

การตรวจเอกสาร

ในการวิจัยได้ทบทวนเอกสาร รวมทั้งการทบทวนวรรณกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นพื้นฐานความรู้และใช้ในการอ้างอิง โดยในส่วนของ การทบทวนวรรณกรรมได้ทำการแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เจษฎา (2544) ได้ศึกษาปฏิบัติการสลายตัวของสารไนโตรเซลลูโลสเนื่องจากภารกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของศูนย์วิทยาศาสตร์และพัฒนาอวกาศกองทัพอากาศ คือการวิจัยและพัฒนาอากาศยานที่ซึ่งต้องปฏิบัติงานเกี่ยวกับกระสุน วัตถุระเบิด จึงได้ติดตามสถานการณ์อย่างใกล้ชิด และศึกษาข้อมูลเทคนิคในเรื่องอุบัติเหตุเกี่ยวกับกระสุน วัตถุระเบิดและแนวทางป้องกันเพื่อมิให้เกิดขึ้นในทหารอากาศ ซึ่งศูนย์วิทยาศาสตร์และพัฒนาอวกาศกองทัพอากาศ ได้จัดทำทศวรรษประกอบการประชุมทางวิชาการเรื่อง “วัตถุระเบิดกับความปลอดภัย” เมื่อ 2 ส.ค. 2544 ณ ห้องประชุมสรรพาวุธทหารอากาศ ซึ่งบทความนี้น่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้เกี่ยวข้องในส่วนที่เกี่ยวข้องกับอุบัติเหตุมาเสนอไว้ในที่นี้

ตามที่ทราบกันคืออยู่แล้ววัตถุระเบิดอาจจุดตัวเองขึ้นได้ เมื่อได้รับการกระตุ้นในลักษณะต่าง ๆ เช่น ถูกกระแทก หรือเสียดสี ถูกประกายไฟ ได้รับความร้อน ได้รับความชื้น และเมื่อนำวัตถุระเบิด มาบรรจุในกระสุน หรืออุปกรณ์อื่น ๆ แล้วหากอุปกรณ์นั้นอาศัยการจุดตัวด้วยระบบไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ก็ต้องเพิ่มความระมัดระวังในเรื่องของอันตรายจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอีกด้วย ในที่นี้จะขอกล่าวถึงหลักการทางวิชาการเกี่ยวกับความปลอดภัยของกระสุนวัตถุระเบิดในเรื่องที่มีผลกระทบต่อการรักษากระสุนวัตถุระเบิดมากที่สุด คือ ผลที่เกิดจากอุณหภูมิ การลุกไหม้หรือ ระเบิดทันที เนื่องจากวัตถุระเบิดได้รับความร้อนจนถึง อุณหภูมิจุดระเบิด อาจเกิดขึ้นในกรณีเกิดเพลิงไหม้ หรือบางกรณีอาจเกิดขึ้นจากการสะสมความร้อนที่ละน้อย โดยความร้อนเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากการเสื่อมสภาพของเนื้อวัตถุระเบิดนั่นเอง โดยปกติอุณหภูมิจุดระเบิดของวัตถุระเบิดที่มีการใช้ทางทหารจะมีค่าค่อนข้างสูง ดังตัวอย่างในตารางที่ 1 แต่ทั้งนี้ค่าอุณหภูมิดังแสดงมิได้หมายความว่า จะประมาทกับวัตถุระเบิดเหล่านี้ได้ เนื่องจากในทางปฏิบัติอาจ

เกิดอุณหภูมิสูงเป็นจุดเล็ก ๆ ชั่วขณะได้ง่าย เช่น เมื่อทำให้โลหะกระทบกันโดยแรงจนเกิดประกายไฟ อุณหภูมิของประกายไฟนั้นอยู่ในย่านของพันธองศา ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงเพียงพอที่จะจุดวัตถุระเบิดต่าง ๆ ได้โดยง่าย

ตารางที่ 1 แสดงอุณหภูมิจุดระเบิดของวัตถุระเบิดที่มีการใช้ทางทหาร

วัตถุระเบิด	อุณหภูมิจุดระเบิด (°C)
TNT	475
RDX	260
Composition B	278
Tritonal	470
Composition C-4	290
ไนโตรกลีเซอริน	222
ไนโตรเซลลูโลส	230
ดินดำ	427

ที่มา: เจษฎา (2544)

ดินส่งกระสุน และดินขั้วจรวดที่มีไนโตรเซลลูโลสเป็นส่วนผสมมีคุณลักษณะพิเศษคือ จะเกิดปฏิกิริยาเคมีเสื่อมสภาพในลักษณะที่สะสมความร้อน จนทำให้เกิดอันตรายจากการจุดตัวเอง และปฏิกิริยาเคมีนี้เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิการเก็บรักษาผลของอุณหภูมิต่อวัตถุระเบิดประเภทนี้ จึงเป็นสิ่งที่ควรศึกษาให้เกิดความเข้าใจอย่างถ่องแท้ สารไนโตรเซลลูโลสเป็นสารเคมีที่ทำปฏิกิริยาสลายตัวเองอยู่ตลอดเวลา โดยที่ในการสลายตัวนั้นจะคายความร้อนออกมา และเกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมสลายของไนโตรเซลลูโลสนั้นเองด้วย การผลิตดินส่งกระสุน (Smokeless Powder) และดินขั้วจรวดจึงจำเป็นต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิดลงไปในเรื่องดินส่งหรือดินขั้ว เพื่อทำหน้าที่เป็นสารให้ความถาวร (Stabilizer) โดยทำหน้าที่จับก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดขึ้น ไม่ให้ไปเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมสลายตัว และแม้จะเติมสารให้ความถาวรดังกล่าวแล้ว ปฏิกิริยาการเสื่อมสลายก็ยังคงดำเนินไปและสารให้ความถาวรที่เติมไว้ก็หมดไปเรื่อย ๆ จนถึงวันหนึ่ง สารให้ความถาวรจะมีเหลือไม่เพียงพอที่จะจับก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ได้ต่อไปอีก การสลายตัวของไนโตรเซลลูโลสก็จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงต้องพิจารณาอย่างรอบคอบเมื่อจะเก็บดินส่งหรือดินขั้วที่เหลือจากการผลิตไว้เป็นเวลานาน

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเกิดปฏิกิริยากับอุณหภูมิ ปฏิกิริยาการสลายตัวของ ไนโตรเซลลูโลสมีลักษณะเช่นเดียวกับปฏิกิริยาเคมีทั่วไปคือ จะเกิดเร็วที่อุณหภูมิสูงและจะเกิดช้าที่อุณหภูมิต่ำ ดินส่งกระสุนหรือดินขับจรวดจึงเสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติหากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิสูง ได้มีการศึกษากันแล้วอย่างกว้างขวาง เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความเร็วในการเกิดปฏิกิริยา และสามารถเขียนในรูปสูตรทางคณิตศาสตร์ได้ จึงสามารถคำนวณเทียบอายุการเก็บรักษา โดยประมาณของดินส่งหรือดินขับที่เก็บไว้ในที่ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่าง ๆ ได้ การควบคุมอุณหภูมิของคลังให้เป็นไปตามระเบียบปฏิบัติที่เกี่ยวข้อง จึงช่วยป้องกันมิให้กระสุนวัตถุระเบิดเสื่อมสภาพเร็วกว่าเวลาอันสมควร สิ่งที่น่าสังเกตประการหนึ่งคือ ในสภาพอากาศร้อนของประเทศไทย มีโอกาสที่อุณหภูมิจะขึ้นสูงมากถึงประมาณ 43 องศาเซลเซียส และผลของแสงอาทิตย์อาจทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ถึงประมาณ 63 องศาเซลเซียส ซึ่งในสภาพเช่นนี้การเสื่อมของดินส่งกระสุนอาจเกิดขึ้นได้เร็วแม้จะมีการตรวจวัดความถาวรของดินส่งกระสุนแล้วผ่านเกณฑ์ก็ตาม ดินส่งกระสุนนั้น ๆ อาจเสื่อมจนเกิดอันตรายได้ก่อนจะถึงวงรอบการตรวจความถาวรครั้งต่อไป เมื่อไนโตรเซลลูโลสในดินส่งกระสุนเกิดปฏิกิริยา สลายตัวคายความร้อนออกมา หากความร้อนระบายออกไปไม่ทันอุณหภูมิของดินส่งกระสุนก็จะเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้นและคายความร้อนออกเร็วขึ้นอีก เร่งตัวเองมากขึ้นไปเรื่อย ๆ จนอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึงอุณหภูมิจุดระเบิด เป็นผลให้ดินส่งกระสุนเกิดการลุกไหม้ในที่สุด

การสะสมความร้อนนี้อาจเกิดขึ้นเป็นเวลานาน อุณหภูมิของดินส่งกระสุนที่อยู่ในคลังอาจมีค่าสูง แม้ในขณะที่ภายนอกคลังจะอากาศเย็นก็ตาม ดังเช่นในกรณีคลังเก็บกระสุนวัตถุระเบิดที่ประเทศฟินแลนด์ ความร้อนจากปฏิกิริยาสะสมจนอุณหภูมิภายในคลังสูงถึง 60 องศาเซลเซียส แม้ว่าจะเป็นประเทศหนาว การระเบิดประเภทนี้จึงอาจเกิดขึ้นได้แม้ในเวลากลางคืนที่อากาศภายนอกได้เย็นลงแล้ว หากอุณหภูมิที่เก็บรักษาดินส่งกระสุน (หรือวัตถุระเบิดอื่น) มีค่าต่ำกว่าค่าหนึ่งซึ่งมักเรียกว่า “อุณหภูมิวิกฤต” (Critical Temperature) ปฏิกิริยาการสลายตัวเกิดได้ช้าจนความร้อนที่คายออกมาจากการทำปฏิกิริยาถูกระบายออกไปได้ทัน เป็นผลให้อุณหภูมิไม่เพิ่มขึ้นและไม่สามารถเกิดการจุดตัวเองได้ แต่ทั้งนี้ “อุณหภูมิวิกฤต” มิได้เป็นค่าคงที่สำหรับวัตถุระเบิดแต่ละชนิด หากแต่ขึ้นอยู่กับความสามารถในการระบายความร้อนของภาชนะที่บรรจุดินส่งกระสุน (หรือวัตถุระเบิดอื่น) นั้นด้วย

ความสำคัญของขนาดภาชนะที่บรรจุปริมาณของดินส่งกระสุน ที่บรรจุในภาชนะ รวมถึงขนาดของภาชนะมีผลอย่างมากต่อการระบายความร้อนออกจากภาชนะนั้น ทั้งนี้เนื่องจากการระบายความร้อนออกจะเกิดขึ้นได้ที่ผิวนอกเท่านั้น ภาชนะที่มีขนาดใหญ่บรรจุดินส่งกระสุน

ปริมาณมากใบเดียว จะมีพื้นที่ผิวระบายความร้อนน้อยกว่าภาชนะขนาดเล็กลายใบที่บรรจุดินส่ง กระสุนรวมเป็นปริมาณเท่ากัน (ตัวอย่างลักษณะการระบายความร้อนเช่นนี้อาจเห็นได้ในชีวิตประจำวัน เช่น การที่คนอ้วนมักรู้สึกร้อนง่ายกว่าคนผอม เป็นต้น) ดังนั้นดินส่งกระสุนที่เก็บรวมกันเป็นปริมาณมากในถังขนาดใหญ่ จึงระบายความร้อนจากปฏิกิริยาการสลายตัวออกได้ไม่ดี เป็นผลให้มีโอกาสสะสมความร้อนจนถึงขั้นจุดตัวเองได้ มากกว่าดินส่งที่แยกบรรจุลงในปลอกกระสุนแล้ว ในกรณีนี้ความร้อนที่เกิดขึ้นระบายออกไปได้ง่ายผ่านผนังปลอกกระสุนที่เป็นโลหะ นำความร้อนได้ดี การเก็บดินส่งกระสุนหรือวัตถุระเบิดอื่นจึงต้องคำนึงถึง ขนาดของภาชนะที่เหมาะสม โดยปฏิบัติตามระเบียบปฏิบัติที่เกี่ยวข้องอย่างเคร่งครัด การจัดวางภาชนะบรรจุวัตถุระเบิดให้มีช่องว่าง เพื่อให้อากาศถ่ายเทได้และการใช้ถาดรอง (Drainage) รองใต้ภาชนะ ก็จะช่วยให้ภาชนะเหล่านั้น มีการระบายความร้อนได้ดียิ่งขึ้น ลดอันตรายจากการสะสมความร้อนลงไปได้

