็นส่วนผสมสำหรับยาฆ่าแมลง สีทาบ้าน น้ ามันขัดเงาและส่วนผสมในน้ ายาทำความสะอาด

น้ ามันดีเซล(Diesel Fuel)

เครื่องยนต์ดีเซลนั้ นมีหลักการทำงานแตกต่างจากเครื่องยนต์เบนซินซึ่งใช้การระเบิดของหัวเทียน กล่าวคือ การจุดระเบิดของเครื่องยนต์ดีเซลใช้ความร้อนซึ่งเกิดขึ้ นจากการอัดอากาศออกจากภายในลูกสูบ ปัจจุบันได้มีการประยุกต์เครื่องยนต์ดีเซลให้เป็นเครื่องต้นกำลังของเครื่องมือและอุปกรณ์หลักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเช่น รถบรรทุก รถโดยสาร รถแทรกเตอร์ หัวจักรรถไฟและเรือยนต์ น้ ามันเชื้ อเพลิงที่จะใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ต้องปรับปรุงให้เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่ใช้กับงานชนิดต่างๆกัน สำหรับน้ ามันดีเซลที่ใช้ในประเทศไทยมีอยู่2 ชนิด คือ น้ ามันสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบเร็ว (Automotive Diesel Oil) และน้ ามันสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบช้า (Industrial Diesel Oil)

น้ ามันเตา(Fuel Oil)

น้ ามันเตาเป็นเชื้ อเพลิงสำหรับเตาหม้อน้ ำและเตาเผาหรือเตาหลอมในโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ เครื่องยนต์เรือเดินสมุทรและเตาต้มน้ ำร้อนในโรงงาน เป็นต้น น้ ำมันเตาในประเทศไทยแบ่งออกเป็น3 ชนิด ได้แก่

1. น้ ำมันเตาอย่างเบา(Light Fuel) มีความหนืดต่ำ ส่วนมากใช้กับหมอต้มน้ ำขนาดเล็ก

2. น้ ำมันเตาอย่างกลาง(Medium Fuel Oil) มีความหนืดปานกลาง ส่วนมากใช้กับหม้อต้มน้ ำหรือเตาเผาขนาดกลางและ

3. น้ ำมันเตาอย่างหนัก(Heavy Fuel Oil) มีความหนืดสูง ส่วนมากใช้กับเตาเผาขนาดใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เตาเผาในอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์

ยางมะตอย(Asphalt)

ยางมะตอยเป็นผลิตภัณฑ์ส่วนที่หนักที่สุดเหลือจากการกลั่นน้ ำมันยางมะตอยที่ดีจะต้องมีความเฉื่อยต่อสารเคมีและไอควันแทบทุกชนิด มีความทนทานต่อสภาพอากาศและความกระเทือนและมีความยืดหยุ่นต่ออุณหภูมิระดับต่างๆได้ดี ประโยชน์ของยางมะตอย ได้แก่ ใช้เป็นวัสดุลาดถนน เป็นวัสดุสำหรับมุงหลังคา เป็นน้ ำยาทาเคลือบท่อเพื่อป้องกันสนิมและเป็นน้ ำยาป้องกันสนิมใต้ท้องรถยนต์เป็นต้น

คุณสมบัติของน้ ำมันเชื้ อเพลิงชนิดJET A-1 (ธำรง โชตะมังสะ, มปพ.)

1. คุณภาพการเผาไหม้ (Combustion Quality)

ความสามารถของน้ ำมันที่จะเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพและสะอาด เพราะก๊าซร้อนจากการเผาไหม้ จะต้องไปทำงานเป่ากังหันที่ต้องหมุนรอบสูงมาก ก๊าซร้อนที่ไม่สะอาดจะทำอันตรายแก่ใบกังหัน อันจะเป็นเหตุให้เครื่องบินเกิดความเสียหายได้

2. ค่าความร้อน (Heat Content)

ต้องสูงเพื่อเป็นการประหยัดเชื้ อเพลิงและบินเดินทางได้ระยะไกลกว่าคาดคะเนดูได้จากค่าความถ่วงจำเพาะ (Gravity) ของน้ ามัน

3. ความคงตัว (Stability)

ต้องมีค่าสูงเพื่อมิให้น้ ามันเสื่อมหรือสลายตัวด้วยปฏิกิริยาทางเคมีในระหว่างการเก็บหรือเมื่อถูกใช้เป็นสารถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Medium)

4. การกัดกร่อน (Non-Corrosiveness)

ต้องไม่มีการกัดกร่อนที่จะทำอันตรายกับระบบน้ ามันเชื้ อเพลิงและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

5. ความเหลวที่สามารถจะปั๊มได้ (Pumpability)

เพื่อให้สามารถสูบถ่ายและกำหนดปริมาณน้ ามันเข้าเผาไหม้ได้ในทุกๆ สภาพการทำงานของเครื่องบินและสภาพอากาศเย็นจัดบนเพดานบินสูงๆได้

6. อัตราการระเหย (Volatility)

ต้องระเหยเป็นไอได้อย่างเหมาะสมในการเผาไหม้ แต่ต้องมีความดันไอต่ำพอสมควรเพื่อป้องกันการสูญเสียของน้ ามันมากเกินไปจากการระเหยออกจากทางระบายอากาศของถังเก็บ

7. ความสะอาด (Cleanliness)

ต้องไม่มีสิ่งสกปรก สนิม น้ ำและสิ่งอื่นๆเจือปน

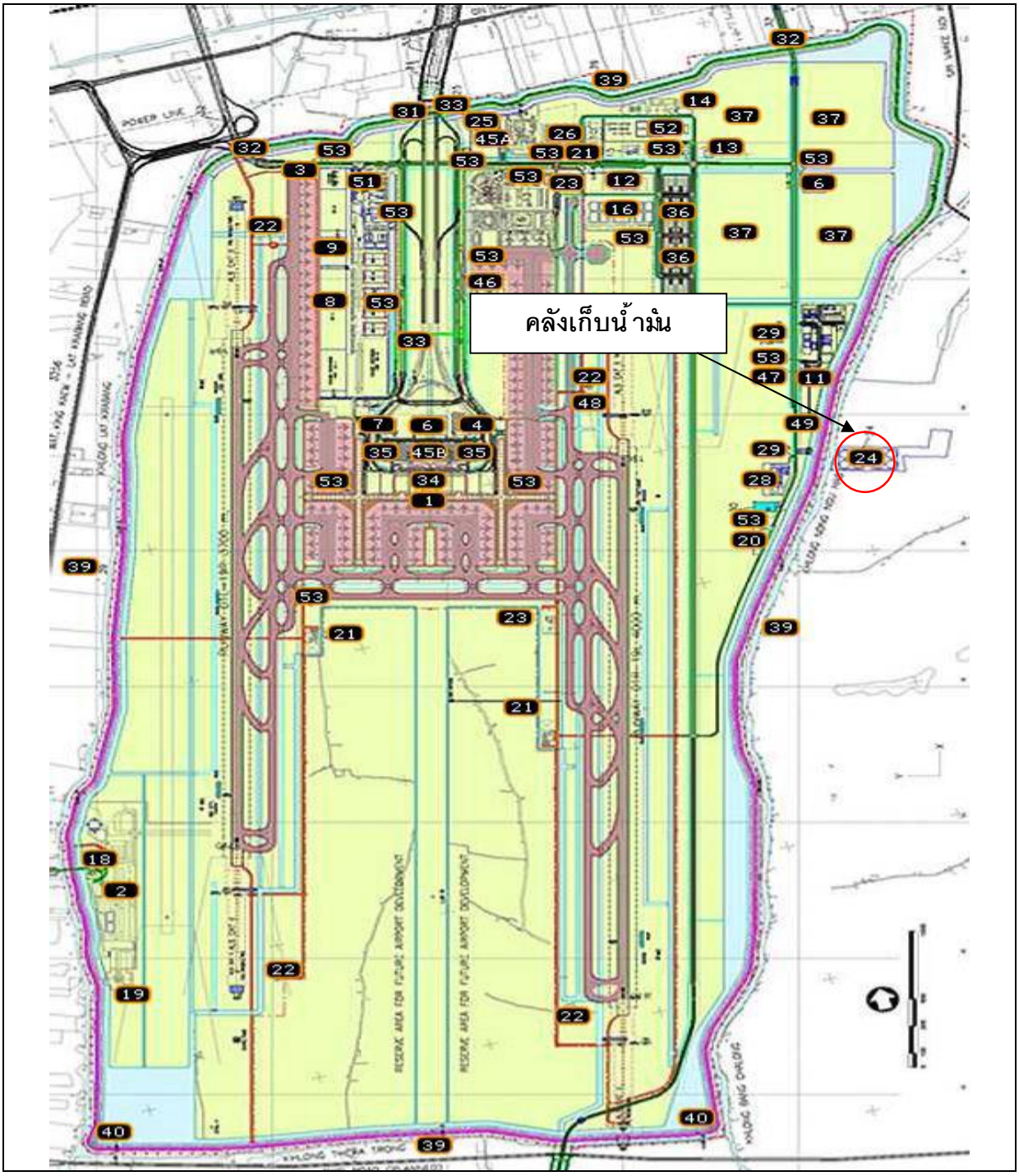
พื้นที่ศึกษา

สนามบินสุวรรณภูมิ(บริษัท ทีม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง แอนด์ แมเนจเมนท์ จำกัด2548)

ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิตั้งอยู่ที่อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ ห่างจากกรุงเทพมหานครไปทางตะวันออกประมาณ 25 กิโลเมตร เริ่มดำเนินการศึกษาเพื่อพัฒนาพื้นที่บริเวณหนองงูเห่าเป็นท่าอากาศยานเมื่อปี พ.ศ.2534 โดยพื้นที่และตำแหน่งของสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ภายในท่าอากาศยานสุวรรณภูมิแสดงดังในภาพที่ 2.7 ถึง 2.8 และตารางที่ 2.2 และมีอาคารผู้โดยสารเป็นอาคารเดี่ยวสูง 8 ชั้นรวมชั้นใต้ดิน มีพื้นที่ประมาณ563,000 ตารางเมตร ตั้งอยู่ทางด้านทิศเหนือของท่าอากาศยาน สามารถรองรับผู้โดยสารได้45 ล้านคนต่อปี

ภาพที่ 2.7

พื้นที่และจุดศึกษาคลังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิงภายในโครงการ
ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ



ที่มา : bidding.airportthai.co.th

ตารางที่ 2.2

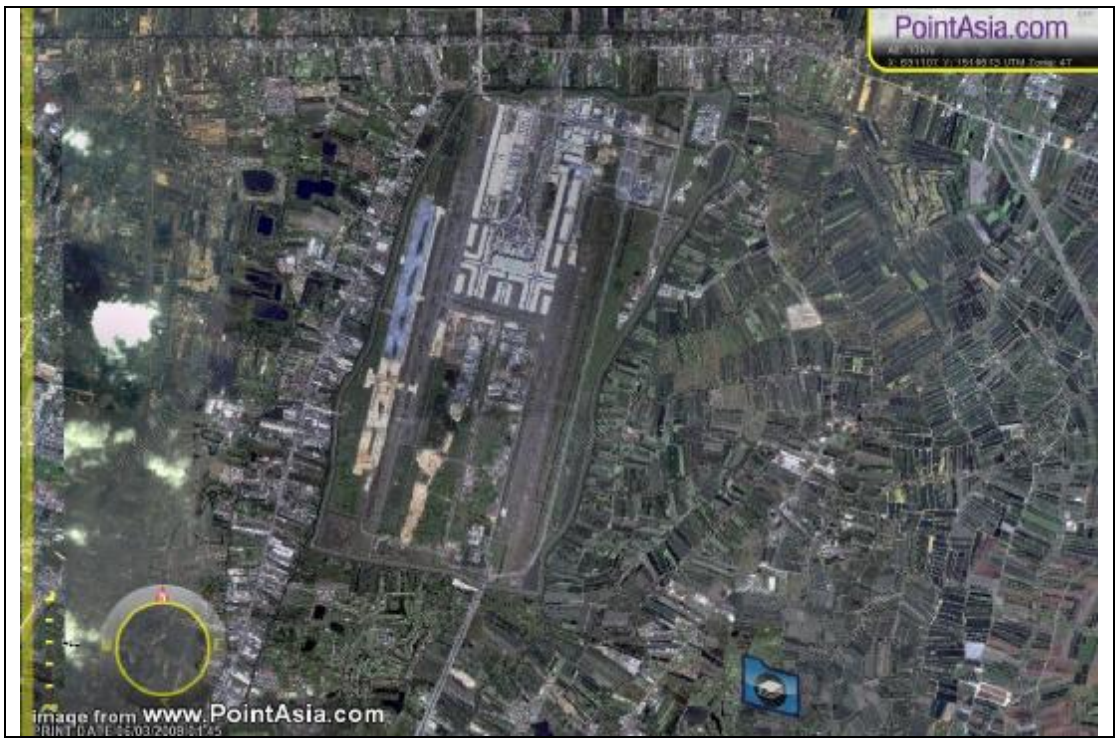
รายละเอียดในส่วนต่างๆ ของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

รายละเอียดในส่วนต่าง ๆของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ	
1. อาคารผู้โดยสาร	26. สถานีจ่ายน้ำประปา
2. อาคารท่าอากาศยานหลวง	27. สถานีกรองน้ำประปา
3. อาคารศูนย์ไปรษณีย์และพัสดุภัณฑ์ทางอากาศ	28. โรงบำบัดน้ำเสีย
4. อาคารสำนักงาน	29. ระบบเรดาร์
5. อาคารรักษาความปลอดภัย	30. อาคารอุตุนิยมวิทยา
6. โรงแรมท่าอากาศยาน	31. ถนนทางเข้าสายหลัก
7. หอบังคับการบินและสิ่งอำนวยความสะดวก	32. ถนนทางเข้าสายรอง
8. อาคารคลังสินค้า	33. ระบบขนส่งมวลชน/รถไฟฟ้าเข้าท่าอากาศยาน
9. อาคารส่งพัสดุภัณฑ์ด่วน	34. สถานีรถไฟ
10. อาคารโภชนาการ	35. อาคารจอดรถ
11. อาคารซ่อมบำรุงท่าอากาศยาน	36. ลานจอดรถระยะยาว
12. อาคารซ่อมบำรุงอุปกรณ์ในการให้บริการภาคพื้น	37. พื้นที่สำหรับการพัฒนาสิ่งอำนวยความสะดวก
13. สถานรักษาพยาบาล	38. ศูนย์ธุรกิจย่อยท่าอากาศยาน
14. อาคารสโมสรและสันทนาการ	39. เขื่อนดินกั้นรอบสนามบิน รั้ว และถนน
15. ศูนย์รถเช่า	40. สถานีสูบน้ำและพื้นที่บ่อเก็บน้ำ
16. ศูนย์ซ่อมบำรุงอากาศยาน	45A. โรงผลิตไฟฟ้าและน้ำเย็น
17. สถานีน้ำมันและซ่อมบำรุงรถยนต์	45B. โรงจ่ายไฟฟ้า / โรงจ่ายน้ำเย็น
18. อาคารสำหรับเครื่องบินเล็ก	46. คลังสินค้าภายในประเทศ
19. สนามบินสำหรับเครื่องบินปีกหมุน	47. อาคารอุปกรณ์เครื่องส่งวิทยุ
20. สนามฝึกดับเพลิง	48. อาคารรับขยะเครื่องบิน
21. อาคารดับเพลิงและกู้ภัย	49. สถานีขนถ่ายขยะ
22. อาคารไฟนำร่อง	50. อาคารศูนย์ปฏิบัติการ
23. สถานีเติมน้ำมันอากาศยาน	51. สิ่งอำนวยความสะดวกรวมในเขตปลอดอากร
24. คลังน้ำมันอากาศยาน	52. อาคารรถโดยสารประจำทาง
25. สถานีแปลงไฟฟ้าย่อย	53. ระบบจ่ายสาธารณูปโภค

ที่มา : bidding.airportthai.co.th

ภาพที่ 2.8

สนามบินสุวรรณภูมิและพื้ นที่โดยรอบ



ที่มา : โปรแกรมสารสนเทศ Point Asia

<u>สถานีบริการสุวรรณภูมิ (Suvarnabhumi Service Station)</u> (บริษัท บริการเชื้ อเพลิงการบินกรุงเทพ จำกัด (มหาชน), 2549)

สถานีบริการสุวรรณภูมิได้ให้บริการเติมน้ำมันอากาศยานอย่างครบวงจรแก่สายการบินต่างๆ ที่ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

โดยพื้ นที่และตำแหน่งของสิ่งปลูกสร้างต่างๆภายในสถานีบริการสุวรรณภูมิแสดงดังในภาพที่ 2.9

ภาพที่ 2.9

คลังเก็บน้ ามันเชื้ อเพลิงสนามบินสุวรรณภูมิ

ที่มา : โปรแกรมสารสนเทศ Point Asia

<u>ชนิดของถังเก็บน้ ามันเชื้ อเพลิง</u>(AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors)

ถังเก็บสารออร์แกนิคแบบเหลว เราสามารถพบได้ทั่วไป เช่น การผลิตหรือกลั่นปิโตรเลียม ปิโตรเคมี สถานีเก็บและขนส่งสารเคมี และอุตสาหกรรมอื่นๆที่ต้องใช้หรือผลิตสารออร์แกนิคแบบเหลว โดยทั่วไปแล้วในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมจะเรียกสารออร์แกนิคแบบเหลวว่า ปิโตรเลียมเหลว ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากการรวมกันของไฮโดรคาร์บอนที่มีการระเหยในอุณหภูมิที่ต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น แก๊สโซลีน และน้ ามันดิบ ในอุตสาหกรรมเคมีจะเรียกสารพวกนี้ ว่าสารออร์แกนิคระเหย เช่น สารเคมีบริสุทธิ์หรือสารเคมีผสมซึ่งมีจุดเดือดเท่ากัน ยกตัวอย่างเช่น เบนซินหรือสารผสมของไอโซโพรพิวและบิลทิวแอลกอฮอล์

ถังเก็บสารออร์แกนิคแบบเหลวมีทั้ งหมด6 ชนิดได้แก่

1. Fixed Roof Tank (Vertical and Horizontal)

ถังชนิด Vertical Fixed Roof Tank ประกอบด้วยโครงเหล็กกล้าที่ทำให้หลังคาคงรูปร่างถาวรซึ่งมีการออกแบบได้หลังค่าได้หลายแบบเช่น ทรงโคน ทรงครึ่งวงกลมหรือราบเรียบ

ถังชนิด Horizontal Fixed Roof Tank มีทั้งแบบที่อยู่เหนือพื้นดินและใต้ดิน วัสดุที่ใช้ในการสร้างส่วนใหญ่เป็นเหล็กกล้าเคลือบด้วยเส้นใยแก้ว (fiberglass) หรือใยแก้วผสมโพลีเอสเตอร์ ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กมีความจุน้อยกว่า40000 แกลอน

2. External Floating Roof Tank

ชนิดของถัง External Floating Roof Tank (EFRT) ประกอบด้วยโครงสร้างเหล็กกล้าที่ด้านบนเปิดออกและนำมาสวมเพื่อให้หลังคามีการลอยตัวอยู่เหนือพื้นผิวของเหลว โดยหลังคาจะสามารถลอยตัวขึ้นลงตามระดับของเหลวที่อยู่ในถัง

3. Internal Floating Roof Tank

ถังชนิดนี้ มีส่วนที่เป็นหลังคาที่ไม่สามารถขยับได้ภายนอกและส่วนที่เป็นหลังคาลอยด้านใน ซึ่งปกติมีสองแบบคือ แบบที่ต้องมีแท่งค้ำหลังคาภายใน และแบบที่หลังคาสามารถคงรูปร่างเองได้ไม่ต้องใช้แท่งค้ำภายใน

4. Domed External (or covered) Floating Roof Tank

ถังชนิดนี้ โดยทั่วไปเป็นผลมาจากการดัดแปลงมาจากถัง External Floating Roof Tank โดยการเพิ่มตัวหลังคาที่ไม่เคลื่อนที่ไว้ด้านบน จึงทำให้ถังชนิดนี้ มีความคล้ายคลึงกับถัง Internal Floating Roof Tank ที่หลังคาสามารถคงรูปร่างเองได้ไม่ต้องใช้แท่งค้ำภายใน

5. Variable Vapor Space Tank

ใช้ในการกักเก็บสารเคมีที่เกิดการขยายตัวได้โดยปริมาตรที่ขยายตัวจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความดัน

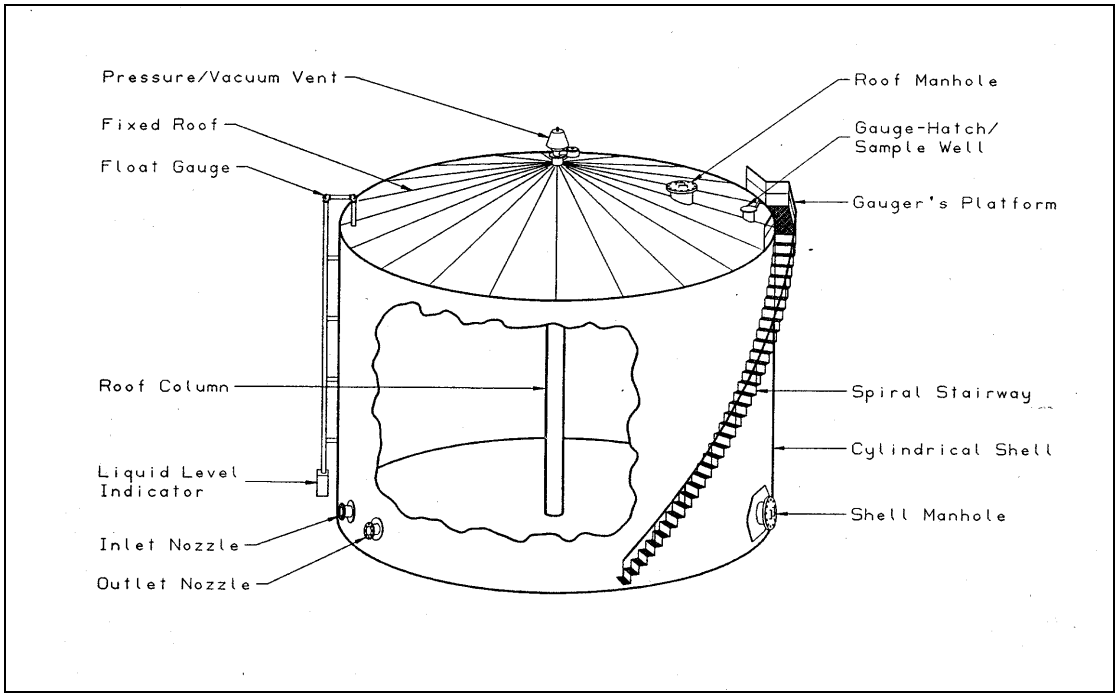
6. Pressure Tank (Low and High)

