อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เสริมประกอบ
    1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล Celeron M 340 processor
    1.2 เครื่องพิมพ์ชนิดใช้เลเซอร์
    1.3 เครื่องสแกนภาพ

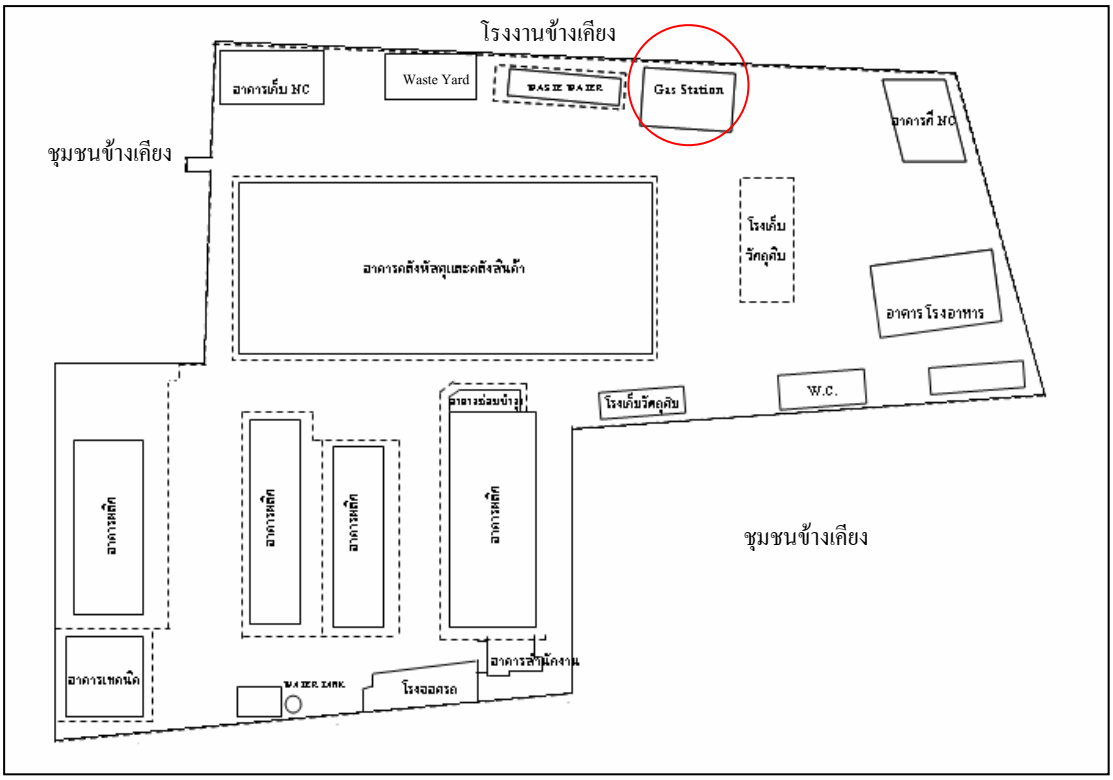
2. โปรแกรมที่ใช้
    2.1 โปรแกรม ALOHA Version 5.4
    2.2 โปรแกรม MARPLOT Version 3.3.2
    2.3 โปรแกรม Microsoft office 2003 ใช้ในการจัดทำเอกสาร

วิธีการ

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมุ่งเน้นศึกษาสารเคมี ไนโตรเซลลูโลสที่อยู่ในสถานที่จัดเก็บ โดยประเมินผลกระทบในกรณีเกิดการระเบิดและลุกไหม้จากในสถานที่จัดเก็บนั้น ในส่วนของผลกระทบจากการระเบิดจะใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อหาผลกระทบต่อโครงสร้างอาคาร โดยรอบรัศมีของการระเบิด และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้ซึ่งเป็นมลพิษ มาประเมินหาระยะทาง ลักษณะการฟุ้งกระจาย และความเข้มข้นที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อประชาชนหรือชุมชนที่อยู่ข้างเคียง

ผู้วิจัยทำการศึกษาโดยการตั้งสมมติเหตุการณ์ บริษัท S ซึ่งเป็นบริษัทผลิตแลคเกอร์และสีทาไม้ ยี่ห้อ SS สถานประกอบการตั้งอยู่ในพื้นที่ตำบลสำโรงใต้ จังหวัดสมุทรปราการ มีการใช้สารไนโตรเซลลูโลสเป็นส่วนผสมในการผลิตแลคเกอร์ ได้เกิดเหตุเพลิงลุกไหม้ที่สถานที่จัดเก็บก๊าซ LPG (Gas Station) เพลิงได้ลุกลามขยายวงกว้างไปยังพื้นที่ข้างเคียงคือ ระบบบำบัดน้ำเสีย (Waste Water Treatment) สถานที่เก็บสารเคมีเสีย (Waste Yard) และอาคารเก็บสารไนโตรเซลลูโลส (อาคารเก็บ NC) ผลกระทบจากเพลิงไหม้ในส่วนของการพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน มายังสถานที่จัดเก็บไนโตรเซลลูโลส ส่งผลให้สารไนโตรเซลลูโลสที่จัดเก็บอยู่เกิดการสะสม

ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่สามารถจุดระเบิดตัวเองได้ จึงเกิดการระเบิดขึ้น ภาพที่ 28 แสดงแผนผังของบริษัท S และจุดเกิดเหตุ (Gas Station) ตามสมมติเหตุการณ์



ภาพที่ 28 แผนผังบริษัท S

โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการศึกษาและการประเมินผลกระทบกรณีการระเบิดของสารไนโตรเซลลูโลส ดังนี้

1. สารไนโตรเซลลูโลสถูกจัดเก็บอยู่ในภาชนะเดียวกัน แต่แยกจัดเก็บในถุงพลาสติกรวมเป็นปริมาณทั้งสิ้น 28,224 กิโลกรัม โดยลักษณะของอาคารจัดเก็บเป็นแบบอาคารชั้นเดียวเปิดโล่ง จัดเก็บในอุณหภูมิสภาวะปกติหรือเป็นสภาวะที่แปรผันตามสภาพแวดล้อมภายนอก

2. การระเบิดศึกษาในลักษณะของการใช้เชื้อเพลิงหมดสิ้น นั่นคือการคำนวณทางคณิตศาตร์ จะใช้ปริมาณสารไนโตรเซลลูโลสทั้งสิ้น 28,224 กิโลกรัม ส่วนการประเมินผลกระทบจากการฟุ้งกระจายของสารที่ได้จากการเผาไหม้หรือระเบิดโดยประยุกต์ใช้โปรแกรม จะใช้ไนโตรเซลลูโลสเป็นสารตั้งต้นในปริมาณ 28,224 กิโลกรัมเช่นกัน

3. ลักษณะพื้นที่ หรือผลกระทบจากสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการศึกษา สมมติสถานที่อยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ

4. สภาพภูมิอากาศที่นำไปประยุกต์ใช้ในโปรแกรม ALOHA นำมาจากสภาพภูมิอากาศที่ก่ออันตรายรุนแรง (Worst-Case Condition)

ผลและการวิจารณ์

<u>กรณีการการระเบิด</u>

ปฏิกิริยาการระเบิด หรือเผาไหม้ เป็นปฏิกิริยาระหว่างสารกับออกซิเจน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic) ออกมาในรูปของพลังงาน โดยเปรียบเทียบระหว่างสารตั้งต้นกับสารที่ได้จากการทำปฏิกิริยา คำนวณออกมาในรูปของพลังงานที่ได้จากการคายความร้อนจากการเกิดปฏิกิริยา จากการดุลสมการทางเคมี (Stoichiometry)

สมการการเผาไหม้ของสารไนโตรเซลลูโลส

$C_{12}H_{14}O_4(NO_3)_6$ ----------> $9CO + 3CO_2 + 3N_2 + 7H_2O$

จากตารางภาคผนวกที่ ก1 ทำให้สามารถหาค่า Heat of Explosion หรือ Energy of Explosion ที่ได้จากการระเบิดเท่ากับ 3,559 kJ/kg ที่มีองค์ประกอบของโตรเจนที่ 12.5%

ทำการคำนวณเพื่อประเมินผลกระทบจากการระเบิด โดยเปรียบเทียบกับมวลของ TNT (TNT Equivalent) ค่าที่ใช้ในการคำนวณตามสมการ (4) ดังนี้

η = 0.1

m = 28,224 kgs.