ลูกิต (2548) ได้ทำการประยุกต์ใช้โปรแกรมออลฮา เพื่อประเมินความเสี่ยงภัยสำหรับกรณีเหตุการณ์สารคลอรีนเหลวรั่วไหล กับกรณีศึกษา 2 แบบ คือ แหล่งอยู่กับที่ และแหล่งเคลื่อนที่ ซึ่งแหล่งอยู่กับที่ได้กำหนดสถานการณ์จำลองการรั่วไหลจากถังเก็บขนาดใหญ่สำหรับโรงงานผลิตสารเคมี บริเวณนิคมอุตสาหกรรมบางปู ทำให้สามารถทราบถึงขอบเขตและผลกระทบ โดยถังเก็บสารคลอรีนที่ใช้เป็นต้นแบบการประเมินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เมตร สูง 10 เมตร สามารถบรรจุได้ 283 ตัน มีสารคลอรีนบรรจุอยู่ 20 ตัน (50% ของปริมาตรบรรจุ) โดยมีการรั่วไหลจากถังเก็บมีรูรั่วขนาดกว้าง 0.5 นิ้ว ยาว 1 นิ้ว รอยรั่วสูงจากระดับพื้นดินเท่ากับ 50 เซนติเมตร ทำให้มีปริมาณการรั่วไหลทั้งหมดเท่ากับ 2,595 กิโลกรัม ลักษณะการรั่วไหลมี 2 ลักษณะ ทั้งก๊าซระเหยและของเหลว โดยกำหนดความหนาแน่นของประชากรภายในบริเวณโดยรอบเท่ากับ 200 คนต่อ 1 ตารางกิโลเมตร เมื่อนำมาแปรผลโดยหลักสถิติจะพบว่าขอบเขตผลกระทบเท่ากับ 10.179 ตารางกิโลเมตร ผู้คนที่อาจได้รับผลกระทบเท่ากับ 2,036 คน เมื่อติดตั้งระบบ Safety Scrubber จะสามารถลดขอบเขตผลกระทบลงเหลือเท่ากับ 0.19 ตารางกิโลเมตร โดยผู้ที่อาจได้รับผลกระทบเท่ากับ 38 คน ซึ่งสามารถลดความรุนแรงลงได้มากกว่า 98% สำหรับแหล่งเคลื่อนที่ ใช้กับกรณีสารคลอรีนรั่วไหลบนทางด่วนช่วงทางแยกบ่อนไก่ จากด้านบางนามุ่งสู่ถนนสาธุประดิษฐ์ เนื่องจากเป็นช่วงโค้งและมีการจราจรหนาแน่น โดยสถานการณ์จำลองได้กำหนดให้รถบรรทุกสารคลอรีนเกิดพลิกคว่ำ สารคลอรีนรั่วไหลออกมาในลักษณะเจ็ทของบนผิวทางด่วน ช่วงการจราจรหนาแน่น การประเมินด้วยโปรแกรมออลฮาพบว่าอาจมีผู้ได้รับบาดเจ็บถึง 581 คน เนื่องจากไม่สามารถออกจากบริเวณจุดเกิดเหตุได้ทัน และไม่มีช่องทางให้รถฉุกเฉินเข้ามา

สถานการณ์ได้อย่างรวดเร็ว จึงควรศึกษาสร้างทางเข้าออกฉุกเฉินเพิ่มเติมสำหรับรถกู้ภัยบนทางด่วน รวมทั้งเส้นทางอพยพสำหรับผู้ใช้งานเส้นทางบนทางด่วนเพิ่มเติม

แดน (2548) ได้ทำการศึกษาและประเมินผลกระทบจากความรุนแรงของเหตุเพลิงไหม้ถึงน้ำมันในคลังน้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้เครื่องมือในการประเมินคือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ “Shell FRED” ในการศึกษาผลกระทบจากการระเบิดและการแผ่รังสีความร้อน และแบบจำลอง “ALOFT-FT” ศึกษาผลกระทบจากการกระจายตัวของควัน โดยมีสภาพแวดล้อมที่วิจัยคือ อุณหภูมิ 29.2 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.4 เมตรต่อวินาที และความชื้นสัมพัทธ์ 65.5% พบว่าผลกระทบจากการระเบิดของถังน้ำมันเบนซินที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.45 เมตร สูง 16.38 เมตร ในระยะ 40 เมตร คือ มีโอกาสที่พนักงานจะได้รับความบาดเจ็บจากแรงระเบิด 98.86% และมีโอกาสทำความเสียหายต่อกระจกและหน้าต่าง 100% ส่วนผลกระทบจากการแผ่รังสีความร้อน ให้พนักงานที่อยู่ห่างจากถัง 40 เมตร และสามารถหลบหนีออกมาด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อวินาทีจะไม่เกิดผลกระทบต่อพนักงานดังกล่าว และไม่พบผลกระทบจากการกระจายตัวของควันไฟจากเหตุเพลิงไหม้ถึงน้ำมันดีเซลขนาด 29.18 เมตร สูง 16.38 เมตร ต่อบ้านเรือนประชาชนที่อยู่ในระดับพื้นดินตั้งแต่ระยะ 50 เมตร ไปถึงระยะ 5,000 เมตร ตามทิศทางใต้ลม ทั้งนี้พบว่าระยะปลอดภัยจากแรงระเบิดที่เหมาะสมจากการวิจัยคือ 385.5 เมตร จากถังน้ำมันเบนซินที่เกิดการระเบิด

นิริวัฒน์ (2548) ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อคำนวณการแพร่กระจายของสารเคมี โดยใช้เส้นชั้นความเสี่ยง จากอุบัติภัยจากกระบวนการในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีนั้น สามารถก่อให้เกิดผลกระทบและความสูญเสียได้ในวงกว้าง การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณจึงเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการบ่งชี้อันตรายและระดับผลกระทบของเหตุการณ์ แต่การประเมินต้องอาศัยแรงงานคน และเวลาเป็นจำนวนมาก เนื่องจากความซับซ้อนของเหตุการณ์และกระบวนการประเมิน ดังนั้นเพื่อช่วยในการบริหารและจัดการความเสี่ยง การใช้คอมพิวเตอร์ในการประเมินและสร้างแบบจำลองผลกระทบที่เกิดขึ้น จะช่วยลดระยะเวลาของการประเมินและสามารถนำเสนอขอบเขตของผลกระทบได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โปรแกรม Simplified Individual Risk Contour (SIMIRC) ถูกพัฒนาขึ้นจากภาษา Visual Basic เพื่อช่วยในการประเมินเหตุการณ์การรั่วไหลของก๊าซพิษ ที่มีการแพร่กระจายแบบ Neutrally Buoyant โปรแกรมจะประกอบ 5 โมดูล คือ โมดูลเพิ่มข้อมูลสารเคมี โมดูลเหตุการณ์จำลอง โมดูลประเมินอัตราการรั่วไหล โมดูลประเมินผลกระทบ และโมดูลเส้นชั้นความเสี่ยง โดยแต่ละโมดูลจะทำหน้าที่เป็นโปรแกรมย่อย ที่มีหน้าที่ในการประเมินอัตราการ

รั้วไหลก๊าซ ประเมินความเข้มข้นก๊าซ และหาขอบเขตผลกระทบของเหตุการณ์ โปรแกรม SIMIRC ได้ทดสอบกับตัวอย่างการคำนวณและกรณีศึกษาที่เคยเกิดขึ้น พบว่า โปรแกรมสามารถคำนวณอัตราการรั้วไหล ความเข้มข้น ณ จุดที่สนใจ และสร้างเส้นชั้นความเสี่ยงได้ไม่แตกต่างกับผลจากตัวอย่างการคำนวณหรือผลจากกรณีศึกษา ผลลัพธ์สุดท้ายของการประเมินจะสามารถแสดงได้ 2 รูปแบบ คือ การบอกเป็นตำแหน่งของบริเวณที่มีระดับความเข้มข้นสูงจนถึงระดับชีวิต โดยจะเก็บผลลัพธ์ในรูปแบบไฟล์ข้อความกับการแสดงผลในรูปแบบของเส้นชั้นความเสี่ยงของผลกระทบ ซึ่งจะนำเส้นชั้นความเสี่ยงนี้วางซ้อนทับกับแผนที่ของจุดที่เกิดการรั้วไหล เพื่อบ่งชี้ขอบเขตของผลกระทบและสามารถกำหนดมาตรการฉุกเฉินและป้องกันที่เหมาะสมได้

จากงานวิจัยและบทความที่เกี่ยวข้องข้างต้นทำให้เห็นว่า ความสามารถที่จะจำลองสถานการณ์ เพื่ออธิบายปรากฏการณ์และผลกระทบจากการเกิดกรณีรั้วไหล หรือการระเบิดจากสารเคมีอันตรายมีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยที่เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพคือ การใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในรูปแบบโปรแกรมสำเร็จรูป เช่น โปรแกรม ALOHA

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

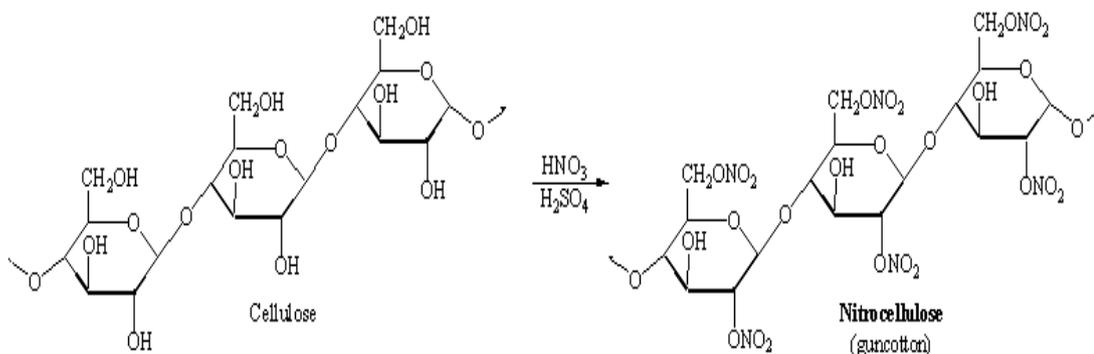
เนื่องจากงานวิจัยนี้จะเกี่ยวข้องกับสารเคมีเฉพาะตัว คือสารไนโตรเซลลูโลส ดังนั้นในส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง จะประกอบไปด้วยข้อมูลที่สำคัญของสารดังกล่าว ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการแพร่กระจายและการระเบิด รวมทั้งโปรแกรมที่จะใช้ในการวิจัย

1. ข้อมูลจำเพาะสารไนโตรเซลลูโลส (Nitrocellulose)

1.1 ข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมี คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

ชื่อทางเคมี	ไนโตรเซลลูโลส (Nitrocellulose)
ชื่อพ้อง	เซลลูโลส ไนเตรต (Cellulose nitrate), Soluble gun cotton
สูตรทางเคมี	$C_{12}H_{14}O_4(NO_3)_6$
ลักษณะทางกายภาพ	เป็นของแข็งสีขาวเป็นปุย คล้ายสำลี
CAS Number	9004-70-0

UN Number	2556
จุดเดือด	83 องศาเซลเซียส ที่ 760 mmHg
จุดวาบไฟ	12 องศาเซลเซียส
ความถ่วงจำเพาะ/ความหนาแน่น	1.23 g/cm ³



ภาพที่ 1 แสดงสูตร โครงสร้างทางโมเลกุลของสารไนโตรเซลลูโลส

ที่มา: Richard (1997)

1.2 ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย

ไวไฟสูง สามารถระเบิดได้ ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ผิวหนัง ตา และระบบทางเดินอาหาร หากได้รับสารในปริมาณมากอาจทำให้เกิดอาการหน้ามืด อาเจียน หายใจลำบาก และหมดสติในที่สุด

1.3 ข้อมูลเกี่ยวกับการระเบิด ความเสถียร และความไวต่อปฏิกิริยา

การระเบิด	สารนี้ในรูปที่เป็นฝุ่นผง สามารถระเบิดได้
อันตรายเฉพา	ปล่อยควันพิษออกมาภายใต้สภาวะที่เกิดไฟ
อันตรายจากการระเบิด	ไอระเหยอาจเคลื่อนที่ ไปในระยะทางที่ห่างไกลออกไปจากแหล่งกำเนิดประกายไฟ และย้อนกลับมาติดไฟ ภาชนะอาจระเบิดเมื่อโดนไฟ วัสดุแห้งเป็นสารระเบิดได้
อุปกรณ์ผจญเพลิงที่เหมาะสม	กรณีเป็นของแข็ง/อยู่ในรูปฝุ่นผงควรใช้น้ำ

	และกรณีอยู่ในรูปของเหลวไวไฟควรใช้ผงเคมีแห้ง, คาร์บอนไดออกไซด์
วิธีเฉพาะสำหรับผจญเพลิง	ใช้ละอองน้ำเพื่อทำให้ภาชนะซึ่งถูกไฟเผาเย็นลง
อุปกรณ์ป้องกันพิเศษสำหรับผู้ผจญเพลิง	สวมเครื่องช่วยการหายใจ (SCBA) แบบครบชุดและเสื้อผ้าที่ใช้ป้องกัน เพื่อป้องกันการสัมผัสกับผิวหนังและดวงตา
ความเสถียร	สารมีความเสถียร
สารที่ควรหลีกเลี่ยง	สารออกซิไดซ์เซอร์, กรด, เบส, แอซิดแอนไฮไดรด์, เฮโลเจน, อะลูมิเนียม
ผลิตภัณฑ์อันตรายที่เกิดจากการสลายตัว	คาร์บอนมอนอกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์, ไนโตรเจนออกไซด์ มีเทน, อัลดีไฮด์, กรดคาร์บอกซิลิก, ไฮโดรเจนไซยาไนด์
โพลีเมอร์ไรเซชันที่เป็นอันตราย	จะไม่เกิด

1.4 ข้อมูลทางพิษวิทยา

พิษเฉียบพลัน	LD ₅₀ ทางปากหนู (rat) > 5000 mg/kg LD ₅₀ ทางปากหนู (mouse) > 5000 mg/kg
ข้อมูลของอวัยวะเป้าหมาย	ระบบประสาท, ไต, ตับ, ระบบหัวใจและหลอดเลือด, ระบบทางเดินอาหาร
การได้รับสารเรื้อรัง ก่อมะเร็ง	สารนี้ถูกรายงานว่าเป็นหรือมีส่วนประกอบเป็นสารที่ไม่จัดเป็นสารก่อมะเร็ง ตามการแบ่งประเภทของ IARC, OSHA, ACGIH, NTP และ EPA

1.5 มาตรการเมื่อมีอุบัติเหตุสารหกรั่วไหล

ข้อควรปฏิบัติสำหรับบุคคลในกรณีที่เกิดหกหรือรั่วไหล อพยพคนออกจากบริเวณ ปิดแหล่งกำเนิดประกายไฟทุกแหล่ง ใช้เครื่องมือ