โดยทั่วไปแล้วมีถังความดันที่ใช้อยู่ 2 ชนิดคือ ความดันต่ำ (2.5 ถึง 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) และความดันสูง (มากกว่า 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ใช้ในการเก็บสารอินทรีย์เหลวและก๊าซที่มีค่าความดันไอสูงและพบได้ในทุกขนาดและทุกรูปร่างตามแต่การใช้งาน

สำหรับถังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในสถานีบริการสุวรรณภูมิเป็นถังชนิด Vertical Fixed Roof ดังแสดงในภาพที่ 2.10

ภาพที่ 2.10

ถังกักเก็บแบบ Fixed Roof Tank ชนิด Vertical



ที่มา : AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors Section 7.1

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ความหมายของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

นพภาพร พานิช (2544) ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ สูตร วิธีการคำนวณ ขั้นตอน Algorithms ซึ่งใช้แทนปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ และทางเคมีที่เกิดขึ้นจริง

<u>แบบจำลองทางคณิตศาสตร์</u> (วราวุธ เสือดี, 2550)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้คือ BREEZE HAZ Version 1.1 ซึ่งพัฒนาโดย บริษัท Trinity Consultants Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีลักษณะเฉพาะดังนี้

BREEZE HAZ เป็นการรวบรวมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ประเมินผลกระทบจากการรั่วไหลของสารเคมีตามที่กำหนดในกฎหมายหลายฉบับในหลายประเทศคือ

1) ส่วนที่ 112 (r) ของญัตติการทำอากาศให้บริสุทธิ์ (Section 112(r) of the Clean Air Act)

2) องค์กรความปลอดภัยและอาชีวอนามัยแห่งสหรัฐอเมริกา (Occupational Safety and Health (OSHA)) และความปลอดภัยในกระบวนการผลิต (Process Safety Management (PSM))

3) ประชาคมเศรษฐกิจยุโรป หัวข้อที่ 82/501(European Economic Community (EEC) Directive 82/501)

4) หน่วยงานป้องกันอัคคีภัยแห่งสหรัฐอเมริกา ส่วนที่ 59A ความปลอดภัยของก๊าซธรรมชาติในรูปของเหลว (National Fire Protection Agency (NFPA) 59A Liquefied Natural Gas (LNG) Safety)

5) กรมการขนส่งแห่งสหรัฐอเมริกา มาตรฐานที่ 49 CFR 193 (Department of Transportation (DOT) Federal Standard 49 CFR 193)

นอกจากนี้ BREEZE HAZ ยังพัฒนาตามหลักการ Quantitative Risk Assessment (QRA) ตามที่ US.EPA ได้แนะนำไว้ โดยมีแบบจำลองฯ ย่อย ที่ BREEZE HAZ รวบรวมไว้ดังนี้

1. แบบจำลองฯ ย่อย EXPERT (วราวุธ เสือดี, 2551)

เป็นแบบจำลองฯ เพื่อประมาณการปล่อยสารเคมีเมื่อมีการรั่วไหลในสภาวะต่างๆ ก่อนนำไปสู่ การประเมินผลของการแพร่กระจาย (Dispersion) การติดไฟลุกไหม้ (Fire) และการระเบิด (Explosion) โดยในการวิเคราะห์ขึ้ นอยู่กับข้อมูลของแหล่งกำเนิดและเลือกแบบจำลองฯ ที่มีความเหมาะสมที่สุดในเหตุการณ์รั่วไหลนั้ น รูปแบบของการรั่วไหลสามารถบอกได้ถึงคุณสมบัติทางกายภาพของสารเคมีขณะที่รั่วไหลออกมาจากที่กักเก็บ หรือกระบวนการผลิตและบางส่วนที่จะเข้า

สู่บรรยากาศในรูปของไอระเหย ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ ระบบที่ใช้ก่อนเกิดการรั่วไหลและสภาพของอากาศโดยปัจจัยต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	ระบบที่ใช้	สิ่งแวดล้อม
มวลโมเลกุล	ปริมาณของสาร	อุณหภูมิในบรรยากาศ
ความดันไอ	ความดันของระบบ	ความเร็วลม
ค่าความจุความร้อน	อุณหภูมิของระบบ	อุณหภูมิผิวพื้น
จุดเดือด	ขนาดและทิศทางของจุดรั่วไหล	ความชื้น
ค่าความร้อนแฝง	ขอบเขตที่สารเคมีหกลงพื้น	
	ปริมาณที่ลดลง	

ที่มา: วราวุธ เสือดี, 2551

การรั่วไหลของสารเคมีอาจจะเกิดการรั่วไหลของสารแบบสถานะเดียวหรือสองสถานะของสารประกอบเดี่ยวหรือสารผสม การรั่วไหลแบบสถานะเดียวจะมีเพียงแค่สถานะก๊าซหรือของเหลว การรั่วไหลแบบสองสถานะจะมีทั้งของเหลวและก๊าซจะเกิดเมื่อสารประกอบนั้นเป็นก๊าซที่สภาพบรรยากาศทั่วไปและถูกเก็บไว้ด้วยความดันก๊าซเหลวดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4

การรั่วไหลของสารเคมี

ชนิดของแหล่งกำเนิด	รูปแบบการรั่วไหล
ก๊าซเจ็ทสถานะเดียว (ถูกจำกัดและไม่จำกัด)	1. รั่วไหลจากถังเก็บอัดความดัน(เหนือระดับของเหลว) 2. รั่วไหลจากท่อหรือวาล์วขนถ่าย 3. ไม่มีการกลั่นตัว
ก๊าซเจ็ทสองสถานะ (ถูกจำกัดและไม่จำกัด)	1. รั่วไหลจากถังเก็บอัดความดันหรือถูกให้ความร้อนเหนือระดับของเหลว 2. รั่วไหลจากท่อหรือวาล์วขนถ่ายที่อัดความดันหรือก๊าซถูกทำให้ร้อน 3. ก๊าซที่รั่วไหลเกิดการกลั่นตัวเป็นของเหลว
ของเหลวสองสถานะ	1. รั่วไหลจากถังเก็บอัดความดันใต้ระดับของเหลว 2. รั่วไหลจากท่อหรือวาล์วเชื่อมต่อ 3. ของเหลวรั่วไหลออกมาและเกิดเป็น ไอระเหยและพื้ นที่ที่สารเกิดการท่วมขังอยู่ (Pool) ของสาร
ของเหลวหกเป็นแอ่ง	1. รั่วไหลจากถังกักเก็บในภาวะปกติใต้ระดับของเหลว 2. รั่วไหลจากท่อหรือวาล์วในภาวะปกติ
ของเหลวอุณหภูมิต่ำหก	1. รั่วไหลจากถังกักเก็บที่อุณหภูมิต่ำใต้ระดับของเหลว 2. รั่วไหลจากท่อส่งหรือวาล์วที่อุณหภูมิต่ำ

ที่มา: วราวุธ เสือดี, 2551

การรั่วไหลที่ถูกจำกัด (Choked flow release) การรั่วไหลของก๊าซจะถูกจำกัดการรั่วไหลเมื่อค่าความดันสูงกว่าค่าความดันของบรรยากาศ

การรั่วไหลอย่างรวดเร็ว (Flashing emissions) เมื่อก๊าซที่อยู่ในรูปของเหลวเกิดการรั่วไหลในอากาศ คุณสมบัติทางเคมีจะทำให้สารเกิดการระเหยอย่างรวดเร็วบางส่วน และส่วนที่เหลือจะตกสู่พื้ นอยู่ในรูปพื้ นที่ของเหลวท่วมขัง (Liquid Pool)

ในการวิเคราะห์การรั่วไหลของแบบจำลองฯ Expert มีข้อมูลที่จำเป็นในการนำเข้าดังนี้

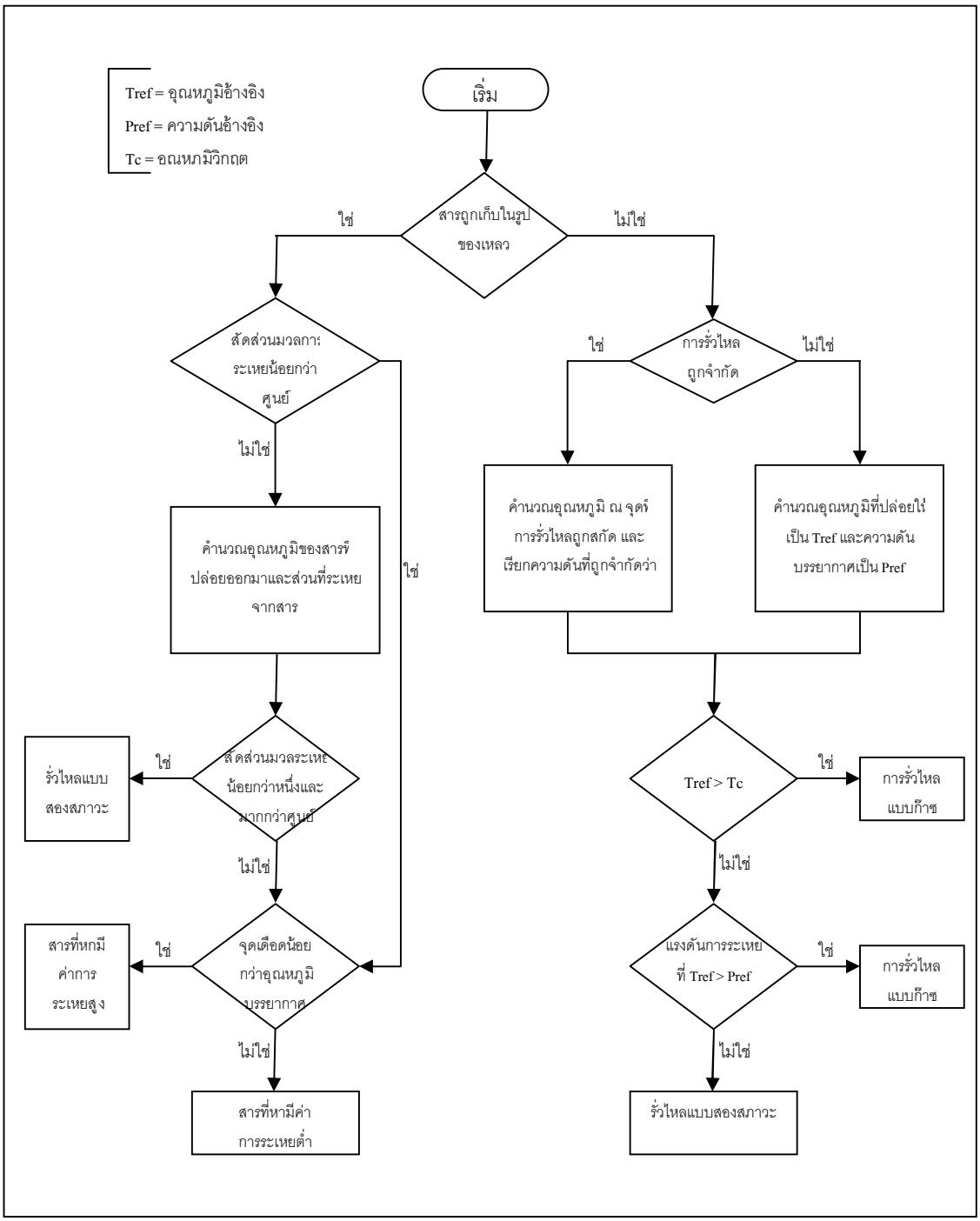
- ข้อมูลของสารเคมีที่กักเก็บ
- อุณหภูมิที่ใช้ในการกักเก็บ
- ความดันที่ใช้ในการกักเก็บ
- ขนาดของรูรั่ว
- ความลึกของของเหวในถังกักเก็บเหนือรูรั่ว
- ขนาดของแอ่งสูงสุด
- ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

<u>การจำแนกรูปแบบการรั่วไหล</u> (วราวุธ เสือดี, 2551)

การจำแนกรูปแบบการรั่วไหลของแบบจำลองฯ ย่อย EXPERT จากเหตุการณ์สมมติที่เกิดขึ้ นสามารถจำแนกรูปแบบการรั่วไหลของสารเคมี โดยขึ้ นอยู่กับลักษณะเฉพาะของสารเคมีและสภาวะการกักเก็บ กระบวนในการจำแนกชนิดของการรั่วไหลของ แสดงดังภาพที่ 2.11

ภาพที่ 2.11

ผังแสดงการจำแนกรูปแบบการรั่วไหล



ที่มา: Trinity Consultants, 1991-2004

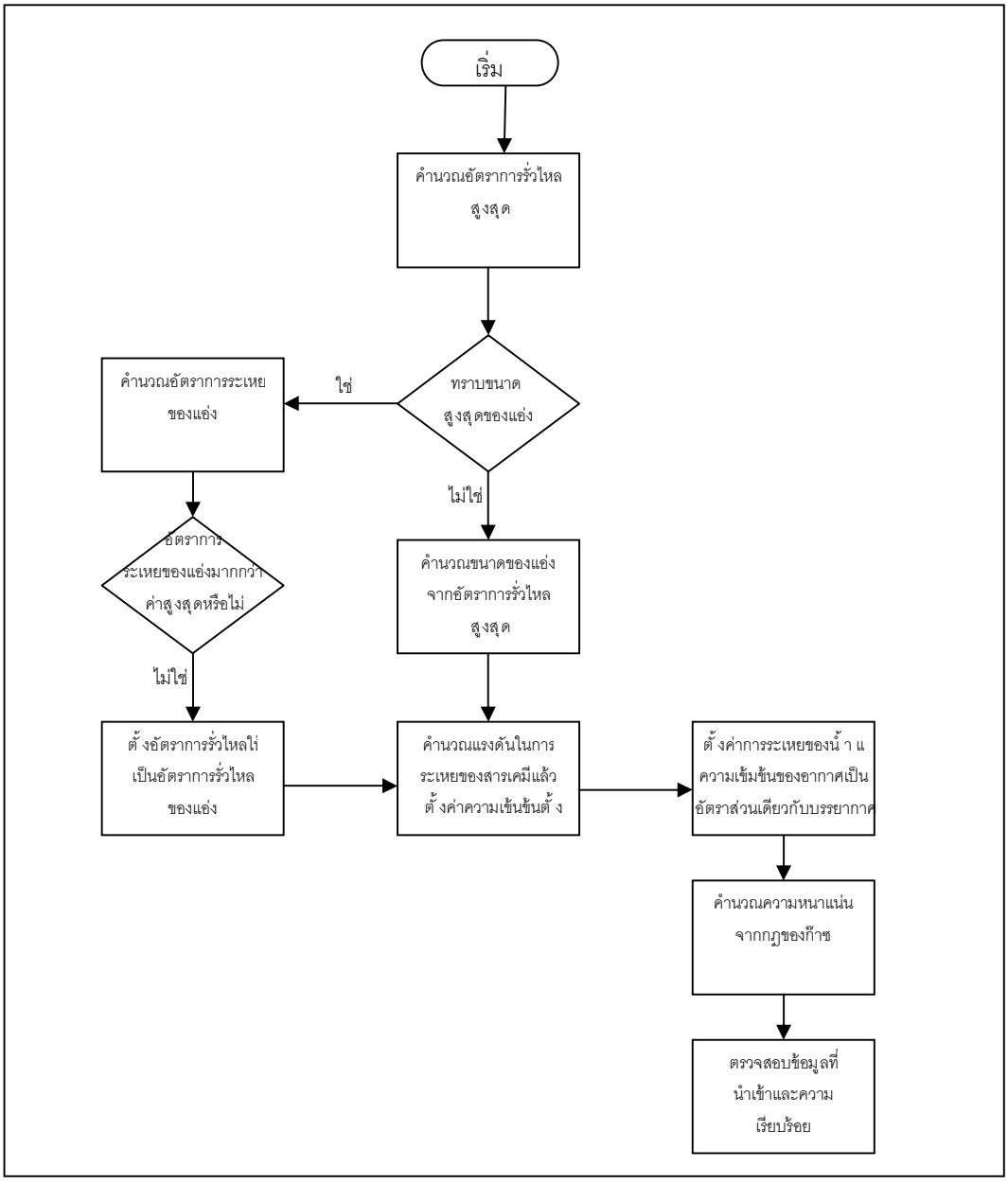
จากภาพที่ 2.11 แสดงถึงขั้นตอนในการจำแนกรูปแบบการรั่วไหลของสารเคมีจากเหตุการณ์ที่สมมติขึ้น ซึ่งในการจำแนกรูปแบบการรั่วไหลเป็นการแบ่งประเภทการรั่วไหลขั้นพื้นฐานทางเคมี ลักษณะการกักเก็บ(ก๊าซหรือของเหลว) และการระเหยเริ่มต้นจากถังกักเก็บ (สถานะเดียว หรือ 2 สถานะ) โดยรูปแบบการรั่วไหลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ เป็นการรั่วไหลแบบสถานเดียว (ของเหลวมีค่าการระเหยต่ำ) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

<u>การรั่วไหลสถานะเดียว (ของเหลวที่มีค่าการระเหยต่ำ)</u>

ขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรมExpert ใช้ในการคำนวณข้อมูลที่ต้องนำเข้าเพื่อใช้ในการหาการรั่วไหลของของเหลวที่มีค่าการระเหยต่ำ ในกรณีนี้ การรั่วไหลออกสู่บรรยากาศจะถูกควบคุมโดยขนาดของแอ่ง ซึ่งขนาดของแอ่งอาจถูกจำกัดโดยขนาดของกำแพงกั้น ถ้าไม่มีกำแพงกั้นโปรแกรมExpert จะคำนวณขนาดของ Pool โดยดูที่ปริมาณที่รั่วไหลและมีความลึก 1 เซนติเมตรดังแสดงในภาพที่ 2.12

ภาพที่ 2.12

ลำดับขั้นตอนการจำแนกและคำนวณ กรณีการรั่วไหลสถานะเดียว
(ของเหลวที่มีค่าการระเหยต่ำ)



ที่มา: Trinity Consultants, 1991-2004

<u>การคำนวณอัตราการรั่วไหล (Emission Rate)</u> (วราวุธ เสือดี, 2551)

ในการคำนวณอัตราการรั่วไหลจากรูรั่ว แบบจำลองฯ ย่อย EXPERT จะคำนวณโดยใช้หลักการในการออกแบบภาชนะ ซึ่งมีผลต่อการรั่วไหล การคำนวณอัตราการรั่วไหลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ คือ

กรณีการรั่วไหลแบบสถานะเดียวของของเหลว (ค่าการระเหยต่ำ)

ค่าที่ต้องการขั้ นต้นได้แก่ค่า

E = อัตราการไหลของของเหลวจากรูรั่ว (กิโลกรัมต่อวินาที)

T_{rel} = อุณหภูมิของของเหลวหลังเกิดการรั่วไหล(เคลวิน)

การคำนวณอัตราการรั่วไหลของสารที่มีค่าการระเหยต่ำมีวิธีการที่เหมือนกับสารที่มีค่าการระเหยสูง โดยคำนวณที่การรั่วไหลของของเหลวออกจากภาชนะบรรจุ ในกรณีของสารที่มีค่าการระเหยสูงจะถือว่าเกิดการระเหยของสารทันทีเมื่อเกิดการรั่วไหล แต่สารที่มีค่าการระเหยต่ำจะถือว่ามีการรั่วไหลจากการระเหยของ Pool (E_{pool}) ซึ่งใช้คำนวณและเทียบเท่ากับการรั่วไหลจากถังกักเก็บตามสมการ

$$E_{pool} \quad 6.94 \times 10^{-7}\left(1 + 0.0043(T_2 - 273.15)^{2}\right) U_r^{0.75} A_p M \frac{p_v}{p_{vh}}$$

เมื่อ : E_{pool} = อัตราการรั่วไหล (ระเหย) จากแอ่ง (กิโลกรัมต่อวินาที)

U_r = ความเร็วของลมที่ความสูง 10 เมตร (เมตรต่อวินาที)

A_p = ขนาดของแอ่ง (ตารางเมตร)

M = น้ำหนักโมเลกุล(กิโลกรัมต่อกิโลโมล)

T_2 = Trel หรือ Ta (เคลวิน)

T_a = อุณหภูมิบรรยากาศ (เคลวิน)

[T2-273.15] = 0 ถ้า [T2-273.15] < 0

p_{vh} = ค่าความดันไอของไฮดราซีน (Hydrazine) ที่ T_2 (ปาสคาล)

$$p_{vh} = \exp\left[76.8580 - \frac{7245.2}{T_2} - 8.22\ln(T_2) + 0.0061557\,T_2\right]$$

เมื่อ : p_{vh} = ค่าความดันไอของไฮดราซีน (Hydrazine) ที่ T_2 (ปาสคาล)

λ = ค่าความร้อนของการระเหย ณ Tb (จูลต่อกิโลกรัม)

R = ค่าคงที่ของก๊าซเท่ากับ 8314 (จูลต่อกิโลโมลเคลวิน)

Tb = จุดเดือดปกติ (เคลวิน)

ค่าของT_2สามารถเป็นได้ทั้งสองค่า ดังนั้นค่าของอัตราการระเหยจึต้องคำนวณโดยใช้ค่าทั้งสองนั้นโดยปกติแล้วค่าของอุณหภูมิที่สูงกว่าจะมีค่าอัตราการระเหยมากกว่าในกรณีนี้ จะใช้ค่าความดันไอของไฮดราซีนมาเป็นตัวเทียบ

