

การตรวจเอกสาร

สถานีบริการก๊าซธรรมชาติ

ก๊าซธรรมชาติ

ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลอย่างหนึ่ง ซึ่งพบได้ในแอ่งใต้พื้นดิน หรืออาจพบร่วมกับน้ำมันดิบหรือคอนเดนเสท โดยคาดว่าจะเป็แหล่งพลังงานหลัก ที่จะนำมาใช้ได้ อีกประมาณ 60 ปี ข้างหน้า ปริมาณสำรองที่พิสูจน์แล้วทั่วโลกเมื่อปี พ.ศ. 2541 มีปริมาณ 5,086 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุต โดยพบมากที่สุด ในสหภาพโซเวียตเดิม มีปริมาณ 1,700 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุต รองลงมาคืออิหร่าน 810 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุต และกาตาร์ 300 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุต

ยานยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas Vehicles: NGV) หมายถึงยานยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด (Compressed Natural Gas: CNG) เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเหมือนกับก๊าซธรรมชาติ ที่นำมาใช้ในบ้านอยู่อาศัยในหลาย ๆ ประเทศ เช่น ออสเตรเลีย เพื่อการประกอบอาหาร การทำความร้อนและการทำน้ำร้อน เป็นต้น

ยานพาหนะที่ใช้ก๊าซธรรมชาติในฝรั่งเศสได้มีการพัฒนา และนำมาใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1860 (พ.ศ. 2403) โดยชาว ฝรั่งเศสชื่อ Jean Etienne Lenoir แต่ยังไม่เป็นที่นิยม จนกระทั่งในช่วง สงครามโลกครั้งที่ 2 และช่วงที่เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันในปี ค.ศ. 1973 (พ.ศ. 2516) ซึ่งทำให้ราคาน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้การใช้ก๊าซธรรมชาติในยานยนต์เริ่มแพร่หลายมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในประเทศออสเตรเลีย แคนาดา นิวซีแลนด์ และสหรัฐอเมริกา (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2546)

ยานพาหนะที่ใช้ก๊าซธรรมชาติในสหรัฐอเมริกาได้มีการพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ.1940 (พ.ศ. 2483) จนกระทั่งปี ค.ศ. 1970 (พ.ศ. 2513) จึงมีการใช้อย่างแพร่หลายในสหรัฐอเมริกา ช่วงระหว่างปี ค.ศ.1980 (พ.ศ. 2523) ถึง 1982 (พ.ศ. 2525) American Gas Association: AGA ได้พัฒนา มาตรฐานความปลอดภัยสำหรับระบบเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติอัด และในช่วงหลังปี ค.ศ.1981 (พ.ศ. 2524) AGA ได้ขอให้ National Fire Protection Association: NFPA ตั้งโครงการเพื่อพัฒนา ข้อเสนอแนะทางเทคนิคในด้านต่าง ๆ NFPA จึงได้ประกาศมาตรฐานสำหรับก๊าซธรรมชาติครั้งแรก

เมื่อ ปี ค.ศ. 1984 ซึ่งก็คือ NFPA 52 Compressed Natural Gas (CNG) Vehicular Fuel System Code. 1984 และมีการปรับปรุงทุก ๆ 3 ปี (NFPA, 2002)

ในส่วนในประเทศไทย การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทยได้เริ่มให้บริการสถานีบริการก๊าซธรรมชาติรถยนต์มาตั้งแต่ปี พ.ศ.2527 (การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, 2544) และปัจจุบันมีการประกาศใช้กฎกระทรวงฉบับที่ 12 (พ.ศ.2536) ออกตามความในพระราชบัญญัติรถยนต์ พ.ศ. 2522, กฎกระทรวงฉบับที่ 41 (พ.ศ.2536) ออกตามความในพระราชบัญญัติขนส่งทางบก พ.ศ. 2522 ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับการติดตั้งระบบก๊าซธรรมชาติอัดในรถยนต์ และประกาศกรมการขนส่งทางบก เรื่อง แบบ ขนาด และมาตรฐานของเครื่องตรวจสภาพรถ และอุปกรณ์หรือสิ่งอำนวยความสะดวกในการตรวจสภาพรถ ประกาศ ณ วันที่ 23 เมษายน พ.ศ. 2539 ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับการตรวจสภาพรถที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด (สุกิตติ, 2546)

ปัจจุบัน (พ.ศ. 2546) ในประเทศไทยมีสถานีบริการก๊าซธรรมชาติทั้งสิ้น จำนวน 26 แห่ง ทั้งในกรุงเทพฯและปริมณฑล และบริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) มีแผนที่จะขยายให้ได้ 120 แห่ง ภายในปี พ.ศ. 2551 และกรมธุรกิจพลังงานได้ออกประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และมาตรฐานความปลอดภัยของสถานีบริการก๊าซธรรมชาติ ที่กรมธุรกิจพลังงานมีอำนาจหน้าที่รับผิดชอบ พ.ศ. 2546 ออกตามความในพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ซึ่งประกาศ ณ วันที่ 7 ตุลาคม 2546 เพื่อกำกับดูแลสถานีบริการดังกล่าว ๆ และมีผลบังคับใช้แล้วตั้งแต่วันที่ 6 พฤศจิกายน 2546 ซึ่งเป็นวันที่ถัดจากวันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ในขณะที่การเลือกใช้เชื้อเพลิงที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยในยานยนต์ เช่น ก๊าซธรรมชาติ กำลังได้รับการสนับสนุนมากขึ้นในหลาย ๆ ประเทศ อันเนื่องมาจากปัญหาคุณภาพอากาศ และปัญหาก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นทั่วโลก และด้วยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในยานยนต์พบว่ามีมลพิษน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงอื่นๆ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาระบบควบคุมมลพิษสำหรับยานยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาตินับว่ายังล่าหลังยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของเครื่องยนต์ และปรับปรุงสูตรของน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมานานกว่า แต่ด้วยข้อได้เปรียบทางด้านสภาพแวดล้อม ก๊าซธรรมชาติจึงเป็นทางเลือกเชื้อเพลิงหนึ่งสำหรับยานยนต์ที่จะมีการใช้แพร่หลายมากขึ้น (กรมธุรกิจพลังงาน, 2546)

เนื่องจากผู้วิจัยได้ให้ความสนใจ และพยายามหาคำตอบในด้านอันตรายของสถานบริการก๊าซธรรมชาติ ซึ่งพบว่ายังไม่มีผู้ที่ศึกษาอันตรายของสถานบริการก๊าซธรรมชาติโดยตรง ทำให้ไม่สามารถหาคำตอบที่จะบอกกล่าวสาธารณะชน โดยเฉพาะมาตรการต่าง ๆ ของกฎหมายและข้อกำหนดของต่างประเทศที่จะนำมาใช้มีความปลอดภัยเพียงพอหรือไม่ จึงเป็นที่มาในการที่จะทำวิทยานิพนธ์ในเรื่องนี้

การเกิดของก๊าซธรรมชาติ

ก๊าซธรรมชาติเกิดจากการสะสมและทับถมกันของซากพืชซากสัตว์สะสมเป็นเวลานาน จนเกิดการรวมตัวกันเป็นก๊าซธรรมชาติ ซึ่งประกอบไปด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทต่าง ๆ ได้แก่ มีเทน อีเทน โพรเพน บิวเทน เพนเทน เฮกเซน เฮปเทน และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ อีก นอกจากนี้ยังมีสิ่งเจือปนอื่น ๆ อีก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซีลีเนียม ไนโตรเจนและไอน้ำ เป็นต้น และก๊าซธรรมชาติซึ่งครั้งหนึ่งไม่เป็นที่ต้องการ เนื่องจากมีพลังงานน้อย และมีน้ำมันดิบอยู่เหลือเพื่อเกินความต้องการ แต่ในปัจจุบัน ก๊าซธรรมชาติเป็นหนึ่งในห้าของพลังงานที่ใช้มากที่สุดในโลกขณะนี้ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนาในการนำก๊าซธรรมชาติมาใช้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และนับวันการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงนี้ มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้น ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด และเมื่อแยกเอาอีเทนและโพรเพนออกแล้ว ก๊าซทั้งสองยังสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีได้อีกด้วย จึงนับว่าก๊าซธรรมชาติเป็นทรัพยากรที่สำคัญยิ่ง (ธำรงรัตน์, ม.ป.ป.)

คุณสมบัติทั่วไปของก๊าซธรรมชาติ

ก๊าซธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งประกอบด้วย ธาตุถ่านคาร์บอน (C) กับธาตุไฮโดรเจน (H) จับตัวกันเป็นโมเลกุล โดยเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จากการทับถมของซากสิ่งมีชีวิตตามชั้นหิน ดิน และในทะเลหลายร้อยล้านปีมาแล้ว เช่นเดียวกับน้ำมัน และเนื่องจากความร้อนและความกดดันของผิวโลกจึงแปรสภาพเป็นก๊าซ โดยมีคุณสมบัติที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น (ยกเว้นกลิ่นที่เติมเพื่อให้รู้เมื่อเกิดการรั่วไหล) และไม่มีพิษ ในสถานะปกติมีสภาพเป็นก๊าซหรือไอที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าอากาศจึงเบากว่าอากาศ เมื่อเกิดการรั่วไหลจะฟุ้งกระจายไปตามบรรยากาศอย่างรวดเร็วจึงไม่มีการสะสมลูกไหมบนพื้นราบ ความแตกต่างระหว่างก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas: NG) และก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum

Gas: LPG) ก็คือก๊าซธรรมชาติ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน (Methane) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นก๊าซที่มีน้ำหนักเบากว่าอากาศ การขนส่งไปยังผู้ใช้จะขนส่งผ่านทางท่อในรูปก๊าซภายใต้ ความดันสูง จึงไม่เหมาะสำหรับการขนส่งไกล ๆ หรืออาจบรรจุใส่ถังโดยการอัดโดยใช้ความดันสูง หรือที่เรียกว่าก๊าซธรรมชาติอัด (Compressed Natural Gas: CNG) แต่ปัจจุบันมีการส่งก๊าซธรรมชาติในรูปของเหลวโดยทำก๊าซให้เย็นลงถึง -161 องศาเซลเซียส จะได้ของเหลวที่เรียกว่าก๊าซธรรมชาติเหลว (Liquefied Natural Gas: LNG) ซึ่งสามารถขนส่งทางเรือไปที่ไกล ๆ ได้สะดวกและได้ปริมาณมาก ๆ และเมื่อถึงปลายทางก่อนนำมาใช้ก็จะทำให้ของเหลวเปลี่ยนสถานะกลับเป็นก๊าซอย่างเดิม และเนื่องจากก๊าซธรรมชาติมีค่าออกเทนสูงถึง 120 RON จึงสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานยนต์ได้ (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2546)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของ NG กับ LPG

คุณสมบัติพื้นฐาน	NG	LPG
สถานะปกติ	ก๊าซ (เบากว่าอากาศ)	ก๊าซ (หนักกว่าอากาศ)
จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	-162	-50
อุณหภูมิจุดระเบิดในอากาศ (องศาเซลเซียส)	540	400
ช่วงติดไฟในอากาศ (ร้อยละโดยปริมาตร)	5-15	2-9

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (2546)

พฤติกรรมเฟส

พฤติกรรมเฟสในที่นี้ประกอบด้วยสารบริสุทธิ์ ของผสมสองชนิด และของผสมสามชนิด การศึกษาเกี่ยวกับของผสมทำให้ได้คุณสมบัติต่าง ๆ เพิ่มขึ้นอีก เช่น จุดเดือด จุดน้ำค้าง และการควบแน่นแบบรีโทรเกรด กฎของเฟส จำนวนของส่วนประกอบและจำนวนระดับความอิสระ (Degree of Freedom) เพื่อใช้ในการกำหนดระบบ โดยพฤติกรรมของก๊าซที่เบี่ยงเบนจากกฎของก๊าซอุดมคติ (Ideal Gas Law) นิยมแสดงให้อยู่ในรูปของค่าเบี่ยงเบนของก๊าซ (Z-Factor หรือ Compressibility Factor) เพื่อใช้ในการวัดและคำนวณทางวิศวกรรมหลายด้านเกี่ยวกับก๊าซธรรมชาติ เช่น การหาค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ ปริมาตรและความหนืด เป็นต้น โดยค่า

เหล่านี้สามารถใช้ในการคำนวณหาคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ได้ เช่น งานของคอมเพรสเซอร์ ปริมาณการเย็นตัวจากการขยายตัวของก๊าซ และผลของความดันต่อความร้อนจำเพาะ เป็นต้น

ส่วนประกอบของก๊าซธรรมชาติ

ส่วนประกอบของก๊าซธรรมชาติอาจแสดงได้โดยสัดส่วนโมล (Mole Fraction), สัดส่วนปริมาตร (Volume Fraction), หรือสัดส่วนน้ำหนัก (Weight Fraction) ของส่วนประกอบนั้น หรืออาจจะแสดงโดยโมลร้อยละ (Mole Percent), ปริมาตรร้อยละ (Volume Percent), และน้ำหนักร้อยละ (Weight Percent) โดยการคูณสัดส่วนต่าง ๆ ด้วย 100 เนื่องจากการวัดที่มาตรฐานเดียวกัน สำหรับก๊าซนิยมคิดว่า สัดส่วนปริมาตรและสัดส่วนโมลเป็นค่าเดียวกัน

$$\text{สัดส่วนโมลหาได้โดย} \quad Y_i = \frac{n_i}{\sum(n_i)} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{โดย} \quad Y_i &= \text{สัดส่วนจำนวนโมลในองค์ประกอบที่ } i \\ n_i &= \text{จำนวนโมลขององค์ประกอบที่ } i \\ \sum(n_i) &= \text{จำนวนโมลทั้งหมดของ } \text{ } \text{ผสม} \end{aligned}$$

$$\text{สัดส่วนปริมาตรหาได้โดย} \quad V_R = \frac{V_i}{\sum(V_i)} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{โดย} \quad V_R &= \text{สัดส่วนปริมาตร} \\ V_i &= \text{ปริมาตรขององค์ประกอบที่ } i \\ \sum(V_i) &= \text{ปริมาตรทั้งหมดของ } \text{ } \text{ผสม} \end{aligned}$$

$$\text{สัดส่วนน้ำหนักหาได้โดย} \quad W_i = \frac{m_i}{\sum(m_i)} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{โดย} \quad W_i &= \text{สัดส่วนน้ำหนักขององค์ประกอบ } i \\ m_i &= \text{น้ำหนักขององค์ประกอบที่ } i \\ \sum(m_i) &= \text{น้ำหนักรวมทั้งหมดของ } \text{ } \text{ผสม} \end{aligned}$$

