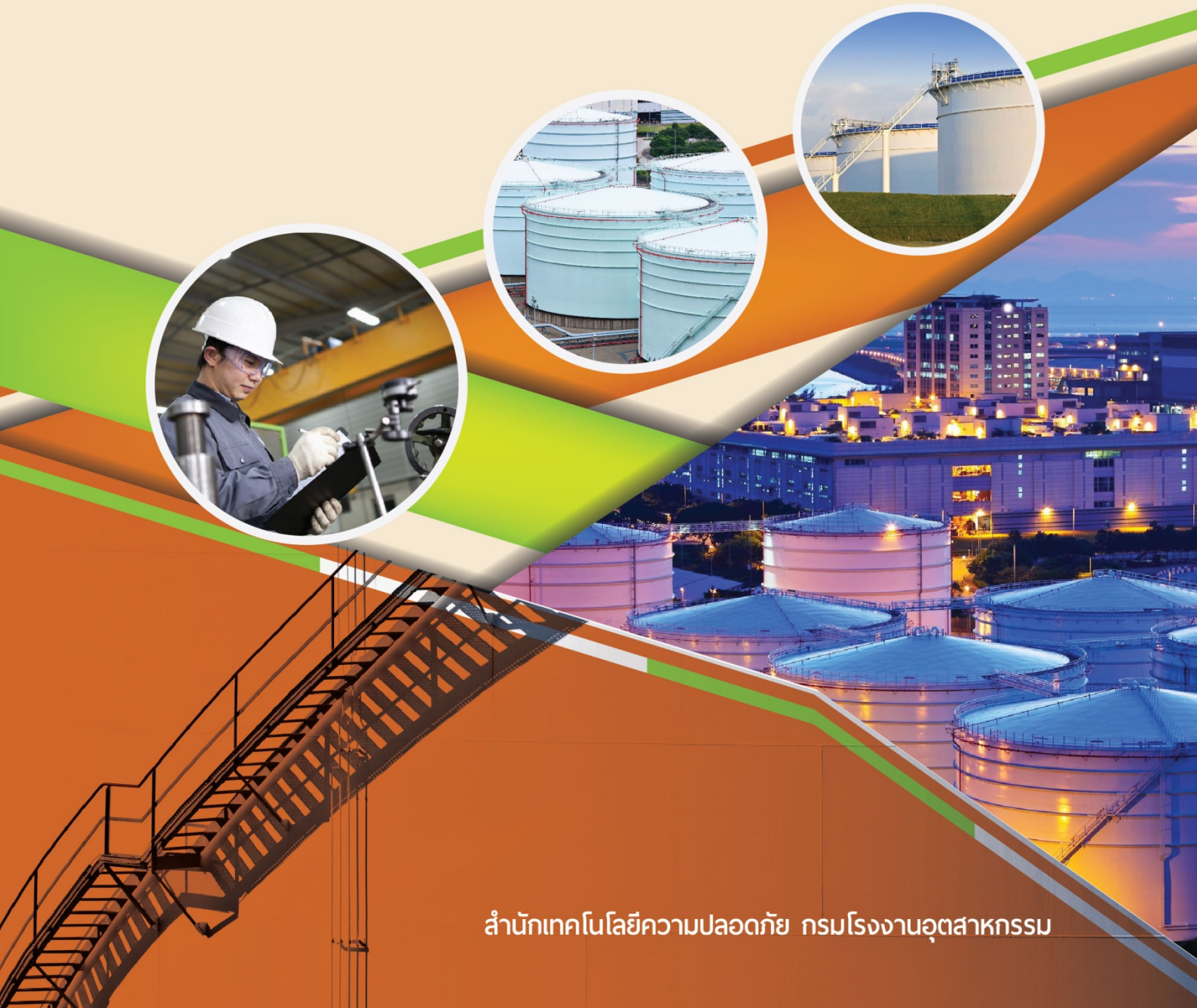
กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

# คู่มือมาตรฐานการออกแบบ การสร้าง การติดตั้ง การใช้งาน การตรวจสอบ และการบำรุงรักษาถังเก็บสารเคมีอันตราย (Storage tank)

## ประเภทสารกัดกร่อน



สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม

**คณะทำงาน**

| | | |
|---|---|---|
| **ที่ปรึกษา** | นายมงคล พฤกษ์วัฒนา | อธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม |
| | นายสมคิด วงศ์ไชยสุวรรณ | รองอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม |
| | นายอภิจิณ โชติกเสถียร | รองอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม |
| | นายจุลพงษ์ ทวีศรี | รองอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม |
| **คณะกรรมการประสานและรับมอบงาน** | นายศุภกิจ บุญศิริ<br>ผู้อำนวยการสำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย | ประธานคณะกรรมการ |
| | นางสาวรัตนา รักษ์ตระกูล<br>รักษาการนักวิทยาศาสตร์เชี่ยวชาญ | กรรมการ |
| | นายนบพร ม่วงแก้ว<br>นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ | กรรมการ |
| | นายสุทัศน์ มังคละคีรี<br>นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ | กรรมการ |
| | นายชัชวาลย์ จิตติเรืองเกียรติ<br>นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ | กรรมการ |
| | นางสาวกฤติยา เหมือนใจ<br>นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ | กรรมการ |
| | นางริกาญจน์ ฉัตรสกุลวิไล<br>นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ | กรรมการและเลขานุการ |
| **คณะผู้จัดทำ** | ดร. พรวิภา คลังสิน<br>ดร. ณฐินี ศรีเนตร<br>ผศ.ดร. นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช<br>นายไพบูลย์ ต้นศิริอนุสรณ์<br>นายชำนิ โมสกุล<br>นาวาเอก เทวัญ สุจริตวงศานนท์<br>นายพงศ์นรินทร์ เพชรชู<br>Mrs.Irena Meyer | |
| **พิมพ์ครั้งที่ 1** | **กันยายน 2559** | |

# กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำ**คู่มือมาตรฐานการออกแบบ การสร้าง การติดตั้ง การใช้งาน การตรวจสอบและการบำรุงรักษาถังเก็บสารเคมีอันตราย (Storage tank) ประเภทสารกัดกร่อน** เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยความร่วมมือจาก ผู้ประกอบกิจการโรงงาน และผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ด้านการออกแบบ การสร้าง การใช้งาน และตรวจสอบถังเก็บสารเคมี ในการให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ดังนี้

- คุณสายัณต์ นาคอยู่ บริษัท คอมพาสลิงค์ จำกัด
- คุณฐิติภัทร์ พิสิฐพรสกุล บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)
- ดร. ศราวลี ธนศิลป์ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)
- คุณวิทยา สวัสดิโรจน์ บริษัท ปุ๋ยเอ็นเอฟซี จำกัด (มหาชน)
- คุณประภาวุฒิ ปานสีทอง บริษัท มาบตาพุด แทงค์ เทอมินัล จำกัด
- คุณทักษ์พัทธพล วงษ์ษาวรารักษ์ บริษัท วิทย์คอร์ป โปรดักส์ จำกัด
- คุณวฤทธิ์ จันทร์นุช บริษัท วิทย์คอร์ป โปรดักส์ จำกัด
- คุณอาคม คงแก้ว บริษัท วิทย์คอร์ป โปรดักส์ จำกัด
- คุณไพรัตน์ วัดน้อย บริษัท สยามเฆมี จำกัด
- คุณสมภพ ทองเกล็ด บริษัท ไทยแท้งค์เทอร์มินัล จำกัด
- คุณกรณเสฏฐ์ ปิติอริยะนันท์ บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน)

นอกจากนี้ยังได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจาก บริษัท เอเชีย ซิลิโคนส์ โมโนเมอร์ จำกัด บริษัท สยามเคมีคอลอินดัสตรี้ จำกัด บริษัท ระยอง เทอร์มินัล จำกัด และบริษัท พีทีที แทงค์ เทอร์มินัล จำกัด ในการให้ข้อมูลและอำนวยความสะดวกแก่เจ้าหน้าที่ ในการนำแบบตรวจสอบถังเก็บสารเคมีไปทดลองใช้ ตลอดจนให้ความเห็นและข้อเสนอแนะ เพื่อให้คู่มือนี้มีความสมบูรณ์ครบถ้วนและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้ประกอบกิจการโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรมและคณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

# คำนำ

สารเคมีเป็นสิ่งสำคัญในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบ ตัวทำละลาย ตัวทำปฏิกิริยา หรือตัวเร่งปฏิกิริยา และปริมาณการใช้สารเคมียังแสดงให้เห็นถึงการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศอีกด้วย การบริหารจัดการด้านความปลอดภัยสารเคมี จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ประกอบกิจการโรงงานจะต้องตระหนักในทุกขั้นตอนที่เกี่ยวข้องตั้งแต่การเก็บ การใช้ และการผลิตสารเคมีเพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่เกิดจากการรั่วไหลและการแพร่กระจายของสารเคมีที่อาจก่อให้เกิดเพลิงไหม้ การระเบิด และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งความปลอดภัยในการดำเนินงานที่เกี่ยวกับถังเก็บที่มีการเก็บสารเคมีที่มีปริมาณมาก โดยต้องพิจารณาตั้งแต่การออกแบบ การก่อสร้างให้สอดคล้องกับมาตรฐานสากล รวมทั้งกำหนดการใช้งานเพื่อให้เกิดความปลอดภัย เพื่อลดผลกระทบที่อาจจะเกิดต่อชีวิต ทรัพย์สิน รวมทั้งสิ่งแวดล้อม

กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้จัดทำโครงการพัฒนาการดำเนินการด้านความปลอดภัยถังเก็บสารเคมี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและจัดทำคู่มือมาตรฐานการออกแบบ การสร้าง การติดตั้ง การใช้งาน การตรวจสอบ และการบำรุงรักษาถังเก็บสารเคมีอันตราย (Storage tank) โดยจัดทำตามประเภทของสารเคมี 3 ชนิด ได้แก่ สารไวไฟ สารกัดกร่อน และสารพิษ สำหรับคู่มือฉบับนี้เป็นมาตรฐานสำหรับสารกัดกร่อน โดยมีเนื้อหาครอบคลุมถังเก็บที่เป็นรูปทรงกระบอกที่ติดตั้งอยู่บนดิน ความจุไม่เกิน 500 ลูกบาศก์เมตร และความดันในถังไม่เกิน 17.2 psi (หรือ 2.5 psig)

กรมโรงงานอุตสาหกรรมหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานถังเก็บสารเคมีทั้งในปัจจุบันหรือที่จะมีการใช้ในอนาคต เพื่อให้เกิดความปลอดภัยที่พิจารณาตั้งแต่การออกแบบและการใช้งาน ตลอดจนเพื่อเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานภาครัฐในการกำกับดูแลด้านความปลอดภัยถังเก็บสารเคมีในภาคอุตสาหกรรม

**สารบัญ**


| บทที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| **1** | **ความรู้ทั่วไป** | **1-1** |
| 1.1 | คำจำกัดความ | 1-1 |
| 1.2 | เกณฑ์การจำแนกประเภท | 1-1 |
| 1.3 | สมบัติทางกายภาพ | 1-1 |
| 1.4 | การสื่อสารความเป็นอันตราย | 1-6 |
| 1.5 | ชนิดของถังเก็บสารเคมีโดยทั่วไป | 1-10 |
| **2** | **กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง** | **2-1** |
| 2.1 | การขออนุญาตก่อสร้างถังเก็บสารเคมี | 2-1 |
| 2.2 | การดำเนินงานเกี่ยวกับถังเก็บสารเคมี | 2-3 |
| **3** | **การเลือกและออกแบบถังเก็บสารกัดกร่อน** | **3-1** |
| 3.1 | การเลือกและออกแบบถังเก็บสารกัดกร่อน | 3-1 |
| 3.2 | การเลือกชนิดวัสดุสำหรับถังเก็บและส่วนประกอบของถัง | 3-2 |
| 3.3 | การออกแบบและการคำนวณความหนาของถัง | 3-5 |
| 3.4 | การคำนวณน้ำหนักถังเก็บ | 3-14 |
| 3.5 | การเคลือบ / ปูผิวถังเก็บสารเคมี (Coating /Lining) | 3-15 |
| **4** | **การเลือกสถานที่** | **4-1** |
| 4.1 | การเลือกพื้นที่สำหรับก่อสร้างถังเก็บสารเคมี | 4-1 |
| 4.2 | การจัดวางถังเก็บสารเคมี | 4-7 |
| **5** | **การติดตั้ง และการใช้งานถังเก็บสารกัดกร่อน** | **5-1** |
| 5.1 | ส่วนประกอบพื้นฐานและอุปกรณ์วัดระดับของเหลว (Basic component and level devices) | 5-1 |
| 5.2 | อุปกรณ์สำหรับระบบระบายความดัน (Venting devices) | 5-4 |
| 5.3 | อุปกรณ์สำหรับป้องกันฟ้าผ่า และการต่อลงดิน (Lightning and Grounding system) | 5-5 |
| 5.4 | อุปกรณ์สำหรับระบบป้องกันและระงับไฟไหม้ (Fire protection device) | 5-6 |
| 5.5 | อุปกรณ์เฉพาะเพิ่มเติมอื่นๆ | 5-8 |

**สารบัญ (ต่อ)**


| บทที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| **6** | **การสร้างฐานรากคอนกรีต** | **6-1** |
| 6.1 | คุณสมบัติการรับกำลังของชั้นดิน | 6-1 |
| 6.2 | การกำหนดขนาดฐานราก | 6-2 |
| 6.3 | น้ำหนักกระทำบนฐานรากและแรงปฏิกิริยา | 6-3 |
| 6.4 | การเลือกชนิดของฐานราก | 6-3 |
| 6.5 | น้ำหนักและแรงกระทำต่อฐานราก | 6-4 |
| 6.6 | ขั้นตอนการออกแบบฐานรากถัง | 6-5 |
| 6.7 | การคำนวณฐานราก | 6-7 |
| 6.8 | การสร้างฐานรากคอนกรีต | 6-7 |
| **7** | **มาตรการความปลอดภัยและแผนฉุกเฉิน** | **7-1** |
| 7.1 | มาตรการความปลอดภัยสำหรับถังเก็บสารกัดกร่อน | 7-1 |
| 7.2 | แผนฉุกเฉิน | 7-4 |
| **8** | **การตรวจสอบและการบำรุงรักษา** | **8-1** |
| 8.1 | การตรวจทดสอบก่อนใช้งาน | 8-1 |
| 8.2 | การตรวจสอบระหว่างการใช้งาน | 8-2 |
| **9** | **แบบตรวจสอบถังเก็บสารกัดกร่อน (Checklist)** | **9-1** |

**ภาคผนวก**

| | |
|---|---|
| ก.1 | ตารางเปลี่ยนหน่วย |
| ข.1 | ความสมดุลระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของถัง |
| ข.2 | ข้อมูลเบื้องต้นที่ต้องการใช้ในการคำนวณ |
| ข.3 | การคำนวณหาความหนาของเปลือกถัง (Shell) ชั้นที่ n |
| ข.4 | ค่าความเค้นของวัสดุแต่ละชนิด |
| ข.5 | การคำนวณค่าความเค้นสูงสุด |
| ข.6 | ตัวอย่างวัสดุปูผิวถังเก็บของเหลวต่างๆ |
| ค | ตัวอย่างการคำนวณสำหรับถังเก็บสารกัดกร่อน |
| ง | วิธีการอัดน้ำเพื่อทดสอบความดัน (Hydrostatic test), วิธีการวัดค่าความดิ่ง (Plumbness), วิธีการวัดค่าโก่งตัวหรือยุบตัวของผนังถัง |

**เอกสารอ้างอิง**

# สารบัญรูป


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1.1 | ช่วงของการระเบิด | 1-4 |
| 1.2 | ป้ายแสดงความเป็นอันตรายของสารเคมีตามมาตรฐาน NFPA | 1-7 |
| 1.3 | ตัวอย่างการติดป้ายแสดงความเป็นอันตรายบนถังเก็บสารเคมีตามมาตรฐาน NFPA | 1-7 |
| 1.4 | ชนิดของถังเก็บสารเคมี | 1-10 |
| 1.5 | ส่วนประกอบของถังเก็บชนิดหลังคาไม่เคลื่อนที่ | 1-11 |
| 1.6 | ส่วนประกอบของถังเก็บชนิดหลังคาเคลื่อนที่ภายนอก (External floating roof tank) | 1-13 |
| 1.7 | ส่วนประกอบของถังเก็บชนิดหลังคาเคลื่อนที่ภายใน (Internal floating roof tank) | 1-14 |
| 2.1 | ขั้นตอนการขออนุญาตก่อสร้างถังเก็บสารเคมีตาม พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 | 2-2 |
| 3.1 | ค่าอุณหภูมิใช้งานที่เหมาะสมสำหรับเหล็กแต่ละกลุ่ม | 3-4 |
| 3.2 | ข้อมูลเบื้องต้นของถังเก็บ | 3-7 |
| 3.3 | ส่วนประกอบบริเวณพื้นถัง | 3-10 |
| 3.4 | การเชื่อมบริเวณหลังคากับผนังถัง และบริเวณพื้นถังกับผนังถัง | 3-12 |
| 3.5 | การเจาะรูเพื่อติดตั้ง Nozzles และช่องคนลง | 3-12 |
| 3.6 | แนวทางการออกแบบถังสำหรับเก็บสารกัดกร่อน | 3-17 |
| 4.1 | ตัวอย่างรูปแสดงระยะห่างตามกฎหมายควบคุมอาคาร | 4-2 |
| 4.2 | ตัวอย่างรูปแสดงระยะห่างที่ปลอดภัยสำหรับถังเก็บสารเคมี | 4-3 |
| 4.3 | พื้นที่ที่รถดับเพลิงไม่สามารถเข้าถึงได้ หรือ “Shadow zone” | 4-7 |
| 6.1 | สลักสมอยึดถัง | 6-6 |
| 6.2 | แป้นหูช้าง | 6-7 |
| 7.1 | การระบายของเหลวที่รั่วไหลไปยังพื้นที่กักเก็บที่อยู่ระยะไกล | 7-3 |
| 7.2 | การบริหารจัดการแผนฉุกเฉิน | 7-5 |
| 8.1 | ตัวอย่างเครื่องมือวัดความหนาด้วยคลื่นเสียงชนิดอุลตร้าโซนิก | 8-3 |

**สารบัญตาราง**


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1.1 | เกณฑ์สำหรับสารเดี่ยวและสารผสมกัดกร่อนโลหะตามระบบ GHS | 1-1 |
| 1.2 | ตัวอย่างสารกัดกร่อน | 1-5 |
| 1.3 | องค์ประกอบการสื่อสารความเป็นอันตรายสำหรับสารเดี่ยวและสารผสมกัดกร่อนโลหะ | 1-6 |
| 1.4 | องค์ประกอบการสื่อสารความเป็นอันตรายสำหรับสารเดี่ยวและสารผสมกัดกร่อนผิวหนัง | 1-6 |
| 1.5 | รายละเอียดและสรุปสัญลักษณ์ต่างๆ ของระบบ NFPA | 1-8 |
| 1.6 | เปรียบเทียบข้อดี-ข้อจำกัดของถังเก็บสารเคมีชนิดหลังคาไม่เคลื่อนที่กับชนิดหลังคาเคลื่อนที่ | 1-15 |
| 3.1 | แสดงชนิดและความดันในการออกแบบสำหรับถังเก็บ | 3-1 |
| 3.2 | ชนิดของเหล็กกล้าสำหรับ Plate ของถังเก็บ | 3-3 |
| 3.3 | ความหนาต่ำสุดสำหรับผนังถังเก็บที่ยอมรับได้ : $t_{min}$ (มิลลิเมตร) | 3-8 |
| 4.1 | ระยะห่างที่ปลอดภัยสำหรับถังเก็บของเหลวที่เป็นสารกัดกร่อนที่ความดันไม่เกิน 17.2 psi (หรือ 2.5 psig) ที่มีปริมาตร 1-500 ลูกบาศก์เมตร (D < 45 เมตร) | 4-3 |
| 4.2 | ระยะห่างที่ปลอดภัยสำหรับถังเก็บของเหลวที่เป็นสารกัดกร่อนที่ความดันมากกว่า 17.2 psi (หรือ 2.5 psig) ที่มีปริมาตร 1-500 ลูกบาศก์เมตร (D < 45 เมตร) | 4-5 |
| 5.1 | ส่วนประกอบพื้นฐานและอุปกรณ์วัดระดับของเหลว | 5-2 |
| 5.2 | อุปกรณ์สำหรับระบบระบายความดัน | 5-4 |
| 5.3 | อุปกรณ์สำหรับป้องกันฟ้าผ่า และการต่อลงดิน | 5-6 |
| 5.4 | อุปกรณ์สำหรับระบบป้องกันและระงับไฟไหม้ | 5-7 |
| 6.1 | กำลังแบกทานของดิน ตาม พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 | 6-2 |
| 6.2 | ข้อดี ข้อเสีย ของฐานรากแต่ละประเภท | 6-3 |
| 8.1 | การป้องกันการกัดกร่อน | 8-4 |
| 8.2 | ความถี่ในการตรวจสอบแต่ละประเภท | 8-5 |

# บทที่ 1 ความรู้ทั่วไป

## 1.1 คำจำกัดความ

ตามคำจำกัดความของระบบ GHS “สารเดี่ยวหรือสารผสมที่กัดกร่อนโลหะ (Corrosive to metals)” หมายถึง สารเดี่ยวหรือสารผสมที่ก่อให้เกิดความเสียหายหรือทำลายวัสดุที่เป็นโลหะ

## 1.2 เกณฑ์การจำแนกประเภท

แนวทางในการจำแนกประเภทสารกัดกร่อน (Corrosive substances) ตามข้อกำหนดของระบบการจำแนกประเภทและติดฉลากสารเคมีที่เป็นระบบเดียวกันทั่วโลก (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals) หรือระบบ GHS กำหนดให้สารกัดกร่อนเป็นอันตรายได้ทั้งอันตรายทางกายภาพ และอันตรายต่อสุขภาพ สำหรับคู่มือฉบับนี้ จะพิจารณาเฉพาะสารกัดกร่อนที่เป็นอันตรายทางกายภาพ ซึ่งเป็นสารที่สามารถกัดกร่อนโลหะได้ แสดงดังตารางที่ 1.1

**ตารางที่ 1.1** เกณฑ์สำหรับสารเดี่ยวและสารผสมกัดกร่อนโลหะตามระบบ GHS

| ประเภทย่อย | เกณฑ์ |
|---|---|
| 1 | อัตราการกัดกร่อนต่อผิวเหล็กกล้าหรืออะลูมิเนียมมากกว่า 6.25 มิลลิเมตรต่อปี ที่อุณหภูมิการทดสอบ 55 องศาเซลเซียส เมื่อมีการทดสอบบนผิววัสดุทั้งสองชนิด |

***นอกจากนี้ สารกัดกร่อนบางชนิดยังมีสมบัติเพิ่มเติมดังนี้***

- ไอระเหยของสาร อาจเป็นอันตรายต่อนัยน์ตาและโพรงจมูก
- สารบางชนิดอาจให้ก๊าซพิษเมื่อสลายตัว เมื่ออยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง
- สารบางชนิดอาจมีสมบัติติดไฟได้ด้วย
- สารทุกชนิดในประเภทนี้ทำอันตรายต่อวัสดุต่าง ๆ เช่น โลหะ ใยสังเคราะห์ เป็นต้น
- สารบางชนิดจะมีฤทธิ์กัดกร่อนต่อเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำหรือความชื้น
- สารบางชนิดเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วจะให้ก๊าซไวไฟ
- สารบางชนิดเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำหรือสารอินทรีย์จะให้ความร้อนสูงมาก

## 1.3 สมบัติทางกายภาพ

ในการจัดเก็บสารกัดกร่อน ผู้ประกอบกิจการโรงงานจำเป็นต้องทราบสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของสารกัดกร่อน ดังนี้

**1.3.1 การกัดกร่อน** เป็นสมบัติเฉพาะของสาร ซึ่งมีความรุนแรงและอัตราการกัดกร่อนไม่เท่ากัน โดยการกัดกร่อนโลหะ (อันตรายทางกายภาพ) จะต้องทำการทดลองที่ได้ผลของอัตราการกัดกร่อนเหล็กหรืออลูมิเนียมที่มากกว่า 6.25 มิลลิเมตรต่อปี ที่อุณหภูมิการทดสอบที่ 55 องศาเซลเซียส[1]

**1.3.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง** เป็นค่าที่แสดงความเป็นกรด-ด่างของสารที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยค่าจะอยู่ในช่วง 1-14 ถ้าค่า pH น้อยกว่า 7 สารชนิดนั้นก็จะมีฤทธิ์เป็นกรด และถ้าค่า pH มากกว่า 7 สารชนิดนั้นก็จะมีฤทธิ์เป็นด่าง แต่ถ้าค่า pH นั้นมีค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าสารชนิดนั้นเป็นกลาง

**1.3.3 ความดันไอ (Vapor pressure)** หมายถึง ความดันที่เกิดจากโมเลกุลของสารระเหยเป็นไอแล้วชนกับผนังของภาชนะทำให้เกิดความดันขึ้นในระบบปิด[2]

**1.3.4 จุดเดือด (Boiling point)** หมายถึง อุณหภูมิขณะที่ความดันสูงสุดของไอของของเหลวเท่ากับความกดของบรรยากาศ ณ อุณหภูมินี้ ของเหลวจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอได้ทั่วทั้งหมด[3]

**1.3.5 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)** หมายถึง อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุกับน้ำหนักของสารมาตรฐานที่มีปริมาตรเท่ากับวัตถุนั้น โดยทั่วไปใช้น้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นสารมาตรฐาน[3] (โดยความถ่วงจำเพาะจะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนการคำนวณความหนาของผนังถังเก็บและน้ำหนักของถังเก็บในบทที่ 3)

**1.3.6 ความเสถียร (Stability)** เป็นความสามารถในการคงตัวของสารเคมี ทั้งทางด้านกายภาพ และเคมี ซึ่งจะใช้บอกว่าสารเคมีนั้นอยู่ในกลุ่มที่เป็น Stable หรือ Unstable และจะต้องนำมาพิจารณาในการกำหนดระยะห่างที่ปลอดภัยสำหรับถังเก็บในบทที่ 4 สำหรับ NFPA ได้ให้คำจำกัดความของของเหลวในกลุ่มที่เป็น Stable หรือ Unstable ดังนี้

- Unstable liquid : เป็นของเหลวที่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชั่น สลายตัว ควบแน่นภายใต้สภาวะการทำงานปกติ
- Stable liquid : เป็นของเหลวที่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชั่น สลายตัว ควบแน่นภายใต้สภาวะการทำงานปกติ

[1] ที่มา http://www.chemtrack.org/

[2] พจนานุกรมเคมี (Dictionary of Chemistry), ISBN 978-616-7136-73-8 โดย รศ.ดร.สมพงศ์ จันทร์โพธิ์ศรี

[3] พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2554 และสามารถสืบค้นจาก http://www.royin.go.th/dictionary/

***กรณีสารกัดกร่อนนั้นมีสมบัติไวไฟ จะต้องพิจารณาสมบัติต่อไปนี้เพิ่มเติม***

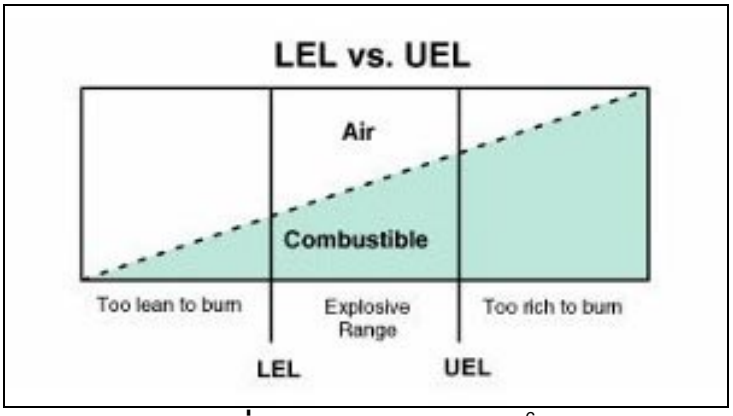
**1.3.7 ความไวไฟ (Flammability)** ในการพิจารณาความไวไฟของสาร จะต้องใช้คุณสมบัติหลายอย่างของสารมาประกอบ ดังต่อไปนี้

- **จุดวาบไฟ (Flash point)** หมายถึง อุณหภูมิของของเหลวแต่ละชนิด ซึ่งเมื่อของเหลวนั้นได้รับความร้อนถึงอุณหภูมินี้แล้ว จะทำให้สารเกิดการระเหยกลายเป็นไอ เกิดแสงวาบ (Flash light) ขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นครั้งแรก และสามารถสร้างส่วนผสมที่ติดไฟได้ ซึ่งส่วนผสมนั้นสามารถจุดติดไฟได้เป็นระยะเวลานาน และสามารถขยายเปลวไฟไปได้ไกลจากจุดเริ่มต้นเป็นค่าที่ชี้ให้เห็นถึงความไวไฟ หรือความยากง่ายในการติดไฟ หรือการระเบิดของสาร ถ้าสารใดมีจุดวาบไฟนี้ต่ำแสดงว่า สารนั้นจะไวไฟมากหรือจะเกิดการติดไฟ หรือเกิดการระเบิดได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า หรือง่ายกว่าสารที่มีจุดวาบไฟสูง[4]

  วิธีทดสอบจุดวาบไฟสามารถทดสอบได้ 2 วิธี คือ Open cup และ Closed cup ซึ่งจะทำได้จากการทดลอง โดยเอาสารที่ต้องการหาจุดวาบไฟใส่ในถ้วยโลหะ แล้วค่อยๆ เพิ่มความร้อนให้สูงขึ้น พร้อมกับจุดไฟในช่วงที่อุณหภูมิสูงขึ้นแต่ละช่วง จนได้แสงวาบขึ้นครั้งแรก โดย Open cup จะทดลองในถ้วยเปิด ขณะที่ Closed cup จะทดลองในถ้วยปิด สำหรับจุดวาบไฟที่หาจากวิธี Closed cup จะเป็นอุณหภูมิที่ใช้อ้างอิงการเกิดจุดวาบไฟในถังปิด และบริเวณที่อับอากาศ ขณะที่จุดวาบไฟที่หาจากวิธี Open cup จะเป็นอุณหภูมิที่ใช้อ้างอิงกับถังเปิดหรือสถานการณ์สารเคมีหกรั่วไหล
- **อุณหภูมิติดไฟ (Ignition temperature)** หมายถึง อุณหภูมิที่ทำให้สารร้อนจนจุดติดไฟได้เมื่อมีแหล่งความร้อนจากภายนอก
- **อุณหภูมิลุกติดไฟได้เอง (Auto-Ignition temperature)** หมายถึง อุณหภูมิที่สารประเภทติดไฟได้ จะเกิดการลุกเป็นเปลวไฟขึ้นมาได้เอง โดยไม่มีแหล่งประกายไฟจากภายนอก[4]
- **ช่วงของการระเบิด (Explosion range)** จะถูกกำหนดให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนร้อยละของไอของของเหลวไวไฟ (Flammable vapor) หรือ ก๊าซไวไฟ (Flammable gas) ที่อยู่ในอากาศที่สามารถเกิดการลุกติดไฟได้ ช่วงของการระเบิดจะเป็นค่าระหว่างปริมาณเปอร์เซ็นต์ของก๊าซหรือไอระเหยมากที่สุดที่ผสมกับอากาศ จนเกิดเป็นส่วนผสมที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดการระเบิดได้ หรือ Upper Explosive Limit (UEL) และปริมาณเปอร์เซ็นต์ของก๊าซหรือไอระเหยขั้นต่ำที่ผสมกับอากาศ จนเกิดเป็นส่วนผสมที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดการระเบิดได้หรือ Lower Explosive Limit (LEL)[5] ช่วงของการระเบิดแสดงดังรูปที่ 1.1

[4] คลังศัพท์ไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

[5] คู่มือการตรวจสอบ ติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่อันตรายที่มีไอระเหยของสารไวไฟ สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม




**รูปที่ 1.1** ช่วงของการระเบิด[6]

ตัวอย่าง อะคริลิก แอซิด มีปริมาณเปอร์เซ็นต์ของไอระเหยขั้นต่ำที่ผสมกับอากาศจนทำให้เกิดระเบิด (LEL) ประมาณ 2.4 และมีปริมาณเปอร์เซ็นต์ของไอระเหยมากที่สุดที่ผสมกับอากาศจนทำให้เกิดการระเบิด (UEL) ประมาณ 17 หมายความว่า ถ้าไอของอะคริลิก แอซิด ผสมอยู่ในอากาศระหว่าง 2.4 เปอร์เซ็นต์ และ 17 เปอร์เซ็นต์ และในขณะเดียวกันกับที่มีการนำแหล่งความร้อนที่ทำให้เกิดการลุกติดไฟเข้ามาในบริเวณดังกล่าว ไออะคริลิก แอซิดจะสามารถเกิดการลุกติดไฟและระเบิดขึ้นได้ หากปริมาณของไออะคริลิก แอซิดในอากาศมีค่าประมาณ 1.8 เปอร์เซ็นต์ (<LEL) จะไม่สามารถลุกติดไฟได้ เพราะส่วนผสมเจือจางเกินไป และในกรณีปริมาณของไออะคริลิก แอซิด มีค่าประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์ (>UEL) ส่วนผสมดังกล่าวก็จะหนาแน่นเกินกว่าที่จะเกิดการระเบิด

โดยสมบัติที่กล่าวถึงข้างต้น ผู้ประกอบกิจการโรงงานสามารถหาได้จาก เอกสารข้อมูลความปลอดภัย (Safety Data Sheet ; SDS) สำหรับตัวอย่างสารกัดกร่อนแสดงดังตารางที่ 1.2

[6] http://www.exveritas.com/introduction-to-expolsive-atmospheres/

**ตารางที่ 1.2** ตัวอย่างสารกัดกร่อน

| รายชื่อสารเคมี | การกัดกร่อน | ความถ่วงจำเพาะ | จุดเดือด (°C) | จุดวาบไฟ (°C) | อุณหภูมิลุกติดไฟได้เอง (°C) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Acrylic acid** | เกิดการกัดกร่อนเล็กน้อยบนผิวเหล็กกล้า อลูมิเนียม สังกะสี ทองแดง แต่ไม่เกิดการกัดกร่อนบนผิวแก้ว | 1.05 | 141 | 50 | 438 |
| **Hydrofluoric acid (48% w/w)** | เกิดการกัดกร่อนรุนแรงบนผิวแก้ว อลูมิเนียม เหล็กกล้าไร้สนิม (เกรด 304, 306) และกัดกร่อนเล็กน้อยบนผิวทองแดง | 1.15 – 1.18 | 108 | - | - |
| **Acetic acid** | เกิดการกัดกร่อนสูงบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิม (เกรด 304) และกัดกร่อนเล็กน้อยบนผิวอลูมิเนียมและทองแดง แต่ไม่เกิดการกัดกร่อนบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิม (เกรด 306) | 1.05 | 118 | 39 | 463 |
| **Sulfuric acid (50% w/w)** | เกิดการกัดกร่อนรุนแรงบนผิวอลูมิเนียม แต่ไม่เกิดการกัดกร่อนบนผิวแก้ว เหล็กกล้าไร้สนิม (เกรด 304, 316) | 1.3 | 195 | - | - |
| **Sodium hydroxide (50% w/w)** | เกิดการกัดกร่อนรุนแรงบนผิวอลูมิเนียม ทองเหลือง และกัดกร่อนบนผิวทองแดงและเหล็กกล้าไร้สนิม (เกรด 304, 316) แต่ไม่เกิดการกัดกร่อนบนผิวแก้ว | 1.53 | 140 | - | - |
| **Nitric acid (70% w/w)** | เกิดการกัดกร่อนรุนแรงบนผิว อลูมิเนียม ทองแดง และทองเหลือง แต่ไม่เกิดการกัดกร่อนบนผิวแก้ว และเหล็กกล้าไร้สนิม (เกรด 304, 316) | 1.41 | 121 | - | - |
| **Potassium hydroxide (45% w/w)** | เกิดการกัดกร่อนรุนแรงบนผิวอลูมิเนียม และกัดกร่อนเล็กน้อยบนผิวแก้ว | 1.3 | > 100 | - | - |
| **Phosphoric acid (75% w/w)** | เกิดการกัดกร่อนรุนแรงบนผิวทองแดง เหล็กกล้าไร้สนิม (เกรด 304, 316) และเกิดการกัดกร่อนสูงบนผิวอลูมิเนียม แต่ไม่เกิดการกัดกร่อนบนผิวแก้ว | 1.68 | 158 | - | - |

