บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 สภาพทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดสงขลา

จังหวัดสงขลาตั้งอยู่บนฝั่งทะเลด้านตะวันออกทางภาคใต้ของประเทศไทย ตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งภูมิศาสตร์ ระหว่างเส้นละติจูดที่ 6 องศา 17 ลิปดาเหนือ ถึง 7 องศา 56 ลิปดาเหนือ และระหว่างเส้นลองจิจูดที่ 100 องศา 01 ลิปดาตะวันออก ถึง 101 องศา 06 ลิปดาตะวันออก สูงจากระดับน้ำทะเลเฉลี่ยปานกลาง 4 เมตร (สำนักวิจัยและพัฒนา, 2536)

2.1.1 สภาพภูมิประเทศ พื้นที่ทางทิศเหนือส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่ม ทิศตะวันออกเป็นที่ราบริมทะเล ส่วนทิศใต้และทิศตะวันตกเป็นภูเขาและที่ราบสูง มีเทือกเขาบรรทัดและเทือกเขาสันกาลาคีรีกั้นพรมแดนระหว่างประเทศไทยกับสหพันธรัฐมาเลเซีย มีป่าและภูเขาสูง ค่อย ๆ เทลาด ไปทางทะเลสาบสงขลา

2.1.2 สภาพภูมิอากาศ เมื่อพิจารณาจากกระแสลมประจำถิ่น แบ่งออกได้เป็น 2 ฤดูกาล โดยฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่กลางเดือนภุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม หลังจากสิ้นฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ อากาศเริ่มร้อนและมีอากาศร้อนจัดที่สุดในเดือนเมษายนและบางปีในเดือนพฤษภาคม แต่ไม่ร้อนมากนัก เนื่องจากมีกระแสลมและไอน้ำจากทะเล ทำให้อากาศร้อนน้อยลง ส่วนฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม จะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ช่วงกลางเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม ได้รับอิทธิพลจาก ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จะเป็นฝนที่ตกไม่เป็นเวลาและตกต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี ประมาณ 29.0 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์สูงตลอดทั้งปี

2.2 บริเวณอันตราย

บริเวณอันตรายบนทางหลวงแผ่นดินในเขตจังหวัดสงขลา มีจำนวนทั้งหมด 23 แห่ง ลักษณะการเกิดอุบัติเหตุ ส่วนใหญ่เกิดเนื่องจากการใช้ความเร็วสูงบนถนนตรง รองลงมาคือทางโค้ง ร้อยละ 78 เกิดอุบัติเหตุบนผิวถนนเรียบและแห้ง อัตราส่วนการเกิดอุบัติเหตุระหว่างกลางวันกับกลางคืน มีค่าเท่ากับ 72 : 28 เมื่อจัดอันดับบริเวณอันตรายจากสถิติการเกิดอุบัติเหตุ พบว่าบริเวณอันตรายอันดับ 1 มีจำนวน 4 แห่ง ดังนี้ (สุรพงษ์ คณะภิกขุ, 2545)

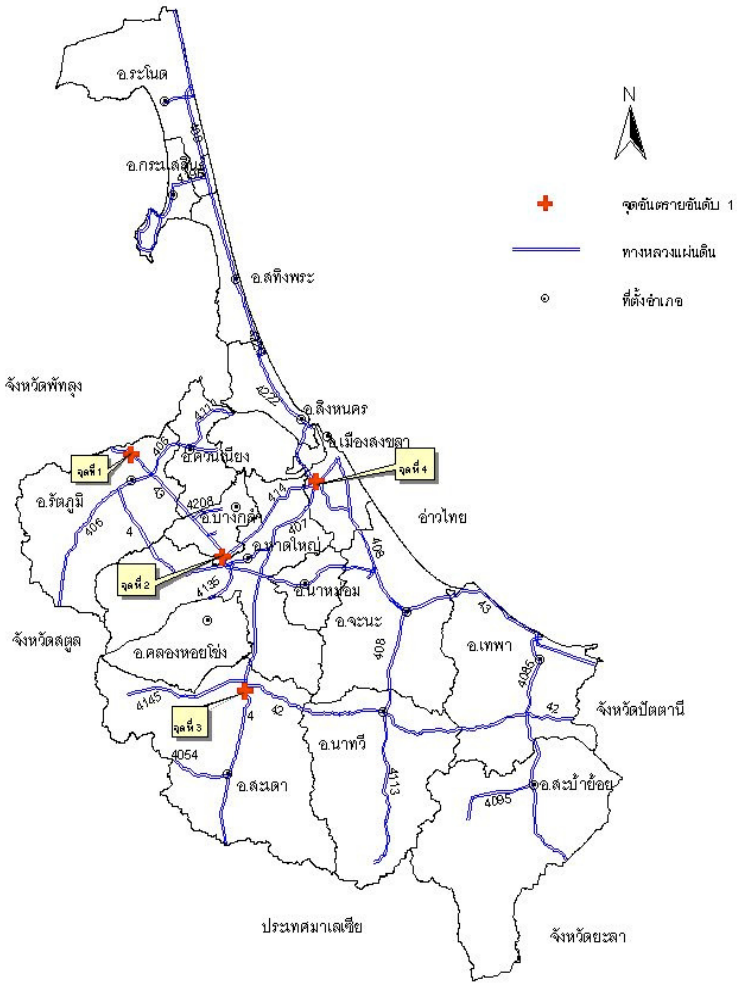
จุดที่ 1 ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 4 ตอนคูหา-ปากพะยูน บริเวณกิโลเมตรที่ 4+150LR-4+990LR มีลักษณะเป็นทางโค้งรัศมีแคบ ผิวทางลาดยาง 4 ช่องจราจร มีฉนวนกั้นกลาง

จุดที่ 2 ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 43 ตอนคูหา-หาดใหญ่ บริเวณกิโลเมตรที่

21+575LR-21+690LR มีลักษณะเป็นทางสามแยก ผิวทางลาดยาง 4 ช่องจราจร มีฉนวนกั้นกลาง

จุดที่ 3 ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 4 ตอนคลองแงะ-คลองพรวน บริเวณกิโลเมตรที่ 54+245LR-54+640LR ทั้ง 2 ช่องทาง คือ ช่องทางซ้าย (L) และช่องทางขวา (R) ซึ่งอยู่ในเขตอำเภอสะเดา มีลักษณะเป็นทางโค้งรัศมีแคบ ผิวทางลาดยาง 4 ช่องจราจร มีฉนวนกั้นกลาง

จุดที่ 4 ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 407 ตอนสงขลา-คอหงส์ บริเวณกิโลเมตรที่ 10+315LR-10+394LR มีลักษณะเป็นทางห้าแยก ผิวทางลาดยาง 4 ช่องจราจร มีฉนวนกั้นกลาง ได้แสดงไว้ในภาพ 2.1



ภาพ 2.1 จุดอันตรายอันดับ1 บนทางหลวงแผ่นดินในจังหวัดสงขลา

ที่มา : ดัดแปลงจาก สุรพงษ์ (2545)

2.3 ก๊าซแอมโมเนีย (Anhydrous Ammonia; NH_3)

ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ก๊าซแอมโมเนียจัดเป็นวัตถุอันตรายในประเภทที่ 8 สารกัดกร่อน (corrosive) โดยมี CAS-No. 7664-41-7 UN-No.1005 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นก๊าซที่ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน มีฤทธิ์เป็นเบส (alkaline) และระคายเคืองต่อเยื่อบุมาก ติดไฟได้ยาก แต่จะทำให้เกิดการไหม้ (burn) ของผิวหนังหรือเยื่อบุได้ และมีไอระเหยเบากว่าอากาศ

2.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี น้ำหนักโมเลกุล 17.03 จุดเดือด -33.35 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท จุดเยือกแข็ง -77.7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิวิกฤต (critical temperature) 133.0 องศาเซลเซียส ละลายน้ำได้ 33.1 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความดันวิกฤต 1,657 psi (Baber and Frear, 1963) ติดไฟเองได้ (auto ignition) ที่ 651.1 องศาเซลเซียส ความดันไอ 400 มิลลิเมตรปรอท ที่ -45.4 องศาเซลเซียส ค่า IDLH เท่ากับ 300 ppm จัดเป็นสารอันตรายร้ายแรง (EPA and NOAA, 1999c)

2.3.2 การทำปฏิกิริยาเคมี ในสภาวะอากาศชื้นและมีก๊าซแอมโมเนีย ทำให้โลหะจำพวกสังกะสี ทองแดง และโลหะผสมทองแดงสึกกร่อนได้ (ยกเว้นเหล็ก) แอมโมเนียติดไฟได้ยาก แต่ภายใต้สภาวะที่มีแอมโมเนียผสมกับอากาศจะติดไฟและระเบิดได้ หากมีแอมโมเนียผสมอยู่ 16 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ และจะมีความรุนแรงขึ้นได้ ในกรณีมีการสัมผัสกับก๊าซที่เผาไหม้ได้ เช่น ไฮโดรเจน

2.3.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แอมโมเนียละลายน้ำได้ดี เมื่อละลายน้ำจะเกิด แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (ammonium hydroxide) ซึ่งมีพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ แต่ร้อยละ 99 จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมอิออน การละลายน้ำเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับและสมบูรณ์เมื่อน้ำถึงจุดเดือด (Baber and Frear, 1963) ดังสมการ

$$NH_3+H_2O \longleftrightarrow NH_4OH \longleftrightarrow NH_4^+ + OH^-$$

แอมโนเนียที่ละลายในน้ำ จะถูกเปลี่ยนรูปโดยจุลชีพผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ได้ไนเทรต(nitrate) ไนไทรต์ (nitrite) และกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) ได้ไนโตรเจน ซึ่งเป็นสารอาหารแก่พืชน้ำ อาจก่อให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็วได้ เหงือกและเฮโมโกลบิน (haemoglobin) ของสัตว์น้ำจะถูกทำลาย ทำให้เซลล์ขาดออกซิเจน ผลกระทบนี้มีต่อปลามากกว่ากุ้ง ในดินจะมีการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียโดยจุลชีพเป็นธาตุอาหารแก่พืช ถ้าแอมโมเนียมีความเข้มข้นสูง จะยับยั้งหรือฆ่าจุลชีพและพืชได้ (ATSDR, 2002)