ถ้าอัตราการระเหยจาก Pool น้อยกว่าอัตราการไหลจากรูรั่ว การระเหยจาก Poolถือเป็นอัตราการรั่วไหล ในกรณีนี้อัตราการระเหยจาก Pool และขนาดของ Pool จะนำมาใช้ในการหาอัตราการรั่วไหลและขนาดของ Pool

ถ้าอัตราการระเหยจาก Pool มากกว่าอัตราการไหลจากรูรั่ว อัตราการรั่วไหลจากถังกักเก็บถือเป็นการรั่วไหลสู่บรรยากาศ เมื่อสารเคมีเกิดการรั่วไหล Pool ที่เกิดจะมีขนาดเล็กกว่าค่าพื้นที่ของPool (A_p) ค่าการระเหยจาก Pool จะเท่ากับอัตราการไหลจากรูรั่ว ขนาดของ Pool จะถูกคำนวณใหม่อีกครั้งจากสมการของอัตราการระเหยจากPool โดยให้ค่าของอัตราการระเหยจาก Pool (E_{pool}) เท่ากับ อัตราการไหลจากรูรั่ว (E) ขนาดของ Pool ใหม่จะใช้เป็นขนาดของแหล่งกำเนิด

<u>การคำนวณอุณหภูมิขณะเกิดการรั่วไหล (Release Temperature)</u> (วราวุธ เสือดี, 2551)

แบบจำลองฯ EXPERT ต้องการอุณหภูมิของสารในขณะกักเก็บก่อนจะเกิดการรั่วไหลและคำนวณการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลังเกิดการรั่วไหลแล้ว ซึ่งแบบจำลองBreeze Haz จะนำมาใช้ต่อไป

ถ้าสารที่เกิดการรั่วไหลมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศความหนาแน่นอาจจะเพิ่มขึ้ นจนกลายเป็นก๊าซที่หนาแน่น(Dense Gas)

ถ้าสารที่เกิดการรั่วไหลมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศความหนาแน่นจะมีค่าน้อยกว่าอากาศและเกิดการรั่วไหลแบบลอยตัว (Buoyant Release) หรือพลูม (Plume) โดยมีวิธีในการหาอุณหภูมิขณะเกิดการรั่วไหลดังนี้

<u>กรณีการรั่วไหลแบบสถานะเดียวของของเหลว (ค่าการระเหยต่ำ)</u>

การรั่วไหลกรณีนี้ ถือว่าสารเกิดการระเหยจากPool ของสารเคมีที่หก จุดเดือดของสารเคมีมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศ อุณหภูมิของสารที่รั่วไหลออกมาในอากาศจะถือว่ามีค่าเท่ากับอุณหภูมิของบรรยากาศ หรือเท่ากับอุณหภูมิที่กักเก็บ

<u>การคำนวณค่าสัดส่วนการระเหย (Vapor Fraction)</u> (Trinity Consultants, 1991-2004)

สัดส่วนการระเหยของการรั่วไหลเป็นค่าที่จำเป็นในการคำนวณสำหรับกรณีการรั่วไหล 2 สภาวะ สำหรับการรั่วไหลสภาวะเดียวนั้นถือว่าทั้งหมดของสารเกิดการระเหยเข้าสู่บรรยากาศทั้งหมดเพราะ

1) สารที่กักเก็บไว้ในสภาวะความดันและลดอุณหภูมิลง เนื่องจากการขยายตัวไม่เพียงพอที่จะเกิดการควบแน่นได้

2) การรั่วไหลของสารที่มีค่าการระเหยสูงจะเกิดการระเหยทันทีเมื่อออกมาสู่สิ่งแวดล้อม

3) การรั่วไหลของสารที่มีค่าการระเหยต่ำการรั่วไหลเข้าสู่สิ่งแวดล้อมคือการระเหยจากแอ่งเท่านั้น

เนื่องจากการรั่วไหลแบบสองสถานะเป็นการผสมกันระหว่างของเหลวและส่วนที่มีการระเหย จึงมีสมการที่ใช้ในการคำนวณเฉพาะกลุ่มนี้ เท่านั้น ส่วนในกรณีอื่นจะให้ค่าสัดส่วนการระเหยของการรั่วไหล (F_{rel}) เท่ากับ 1

<u>การคำนวณค่าความเข้มข้นเริ่มต้น (Initial Concentration)</u> (Trinity Consultants, 1991-2004)

ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นเป็นค่าสูงที่สุดของความเข้มข้นตามทิศทางลมและจะไม่เพิ่มขึ้นตามระยะของทิศทางที่เคลื่อนที่ไป ถ้าความเข้มข้นเริ่มต้นมีค่าต่ำอาจไม่ต้องพิจารณาว่าเป็นการรั่วไหลของสารที่หนักกว่าอากาศ ความเข้มข้นของสารเคมี อากาศ และการระเหยของน้ำใช้ในการคำนวณหาความหนาแน่นของการรั่วไหล โดยความเข้มข้นนี้ขึ้นอยู่กับ

f_a = สัดส่วนโมลของอากาศ

f_w = สัดส่วนโมลของการระเหยของน้ำ

f_i = สัดส่วนโมลของสารเคมีที่สนใจ

ค่าเหล่านี้จำเป็นในการคำนวณการรั่วไหลแบบสถานะเดียว และสารที่มีค่าการระเหยต่ำ ในกรณีอื่นนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกับจุดเดือดของสารเคมีและเกิดการควบแน่นหรือของเหลวเกิดการระเหยหรือระเหิด สำหรับค่าการรั่วไหลที่มีค่าใกล้กับจุดเดือดให้ค่า f_i เท่ากับ 1 ค่าของ f_a และ f_w เท่ากับ 0 โดยปกติเมื่อรู้ค่าความเข้มข้นสองค่าแล้วสามารถหาค่าที่สามได้เนื่องจาก

$$f_a+f_w+f_i = 1$$

ค่าการระเหยของน้ำเป็นค่าที่ง่ายที่สุดในการประมาณค่า ถ้าทราบค่าอุณหภูมิของการรั่วไหล (เคลวิน) และมีค่าน้อยกว่า 370 เคลวิน จุดอิ่มตัวของน้ำระเหย (e_s) ที่ความดัน 1 บรรยากาศสามารถหาได้จาก

$$\log_{10} e_s = 6.3994 - \frac{2353}{T}$$

ค่าสูงสุดของสัดส่วนโมลของน้ำอยู่ที่298 เคลวิน มีค่าประมาณ 0.03 อย่างไรก็ตามในการคำนวณพลังงานการระเหยของน้ำเป็นสิ่งจำเป็น เพราะค่าความจุความร้อนของการระเหยของน้ำต่ออากาศแห้ง ถ้าทราบค่าความชื้นสัมพัทธ์สามารถคำนวณหาสัดส่วนโมลของน้ำได้จาก

$$f_w = \left(\frac{RH}{100}\right) e_s$$

เมื่อ : RH = ค่าความชื้นสัมพัทธ์(เปอร์เซ็น)

กรณีการรั่วไหลแบบสถานะเดียวของของเหลว (ค่าการระเหยต่ำ)

ค่าที่ต้องการขั้ นต้นได้แก่ค่า

T_{rel} = อุณหภูมิขณะเกิดการรั่วไหล (เคลวิน)

การรั่วไหลในกรณีนี้ สารเคมีจะมีจุดเดือดสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารเคมีคือบริเวณเหนือแอ่งที่เกิดการระเหย สามารถคำนวณได้โดย

$$\Gamma_i = \frac{p_v}{p_a}$$

เมื่อ : p_v = ค่าความดันไอของสารเคมีที่ T_{rel} (ปาสคาล)

p_a = ค่าความดันบรรยากาศ (ปาสคาล)

<u>การคำนวณค่าความหนาแน่น (Density)</u> (Trinity Consultants, 1991-2004)

ค่าที่ต้องการขั้ นต้นได้แก่ค่า

T_{rel} = อุณหภูมิขณะเกิดการรั่วไหล (เคลวิน)

F_{rel} = ปริมาณสัดส่วนการระเหยเริ่มต้นของสารเคมีที่สนใจ

F_i = สัดส่วนโมลเริ่มต้นของสารเคมีที่สนใจ

F_a = สัดส่วนโมลเริ่มต้นของอากาศ

F_w = สัดส่วนโมลเริ่มต้นของการระเหยของน้ ำ

ความหนาแน่นของสารเคมีที่สนใจสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\rho_i = \left(\frac{F_{rel}}{\rho_g} + \frac{(1 - F_{rel})}{\rho_l} \right)^{-1}$$

ถ้าต้องการหาความหนาแน่นของก๊าซสามารถหาได้ โดยถือว่าเป็นก๊าซสมบูรณ์

$$\rho_g = \frac{p_a M_i}{R T_{rel}}$$

เมื่อ : p_a = ค่าความดันบรรยากาศ (ปาสคาล)

R = ค่าคงที่ของก๊าซเท่ากับ 8314 (จูลต่อกิโลโมลเคลวิน)

$$\rho_a = \frac{p_a M_a}{R T_e}$$

$$\rho_w = \frac{p_a M_w}{R T_e}$$

เมื่อ : M_a = น้ำหนักโมเลกุลของอากาศ (กิโลกรัมต่อกิโลโมล)

M_w = น้ำหนักโมเลกุลของน้ำ (กิโลกรัมต่อกิโลโมล)

ค่าความหนาแน่นทั้งหมดของการรั่วไหลสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\rho_{rel} = \left(\frac{f_a M_a}{M_T \rho_a} + \frac{f_w M_w}{M_T \rho_w} + \frac{f_i M_i}{M_T \rho_i} \right)^{-1}$$

เมื่อ : M_T = ค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลของสารทั้งหมดที่รั่วไหลสู่อากาศ การระเหยของน้ำ และสารเคมีที่สนใจ) (กิโลกรัมต่อกิโลโมล)

โดยหาได้จากสมการ

$$M_T = f_a M_a + f_w M_w + f_i M_i$$

<u>การคำนวณเส้นผ่าศูนย์กลางรูรั่ว หรือพื้นที่รูรั่ว(Release Diameter or Area)</u> (Trinity Consultants, 1991-2004)

ในกรณีการระเหยจาก Pool พื้นที่ที่เกิดการรั่วไหลถือเป็นพื้นที่ Pool เพราะความเร็วในการรั่วไหลสู่บรรยากาศมีค่าน้อยและไม่มีการขยายตัวของการระเหยที่ผิวหน้าของเหลว ในกรณีการรั่วไหลแบบพุ่ง (Jet) จะมีการขยายตัวเกิดขึ้นและแบบจำลอง EXPERT จะคำนวณและประมาณผลที่เกิดจากการขยายตัวนั้น

มีวิธีในการประมาณค่าของการขยายตัวหลังเกิดการรั่วไหลสองวิธี โดยวิธีแรกใช้ในกรณีที่มีค่าความเร็วในการรั่วไหลต่ำ และวิธีที่สองใช้ในกรณีที่มีค่าโความเร็วในการรั่วไหลสูง

ถ้าไม่ทราบค่าความเร็วในการรั่วไหล (u) แต่ทราบอัตราการรั่วไหล (E) ความหนาแน่นภายในถังกักเก็บ (r_s) และขนาดของรูรั่วหรือพื้ นที่รั่วไหล(A) แบบจำลองฯ EXPERT จะคำนวณหาค่าความเร็วในการรั่วไหลตามสมการ

$$u = \frac{E}{A \rho_s}$$

เมื่อ : u = ความเร็วในการรั่วไหล (เมตรต่อวินาที)

E = อัตราการรั่วไหล (กิโลกรัมต่อวินาที)

A = ขนาดของรูรั่วหรือพื้ นที่รั่วไหล(ตารางเมตร)

r_s = ความหนาแน่นที่กักเก็บ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

การรั่วไหลที่มีค่าความเร็วต่ำ

ค่าที่ต้องการขั้ นต้นได้แก่ค่า

r_{rel} = ความหนาแน่นขณะเกิดการรั่วไหล (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

E = อัตราการรั่วไหล (กิโลกรัมต่อวินาที)

เส้นผ่าศูนย์กลางของแหล่งกำเนิดหลังการขยายตัวสามารถหาได้จากสมการ

$$D_{rel} = \sqrt{\frac{2}{U_r}\left(\frac{E}{\rho_{rel}}\right)}$$

เมื่อ : D_{rel} = เส้นผ่าศูนย์กลางการรั่วไหล (เมตร)

U_r = ความเร็วลมในบรรยากาศ (เมตรต่อวินาที)

การรั่วไหลที่มีค่าความเร็วสูง

ค่าที่ต้องการขั้ นต้นได้แก่ค่า

r_{rel} = ความหนาแน่นขณะเกิดการรั่วไหล (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

เส้นผ่าศูนย์กลางหลังการขยายตัวสามารถหาได้จากสมการ

$$D_{rel} = D_s \sqrt{\frac{\rho_s}{\rho_{rel}}}$$

เมื่อ : D_{rel} = เส้นผ่าศูนย์กลางการรั่วไหล (เมตร)

D_s = รูรั่วหรือเส้นผ่าศูนย์กลางปล่อง (เมตร)

r_s = ความหนาแน่นที่รูรั่ว (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

<u>ความสูงในการรั่วไหล (Release Height)</u> (Trinity Consultants, 1991-2004)

ความสูงของการรั่วไหลคือความสูงเหนือพื้นที่มีการรั่วไหลเข้าสู่บรรยากาศ สำหรับของเหลวที่รั่วไหลเป็นแอ่งระเหย ความสูงควรจะเป็นที่ผิวของเหลวและอากาศสัมผัสกัน ซึ่งปกติถือว่าที่ระดับผิวพื้น

2. แบบจำลองฯ ย่อย DISPERSION (วราวุธ เสือดี, 2551)

เป็นการรวบรวมแบบจำลองฯ การประเมินผลของการแพร่กระจาย (Dispersion) ในเชิงของอันตรายเนื่องจากความเป็นพิษ โดยมีแบบจำลองฯ ย่อย ดังนี้

2.1 DEGADIS+ เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยมีพื้นฐานมาจาก U. S. Environmental Protection Agency's (EPA) DEGADIS model โดย DEGADIS+ เป็นแบบจำลองเพื่อประเมินการแพร่กระจายตามชนิดของสารเคมีใช้หลักการของการแพร่แบบฉับพลัน (Instantaneous) แบบปกติ (Steady-state) และรั่วไหลออกมาในช่วงเวลาสั้นๆ (Transient releases of dense gases)

2.2 SLAB เป็นแบบจำลองที่พัฒนาจาก Lawrence Livermore National Laboratory's (LLNL) SLAB model. SLAB ใช้กับการแพร่ของสารเคมีที่หนักกว่าอากาศ

2.3 AFTOX เป็นแบบจำลองที่พัฒนาจาก U.S. Air Force's Toxic Corridor Model (AFTOX). AFTOX เป็นแบบจำลองที่เหมาะกับการรั่วไหลแบบ Liquid Spill

2.4 INPUFF เป็นแบบจำลองที่พัฒนาจาก EPA's INPUFF Model โดย INPUFF เป็น Integrated Gaussian Puff Model ทั้งในกรณี Instantaneous หรือ Continuous Buoyant หรือ Neutrally-Buoyant Gas Releases

ทั้งนี้การแพร่กระจายของสารเคมีขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาโดยปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อการแพร่กระจาย คือ

1) ความเร็วลมและทิศทางลม (Wind Speed and Direction) (Trinity Consultants, 1991-2004)

ความเร็วลมใช้ในการกำหนด Plume Rise, Plume Dilution และการเคลื่อนย้ายมวลสารในรูปแบบการระเหย ในช่วงที่ลมเบา Dense Gas มีแนวโน้มเป็นรูปร่างคล้ายแพนเค้ก (Pancake Shaped) ลอยอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิด และที่ระดับความเร็วลมเพิ่มขึ้นและมีการผสมของอากาศเพิ่มขึ้นสามารถลดค่าความเข้มข้นสูงสุดลงได้ สำหรับการรั่วไหลจาก Liquid Pool Spills ที่ความเร็วลมสูงระดับของการระเหยจะเพิ่มขึ้นและด้วยเหตุนี้ ทำให้Plume ที่แหล่งกำเนิดมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

การประเมินค่าความเข้มข้นสามารถทำนายได้จากรูปแบบการแพร่กระจายของอากาศซึ่งจะมีค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ขึ้นอยู่กับความเร็วลม

ถ้าต้องการประเมินความเสี่ยงจากเหตุการณ์ที่ผ่านมาแล้วการใช้ค่าความเร็วลมที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณจุดที่เกิดเหตุ ซึ่งโดยปกติใช้ค่าที่ความสูงมาตรฐาน 10 เมตร

ทิศทางลมใช้ในการประมาณการเคลื่อนย้ายของ Plume ซึ่งความผันแปรของทิศทางการเคลื่อนย้ายตลอดช่วงเวลาเป็นปัจจัยหลักในการประเมินค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่ระดับพื้นผิวตลอดช่วงเวลานั้น นั่นคือPlume Meandering

ความเร็วลมและทิศทางลมสามารถทำให้การรั่วไหลแบบ Jet มีผลกระทบกว้างขึ้น ถ้าเกิดการรั่วไหลแบบ Horizontal ที่ความเร็วสูงในทิศทางที่ลมในบรรยากาศพัดไปและความเร็วลมเปรียบเทียบได้กับความเร็วในการรั่วไหล

2) ความคงตัวของบรรยากาศ (Atmospheric Stability) (Trinity Consultants, 1991-2004)

Pasquill-Gifford ได้จำแนกความคงตัวของบรรยากาศออกเป็น 6 ระดับ (A-F) ดังแสดงในตารางที่ 2.5 ซึ่งใช้ในการอธิบายการกระจายตัวของบรรยากาศ การแพร่กระจายของสารมลพิษในบรรยากาศจะลดลงจาก A ไป F โดยพิจารณาตามข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5

การจำแนกความคงตัวของบรรยากาศตามแบบของ Pasquill – Gifford

P-G Stability	สภาพอากาศ (Condition)	เวลาของวัน
A	Extremely unstable	กลางวัน
B	Moderately unstable	กลางวัน
C	Slightly unstable	กลางวัน
D	Neutral	กลางวันหรือกลางคืน
E	Stable	กลางคืน
F	Very stable	กลางคืน

ที่มา: วราวุธ เสือดี, 2551

ตารางที่ 2.6

การจำแนกความคงตัวของบรรยากาศตามข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ความเร็วลมที่พื้ นผิว (ระดับ 10 เมตรจากผิวพื้ น)		ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในเวลากลางวัน			ปริมาณเมฆปกคลุมในเวลากลางคืน	
เมตรต่อวินาที	ไมล์ต่อชั่วโมง	แดดจัด (strong)	ปานกลาง (Moderate)	แดดอ่อน (Slight)	≥ 4/8	≤ 3/8
< 2	< 5	A	A-B	B	-	-
2-3	5-7	A-B	B	C	E	F
3-5	7-11	B	B-C	C	D	E
5-6	11-13	C	C-D	D	D	D
> 6	> 13	C	D	D	D	D

ที่มา: วราวุธ เสือดี, 2551

การรั่วไหลแบบ Dense Gas (วราวุธ เสือดี, 2551)

กลุ่มควันจากการรั่วไหลของก๊าซที่หนาแน่น (Dense Gas) จะมีความแตกต่างจากกลุ่มควันที่เบากว่าอากาศ เพราะก๊าซที่หนักกว่าอากาศจะเคลื่อนที่ไปตามแรงโน้มถ่วงเนื่องจากไม่มีแรงลอยตัวและมีความหนาแน่นคงที่จากปัจจัยเหล่านี้ จึงหลีกเลี่ยงการใช้แบบจำลองการแพร่กระจายของ Gaussian เพื่อจำลองการรั่วไหลของ Dense Gas

เมื่อ Dense Gas เกิดการรั่วไหลจะไม่อยู่ในสภาพของสารที่ลอยในอากาศ แต่จะตกลงสู่พื้น ถ้าการรั่วไหลเป็นแบบการพุ่งขึ้นในแนวดิ่งจะถูกหยุดด้วยผลของแรงโน้มถ่วงก็จะตกลงตามทิศทางลม การรั่วไหลของก๊าซที่ระดับผิวพื้นเมื่อกลุ่มควันตกลงกระทบผิวพื้นเป็นครั้งแรกโมเมนตั้มของการตกจะทำให้เกิดศูนย์กลางและเกิดการขยายตัวออกไปโดยรอบ นี้คือกลุ่มควันรูปทรงแพนเค้กสามารถขยายตัวและกระจายตัวตามทิศทางลม

การจำแนกว่าเกิดการรั่วไหลแบบ Dense Gas หรือไม่นั้น เราใช้ค่าของRichardson Number เป็นตัวบอก กรณีจะเกิดการรั่วไหลแบบ Dense Gas ได้นั้นต้องมีค่าของRichardson Number มากกว่า 32 ถ้ามีค่าน้อยกว่าควรใช้แบบจำลองชนิดอื่น เช่น AFTOX ISC3 INPUFF เป็นต้น

แบบจำลองการระเหย (Evaporation Model) (วราวุธ เสือดี, 2551)

BREEZE HAZ DEGADIS+ SLAB และ AFTOX ใช้แบบจำลองการระเหยตัวเดียวกัน เนื่องจาก แบบจำลอง DEGADIS ไม่สามารถหาค่าได้จากการรั่วไหลของของเหลวลงพื้น (Spill) โดยตรง Trinity จึงพัฒนาส่วนเชื่อมต่อระหว่างแบบจำลองการแพร่กระจายและแบบจำลองการระเหยดังนี้

— แบบจำลอง Vossler เป็นแบบจำลองสมดุลพลังงานที่ภาวะปกติ

— แบบจำลอง Shell เป็นแบบจำลองการระเหยของบริษัทน้ำมันเชลล์ที่ใช้เมื่อมีการรั่วไหลของสารลงพื้น