หมายเหตุ ข้อมูลจากเอกสารความปลอดภัย (SDS) บริษัท Science Lab.com, Inc. (www.sciencelab.com)

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องระบุในเอกสารความปลอดภัย (Not Applicable)

## 1.4 การสื่อสารความเป็นอันตราย

เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดเรื่องการสื่อสารความเป็นอันตรายที่ถังเก็บสารกัดกร่อน ในคู่มือฉบับนี้แนะนำให้การสื่อสารความเป็นอันตรายที่ถังเก็บสารกัดกร่อน ควรเป็นไปตามข้อกำหนดในระบบ GHS และ/หรือ NFPA ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับกฎระเบียบที่เกี่ยวข้องที่กำหนดโดยหน่วยงานที่กำกับดูแลสารกัดกร่อนในแต่ละประเภท โดยสัญลักษณ์สารกัดกร่อนตามระบบ GHS และความหมายของสัญลักษณ์ในแต่ละประเภทย่อยแสดงดังตารางที่ 1.3 ถึงตารางที่ 1.4

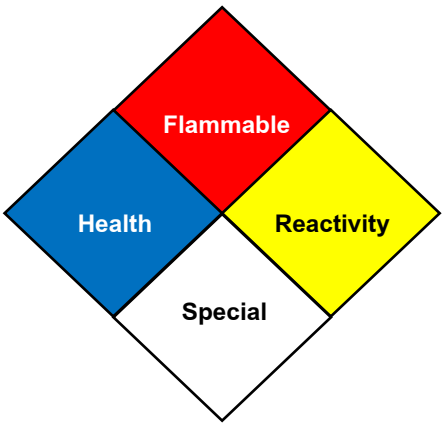
**ตารางที่ 1.3** องค์ประกอบการสื่อสารความเป็นอันตรายสำหรับสารเดี่ยวและสารผสมกัดกร่อนโลหะ

| ประเภทย่อย | รูปสัญลักษณ์ (Pictogram) | คำสัญญาณ (Signal word) | ข้อความแสดงความเป็นอันตราย (Hazard statement) |
|---|---|---|---|
| 1 |  | ระวัง | อาจกัดกร่อนโลหะ |

**ตารางที่ 1.4** องค์ประกอบการสื่อสารความเป็นอันตรายสำหรับสารเดี่ยวและสารผสมกัดกร่อนผิวหนัง

| ประเภทย่อย | รูปสัญลักษณ์ (Pictogram) | คำสัญญาณ (Signal word) | ข้อความแสดงความเป็นอันตราย (Hazard statement) |
|---|---|---|---|
| 1A<br>1B<br>1C |  | อันตราย | ทำให้ผิวหนังไหม้อย่างรุนแรงและทำลายดวงตา |

การสื่อสารความเป็นอันตรายตามมาตรฐาน NFPA ใช้สัญลักษณ์สี่เหลี่ยมรูปข้าวหลามตัด (Diamond shape) แบ่งเป็น 4 ส่วน สำหรับความเป็นอันตรายจากความไวไฟ (สีแดง) ใช้ร่วมกับความเป็นอันตรายด้านอื่น ได้แก่ อันตรายต่อสุขภาพ (สีน้ำเงิน) การเกิดปฏิกิริยาที่เป็นอันตราย (สีเหลือง) และความเป็นอันตรายเฉพาะอื่นๆ เช่น ห้ามใช้น้ำในการดับเพลิง การกัดกร่อน กรด เป็นต้น (สีขาว) แสดงดังรูปที่ 1.2 ทั้งนี้ระดับความเป็นอันตรายที่ตัวเลขสูงจะมีความเป็นอันตรายสูง ซึ่งกลับกันกับความเป็นอันตรายของระบบ GHS สำหรับตัวอย่างการใช้สัญลักษณ์การสื่อสารตามมาตรฐาน NFPA บนถังเก็บสารกัดกร่อนแสดงดังรูปที่ 1.3 และสรุปรายละเอียดและความหมายของสีและสัญลักษณ์ตามมาตรฐาน NFPA ดังตารางที่ 1.5




**รูปที่ 1.2** ป้ายแสดงความเป็นอันตรายของสารเคมีตามมาตรฐาน NFPA

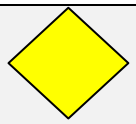


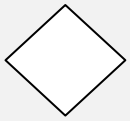

**รูปที่ 1.3** ตัวอย่างการติดป้ายแสดงความเป็นอันตรายบนถังเก็บสารเคมีตามมาตรฐาน NFPA

**ตารางที่ 1.5** รายละเอียดและสรุปสัญลักษณ์ต่างๆ ของระบบ NFPA

|  | **สีแดง : อันตรายจากความไวไฟ สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ระดับ คือ** |
|---|---|
| **ระดับ** | **ความหมาย** |
| 0 | ไม่ติดไฟ |
| 1 | ต้องทำให้ร้อนขึ้นก่อนจึงจะสามารถลุกไหม้หรือติดไฟได้<br>จุดวาบไฟสูงกว่า 93.4 องศาเซลเซียส |
| 2 | ต้องทำให้อุ่นขึ้นหรือสูงกว่าอุณหภูมิโดยรอบจึงจะสามารถลุกไหม้ได้<br>จุดวาบไฟตั้งแต่ 37.8 แต่ไม่ถึง 93.4 องศาเซลเซียส |
| 3 | สามารถติดไฟได้ภายใต้อุณหภูมิโดยรอบในเกือบทุกสภาวะ<br>จุดวาบไฟตั้งแต่ 22.8 แต่ไม่ถึง 37.8 องศาเซลเซียส |
| 4 | มีไอและติดไฟได้ง่ายที่อุณหภูมิปกติ จุดวาบไฟต่ำกว่า 22.8 องศาเซลเซียส |

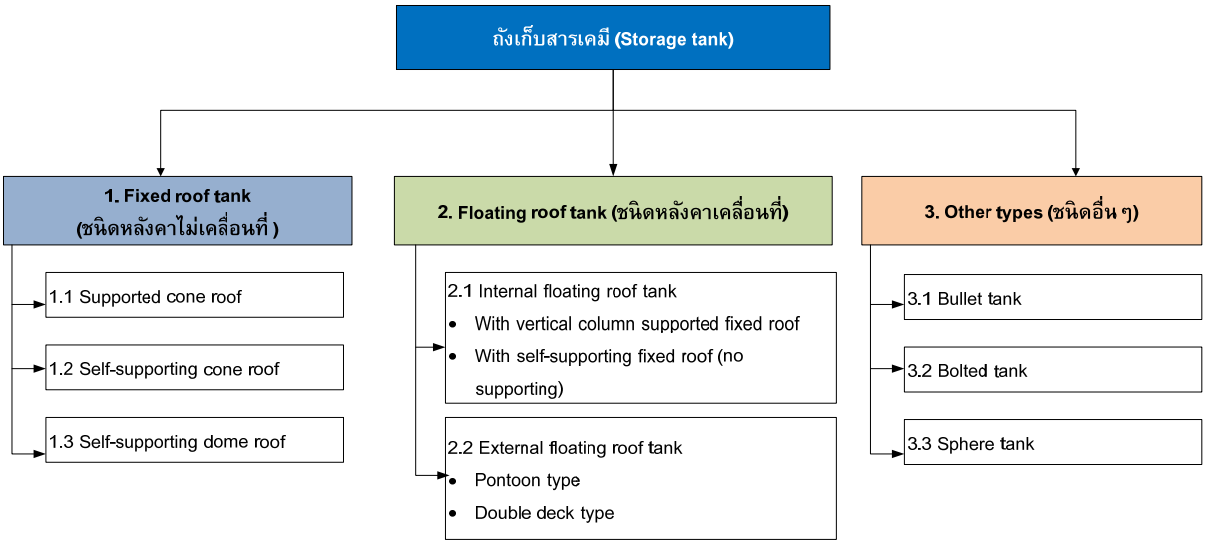
|  | **สีน้ำเงิน : อันตรายต่อสุขภาพ สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ระดับ คือ** |
|---|---|
| **ระดับ** | **ความหมาย** |
| 0 | ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ |
| 1 | สามารถทำให้เกิดการระคายเคือง |
| 2 | สามารถทำให้สูญเสียความสามารถชั่วขณะหรือบาดเจ็บเล็กน้อย |
| 3 | สามารถทำให้บาดเจ็บอย่างรุนแรงหรือถาวร |
| 4 | สามารถทำให้เสียชีวิตได้ |

|  | **สีเหลือง : การทำปฏิกิริยาที่เป็นอันตราย สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ระดับ คือ** |
|---|---|
| **ระดับ** | **ความหมาย** |
| 0 | เสถียร |
| 1 | ปกติเสถียร, ไม่เสถียรเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น |
| 2 | เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างรุนแรงที่อุณหภูมิหรือความดันสูง |
| 3 | อาจระเบิดได้ที่อุณหภูมิสูงหรือเมื่อเกิดการกระแทกอย่างรุนแรง |
| 4 | อาจระเบิดได้ที่อุณหภูมิและความดันปกติ |

|  | **สีขาว : อันตรายเฉพาะ** |
|---|---|
| **สัญลักษณ์** | **ความหมาย** |
|  | ทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงหรือระเบิดอย่างรุนแรงกับน้ำ |
| **COR** | สารกัดกร่อน |
| **OX** | สารออกซิไดซ์ |
|  | สารกัมมันตรังสี |
| **ACID** | กรด |
| **ALK** | ด่าง |
|  | ทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงหรือระเบิดเมื่อสัมผัสน้ำและสารออกซิไดซ์ |

## 1.5 ชนิดของถังเก็บสารเคมีโดยทั่วไป

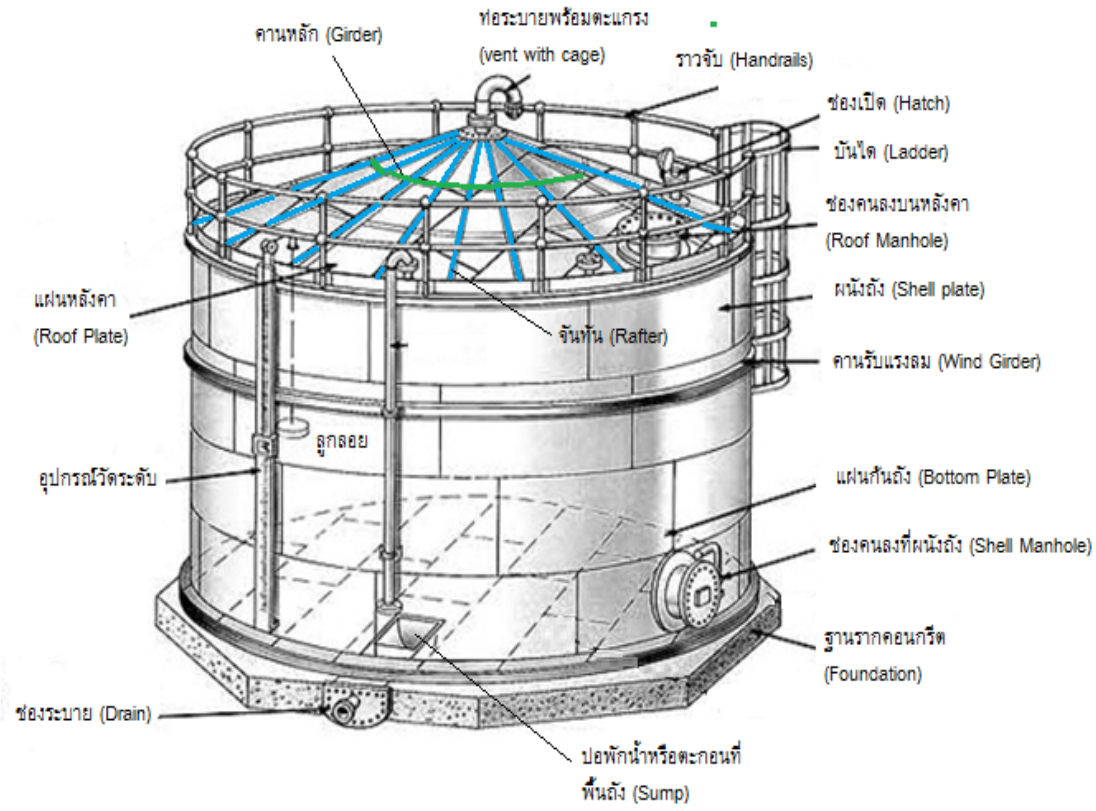
ในปัจจุบันถังเก็บสารเคมีที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังรูปที่ 1.4 สำหรับถังเก็บสารกัดกร่อน จะต้องใช้เป็นถังชนิดหลังคาไม่เคลื่อนที่ (Fixed roof tank) เนื่องจากบริเวณส่วนของหลังคาของถังประเภทนี้ยึดติดถาวรและป้องกันไอระเหยจากผลิตภัณฑ์รั่วไหลออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้




**รูปที่ 1.4** ชนิดของถังเก็บสารเคมี

### 1.5.1 ถังเก็บสารเคมีชนิดหลังคาไม่เคลื่อนที่ (Fixed roof tank)

ถังชนิดที่มีหลังคาไม่เคลื่อนที่ จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ (1) ส่วนผนังของถังซึ่งส่วนใหญ่ผลิตจากผนังเหล็กและเป็นทรงกระบอก และ (2) ส่วนของหลังคาที่ยึดติดถาวร ในส่วนนี้อาจจะมีรูปทรงที่หลากหลายแตกต่างกันตั้งแต่แบบกรวย (Cone) หรือแบบโดม (Dome) ซึ่งลักษณะหลังคาแต่ละชนิดก็จะเหมาะสมสำหรับการใช้งานที่ความดันแตกต่างกัน ตัวอย่างส่วนประกอบพื้นฐานของถังแบบหลังคาไม่เคลื่อนที่ แสดงดังรูปที่ 1.5



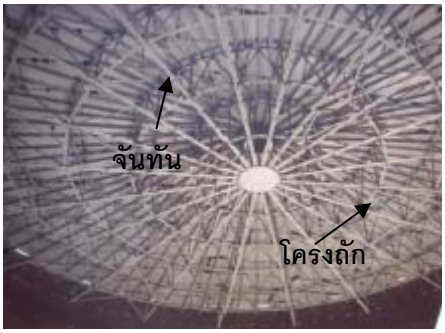

**รูปที่ 1.5** ส่วนประกอบของถังเก็บชนิดหลังคาไม่เคลื่อนที่

ตามมาตรฐาน **API 650 : Welded Tanks for Oil Storage** ได้อธิบายรายละเอียดของลักษณะหลังคาของแต่ละประเภทไว้ดังนี้

- **Supported cone roof tank** หมายถึงถังที่หลังคามีโครงสร้างแบบกรวยและมีการออกแบบหลังคาลักษณะแบบใดแบบหนึ่ง ดังนี้
  - แบบ 1 : มีคานค้ำหลังคาหรือจันทัน (Rafter) ที่วางบนคานหลัก (Girder) และมีเสาค้ำ (Column) เพื่อรับน้ำหนักของหลังคา หรือ
  - แบบ 2 : มีคานค้ำหลังคา (Rafter) บนโครงถัก (Trusses) เพื่อรับน้ำหนักของหลังคา โดยที่อาจมีเสาค้ำหรือไม่มีเสาค้ำก็ได้

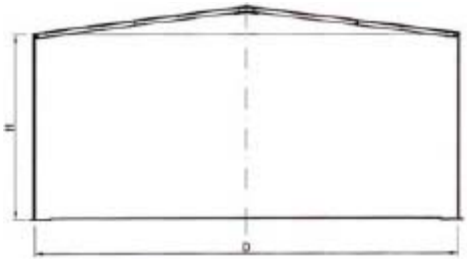



**Supported cone roof แบบ 1**




**Supported cone roof แบบ 2**

- **Self-supporting cone roof tank** หมายถึงถังที่หลังคามีโครงสร้างแบบกรวยและมีการออกแบบหลังคาโดยที่ตัวหลังคาทำหน้าที่รับน้ำหนักและภาระต่างๆ ที่มากระทำ (Load) โดยไม่มีโครงสร้างอื่นมาช่วยรับน้ำหนักของหลังคาเพิ่ม นอกจากจุดรับน้ำหนักที่ขอบของถังเท่านั้น

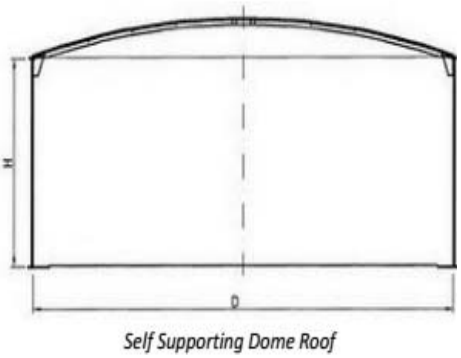





**Self-supporting cone roof tank**

- **Self-supporting dome roof tank** หมายถึงถังที่หลังคามีโครงสร้างแบบโดม และมีการออกแบบโดยที่ตัวหลังคาทำหน้าที่รับน้ำหนักและภาระต่างๆ ที่มากระทำ โดยไม่มีโครงสร้างอื่นมาช่วยรับน้ำหนักของหลังคาเพิ่ม นอกจากจุดรับน้ำหนักที่ขอบของถังเท่านั้น





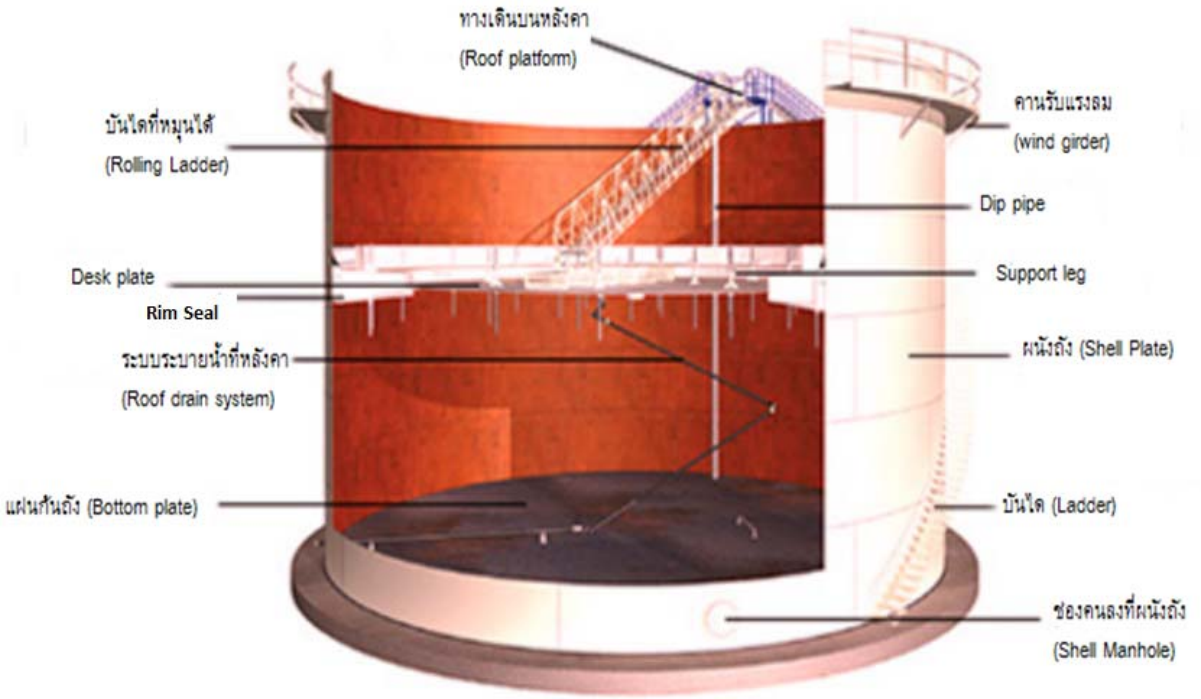

**Self-supporting dome roof tank**

### 1.5.2 ถังเก็บสารเคมีชนิดหลังคาเคลื่อนที่ (Floating roof tank)

ถังชนิดนี้ หลังคาของถังจะไม่ได้ยึดติดอยู่กับที่แต่สามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้ตามระดับของเหลวที่เปลี่ยนไป ซึ่งถังแบบนี้มีข้อดีที่สามารถช่วยลดความเสี่ยงอันตราย จากการสะสมของความดันไอของสารเคมีในช่องว่างที่อยู่เหนือของเหลวที่จัดเก็บภายในถังได้ จึงเหมาะใช้สำหรับของเหลวที่สามารถระเหยได้ง่าย แต่ถังประเภทนี้ไม่ควรนำมาใช้จัดเก็บสารกัดกร่อน เนื่องจากสารจะกัดกร่อนส่วนที่เป็น Rim seal (ดูรูปที่ 1.7 ประกอบ) และเกิดการรั่วไหลของไอระเหยของสารสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้ง่าย

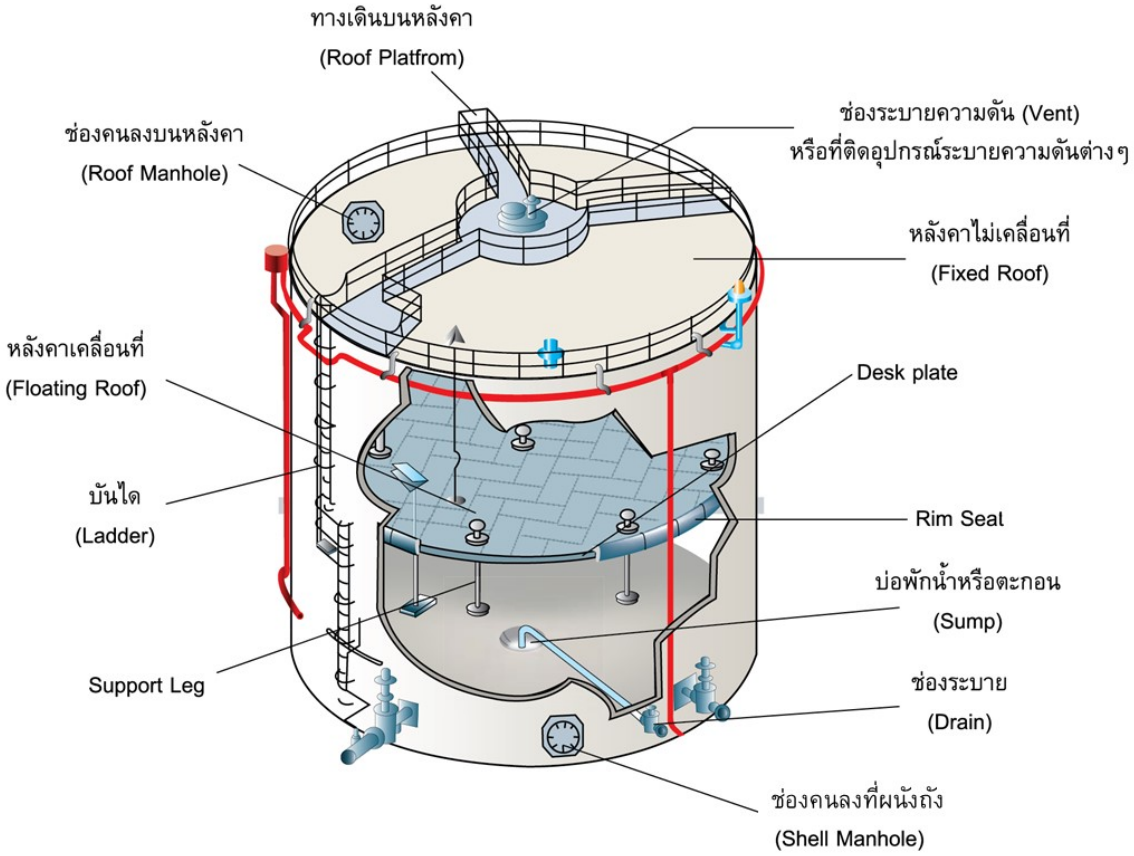
สำหรับถังชนิดนี้ สามารถนำมาใช้จัดเก็บของเหลวที่มีค่าความดันในการออกแบบน้อยกว่า 17.2 psi ที่สภาวะการทำงานนั้นๆ กรณีถ้าค่าความดันในการออกแบบมากกว่า 17.2 psi จะต้องเปลี่ยนเป็นถังเก็บสารเคมีที่มีแรงดัน (Pressure tank) หรือมีการติดตั้งระบบ Vapor recovery เพิ่มเติม นอกจากนั้นถังประเภทนี้ยังสามารถนำมาใช้ในการจัดเก็บของเหลวที่มีจุดวาบไฟต่ำกว่าอุณหภูมิแวดล้อมหรือสภาวะที่จัดเก็บสารเคมี รวมทั้งของเหลวที่มีโอกาสเกิดประจุจากไฟฟ้าสถิตได้ง่าย ซึ่งถังแบบนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

- **External floating roof tank** ถังชนิดนี้ ถูกออกแบบมาสำหรับการจัดเก็บของเหลวหรือสารเคมีที่ความดันบรรยากาศทั่วไป มีลักษณะหลังคาแบบเปิดภายนอกด้านบน ที่สามารถเลื่อนขึ้นหรือลงตามระดับของของเหลวภายในถังได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะแนะนำให้ใช้สำหรับถังที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า หรือเท่ากับ 15 เมตร อย่างไรก็ตามถังแบบนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กรณีที่ถังมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยๆ ได้ แต่จะต้องคำนึงเสมอว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของถังจะต้องมีค่าเท่ากับความสูงเพื่อให้สามารถติดตั้งและใช้งานบันไดแบบ Rolling ladder ในการเข้าถึงส่วนบนของหลังคา ข้อดีของหลังคาถังชนิดนี้ คือ หลังคาสามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงตามระดับของของเหลวภายในถังเก็บสารเคมี บริเวณของ External floating deck จะมี Rim seal ติดตั้งอยู่เพื่อลดการสูญเสียจากการระเหย (Evaporation losses) ของของเหลวภายในถังเก็บสารเคมี (รูปที่ 1.6)




**รูปที่ 1.6** ส่วนประกอบของถังเก็บชนิดหลังคาเคลื่อนที่ภายนอก (External floating roof tank)

- **Internal floating roof tank** ถังชนิดนี้ ได้พัฒนาจากถังแบบหลังคาเคลื่อนที่ภายนอก ทั่วไปจะมีหลังคาชนิดไม่เคลื่อนที่ อยู่ภายนอกด้านบนของหลังคาชนิดเคลื่อนที่ เพื่อช่วยป้องกันการเกิดฟ้าผ่าบริเวณหลังคาของถังเก็บสารเคมี ช่องว่างระหว่างหลังคาชนิดไม่เคลื่อนที่ และหลังคาชนิดเคลื่อนที่ ออกแบบมาเพื่อใช้ในการหมุนเวียน และถ่ายเทอากาศสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก ด้วยการออกแบบแบบนี้จะช่วยให้การสะสมของไอระเหยของสารเคมีหรือของเหลวที่จัดเก็บในถังเก็บสารเคมีลดลง และลดโอกาสการเกิดการลุกติดไฟของไอระเหยดังกล่าว สำหรับส่วนประกอบพื้นฐานของถังชนิดหลังคาเคลื่อนที่ภายในแสดงในรูปที่ 1.7 สำหรับลักษณะหลังคาไม่เคลื่อนที่ที่อยู่ภายนอกด้านบน สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมประกอบในถังชนิดหลังคาไม่เคลื่อนที่




**รูปที่ 1.7** ส่วนประกอบของถังเก็บชนิดหลังคาเคลื่อนที่ภายใน (Internal floating roof tank)

โดยถังเก็บสารเคมีชนิดหลังคาไม่เคลื่อนที่กับชนิดหลังคาเคลื่อนที่มีข้อดี และข้อจำกัดสรุปดังตารางที่ 1.6

**ตารางที่ 1.6** เปรียบเทียบข้อดี-ข้อจำกัดของถังเก็บสารเคมีชนิดหลังคาไม่เคลื่อนที่กับชนิดหลังคาเคลื่อนที่

| ชนิดของถังเก็บสารเคมี | ข้อดี | ข้อจำกัด |
|---|---|---|
| Fixed roof tank ประเภท<br>- Supported cone roof tank<br>- Self-supporting cone roof tank | - ออกแบบและติดตั้งง่าย<br>- เหมาะสำหรับกรณีที่พื้นที่ถังมีจำกัด | - เหมาะใช้สำหรับของเหลวที่มีค่าจุดวาบไฟมากกว่า 60 °C แต่สามารถนำมาใช้กับของเหลวที่จุดวาบไฟน้อยกว่า 60 °C กรณีที่ถังมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 15 เมตร[1/]<br>- ต้องก่อสร้างฐานรากที่แข็งแรงมากกว่าเนื่องจากหลังคาแบบกรวยมีน้ำหนักมากกว่าหลังคาแบบโดม ราคาการก่อสร้างฐานรากสูงกว่า<br>- อาจพิจารณาใช้ระบบควบคุม (Control system) ที่เหมาะสมรวมถึงควรจะมีระบบการปกคลุมด้วยก๊าซไนโตรเจนหรือก๊าซเฉื่อย (Nitrogen/Inert gas blanketing)[2/] |
| Fixed roof tank ประเภท<br>Self-supporting dome roof tank | - หลังคาทรงครึ่งวงกลม มีน้ำหนักน้อยกว่าหลังคาแบบกรวย ฐานรากรับน้ำหนักน้อยกว่า ราคาการก่อสร้างฐานรากต่ำกว่า | - เหมาะใช้สำหรับของเหลวที่มีค่าจุดวาบไฟมากกว่า 60 °C แต่สามารถนำมาใช้กับของเหลวที่จุดวาบไฟน้อยกว่า 60 °C กรณีที่ถังมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 15 เมตร<br>- ออกแบบและติดตั้งยาก<br>- ไม่เหมาะสำหรับกรณีที่พื้นที่ถังมีจำกัด<br>- อาจพิจารณาใช้ระบบควบคุม (Control system) ที่เหมาะสมรวมถึงควรจะมีระบบการปกคลุมด้วยก๊าซไนโตรเจนหรือก๊าซเฉื่อย |
| External floating roof tank | - ไม่มีช่องว่างที่เป็นพื้นที่ของไอระเหย ลดโอกาสการสะสมของไอระเหย และโอกาสที่อาจเกิดบรรยากาศที่สามารถติดไฟได้<br>- ลดการสูญเสียของเหลวเนื่องจากการระเหย<br>- ช่วยลดการเกิดการปนเปื้อนในอากาศ (Air pollution) | - เหมาะใช้สำหรับของเหลวที่มีค่าจุดวาบไฟน้อยกว่า 60 °C<br>- เหมาะสำหรับถังที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เมตรขึ้นไป |

**ตารางที่ 1.6** เปรียบเทียบข้อดี-ข้อจำกัดของถังเก็บสารเคมีชนิดหลังคาไม่เคลื่อนที่กับชนิดหลังคาเคลื่อนที่ (ต่อ)

| ชนิดของถังเก็บสารเคมี | ข้อดี | ข้อจำกัด |
|---|---|---|
| Internal floating roof tank | - ไม่มีช่องว่างที่เป็นพื้นที่ของไอระเหย ลดโอกาสการสะสมของไอระเหย และโอกาสที่อาจเกิดบรรยากาศที่สามารถติดไฟได้<br>- ช่วยลดการเกิดการปนเปื้อนในอากาศ (Air pollution)<br>- ช่วยเพิ่มการป้องกันการเกิดเพลิงไหม้ได้<br>- มีอัตราการปล่อยระบายไอออกสู่ภายนอก (Vapor emission) น้อยกว่าถังเก็บของเหลวชนิดหลังคาเคลื่อนที่ภายนอก เนื่องจาก ไม่ได้รับผลกระทบจากการพัดของกระแสลม (Wind effect) | - เหมาะใช้สำหรับของเหลวที่มีค่าจุดวาบไฟน้อยกว่า 60 °C<br>- เหมาะสำหรับถังที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เมตรขึ้นไป<br>- ราคาในการก่อสร้างสูง |

หมายเหตุ จุดวาบไฟ ใช้การทดสอบด้วยวิธีถ้วยปิด (Closed-cup flash point)

1/ กรณีเลือกใช้ถังเก็บแบบ Fixed roof tank สำหรับจัดเก็บของเหลวที่มีจุดวาบไฟน้อยกว่า 60 °C จะต้องพิจารณาถึงการติดตั้งระบบความปลอดภัยเพิ่มเติม เช่น ระบบการปกคลุมด้วยก๊าซไนโตรเจนหรือก๊าซเฉื่อย (Nitrogen/Inert gas blanketing)

2/ การพิจารณาใช้ระบบการปกคลุมด้วยก๊าซไนโตรเจนหรือก๊าซเฉื่อย ให้พิจารณาจากชนิดของสาร ความอันตราย จุดวาบไฟ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความดันไอของสารเหนือผิวของเหลว และอุณหภูมิแวดล้อมที่จัดเก็บสารเคมีนั้นๆ

# บทที่ 2 กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากในปัจจุบันกฎหมาย ข้อบังคับ หรือหลักเกณฑ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับถังเก็บสารเคมีในประเทศไทยยังไม่ครอบคลุมในทุกด้าน ดังนั้นในบทนี้จึงได้ดำเนินการรวบรวมกฎหมายจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งสรุปแนวทางในการปฏิบัติ เพื่อให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานได้เกิดความเข้าใจ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการดำเนินกิจการที่เกี่ยวข้องกับถังเก็บสารเคมีได้อย่างเหมาะสมตั้งแต่ขั้นตอนการขออนุญาต การใช้ และมาตรการความปลอดภัยเพื่อก่อให้เกิดความปลอดภัยทั้งชีวิต ทรัพย์สิน ตลอดจนสิ่งแวดล้อมที่อยู่บริเวณโดยรอบของสถานประกอบการ สำหรับรายการกฎหมายที่เกี่ยวข้องแบ่งตามการดำเนินงานแสดงดังนี้

## 2.1 การขออนุญาตก่อสร้างถังเก็บสารเคมี

ตาม ***กฎกระทรวงมหาดไทย เรื่อง กำหนดสิ่งที่สร้างขึ้นอย่างอื่นเป็นอาคารตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544*** ภายใต้พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ได้กำหนดให้ถังเก็บของที่มีความจุตั้งแต่ 100 ลูกบาศก์เมตรขึ้นไป เป็น “อาคาร” ที่ถูกควบคุมและจะต้องขออนุญาตก่อสร้างกับหน่วยงานที่รับผิดชอบในพื้นที่ที่โรงงานตั้งอยู่ ดังนั้นผู้ประกอบกิจการโรงงานที่จะสร้างถังเก็บจะต้องยื่นขออนุญาตก่อสร้างถังเก็บ นอกจากนี้ ***กฎกระทรวงฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543)*** ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ยังกำหนดให้อาคารหรือสิ่งที่สร้างขึ้นสูงเกิน 15 เมตร หรืออาคารที่ใช้เก็บวัสดุไวไฟ วัสดุระเบิด หรือวัสดุกระจายแพร่พิษ จึงถือว่าถังนั้นเป็น “อาคารพิเศษ” ที่ต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