2.3.4 ผลกระทบต่อสุขภาพ ผลกระทบชนิดเฉียบพลันของก๊าซแอมโมเนียต่อสุขภาพมาจากคุณสมบัติการทำให้เกิดการระคายเคือง (irritative) และการกัดกร่อน (corrosive) เป็นสาเหตุให้เกิดการไหม้ (burn) ในระบบทางเดินหายใจ ผิวหนังและตา โดยก๊าซแอมโมเนียจะละลายเข้าสู่น้ำที่มีอยู่ในผิวหนัง เนื้อเยื่อและตา กลายเป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เป็นสาเหตุทำให้เนื้อเยื่อตาย (necrosis) เฉพาะบริเวณและเกิดไขคล้ายสบู่ (saponification) ในไขมันของเซลล์เมมเบรน ทำให้เซลล์แตกและตาย ก่อให้เกิดการอักเสบเฉพาะที่และเนื้อเยื่อรอบบริเวณ การได้สัมผัสก๊าซแอมโมเนียเหลวทำให้บาดเจ็บเนื่องจากความเย็น (cryogenic injury) และการได้สัมผัสไอระเหยของแอมโมเนียโดยการหายใจ ทำให้เกิดการหายใจขัด หายใจไม่เพียงพอ ซึ่งจะทำให้เสียชีวิตตามมา แต่แอมโมเนียไม่ปรากฏการเกิดพิษต่อตับและไต ส่วนผลกระทบต่อระบบประสาท อาจเกิดขึ้นได้หากได้สัมผัสจำนวนมาก เช่น กล้ามเนื้ออ่อนแรง (muscle weakness) เนื้อเยื่อสมองเสื่อม (encephalopathy) ที่ระดับความเข้มข้น 5,000 ถึง 10,000 ppm ในอากาศ จะทำให้ผู้ได้สัมผัสเสียชีวิตได้ทันทีและเสียชีวิตภายใน 30 นาที ที่ระดับความเข้มข้น 2,500 ถึง 4,500 ppm (ATSDR, 2002) การตอบสนองทางกายภาพต่อการได้สัมผัสก๊าซแอมโมเนียในอากาศ (Baber and Frear, 1963) ได้แสดงไว้ในตาราง 2.1

ตาราง 2.1 การตอบสนองทางกายภาพต่อระดับความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในอากาศ

การตอบสนอง	ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในอากาศ (ppm)
เริ่มได้รับกลิ่น	53
ระคายเคืองตาทันที	698
ระคายเคืองในลำคอทันที	408
เกิดอาการไอ	1,720
ความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้สัมผัสเป็นเวลานาน	100
ความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้สัมผัสเป็นเวลาอันสั้น (0.5 ถึง 1ชั่วโมง)	300 ถึง 500
อันตรายแม้สัมผัสในระยะเวลาอันสั้น (0.5 ชั่วโมง)	2,500 ถึง 4,000

ที่มา : Baber and Frear (1963)

2.3.5 ระดับความเข้มข้นที่เป็นพิษ (level of concern, LOC) เพื่อการวางแผนฉุกเฉิน มีคู่มือแนะนำจากหลายหน่วยงาน ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำแผนฉุกเฉินสำหรับสาธารณชน ได้แก่ AEGLs

ซึ่งจะเป็นค่าที่เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด แต่ยังไม่แล้วเสร็จ, 1/10IDLH และ ERPGs ค่าที่ควรเลือกใช้คือ ERPGs หากไม่มี ให้ใช้ค่า LOC ที่คิดจาก 1/10 IDLH แทน (EPA and CEPP, 1999) ค่าความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่แนะนำ ได้แสดงไว้ในตาราง 2.2 และ 2.3

ตาราง 2.2 ค่า LOC ที่แนะนำโดยหน่วยงานต่าง ๆ

คู่มือแนะนำ	หน่วยงาน	ระยะเวลาสัมผัส	ค่าแนะนำ
AEGLs	The National Research Council's Committee on Toxicology	5 ,10 , 30 นาที 1 , 4 , 8 ชั่วโมง	ดูตาราง 2.3
ERPGs	The American Industrial Hygiene Association (AIHA)	1 ชั่วโมง	ERPG 1 25 ppm ERPG 2 150 ppm ERPG 3 750 ppm
1/10 IDLH	US EPA , FEMA , DOT	30 นาที	30 ppm

ที่มา : NOAA (2004), AIHA (2005)

ตาราง 2.3 ค่า LOC ที่แนะนำในคู่มือ AEGLs (ฉบับร่าง)

ระดับผลกระทบต่อสุขภาพ	ค่าความเข้มข้น (ppm)					
	5 นาที	10 นาที	30 นาที	1 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง
AEGL1	25	25	25	25	25	25
AEGL 2	380	270	160	110	110	110
AEGL 3	3800	2700	1600	1100	550	390

ที่มา : US EPA (2004)

2.3.6 การขนส่ง โดยทั่วไปแอนไฮดรัสแอมโมเนีย จะจัดเก็บที่ความดันมากกว่า 40 psi ซึ่งระดับความดันนี้จะทำให้มีจุดเดือดที่ -3.4 องศาเซลเซียส ไอระเหยที่เกิดขึ้นจะเป็นปัจจัยที่รักษาอุณหภูมิไว้ การกำจัดไอระเหยที่เกิดขึ้นใช้การบีบอัดและควบแน่นสู่แอมโมเนียเหลวอีกครั้ง ภาชนะบรรจุในการขนส่งมีหลายขนาด เช่น 70 กิโลกรัม 26 ตัน จะมีวาล์วรักษาความดันไว้ที่ 225 psi ถ้ามีการทำความเย็นให้ภาชนะจะใช้ความดันบรรยากาศในการขนส่ง (Baber and Frear, 1963)กฎหมายว่าด้วยการขนส่งทางบก ได้กำหนดลักษณะของถังบรรทุกวัตถุอันตรายในสถานะที่เป็นของเหลวก๊าซ ผงหรือเม็ด ดังนี้

1) ถังยึดติดถาวร (fixed tank) หมายถึง ถังที่ใช้บรรทุกวัตถุอันตรายที่มีความจุมากกว่า 1,000 ลิตร โครงสร้างถังยึดติดกับโครงคัสซีรถแบบถาวร ใช้แพร่หลายในปัจจุบัน เช่น ใช้บรรทุกสารเคมี น้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น

2) ถังคอนเทนเนอร์ (tank container) หมายถึง ถังที่ใช้ในการบรรทุกวัตถุอันตรายที่เป็นของเหลวหรือผงหรือเม็ด ที่มีความจุมากกว่า 450 ลิตร หรือถังบรรจุก๊าซที่มีความจุมากกว่า 1,000 ลิตร ซึ่งจะมีโครงสร้างภายนอกถังเพื่อรับน้ำหนักตัวเองหรือยกขึ้นลงจากตัวรถ โดยไม่ต้องขนถ่ายสิ่งของที่บรรจุในถังออก

3) ถังที่ยึดติดแบบไม่ถาวร (demountable tank) หมายถึง ถังบรรทุกวัตถุอันตรายที่มีความจุเกิน 1,000 ลิตร และติดตั้งกับโครงคัสซีแบบไม่ถาวร มีอุปกรณ์ล๊อกที่ปลดออกเพื่อยกขึ้นลงจากรถได้ง่าย แต่การยกต้องขนถ่ายสิ่งของในถังออกก่อน เนื่องจากไม่มีโครงสร้างอื่นช่วยในการรับน้ำหนัก

อุปกรณ์ความปลอดภัย ช่องเปิด วาล์วนิรภัย ท่อ ข้อต่อ อุปกรณ์นิรภัยและอุปกรณ์อื่น ๆ ตลอดจนการติดตั้ง กำหนดให้เป็นตามมาตรฐานสากล หรือมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหรือมาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมเห็นชอบ (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2546) เครื่องมือและอุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับรถบรรทุกอันตราย ได้แก่ ถังดับเพลิง เครื่องมือสำหรับซ่อมรถกรณีฉุกเฉิน หมอนสำหรับหนุนล้อรถ อุปกรณ์ไฟสัญญาณฉุกเฉินแบบเคลื่อนที่ได้ เครื่องหมายสะท้อนแสงแบบตั้งพื้นได้ เสื้อสะท้อนแสง น้ำยาล้างตา และอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล เช่น อุปกรณ์ป้องกันตา เครื่องช่วยหายใจ เอี๊ยมหรือชุดป้องกันสารเคมี (กรมควบคุมมลพิษ, 2544)