— แบบจำลอง Clewell เป็นแบบจำลองการระเหย

ถ้าของเหลวเกิดการรั่วไหลจะถือว่าของเหลวจะอยู่ที่ระดับผิวพื้ นหลังจากที่สารเคมีรั่วไหลจากถังกักเก็บเริ่มต้น แบบจำลอง BREEZE HAZ จะคำนวณอัตราการระเหยและนำไปเป็นค่าตั้ งต้นของแบบจำลองDEGADIS+ หรือ SLAB ที่การรั่วไหลที่ระดับผิวพื้ น

ในการหาค่าอัตราการระเหยทั้ ง3 วิธี ต้องการค่าความดันไอ (Vapor Pressure) โดยใช้สมการ 1 จาก 6 สมการในการหาค่าความดันไอ ได้แก่

— สมการ Antoine จาก AFTOX (A Bและ C เป็นค่าคงที่ที่ต้องการ)

$$\log VP = A - B/(T + C)$$

เมื่อ : A, B และ C = ค่าคงที่ในข้อมูลสารเคมี

T = อุณหภูมิบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)

VP = ความดันไอ (มิลลิเมตรปรอท)

— สมการ Frost-Kalkwarf จาก AFTOX (A และ B เป็นค่าคงที่ที่ต้องการ)

$$\ln P_r = A(1 - 1/T_r) - B\ln T_r + D(P_r/T_r - 1)$$

เมื่อ : P_r = ความดันไอที่ถูกลดลงVP/Pc

T_r = อุณหภูมิที่ถูกลดลงT/Tc

Pc, Tc = ค่าวิกฤตของอุณหภูมิและความดัน จากฐานข้อมูล

D = 27/64

A และ B = ค่าคงที่ในข้อมูลสารเคมี

ค่าความดันไอ (VP) คำนวณได้จาก

$$VP = P_r P_c$$

— สมการ Modified Riedel จาก Perry ครั้ งที่7 หน้า 2-54 (A B C D และ E เป็นค่าที่ต้องการ)

$$VP = \mathrm{Exp}(A + B/T + C\ln(T) + DT^E)/101325$$

เมื่อ : T = อุณหภูมิบรรยากาศ (เคลวิน)

A B C D และ E = ค่าคงที่ในข้อมูลสารเคมี

— สมการ Antoine จาก Reid et al (A B และ C เป็นค่าที่ต้องการ)

$$\ln VP = A - B/(T + C)$$

เมื่อ : T = อุณหภูมิบรรยากาศ (เคลวิน)

VP = ความดันไอ (บาร์)

A B และ C = ค่าคงที่ในข้อมูลสารเคมี

— สมการ Wagner จาก Reid et al (A B C และ D เป็นค่าที่ต้องการ)

$$\ln \frac{VP}{P_c} = (1-x)^{-1}\left[Ax + Bx^{1.5} + Cx^3 + Dx^6\right]$$

เมื่อ : X = 1-T/Tc

Pc, Tc = ค่าวิกฤตของอุณหภูมิและความดัน

T = อุณหภูมิบรรยากาศ (เคลวิน)

VP = ความดันไอ (บาร์)

A B C และ D = ค่าคงที่ในข้อมูลสารเคมี

— สมการ Clausius-Clapeyron

$$\ln VP = \frac{H_v MW}{R}\left[\frac{1}{BP} - \frac{1}{T}\right]$$

เมื่อ : H_v = ความร้อนในการระเหย (จูลต่อกิโลกรัม)

MW = น้ำหนักโมเลกุล

R = ค่าคงที่ของก๊าซ 8314

BP = จุดเดือด (เคลวิน)

T = อุณหภูมิบรรยากาศ (เคลวิน)

ค่าความหนาแน่นของของเหลวจำเป็นต้องใช้ในการแปลงแหล่งกำเนิดจากปริมาตรเป็นน้ำหนัก โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\rho_L = MW[1 + a(1 - T_r)^{1/3} + b(1 - T_r)] / V_c$$

เมื่อ a และ b = ค่าคงที่ในข้อมูลสารเคมี

แบบจำลอง Vossler

เป็นแบบจำลองการระเหยในภาวะที่ไม่ถูกกระตุ้น(Steady-state)ซึ่งอุณหภูมิของสารที่รั่วไหลจะถูกปรับค่าตามพลังงานที่จากแหล่งต่างๆ ที่ถ่ายเทสู่สารที่รั่วไหลนั้ น ซึ่งค่าของอุณหภูมิจะนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าอัตราการระเหย โดยปัจจัยต่างๆที่มีผลได้แก่

- การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์
- การแผ่รังสีคลื่นยาวจากสารที่รั่วไหล
- สภาพบรรยากาศ
- การพาความร้อนในบรรยากาศ
- การนำความร้อนจากพื้ น
- การสูญเสียความร้อนขณะเกิดการระเหย

ในภาวะที่ไม่ถูกกระตุ้นสมดุลของความร้อนสามารถเขียนได้เป็น

$$Q_{sol} + Q_{atm} + Q_{pol} + Q_{he} + Q_{ev} + Q_{grd} = Q_{total}$$

เมื่อ : $Q_{Total} = 0$ ในภาวะที่ไม่ถูกกระตุ้น

แบบจำลอง Shell

ในแบบจำลองนี้ อัตราการระเหยเป็นปัจจัยเริ่มต้นของการแพร่กระจายของสารที่ผิวหน้าของสารที่รั่วไหลลงพื้ นในขณะที่มีลม โดยถือว่าไม่มีการถ่ายเทความร้อนในระหว่างการระเหยหรือการแผ่รังสี และอุณหภูมิของสารที่หกลงพื้ นมีค่าเท่ากับอุณหภูมิในบรรยากาศ อัตราการระเหยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q = (ShD / L)L^2\rho_v$$

เมื่อ: Sh = ค่าของ Sherwood (Sherwood Number)

D = ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของโมเลกุล

ρ_v = ความหนาแน่นในการระเหย

L = ความกว้างของแอ่งสารที่รั่วไหล

แบบจำลอง Clewell

แบบจำลองนี้จะสามารถใช้ได้เมื่อรู้ค่าของ มวลโมเลกุลและVapor Pressure ซึ่งแบบจำลองนี้จะทำการประเมินอย่างหยาบที่มีความคล้ายคลึงกับแบบจำลอง Vossler โดยใช้สมการเดียวคือ

$$Q = 0.08u^{3/4}AF_tZ$$

เมื่อ: Q = อัตราการระเหย (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

u = ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)

A = พื้นที่ของสารที่รั่วไหลลงพื้น (ตารางเมตร)

Ft = ปัจจัยอุณหภูมิของPool

Z = ค่าปัจจัยการระเหย

ปัจจัยอุณหภูมิของPool สามารถหาได้จาก

$$Ft = 1+4.3x10^{-3}TP^2 \text{ for } TP > 0°C, \text{ or } = 1 \text{ for } TP < 0°C$$

เมื่อ : TP = อุณหภูมิของสารที่รั่วไหลลงพื้น (องศาเซลเซียส)

การประมาณอุณหภูมิของสารที่รั่วไหลลงพื้นนั้นสามารถกระทำได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในภาวะที่มีแสงแดด อุณหภูมิของสารที่รั่วไหลลงพื้นจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศ และสำหรับสารที่มีค่าการระเหยสูงจะมีค่าต่ำกว่าบรรยากาศ

ค่าปัจจัยการระเหย (Z) เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าvapor pressure (VP) และมวลโมเลกุลของสารเคมีในที่นี้ คือHydrazine (ไฮดราซีน) หรือ

$$Z=(VP\ MW)/(VPH\ MWH)$$

ในแบบจำลองมวลโมเลกุลของ Hydrazine (ไฮดราซีน) กำหนดไว้ที่ 32.045 และค่าความดันไอกำหนดอยู่ที่ 0.02113 บรรยากาศ

<u>เวลาในการรั่วไหล (Release Duration)</u> (Trinity Consultants, 1991-2004)

สำหรับแบบจำลองที่ทราบแหล่งกำเนิดความหมายของคำว่าฉับพลันและต่อเนื่องโดยปกติแล้วจะหมายถึง การรั่วไหลของสารเคมีจากภาชนะบรรจุ สำหรับแบบจำลองที่ไม่ทราบ

แหล่งกำเนิดที่แน่ชัดความหมายของคำว่าฉับพลันและต่อเนื่องหมายถึง การรั่วไหลของสารเคมีเข้าสู่บรรยากาศ ในบางแบบจำลอง(เช่น DEGADIS+) อัตราการปลดปล่อยสู่บรรยากาศขึ้ นอยู่กับเวลา

แบบจำลอง BREEZE HAZ ได้ใช้การรั่วไหลแบบจำกัดเวลา การรั่วไหลแบบจำกัดเวลา คือ การกำหนดให้อยู่ในช่วงเวลาหนึ่ง สิ่งที่จำเป็นในการตัดสินใจเพื่อเลือกว่าเป็นการรั่วไหลแบบฉับพลันหรือต่อเนื่องคือ 1) ระยะเวลาที่รั่วไหล และ 2) ระยะที่ใกล้ที่สุดของจุดรับผลกระทบหรือระยะทางที่มากที่สุดซึ่งความเข้มข้นที่น้อยที่สุดสามารถไปถึง ถ้าความเข้มข้นที่สนใจถูกกำหนดสิ่งแรกที่ต้องการคือการจำลองเป็นการรั่วไหลแบบต่อเนื่อง เวลาที่ใช้ในการเดินทางให้ได้ระยะทางสูงสุดของความเข้มข้นที่สนใจจะนำไปเทียบกับช่วงเวลาที่เกิดการรั่วไหลจริง ถ้าสนใจในจุดรับผลกระทบระยะทางจากแหล่งกำเนิดสามารถบอกถึงระยะทางสูงสุดของความเข้มข้นที่สนใจได้

เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (ttrav) บางพื้ นที่เคลื่อนที่ตามระยะทิศทางลม(X) จากพื้ นที่ที่เกิดการรั่วไหล สามารถประมาณได้โดยใช้สมการ

$$t_{trav} = \frac{2x}{u}$$

เมื่อ : u = ความเร็วลมของบรรยากาศ

<u>ค่าเวลาเฉลี่ย (Averaging Time)</u> (Trinity Consultants, 1991-2004)

การรั่วไหลของสารเคมีอันตรายบ่อยครั้ งจะเป็นช่วงเวลาสั้ นๆ ค่าความเข้มข้นที่สนใจนั้ นจะอยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยสั้ นๆ โดยทั่วไปแล้วจากการรั่วไหลของสารอันตรายสู่อากาศคือ ค่าความเข้มข้นสูงสุดในช่วงสั้ น และปริมาณที่สูงสุดที่สามารถรับได้ แบบจำลองมลพิษทางอากาศจำนวนมากถูกออกแบบมาเพื่อทำนายค่าความเข้มข้นให้อยู่ในค่าเฉลี่ยของเวลาตั้ งแต่1 วินาที ถึง 1 ชั่วโมง

แบบจำลอง Breeze Hazard ประมาณค่าความเข้มข้นที่ต้องการได้ในช่วงเวลาเฉลี่ย 1 ชั่วโมงหรือน้อยกว่า ระหว่างที่เกิดการพาของอากาศการรั่วไหลของ Dense Gas จะไม่มีความหนาแน่นเพียงพอที่จะเดินทางได้เป็นเวลาได้นานกว่า 1 ชั่วโมง การนำเข้าข้อมูลอุตุนิยมวิทยาส่วนใหญ่จะนำเข้าข้อมูลเป็นแบบรายชั่วโมง ในการประมาณหาค่าเวลาเฉลี่ยควรพิจารณาจากเวลาที่เกิดการรั่วไหลและระดับของความเข้มข้นที่สามารถยอมรับได้ ถ้าความเข้มข้นที่พิจารณาเกี่ยวข้องกับประชากรค่าเฉลี่ยของเวลาควรจะพิจารณาจากขีดจำกัดของความเข้มข้นที่เลือกเช่น ค่า STEL

(Short Term Exposure Limits) มีค่าจำกัดอยู่ในช่วง 15 นาที ถ้าเกี่ยวกับการติดไฟหรือการระเบิด ค่าเฉลี่ยของเวลาควรใช้ช่วงเวลาที่เกิดการลุกไหม้เมื่อความเข้มข้นที่เกิดขึ้ นฉับพลันคือค่าจำกัดที่สามารถติดไฟได้ของสารเคมี

ค่าเฉลี่ยของเวลาที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง Dense Gas มีความซับซ้อน เวลาเฉลี่ยส่วนใหญ่ใช้สำหรับพลูมที่ไหวเวียนและมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นต่ำ ดังเช่น ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นทั้ งหมดของเวลา5 นาทีจะมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 1 นาทีเพราะการไหลเวียนในช่วงเวลา 5 นาที จะมากกว่าในช่วง 1 นาที เช่นที่ผู้ศึกษาบางคนใช้ค่าเฉลี่ยของเวลาในช่วงที่สั้ นกว่าช่วงเวลาที่เกิดการรั่วไหล (5-10 วินาที) โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบการทำนายของแบบจำลองด้วยพื้ นที่ เมื่อพื้ นที่เหล่านั้ นเป็นผลที่เกิดจากช่วงเฉลี่ยของเวลาที่สั้ น อย่างไรก็ตามข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่นำเข้าโปรแกรม (การจำแนกการคงตัวของอากาศ) ใช้เป็นตัวกำหนดให้แบบจำลองเป็นแบบช่วงเวลายาว โดยปกติคือ 60 นาที

ช่วงของเวลามีความสัมพันธ์ในการประมาณค่าเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในแบบจำลองสามารถกำหนดได้เป็น

thaz = ค่าเฉลี่ยของเวลาที่สัมพันธ์กับค่าอันตรายที่ประเมิน
trel = เวลาที่เกิดการรั่วไหลของสารปนเปื้อนสู่บรรยากาศ
ttrav = เวลาเดินทางจากแหล่งกำเนิดไปถึงจุดรับผลกระทบ

ถ้า ta คือค่าเฉลี่ยของเวลาที่แสดงให้เห็นถึงผลจากพลูม ซึ่ง ta เป็นค่าที่น้อยที่สุดของ thaz, trel และ ttrav (สำหรับสภาวะคงที่ หรือการรั่วไหลแบบชั่วคราว) ค่าที่น้อยที่สุดของ ta สามารถนำมาใช้เทียบหาพื้ นที่ที่ศึกษาหรือค่าของผลกระทบที่เกิดตามทิศทางลม ถ้าta,t เป็นค่าเฉลี่ยของเวลาที่เกิดจากผลชั่วคราว(ไม่ใช่การรั่วไหลที่สภาวะทั่วไป) ค่า ta,t เท่ากับค่า thaz

การหาค่าเฉลี่ยที่ใช้ในการประเมินผลกระทบของระดับของความเข้มข้นที่สามารถรับได้ ความเข้มข้นที่สามารถยอมรับได้เป็นตัวกำหนดผลทั้ งหมดที่เกิดขึ้ น ณ จุดนั้ น โดยปกติแล้วมีหน่วยเป็น ppm-minutes สามารถคำนวณได้โดย

$$D = \int_{t_0}^{t} C \, dt$$

เมื่อ : C = ความเข้มข้น (ppm)
t = เวลา (นาที)

t_0 = เวลาที่เริ่มเกิดการรั่วไหล (นาที)

บางส่วนของความเข้มข้นที่ยอมรับได้จะทำให้น้ำหนักของสารเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มความเข้มข้นส่งผลกับค่า N (เปลี่ยน C เป็น CN ในสมการด้านบน) ในสมการค่า N มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อค่า N ไม่เท่ากับ 1 ค่าของความเข้มข้นที่ยอมรับได้จริงควรจะอ้างถึงปริมาณความเป็นพิษที่มีหรืออื่นๆที่มีค่าไม่เกินกว่า ppm-minutes ค่าของ N สำหรับสารเคมีในเอกสารตามตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7

ค่าของ N

ชนิด (Species)	ค่าของ N
แอมโมเนีย (Ammonia)	2
คลอรีน (Chlorine)	2
เอทิลีนออกไซด์ (Ethylene Oxide)	ไม่มีค่า
ไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen chloride)	1
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen fluoride)	1
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide)	1

ที่มา: Trinity Consultants, 1991-2004

<u>การระเหยของสารที่รั่วไหลลงพื้น(Evaporating Pool)</u> (วราวุธ เสือดี, 2551)

สำหรับการระเหยของสารที่รั่วไหลลงพื้นพื้นที่ของแหล่งกำเนิดคือพื้นที่ของสารบนพื้น ถ้าไม่ทราบค่าของพื้นที่แหล่งกำเนิด(A_p) สามารถคำนวณได้จากอัตราการระเหย (อัตราเสื่อมถอย) W_p จากสมการ

$$A_p = \frac{E_{pool}}{\rho_v W_p}$$

เมื่อ : E_{pool} = อัตราการรั่วไหล (กิโลกรัมต่อวินาที)

ρ_v = ความหนาแน่นในการระเหยแหล่งกำเนิดที่จุดเดือด TBP

W_p = อัตราการระเหยที่ทราบค่าโดยแสดงในรูปของความเร็ว (เมตรต่อวินาที)

ความหนาแน่นของการระเหย (rv) สามารถหาได้จากกฎก๊าซในอุดมคติ

$$\rho_v = (MP_a)/(RT_b)$$

เมื่อ : M = น้ำหนักโมเลกุลของแหล่งกำเนิด

P_a = ความดันบรรยากาศ (101325 นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร)

R = ค่าคงที่ของก๊าซ (8.31431 จูลต่อโมลเคลวิน)

T_b = อุณหภูมิที่เป็นจุดเดือด

3. แบบจำลองฯ ย่อย FIRE & EXPLOSION (Trinity Consultants, 1991-2004)

เป็นแบบจำลองที่ใช้ประเมินการลุกติดไฟและระเบิด ซึ่งสามารถประเมินอาณาเขตตามรูปแบบของการลุกไหม้และระเบิดคือ confined pool fires, unconfined pool fires, jet flames ,Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions (BLEVEs) และ Unconfined Vapor Cloud Explosions (UVCEs) สำหรับแบบจำลองฯที่ใช้ในการประเมินการระเบิด ประกอบด้วย TNT Equivalency Explosion (US Army และ UK HSE), TNO Multi – Energy Explosion และ Baker Strehlow Explosion โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การลุกติดไฟแบบมีขอบเขตจำกัด (Confined Pool Fire) แอ่งไฟแบบถูกจำกัดเกิดจากของเหลวติดไฟในพื้นที่ที่ถูกจำกัดเอาไว้เช่นในกำแพงกั้น(Dike) หรือในถัง ซึ่งกำแพงกั้นอาจเป็นวงกลมหรือสี่เหลี่ยม การระเหยเป็นสารตั้งต้นในการเกิดไฟของของเหลวซึ่งการระเหยเป็นผลมาจากความร้อนของพื้นและการแผ่รังสีของไฟ

แบบจำลองการลุกติดไฟแบบมีขอบเขตจำกัด (Confined Pool Fire) ประกอบด้วยการคำนวณ 2 ส่วน คือ

- การคำนวณการแผ่รังสีที่ระยะที่กำหนดต่างๆ จากศูนย์กลางของ Pool Fire และระยะต่างๆ ของระดับการแผ่รังสี โดยระดับการแผ่รังสีที่US.EPA กำหนดไว้ คือ 5 Kw/m^2 ระบุในข้อบังคับที่ 112 (r) RMP หรือระดับการเปลี่ยนแปลงของรังสีที่แผ่ออกที่กำหนดอยู่ในมาตรฐานสหพันธ์ของสหรัฐอเมริกา ส่วนที่ 49 CFR 193.2057 สำหรับ LNG Facilities

- การคำนวณการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไดนามิค(Dynamic) ที่เกิดขึ้นใกล้สิ่งก่อสร้าง เช่น ใกล้กับกำแพงถัง (Tank Wall) หรือ เสาเหล็ก (Structured Steel Column) ที่ไม่มีสิ่งกำบังจากการแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟในถัง (Tank) หรือกำแพงกั้น(Dike)

<u>รูปทรงของแอ่งไฟ (Pool Fire Geometry)</u> (Trinity Consultants, 1991-2004)

ขนาดของไฟเป็นคุณสมบัติโดยดูจากเส้นผ่าศูนย์กลางของไฟ ระยะของไฟและมุมเอียงของไฟ สำหรับการหกของสารเคมีในพื้นที่จำกัดเส้นผ่าศูนย์กลางของไฟคือพื้นที่จำกัด(เช่น กำแพงกั้นหรือถัง) ในกรณีที่มีลมเปลวไฟบริเวณใกล้พื้นจะเอียงและถูกลากไปตามแรงลมที่เพิ่มขึ้น การลามของเปลวไฟ ระยะเวลาที่เกิดไฟและมุมเอียงของไฟเป็นผลจากความเร็วลม เส้นผ่าศูนย์กลางของสารเคมีที่หกและอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

<u>อัตราการเผาไหม้ของของเหลว (Liquid Burning Rate)</u> (Trinity Consultants, 1991-2004)

ที่สภาวะปกติบางส่วนของพลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้เกิดจากการเผาของเหลวให้เกิดการระเหยซึ่งเชื้อเพลิงเป็นสิ่งจำเป็นที่ทำให้เกิดไฟ ข้อมูลจากการทดลองพบว่า การเผาไหม้ของเหลวใดๆในรูปแบบที่เป็นแอ่งอัตราการเผาไหม้จะเพิ่มขึ้นตามเส้นผ่าศูนย์กลางของแอ่งจนถึงจุดหนึ่งที่อัตราจะคงที่จาก Mudan และ Croce (SFPE Handbook)

$$v \quad v_{\infty}\,[\,1 - \exp(-\beta D)\,] \quad (\mathrm{m/s})$$

เมื่อ : B = ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการเผาไหม้(เมตร$^{-1}$)(m^{-1})

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของแอ่ง(เมตร)

V_{∞} = ค่าสูงสุดของอัตราการเผาไหม้(เมตรต่อวินาที)

มวลสูงสุดของอัตราการเผาไหม้

$$\dot{m}_{\max} = v\ \rho \qquad = 1x10^{-3}\left(\frac{\Delta H_c}{\Delta H_v^*}\right) \quad (\mathrm{kg/m2\ s})$$