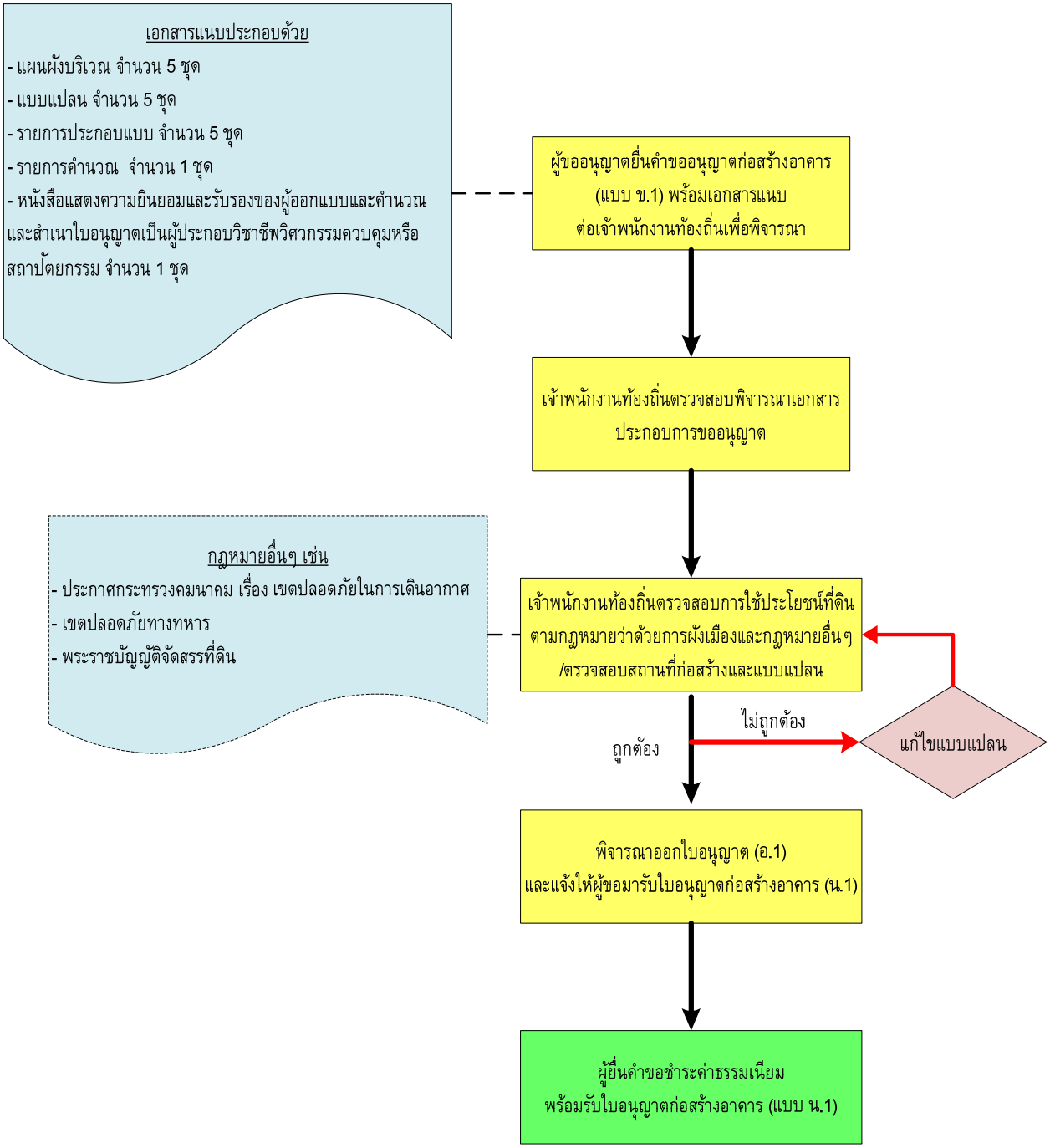
สำหรับถังเก็บสารเคมีที่มีปริมาณน้อยกว่า 100 ลูกบาศก์เมตร ไม่นับว่าเป็นอาคารจึงไม่จำเป็นต้องขออนุญาตก่อสร้างถังเก็บ แต่ถ้ามีการก่อสร้างฐานรากเพื่อวางถังเก็บผู้ประกอบกิจการโรงงานจำเป็นต้องแจ้งยื่นขออนุญาตการก่อสร้างฐานรากกับหน่วยงานที่รับผิดชอบในแต่ละพื้นที่ด้วย

- **รายการเอกสารที่ใช้ขออนุญาต**

| | |
|---|---|
| - แบบคำขออนุญาตก่อสร้างอาคาร (แบบ ข.1) | |
| - แผนผังบริเวณ | จำนวน 5 ชุด |
| - แบบแปลน | จำนวน 5 ชุด |
| - รายการประกอบแบบ | จำนวน 5 ชุด |
| - รายการคำนวณ | จำนวน 1 ชุด |
| - หนังสือแสดงความยินยอมและรับรองของผู้ออกแบบและคำนวณและสำเนาใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมหรือสถาปัตยกรรม | จำนวน 1 ชุด |

- **ขั้นตอนการขออนุญาต**

ในขั้นตอนการก่อสร้างถังเก็บสารเคมีนั้น ผู้ประกอบกิจการโรงงานจะต้องยื่นแบบคำขออนุญาตก่อสร้างอาคาร (แบบ ข.1) พร้อมเอกสารต่างๆ ต่อองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น สำหรับในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครจะต้องยื่นที่กรมโยธาธิการและผังเมืองเพื่อพิจารณาคำขออนุญาตฯ ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนการขออนุญาตก่อสร้างอาคารดังรูปที่ 2.1




**รูปที่ 2.1** ขั้นตอนการขออนุญาตก่อสร้างถังเก็บสารเคมีตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

## 2.2 การดำเนินงานเกี่ยวกับถังเก็บสารเคมี

ตาม ***กฎกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ข้อ 7*** กำหนดข้อปฏิบัติเกี่ยวกับถังเก็บสารเคมีที่บรรจุวัตถุอันตราย เช่น วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด หรือของเหลวที่อาจทำให้เกิดอันตรายแก่บุคคล สัตว์ พืช ทรัพย์หรือสิ่งแวดล้อมที่มีขนาดตั้งแต่ 25,000 ลิตรขึ้นไป ดังนี้

- ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องมั่นใจว่าถังที่ก่อสร้างขึ้นมีความมั่นคง และแข็งแรง เป็นไปตามมาตรฐานที่ยอมรับ
- ถังเก็บจะต้องมีใบรับรองของผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม
- ถังเก็บจะต้องมีเขื่อนหรือกำแพงคอนกรีตโดยรอบที่สามารถกักเก็บปริมาณของเหลวได้ทั้งหมด แต่กรณีที่ในพื้นที่กักเก็บมีถังมากกว่าหนึ่งถัง ให้สร้างเขื่อนที่สามารถเก็บกักปริมาณของเหลวได้เท่ากับปริมาตรของถังเก็บขนาดใหญ่ที่สุด
- ต้องจัดให้มีวัตถุหรือเคมีภัณฑ์ที่มีสมบัติเหมาะสมในการระงับหรือลดความรุนแรงของการแพร่กระจายได้อย่างเหมาะสมและเพียงพอ
- ถังควรตั้งอยู่ในที่โล่งแจ้ง และควรติดตั้งสายล่อฟ้าให้เป็นไปตามหลักวิชาการ
- ถังควรติดตั้งสายดิน เพื่อป้องกันการเกิดประจุไฟฟ้าสถิต

นอกจากนี้ยังมีกฎหมายที่เกี่ยวข้องการดำเนินงานด้านความปลอดภัย และการป้องกันและระงับอัคคีภัยที่กำหนดโดยกระทรวงแรงงาน ภายใต้พระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 คือ ***กฎกระทรวงแรงงาน เรื่อง กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555 ข้อ 25*** กำหนดข้อปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของถังเก็บเพิ่มเติมคือ

- ให้มีระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าสำหรับถังเก็บสารเคมี โดยการติดตั้งระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าให้ปฏิบัติตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
- จัดเตรียมเครื่องดับเพลิงแบบเคลื่อนย้าย ระบบดับเพลิงแบบอัตโนมัติ ในบริเวณพื้นที่ถังเก็บที่มีเจ้าหน้าที่เข้าไปทำงาน
- จัดให้มีการตรวจสอบอุปกรณ์ดับเพลิงเพื่อให้มีสภาพพร้อมใช้งานเป็นประจำทุก 6 เดือน

# ตัวอย่างแบบคำขออนุญาตก่อสร้าง ข.1

**คำขออนุญาตก่อสร้างอาคาร ดัดแปลงอาคาร หรือรื้อถอนอาคาร**

แบบ ข.1
เลขรับที่……..
วันที่……
ลงชื่อ……ผู้รับคำขอ

เขียนที่.....

วันที่..... เดือน.....พ.ศ……

ข้าพเจ้า……เจ้าของอาคารหรือตัวแทนเจ้าของอาคาร

◯ เป็นบุคคลธรรมดา อยู่บ้านเลขที่…….ตรอก/ซอย……
ถนน……หมู่ที่……..ตำบล/แขวง……อำเภอ/เขต……..จังหวัด……

◯ เป็นนิติบุคคลประเภท……..จดทะเบียนเมื่อ……..……
เลขทะเบียน……..……สำนักงานตั้งอยู่เลขที่……ถนน……..…
หมู่ที่…….…..ตำบล/แขวง……..……อำเภอ/เขต……..……จังหวัด……..……
โดย……..ผู้มีอำนาจลงชื่อแทนนิติบุคคลของผู้ขออนุญาต
อยู่บ้านเลขที่……ตรอก/ซอย……..……..ถนน……..……..หมู่ที่……..……..
ตำบล/แขวง……..อำเภอ/เขต……..จังหวัด……..……..

ขอยื่นคำขอรับใบอนุญาต……..ต่อเจ้าพนักงานท้องถิ่น ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ทำการก่อสร้างอาคาร/ดัดแปลงอาคาร/รื้อถอนอาคาร ที่บ้านเลขที่……
ตรอก/ซอย……..ถนน……..หมู่ที่……ตำบล/แขวง……..……
อำเภอ/เขต……จังหวัด……โดย……..
เป็นเจ้าของอาคาร ในที่ดินโฉนดที่ดิน เลขที่/น.ส.3เลขที่/ส.ค.1 เลขที่……..……
เป็นที่ดินของ…….

ข้อ 2 เป็นอาคาร

(1) ชนิด……จำนวน……..เพื่อใช้เป็น…….
โดยมีที่จอดรถ ที่กลับรถ และทางเข้าออกของรถ จำนวน…….คัน

(2) ชนิด……จำนวน……..เพื่อใช้เป็น…….
โดยมีที่จอดรถ ที่กลับรถ และทางเข้าออกของรถ จำนวน…….คัน

(3) ชนิด……จำนวน……..เพื่อใช้เป็น…….
โดยมีที่จอดรถ ที่กลับรถ และทางเข้าออกของรถ จำนวน…….คัน

ตามแผนผังบริเวณ แบบแปลน รายการคำนวณประกอบแบบแปลน และรายการคำนวณที่แนบมาพร้อมนี้

ข้อ 3 มี……เป็นผู้ควบคุมงาน
…… ……เป็นผู้ออกแบบและคำนวณ

ข้อ 4 มี กำหนดแล้วเสร็จใน…….วัน นับตั้งแต่วันที่ได้รับใบอนุญาต

ข้อ 5 พร้อมคำขอนี้ข้าพเจ้าได้แนบเอกสารหลักฐานต่าง ๆ มาด้วยแล้ว คือ

(1) แผนผังบริเวณ แบบแปลน รายการประกอบแบบแปลน จำนวน…….ชุด ชุดละ……

(2) รายการคำนวณหนึ่งชุด จำนวน……แผ่น (กรณีเป็นอาคารสาธารณะ อาคารพิเศษหรืออาคารที่ก่อสร้างด้วยวัตถุถาวรและวัตถุทนไฟเป็นส่วนใหญ่)

(3) หนังสือแสดงความเป็นตัวแทนของอาคาร (กรณีตัวแทนเจ้าของอาคารเป็นผู้ขออนุญาต)

(4) สำเนาหนังสือรับรองการจดทะเบียน วัตถุประสงค์และผู้มีอำนาจลงชื่อแทนนิติบุคคลผู้ขออนุญาตออกให้ไม่เกินหกเดือน (กรณีที่นิติบุคคลเป็นผู้ขออนุญาต)

(5) หนังสือแสดงว่าเป็นผู้จัดการหรือผู้แทนซึ่งเป็นผู้ดำเนินกิจการของนิติบุคคล (กรณีที่นิติบุคคลเป็นผู้ขออนุญาต)

(6) หนังสือแสดงความยินยอมและรับรองของผู้ออกแบบและคำนวณ จำนวน…….ฉบับ พร้อมทั้งสำเนาใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมหรือสถาปัตยกรรมควบคุม จำนวน…..……. ฉบับ (กรณีที่เป็นอาคารมีลักษณะ ขนาด อยู่ในประเภทเป็นวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมหรือวิชาชีพสถาปัตยกรรมควบคุม แล้วแต่กรณี)

(7) สำเนาหรือภาพถ่ายโฉนดที่ดิน เลขที่/น.ส.3 เลขที่/ ส.ค. 1 เลขที่ ……. จำนวน……..ฉบับ หรือหนังสือยินยอมของเจ้าของที่ดิน จำนวน……..ฉบับ

(8) หนังสือแสดงความยินยอมของผู้ควบคุมงานตามข้อ 3 จำนวน…..……..ฉบับ

(9) สำเนาหรือภาพถ่ายใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมหรือวิชาชีพสถาปัตยกรรมควบคุมของผู้ควบคุมงาน จำนวน……ฉบับ (เฉพาะกรณีที่เป็นอาคารมีลักษณะขนาดอยู่ในประเภทเป็นวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม หรือวิชาชีพสถาปัตยกรรมควบคุม แล้วแต่กรณี)

(10)เอกสารอื่น ๆ (ถ้ามี)

……

……

(ลงลายมือชื่อ)……

(…….)

ผู้ขออนุญาต

**<u>หมายเหตุ</u>** (1) ข้อความใดที่ไม่ใช้ให้ขีดฆ่า

(2) ใส่เครื่องหมาย ในช่อง ◯ หน้าข้อความที่ต้องการ

---

**<u>หมายเหตุของเจ้าหน้าที่</u>**

จะต้องแจ้งให้ผู้ขออนุญาตทราบว่า จะอนุญาตหรือไม่อนุญาตหรือขยายเวลาภายในวันที่……เดือน……..พ.ศ. ……

ผู้ขออนุญาตได้ชำระค่าธรรมเนียมใบอนุญาต……เป็นเงิน……บาท และค่าธรรมเนียมการตรวจแบบแปลน……..……เป็นเงิน……บาท ……..สตางค์ ตามใบเสร็จรับเงินเล่มที่……เลขที่……ลงวันที่……เดือน……..พ.ศ. ……..

ออกใบอนุญาตแล้ว เล่มที่……..ฉบับ…….ลงวันที่……เดือน……พ.ศ……

(ลงมือชื่อ)……..

ตำแหน่ง……

# บทที่ 3 การเลือกและออกแบบถังเก็บสารกัดกร่อน

## 3.1 การเลือกและออกแบบถังเก็บสารกัดกร่อน

การเลือกมาตรฐานสำหรับใช้ออกแบบถังเก็บสารกัดกร่อนจะต้องพิจารณาจากค่าความดันในการออกแบบ (Design pressure) ซึ่งเป็นความดันไอเหนือระดับของเหลวและมีค่าไม่น้อยกว่า 110% ของค่าความดันไอที่แท้จริง (TVP)[1] ของสารที่จะจัดเก็บที่อุณหภูมิใช้งานสูงสุดโดยแบ่งความดันในการออกแบบออกเป็น 3 ช่วงดังตารางที่ 3.1

**ตารางที่ 3.1** แสดงชนิดและความดันในการออกแบบสำหรับถังเก็บ

| ชนิดของถังเก็บ | ความดันในการออกแบบ* | มาตรฐาน |
|---|---|---|
| ถังเก็บใช้งานที่ความดันบรรยากาศ (Atmospheric tank) | ความดันบรรยากาศ ถึง 2.5 psig* หรือ ความดันบรรยากาศ ถึง 17.2 psi** | API 650 : Welded Tanks for Oil Storage (อุณหภูมิใช้งานสูงสุด 93 °C) |
| ถังเก็บใช้งานที่ความดันต่ำ (Low pressure tank) | ความดันบรรยากาศ ถึง 15 psig หรือ ความดันบรรยากาศ ถึง 29.7 psi | API 620 : Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks (อุณหภูมิใช้งานสูงสุด 120 °C) |
| ถังเก็บใช้งานที่ความดันสูง (High pressure tank) | > 15 psig หรือ > 29.7 psi | ASME Boiler and Pressure Vessel Code |

หมายเหตุ

*psig เป็นหน่วยของความดันเกจ (Gauge pressure) ซึ่งเป็นค่าที่อ่านได้จากเกจวัดความดันของของไหล

**psi เป็นหน่วยของความดันสัมบูรณ์ (Absolute pressure) ซึ่งเป็นผลรวมของความดันเกจกับความดันบรรยากาศโดยคำนวณจาก ความดันสัมบูรณ์ = ความดันเกจ +14.7 psi

ขณะที่ถังที่จะใช้เก็บสารกัดกร่อนต้องใช้เป็นถังชนิดหลังคาไม่เคลื่อนที่ โดยลักษณะหลังคาของถังอาจเป็นแบบใดก็ได้ เช่น หลังคาแบบโดม (Dome roof) หลังคาแบบกรวย (Cone roof) เป็นต้น แต่ควรเป็นระบบปิด และไม่มีช่องเปิดที่ของเหลวหรือไอของสารกัดกร่อนสามารถรั่วไหลออกมาได้โดยรูปแบบหลังคาจำเป็นต้องคำนึงถึงลักษณะพื้นดินและฐานรากที่สามารถรับน้ำหนักของถังเก็บสารเคมี รวมถึงงบประมาณของแต่ละโรงงาน

อย่างไรก็ตาม**กรณีที่สารกัดกร่อนนั้นมีสมบัติไวไฟ**ด้วย ผู้ประกอบกิจการโรงงานจำเป็นต้องพิจารณาถึงจุดวาบไฟของสาร ซึ่งมีหลักเกณฑ์กำหนดอยู่ใน***คู่มือมาตรฐานการออกแบบ การสร้าง การติดตั้ง การใช้งาน การตรวจสอบ และการบำรุงรักษาถังเก็บสารเคมีอันตราย (Storage tank) ประเภทสารไวไฟ*** ซึ่งผู้ประกอบกิจการโรงงานสามารถไปศึกษาเพิ่มเติมได้

[1] ค่าความดันไอที่แท้จริง (True vapor pressure; TVP) คือ ค่าความดันที่ใช้บอกความสามารถในการกลายเป็นไอของของเหลวในภาชนะปิดที่สภาวะสมดุล (Equilibrium) โดยทำการวัดที่อุณหภูมิคงที่ใดๆ อุณหภูมิหนึ่งที่ต้องการ

## 3.2 การเลือกชนิดวัสดุสำหรับถังเก็บและส่วนประกอบของถัง

ในการเลือกวัสดุที่จะใช้สำหรับถังเก็บ ท่อ ข้อต่อ หน้าแปลน วัสดุที่ต้องใช้การตีขึ้นรูป (Forging)[2] ปั๊มต่างๆ จะต้องพิจารณาจากความทนทานของวัสดุกับสารกัดกร่อน ร่วมกับปัจจัยอื่นๆ เช่น

- เป็นวัสดุที่สามารถหาได้
- สภาวะในการทำงาน
- สมบัติทางกล เช่น ความสามารถในการรับแรงต่างๆ
- อายุการใช้งาน
- ราคา

สำหรับความทนทานของวัสดุกับสารกัดกร่อนจะพิจารณาจากตาราง Compatibility chart (ภาคผนวก ข.6) หรือ Handbook of Corrosion Data[3] โดยให้เลือกวัสดุที่สามารถทนต่อสารนั้นๆ มากที่สุด ซึ่งวัสดุที่นำมาพิจารณาใช้กับสารกัดกร่อนได้คือ เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) เหล็กกล้า (Carbon steel) และไฟเบอร์กลาส (Fiber reinforced plastic) รายละเอียดดังนี้

### 3.2.1 เหล็กกล้า (Carbon steel)

การนำถังเหล็กกล้ามาใช้จัดเก็บสารกัดกร่อน จำเป็นต้องเป็นถังเก็บที่มีการปูผิวภายในเท่านั้น ในคู่มือฉบับนี้ อ้างอิงการเลือกเกรดเหล็กกล้าจาก มาตรฐาน API 650 : Welded Steel Tanks for Oil Storage ซึ่งการเลือกเกรดของเหล็กกล้าสำหรับถังเก็บสารกัดกร่อนอาจพิจารณาเลือกเกรดเหล็กทั่วๆ ไป เช่น เหล็กมาตรฐาน ASTM A36M/ A36, A285M/ A285, A131M/ A131 และ A283M/ A283 ไม่จำเป็นต้องใช้เหล็กเกรดที่มีความสามารถในการรับแรงกระแทก (Impact) สูง แต่จะต้องเน้นที่วัสดุที่นำมาใช้ในการปูผิวภายในถังเก็บ สำหรับเกรดของแผ่นเหล็กสำหรับทำผนังถังเก็บสามารถเลือกเกรดและชนิดจากตารางที่ 3.2 ซึ่งเป็นเกรดเหล็กที่ใช้สำหรับอุณหภูมิใช้งานตั้งแต่ 10 °C ขึ้นไป ดังนั้น ผู้ประกอบกิจการโรงงานสามารถเลือกใช้เหล็กเกรดใดก็ได้ในตารางดังกล่าว โดยสามารถเลือกซื้อเหล็กมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) หรือมาตรฐาน JIS ที่เทียบเท่ามาตรฐาน ASTM ซึ่งแบ่งกลุ่มของเหล็กออกเป็น 6 กลุ่มตามกระบวนการผลิตเหล็ก อย่างไรก็ตามจะต้องคำนึงเสมอว่าเกรดและชนิดของเหล็กในตารางที่ 3.2 สามารถเลือกนำมาใช้ได้ก็ต่อเมื่อมีการปูผิวภายในถังเหล็กเท่านั้น และหลังจากเลือกเกรดเหล็ก และคำนวณความหนาของผนังถังเก็บในแต่ละชั้นแล้ว ควรมีการตรวจสอบว่าเกรดเหล็กที่เลือกเหมาะสมกับอุณหภูมิใช้งานหรือจำเป็นต้องทำ Impact test เพิ่มเติม

[2] การตีขึ้นรูป (Forging) หมายถึง กรรมวิธีผลิตชิ้นส่วนโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการหลอม โดยนำเหล็กมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสมก่อนนำไปกด อัด หรือตีให้เป็นรูปร่างตามที่ต้องการ แล้วนำมาประกอบที่หน้างาน การตีขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูง (Hot forging) จะใช้แรงในการตีน้อย ได้ขนาดเที่ยงตรง แต่ผิวงานไม่ค่อยดีนัก

[3] Handbook of Corrosion Data (2nd Edition) , edited by Bruce D. Craig, David S. Anderson

**ตารางที่ 3.2** ชนิดของเหล็กกล้าสำหรับ Plate ของถังเก็บ

| กลุ่ม[4] | Plate specification ตาม API 650 | | | Plate specification เทียบเท่า | |
|---|---|---|---|---|---|
| | มาตรฐาน ASTM[5] | Grade | ความหนาสูงสุดที่สามารถผลิตได้ (มม.) | มาตรฐาน มอก. | มาตรฐาน JIS |
| **I : As Rolled, Semi-killed** | A36M/ A36 | - | 40 | มอก. 1479-2541 | G3101 |
| | A285M/ A285 | C | 25 | มอก. 2060-2543 | G3103 SB410 |
| | A131M/ A131 | A | 13 | มอก. 1499-2541 | G3106 SM400A |
| | A283M/ A283 | C | 25 | มอก. 1479-2541 | G3101 SS400 |
| **II : As Rolled, Killed or Semi-killed** | A131M | B | 25 | มอก. 1499-2541 | G3106 SM400B |
| | A36M | - | 40 | มอก. 1479-2541 | G3101 |
| **III : As Rolled, Killed , Fine-Grain Practice** | A573M | 400 | 45 | - | - |
| | A516M | 380, 415 | - | มอก. 2060-2543 | G3118 SGV410 |
| **IV- As Rolled, Killed , Fine-Grain Practice** | A573M / A 573 | 400, 450, 485 | 45 | - | G3118 SGV450, G3118 SGV480 |
| | A516M | 450, 485 | - | - | G3118 SGV450, G3118 SGV480 |
| | A662M/ A662 | B | 40 | - | - |
| | | C | 40 | - | - |
| **V- Normalized, Killed , Fine-Grain Practice** | A573M | 485 | 45 | - | - |
| | A516M | 450, 485 | - | มอก. 2060-2543 | G3118 SGV450, G3118 SGV480 |
| **VI- Normalized, Quenched, and Tempered, Killed , Fine-Grain Practice , Reduce Carbon** | A537M/ A537 | Class 1 | 45 | มอก. 2060-254 | G3115 SPV355N |
| | | Class 2 | 45 | | G3115 SPV450Q |
| | A633M/ A633 | C | 45 | - | G3126 SLA325 |
| | | D | 45 | - | - |
| | A678M/ A678 | A | 40 | - | - |
| | | B | 45 | - | - |
| | A737M/ A737 | B | 40 | - | G3126 SLA360 |

คำอธิบายกระบวนการผลิตในตาราง

: As Rolled เป็นเหล็กที่ถลุงและรีดตามกระบวนการทั่วไป

: Killed เป็นเหล็กที่ถลุงแล้วไล่ก๊าซออกซิเจนออกจนหมดจากนั้นนำไปรีดแล้วนำไปอบคืนให้เหนียว

: Normalized เป็นกระบวนการนำเหล็กที่รีดแล้วไปอบและทำให้เย็นลงเพื่อให้มีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างและได้ขนาดของ grain เล็กลง

: Quenched and Tempered เป็นกระบวนการเพิ่มความแข็งที่ผิวโดยการลดอุณหภูมิ และเพิ่มความเหนียวโดยการเพิ่มอุณหภูมิ

: Semi-killed เป็นเหล็กที่ถลุงแล้วไล่ก๊าซออกซิเจนออกบางส่วน จากนั้นนำไปรีดแล้วนำไปอบคืนให้เหนียว

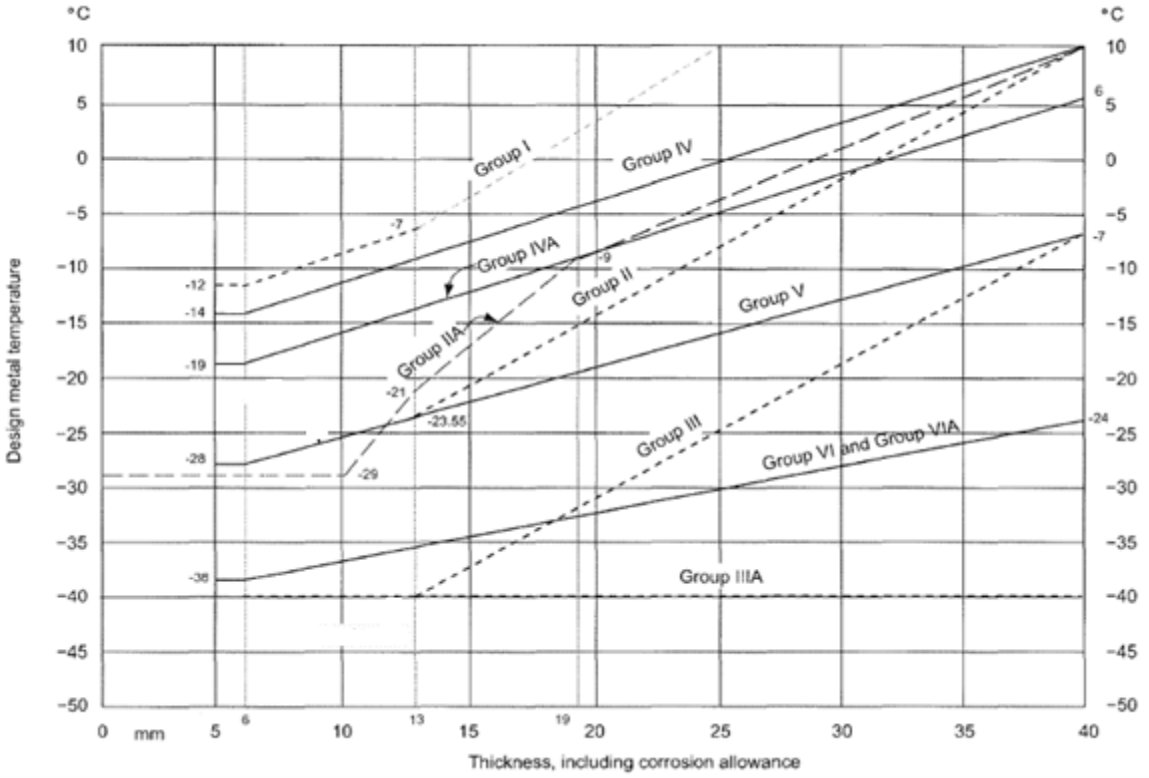
: Reduce carbon เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ

: Fine Grain Practice การปรับสภาพโครงสร้างให้มีความละเอียด

[4] สามารถดูชนิดและเกรดของเหล็กเพิ่มเติมจาก API 650 ตารางที่ 4-4a – (SI) Material group

[5] ที่มา : API 650 หัวข้อ 4.2 : Material for Plate - ASTM Specification

การพิจารณาอุณหภูมิใช้งาน คำนึงถึงอุณหภูมิของเหล็กกล้า (Metal temperature) ที่ใช้สร้างถัง ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของเหลวที่บรรจุกับอุณหภูมิภายนอกหรือเป็นอุณหภูมิที่คำนวณตามหลักการวิศวกรรม ซึ่งค่าอุณหภูมิใช้งานที่เหมาะสมสำหรับเหล็กแต่ละกลุ่มแสดงดังรูปที่ 3.1 โดยเหล็กในกลุ่ม I ถึง VI จะมีความสามารถในการรับแรงกระแทก (Impact) ที่อุณหภูมิต่ำที่แตกต่างกันโดยเส้นกราฟแต่ละเส้นจะแสดงอุณหภูมิใช้งานที่เหมาะสมสำหรับเหล็กกลุ่มต่างๆ จากกราฟจะเห็นว่าอุณหภูมิเหมาะสมที่สามารถนำเหล็กแต่ละกลุ่มไปใช้งานได้คือ อุณหภูมิที่อยู่เหนือเส้นกราฟ ขณะที่ถ้านำเหล็กไปใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่าเส้นกราฟที่ความหนาใดๆ เหล็กนั้นจะต้องผ่านการทำ Impact test และมีใบรับรองการใช้งานที่อุณหภูมินั้นๆ (ดูวิธีการใช้งานกราฟที่ภาคผนวก ค)




**รูปที่ 3.1** ค่าอุณหภูมิใช้งานที่เหมาะสมสำหรับเหล็กแต่ละกลุ่ม
(ที่มา : ปรับปรุงรูปจาก Figure 4.1a ใน API 650)

*ข้อมูลเพิ่มเติม*

*ในกรณีที่อุณหภูมิใช้งานต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส เมื่อเลือกเกรดเหล็ก และคำนวณความหนาของผนังถังเก็บในแต่ละชั้นแล้ว ผู้ประกอบกิจการโรงงานจะต้องกลับมาดูตารางที่ 3.2 ในช่องความหนาสูงสุดที่สามารถผลิตได้ เพื่อตรวจสอบว่าความหนาของแผ่นเหล็กที่คำนวณได้มีค่าอยู่ในเกณฑ์เกรดเหล็กที่เลือกมาใช้หรือไม่ ถ้าหากค่าความหนาที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าความหนาสูงสุดที่สามารถผลิตได้ผู้ประกอบกิจการโรงงานจะต้องเลือกเกรดของเหล็กใหม่โดยเลือกจากกลุ่มเหล็กที่มีสมบัติทางกลสูงขึ้น นอกจากนี้ควรกลับมาตรวจสอบว่าเกรดเหล็กที่เลือกเหมาะสมกับอุณหภูมิใช้งานหรือจะต้องทำ Impact test เพิ่มเติม ดังรูปที่ 3.1 (สามารถดูวิธีการใช้งานกราฟในภาคผนวก ค)*

### 3.2.2 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)

ในภาคอุตสาหกรรมบางประเภทที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูง อาจมีการพิจารณาเลือกใช้ถังเหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับจัดเก็บสารกัดกร่อน ซึ่งจะต้องพิจารณาอุณหภูมิใช้งาน และความเข้มข้นของสารที่จัดเก็บ เนื่องจากสารมีอัตราการกัดกร่อนกับวัสดุที่สภาวะต่างๆ ที่แตกต่างกัน โดยเกรดของเหล็กกล้าไร้สนิมที่แนะนำสำหรับสารกัดกร่อนมีดังนี้ เกรด 302, 304, 304L, 316 และ 440 ***แต่มีข้อพึงระวังว่า เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 และ 316 ไม่สามารถนำมาใช้จัดเก็บกรดไฮโดรคลอริกไม่ว่าในสภาพความเข้มข้นและอุณหภูมิใด ๆ โดยเด็ดขาด*** เนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิมทั้งสองเกรดไม่สามารถทนทานต่อการกัดกร่อนจากกรดไฮโดรคลอริกได้

เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานและข้อกำหนดสำหรับการออกแบบถังเหล็กกล้าไร้สนิมโดยตรง ดังนั้นผู้ประกอบกิจการโรงงานสามารถอ้างอิงวิธีการออกแบบและคำนวณจากมาตรฐาน API 650 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้สำหรับการออกแบบถังเหล็กกล้าได้

### 3.2.3 ไฟเบอร์กลาส หรือพลาสติกเสริมแรง (Fiber Reinforced Plastic ; FRP)

นอกจากเหล็กกล้า และเหล็กกล้าไร้สนิมแล้ว ไฟเบอร์กลาส หรือพลาสติกเสริมแรงยังเป็นวัสดุอีกประเภทหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการสร้างถังเก็บสารกัดกร่อนได้ โดยไฟเบอร์กลาสที่มีใช้งานอยู่ปัจจุบันเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมเซต และเสริมความแข็งแรงด้วยใยแก้ว ซึ่งผลิตจากเรซินหลายประเภท เช่น Polyester, Epoxy หรือ Vinyl ester resin ขณะที่ใยแก้วที่นำมาใช้ในการเสริมแรงสำหรับถังพลาสติกเสริมแรงตามข้อกำหนดใน API Specification 12P : Specification for Fiberglass Reinforced Plastic Tanks กำหนดให้ใช้ใยแก้วเกรด E (E-Type glass fiber)