2.3.7 ลักษณะการรั่วไหลและการแพร่กระจาย แอมโมเนียมีจุดเดือดที่ต่ำมาก นิยมขนส่งเป็นก๊าซเหลวภายใต้ความดัน หากมีอุบัติเหตุทำให้ภาชนะบรรจุชำรุด จะมีการรั่วไหลอย่างทันทีทันใด โดยพุ่งออกในรูปของก๊าซผสมกับละอองของเหลว (vapour and liquid) เรียกว่า “two phase flow” (EPA and NOAA, 1990a) ดังนั้นในกลุ่มควันก๊าซ (gas cloud) จะประกอบด้วยละอองของเหลวและก๊าซผสมกัน เกิดปฏิกิริยาดึงความร้อนจากภายนอกเพื่อให้ถึงจุดเดือดและกลายเป็นไอ ทำให้อุณหภูมิบริเวณนั้นลดลง เกิดการควบแน่นของก๊าซและความชื้น ทำให้ก๊าซมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และจมตัวลงใกล้พื้นดินตามแรงโน้มถ่วงของโลก เมื่อกลุ่มควันก๊าซมีการเคลื่อนตัวไปตามกระแสลม มีการปะทะสิ่งกีดขวางเกิดความปั่นป่วน ทำให้ความเข้มข้นและความหนาแน่นจะลดลง เมื่อความหนาแน่นของก๊าซใกล้เคียงกับอากาศ ก๊าซจะเริ่มมีการลอยตัวขึ้นตามธรรมชาติของก๊าซ (neutrally buoyant gas) (Lawuyi and Fingas , 2002) ลักษณะการแพร่กระจายก๊าซแอมโมเนียนี้ จึงจัดเป็นก๊าซหนัก (heavy gas) (EPA and NOAA, 1990a, Lees, 1980, Lawuyi and Fingas, 2002)

2.4 การวิเคราะห์อันตราย (Hazard Analysis)

เทคนิคการวิเคราะห์ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน (US EPA, FEMA and US DOT, 1987) คือ

2.4.1 การบ่งชี้อันตราย (Hazard identification) เป็นการเตรียมข้อมูลสำหรับสถานการณ์ที่มีแนวโน้มก่อให้เกิดการบาดเจ็บหรืออันตรายต่อชีวิต หรือก่อความเสียหายต่อทรัพย์สินและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการหกหล่นหรือรั่วไหลของวัตถุอันตราย ข้อมูลที่ใช้ ได้แก่ ชนิดสารเคมี ที่ตั้งของโรงงานที่ใช้ผลิตหรือเก็บวัตถุอันตราย ชนิดและการออกแบบภาชนะบรรจุ เส้นทางที่ใช้ในการขนส่ง

2.4.2 การวิเคราะห์ผลกระทบ (Vulnerability analysis) เป็นการประเมินขอบเขตของพื้นที่ที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบอันเนื่องจากอุบัติเหตุก๊าซรั่วไหลที่เกิดขึ้น แล้วก่อให้เกิดการบาดเจ็บหรือตาย รวมถึงความเสียหายต่อทรัพย์สินและสิ่งแวดล้อมที่มีความอ่อนไหว ข้อมูลที่ควรบ่งชี้ได้แก่ ขอบเขตที่จะได้รับผลกระทบ ประชากรในเชิงจำนวน จำแนกชนิดตามที่อยู่ (เช่น โรงงาน โรงเรียน ทัณฑสถาน โรงพยาบาล) ทรัพย์สินส่วนบุคคลหรือสาธารณะ (เช่น โรงงาน บ้าน โรงเรียน โรงพยาบาล สำนักงานธุรกิจ) ระบบสนับสนุนที่จำเป็น (เช่น การสื่อสาร การขนส่ง ไฟฟ้า น้ำ) และสิ่งแวดล้อมที่อ่อนไหว ที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบ (เช่น สวนสาธารณะ แหล่งน้ำสาธารณะ แหล่งน้ำเพื่อการประปา พื้นที่เพาะปลูก)

การวิเคราะห์นี้เป็นการประมาณการพื้นที่ที่มีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบในระดับความเข้มข้นที่มีผลต่อสุขภาพเฉียบพลัน เป็นสาเหตุให้ไม่สามารถรักษาฟื้นฟูหรือตายได้ ปัจจัยหลักที่มีผลต่อขอบเขตของพื้นที่ผลกระทบ คือ จำนวนและอัตราการรั่วไหลสู่อากาศ สภาพภูมิประเทศโดยรอบ และสภาพอากาศ โดยปัจจัยที่มีผลต่อขอบเขตของพื้นที่ผลกระทบมากคือความเร็วลม ระดับเสถียรภาพของบรรยากาศ และค่า LOC

2.4.3 การวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk analysis) เป็นการประเมินโอกาส (probability) ของความเสียหายหรือการบาดเจ็บต่อประชาชนในชุมชน จากการเกิดอุบัติเหตุรั่วไหลและผลที่จะเกิดตามมา (consequences) ภายในขอบเขตที่จะได้รับผลกระทบ โดยใช้ข้อมูลอุบัติเหตุในอดีตและความรุนแรงของผลที่ตามมา เช่น จำนวนที่น่าจะบาดเจ็บหรือตายในขอบเขตของพื้นที่ที่จะได้รับผลกระทบ การวิเคราะห์ความเสี่ยงนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้ผู้รับผิดชอบสามารถมองเห็นภาพกว้าง ๆ และสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น รวมถึงการจัดทำแผนฉุกเฉินในพื้นที่ (นอกโรงงานอุตสาหกรรม) ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความเสี่ยงในเชิงคุณภาพ (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

การวิเคราะห์ความเสี่ยงเบื้องต้น (rough analysis) เป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะใช้ในการบ่งชี้แหล่งกำเนิดของความเสี่ยงและการประเมินความน่าจะเป็นของการเกิดอุบัติเหตุรวมทั้งผลที่อาจ

จะเกิดขึ้น (UNEP, 1992) ความเสี่ยงจึงเกี่ยวข้องกับ 2 ตัวแปร คือ ความน่าจะเป็น (probability) ในการเกิดอุบัติเหตุและผลที่ตามมา (consequences) จากการเกิดอุบัติเหตุ ได้แสดงในสมการ 2.1

$$\text{Risk} = \text{Accident Probability}(P) \times \text{Accident Consequences}(C) \quad \ldots\text{สมการ 2.1}$$

โดยที่ P = โอกาสที่จะเกิดการรั่วไหลจากอุบัติเหตุการขนส่งวัตถุอันตรายด้วยรถบรรทุก

C = จำนวนประชากรที่มีโอกาสได้สัมผัสสารเคมีที่รั่วไหลจากการเกิดอุบัติเหตุ

การประเมินโอกาสที่จะเกิดการรั่วไหลจากอุบัติเหตุการขนส่งวัตถุอันตรายด้วยรถบรรทุกเพื่อใช้ในการวางแผนฉุกเฉิน FEMA, US DOT and US EPA (1990) ได้แนะนำไว้ดังนี้

$$P = A \times B \times f_a \times P_s \quad \ldots\ldots\ldots\text{สมการ 2.2}$$

โดยที่ A = ความถี่ของการขนส่งวัตถุอันตรายด้วยรถบรรทุก , ครั้งต่อปี

B = ความยาวของถนนในการขนส่งวัตถุอันตรายด้วยรถบรรทุก ที่จะทำการศึกษา ,กิโลเมตร

f_a = ความถี่ของอุบัติเหตุการขนส่งวัตถุอันตรายด้วยรถบรรทุก มีค่าเท่ากับ 2×10^{-6} ครั้งต่อปี หรือความถี่จากสถิติการเกิดอุบัติเหตุจริงในพื้นที่นั้น ๆ

P_s = โอกาสของการรั่วไหลจากอุบัติเหตุการขนส่งวัตถุอันตรายด้วยรถบรรทุก มีค่าเท่ากับ 0.2

ความเสี่ยงที่ประมาณการได้นั้น มีการจัดการที่ต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นกับความน่าจะเป็นที่จะเกิดอุบัติเหตุและความรุนแรงที่จะเกิดขึ้น UNEP (1992) แนะนำการจัดการความเสี่ยงเบื้องต้นโดยใช้ตารางความเสี่ยง 5 ระดับ ได้แสดงไว้ในภาพ 2.2

โดยที่แกนแนวนอน แทนผลจากอุบัติเหตุ (consequences) แบ่งเป็น 3 ด้าน แต่ละด้านแบ่งระดับของผลเป็น 5 ระดับ ดังนี้

ก) ผลต่อชีวิตและสุขภาพ

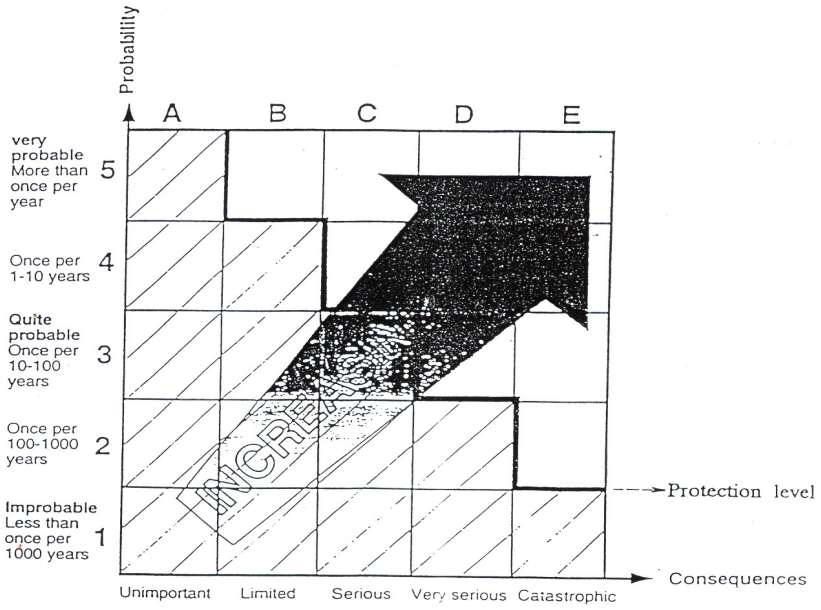
1. ไม่สำคัญ (unimportant) คือ ไม่สบายเล็กน้อยชั่วคราว
2. จำกัด (limited) คือ บาดเจ็บไม่กี่ราย ไม่สบายเป็นเวลานาน
3. รุนแรง (serious) คือ บาดเจ็บรุนแรงไม่กี่ราย ไม่สบายมาก

4.รุนแรงมาก (very serious) คือ เสียชีวิต (มากกว่า 5 ราย) บาดเจ็บรุนแรงหลายราย(20) ต้องอพยพคนไม่เกิน 500 คน

5.หายนะ (catastrophic) คือ เสียชีวิตมากกว่า 20 ราย บาดเจ็บรุนแรงหลายร้อยราย อพยพมากกว่า 500 คน

ภาพ 2.