Ec = 3,559 kJ/kg

E_{TNT} = 4,686 kJ/kg

ดังนั้นจะได้ m_{TNT} = 2,143.6 kg ของ TNT

ทำการคำนวณผลกระทบต่อโครงสร้างจากแรงดันจากการระเบิดโดยใช้สมการที่ (1), (2) และ (3) ค่าที่ใช้ในการคำนวณตามสมการดังนี้

r = ระยะจากจุดที่เกิดการระเบิดไปยังจุดที่สนใจ (m) โดยคำนวณระยะห่างจากจุดเกิดเหตุเป็นระยะต่าง ๆ ดังนี้ 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 150, 180, 200, 250, 300, 400, 500, 700, 1000, 1500, 2000, 3000, 5000, 10000 และ 20000

$m_{TNT}^{1/3}$ = $(2{,}143.6\ kg)^{1/3}$

Pa = 101.3 kPa

เมื่อทำการคำนวณตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ค่าผลกระทบจากแรงดันจาการระเบิดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงผลกระทบจากแรงดันจากจุดเกิดเหตุที่ระยะทางต่าง ๆ

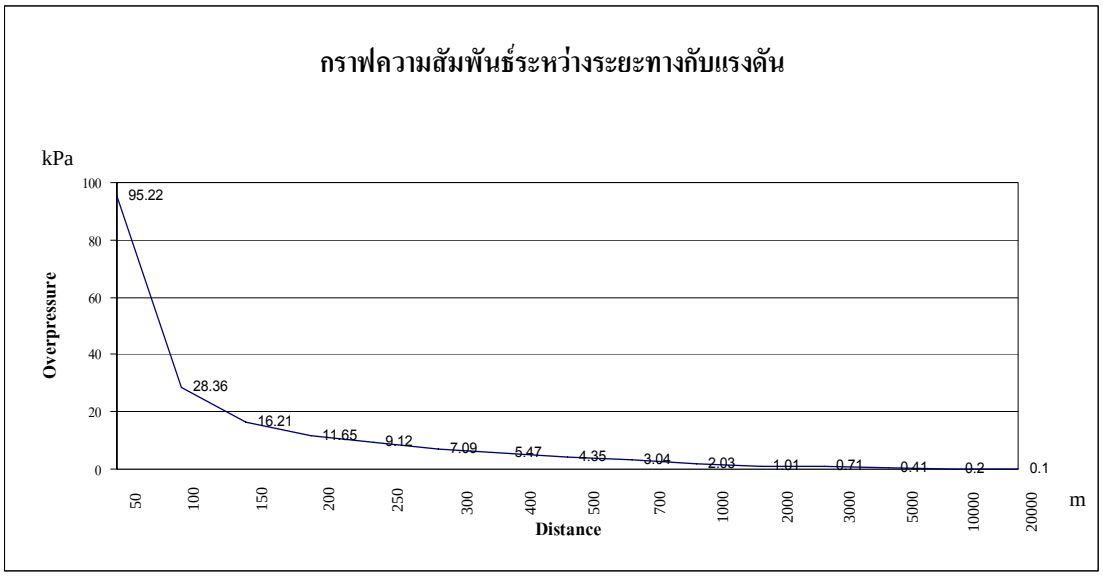
ระยะห่างจากจุดเกิดเหตุ (เมตร)	พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ (ตารางเมตร)	ระดับความดันที่ได้รับ (kPa)
50	7,850	95.22
60	11,304	68.88
70	15,386	52.68
80	20,096	41.53
90	25,434	33.42
100	31,400	28.36
120	45,216	22.29
150	70,650	16.21
180	101,736	13.17
200	125,600	11.65
250	196,250	9.12
300	282,600	7.09
400	502,400	5.47
500	785,000	4.35
700	1,538,600	3.04
1,000	3,140,000	2.03
1,500	7,065,000	1.41
2,000	12,560,000	1.01
3,000	28,260,000	0.71
5,000	78,500,000	0.41
10,000	314,000,000	0.20
20,000	1,256,000,000	0.10

จากตารางที่ 3 ซึ่งแสดงตัวอย่างของค่าพลังงาน Overpressure และความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าในระยะจากจุดเกิดเหตุถึง 70 เมตร โครงสร้างอาคาร เครื่องจักรหนัก

องค์ประกอบในโครงสร้างถูกทำลาย ในระยะที่ห่างจากจุดเกิดเหตุ 150 เมตร จะสามารถทำลายระบบโครงสร้างของบ้านเรือนประมาณ 50% ในระยะห่างจากจุดเกิดเหตุ 700 เมตรจะสามารถทำลายโครงสร้างของบ้านเรือนได้เล็กน้อย ในระยะห่างจากจุดเกิดเหตุ 1,000 เมตรถือเป็นระยะที่ปลอดภัย โดย 95% ไม่ได้รับผลกระทบรุนแรง หรือได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อย ในระยะที่ห่างจากจุดเกิดเหตุตั้งแต่ 20,000 เมตรขึ้นไปจะไม่ได้รับผลกระทบจากแรงดันจากการระเบิด

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจากจุดเกิดเหตุและแรงดันจากการระเบิดสามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังนี้

ภาพที่ 29 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับแรงดันที่ได้รับจากจุดเกิดเหตุ



ดังนั้นจะพบว่าระยะที่ปลอดภัยจากผลกระทบ จากความดันจากการระเบิดของสารไนโตรเซลลูโลสในสถานที่จัดเก็บที่มีปริมาณการจัดเก็บที่ 28,224 กิโลกรัม คือ 1,000 เมตรขึ้นไป หากกรณีที่มีการจัดตั้งอยู่ในพื้นที่ที่เป็นเขตนิคมอุตสาหกรรม หรือในย่านชุมชนย่อมเกิดความเสียหายต่อพื้นที่ใกล้เคียง

จากข้างต้นจะพบว่าในกรณีการเกิดเหตุระเบิดจะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ข้างเคียงจากแรงดันที่มากกว่า 95.22 kPa ดังนั้นเมื่อทำการพิจารณาระยะห่างของพื้นที่ข้างเคียงเพื่อหาปริมาณการ

จัดเก็บสารไนโตรเซลลูโลสที่เหมาะสม ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ข้างเคียง (Safety Distance) ของบริษัท S โดยมีรัศมีพื้นที่รอบอาคารจัดเก็บที่ 10 เมตร พบว่าต้องจัดเก็บสารไนโตรเซลลูโลสที่จำนวน 226 กิโลกรัม

<u>กรณีผลกระทบจากสารมลพิษที่ได้จากการเผาไหม้</u>

โดยปกติจากปฏิกิริยาการระเบิดและเผาไหม้ สารที่ได้จากปฏิกิริยาดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นที่เป็นเชื้อเพลิง หรือกรณีที่สารตั้งต้นเป็นไฮโดรคาร์บอน จะได้สารผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในสถานะก๊าซ กับน้ำ (H_2O) ในสถานะของเหลวเสมอ การเผาไหม้นั้นมีทั้งแบบสมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้จากสารตั้งต้นเดียวกันนั้นมีความแตกต่างกัน

จากสมการปฏิกิริยาการระเบิดและเผาไหม้แบบสมบูรณ์ของสารตั้งต้นไนโตรเซลลูโลส 1 มวลโมเลกุล จะได้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จำนวน 9 มวลโมเลกุล ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จำนวน 3 มวลโมเลกุล ก๊าซไนโตรเจน (N_2) จำนวน 3 มวลโมเลกุล และน้ำ (H_2O) จำนวน 7 มวลโมเลกุล

$$C_{12}H_{14}O_4(NO_3)_6 \text{ ----------> } 9CO + 3CO_2 + 3N_2 + 7H_2O$$

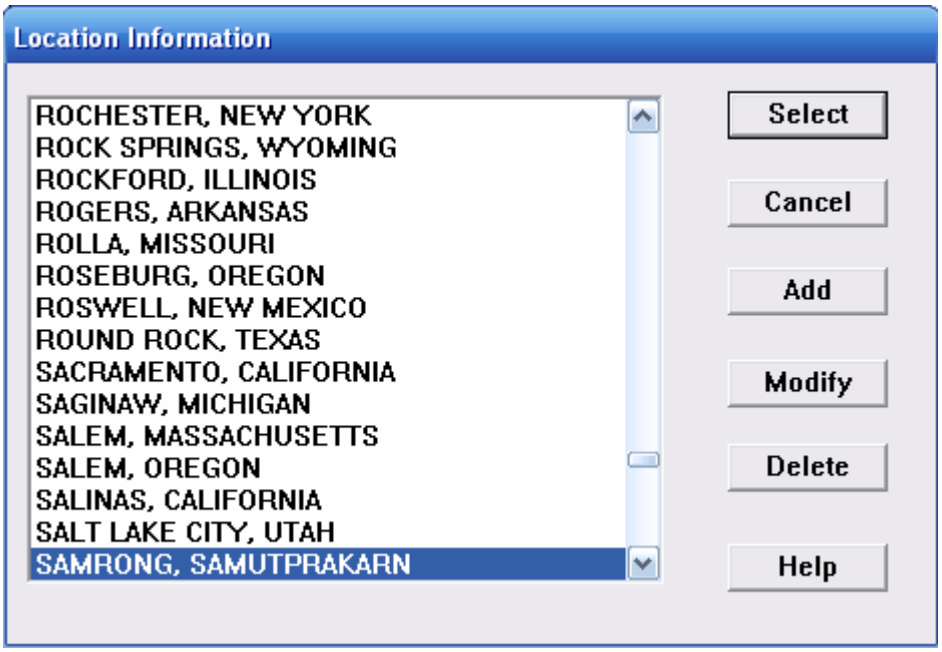
ในกรณีการระเบิดและเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์จะได้ไนโตรเจนออกไซด์ มีเทน กรดคาร์บอกซิลิก และไฮโดรเจนไซยาไนด์ ซึ่งไฮโดรเจนไซยาไนด์นั้นมีความเป็นพิษต่อสุขภาพสูง จากสมการการระเบิดและเผาไหม้ของสารไนโตรเซลลูโลส จะได้ไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ที่เป็นไปได้เท่ากับ 6 มวลโมเลกุล