มวลโมเลกุลปรากฏ (Apparent Molecular Weight)

หลักของมวลโมเลกุลปรากฏหรือ มวลโมเลกุลเฉลี่ยของก๊าซธรรมชาติสามารถหาได้โดยความสัมพันธ์ดังนี้

$$M_a = \sum (y_i M_i) \quad (4)$$

โดย M_a = มวลโมเลกุลปรากฏของ ๆ ผสม

y_i = สัดส่วนขององค์ประกอบที่ i

M_i = มวลโมเลกุลขององค์ประกอบที่ i

กฎของก๊าซสามารถประยุกต์ใช้กับก๊าซผสมกันได้ โดยเราจะใช้มวลโมเลกุลปรากฏแทนมวลโมเลกุลเดียวในสูตรได้

ก๊าซอุดมคติ

ก๊าซธรรมชาติจะมีคุณสมบัติเหมือนก๊าซอุดมคติ เมื่ออยู่ในสภาวะความดันต่ำหรือในสภาวะอุณหภูมิและความดันปกติ แต่ถ้าความดันสูงขึ้นจะมีความแตกต่างระหว่างปริมาตรของก๊าซจริงและก๊าซอุดมคติมากขึ้น ซึ่งกฎต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับก๊าซอุดมคติ ได้แก่

กฎของบอยล์ (Boyle's Law)

$$PV = \text{ค่าคงที่} \quad \text{หรือ} \quad P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (5, 6)$$

กฎของชาร์ล (Charles's Law)

$$\frac{V}{T} = \text{ค่าคงที่} \quad (7)$$

$$\text{หรือ} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (8, 9)$$

กฎของก๊าซอุดมคติ (Ideal Gas Law)

เป็นการรวมกฎของบอยล์ กฎของชาร์ลและกฎของอะโวกาโดร (Avogadro's Law) ซึ่งกล่าวว่า ภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความดันเดียวกัน ก๊าซอุดมคติที่มีปริมาตรเท่ากันจะมีจำนวนโมเลกุลเท่ากันคือ เท่ากับ 2.73×10^{26} โมเลกุล ต่อ 1 ปอนด์โมลของก๊าซ หรืออาจกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่า ก๊าซอุดมคติ 1 ปอนด์ - โมล จะมีปริมาตร 378.6 ลูกบาศก์ฟุต ที่อุณหภูมิ 60° ฟาเรนไฮต์ และความดัน 14.73 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (สภาวะมาตรฐาน) กฎของก๊าซอุดมคตินิยมเขียนเป็นสมการดังนี้

$$PV = nRT \quad (10)$$

เมื่อ	R	=	คือค่าคงที่ของก๊าซ ซึ่งมีค่าเท่ากับ	10.732 psi-ft ³ /lb mole R
โดย	P	=	ความดันสมบูรณ์,	psia
	V	=	ปริมาตร,	ft ³ /lb
	n	=	จำนวนโมลของก๊าซ,	lb mole
	T	=	อุณหภูมิสมบูรณ์,	R

พฤติกรรมของก๊าซจริง

ก๊าซอุดมคติสามารถบอกได้ถึงพฤติกรรมของก๊าซทั้งหมดที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ซึ่งจริง ๆ แล้ว คุณสมบัติของก๊าซจริงจะแตกต่างกับก๊าซอุดมคติ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิและความดันสูง ซึ่งต้องคูณด้วยค่าที่แก้ไขที่เรียกว่า Z - Factor หรือตัวคูณในการอัดตัว (Compressibility Factor) ซึ่ง Z - Factor นี้ สามารถหาได้โดย

$$Z = \frac{\text{ปริมาตรจริงของ } n \text{ โมลก๊าซ}}{\text{ปริมาตรอุดมคติของ } n \text{ โมลก๊าซที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน}} \quad (11)$$

สมการสถานะ (Equation of State) ของก๊าซจริง

ก๊าซต่าง ๆ จะมีพฤติกรรมเบี่ยงเบนไปจากก๊าซอุดมคติ ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ สมการสถานะเหล่านี้ได้แก่ สมการของ แวน เดอร์ วาล์ (Van Der Waals' Equation)

$$\left(\frac{P+a}{V^2}\right)(V-b) = RT \quad (12)$$

นอกจากนี้ยังมีสมการอื่น ๆ อีก ได้แก่สมการ เบนเนดิกต์ เวนบ์ รูบิน (Benedict-Webb-Waals: BWR), สมการ รีดลิกซ์ กวง (Redlich - Kwong: R-K) และสมการ เพง โรบินสัน (Peng Robinson: P-R) เป็นต้น ซึ่งสมการต่าง ๆ เหล่านี้เหมาะสมกับสารหรือสภาวะที่แตกต่างกันออกไปแล้วแต่กรณี อย่างไรก็ตามสมการของก๊าซจริงที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมก๊าซธรรมชาติ โดยทั่วไปนิยมเขียนในรูป

$$PV = ZnRT \text{ สามารถเขียนได้เป็น } \frac{pV}{zT} = \text{Constant} \quad (13)$$

Z - Factor เป็นฟังก์ชันของทั้งความดันสมบูรณ์ และอุณหภูมิสมบูรณ์ และสมการ X สามารถเขียนให้อยู่ในเทอมของ ปริมาตรจำเพาะ (v) หรือความหนาแน่น (ρ) และความถ่วงจำเพาะของก๊าซ (γ_g) ได้ ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$pV = zm \frac{RT}{M} \quad (14)$$

$$pV = z \frac{RT}{M} \quad (15)$$

หรือ

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{PM}{zRT} = \frac{2.7P\gamma_g}{zT} \quad (16)$$

ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันจะได้

$$\frac{\rho_{gas}}{\rho_{air}} = \frac{M_{gas}}{M_{air}} = \frac{M}{29} = \gamma_g \quad (17, 18, 19)$$

โดยกำหนดให้ความถ่วงจำเพาะของอากาศ = 1
(ชำระรัตน์, ม.ป.ป.)

ลักษณะของสถานีบริการก๊าซธรรมชาติรถยนต์

ปัจจัยที่สำคัญในส่งเสริมการใช้รถ NGV ก็คือ การมีระบบท่อส่งก๊าซและสถานีบริการก๊าซธรรมชาติโดยเฉพาะ และการก่อสร้างสถานีบริการต้องใช้เงินลงทุนสูง ดังนั้น ในการจัดตั้งสถานีบริการจึงมักคำนึงถึงการอยู่ใกล้แหล่งที่จัดหาก๊าซธรรมชาติ หรือมีเครือข่ายระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติอยู่แล้ว

รูปแบบของสถานีบริการก๊าซธรรมชาติ สามารถแบ่งตามลักษณะต่าง ๆ ได้ ดังนี้

1. สถานีบริการแบบพื้นฐานหรือแบบที่มีท่อส่งก๊าซ (Conventional Station) เป็นสถานีที่ตั้งอยู่ในบริเวณแนวท่อก๊าซ ดังนั้นจึงสามารถสูบน้ำอัดก๊าซจากท่อก๊าซ โดยเครื่องสูบน้ำอัดก๊าซ (Compressor) จนมีความดันถึง 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ผ่านชุดควบคุมการไหลของก๊าซ (Priority Panel) เพื่อควบคุมก๊าซที่อัดแล้วจากเครื่องสูบน้ำอัดก๊าซให้ไหลไปยังที่ต่าง ๆ ตามที่ตั้งโปรแกรมไว้ตามลำดับ เช่นการเติมก๊าซให้แก๊รรถยนต์ หรือเติมก๊าซให้แก๊งเก็บและจ่ายก๊าซ (Pressure Vessel) เพื่อเก็บพักและรอการจ่ายให้แก๊รรถยนต์

2. สถานีบริการแบบสถานีแม่ (Mother Station) เป็นสถานีที่ตั้งอยู่ในบริเวณแนวท่อก๊าซ แต่ต่างกับที่สถานีจะมีหน้าที่เติมก๊าซให้แก๊รรถขนส่งก๊าซ (NGV Trailer) อีกหน้าที่หนึ่งโดยสถานีแม่จะทำหน้าที่นั้นสูบน้ำอัดก๊าซจากท่อก๊าซ โดยเครื่องสูบน้ำอัดก๊าซ (Compressor) จนมีความดันถึง 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ผ่านชุดควบคุมการไหลของก๊าซ (Priority Panel) เพื่อควบคุมก๊าซที่อัดแล้วจากเครื่องสูบน้ำอัดก๊าซให้ไหลไปยังที่ต่าง ๆ ตามที่ตั้งโปรแกรมไว้ตามลำดับ เช่นการเติมก๊าซให้แก๊รรถยนต์ หรือเติมก๊าซให้แก๊งเก็บและจ่ายก๊าซ (Pressure Vessel) เพื่อเก็บพักและรอการจ่ายให้แก๊รรถยนต์ และรถขนส่งก๊าซ

3. สถานีบริการแบบสถานีลูก (Daughter Station) เป็นสถานีที่ตั้งอยู่ห่างไกลบริเวณท่อก๊าซบริเวณแนวท่อก๊าซ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรับก๊าซจากรถขนส่งก๊าซ (NGV Trailer) โดยสถานีลูกจะมีเครื่องสูบน้ำอัดก๊าซ (Compressor) ทำหน้าที่สูบน้ำอัดก๊าซจากรถขนส่งก๊าซ ผ่านชุดควบคุมการไหลของก๊าซ (Priority Panel) เพื่อควบคุมก๊าซที่อัดแล้วจากเครื่องสูบน้ำอัดก๊าซให้ไหลไปยังที่ต่าง ๆ ตามที่ตั้งโปรแกรมไว้ตามลำดับ เช่นการเติมก๊าซให้แก๊รรถยนต์ หรือเติมก๊าซให้แก๊งเก็บและจ่ายก๊าซ (Pressure Vessel) เพื่อเก็บพักและรอการจ่ายให้แก๊รรถยนต์

สำหรับระบบสถานีเติมเชื้อเพลิงยานยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติในรูปของก๊าซธรรมชาติอัด (Compressed Natural Gas: CNG) มีอยู่ 2 ระบบด้วยกัน คือ

1. ระบบเติมเร็ว(Fast-Fill CNG System) เป็นระบบที่ออกแบบมาเพื่อให้สามารถเติมก๊าซให้กับรถได้พร้อมกันหลายคัน โดยใช้เวลาในการเติมประมาณ 3-5 นาที

2. ระบบเติมช้า(Slow-Fill CNG System) เป็นระบบที่ออกแบบมาเพื่อเป็นศูนย์กลางในการเติมก๊าซให้กับรถจำนวนมากๆ โดยใช้ระยะเวลาในการเติมประมาณ 6 - 8 ชั่วโมง โดยขึ้นอยู่กับปริมาณรถที่เข้ามาเติมด้วย (กรมธุรกิจพลังงาน, 2546)



ภาพที่ 1 ลักษณะทั่วไปของสถานีบริการก๊าซธรรมชาติในประเทศไทย

ที่มา: กรมธุรกิจพลังงาน (2546)



รถขนส่งก๊าซ

ภาพที่ 2 ลักษณะทั่วไปของรถขนส่งก๊าซ

ที่มา: กรมธุรกิจพลังงาน (2546)



CompAir, Eastern Gas,
UK



Cirrus



Brochier,
Germany

ภาพที่ 3 ลักษณะทั่วไปของสถานีบริการก๊าซธรรมชาติในต่างประเทศ

ที่มา: กรมธุรกิจพลังงาน (2546)

การประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) หมายถึง กระบวนการวิเคราะห์ถึงปัจจัยหรือสภาพการณ์ต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุทำให้อันตรายที่มีและที่แอบแฝงอยู่ ก่อให้เกิดอุบัติเหตุ และอาจก่อให้เกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การเกิดเพลิงไหม้ การระเบิด การรั่วไหลของสารเคมีหรือวัตถุอันตราย เป็นต้น โดยพิจารณาถึงโอกาสและความรุนแรงของเหตุการณ์เหล่านั้น ซึ่งอาจส่งผลให้อันตรายหรือความเสียหาย ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2542)

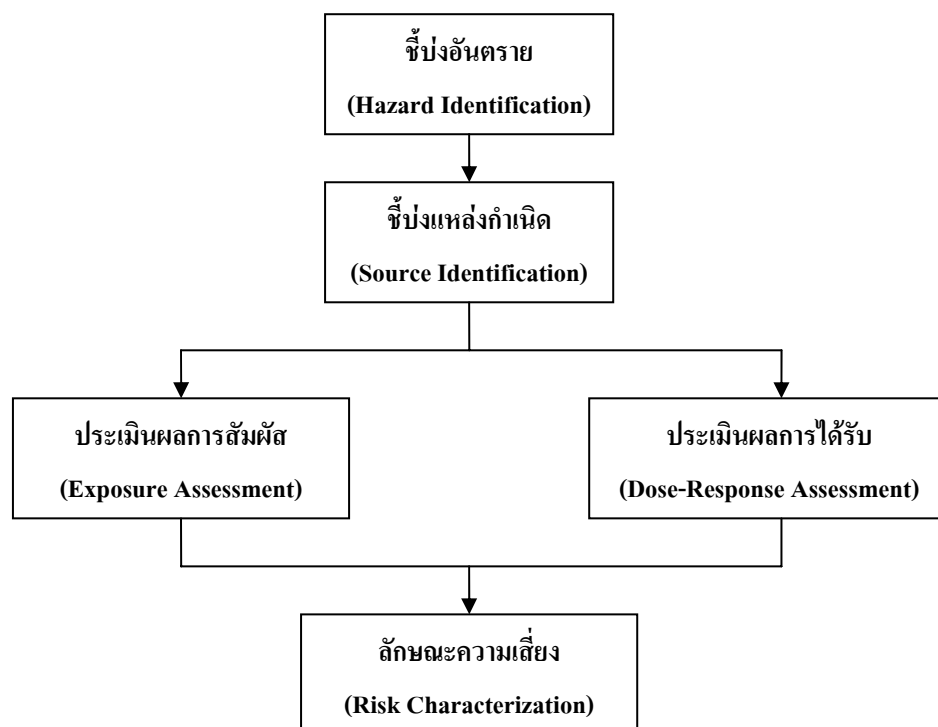
วิธีการประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment Method)

วิธีการประเมินความเสี่ยงสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

1. การประเมินเชิงคุณภาพ (Qualitative Assessment) หมายถึง การประเมินโดยไม่กำหนดค่าความน่าจะเป็นหรือระดับอันตรายออกมาเป็นตัวเลขที่สามารถคำนวณเพื่อพิสูจน์ที่มาที่ไปของค่านั้นได้
2. การประเมินเชิงกึ่งคุณภาพ (Semi-Qualitative Assessment) หมายถึง การประเมินโดยไม่กำหนดค่าความน่าจะเป็นและระดับอันตรายออกมาเป็นตัวเลขที่ละเอียดกว่า สามารถนำผลจากการคำนวณตัวเลขนั้นมาจัดลำดับความเสี่ยงได้
3. การประเมินเชิงปริมาณ (Quantitative Assessment) หมายถึง การประเมินโดยอาศัยการคำนวณเพื่อให้ได้ค่าความน่าจะเป็น ระดับอันตราย และความเสี่ยงออกมาอย่างชัดเจน (ธารงรัตน์, ม.ป.ป.)