## 3.3 การออกแบบและการคำนวณความหนาของถัง

### 3.3.1 ถังเหล็กกล้า

หลังจากทราบชนิดและเกรดของเหล็กที่จะใช้ในการสร้างถังเก็บสารกัดกร่อนแล้ว ผู้ประกอบกิจการโรงงานจะต้องรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลาง ระดับของของเหลว ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความเค้นของเหล็กแต่ละชนิด ขนาดแผ่นเหล็กที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เพื่อนำไปใช้ประกอบการคำนวณความหนาของผนัง พื้นถัง และหลังคาของถังเก็บ อย่างไรก็ตาม ในการออกแบบถังเก็บสารเคมีทุกประเภท จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้และประสบการณ์ด้านการออกแบบและสร้างถังเก็บเป็นผู้คำนวณและออกแบบถังเก็บดังกล่าว ซึ่งรายละเอียดที่จะอธิบายในหัวข้อต่อไปนี้ได้รวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่ผู้ประกอบกิจการโรงงานควรทราบในแต่ละขั้นตอนที่อย่างน้อยต้องคำนึงถึงและปฏิบัติตามที่มาตรฐานกำหนด เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ เกี่ยวข้องกับถังเก็บมากที่สุด สำหรับในหัวข้อนี้อ้างอิงวิธีการออกแบบและการคำนวณจากมาตรฐาน API 650 ซึ่งจะแบ่งรายละเอียดออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

**1) ผนังถังเก็บ**

ในการคำนวณความหนาผนังถังเก็บ จะเริ่มคำนวณจากผนังชั้นล่างสุด โดยความหนาของผนังชั้นล่างสุดจะมีความหนามากที่สุดเนื่องจากต้องรับแรงดันและน้ำหนักมากที่สุด แล้วจากนั้นจึงคำนวณที่ผนังชั้นที่อยู่ด้านบนถัดไปตามลำดับจนถึงชั้นบนสุด โดยผู้คำนวณจะต้องทราบข้อมูลเบื้องต้นดังต่อไปนี้

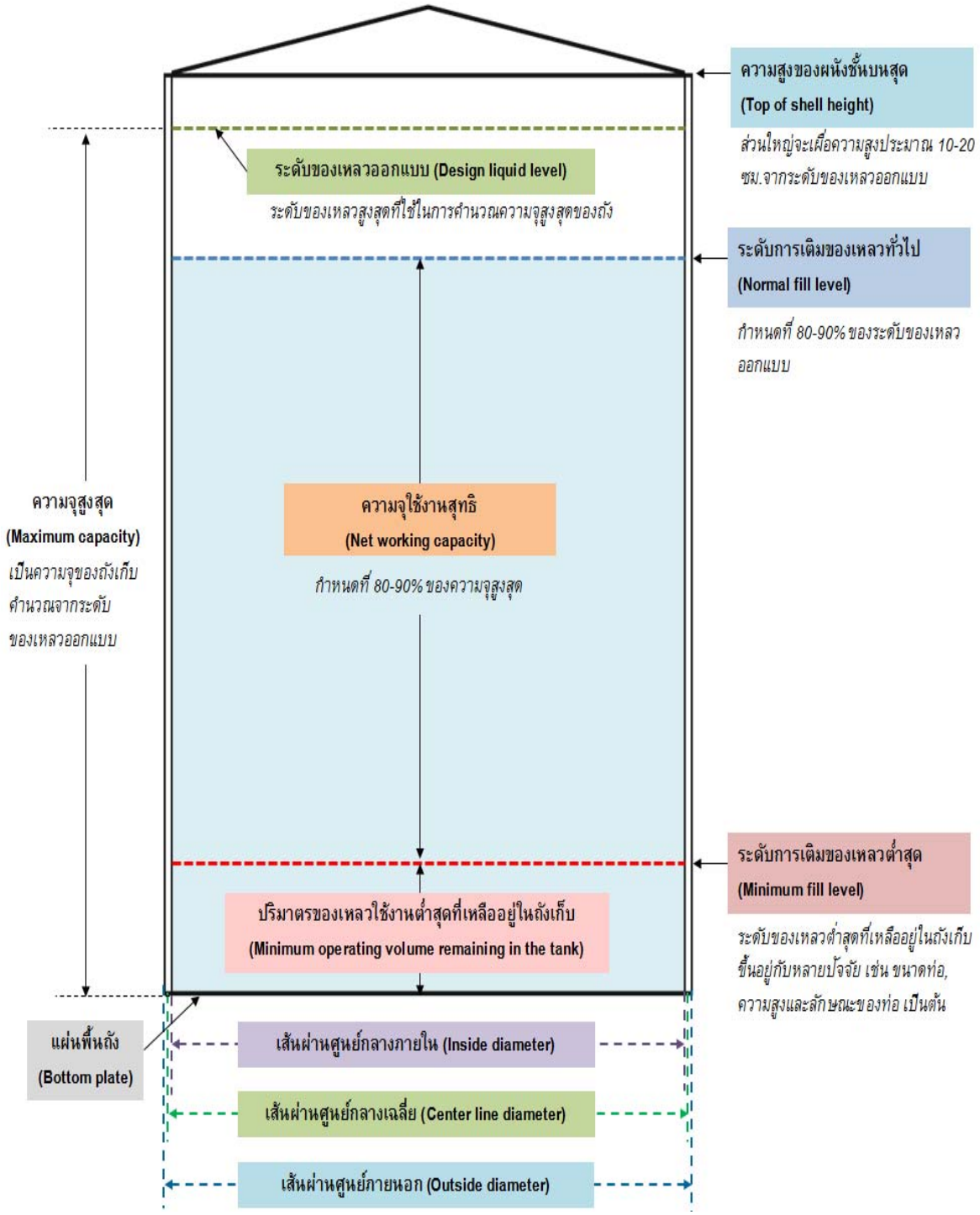
- **ข้อมูลของถัง**
  - เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (Center line diameter) ของถังที่ผนังถังชั้นล่างสุด : เป็นค่าเฉลี่ยระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกที่ผนังชั้นล่างสุด โดยประเมินจากความจุสูงสุดของถังและพื้นที่ที่ต้องการสร้างถัง
  - ระดับของเหลวออกแบบ (Design liquid level; H) : เป็นระดับของเหลวสูงสุดที่ใช้ในการออกแบบ และคำนวณความจุสูงสุดของถังเก็บ
  - ระดับการเติมของเหลวทั่วไป (Normal fill level) : เป็นระดับของเหลวที่ใช้งานทั่วไปส่วนใหญ่กำหนดไว้ที่ 80-90% ของระดับของเหลวออกแบบ
  - ความสูงของผนังชั้นบนสุด (Top of shell height) : เป็นความสูงของถังที่วัดจากแผ่นพื้นถังถึงผนังชั้นบนสุด ส่วนใหญ่ในการออกแบบจะคำนวณเผื่อความสูงไว้ประมาณ 10-20 เซนติเมตรจากระดับของเหลวออกแบบ
  - ความจุสูงสุด (Maximum capacity) : เป็นความจุของถังเก็บที่มากที่สุด คำนวณจากระดับของเหลวออกแบบ
  - ความจุใช้งานสุทธิ (Net working capacity) : เป็นความจุที่ใช้งานทั่วไปของถังเก็บส่วนใหญ่กำหนดไว้ที่ 80-90 % ของความจุสูงสุด
  - ปริมาตรของเหลวใช้งานต่ำสุดที่เหลืออยู่ในถังเก็บ (Minimum capacity) : เป็นปริมาตรของเหลวต่ำสุดที่จำเป็นต้องเหลืออยู่ในถังเพื่อสัมพันธ์กับระดับของเหลวออกแบบ

  รายละเอียดข้อมูลของถังเก็บแสดงดังรูปที่ 3.2

- **ข้อมูลเฉพาะของสารที่จัดเก็บ**
  - ค่าความถ่วงจำเพาะ : เป็นค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลวที่จัดเก็บที่อุณหภูมิใช้งาน โดยในการออกแบบจะต้องใช้ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1 สำหรับของเหลวที่มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 แต่ถ้าของเหลวนั้นมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1 จะต้องใช้ค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลวนั้นเอง
  - ค่าความหนาเผื่อสำหรับการกัดกร่อน (Corrosion Allowance หรือ CA) : เป็นผลคูณระหว่างค่าอัตราการกัดกร่อนกับอายุการใช้งาน ค่าอัตราการกัดกร่อนของของเหลวกับเหล็กเป็นค่าเฉพาะสำหรับสารใดสารหนึ่ง ซึ่งสามารถหาข้อมูลเบื้องต้นได้จากหนังสือที่รวบรวมข้อมูลการกัดกร่อนไว้ เช่น Handbook of Corrosion Data[6] เป็นต้น นอกจากนี้

[6] Handbook of Corrosion Data 2nd edition, edited by Bruce D. Craig, David S. Anderson, ASM International ®, 2002 (ISBN 0-87170-518-4)

ในสูตรการคำนวณค่า CA จะเห็นว่าปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความหนาของวัสดุที่เลือก คืออายุการใช้งาน ซึ่งผู้ประกอบกิจการโรงงานจะต้องพิจารณาจากองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ชนิด ราคาของวัสดุ ลักษณะการใช้งาน การดูแลรักษา และความคุ้มค่าในการลงทุน เป็นต้น




**รูปที่ 3.2** ข้อมูลเบื้องต้นของถังเก็บ

*สำหรับตัวอย่างการคำนวณการหาค่าความหนาผนังถังเก็บกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 95% ที่ 0.28 มม.ต่อปี และสมมติค่าอายุการใช้งานที่ 30 ปี แสดงในภาคผนวก ค*

- ค่าความเค้นสูงสุดขณะใช้งาน (Product design stress; $S_d$) และค่าความเค้นสูงสุดขณะอัดน้ำทดสอบ (Hydrostatic design stress; $S_t$ ) ซึ่งเป็นค่าเฉพาะสำหรับเหล็กแต่ละเกรดโดยตาม API 650 จะมีการกำหนดค่า $S_d$ และ $S_t$ ในภาคผนวก ข.5 สำหรับเหล็กตามมาตรฐาน ASTM แต่กรณีที่ใช้เหล็กตามมาตรฐานของแต่ละประเทศ เช่น มอก. (TIS) หรือ JIS ผู้คำนวณจะต้องคำนวณค่า $S_d$ และ $S_t$ เองจากสูตรด้านล่าง

  $S_d$ = $\frac{2}{3}$ x Yield strength หรือ $\frac{2}{5}$ x Tensile strength หน่วย เมกะพาสคาล (MPa)

  $S_t$ = $\frac{3}{4}$ x Yield strength หรือ $\frac{3}{7}$ x Tensile strength หน่วย เมกะพาสคาล (MPa)

  หลังจากคำนวณค่า $S_d$ และ $S_t$ จากแต่ละสูตรเสร็จแล้ว เราจะเลือกใช้ค่า $S_d$ และ $S_t$ ที่น้อยที่สุด
- ความกว้างแผ่นเหล็กที่มีจำหน่ายในท้องตลาดคือ 4 ฟุต (1.2192 เมตร) , 5 ฟุต (1.524 เมตร) และ 8 ฟุต (2.4384 เมตร) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการประมาณจำนวนชั้นของผนังถังเก็บ

สำหรับขั้นตอนการคำนวณสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวกที่ ค อย่างไรก็ตาม ในการคำนวณความหนาของผนังถังเก็บตามมาตรฐาน API 650 ได้กำหนดให้ผนังของถังเก็บที่ทำด้วยเหล็กต้องมีความหนาตามค่าที่ได้จากการคำนวณออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดบวกด้วยค่าการกัดกร่อน และต้องไม่น้อยกว่าความหนาต่ำสุดตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.3

**ตารางที่ 3.3** ความหนาต่ำสุดสำหรับผนังถังเก็บที่ยอมรับได้ : $t_{min}$ (มิลลิเมตร)

| เส้นผ่านศูนย์กลาง : D (เมตร) | ความหนาของผนัง (Shell) ต่ำที่สุดที่ยอมรับได้ : $t_{min}$ (มิลลิเมตร) |
|---|---|
| < 15 | 5 |
| 15 ถึง < 36 | 6 |
| 36 ถึง < 60 | 8 |
| ≥ 60 | 10 |

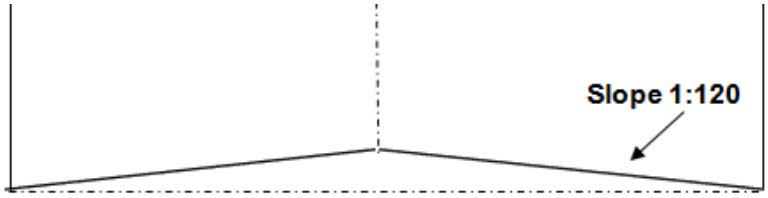
หมายเหตุ ถ้าถังมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 3.2-15 เมตร ความหนาของผนังชั้นล่างสุดต้องไม่น้อยกว่า 6 มม.

การเชื่อมแผ่นผนังถังต้องเชื่อมให้มีความมั่นคงแข็งแรงและปลอดภัย โดยในการเชื่อมต่อท่อต่างๆ เข้ากับผนังถัง หากท่อที่จะเชื่อมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 2 นิ้ว ผนังของถังจะต้องมีการเสริมความแข็งแรงที่หน้าตัดของแผ่นเหล็ก ซึ่งจะต้องมีความหนาไม่น้อยกว่าความหนาของผนังถัง และต้องมีพื้นที่ไม่น้อยกว่า 2 เท่าของพื้นที่หน้าตัดของท่อที่จะเชื่อม อ้างอิงมาตรฐานวิธีการเสริมความแข็งแรงและการเชื่อมจาก API 650 เรื่อง Reinforcement and Welding

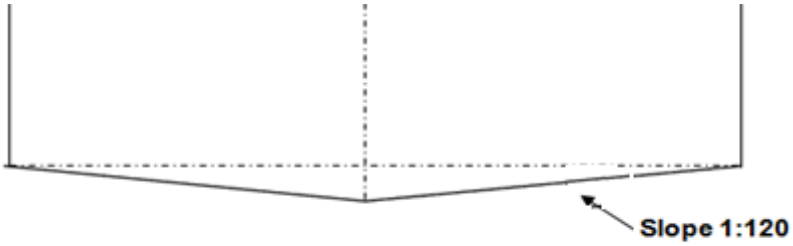
**2) พื้นถังเก็บ**

ลักษณะของพื้นถังมีหลายแบบเช่น แบบแบน (Flat) แบบกรวยคว่ำ (Cone-up) แบบกรวยหงาย (Cone-down) และแบบเอียงด้านเดียว (Single slope) โดยแต่ละแบบจะต้องมีการจัดการตะกอนที่กันถังที่แตกต่างกัน บริเวณพื้นถังเก็บจะประกอบด้วย 2 ส่วน (รูปที่ 3.3) คือ แผ่นพื้นถัง (Bottom plate) และแผ่นรองผนังถัง (Annular bottom plate) โดยมาตรฐาน API 650 ได้กำหนดลักษณะแผ่นพื้นถังเก็บ ไว้ดังนี้

- แผ่นเหล็กพื้นถังต้องมีความหนาอย่างน้อย 6 มิลลิเมตร (ยังไม่รวมความหนาเผื่อการกัดกร่อน)
- พื้นถังที่มีลักษณะแบบ Cone-up และแบบ Cone-down ควรมีความชัน (Slope) อย่างน้อย 1:120

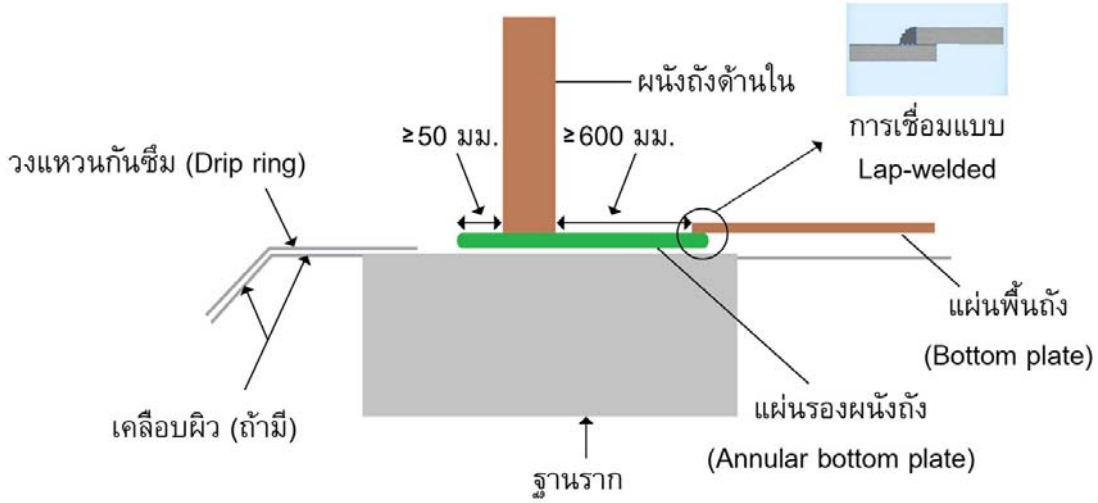



**พื้นถังแบบกรวยคว่ำ (Cone-up)**




**พื้นถังแบบกรวยหงาย (Cone-down)**

- ในกรณีที่ต้องการให้ติดตั้งวงแหวนกันซึม (Drip ring) เพื่อป้องกันน้ำซึมเข้าใต้กันถังเก็บ โดยวงแหวนกันซึมจะต้องมีความหนาอย่างน้อย 3 มิลลิเมตร และต้องเชื่อมด้วยวิธีการเชื่อมปิดคลุมแบบต่อเนื่อง (Continuously seal-welded) ขอบของวงแหวนต้องยื่นออกมาด้านนอกจากขอบฐานรากของถังอย่างน้อย 75 มิลลิเมตร และมีการดัดงอลงที่ปลายเป็นมุมไม่เกิน 90º ตามรูปที่ 3.3 และอาจจะมีการเคลือบสารป้องกันการกัดกร่อนที่ผิวของวงแหวนเพิ่มเติม




**รูปที่ 3.3** ส่วนประกอบบริเวณพื้นถัง

และกำหนดลักษณะแผ่นเหล็กรองผนังถังดังนี้

- กรณีเหล็กกล้า แผ่นรองผนังถังต้องมีความหนาอย่างน้อย 6 มิลลิเมตร (ยังไม่รวมความหนาเผื่อการกัดกร่อน)
- ระยะห่างภายในระหว่างผนังถังเก็บกับรอยเชื่อมแบบ Lap-welded ที่แผ่นพื้นถัง จะต้องห่างไม่น้อยกว่า 600 มิลลิเมตรและแผ่นรองผนังถังต้องต้องยื่นออกนอกขอบของตัวถัง อย่างน้อย 50 มิลลิเมตร

นอกจากนี้การเชื่อมผนังถังชั้นล่างที่ติดกับแผ่นเหล็กรองผนังถัง และแผ่นเหล็กพื้นถัง จะต้องเชื่อมเต็มแบบต่อเนื่องทั้งในและนอกของผนังถัง โดย ;

- การเชื่อมแผ่นพื้นถัง กำหนดให้แผ่นเหล็กต้องเกยกันอย่างน้อย 5 เท่าของความหนาของแผ่นเหล็กที่นำใช้ทำพื้นถัง
- การเชื่อมแผ่นพื้นถังกับแผ่นรองผนังถัง แผ่นเหล็กนั้นจะต้องเกยกันอย่างน้อย 65 มิลลิเมตร

**3) หลังคาถังเก็บ**

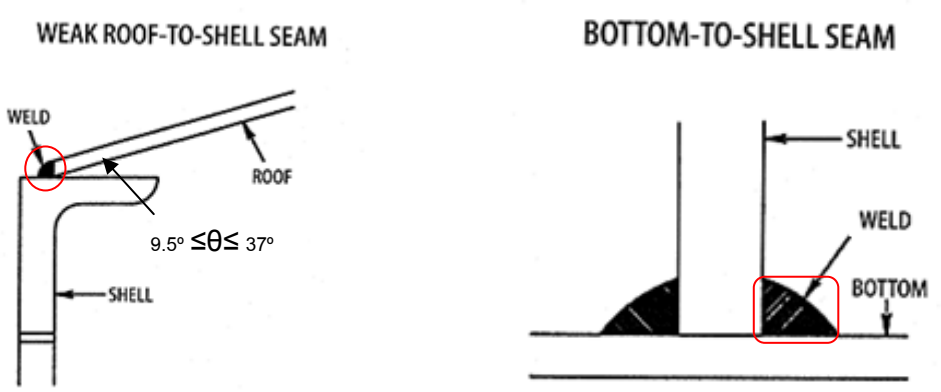
ในการคำนวณตัวหลังคาและโครงสร้างรองรับต่างๆ ต้องมีการคำนวณและออกแบบเพื่อให้หลังคาสามารถรองรับน้ำหนักและแรงกระทำต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับหลังคาดังนี้

- ความดันภายในถังเก็บ (Internal pressure)
- ความดันขณะทดสอบด้วยน้ำ (Hydrostatic test pressure)
- แรงลม และฝนที่มาปะทะ (Wind load)
- น้ำหนักของหลังคาและส่วนประกอบอื่นๆ ที่ติดตั้งบนหลังคา (Gravity loads)
- แรงที่เกิดจากแผ่นดินไหว (Seismic load)
- แรงหรือน้ำหนักอื่นๆ

ตาม API 650 มีข้อกำหนดเกี่ยวกับแผ่นเหล็กหลังคา ดังนี้

- แผ่นเหล็กหลังคาต้องมีความหนา อย่างน้อย 5 มิลลิเมตร (ไม่รวมค่าความหนาเผื่อการกัดกร่อน)
- ลักษณะแผ่นเหล็กหลังคาของหลังคาแบบต่างๆ มีข้อกำหนดย่อยดังนี้
  - แผ่นเหล็กหลังคาของ Supported cone roof ต้องไม่สัมผัสกับโครงสร้างที่รองรับโดยตรง โดยแผ่นหลังคาจะต้องวางบนคานค้ำหลังคาหรือจันทัน (Rafter) ที่วางบนคานหลัก (Girder) เท่านั้น ขณะที่ความหนาของโครงสร้างที่รองรับหลังคาต้องมีความหนาอย่างน้อย 4.3 มิลลิเมตร และเมื่อใช้งานและถูกกัดกร่อนไปแล้วความหนาจะต้องไม่น้อยกว่า 2.4 มิลลิเมตร ยกเว้น ความหนาของเสารับน้ำหนัก (Column) ต้องไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมใน API 650 เรื่อง Supported cone roofs ข้อ 5.10.4)
  - แผ่นเหล็กหลังคาของ Self-supporting cone roof ต้องมีการเสริมความแข็งแรงด้วยโครงสร้าง (Sections) และความหนาของแผ่นเหล็กหลังคาต้องหนาไม่น้อยกว่า 4.8 มิลลิเมตร มุมของหลังคา ($\theta$) ต้องอยู่ระหว่าง 9.5 ถึง 37 องศา ($9.5^{o} \leq \theta \leq 37^{o}$) เทียบกับระดับพื้นหรือความชัน (Slope) ต้องมีค่าระหว่าง 2:12 ถึง 9:12 ($2:12 \leq$ slope $\leq 9:12$) (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมใน API 650 เรื่อง Self-supporting cone roofs ข้อ 5.10.5)
  - แผ่นเหล็กหลังคาของ Self-supporting dome roof ต้องมีการเสริมความแข็งแรงด้วยโครงสร้าง (Sections) และความหนาของแผ่นเหล็กหลังคาต้องหนาไม่น้อยกว่า 4.8 มิลลิเมตร รัศมีของหลังคา (Radius) ต้องอยู่ระหว่าง 0.8 D ถึง 1.2 D เมื่อ D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมใน API 650 เรื่อง Self-supporting dome and umbrella roofs ข้อ 5.10.6)
- การเชื่อมแผ่นเหล็กหลังคาของถังชนิดหลังคาไม่เคลื่อนที่กับผนังถังให้ใช้วิธีการเชื่อมต่อกันแบบเกยทับและมีเชื่อมด้านบนเพียงด้านเดียวบนแผ่นหลังคา โดยเฉพาะถังชนิดหลังคาไม่เคลื่อนที่ดังรูปที่ 3.4

- การเชื่อมพื้นถังกับผนังถัง จะต้องเชื่อมทั้งด้านในและด้านนอกถัง ตามรูปที่ 3.4 และรอยเชื่อมต้องมีขนาดใหญ่และแข็งแรงกว่าการเชื่อมแผ่นเหล็กหลังคากับผนังถัง เพื่อเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินหรือเหตุระเบิด หลังคาจะสามารถปริแยกออกจากตัวถัง และช่วยระบายแรงดันที่เกิดขึ้นได้ แต่ถ้าหากเชื่อมถังบริเวณหลังคาแข็งแรงกว่าบริเวณก้นถังจะทำให้เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินแรงดันจะทำให้ก้นถังปริแยก และเกิดการระเบิดที่ด้านล่างบริเวณพื้นถังซึ่งก่อให้เกิดอันตรายมากกว่า โดยขนาดของรอยเชื่อมจะขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นเหล็กที่นำมาใช้ทำหลังคา ผนังถัง และพื้นถัง

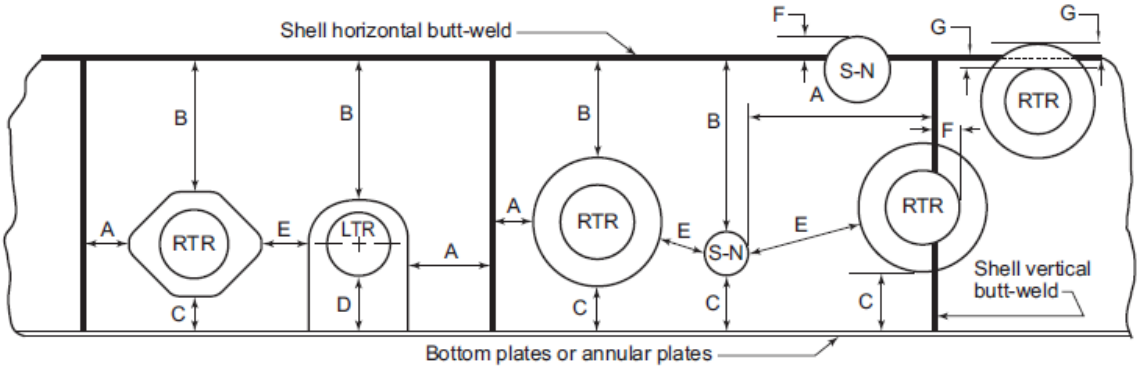



บริเวณหลังคากับผนังถัง บริเวณพื้นถังกับผนังถัง

**รูปที่ 3.4** การเชื่อมบริเวณหลังคากับผนังถัง และบริเวณพื้นถังกับผนังถัง

**4) การเจาะรูและการติดตั้งท่อที่ผนังของถัง (Shell openings)**

การเจาะรูที่ถังเพื่อติดตั้ง Nozzles และช่องคนลง (Manhole) เพื่อการตรวจสภาพถัง ผู้ประกอบกิจการโรงงานควรทราบความหมายของลักษณะการเจาะรูแบบต่างๆ รายละเอียดดังรูปที่ 3.5




**รูปที่ 3.5** การเจาะรูเพื่อติดตั้ง Nozzles และช่องคนลง

- **RTR = Regular-Type Reinforced Opening** เป็นการเจาะโดยมีการเพิ่มแผ่นเสริมความแข็งแรง (Reinforcing plate) ที่เป็นรูปวงแหวนหรือทรงหกเหลี่ยม โดยที่ไม่ยื่นลงไปถึงก้นถัง

- **LTR = Low-Type Reinforced Opening** เป็นการเจาะโดยมีการเพิ่มแผ่นเสริมความแข็งแรงที่เป็นรูปคล้ายป้ายหิน โดยยื่นลงไปถึงก้นถัง
- **S-N = Shell Openings** เป็นการเจาะโดยไม่มีการเพิ่มแผ่นเสริมความแข็งแรง หรือเป็นแบบ Integrally reinforced shell openings หรือ รูเจาะที่ไม่จำเป็นต้องเพิ่มแผ่นเสริมความแข็งแรง (< 2 นิ้ว)

ในการเจาะรูที่ผนังถัง จะพิจารณาจากรูปทรงโดยเทียบระยะการเจาะถึงก้นถังระหว่างจุดที่ต้องการเจาะกับ Bottom plate หรือ Annular plate

สำหรับระยะค่า A, B, C, D, E, F และ G สำหรับลักษณะของการเจาะรูแต่ละแบบและการกำหนดความหนาบริเวณ Manhole neck ที่ความหนาของผนังกับขนาดของช่องคนลงขนาดต่างๆ จะแสดงรายละเอียดอยู่ใน API 650 เรื่อง Shell opening

### 3.3.2 ถังเหล็กกล้าไร้สนิม

เนื่องจากปัจจุบัน ยังไม่มีมาตรฐานเฉพาะสำหรับการออกแบบและคำนวณความหนาของถังเหล็กกล้าไร้สนิม ในการออกแบบและคำนวณจึงอ้างอิงตามมาตรฐาน API 650 ซึ่งเป็นมาตรฐานของถังเหล็กกล้า และผู้ประกอบกิจการโรงงานสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน Appendix S : Austenitic Stainless Steel Storage Tank สำหรับวิธีการออกแบบและคำนวณความหนาของถังเหล็กกล้าไร้สนิม โดยทั่วไปเหมือนกับถังเหล็กกล้าตามรายละเอียดในข้อ 3.3.1 แต่มีรายละเอียดบางขั้นตอนที่แตกต่างกันดังนี้

- การคำนวณค่าความเค้นสูงสุดขณะใช้งาน ; $S_d$ และค่าความเค้นสูงสุดขณะอัดน้ำทดสอบ ; $S_t$ ผู้ประกอบกิจการโรงงานจะต้องคำนวณเองจากสูตรที่กำหนดให้ ไม่มีตารางสำเร็จรูปที่ใช้งานได้เลยเหมือนเหล็กกล้าตามมาตรฐาน ASTM ที่ระบุใน API 650 และหลังจากได้ค่า $S_d$ , $S_t$ แล้ว ให้นำค่าดังกล่าวมาคำนวณต่อเหมือนกับวิธีการคำนวณถังเหล็กกล้า
- การคำนวณความหนาผนังถังเก็บ : สูตรที่ใช้คำนวณจะต้องคิดค่าประสิทธิภาพของแนวเชื่อมด้วย (Joint efficiency ; E) ดังนี้

$$t_d = \frac{4.9D(H-0.3)G}{S_d E} + CA \quad \text{และ} \quad t_t = \frac{4.9D(H-0.3)}{S_t E}$$

เมื่อ E คือ ค่าประสิทธิภาพของแนวเชื่อมด้วย (Joint efficiency) โดยเป็นค่าคงที่ เท่ากับ 1, 0.85 หรือ 0.7 ส่วนความหมายของตัวแปรอื่นๆ อยู่ในภาคผนวก ข.*2*

การเลือกใช้ค่าคงที่ของประสิทธิภาพของแนวเชื่อมจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของแนวเชื่อม ทั้งนี้ผู้ประกอบกิจการโรงงานสามารถสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบและสร้างถังเก็บ หรือศึกษาจาก Appendix S ใน API 650 เพิ่มเติม

### 3.3.3 ถังไฟเบอร์กลาส

สำหรับการออกแบบและคำนวณความหนาของถังไฟเบอร์กลาส กำหนดให้เป็นไปตาม API Specification 12P โดยถังไฟเบอร์กลาสที่มีวิธีผลิต หรือขึ้นรูปที่แตกต่างกัน จะมีวิธีการคำนวณความหนาของผนังถังที่แตกต่างกัน แต่ความหนาออกแบบของผนังถังนั้นจะต้องไม่น้อยกว่า 4.5 มิลลิเมตร ขณะที่ชั้นความหนาของผิวด้านใน (Interior layer) จะต้องไม่น้อยกว่า 2 มิลลิเมตร ส่วนพื้นผิวด้านนอกของถังควรจะมีการทาสี (Painting) เคลือบผิว (Gelcoat หรือ Polyester paint) หรือเพิ่มสารดูดซับรังสี UV ในเรซินที่ใช้สำหรับพื้นผิวด้านนอก เพื่อเพิ่มความสามารถในการทนทานต่อรังสี UV และยืดอายุการใช้งานของถังไฟเบอร์กลาส

## 3.4 การคำนวณน้ำหนักถังเก็บ

ในการคำนวณน้ำหนักรวมของถัง จะแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ส่วน คือ

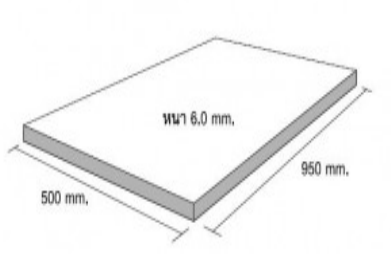
### 3.4.1 น้ำหนักถังเปล่า

เป็นผลรวมของน้ำหนักแผ่นเหล็กที่นำมาทำผนังถัง พื้นถัง และหลังคา กับน้ำหนักของส่วนประกอบอื่นๆ เช่น ช่องคนลง ช่องเปิดบนหลังคา บันได ราวจับ วาล์วต่างๆ เป็นต้น สำหรับน้ำหนักแผ่นเหล็กแบนสามารถคำนวณจากสูตร ดังนี้

- **<u>น้ำหนักแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมแบน</u>** สามารถคำนวณจากสูตรดังนี้

$$\text{น้ำหนัก (กิโลกรัม)} = \frac{\text{หนา (มม.) x กว้าง (มม.) x ยาว (มม.) x 0.00793}}{1000}$$

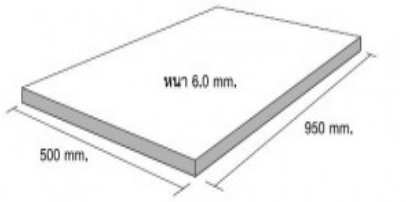
โดยค่า 0.00793 คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของเหล็กกล้าไร้สนิมแบนเกรด 304, 304L, 310, 321

| | |
|---|---|
|  | ***<u>ตัวอย่าง</u>***<br>$\text{น้ำหนัก} = \frac{6 \times 500 \times 950 \times 0.00793}{1000} = 22.6$ กิโลกรัม |

- **<u>น้ำหนักแผ่นเหล็กกล้าแบน</u>** สามารถคำนวณจากสูตรดังนี้

$$\text{น้ำหนัก (กิโลกรัม)} = \frac{\text{หนา (มม.) x กว้าง (มม.) x ยาว (มม.) x 0.00785}}{1000}$$

เมื่อ 0.00785 คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของแผ่นเหล็กกล้าแบน

| | |
|---|---|
|  | ***ตัวอย่าง***<br>น้ำหนัก = $\frac{6 \times 500 \times 950 \times 0.00785}{1000}$ = 22.37 กิโลกรัม |

### 3.4.2 น้ำหนักของสารกัดกร่อน ภายในถังเก็บ

เป็นผลคูณระหว่างค่าปริมาตร (เต็มถัง) กับความถ่วงจำเพาะของของเหลวที่อุณหภูมิใช้งาน

**ยกเว้น** กรณีที่ความถ่วงจำเพาะของของเหลวน้อยกว่า 1 ในการคำนวณน้ำหนักให้ใช้ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำแทน (มีค่าเท่ากับ 1) เนื่องจากในช่วงการทดสอบถังหลังจากที่สร้างเสร็จจะต้องใช้น้ำในการอัดน้ำเพื่อทดสอบความดัน (Hydrostatic test)