	ที่ไม่ก่อให้เกิดประกายไฟ
อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล	สวมอุปกรณ์ช่วยหายใจ (SCBA) แบบครบชุด
	รองเท้าน้ำ และถุงมือแบบหนา
วิธีการจัดการหลังการปนเปื้อนหรือรั่วไหล	ทำให้สารที่หกรั่วไหลเปียกด้วยน้ำ
	ทันที และรีบนำไปภาชนะโลหะที่มีฝาปิด เติมน้ำไปในภาชนะ อย่าปล่อยให้สารแห้ง

1.6 ข้อปฏิบัติในการใช้สารและการเก็บรักษา

การปฏิบัติที่ปลอดภัย	ระวังอย่าให้เข้าตา โคนผิวหนัง หรือเสื้อผ้า
	อย่าหายใจเอาไอระเหยเข้าไป
การป้องกันไฟไหม้และระเบิด	สารที่แห้งเป็นสารระเบิดได้
การเก็บรักษา	ปิดภาชนะให้สนิท เก็บให้ห่างจากความร้อน
	ประกายไฟ และเปลวไฟ
สิ่งที่มีต้องมีเป็นพิเศษ	อย่าปล่อยให้สารแห้ง

2. ทุบฏุกการระเบิด (Explosion)

การระเบิดเป็นผลจากการปลดปล่อยพลังงานออกมาอย่างรวดเร็วและด้วยความดันสูงอย่างรุนแรงโดยมีการกระจายตัวออกมาในหลายรูปแบบ ทั้งในรูปแบบของคลื่นความดัน การเคลื่อนที่ในแนวโค้ง การแผ่รังสี และพลังงานเสียง ซึ่งการกระจายตัวเหล่านี้เป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายหากเป็นการระเบิดที่เกิดจากสารประเภทก๊าซ พลังงานจากการระเบิดจะทำให้ก๊าซเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็วไปยังบริเวณข้างเคียง และความดันที่เกิดจากจุดที่ระเบิด สิ่งเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปพลังงานเป็นผลให้เกิดการทำลายแก่พื้นที่รอบ ๆ สำหรับโรงงานประเภทอุตสาหกรรมเคมีมีความเสียหายจากการระเบิดส่วนใหญ่เป็นผลมาจากคลื่นความดัน คลื่นความดันที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วในอากาศเรียกว่า blast wave เนื่องจากมีลักษณะคล้ายกับลมพายุ ส่วนพลังงานที่ปลดปล่อยออกมากลายเป็นคลื่นกระแทก (Shock wave) การระเบิดที่เกิดขึ้น อาจเกิดจากการที่ภาชนะหรือถังมีความดันมากเกินไป เช่น การระเบิดของบอลลูน การระเบิดทางกายภาพ เช่น การระเบิดของหม้อไอน้ำหรือการระเบิดจากปฏิกิริยาเคมี เช่น การระเบิดจากการเผาไหม้ของสารผสม การระเบิดบางชนิดที่มีผลจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจนทำให้ก๊าซที่มีความดันสูง

ถูกปลดปล่อยออกมาอย่างทันทีทันใด เช่น การระเบิดของวัตถุระเบิด ก๊าซที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะมีผลต่อสภาพแวดล้อมมากหรือน้อยนั้นก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น อัตราการปลดปล่อยก๊าซ ความดันขณะเกิดการรั่วของก๊าซ ปริมาณก๊าซที่ปลดปล่อยออกมา ทิศทางการรั่วไหลของก๊าซและ อุณหภูมิของก๊าซที่รั่วออกมาความดันจากการระเบิดจะสมดุลที่ความเร็วเท่ากับความเร็วของเสียง

สำหรับพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาเป็นคลื่นกระแทกนั้น ค่าความเร็วในการปลดปล่อยจะมีความเร็วเท่ากับความเร็วเสียง (Sonic) หรือความเร็วมากกว่าความเร็วเสียง (Super Sonic) คลื่นกระแทกจะเริ่มแผ่ออกจากจุดที่มีการรั่วไหล และค่อย ๆ แผ่คลื่นกระแทกออกไปในระยะทางจากจุดที่มีการรั่วไหลเพิ่มขึ้น และความเข้มของพลังงานคลื่นกระแทกจะค่อย ๆ ลดลงตามระยะทาง ถ้าก๊าซถูกปลดปล่อยออกมาอย่างทันทีทันใดและกระจายตัวทั่วทุกทิศทาง คลื่นกระแทกจะกระจายตัวเป็นทรงกลม ซึ่งการระเบิดส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการระเบิดของภาชนะหรือโครงสร้างซึ่งก๊าซถูกสะสมที่ความดันสูง จนเมื่อความดันของก๊าซมีค่ามากเกินไปที่ภาชนะบรรจุจะทนทานได้ภาชนะจะอ่อนตัวและแตก ทำให้เกิดคลื่นกระแทกในทิศทางที่ภาชนะแตก ดังนั้น การระเบิดของภาชนะจะทำให้เกิดคลื่นกระแทกซึ่งจะไม่ได้มีค่าเท่ากันในทุกทิศทาง

ลักษณะของการระเบิดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง องค์ประกอบที่สำคัญสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบที่มีนัยสำคัญต่อผลในการเกิดลักษณะการระเบิด

Ambient temperature

Ambient pressure

Composition of explosive material

Physical properties of explosive material

Nature of ignition source : type, energy, and duration

Geometry of surroundings : confined or unconfined

Amount of combustible material

Turbulence of combustible material

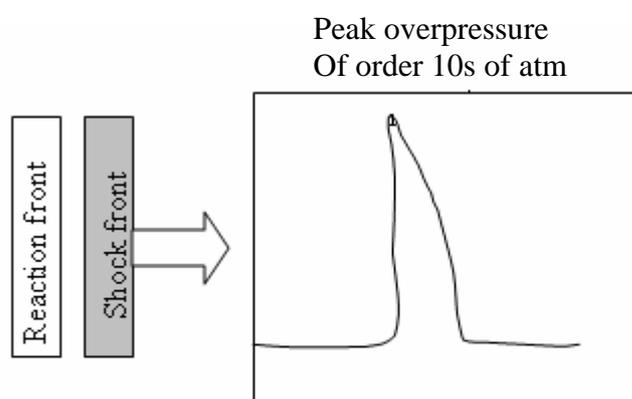
Time before ignition

Rate at which combustible material is released

ที่มา: Crowl (2001)

1.1 Detonation and Deflagration

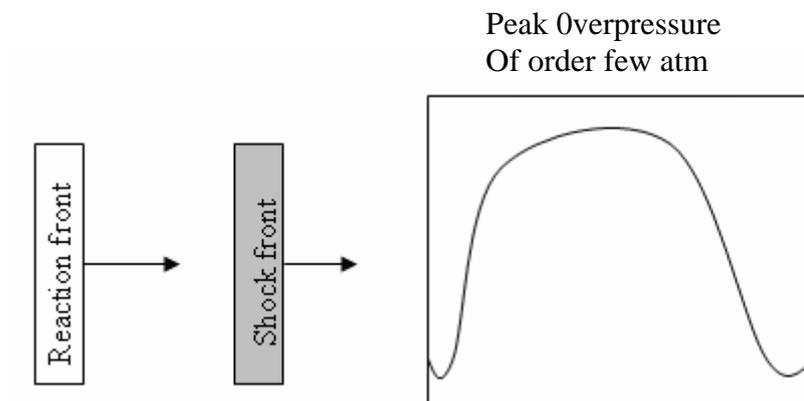
โดยทั่วไปลักษณะผลของการระเบิดจะแบ่งได้เป็น Detonation หรือ Deflagration ความแตกต่างของทั้งสองลักษณะขึ้นอยู่กับเกิดการเกิดปฏิกิริยาก่อนการเพิ่มขึ้นของความดันและพลังงาน มีความเร็วสูงหรือต่ำกว่าความเร็วของเสียงในก๊าซซึ่งไม่เกิดปฏิกิริยา (unreacted gases) Detonation เป็นการระเบิดที่ความเร็วของคลื่นกระแทก (Shock wave) มีค่ามากกว่าความเร็วเสียง ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะทางกายภาพการเกิด Detonation สำหรับปฏิกิริยาการเผาไหม้ในสภาวะเปิด

ที่มา: Crowl (2001)

ส่วน Deflagration เป็นการระเบิดที่ความเร็วของคลื่นกระแทก (Shock wave) มีค่าน้อยกว่าความเร็วเสียง ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงลักษณะทางกายภาพการเกิด Deflagration สำหรับปฏิกิริยาการเผาไหม้ในสภาวะเปิด

ที่มา: Crowl (2001)

การเกิด Detonation และ Deflagration ต้องการเวลาในการเกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์ ประมาณ $1/10,000$ วินาที และ $1/3,000$ วินาทีตามลำดับ โดยทั่วไปแล้วในอุตสาหกรรมเคมี จะมีการระเบิดแบบ Deflagration มากกว่าการระเบิดแบบ Detonation

1.2 ความเสียหายจากแรงดันจากการระเบิด (Blast Damage Resulting from Overpressure)

ความเสียหายจากการระเบิดขึ้นอยู่กับความดันสูงสุด (peak side-on overpressure) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างต่าง ๆ โดยปกติความเสียหายที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับอัตราที่เพิ่มขึ้นของความดันและระยะเวลาของ blast wave ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงตัวอย่างของค่าพลังงาน Overpressure และความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม

Pressure (kPa)	Damage
0.14	Annoying noise (137 dB if of low frequency 10-15 Hz)
0.21	Occasional breaking of large glass windows already under strain
0.28	Loud noise (143 dB), sonic boom, glass failure
0.69	Breakage of small windows under strain
1.03	Typical pressure for glass breakage
2.07	“Safety distance” (Probability 0.95 of no serious damage below this value); Projectile limit; some damage to house ceilings; 10% window glass broken
2.76	Limited minor structural damage
3.4-6.9	Large and small window usually shatter; occasional damage to window frames
4.8	Minor damage to houses structures
6.9	Partial demolition of houses, made uninhabitable
6.9-13.8	Corrugated asbestos shatters; corrugated steel or aluminum panels, fastenings fail, followed by buckling; wood panels (standard housing), fastenings fail, panels blow in
9.0	Steel frame of clad building slightly distorted
13.8	Partial collapse of walls and roof of houses
13.8-20.7	Concrete or cinder block walls, not reinforced, shatter
15.8	Low limit of serious structural damage
17.2	50% destruction brickwork of houses
20.7	Heavy machines (3000 lb) in industrial building suffer little damage; steel frame buildings distort and pull away from foundations

ตารางที่ 3 (ต่อ)

9.0	Steel frame of clad building slightly distorted
13.8	Partial collapse of walls and roof of houses
13.8-20.7	Concrete or cinder block walls, not reinforced, shatter
15.8	Low limit of serious structural damage
17.2	50% destruction brickwork of houses
20.7	Heavy machines (3000 lb) in industrial building suffer little damage; steel frame buildings distort and pull away from foundations
20.7-27.6	Frameless, self-framing steel panel buildings demolished; rupture of oil storage tanks
27.6	Cladding of light industrial buildings ruptures
34.5	Wooden utility poles snap; tall hydraulic presses (40,000 lb) in building slightly damaged
34.5-48.2	Nearly complete destruction of houses
48.2	Loaded train wagons overturned
48.2-55.1	Brick panels, 8-12 in thick, not reinforced, fail by shearing or flexure
62.0	Loaded train boxcars completely demolished
68.9	Probable total destruction of buildings; heavy machine tools (7,000 lb) moved and badly damaged, very heavy machine tools (12,000 lb) survive
2,068	Limit of crater lip

ที่มา: Louvar (2001)

จากการทดลองการระเบิดพบว่า overpressure สามารถประเมินได้โดยใช้การคำนวณเปรียบเทียบกับมวลของ TNT (m_{TNT}) และระยะห่างจากจุดเริ่มต้น (ground-zero) โดยสมการต่อไปนี้

$$Z_e = \frac{r}{m_{\text{TNT}}^{1/3}} \quad (1)$$

โดย

$$\begin{aligned} Z_e &= \text{ค่า Scale distance (m/kg}^{1/3}\text{)} \\ r &= \text{ระยะจากจุดที่เกิดการระเบิดไปยังจุดที่สนใจ (m)} \\ m_{\text{TNT}}^{1/3} &= \text{น้ำหนักของไอของสารเคมีที่รั่วไหล เปรียบเทียบกับค่า TNT (kg}^{1/3}\text{)} \end{aligned}$$

สำหรับค่า Scaled distance (Z_e) สามารถแสดงความสัมพันธ์กับ Scaled overpressure (P_s) โดยการเปลี่ยนแปลงหน่วยของ P_s จาก $\text{ft/lb}^{1/3}$ ไปเป็น $\text{m/kg}^{1/3}$ (นำ 0.3967 คูณเข้าไป) สำหรับการหาค่า P_s แสดงในสมการดังต่อไปนี้

$$P_s = \frac{P_o}{P_a} \quad (2)$$

โดย

$$\begin{aligned} P_s &= \text{ค่า Scaled overpressure (ไม่มีหน่วย)} \\ P_o &= \text{Overpressure (kPa)} \\ P_a &= \text{ความดันบรรยากาศ (kPa)} \end{aligned}$$

$$\frac{P_o}{P_a} = \frac{1,616 \text{Pa} \left(1 + \left(\frac{Z_e}{4.5}\right)^2\right)}{\left[1 + \left(\frac{Z_e}{0.048}\right)^2\right]^{0.5} \left[1 + \left(\frac{Z_e}{1.32}\right)^2\right]^{0.5} \left[1 + \left(\frac{Z_e}{1.35}\right)^2\right]^{0.5}} \quad (3)$$