กระบวนการประเมินความเสี่ยงจากอันตราย

กระบวนการประเมินความเสี่ยงจากอันตรายจะพิจารณาใช้แนวทางบางส่วนตาม Guidelines for Hazard's Evaluation Procedures: AIChE และ Risk Assessment Guidance for Supervened Volume II, Environmental Evaluation Manual: EPA (Lauvar, 1998))



ภาพที่ 4 ภาพตรรกะจาก Guidelines for Hazard's Evaluation Procedures: AICHe

ที่มา: Louvar (1998)

การชี้บ่งอันตรายตามแนวทางกรมโรงงานอุตสาหกรรม

กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2543) ได้ออกระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความปลอดภัย พ.ศ. 2543 ออกตามความในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2542) เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการดำเนินงาน ได้อธิบายถึงหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตรายไว้ดังนี้ โดยให้ทำการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานทั้งหมด รวบรวมเพื่อจัดทำเป็นบัญชีรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อบุคคล ชุมชน ทรัพย์สินหรือสิ่งแวดล้อม ลงในแบบบัญชีรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยง และอันตรายตามตัวอย่างท้ายระเบียบ ฯ

แบบบัญชีรายการสิ่งของที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย

โรงงาน.....

วันที่การศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงาน.....

การดำเนินงาน ในโรงงาน	สิ่งที่เป็นความเสี่ยง และอันตราย	ผลกระทบ ที่อาจเกิดขึ้น	หมายเหตุ

ภาพที่ 5 แบบบัญชีรายการความเสี่ยง

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2543)

การจัดระดับในการประเมินความเสี่ยง

ตามระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความปลอดภัย พ.ศ. 2543 ได้อธิบายถึงหลักเกณฑ์การประเมินความเสี่ยงไว้โดยให้พิจารณาถึงโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ ว่ามีมากน้อยเพียงใด โดยจัดระดับโอกาสเป็น 4 ระดับ

ตารางที่ 2 การจัดระดับโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ

ระดับ	รายละเอียด
1	มีโอกาสดังกล่าวได้ยาก เช่น ไม่เคยเกิดเลยในช่วงเวลา 10 ปี ขึ้นไป
2	มีโอกาสในการเกิดน้อย เช่น ความถี่ในการเกิด เกิดขึ้น 1 ครั้ง ในช่วง 5-10 ปีขึ้นไป
3	มีโอกาสในการเกิดปานกลาง เช่น ความถี่ในการเกิด เกิดขึ้น 1 ครั้ง ในช่วง 1-5 ปีขึ้นไป
4	มีโอกาสในการเกิดปานสูง เช่น ความถี่ในการเกิด เกิดขึ้น 1 ครั้ง ในช่วง 1 ปีขึ้นไป

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2543)

พิจารณาถึงความรุนแรงของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อบุคคล ชุมชน ทรัพย์สิน หรือสิ่งแวดล้อมมากน้อยเพียงใด โดยจัดระดับความรุนแรงเป็น 4 ระดับ

ตารางที่ 3 การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อบุคคล

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด
1	เล็กน้อย	มีการบาดเจ็บเล็กน้อยในระดับการปฐมพยาบาล
2	ปานกลาง	มีการบาดเจ็บที่ต้องได้รับการรักษาทางการแพทย์
3	สูง	มีการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยที่รุนแรง
4	สูงมาก	ทุพพลภาพหรือเสียชีวิต

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2543)

ตารางที่ 4 การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อชุมชน

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด
1	เล็กน้อย	ไม่มีผลกระทบต่อชุมชนรอบโรงงาน หรือมีผลกระทบเล็กน้อย
2	ปานกลาง	มีผลกระทบต่อชุมชนรอบโรงงาน และแก้ไขได้ในระยะเวลานั้น
3	สูง	มีผลกระทบต่อชุมชนรอบโรงงาน และต้องใช้เวลาในการแก้ไข
4	สูงมาก	มีผลกระทบต่อชุมชนเป็นบริเวณกว้าง หรือหน่วยงานของรัฐต้องเข้าดำเนินการแก้ไข

หมายเหตุ ผลกระทบต่อชุมชน หมายถึงเหตุรำคาญต่อชุมชน การบาดเจ็บ เจ็บป่วยของประชาชน
ความเสียหายต่อทรัพย์สินของชุมชนและประชาชน

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2543)

ตารางที่ 5 การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด
1	เล็กน้อย	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย สามารถควบคุมแก้ไขได้
2	ปานกลาง	มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมปานกลาง สามารถแก้ไขได้ในระยะเวลานั้น
3	สูง	มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรุนแรง ต้องใช้เวลาในการแก้ไข
4	สูงมาก	มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรุนแรงมาก ต้องใช้ทรัพยากรและเวลานานในการแก้ไข

หมายเหตุ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หมายถึง การเสื่อมโทรมและเสียหายของสิ่งแวดล้อม เช่น
อากาศ ดิน แหล่งน้ำเป็นต้น

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2543)

ตารางที่ 6 การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อทรัพย์สิน

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด
1	เล็กน้อย	ทรัพย์สินเสียหายน้อยมากหรือไม่เสียหายเลย
2	ปานกลาง	ทรัพย์สินเสียหายปานกลางหรือไม่เสียหายเลย
3	สูง	ทรัพย์สินเสียหายมากและต้องหยุดการผลิตในบางส่วน
4	สูงมาก	ทรัพย์สินเสียหายมากและต้องหยุดการผลิตทั้งหมด

หมายเหตุ ความเสียหายของทรัพย์สินในแต่ละระดับของโรงงานสามารถกำหนดขึ้นเองตามความเหมาะสม โดยพิจารณาถึงขีดความสามารถของโรงงาน

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2543)

ในการจัดระดับความเสี่ยง โดยพิจารณาถึงผลลัพธ์ของระดับโอกาสคูณกับระดับความรุนแรงที่มีผลกระทบต่อบุคคล ชุมชน ทรัพย์สิน หรือสิ่งแวดล้อม หากระดับความเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อบุคคล ชุมชน ทรัพย์สิน หรือสิ่งแวดล้อม มีค่าแตกต่างกันให้เลือกระดับความเสี่ยงที่มีค่าสูงกว่าเป็นผลของการประเมินความเสี่ยงในเรื่องนั้น ๆ ระดับความเสี่ยงจัดเป็น 4 ระดับ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การจัดระดับความเสี่ยง

ระดับความเสี่ยง	ผลลัพธ์	ความหมาย
1	1-2	ความเสี่ยงเล็กน้อย
2	3-6	ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ต้องมีการทบทวนมาตรการควบคุม
3	8-9	ความเสี่ยงสูง ต้องมีการดำเนินงานเพื่อลดความเสี่ยง
4	12-16	ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ต้องหยุดดำเนินการและปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดความเสี่ยงลงทันที

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2543)

ความน่าจะเป็น

แบบจำลองความน่าจะเป็น (Failure Probability Models)

แบบจำลองความน่าจะเป็นที่ใช้พิจารณาก่อน คือ ความอิสระทั้งสองช่วงและจำนวนรอบของการทำงาน เมื่อทำการวิเคราะห์ระบบเคมี อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์บ่อย ๆ ขึ้นอยู่กับบนเวลาหรือรอบการทำงาน ในกรณีที่ต้องการ การสะสมการแจกแจงนี้คือแบบจำลองที่ดีของระบบรูปแบบที่ต้องการมีสองลักษณะคือ

$$R(t = 0) = 1 \quad \text{และ} \quad R(t = \infty) = 0 \quad (20, 21)$$

เมื่อ $R(t) =$ ความสัมพันธ์ เช่น เวลา และ
 $t =$ เวลา เป็นปี

แบบจำลองที่ใช้ร่วมกันมากที่สุดสำหรับ Fault Tree Analysis คือแบบจำลองเอ็กซ์โปเนนเชียล

$$R(t) = e^{-\mu t} \quad (22)$$

$$R(n) = e^{-\mu n} \quad (23)$$

เมื่อ $R(t)$ และ $R(n)$ คือ ความน่าจะเป็น
 $t =$ เวลา เป็นปี
 $\mu =$ จำนวนความเสียหายต่อปีหรือต่อรอบ

ซึ่งช่วงเวลาระหว่างความเสียหายของสองส่วนประกอบเราเรียกว่า “เวลาเฉลี่ยระหว่างความเสียหาย” (Mean Time Between Failures: MTBF) หรือ “เวลาเฉลี่ยความเสียหาย” (Mean Time to Failures: MTTF) สิ่งนี้ได้มาโดยเริ่มแรกของฟังก์ชันความหนาแน่นสัมพันธ์ ดังนี้

$$MTBF = \int_0^{\infty} t \left(\frac{dR}{dT} \right) dt = \frac{1}{\mu} \quad (24)$$

สมการนี้ สมมุติอัตราความเสียหายคงที่ μ ถ้า $t \rightarrow \infty$ ความสัมพันธ์ไปสู่ศูนย์ ความเร็วซึ่งขึ้นอยู่กับเกิดการเกิดบนปริมาณของอัตราความเสียหาย μ อัตราการเกิดความเสียหายสูง ความไวความสัมพันธ์สั้น ส่วนประกอบของความสัมพันธ์ R เรียกว่าความน่าจะเป็นในการเสียหาย F

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (25)$$

เมื่อ $F(t)$ = ความน่าจะเป็นของความเสียหายในช่วงเวลา t
 t = เวลา เป็นปี
 μ = จำนวนความเสียหายต่อปีหรือต่อรอบ (Louvar, 1998)

ความน่าจะเป็น (Probabilities)

อุบัติเหตุจะใช้ผลของความยุ่งยากที่มีผลกระทบซึ่งกันและกันของจำนวนส่วนประกอบในกระบวนการ ความน่าจะเป็นของความเสียหายรวมคือการคำนวณจากความน่าจะเป็นของแต่ละส่วนประกอบ ซึ่งส่วนประกอบในกระบวนการมีผลกระทบในความต่างกันสองแบบ ในบางกรณีกระบวนการที่ล้มเหลวต้องการ ๆ จำลองการล้มเหลวของจำนวนของส่วนประกอบในแนวนาน โครงสร้างแนวนานคือการย้อนการแสดงโดย ตรรกะกึ่งกั้น AND หมายความว่าความน่าจะเป็นที่จะเสียหายต้องคูณกัน

$$F = \prod_{i=1}^n F_i \quad (26)$$

เมื่อ n = จำนวนของส่วนประกอบ
 และ F = ความน่าจะเป็นที่จะเสียหายของอุปกรณ์เช่นส่วนประกอบต่าง ๆ

ผลรวมของระบบคือ

$$R = 1 - F \quad (27)$$

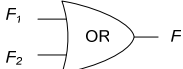
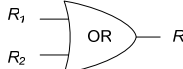
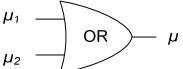
ช่วงต่อมาของความเสียหายคือการย้อนการแสดงลำดับโครงสร้างโดยตรรกะฟังก์ชัน OR ความสัมพันธ์รวมของกระบวนการสำหรับ OR มีโครงสร้างเป็น

$$F = \prod_{i=1}^n F_i \quad (28)$$

สมการที่ (26), (27) และ (28) รวมกันเป็น

$$F = 1 - R \quad (29)$$

$$\text{และ } F = 1 - \prod_{i=1}^n R_i \quad (30)$$

ความน่าจะเป็นที่จะเสียหาย	ความเชื่อมั่น	อัตราความเสียหาย
 $F = 1 - (1 - F_1)(1 - F_2)$ $F = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i)$	 $R = R_1 R_2$ $R = \prod_{i=1}^n R_i$	 $\mu = \mu_1 + \mu_2$ $\mu = \sum_{i=1}^n \mu_i$
ส่วนประกอบเชื่อมกันตามลำดับ ความเสียหายแต่ละส่วนประกอบให้ผลรวมความเสียหาย		
 $F = F_1 F_2$ $F = \prod_{i=1}^n F_i$	 $R = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2)$ $R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$	 $\mu = (-\ln R) / t$
ส่วนประกอบเชื่อมขนานกัน: ความเสียหายของระบบนี้เสียหายจากส่วนประกอบคู่		

ภาพที่ 6 ส่วนประกอบเชื่อมกันและการคำนวณฟลอทท์รี

ที่มา: Louvar (1998)

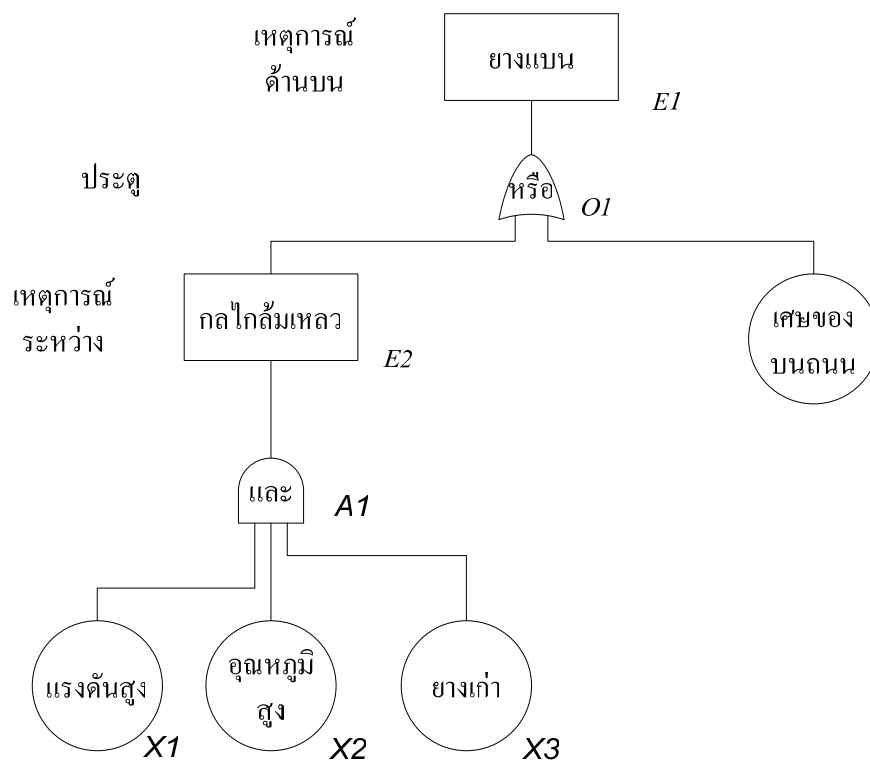
การวิเคราะห์ฟอลต์ทรี

แนวคิดการวิเคราะห์ฟอลต์ทรี (Fault Tree Analysis)