## 3.5 การเคลือบ / ปูผิวถังเก็บสารเคมี (Coating /Lining)

นอกจากการเลือกประเภทถังเก็บ และข้อกำหนดเกี่ยวกับผนัง พื้น และหลังคาถังเก็บแล้ว ขั้นตอนที่สำคัญที่สุดสำหรับถังเก็บสารกัดกร่อนคือ การเลือกวัสดุเคลือบ หรือปูผิวถังเก็บเพื่อป้องกันการกัดกร่อน ในการเลือกวัสดุเพื่อเคลือบ / ปูผิวจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ในการเคลือบผิวว่าเป็นการเคลือบภายใน หรือเคลือบภายนอกถังเก็บ เนื่องจากถ้าเป็นการเคลือบผิวภายนอก วัสดุที่ใช้จะต้องทนต่อสภาพภูมิอากาศ แสง รังสี UV ขณะที่การเคลือบผิวภายใน วัสดุที่ใช้จะต้องป้องกันการกัดกร่อนจากไอ และของเหลวภายในถัง และตะกอนหรือสลัดจ์ที่สะสมบริเวณพื้นถัง รวมทั้งไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนกับของเหลวที่จัดเก็บ

### 3.5.1 การเคลือบผิวภายนอก (External coating)

การเคลือบผิวภายนอก มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการผุกร่อนจากสภาพอากาศทั่วไป ความชื้น ฝน แสง รังสี UV ดังนั้นการทาสีถังเก็บสารกัดกร่อนด้วยสีกันสนิม สีที่มีส่วนผสมของสาร Epoxy หรือ พอลิยูรีเทน (Polyurethane) ก็เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการป้องกันการผุกร่อนภายนอก

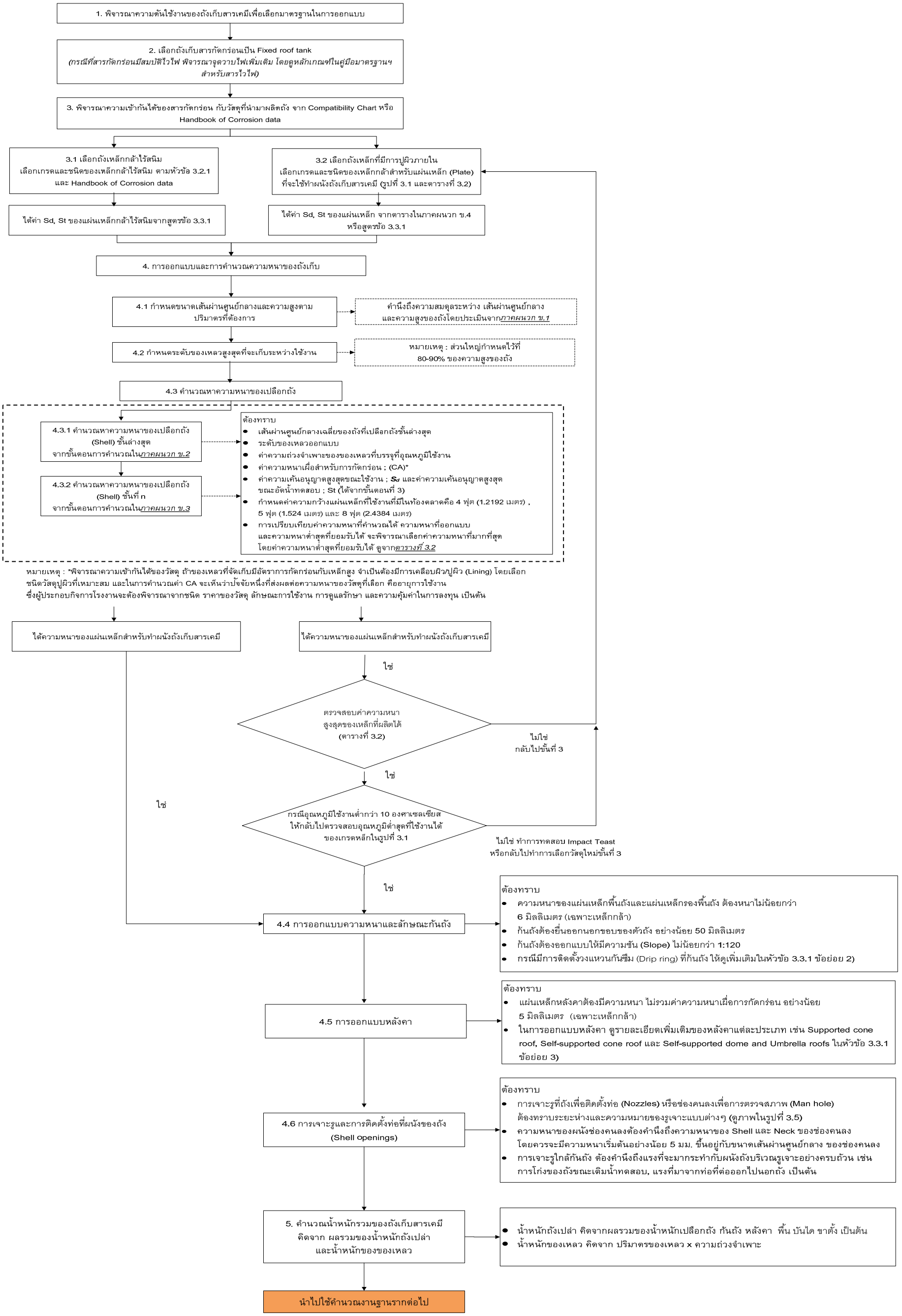
### 3.5.2 การเคลือบ/การปูผิวภายใน (Internal coating/Lining)

การเคลือบผิวภายใน มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการกัดกร่อนจากไอ และของเหลวภายในถังโดยพื้นฐานแล้วการเคลือบผิวภายในควรจะสามารถป้องกันการกัดกร่อนจากของเหลว และมีอายุใช้งานอย่างน้อย 10 ปี ในการเลือกวัสดุสำหรับเคลือบ / ปูผิวภายในจะต้องพิจารณาจากความเข้ากันได้กับของเหลวที่จัดเก็บ หรือความทนทานต่อการกัดกร่อนของวัสดุนั้นๆ ซึ่งสามารถขอตัวอย่างตาราง

Compatibility Resistant Chart ได้จากบริษัทผู้ให้บริการเคลือบผิวถังเก็บ ดังภาคผนวก ข.6 และข้อควรรู้เบื้องต้นสำหรับการเคลือบผิวภายในถังเก็บสารกัดกร่อน มีดังนี้

- วัสดุเคลือบผิวส่วนใหญ่ที่สามารถใช้กับสารกัดกร่อน คือสารในกลุ่ม Epoxy และ Epoxy copolymer แต่สามารถเลือกใช้วัสดุเคลือบชนิดอื่นได้ โดยดูจาก Compatibility resistant chart ที่ได้กล่าวมาแล้ว เนื่องจากสารแต่ละชนิดอาจมีความเฉพาะเจาะจงไม่เหมือนกัน
- การเคลือบผนังถังเก็บ สามารถใช้วิธีการเคลือบแบบฟิล์มบาง ซึ่งมีความหนาน้อยกว่า 20 mils (0.508 มม. โดย 1 mils = 1/1000 นิ้ว) แต่บริเวณพื้นถัง จำเป็นต้องใช้ วิธีการเคลือบแบบฟิล์มหนาซึ่งมีความหนามากกว่า 20 mils เนื่องจากบริเวณพื้นถังจะต้องสามารถทนต่อแรงดันจากการการสูบถ่ายสารเคมีมากกว่าบริเวณอื่นๆ

จากขั้นตอนทั้งหมดที่กล่าวมา สามารถสรุปแนวทางการออกแบบถังเหล็กกล้าและเหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับเก็บสารกัดกร่อน ได้ดังรูปที่ 3.6




**รูปที่ 3.6** แนวทางการออกแบบถังสำหรับเก็บสารกัดกร่อน

# บทที่ 4 การเลือกสถานที่

## 4.1 การเลือกพื้นที่สำหรับก่อสร้างถังเก็บสารเคมี

ในการเลือกพื้นที่สำหรับก่อสร้างถังเก็บสารเคมี ถือเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญก่อนที่จะเริ่มกระบวนการออกแบบ และก่อสร้างถังเก็บสารเคมี เนื่องจากผู้ประกอบกิจการโรงงานจำเป็นต้องทราบขนาดพื้นที่ และข้อควรระวังว่าถังเก็บสารเคมีแต่ละประเภทไม่ควรตั้งอยู่ใกล้พื้นที่ใดบ้าง ในหัวข้อนี้จะทำการสรุปข้อที่ควรจะพิจารณา ระยะที่ปลอดภัย รวมถึงสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการจัดวางถังเก็บสารเคมีกรณีที่มีถังเก็บสารเคมีในพื้นที่มากกว่า 1 ถัง นอกจากนี้ ในบางประเทศ เช่น สหภาพยุโรป ยังได้กำหนดให้มีการประเมินความเสี่ยงในขั้นตอนการเลือกพื้นที่อีกด้วย สำหรับสภาพแวดล้อม หรือพื้นที่รอบข้างพื้นฐานที่จะต้องคำนึงถึงในการก่อสร้างถังเก็บสารเคมี พบว่า พื้นที่นั้น ;

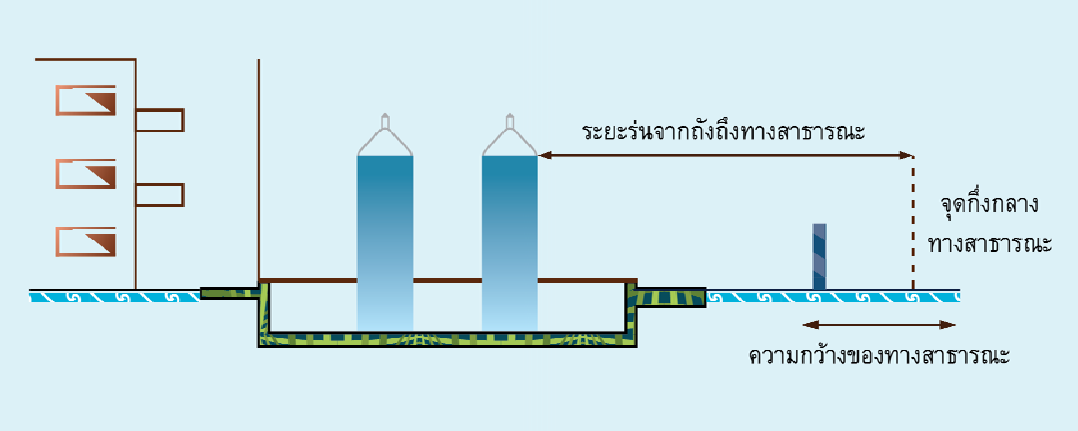
- ควรอยู่ห่างจากแหล่งน้ำผิวดิน หรือแหล่งน้ำใช้ และมีการควบคุมการปนเปื้อนมลพิษสำหรับน้ำผิวดิน หรือแหล่งน้ำใช้กรณีที่มีอุบัติเหตุ หรือเหตุฉุกเฉิน
- ควรห่างจากชุมชน ถนน ทางรถไฟ โรงเรียน และโรงพยาบาล เพื่อไม่ให้เป็นอันตรายกรณีที่เกิดเหตุระเบิด เพลิงไหม้ หรือการรั่วไหล
- ควรอยู่ห่างจากแหล่งจุดติดไฟ (Ignition source)
- ควรอยู่ห่างจากวัสดุที่ติดไฟได้ (Combustible materials)
- ควรอยู่ห่างจากพื้นที่เก็บปุ๋ย หรือสารที่ใช้ในการเกษตร
- ควรอยู่ห่างจากพื้นที่เก็บขยะ หรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว
- ควรแยกออกจากพื้นที่กระบวนการผลิต และเป็นพื้นที่เพื่อการจัดเก็บสารเคมีอย่างชัดเจน
- ควรง่ายต่อการเข้าถึง และสะดวกในการเข้าตรวจสอบและการบำรุงรักษา

โดยในคู่มือเล่มนี้ได้อ้างอิงการกำหนดระยะห่างระหว่างถังถึงทางสาธารณะจากกฎหมายควบคุมอาคาร และกำหนดระยะห่างที่ปลอดภัย (Minimum separation distance) จาก NFPA 30 –Chapter 22 – Storage of Liquids in Tanks ซึ่งกำหนดระยะห่างเป็น 2 ระยะ คือ

- ระยะห่างจากผนังของถังเก็บสารเคมีและเขตรั้วโรงงาน (Property line) หรือทางสาธารณะ (Public way)
- ระยะห่างระหว่างผนังของถังเก็บสารเคมี (Shell-to-shell spacing)

จากกฎหมายควบคุมอาคารมีข้อกำหนดให้ถังเก็บสารเคมี ซึ่งจัดว่าเป็นอาคารประเภทหนึ่ง โดยกฎหมายควบคุมอาคารได้กำหนดระยะร่นตามกว้างของทางสาธารณะที่อยู่ติดกับถังเก็บสารเคมี แสดงดังรูปที่ 4.1 และมีรายละเอียดดังนี้

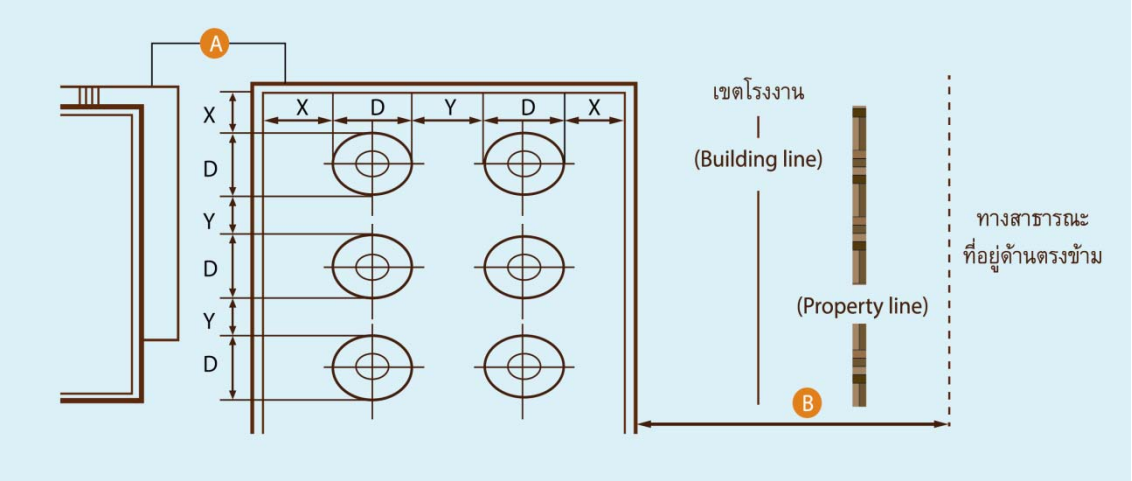
- ถ้าถนนสาธารณะมีความกว้างน้อยกว่า 10 เมตร ให้ร่นแนวอาคารห่างจากกึ่งกลางถนนสาธารณะอย่างน้อย 10 เมตร
- ถ้าถนนสาธารณะมีความกว้างตั้งแต่ 10 เมตร ขึ้นไป แต่ไม่เกิน 20 เมตร ให้ร่นแนวอาคารห่างจากกึ่งกลางถนนสาธารณะอย่างน้อย 1 ใน 10 ของความกว้างสาธารณะ
- ถ้าถนนสาธารณะมีความกว้างเกิน 20 เมตร ขึ้นไป ให้ร่นแนวอาคารห่างจากกึ่งกลางถนนสาธารณะอย่างน้อย 2 เมตร




**รูปที่ 4.1** ตัวอย่างรูปแสดงระยะห่างตามกฎหมายควบคุมอาคาร

ตามแนวทางของมาตรฐาน NFPA 30 Flammable and Combustible Liquids Code การกำหนดระยะห่างต่างๆ จะพิจารณาจากชนิดของของเหลวที่ต้องการจัดเก็บ โดยแบ่งเป็น (i) ของเหลวที่เสถียร (Stable liquid) และ (ii) ของเหลวที่ไม่เสถียร (Unstable liquid) และความดันภายในของถังเก็บสารเคมี สำหรับของเหลวที่ไม่เสถียร จะหมายถึงของเหลวที่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชั่น สลายตัว ควบแน่น หรือเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้เอง รวมทั้งต้องคำนึงถึงประเภทของถังเก็บสารเคมี และอุปกรณ์ความปลอดภัย เช่น ระบบระบายแรงดันฉุกเฉิน (Emergency relief venting system)

สรุปสำหรับระยะห่างจากผนังของถังเก็บสารเคมีและเขตรั้วโรงงาน (Property line) หรือทางสาธารณะ (Public way) และระยะห่างระหว่างผนังของถังเก็บสารเคมีสำหรับถังแต่ละประเภทที่ความดันไม่เกิน 17.2 psi (หรือ 2.5 psig) และความดันที่มากกว่า 17.2 psi (หรือ 2.5 psig) สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 ตามลำดับ โดยให้ดูรูปภาพระยะห่างต่างๆ ประกอบในรูปที่ 4.2




**รูปที่ 4.2** ตัวอย่างรูปแสดงระยะห่างที่ปลอดภัยสำหรับถังเก็บสารเคมี

ความหมายของระยะต่าง ๆ แสดงดังนี้

- A คือ ระยะห่างจากทางสาธารณะที่อยู่ด้านใกล้ที่สุด หรืออาคารที่ใกล้ที่สุดที่อยู่ในแนวเขตเดียวกัน
- B คือ ระยะห่างจากเขื่อนกั้นล้อมรอบ (Dike) ถึงทางสาธารณะที่อยู่ด้านตรงข้าม
- D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของถังเก็บสารเคมี
- X คือ ระยะห่างจากผนังถังถึงผนังเขื่อนกั้นล้อมรอบ (Shell-to-Dike)
- Y คือ ระยะห่างระหว่างผนังของถัง (Shell-to-Shell)

**ตารางที่ 4.1** ระยะห่างที่ปลอดภัยสำหรับถังเก็บของเหลวที่เป็นสารกัดกร่อนที่*ความดันไม่เกิน 17.2 psi (หรือ 2.5 psig)* ที่มีปริมาตร 1-500 ลูกบาศก์เมตร (D < 45 เมตร)

| **ประเภทถังเก็บสารเคมี** | **ระบบป้องกัน** | **ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)** | **ระยะห่างอย่างน้อย (Minimum distance);** เมตร | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **B**[1] | **A** | **X** *-อ้างอิงตาม Table 22.11.2.5 ใน NFPA 30* | **Y***-อ้างอิงตาม Table 22.4.2.1ใน NFPA 30* |
| **สำหรับของเหลวที่เสถียร (Stable liquid) –** *อ้างอิงตาม Table 22.4.1.1(a), (b) ใน NFPA 30* | | | | | | |
| Fixed roof tank ที่มีระบบวาล์วระบายแรงดันฉุกเฉิน | มีระบบก๊าซเฉื่อย (Inert system) หรือมีระบบโฟม (Foam system) | 1-10 | 1.5 | 0.25 | 1.5 | 1/6 x ผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของถังคู่ที่อยู่ติดกัน (แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.9 เมตร) |
| | | > 10-45 | 2.25 | 0.25 | | |
| | | > 45-114 | 3 | 0.25 | | |
| | | > 114-190 | 4.5 | 0.5 | | |
| | | > 190-380 | 7.5 | 0.75 | | |
| | | > 380-500 | 12 | 1.25 | | |

**ตารางที่ 4.1** ระยะห่างที่ปลอดภัยสำหรับถังเก็บของเหลวที่เป็นสารกัดกร่อนที่*ความดันไม่เกิน 17.2 psi (หรือ 2.5 psig)* ที่มีปริมาตร 1-500 ลูกบาศก์เมตร (D < 45 เมตร) (ต่อ)

| ประเภทถังเก็บสารเคมี | ระบบป้องกัน | ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร) | ระยะห่างอย่างน้อย (Minimum distance); เมตร | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | B[1] | A | X-*อ้างอิงตาม Table 22.11.2.5 ใน NFPA 30* | Y-*อ้างอิงตาม Table 22.4.2.1ใน NFPA 30* |
| Fixed roof tank ที่มีระบบวาล์วระบายแรงดันฉุกเฉิน (ต่อ) | Protection for exposure[2/] | 1-10 | 3 | 0.5 | 1.5 | 1/6 x ผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของถังคู่ที่อยู่ติดกัน (แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.9 เมตร) |
| | | > 10-45 | 4.5 | 0.5 | | |
| | | > 45-114 | 6 | 0.5 | | |
| | | > 114-190 | 9 | 1.0 | | |
| | | > 190-380 | 15 | 1.5 | | |
| | | > 380-500 | 24 | 2.5 | | |
| | ไม่มี | 1-10 | 6 | 0.5 | 0.5 | 1/6 x ผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของถังคู่ที่อยู่ติดกัน (แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.9 เมตร) |
| | | > 10-45 | 9 | 0.5 | | |
| | | > 45-114 | 12 | 0.5 | | |
| | | > 114-190 | 18 | 1.0 | | |
| | | > 190-380 | 30 | 1.5 | | |
| | | > 380-500 | 40 | 2.5 | | |
| **สำหรับของเหลวที่ไม่เสถียร (Unstable liquid)** -*อ้างอิงตาม Table 22.4.1.1 (b) และ Table 22.4.1.5 ใน NFPA 30* | | | | | | |
| Vertical tank ที่มีระบบวาล์วระบายแรงดันฉุกเฉิน | ถังที่มีระบบป้องกันอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้ ; ระบบสเปรย์น้ำดับเพลิง, ฉนวนหรือระบบหล่อเย็น | 1-10 | 3 | ไม่น้อยกว่า 7.5 | 1.5 | 1/6 x ผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของถังคู่ที่อยู่ติดกัน (แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.9 เมตร) |
| | | > 10-45 | 4.5 | | | |
| | | > 45-114 | 6 | | | |
| | | > 114-190 | 9 | | | |
| | | > 190-380 | 15 | | | |
| | | > 380-500 | 24 | | | |
| | Protection for Exposure[2/] | 1-10 | 7.5 | ไม่น้อยกว่า 15 | 1.5 | 1/6 x ผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของถังคู่ที่อยู่ติดกัน (แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.9 เมตร) |
| | | > 10-45 | 11.25 | | | |
| | | > 45-114 | 15 | | | |
| | | > 114-190 | 22.5 | | | |
| | | > 190-380 | 37.5 | | | |
| | | > 380-500 | 60 | | | |

**ตารางที่ 4.1** ระยะห่างที่ปลอดภัยสำหรับถังเก็บของเหลวที่เป็นสารกัดกร่อนที่*ความดันไม่เกิน 17.2 psi (หรือ 2.5 psig)* ที่มีปริมาตร 1-500 ลูกบาศก์เมตร (D < 45 เมตร) (ต่อ)

| ประเภทถังเก็บสารเคมี | ระบบป้องกัน | ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร) | ระยะห่างอย่างน้อย (Minimum distance); เมตร | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | B[1] | A | X-*อ้างอิงตาม Table 22.11.2.5 ใน NFPA 30* | Y-*อ้างอิงตาม Table 22.4.2.1ใน NFPA 30* |
| Vertical tank ที่มีระบบวาล์วระบายแรงดันฉุกเฉิน (ต่อ) | ไม่มี | 1-10 | 15 | ไม่น้อยกว่า 30 | 1.5 | 1/6 x ผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของถังคู่ที่อยู่ติดกัน (แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.9 เมตร) |
| | | > 10-45 | 22.5 | | | |
| | | > 45-114 | 30 | | | |
| | | > 114-190 | 45 | | | |
| | | > 190-380 | 75 | | | |
| | | > 380-500 | 120 | | | |

หมายเหตุ [1/] ระยะห่างจากเขื่อนกั้นล้อมรอบ (Dike) ถึงทางสาธารณะที่อยู่ด้านตรงข้ามซึ่ง จะต้องไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร

[2/] Protection for exposure หมายถึงพื้นที่ใกล้เคียงถังเก็บสารเคมีมีระบบดับเพลิงหรือมีระบบน้ำหล่อเย็นเพื่อป้องกันไฟลุกลามกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้

**ตารางที่ 4.2** ระยะห่างที่ปลอดภัยสำหรับถังเก็บของเหลวที่เป็นสารกัดกร่อนที่*ความดันมากกว่า 17.2 psi (หรือ 2.5 psig)* ที่มีปริมาตร 1-500 ลูกบาศก์เมตร (D < 45 เมตร)

| ประเภทถังเก็บสารเคมี | ระบบป้องกัน | ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร) | ระยะห่างอย่างน้อย (Minimum distance); เมตร | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | B[1] | A | X-*อ้างอิงตาม Table 22.11.2.5 ใน NFPA 30* | Y-*อ้างอิงตาม Table 22.4.2.1 ใน NFPA 30* |
| **สำหรับของเหลวที่เสถียร (Stable liquid)** - *อ้างอิงตาม Table 22.4.1.1 (b) และ Table 22.4.1.3 ใน NFPA 30* | | | | | | |
| ทุกประเภท | Protection for exposure[2/] | 1-10 | 4.5 | 2.25 | 1.5 | 1/6 x ผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของถังคู่ที่อยู่ติดกัน (แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.9 เมตร) |
| | | > 10-45 | 6.75 | 2.25 | | |
| | | > 45-114 | 9 | 2.25 | | |
| | | > 114-190 | 13.5 | 4.5 | | |
| | | > 190-380 | 22.5 | 6.75 | | |
| | | > 380-500 | 36 | 11.25 | | |
| | ไม่มี | 1-10 | 9 | 2.25 | 1.5 | 1/6 x ผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของถังคู่ที่อยู่ติดกัน (แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.9 เมตร) |
| | | > 10-45 | 13.5 | 2.25 | | |
| | | > 45-114 | 18 | 2.25 | | |
| | | > 114-190 | 27 | 4.5 | | |
| | | > 190-380 | 45 | 6.75 | | |
| | | > 380-500 | 72 | 11.25 | | |

**ตารางที่ 4.2** ระยะห่างที่ปลอดภัยสำหรับถังเก็บของเหลวที่เป็นสารกัดกร่อนที่*ความดันมากกว่า 17.2 psi (หรือ 2.5 psig)* ที่มีปริมาตร 1-500 ลูกบาศก์เมตร (D < 45 เมตร) (ต่อ)

| ประเภทถังเก็บสารเคมี | ระบบป้องกัน | ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร) | ระยะห่างอย่างน้อย (Minimum distance); เมตร | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | B[1] | A | X -*อ้างอิงตาม Table 22.11.2.5 ใน NFPA 30* | Y-*อ้างอิงตาม Table 22.4.2.1 ใน NFPA 30* |
| **สำหรับของเหลวที่ไม่เสถียร (Unstable liquid)** - *อ้างอิงตาม Table 22.4.1.1 (b) และ Table 22.4.1.5 ใน NFPA 30* | | | | | | |
| Vertical tank ที่มีระบบวาล์วระบายแรงดันฉุกเฉิน | ถังที่มีระบบป้องกันอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้ ; ระบบสเปรย์น้ำดับเพลิง, | 1-10 | 6 | ไม่น้อยกว่า 15 | 1.5 | 1/6 x ผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของถังคู่ที่อยู่ติดกัน (แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.9 เมตร) |
| | | > 10-45 | 9 | | | |
| | | > 45-114 | 12 | | | |
| | | > 114-190 | 18 | | | |
| | | > 190-380 | 30 | | | |
| | ฉนวนหรือระบบทำความเย็น, Barricade | > 380-500 | 48 | | | |
| | Protection for exposure[2/] | 1-10 | 12 | ไม่น้อยกว่า 30 | 1.5 | 1/6 x ผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของถังคู่ที่อยู่ติดกัน (แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.9 เมตร) |
| | | > 10-45 | 18 | | | |
| | | > 45-114 | 24 | | | |
| | | > 114-190 | 36 | | | |
| | | > 190-380 | 60 | | | |
| | | > 380-500 | 96 | | | |
| | ไม่มี | 1-10 | 24 | ไม่น้อยกว่า 45 | 1.5 | 1/6 x ผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของถังคู่ที่อยู่ติดกัน (แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.9 เมตร) |
| | | > 10-45 | 36 | | | |
| | | > 45-114 | 48 | | | |
| | | > 114-190 | 72 | | | |
| | | > 190-380 | 120 | | | |
| | | > 380-500 | 192 | | | |

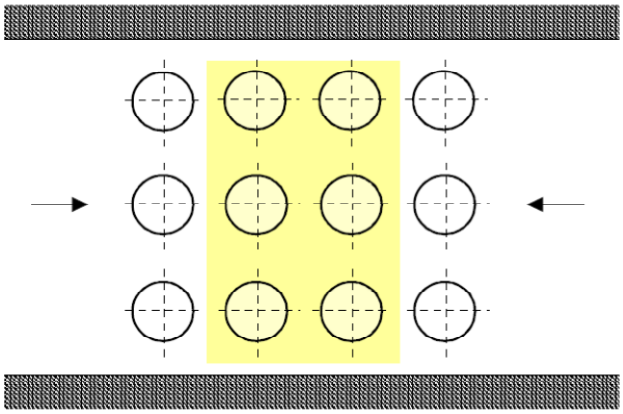
หมายเหตุ [1/] ระยะห่างจากเขื่อนกั้นล้อมรอบ (Dike) ถึงทางสาธารณะที่อยู่ด้านตรงข้ามซึ่ง จะต้องไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร

[2/] Protection for exposure หมายถึงพื้นที่ใกล้เคียงถังเก็บสารเคมีมีระบบดับเพลิงหรือมีระบบน้ำหล่อเย็นเพื่อป้องกันไฟลุกลามกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้

## 4.2 การจัดวางถังเก็บสารเคมี

สำหรับการจัดวางถังเก็บสารเคมีจะต้องคำนึงถึงลักษณะพื้นที่ สมบัติของสารเคมี และการจัดเตรียมเส้นทางหนีไฟ หรือเส้นทางสำหรับรถดับเพลิงเพื่อให้สามารถเข้าช่วยเหลือได้กรณีมีเหตุฉุกเฉิน โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ถังเก็บสารเคมีแต่ละถังจะต้องมีการวางผังถังแต่ละถังอย่างชัดเจน เช่น จุดเติมหรือจุดปล่อยสารเคมี ระบบท่อ และปั๊มสูบสารเคมี เป็นต้น
- สารเคมีที่เก็บในถังเก็บสารเคมีอาจจะทำปฏิกิริยากัน เมื่อเกิดเพลิงไหม้ หรือไม่สามารถดับเพลิงนั้นได้ด้วยเครื่องดับเพลิงชนิดเดียวกัน จึงต้องมีการติดตั้งเครื่องดับเพลิงที่เหมาะสมกับสารเคมีนั้นๆ
- ควรมีระยะที่รถดับเพลิงสามารถฉีดสารดับเพลิงถึงได้ หรือพื้นที่ให้รถดับเพลิงสามารถเข้าถึงได้อย่างน้อย 2 ด้าน ในกรณีที่มีถังเก็บสารเคมีมากกว่า 1 ถัง จะต้องมีทางหรือพื้นที่ให้รถดับเพลิงสามารถเข้าถึงได้ทุกถังเช่นเดียวกัน
- ในกรณีที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ และพื้นที่ที่รถดับเพลิงไม่สามารถเข้าถึงได้ซึ่งเรียกว่า “Shadow zone” ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (พื้นที่ที่ระบายสีเหลือง) จะต้องมีการพิจารณาออกแบบ และติดตั้งระบบดับเพลิงที่เหมาะสม หรือพิจารณาการติดตั้งระบบดับเพลิงจากด้านบนของถังเก็บสารเคมี



**รูปที่ 4.3** พื้นที่ที่รถดับเพลิงไม่สามารถเข้าถึงได้ หรือ “Shadow zone”

# บทที่ 5 การติดตั้ง และการใช้งานถังเก็บสารกัดกร่อน

ในบทนี้จะสรุปรายการอุปกรณ์ที่ควรติดตั้งที่ถังเก็บสารกัดกร่อน โดยจะแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ตามหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์นั้นๆ ดังนี้

1) ส่วนประกอบพื้นฐานและอุปกรณ์วัดระดับของเหลว (Basic component and level devices)
2) อุปกรณ์สำหรับระบบระบายความดัน (Venting device)
3) อุปกรณ์สำหรับป้องกันฟ้าผ่า และการต่อลงดิน (Lightning and grounding system)
4) อุปกรณ์สำหรับระบบป้องกันและระงับไฟไหม้ (Fire protection device)
5) อุปกรณ์เฉพาะเพิ่มเติมอื่นๆ

โดยรายละเอียดการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ แสดงดังนี้

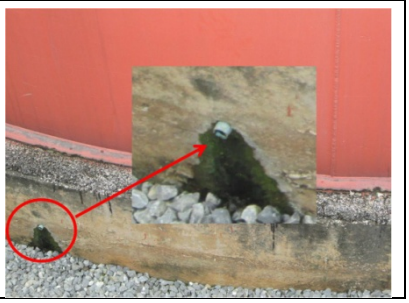
## 5.1 ส่วนประกอบพื้นฐานและอุปกรณ์วัดระดับของเหลว (Basic component and level devices)

ถังเก็บสารกัดกร่อนจะต้องประกอบด้วยส่วนประกอบพื้นฐาน ได้แก่ ช่องคนลงที่หลังคา (Roof manhole) ช่องคนลงที่ผนังถังเก็บ (Shell manhole) ช่องระบาย (Drain) และบ่อรองรับน้ำหรือตะกอนที่พื้นภายในถังเก็บ (Sump) และอุปกรณ์วัดระดับของเหลว

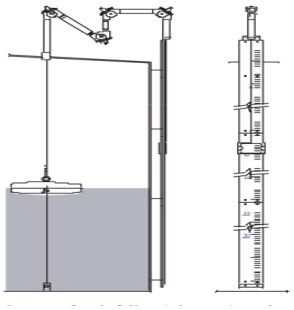
- ช่องคนลงที่หลังคา เป็นช่องเปิดที่อยู่บนหลังคาเพื่อให้สามารถเข้าไปทำงานในระหว่างหยุดซ่อมบำรุงได้
- ช่องคนลงที่ผนังถังเก็บ เป็นช่องเปิดที่อยู่ส่วนล่างของถังเพื่อให้สามารถเข้าไปทำงานในระหว่างหยุดซ่อมบำรุง และเป็นช่องให้นำตะกอนหรือสลัดจ์สารเคมีที่ตกค้างอยู่ภายในถังเก็บออกระหว่างซ่อมบำรุง โดยถังเก็บที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 25 เมตร จะต้องมีช่องคนลงอย่างน้อย 2 ช่อง นอกจากนี้หากมีการติดตั้งช่องคนลงแล้ว ผนังรอบข้างของช่องคนลงจะต้องมีการติดตั้งแผ่นเสริมความแข็งแรง เพื่อสร้างความมั่นคงของผนัง Shell ดังกล่าวไว้ในบทที่ 3
- ช่องระบาย และบ่อรองรับน้ำหรือตะกอนที่พื้นภายในถังเก็บ (Sump) มีไว้เพื่อใช้ระบายน้ำและตะกอนสารเคมีที่สะสมอยู่ในถังเก็บ และทำบ่อพักที่จุดต่ำที่สุดภายในถัง พร้อมต่อท่อระบายผ่านวาล์วออกมาภายนอก
- อุปกรณ์วัดระดับของเหลว เป็นอุปกรณ์วัดระดับความสูงของของเหลวในถังเก็บ โดยให้ใช้เป็นอุปกรณ์แบบอัตโนมัติ (Auto level gauge) เท่านั้น และควรติดตั้งเชื่อมต่อกับระบบแจ้งเตือนระดับของเหลวที่ระดับ High alarm หรือ Low alarm เพื่อให้ของเหลวอยู่ในระดับถังเก็บที่เหมาะสม ไม่ให้สูงจนล้นหรือต่ำเกินไป