ที่มา : ไ



ข) ผลต่อสิ่งแวดล้อม

1.ไม่สำคัญ (unimportant) คือ ไม่มีการปนเปื้อน มีผลกระทบในวงจำกัด

2.จำกัด (limited) คือ การในปนเปื้อนธรรมดา มีผลกระทบในวงจำกัด

3.รุนแรง (serious) คือ การในปนเปื้อนธรรมดา มีผลกระทบในวงกว้าง

4.รุนแรงมาก (very serious) คือ การปนเปื้อนขนาดหนัก มีผลกระทบในวงจำกัด

5.หายนะ (catastrophic) คือ การปนเปื้อนขนาดหนัก มีผลกระทบในวงกว้าง

ค) ผลต่อทรัพย์สิน

1.ไม่สำคัญ (unimportant) คือ ค่าความเสียหายรวมทั้งหมดน้อยกว่า 0.5 ล้านดอลลาร์,ปอนด์

2.จำกัด (limited) คือ ค่าความเสียหายรวมทั้งหมด 0.5 ถึง 1 ล้านดอลลาร์,ปอนด์

3.รุนแรง (serious)	คือ ค่าความเสียหายรวมทั้งหมด 1 ถึง 5 ล้านดอลลาร์,ปอนด์
4.รุนแรงมาก (very serious)	คือ ค่าความเสียหายรวมทั้งหมด 5 ถึง 20 ล้านดอลลาร์,ปอนด์
5.หายนะ (catastrophic)	คือ ค่าความเสียหายรวมทั้งหมดมากกว่า 20 ล้านดอลลาร์,ปอนด์

มาตรการที่จำเป็นต้องนำไปปฏิบัติ จัดเป็น 5 ระดับ คือ

E คือ ผลของการเกิดอุบัติเหตุนั้นเป็นสิ่งที่ก่อให้เกิดความหายนะต่อชีวิต สิ่งแวดล้อม หรือทรัพย์สิน รวมทั้งสถานการณ์ที่การช่วยชีวิตทำได้ด้วยความยากลำบากหรือเกินกำลังความสามารถของหน่วยงานในท้องถิ่น ซึ่งต้องลดอันตรายให้เหลือน้อยลงหรือกำจัดออกไป ถ้าเป็นไปได้ มีมาตรการป้องกัน การวางแผนป้องกันบุคลากรทั้งในพื้นที่และการอพยพ

D คือ ผลของเหตุการณ์มีอันตรายรุนแรงมาก การกู้ภัยอาจทำได้ยาก แต่สามารถจัดการได้โดยหน่วยงานต่าง ๆ ในท้องถิ่น

C คือ ผลของเหตุการณ์นั้นสามารถเกิดอันตรายรุนแรง หน่วยกู้ภัยสามารถจัดการได้ ซึ่งควรมีมาตรการป้องกันและการวางแผนฉุกเฉิน

B คือ ผลของเหตุการณ์นั้นมีอันตรายจำกัด ซึ่งควรมีมาตรการป้องกันและการวางแผนฉุกเฉิน

A คือ ผลของเหตุการณ์นั้นไม่มีนัยสำคัญ

2.5 หลักการทำงานของโปรแกรม CAMEO

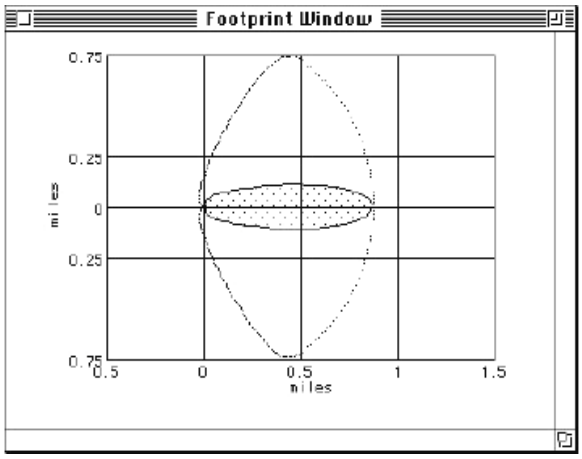
โปรแกรม CAMEO (Computer-Aided Management of Emergency Operations) เป็นชุดโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการวิเคราะห์อันตรายจากอุบัติเหตุสารเคมีรั่วไหล (accidental release) เพื่อจัดการและวางแผนตอบโต้เหตุฉุกเฉิน (emergency response) จัดทำขึ้นโดย US EPA และ NOAA ประกอบด้วย 3 โปรแกรมย่อย คือ โปรแกรม CAMEO โปรแกรม ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) และโปรแกรม MARPLOT (Mapping Applications for Response Planning and Operational Tasks) หลักการทำงานทั้ง 3 โปรแกรม มีข้อกำหนดสำคัญดังนี้

2.5.1 โปรแกรม CAMEO ประกอบด้วยฐานข้อมูลสารเคมีและความปลอดภัย ฐานข้อมูลประชากร และสามารถจำลองสถานการณ์อุบัติเหตุสารเคมีรั่วไหลได้ การจำลองสถานการณ์อุบัติเหตุสารเคมีรั่วไหลสามารถวิเคราะห์การแพร่กระจายสารเคมีที่มีน้ำหนักโมเลกุลเบากว่าอากาศเท่า

นั้น และความถูกต้องน้อยกว่าการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ALOHA ค่ารัศมีผลกระทบจากการจำลองสถานการณ์สามารถเชื่อมโยงสู่โปรแกรม MARPLOT ได้ (US EPA and NOAA, 1999b)ฐานข้อมูลประชากร มีโครงสร้างข้อมูลจำแนกเป็นเชื้อชาติและช่วงอายุต่าง ๆ ซึ่งไม่สามารถแก้ไขโครงสร้างฐานข้อมูลประชากรให้เหมาะสมกับการใช้ในประเทศไทยได้ (พิบูล อิสสระพันธุ์, มปป)

2.5.2 โปรแกรม ALOHA 5.2.3 ใช้ในการวิเคราะห์การแพร่กระจายของสารเคมีสู่บรรยากาศในทิศใต้ลมระดับพื้นดิน (ground level) จากตำแหน่งรั่วไหล (ระยะทาง 0) ถึง ค่า LOC ที่กำหนด ซึ่งสามารถเลือกให้แสดงได้ 1 หรือ 3 ระดับ ลักษณะการแพร่กระจายในรูปของ footprint

เช่น เมื่อจำลองสถานการณ์การรั่วไหลของสารพิษในโปรแกรม และต้องการให้แสดงพื้นที่แทนความเข้มข้นของสารพิษจากตำแหน่งรั่วไหลถึงค่า LOC ที่กำหนด (ในที่นี้กำหนดค่า LOC จากค่า IDLH จำนวน 1 ระดับ) พบว่า มีพื้นที่ในทิศใต้ลม เป็นระยะทางเกือบ 1 ไมล์ และอาจมีพื้นที่เพิ่มอีก หากมีการเปลี่ยนทิศทางของกระแสลม โดยจะแสดงขอบเขตเป็นเส้นประ พื้นที่ภายในไม่แสดงสี ได้แสดงในภาพ 2.3



ภาพ 2.3 ลักษณะการแพร่กระจายสู่ทิศใต้ลมในรูป footprint
ที่มา : US EPA and NOAA (1999a)

แบบจำลองหลักที่ใช้ในกรณีของก๊าซหนัก (heavy gas) ในโปรแกรม ALOHA มี 2 รูปแบบ ดังนี้

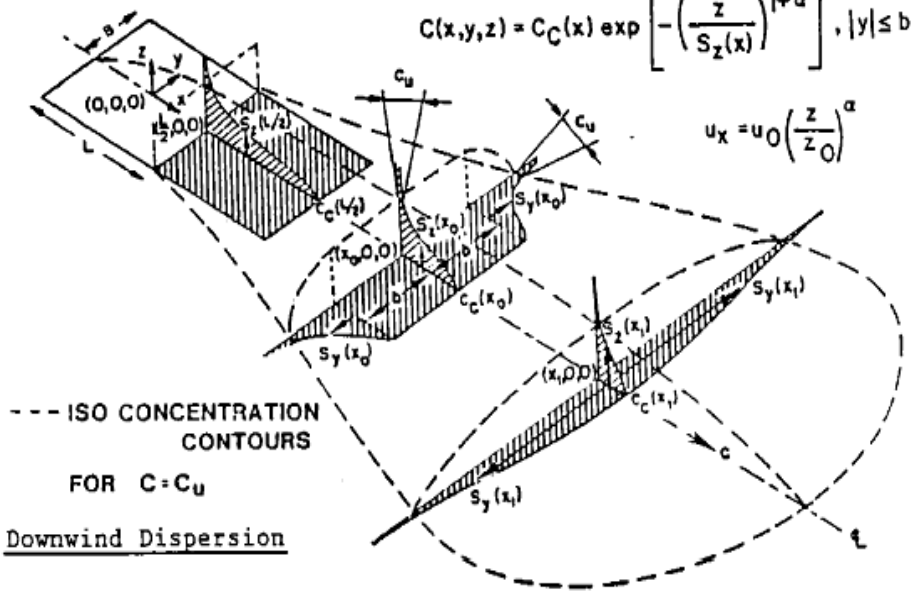
1) Heavy gas model ในโปรแกรม ALOHA ใช้สมมติฐานการคำนวณเหมือนแบบจำลอง DEGADIS ที่พัฒนาโดย Spicer และ Havens (1989) และนำมาปรับปรุงเพื่อให้ใช้ง่ายขึ้น แบบจำลอง DEGADIS ในโปรแกรม ALOHA จึงแตกต่างจาก แบบจำลอง DEGADIS เดิม คือ