การวิเคราะห์ฟอลต์ทรี (Fault Tree Analysis: FTA) คือตรรกะของระบบจะแสดงถึงลูกโซ่ของเหตุการณ์ซึ่งต้องใช้ตำแหน่งเหตุการณ์บนสุดที่เกิดขึ้น เช่น การรั่วไหลของสารเคมีอันตราย เหตุการณ์จะจำแนกความเสียหาย ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นถูกชี้นำจากเหตุการณ์อื่นๆ ขณะที่ความล้มเหลวคือพื้นฐานชี้นำเหตุการณ์ หรืออีกนัยหนึ่ง ความล้มเหลวจะค้นหาการความผิดปกติของเหตุการณ์พื้นฐาน และความล้มเหลวจะค้นหาการความผิดปกติของระบบของเหตุการณ์ เพราะฉะนั้นความล้มเหลวของเหตุการณ์บนสุดของระบบของเหตุการณ์จะค้นหาการความผิดปกติของระบบของเหตุการณ์ หรือจะชี้บ่งความผิดพลาดของระบบ ซึ่งแต่เดิม FTA ถูกพัฒนาใน ปี ค.ศ. 1962 ที่ห้องปฏิบัติการเบลล์ (Bell) และได้ถูกใช้อย่างกว้างขวางโดยอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ เพื่อคัดเลือกและการกำหนดจำนวนอันตรายและความเสี่ยงซึ่งถูกใช้กับโรงจักรนิวเคลียร์ วิธีนี้เป็นที่นิยมมากขึ้นในอุตสาหกรรมทางเคมี และมีในการนำไปใช้ต่อมากับโรงงานขนาดเล็กในหมู่ผู้เชี่ยวชาญและการรั่วไหลสู่สิ่งแวดล้อม

สัญลักษณ์

FTA คือวิธีพิจารณาสำหรับชี้บ่งหนทางซึ่งเป็นอันตรายที่สามารถนำพาสู่อุบัติเหตุ ยกตัวอย่างเช่น รถยนต์ยางแบน เหตุการณ์บนสุดคือผลลัพธ์ของเหตุการณ์สองเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ คือการขบขันที่บนถนนของเล็ก ๆ (เช่น ตะปู) หรือความล้มเหลวโดยกลไก ซึ่ง FTA กับ เหตุการณ์บนสุดเป็นยางรถแบนถูกแสดงในภาพ เหตุการณ์เบื้องต้น AND Gate คือสัญลักษณ์ที่ติดไว้ทำให้สะดวกในการบรรยาย ซึ่งเหตุการณ์เบื้องต้นรวมถึงเศษของเล็ก ๆ บนถนน ยางรถที่เก่า อุนหภูมิสูงและความดันสูง และ OR Gate แสดงให้เห็นว่า ยางรถอาจจะเสียหายจากเศษของเล็ก ๆ บนถนน หรือเป็นผลจากความเสียหายกลไก ความล้มเหลวของกลไก คือผลลัพธ์ของยางรถยนต์ที่เก่าและอุนหภูมิสูงและความดันสูง Gate ซึ่งผสม 3 เหตุการณ์พื้นฐานเหล่านี้คือผลลัพธ์ของยางรถยนต์เก่าและอุนหภูมิสูงและความดันสูง ซึ่งก็คือ AND Gate ที่ปรากฏบนสุด



ภาพที่ 7 รายละเอียดฟอลท์ทรีเมื่อยางแบน

ที่มา: Louvar (1998)

โดยปกติ FTA จะแสดงระหว่างความสัมพันธ์ของเหตุการณ์นั้นนำไปสู่เหตุการณ์ด้านบนสุด โดยไม่มีรายละเอียดสภาพภาพของระบบ โดยที่งานวิฤตจากมุมมองด้านความปลอดภัยถ้าสำคัญ จะถูกบันทึกไว้ FTA ไม่อ้างถึงรายละเอียดที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับระบบที่เสียหาย จะบันทึก ระบบที่น่าเชื่อถือมากที่สุดเท่านั้น รูปแบบของ FTA คือการเรียบเรียงที่ประกอบด้วยสัญลักษณ์ จำนวนมากซึ่งถูกอ้างถึงในตารางที่ 8 และก่อนที่จะเขียน FTA ของจริง มีขั้นตอนเบื้องต้นที่ใช้ คือ

1. กำหนดเหตุการณ์บนสุด เช่น สัญลักษณ์ “ปฏิบัติการอุณหภูมิสูง” หรือ “ระดับของเหลวสูง” คือสิ่งที่เหมาะสม สัญลักษณ์เหตุการณ์ เช่น “การระเบิด” หรือ “ไฟ” จะนำไปสู่การคลุ้มคลั่ง ขณะที่คำบรรยาย เช่น “รูรั่วในถัง” อาจจะใช้ที่เฉพาะเจาะจง

2. กำหนดคำที่ดัดไว้กับอุปกรณ์ในกรณีที่ประเมินค่าของกระบวนการทางเคมี สิ่งนี้อาจจะ อยู่ในรูปแบบของแผนผังการไหลกระบวนการ (Process Flow Diagram: PFDs) หรือแผนผังระบบ

ท่อและเครื่องมือวัด (Piping and Instrumentation Diagrams: P&IDs) ข้อมูลนี้ควรรวมถึงเงื่อนไขที่กระทำในสถานะปกติ

3. กำหนดความตั้งใจของศึกษา เช่น ควรจะพิจารณาที่ลิ้น (Valve) เท่านั้น หรือจะจำเป็นที่จะพิจารณาส่วนประกอบของลิ้นด้วย

4. กำหนดในรายงานเหตุการณ์พร้อมกับชี้ด้วยว่าที่ไม่น่าเป็นไปได้หรือไม่ถูกพิจารณา เช่น ลวดใยเหล็กในยางเสียหาย น้ำท่วม พายุทอร์นาโด และดังที่ว่านี้

5. กำหนดสิ่งที่น่าจะเป็นจริงระหว่างเหตุการณ์เบื้องต้นซึ่งมีผลในเหตุการณ์บนสุด

ขั้นตอนถัดไปในวิธีปฏิบัติการศึกษาคือต้องวาด FTA เริ่มต้นกับเหตุการณ์บนสุดและสัญลักษณ์ “เหตุการณ์บนสุด” เพื่อหลีกเลี่ยงความสับสนต่อมาเมื่อแผนภูมิต้นไม้อาจกระจายข้ามหน้ากระดาษหลายแผ่น และ FTA ควรรวมถึงเหตุการณ์หลักทั้งหมดซึ่งสนับสนุนไปสู่เหตุการณ์บนสุด ถ้าเหตุการณ์สัมพันธ์ในแนวนาน (เหตุการณ์ทั้งหมดต้องปรากฏในคำสั่งสำหรับเหตุการณ์บนสุดที่จะปรากฏ) แล้วพวกเขาต้องได้รับการเชื่อมต่อสู่เหตุการณ์บนสุดโดย AND Gate เมื่อเหตุการณ์เกี่ยวกับในชุด (เหตุการณ์ใด ๆ จะปรากฏสำหรับเหตุการณ์บนสุดที่จะปรากฏ) และได้รับการเชื่อมต่อโดย OR Gate โดยดำเนินการพัฒนา FTA ต่อ จนกระทั่งสาขาทั้งหมดถูกยกเลิก ไม่มีการพัฒนา หรือไม่มีเหตุการณ์ภายนอก

มีกฎสองข้อที่จะช่วยให้ข้อขัดแย้งดีขึ้น และหรือประสิทธิผลรวมวิธีการดีขึ้น คือ ก. ไม่เขียนทางออกของประตูใด ๆ โดยตรงสู่ทางเข้าของประตูอื่นๆ (ระหว่างเหตุการณ์) และ ข. รักษา AND Gate และทางไปสู่เหตุการณ์บนสุดถ้าเป็นไปได้ในความพยายามเพื่อแบ่งตัดตอน (Cut Set) เป็นเหตุการณ์เดี่ยว

การประเมินค่าแผนภูมิฟอลท์ทรี (Fault Tree Evaluation)

หลังจากที่ได้จัดทำแผนภูมิฟอลท์ทรีเสร็จสิ้นแล้ว ต้องมีการประเมินเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในเชิงคุณภาพ (Qualitative) และเชิงปริมาณ (Quantitative) ซึ่งผลลัพธ์เชิงคุณภาพประกอบด้วย

1. มินิแมคัทเซต (Minimal Cut Sets) เพื่อหาจำนวนรูปแบบที่น้อยที่สุดของเหตุการณ์ ซึ่งนำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุ (Top Event)
2. การจัดอันดับเชิงคุณภาพ (Qualitative Ranking) ของ Minimal Cut Sets ต่างๆ เพื่อระบุลำดับความสำคัญของปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้
3. ความล้มเหลวของอุปกรณ์ที่มีสาเหตุเดียวกัน (Common Cause Failure) เพื่อระบุรูปแบบของเหตุการณ์ (Cut Sets) ต่างๆ ที่มีปัจจัยความล้มเหลวมาจากสาเหตุร่วมเดียวกัน

ผลลัพธ์เชิงปริมาณ

ผลลัพธ์เชิงปริมาณจะรวมถึง

1. ค่าโอกาสที่จะเกิด (Probabilities) โดยคำนวณค่าโอกาสที่อุปกรณ์จะเกิดความล้มเหลว (Failure) ในบางระบบหรือทั้งหมด
2. จัดอันดับเชิงปริมาณ (Quantitative Ranking) ทำการจัดอันดับของรูปแบบเหตุการณ์ให้อยู่ในรูปตัวเลข เพื่อระบุปัญหาและกำหนดจุดที่ต้องปรับปรุงค่าความน่าเชื่อถือของระบบ
3. ค่าความน่าจะเป็นของระบบที่มีการต่อเชื่อมกัน (Cross-Linked System Probabilities: เป็นการปรับปรุงระบบเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือ โดยการเชื่อมต่อระบบย่อย (Subsystem) เข้าด้วยกัน

มินิแมคัทเซต (Minimal Cut Sets)

คือชุดรูปแบบของเหตุการณ์ที่นำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุที่สนใจ (Top Event) ซึ่งสามารถเกิดได้หลายรูปแบบโดยจำนวนรูปแบบที่น้อยที่สุด และแต่ละรูปแบบมีความแตกต่างกันจะเรียกว่ามินิแมคัทเซต ซึ่งมีประโยชน์ในการระบุรูปแบบต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ บางรูปแบบมีค่าโอกาสเกิดสูงกว่ารูปแบบอื่น เช่น รูปแบบที่ประกอบด้วยเหตุการณ์ย่อย 2 เหตุการณ์ ย่อมมีโอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุมากกว่าที่ประกอบด้วยเหตุการณ์ย่อย 3-4 เหตุการณ์ที่ต้องล้มเหลวพร้อมกัน โดยในแต่ละมินิแมคัทเซตจะมีทั้งการรวมกัน (Combination) การเกิดเหตุการณ์ร่วมกัน (Intersection) ของ

แต่ละเหตุการณ์มูลฐาน (Basic Event) ซึ่งเพียงพอที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ แต่หากเหตุการณ์มูลฐานในมินิมัลลัทเซ่เกิดขึ้นไม่ครบอุบัติเหตุก็จะไม่เกิดขึ้นเช่นกัน (Louvar: 1998)

ตารางที่ 8 สัญลักษณ์ ฟลอทท์รี

สัญลักษณ์เหตุการณ์ขั้นต้น		
	เหตุการณ์พื้นฐาน	เหตุการณ์ความล้มเหลวไม่ต้องมีคำนิยามนอกจากนี้
	เงื่อนไขเหตุการณ์	เงื่อนไขเฉพาะหรือจำถูกจำกัดการไปประตูตรรกะอื่น(ใช้เป็นขั้นต้นตามลำดับก่อน AND และ Inhibit gate)
	เหตุการณ์ไม่พัฒนาต่อ	เหตุการณ์ซึ่งไม่สามารถพัฒนาเพิ่มเติมเนื่องจากการขาดข้อมูลที่เหมาะสม
	เหตุการณ์ภายนอก	เหตุการณ์ปกติที่คาดว่าจะเกิดขึ้น รูปบ้านถูกใช้เป็นเครื่องหมายปกติกับเหตุการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (เช่น เวลาที่ตั้งหรือกำลังที่ถูกกระตุ้น)
สัญลักษณ์ระหว่างเหตุการณ์		
	ระหว่างเหตุการณ์	เหตุการณ์ผิดพลาดที่เกิดขึ้นเพราะว่ามีเหตุการณ์หนึ่งหรือมากกว่ามาก่อนกรณีที่กระทำผ่านประตูตรรกะ
สัญลักษณ์ประตู		
	AND, และ	ความผิดพลาดทางออกที่เกิดขึ้น ถ้าความผิดพลาดของทางเข้าทั้งหมดหรือความล้มเหลวที่เกิด ถ้าทางเข้าคือเหตุการณ์พื้นฐาน นั่นคือความล้มเหลว
	OR, หรือ	ความผิดพลาดทางออกที่เกิดขึ้น ถ้าอย่างน้อยหนึ่งในความผิดพลาดที่ทางเข้าหรือความล้มเหลวเกิดขึ้น
	มาก่อนและ	ความผิดพลาดที่ทางออกที่เกิดขึ้น ถ้าความทางเข้าทั้งหมดผิดพลาดหรือความล้มเหลวเกิดขึ้นเฉพาะลำดับ (ลำดับถูกแสดงใหม่โดยเงื่อนไขเหตุการณ์ ที่เขียนด้านขวาของประตู)
	หรืออย่างเดียว	ความผิดพลาดทางออกที่เกิดขึ้น ถ้าหนึ่งในความแน่นอนของทางเข้าผิดพลาดหรือเกิดความล้มเหลวขึ้น
	ซับซ้อน	ความผิดพลาดที่ทางออกที่เกิดขึ้น ถ้า (สัญญาณ) ทางเข้าผิดพลาดหรือเกิดความล้มเหลวในการแสดงของการไม่อยู่ในเงื่อนไขนี้จะถูกแสดงใหม่โดยเงื่อนไขเหตุการณ์ที่เขียนทางขวาของประตู
สัญลักษณ์ส่งผ่าน		
	ส่งผ่านใน	ชี้ว่าต้น ไม่ถูกพัฒนาต่อกับที่เกิดขึ้นของการส่งผ่านที่ตรงกับภายนอก
	ส่งผ่านนอก	ชี้ให้เห็นว่าส่วนของต้น ไม่น่าจะตรงกับทางเข้า