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้และเป็นสารที่เป็นมลพิษและส่งผลกระทบต่อผู้ได้รับได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในกรณีการเผาไหม้แบบสมบูรณ์แบบ และไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ในกรณีการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและความอันตรายหรือความเป็นพิษต่อร่างกายระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจนไซยาไนด์ ได้ดังตารางภาคผนวกที่ ก2

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างสถานการณ์ เพื่อตรวจสอบและประเมินผลกระทบจากกรณีสารที่ได้จากการระเบิดในลักษณะของการรั่วไหล โดยประยุกต์ใช้โปรแกรม ALOHA โดยสร้างสถานการณ์ การรั่วไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยกำหนดค่าเงื่อนไขดังนี้

1. การเลือก Site Data: Location

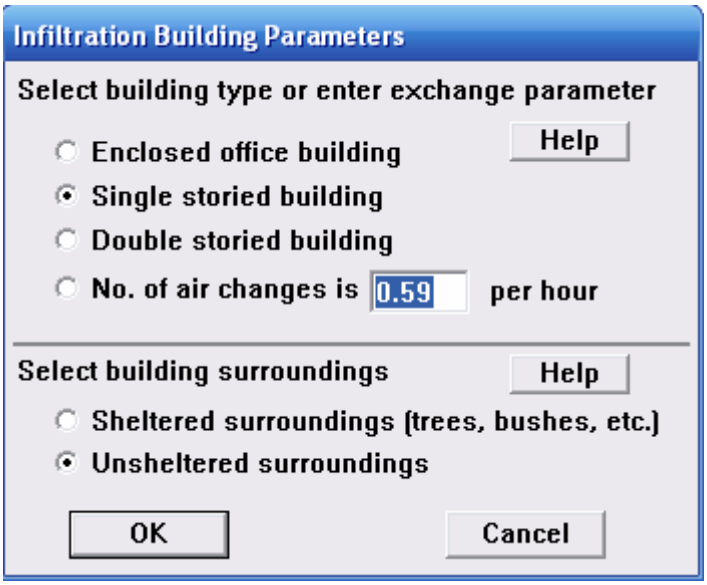
ผู้วิจัยเลือกทำการประเมินในพื้นที่ตำบลสำโรง จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งตั้งอยู่ที่ละติจูด 13 องศาเหนือ ลองติจูดที่ 100 องศาตะวันออก จังหวัดสมุทรปราการมีพื้นที่ทั้งสิ้น 1,004.1 ตารางกิโลเมตร มีประชากรทั้งสิ้น 1,028,401 คน ความหนาแน่นประชากร 1,024 คนต่อตารางกิโลเมตร



ภาพที่ 30 แสดงการเลือกข้อมูลด้านสถานที่

2. การเลือก Site Data : Building Type

เนื่องจากในการวิจัย ผู้วิจัยเลือกศึกษาผลกระทบจากการเกิดระเบิดของสารไนโตรเซลลูโลสในสถานที่จัดเก็บ ซึ่งสถานที่ในการจัดเก็บสารเคมีจะเป็นอาคารชั้นเดียว จึงเลือกใส่ Parameter: Single storied building โดยที่ด้านรอบข้างของสถานที่จัดเก็บเป็นพื้นที่โล่ง

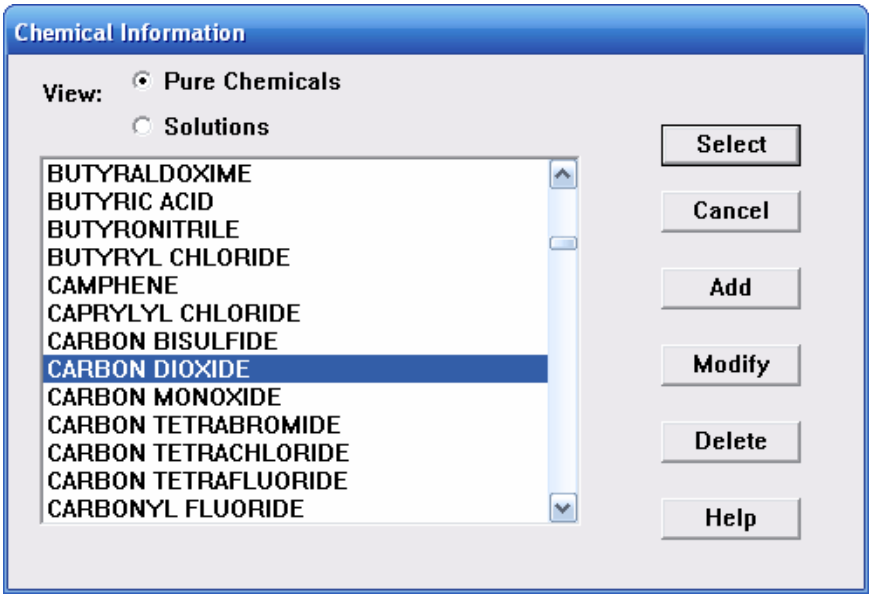


ภาพที่ 31 แสดงการใส่ข้อมูลของ Building Type

3. การใส่ข้อมูล Set up : Chemical

ในงานวิจัยในส่วนของการประเมินผลกระทบ จากสารที่เป็นมลพิษที่ได้จากการเผาไหม้หรือระเบิดของสารไนโตรเซลลูโลส ซึ่งพบว่าจากการเผาไหม้หรือระเบิดของสารไนโตรเซลลูโลสจะได้สารที่เป็นมลพิษ หรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ในส่วนของ Chemical Information ทำการเลือกสารดังกล่าว ใน ALOHA จะมีฐานข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติต่าง ๆ ของสารไว้ให้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลหรือประมวลผล ได้แก่ จุดเดือด จุดหลอมเหลว มวลโมเลกุล เป็นต้น ข้อมูลของสารเคมีที่ ALOHA ใช้จะเป็นข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูลเท่านั้นเท่านั้น หากสารเคมีที่จะใช้ในการจำลองสถานการณ์ไม่มีอยู่ในฐานข้อมูล โปรแกรม ALOHA จะไม่สามารถจำลองสถานการณ์ได้ ต้องเข้าไปทำการแก้ไขหรือเพิ่มข้อมูลในฐานข้อมูลก่อน หรือในกรณีที่ต้องการ

เปลี่ยนแปลง Parameter อื่น ๆ สามารถเข้าไปแก้ไขในส่วนของ Modified ซึ่งจะสามารถแก้ไขได้เพียงบาง Parameter เท่านั้น และต้องอยู่ในข้อจำกัดของโปรแกรมที่จะสามารถรองรับได้ เช่น อุณหภูมิของจุดเดือด และจุดหลอมเหลว สำหรับ CO_2, CO และ HCN มีข้อมูลอยู่ในฐานข้อมูลของ ALOHA จึงไม่ต้องเพิ่มข้อมูล