การประเมินแรงระเบิดซึ่งเกิดจากไอของสารเคมีที่รั่วไหลออกมายังพื้นที่เปิดโล่ง จะสามารถใช้สมการคำนวณค่าแรงดันที่ส่งกระทบต่อสิ่งที่สนใจ โดยวิธีเปรียบเทียบกับค่าแรงระเบิดของ TNT (TNT equivalent method) ดังสมการต่อไปนี้

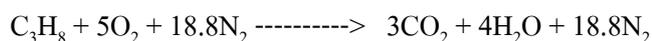
$$(4) \quad m_{\text{TNT}} = \frac{\eta m E}{E_{\text{TNT}}}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{TNT}} &= \text{น้ำหนักของสารที่เปรียบเทียบกับน้ำหนักของ TNT (น้ำหนัก)} \\
 \eta &= \text{ค่า empirical ของประสิทธิภาพในการระเบิด (ไม่มีหน่วย)} \\
 m &= \text{น้ำหนักของไอของสารเคมีที่รั่วไหล (น้ำหนัก)} \\
 E_c &= \text{ค่า Heat of explosion ของสารเคมีที่รั่วไหล (พลังงาน/น้ำหนัก)} \\
 E_{\text{TNT}} &= \text{ค่า Heat of explosion ของ TNT (พลังงาน/น้ำหนัก)}
 \end{aligned}$$

ค่า heat of explosion ของ TNT คือ 1120 cal/g หรือเท่ากับ 4686 kJ/kg หรือเท่ากับ 2016 Btu/lb ปัญหาส่วนใหญ่ของ TNT equivalent method คือการใช้ค่าประสิทธิภาพของการระเบิด ซึ่งต้องใช้ค่าให้เหมาะสมกับจำนวนปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ส่วนใหญ่ไอสารไวไฟ จะประมาณค่าประสิทธิภาพการระเบิดอยู่ระหว่าง 1–10% ขึ้นอยู่กับจำนวนของแหล่งที่เกิด แต่สำหรับ propane, diethyl ether และ acetylene จะใช้ค่า 5%, 10% และ 15% ค่าประสิทธิภาพการระเบิดนี้นำมาอธิบายได้กับสารที่เป็นอนุภาคของแข็งด้วยเช่นกัน

3. พลังงานจากการระเบิด (Energy of Chemical Explosion)

การเกิดการระเบิดหรือ blast wave เป็นผลมาจากการปลดปล่อยพลังงานและการขยายตัวของก๊าซอย่างรวดเร็วและรุนแรงจากจุดที่เกิดการระเบิด ซึ่งการขยายตัวนั้นมีสาเหตุมาจากสองกลไก คือ การเกิดความร้อนในการทำปฏิกิริยาของสารเคมี และการเปลี่ยนแปลงจำนวนมวลโมลของสารเคมีจากการทำปฏิกิริยา ยกตัวอย่างเช่น การพิจารณาการเผาไหม้ของ propane ในอากาศโดย Stoichiometric Equation คือ



จำนวนมวลโมลเลกุลเริ่มต้นทางด้านซ้ายมือคือ 24.8 และจำนวนมวลโมลเลกุลทางด้านขวามือคือ 25.8 สำหรับกรณีนี้จะมีความดันที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากผลของการเปลี่ยนแปลง

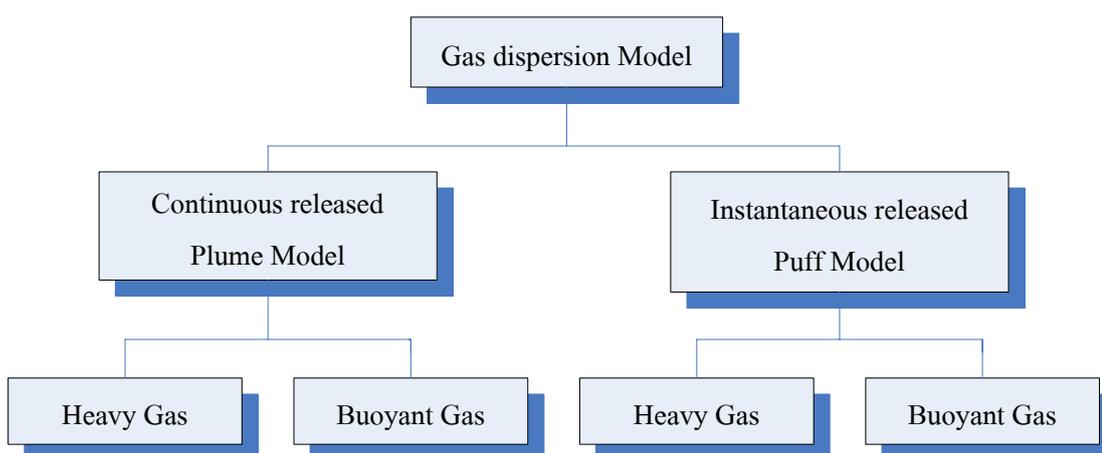
มวลโมเลกุลเพียงเล็กน้อย และส่วนใหญ่พลังงานจากการระเบิดจะออกมาในรูปของความร้อน พลังงานที่ปลดปล่อยออกมาในช่วงที่ทำปฏิกิริยาการระเบิดนั้น สามารถคำนวณโดยใช้สมการทางเทอร์ไดนามิกส์ ซึ่งเพียงพอในการนำไปใช้ในการพิจารณาค่าพลังงานจากสารเคมี

4. สมการการคำนวณความเข้มข้นของสาร ณ จุดที่สนใจ

Neutrally buoyant gas นิยมใช้สมการการกระจายตัว Gaussian ภายใต้สมมติฐานดังนี้

1. ความเร็วและทิศทางลมคงที่ ใช้ได้ดีในช่วงระยะทาง 100–2000 เมตร จากแหล่งกำเนิด
2. เมื่อมลพิษทางอากาศออกจากแหล่งกำเนิดจะต้องลอยขึ้นจนถึงจุดสมดุล แล้วพัดไปตามทิศทางลม โดยรักษาระดับความสูงที่จุดสมดุลนั้นคงที่ตลอด
3. ช่วงเวลาที่ใช้แบบจำลองต้องมากกว่า 10 นาทีขึ้นไป
4. มลพิษทางอากาศต้องไม่เปลี่ยนแปลง หรือตกลงสู่พื้นดิน หากกระทบพื้นดินต้องสะท้อนกลับหมดแหล่งกำเนิดมลพิษและสภาพทางอุตุนิยมวิทยาต้องคงที่เสมอ แบบจำลองนี้เป็นแบบ Steady state หากไม่คงที่ ต้องแบ่งเป็นช่วง ๆ ที่คงที่ แล้วนำไปคำนวณทีละครั้ง

ลักษณะการกระจายตัวของก๊าซในธรรมชาติ สามารถแบ่งได้โดยภาพกว้างดังแผนภูมิในภาพที่ 4

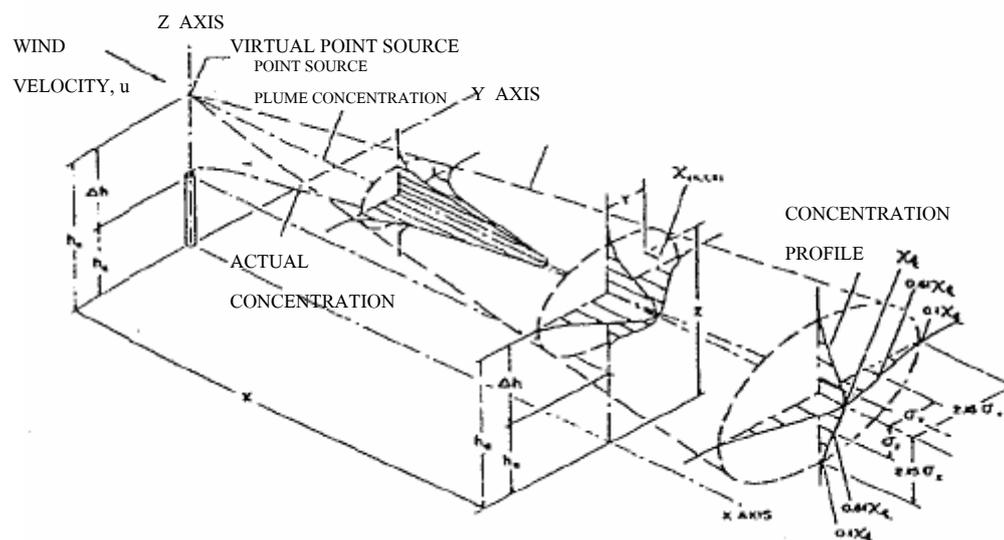


ภาพที่ 4 ลักษณะการกระจายตัวของก๊าซในธรรมชาติ

ที่มา: Turner (1970)

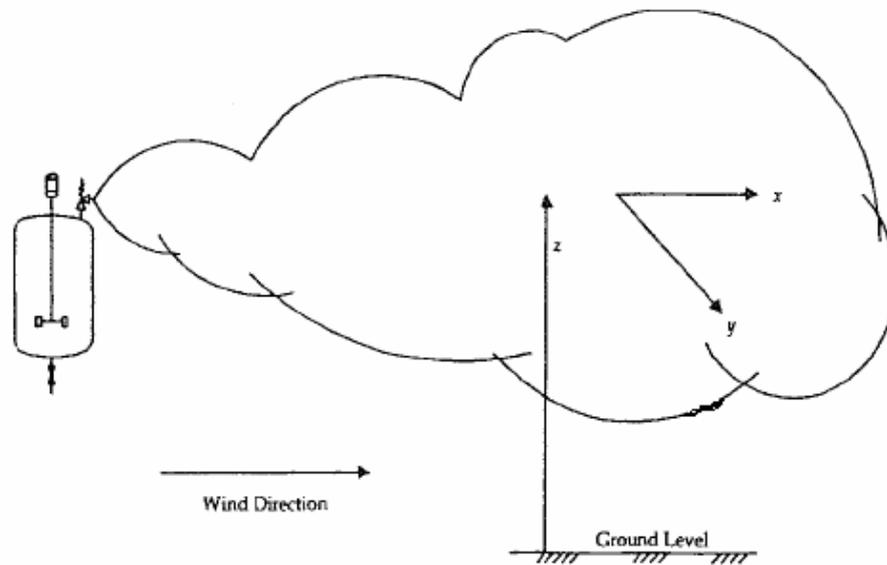
การรั่วไหลของก๊าซโดยทั่วไปในธรรมชาติ ที่ไม่รวมถึงการระเบิดหรือการเกิดเพลิงไหม้ จะสามารถแบ่งได้เป็นสองรูปแบบหลักได้ คือ การรั่วไหลแบบต่อเนื่องเรียกว่า Continuous Released Plume Model และการรั่วไหลแบบกลุ่มก้อนเรียก Instantaneous Released Puff Model ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป โดยการรั่วไหลทั้งสองแบบจะมีการกระจายตัวได้สองรูปแบบเหมือนกันคือ การกระจายตัวขึ้นสู่ที่สูงเรียกว่า Buoyant Gas Dispersion และการกระจายตัวลงสู่ที่ต่ำเรียกว่า Heavy Gas Dispersion ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของก๊าซแต่ละชนิด

ภาพที่ 5 เป็นการแสดงวิธีการสร้างแบบจำลองเพื่อคำนวณว่า ณ จุดระยะทางใด ๆ ที่ห่างจากแหล่งกำเนิด ณ จุดเวลาหนึ่ง จะมีความเข้มข้นของสารมลพิษมากน้อยเพียงใด ซึ่งเมื่อเกิดการรั่วไหลจะเกิดลักษณะของกลุ่มหมอกควันดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 5 การกระจายตัวในลักษณะ Steady state plume model dispersion

ที่มา: Turner (1970)



ภาพที่ 6 การกระจายตัวของก๊าซในลักษณะ Plume model

ที่มา: Louvar (1998)

สมการพื้นฐานของ Gaussian สำหรับการกระจายตัวในลักษณะ Plume Model หรือ Continuous Release มีสูตรดังนี้

$$C(x, y, z) = \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (5)$$

$C(x, y, z)$ เป็นความเข้มข้นในลักษณะการกระจายตัวของ Plume ในจุด x, y , และ z (มวล/ความยาว³)

x, y, z เป็นระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงจุดที่ตรวจวัด (ความยาว)

Q_m เป็นอัตราการปล่อยมวลสารเทียบต่อหน่วยเวลา (มวล/เวลา)

σ_y และ σ_z เป็นค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวในแนวแกน x และ y (ความยาว) โดย

อ่านค่าจากภาพที่ 7 และภาพที่ 8

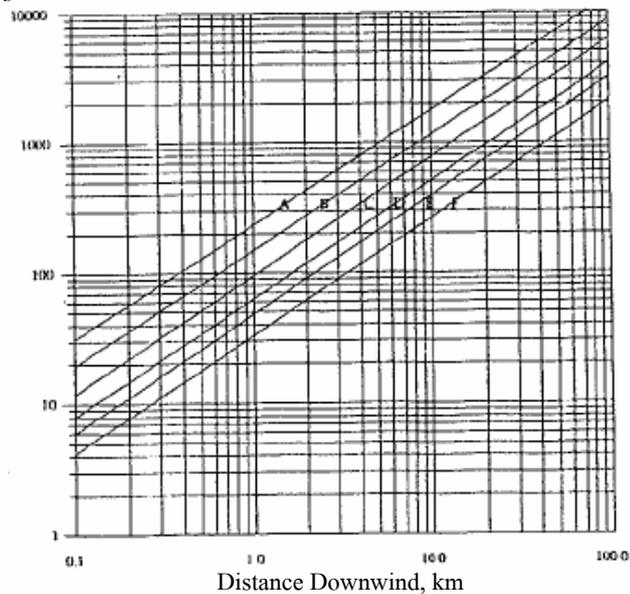
u เป็นความเร็วลม (ระยะเวลา/เวลา)