การรั่วไหลทั้งหมดมีจุดเริ่มต้นจากระดับพื้นดินและไม่คิดการเกิดโมเมนตัมขณะพุ่งออก ซึ่งผลของการคำนวณแตกต่างจากแบบจำลอง DEGADIS เดิมเล็กน้อย แต่ไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งเพียงพอสำหรับนำมาใช้วางแผนตอบโต้เหตุฉุกเฉิน (US EPA and NOAA, 1999a) สมมติฐานการเกิดก๊าซหนัก (heavy gas) ในแบบจำลอง DEGADIS เดิม คือ อัตราการรั่วไหลจากภาชนะบรรจุมากกว่าอัตราดูดซับสูงสุดของบรรยากาศ (maximum atmospheric takeup rate) ก๊าซที่ลอยตัวได้บริเวณใกล้จุดรั่วไหล แบบจำลองจะจำลองให้เกิดการยุบตัวและควบแน่น ความหนาแน่นมากกว่าอากาศแผ่ขยายออกด้านข้างของทิศใต้ลม โดยได้รับอิทธิพลของแรงโน้มถ่วง เมื่ออัตราการรั่วไหลลดลงจนน้อยกว่าอัตราดูดซับของบรรยากาศแล้ว จึงจำลองให้มีการรั่วไหลสู่บรรยากาศโดยตรงและแพร่กระจายไปตามทิศใต้ลม การคำนวณจะใช้หลักการดุลมวลสารและพลังงานในกลุ่มควันก๊าซขณะแพร่กระจาย อันเนื่องจากอิทธิพลของกระแสลมในทิศทางต่าง ๆ และอุณหภูมิ โดยในแนวดิ่ง (vertical) ใช้การยกกำลังของความเข้มข้นในแนวราบ (horizontal) ใช้รูปแบบการกระจายแบบเกาส์เสียน (Gaussian dispersion) ร่วมกับกฎการยกกำลังของแต่ละสภาวะลม (US EPA, 1988) ได้แสดงไว้ในภาพ 2.4 และ สมการ 2.3 – 2.10

$$C(x,y,z) = C_C(x) \exp\left[-\left(\frac{|y|-b(x)}{S_y(x)}\right)^2 - \left(\frac{z}{S_z(x)}\right)^{1+a}\right], |y| > b \quad \text{... สมการ 2.3}$$

$$C(x,y,z) = C_C(x) \exp\left[-\left(\frac{z}{S_z(x)}\right)^{1+a}\right], |y| \le b \quad \text{... สมการ 2.4}$$

$$u_x = u_0\left(\frac{z}{z_0}\right)^a \quad \text{... สมการ 2.5}$$



ภาพ 2.4 แบบจำลองการแพร่กระจายของก๊าซของ DEGADIS

ที่มา : US EPA (1988)

โดยที่

C_c = ความเข้มข้นในแนวกลางของกลุ่มควันกาซในทิศใต้ลม

xyz = จุดอ้างอิง

S_y = horizontal concentration scaling parameter

S_z = vertical concentration scaling parameter

Z_o = ความสูงอ้างอิงในแต่ละความเร็วลม(Reference height in wind velocity profile specification)

U_x = ความเร็วลม ณ จุดกำหนดให้

α = ค่าคงที่ในแต่ละสภาพอากาศ

b = กึ่งหนึ่งของความกว้างของกลุ่มควันกาซในแนวขวางของทิศทางลม

U_o = ความเร็วลมที่วัดที่ $Z = Z_o$

ก) การแพร่กระจายในแนวราบ (horizontal dispersion, Sy) คำนวณที่ระยะทาง (x) ใด ๆ เพื่อหาขนาดของ Sy โดยใช้สมการการแพร่ ร่วมกับความปั่นป่วนของการแพร่นั้น ดังสมการ 2.6

$$S_y \frac{dS_y}{dx} = \frac{4\beta}{\pi} B_{EFF}^2 \left[\frac{\delta\sqrt{\pi/2}}{B_{EFF}} \right]^{1/\beta} \quad \text{... สมการ 2.6}$$

โดยที่ B_{EFF} = ความกว้างของ plume

β , δ = ค่าคงที่ของแต่ละสภาพการคงตัวของบรรยากาศ

ความเข้มข้นในแนวกลางของกลุ่มควันก๊าซในทิศใต้ลม(C_c) ใช้หลักการดุลมวล (mass balance) ในการหาค่า C_c ดังสมการ 2.7

$$E = \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty cu_x dydz = 2c_c \left(\frac{u_0 z_0}{1+\alpha} \right) \left(\frac{S_z}{z_0} \right)^{1+\alpha} B_{EFF} \quad \text{... สมการ 2.7}$$

ข) การแพร่กระจายในแนวดิ่ง (vertical dispersion, S_z) แรงโน้มถ่วง ความหนาแน่นของก๊าซรวมถึงสภาพอากาศเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการคำนวณ โดยใช้หลักการพิจารณา

ความหนาแน่นจากเลขริชาร์ดสัน (Ri_*) ตามสมการ 2.9 สำหรับ $Ri_* > 0$ พิจารณากลุ่มควันก๊าซจะเป็น dense gas และเมื่อ $Ri_* < 0$ เป็นกลุ่มควันก๊าซลอยตัว (passive dispersion) ซึ่ง แบบจำลอง DEGADIS เดิมนี้ จะเปลี่ยนไปใช้แบบจำลองเกาส์เสียน (Gaussian model) แทน ค่า S_Z ที่ระยะทางใด ๆ คำนวณจากสมการ 2.8

$$\frac{d}{dx}\left[\left(\frac{u_0 z_0}{1+\alpha}\right)\left(\frac{S_z}{z_0}\right)^{1+\alpha}\right] = \frac{k u_* (1+\alpha)}{\phi(Ri_*)} \qquad \text{... สมการ 2.8}$$

$$Ri_* = g\left(\frac{\rho - \rho_a}{\rho_a}\right)\frac{H_{EFF}}{u_*^2} \qquad \text{... สมการ 2.9}$$

โดยที่

U_* = ความเร็วเสียดทาน (friction velocity)

Ri_* = เลขริชาร์ดสัน (richardson number)

H_{EFF} = ความลึกของกลุ่มควันก๊าซ

ρ = ความหนาแน่นของก๊าซผสม

ρa = ความหนาแน่นของบรรยากาศ

2) แบบจำลองเกาส์เสียน (Gaussian model) ทำนายการกระจายตัวของสารเคมีสู่บรรยากาศ ที่มีปัจจัยเกี่ยวกับลมและความปั่นป่วนเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้โมเลกุลของสารเคมีกระจายเข้าสู่อากาศทิศใต้ลม (downwind) เกิดการแพร่กระจายออกไปทางแนวขวางของทิศทางลม ความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศในแนวขวางลมเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นรูประฆังคว่ำ ส่วนกลางของแนวขวางของทิศทางลมจะมีความเข้มข้นของสารเคมีสูงสุด ด้านข้างจะมีความเข้มข้นลดต่ำลงไป ณ จุดรั่วไหล ความเข้มข้นของสารเคมีจะสูงสุด เพราะยังไม่มีการกระจายตัวสู่แนวขวางลมและแนวเหนือลม (crosswind and upwind) ทำให้ได้กราฟรูประฆังคว่ำที่มีปลายแหลมที่จุดรั่วไหล ระยะทางทิศใต้ลมห่างออกไปจะเริ่มกระจายตัวสู่แนวขวางของทิศทางลม ทำให้กราฟของความเข้มข้นรูประฆังคว่ำที่มีฐานกว้างและเรียบขึ้น ได้แสดงไว้ในภาพ 2.5 สมการพื้นฐานที่ใช้ทำนายความเข้มข้นในอากาศ ณ จุดใด ๆ โดยมีจุดรั่วไหลที่ระดับพื้นดิน($H = 0$) คำนวณจากสมการ 2.10

$$C = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{2}\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\left\{\exp\left(-\frac{1}{2}\frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2}\right)+\exp\left(-\frac{1}{2}\frac{(z+H)^2}{\sigma_z^2}\right)\right\} \quad \text{... สมการ 2.10}$$

โดยที่

U = ความเร็วลม

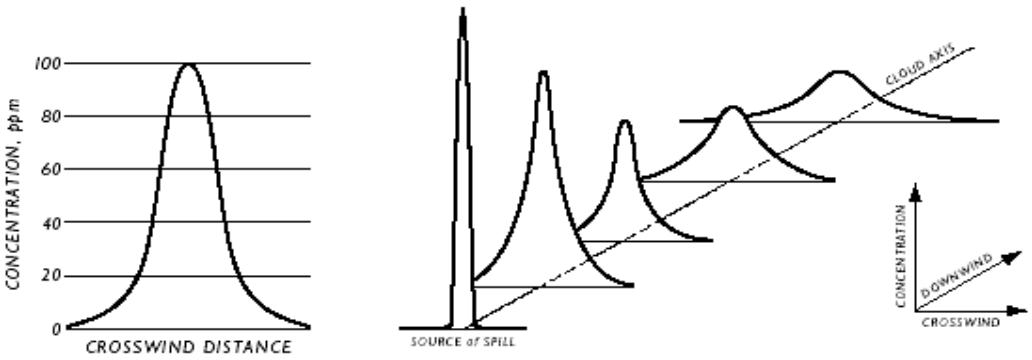
C = ความเข้มข้นของสารมลพิษที่ต้องการทราบที่จุด (x , y , z)