ที่มา: Louvar (1998)

การวิเคราะห์ฟอลท์ทรีตามระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม

กรมโรงงานอุตสาหกรรม(2543) ได้ออกระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความปลอดภัย พ.ศ. 2543 ได้อธิบายถึงการประเมินความเสี่ยงด้วยการวิเคราะห์ฟอลท์ทรีไว้ กล่าวคือ Fault Tree Analysis เป็นเทคนิคการชี้บ่งอันตรายที่เน้นถึงอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรงที่เกิดขึ้นหรือคาดว่าจะเกิดขึ้น เพื่อนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดเหตุ ซึ่งเป็นเทคนิคในการคิดย้อนกลับที่อาศัยหลักการทางตรรกวิทยาในการใช้หลักการเหตุและผล เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรง โดยเริ่มวิเคราะห์จากอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรงที่เกิดขึ้นหรือคาดว่าจะเกิดขึ้น เพื่อพิจารณาหาเหตุการณ์แรกที่เกิดขึ้นก่อนแล้วนำมาแจกแจงขั้นตอนการเกิดเหตุการณ์ย่อยอะไรได้บ้างและเหตุการณ์ย่อยเหล่านั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร การสิ้นสุดการวิเคราะห์เมื่อพบว่าสาเหตุของการเกิดเหตุการณ์ย่อยเป็นผลเนื่องจากความบกพร่องของเครื่องจักรอุปกรณ์ หรือความผิดพลาดจากการปฏิบัติงาน

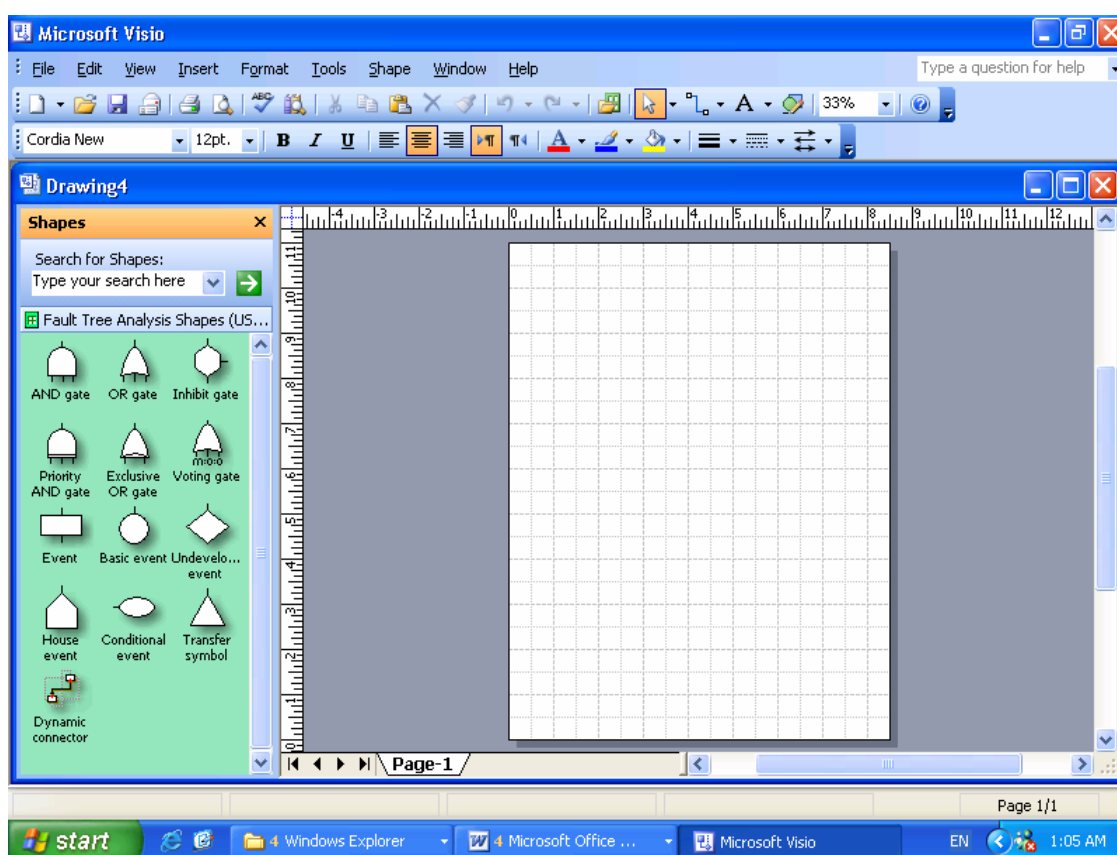
ตารางที่ 9 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การชี้บ่งอันตรายด้วยการวิเคราะห์ฟอลท์ทรี

สัญลักษณ์	ชื่อ	ความหมาย
	AND Gate สาเหตุหลายสาเหตุ	เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุหลายสาเหตุของเหตุการณ์ย่อย
	OR Gate สาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง	เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งของเหตุการณ์ย่อย
	Basic Event เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้โดยปกติ	เหตุการณ์ย่อยที่เกิดขึ้นได้ตามปกติซึ่งทราบถึงสาเหตุที่เห็นได้ชัดเจนโดยไม่ต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไป ถือเป็นสาเหตุแรกของการเกิดอุบัติเหตุ
	Fault Tree Event เหตุการณ์ย่อย	เหตุการณ์ย่อยที่ส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ต่อเนื่องจนเป็นเหตุให้เกิดอุบัติเหตุ
	Undeveloped Event เหตุการณ์ที่วิเคราะห์ต่อไปไม่ได้	เหตุการณ์ย่อยที่ไม่ต้องการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไป เนื่องจากไม่มีข้อมูลสนับสนุน
	External Event เหตุการณ์ภายนอก	เหตุการณ์ภายนอกหรือปัจจัยภายนอกที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2543)

โปรแกรมไมโครซอฟท์วิสิโอ (Microsoft Visio)

โปรแกรมไมโครซอฟท์วิสิโอ 2003 (Microsoft Visio 2003) ลิขสิทธิ์ 1991-1993 มีคำสั่งเขียนภาพ FTA ซึ่งช่วยให้สามารถเขียนแผนผังฟอลท์ทรี และเชื่อมโยงความสัมพันธ์ได้ง่ายและสะดวกขึ้นโดยการเรียกคำสั่งผ่านแถบเครื่องมือโดยใช้ชุดคำสั่ง Business Process/ Fault Tree Analysis Shapes และมีภาพสำเร็จรูปดังนี้



ภาพที่ 8 แสดงฟอลท์ทรีของไมโครซอฟท์วิสิโอ

ที่มา: ไมโครซอฟท์วิสิโอ (2003)

แนวทางของสมาคมนักออกแบบนาวีและวิศวกรรยานสมุทร

จากความร่วมมือในงานระบบวิศวกรรมยานสมุทรแห่งชาติ ปี 2000 (International Cooperation on Marine Engineering System 2000 : ICMS 2000) สมาคมนักออกแบบนาวีและวิศวกรรยานสมุทร (The Society of Naval Architects and Marine Engineers) ได้นำเสนอ

เทคโนโลยีวิธีการ พื้นฐาน-ความเสี่ยง สำหรับการประเมินความเสี่ยงความปลอดภัยของระบบก๊าซธรรมชาติอัดยานสมุทร เพื่อให้เป็นไปตามกฎหมายและการออกแบบตั้งแต่มาตรฐานรับรองและตามนโยบายของหน่วยยามฝั่งสหรัฐ (U.S. Coast Guard) และได้นำเสนอเทคนิคและข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประเมินความเสี่ยงความปลอดภัยของระบบก๊าซธรรมชาติอัดยานสมุทร ซึ่งมีข้อมูลบางส่วนสามารถนำมาใช้ในการประเมินความเสี่ยงจากอันตรายของสถานีบริการก๊าซธรรมชาติรถยนต์ได้ (Robb, Burrows, Ghosh, and Ayyub, 2000)

ตารางที่ 10 ภาชนะบรรจุก๊าซที่สร้างตามมาตรฐาน ANSI/ASME NGV 2-1998

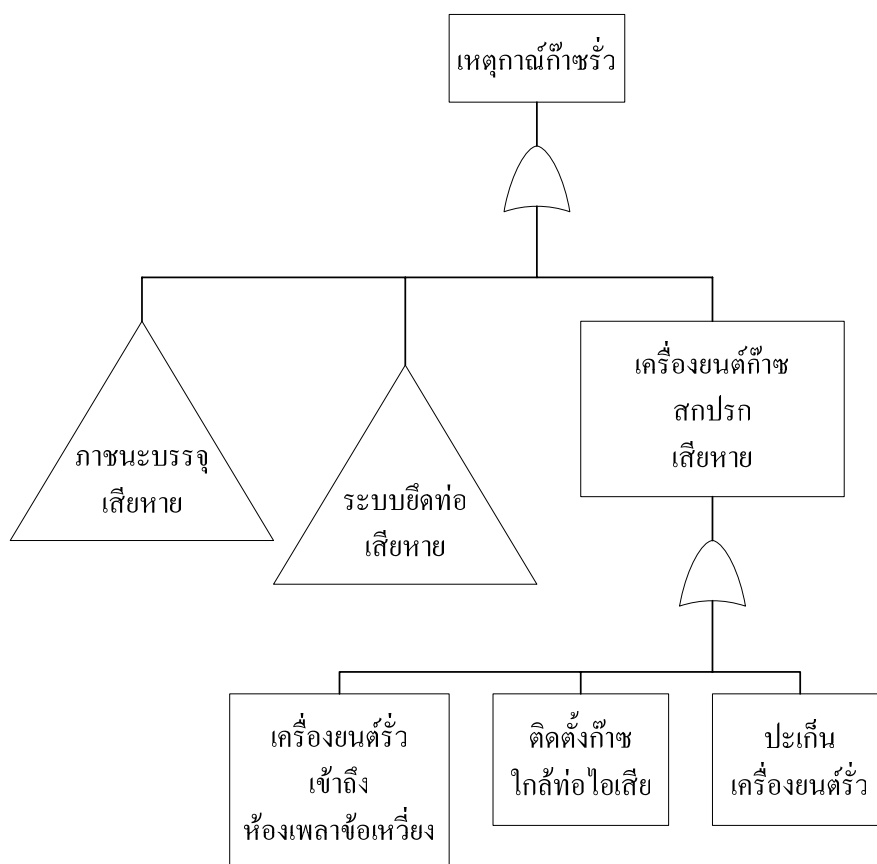
ชนิดภาชนะบรรจุก๊าซ	รายละเอียด
NGV2-1	สร้างด้วยโลหะทั้งหมด
NGV2-2	กระบอกภายในโลหะ, โลหะหรืออลูมิเนียม, พันเส้นใยเสริมแรงรอบลำตัว
NGV2-3	กระบอกภายในโลหะ, อลูมิเนียมผสม พันเส้นใยเสริมแรงตลอดหัวและลำตัว
NGV2-4	กระบอกภายในมิใช่โลหะ, โครงสร้างวัสดุผสม พันเส้นใยเสริมแรงตลอดหัวและลำตัว

ที่มา: Robb, Burrows, Ghosh, and Ayyub (2000)

ตารางที่ 11 การเสียหายของภาชนะบรรจุก๊าซ

ความเสียหายจากการใช้งานทั่วโลก				
ชนิด	จำนวนที่ใช้งาน	เริ่มใช้ตั้งแต่	ปะทุ	รั่วซึม
NGV2-1	1,500,000	1974	10	0
NGV2-2	80,000	1983	2	0
NGV2-3	40,000	1992	3	0
NGV2-4	15,000	1993	1	20

ที่มา: Robb, Burrows, Ghosh, and Ayyub (2000)



ภาพที่ 9 เหตุการณ์ก๊าซรั่ว

ที่มา: Robb, Burrows, Ghosh, and Ayyub (2000)

ความแตกต่างระหว่างไฟและการระเบิด

โดยส่วนใหญ่ความแตกต่างระหว่างไฟและการระเบิด คืออัตราการปลดปล่อยของพลังงาน โดยไฟจะปลดปล่อยพลังงานอย่างช้า ๆ ส่วนการระเบิดจะปลดปล่อยพลังงานอย่างรวดเร็ว รูปแบบอยู่บนลำดับในเสี้ยววินาที (Microseconds) ซึ่งยางรถยนต์เป็นตัวอย่างของผลจากอัตราการปลดปล่อยพลังงานมีผลกระทบต่ออุบัติเหตุ โดยความดันอากาศมีพลังงานบรรจุอยู่ ถ้าพลังงานปลดปล่อยช้า ๆ ผ่านรูรั่ว (Nozzle) ยางรถยนต์จะไม่เป็นอันตรายเมื่อแบน ถ้ายางรถยนต์ปะทุ (Ruptures) ในทันที พลังงานทั้งหมดที่อัดตัวอยู่ในยางจะปลดปล่อยออกอย่างรวดเร็ว ผลก็คืออันตรายของการระเบิด

การเผาไหม้หรือไฟ (Combustion or Fire)

คือ การเผาไหม้หรือไฟคือปฏิกิริยาทางเคมี มีวัตถุประสงค์ประกอบกับสารเคมีที่รวมกับออกซิเจน (Oxidant) และปลดปล่อยพลังงาน ส่วนของการปลดปล่อยพลังงาน จะใช้การเกิดปฏิกิริยา

การจุดไฟลุกไหม้ (Ignition)

คือ การจุดไฟลุกไหม้ของส่วนผสมที่สามารถลุกไหม้ในบางกรณี โดยส่วนผสมที่สามารถลุกไหม้จะมาสัมผัสแหล่งกำเนิดการจุดไฟที่มีพลังงานที่พอเพียงหรือก๊าซมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงกรณีที่ก๊าซติดไฟได้เอง (Auto Ignite)