H_r เป็นความสูงของจุดที่ปล่อยสารปนเปื้อน (ความยาว)

สำหรับค่า σ สามารถดูได้จากตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในแกน y และ

แกน z

σ_y meters (σ_y & σ_z)

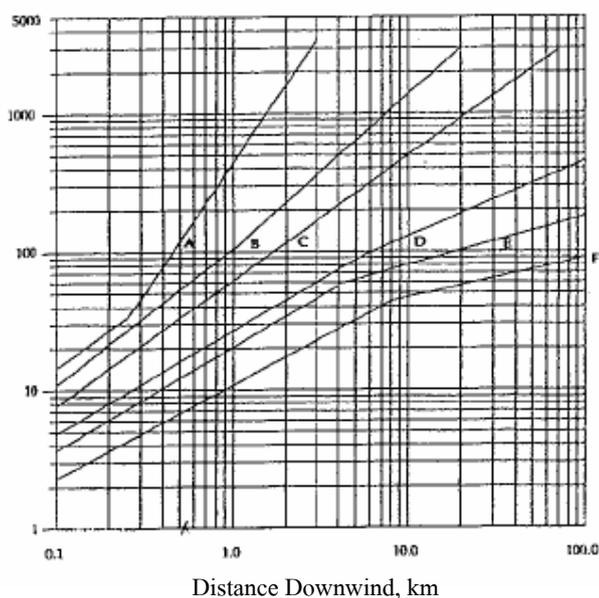


ภาพที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวในแนวนอนสำหรับการกระจายตัวแบบ Pasquill-Gifford

Plume model

ที่มา: Turner (1970)

σ_x meters



ภาพที่ 8 สัมประสิทธิ์การกระจายตัวในแนวตั้งสำหรับการกระจายตัวแบบ Pasquill-Gifford

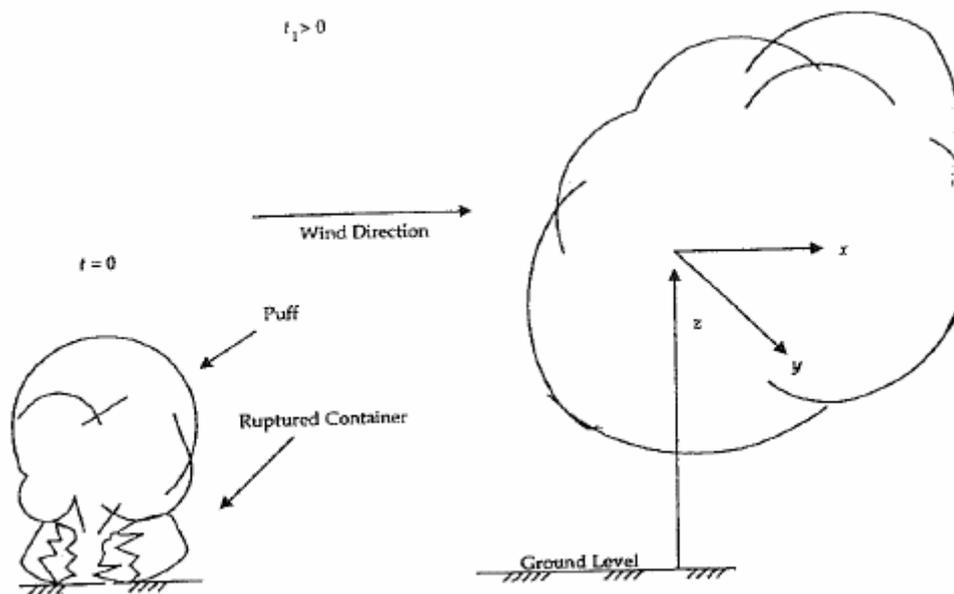
Plume model

ที่มา: Turner (1970)

ตารางที่ 4 ความเสถียรของบรรยากาศ

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

ที่มา: Turner (1970)



ภาพที่ 9 การกระจายตัวของก๊าซในลักษณะ Puff model

ที่มา: Louvar (1998)

ลักษณะการกระจายอีกลักษณะหนึ่งสำหรับการคำนวณแบบ Gaussian Equation เรียกว่า puff model หรือ Instantaneous source ซึ่งมีรูปแบบการกระจายตัวดังภาพที่ 9

$$C(x, y, z) = \frac{Q_m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_y \sigma_x \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \left\{ \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z-H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z+H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \quad (6)$$

$C(x, y, z)$ เป็นความเข้มข้นในลักษณะการกระจายตัวของ puff ในจุด x, y และ z (มวล/ความยาว³)

x, y, z เป็นระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงจุดตรวจวัด (ความยาว)

Q_m เป็นอัตราการปล่อยมวลสารเทียบต่อหน่วยเวลา (มวล/เวลา)

σ_x, σ_y และ σ_z เป็นค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวในแนวแกน x, y และ z

u เป็นความเร็วลม (ระยะทาง/เวลา)

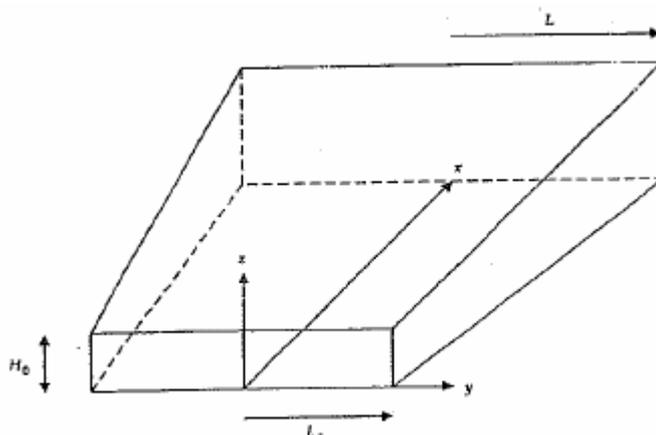
H_r เป็นความสูงของจุดที่ปล่อยสารปนเปื้อน

Dense Gas Dispersion Model คือลักษณะการกระจายตัวของก๊าซในแนวราบกับพื้นดิน โดยมีลักษณะเพื่อพิจารณาเบื้องต้นดังนี้

- ที่มีมวลโมเลกุลมากกว่าอากาศรอบข้าง
- การที่ก๊าซมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศรอบข้าง
- ก๊าซมีลักษณะ two-phase

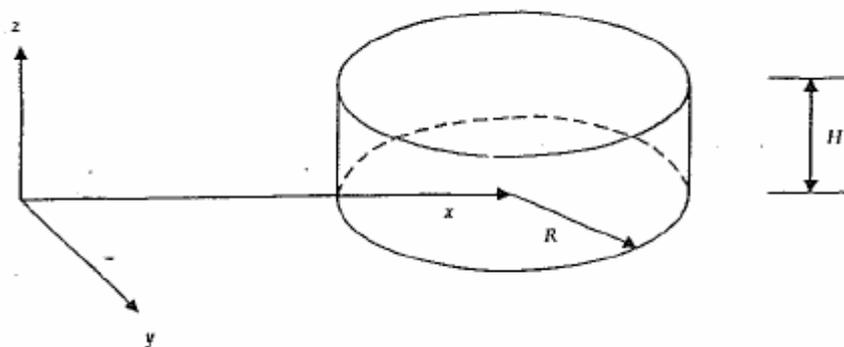
Dense Gas Dispersion สามารถแบ่งลักษณะการเกิดได้ 2 ลักษณะ เช่นเดียวกับ Steady State Gaussian Equation คือ

- Continuous Release หรือ Plume Model ลักษณะการเกิดจะอยู่บนสมมติฐานที่อัตราปล่อยก๊าซที่แน่นอน ภายในระยะเวลาช่วงหนึ่ง
- Instantaneous Release หรือ Puff Model ลักษณะการปล่อยการจำนวนมากในเวลาสั้น ๆ



ภาพที่ 10 การกระจายตัวของก๊าซแบบอุดมคติในลักษณะการไหลอย่างต่อเนื่อง
ที่มา: Louvar (1998)

ภาพที่ 10 และภาพที่ 11 เป็นการอธิบายการกระจายตัวอย่างอุดมคติ หมายความว่า การกระจายตัวจะแพร่ออกในลักษณะการแพร่ที่เท่ากันทุกสัดส่วนและอย่างเป็นรูปแบบ โดยภาพที่ 10 หมายถึงการกระจายตัวอย่างต่อเนื่อง และภาพที่ 11 จะเป็นการกระจายตัวอย่างนับปล้น เกิดแล้วจบลงด้วยเวลาที่รวดเร็ว



ภาพที่ 11 การกระจายตัวของก๊าซแบบอุดมคติในลักษณะเป็นกลุ่มก้อน
ที่มา: Louvar (1998)

ลักษณะของการกระจายตัวแบบ Dense Gas จะเกิดขึ้นเมื่อความหนาแน่นของก๊าซ มีมากกว่าอากาศรอบข้าง ทำให้ก๊าซที่ปล่อยออกมาลอยตัวอยู่บนพื้นดิน

ความหนาแน่นของก๊าซที่ปล่อยออกมาหาได้จากสมการ

$$\rho_c = \frac{MP}{R_g T} + \rho_{acr} \quad (7)$$

เมื่อ

- ρ_c คือความหนาแน่นของก๊าซที่สนใจ
- M เป็นมวลโมเลกุลของก๊าซ
- P เป็นความดัน
- T เป็นอุณหภูมิ
- R_g เป็นค่าคงที่ของก๊าซ
- ρ_{acr} เป็นน้ำหนักของก๊าซต่อ 1 ปริมาตรละออง (Density of aerosol unit)

อย่างไรก็ตาม เมื่อความหนาแน่นของก๊าซเริ่มจากการเมื่อมีอากาศเข้ามาผสม การกระจายตัวของก๊าซในลักษณะ Slump จะเปลี่ยนเป็น Neutrally Buoyant Gas Dispersion คือก๊าซจะลอยตัวขึ้นสู่ด้านบน โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

การกระจายตัวในลักษณะ plume model

$$\left(\frac{g_0 V_0'}{u^3 D_c} \right)^{1/3} \geq 0.15 \quad (8)$$

การกระจายตัวในลักษณะ puff model

$$\left(\frac{g_0 V_0}{u^3 D_i} \right)^{1/2} \geq 0.2 \quad (9)$$

โดยค่า g_0 หาได้จากสมการ

$$g_0 = \frac{g(\rho_e - \rho_{acr})}{\rho_{acr}} \quad (10)$$

g_0 เป็นค่าการลอยตัวของก๊าซ ณ จุดที่เริ่มต้น

g เป็นความถ่วงจำเพาะ (9.8 m/sec^2)

ρ_e เป็นความหนาแน่นของก๊าซ (mass/length^3)

ρ_{acr} เป็นความหนาแน่นของอากาศ (mass/length^3)

โดย D_c คือระยะทางการกระจายตัวของกลุ่มก๊าซ หาได้จากสมการ

สำหรับ plume model

$$D_c = \left(\frac{V'_0}{u} \right)^{1/2} \quad (11)$$

เมื่อ

V'_0 เป็นอัตราการรั่วไหล

u เป็นความเร็วของการรั่วไหล

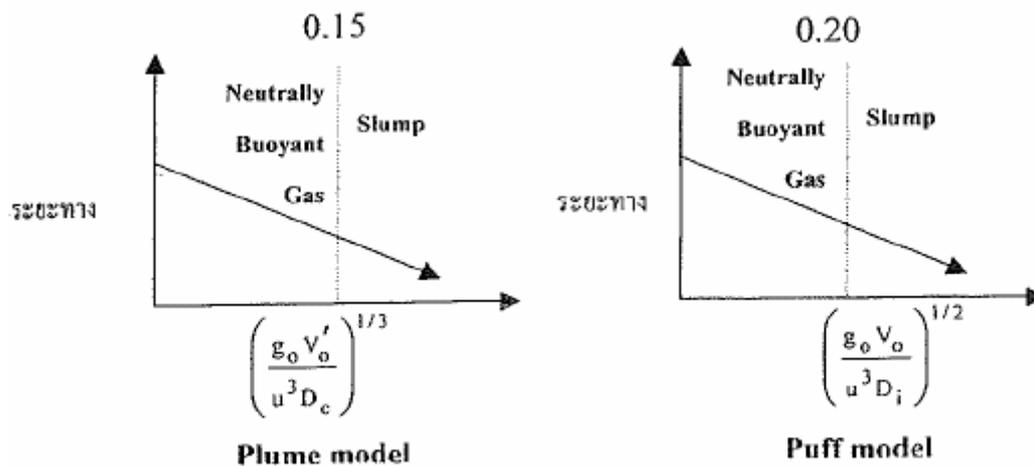
สำหรับ puff model

$$D_i = (V_0)^{1/3} \quad (12)$$

เมื่อ

D_i เป็นขนาดของก๊าซที่ปลดปล่อยอย่างทันทีทันใด (length)

V_0 เป็นปริมาตรของก๊าซที่ปลดปล่อยอย่างทันทีทันใด (length^3)

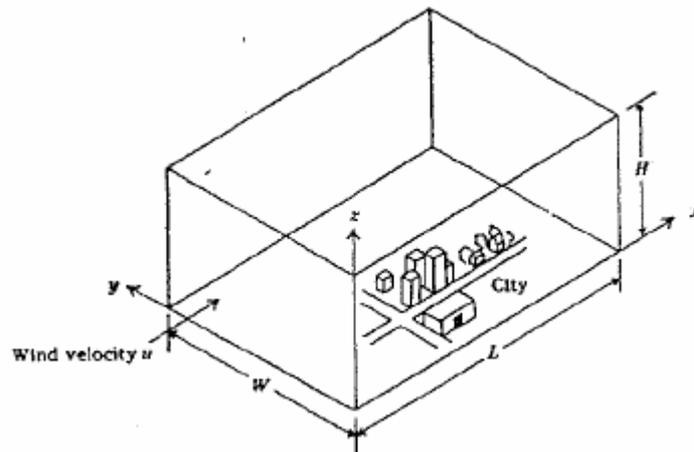


ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงลักษณะการกระจายตัว
ที่มา: Louvar (1998)