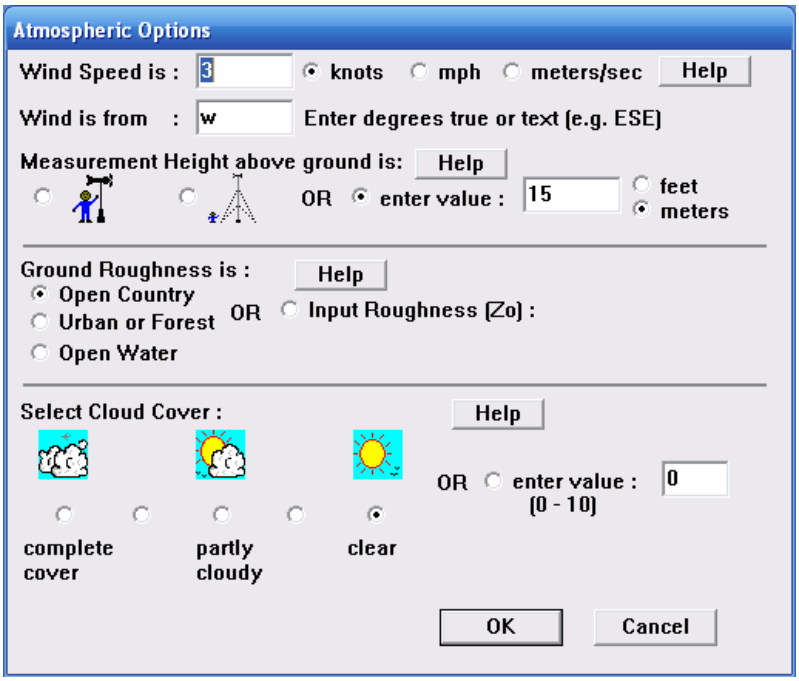


ภาพที่ 32 แสดงการเลือกข้อมูลของสารเคมีที่ใช้ในการประเมินผลกระทบ

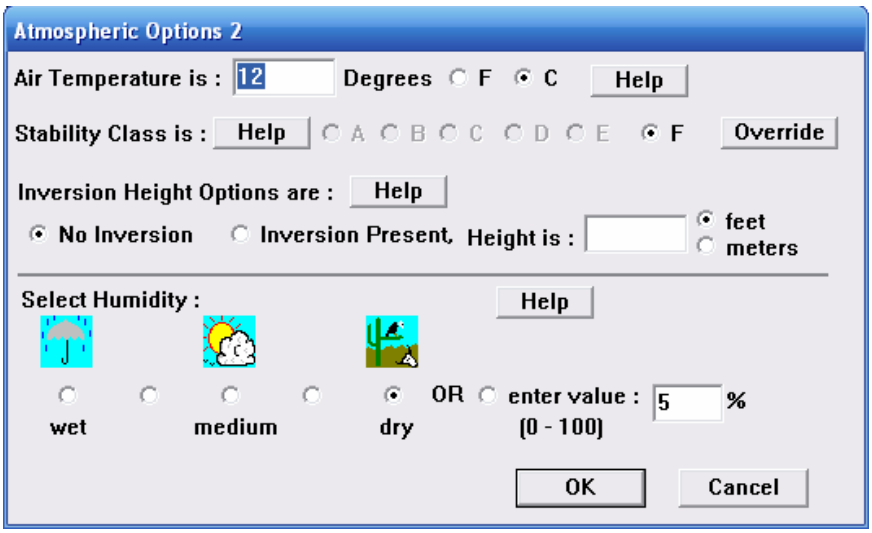
4. การใส่ข้อมูลด้านสภาวะอากาศ (Set up: Atmospheric)

กำหนดรายละเอียดทางสภาวะของอากาศโดยตามทฤษฎี Worst-Case Condition จะพบว่าปัจจัยทางด้านสภาวะอากาศที่มีผลต่อการเกิดผลกระทบ หรือการกระจายตัวของสารเคมี และความเข้มข้นของสารเคมี ณ จุดต่าง ๆ มากที่สุดคือ F Stability (เสถียรภาพระดับ F) ปัจจัยของลักษณะ F Sability ได้แก่ ความเร็วลม โดยจะพบว่าที่ความเร็วลมต่ำจะมีระดับความเข้มข้นของสารเคมี ณ จุดต่าง ๆ มากกว่าความเร็วลมที่ระดับสูงขึ้น ตามทฤษฎีนั้นกำหนดไว้ว่าความเร็วลมต้องไม่ต่ำกว่า 1.5 m/s หรืออยู่ที่ประมาณ 3 knots อุณหภูมิที่มีผลมากที่สุดคือที่ระดับอุณห- ภูมิต่ำ เนื่องจากที่ระดับอุณหภูมิต่ำ การลอยตัวของก๊าซจะอยู่ในระดับต่ำกว่าอุณหภูมิที่สูงกว่า นั่นคือความเข้มข้นของสารเคมีที่ใกล้ระดับพื้น (Ground Level) จะมีความเข้มข้นสูงกว่าระดับที่สูงขึ้นมาจากระดับพื้น แสดงให้เห็นผลกระทบต่อผู้คน หรือประชากรจะมากกว่าที่อุณหภูมิระดับสูงขึ้นไป ส่วนการกระจายตัวของสารเคมีจะมีการกระจายตัวสูงในลักษณะสภาวะอากาศที่ ระดับความ ชื้น

ต่ำ และความหนาแน่นของเมฆต่ำ จากปัจจัยต่าง ๆ ของกรณี Worst-Case Condition จึงเลือก Parameter ดังนี้ ความเร็วลม 3 knots ทิศทางลมพัดจากทิศตะวันตก อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส (ใช้อุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้โดยประเมินจากจุดวาบไฟของสารโตรเซลลูโลสคือ 12 องศาเซลเซียส) ความชื้น 5% ความหนาแน่นของเมฆ 0 ส่วนใน 10 ส่วน (Clear) จะได้เสถียรภาพของอากาศระดับ F



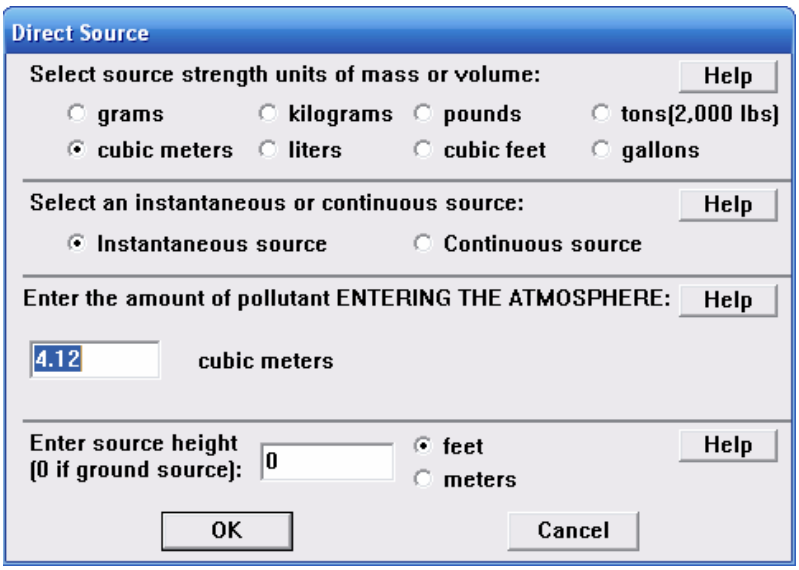
ภาพที่ 33 แสดงการใส่ข้อมูลด้านสภาวะอากาศ Atmospheric Options



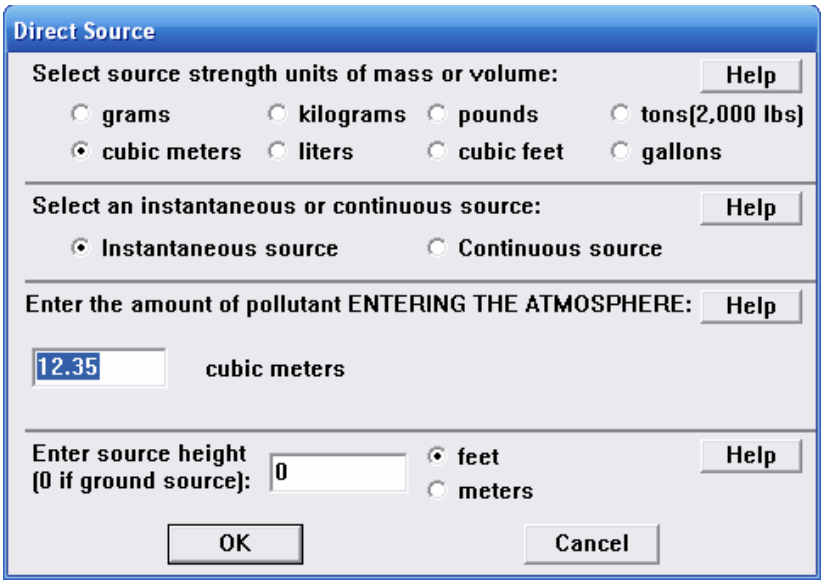
ภาพที่ 34 แสดงการใส่ข้อมูลด้านสภาวะอากาศ Atmospheric Options 2

5. การใส่ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของแหล่งกำเนิด หรือจุดรั่วไหล (Set up: Source)