Q = ค่าการระบายสารมลพิษจากแหล่งกำเนิด

H = ความสูงของจุดที่ระบายและการยกตัวของควัน

σ_y = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายสารมลพิษในแนวแกน Y

σ_z = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายสารมลพิษในแนวแกน Z



ภาพ 2.5 การกระจายแบบเกาส์เสียน (Gaussian dispersion)

ที่มา : US EPA and NOAA (1999a)

การเลือกใช้แบบจำลอง โปรแกรม ALOHA จะเลือกให้อัตโนมัติ ทั้งนี้ขึ้นกับการให้ข้อมูล เช่น มวลโมเลกุล ปริมาณการรั่วไหล และอุณหภูมิของกลุ่มควันก๊าซ ในกรณีมวลโมเลกุลของสารเคมีน้อยกว่าอากาศและอยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำหรือภายใต้ความดัน ทำให้เกิดก๊าซหนักได้ (heavy gas) หากให้ข้อมูลไม่เพียงพอโปรแกรมจะใช้แบบจำลองเกาส์เสียน (Gaussian model) ในการทำนายแทน

2.5.3 โปรแกรม MARPLOT 3.2.1 เป็นแผนที่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่อ้างอิงตำแหน่งพิกัดจริงบนพื้นโลก สำหรับค้นหาและแสดงข้อมูลในแผนที่ภายในรัศมีผลกระทบที่ได้จากการ

จำลองสถานการณ์ในโปรแกรม CAMEO หรือโปรแกรม ALOHA แผนที่ที่ใช้เป็นระบบฐานข้อมูลรูปแบบเฉพาะของสหรัฐอเมริกาเท่านั้น (US EPA and NOAA,1999d) สำหรับแผนที่ประเทศไทยไม่มีรูปแบบข้อมูลที่โปรแกรม MARPLOT อ่านได้ การใช้เครื่องมือในโปรแกรมสร้างภาพแผนที่ใหม่ ใช้ในการค้นหาสถานที่ได้ไม่ดีนัก (พิบูล อิสสระพันธุ์, มปป.)

2.6 ตัวแปรในโปรแกรม ALOHA

2.6.1 ตัวแปรเชิงพื้นที่ ใช้ในการคำนวณปริมาณแสงแดด (solar radiation) และความดันอากาศ (air pressure) ซึ่งมีผลต่อการวิเคราะห์การระเหยของสารเคมีกรณีที่รั่วไหลเจิ่งนองพื้น (puddle) ตัวแปรที่ใช้ ได้แก่

1) ค่าตำแหน่งพิกัดจริงบนพื้นโลก ใช้ค่าละติจูด (latitude) ระหว่าง 0 ถึง 90 องศา และลองกิจูด (longitude) ระหว่าง 0 ถึง 180 องศา

2) ค่าความสูงจากระดับน้ำทะเล (elevation) เพื่อคำนวณการทำมุมของดวงอาทิตย์และความดันอากาศ ใช้ค่าอ้างอิงของทะเลเดดซีและภูเขาเอฟเวอร์เรสท์ คือ ค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลระหว่าง -392 ถึง 8,534 เมตร

3) เวลาอ้างอิง ใช้เวลาของเครื่องคอมพิวเตอร์หรือกำหนดให้เป็นค่าคงที่ได้

2.6.2 ลักษณะอาคารสิ่งก่อสร้างบริเวณทิศใต้ลม กำหนดไว้ 3 ประเภท คือ อาคารปิดทึบ (enclosed office building) อาคารชั้นเดียว (single storey building) อาคาร 2 ชั้น (double stories building) เพื่อใช้ในการทำนายความเข้มข้นของก๊าซในอาคารภายใต้สมมติฐานอาคารปิด โดยการหาอัตราเปลี่ยนของอากาศจากความเร็วลมและอุณหภูมิ ซึ่งอัตราเปลี่ยนนี้จะเพิ่มขึ้น ถ้าความเร็วลมเพิ่มขึ้น การพิจารณารอบบริเวณสิ่งก่อสร้าง ได้กำหนดค่าเป็น sheltered surrounding คือ มีต้นไม้และอาคาร และ unsheltered surrounding คือ เป็นพื้นที่เปิดโล่ง

2.6.3 ข้อมูลสารเคมี สามารถดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลสารเคมีของ CAMEO ได้ และเพิ่มรายการสารเคมีใหม่ได้ ข้อมูลที่ใช้ มีดังนี้

1) คุณสมบัติทางกายภาพของสารเคมี สำหรับการทำนายแต่ละแบบจำลองจะใช้ข้อมูลต่างกัน ได้แสดงไว้ในตาราง 2.4

2) ค่า LOC เป็นอัตราส่วนของสารมลพิษในอากาศ ที่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้หากมีความเข้มข้นมากกว่าค่านี้ โปรแกรม ALOHA จะใช้ในการทำนายการแพร่กระจายและแสดงในรูปพื้นที่ตัวแทนระดับความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศ (footprint) จากจุดรั่วไหลถึงค่า LOC ที่กำหนด ซึ่งได้เตรียมไว้ 4 ชนิด คือ AEGLs, ERPGs, IDLH และ TEELs โดยที่ค่า TEELs จะนำมาใช้เมื่อสารเคมีนั้นไม่มีค่า LOC ใด ๆ แล้วเท่านั้น ส่วนค่า AEGLs โปรแกรมใช้ค่าความเข้มข้นที่

สามารถสัมผัสได้ในช่วงเวลา 10 นาที ค่า LOC ต่าง ๆ ผู้ใช้สามารถป้อนค่าได้เอง โดยรับค่าความเข้มข้น อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1,000,000 ppm

ตาราง 2.4 คุณสมบัติของสารเคมีที่ใช้ในแบบจำลองกรณีรั่วไหลจากถัง

คุณลักษณะ	Gaussian Model	Heavy Gas Model
ชื่อสารเคมี	√	√
น้ำหนักโมเลกุล	√	√
จุดเดือด	√	√
ความดันวิกฤต		√
อุณหภูมิวิกฤต		√
ความหนาแน่นของก๊าซ		√
จุดเยือกแข็ง	√	√
ความจุความร้อนของก๊าซ	√	√
ความดันไอ	√	

√ = ค่าที่ต้องการ

ที่มา : US EPA and NOAA (1999a)

2.6.4 ข้อมูลสภาพอากาศ ข้อมูลที่ใช้ได้แก่

1) ทิศทางและความเร็วลม ในการวิเคราะห์จะสมมติให้ ความเร็วและทิศทางลมคงที่ โดยสามารถรับความเร็วลม ระหว่าง 1 ถึง 60 เมตรต่อวินาที ที่ทำการวัด 10 เมตร เหนือพื้นดิน ส่วนทิศทางใช้ทิศทางที่ลมพัดมา จำนวน 16 ทิศ กำหนดเป็นอักษร หรือมุม เช่น ลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ใช้ค่า NE หรือ 45 ทิศเหนือใช้ค่า N หรือ 0 หรือ 360 (ดูภาคผนวก ง)

2) ความสูงที่ทำการวัดความเร็วและทิศทางลม เพื่อนำไปคำนวณการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมที่ความสูงต่าง ๆ

3) ปริมาณเมฆ ใช้ในการพิจารณาปริมาณแสงแดด ซึ่งมีผลต่ออัตราระเหยของสารเคมีที่เจิ่งนองพื้น ปริมาณเมฆ วัดโดยแบ่งส่วนเป็น 10 ส่วน หากท้องฟ้าถูกปิดบังด้วยเมฆโดยสมบูรณ์ ค่าปริมาณเมฆ มีค่าเท่ากับ 10 และ มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆ

4) อุณหภูมิของอากาศ สามารถรับค่าอุณหภูมิได้ระหว่าง -73 ถึง 65 องศาเซลเซียส หลักการคำนวณ วิไลลักษณ์ (2540) ได้แนะนำวิธีการหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน (daily mean

temperature) จากการบวกค่าอุณหภูมิสูงสุดและค่าอุณหภูมิต่ำสุดของแต่ละวันหารด้วย 2 อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน คำนวณจากผลบวกอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละวันใน 1 เดือนหารด้วยจำนวนวันในเดือนนั้น และอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี คำนวณจากผลบวกอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนจำนวน 12 เดือนหารด้วย 12

5) ความชื้นสัมพัทธ์ ใช้ในการคำนวณอัตราการระเหยของสารเคมีที่เจิ่งนองพื้น และการแพร่กระจายของก๊าซหนัก (heavy gas) รับค่าเป็นร้อยละ

6) Inversion เป็นระดับความสูงของสภาพบรรยากาศที่ไม่คงตัว มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วที่ระดับความสูงหนึ่ง ๆ ทำให้ที่ระดับความสูงต่ำกว่ามีความเข้มข้นของก๊าซมากกว่าที่คาดการณ์ไว้ โดยทั่วไปการเกิด inversion ที่ระดับความสูง 1000 ฟุตจากพื้นดิน จะไม่มีผลต่อการแพร่กระจายของก๊าซ หากเกิดระดับต่ำ ๆ โมเลกุลของก๊าซจะถูกชั้นบรรยากาศที่เกิด inversion สะท้อนกลับสู่เบื้องล่างอีกครั้ง ซึ่งจะมีผลต่อก๊าซที่ลอยตัว (neutrally buoyant gas) กรณีก๊าซหนัก (heavy gas) จะไม่มีผล เนื่องจากการแพร่กระจายเกิดในระดับพื้นดิน ค่าความสูงที่โปรแกรมสามารถรับได้อยู่ระหว่าง 3 ถึง 1,524 เมตร