เมื่อ : ρ = ความหนาแน่นของในรูปของเหลว (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

ΔH_c = ความร้อนสุทธิของการเผาไหม้ (จูลต่อกิโลกรัม; J/kg)

ΔH^*_v = Sensible Heat ของการระเหย (จูลต่อกิโลกรัม; J/kg)

$$= \Delta Hv + \int_T^{T_b} Cpdt$$

ΔH^* = ความร้อนแฝงของการระเหย (จูลต่อกิโลกรัม; J/kg)

C_p = ความร้อนจำเพาะของของเหลว (จูลต่อกิโลกรัม เคลวิน; J/kg K)

T = อุณหภูมิของของเหลวที่กักเก็บ(เคลวิน; K)

T_b = อุณหภูมิที่จุดเดือด(เคลวิน; K)

ดังนั้น ที่ภาวะปกติอัตราการเผาไหม้ของมวลของเชื้อ อเพลิงเหลวชนิดใดๆ ในขนาดต่างๆ สามารถหาได้จาก

$$\dot{m} = v\ \rho = 1x10^{-3}\left(\frac{\Delta H_c}{\Delta H_v^*}\right)[1-\exp(-\beta D)] \quad (kg/m2\ s)$$

ความยาวของไฟ (Flame Length) (Trinity Consultants, 1991-2004)

ความยาวของไฟ (L_f) ของ Pool Fire ขึ้ นอยู่กับเส้นผ่าศูนย์กลางของPool อัตราการเผาไหม้และความหนาแน่นในบรรยากาศ ตามความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Thomas ได้หาระยะของไฟโดยใช้เส้นผ่าศูนย์กลางดังสมการ

$$\frac{L_f}{D} = 42\left(\frac{\dot{M}}{\rho_a\sqrt{g\,D}}\right)^{0.61}$$

เมื่อ : M = อัตราการเผาไหม้ของมวลของเชื้ อเพลิงเหลว (กิโลกรัมต่อตารางเมตรวินาที)

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศบรรยากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (9.81 เมตรต่อตารางวินาที)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของ Pool (เมตร; m)

ความลาดเอียงของไฟ (Flame Tilt) (Trinity Consultants, 1991-2004)

ไฟของ Pool Fire บ่อยครั้งที่จะเกิดการเอียงโดยลมและเมื่อเจอลมที่แรงมากพอก็จะทำให้ไฟที่บริเวณผิวพื้นเกิดการลามไปตามทิศทางที่ลมพัดความลาดเอียงของไฟ (θ) วัดจากแนวดิ่งและขึ้นอยู่กับความเร็วลม ขนาดของแอ่งและอัตราการเผาไหม้ การหามุมเอียงของไฟทำได้โดยใช้สมการ

$$\cos\theta = 1 \quad for\ u^* \le 1$$

$$\cos\theta = \frac{1}{\sqrt{u^*}} \quad for\ u^* > 1$$

เมื่อ: u^* = ค่าความเร็วลม = uw/ub

uw = ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)

ub = $[(gD)/v]^{1/3}$

สำหรับ Rectangular Fire มุมเอียงจะคำนวณโดยใช้ความสัมพันธ์เหมือนข้างต้น แต่จะใช้ความกว้างของ Rectangular Pool แทนเส้นผ่าศูนย์กลาง (D)

การลุกลามของเปลวไฟ (Flame Drag) (Trinity Consultants, 1991-2004)

การลุกลามของเปลวไฟ (D') แสดงการขยายตัวของไฟจากทิศทางลมจนถึงขอบจำกัดที่กั้นแอ่งขณะที่ด้านข้างของไฟเกิดการทวนลมและความกว้างของไฟยังคงไม่เปลี่ยนแปลง ทิศทางลมมีความสัมพันธ์กับผิวหน้าของไฟทำให้ผลของค่าการแผ่รังสีสูงกว่าค่าที่ประมาณได้

ผลของการลามของไฟบนพื้นที่สี่เหลี่ยมคือการเพิ่มขึ้นตามทิศทางลม รูปร่างจะยังคงเป็นสี่เหลี่ยมอยู่และมีการลดระยะทางถึงเป้าหมายลง การแผ่รังสีความร้อนตามทิศทางลมจะเพิ่มขึ้น สำหรับไฟที่มีรูปร่างเป็นวงกลมจะมีการเปลี่ยนรูปทรงเป็นทรงรี

การลากของเปลวไฟขึ้นอยู่กับเส้นผ่าศูนย์กลางของแอ่งและความเร็วลม จากความสัมพันธ์ดังกล่าวถูกพัฒนาโดยMoorhouse ได้ใช้สมการในการทำนายการลามของเปลวไฟสำหรับรูปแบบวงกลมดังสมการ

$$DR = \frac{(D + D')}{D} = 1.5\ Fr^{0.69}$$

เมื่อ: DR = สัดส่วนการลาก

Fr = ค่าของ Froude = $uw^2/(gD)$

uw = ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของแอ่ง(เมตร)

สำหรับกำแพงกั้นแบบสี่เหลี่ยมใช้สมการ

$$DR = 2.2\ Fr_{mod}^{1/3}\ S^2$$

เมื่อ : DR = สัดส่วนการลาก = (W+W')/W

W' = การขยายตัวของเปลวไฟจากขอบของแอ่งสารเคมี

Fr_{mod} = ค่าของ Froude ที่ถูกปรับ = $uw/2(gW)^{1/2}$

S = สัดส่วนของรูปร่าง = กว้าง/ยาว

<u>การแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation)</u> (Trinity Consultants, 1991-2004)

ความเข้มข้นของการแผ่รังสีความร้อน q^n ซึ่งเกิดขึ้นเหนือเปลวไฟสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$q'' = \varepsilon . E_b . F . \tau$$

โดยต้องการค่าการปลดปล่อยพลังงานของไฟ(E) ปัจจัยภายนอก (F) และการกระจายตัวสู่บรรยากาศ(τ)

<u>พลังงานที่ปลดปล่อยออกมาสูงสุด (Maximum Emissive Power)</u> (Trinity Consultants, 1991-2004)

บริเวณผิวหน้าของไฟที่มีการปลดปล่อยพลังงาน (E) เป็นพลังงานทั้งหมดที่ออกจากผิวหน้าของเปลวไฟต่อหน่วยพื้นที่และอาจคำนวณจากกฎของStefan ซึ่งสัมพันธ์กับการแผ่รังสีพลังงานความร้อนไปยังวัตถุอื่นๆ พลังงานออกมาจากผิวหน้าของไฟซึ่งสามารถประมาณค่าได้โดยสมการ

$$\Gamma = \epsilon \, \Gamma b$$

เมื่อ : ϵ = ค่าการปลดปล่อยพลังงานของเปลวไฟ

Eb = ค่าสูงสุดในการปลดปล่อยพลังงานของวัตถุดำ(กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร)

<u>การปลดปล่อยพลังงานของเปลวไฟ (Flame Emissivity)</u> (Trinity Consultants, 1991-2004)

การปลดปล่อยพลังงานจากผิวหน้าของไฟ (ϵ) คำนวณสำหรับค่าจริงที่ประมาณได้ คือการปลดปล่อยเทียบกับวัตถุสีเทาและไม่ได้เป็นการแผ่รังสีในอุดมคติของวัตถุดำ สำหรับวัตถุดำการปลดปล่อยพลังงานมีค่าเท่ากับ 1 สำหรับวัตถุเทามีค่าน้อยกว่า 1 ค่าการปลดปล่อยของก๊าซผสมที่มีลักษณะเดียวกันในส่วนของความกว้างหรือความหนา(X) โดยให้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\varepsilon = \left(\frac{1}{\sigma T_F^4}\right) \int_0^\infty E_b(\lambda)\left(1 - \exp[-\kappa_{m\lambda} x]\right) \, d\lambda$$

ถ้าค่าความส่องสว่างของไฟอยู่ในส่วนของแสงสีเทาตัวอย่างเช่น$k_m\lambda$ = km จะได้สมการเป็น

$$\epsilon = (1 - \exp[-km \; x])$$

เมื่อ : k_m = ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญสิ้น(m^{-1}) ค่าที่แนะนำ คือ 0.3 m^{-1} สำหรับ LNG และ 0.335 m^{-1} สำหรับ LPG

X = ความยาวของเส้นทางหรือความหนาของเปลวไฟ (เมตร; m)

ปัจจัยภายนอก (View Factor) (Trinity Consultants, 1991-2004)

ปัจจัยภายนอกคือ การวัดมุมที่เกิดจากจุดตัดซึ่งเป็นเป้าในการปลดปล่อยที่ผิว ซึ่งมีความสัมพันธ์กับขนาดและรูปร่างของไฟเท่ากับระยะระหว่างไฟและเป้าหมาย ถ้าบริเวณเป้าหมายไม่เห็นอะไรเลยแต่มีการปลดปล่อยที่ผิวค่าปัจจัยที่มองเห็นจะเท่ากับ 1 ถ้าเป้าหมายไม่สามารถเห็นถึงการปลดปล่อยที่พื้ นผิวได้ทั้ งหมดจะมีค่าเท่ากับ 0 สำหรับค่าบางส่วนที่ถูกเติมลงไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1 ซึ่งตามการนำเสนอของ Mudan ที่คำนวณค่าปัจจัยที่มองเห็นจากเปลวทรงกระบอกในแนวดิ่งและพื้ นที่ที่อยู่ในแนวขนาน

$$\pi F_v = -E\tan^{-1}D - E\left(\frac{a^2+(b-1)^2-2b(1+a\sin\theta)}{AB}\right)\tan^{-1}\frac{AD}{B} + \frac{\cos\theta}{C}\tan^{-1}\left[\frac{ab-F^2\sin\theta}{FC}\right] - \tan^{-1}\left[\frac{F\sin\theta}{C}\right]$$

$$\pi F_h = \tan^{-1}\frac{1}{D} + \frac{\sin\theta}{C}\tan^{-1}\left[\frac{ab-F^2\sin\theta}{FC}\right] + \tan^{-1}\frac{F\sin\theta}{C} - \left[\frac{a^2+(b+1)^2-2(b+1+ab\sin\theta)}{AB}\right]\tan^{-1}\frac{AD}{B}$$

เมื่อ : Fv = ปัจจัยที่มองเห็นในแนวดิ่ง

Fh = ปัจจัยในแนวระนาบ

θ = มุมเอียงจากแนวดิ่ง

a = Lf/R

b = X/R

Lf = ความสูงของไฟ (เมตร)

X = ระยะทางที่วัดได้จากจุดศูนย์กลางของไฟ(เมตร)

R = รัศมีของไฟ (เมตร)

A = $[a^2+(b+1)^2-2a(b+1)\sin\theta]^{1/2}$

B = $[a^2+(b-1)^2-2a(b-1)\sin\theta]^{1/2}$

C = $[1+(b^2-1)\cos^2\theta]^{1/2}$

D = $[(b-1)/(b+1)]^{1/2}$

E = $(a\cos\theta)/(b-a\sin\theta)$

F = $(b^2-1)^{1/2}$

ถ้าไฟเป็นพื้ นที่สี่เหลี่ยมใช้สมการ

$$\pi F_h = \tan^{-1}\frac{I}{Q} + V\,(P\cos\beta - Q)\tan^{-1}V$$
$$+ W\cos\beta\,[\tan^{-1}(W\,[P - Q\cos\beta\,]) + \tan^{-1}W\,Q\cos\beta\,]$$

เมื่อ : P = 2Lf/L

L = ความยาวของกำแพงกั้ น(เมตร)

Q = 2X/L

X = ระยะที่วัดจากผิวหน้าของไฟ (เมตร)

V = $1/(P^2+Q^2-2PQ\cos\beta)^{1/2}$

W = $1/(1+Q^2\sin^2\beta)^{1/2}$

β = มุมเอียงจากแนวระดับ

เมื่อค่าทั้ งในแนวดิ่งและแนวระนาบเห็นเป็นส่วนของไฟค่าของปัจจัยการมองเห็นสูงสุด (Fmax) ใช้วิธีการรวมกันแบบมีทิศทางเวคเตอร์สเกลดังสมการ

$$F_{max} = \sqrt{(F_v)^2 + (F_h)^2}$$

<u>การกระจายสู่บรรยากาศ (Atmospheric Transmissivity)</u> (Trinity Consultants, 1991-2004)

การกระจายสู่บรรยากาศ (τ) เป็นส่วนของการแผ่รังสีของไฟซึ่งไม่ได้ถูกดูดซับไปในการระเหยของน้ ำ ฝุ่ นและคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ระหว่างเปลวไฟและเป้าหมาย ความสำคัญของการกระจายขึ้ นอยู่กับความถี่ในการกระจายตัวของรังสีความร้อน ระยะของเป้าหมายและองค์ประกอบในบรรยากาศ การดูดซับโดยคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศนั้ นอยู่ในระดับที่ไม่สำคัญ ในการคำนวณจะไม่สนใจฝุ่ นในอากาศ แต่การดูดซึมอันเนื่องมาจากการระเหยของน้ ำจะมีความสำคัญในช่วงเวลาที่มีค่าของความชื้ นสูง

ค่าการกระจายตัวของไอน้ ำสามารถคำนวณได้ โดยให้ระยะทางระหว่างเปลวไฟและผู้รับ อุณหภูมิของเปลวไฟ ผู้รับและการแทรกแซงจากบรรยากาศ และค่าความชื้ นสัมพัทธ์

มาตรฐานสหพันธ์สหรัฐอเมริกา 49 CFR 193.2057 สำหรับ LNG Facilities

แบบจำลอง Confined Pool Fire นั้นสามารถคำนวณเพื่อหาระยะทางเป็น 4 ระดับความร้อนตาม US Federal Code 49 CFR 193.2057 ซึ่งใช้สำหรับก๊าซธรรมชาติแบบเหลวเท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8

แบ่งประเภทพื้นที่เป้าหมายสำหรับก๊าซธรรมชาติแบบเหลวตามที่สมาพันธรัฐประเทศสหรัฐอเมริกา รหัส 49 CFR 193.2057 กำหนด

พื้นที่เป้าหมาย	การแผ่รังสีความร้อน	
	Btu/hr*ft	kW/m2
พื้นที่เปิดที่ถูกครอบครองโดยผู้คน20 คน หรือมากกว่า เช่น ชายหาด ที่ราบ โรงหนังกลางแจ้ง	1600	5.05
สิ่งปลูกสร้างที่ใช้สำหรับอยู่อาศัย หรือถูกครอบครองโดยคน20 คน หรือมากกว่า	4000	12.62
สิ่งปลูกสร้างจากเซลลูโลซิค (cellulosic) หรือไม่ทนไฟ หรือไม่ได้ใช้วัตถุป้องกันรังสีความร้อน ซึ่ง	4000	12.62
- สถานที่หรือสิ่งที่มีค่าที่อ้างจากข้อมูลทางประวัติศาสตร์ในรัฐหรือพื้นที่		
- บรรจุวัตถุระเบิด สารติดไฟ หรือสารที่มีความเป็นพิษในปริมาณที่เป็นอันตราย		
- ผลจากอันตรายที่เกิดเพิ่มขึ้นถ้าเจอการแผ่รังสีความร้อนในระดับสูง		
โครงสร้างที่ทนไฟและใช้วัตถุป้องกันรังสีความร้อน	6700	21.14
ทางเดินเท้า ถนน และทางรถไฟ	6700	21.14
สิ่งปลูกสร้างอื่นๆ	10000	31.54

ที่มา: Trinity Consultants, 1991-2004

การคำนวณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้ น(Dynamic Temperature Rise Calculation) (Trinity Consultants, 1991-2004)

การคำนวณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้ น นำมาใช้ในการทำนายการเพิ่มขึ้ นของอุณหภูมิเมื่อเกิดการแผ่รังสีความร้อน หรือการกระทบจากแอ่งไฟ (Pool Fire) อันเกิดจากการรั่วไหลของเชื้ อเพลิงเหลว การคำนวณแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ

- ระยะที่ตั้ งของเป้าหมายที่ห่างจากไฟ
- ไฟที่กระทบด้านหนึ่งของเป้าหมาย

โดยในแต่ละส่วนยังแบ่งย่อยได้อีก 4 แบบ

- เป้าหมายอยู่ในแนวดิ่ง ไม่มีฉนวน
- เป้าหมายอยู่ในแนวระนาบ ไม่มีฉนวน
- เป้าหมายอยู่ในแนวดิ่ง มีฉนวน
- เป้าหมายอยู่ในแนวระนาบ มีฉนวน

สำหรับระยะที่ตั้ งของเป้าหมายที่ห่างจากไฟมีความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่พื้ นผิวกับเวลาโดยแสดงในสมการ

$$q''\alpha_s = \sigma(K_1 - F)(\varepsilon_s T_s^4 - \alpha_s T_a^4) + K_2 K_3 (T_s - T_a)^{\frac{4}{3}} + \delta C_s \rho_s \frac{dT_s}{dt}$$

เมื่อ : t = เวลา (วินาที)

C_s = ความร้อนจำเพาะของวัตถุเป้าหมาย (จูลต่อกิโลกรัมเคลวิน)

ρ_s = ความหนาแน่นของวัตถุเป้าหมาย (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

δ = ความหนาของโลหะ (เมตร)

α_s = ความสามารถในการดูดซึม

ε_s = การปลดปล่อยพลังงาน

σ = ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzman (วัตต์ต่อตารางเมตรวินาทีเคลวิน)

F = ปัจจัยภายนอก (View Factor)

T_s = อุณหภูมิที่พื้ นผิว(เคลวิน)

T_a = อุณหภูมิบรรยากาศ (เคลวิน)

q” = การแผ่รังสีความร้อนบนเป้าหมาย (วัตต์ต่อตารางเมตรเคลวิน)

ค่าของ K_1 K_2 และ K_3 มีค่าที่ต่างกันตามแต่ละแบบย่อยโดยแสดงในตารางที่ 2.9 เมื่อไฟกระทบกับเป้าหมายสมการที่ใช้ในการคำนวณอุณหภูมิในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงคือ

$$\sigma(\alpha_s T_f^4 - \varepsilon_s T_s^4) + K_3(T_f - T_s)^{\frac{4}{3}} = \sigma(\alpha_s T_s^4 - \varepsilon_s T_a^4) + K_3(T_s - T_a)^{\frac{4}{3}} + C_s \rho_s \delta \frac{dT_s}{dt}$$

เมื่อ : T_f = อุณหภูมิของไฟ (เคลวิน)

ตารางที่ 2.9

ค่าคงที่สำหรับใช้ในสมการการเพิ่มขึ้ นของอุณหภูมิ

เป้าหมาย	K_1	K_2	K_3
เป้าหมายอยู่ในแนวดิ่ง ไม่มีฉนวน	2	2	1.3123
เป้าหมายอยู่ในแนวระนาบ ไม่มีฉนวน	2	2	1.5195
เป้าหมายอยู่ในแนวดิ่ง มีฉนวน	1	1	1.3123
เป้าหมายอยู่ในแนวระนาบ มีฉนวน	1	1	1.5195

ที่มา: Trinity Consultants, 1991-2004

3.2 การลุกติดไฟแบบไม่มีขอบเขตจำกัด (Unconfined Pool Fire)

การลุกติดไฟแบบไม่มีขอบเขตจำกัด (Unconfined Pool Fire) เกิดจากการกระจายตัวของแอ่งสารที่เป็นเชื้ อเพลิงเหลวและติดไฟ ถ้าการรั่วไหลเป็นแบบต่อเนื่องเส้นผ่าศูนย์กลางของไฟจะเพิ่มขึ้ นเรื่อยๆ จนอัตราการจ่ายเชื้ อเพลิงเท่ากับอัตราการเผาไหม้ สำหรับการรั่วไหลแบบฉับพลันเส้นผ่าศูนย์กลางจะมีค่ามากที่สุด ก่อนที่จะมีค่าลดน้อยลงตามอัตราการเผาไหม้เชื้ อเพลิง(Trinity Consultants, 1991-2004)

ขนาดของแอ่งของเหลว (Liquid Pool Size) (Trinity Consultants, 1991-2004)

เส้นผ่าศูนย์กลางของแอ่งขึ้ นอยู่กับธรรมชาติของสาร ปริมาณที่รั่วไหล เวลาที่รั่วไหล อัตราการเผาไหม้ของเหลวสูงสุดและธรรมชาติของพื้ นที่บริเวณที่สารหก ขนาดของแอ่งนั้ นขึ้ นอยู่กับการรั่วไหลเป็นแบบต่อเนื่อง หรือฉับพลันการถ่ายเทความร้อนจากพื้ นเป็นเรื่องสำคัญในการหาขนาดของแอ่ง ถ้าเกิดการลุกติดไฟการแผ่รังสีความร้อนจากไฟก็มีส่วนในการหาขนาดของแอ่ง (Pool)

การรั่วไหลแบบไม่มีขอบเขตจำกัดอย่างต่อเนื่อง(Unconfined Continuous Releases) (Trinity Consultants, 1991-2004)

การแพร่กระจายของการรั่วไหลอย่างต่อเนื่องของก๊าซเหลวบนพื้นที่ราบ มีสมการที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$r^2 \frac{d\,r^2}{dt} = \frac{2}{\pi} g\, C\, V_{net}\, t^2$$

เมื่อ R = รัศมีการแผ่กระจายของ Pool (เมตร; m)

เมื่อ : t = เวลา (วินาที; s)

g = ความเร่งของแรงดึงดูดโลก เท่ากับ9.81 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง (m/s^2)

C = สัมประสิทธิ์ของการขยายออก เท่ากับ 0.2

V_{net} = ปริมาตรสุทธิของอัตราการไหลที่เข้าไปในPool (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที, m^3/s)

การรั่วไหลแบบฉับพลันอย่างต่อเนื่อง (Unconfined Instantaneous Releases) (Trinity Consultants, 1991-2004)

สำหรับการรั่วไหลแบบฉับพลันอย่างต่อเนื่อง (Unconfined Instantaneous Releases) ได้รับการพัฒนาโดย Raj และ Kalelkar เป็นแบบจำลองสำหรับการขยายออกและการเผาไหม้ของการรั่วไหลแบบฉับพลันของของเหลว ซึ่งหาได้จากการทำให้การขยายออกเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกมีค่าเท่ากับการต้านแรงเฉื่อย อธิบายถึงการสูญเสียมวลอย่างต่อเนื่องระหว่าง