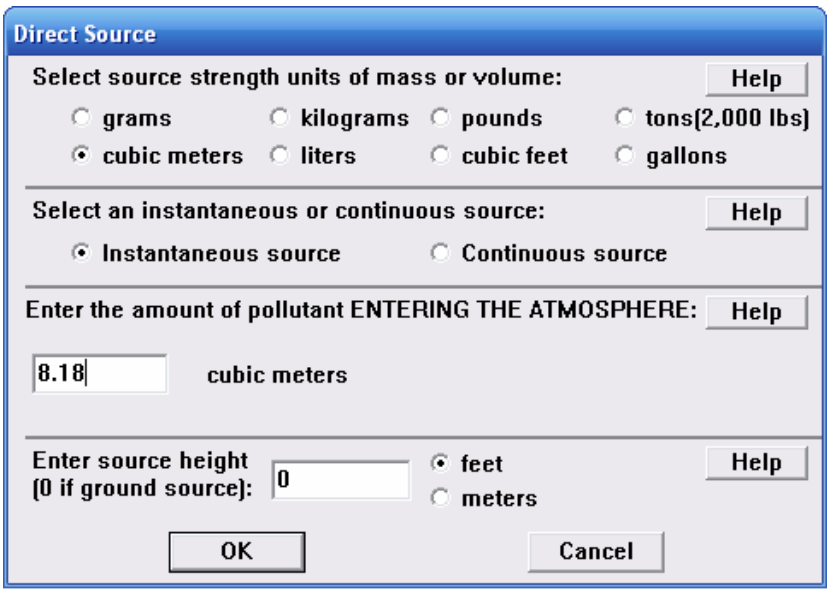
เป็นการรั่วไหลแบบ Instanteneous ที่ระดับ Ground level (สมมติฐานใกล้เคียงกับการระเบิดซึ่งจะเกิดแบบ Detonation หรือเป็นลักษณะของการระเบิดปลดปล่อยรุนแรงภายในทีเดียว) และจากสมการการเผาไหม้และการระเบิดของสารไนโตรเซลลูโลส พบว่าในการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ของสารไนโตรเซลลูโลส 1 โมล จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 3 โมล และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 9 โมล และจะได้ไฮโดรเจนไซยาไนด์ 6 โมล ในกรณีเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงใช้ปริมาณของก๊าซที่เกิดการรั่วไหลจากการคำนวณตามสมการเคมี จากสารตั้งต้นไนโตรเซลลูโลสจำนวน 28,224 กิโลกรัม จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 6,259 กิโลกรัม ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จำนวน 11,949 กิโลกรัม และไฮโดรเจนไซยาไนด์จำนวน 7,697 กิโลกรัม เมื่อทำการเปลี่ยนจากหน่วยของน้ำหนัก (Mass) เป็นปริมาตร (Volume) จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 4.12 ลูกบาศก์เมตร ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ 12.35 ลูกบาศก์เมตร และไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ 8.18 ลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 35 แสดงการใส่ข้อมูลของแหล่งกำเนิดที่เป็น Direct Source ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



ภาพที่ 36 แสดงการใส่ข้อมูลของแหล่งกำเนิดที่เป็น Direct Source ของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์



ภาพที่ 37 แสดงการใส่ข้อมูลของแหล่งกำเนิดที่เป็น Direct Source ของไฮโดรเจนไซยาไนด์

6. การจำลองการกระจายตัวของสารเคมีโดยโปรแกรม ALOHA

เมื่อใส่ข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นครบทั้งหมด เข้า Menu Display: Threat Zone โปรแกรมจะจำลองการรั่วไหล โดยรัศมีการกระจายตัวของจะสามารถกำหนดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อทำนายผลกระทบที่ระยะต่าง ๆ

ค่ามาตรฐานในการกำหนดขอบเขตอันตราย ที่มีการใช้งานกันในโปรแกรม ALOHA คือ ค่า ERPG (The Emergency Response Planning Guideline) เป็นค่าความเข้มข้นของสารเคมีสำหรับการวางแผนรับมือเหตุฉุกเฉิน ถูกกำหนดโดย American Industrial Hygiene Association (AIHA), 1991. Emergency Response Planning Guideline for Air Contaminants. AIHA Publications, Akron, OH.

ERPG-1 เป็นค่าความเข้มข้นสูงที่สุดที่มนุษย์ได้รับแล้วสามารถรับรู้กลิ่น แต่ไม่เกิดอาการ

ERPG-2 เป็นค่าความเข้มข้นสูงที่สุดที่มุษย์ได้รับแล้วเกิดอาการ

ERPG-3 เป็นค่าความเข้มข้นสูงที่สุดที่มนุษย์ได้รับแล้วมีโอกาสเสียชีวิต

ค่า ERPG จะไม่ครอบคลุมทุกบุคคล ขึ้นกับปัจจัยส่วนบุคคลด้วย เช่น Hypersensitivity ค่า ERPG จะเป็นเพียงค่าเสนอแนะเท่านั้น และมีการทดลองส่วนใหญ่ในสัตว์ทดลอง ทำให้ค่าที่ได้เป็นค่าเสนอแนะจากการคาดคะเน โดยคิดที่ระยะเวลาการได้รับสารเคมีนาน 60 นาที

ค่ามาตรฐาน TEEL (Temporary Emergency Exposure Limits) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับความเป็นอันตรายคล้ายกับค่า ERPG ซึ่งได้กำหนดโดย U. S. Department of Energy จะแสดงค่านี้ต่อเมื่อไม่สามารถแสดงค่า ERPG ได้ค่า TEEL นี้จะคล้ายกับค่า ERPG ต่างตรงที่ไม่ได้มีการคำนึงถึงปัจจัยด้านความปลอดภัยอื่น ๆ แต่เป็นลักษณะของการคาดคะเน โดยดูจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสารเคมีที่ได้รับแยกเป็น 3 ระดับ

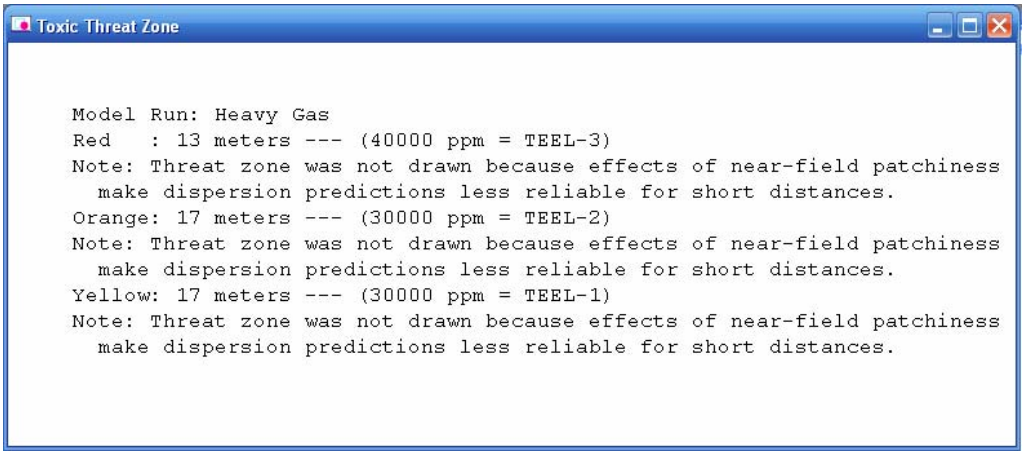
TEEL-1	อาจก่อการระคายเคือง หรือได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อย
TEEL-2	อาจก่อการระคายเคืองแต่เกิดจากผลข้างเคียง
TEEL-3	อาจเกิดผลกระทบรุนแรงหรือเสียชีวิตได้ขึ้นกับปัจจัยส่วนบุคคล

ค่า TEEL จะไม่ครอบคลุมทุกบุคคล ขึ้นกับปัจจัยส่วนบุคคลด้วย เช่น Hypersensitivity ค่า TEEL จะเป็นเพียงค่าเสนอแนะเท่านั้น และมีการทดลองส่วนใหญ่ในสัตว์ ทดลอง ทำให้ค่าที่ได้เป็นค่าเสนอแนะจากการคาดคะเน โดยคิดที่ระยะเวลาการได้รับสารเคมีนาน 60 นาที

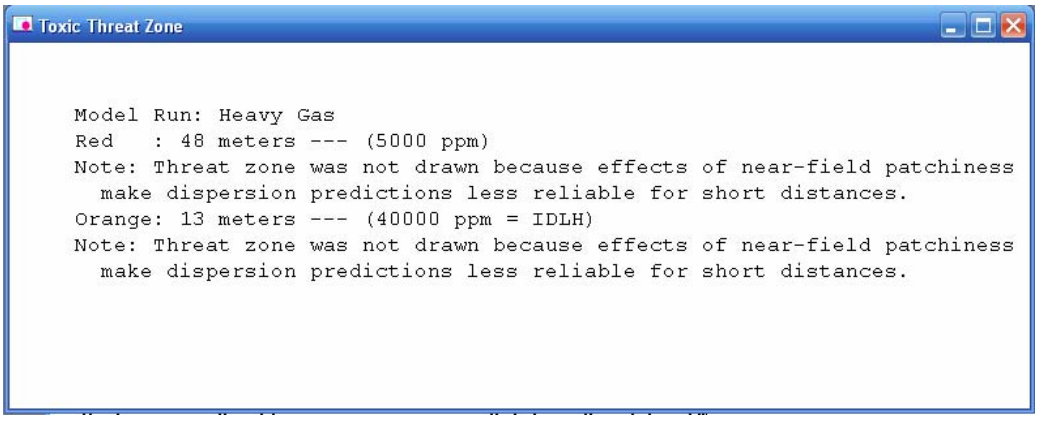
ค่ามาตรฐาน IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) เป็นค่าที่จัดตั้งขึ้นมาเพื่อหาข้อจำกัดในการเลือกอุปกรณ์ป้องกันทางระบบหายใจที่ใช้ในสถานที่ทำงาน ถูกกำหนดโดย National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) ค่า IDLH ถูกคาดคะเนจากปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีที่สูงที่สุดในพื้นที่ปฏิบัติงาน ซึ่งผู้ปฏิบัติงานได้รับแล้วยังไม่เกิดผลกระทบต่อร่างกายอย่างรุนแรงหรือถาวร หรืออวัยวะบางส่วนไม่สามารถทำงานได้อย่างปกติ