อุณหภูมิที่จุดให้ลุกไหม้ได้เอง (Auto Ignition Temperature: AIT)

คือ จุดที่อุณหภูมิสูงพอที่มีพลังงานเพียงพอในสภาพที่เป็นแหล่งกำเนิดการจุดให้ลุกไหม้

จุดวาบไฟ (Flash Point: FP)

จุดวาบไฟของของเหลวจะอยู่ที่อุณหภูมิต่ำซึ่งมีไอก๊าซเพียงพอเมื่อไปสู่การจุดให้ลุกไหม้ เมื่อผสมกับอากาศ ที่จุดวาบไฟไอก๊าซลุกไหม้แต่สั้น ๆ เนื่องจากไม่ก๊าซมีไม่เพียงพอที่จะลุกไหม้อย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปจุดวาบไฟจะเพิ่มมากขึ้นตามแรงดันที่เพิ่มขึ้น

จุดติดไฟ (Fire Point)

จุดติดไฟคืออุณหภูมิต่ำสุดที่ไอก๊าซสูงกว่าของเหลวจะต่อเนื่องไปสู่การเผาไหม้โดยการจุดให้ลุกไหม้ครั้งเดียว อุณหภูมิจุดติดไฟจะสูงกว่าจุดวาบไฟ

ขีดจำกัดความสามารถในการติดไฟ (Flammable Limits)

ส่วนผสมไอก๊าซกับอากาศจะจุดและเผาไหม้อยู่เหนือขีดจำกัดการติดไฟของส่วนประกอบเท่านั้น ส่วนผสมจะไม่ลุกไหม้เมื่อส่วนประกอบต่ำกว่าขีดจำกัดความสามารถในการติดไฟต่ำสุด (Lower Flammable Limit: LEL) ส่วนผสมจะไม่ติดไฟเมื่อมีส่วนประกอบมาก นั่นคือ เมื่อสูงกว่าขีดจำกัดความสามารถในการติดไฟสูงสุด (Upper Flammable Limit: UFL) ส่วนประกอบระหว่าง LEL และ UFL โดยทั่วไปจะใช้หน่วยเป็นร้อยละของปริมาณเชื้อเพลิงต่ออากาศ

การระเบิด (Explosion)

การระเบิดคือการขยายตัวอย่างรวดเร็วของก๊าซ ในการเคลื่อนที่ของแรงดันอย่างรวดเร็วหรือคลื่นกระแทก (Shock Wave) กลไกความสามารถในการขยายตัว (หมายถึงการปะทุอย่างกะทันหันของแรงดันในภาชนะ) หรือเป็นผลของปฏิกิริยาเคมีอย่างรวดเร็ว ความเสียหายของการระเบิดคือกรณีที่เกิดจากแรงดันหรือคลื่นกระแทก

การระเบิดจากกลไก (Mechanical Explosion)

เป็นผลของการระเบิดจากกระทันหันของภาชนะบรรจุแรงดันสูง ไม่มีปฏิกิริยาของก๊าซ

ดีเฟล็กชัน (Deflagration) และดีโทเนชัน (Detonation)

ดีเฟล็กชัน คือการระเบิดที่มีผลจากปฏิกิริยาการเคลื่อนที่ต่ำกว่าความเร็วเสียง ส่วนดีโทเนชัน คือการระเบิดที่มีผลจากปฏิกิริยาการเคลื่อนที่เหนือกว่าความเร็วเสียง

การระเบิดในที่แคบ (Confined Explosion)

คือการระเบิดที่เกิดขึ้นในภาชนะหรือในอาคาร โดยปกติจะเกิดขึ้นมากและเป็นผลให้ผู้ที่อยู่ในอาคารบาดเจ็บและเสียหายต่อเนื่อง

การระเบิดในที่โล่ง (Unconfined Explosion)

การระเบิดในที่โล่ง คือชนิดของการระเบิดที่ใช้ผลของความสามารถในการติดไฟ (Flammable) ของก๊าซที่รั่วล้น ก๊าซที่แพร่กระจายและผสมกับอากาศจนกระทั่งสัมผัสกับแหล่งกำเนิดการลุกไหม้ การระเบิดในที่โล่งมีน้อยกว่าในที่แคบ ในบางกรณี วัตถุระเบิดคือระดับปริมาณของเชื้อเพลิงต่ำสุดที่สามารถติดไฟได้ (LFL) โดยการแพร่กระจายจากลม การระเบิดจะทำให้เกิดการทำลาย เพราะว่าปริมาณก๊าซที่มากและความกว้างใหญ่ของพื้นที่

ของเหลวขยายตัวกลายเป็นไอและระเบิด (Boiling-Liquid Expanding-Vapor Explosion: BLEVE)

จะเกิดขึ้นถ้าภาชนะบรรจุของเหลวมีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศ จะทำให้เดือดรั่วประทุ จากนั้น BLEVE คือการระเบิดของไอส่วนใหญ่ในภาชนะบรรจุ อาจจะเป็นไปได้ที่จะต่อเนื่องโดยการเผาไหม้หรือการระเบิดของหมอกไอถ้าสามารถติดไฟ การระเบิดชนิดนี้เกิดเมื่อมีความร้อนของไฟกับภาชนะของวัสดุที่ระเหยง่าย เช่น ถังมีความร้อน แรงดันไอของของเหลวในถังเพิ่มขึ้นและความมั่นคงแข็งแรงของถังที่ลดลงเพราะว่าความร้อน ถ้าถังปะทุ ของเหลวที่ร้อนจะระเหยและระเบิดขึ้น

คลื่นกระแทก (Shock Wave)

ในทันใดที่คลื่นแรงดันเคลื่อนผ่านก๊าซ คลื่นกระแทกที่ออกสู่อากาศตามกระแสลม เมื่อรวมคลื่นกระแทกและลมจะเรียกว่าคลื่นกรรโชก (Blast Wave) แรงดันเพิ่มขึ้นในคลื่นกระแทกอย่างรวดเร็วในกระบวนการซึ่งโดยมากเป็นความดันคงที่ (Adiabatic)

แรงดันเกิน (Overpressure)

คือแรงดันที่มีผลจากการกระแทกของคลื่นกระแทก (Crowl and Louvar, 2002)

แบบจำลองสำหรับไอก๊าซ

แบบจำลองไอก๊าซที่จำเป็นสำหรับงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย

ความเข้มข้นในล้านส่วน

สมการหาความเข้มข้นในล้านส่วนจะถูกใช้เมื่อต้องการที่จะหาความเข้มข้นของไอก๊าซ

$$C_{PPM} = R_g \frac{T}{PM} C(x, y, z) \quad (31)$$

เมื่อ	C_{PPM}	=	ค่าความเข้มข้นในล้านส่วน
	R_g	=	ค่าคงที่ของก๊าซ (ความยาว ³ บรรยากาศปกติ/โมล องศา)
	T	=	อุณหภูมิสมบูรณ์ (องศาสมบูรณ์)
	P	=	ความดันบรรยากาศ (แรง/พื้นที่)
	M	=	มวลโมเลกุล (มวล/โมล)
	$C(x, y, z)$	=	ค่าความเข้มข้นในตำแหน่งที่จะหา (Louvar, 1998)

แบบจำลองก๊าซรั่วไหล (Vapor Release Model)

สมการแบบจำลองก๊าซรั่วไหลนี้จะใช้พิจารณาสำหรับการรั่วไหลแบบทะเล็ก (Choke)

$$(Q_m)_{choked} = C_0 A P_0 \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{R_g T_0} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{(\gamma+1)}{(\gamma-1)}}} \quad (32)$$

เมื่อ	$(Q_m)_{choked}$	=	อัตราไหลของก๊าซที่ผ่านรูรั่ว (มวล/เวลา)
	C_0	=	1.00 สำหรับกรณีไหลทะเล็ก (Choked)
	A	=	พื้นที่รู (ความยาว ²)
	P_0	=	ความดันสมบูรณ์ (แรง/พื้นที่)
	g_c	=	ค่าคงตัวความโน้มถ่วง (ความยาว มวล/แรง/เวลา ²)
	M	=	มวลโมเลกุล (มวล/โมล)

$$\begin{aligned}
 R_g &= \text{ค่าคงที่ของก๊าซ (ความยาว³ บรรยากาศปกติ/โมล องศา)} \\
 T_0 &= \text{อุณหภูมิสมบูรณ์ (องศาสมบูรณ์)} \\
 \gamma &= \frac{C_p}{C_v} = \text{อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ} \quad (33) \\
 &= \text{สำหรับมีเทนหรือก๊าซธรรมชาติที่มีหลายอะตอม (Polyatomic)} \\
 \gamma &= 1.32 \text{ (Louvar, 1998)}
 \end{aligned}$$

แบบจำลองลูกควันต่อเนื่อง (Plume)

จะใช้ร่วมกับแบบจำลองการแพร่กระจายลูกควันต่อเนื่องซึ่งสมการนี้ถูกพัฒนาโดย ปาสคิลและกิฟฟอร์ด (Pasquill and Gifford) ซึ่งได้มาจากการพิจารณารูปแบบของการแพร่กระจายตัวแบบจำลองลูกควันต่อเนื่องนี้เป็นแบบสถานะคงตัว (Steady State) ดังที่แสดงในสมการต่อไปนี้

$$C(x, y, z) = \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (34)$$

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } C(x, y, z) &= \text{ค่าความเข้มข้นในลูกควันต่อเนื่องตามฟังก์ชันของ} \\
 &\quad x, y \text{ และ } z \text{ (มวล/ความยาว³)} \\
 x, y, z &= \text{ระยะทางจากแหล่งกำเนิด (ความยาว)} \\
 Q_m &= \text{แหล่งกำเนิด (มวล/เวลา)} \\
 \sigma_x \text{ และ } \sigma_y &= \text{สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (ความยาว)} \\
 u &= \text{ความเร็วกระแสลม (ความยาว/เวลา)} \\
 z &= \text{ความสูงของศูนย์กลางลูกควัน} \\
 H_r &= \text{ความสูงของจุดที่ระบาย}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น การหาระยะทางจากการรั่วไหลที่ระดับพื้นของแบบจำลองลูกควันต่อเนื่อง (Plume)

$$H_r = 0 \quad (\text{ที่ระดับพื้น}) \quad , \quad z = y$$

$$C(x, y, z) = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \quad (35)$$

ตารางที่ 12 การแบ่งชั้นเสถียรภาพบรรยากาศแบบจำลองการแพร่กระจาย ปาสคิล-กิฟฟอร์ด

กลางวันแดดจัด (Day Radiation Intensity)				กลางคืนมีเมฆปกคลุม (Night Cloud Cover)	
ความเร็วลม (m/s)	รุนแรง (Strong)	ปานกลาง (Medium)	เล็กน้อย (Slight)	มีเมฆ (Cloudy)	ฟ้าโปร่ง (Clam and Clear)
<2	A	A-B	B	F	
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: Louvar (1998)

ตารางที่ 13 สมการที่แนะนำสำหรับสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย ปาสคิล-กิฟฟอร์ด
สำหรับการแพร่กระจายแบบลูกคลื่นต่อเนื่อง (Plume) (ระยะทางได้ลม x หน่วย m)

ชั้นเสถียรภาพบรรยากาศ Pasquill – Gifford	$\sigma_y (m)$	$\sigma_z (m)$
สภาวะนอกเมือง		
A	$0.22x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.20x$
B	$0.16x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.21x$
C	$0.11x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.002x)^{-1/2}$
D	$0.08x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.06x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$
E	$0.06x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.03x(1 + 0.0003x)^{-1}$
F	$0.04x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.016x(1 + 0.0003x)^{-1}$
สภาวะในเมือง		
A-B	$0.32x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.24x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$
D	$0.22x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.02x$
D	$0.16x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.14x(1 + 0.0003x)^{-1/2}$
E-F	$0.11x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$

ที่มา: Crowl (2002)

ผลกระทบของลูกไฟ (Fireballs)

เมื่อหมอกไอเคลื่อนที่ไปตามกระแสลม ในจุดที่สามารถติดไฟซึ่งมีหมอกไออาจจะสัมผัสกับแหล่งกำเนิดไฟ ผลจากการระเบิดกรณีคลื่นกระแทก (Shock Wave) และสร้างลูกไฟขึ้น เหล่านี้คือความเสียหายที่เกิดจากความร้อน ที่มีความเสียหายจากการแผ่รังสีคือสัดส่วนของปริมาณวัสดุในหมอกไอ

ถ้าของเหลวรั่วไหล ใช้อัตราการระเหยและเวลาที่ต้องการในการแผ่ไปถึงแหล่งกำเนิดการจุดระเบิด และไม่น้อยกว่าของผลรวมจากรายการหรืออัตราการรั่วไหลคูณด้วยเวลาที่จะหยุดการรั่ว และถ้าวัตถุรั่วไหลออกมาสองสถานะ (Two Phase) หรือวาบไฟ (Flashing) ใช้ไม่น้อยกว่าสองเท่าของปริมาณไอน้ำผลรวมจากรายการหรือสองเท่าของอัตรากลายเป็นไอคูณด้วยเวลาที่หยุดการรั่วไหล หรือถ้าการรั่วไหลสูงกว่าพื้นที่กัก (Dike) ในขณะที่กำลังระเหยจากแหล่งกำเนิดต่อเนื่องจนกระทั่งเต็มพื้นที่กัก ส่วนเดียวของผลรวมเชื้อเพลิงในหมอกไอคือแหล่งกำเนิดความเสียหายจากการแผ่รังสี ในทำนองเดียวกัน แหล่งกำเนิดสำหรับคลื่นกระแทก คือ 3% ของหมอกไอเผาไหม้ในภูมิประเทศโล่ง และ 10% ถ้าหมอกไอบางส่วนเผาไหม้ในที่แคบ

ตารางที่ 14 ผลจากการแผ่รังสีความร้อน (Effects of Thermal Radiation)

ความเข้มข้นการแผ่รังสี (Radiation Intensity) Kw/M ²	ผลที่เกิดตามมา
37.5	เครื่องมือในกระบวนการเสียหาย พลังงานต่ำสุดที่ไม่ถูกติดไฟที่ขั้วจากการสัมผัส
12.5	พลังงานต่ำสุดในการลุกไหม้ไม้และหลอมละลายท่อพลาสติก
9.5	ได้ความเจ็บปวดหลังจาก 8 วินาที มีแผลไฟไหม้ระดับ 2 หลัง 20 วินาที
4.0	ทำให้เจ็บปวดใน 20 วินาที หลังจากสัมผัส มีแผลไฟไหม้ระดับ 2 (แผลพุพอง)
1.6	ไม่ทำให้รู้สึกไม่สบายสำหรับการสัมผัสในระยะยาว