รูปตัวอย่าง และหน้าที่การทำงานของส่วนประกอบพื้นฐานและอุปกรณ์วัดระดับของเหลว เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในอุปกรณ์เบื้องต้นแต่ละประเภท แสดงดังตารางที่ 5.1

**ตารางที่ 5.1** ส่วนประกอบพื้นฐานและอุปกรณ์วัดระดับของเหลว

| ส่วนประกอบ | รายละเอียด | รูปตัวอย่าง |
|---|---|---|
| **ส่วนประกอบพื้นฐาน** | | |
| 1) ช่องคนลงที่หลังคา | เป็นช่องเปิดที่อยู่บนหลังคาเพื่อให้สามารถเข้าไปทำงาน ในระหว่างหยุดซ่อมบำรุงได้ |  |
| 2) ช่องคนลงที่ผนังถังเก็บ | เป็นช่องทางสำหรับเข้าไปทำความสะอาด บำรุงรักษาภายหลังการถ่ายเทสารเคมีออกไปหมดแล้ว นอกจากนี้หากมีการติดตั้งช่อง Manhole แล้ว ผนังรอบข้างของ Manhole จะต้องมีการติดตั้งแผ่นเสริมความแข็งแรง เพื่อสร้างความมั่นคงของผนัง Shell ดังกล่าว |  |
| 3) บ่อรองรับน้ำหรือตะกอนที่พื้นภายในถังเก็บ (Sump) | บ่อพักน้ำหรือสารเคมีที่ตกค้าง โดยทั่วไป sump จะตั้งอยู่บริเวณต่ำสุดของถังเก็บ |  |
| 4) ช่องระบาย | ท่อเชื่อมต่อกับบ่อพัก ใช้เพื่อระบายน้ำและกากตะกอนสารเคมีที่สะสมอยู่ในถังเก็บ |  |

**ตารางที่ 5.1** ส่วนประกอบพื้นฐานและอุปกรณ์วัดระดับของเหลว (ต่อ)

| ส่วนประกอบ | รายละเอียด | รูปตัวอย่าง |
|---|---|---|
| 5) บันได (Stair) และราวจับ (Hand rail) | ใช้เป็นทางขึ้น-ลง และป้องกันการพลัดตก |  |
| 6) ถุงบอกทิศทางลม (Wind sock) | ใช้เพื่อบอกทิศทางของกระแสลมที่พัดผ่านบริเวณถังเก็บ |  |
| 7) อุปกรณ์วัดระดับของเหลว | | |
| 7.1) อุปกรณ์วัดระดับอัตโนมัติ (Auto level gauge) | เป็นอุปกรณ์แบบอัตโนมัติ ใช้วัดระดับสารเคมีภายในถังเก็บ อุปกรณ์ดังกล่าวมีส่วนเคลื่อนที่สูงขึ้นหรือลดต่ำลงตามระดับความสูงของสารที่เก็บอยู่ภายในถังเก็บ |  |
| 7.2) ระบบแจ้งเตือนระดับของเหลว (Level alarm) | สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า High alarm หรือ Low alarm เป็นอุปกรณ์แจ้งเตือนปริมาตรของสารเคมีที่อยู่ในถังเก็บให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ไม่ให้สูงจนล้นหรือต่ำเกินไป |  |

## 5.2 อุปกรณ์สำหรับระบบระบายความดัน (Venting devices)

ถังเก็บสารกัดกร่อนจะต้องมีระบบระบายอากาศและความดันที่เหมาะสม เพื่อป้องกันอันตรายและการยุบตัวของถังเก็บจากการเปลี่ยนแปลงความดันที่ลดลงหรือความดันส่วนเกินที่เพิ่มขึ้น โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบระบายความดันนี้จะต้องออกแบบและได้มาตรฐานตามข้อกำหนดของ API 2000 : Venting Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks เพื่อให้สามารถควบคุมอัตราส่วนค่า Pressure : Vacuum ให้เหมาะสมได้ตามที่ออกแบบไว้ สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบระบายความดันสำหรับสารกัดกร่อน มีหลายแบบ แต่ห้ามใช้แบบที่เป็น Open vent หรือปล่อยระบายสู่สิ่งแวดล้อมโดยตรง สำหรับอุปกรณ์ระบายความดันที่สามารถนำมาใช้สำหรับถังเก็บสารกัดกร่อน ดังนี้

- Pressure safety valve (วาล์วนิรภัย) หรือ Pressure relief valve (วาล์วระบายแรงดัน) เป็นอุปกรณ์ความปลอดภัยของระบบมีหน้าที่หลักคือระบายแรงดันภายในระบบออก ซึ่งจะทำงานเองโดยอัตโนมัติเมื่อมีแรงดันเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้
- Pressure vacuum valve (หรือเรียกย่อๆ ว่า PV Valve) หรือ Breather valve เป็นอุปกรณ์ความปลอดภัยของระบบซึ่งจะทำงานเองโดยอัตโนมัติ มีหน้าที่หลักคือ ระบายแรงดันภายในระบบออกเมื่อมีแรงดันเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้ และเปิดให้อากาศภายนอกเข้ามาในถัง เมื่อมีแรงดันของสภาวะสุญญากาศต่ำกว่าที่กำหนดไว้

ในการเลือกใช้อุปกรณ์สำหรับระบบระบายความดันนี้ ผู้ประกอบกิจการโรงงานจะต้องพิจารณาถึงลักษณะการใช้งานของถังเก็บ และมูลค่าของผลิตภัณฑ์ที่จัดเก็บภายในถัง รูปตัวอย่าง และหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์สำหรับระบบระบายความดัน เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในอุปกรณ์เบื้องต้นแต่ละประเภท แสดงดังตารางที่ 5.2

**ตารางที่ 5.2** อุปกรณ์สำหรับระบบระบายความดัน

| ส่วนประกอบ | รายละเอียด | รูปตัวอย่าง |
|---|---|---|
| 1) Pressure safety valve (วาล์วนิรภัย) หรือ Pressure relief valve (วาล์วระบายแรงดัน) | เป็นอุปกรณ์ความปลอดภัยของระบบมีหน้าที่หลักคือระบายแรงดันภายในระบบออก ซึ่งจะทำงานเองโดยอัตโนมัติเมื่อมีแรงดันเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้ |  |

**ตารางที่ 5.2** อุปกรณ์สำหรับระบบระบายความดัน (ต่อ)

| ส่วนประกอบ | รายละเอียด | รูปตัวอย่าง |
|---|---|---|
| 2) PV Valve หรือ Breather valves | อุปกรณ์ชนิดนี้ถูกออกแบบเพื่อความปลอดภัยของถังเก็บ ในกรณีที่ถังมีความดันมากเกินปกติ ระบบนี้จะระบายความดันออกมา เพื่อป้องกันถังเก็บระเบิด ในทางตรงกันข้าม หากภายในถังมีความดันลดลง ระบบนี้จะเปิดและนำอากาศภายนอกเข้าสู่ถังเก็บ เพื่อป้องกันถังยุบตัว |  |

## 5.3 อุปกรณ์สำหรับป้องกันฟ้าผ่า และการต่อลงดิน (Lightning and Grounding system)

ถังเก็บสารกัดกร่อนจะต้องมีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า และการต่อลงดินตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า หรือระบบ Lightning : ถังเก็บที่อยู่ภายนอกอาคารจะต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้า โดยจำนวนตัวนำล่อฟ้าจะต้องครอบคลุมบริเวณที่ต้องการป้องกันฟ้าผ่าได้ทั้งหมด และตัวนำล่อฟ้าที่เป็นทองแดงควรมีความต้านทานจำเพาะไม่เกิน 0.02 โอห์มตารางมิลลิเมตรต่อเมตร หรืออะลูมิเนียมที่มีความต้านทานจำเพาะไม่เกิน 0.03 โอห์มตารางมิลลิเมตรต่อเมตร เว้นแต่สถานที่ที่มีการผุกร่อนรุนแรง ให้ใช้ทองแดงเท่านั้น
- กรณีถังเก็บสารกัดกร่อนที่ทำจากเหล็กความหนามากกว่า 5 มม. หรืออะลูมิเนียมความหนามากกว่า 7 มม. ถือได้ว่าตัวถังเก็บเป็นตัวนำล่อฟ้าโดยธรรมชาติ จึงไม่ต้องมีการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าเพิ่มเติม แต่จะต้องติดตั้งระบบสายดินให้เหมาะสม
- การต่อลงดิน หรือระบบ Grounding : ถังเก็บสารกัดกร่อนจะต้องติดตั้งสายดิน ที่มีค่าความต้านทานไม่เกิน 10 โอห์ม ตาม "มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า ภาคที่ 3" ของ วสท. โดยจำนวนจุดที่ต่อตัวนำลงดินจะต้องพิจารณาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังเก็บ คือ
  - กรณีถังเก็บสารกัดกร่อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 20 เมตร ให้ต่อลงดิน 1 จุด
  - กรณีถังเก็บสารกัดกร่อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 20 เมตร ให้ต่อลงดินอย่างน้อย 2 จุด ตำแหน่งที่อยู่ตรงกันข้าม
- สำหรับถังเก็บสารกัดกร่อนที่ไม่ได้ติดตั้งตัวนำล่อฟ้า ควรพิจารณาติดตั้งตัวนำลงดินอย่างน้อย 2 จุด และต่อเชื่อมถึงกันทุกถัง โดยจะต้องมีการประสานกันระหว่างตัวถังกับตัวนำของระบบสายดิน โดยการเชื่อม การบีบอัด การยึดด้วยสกรู เพื่อกระจายกระแสฟ้าผ่าลงสู่ดินโดยไม่เกิดความเสียหายต่อตัวถัง

รูปตัวอย่าง และหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์สำหรับป้องกันฟ้าผ่า และการต่อลงดิน เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในอุปกรณ์เบื้องต้นแต่ละประเภท แสดงดังตารางที่ 5.3

**ตารางที่ 5.3** อุปกรณ์สำหรับป้องกันฟ้าผ่า และการต่อลงดิน

| ส่วนประกอบ | รายละเอียด | รูปตัวอย่าง |
|---|---|---|
| 1) ตัวนำล่อฟ้า หรือสายล่อฟ้า | เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ดักรับวาบฟ้าผ่า เพื่อไม่ให้ฟ้าผ่าลงที่ถังโดยตรง |  |
| 2) ตัวนำลงดิน หรือสายดิน | เป็นอุปกรณ์ช่วยถ่ายเทประจุไฟฟ้าให้กระจายลงสู่ดิน |  |

## 5.4 อุปกรณ์สำหรับระบบป้องกันและระงับไฟไหม้ (Fire protection device)

ถังเก็บสารกัดกร่อนจะต้องประกอบด้วยอุปกรณ์ป้องกันไฟไหม้พื้นฐาน ได้แก่ ระบบน้ำและโฟมดับเพลิง สำหรับรายละเอียดอุปกรณ์มีดังนี้

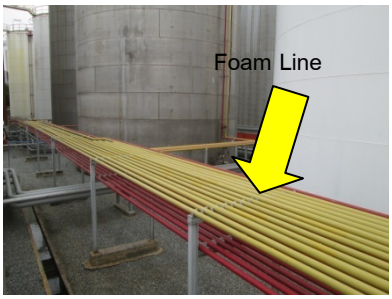
- ระบบโฟมดับเพลิง[1] (Foam system) เป็นระบบที่ใช้สำหรับดับเพลิงไหม้สารเคมีประกอบด้วย ถังเก็บโฟม (Foam chamber) และระบบท่อนำโฟม (Foam line deflector) โดยจะต้องมีอัตราการใช้สารละลายโฟม ดังนี้
  - 4.1 ลิตรต่อนาทีต่อตารางเมตร สำหรับ ถังเก็บชนิดหลังคาไม่เคลื่อนที่
  - 12.2 ลิตรต่อนาทีต่อตารางเมตร สำหรับ ถังเก็บชนิดหลังคาเคลื่อนที่ภายใน
- ระบบน้ำดับเพลิงและหล่อเย็น[1] (Water cooling / Sprinkler system) เป็นระบบน้ำที่มีไว้สำหรับฉีดน้ำหล่อเลี้ยงถังเมื่อเกิดเพลิงไหม้ เพื่อลดอุณหภูมิของถังเก็บ ประกอบด้วย ท่อน้ำและ Sprinkler ชุดอุปกรณ์น้ำดับเพลิง และปืนฉีดน้ำดับเพลิง ซึ่งมีข้อกำหนดเบื้องต้นดังนี้ ดังนี้

[1] อ้างอิงตาม กฎกระทรวงพลังงาน เรื่อง สถานที่เก็บรักษาน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2551 ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 125 ตอนที่ 48ก ลงวันที่ 14 มีนาคม 2551

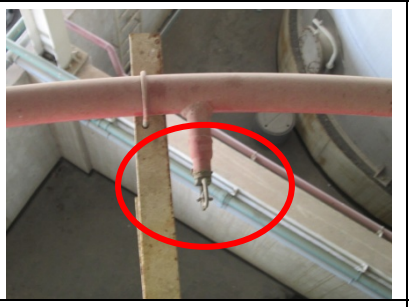
- น้ำหล่อเย็น ต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่า 2 ลิตรต่อนาทีต่อตารางเมตร ในเวลา 1 ชั่วโมง
- น้ำดับเพลิง ต้องมีปริมาณน้ำในอัตราไม่น้อยกว่า 1,900 ลิตรต่อนาที เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที

รูปตัวอย่าง และหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์สำหรับระบบป้องกันและระงับไฟไหม้ เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในอุปกรณ์เบื้องต้นแต่ละประเภท แสดงดังตารางที่ 5.4

**ตารางที่ 5.4** อุปกรณ์สำหรับระบบป้องกันและระงับไฟไหม้

| ส่วนประกอบ | รายละเอียด | รูปตัวอย่าง |
|---|---|---|
| 1) ระบบโฟมดับเพลิง (Foam System) | | |
| 1.1) Foam line | ท่อนำโฟมที่ต่อออกมาจากเครื่องผสมน้ำยาโฟม (Foam indicator) ซึ่งจะทำงานเมื่อเครื่องตรวจจับความร้อนได้รับความร้อนจนถึงค่าที่ออกแบบไว้แล้วจึงส่งสัญญาณไปที่ตู้ควบคุม จากนั้นจึงสั่งให้ Deluge valve เปิดเพื่อให้น้ำดับเพลิงไหลผ่านตัวผสม (Line proportioner) เกิดเป็น Foam solution |  |
| 1.2) Foam chamber | อุปกรณ์นี้จะติดตั้งบริเวณขอบหลังคาของถังเก็บสาร ทำหน้าที่ดูดอากาศไปผสมกับโฟมเพื่อเกิดเป็นฟองพร้อมที่จะดับเพลิง |  |
| 1.3) Foam line deflector | โฟมที่พร้อมทำหน้าที่ดับเพลิงนั้นจะถูกฉีดออกไปกระทบ Deflector เป็นผลให้โฟมกระจายออกมาครอบคลุมพื้นที่ในรัศมีที่ต้องการ |  |

**ตารางที่ 5.4** อุปกรณ์สำหรับระบบป้องกันและระงับไฟไหม้ (ต่อ)

| ส่วนประกอบ | รายละเอียด | รูปตัวอย่าง |
|---|---|---|
| 2) ระบบน้ำหล่อเย็น (Water Cooling / Sprinkler System) | | |
| 2.1) ท่อน้ำและหัวฉีดน้ำดับเพลิง (Sprinkler) | หัวฉีดน้ำจะติดตั้งอยู่ด้านบนของถังใช้สำหรับลดอุณหภูมิของถังเมื่อเกิดเพลิงไหม้ |  |
| 2.2) อุปกรณ์ชุดน้ำดับเพลิง | เป็นชุดอุปกรณ์ดับเพลิงพื้นฐาน เช่น สายฉีดน้ำ หัวรับน้ำ เป็นต้น |  |
| 2.3) ปืนฉีดน้ำดับเพลิง (Jet gun) | ปืนฉีดน้ำดับเพลิงจะติดตั้งอยู่บริเวณมุมทั้ง 4 ด้านรอบๆ พื้นที่ถังเก็บ เหมาะสำหรับใช้ควบคุมเพลิงและอุณหภูมิจากระยะไกล หรือในกรณีที่มีจุดที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ |  |

## 5.5 อุปกรณ์เฉพาะเพิ่มเติมอื่น ๆ

สำหรับถังเก็บสารกัดกร่อน ผู้ประกอบกิจการโรงงานควรจะพิจารณาติดตั้งระบบควบคุมการปลดปล่อยสาร (Emission) และอุปกรณ์ความปลอดภัยอื่นๆ เพิ่มเติม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานและควบคุมสารกัดกร่อนในถังเก็บ โดยเลือกใช้ระบบที่เหมาะสมกับของเหลวที่จัดเก็บ ขณะที่สารกัดกร่อนที่มีสมบัติความเป็นพิษด้วย จะต้องพยายามควบคุมไม่ให้มีไอระเหยปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศภายนอก

- อุปกรณ์ดักความชื้น (Vent dryers) มีหน้าที่ป้องกันความชื้นจากอากาศเข้าไปในถังเก็บ เพื่อป้องกันไม่ให้สารที่จัดเก็บมีความเข้มข้นเจือจางลง เนื่องจากสารบางตัวจะมีฤทธิ์กัดกร่อนรุนแรงมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นเจือจาง เช่น กรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 98% (w/w) เป็นต้น

**กรณีสารกัดกร่อนมีสมบัติเป็นพิษ ควรพิจารณาระบบควบคุมการระบายมลพิษเพิ่มเติม ดังนี้**

- ระบบควบคุมการปลดปล่อยสาร (Emission) ในการควบคุมไอระเหยของของสารกัดกร่อน จะต้องพิจารณาถึงลักษณะการใช้งาน และมูลค่าของของเหลว และความเป็นพิษของสาร ซึ่งมีวิธีการควบคุมอยู่หลายวิธี เช่น
  - ระบบเตาเผา (Incinerator) เป็นวิธีง่ายที่สุด แต่ถ้าติดตั้งระบบนี้จะต้องตรวจสอบมลสารที่ระบายออกจากปล่องของเตาเผาเพิ่มเติมให้มีค่าอยู่ตามที่มาตรฐานกำหนด เนื่องจากวิธีนี้อาจจะส่งผลให้ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และมลสารอื่นๆ เพิ่มขึ้น
  - ระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ เช่น ระบบบำบัดแบบตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic emission control system) ระบบ Wet scrubber เหมาะสำหรับใช้บำบัดไอระเหยของเหลวที่มีความเป็นพิษ เช่น เบนซีน ฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นต้น โดยไอระเหยจากถังเก็บจะถูกส่งไปบำบัดในระบบบำบัดมลพิษก่อนที่ปล่อยระบายออกสู่บรรยากาศภายนอก และต้องตรวจสอบมลสารที่ระบายออกจากระบบบำบัดมลพิษให้มีค่าอยู่ตามที่มาตรฐานกำหนด
- ระบบ Vapor return line เหมาะสำหรับใช้กับไอระเหยของเหลวที่มีความเป็นพิษ โดยจะดึงไอระเหยกลับเข้าสู่ถังเก็บ หรือเชื่อมต่อกับระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ
- ระบบการปกคลุมด้วยก๊าซไนโตรเจนหรือก๊าซเฉื่อย (Nitrogen/Inert gas blanketing) เป็นวิธีที่เหมาะกับของเหลวที่ระเหยกลายเป็นไอได้ง่าย มีความไวไฟสูง และถูกออกซิไดซ์ด้วยอากาศได้ง่าย โดยติดตั้งเพื่อป้องกันไอระเหยของเหลวออกสู่บรรยากาศภายนอก และเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศไหลเข้ามาในถังเก็บ และในกรณีที่ติดตั้งระบบปกคลุมด้วยก๊าซเฉื่อยนี้จะต้องพิจารณาติดตั้ง PV Valve ควบคู่ด้วย

**กรณีสารกัดกร่อนมีสมบัติไวไฟ ควรพิจารณาติดตั้ง อุปกรณ์ความปลอดภัยอื่น ๆ (Safety equipment) เพิ่มเติม ดังนี้**

- อุปกรณ์ตรวจจับก๊าซและไอระเหยของสารกัดกร่อน ทำหน้าที่ตรวจจับไอระเหยของสารกัดกร่อนที่มีสมบัติไวไฟ โดยทั่วไปจะติดตั้งใกล้กับถังเก็บ พื้นที่และอุปกรณ์เปลี่ยนถ่ายสาร เช่น ปั๊มและท่อระบาย โดยอาจอยู่ในรูปของเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น อินฟราเรด กล้องตรวจจับ (Optical beam) หรือระบบ Catalytic oxidation เป็นต้น
- โทรทัศน์วงจรปิด (CCTV) เป็นอุปกรณ์เพิ่มเติม โดยทั่วไปถูกนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ด้านการรักษาความปลอดภัย แต่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการตรวจจับและเฝ้าระวังเมื่อมีการเกิดไอระเหยของสารกัดกร่อน เกิดขึ้นในบริเวณที่เสี่ยง

# บทที่ 6 การสร้างฐานรากคอนกรีต

ในบทนี้จะสรุปวัสดุ และสิ่งที่ต้องคำนึงถึงสำหรับงานโครงสร้างฐานรากคอนกรีต ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐานสากล เช่น ACI 313-97 Standard Practice for Design and Construction of Concrete Silos and Stacking Tubes for Storing Granular Materials, ACI 318-95 Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI 301–99 Standard Specifications for Structural Concrete, ASTM Standards C 31/ Standard Practice for Making and Curing, ASTM Standards C 143M-98 Cement Concrete และ API STANDARD 650 Welded Tanks for Oil Storage เป็นต้น โดยมาตรฐานอ้างอิงเหล่านี้มักนำไปใช้เป็นเพียงข้อแนะนำปฏิบัติขั้นต่ำ มิได้มีผลบังคับให้ปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัดดังเช่นกฎหมาย ดังนั้น วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องใช้ความรู้ ความเชี่ยวชาญ ประสบการณ์ หรือวิจารณญาณประกอบอย่างรอบคอบ โดยคำนึงถึงสภาพข้อเท็จจริง ความสมเหตุสมผล อย่างไรก็ตามผู้ใช้คู่มือฯ ฉบับนี้ยังคงต้องคำนึงถึงการปฏิบัติตามกฎหมายที่บังคับใช้ในพื้นที่นั้นๆ รวมทั้งยกตัวอย่างอุปกรณ์พื้นฐานที่ต้องติดตั้งสำหรับถังเก็บสารกัดกร่อน ประกอบด้วย

## 6.1 คุณสมบัติการรับกำลังของชั้นดิน

การรับกำลังของชั้นดิน หรือแรงดันดิน หรือแรงดันแบกทาน (Bearing pressure) ภายใต้ฐานราก หาได้โดยสมมุติให้ฐานรากเป็นองค์อาคารที่แข็ง และดินใต้ฐานรากโดยตรงเป็นวัสดุเนื้อเดียวที่มีความยืดหยุ่น (Homogeneous elastic material) ที่ถูกตัดขาดจากดินโดยรอบ เนื่องจากแรงดันในดินถูกสมมุติให้แปรผันโดยตรงกับการเสียรูปทรงของดิน แรงดันใต้ฐานรากที่ถูกน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนจึงถูกสมมุติให้แผ่สม่ำเสมอเพราะดินถูกอัดอย่างสม่ำเสมอ

แต่เนื่องการกระจายแรงดันใต้ฐานรากไม่สม่ำเสมอโดยขึ้นกับ (1) ความอ่อนตัว (Flexibility) (2) ความลึกของฐานรากจากผิวดิน และ (3) ชนิดของดิน ตัวอย่างเช่น การทรุดตัวของฐานรากในดินที่ไม่มีความเหนียว เช่น ทราย หรือหิน จะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่ขอบฐานราก สำหรับฐานรากที่อยู่ใกล้ผิวดินซึ่งมีผิวดินบางๆ คลุมอยู่จะมีแรงต้านทานไม่ให้ดินหนีออกจากฐานเล็กน้อย การสูญเสียดินรองรับที่ขอบทำให้แรงดันแบกทานลดลง ถ้าฐานรากอยู่ลึกเพียงพอแรงดันดินจะสม่ำเสมอมากขึ้นเนื่องจากน้ำหนักดินถมมีมากจนสามารถป้องกันการเคลื่อนตัวออกด้านข้างของดินใต้ฐานรากได้

ถ้าฐานรากตั้งอยู่บนดินเหนียว การทรุดตัวอย่างสม่ำเสมอของฐานรากจะทำให้เกิดการกระจายแรงดันในดินเหนียว หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในดินโดยรอบฐานรากจะทำให้เกิดการรองรับในแนวดิ่งเพิ่มเติม แรงดันที่ขอบจึงมีมากขึ้น แม้ว่าแรงดันที่แท้จริงใต้ฐานรากจะไม่สม่ำเสมอก็ตาม

ในการออกแบบฐานรากรับแรงตามแนวแกนจะสมมุติให้แรงดันกระจายสม่ำเสมอไม่ว่าจะเป็นดินชนิดใดทั้งนี้ก็เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์จากสมการ

$$q_a = \frac{q_u}{F.S.}$$

เมื่อ $q_u$ คือ หน่วยแรงที่ทำให้ฐานรากวิบัติ

F.S. คือ ตัวคูณความปลอดภัย (Factor of safety) ประมาณ 2.5 ถึง 3 ตามหลักทางวิศวกรรมธรณีเทคนิค

$q_a$ คือ หน่วยแรงของน้ำหนักบรรทุกใช้งาน ถ้าออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งานก็จะนำไปใช้ได้ทันที

## 6.2 การกำหนดขนาดฐานราก

ขนาดของฐานรากพิจารณาจากน้ำหนักถังเก็บ (หัวข้อ 3.6 บทที่ 3) หรือเรียกว่าน้ำหนักบรรทุกในสภาวะใช้งาน (Service load) และแรงดันดินที่ยอมให้ซึ่งจะต่างจากคำนวณออกแบบโดยวิธีกำลังซึ่งจะใช้น้ำหนักบรรทุกประลัย ทั้งนี้เนื่องจากค่าอัตราส่วนความปลอดภัยในการออกแบบโครงสร้างและการออกแบบกำลังของดินต่างกัน

หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้หาตามหลักของปฐพีกลศาสตร์บนพื้นฐานของการทดสอบคุณสมบัติของดิน หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้ $q_a$ ภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งานโดยปกติจะใช้ตัวคูณความปลอดภัย 2.5 ถึง 3.0 ของหน่วยแรงแบกทานที่ทำให้การทรุดตัวถึงขีดจำกัด ตาม พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ถ้าไม่มีผลทดสอบดินก็ให้ใช้กำลังแบกทานซึ่งจำแนกตามชนิดของดินตามตารางที่ 6.1 ดังนี้

**ตารางที่ 6.1** กำลังแบกทานของดิน ตาม พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

| ประเภทดิน | กำลังแบกทาน (ตัน/ตร.ม.) |
|---|---|
| ดินอ่อนหรือถมดินไว้แน่นเต็มที่ | 2 |
| ดินปานกลางหรือทรายร่วน | 5 |
| ดินแน่นหรือทรายหยาบ | 10 |
| กรวดหรือดินดาน | 20 |
| หินดินดาน | 25 |
| หินปูนหรือหินทราย | 30 |
| หินอัคนีที่ยังไม่แปรสภาพ | 100 |

สำหรับฐานรากรับน้ำหนักตรงศูนย์พื้นที่ฐานรากที่ต้องการ คือ

$$A_{req} = \frac{D(structure,\ footing, surch\arg e) + L}{q_u}$$

เมื่อ $A_{req}$ คือ พื้นที่ฐานรากที่ต้องการ

$q_u$ คือ หน่วยแรงที่ทำให้ฐานรากวิบัติ

D คือ น้ำหนักบรรทุกคงที่

L คือ น้ำหนักบรรทุกจร

## 6.3 น้ำหนักกระทำบนฐานรากและแรงปฏิกิริยา

6.3.1 ฐานรากต้องมีขนาด สัดส่วนที่ถูกต้องต่อการต้านทานน้ำหนักกระทำบนฐานรากและ แรงปฏิกิริยาต่างๆ ตามเกณฑ์การออกแบบที่เหมาะสม

6.3.2 ขนาดพื้นที่ใต้ฐานหรือจำนวนเสาเข็มให้พิจารณาจากแรงกระทำและโมเมนต์ที่กระทำส่งผ่านจากฐานรากสู่ชั้นดินหรือเสาเข็ม โดยคุณสมบัติของแรงดันจากดินและการรับกำลังของเสาเข็มให้พิจารณาตามหลักการปฐพีกลศาสตร์

6.3.3 สำหรับฐานรากที่วางบนเสาเข็ม การคำนวณโมเมนต์และแรงเฉือนให้พิจารณาจากแรงปฏิกิริยากระทำที่ศูนย์กลางเสาเข็ม

## 6.4 การเลือกชนิดของฐานราก

การเลือกชนิดของฐานรากรองรับถังขึ้นอยู่กับขนาดของถัง สภาวะของพื้นที่ สภาวะแวดล้อมต่างๆ ดังตารางที่ 6.2

**ตารางที่ 6.2** ข้อดี ข้อเสีย ของฐานรากแต่ละประเภท

| ชนิดของฐานราก | ข้อดี | ข้อเสีย | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|
| ฐานวงแหวนคอนกรีต (Concrete ringwall) | 1. มีการทรุดตัวตามขอบริมน้อย<br>2. มีการกระจายแรงจากผนังถังได้ดี | 1. มีราคาแพง ขึ้นอยู่กับสถานที่<br>2. ไม่เหมาะกับสภาพชั้นดินอ่อน<br>3. คอนกรีตวงแหวนต้องทำเหล็กเสริม | 1. เหมาะกับถังที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 6 เมตร<br>2. ใช้บนสภาพดินดีหรือสภาพดินปานกลาง |
| ฐานวงแหวนหินคลุก (Crushed stone ringwall) | 1. ราคาแพงน้อยกว่าฐานวงแหวนคอนกรีต<br>2. มีการกระจายแรงจากผนังถังสู่ชั้นดินได้ดี | 1. วัสดุหินคลุกอาจหลุดออกจากใต้ฐาน<br>2. ไม่เหมาะกับชั้นดินอ่อน | 1. เลือกใช้ได้ในกรณีชั้นดินมีสภาพดี<br>2. ใช้ในกรณีคอนกรีตจัดหาได้ลำบากหรือมีราคาแพง |

**ตารางที่ 6.2** ข้อดี ข้อเสีย ของฐานรากแต่ละประเภท (ต่อ)

| ชนิดของฐานราก | ข้อดี | ข้อเสีย | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|
| ฐานพื้นคอนกรีต (Concrete slab) | 1. มีการทรุดตัวน้อย<br>2. รับแรงจากผนังถังและกระจายแรงได้ดี<br>3. มีอัตราการกัดกร่อนน้อย<br>4. สามารถออกแบบใช้กับถังที่มีสมอยึดต้านการล้มคว่ำเนื่องจากแรงลมและแผ่นดินไหว | 1. ราคาค่อนข้างแพง โดยเฉพาะสำหรับถังขนาดใหญ่<br>2. อาจมีการแตกร้าวที่พื้นกรณีสภาพชั้นดินอ่อน | 1. ใช้สำหรับถังขนาดเล็ก ไม่แนะนำใช้กับถังกว้างเกิน 6 เมตร เพราะราคาแพง<br>2. เหมาะใช้กับสภาพดินดีหรือชั้นดินสภาพปานกลางที่จัดเตรียมใช้งาน |
| ฐานถมหินเกล็ดบดอัดแน่น (Compacted granular fill) | 1. ราคาถูก<br>2. ก่อสร้างง่าย<br>3. วัสดุก่อสร้างหาได้ง่าย | 1. จำกัดให้ใช้กับถังเล็กบนชั้นดินสภาพดี<br>2. ไม่สามารถใช้กับถังที่มีสมอยึดต้านการล้มคว่ำเนื่องจากแรงลมและแผ่นดินไหว<br>3. วัสดุหลุดออกจากฐานได้ | 1. ใช้บนสภาพดินดีเท่านั้น |
| ฐานเสาเข็ม (Pile foundation) | 1. มีการทรุดตัวน้อย<br>2. ใช้กับถังที่มีสมอยึดต้านการล้มคว่ำเนื่องจากแรงลมและแผ่นดินไหว | 1. มีราคาแพงที่สุด<br>2. มีการออกแบบยุ่งยาก<br>3. ต้องการการเจาะสำรวจชั้นดิน | 1. ใช้ทำฐานถังได้ทุกประเภทบนสภาพดินอ่อนและที่ไม่เหมาะกับฐานชนิดอื่น |

## 6.5 น้ำหนักและแรงกระทำต่อฐานราก

ฐานรากรับน้ำหนักถังเก็บสารเคมีต้องออกแบบให้รับน้ำหนักและแรงกระทำดังนี้

6.5.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead load) เป็นน้ำหนักของวัสดุโลหะที่ใช้สร้างถังเก็บสารเคมี เช่น แผ่นผนัง หลังคา พื้น บันได เสารับหลังคา ท่อต่างๆ

6.5.2 น้ำหนักบรรทุกจร (Product load) เป็นน้ำหนักสารเคมีที่บรรจุในถัง โดยคำนวณจากระดับของเหลวที่บรรจุสูงสุด และค่าความถ่วงจำเพาะเพื่อใช้คำนวณหาน้ำหนัก และจะต้องพิจารณาของเหลว เช่น น้ำ ที่จะใช้ในการทดสอบ โดยพิจารณาค่าความถ่วงจำเพาะที่แตกต่างกันด้วย

6.5.3 แรงลม – ฐานรากของถังเก็บสารเคมีต้องออกแบบให้สามารถต้านทานแรงลม โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีถังเปล่าหรือถังบรรจุเพียงบางส่วน

6.5.4 แรงแผ่นดินไหว – แผ่นดินไหวก่อให้เกิดแรงกระทำต่อถังทำให้เกิดแรงยกตัวถัง การล้มคว่ำหรือการลื่นไถล

น้ำหนักของถังรวมสารเคมีที่บรรจุและสัดส่วนระหว่างความสูงถังต่อเส้นผ่านศูนย์กลางถัง (H/D) จะส่งผลต่อขีดความสามารถต่อการต้านการล้มคว่ำของถังเพื่อคำนึงถึงความมั่นคงของถัง

ให้คำนวณน้ำหนักของฐานรากรวมเข้าไปด้วยกับน้ำหนักของผนังถัง และให้วิเคราะห์ถังเป็นชนิดไม่มีสมอยึด

6.5.5 แรงเฉือน –ให้ประเมินแรงเฉือนทะลุ (Punching shear) เมื่อพิจารณาถึงความกว้างของฐานราก

- ค่า Safety factor ของแรงเฉือนทะลุ แรงเฉือนที่ขอบ และแรงเฉือนที่ฐาน (Edge shear and base shear) ให้มีค่ามากกว่า 1.5 เท่าแรงเฉือนทางเดียว (One-way shear)
- ฐานรากอาจวิบัติโดยการเฉือนเหมือนคานกว้างเช่นดังในกรณีของฐานรากรองรับผนัง หน้าตัดวิกฤตอยู่ที่ระยะ d จากผิวเสา กำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ

$$V_c = 0.53\sqrt{f_c' bd}$$

เมื่อ $V_c$ คือ กำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต

$f_c$ คือ แรงอัดที่ผิวบนของคาน

b คือ ความกว้างของฐานราก

d คือ ความลึกที่นับจากผิวบนฐานรากมายังจุดศูนย์ถ่วงของกลุ่มเหล็กเสริม

การเสริมเหล็กรับแรงเฉือนมักไม่ค่อยทำกันเนื่องจากจัดวางเหล็กยาก ดังนั้นหากกำลังเฉือนของคอนกรีตไม่พอก็จะเพิ่มความหนาฐานรากเพื่อให้ $V_c$ เพิ่มขึ้นจนเพียงพอคือ $V_c \geq V_u$

เมื่อ $V_u$ คือ แรงเฉือนที่เกิดจากแรงดันประลัย

## 6.6 ขั้นตอนการออกแบบฐานรากถัง

การออกแบบฐานรากต้องจะต้องมีวิศวกรโยธา ระดับสามัญวิศวกรขึ้นไปรับรองรายการคำนวณฐานรากแบบแปลน ในการออกแบบ โดยจะต้องคำนึงถึงขั้นตอนดังนี้

6.6.1. การออกแบบต้านแผ่นดินไหว (Seismic Design) จะต้องคำนึงถึงหัวข้อย่อยต่อไปนี้

- คำนวณหาค่าโมเมนต์ล้มคว่ำ (Overturning Moment) เนื่องจากแรงแผ่นดินไหว (Seismic forces) ที่กระทำด้านล่างของผนังถัง
- คำนวณหาค่าแรงต้านต่อค่าโมเมนต์ล้มคว่ำ (Overturning moment) ที่ด้านล่างของผนังถัง
- ค่านี้อาจหาได้จากน้ำหนักของผนังถัง และค่าที่ได้จากการออกแบบสมอยึดผนังถัง
- สำหรับถังที่ออกแบบแบบไม่มีสมอยึด ให้ใช้ค่าน้ำหนักของสารเคมีที่บรรจุในถังในการออกแบบต้านแรงการล้ม (Resist overturning) โดยค่านี้ขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นเหล็ก (Plate) ด้านล่างถังที่อาจถูกแรงยกลอยออกจากฐานราก
- คำนวณแรงอัดที่ผนัง (Shell compression)

- หาค่าแรงอัดผนังที่ยอมให้สูงสุด
- แผ่นผนังถังเก็บสารเคมี (Upper shell course) กรณีที่ความหนาของผนังที่คำนวณเพื่อต้านการล้มคว่ำมีค่ามากกว่าความหนาออกแบบสำหรับการใช้งานที่ภาวะปกติ (สารเคมีอยู่นิ่ง) จะต้องพิจารณาเพิ่มความหนาของถังแต่ละชั้น
- คำนวณสลักสมอยึดถัง (Anchorage of tanks) โดยรูปสลักสมอยึดถังแสดงดังรูปที่ 6.1
- ขนาดและจำนวนสมอยึดถังต้องออกแบบตามแรงต้านทานของสมอยึดต่ำสุด ตามเส้นรอบวงของผนังถัง โดยพิจารณาจากแรงลม (Wind load) โมเมนต์การล้มคว่ำ และการลื่นไถล (Sliding)



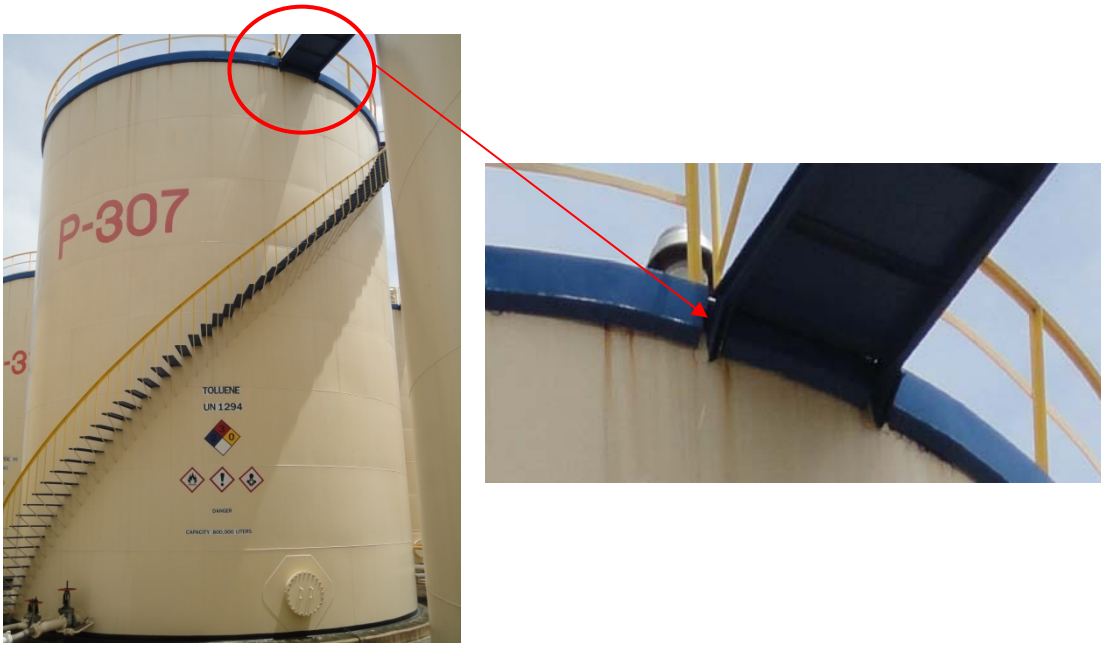

**รูปที่ 6.1** สลักสมอยึดถัง

6.6.2. โมเมนต์ล้มคว่ำเนื่องจากแรงลม (Overturning moment due to wind, $M_w$.)