ค่า IDLH เป็นค่าหนึ่งที่ใช้ในการคาดคะเน ดังนั้นไม่จำเป็นว่าที่ระดับความเข้ม ข้นเดียวกันทุกคนจะได้รับผลกระทบเหมือนกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยส่วนบุคคล แต่สำหรับเด็ก และผู้สูงอายุ หรือผู้ที่มีความไวต่อการรับสารสูง ไม่ควรใช้ค่า IDLH เป็นพื้นฐาน เนื่องจากอาจรับผลกระทบรุนแรงได้ การใช้ค่า IDLH จึงเป็นค่าเสนอแนะที่ได้จากการทดลองของสารแต่ละชนิดที่ส่งผลกระทบต่อผู้ที่ได้รับสารนั้น การกำหนดค่า IDLH จึงเป็นการคาดคะเนว่าอย่างน้อย 95%

ของผู้ที่ได้รับค่าความเข้มข้นของสารเคมีที่ระดับนี้ จะยังไม่เกิดผลกระทบต่อร่างกายรุนแรงอย่างถาวร



ภาพที่ 38 แสดงผลประเมินการกระจายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในกรณีการรั่วไหลแบบ Instantanous โดยสมการ Heavy Gas Dispersion มีค่า TEEL เป็นตัวกำหนด



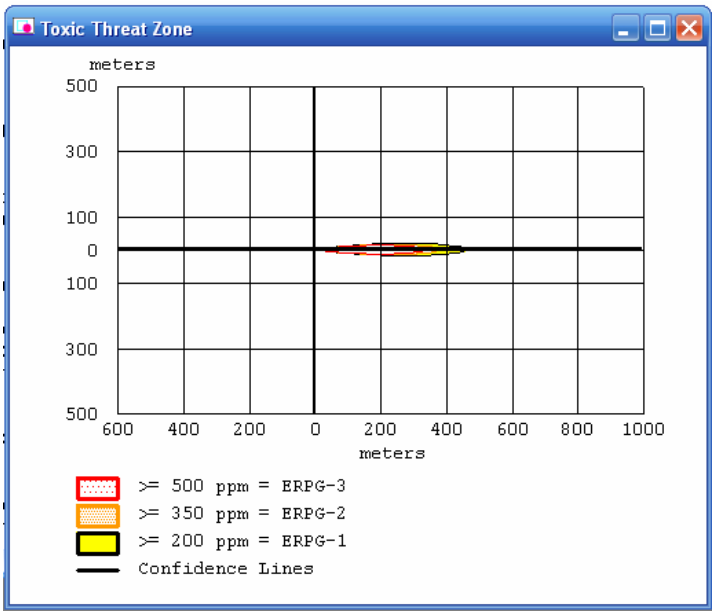
ภาพที่ 39 รัศมีการกระจายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในกรณีการรั่วไหลแบบ Instantanous โดยสมการ Heavy Gas Dispersion มีค่า IDLH, TLV-TWA, PEL-TWA เป็นตัวกำหนด

สำหรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โปรแกรมไม่สามารถแสดงออกมาเป็นภาพรัศมีการกระจายตัวในส่วนของค่ากำหนด TEEL ได้ เนื่องจากระดับความเข้มข้นที่กำหนดอยู่ในระยะห่างจากจุดรั่วไหลเพียงเล็กน้อย เมื่อให้ ALOHA เลือกสมการที่เหมาะสมในการคำนวณเอง พบว่าโปรแกรมเลือกใช้ Heavy Gas Dispersion เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความหนาแน่นมากกว่าอากาศ จึงทำให้เกิดการลอยตัวต่ำกว่าอากาศ โปรแกรมจึงเลือกใช้ตามลักษณะสมการของ Heavy Gas Dispersion

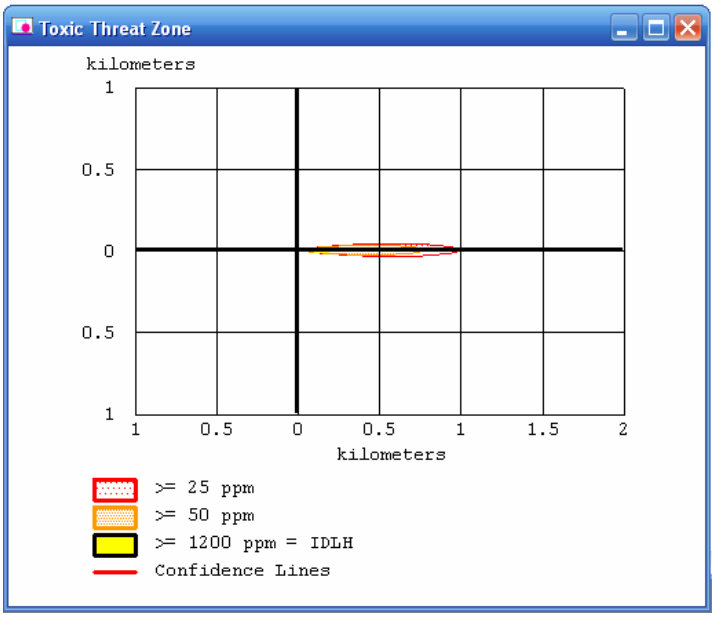
ภาพที่ 38 และ 39 เป็นการแสดงผลประเมินการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีการรั่วไหลแบบ Instanteneous โดยใช้สมการของ Heavy Gas Dispersion ในการดูรูปแบบการกระจายตัวโดย ALOHA โดยสามารถสรุปความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ณ จุดต่าง ๆ จากจุดรั่วไหล และผลกระทบที่ได้รับ ได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลกระทบจากความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากจุดรั่วไหลที่ระยะต่าง ๆ โดยสมการ Heavy Gas Dispersion

ค่าผลกระทบ	ระดับความเข้มข้นของก๊าซ (ppm)	ระยะจากจุดเกิดเหตุ (เมตร)
TEEL – 1	30000	17
TEEL – 2	30000	17
TEEL – 3	40000	13
IDLH	40000	13
TLV-TWA	5000	48
PEL-TWA	5000	48



ภาพที่ 40 รัศมีการกระจายของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ในกรณีการรั่วไหลแบบ Instantanous โดยสมการ Gaussian Gas Dispersion มีค่า ERPG เป็นตัวกำหนด



ภาพที่ 41 รัศมีการกระจายของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ในกรณีการรั่วไหลแบบ Instantanous โดยสมการ Gaussian Gas Dispersion โดยค่า IDLH, TLV-TWA, PEL-TWA เป็นตัวกำหนด

สำหรับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เมื่อให้ ALOHA เลือกสมการที่เหมาะสมในการคำนวณเอง พบว่าโปรแกรมเลือกใช้ Guassian Gas Dispersion เนื่องจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศ จึงทำให้เกิดการลอยตัวขึ้น โปรแกรมจึงเลือกใช้ตามลักษณะสมการของ Guassian Gas Dispersion