5. Dispersion Model

วิวัฒนาการเรื่องการจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้มีการพัฒนาแบบจำลองอย่างง่าย เรียกว่า Box Model หรือเรียกว่า Mixing Cell Model ตามภาพที่ 13 ภายได้สมมติฐานดังนี้

- อากาศและสิ่งเจือปนต่าง ๆ ได้ผสมกันเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenous)
- ความเร็วลมจะสันนิษฐานว่าเป็นความเร็วเฉลี่ยที่มีค่าคงที่ (Constant Speed)
- อากาศหรือสิ่งเจือปนต่าง ๆ ปลดปล่อยออกมาในลักษณะที่เป็นก้อน (Instantaneously)



ภาพที่ 13 แบบจำลอง Box Model หรือ Mixing Cell Model

ที่มา: Noel (1995)

แต่เนื่องจากสภาพการณ์จริง จะมีอิทธิพลของปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา และปัจจัยการรวมตัวของก๊าซ (Degree of Mixing) อย่างอื่นมาประกอบ จึงทำให้ Box Modeling มีข้อได้เปรียบของเรื่องความน่าเชื่อถือมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการพัฒนาในรูปแบบการกระจายตัวในรูปแบบที่เรียกว่า Gaussian Dispersion Model โดยในการคำนวณความเข้มข้น ณ จุดต่าง ๆ จะมีการนำตัวแปรอื่น ๆ มาประกอบการคำนวณ ซึ่งการกระจายตัวดังกล่าวจะมีลักษณะการกระจายตัวแบบอิสระ (Random Dispersion) สามารถคำนวณความเข้มข้น โดยต้องมีตัวแปรด้านสถิติเข้ามาพิจารณา ดังนี้

$$\hat{C} = (Q/\bar{u}) \times (DF) \quad (13)$$

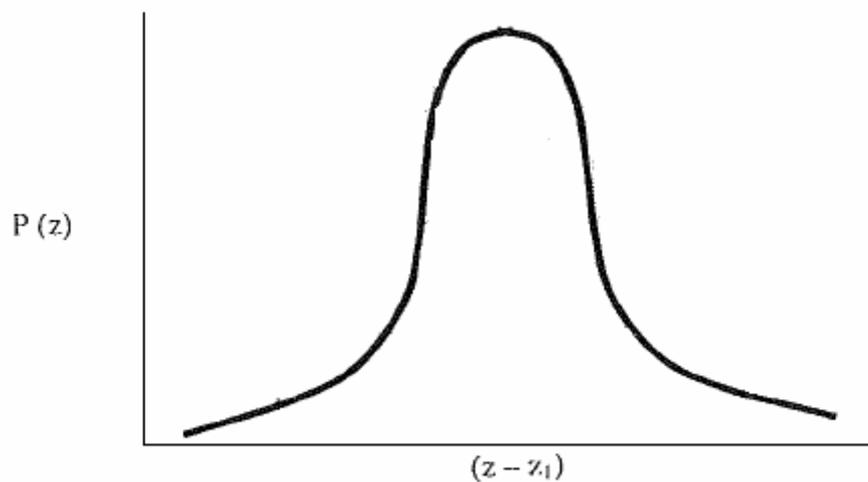
เมื่อ

\hat{C} เป็นความเข้มข้นของสารปนเปื้อน ต่อหน่วยเวลา

Q เป็นปริมาณของสารปนเปื้อน ณ จุดที่ปลดปล่อย

\bar{u} เป็นความเร็วลมเฉลี่ย

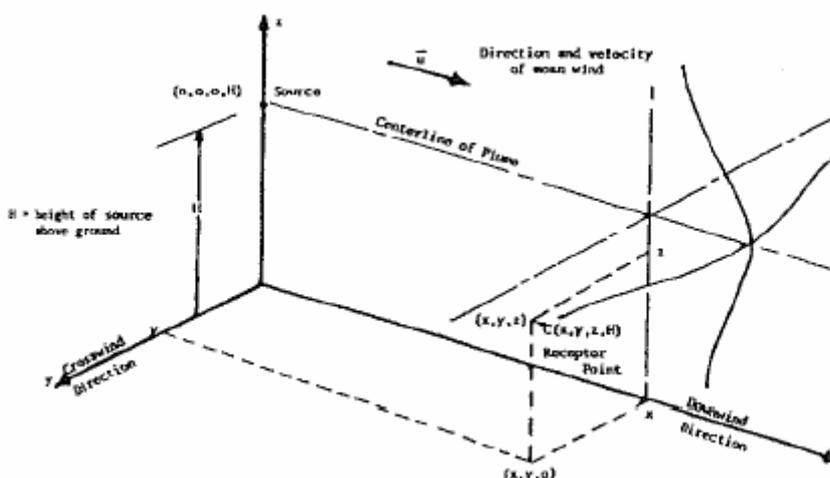
DF เป็นรูปแบบของความสัมพันธ์ในทางสถิติ เพื่อนำมาคำนวณการกระจายของสารปนเปื้อนในอากาศ (a distribution function dependent upon result from the statistic theory of turbulence) ซึ่งลักษณะการกระจายตัวจะเป็นดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 การกระจายตัวในลักษณะ Gaussian Distribution

ที่มา: Schnelle และคณะ (1986)

โดยอิทธิพลของลมและการกระจายตัวของก๊าซ ทำให้เกิดแบบจำลองพื้นฐาน ที่สามารถแสดงได้ตามภาพที่ 15



ภาพที่ 15 Source-receptor orientation

ที่มา: Schnelle และคณะ (1986)

เมื่อจุดที่ $x = 0, y = 0, z = 0$ คือจุดที่ปลดปล่อยสารปนเปื้อนสู่บรรยากาศ (point source)

โดยที่

σ_z คือความสูงตามแนวแกนตั้งฉาก จากจุดที่ปลดปล่อยสาร

σ_y คือค่าความสัมพันธ์ (primary function) ตามแนวแกนระนาบ y จากจุดที่ปลดปล่อยสาร

σ_x คือค่าความสัมพันธ์ (primary function) ตามแนวแกนระนาบ x จากจุดที่ปลดปล่อยสาร

โดยค่าของ σ_z และ σ_y จะเป็นตัวกำหนดระดับค่าตัวแปรเสถียรภาพ

เมื่อพิจารณาตามรูปแบบการกระจายตัวของ Gaussian สามารถนำมาเขียนเป็นความสัมพันธ์การกระจายตัวตามหลักของวิชาสถิติจะสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

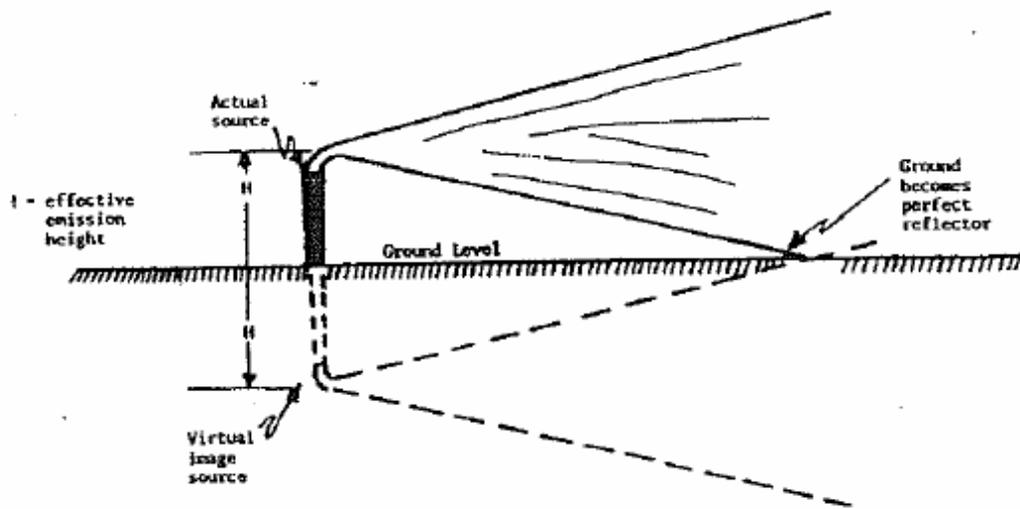
$$P(z) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2}\sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z - \bar{z}}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (14)$$

เมื่อ

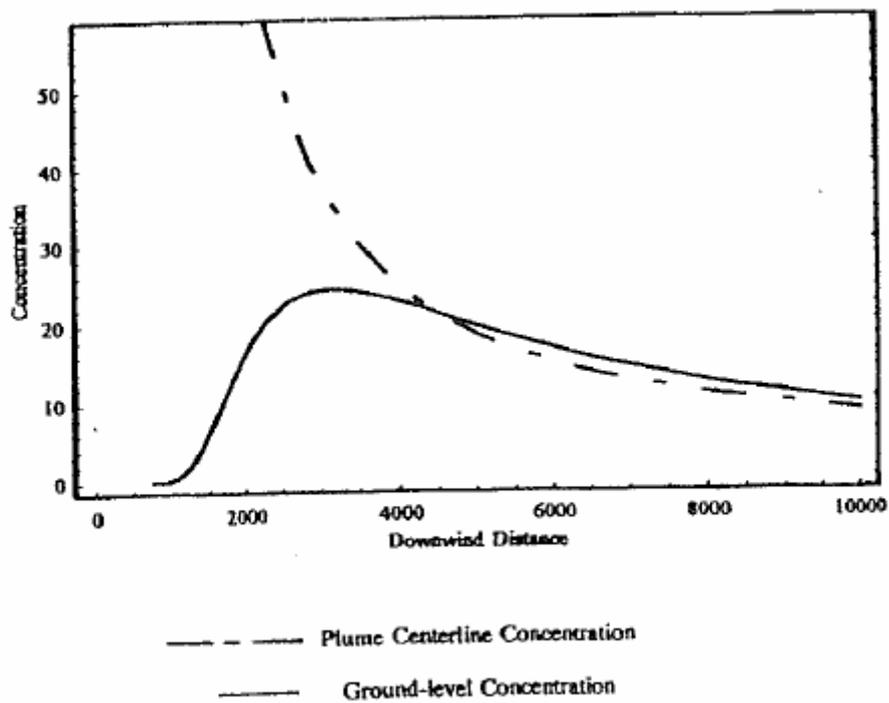
$P(z)$ คือค่าความสัมพันธ์การกระจายตัวตามแนวแกน z

σ_z คือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานตามแนวแกน z

ในการคำนวณความเข้มข้น ณ จุดใด ๆ บนพื้นดินจะมีปัจจัยการสะท้อนทางกายภาพ (reflex effect) ที่มีผลต่อความเข้มข้นที่มากขึ้นจากการคำนวณ โดยตามภาพที่ 16 สารปนเปื้อนส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับลงในพื้น หากเป็นพื้นดินจะสามารถดูดซับสารได้มากกว่าพื้นคอนกรีต



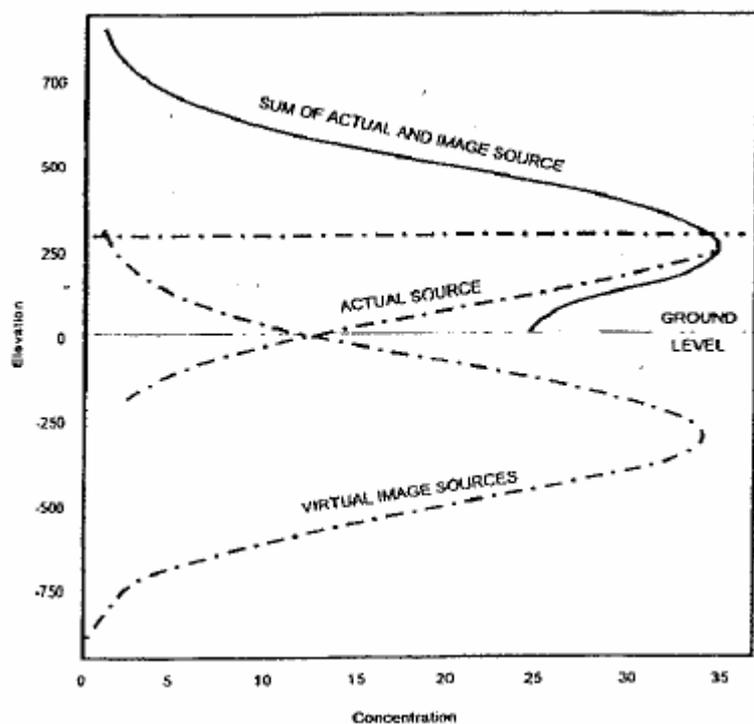
ภาพที่ 16 ผลของระดับพื้นดินต่อปริมาณความเข้มข้นของสารปนเปื้อนเมื่อเวลาผ่านไป
ที่มา: Schnelle และคณะ (1986)



ภาพที่ 17 ความเข้มข้นจากผลกระทบของสารปนเปื้อนเป็นอนจากความแตกต่างระหว่างระดับพื้นดิน
และจุดที่ปล่อยสารปนเปื้อน