กระบวนการ โดยรัศมีของ Pool ที่เพิ่มขึ้ นกับเวลาจนกระทั่งเชื้ อเพลิงถูกเผาผลาญโดยเปลวไฟ เส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุดของPool และเวลาที่เกิดขึ้ น สามารถคำนวณได้จาก

$$D_{\max} = 2\left[\frac{V_L^3 g}{v_\infty^2}\right]^{1/8}$$

$$\left(\frac{D}{D_{\max}}\right)^2 = \frac{\sqrt{3}}{2}\left(\frac{t}{t_{\max}}\right)\left[1+\left(\frac{2}{\sqrt{3}}-1\right)\left(\frac{t}{t_{\max}}\right)^2\right]$$

เมื่อ : V_L = ปริมาตรที่หกออกมา (ลูกบาศก์เมตร; m^3)

g = การเร่งเนื่องจากแรงดึงดูด (เมตรต่อวินาทีกำลังสอง; m/s^2)

v_∞ = อัตราการเผาไหม้สูงสุดของของเหลว (เมตรต่อวินาที; m/s)

D_{max} = เส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุดของPool (เมตร; m)

t_{max} = เวลาที่เกิด D_{max} (วินาที; s)

ความแปรผันของเส้นผ่าศูนย์กลางของPool กับเวลา ดังสมการ

$$t_{\max} = 0.6743\left[\frac{V_L}{g\, v_\infty^2}\right]^{1/4}$$

<u>การแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation)</u> (Trinity Consultants, 1991-2004)

ความรุนแรงของการแผ่รังสีความร้อนที่จุดใดๆ จะต้องมีการคำนวณค่าเหล่านี้ มาก่อน พลังงานสูงสุดที่แผ่รังสี อัตราการเผาไหม้ของของเหลว การแผ่รังสีของเปลวไฟ ปัจจัยภายนอกสูงสุด และการกระจายตัวสู่บรรยากาศ ซึ่งการคำนวณค่าใช้สมการเดียวกับในแบบจำลองการลุกไหม้แบบมีขอบเขตจำกัด (Confined Pool Fire)

3.3 BLEVE (Trinity Consultants, 1991-2004)

เส้นผ่าศูนย์กลางและเวลาในการเกิดไฟบอลค่าสูงสุดของเส้นผ่าศูนย์กลางของไฟบอล ณ ส่วนที่มีการเผาไหม้หมดสิ้ น(เมตร)

$$Dc = 5.8\ mf^{1/3}$$

เวลาในการเผาไหม้ (วินาที)

$$tc = 0.45\ mf^{1/3} \text{ for } mf < 30{,}000\ kg$$

$$tc = 2.60\ mf^{1/6} \text{ for } mf > 30{,}000\ kg$$

เมื่อ : mf = ปริมาณของเชื้ อเพลิง(กิโลกรัม)

ใช้แบบจำลอง Hymes point-source หาการรับรังสีความร้อนโดยตัวรับ (วัตต์ต่อตารางเมตร)

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

เมื่อ : τ_a = การกระจายเข้าสู่บรรยากาศ = 1

R = สัดส่วนการแผ่รังสีความร้อนของความร้อนจากการเผาไหม้

H_c = ความร้อนจากการเผาไหม้ (จูลต่อกิโลกรัม)

L = ระยะจากศูนย์กลางไฟบอลถึงตัวรับ(เมตร)

Hymes แนะนำค่า R

R = 0.3 สำหรับถังที่ระเบิดต่ำกว่าวาล์วควบคุมความดัน

R = 0.4 สำหรับถังที่ระเบิดสูงกว่าวาล์วควบคุมความดัน

ค่าที่ US.EPA แนะนำให้ใช้คือ 4.0

ปริมาณความร้อน (Thermal Dose)

ปริมาณความร้อน = $tq^{4/3}$

เมื่อ : t = ช่วงเวลาที่เกิด (วินาที)

3.4 ทฤษฎีแบบจำลองการระเบิดโดยเทียบจากระเบิดชนิด TNT (TNT Equivalency Explosion) (Trinity Consultants, 1991-2004)

แบบจำลองการระเบิดโดยเทียบจากระเบิดชนิด TNT ดูแรงจากการระเบิดของสารชนิดเดียวและนำไปเทียบกับการระเบิดของ TNT

การเทียบน้ำหนักของTNT

$$W_{tnt} = \alpha \frac{W_f H_f}{H_{tnt}}$$

เมื่อ : W_f = น้ำหนักของเชื้อเพลิงในกลุ่มควัน(กิโลกรัม)

H_f = ความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง(จูลต่อกิโลกรัม)

H_{tnt} = ความร้อนจากการเผาไหม้ของ TNT (จูลต่อกิโลกรัม)

α = yield factor

ระยะของ Hopkinson-scaled (เมตรต่อกิโลกรัม$^{1/3}$)

$$\bar{R} = \frac{R}{W_{tnt}^{1/3}}$$

เมื่อ : R = ระยะจากการระเบิด (เมตร)

ถ้าเป็นวิธีของ HSE ใช้ข้อมูลการระเบิดของ Marshall V.C. ส่วนแบบจำลองของกองทัพสหรัฐอเมริกาใช้ข้อมูลการระเบิดจากกองทัพสหรัฐอเมริกา

3.4 TNO Multi - Energy Explosion (Trinity Consultants, 1991-2004)

แบบจำลองทำงานอยู่บนพื้นฐานของTNO ซึ่งคำนวณความหลากหลายของแรงระเบิดโดยแสดงการระเบิดเป็นจำนวนของเชื้อเพลิงในแต่ละคุณสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์Hence ได้นำการระเบิดของกลุ่มควันมาจำลองเป็นจำนวนน้อย

สำหรับแหล่งกำเนิดแต่ละชนิดที่ระเบิดในพื้นที่จำกัด

พลังงานของการระเบิด (จูล)

$$E = Mf\ Hf$$

เมื่อ : Mf = ปริมาณของเชื้อเพลิงในส่วนที่ถูกจำกัด(กิโลกรัม)

Hf = ความร้อนจากการเผาไหม้ (จูลต่อกิโลกรัม)

ระยะของการระเบิด

$$\overline{R} = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}}$$

เมื่อ : R = ระยะจากจุดศูนย์กลางการระเบิด (เมตร)

P_0 = ความดันบรรยากาศ (ปาสคาล)

ในแต่ละจุดศูนย์กลางถูกออกแบบให้มีค่าความแรงเริ่มต้นโดยแสดงเป็นจำนวนอยู่ในช่วง 1 (ความแรงต่ำมาก) จนถึง 10 (ความแรงสูง) ค่าความแรงเริ่มต้นใช้ในการเลือกกราฟสำหรับค่าแรงดัน ($\Delta\overline{P}_s$) และค่าเวลาที่เป็นบวก (t_+) ที่มีค่าสัมพันธ์กับ R

แรงดันที่เกิดจากการระเบิด (ปาสคาล)

$$\Delta P_s = \Delta\overline{P}_s P_0$$

และค่าเวลาที่เป็นบวก (วินาที)

$$t_+ = \bar{t}_+ \left[\frac{(E/P_0)^{1/3}}{c_0}\right]$$

เมื่อ : C_0 = ความเร็วของเสียงในอากาศ (340 เมตรต่อวินาที)

Baker Strehlow Explosion (Trinity Consultants, 1991-2004)

แบบจำลองทำงานอยู่บนพื้นฐานของ Baker และ Strehlow ซึ่งคำนวณความหลากหลายของแรงระเบิดโดยแสดงการระเบิดเป็นจำนวนของเชื้ อเพลิงในแต่ละคุณสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์ Hence ได้นำการระเบิดของกลุ่มควันมาจำลองเป็นจำนวนน้อย

สำหรับแต่ละแหล่งกำเนิดที่ถูกจำกัดของการลุกติดไฟ

พลังงานของการระเบิด (จูล)

$$E = Mf\ Hf\ G$$

เมื่อ : Mf = ปริมาณของเชื้ อเพลิงในส่วนที่ถูกจำกัด(กิโลกรัม)

Hf = ความร้อนจากการเผาไหม้ (จูลต่อกิโลกรัม)

G = ค่าการสะท้อนจากพื้ น

ระยะทางของการระเบิด

$$\overline{R} = \frac{rP_0^{1/3}}{E^{1/3}}$$

เมื่อ : r = ระยะจากจุดศูนย์กลางการระเบิด (เมตร)

P_0 = ความดันบรรยากาศ (ปาสคาล)

ความเร็วของเปลวไฟ (Flame Speed) (Mw) ได้มาจากตารางความเร็วของไฟสำหรับแหล่งกำเนิดไฟที่มีความรุนแรงต่ำ ซึ่งมาจากการขยายตัวของเปลวไฟ การเกิดปฏิกิริยาของสาร แล ความหนาแน่นของสิ่งกีดขวาง ซึ่งนำไปใช้ในการเลือกกราฟของ Baker-Strehlow สำหรับค่าแรงดัน ($\Delta\overline{P}_s$) และแรงผลัก ($\bar{i}$) ที่มีค่าสัมพันธ์กับ R

แรงดันที่เกิดจากการระเบิด (ปาสคาล)

$$P = \overline{P}_s P_0$$

และแรงผลัก (ปาสคาลวินาที)

$$i = \frac{\bar{i}_s P_0^{2/3} E^{1/3}}{A_0}$$

เมื่อ : A_0 = ความเร็วของเสียงในอากาศ (340 เมตรต่อวินาที)

<u>การจำแนกประเภทวัตถุอันตราย</u>(ภิญโญ พานิชพันธ์, 2544)

วัตถุอันตรายแบ่งออกได้เป็น9 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

1. วัตถุระเบิด
2. ก๊าซต่างๆ
3. ของเหลวไวไฟ
4. ของแข็งไวไฟ สารที่เสี่ยงต่อการลุกไหม้ได้เอง
5. สารออกซิไดซ์และสารอินทรีย์เปอร์ออกไซด์
6. สารพิษและสารติดเชื้ อ

7. วัตถุกัมมันตรังสี

8. สารกัดกร่อน

9. สารหรือสิ่งของอันตรายเบ็ดเตล็ด นอกเหนือจากประเภท 1-8

การเรียงลำดับของประเภทสินค้าอันตรายจาก 1-9 ไม่ได้เรียงตามลำดับของความเป็นอันตราย

คำจำกัดความและประเภทย่อยของวัตถุอันตรายทั้ง ๙ ประเภท มีดังต่อไปนี้

<u>วัตถุอันตรายประเภทที่1 วัตถุระเบิด</u>

วัตถุระเบิด หมายถึง

– สารระเบิด หมายถึง ของแข็งหรือของเหลว (หรือสารผสม) ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยตัวของมันเอง แล้วเกิดก๊าซที่ขยายตัวอย่างรวดเร็ว จึงเกิดการระเบิดที่มีความเร็วถึงขั้ นที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้ นที่โดยรอบ สารประเภทดอกไม้เพลิงรวมอยู่ในกลุ่มนี้ ด้วย

– สาร Pyrotechnic หมายถึง สารหรือสารผสมที่ออกแบบเพื่อให้เกิดความร้อน เสียง ก๊าซ หรือควัน หรืออย่างหนึ่งอย่างใด หรือหลายอย่างรวมกัน เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีที่ปล่อยความร้อนออกไปอย่างต่อเนื่อง

– สิ่งของระเบิดได้ หมายถึง สิ่งของที่มีส่วนประกอบของสารระเบิดหนึ่งอย่างหรือมากกว่า

สินค้าอันตรายประเภทที่ 1 (วัตถุระเบิด) แบ่งออกเป็น 6 ประเภทย่อย ตามลักษณะและความเร็วของการระเบิด ดังต่อไปนี้

ประเภทย่อย 1.1 หมายถึง สารหรือสิ่งของที่เกิดการระเบิดหมดทุกส่วนในเวลาเดียวกัน (Mass Explosion)

ประเภทย่อย 1.2 หมายถึง สารหรือสิ่งของที่อันตรายที่เกิดการยิงชิ้ นส่วนได้ แต่ไม่เกิดการระเบิดตูมหมดในทุกส่วนอย่างรวดเร็ว

ประเภทย่อย 1.3 หมายถึง สารหรือสิ่งของที่มีความเสี่ยงในการเกิดเพลิงไหม้และมีอันตรายแบบการระเบิดน้อย หรือการยิงชิ้นส่วนน้อย อย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองอย่าง แต่ต้องไม่เกิดการระเบิดหมดทั้งมวลอย่างรวดเร็ว

ประเภทย่อย 1.4 หมายถึง สารหรือสิ่งของซึ่งไม่มีความอันตรายมากนัก ในกรณีการติดไฟ หรือกระทบกระแทกจะมีผลต่อภาชนะบรรจุเป็นส่วนใหญ่

ประเภทย่อย 1.5 หมายถึง สารที่ไม่มีความไวในการระเบิด แต่หากระเบิดจะเกิดความเสียหายแบบการระเบิดหมดทั้งมวล

ประเภทย่อย 1.6 หมายถึง สิ่งของที่ไม่มีความไวต่อการระเบิดเลย และไม่มีอันตรายแบบการระเบิดหมดทั้งมวล

สินค้าอันตรายประเภทที่ 1 ยังถูกจัดให้อยู่กลุ่มที่สามารถอยู่ใกล้ชิดรวมกันได้ (Compatibility Group) ในการเก็บรักษาและขนส่ง โดยแบ่งเป็น 13 กลุ่ม ขึ้นกับชนิดของสารและสิ่งระเบิดที่พิจารณาแล้วว่าเข้ากันได้

<u>วัตถุอันตรายประเภทที่2 ก๊าซ</u>

ก๊าซ หมายถึง สารที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีความดันไอมากกว่า 300 กิโลปาสคาล หรือ มีสภาพเป็นก๊าซโดยสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ที่ความดันปกติ 101.3 กิโลปาสคาล ก๊าซที่ทำการขนส่งอยู่ในลักษณะต่างๆ กันคือ ก๊าซ อัดก๊าซในสภาพของเหลว ก๊าซที่เป็นของเหลวภายใต้การควบคุมที่อุณหภูมิต่ำ ก๊าซในสารละลายเป็นต้น

วัตถุอันตรายประเภทที่2 แบ่งตามอันตรายปฐมภูมิของก๊าซ ได้เป็น3 ประเภทย่อย

ประเภทย่อย 2.1 ก๊าซไวไฟ หมายถึง ก๊าซที่ความดันปกติ 101.3 กิโลปาสคาล และอุณหภูมิ20 องศาเซลเซียส เมื่อผสมกับอากาศ สามารถจุดประกายที่ความเข้มข้น 13 เปอร์เซ็นต์หรือต่ำกว่าโดยประมาณหรือมีช่วงกว้างการติดไฟในอากาศ 12 เปอร์เซ็นต์

ประเภทย่อยที่ 2.2 ก๊าซไม่ไวไฟและไม่เป็นพิษ หมายถึง ก๊าซที่ทำการขนส่งที่ความดันไม่น้อยกว่า 280 กิโลปาสคาล ที่อุณหภูมิ20 องศาเซลเซียส หรือมีสภาพเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำ เช่น ก๊าซที่มีคุณสมบัติที่ไม่ติดไฟและไม่เป็นพิษ แต่หากเกิดรั่วไหลออกมา สามารถทำให้หายใจไม่ออกได้เนื่องจากก๊าซเหล่านี้ ทำให้ออกซิเจนเจือจางลงหรือแทนที่ออกซิเจนที่มีในอากาศ หรือก๊าซที่

มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ ซึ่งเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนทำให้เกิดหรือช่วยให้เกิดการเผาไหม้วัสดุอื่นได้ดีกว่าอากาศจนเกิดภาวะขาดออกซิเจนขึ้น

ประเภทย่อยที่ 2.3 ก๊าซพิษ หมายถึง ก๊าซซึ่งมีคุณสมบัติเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าเป็นพิษหรือกัดกร่อน หรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

<u>วัตถุอันตรายประเภทที่3 ของเหลวไวไฟ</u>

ของเหลวไวไฟ หมายถึง ของเหลว ของเหลวผสม หรือของเหลวที่มีสารที่ปกติเป็นของแข็งละลายอยู่ หรือของเหลวที่มีสารแขวนลอยผสม ซึ่งมีจุดวาบไฟ (Flash Point) ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60.5 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นแล้ว วัตถุอันตรายในประเภทนี้ ยังหมายถึง ของเหลวซึ่งต้องขนส่งที่อุณหภูมิสูงกว่าหรือเท่ากับจุดวาบไฟของของเหลวนั้น หรือสารซึ่งต้องอยู่ในสถานะของเหลวในขณะขนส่งซึ่งจะให้ไอระเหยของสารที่สามารถติดไฟได้ที่อุณหภูมิเท่ากับหรือต่ำกว่าอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถใช้ในการขนส่งได้

<u>วัตถุอันตรายประเภทที่4 ของแข็งไวไฟ</u>

สารที่เกิดการลุกไหม้ได้เอง สารที่ให้ก๊าซไวไฟเมื่อสัมผัสกับน้ำ วัตถุอันตรายประเภทที่ 4 แบ่งออกเป็น 3 ประเภทย่อย ดังต่อไปนี้

ประเภทย่อย 4.1 ของแข็งไวไฟ หมายถึง ของแข็งซึ่งระหว่างการขนส่ง สามารถเผาไหม้ได้ง่ายและอาจลุกไหม้ได้ หรือทำให้ลุกไหม้ขึ้นได้จากการเสียดสีสารหรือสารข้างเคียงที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดปฏิกิริยาที่คายความร้อนออกมาได้ง่าย รวมทั้งสารระเบิดง่ายที่ถูกทำให้ไม่ไวในการระเบิดโดยวิธีการต่างๆได้ แต่สารเหล่านี้ สามารถระเบิดได้ เช่น หากไม่อยู่ในสภาพเจือจางเพียงพอตามข้อกำหนด

ประเภทย่อย 4.2 สารที่มีความเสี่ยงต่อการลุกไหม้ได้เอง หมายถึง สารที่อาจร้อนขึ้นมาและสามารถลุกไหม้ได้เองภายใต้สภาวะปกติในระหว่างการขนส่ง หรือสารที่เมื่อสัมผัสกับอากาศแล้วจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ติดไฟได้

ประเภทย่อย 4.3 สารที่ให้ก๊าซไวไฟเมื่อสัมผัสกับน้ำ หมายถึง สารเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วอาจลุกไหม้ได้เอง หรือให้ก๊าซไวไฟในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายได้

วัตถุอันตรายประเภทที่5 สารออกซิไดซ์ และสารอินทรีย์เปอร์ออกไซด์

วัตถุอันตรายประเภทที่5 แบ่งออกเป็น 2 ประเภทย่อย ดังต่อไปนี้

ประเภทย่อย 5.1 สารออกซิไดซ์ หมายถึง สารที่อาจไม่ติดไฟเองได้ โดยการปล่อยออกซิเจนให้เป็นส่วนใหญ่

ประเภทย่อย 5.2 สารอินทรีย์เปอร์ออกไซด์ หมายถึง สารอินทรีย์ที่มีหมู่เปอร์ออกไซด์ที่ไม่เสถียร เมื่อถูกความร้อนจะเกิดการแตกสลายที่รุนแรงขึ้ นเรื่อยๆ เนื่องจากความร้อนที่ปล่อยออกมามากขึ้ นอีก สารอินทรีย์เปอร์ออกไซด์สามารถระเบิดได้เมื่อเกิดการสลายตัวหรือเผาไหม้ได้อย่างรวดเร็ว มีความไวต่อการกระทบหรือการเสียดสี หรือทำปฏิกิริยากับตัวเองหรือสารอื่น

วัตถุอันตรายประเภทที่6 สารพิษและสารแพร่เชื้ อได้

วัตถุอันตรายประเภทที่6 สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทย่อย ดังต่อไปนี้

ประเภทย่อย 6.1 สารพิษ หมายถึง สารพิษที่เป็นอันตรายต่อชีวิต หรือบาดเจ็บร้ายแรง หรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งอาจเข้าสู่ร่างกายได้โดยการกลืน การสูดดม หรือจากการสัมผัสทางผิวหนัง โดยความเป็นพิษขึ้ นอยู่กับปริมาณสารพิษ(มิลลิกรัม) ขั้ นต่ำสุด ต่อน้ ำหนักของสัตว์ (กิโลกรัม) ที่ทำให้ร้อยละ 50 ของสัตว์ทดลองตาย เมื่อได้รับสารพิษในปริมาณนั้ น1 ครั้ ง

ประเภทย่อย 6.2 สารแพร่เชื้ อได้ หมายถึง สารที่มีส่วนประกอบของเชื้ อโรค หรือสิ่งที่ทำให้เกิดโรค ตัวที่สามารถแพร่พยาธิอาจเป็นจุลินทรีย์ธรรมดา (รวมทั้ งแบคทีเรียrickettsia, ไวรัส พยาธิ เชื้ อรา) หรือเชื้ อจุลินทรีย์ที่ได้รับการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม(จีเอ็มโอ) ซึ่งเชื้ อจุลินทรีย์เหล่านี้ เป็นที่รู้ กันว่าหรือคาดการณ์ได้ว่าสามารถแพร่โรคต่างๆ โดยการผสมผสานสารพันธุกรรมหรือโดยการกลายพันธุ์สัตว์ หรือมนุษย์

วัตถุอันตรายประเภทที่7 วัตถุกัมมันตรังสี

วัตถุกัมมันตรังสี หมายถึง วัตถุที่มีนิวเคลียร์ที่เปล่งกัมมันตรังสีได้ ซึ่งความเข้มข้นของกัมมันตรังสี และค่ากัมมันตรังสีอย่างปลอดภัย ได้กำหนดไว้ในIAEA Safety Standards Series No. ST-1 (1996 edition) สิ่งของทั่วๆไป รวมทั้ งสิ่งมีชีวิตมีการเปล่งกัมมันตรังสีตามธรรมชาติต่ำ