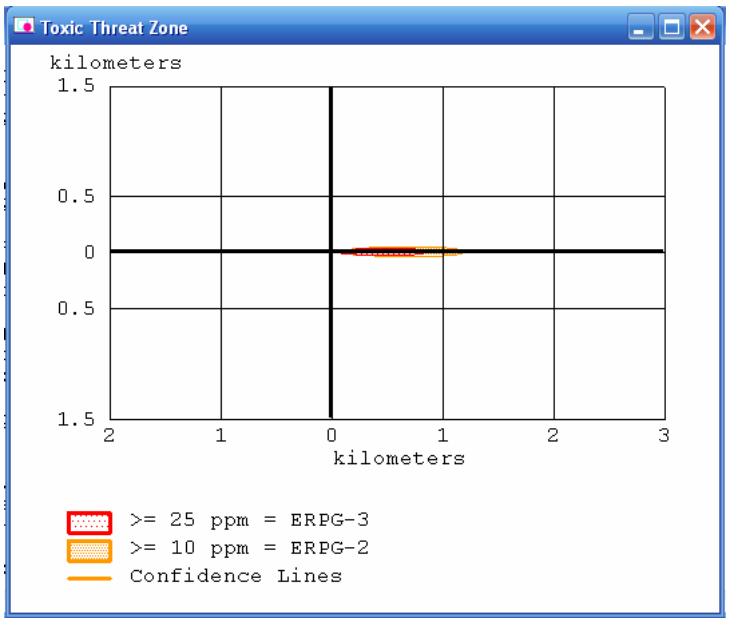
ภาพที่ 40 และ 41 เป็นการแสดงผลประเมินการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในกรณีการรั่วไหลแบบ Instanteneous โดยใช้สมการของ Guassian Gas Dispersion ในการดูรูปแบบการกระจายตัวโดย ALOHA โดยสามารถสรุปความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ณ จุดต่าง ๆ จากจุดรั่วไหล และผลกระทบที่ได้รับ ได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลกระทบจากความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ จากจุดรั่วไหลที่ระยะต่าง ๆ โดยสมการ Gaussian Gas Dispersion

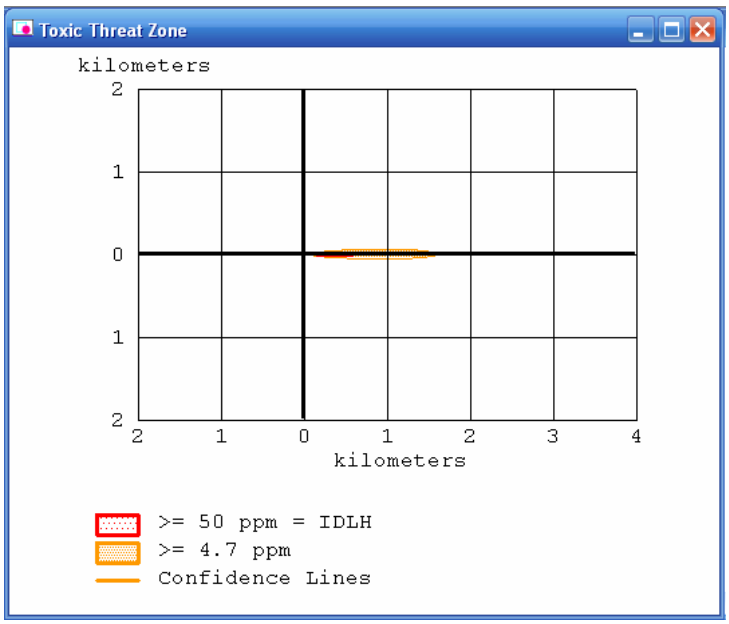
ค่าผลกระทบ	ระดับความเข้มข้นของก๊าซ (ppm)	ระยะจากจุดเกิดเหตุ (เมตร)
IDLH	1200	243
ERPG – 1	500	462
ERPG – 2	350	378
ERPG – 3	200	333
TLV-TWA	25	986
PEL-TWA	50	763

เมื่อนำการกระจายตัวในภาพที่ 40 กำหนดลงไปในแผนที่อ้างอิงจุดเกิดรั่วไหลที่บริษัท S ในพื้นที่จริงเพื่อจำลองสภาพการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยใช้โปรแกรม Marplot 3.3.2 จะได้ดังภาพที่ 42

ภาพที่ 42 แสดงการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ตามภาพที่ 40 ในแผนที่จังหวัดสมุทรปราการ



ภาพที่ 43 รัศมีการกระจายของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ในกรณีการรั่วไหลแบบ Instantanous โดยสมการ Gaussian Gas Dispersion มีค่า ERPG เป็นตัวกำหนด



ภาพที่ 44 รัศมีการกระจายของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ในกรณีการรั่วไหลแบบ Instantanous โดยสมการ Gaussian Gas Dispersion โดยค่า IDLH, TLV-C เป็นตัวกำหนด

สำหรับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ เมื่อให้ ALOHA เลือกสมการที่เหมาะสมในการคำนวณเอง พบว่าโปรแกรมเลือกใช้ Guassian Gas Dispersion เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์มีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศ จึงทำให้เกิดการลอยตัวขึ้น โปรแกรมจึงเลือกใช้ตามลักษณะสมการของ Guassian Gas Dispersion

ภาพที่ 43 และ 44 เป็นการแสดงผลประเมินการกระจายตัวของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในกรณีการรั่วไหลแบบ Instanteneous โดยใช้สมการของ Guassian Gas Dispersion ในการดูรูปแบบการกระจายตัวโดย ALOHA โดยสามารถสรุปความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ณ จุดต่าง ๆ จากจุดรั่วไหล และผลกระทบที่ได้รับ ได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลกระทบจากความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ จากจุดรั่วไหลที่ระยะต่าง ๆ โดยสมการ Gaussian Gas Dispersion

ค่าผลกระทบ	ระดับความเข้มข้นของก๊าซ (ppm)	ระยะจากจุดเกิดเหตุ (เมตร)
IDLH	50	663
ERPG – 1	-	-
ERPG – 2	10	1200
ERPG – 3	25	854
TLV-C	4.7	1600

เมื่อนำการกระจายตัวในภาพที่ 43 กำหนดลงไปในแผนที่อ้างอิงจุดเกิดรั่วไหลที่บริษัท S ในพื้นที่จริงเพื่อจำลองสภาพการกระจายตัวของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ โดยใช้โปรแกรม Marplot 3.3.2 จะได้ดังภาพที่ 45

ภาพที่ 45 แสดงการกระจายตัวของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ตามภาพที่ 43 ในแผนที่จังหวัดสมุทรปราการ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือ การศึกษาผลกระทบจากการระเบิดของสารไนโตรเซลลูโลส ซึ่งใช้เป็นสารเคมีหลักในการผลิตยุทโธปกรณ์ทางทหาร และได้มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมบางประเภทได้แก่ อุตสาหกรรมสี อุปกรณ์เคลือบผิวรถยนต์ เป็นต้น ดังนั้นการจัดเก็บสารเคมีชนิดนี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากความสามารถในการระเบิดของสาร และการประเมินเกี่ยวกับการระเบิดของสารจะทำให้ทราบถึงความสำคัญที่จะต้องดำเนินการป้องกันและควบคุม

1. การศึกษากรณีการระเบิด

โดยการเปรียบเทียบกับการระเบิดของ TNT (TNT Equivalent) พบว่าที่ระยะ 1,000 เมตรขึ้นไป จากจุดเกิดเหตุหรือสถานที่จัดเก็บ ค่าพลังงาน Overpressure และความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าในระยะจากจุดเกิดเหตุถึง 70 เมตร โครงสร้างอาคาร เครื่องจักรหนัก องค์ประกอบในโครงสร้างถูกทำลาย ในระยะที่ห่างจากจุดเกิดเหตุ 150 เมตร จะสามารถทำลายระบบโครงสร้างของบ้านเรือนประมาณ 50% ในระยะห่างจากจุดเกิดเหตุ 700 เมตรจะสามารถทำลายโครงสร้างของบ้านเรือนได้เล็กน้อย ในระยะห่างจากจุดเกิดเหตุ 1,000 เมตรถือเป็นระยะที่ปลอดภัย โดย 95% ไม่ได้รับผลกระทบรุนแรง หรือได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อย หรือจะได้รับผลกระทบอยู่ในระดับไม่เป็นอันตรายต่อโครงสร้างอาคาร (Safety Distance) ส่วนระยะที่จะได้รับผลกระทบจากแรงดันจากการระเบิดน้อยมาก หรือเป็นเพียงระดับคลื่นเสียงรบกวนจะอยู่ที่ระยะ 20,000 เมตรขึ้นไป จากจุดเกิดเหตุหรือสถานที่จัดเก็บ

2. การประเมินผลกระทบจากสารมลพิษที่ได้

จากการระเบิดของสารไนโตรเซลลูโลส โดยมลพิษหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการระเบิดที่นำมาพิจารณาคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์นั้น จะให้ผลกระทบต่อสุขภาพ ร่างกายของผู้รับสัมผัสสาร หรือมีความเป็นอันตรายต่อผู้รับสัมผัสสูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การประเมินโดยใช้โปรแกรม ALOHA ทำนายเกี่ยว

กับการฟุ้งกระจายของสารเคมีในระยะตามแนวระนาบทั้งสองชนิดพบว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ (IDLH) คือระดับความเข้มข้นที่ 40,000 ppm อยู่ที่ระยะห่างจากจุดเกิดเหตุ 13 เมตร ส่วนก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ (IDLH) คือระดับความเข้มข้นที่ 1,200 ppm อยู่ที่ระยะห่างจากจุดเกิดเหตุ 243 เมตร และก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ (IDLH) คือระดับความเข้มข้นที่ 50 ppm อยู่ที่ระยะห่างจากจุดเกิดเหตุ 663 เมตร โดยพิจารณาในหลักการของ Guassian Gas Dispersion นั่นคือก๊าซมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศ จะมีการลอยตัวขึ้น และ Heavy Gas Dispersion นั่นคือก๊าซมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศ จะลอยตัวต่ำลง