ที่มา: Louvar (1998)

ความเสียหายจากแรงระเบิด (Damage Due to Explosions)

พลังงานเทียบเท่าดินระเบิดทีเอ็นที (TNT Equivalency) คือวิธีการอย่างง่ายสำหรับจะรู้จักกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เทียบเท่ามวลของดินระเบิดทีเอ็นที โดยเริ่มพื้นฐานที่สมมุติว่ามวลของ

การระเบิดของเชื้อเพลิงเหมือนกับดินระเบิดที่อื่นที่ บนพื้นฐานการเทียบเท่าพลังงานเทียบเท่าของมวลที่อื่น (Crowl, and Louvar, 2002)

ความเสียหายจากแรงดันเกิน (Damage Due to Overpressures)

เมื่อลูกคลื่นเป็นกลุ่มหรือลูกคลื่นต่อเนื่องเคลื่อนที่ไปตามลม ส่วนของการแพร่กระจายอาจจะอยู่ระหว่างขีดจำกัดความสามารถในการติดไฟต่ำสุดและสูงสุด ถ้าก๊าซติดไฟแผ่ไปยังแหล่งกำเนิดประกายไฟ มันจะเกิดการระเบิดปริมาณของหมอกไอที่จะประมาณการระเบิดอยู่ระหว่าง 1% และ 10% ของมวลเดิม หมายความว่า 1% ถึง 10% ของการระเบิดจากแหล่งกำเนิด และยังมีค้างอยู่ 90% ถึง 99% ของหมอกไอที่แพร่กระจายออกไป ซึ่งกรณีความเสียหายโดยการระเบิดประมาณได้โดยคำนวณมาตราส่วนระยะทาง (Crowl, and Louvar, 2002)

ตารางที่ 15 ประมาณการความเสียหายสำหรับโครงสร้างพื้นฐานทั่วไปจากแรงดันเกิน

แรงดัน (Pressure)		ความเสียหาย (Damage)
Psig	kPa	
0.03	0.21	กระจกหน้าต่างขนาดใหญ่ที่อยู่ภายใต้ความเครียดแตกเสียหายเป็นบางครั้ง
0.04	0.28	เสียงดัง, เสียงระเบิด (Sonic Boom), กระจกเสียหาย
0.15	1.03	กระจกชนิดทนแรงดันแตกเสียหาย
0.3	2.07	ร้อยละ 0.95 มีความน่าจะเป็นที่ไม่รวน
0.5-1.0	3.4-6.9	หน้าต่างใหญ่เล็กแตกละเอียด บางครั้งวงกบบานหน้าต่างเสียหาย
0.7	4.8	โครงสร้างบ้านเสียหายเล็กน้อย
1.0	6.9	ทำให้บ้านไม่สามารถอาศัยอยู่ได้ ต้องรื้อถอนบางส่วน
1.3	9.0	โครงเหล็กที่ปกคลุมอาคารเคลื่อนเสียหายเล็กน้อย
2-3	13.8-20.7	คอนกรีตหรือผนังอิฐที่ไม่เสริมแรงแตกละเอียด
2.3	15.8	ความเสียหายของโครงสร้างนำวัดในระดับต่ำ
3	20.7	โครงเหล็กอาคารบิดเบี้ยว ถูกถอนจากฐานราก
3-4	20.7-27.6	โครงสร้างหาย แฉกโครงสร้างเหล็กพังทลายเอง ถึงเก็บน้ำมันปะทุ (Rupture)
5	34.5	เครื่องใช้ทำด้วยไม้แกนหัก
5-7	34.5-48.2	บ้านถูกทำลายเกือบสมบูรณ์
7	48.2	ถังบรรจุรถไฟฟ้างล่ม
9	62.2	รถไฟบรรทุกถ่านหินคันเสียหายสมบูรณ์
10	68.9	อาคารน่าจะเสียหายโดยรวม
300	2,068	ระดับปากปล่องภูเขาไฟ

ที่มา: Louvar (1998)

แนวทางการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้น

แนวทางการจัดการความเสี่ยงสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นภายนอก

ตามแนวทางการจัดการความเสี่ยงสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นภายนอก (Risk Management Program Guidance for Offsite Consequence Analysis EPA 550-B-009 April 1999) สำนักงานจัดการของเสียและเหตุฉุกเฉิน (Office of Solid Waste and Emergency Response) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่อยู่ภายใต้องค์การป้องกันสิ่งแวดล้อมสหรัฐ (United State Environmental Protection Agency: U.S. EPA) ที่เผยแพร่ไว้ใน www.epa.gov/ceppo/ เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับผู้ประกอบการและผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการป้องกันอุบัติเหตุทางเคมีตามกฎหมาย ในการวิเคราะห์ผลกระทบภายนอกของอุบัติเหตุการรั่วไหลของวัตถุอันตราย

คู่มือนี้พัฒนาขึ้นภายใต้ข้อกำหนดอากาศสะอาด (Clean Air Act: CAA) มาตรา 112(R) ซึ่ง EPA ได้ประกาศกฎข้อบัญญัติการป้องกันอุบัติเหตุทางเคมี ลงวันที่ 20 มิถุนายน 1996 (Chemical Accident Prevention Provisions on June 20, 1996)

ซึ่งกฎดังกล่าวได้ดำเนินการตามส่วนที่ 68 ของบรรพ 40 ของประมวลข้อบัญญัติรัฐบาลกลาง (Part 68 of Title 40 of The Code Federal: 40 CFR Part 68) ซึ่งผู้ประกอบการการขนถ่าย โรงงานผลิต การใช้ หรือการเก็บ ของสารพิษหรือสารไวไฟตามรายการใน 40 CFR 68.13 จะต้องดำเนินการพัฒนาการบริหารจัดการความเสี่ยงภายใต้ 40 CFR Part 68

การวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นภายนอกประกอบไปด้วยสองส่วน คือ

1. กรณีเหตุการณ์รั่วไหลร้ายแรง (A Worst-Case Scenario)
2. เหตุการณ์รั่วไหลทางอื่น (Alternative Release Scenario) (EPA, 1999)

ตารางที่ 16 ความต้องการเสริมสำหรับการจำลองแบบ (40 CFR 68.2)

กรณีร้ายแรง	เหตุการณ์ทางอื่น
จุดสุดท้าย (Endpoints) (§68.33(A))	
จุดสุดท้ายสำหรับวัตถุพิษที่ระบุใน ส่วนที่ 68 ภาคผนวก A	จุดสุดท้ายสำหรับวัตถุพิษที่ระบุใน ส่วนที่ 68 ภาคผนวก A
สำหรับวัตถุติดไฟจุดสุดท้ายคือแรงระเบิด (Overpressure) ที่ 1 psi สำหรับการระเบิดจากหมอกไอ (Vapor Cloud Explosions)	สำหรับวัตถุติดไฟ จุดสุดท้ายคือ - แรงระเบิด (Overpressure) ที่ 1 psi สำหรับการระเบิดจากหมอกไอ (Vapor Cloud Explosions) - รังสีความร้อนในระดับ 5 kW/m² สำหรับ 40 s สำหรับการเกิดความร้อนจากไฟ (หรือปริมาณเทียบเท่า) - ระดับการติดไฟต่ำสุด (LFL) ที่ระบุไว้ในเอกสาร NFPA หรือจากแหล่งที่ได้รับการรับรองทั่วไป
ความเร็วลม/เสถียรภาพ (§68.33(B))	
ในที่นี้แนะนำให้สมมุติเป็น 1.5 m/s และเสถียรภาพ F สำหรับแบบจำลองอื่น ใช้ 1.5 m/s และเสถียรภาพ ชั้น F เว้นแต่จะใช้ข้อมูลจากเมืองในท้องถิ่นมาประยุกต์ใช้พิสูจน์ ไปสู่การแสดงความเร็วลมที่สูงกว่าความเร็วที่น้อยที่สุดหรือน้อยกว่าสภาวะบรรยากาศที่ตลอดเวลา ระหว่าง 3 ปีก่อนหน้า ข้อมูลอย่างน้อยนี้อาจใช้สำหรับการจำลองในพื้นที่เฉพาะ	ในที่นี้แนะนำให้สมมุติเป็น 3 m/s และเสถียรภาพ D สำหรับแบบจำลองอื่นจะใช้ตามสภาวะชนิดของอุศุนิยมวิทยาสำหรับที่ตั้งของท่าน
อุณหภูมิโดยรอบ/ความชื้น (§68.33(C))	
ในที่นี้แนะนำให้สมมุติเป็น 25°C (77°F) และความชื้นร้อยละ 50 สำหรับแบบจำลองอื่นสำหรับวัตถุพิษ จะใช้สูงสุดประจำวันของอุณหภูมิและความชื้นเฉลี่ย สำหรับที่ตั้งใดระหว่างเวลา 3 ปี	ในที่นี้แนะนำให้สมมุติเป็น 25°C (77°F) และความชื้นร้อยละ 50 สำหรับแบบจำลองอื่นสำหรับวัตถุพิษ จะใช้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ/ความชื้น ของข้อมูลในที่ตั้งหรือสถานีอุตุนิยมวิทยาท้องถิ่น
ความสูงสำหรับการรั่วไหล (§68.33(D))	
สำหรับวัตถุพิษ จะต้องสมมุติการรั่วไหลที่ระดับพื้น	ในที่นี้แนะนำให้สมมุติเป็นที่ระดับพื้น สำหรับแบบจำลองอื่นความสูงการรั่วไหลอาจหาโดยการรั่วไหลในเหตุการณ์
ความหยาบของพื้นผิว (§68.33(E))	
ใช้ในเมือง(ภูมิประเทศกึ่งขวาง) หรือภูมิลักษณะนอกเมือง(ภูมิประเทศแบนราบ) ถ้าแยกแยะไว้	ใช้ในเมือง(ภูมิประเทศกึ่งขวาง) หรือภูมิลักษณะนอกเมือง(ภูมิประเทศแบนราบ) ถ้าแยกแยะไว้
ความหนาแน่นหรือการลอยตัวของก๊าซ (§68.33(F))	
ตารางหรือแบบจำลองใช้สำหรับการแพร่กระจายสำหรับกฎหมายวัตถุพิษจะต้องเหมาะสมกับความหนาแน่นของก๊าซ ถ้าใช้ตามแนวทาง ให้ดู ตาราง 1-4 สำหรับก๊าซลอยตัว และตาราง 5-8 สำหรับก๊าซหนาแน่น หรือตาราง 9-12 สำหรับสารเคมีเฉพาะ	ตารางสำหรับแบบจำลองใช้สำหรับการแพร่กระจายจะต้องเหมาะสมกับความหนาแน่นของก๊าซ ถ้าใช้ตามแนวทาง ให้ดู ตาราง 14-17 สำหรับก๊าซลอยตัว และตาราง 18-12 สำหรับก๊าซหนัก หรือตาราง 22-25 สำหรับสารเคมีเฉพาะ
อุณหภูมิของวัตถุที่รั่วไหล (§68.33(G))	
จะต้องพิจารณาของเหลว (อื่น ๆ เช่น ก๊าซเหลวโดยเป็นสารทำความเย็น) ไปสู่การรั่วไหลที่อุณหภูมิสูงสุดประจำวัน จากข้อมูลสำหรับ 3 ปีก่อนหน้า หรือที่อุณหภูมิกระบวนการที่สูง สมมุติก๊าซเหลวโดยเป็นสารทำความเย็นที่แรงดันบรรยากาศไปสู่การรั่วไหลที่จุดเดือด แนวทางนี้จะหาตัวคูณสำหรับประมาณอัตราการรั่วไหลที่ 25°C หรือที่จุดเดือดของการรั่วไหลของวัตถุ และใช้หาตัวคูณอุณหภูมิที่ถูกต้อง	วัตถุอาจพิจารณาไปสู่การรั่วไหลที่กระบวนการหรืออุณหภูมิล้อมรอบเหล่านี้คือที่แยกไว้สำหรับเหตุการณ์ แนวทางนี้จะหาตัวคูณสำหรับประมาณอัตราการรั่วไหลที่ 25°C หรือที่จุดเดือดของการรั่วไหลของวัตถุ และใช้หาตัวคูณอุณหภูมิที่ถูกต้อง

ที่มา: EPA (1999)

สมการสำหรับประมาณระยะแรงระเบิดที่ 1 psi สำหรับการระเบิดจากหมอกไอ (Equation For Estimation of Distance to 1 psi Overpressure for Vapor Cloud Explosions)

สมการสำหรับประมาณระยะแรงระเบิดที่ 1 psi จะใช้สำหรับหาแรงระเบิดที่ปลายสุดที่ 1 psi สำหรับการระเบิดจากหมอกไอ

$$D = 17 \times \left(0.1 \times W_f \times \frac{HC_f}{HC_{TNT}} \right)^{1/3} \quad (36)$$

โดย	D	=	ระยะแรงระเบิดที่ 1 psi, m
	W_f	=	น้ำหนักของวัตถุไวไฟ kg or lb/2.2
	HC_f	=	ค่าความร้อนการเผาไหม้ของวัตถุไวไฟ kJ/kg
	HC_{TNT}	=	ค่าความร้อนของการระเบิดของไตรไนโตรโทลูอิน (TNT) 4,680 kJ/kg
	17	=	ค่าคงที่สำหรับที่สัมพันธ์กับความเสียหายของแรงระเบิด 1 psi
	0.1	=	ใช้อ้างแทนประสิทธิภาพการระเบิดที่ร้อยละ 10

การผสมกันของวัตถุไวไฟ (Mixtures Of Flammable Substance)

สมการการผสมวัตถุไวไฟจะใช้สำหรับการผสมวัตถุไวไฟหลายชนิดเข้าด้วยกัน

$$HC_m = \frac{W_x}{W_m} \times HC_x + \frac{W_y}{W_m} \times HC_y \quad (37)$$

โดย	HC_m	=	ค่าความร้อนการเผาไหม้ของที่ผสมกัน kJ/kg
	W_x	=	น้ำหนักของส่วนประกอบ “x” ในส่วนผสม kJ/kg
	W_m	=	ผลรวมน้ำหนักของส่วนผสม kg or lb/2.2
	HC_x	=	ค่าความร้อนการเผาไหม้ของส่วนประกอบ “x” kJ/kg
	W_y	=	น้ำหนักของส่วนประกอบ “y” ในส่วนผสม kJ/kg
	HC_y	=	ค่าความร้อนการเผาไหม้ของส่วนประกอบ “y” kJ/kg (EPA, 1999)