อยู่แล้ว ฉะนั้นสิ่งที่นับว่าเป็นอันตรายประเภทมีกัมมันตรังสีต้องมีค่าการเปล่งกัมมันตรังสีจำเพาะสูงกว่า 70 kBq/kg (0.002 µci/g)

วัตถุกัมมันตรังสี มีทั้งที่เป็นอันตรายมากหรือน้อย เนื่องจากรังสีที่เปล่งออกมาไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าอาจเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกายของสิ่งมีชีวิต

<u>วัตถุอันตรายประเภทที่8 สารกัดกร่อน</u>

สารกัดกร่อน หมายถึง สารซึ่งโดยปฏิกิริยาเคมี ทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงเมื่อสัมผัสกับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต หรือในกรณีเกิดการรั่วไหลจะเกิดการเสียหายต่อวัตถุหรือทำลายสินค้าอื่นๆ หรือพาหนะที่ใช้ขนส่ง สารประเภทนี้ยังอาจทำให้เกิดอันตรายชนิดอื่นได้ด้วย สารกัดกร่อนในสภาพปกติเป็นได้ทั้งของแข็งและของเหลว สารกัดกร่อนมีคุณสมบัติดังนี้

- ไอระเหยของสารอาจเป็นอันตรายต่อนัยน์ตาและโพรงจมูก
- สารบางชนิดอาจให้ก๊าซพิษเมื่อสลายตัว เมื่ออยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง
- สารบางชนิดอาจมีคุณสมบัติติดไฟได้ด้วย
- สารทุกชนิดในประเภทนี้ทำอันตรายต่อวัสดุต่างๆ เช่น โลหะ เนื้อเยื่อสังเคราะห์
- สารบางชนิดจะมีฤทธิ์กัดกร่อนต่อเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำและความชื้น
- สารบางชนิดเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วจะให้ก๊าซไวไฟ
- สารบางชนิดเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำหรือสารอินทรีย์จะให้ความร้อนสูงมาก

<u>วัตถุอันตรายประเภทที่9 สารและสิ่งของอันตรายเบ็ดเตล็ด</u>

สารและสิ่งของอันตรายเบ็ดเตล็ด หมายถึง สารหรือสิ่งของที่ไม่ถูกจัดไว้ในประเภทอื่นๆได้ แต่จากประสบการณ์ในการขนส่งสารหรือสิ่งของนี้ แสดงให้เห็นว่าสามารถเกิดอันตรายขึ้นได้ สารหรือสิ่งของที่จัดอยู่ในประเภทนี้ รวมถึงของที่ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิระหว่างการขนส่งโดยที่อุณหภูมิควบคุมนี้ สูงกว่าหรือเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส ในสภาพที่เป็นของเหลว หรือ 240 องศาเซลเซียส ในสภาพที่เป็นของแข็ง และรวมถึงสารที่ถูกระบุว่าเป็นสารที่อาจเป็นอันตรายได้ตามที่ระบุไว้ในอนุสัญญาระหว่างประเทศสำหรับป้องกันมลภาวะจากเรือ (MARPOL 73/78 Annex III)

ลักษณะของวัตถุอันตรายในแต่ละประเภทได้แสดงไว้ในตารางที่2.10

ตารางที่ 2.10

ลักษณะอันตรายของวัตถุอันตรายแต่ละประเภท

ประเภท	ลักษณะอันตราย
1. วัตถุระเบิด	- เกิดระเบิด ลุกติดไฟ หรือให้ก๊าซอันตรายระหว่างระเบิดหรือติดไฟ เมื่อมีความร้อน ถูกกระแทก หรือเสียดสีอย่างแรง
2. ก๊าซ	
2.1 ก๊าซไวไฟ	- ระเบิดและเกิดอัคคีภัย การแตกสลายตัวของก๊าซให้ก๊าซพิษ หรือรั่วไหลติดไฟให้ก๊าซพิษ
2.2 ก๊าซไม่ไวไฟ	- ระเบิดและให้ก๊าซที่เป็นอันตราย ถ้าก๊าซที่บรรจุในถังทนความดันเป็นก๊าซพิษ
2.3 ก๊าซพิษ	- ระเบิดได้และให้ก๊าซพิษ และหากก๊าซที่บรรจุเป็นก๊าซพิษชนิดติดไฟได้ด้วยจะให้ผลจากการเผาไหม้เป็นก๊าซพิษชนิดอื่นได้อีก
3. ของเหลวไวไฟ	- ระเบิด ลุกติดไฟได้และให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว ถ้าปล่อยลงสู่แหล่งน้ำลำคลองอาจติดไฟบนผิวน้ำได้
4. ของแข็งไวไฟ	- อันตรายจากอัคคีภัยให้ความร้อนและอาจให้ก๊าซพิษบางชนิดติดไฟแล้วใช้น้ำดับไม่ได้ เนื่องจากจะให้ก๊าติดไฟช่วยโหมไฟยิ่งขึ้น
5. สารออกซิไดซ์และสารอินทรีย์เปอร์ออกไซด์	- ระเบิดลุกไหม้เมื่อเกิดรั่วไหล ทำปฏิกิริยารุนแรงกับสารติดไฟอื่นๆ หากแตกหรือรั่วไหลก่อให้เกิดการระเบิดลุกไหม้และให้สารพิษที่ก่อให้เกิดอันตรายได้ อย่าปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ
6. สารพิษและสารแพร่เชื้อ	- ก่อให้เกิดความผิดปกติเมื่อร่างกายได้รับโดยการกิน สัมผัสทางผิวหนังหรือการหายใจในปริมาณที่มากเกินไป หากรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะพิษจแพร่กระจายไปไกลได้
6.1 สารพิษ	

ตารางที่ 2.10 (ต่อ)

ลักษณะอันตรายของวัตถุอันตรายแต่ละประเภท

ประเภท	ลักษณะอันตราย
6.2 สารแพร่เชื้ อ	- ก่อให้เกิดโรคติดเชื้อขึ้ นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์หรือเกิดโรคเนื่องจากสัมผัสสารพิษสกัดจากจุลินชีพนั้ นๆ หากเล็ดลอดออกสู่สิ่งแวดล้อมอาจก่อให้เกิดโรคระบาดได้
7. สารกัมมันตรังสี	- ให้รังสีอันตราย
8. สารกัดกร่อน	- ก่อให้เกิดการระคายเคืองเนื้ อเยื่อที่สัมผัส เช่น ผิวหนังและเยื่อบุต่างๆ นอกจากนี้ อาจกัดกร่อนโลหะและทำให้ทรัพย์สินอื่นๆเสียหายได้ เมื่อทำปฏิกิริยากับโลหะให้ก๊าซติดไฟได้ นำไปสู่การเกิดอัคคีภัยได้
9. สารอันตรายอื่นๆ	- อันตรายขึ้ นอยู่กับชนิดและคุณสมบัติของสารนั่นๆ โดยเฉพาะ

ที่มา: บุญจง ขาวสิทธิวงษ์, 2536

<u>การพิจารณาความเสี่ยง</u> (สุภาพร สาครอรุณ, 2544)

การพิจารณาความเสี่ยงที่เกิดจากการรั่วไหลของสารเคมีหรือวัตถุอันตราย สามารถที่จะประเมินถึงอันตรายหรือวิเคราะห์อันตรายได้โดยการสร้างสถานการณ์จำลอง (Accident Scenarios) ถึงเหตุอันตรายหรืออุบัติภัยร้ายแรงที่จะเกิดตามมา (Consequence) และวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้ นซึ่งต้องพิจารณาลักษณะสมบัติของสารเคมีหรือวัตถุอันตรายดังนี้

1. ลักษณะสมบัติที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายได้

—สถานะของสาร (เป็นของแข็ง ผง เม็ด ของเหลว หรือก๊าซ เป็นต้น)

—จุดเดือด

—จุดหลอมเหลว

—ความหนาแน่น

—ความหนาแน่นของก๊าซ เปรียบเทียบกับอากาศ

—อัตราการระเหย

—การละลายของสารในสารตัวทำละลายประเภทสารอินทรีย์

2. ลักษณะสมบัติที่ส่งผลต่อการเกิดเพลิงไหม้

—จุดวาบไฟ

—จุดลุกติดไฟ

—ช่วงความเข้มข้นที่เกิดไวไฟ

—อัตราการระเหย

—การละลายของสารในสารตัวทำละลายประเภทสารอินทรีย์

3. ลักษณะสมบัติที่ส่งต่อสิ่งแวดล้อม

—การละลายน้ำที่อุณหภูมิ20°C

—ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

—ความต้องการปริมาณออกซิเจนในการย่อยสลายทางเคมีและชีวภาพ

—ความเสี่ยงต่อการสะสมของสารในสิ่งที่มีชีวิต

4. ลักษณะสมบัติที่ส่งผลต่อชีวิต

—ความเข้มข้นของสารที่ทำให้สัตว์ทดลอง เช่น หนูและกระต่ายตาย เป็นพิษต่อพืชและสัตว์ (Lethal Dose – LD 50)

—ผลต่อการทำให้เกิดการกลายพันธ์เป็นมะเร็ง และเกิดอาการแพ้

—ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศการทำงาน8 ชั่วโมง ต่อ วัน หรือ40 ชั่วโมง ต่อ สัปดาห์ (Threshold Limit Value-TLV/TWA)

—ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในช่วงเวลา 15 นาที ตลอดระยะในการทำงาน 8ชั่วโมง ต่อ วัน หรือ 40 ชั่วโมง ต่อสัปดาห์ (Threshold Limit Value-TLV/STEL)

—ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศการทำงานตลอดระยะในการทำงาน (Threshold Limit Value-TLV/C)

—ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ได้รับในช่วงเวลา30 นาทีที่ส่งผลต่อสุขภาพหรืออาจทำ

ให้เสียชีวิต (Immediate Dangerous to Life and Health– IDLH)

สารเคมีหรือวัตถุอันตรายที่รั่วไหลออกมาสู่บรรยากาศและแพร่กระจายไปทั่วโรงงานและชุมชน ถ้าเป็นสารพิษก็จะทำอันตรายต่อคนตามที่กล่าวมาแล้ว หากสารเคมีหรือวัตถุอันตรายนั้นเป็นสารไวไฟอันตรายที่อาจเกิดขึ้นคือการระเบิด และการเกิดเพลิงไหม้ ซึ่งบางครั้งการเกิดเพลิงไหม้เป็นกระบวนการทำให้เกิดก๊าซพิษอีกด้วย

<u>ความเป็นพิษ (Toxicity)</u> (กรมควบคุมมลพิษ)

ค่าความเป็นพิษของสารเคมีสามารถบอกได้ถึงความรุนแรงหากได้รับสารเคมีในปริมาณและเวลาต่างๆ โดยมีค่ามาตรฐานดังนี้

Lethal Dose Fifty (LD50) หมายถึงปริมาณ (Dose) ของสารเคมีซึ่งคาดว่าจะทำให้สัตว์ทดลองที่ได้รับสารนั้นเพียงครั้งเดียวตายไปเป็นจำนวนครึ่งหนึ่ง(50 เปอร์เซ็นต์) ของจำนวนเริ่มต้น

Lethal Concentation Fifty (LC50) ความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศซึ่งคาดว่าสัตว์ทดลองที่สูดดมในช่วงระยะเวลาที่ระบุไว้ตายเป็นจำนวนครึ่งหนึ่ง(50 เปอร์เซ็นต์) ของจำนวนเริ่มต้น

Immediately Dangerous to Life and Health Concentrations (IDLH) ค่าความเข้มข้นของสารเคมีสูงสุดเมื่อเกิดความบกพร่องจากอุปกรณ์ป้องกันการหายใจแล้วสามารถอพยพออกจากบริเวณนั้นได้ภายใน 30 นาทีโดยปราศจากอุปกรณ์ป้องกันการหายใจและไม่ก่อให้เกิดอาการระคายเคืองอย่างรุนแรงหรือมีผลต่อสุขภาพอนามัย

Threshold Limit Value (TLV) ค่าขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศการทำงานที่พนักงานสัมผัสสารเคมีดังกล่าวซ้ำๆ โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและอนามัย กำหนดขึ้นโดยThe American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) เพื่อเป็นแนวทางหรือข้อเสนอแนะในการควบคุมสภาพแวดล้อมในการทำงาน แบ่งออกเป็น

- ค่าขีดจำกัดเฉลี่ยตลอดเวลาการทำงาน (TLV-TWA) คิดที่ 8 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์

— ค่าขีดจำกัดสำหรับการสัมผัสในระยะเวลาสั้ น(TLV-STEL) สำหรับการสัมผัสสารเคมีในระยะสั้ นปกติประมาณ15 นาที

— ค่าขีดจำกัดสูงสุด(TLV-Ceiling) จะต้องไม่เกิดค่านี้ ไม่ว่าในเวลาใดๆของการทำงาน

Permissible Exposure Limit (PEL) ค่าความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศการทำงานที่อนุญาตให้มีได้ตามกฎหมายความปลอดภัยและอาชีวอนามัยแห่งสหรัฐอเมริกา (Occupational Safety and Health Act; OSHA)

Emergency Response Planning Guidelines **(ERPG)** เป็นค่าที่กำหนดขึ้ นเพื่อใช้ในการประเมินหาขอบเขตของความเข้มข้นที่สังเกตได้จากผลกระทบที่เกิดขึ้ นได้ โดยแบ่งได้เป็น3 ระดับ

— **ERPG-1 เป็นระดับความเข้มข้นของสารนั้ นในอากาศสูงสุดที่เมื่อได้รับสารนั้ นติดต่อกัน1 ชั่ วโมงหรือน้อยกว่าจะไม่มีผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ หรือมีผลกระทบเพียงระดับเล็กน้อย หรือเทียบเท่ากับการได้กลิ่นเพียงเล็กน้อย**

— ERPG-2 เป็นระดับความเข้มข้นของสารนั้ นในอากาศสูงสุดที่เมื่อได้รับสารนั้ นติดต่อกัน 1 ชั่วโมงหรือน้อยกว่าจะไม่มีผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์จนถึงระดับรุนแรง หรือในระดับที่ไม่สามารถคืนกลับสภาพเองได้ ซึ่งในระดับดังกล่าวนี้ ทุกคนยังมีความสามารถที่จะป้องกัน เตรียมการ หรือหนีจาก สภาวะดังกล่าวได้ทัน

— ERPG-3 เป็นระดับความเข้มข้นของสารนั้ นในอากาศสูงสุดที่เมื่อได้รับสารนั้ นติดต่อกัน 1 ชั่วโมงหรือน้อยกว่าโดยที่จะไม่ได้รับอันตรายจนถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อชีวิต

Temporary Emergency Exposure Limit **(TEEL)** เป็นค่าที่กำหนดขึ้ นเพื่อใช้ในการประเมินหาขอบเขตของความเข้มข้นที่สังเกตได้จากผลกระทบที่เกิดขึ้ นได้ โดยแบ่งได้เป็น4 ระดับ

— TEEL-0 เป็นระดับของความเข้มข้นที่ไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพ

— TEEL-1 เป็นระดับความเข้มข้นของสารนั้ นในอากาศสูงสุดที่เมื่อได้รับสารนั้ นจะไม่มีผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ หรือมีผลกระทบเพียงระดับเล็กน้อย หรือเทียบเท่ากับการได้กลิ่นเพียงเล็กน้อย

— TEEL-2 เป็นระดับความเข้มข้นของสารนั้นในอากาศสูงสุดที่เมื่อได้รับสารนั้ นจะไม่มีผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์จนถึงระดับรุนแรง หรือในระดับที่ไม่สามารถคืนกลับสภาพเองได้ ซึ่งในระดับดังกล่าวนี้ ทุกคนยังมีความสามารถที่จะป้องกัน เตรียมการ หรือหนีจาก สภาวะดังกล่าวได้ทัน

— TEEL-3 เป็นระดับความเข้มข้นของสารนั้ นในอากาศสูงสุดที่เมื่อได้รับสารนั้ นจะไม่ได้รับอันตรายจนถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อชีวิต

<u>การระเบิด (Explosion)</u> (ณัฐวัตร มนต์เทวัญ 2543)

เป็นการปลอดปล่อยก๊าซที่มีความดันสูงอย่างรุนแรงและรวดเร็วสู่สภาพแวดล้อม โดยที่จะต้องมีความเร็วมากพอที่จะทำให้พลังงานที่ปลดปล่อยออกมากลายเป็นคลื่น Shock Wave โดยการระเบิดที่เกิดขึ้ นนี้ อาจจะเกิดจากการที่ภาชนะหรือถังเก็บกักมีความดันมากเกินไป เช่น การระเบิดของบอลลูน โดยมีแบ่งประเภทของการระเบิดได้เป็น การระเบิดทางกายภาพ เช่น การระเบิดของหม้อไอน้ ำ และการระเบิดของปฏิกิริยาเคมี เช่น การระเบิดที่เกิดจากการเผาไหม้ของสารผสม การระเบิดบางชนิดที่มีผลจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้ นอย่างรวดเร็ว จนทำให้ก๊าซที่มีความดันสูงถูกปลดปล่อยออกมาอย่างทันทีทันใด เช่น การระเบิดของวัตถุระเบิด ก๊าซที่ถูกปลดปล่อยออกมานี้ จะมีผลต่อสภาพแวดล้อมมากหรือน้อยนั้ นก็ขึ้ นกับ

1) อัตราการปลดปล่อย
2) ความดันขณะเกิดการรั่ว
3) ปริมาณก๊าซที่ปลดปล่อยออกมา
4) ทิศทางการรั่วไหล
5) อุณหภูมิของก๊าซที่รั่วออกมา

ความดันจากการระเบิดจะสมดุลที่ความเร็วเท่ากับความเร็วเสียง ซึ่งมีค่าประมาณ 1,100 ฟุตต่อนาที (300 เมตรต่อนาที) สำหรับพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาเป็นคลื่น Shock Wave นั้ น ค่าความเร็วในการปลดปล่อยจะมีความเร็วเท่ากับความเร็วเสียง (Sonic) หรือความเร็วมากกว่าความเร็วเสียง (Super-Sonic) คลื่น Shock Wave จะเริ่มแผ่ออกจากจุดที่มีการรั่วไหลและค่อยๆแผ่คลื่น Shock Wave ออกไป ในขณะที่ระยะทางจากจุดที่มีการรั่วไหลเพิ่มขึ้ น ความเข้มของคลื่น Shock Wave จะลดลง ผลของคลื่น Shock Wave ที่มีต่อสภาพแวดล้อมดังแสดงในตารางที่ 2.11 และผลกระทบที่เกิดต่อคนในตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.11

ผลของคลื่น Shock Wave ที่มีต่อสภาพแวดล้อม

โครงสร้าง	ผลของคลื่น Shock Wave	ค่าความดันสูงสุด	
		ปอนด์/ตารางนิ้ว	กิโลปาสคาล
กระจกหน้าต่าง	กระจกแตก	0.5-1	3.5-7
แผ่นเหล็กหรืออลูมิเนียม	รอยต่อแตกและโค้งงอ	1-2	7-14
แผ่นไม้สำหรับสร้างบ้าน	รอยต่อแตกและอาจทำให้แผ่นไม้ถูกพัดพาไป	1-2	7-14
ผนังคอนกรีตที่มีความหนา 8 หรือ 12 นิ้ว	ผนังแตกละเอียด	2-3	14-21
ตึกที่มีแผ่นเหล็กเป็นโครงสร้าง	พังทลาย	3-4	21-28
แท็งค์บรรจุน้ำมัน	แท็งค์แตก	3-4	21-28
รถบรรทุกของ	พลิกคว่ำ	7	48
ผนังอิฐหนา 8 หรือ 12 นิ้ว	ผนังร้าวและโค้งงอ	7-8	48-55

ที่มา: ณัฐวัตร มนต์เทวัญ, 2543

ตารางที่ 2.12

ผลกระทบที่เกิดจากแรงระเบิด (Overpressure) ต่อชีวิต

แรงระเบิด (Overpressure - PSI)	ผลกระทบ
5	เริ่มเกิดอาการแก้หูฉีกขาด
15	แก้วหูฉีกขาด 50เปอร์เซ็นต์
30-40	ปอดเริ่มเสียหาย
80+	ปอดเสียหายรุนแรง
100-120	อาจทำให้เสียชีวิต
130-180	เกิดการเสียชีวิตได้ 50เปอร์เซ็นต์
200-250	เสียชีวิตเกือบ100เปอร์เซ็นต์

ที่มา: สุภาพร สาครอรุณ, 2544

เกณฑ์ที่ใช้พิจารณาผลกระทบจากแรงดันที่เกิดจากการระเบิดส่วนใหญ่นิยมใช้เกณฑ์ที่กำหนดโดยธนาคารโลก (World Bank) ซึ่งกำหนดค่าระดับแรงดันจากการระเบิดอยู่ที่ 4, 14 และ 35 กิโลปาสคาล สำหรับเกณฑ์ที่กำหนดโดย US.EPA กำหนดค่าระดับแรงดันจากการระเบิดที่ 1 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว(Pound per Square Inch; psi) หรือ 7 กิโลปาสคาล (อ้างอิงในเอกสาร 40 CFR Part 68) เป็นเกณฑ์มาตรฐาน ค่าระดับแรงดันจากการระเบิดและผลกระทบแสดงในตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13

เกณฑ์การพิจารณาผลจากการระเบิด

ความดันที่เกิดในขณะระเบิด (over pressure)		ผล
กิโลปาสคาล	bar (g)	
4	0.039	90เปอร์เซ็นต์ ของหน้าต่างจะสั่นและส่วนน้อยจะแตก
7	0.069	บ้านบางส่วนจะเสียหาย(แต่ยังซ่อมแซมได้) ฝาถังเก็บน้ ามันจะถูกทำลาย
14	0.138	กระจกจะแตก กระเบื้ องหลังคาจะหลุดออก
35	0.345	บ้านจะถูกทำลายสิ้ นเชิงอุปกรณ์ในโรงงานถูกทำลาย เกิดการรั่วไหลของเชื้ อเพลิงในถังเก็บ