การศึกษาในมิติผลกระทบจากการระเบิดนั้นจะทำให้เห็นถึงความสำคัญเกี่ยวกับสถานที่ในการจัดเก็บสารได้แก่ ที่ตั้ง ระยะห่างของพื้นที่ใกล้เคียง และการจัดเก็บเพื่อป้องกันปัจจัยที่อาจส่งผลให้เกิดการระเบิดได้ของสาร ส่วนการประเมินการฟุ้งกระจายของมลสารจะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและชุมชน ตลอดจนแนวทางในการเตรียมการอพยพพื้นที่ใกล้เคียงจากจุดเกิดเหตุ โดยจากภาพที่ 42 และ 45 ซึ่งเป็นการแสดงผลกระทบจากการฟุ้งกระจายโดยโปรแกรม ALOHA ลงในแผนที่จริง ซึ่งสมมติเหตุการณ์เกิดที่บริษัท S พื้นที่ตั้งอยู่จังหวัดสมุทรปราการ จะพบว่าการฟุ้งกระจายจะส่งผลกระทบต่อชุมชนใกล้เคียง ได้แก่ ชุมชนวัดสวนส้ม ในโปรแกรม ALOHA โปรแกรมจะแสดงการรั่วไหลภายในเวลา 1 นาที ดังนั้นจะเห็นการฟุ้งกระจายตามระยะทางที่ได้ข้างต้น ทิศทางในการฟุ้งกระจายจะสามารถช่วยในการพิจารณาแนวทางหรือทิศทางในการอพยพประชาชนในพื้นที่ที่จะได้รับผลกระทบได้ โดยโปรแกรม ALOHA เป็นเพียงการทำนายลักษณะการฟุ้งกระจาย และระดับความเข้มข้นของสารที่ได้รับในรัศมีการกระจายตัวเท่านั้น

ข้อเสนอแนะ

1. การป้องกันเชิงรุก

เป็นการป้องกันในลักษณะก่อนเกิดเหตุหรือ Proactive โดยมุ่งเน้นในการลดความเสี่ยง หรือลดปัจจัยอันอาจก่อให้เกิดเหตุได้ก่อน โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1.1 การเพิ่มมาตรการเกี่ยวกับข้อกำหนดในการจัดทำสถานที่จัดเก็บและการจัดเก็บสำหรับสารไนโตรเซลลโลสที่ใช้ในสถานประกอบการ หรืออุตสาหกรรม ที่ไม่ได้เป็นการผลิตวัตถุระเบิด หรืออาวุธ ซึ่งเมื่อดูจากการศึกษาการระเบิดของสารไนโตรเซลลูโลสจะพบว่ามีรัศมีในการระเบิด (สำหรับแรงดันจากการระเบิด) ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ในรัศมีกว้าง ดังนั้นในการจัดทำข้อกำหนดต้องพิจารณาถึงผลกระทบดังกล่าวด้วย ได้แก่

1.1.1 ลักษณะของอาคารที่จัดเก็บที่ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ ให้อยู่ในระดับต่ำกว่าจุดวาบไฟของสาร มีการระบายอากาศที่ดี เพื่อป้องกันการสะสมความร้อนของสาร และมีการจัดตั้งในสถานที่ที่มีระยะห่างจากแหล่งสะสมความร้อน แหล่งที่ก่อให้เกิดประกายไฟ และบริเวณพื้นที่เขตชุมชน

1.1.2 ปริมาณของสารที่จัดเก็บ ซึ่งมีผลต่ออานุภาพกรณีเกิดเหตุระเบิดและโอกาสที่อาจเกิดเหตุได้ เนื่องจากสารที่มีการจัดเก็บในปริมาณมาก การทับถมกันของสารจะทำให้เกิดการสะสมความร้อนในตัวเองได้ หรือในกรณีที่ต้องจัดเก็บในปริมาณมากควรแบ่งจัดเก็บเป็นส่วน ๆ หรือแยกภาชนะบรรจุ

1.2 การจัดเก็บสารในภาชนะควรจัดเก็บ โดยให้สารอยู่ในลักษณะที่มีสารทำให้เปียก เช่น แอลกอฮอล์ เพื่อให้สารไม่อยู่ในรูปฝุ่นหรือผงแห้ง เนื่องจากหากสารอยู่ในรูปนี้จะทำให้เกิดการสะสมความร้อนและการเสียดสีกันได้มากขึ้น ในกรณีที่มีการใส่สารจำพวกแอลกอฮอล์รวมอยู่ด้วย ต้องเพิ่มมาตรการในการกลับภาชนะเพื่อป้องกันไม่ให้สารที่อยู่บนผิวหน้าเกิดแห้งและอยู่ในสภาพฝุ่น ผง

1.3 การจัดลำดับการใช้สารก่อนหลัง (First in first out) และการใช้อุปกรณ์ที่เป็นลักษณะการป้องกันการเกิดประกายไฟในการใช้งานกับสารไนโตรเซลลูโลส

2. การป้องกันเชิงรับ

2.1 เป็นการป้องกันเพื่อรองรับการเกิดเหตุ ซึ่งเป็นการป้องกันจากการประเมินสถานการณ์แล้วว่า หากเกิดเหตุขึ้นจะส่งผลกระทบเสียหายอย่างไรบ้าง เพื่อป้องกันการเกิดผลกระทบเหล่านั้น หรือเพื่อผลกระทบเหล่านั้นมีความรุนแรงน้อยลง ได้แก่

2.2 การจัดทำระบบกำแพงป้องกันการระเบิดตามระยะทาง เช่น การจัดทำแนวกำแพงป้องกันของทหาร ซึ่งต้องศึกษาเพิ่มเติมในข้อกำหนดของกำแพงในการรับแรงระเบิดทั้งจากแนวทางในประเทศไทยและการศึกษาข้อมูลจากต่างประเทศ

2.3 การติดตั้งระบบระบายอากาศเพิ่มเติม หรือการระบายความร้อนในสถานที่จัดเก็บที่มีอยู่ เช่น การติดตั้งหัวจ่ายน้ำสเปรย์บริเวณหลังคา การติดตั้งเครื่อง Evaporator เพื่อช่วยในการแลกเปลี่ยนความร้อน

2.4 การออกแบบสถานการณ์ หรือจำลองสถานการณ์เกิดเหตุ เพื่อจัดแนวทางในการอพยพ ซึ่งจากการศึกษาจะพบว่า กรณีที่เกิดการระเบิดจะส่งผลรุนแรงดังนั้นการป้องกันไม่ให้เกิดปัจจัยเสี่ยงต่อการระเบิดจึงมีความสำคัญอย่างมาก แต่ในกรณีที่เกิดการลุกไหม้จากการใช้งาน หรือในลักษณะเป็นสารผสมก็จะพบว่า สารไนโตรเซลลูโลสนั้นเมื่อเผาไหม้จะสลายตัวได้สารพิษในปริมาณค่อนข้างมาก (จากโครงสร้างโมเลกุล) ควันพิษที่ได้จากการเผาไหม้จะเกิดการฟุ้งกระจายไปยังพื้นที่ข้างเคียงและอาจส่งผลกระทบต่อผู้ได้รับสาร จึงควรมีการกำหนดแนวทางในการอพยพผู้คนในบริเวณใกล้เคียง โดยดูจากทิศทางลม และจากโปรแกรมช่วยในการประเมิน

2.5 การจัดทำมาตรการเฝ้าระวังในสถานที่จัดเก็บ เช่น การตรวจเช็คอุณหภูมิทุกวัน หรือการเพิ่มการระบายความร้อนในช่วงหน้าร้อน การติดตั้งกรวยลมเพื่อดูทิศทางลม เป็นต้น

ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ข้างต้นควรมีการพิจารณาตั้งแต่ระดับภาครัฐ ซึ่งเป็นผู้ออกกฎหมายและข้อกำหนดต่าง ๆ ไปจนถึงสถานประกอบการ และผู้ปฏิบัติงาน ตลอดจนชุมชนข้างเคียงสถานประกอบการ เนื่องจากปัจจุบันสารชนิดนี้ต้องมีการขออนุญาตในการนำเข้าครอบครองหรือผลิต ต่อกระทรวงกลาโหม ซึ่งเป็นการควบคุมเพื่อป้องกันในการจัดทำยุทธภัณฑ์เป็นหลัก แต่ยังไม่พบข้อกำหนดที่ชัดเจนเกี่ยวกับสถานที่จัดเก็บ