6.6.3. หาตำแหน่งช่องตรวจสอบบนหลังคา (Inspection hatches)

6.6.4. น้ำหนักรวมของถัง (Total weight of tank) คำนวณจากน้ำหนักต่อไปนี้

- น้ำหนักของผนัง (Weight of shell)
- น้ำหนักของแผ่นพื้นถัง (Weight of bottom plate)
- น้ำหนักของแผ่นรองผนังถัง (Weight of annular bottom plate)
- น้ำหนักของแผ่นหลังคา (Weight of roof plate)
- น้ำหนักของจันทัน (Weight of rafters)
- น้ำหนักของเสา (Weight of column)
- น้ำหนักของคานรับแรงลมด้านบน (Weight of top wind girder)
- น้ำหนักของช่องคนลง ช่องเปิดทำความสะอาดและท่อที่เชื่อมติดกับถัง (Manholes, Cleanout doors & nozzles)
- น้ำหนักของบันไดและทางเดิน (Ladders & Platforms)
- น้ำหนักของแป้นหูช้าง (Brackets) โดยรูปแป้นหูช้างแสดงดังรูปที่ 6.2
- น้ำหนักของช่องตรวจสอบบนหลังคา (Inspection hatches)




**รูปที่ 6.2** แป้นหูช้าง

## 6.7 การคำนวณฐานราก

ในการคำนวณงานฐานรากจะต้องพิจารณาค่าโมเมนต์การล้มคว่ำสูงสุดเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว ผู้คำนวณจะต้องคำนึงถึงค่าดังต่อไปนี้

- น้ำหนักบรรทุกคงที่ + น้ำหนักบรรทุกจร + แรงจากแผ่นดินไหว (Dead load + Product load + Earthquake load)
- หาโมเมนต์ที่กระทำที่ฐานราก (Moment at base of footing)
- คำนวณ แรงกดแบกทานที่ใต้ฐานราก (Bearing pressure under footing) เทียบกับแรงกดแบกทานที่ยอมให้ (Allowable pressure)
- คำนวณจำนวนและขนาดเหล็กเสริม

## 6.8 การสร้างฐานรากคอนกรีต

**6.8.1. วัสดุที่ใช้เป็นแบบหล่อในงานฐานรากคอนกรีตหล่อในที่** ประกอบด้วย

- แบบหล่อสำหรับงานคอนกรีตฐานราก ขึ้นอยู่กับผิวหน้าคอนกรีตที่ต้องการภายหลังแกะแบบหล่อ
- แบบหล่อสำหรับผิวคอนกรีตเปลือย ใช้แบบหล่อไม้อัด แบบเหล็ก แบบพลาสติก ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความสวยงามของรอยต่อ รอยจากการทาบของแบบหล่อภายหลังการถอดแบบ
- แบบหล่อสำหรับผิวตกแต่ง ใช้แบบหล่อไม้ แบบหล่อไม้อัด แบบหล่อเหล็ก แบบพลาสติก หรือวัสดุสังเคราะห์อื่นๆ ที่มีในท้องตลาด

- อุปกรณ์ประกอบแบบหล่อ กรณีแบบหล่อเหล็กให้ใช้อุปกรณ์ประกอบของผู้ผลิตทุกส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้เนื้องานคอนกรีตสมบูรณ์ เช่น แบบเข้ามุม ยูคลิป ฟอร์มไท เป็นต้น
- สารเคลือบแบบหล่อ ใช้สารเคลือบแบบหล่อเพื่อป้องกันการดูดซับน้ำจากคอนกรีต สารป้องกันการยึดตัวกับผิวคอนกรีตและป้องกันผิวคอนกรีตเป็นริ้วรอย
- สารอุดรอยต่อขยาย กรณีงานที่ต้องมีรอยต่อในคอนกรีตให้ใช้สารอุดรอยต่อขยายตามมาตรฐาน ASTM D 994, D 1751, หรือ D 1752
- วัสดุประกอบอื่นๆ ให้ใช้วัสดุยางกันซึม ช่องเปิด สมอฝัง สมอยึด และวัสดุอื่นๆ ที่ต้องใช้ฝังตัวในเนื้อคอนกรีต ตามมาตรฐาน CRD C 513 หรือ CRD C 572

**6.8.2. คุณสมบัติของเหล็กเสริมคอนกรีตในงานฐานรากคอนกรีตหล่อในที่ อย่างน้อยจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้**

- เหล็กเส้นกลม (SR-24) ใช้สำหรับเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ถึง 9 มิลลิเมตร คุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมอก.20 - 2543 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กเส้นกลม
- เหล็กข้ออ้อย (SD-30, 40, 50) ใช้สำหรับเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 12 ถึง 32 มิลลิเมตร คุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.24 - 2548 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กข้ออ้อย

**6.8.3. สิ่งที่ต้องคำนึงถึงงานฐานรากคอนกรีตหล่อในที่**

- ให้ออกแบบแบบหล่อค้ำยัน ยึดโยง การรัดแบบ เพื่อรับกำลังต่างๆ ที่จะส่งผ่านมายังแบบหล่อให้สอดคล้องตามมาตรฐานกำหนด ให้แบบหล่อสามารถต้านทานแรงดันจากคอนกรีตฐานรากขณะเท และแรงสั่นสะเทือนจากการจี้คอนกรีต
- ไม่ให้ใช้ผนังดินขุดทำเป็นแบบหล่อ
- ทำการรัดแบบหล่อให้แน่น และวางแบบเข้ามุมตามขอบของแบบหล่อ ทำการรัด ยึดแบบให้แข็งแรงมั่นคงป้องกันแบบปริแตก รั่วซึม
- ทำช่องเปิดชั่วคราวด้านล่างของแบบหล่อฐานราก หรือตามจุดที่จำเป็นเพื่ออำนวยความสะดวก ในการทำความสะอาด และทำการตรวจสอบทำความสะอาดภายในแบบหล่อก่อนเทคอนกรีต
- การงอเหล็กเสริมจะต้องใช้วิธีดัดงอเย็นสำหรับของอ ห้ามดัดเหล็กเส้นโดยวิธีเผาให้ร้อน และห้ามต่อเหล็กเสริมโดยเด็ดขาด
- การเรียงเหล็กเสริม จะต้องคำนึงถึงระยะช่องว่างของเหล็กที่วางขนานกัน โดยระยะห่างจะต้องไม่น้อยกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมนั้นๆ และที่จุดตัดกันของเหล็กเสริมทุกแห่งจะต้องผูกให้แน่นด้วยลวดผูกเหล็กเบอร์ 18 SWG (Annealed iron wire) และในกรณีที่มีเหล็ก

เสริมหลายๆ ชั้น จะต้องเสริมโดยมีช่องว่างระหว่างผิวเหล็ก (Clear distance) ไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 40 มิลลิเมตร

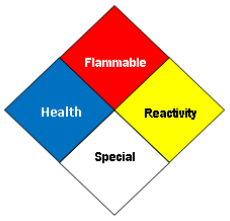
- การผสมคอนกรีตต้องใช้เครื่องผสมโดยที่เครื่องผสมจะต้องมีแผ่นป้ายแสดงความจุ และจำนวนรอบต่อนาทีที่เหมาะสม และจะต้องสามารถผสมซีเมนต์และน้ำให้เข้ากันโดยทั่วถึงภายในเวลาที่กำหนด และต้องสามารถปล่อยคอนกรีตออกได้โดยไม่เกิดการแยกตัว
- สำหรับเวลาที่ใช้ในการผสมคอนกรีตซึ่งมีปริมาณน้อยกว่า 1 ลูกบาศก์เมตร จะต้องไม่น้อยกว่า 2 นาที และให้เพิ่มอีก 20 วินาที สำหรับทุกๆ 1 ลูกบาศก์เมตร หรือส่วนของลูกบาศก์เมตรที่เพิ่มขึ้น
- ให้ผสมคอนกรีตเฉพาะเท่าที่ต้องการใช้เท่านั้น ห้ามนำคอนกรีตที่ก่อตัวแล้วมาผสมต่อเป็นอันขาด และห้ามมิให้เติมน้ำเพื่อการยุบตัว
- การเทคอนกรีตจะต้องเทให้ใกล้ตำแหน่งที่ต้องการมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการแยกตัวเนื่องจากการเท และการไหลตัวของคอนกรีต ห้ามปล่อยคอนกรีตจากระยะสูงเกินกว่า 2 เมตร นอกจากจะได้รับอนุมัติจากวิศวกรผู้ออกแบบ

ช่วงการบ่มคอนกรีตเป็นช่วงที่สำคัญต่ออายุการใช้งานของคอนกรีต โดยหลังจากเทคอนกรีตแล้วเสร็จและอยู่ในระยะกำลังแข็งตัวจะต้องป้องกันคอนกรีตนั้นจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากแสงแดด แรงลม ฝนตก น้ำไหล น้ำเซาะ การเสียดสีต่างๆ และการบรรทุกน้ำหนักเกินสมควร และน้ำหนักกระทำขณะก่อสร้างต่อโครงสร้างฐานรากเกินความสามารถการรับกำลังในแต่ละช่วงระยะเวลาระหว่างการบ่มคอนกรีตฐานราก

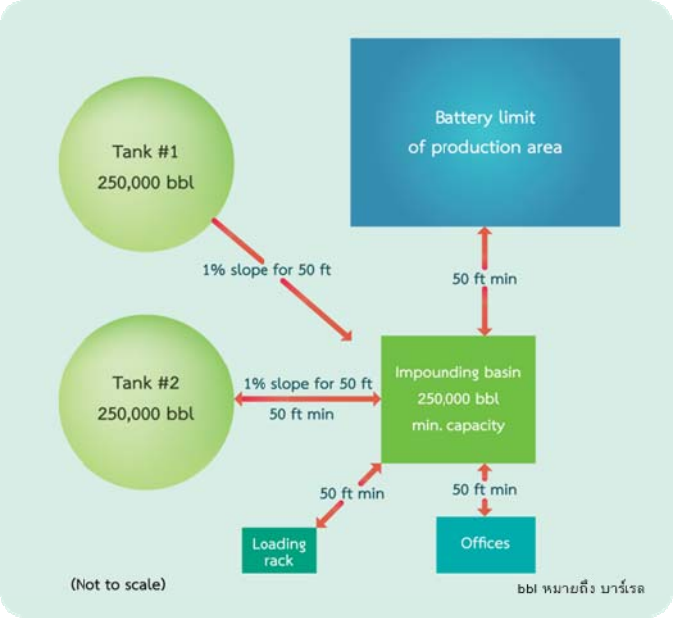
# บทที่ 7 มาตรการความปลอดภัยและแผนฉุกเฉิน

## 7.1 มาตรการความปลอดภัยสำหรับถังเก็บสารกัดกร่อน

โรงงานที่มีถังเก็บสารเคมีควรกำหนดให้มีพนักงานที่คอยดูแลรับผิดชอบในด้านความปลอดภัยและจัดการในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน รวมถึงจัดให้มีระบบเตือนภัย ในกรณีเกิดข้อผิดพลาดเกิดขึ้นซึ่งอาจเป็นแบบที่สามารถตรวจจับความผิดปกติได้โดยอัตโนมัติที่ถังเก็บ และหรือ/มีระบบเตือนแบบใช้คนแจ้งเตือนเพื่อให้สามารถตรวจจับ วิเคราะห์ และตอบโต้ต่ออุบัติการณ์หรืออุบัติเหตุที่เกิดขึ้นหรืออาจเกิดขึ้นได้อย่างทันท่วงที การดำเนินการดังกล่าวควรรวมอยู่ตั้งแต่ในช่วงของการออกแบบเพื่อก่อสร้างถังเก็บ เช่น อุปกรณ์ตรวจวัดระดับสารเคมีที่จัดเก็บในถัง อุปกรณ์ตรวจจับและเตือนภัยในกรณีเกิดการรั่วไหล และอุปกรณ์ที่ใช้ตอบโต้ภาวะฉุกเฉินในกรณีเกิดเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดเกิดขึ้น เช่น ระบบดับเพลิงที่เหมาะสมกับสารเคมีที่จัดเก็บในกรณีจัดเก็บสารกัดกร่อน ระบบตรวจจับการรั่วไหลในกรณีของการจัดเก็บสารกัดกร่อน ดังที่อธิบายไว้ในบทที่ 5 เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ครอบคลุมการป้องกันอันตรายจากการใช้งานถังเก็บสารเคมี จึงได้ทำการสรุปมาตรการความปลอดภัยสำหรับแต่ละประเด็นดังนี้

| หัวข้อ | มาตรการความปลอดภัยสำหรับสารกัดกร่อน |
|---|---|
| มาตรการทั่วไป | • ตรวจสอบสภาพถังและอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน<br>• กำหนดให้มีการติดป้ายแสดงชนิด สมบัติ และปริมาณของเหลวในบริเวณพื้นที่ถังเก็บ<br>• ติดป้ายเตือนอันตรายทุกจุด<br>• การสื่อสารความเป็นอันตราย : มีการติดชื่อสารเคมี และติดสัญลักษณ์ไว้ที่ถังเก็บสารกัดกร่อน ให้สามารถมองเห็นชัดเจนในระยะไกล โดยเป็นป้ายแสดงความเป็นอันตรายของสารเคมีตามระบบของ GHS และ NFPA<br><br>**ระบบ GHS**<br><br><br>**ระบบ NFPA**<br>• จัดเตรียมข้อมูลความปลอดภัยสารเคมี (Safety Data Sheet) ของสารกัดกร่อนที่จัดเก็บไว้ในบริเวณที่ปฏิบัติงาน<br>• จัดหาและควบคุมให้มีการใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลตลอดเวลาที่ปฏิบัติงาน<br>• ติดตั้งฝักบัวฉุกเฉิน และที่ล้างตาฉุกเฉินใกล้บริเวณปฏิบัติงาน |

| หัวข้อ | มาตรการความปลอดภัยสำหรับสารกัดกร่อน |
|---|---|
| อันตรายจากไอระเหย | • ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดไอระเหยสารในอากาศ (Detector) เพื่อตรวจสอบการรั่วไหลของสารกัดกร่อนในพื้นที่ถังเก็บ และควรมีการสอบเทียบอุปกรณ์ตามระยะเวลาที่กำหนด<br>• กรณีถังเก็บอยู่ในอาคาร ควรจัดให้มีการระบายอากาศที่ดีในบริเวณที่มีการใช้งานสารกัดกร่อน เช่น ติดตั้งพัดลมระบายอากาศ เป็นต้น |
| อันตรายจากการระเบิดและการลุกติดไฟ | • ถังเก็บต้องมีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าที่เหมาะสม โดยจำนวนตัวนำล่อฟ้าจะต้องครอบคลุมบริเวณที่ต้องการป้องกันฟ้าผ่าได้ทั้งหมด และตัวนำล่อฟ้าที่เป็นทองแดงควรมีความต้านทานจำเพาะไม่เกิน 0.02 โอห์มตารางมิลลิเมตรต่อเมตร หรืออะลูมิเนียมที่มีความต้านทานจำเพาะไม่เกิน 0.03 โอห์มตารางมิลลิเมตรต่อเมตร กรณีถังเก็บสารกัดกร่อนที่ทำจากเหล็กความหนามากกว่า 5 มิลลิเมตร หรืออะลูมิเนียมความหนามากกว่า 7 มิลลิเมตร ถือได้ว่าตัวถังเก็บเป็นตัวนำล่อฟ้าโดยธรรมชาติ<br>• ถังเก็บต้องมีการต่อสายดิน โดยจำนวนจุดต่อลงดินพิจารณาจากขนาดของถังเก็บ และตรวจสอบระบบต่อสายดินของถังเก็บอย่างสม่ำเสมอ โดยจำนวนจุดที่ต่อลงดินจะต้องขึ้นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังเก็บ<br>– กรณีมีขนาดไม่เกิน 20 เมตร ให้ต่อลงดิน 1 จุด<br>– กรณีมีขนาดมากกว่า 20 เมตร ให้ต่อลงดิน 2 จุด<br>• ห้ามทำให้เกิดประกายไฟ หรือเปลวไฟ รวมทั้งกำจัดแหล่งกำเนิดความร้อนและอื่นๆ ในบริเวณพื้นที่ถังเก็บ<br>• จัดให้มีระบบป้องกันและควบคุมอัคคีภัย ได้แก่ ระบบโฟม ระบบน้ำดับเพลิง หัวฉีดน้ำดับเพลิง ระบบสเปรย์น้ำดับเพลิง อุปกรณ์ชนิดมือถือ ระบบเตือนภัย ฉุกเฉินในแต่ละจุดตามระยะที่กฎหมายกำหนด<br>• ตรวจสอบถังดับเพลิงและอุปกรณ์เป็นระยะอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา<br>***สำหรับกรณีที่สารที่เก็บในถังมีสมบัติไวไฟด้วย ต้องพิจารณามาตรการเพิ่มเติม ดังนี้***<br>• อุปกรณ์ไฟฟ้า และอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้งานทั้งหมดต้องออกแบบพิเศษเพื่อป้องกันการแตก ร้าว แยก และทนต่อแรงระเบิด (Explosion proof) ตามมาตรฐานสากลที่เกี่ยวข้อง<br>• ระบบท่อและวาล์ว ควรออกแบบให้สามารถป้องกันเปลวไฟเล็ดลอดออกสู่ภายนอก เพื่อจำกัดเปลวไฟลุกลาม (Fire proof) |
| อันตรายจากการรั่วไหล | • ติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับสารเคมีในถังทั้งระดับต่ำสุดและสูงสุดที่อนุญาตพร้อมกับระบบเตือนเมื่อถึงระดับดังกล่าว<br>• ควรสร้างเขื่อนกั้นที่สามารถกักเก็บสารกัดกร่อนทั้งหมด เว้นแต่ที่มีถังเก็บมากกว่าหนึ่งถังให้สร้างเขื่อนกั้นที่สามารถจัดเก็บได้เท่ากับ 100% ของถังเก็บที่มีขนาดใหญ่สุด |

| หัวข้อ | มาตรการความปลอดภัยสำหรับสารกัดกร่อน |
|---|---|
| | • เขื่อนที่สร้างจากคอนกรีตจำเป็นต้องมีตัวอุดกันรั่วที่ทำจากสารในกลุ่ม Epoxy เช่น Epoxy phenolic และต้องทำมาจากคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ออกแบบให้สามารถกันน้ำและทนต่อแรงดันน้ำได้ (Full hydrostatic head) นอกจากนี้ คอนกรีตควรจะต้องใส่สารผสมเพิ่มที่มีคุณสมบัติต้านทานสารกัดกร่อน ตั้งแต่ขั้นตอนการก่อสร้างฐานราก<br>• พื้นที่ถังเก็บจำเป็นต้องมีบ่อพัก พร้อมติดตั้งปั๊มเพื่อสูบน้ำและ/หรือของเหลวเพื่อรวบรวมน้ำและ/หรือของเหลวส่งไปกำจัดตามหลักวิชาการ โดยแนวท่อหรือพื้นที่ให้ของเหลวไหลมายังพื้นที่กักเก็บควรมีความชันประมาณ 1%<br>• การระบายของเหลวรั่วไหลไปยังพื้นที่กักเก็บที่อยู่ระยะไกลแสดงดังรูปที่ 7.1<br><br><br>**รูปที่ 7.1** การระบายของเหลวที่รั่วไหลไปยังพื้นที่กักเก็บที่อยู่ระยะไกล<br>• กรณีในพื้นที่ถังเก็บมีการเก็บสารกัดกร่อนมากกว่าหนึ่งชนิด อาจจะพิจารณาสร้างแนวกั้นระหว่างถังเก็บสารเคมี เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับสารเคมีที่รั่วไหลจากถังเก็บที่อยู่ใกล้เคียงกัน โดยความสูงของแนวกั้นหรือเขื่อนที่กั้นกลางจะต้องไม่น้อยกว่า 45 เซนติเมตร<br>• กรณีที่ปั๊ม (Pump) เครื่องมือและอุปกรณ์ไฟฟ้าติดตั้งอยู่ภายในพื้นที่ถังเก็บหรือ พื้นที่กักเก็บ อุปกรณ์เหล่านั้นจะต้องได้รับการป้องกัน และต้องมั่นใจว่าอุปกรณ์เหล่านั้นจะพร้อมใช้เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน |
| อันตรายจากภัยธรรมชาติ | • กรณีที่ถังเก็บและอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ภายนอก และตั้งอยู่ในบริเวณที่เป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วม จะต้องมีการป้องกันแรงจากการลอยตัว (Force of buoyancy) ในระหว่างน้ำท่วม เช่น การติดตั้งสมอยึดแทงก์เพิ่มเติม |
| อันตรายจากการจัดการกากของเสีย | • ตรวจสอบการเก็บ คัดแยก กากของเสียปนเปื้อนของสารกัดกร่อน โดยต้องพิจารณาแยกกากของเสียปนเปื้อนที่เข้ากันไม่ได้ออกจากกันก่อนส่งไปบำบัด |

| หัวข้อ | มาตรการความปลอดภัยสำหรับสารกัดกร่อน |
|---|---|
| | โดยวิธีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง การตกตะกอนสิ่งปนเปื้อน และการแยกของแข็งออกจากของเหลว |
| อันตรายต่อสุขภาพผู้ปฏิบัติงาน | ● ผู้ปฏิบัติงานต้องผ่านการอบรมความรู้เกี่ยวกับความเป็นอันตรายของสารกัดกร่อนที่จัดเก็บทั้งด้านการสูดดม การกลืนกิน และการสัมผัส รวมถึงไอพิษจากการเผาไหม้ และการใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลขณะปฏิบัติงานและกรณีฉุกเฉิน<br>● ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ในบรรยากาศสภาพแวดล้อมการทำงาน และควบคุมให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย<br>● ตรวจสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานปีละ 1 ครั้ง<br>● จัดให้มีการฝึกซ้อมแผนฉุกเฉินไฟไหม้ ระเบิด สารเคมีหกรั่วไหล และการอพยพอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง |
| อื่นๆ | ● ควรพิจารณาปริมาตรในการกักเก็บน้ำที่ใช้แล้วจากการดับเพลิง โดยประเมินจากสถาณการณ์ไฟไหม้ที่คาดว่าร้ายแรงที่สุด โดยพิจารณาจากตัวแปรดังต่อไปนี้<br>– ประเภทความเป็นอันตรายของสารที่เก็บ<br>– ความพร้อมและศักยภาพของหน่วยดับเพลิง และระยะเวลาที่ใช้ในการมาถึงพื้นที่เพื่อควบคุมเพลิง<br>– อัตราการฉีดน้ำในการดับเพลิงเพื่อควบคุมเพลิง<br>– โครงสร้างพื้นฐานในการป้องกันเพลิง เช่น ระบบตรวจจับเพลิงไหม้และระบบดับเพลิงที่มีอยู่ในพื้นที่ เป็นต้น |

## 7.2 แผนฉุกเฉิน

แผนฉุกเฉิน หมายถึง การเตรียมแนวทางการดำเนินงานไว้ล่วงหน้า สำหรับในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ไม่คาดคิด ซึ่งส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บ การสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกสถานประกอบการ วัตถุประสงค์ในการจัดทำแผนฉุกเฉินนั้น มีขึ้นเพื่อจำกัดผลกระทบที่เกิดขึ้น และกำหนดขั้นตอนในการปฏิบัติหากเกิดเหตุการณ์ขึ้นจริง เพื่อป้องกันความสับสนและสามารถควบคุมสถานการณ์ได้เบื้องต้น โดยในการบริหารจัดการแผนฉุกเฉินจะประกอบด้วยระยะพื้นฐาน 4 ส่วนดังรูปที่ 7.2




**Mitigation** : การป้องกัน เป็นการใช้บทเรียนจากผลกระทบและอันตรายต่อชีวิต ที่ผ่านมาในการวางแผนป้องกันภัยที่จะเกิดขึ้น

**Preparedness** : การเตรียมพร้อม เป็นการเตรียมความพร้อมบุคลากรหรือผู้ให้ความช่วยเหลือให้มีความเข้าใจในแผนและการใช้แผน

**Response** : การตอบสนอง เป็นการให้ความช่วยเหลือในระยะเวลาสั้นๆ ขณะเกิดเหตุทันที

**Recovery** : การฟื้นฟู เป็นการดูแลช่วยเหลือหลังระยะเกิดอุบัติภัย

**รูปที่ 7.2** การบริหารจัดการแผนฉุกเฉิน

ในการจัดทำแผนฉุกเฉินที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีอันตราย จะมีองค์ประกอบของแผนเช่นเดียวกับแผนฉุกเฉินโดยทั่วไป หากแต่ผู้ปฏิบัติการระงับเหตุฉุกเฉินเกี่ยวกับสารเคมีอันตราย จะต้องมีความรู้เกี่ยวกับสารเคมีชนิดที่เกิดเหตุเป็นอย่างดี โดยการศึกษาข้อมูลจากข้อมูลความปลอดภัยสารเคมี (Safety Data Sheet) ของสารเคมีชนิดนั้น ซึ่งจะระบุถึงการระงับเหตุสารเคมีรั่วไหล อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลที่เหมาะสมสำหรับการระงับเหตุ สารดับเพลิง ที่เหมาะสมในการระงับเหตุเพลิงไหม้สารเคมี สารเคมีที่มีความเป็นอันตรายต่างกัน หรือมีความเป็นอันตรายเฉพาะ เช่น เมื่อสารเคมีสัมผัสกับน้ำทำให้เกิดระเบิดได้ การระงับเหตุเพลิงไหม้จากสารเคมีจึงห้ามใช้น้ำในการดับเพลิง เป็นต้น

ในการจัดทำแผนฉุกเฉินควรประกอบด้วยข้อมูลทั่วไปดังต่อไปนี้

- ขอบข่ายและวัตถุประสงค์ของแผนฉุกเฉิน
- รายละเอียดและการประเมินสถานการณ์ฉุกเฉิน ความเป็นอันตราย (รวมถึงความเป็นอันตรายจากธรรมชาติ ตามความเหมาะสม) และพื้นที่ที่อาจได้รับผลกระทบ
- ชื่อ นามสกุล ตำแหน่ง และข้อมูลการติดต่อของพนักงานที่รับผิดชอบในการดำเนินการตามแผนฉุกเฉิน และของพนักงานที่มีหน้าที่ในการประสานงานในพื้นที่ในการเข้าระงับเหตุ
- หน้าที่ความรับผิดชอบของพนักงานที่อยู่ในผังองค์กรที่เกี่ยวข้องกับการจัดการสถานการณ์ฉุกเฉินภายใต้แผนนี้ (ลำดับขั้นความรับผิดชอบ อำนาจหน้าที่ในการปฏิบัติงาน)
- โครงสร้างการแจ้งเหตุ และ/หรือการสื่อสารทั้งภายในและภายนอก (ตามที่กำหนดโดยกฎหมายที่เกี่ยวข้องและ/หรือกระบวนการภายในโรงงาน)
- อุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการเข้าปฏิบัติการเพื่อระงับเหตุ และทรัพยากรที่จำเป็นตามผลการประเมิน (สำหรับการสื่อสารและการปฏิบัติการ)
- ขั้นตอนการตอบโต้ภาวะฉุกเฉิน และการฟื้นฟูพื้นที่ สำหรับสถานการณ์ในรูปแบบต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ รวมทั้งในกรณีของการเตือนและการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับหน่วยกู้ภัยฉุกเฉินในพื้นที่

- ข้อกำหนดเกี่ยวกับการซ้อมแผนฉุกเฉินร่วมกับหน่วยงานภายนอกที่เกี่ยวข้อง เช่น สถานีดับเพลิง สถานีตำรวจ โรงพยาบาลในพื้นที่ เป็นต้น
- การประสานงาน บูรณาการ และเชื่อมโยงกับแผนอื่นๆ ทั้งภายใน เช่น แผนฉุกเฉินโรงงาน แผนความต่อเนื่องของธุรกิจ เป็นต้น และภายนอก เช่น แผนของโรงงานข้างเคียง และแผนระดับเทศบาลหรือจังหวัด เป็นต้น

เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้นบริเวณพื้นที่ถังเก็บ อาจจะส่งผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน สิ่งแวดล้อม ประชาชนที่อาศัยในบริเวณใกล้เคียง และการสูญเสียทรัพย์สิน แต่ถ้าหากมีการป้องกัน ตรวจสอบ และมีการเตรียมการที่ดีในการรับสถานการณ์เมื่อเกิดภาวะฉุกเฉิน จะสามารถระงับหรือลดขนาดของการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินได้ วัตถุประสงค์ในการจัดทำแผนปฏิบัติการเหตุฉุกเฉินก็เพื่อที่จะควบคุมหรือกำจัดเหตุฉุกเฉินที่เกิดขึ้น และกำหนดขั้นตอนในการระงับอุบัติภัย

### 7.2.1 แผนฉุกเฉินกรณีเกิดการรั่วไหลจากถังเก็บสารกัดกร่อน

ผู้ประสบเหตุกรณีถังเก็บสารกัดกร่อนรั่วไหล จากถังเก็บควรปฏิบัติดังนี้

- ในกรณีที่พนักงานพบของสารกัดกร่อนรั่วไหล ได้กลิ่น หรือพบกลุ่มไอจากสารอันตราย พนักงานดังกล่าวจะต้อง
  - กดสัญญาณแจ้งเหตุฉุกเฉิน
  - ต้องแจ้งให้ศูนย์ควบคุมเหตุฉุกเฉิน หรือผู้ควบคุมเหตุฉุกเฉิน และจะต้องรีบออกไปให้พ้นจากพื้นที่ถังเก็บ
  - ถ้าพนักงานดังกล่าวเคยผ่านการฝึกซ้อมควบคุมเหตุฉุกเฉินมาก่อนจะต้องดำเนินการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล และปฏิบัติตามแนวทางในการปฏิบัติสำหรับสารนั้นๆ
- กำหนดเขตพื้นที่ที่ปลอดภัย ในกรณีรั่วไหลขนาดเล็กให้ใช้ทรายแห้งหรือดินแห้ง เพื่อลดการแพร่กระจาย และใช้อุปกรณ์ที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดประกายไฟกับสารที่หก และรวบรวมสารที่ดูดซับเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดและนำไปกำจัดต่อไป