ที่มา: วราวุธ เสือดี, 2549

ถ้าก๊าซถูกปลดปล่อยออกมาอย่างทันทีทันใดและกระจายตัวทั่วทุกทิศทุกทาง คลื่น Shock Wave จะกระจายตัวเป็นวงกลม แต่อย่างไรก็ตามความเร็วในการปลดปล่อยก๊าซนั้ นจะต้องมีความเร็วอย่างน้อยที่สุดเท่ากับความเร็วเสียง แต่การระเบิดส่วนใหญ่จะเกี่ยวกับการระเบิดของภาชนะหรือโครงสร้าง ซึ่งก๊าซถูกสะสมที่ความดันสูง จนเมื่อความดันของก๊าซมีค่ามากเกินกว่าที่ภาชนะบรรจุจะทนทานได้ ภาชนะก็จะอ่อนตัวและแตก ทำให้เกิดคลื่น Shock Wave ในทิศทางที่ภาชนะแตก ดังนั้ นการระเบิดของภาชนะจะทำให้เกิดคลื่นความดันซึ่งจะไม่ได้มีค่าเท่ากันในทุกทิศทาง

<u>ชนิดของการระเบิด</u> (สุภาพร สาครอรุณ, 2544)

การระเบิดเกิดขึ้ นได้2 ลักษณะขึ้ นกับลักษณะของการพุ่งกระจายออกไปโดยมีสาเหตุดังนี้

1. การระเบิดเนื่องจากกระบวนการทางฟิสิกส์ เนื่องจาก

—การสะสมพลังงานภายใต้ความดันปริมาตรของสารถูกปล่อยออกไปทันทีทันใด

—พลังงานภายนอกที่มีต่อของแข็งหรือของเหลวและเปลี่ยนไปอยู่ในสถานะก๊าซ

—พลังงานที่ถูกส่งไปยังก๊าซ ซึ่งทำให้ความดันเพิ่มสูงขึ้น

2.การระเบิดเนื่องจากกระบวนการทางเคมี สาเหตุที่เกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีจะทำให้เกิดพลังงานความร้อน ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการพุ่งกระจายตัวของวัสดุโดยเกิดขึ้นได้ใน 3 ลักษณะ คือ

—การระเบิดเนื่องจากความร้อน ทำให้อุณหภูมิของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นมักจะเป็นอุณหภูมิเดียวกับการระเบิดเกิดการปลดปล่อยพลังงานออกมา ตัวอย่างเช่นการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ให้ความร้อนออกมาและไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ความร้อนจะสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ระเบิด

—การระเบิดเนื่องจากการถูกเผาด้วยความร้อนสูง อากาศหรือก๊าซในถังปฏิกิริยาเกิดการแตกตัวจากการเผาด้วยความร้อนสูง

—การระเบิดเนื่องจากเกิดระเบิดอย่างรุนแรง เป็นการปลดปล่อยพลังงานที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของวัสดุถังปฏิกิริยาเคมีซึ่งมีอุณหภูมิสูง ส่วนปริมาตรของอากาศหรือก๊าซที่เหลือจะมีอุณหภูมิอยู่ในระดับเดียวกับอุณหภูมิโดยรอบและจะร้อนขึ้นจากการเคลื่อนที่ของคลื่นความร้อนที่ผ่านถังปฏิกิริยาเคมี

<u>การลุกติดไฟ (Ignition)</u> (สุภาพร สาครอรุณ, 2544)

อันตรายจากการลุกติดไฟขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ 2 ประการ คือ ความสามารถในการถูกเผาไหม้และความไวไฟ

1. ความสามารถในการถูกเผาไหม้หรือติดไฟได้ คือความสามารถของวัตถุในการเป็นเชื้อเพลิง วัตถุที่สามารถจุดติดไฟและลุกไหม้ต่อไปได้ถือว่าเป็นวัตถุที่ถูกเผาไหม้ได้ ซึ่งในการลุกไหม้ต้องมีส่วนประกอบสามส่วนคือ เชื้อเพลิง ออกซิเจน และความร้อน ทั้งนี้ ความเข้มข้นของเชื้อเพลิงและออกซิเจนต้องสูงพอที่จะทำให้จุดติดไฟและลุกไหม้ได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่ต้องการความร้อนในการทำให้เกิดปฏิกิริยานั้น ความร้อนที่ทำให้เกิดไฟไหม้อาจมาจากประกายไฟ เปลวไฟ การเสียดสี ปฏิกิริยาทางเคมี กระแสไฟฟ้า ในขณะเดียวกันไฟ

ที่ลุกไหม้อยู่นั้ นอาจดับลงได้โดยการกำจัดองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งออกไป ตัวอย่างเช่น การใช้น้ ำดับไฟซึ่งเป็นการกำจัดหรือลดความร้อนโดยความร้อนที่ออกมานั้ นมีผลกระทบต่อบริเวณโดยรอบดังแสดงในตารางที่ 6 และระดับอันตรายจากการแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation) ดังตารางที่ 7 แต่ทั้งนี้ วัตถุบางชนิดสามารถสร้างความร้อนขึ้ นได้เองและเกิดการเผาไหม้ขึ้ น เรียกว่า การลุกติดไฟได้เอง ซึ่งอาจทำให้เกิดไฟไหม้หรือระเบิดตามมา นอกจากนั้ นมีสารเคมีบางชนิดที่เผาไหม้ได้โดยไม่ต้องการออกซิเจน เช่น แคลเซียมและอลูมิเนียมซึ่งสามารถเผาไหม้ในไนโตรเจนได้

2. ความไวไฟ คือ ความสามารถของสาร (ของเหลว หรือ ก๊าซ) ในการกลายเป็นไอระเหยจนกระทั่งมีความเข้มข้นสูงถึงระดับที่สามารถทำให้เกิดการลุกติดไฟและเผาไหม้ได้ภายใต้สภาวะปกติ ซึ่งในการเผาไหม้นั้ นอัตราส่วนระหว่างเชื้ อเพลิงและอากาศต้องพอเหมาะ

<u>ลักษณะของการเกิดเพลิงไหม้และการระเบิด</u> (สุภาพร สาครอรุณ, 2544)

ในส่วนของการเกิดเพลิงไหม้ มีความเกี่ยวข้องกับการระเบิด เนื่องจากการเกิดเพลิงไหม้อาจมีผลมาจากการระเบิด ในขณะเดียวกันการระเบิดอาจเกิดจากการเกิดเพลิงไหม้ได้ ทั้ งการเกิดเพลิงไหม้และการระเบิดมีการปล่อยพลังงานออกมาเหมือนกัน แต่ต่างกันที่การเกิดเพลิงไหม้จะปล่อยพลังงานออกมาในอัตราช้าๆ ส่วนการระเบิดจะปล่อยพลังงานออกมาอย่างรวดเร็วภายในส่วนวินาที ซึ่งลักษณะของการเกิดเพลิงไหม้และการระเบิด ดังนี้

1. Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions (BLEVE)

เป็นลักษณะการเกิดอุบัติภัยที่เกิดจากการรั่วไหลของสารเคมีหรือวัตถุอันตรายซึ่งเป็นสารไวไฟ และรั่วไหลในประมาณมาก ๆ จะเกิดขึ้ นที่ภาชนะบรรจุของเหลวภายใต้แรงดันขั้ นตอนการเกิดเป็นดังนี้

— เกิดเพลิงไหม้ในบริเวณใกล้ภาชนะบรรจุของเหลวภายใต้แรงดัน

— ความร้อนจากเพลิงไหม้ทำให้ผนังภาชนะบรรจุร้อนขึ้ น

— อุณหภูมิของของเหลว และความดันในภาชนะบรรจุสูงขึ้ นจนทำให้ของเหลวเดือด

— ความร้อนหรือเปลวไฟจะทำให้ผนังภาชนะบรรจุสูญเสียความแข็งแกร่งเนื่องจากโครงสร้างเนื้ อโลหะถูกทำลาย

— ภาชนะบรรจุแตกระเบิดเนื่องจากเนื่องจากไอของสารเคมีหรือวัตถุอันตราย

– ภาชนะบรรจุที่แตกจะพุ่งออกไปเหมือนจรวด

2. Vapor Cloud Explosion or Unconfined Vapor Cloud Explosion

เป็นการระเบิดที่ก่อให้เกิดอันตรายและมีผลในการทำลายล้างสูง มักเกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมเคมี ซึ่งขั้นตอนการเกิดเป็นดังนี้

– เกิดการรั่วไหลไอของสารเคมีหรือวัตถุอันตรายที่มีลักษณะสมบัติไวไฟในปริมาณปกติมักเกิดขึ้นเนื่องจากภาชนะบรรจุของเหลวภายใต้ความดัน

– เกิดการแพร่กระจายของไอของของเหลวและผสมรวมกับอากาศในลักษณะเป็นหมอกควัน

– หมอกควันของไอของของเหลวเกิดลุกไหม้เฉียบพลันทำให้เกิดการระเบิด ตัวอย่างการระเบิดแบบ Vapor Cloud Explosion เช่น การเกิดระเบิดที่ เมือง Flixborough ประเทศอังกฤษ

3. Confined or Indoor Explosion

เป็นการระเบิดที่เกิดขึ้นในพื้นที่อับอากาศ เช่น ภาชนะบรรจุ หรือในอาคาร การระเบิดลักษณะนี้ มักเกิดจากการระเบิดของไอของสารเคมีหรือวัตถุอันตรายและการระเบิดจากฝุ่น

4. Fire Ball

เป็นลักษณะเพลิงไหม้เป็นลูกไฟที่วิ่งไปในอากาศเกิดขึ้นจากภาชนะบรรจุของเหลวไวไฟภายใต้ความดันแตกเนื่องจากได้รับความร้อน ของเหลวจึงลุกไหม้ มักเกิดขึ้นพร้อมกับการเกิดระเบิดแบบ BLEVE

5. Jet Fire

เป็นลักษณะเพลิงไหม้ที่เกิดจากก๊าซ หรือของเหลวและก๊าซซึ่งลุกไหม้ทันทีและพุ่งออกไปตามทิศทางที่สารเคมีหรือวัตถุอันตรายรั่วออกมา

6. Pool Fire

เป็นลักษณะเพลิงไหม้ที่เกิดจากไอของของเหลวที่ระเหยได้ง่ายและไวไฟลุกไหม้ขึ้นอัตราการลุกไหม้ขึ้นอยู่กับอัตราการระเหยของของเหลว

7. Flash Fire

เป็นลักษณะเพลิงไหม้ที่เกิดจากหมอกควันของไอสารเคมีหรือวัตถุอันตรยที่รั่วออกมาลุกไหม้ เปลวไฟจะไปตามทางที่สารเคมีหรือวัตถุอันตรายที่รั่วออกมา

การประเมินอันตรายที่เกิดจากการเกิดเพลิงไหม้ และการระเบิด ต้องพิจารณาถึงอันตรายที่จะได้รับ และได้รับในปริมาณเท่าใด ซึ่งโดยปกติจะได้รับอันตรายจากการระเบิด และการเกิดเพลิงไหม้ เนื่องมาจาก

— ก๊าซพิษที่เกิดขณะเกิดเพลิงไหม้

— แรงระเบิด เนื่องจากแรงอัดอากาศสูง (Overpressure)

— รังสีความร้อน (Thermal Radiation) ซึ่งวัดในรูปของปริมาณความร้อน (Heat Flux)

โดยผลกระทบที่เกิดจากปริมาณความร้อนและอันตรายจากการแผ่รังสีความร้อนได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14

ผลกระทบที่เกิดจากปริมาณความร้อน

ปริมาณความร้อน (กิโลวัตต์/ตารางเมตร)	ผลกระทบ
9.0	เกิดอาการเจ็บปวดเมื่อได้รับรังสีความร้อนนาน 6 นาที
6.4	เกิดอาการเจ็บปวดเมื่อได้รับรังสีความร้อนนาน 8 นาที
5.0	เกิดอาการเจ็บปวดเมื่อได้รับรังสีความร้อนนาน 20 นาที
3.5	เกิดอาการเจ็บปวดเมื่อได้รับรังสีความร้อนนาน 20 นาที
1.6	เกิดอาการเจ็บปวดเมื่อได้รับรังสีความร้อนนาน 60 นาที
0.7	ผิวหนังแดง เป็นแผลไหม้

ที่มา: (สุภาพร สาครอรุณ, 2544)

เกณฑ์ที่ใช้พิจารณาผลกระทบจากการแผ่รังสีความร้อน ส่วนใหญ่นิยมใช้เกณฑ์ที่กำหนดโดยธนาคารโลก (World Bank) ซึ่งกำหนดค่าระดับรังสีความร้อนอยู่ที่ 4, 12.5 และ 37.5 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร (kW/m^2) สำหรับเกณฑ์ที่กำหนดโดย US.EPA กำหนดค่าระดับรังสีความร้อนอยู่ที่ 5 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร (kW/m^2) (อ้างอิงในเอกสาร 40 CFR Part 68) ซึ่งทั้งสองเกณฑ์เป็นเกณฑ์มาตรฐานสากล ค่าระดับอันตรายจากการแผ่รังสีความร้อนและผลกระทบแสดงในตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.15

ระดับอันตรายจากการแผ่รังสีความร้อน(Thermal Radiation)

ระดับความร้อน (กิโลวัตต์/ตารางเมตร)	ความเสียหาย
1.6	รู้สึกอึดอัดไม่สบายตัวเมื่อต้องสัมผัสเป็นระยะเวลานาน
4.0	ทำให้ผิวหนังรู้สึกเจ็บ ถ้าหากไม่ป้องกันหรือหลีกออกไปภายใน 20 วินาที และทำให้เกิดการไหม้ที่ผิวหนังเป็นแผลพุพอง แต่ไม่สามารถทำให้เสียชีวิตได้
12.5	ไม้เริ่มติดไฟ ยางและพลาสติกหลอมละลาย คนที่อยู่ในบริเวณนี้ จะเสียชีวิตร้อยละ 1 หากสัมผัสนานเกิน 1 นาที
37.5	อุปกรณ์ในกระบวนการผลิต โครงสร้างของอาคาร ถังกักเก็บถูกทำลายทั้งหมด คนที่อยู่ในบริเวณนี้ จะเสียชีวิตทั้งหมดเมื่อสัมผัสนานเกิน นาที และเสียชีวิตร้อยละ 1 เมื่อสัมผัสนาน 10 วินาที

ที่มา: สมศักดิ์ ชะนา, 2544

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภิตติ บทกลอน (2548) ศึกษาการประเมินความเสี่ยงของคลังเก็บและจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซปิโตรเลียมเหลวจากการศึกษาอันตรายเบื้องต้นของคลังเก็บและจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซปิโตรเลียมเหลว โดยศึกษาเกี่ยวกับลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเริ่มจากการเกิดการรั่วไหลจนกระทั่งเจอกับแหล่งกำเนิดประกายไฟ ตามมาด้วยเกิดการระเบิด เกิดเพลิงไหม้ และ

ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรง ซึ่งจะช่วยให้สามารถลดความเสียหายและความสูญเสียลงได้ วิธีการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้ นจากเหตุการณ์ดังกล่าวถือเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งของการประเมินความเสี่ยงในเชิงปริมาณ โดยการคำนวณออกมาเป็นตัวเลข เพื่อหาผลกระทบในระยะต่างๆ ซึ่งการคำนวณจะต้องใช้ความรู้ ความเข้าใจและการคำนวณที่ซับซ้อน ดังนั้ นจึงควรมีโปรแกรมหรือเครื่องมือช่วยในการคำนวณเพื่อให้เกิดความสะดวก รวดเร็วและแม่นยำ ซึ่งในการศึกษาครั้ งนี้ ผู้ศึกษาได้ทำการพัฒนาโปรแกรมช่วยคำนวณโดยนำเอาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องมาเขียนลงบนโปรแกรม Microsoft Excel Space sheet เพื่อนำไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงและผลกระทบจากถังเก็บและจ่ายขนาดใหญ่ที่ตั้ งอยู่ภายในคลังเก็บและจ่ายน้ ามันเชื้ อเพลิงและ ก๊าปิโตรเลียมเหลว โดยโปรแกรมได้ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณและความน่าเชื่อถือของผลที่ได้โดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรมเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้ ยังได้มีการนำเอาโปรแกรมไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงของคลังน้ ามันศรีราชาและคลังก๊าซเขาบ่อยาเพื่อให้เป็นแนวทางในการประเมินความเสี่ยงในสถานที่อื่นต่อไป

แดน แสร์สุวรรณ (2548) ศึกษาการและประเมินผลกระทบจากความรุนแรงของเหตุเพลิงไหม้ถังน้ ามันในคลังน้ ามันเชื้ อเพลิงโดยใช้เครื่องมือในการประเมินคือแบบจ ำลองทางคณิตศาสตร์ “Shell FRED” ในการศึกษาผลกระทบจากการระเบิดและการแผ่รังสีความร้อนและแบบจำลอง “ALOFT-FT” ศึกษาผลกระทบจากการกระจายตัวของควัน โดยมีสภาพแวดล้อมที่วิจัยคือ อุณหภูมิ 29.2 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.4 เมตรต่อวินาที และความชื้ นสัมพัทธ์ 65.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าผลกระทบจากการระเบิดของถังน้ ามันเบนซินที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง19.45 เมตร สูง 16.38 เมตร ในระยะ 40 เมตร มีโอกาสที่พนักงานจะได้รับบาดเจ็บจากแรงระเบิด 47.67 เปอร์เซ็นต์ (Lees) และ 8.38 (TNO) มีโอกาสทำความเสียหายต่อโครงสร้างจากแรงระเบิด 98.86 เปอร์เซ็นต์ และมีโอกาสทำความเสียหายต่อกระจกและหน้าต่าง 100เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลกระทบจากการแผ่รังสีความร้อนทำให้พนักงานที่อยู่ห่างจากถัง40 เมตร และสามารถหลบหนีออกมาด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อวินาทีจะไม่เกิดผลกระทบต่อพนักงานดังกล่าว และไม่พบผลกระทบจากการกระจายตัวของควันไฟจากเหตุเพลิงไหม้ถังน้ ามันดีเซลขนาด29.18 เมตร สูง 16.38 เมตร ต่อบ้านเรือนประชาชนที่อยู่ในระดับพื้นดินตั้ งแต่ระยะ50 เมตรไปถึงระยะ 5,000 เมตร ตามทิศทางใต้ลม ทั้ งนี้ พบว่าระยะปลอดภัยจากแรงระเบิดที่เหมาะสมจากการวิจัยคือ385.5 เมตร จากถังน้ ามันเบนซินที่เกิดการระเบิด

Fortis Rigas และ Spyros Sklavounos (2002) ได้ทำการศึกษา การวิเคราะห์ความเสี่ยงและผลกระทบของสารเคมีอันตรายในจุดขนส่งสินค้าโดยรถไฟและโกดังสินค้า ที่ อิโคนิโอ

อ่าวพิเรอุส ประเทศกรีซ (Risk and consequence analyses of hazardous chemicals in marshalling yards and warehouses at Ikonio/Piraeus harbour, Greece) เนื่องจากบริเวณอ่าวมีคลังเก็บสินค้าพวกสารเคมีอันตราย (สารพิษหรือสารติดไฟได้) ขนาดใหญ่ บ้านและโรงเรียนที่ตั้ งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงจะได้รับผลกระทบโดยตรงหากเกิดอุบัติเหตุ โดยใช้ผลการศึกษาที่ได้จากชุดโปรแกรม Breeze Hazard Professional พบว่า

การแพร่กระจายของก๊าซที่มีความเป็นพิษมีผลต่อนักเรียนในโรงเรียนและชุมชนใกล้เคียง โดยมีความเป็นพิษเช่น อาการคลื่นไส้ อาเจียน ไอ และโรคปอด หรืออาจทำให้ถึงตายได้หากได้รับในปริมาณมาก การเกิดไฟบอล มีการปลดปล่อยการแผ่รังสีความร้อนในปริมาณมาก และสามารถเผาทำลายผู้ อยู่ในรัศมี132 เมตร ซึ่งโรงเรียนและชุมชนในบริเวณใกล้เคียงก็ได้รับผลกระทบด้วย ในเรื่องของการระเบิด คลื่นที่เกิดจากการระเบิดสามารถสังหารประชาชนในบริเวณใกล้เคียงและทำความเสียหายให้บ้านเรือนในรัศมี 1 กิโลเมตร

และได้เสนอวิธีการป้องกันโดยใช้การลดปริมาณของสาร สารที่เก็บไว้ในโกดังเมื่อเกิดไฟไหม้ต้องมีเวลาเพียงพอที่จะให้เจ้าหน้าที่ดับเพลิงเข้าถึงพื้ นที่ หรือแผนฉุกเฉินในการอพยพประชากรออกไปยังพื้ นที่อื่น และระหว่างที่มีการรั่วไหลของสารพิษหรือสารติดไฟออกสู่บรรยากาศควรมีปริมาณของก๊าซเฉื่อยเพียงพอในการเจือจางอันตรายของก๊าซ

Joe Guarnaccia และ Tom Hoppe (2007) ได้ทำการศึกษา การประเมินผลกระทบความเป็นพิษนอกพื้ นที่: โดยมีกระบวนการอย่างง่ายและกรณีศึกษา (Off-site toxic consequence assessment: A simplified modeling procedure and case study) ซึ่งใช้แบบจำลองฯ ALOHA RMP*Comp และ DEGADIS โดยข้อมูลสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินสถานที่กักเก็บ ปัจจัยที่ใช้ในการดำเนินการ การตัดสินใจเพื่อความประหยัดและการลดลงของความเสี่ยง พบว่า แบบจำลองฯ ALOHA มีอุปกรณ์เพียงพอในการในระดับใช้ได้ทั่วไป เพราะมีความสมดุลระหว่างข้อมูลเฉพาะที่ต้องการ และง่ายในการใช้งาน อีกทั้ งยังเป็นที่ยอมรับโดยองค์กรทั่วไปละอุตสาหกรรม แบบจำลองฯ RMP*Comp มีประโยชน์ในการตรวจสอบมากกว่าและแบบจำลองฯ DEGADIS ควรจะใช้เป็นพื้ นฐานเมื่อต้องการแก้ปัญหา