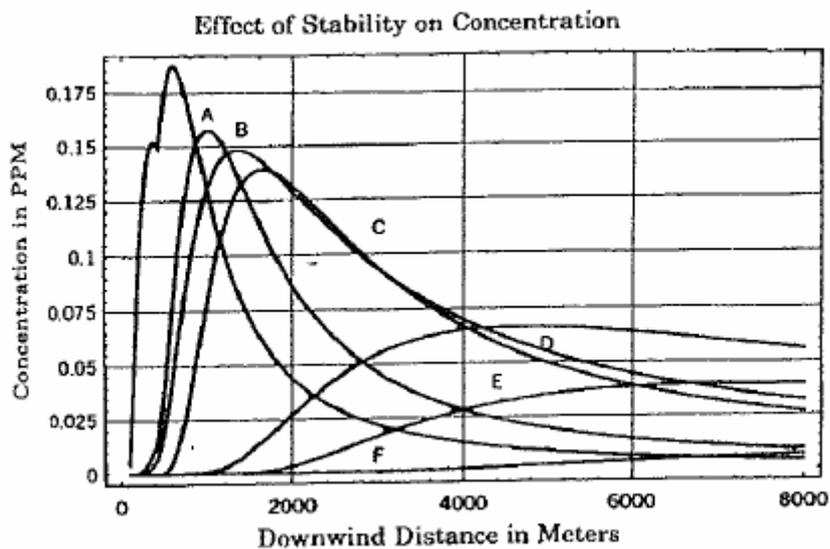
ที่มา: Schnelle และคณะ (1986)

ภาพที่ 17 ความเข้มข้นของผลกระทบของสารปนเปื้อน อันเนื่องมาจากความแตกต่างของระดับพื้นผิวและจุดที่ปล่อยสาร ซึ่งเป็นการแสดงผลของภาพที่ 16 ในลักษณะของกราฟความเข้มข้น จะสังเกตได้ว่าช่วงแรก ในส่วนของความเข้มข้นบนพื้นผิวจะเกิดขึ้นช้ากว่าความเข้มข้น ณ ปากปล่อง เนื่องจากความเร็วของสารปนเปื้อนในแนวแกน z หรือแนวตั้ง ยังลงมาไม่ถึง และจากภาพที่ 16 ภาพแสดงความเข้มข้นของสารปนเปื้อนบนระดับพื้นดินที่มากขึ้นจาก reflex effect จะแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นเมื่อสารปนเปื้อนลงสู่พื้นผิวจะมากกว่ารายการคำนวณ เนื่องจากมีปริมาณสารส่วนหนึ่งเกิดการสะสมขึ้นจากปรากฏการณ์สะท้อนกลับ



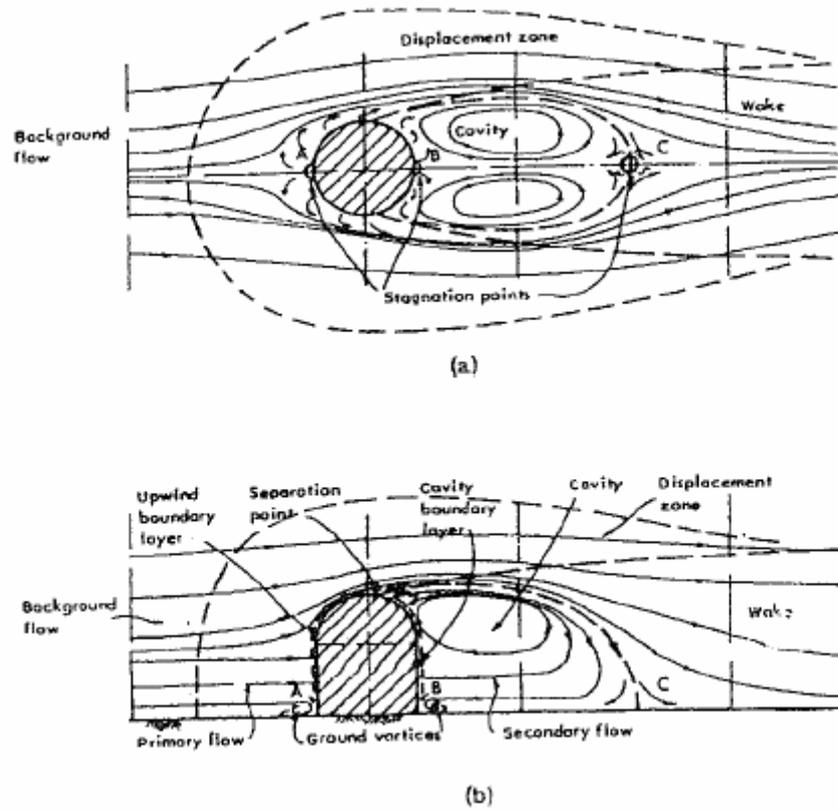
ภาพที่ 18 ผลกระทบของความเข้มข้นของสารปนเปื้อนบนระดับพื้นดินที่มากขึ้นจาก reflex effect

ที่มา: Schnelle และคณะ (1986)



ภาพที่ 19 ผลกระทบของระยะทางที่ได้รับผลกระทบจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยา
ที่มา: Schnelle และคณะ (1986)

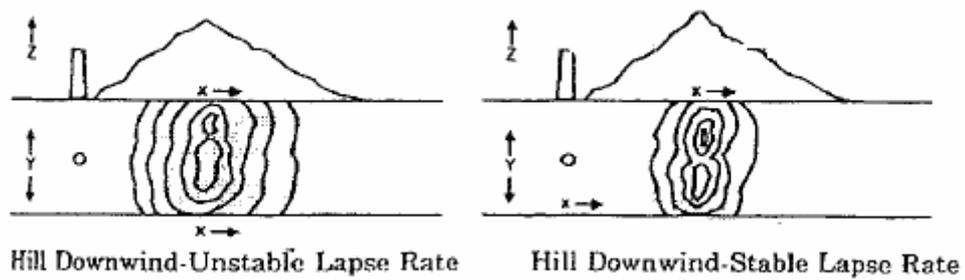
ภาพที่ 19 จะแสดงให้เห็นว่าที่เสถียรภาพระดับ A จะเกิดการกระจายตัวของก๊าซน้อยที่สุด หมายความว่าหากเกิดการรั่วไหลในเสถียรภาพของอากาศ A จะส่งผลกระทบต่อผู้ที่อาศัยอยู่โดยรอบในระยะใกล้สูงที่สุด และผู้ที่อาศัยอยู่ในระยะไกลจะไม่ได้รับผลกระทบ



ภาพที่ 20 ผลกระทบของระยะทางที่ได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมทางกายภาพ บริเวณที่ปล่อยสารปนเปื้อน (Terrain Effect)

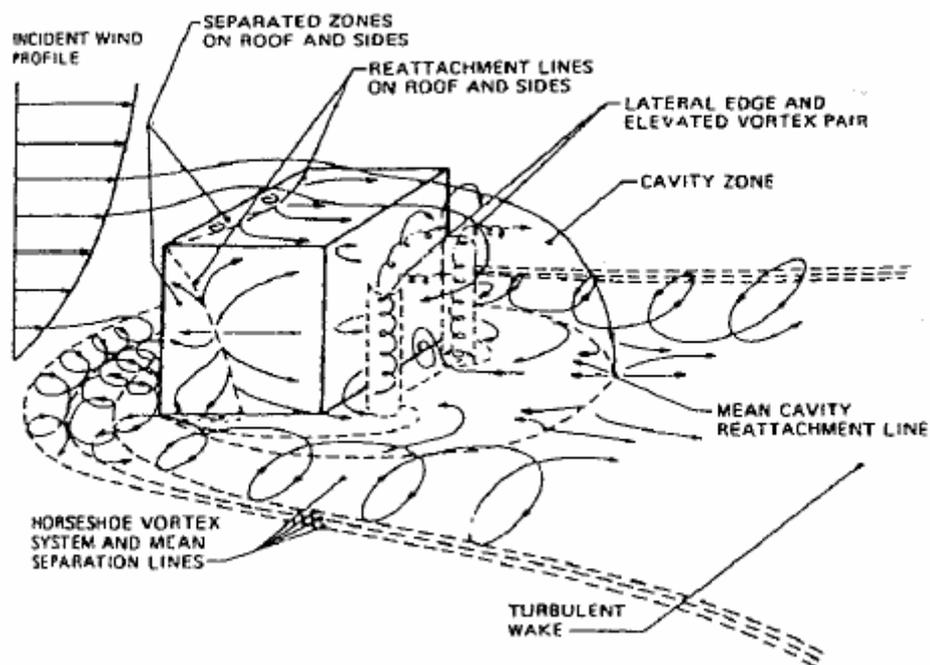
ที่มา: Schnelle และคณะ (1986)

ภาพที่ 20 เป็นการแสดงถึงอิทธิพลของลักษณะทางกายภาพบริเวณจุดที่ปล่อยสาร เช่น ที่โค้งแจ้ง หรือมีตึกที่ขวางทางลม ทำให้รูปแบบการกระจายตัวมีการเปลี่ยนแปลง โดยก๊าซหรือสารต่าง ๆ อาจเกิดการผสมกัน หรือเกิดการสะสมตัวมากที่สุดในด้านหลังของสิ่งกีดขวาง



ภาพที่ 21 ผลกระทบของระยะทางที่ได้รับผลกระทบจาก สภาพแวดล้อมทางกายภาพบริเวณที่ปล่อยสารปนเปื้อน ในสภาพหุบเขา (Terrain Effect)

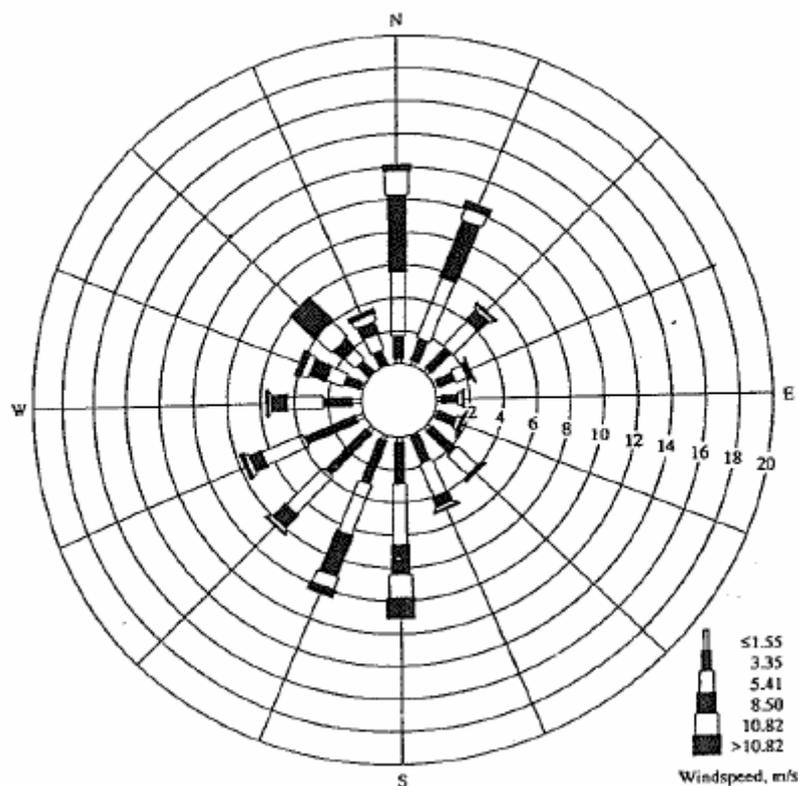
ที่มา: Schnelle และคณะ (1986)



ภาพที่ 22 ผลกระทบของระยะทางที่ได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมทางกายภาพ บริเวณที่เป็นดึก (Terrain Effect)

ที่มา: Schnelle และคณะ (1986)

ภาพที่ 22 จะแสดงลักษณะของผลกระทบของสิ่งกีดขวางต่อการไหลของก๊าซที่มีอิทธิพลจากลม ซึ่งบางส่วนอาจเกิดกระแสหมุนวนบริเวณด้านหลังของสิ่งกีดขวาง ทำให้บริเวณดังกล่าวสามารถพยายทางอากาศจะเกิดการสะสมขึ้นมาเป็นกรณีพิเศษ



ภาพที่ 23 ทิศทางลมและปริมาณในทิศทางต่าง ๆ เข้าสู่สถานีวัดลม (Wind rose)

ที่มา: Nevers (1980)

ภาพที่ 23 แสดงถึงแผนที่ลมซึ่งจะแสดงถึงทิศทางและปริมาณลม รวมทั้งความเร็วที่เข้าในทิศทางต่าง ๆ เช่นในรูปนี้จะแสดงค่าปริมาณลมที่เข้าทางทิศใต้รอบจุดที่เครื่องมือวัดปริมาณลมและทิศทางตั้งอยู่ เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงจะสามารถเก็บบันทึกความแรง ระยะทาง ระยะเวลา รวมทั้งทิศทาง โดยข้อมูลทั้งหมดนี้จะนำมาประมวลเป็นข้อมูลระยะสั้น ระยะกลาง หรือระยะยาวตามตัวอย่างในภาพที่ 23 จะหมายถึงค่าเฉลี่ยลมจำนวน 11% ต่อปีที่พัดเข้ามาทางทิศใต้ โดยมีความเร็วลมที่มากกว่า 10.82 เมตรต่อวินาทีเท่ากับ 1%

จะเห็นได้ว่าการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาจำลองเหตุการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นนั้นจะมีความน่าเชื่อถือมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการนำปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาคิด

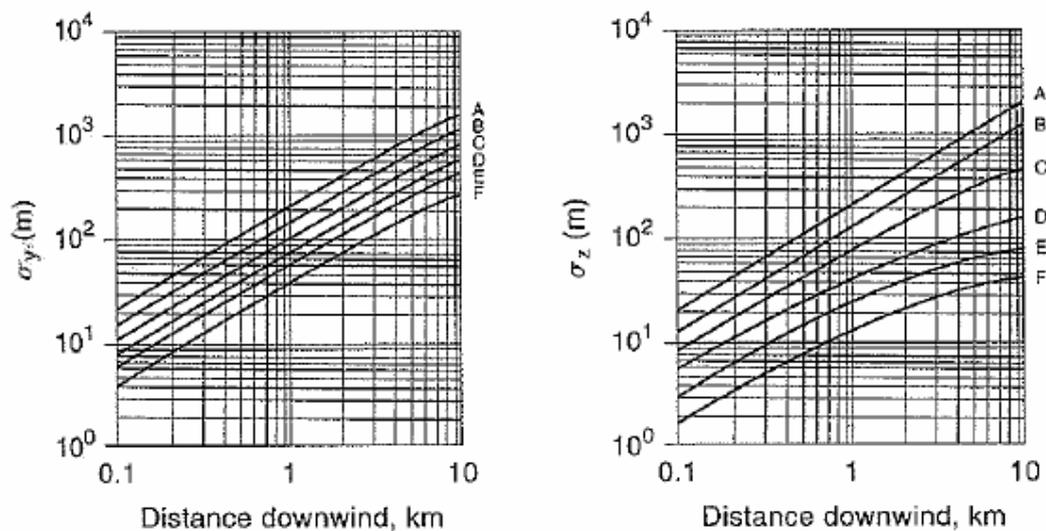
คำนวณผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นจากเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ได้กำหนดลงในแบบจำลองเหล่านั้น และควรมีการทดสอบกับเหตุการณ์ต่าง ๆ ในอดีต เพื่อตรวจสอบค่าความเบี่ยงเบนต่าง ๆ

6. สถานะที่ก่อให้เกิดอันตรายรุนแรง (Worst-Case Conditions)

สำหรับการเกิดการแพร่กระจายแบบ plume จะพบความเข้มข้นสูงที่สุดที่จุดรั่วไหล ถ้าจุดที่เกิดการรั่วไหลอยู่สูงกว่าระดับพื้นดิน จะพบความเข้มข้นสูงที่สุดที่จุดตามที่ลมพัดพาไปจากจุดรั่วไหล

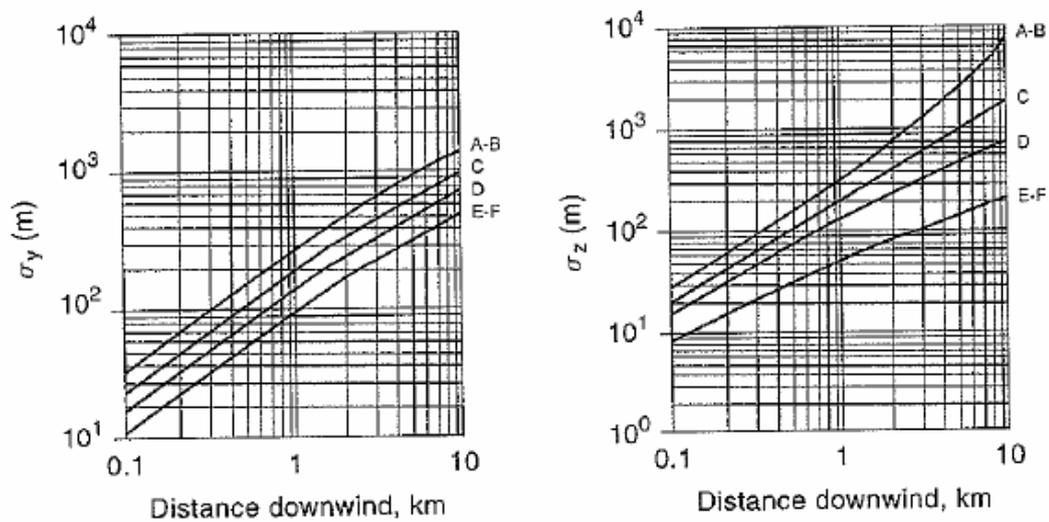
สำหรับการแพร่กระจายแบบ puff จะพบความเข้มข้นมากที่สุดที่จุดศูนย์กลางของการเกิด puff ถ้าเป็นการรั่วไหลจากจุดที่อยู่สูงกว่าระดับพื้นดิน จุดศูนย์กลางของการเกิด puff จะเคลื่อนที่ขนานกับพื้นดิน และความเข้มข้นมากที่สุดที่ระดับพื้นดินจะเกิดที่จุดตรงกับจุดศูนย์กลางของการเกิด puff สำหรับการกระจายตัวของ การเกิด puff จะเป็นลักษณะวงกลมเคลื่อนที่ตามทิศทางลม จุดศูนย์กลางของการกระจายตัวจะเพิ่มขึ้นตามทิศทางลมที่พัดพาไป จนถึงระดับความเข้มข้นมากที่สุด และจะลดลงตามขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง

สภาพภูมิอากาศที่ไม่ทราบ หรือระบุชัดไม่ได้ สามารถใช้ข้อมูลสมมติฐานให้เป็นผลของการเกิดจากสถานะที่ก่อให้เกิดอันตรายรุนแรง (Worst-Case Condition) นั่นคือ เป็นการประเมินการเกิดระดับความเข้มข้นสูงที่สุดที่จะได้รับ สภาพอากาศใน Pasquill-Gifford dispersion equation จะหมายรวมถึงสัมประสิทธิ์ในการกระจายตัว (dispersion coefficients) และความเร็วลม (wind speed) จากการทดสอบตามสมการการกระจายตัวของ Pasquill-Gifford ในการประเมินความเข้มข้น พบว่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายตัวและความเร็วลมอยู่ในมาตรฐาน ดังนั้นความเข้มข้นมากที่สุดที่ประเมินได้จากสภาพอากาศและความเร็วลมจะได้จาก ค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายตัวและความเร็วลมที่มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งสามารถดูค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวที่น้อยที่สุดได้จากภาพที่ 24 ถึง 26 ในรูปของสถานะเสถียรภาพระดับ F (F stability) ความเร็วลมต้องไม่เป็นศูนย์ โดยสามารถเลือกค่าได้ USEPA ได้เสนอแนะถึงสถานะเสถียรภาพระดับ F (F stability) จะมีระดับความเร็วลมอย่างต่ำ 1.5 m/s ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงบางครั้งจะใช้ความเร็วลมที่ 2 m/s ซึ่งในการคำนวณนั้นจะต้องตั้งสมมติฐานที่ชัดเจน



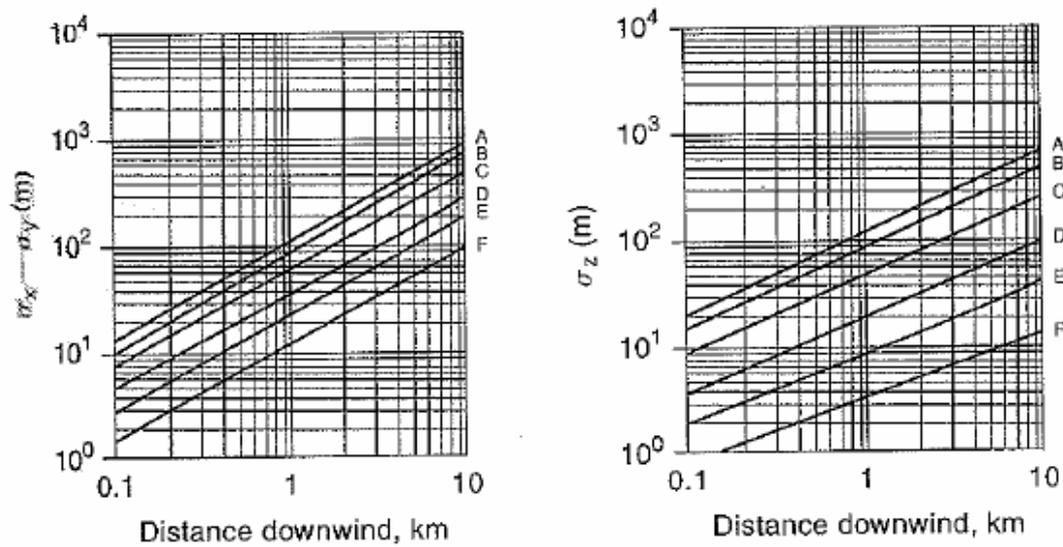
ภาพที่ 24 สัมประสิทธิ์การกระจายตัว Pasquill-Gifford plume model สำหรับการรั่วไหลในพื้นที่ชนบท

ที่มา: Louvar (2001)



ภาพที่ 25 สัมประสิทธิ์การกระจายตัว Pasquill-Gifford plume model สำหรับการรั่วไหลในพื้นที่ในเขตเมือง

ที่มา: Louvar (2001)



ภาพที่ 26 สัมประสิทธิ์การกระจายตัว Pasquill-Gifford puff model

ที่มา: Louvar (2001)

7. แบบจำลองที่ได้รับการยอมรับจากหน่วยงาน USEPA

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ประมวลการแพร่กระจาย สามารถแบ่งเป็นตามลักษณะที่เกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ

1. แหล่งกำเนิดที่จำเป็นต้องปล่อยออกมาจากการผลิต ซึ่งได้แก่ ปล่อยระบายอากาศ เพื่อหาข้อมูลว่าก๊าซที่ปล่อยออกมาด้วยความเข้มข้นของมลพิษจำนวนหนึ่ง กระจายตัวเป็นบริเวณกว้างเท่าใด และกระทบต่อสภาพแวดล้อมชุมชนอย่างไร หากอยู่ในระดับความเข้มข้นสูงแต่มีมาตรการการลดอย่างไร สมควรอนุญาตอนุญาตให้ประกอบหรือไม

2. อุบัติเหตุ จะเป็นแหล่งกำเนิดที่ปล่อยก๊าซออกมาในกรณีไม่ปกติ ข้อมูลต่าง ๆ จะประมวลว่า หากเกิดเหตุการณ์ขึ้น ความเสียหายจะเป็นบริเวณกว้างเท่าไร ควรมีมาตรการควบคุมอย่างไร หรือเมื่อเกิดเหตุแล้วควรปฏิบัติตัวอย่างไร

หน่วยงานที่เป็นผู้ดูแลเรื่องของอุบัติเหตุ ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีหลายหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยพิจารณาจากสถานที่เกิดเหตุ และชนิดของอุบัติเหตุ ซึ่งหน่วยงานต่าง ๆ เหล่านี้ได

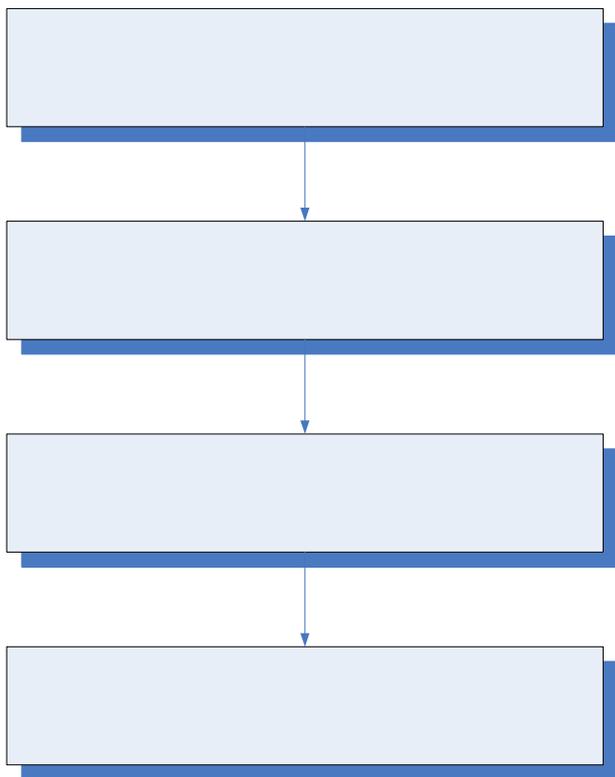
พัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้จัดการเหตุฉุกเฉินต่าง ๆ ขึ้น แต่หากพิจารณาแบบจำลองที่มีการใช้งานอยู่จริงและได้รับการยอมรับอย่างเป็นทางการ โดยหน่วยงาน EPA จะมีหลัก ๆ อยู่ 3 แบบจำลอง

1. DEGADIS (Dense Gas Distribution Model) โปรแกรมคำนวณการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) โดยใช้สมการการคิดแบบ Heavy Gas Dispersion Model พัฒนาขึ้นโดย Research Triangle Park NC 27711 Environmental Protection Agency's (EPA)

2. ARAHIE (Automated Resource for Chemical Hazard Evaluation) โปรแกรมคำนวณการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) โดยใช้สมการการคิดแบบ Guassian Dispersion Model แต่อยู่ในรูปของ DOS พัฒนาขึ้นโดย Hazmat America Inc. และได้รับการยอมรับอย่างเป็นทางการโดย Federal Emergency Management Agency (FEMA), the US Department of Transportation (DOT) และ Environmental Protection Agency's (EPA)

3. ALOHA (Areal Location of Hazardous Atmospheres) โปรแกรมคำนวณการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) โดยใช้สมการการคิดแบบ Guassian Dispersion Model แต่อยู่ในรูปของ Window พัฒนาขึ้นโดย National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Hazardous materials Response and Assessment Division และ Environmental Protection Agency's (EPA) Chemical Emergency Preparedness Office.

แนวทางการใช้ข้อมูลเพื่อพิจารณา Dispersion Model โดย USEPA ได้เสนอขั้นตอนไว้ดังภาพที่ 27



ใช้ข้อมูล Mat
ในการประเมินเบื้องต้น

ใช้ข้อมูล Hyp
ในการหากรณีเล

ใช้ข้อมูล
ในการหากรณีที่จะเกิด

ใช้ข้อมูล I
เพื่อหาค่า

ภาพที่ 27 แนวทางการใช้ข้อมูลเพื่อพิจารณา Dispersion Model โดย USEPA
ที่มา: Evans (n.d.)