7) ระดับเสถียรภาพของบรรยากาศ (stability class) เป็นลักษณะความแปรปรวนของบรรยากาศ โปรแกรม ALOHA ใช้หลักการจัดระดับเสถียรภาพของบรรยากาศตามแบบของ Turner (1970) เกณฑ์ที่ใช้ คือ ปริมาณแสงแดด เวลาและความเร็วลม โดยจัดแบ่งไว้ 6 ระดับ คือ A ถึง F ได้แสดงไว้ในตาราง 2.5 โดยระดับของแสง ให้คิดจาก ปริมาณเมฆ ณ เวลา 13.00 น ซึ่งดวงอาทิตย์อยู่สูงกว่า 60 องศา ถ้าปริมาณเมฆน้อยกว่า 50% ของท้องฟ้า จัดให้เป็นระดับความเข้มของแสงมาก (strong) ถ้าปริมาณเมฆมากกว่าหรือเท่ากับ 50% ของท้องฟ้า จัดให้เป็นระดับความของเข้มแสงน้อย (slight) และที่ดวงอาทิตย์อยู่สูงระหว่าง 35 ถึง 60 องศา ซึ่งมักตรงกับเวลาทำการวัด 10.00 น ถ้าปริมาณเมฆน้อยกว่า 50% จัดให้เป็นระดับความเข้มของแสงระดับกลาง (moderate) และถ้าปริมาณเมฆมากกว่าหรือเท่ากับ 50% จัดเป็นความเข้มของแสงระดับต่ำ (slight) และกรณีในเวลากลางวันและกลางคืน มีปริมาณเมฆเต็มท้องฟ้า คือ 100% จะจัดให้อยู่ระดับเสถียรภาพของบรรยากาศ D ทั้งหมด โปรแกรม ALOHA ได้เตรียมเครื่องมือเพื่อช่วยจัดระดับเสถียรภาพของบรรยากาศให้โดยอัตโนมัติ เมื่อให้ค่าความเร็วลม ปริมาณเมฆ ในบางครั้งการจัดจะตกอยู่กึ่งกลางระหว่างระดับเสถียรภาพของบรรยากาศ เช่น A-B ควรเลือกใช้ระดับเสถียรภาพของบรรยากาศ ที่มีความคงตัวมากกว่า คือ ระดับเสถียรภาพของบรรยากาศ B

ตาราง 2.5 การแบ่งระดับเสถียรภาพของบรรยากาศ

ความเร็วลม เหนือพื้นดิน 10เมตร (เมตรต่อวินาที)	ระดับของแสงกลางวัน			ปริมาณเมฆกลางคืน	
	มาก	ปานกลาง	น้อย	มาก (>50%)	น้อย (<=50%)
น้อยกว่า 2	A	A-B*	B	E	F
2 ถึง3	A-B	B	C	E	F
3 ถึง 5	B	B-C	C	D	E
5 ถึง 6	C	C-D	D	D	D
มากกว่า 6	C	D	D	D	D

* = เฉลี่ยระหว่างระดับทั้งสอง

ที่มา : US EPA and NOAA (1999a)

แต่ละระดับเสถียรภาพของบรรยากาศมีผลต่อการกระจายตัวของก๊าซแตกต่างกัน โดยระดับเสถียรภาพของบรรยากาศ A มีความคงตัวน้อย มีการแพร่กระจายของก๊าซได้ค่อนข้างดีมาก, ระดับเสถียรภาพของบรรยากาศ B มีความคงตัวค่อนข้างน้อย มีการแพร่กระจายของก๊าซได้ดี รองลงไปคือ ระดับเสถียรภาพของบรรยากาศ C, D, E ตามลำดับและระดับเสถียรภาพของบรรยากาศ F มีความคงตัวมากที่สุด มีการแพร่กระจายของก๊าซได้น้อยที่สุด (วิจิตรา จงวิลาศ, มปป) ในการวิเคราะห์อันตรายกรณีร้ายแรงที่สุด (worst case) ให้กำหนดข้อมูลสภาพบรรยากาศ ดังนี้คือ ระดับเสถียรภาพของบรรยากาศ F ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ หรือใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาย้อนหลัง 3 ปี เพื่อหาความเร็วลมต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุดในแต่ละวัน และค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์ (humidity) ในพื้นที่ (US EPA and CEPP, 1999)

2.6.5 สภาพภูมิประเทศ ความขรุขระของพื้นที่เป็นสิ่งกีดขวางกระแสลมที่จะพัดผ่าน พื้นที่ที่มีความขรุขระมากกว่าจะเกิดความปั่นป่วนของอากาศมากกว่า มีผลให้ footprint ที่สั้นลง ค่าที่ใช้กำหนดเป็น 3 ตัวเลือก คือ open country มีความขรุขระน้อย เช่น ทุ่งหญ้าหรือพื้นที่ว่าง urban or forest เช่น มีต้นไม้หรืออาคาร ชุมชนที่อยู่อาศัย พื้นที่โรงงาน ป่าไม้ หรือใส่ค่าตามเกณฑ์ของ Brutsaeart (1982) (ภาคผนวก ค) โดยพิจารณาลักษณะเด่น (70 เปอร์เซ็นต์) ของสภาพพื้นที่ ช่วงค่าความขรุขระที่รับอยู่ระหว่าง 0.001 ถึง 200 เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นกับการเรียกใช้แบบจำลอง คือ กรณีใช้แบบจำลองเกาส์เสียน (Gaussian model) เมื่อป้อนค่าความขรุขระ น้อยกว่า 20 เซนติเมตร จะใช้ค่าความขรุขระเป็น open country และถ้ามากกว่า 20 เซนติเมตร จะใช้ค่าความขรุขระ เป็น urban or forest ส่วนกรณี heavy gas model จะใช้ค่าไม่เกิน 10 เซนติเมตร

2.6.6 ลักษณะถังและการบรรจุ กรณีการรั่วไหลจากถัง ตัวแปรที่ใช้ได้แก่

1) ลักษณะถังบรรจุ กำหนดตัวเลือก 3 ชนิดคือ ทรงกระบอกแบบนอน(horizontal cylinder) แบบตั้ง (upright cylinder) และแบบทรงกลม (sphere) โดยต้องให้ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 20 เซนติเมตร ถึง 1,000 เมตร ความยาวระหว่าง 50 เซนติเมตร ถึง 1,000 เมตร และ/หรือปริมาตรของถัง

2) ปริมาณสารเคมี รับค่าในช่วง 0 ถึง 10,000 ตัน หรือให้ค่าปริมาณสารเคมีในถังในเชิงปริมาตร หรือร้อยละ ของปริมาตรถัง

3) อุณหภูมิภายในถัง เป็นปัจจัยที่กำหนดสถานะ ความดันและอัตราการรั่วไหล ซึ่งโปรแกรมสามารถทำนายได้ ค่าอุณหภูมิที่สามารถรับได้ อยู่ระหว่าง -273 ถึง 9,937 องศาเซลเซียส

2.6.7 พื้นที่และตำแหน่งที่เกิดการรั่วไหล เป็นขนาดพื้นที่ของอุปกรณ์ที่บกพร่อง พร้อมทั้งระบุตำแหน่งของพื้นนั้น โดยอ้างอิงความสูงจากระดับล่างสุดของถัง

2.7 ข้อจำกัดของโปรแกรม ALOHA

โปรแกรม ALOHA มีข้อจำกัด (US EPA and NOAA,1999a) ดังนี้

1) ยอมรับความเร็วลมต่ำสุด 1 เมตรต่อวินาที ที่ระดับความสูงเหนือพื้นดิน 10 เมตร 2) จะใช้ทิศทางลมคงที่ สภาพพื้นเรียบและไม่มีสิ่งกีดขวาง ซึ่งในความเป็นจริงความลาดชัน ของภูเขา จะทำให้ความเร็วและทิศทางลมเปลี่ยนไป ในการทำนายการแพร่กระจายของสารเคมีในบรรยากาศมิได้คำนึงถึงผลกระทบนี้

3) ทำนายการรั่วไหลได้สูงสุด 1 ชั่วโมง ระยะทางจากจุดรั่วไหลอย่างน้อย 10 เมตร และไม่เกินรัศมี 10 กิโลเมตร เพราะระยะห่างออกไปเกิน 10 กิโลเมตร ความเร็วและทิศทางลมมักมีการเปลี่ยนแปลง

4) การเกิดไฟไหม้ การทำปฏิกิริยากับสารเคมีอื่น ฝุ่นละอองและการไหลตามสภาพพื้นดินจะไม่สามารถทำนายได้ เนื่องจากโปรแกรมถูกออกแบบสำหรับทำนายการแพร่กระจายของสารเคมีบริสุทธิ์เท่านั้น

5) การทำนายความเข้มข้นสูง ๆ ไม่ได้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เฮเลน อารมย์ดี (2540) ประยุกต์ใช้โปรแกรม CAMEO ในการศึกษาอันตรายจากกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกด้วยการจำลองสถานการณ์การรั่วไหลของสาร VCM จากภาชนะ