ตารางที่ 17 ข้อมูลสำหรับวัตถุไวไฟ

Cas No.	ชื่อทางเคมี	สถานะทางกายภาพ ที่ 25 °C	ค่าความร้อน ของการเผาไหม้ (kJ/kg)
106-97-8	บิวเทน (Butane)	ก๊าซ	45,719
74-84-0	อีเทน (Ethane)	ก๊าซ	45,509
75-28-5	ไอโซบิวเทน (Isobutene)	ก๊าซ	45,576
74-28-8	มีเทน (Methane)	ก๊าซ	50,029
74-98-6	โพรเพน (Propane)	ก๊าซ	46,333

ที่มา: EPA (1999)

เบลเว่(BLEVEs)

เบลเว่จะพัฒนาจากพื้นฐานสมการที่แสดงไว้ในเอกสารของ AIChE, (Guideline for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosion, Flash, Fires, and BLEVEs) เป็นการจำลองตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลูกไฟ (Fireball) ดังที่อ้างในเอกสารของ AIChE สมการจะใช้สำหรับการรับการแผ่รังสีความร้อน

$$q = \frac{2.2\tau_a R H_c m_f^{0.67}}{4\pi L^2} \quad (38)$$

โดย	q	=	การรับรังสีที่ปลายสุด W/m^2
	m_f	=	มวลของเชื้อเพลิงในลูกไฟ kg
	τ_a	=	บรรยากาศที่ส่งผ่าน
	H_c	=	ค่าความร้อนการเผาไหม้ J/kg
	R	=	ส่วนของการแผ่รังสีของค่าความร้อนการเผาไหม้
	L	=	ระยะจากศูนย์กลางลูกไฟถึงปลายสุด m
	π	=	3.14

คำแนะนำการใช้ค่า R โดย AICHe

$R = 0.3$ สำหรับภาชนะบรรจุที่ปะทุต่ำกว่าแรงดันที่ปรับตั้งลิ้นระบายแรงดัน

$R = 0.4$ สำหรับภาชนะบรรจุที่ปะทุสูงกว่าแรงดันที่ปรับตั้งลิ้นระบายแรงดัน

และให้ใช้

$$R = 0.4 \quad \tau_a = 1$$

ผลของการแผ่รังสีความร้อนที่สัมผัสบุคคลขึ้นอยู่กับสองกรณีคือความรุนแรงของการแผ่รังสีและระยะเวลาในการสัมผัส สำหรับการพัฒนารางของระยะทางสำหรับเบลเว่ จะสมมุติระยะเวลาของการสัมผัสจะเท่ากับระหว่างเวลาการเกิดลูกไฟ เอกสารของ AICHe ให้ดำเนินการตามสมการระหว่างเวลาการเกิดลูกไฟ

$$t_c = 0.45m_f^{1/3} \quad \text{สำหรับ } m_f < 30,000 \text{ kg} \quad (39)$$

$$\text{และ } t_c = 2.6m_f^{1/6} \quad \text{สำหรับ } m_f > 30,000 \text{ kg} \quad (40)$$

โดย $m_f =$ มวลของเชื้อเพลิง (kg)

$t_c =$ ระยะเวลาระหว่างการเผาไหม้ (s)

ผลของอุณหภูมิการแผ่รังสีโดยทั่วไปคือสัดส่วนความรุนแรงการแผ่รังสี $4/3$ ช่วงเวลาพลังงานของเวลาในการสัมผัส เช่น ปริมาณความร้อน (Dose) จะประมาณการโดยใช้สมการ

$$Dose = tq^{4/3} \quad (41)$$

โดย $t =$ ระยะเวลาของการสัมผัส s

$q =$ ความรุนแรงการแผ่รังสี W/m^2 (EPA, 1999)

อุบัติเหตุเกี่ยวกับก๊าซธรรมชาติและการศึกษาอุบัติเหตุ

ถังเก็บและจ่ายก๊าซธรรมชาติในรถยนต์เกิดระเบิด

ในประเทศไทยได้เกิดมีอุบัติเหตุในสถานบริการก๊าซธรรมชาติมาแล้ว ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อวันที่ 20 กันยายน พ.ศ. 2547 เวลาประมาณ 11.30 น. ได้มีผู้โดยสารรถยนต์นั่งส่วนบุคคล วอลโว่ รุ่น 940 ได้เข้ามาเติมก๊าซธรรมชาติที่สถานบริการแห่งหนึ่งในตอนเหนือของกรุงเทพมหานคร และได้เกิดระเบิดขึ้นอย่างรุนแรงที่กระโปรงท้ายของรถทำให้รถยนต์พังเสียหาย และเพลิงไหม้ถังเก็บก๊าซ แต่ไม่มีผู้บาดเจ็บและเสียชีวิต



ภาพที่ 10 รถยนต์ใช้ก๊าซธรรมชาติระเบิด

ที่มา: สุกิตติ (2547)

จากการสอบสวนของเจ้าหน้าที่ตำรวจปรากฏว่าเจ้าของรถได้นำรถได้ดัดแปลงเพื่อให้ออกมาใช้กับก๊าซธรรมชาติได้ เนื่องจากน้ำมันมีราคาแพงขึ้น จึงคิดจะประหยัดค่าใช้จ่ายโดยไปซื้อถังบรรจุก๊าซแก๊มาจากโรงงานซ่อมตัวถังรถยนต์แห่งหนึ่ง โดยได้ทำการติดตั้งเองและไม่ได้ผ่านการตรวจสอบตามข้อกำหนดและกฎหมาย (สุกิตติ, 2547)

รถพ่วงขนส่งก๊าซธรรมชาติไฟไหม้

เมื่อวันที่ 15 ตุลาคม 2547 เวลาประมาณ 23.35 น. รถพ่วงขนส่งก๊าซธรรมชาติหมายเลข 31 ทะเบียน 96-2821 กรุงเทพมหานคร กับหัวลากวอลโว่ ทะเบียน 95-9783 ซึ่งเป็นผู้รับสัญญาขนส่งก๊าซ NGV ให้กับ ปตท. ได้ออกจากสถานีแม่ริมมิตรใหม่ เพื่อไปส่งก๊าซที่สถานีบริการในอำเภอบางบัวทอง ขณะที่ยังวิ่งมาถึงทางโค้งตรงข้ามซอยลำลูกกา 35 เลข สก.ต. คูศด ประมาณ 100 เมตร ขณะนั้น ได้มีรถบรรทุกเล็กไม่ทราบทะเบียนได้วิ่งแซงขึ้นมา และปาดหน้าตรงทางโค้งในระยะประชิด คนขับรถพ่วงจึงหักหลบกระทันหัน ทำให้รถเสียหลัก รถวิ่งซัดแผงคอนกรีตที่ตั้งไว้กั้นข้างทาง พุ่งชนเสาไฟฟ้าหักทำให้พลิกคว่ำ ถังน้ำมันดีเซลของหัวลากทะลุเป็นรูใหญ่ น้ำมันไหลออกมา เกิดเพลิงไหม้ทั้งตู้พ่วงและหัวลากเสียหายใช้งานไม่ได้ พนักงานขับรถและพนักงานประจำรถ ได้รับบาดเจ็บถูกไฟลวกที่บริเวณแขนและหลัง สำหรับถังเก็บและจ่ายก๊าซธรรมชาติ ในตู้รถพ่วงที่บรรจุก๊าซทั้งหมดมีรอยไฟไหม้เสียหาย แต่ไม่มีการระเบิด (กรมธุรกิจพลังงาน, 2547)



ภาพที่ 11 รถพ่วงขนส่งก๊าซธรรมชาติไฟไหม้

ที่มา: กรมธุรกิจพลังงาน (2547)

การประเมินความเสี่ยงรถโดยสารก๊าซธรรมชาติอัด

เมื่อเดือนพฤษภาคม 2545 (2002) Samuel Chamberlain, Mohammad Modarres, And Frederick Mowrer แห่งศูนย์การศึกษาเทคโนโลยีความเสี่ยง (The for Center Technology Risk Studies: CTRS) มหาวิทยาลัยแมริแลนด์ สหรัฐอเมริกา ได้ศึกษาในเรื่องการประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ความปลอดภัยรถโดยสารก๊าซธรรมชาติอัด (Compressed Natural Gas Bus Safety: A Qualitative and Quantitative Risk Assessment) ซึ่งโครงการวิจัยได้ผลการเสียชีวิตจากเงื่อนไขการเกิดเพลิงไหม้เท่ากับ 2.2×10^{-5} คน/ปี สำหรับ รถโดยสาร CNG 8500 คัน ในการใช้งานในปี 2001 ในสหรัฐอเมริกา สิ่งนี้แปลว่าประมาณการว่าจะมีผู้เสียชีวิต 0.19 คน/ปี หรือหมายความว่า ช่วงเวลาที่เกิดการเสียชีวิตอยู่ที่ 5.4 ปี/การเสียชีวิต และถ้าทั้งหมดของร้อยละรถยนต์โดยสารของโรงเรียนในสหรัฐอเมริกาเปลี่ยนมาเป็นแบบ CNG หมายความว่าประมาณการผู้เสียชีวิตที่ 9.9 คน/ปี หรือหมายความว่าช่วงเวลาที่เกิดขึ้นของเพลิงไหม้มีความสัมพันธ์ที่ 1.2 เดือน/การเสียชีวิต ดังนั้น เหตุการณ์ความล้มเหลวของรถโดยสารที่สัมพันธ์ความเสียหายขั้นหายนะถึงขั้นเกิดเพลิงไหม้เป็นหลักความปลอดภัยในการเผยแพร่ในการใช้ CNG เป็นพลังงานในรถยนต์โดยสาร

การเปรียบเทียบความเสี่ยงของรถยนต์โดยสารดีเซลและ CNG

Professor Mohammad Modarres และคณะ แห่งศูนย์การศึกษาเทคโนโลยีความเสี่ยง (The Center Technology Risk Studies) มหาวิทยาลัยแมริแลนด์ สหรัฐอเมริกา ได้เผยแพร่ผลการศึกษการเปรียบเทียบความเสี่ยงของรถยนต์โดยสารดีเซลและ CNG ในงาน SAE International Truck & Bus Meeting เมื่อเดือนพฤษภาคม 2545 โดยได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบความเสี่ยงของรถยนต์โดยสารดีเซลและ CNG และสรุปผลการศึกษาไว้ว่า จากการข้อมูลที่บันทึกไว้ ประมาณความเสี่ยงการเสียชีวิตจากไฟไหม้รถยนต์โดยสารโรงเรียน ไว้ที่ 0.091 จากผลรวมการเสียชีวิตต่อ 100 ไมล์ และการเสียชีวิตของผู้โดยสารเท่ากับ 0.0007 ต่อ 100 ไมล์ในการเดินทาง จากหลักฐานอ้างอิงการผลวิเคราะห์เชิงปริมาณของการศึกษาดังที่ รวบรวมไว้ในตาราง, ผลรวมความเสี่ยงการเสียชีวิตจากไฟไหม้สำหรับรถโดยสาร CNG ประมาณการไว้ที่ 0.23 ต่อ 100 ล้านไมล์การใช้งาน เช่นกันกับการศึกษาประมาณการไว้ที่ 0.16 ราย ต่อ 100 ล้านไมล์ สำหรับผู้โดยสารรถโดยสาร CNG และจากการเปรียบเทียบผลการประมาณการสำหรับ รถโดยสาร CNG ซึ่งมีประวัติการบันทึกที่ผ่านมา อาจลงความเห็นได้ว่า รถโดยสาร CNG มีความโน้มเอียงมาก เฉลี่ย 2.5 เท่า กับความเสี่ยงการเสียชีวิตมากกว่ารถโดยสารดีเซล สัญญาณที่เพิ่มขึ้นคือความเสี่ยงสำหรับผู้โดยสารเช่นในยานพาหนะ นั้น

คือ ผู้โดยสารรถโดยสาร CNG เสียชีวิตสูงกว่า 200 เท่า ของความเสี่ยงการเสียชีวิตในรถโดยสารดีเซล ขณะที่เทียบเคียงปริมาณและหลักฐานในการประมาณการเฉลี่ยที่ดีที่สุด กรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้ที่ร้ายแรงที่สุดสำหรับรถโดยสาร CNG คาดว่าจะนำไปสูงกว่าการเสียชีวิตกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้ของรถยนต์โดยสารดีเซล (Chamberlain, Modarres and Mowrer: 2002)

ตารางที่ 18 ผลการวิจัยความเสี่ยงเชิงคุณภาพ

ผลการวิจัยการเกิดเพลิงไหม้รถโดยสาร CNG จากกรณีที่เกิดขึ้น	ความถี่ ของอุบัติการณ์ คัน/ปี	ความเสี่ยง การเสียชีวิต /คัน/ปี	ความเสี่ยง การเสียชีวิต ต่อ 100 ล้านไมล์
การเสียหายขั้นหายหยาบ ของรถโดยสารหรือส่วนประกอบอุปกรณ์หลัก ของสถานีบริการ	1.4×10^{-3}	2.7×10^{-6}	2.8×10^{-2}
ความเสียหายจากความเก่า ของรถโดยสารหรือส่วนประกอบอุปกรณ์ ของสถานีบริการ	3.7×10^{-3}	7.5×10^{-6}	7.8×10^{-2}
ประจุไฟฟ้าสถิตย์ของ CNG	1.4×10^{-5}	3.7×10^{-6}	3.9×10^{-2}
อุบัติเหตุการกระแทกจากการถูกชน ที่ไม่เกี่ยวกับ CNG ไฟไหม้	3.6×10^{-2}	4.6×10^{-6}	4.8×10^{-2}
ผู้ปฏิบัติงานบกพร่อง	4.0×10^{-2}	3.5×10^{-7}	3.6×10^{-3}
ผลรวมความเสี่ยงการเสียชีวิตจากเพลิงไหม้		2.2×10^{-5}	2.4×10^{-1}

หมายเหตุ * สมมุติจาก 9858 ไมล์ ของการเดินทางต่อคันต่อปี

ที่มา: Chamberlain, Modarres and Mowrer (2002)

ตารางที่ 19 สรุปผลการวิจัยของการเสียชีวิตจากไฟไหม้

	การเสียชีวิตจากไฟไหม้ในรถ ต่อ 100 ล้านไมล์	การเสียชีวิตจากไฟไหม้ทั้งหมด ต่อ 100 ล้านไมล์
CNG จากการประเมิน	0.16	0.23
รถดีเซล จากข้อมูลที่บ้านทักไว้	0.0007	0.091
อัตราส่วนระหว่างรถดีเซลและ CNG	230	2.5

ที่มา: Chamberlain, Modarres and Mowrer (2002)