บรรจุ 1,000 ลูกบาศก์เมตร กรณีที่มีอันตรายร้ายแรงที่สุด (worst case) ตามสมมติฐานที่จัดทำโดย US EPA และใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาย้อนหลัง จำนวน 10 ปี ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ทิศทางลมใช้ทิศทางที่เด่นชัดเป็นหลักในการศึกษา ความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปี อยู่ระหว่าง 1.43 ถึง 4.85 เมตรต่อวินาที จึงใช้ค่าความเร็วลมตัวแทน 3 ค่าคือ 1.5 เมตรต่อวินาที, 3 เมตรต่อวินาที และ 5 เมตรต่อวินาที ช่วงเวลากำหนดกลางวัน 12.00 น. และกลางคืน 20.00 น. วิเคราะห์ระยะทางที่ส่งผลกระทบด้วยโปรแกรม ALOHA และ MARPLOT โดยกำหนดค่า LOC 2 ระดับ คือ 50 ppm และ 500 ppm พบว่า ในเวลากลางวัน ระยะทางที่ส่งผลกระทบน้อยกว่ากลางคืน แต่ถ้าความเร็วลมต่ำ ๆ จะทำให้ระยะทางที่ส่งผลกระทบมีมากขึ้น

Chakraborty and Armstrong (1996) ได้ศึกษาผลกระทบต่อประชาชนในชุมชน เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของผู้ที่ได้รับผลกระทบในเชิงเชื้อชาติและรายได้ บริเวณเส้นทางขนส่งก๊าซคลอรีน โดยการจำลองสถานการณ์การเกิดอุบัติเหตุทางแยกต่าง ๆ ที่มีสถิติการเกิดอุบัติเหตุสูง ด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรม ALOHA วิเคราะห์การแพร่กระจายของก๊าซ โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศ ได้แก่ หาค่าเฉลี่ยรายเดือนของ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณเมฆ ความเร็วลมในทิศทางที่เกิดขึ้นมากที่สุด(predominant direction) จากศูนย์ข้อมูลสภาพอากาศแห่งชาติ จำนวน 1 ปี ค่า LOC ใช้ค่า IDLH แสดงความแตกต่างของผลกระทบต่อประชาชนในขอบเขตผลกระทบในรูปร้อยละ โดยใช้แผนที่ฐานข้อมูลประชากร(census TIGER)

Chakraborty and Armstrong (2001) ได้ศึกษาผลกระทบจากการรั่วไหลของก๊าซพิษในอากาศต่อกลุ่มประชากรที่ต้องดูแลเป็นพิเศษ (special needs) ได้แก่ ผู้ที่ใช้รถล้อเลื่อน ผู้ที่เดินลำบาก การได้ยินและการมองเห็นไม่ปกติ โดยจำลองสถานการณ์การรั่วไหลของก๊าซพิษจากโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ ในกรณีร้ายแรงที่สุด (worst case) สมมติฐานการจำลองสถานการณ์อ้างอิงที่ US EPA แนะนำ สภาพพื้นผิวเป็น urban เนื่องจากอยู่ในเขตเมือง จำลองการแพร่กระจายโดยใช้โปรแกรม ALOHA วิเคราะห์ขอบเขตผลกระทบเป็นรัศมีจากจุดรั่วไหล กำหนดค่า LOC จากค่า IDLH วิเคราะห์กลุ่มประชาชนที่อยู่ในขอบเขตผลกระทบเชิงปริมาณแบบสุ่มในแต่ละขอบเขตผลกระทบลงในแผนที่ฐานข้อมูลประชากร (census TIGER) จำแนกข้อมูลประชากรที่ได้รับผลกระทบเป็นค่าการกระจายความถี่และร้อยละของจุดรั่วไหลในโรงงานต่าง ๆ

Vilchez, *et al*. (1995) ศึกษาโดยใช้ฐานข้อมูลอุบัติเหตุจาก Major Hazard Incident Data Service (MHIDAS) ซึ่งรวบรวมข้อมูลอุบัติเหตุจาก 95 ประเทศ ส่วนใหญ่จากสหรัฐอเมริกา อังกฤษ แคนาดา ฝรั่งเศสและอินเดีย ตั้งแต่ปี ค.ศ 1980 ถึง 1992 จำนวนทั้งหมด 5,325 รายการ พบว่า เกิดอุบัติเหตุจากการขนส่งร้อยละ 39 กระบวนการผลิตในโรงงาน ร้อยละ 24.5 และร้อยละ 17.4 เกิดในสถานที่เก็บสารเคมี สาเหตุของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นเนื่องจากความบกพร่องของอุปกรณ์

พบว่าเกิดจากวาล์วมากที่สุด คือ ร้อยละ 16.7 รองลงมาคือ ความดันเกิน (ร้อยละ 11.8) แนวเชื่อม (ร้อยละ 3.7) วาล์วปรับความดัน (ร้อยละ 2.6) และถังบรรจุเปราะแตก (ร้อยละ 1.2) จากฐานข้อมูลมีร้อยละ 29.2 ที่ไม่ระบุสาเหตุความบกพร่องของอุปกรณ์

Ramabrahmam, *et al*. (1996) ประยุกต์ใช้แบบจำลอง DEGADIS เพื่อวางแผนฉุกเฉินในโรงงานกรณีก๊าซแอมโมเนียรั่วไหลจากถัง โดยจำลองสถานการณ์ กรณีร้ายแรงที่สุดคือ การแตกของถัง ทำให้ก๊าซแอมโมเนียรั่วไหลทันที วิเคราะห์หารัศมีผลกระทบด้วยการกำหนดค่า LOC จาก IDLH และเสนอให้มีหน่วยบัญชาการกรณีฉุกเฉิน จำนวน 2 สถานี เพื่อสำรองกรณีก๊าซแอมโมเนียที่รั่วไหลถูกกระแสลมพัดพาถึงหน่วยบัญชาการ และพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อความพร้อมในกรณีฉุกเฉิน ได้แก่ การอบรมให้ความรู้ด้านความปลอดภัย ระบบการสื่อสาร การทบทวนรายงานและการเกิดอุบัติเหตุในอดีต ความพร้อมของอุปกรณ์สำหรับกรณีฉุกเฉิน

Rigas and Sklavounos (2002) ศึกษาความเสี่ยงและวิเคราะห์ผลที่ตามมาของอุบัติเหตุการรั่วไหลของเอทธิลีนออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์จากคลังสินค้า ด้วยชุดโปรแกรม Breeze Hazard Professional จำลองสถานการณ์การแพร่กระจายในทิศทางลมที่มีความถี่มากที่สุด และใช้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยของทิศทางลมเดียวกัน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารพิษที่ได้รับสัมผัสของประชากรในโรงเรียนและชุมชนรอบคลังสินค้า จำแนกระดับของผลกระทบ คือ พิษเฉียบพลัน บาดเจ็บรุนแรง เสียชีวิต

Horng, *et al.* (2005) ศึกษาอุบัติเหตุรั่วไหลของก๊าซคลอรีนในโรงงานอุตสาหกรรม โดยการจำลองสถานการณ์อ้างอิงคำแนะนำของ US EPA ในกรณีร้ายแรงที่สุดและกรณีที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้มากที่สุด กำหนดค่า LOC เพียง 1 ระดับ คือ ERPG 2 เพื่อประเมินพื้นที่ผลกระทบ, พื้นที่ปลอดภัยของชุมชม และพัฒนามาตรการการช่วยเหลือกรณีฉุกเฉิน วิเคราะห์ผลกระทบภายในรัศมีที่ได้จากโปรแกรม ALOHA พบว่า รัศมีผลกระทบของกรณีร้ายแรงที่สุดมีค่ามากกว่ารัศมีผลกระทบของกรณีที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้มากที่สุด ก๊าซพิษมีการแพร่กระจายสู่ชุมชนใกล้โรงงานอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว ควรมีระบบการเตือนภัยแก่ชุมชนที่สามารถปฏิบัติได้ทันทีในสถานการณ์จริง โดยแนะนำให้ชุมชนที่อยู่ใกล้โรงงานหลบภัยภายในอาคาร ไม่ควรอพยพ วิเคราะห์มาตรการลดผลกระทบด้วยโปรแกรม RMP*Comp พบว่า รัศมีผลกระทบลดลงชัดเจน เมื่อมีการใช้ระบบสเปรย์น้ำหรือมีการรั้วทึบล้อมรอบโรงงาน

Batterman and Kovacs (2003) ศึกษารัศมีผลกระทบต่าง ๆ สารอันตรายร้ายแรง จำนวน 70 ชนิด ที่โรงงานครอบครองได้ในปริมาณสูงสุดตามมาตรการจัดการความเสี่ยงของ US EPA วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ALOHA และ RMP*Comp โดยการจำลองสถานการณ์กรณีร้ายแรงที่สุดและกรณีที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้มากที่สุด ในสภาพอากาศต่าง ๆ และกำหนดค่า LOC ตามชนิดของ

สารเคมี พบว่า ปริมาณสารอันตรายร้ายแรงที่กำหนดยังมีความเสี่ยงต่อพื้นที่ภายนอกโรงงาน ควรปรับปรุงโปรแกรม RMP*Comp นอกจากนี้ยังพบว่า รัศมีผลกระทบจะเพิ่มขึ้นตามค่า LOC ที่กำหนด การหลบภัยในอาคารเหมาะสมสำหรับกรณีที่เกิดการรั่วไหลในระยะเวลาอันสั้น และการจำลองสถานการณ์ที่อ้างอิงเหตุผลของความเป็นไปได้และมีความชัดเจนที่จะก่อให้เกิดความเสียหาย เป็นการจำลองสถานการณ์ที่น่าเชื่อถือมากกว่าการจำลองสถานการณ์กรณีร้ายแรงที่สุด