  ในกรณีที่รั่วไหลปริมาณมาก ให้ดำเนินการปิดกั้นเขตที่มีการรั่วไหลโดยรอบไม่น้อยกว่า 50 เมตร ทันที เพื่อป้องกันบุคคลไม่ให้ได้รับอันตราย และใช้วัสดุดูดซับ ทุ่นหรือบูม ล้อมบริเวณที่รั่วไหล พร้อมทำคันดินหรือทรายกั้นในจุดเกิดเหตุ เพื่อป้องกันไม่ให้สารไหลลงแหล่งน้ำ ไม่ควรใช้น้ำฉีดล้างเพราะทำให้การจำกัดบริเวณทำได้ยากและปริมาณของเสียที่ต้องบำบัดมีปริมาณมาก
- ใช้น้ำฉีดเป็นฝอย เพื่อลดการเกิดไอระเหย หรือทำให้ไอไม่กระจายตัว พร้อมทั้งห้ามแตะต้องหรือเดินย่ำไปบนบริเวณที่มีการรั่วไหล
- ห้ามเข้าปฏิบัติการ ในกรณีที่ยังไม่ทราบข้อมูลใดๆ เป็นอันขาด ให้เข้าไปยังจุดเกิดเหตุทางเหนือลมเพื่อหลีกเลี่ยงการสัมผัสไอระเหยของสารนั้น

- ประเมินสถานการณ์ของเหตุฉุกเฉินทันทีว่ามีความรุนแรงเพียงใด เจ้าหน้าที่สามารถควบคุมเหตุฉุกเฉินได้หรือไม่ ถ้าไม่ได้ จะต้องตัดสินใจขอความร่วมมือจากหน่วยงานภายนอก ประเด็นที่ควรพิจารณาในการประเมินความรุนแรงของเหตุฉุกเฉิน ได้แก่
  - ปริมาณการรั่วไหลของสารนั้น
  - อุปกรณ์ในการควบคุมการรั่วไหล มีเพียงพอหรือไม่
  - อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล
- ผู้เข้าห้องปฏิบัติการจะต้องสวมใส่ป้องกันสารเคมี และใส่อุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจชนิดถังบรรจุแบบพกพา (SCBA)
- การดำเนินการภายหลังเกิดเหตุฉุกเฉิน
  - สอบสวนถึงสาเหตุของการเกิดอุบัติภัย เพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันครั้งต่อไป
  - สำรวจความเสียหาย
  - ประเมินประสิทธิภาพของมาตรการป้องกัน และควบคุมเหตุฉุกเฉินที่ใช้อยู่
  - ประเมินประสิทธิภาพของทีมปฏิบัติการฉุกเฉิน เพื่อปรับปรุงแผนปฏิบัติการเหตุฉุกเฉินให้มีประสิทธิภาพ

### 7.2.2 แผนฉุกเฉินกรณีเกิดเพลิงไหม้ถังเก็บสารกัดกร่อน

ผู้ประสบเหตุกรณีเกิดเพลิงไหม้ถังเก็บสารกัดกร่อน ควรปฏิบัติดังนี้

- เมื่อมีผู้พบเห็นเหตุการณ์ ต้องดำเนินการดังนี้
  - ผู้พบเห็นต้องแจ้งเหตุเพลิงไหม้ หรือวิธีการใดที่รวดเร็ว ชัดเจน เพื่อให้ผู้อยู่ในอาคารทราบ และแจ้งพนักงานดับเพลิง
  - พยายามใช้เครื่องดับเพลิงขนาดเล็กหรืออุปกรณ์อื่นเท่าที่มีเพื่อดับเพลิงทันที
- พนักงานผู้ไม่มีหน้าที่เกี่ยวข้องในการดับเพลิงต้องรีบออกจากพื้นที่ถังเก็บทันที ตามแผนผังการหนีไฟของโรงงาน
- ให้ปิดกั้นบริเวณที่เกิดเหตุทันที 50 เมตร (150 ฟุต) ในทุกทิศทาง หากภาชนะบรรจุขนาดใหญ่ ให้กั้นบริเวณโดยรอบ 800 เมตร รวมทั้งอพยพประชาชนในบริเวณ 800 เมตร ในทุกทิศทาง
- พนักงานผู้มีหน้าที่รับผิดชอบตามแผนฉุกเฉินให้อำนวยความสะดวกแก่หน่วยดับเพลิงจากภายนอกที่มาทำการช่วยเหลือในการดับเพลิง เช่น ชี้นำไปยังสถานที่เกิดเหตุ หรือนำไปยังสถานที่ติดตั้งอุปกรณ์ดับเพลิงของโรงงาน และแจ้งรายละเอียดของเหลวที่บรรจุในถังเก็บที่เกิดเพลิงไหม้ เป็นต้น

- ในการดับเพลิงจะต้องฉีดน้ำดับเพลิงเพื่อหล่อเย็นถังเก็บที่เกิดเพลิงไหม้ และถังอื่นที่อยู่ใกล้เคียงตลอดเวลา และระวังอย่าฉีดน้ำเข้าไปในภาชนะบรรจุ และอยู่ให้ไกลจากภาชนะบรรจุที่ถูกไฟลุกท่วม
- ให้พนักงานที่ได้รับมอบหมายในการปฐมพยาบาลคอยช่วยเหลือในการปฐมพยาบาลหรือส่งต่อผู้ป่วยหรือผู้ได้รับบาดเจ็บไปยังสถานพยาบาลได้อย่างปลอดภัย
- กรณีที่เกิดอุบัติภัยร้ายแรง เช่น ถังเก็บสารกัดกร่อนระเบิด หรือมีไอเคมีจำนวนมาก หัวหน้าผู้ควบคุมสถานการณ์ควรออกคำสั่งให้พนักงานทุกคนออกจาก พื้นที่บริเวณโรงงานอย่างระมัดระวัง โดยปฏิบัติตามแผนอพยพในระหว่างเกิดเหตุฉุกเฉิน เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย หรือผู้ประสานงานเหตุฉุกเฉินจะรวบรวมและประเมินข้อมูลข่าวสาร จัดเตรียมเอกสารแจ้งข่าวประชาสัมพันธ์ เพื่อแจ้งข้อมูลสถานการณ์ให้กับโรงงานใกล้เคียงและชุมชนโดยรอบ

# บทที่ 8 การตรวจสอบและการบำรุงรักษา

ในการใช้งานถังเก็บสารเคมี ผู้ประกอบกิจการโรงงานจะต้องมีการตรวจสอบและการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive maintenance) เพื่อให้มั่นใจว่าถังเก็บสารกัดกร่อนมีความปลอดภัย โดยในคู่มือฉบับนี้ การตรวจสอบและการบำรุงรักษาอ้างอิงตามมาตรฐาน API 650 ซึ่งใช้สำหรับการตรวจทดสอบก่อนใช้งาน และ API 653 ใช้สำหรับการตรวจสอบระหว่างการใช้งาน ซึ่งประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

## 8.1 การตรวจทดสอบก่อนใช้งาน

หลังจากสร้างและติดตั้งส่วนประกอบต่างๆ ของถังเก็บเสร็จแล้ว จะต้องดำเนินการ ดังนี้

- ตรวจสอบส่วนประกอบต่างๆ พร้อมทั้งระบุรายละเอียดค่าการออกแบบตามข้อกำหนดใน Appendix : API Std 650 Storage Tank Data Sheet เช่น หลังคา พื้นถัง แผ่นรองผนังถัง ผนังถัง น็อต หน้าแปลน ช่องคนลง บันได เป็นต้น
- ตรวจสอบความแข็งแรง และหาจุดบกพร่อง รอยรั่วซึม รอยปริบวมใดๆ ของถังด้วยวิธีการอัดน้ำเพื่อทดสอบความดัน (Hydrostatic test) โดยจะต้องมีการเติมน้ำเต็มถัง (ความจุ 100%) และให้ทำการคงระดับน้ำไว้ 24 ชั่งโมงเพื่อตรวจสอบการรั่วซึมของถัง
- ตรวจสอบค่าการทรุดตัวและความเอียงของถัง โดยพิจารณา ดังนี้
  - ค่าความดิ่ง (Plumbness) ต้องไม่เกิน 1 ใน 200 ของความสูงของถัง โดยวัดจากขอบบนสุดของถังถึงขอบล่างสุด
  - ค่าโก่งตัวหรือยุบตัวของผนังถังตามแนวเชื่อมตั้ง (Peaking) ต้องไม่เกิน 13 มิลลิเมตร เมื่อวัดเทียบกับความโค้งของผนังถัง
  - ค่าโก่งตัวหรือยุบตัวของผนังถังตามแนวเชื่อมนอน (Banding) ต้องไม่เกิน 13 มิลลิเมตร เมื่อวัดเทียบกับความตรงของผนังถัง
- ทำการวัดความหนาของถังเก็บสารกัดกร่อน ด้วยเครื่องมือวัดความหนา เช่น Ultrasonic Thickness Measurement (UTM) โดยทำการสุ่มวัดความหนาของผนังถัง และหลังคาถัง เพื่อนำค่าจากการวัดจริงที่ได้ ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณตามแบบของถังเก็บ โดยที่ค่าที่ได้จากการวัดจริง ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณตามแบบของถังเก็บ
- ทดสอบอุปกรณ์นิรภัยที่ใช้ระบายแรงดัน ตามค่าออกแบบที่ตั้งไว้ เช่น วาล์วนิรภัย PV Valve เป็นต้น
- ตรวจทดสอบอุปกรณ์ต่างๆ เช่น อุปกรณ์วัดระดับของเหลว อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ อุปกรณ์วัดความดัน อุปกรณ์ป้องกันการเติมล้น และอุปกรณ์แจ้งเตือนระดับของเหลว เป็นต้น

รายละเอียดขั้นตอนการอัดน้ำเพื่อทดสอบความดัน ค่าความดิ่ง ค่าโก่งตัวหรือยุบตัวแสดงในภาคผนวก ง

## 8.2 การตรวจสอบระหว่างการใช้งาน

### 8.2.1 การตรวจสอบตามปกติ (Routine in-service inspection)

ในหัวข้อนี้เป็นการตรวจสอบสภาพถังเก็บสารเคมีด้วยสายตา (Visual inspection) ซึ่งผู้ประกอบกิจการโรงงาน จะต้องจัดให้มีการตรวจสอบนี้อย่างสม่ำเสมอ อย่างน้อย ***เดือนละ 1 ครั้ง***

การตรวจสอบด้วยสายตานี้จะตรวจสอบที่บริเวณผิวภายนอกของถังเก็บสารเคมี โดยการเดินรอบทั้งด้านข้างและด้านบนถังเพื่อให้มั่นใจว่าไม่มีปัจจัยใดๆ ที่ทำให้ถังเกิดความเสียหายหรือเกิดอุบัติเหตุจนทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ โดยควรมีการตรวจสอบดังรายการต่อไปนี้

- สภาพแวดล้อมของพื้นที่ตั้งถังเก็บโดยทั่วไป
- สภาพทั่วไปของถังเก็บของเหลว เช่น สภาพรอยเชื่อมภายนอก สภาพสีภายนอก รอยสนิม และการผุกร่อน เป็นต้น
- สภาพ และความแข็งแรงของราวกันตกบนหลังคาถัง
- สภาพทั่วไปของพื้นที่รองรับ เขื่อนกั้นและพื้นที่โดยรอบถัง เช่น รอยร้าว รอยรั่ว เป็นต้น
- การรั่วซึมตามหน้าแปลน ข้อต่อ ท่อ และวาล์วต่างๆ
- สภาพอุปกรณ์ประกอบถัง เช่น อุปกรณ์วัดระดับของเหลว อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ อุปกรณ์วัดความดัน อุปกรณ์นิรภัยระบายความดันต่างๆ เป็นต้น
- สภาพสายล่อฟ้า
- สภาพสายดิน
- สภาพอุปกรณ์ระบบน้ำดับเพลิง เช่น สายฉีดน้ำ ปืนฉีดน้ำ หัวรับน้ำดับเพลิง เป็นต้น
- สภาพอุปกรณ์ระบบโฟมดับเพลิง เช่น ถังโฟม Foam chamber เป็นต้น
- สภาพทั่วไปของบ่อพักน้ำที่อยู่ภายในเขื่อนล้อมรอบถังเก็บ
- สภาพการทรุดตัวของฐานถัง และสภาพฐานถังความเอียงของถัง โดยพิจารณาว่าพื้นที่โดยรอบมีรอยแตกร้าว หรือการทรุดตัวของฐานถัง

### 8.2.2 การตรวจสอบประจำปี (Annual inspection)

เป็นการตรวจสอบสภาพถังเก็บสารเคมีด้วยสายตา (Visual inspection) ตามหัวข้อ 8.2.1 และวัดความหนาของผนังขณะที่มีการใช้งานโดยไม่รวมความหนาของฉนวน *เฉพาะพื้นที่หรือจุดที่เสี่ยงต่อการกัดกร่อนสูง* สำหรับการตรวจสอบภายนอกขณะใช้งาน ซึ่งผู้ประกอบกิจการโรงงาน จะต้องจัดให้มีการตรวจสอบนี้ อย่างน้อย ***ปีละ 1 ครั้ง***

ตัวอย่างเครื่องมือวัดความหนาผนังถังด้วยคลื่นเสียงชนิดอุลตร้าโซนิก แสดงดังรูปที่ 8.1




**รูปที่ 8.1** ตัวอย่างเครื่องมือวัดความหนาด้วยคลื่นเสียงชนิดอุลตร้าโซนิก

### 8.2.3 การตรวจสอบภายนอก ขณะใช้งาน (External inspection)

ถังเก็บสารเคมีควรได้รับการตรวจสอบภายนอกโดยผู้มีประสบการณ์ หรือบริษัทผู้ตรวจสอบที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน API 653 การตรวจสอบภายนอกนี้ควรดำเนินการอย่างน้อยในทุกๆ 5 ปี โดยการตรวจสอบนี้สามารถดำเนินการได้ในขณะที่ถังเก็บสารเคมียังใช้งานอยู่ รายละเอียดการตรวจสอบภายนอกทุก 5 ปี ประกอบด้วย

- ตรวจสอบด้วยสายตา (Visual inspection) ตามข้อกำหนด Appendix : API Std 653 Checklist for tank inspection สำหรับ Tank in-service inspection checklist ซึ่งมีรายการในการตรวจสอบตัวถัง หลังคา และอุปกรณ์ประกอบต่างๆ
- ตรวจวัดความเอียงของตัวถัง (Plumbness test) โดยค่าความเอียงต้องไม่เกิน 1 ใน 100 ของความสูงของถังโดยวัดจากขอบบนสุดของถังถึงขอบล่างสุดตามที่ระบุใน API 653
- ตรวจวัดความหนาบริเวณผนังและหลังคาถังเก็บ

### 8.2.4 การตรวจสอบภายในของถังเก็บสารเคมี (Internal inspection)

ถังเก็บสารเคมีควรได้รับการตรวจสอบภายในโดยผู้มีประสบการณ์ หรือบริษัทผู้ตรวจสอบที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน API 653 สำหรับระยะเวลาเริ่มต้นในการตรวจสอบภายในของถังเก็บสารเคมีทั่วไปควรจะดำเนินการภายใน 10 ปีหลังจากเริ่มใช้งานถังเก็บ และถ้าถังเก็บมีการป้องกันการกัดกร่อนอื่นๆ เพิ่มเติม ผู้ประกอบกิจการโรงงานสามารถบวกจำนวนปีเพิ่มจากระยะเวลาเริ่มต้น ตามตารางที่ 8.1

**ตารางที่ 8.1** การป้องกันการกัดกร่อน

| การป้องกันการกัดกร่อน | จำนวนปีที่เพิ่มจากระยะเวลาเริ่มต้น |
|---|---|
| การเคลือบผิวด้วยใยแก้วเสริมแรง (Fiberglass-reinforced) ที่พื้นถัง ตามข้อกำหนดใน API RP 652 | 5 ปี |
| การเคลือบผิวภายในแบบฟิล์มบาง ตามข้อกำหนดใน API RP 652 | 2 ปี |
| การป้องกันการผุกร่อนแบบ Cathodic ที่พื้นถังตามข้อกำหนดใน API RP 651 | 5 ปี |
| มีค่าเผื่อสำหรับการกัดกร่อน (Corrosion Allowance) ที่พื้นถังมากกว่า 0.038 เซนติเมตร | ค่าเผื่อสำหรับการกัดกร่อนจริง – 150 mils / ค่าอัตราการกัดกร่อน |
| พื้นถังทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม และมีการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านการกัดกร่อนว่าสภาพแวดล้อมภายในและภายนอกถังมีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายจากการกัดกร่อนต่ำ | 10 ปี |

ที่มา : Table 6.1 – Tank Safeguard ใน API 653

*ตัวอย่างเช่น* ถังเก็บมีการเคลือบผิวภายในแบบฟิล์มบาง ควรจะมีระยะเวลาการตรวจสอบภายในถังเก็บ ภายใน 12 ปีหลังจากเริ่มใช้งานถังเก็บ

สำหรับรายละเอียดการตรวจสอบภายใน ประกอบด้วย

- ตรวจวัดความหนา โดยทำการวัดทุกแผ่นบริเวณพื้นถัง
- ตรวจสอบและทดสอบพื้นถัง แนวเชื่อมบริเวณเชื่อมต่อระหว่างผนังถังกับพื้นถัง และบริเวณใกล้เคียง
- ความเรียบของพื้นถัง การโก่งและทรุดของพื้นถัง การสึกกร่อนใต้พื้นถัง และตรวจหารอยรั่วตามแนวเชื่อม ซึ่งทำการตรวจสอบบริเวณรอยเชื่อมของพื้นถัง (Bottom plate)
- ตรวจสอบด้วยสายตา (Visual inspection) ตามข้อกำหนด Appendix : API Std 653 Checklist for tank inspection สำหรับ Tank out-of-service inspection checklist ซึ่งมีรายการในการตรวจสอบพื้นถัง อุปกรณ์ประกอบต่างๆ เช่น บริเวณแนวเชื่อมระหว่างผนังถังกับพื้นถัง รอยที่เกิดจากการเชื่อมระหว่างแผ่นเหล็กเสริมแรงกับผนังถัง แนวเชื่อมของอุปกรณ์ การบิดงอและการเอียงของผนังถัง รอยสึกกร่อน รอยบุบ การยุบตัว การหลุดร่อนของสีเคลือบภายในถัง หรือวัสดุเคลือบภายในถัง สำหรับถังชนิดหลังคาไม่เคลื่อนที่ (Fixed roof tank) หากพบว่ามีรอยรั่วให้ตรวจสอบเพิ่มเติม ดังนี้
  - การสึกกร่อนใต้ขอบหลังคา
  - เสารับโครงหลังคา และเหล็กเสริมความมั่นคงแข็งแรงรอบขอบถังด้านบนสุด

สรุปหัวข้อการตรวจสอบ ความถี่ และผู้ดำเนินการตรวจสอบแสดงดังตารางที่ 8.2

**ตารางที่ 8.2** ความถี่ในการตรวจสอบแต่ละประเภท

| สรุปหัวข้อการตรวจสอบ | ความถี่ | ผู้ดำเนินการ |
|---|---|---|
| **1. การตรวจทดสอบก่อนใช้งาน**<br>- ตรวจสอบส่วนประกอบต่างๆ ตามข้อกำหนดของ Appendix : API Std 650 Storage Tank Data Sheet<br>- ตรวจสอบความแข็งแรงและรอยรั่วซึมของถังด้วยวิธีการอัดน้ำเพื่อทดสอบความดัน (Hydrostatic test)<br>- ตรวจสอบค่าการทรุดตัวและความเอียงของถัง<br>- ตรวจวัดความหนาของถัง<br>- ตรวจทดสอบอุปกรณ์นิรภัยที่ใช้ระบายแรงดัน<br>- ตรวจทดสอบอุปกรณ์วัดระดับ อุณหภูมิ ความดัน และอุปกรณ์แจ้งเตือนต่างๆ (ถ้ามี) | ก่อนใช้งาน | ผู้ผลิตถังเก็บสารเคมี |
| **2. การตรวจสอบระหว่างการใช้งาน**<br>**2.1 การตรวจสอบตามปกติ (Routine in-service inspection)**<br>- สภาพแวดล้อมของพื้นที่ตั้งถังเก็บโดยทั่วไป<br>- สภาพทั่วไปของถังเก็บของเหลว เช่น สภาพรอยเชื่อมภายนอก สภาพสีภายนอก รอยสนิม และการผุกร่อน เป็นต้น<br>- สภาพ และความแข็งแรงของราวกันตกบนหลังคาถัง<br>- สภาพทั่วไปของพื้นที่รองรับ และเขื่อนกั้นล้อมรอบ เช่น รอยร้าว รอยรั่ว เป็นต้น<br>- การรั่วซึมตามหน้าแปลน ข้อต่อ ท่อ และวาล์วต่างๆ<br>- สภาพอุปกรณ์ประกอบถัง<br>- สภาพสายล่อฟ้า<br>- สภาพสายดิน<br>- สภาพอุปกรณ์ระบบน้ำดับเพลิง เช่น สายฉีดน้ำ ปืนฉีดน้ำ หัวรับน้ำดับเพลิง เป็นต้น<br>- สภาพอุปกรณ์ระบบโฟมดับเพลิง เช่น ถังโฟม Foam chamber เป็นต้น<br>- สภาพทั่วไปของบ่อพักน้ำที่อยู่ภายในเขื่อนล้อมรอบถังเก็บ<br>- สภาพการทรุดตัวของฐานถัง และสภาพฐานถัง ความเอียงของถัง โดยพิจารณาว่าพื้นที่โดยรอบมีรอยแตกร้าว หรือการทรุดตัวของฐานถัง | เดือนละ 1 ครั้ง | เจ้าของหรือผู้ดำเนินการประจำถังเก็บสารเคมี |

**ตารางที่ 8.2** ความถี่ในการตรวจสอบแต่ละประเภท (ต่อ)

| สรุปหัวข้อการตรวจสอบ | ความถี่ | ผู้ดำเนินการ |
|---|---|---|
| **2.2 การตรวจสอบประจำปี (Annual inspection)**<br>- วัดความหนาของผนังเฉพาะพื้นที่หรือจุดที่เสี่ยงต่อการกัดกร่อนสูง | ปีละ 1 ครั้ง | เจ้าของหรือผู้ดำเนินการประจำถังเก็บสารเคมีที่มีประสบการณ์ |
| **2.3 การตรวจสอบภายนอก ขณะใช้งาน (External inspection)**<br>- ตรวจสอบด้วยสายตา (Visual inspection) ตามข้อกำหนด Appendix : API Std 653 Checklist for tank inspection สำหรับ Tank in-service inspection checklist<br>- ตรวจวัดความเอียงของตัวถัง (Plumbness test)<br>- ตรวจวัดความหนาบริเวณผนังและหลังคาถังเก็บ | ทุก 5 ปี | ผู้มีประสบการณ์ หรือบริษัทที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน API |
| **2.4 การตรวจสอบภายในของถังเก็บสารเคมี (Internal inspection)**<br>- ตรวจวัดความหนา โดยทำการวัดทุกแผ่นบริเวณพื้นถัง<br>- ตรวจสอบและทดสอบพื้นถัง แนวเชื่อมบริเวณเชื่อมต่อระหว่างผนังถังกับพื้นถัง และบริเวณใกล้เคียง<br>- ความเรียบของพื้นถัง การโก่งและทรุดของพื้นถัง การสึกกร่อนใต้พื้นถัง และตรวจหารอยรั่วตามแนวเชื่อม ซึ่งทำการตรวจสอบบริเวณรอยเชื่อมของพื้นถัง (Bottom plate)<br>- ตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) ตามข้อกำหนด Appendix : API Std 653 Checklist for tank inspection สำหรับ Tank out-of-service inspection checklist | ระยะเวลาเริ่มต้นควรจะดำเนินการภายใน 10 ปี หลังจากเริ่มใช้งานถังเก็บ และสามารถบวกจำนวนปีเพิ่มเติมตามลักษณะการป้องกันการกัดกร่อนของถังนั้นๆ | ผู้มีประสบการณ์ หรือบริษัทที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน API |

## บทที่ 9 แบบตรวจสอบถังเก็บสารกัดกร่อน (Checklist)

### 1. ข้อมูลสถานประกอบการ

| | | | |
|---|---|---|---|
| ชื่อสถานประกอบการ : | | เลขทะเบียนโรงงาน : | |
| ที่อยู่ : | | | |
| เบอร์โทรศัพท์ : | | โทรสาร : | |
| วันที่เข้าสำรวจ : | | | |
| ชื่อ-สกุล ผู้กรอกแบบตรวจสอบ : | | | |
| จำนวนถังเก็บของเหลวไวไฟ | จำนวนถังเก็บสารกัดกร่อน | จำนวนถังเก็บสารพิษ | **รวมทั้งหมด** |
| | | | |

**<u>ให้กรอกข้อมูลในส่วนที่ 2-6 เฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องและเป็นข้อมูลสำหรับถังเก็บ 1 ถัง</u>**

### 2. ข้อมูลสารเคมี

| | |
|---|---|
| ชื่อสารเคมี (ชื่อสามัญ) : | |
| ค่าความถ่วงจำเพาะ (Max S.G.) : | ค่า Corrosion Rate (ถ้ามี) มม./ปี |

### 3. ข้อมูลถังเก็บสารเคมี

| | |
|---|---|
| บริษัทผู้ผลิตถัง: | รหัสถังเก็บสารเคมี: |
| ประเภทถัง : [ ] Fixed roof tank [ ] Internal floating roof tank | |
| ชนิดของวัสดุถังเก็บ [ ] เหล็ก [ ] สแตนเลส [ ] อื่นๆ..... | |
| ปีที่สร้าง: | อ้างอิงตาม API 650 Appendix : |
| ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง : เมตร | ความสูงของถัง (Shell height) : เมตร |
| ความจุสูงสุด (Max. Capacity) : ลบ.ม | ความจุสุทธิที่ใช้งาน (Net working capacity) : ลบ.ม |
| ลักษณะพื้นถังเก็บ [ ] แบบ Cone up [ ] แบบ Cone down [ ] แบบเอียงด้านเดียว<br>[ ] อื่นๆ ระบุ..... | |

**4. การตรวจสอบถังเก็บสารเคมี (กรณีถังไม่ได้อยู่ระหว่างการก่อสร้างให้ข้ามไปที่ข้อ 5)**

| | |
|---|---|
| การออกแบบถังอ้างอิงตามมาตรฐาน | [ ] API ระบุ Code.....<br>[ ] ASME ระบุ Code.....<br>[ ] อื่นๆ ระบุ.....lll..... |
| ลักษณะหลังคา [ ] แบบ Cone [ ] แบบ Dome | |
| ความหนาออกแบบ ; ผนังชั้นล่างสุด : มม. หลังคา: มม.<br>พื้นถัง มม. | |
| วัสดุที่ใช้เคลือบ/ปูผิวภายในถังเก็บ (ถ้ามี) | |
| ฐานรากของถังเก็บ [ ] บนดิน [ ] แบบวงแหวนคอนกรีต [ ] แบบเข็มแผ่ [ ] อื่นๆ | |

**5. การทดสอบถังก่อนส่งมอบ**

| |
|---|
| การทดสอบรอยเชื่อมครั้งล่าสุด เมื่อ..... (แนบผลทดสอบ) |
| การทดสอบ Hydrostatic test ครั้งล่าสุด เมื่อ..... (แนบผลทดสอบ) |

## 6. ข้อปฏิบัติสำหรับถังเก็บสารกัดกร่อน

### 6.1 ที่ตั้งถังเก็บสารกัดกร่อน

| ข้อ | รายละเอียด | มี | ไม่มี | ไม่เกี่ยวข้อง | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|
| 6.1.1 | ถังเก็บสารเคมีแยกออกจากพื้นที่กระบวนการผลิต และแบ่งโซนการจัดเก็บสารเคมีอย่างชัดเจน | | | | |
| 6.1.2 | ถังเก็บสารเคมีอยู่ห่างจากแหล่งน้ำในระยะที่เหมาะสม | | | | |
| 6.1.3 | กรณีมีถังมากกว่า 1 ถัง ระยะห่างระหว่างถังเก็บสารเคมีที่อยู่ติดกันไม่น้อยกว่า 0.9 เมตรเป็นไปตามเกณฑ์ที่เหมาะสม (ไม่น้อยกว่า 1/6 x ผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของถังคู่ที่อยู่ติดกัน) | | | | |
| 6.1.4 | ถังเก็บสารเคมีอยู่ห่างจากถนนสาธารณะตามที่กฎหมายควบคุมอาคารกำหนด | | | | |
| 6.1.5 | มีระยะที่รถดับเพลิงฉีดสารดับสามารถฉีดสารดับเพลิงถึงได้ หรือพื้นที่ให้รถดับเพลิงสามารถเข้าถึงได้อย่างน้อย 2 ด้าน | | | | |

### 6.2 การติดตั้งและการใช้งานถังเก็บ

| ข้อ | รายละเอียด | มี | ไม่มี | ไม่เกี่ยวข้อง | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|
| **มาตรการทั่วไป** | | | | | |
| 6.2.1 | มีป้าย (Name plate) เพื่อแสดงข้อมูลของถังเก็บสารเคมี | | | | |
| 6.2.2 | มีป้ายแสดงชนิด สมบัติ และปริมาณของเหลวในบริเวณพื้นที่ถังเก็บ | | | | |
| 6.2.3 | มีป้ายเตือนอันตราย และป้ายห้ามทำให้เกิดประกายไฟ หรือเปลวไฟ ในบริเวณพื้นที่ถังเก็บ | | | | |
| 6.2.4 | มีการติดชื่อสารเคมี และติดสัญลักษณ์ไว้ที่ถังเก็บสารกัดกร่อน ให้สามารถมองเห็นชัดเจนในระยะไกล | | | | |

**6.2 การติดตั้งและการใช้งานถังเก็บ (ต่อ)**

| ข้อ | รายละเอียด | มี | ไม่มี | ไม่เกี่ยวข้อง | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|
| **มาตรการทั่วไป (ต่อ)** | | | | | |
| 6.2.5 | มีข้อมูลความปลอดภัย (SDS) ของสารกัดกร่อนที่จัดเก็บไว้ในบริเวณที่ปฏิบัติงาน | | | | |
| 6.2.6 | มีการใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลตลอดเวลาที่ปฏิบัติงาน | | | | |
| 6.2.7 | มีบ่อพัก เพื่อรวบรวมน้ำและ/หรือของเหลวในบริเวณพื้นที่ถังเก็บ | | | | |
| 6.2.8 | มีการทำเครื่องหมายที่ถังเก็บ มีการบ่งชี้วัสดุอุปกรณ์ เช่น วาล์ว สาย และท่อต่างๆ เป็นต้น | | | | |
| 6.2.9 | มีการตรวจสภาพทั่วไปของถังเก็บของเหลว เช่น สภาพสีภายนอก รอยสนิม และการผุกร่อน เป็นต้น | | | | |
| 6.2.10 | มีการตรวจสภาพ และความแข็งแรงของราวกันตกบนหลังคาถัง | | | | |
| 6.2.11 | มีการตรวจการรั่วซึมตามหน้าแปลน ข้อต่อ ท่อ และวาล์วต่างๆ | | | | |
| 6.2.12 | มีการตรวจสภาพทั่วไปของพื้นที่รองรับ และเขื่อนกั้นล้อมรอบ เช่น รอยร้าว รอยรั่ว เป็นต้น | | | | |
| **ส่วนประกอบถังเก็บสารกัดกร่อน** | | | | | |
| 6.2.13 | มีช่องคนลงอย่างน้อย 2 ช่อง และมีขนาดไม่น้อยกว่า 500 มม. | | | | |
| 6.2.14 | มีช่องระบาย (Drain) เพื่อสามารถใช้สังเกตการรั่วซึมของพื้นถังได้ | | | | |
| 6.2.15 | มีถุงบอกทิศทางลม | | | | |
| **อุปกรณ์สำหรับถังเก็บสารกัดกร่อน** | | | | | |
| 6.2.16 | มีอุปกรณ์วัดระดับสารเคมี แบบอัตโนมัติ (Auto level gauge) | | | | |
| 6.2.17 | มีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าที่เหมาะสม *(ยกเว้นกรณีที่วัสดุถังเก็บมีความหนาอย่างน้อยตามที่มาตรฐานกำหนด)* | | | | |

**6.2 การติดตั้งและการใช้งานถังเก็บ (ต่อ)**

| ข้อ | รายละเอียด | มี | ไม่มี | ไม่เกี่ยวข้อง | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|
| **อุปกรณ์สำหรับถังเก็บสารกัดกร่อน (ต่อ)** | | | | | |
| 6.2.18 | มีการต่อสายดินที่ถังเก็บตามที่มาตรฐานกำหนด | | | | |
| 6.2.19 | **มีระบบป้องกันและควบคุมอัคคีภัย**<br>[ ] ระบบโฟม<br>[ ] ระบบน้ำดับเพลิง<br>[ ] ระบบสเปรย์น้ำดับเพลิง<br>[ ] ระบบเตือนภัยฉุกเฉิน<br>[ ] ถังดับเพลิงแบบคาร์บอนไดออกไซด์<br>[ ] ปืนฉีดน้ำดับเพลิง | | | | |
| 6.2.20 | **มีอุปกรณ์สำหรับระบบระบายความดัน**<br>[ ] Pressure safety valve<br>[ ] PV Valve<br>[ ] อื่นๆ ระบุ..... | | | | |
| 6.2.21 | มีการติดตั้ง Vent dryers (อุปกรณ์ดักความชื้น) | | | | |
| **กรณีสารกัดกร่อนมีสมบัติเป็นพิษ** | | | | | |
| 6.2.22 | **มีระบบควบคุมการปลดปล่อยสาร (Emission)**<br>[ ] ระบบเตาเผา (Incinerator)<br>[ ] ระบบบำบัดมลพิษทางอากาศอื่นๆ ระบุ .....<br>[ ] ระบบ Vapor Return Line<br>[ ] ระบบการปกคลุมด้วยก๊าซไนโตรเจนหรือก๊าซเฉื่อย (Nitrogen/Inert gas blanketing) | | | | |
| **กรณีสารกัดกร่อนมีสมบัติไวไฟ** | | | | | |
| 6.2.23 | มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซและไอระเหยสารกัดกร่อน ระบุวิธี ..... | | | | |

**6.3 การปฏิบัติงานกับสารกัดกร่อน**

| ข้อ | รายละเอียด | มี | ไม่มี | ไม่เกี่ยวข้อง | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|
| 6.3.1 | มีการอบรมความรู้เกี่ยวกับความเป็นอันตรายของสารกัดกร่อน | | | | |
| 6.3.2 | มีการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ในบรรยากาศ สภาพแวดล้อมการทำงาน | | | | |
| 6.3.3 | มีการตรวจสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานปีละ 1 ครั้ง | | | | |
| 6.3.4 | มีการฝึกซ้อมแผนฉุกเฉินไฟไหม้ ระเบิด สารเคมีหกรั่วไหล และการอพยพ อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง | | | | |

**6.4 การตรวจสอบและการบำรุงรักษาระหว่างการใช้งาน**

| ข้อ | รายละเอียด | มี | ไม่มี | ไม่เกี่ยวข้อง | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|
| 6.4.1 | มีแผนการตรวจสอบตามปกติ<br>(Routine in-service inspection)<br>ตามความถี่ที่กำหนด (1 ครั้งต่อเดือน)<br><br>โดยตรวจครั้งล่าสุดเมื่อ<br>..... | | | | |
| 6.4.2 | มีแผนการตรวจสอบประจำปี (In-service inspection) ตามความถี่ที่กำหนด (1 ครั้งต่อปี) โดยวัดความหนาของผนังขณะที่มีการใช้งานโดยไม่รวมความหนาของฉนวน *เฉพาะพื้นที่หรือจุดที่เสี่ยงต่อการกัดกร่อนสูง*<br><br>โดยตรวจครั้งล่าสุดเมื่อ<br>..... | | | | |

**6.4 การตรวจสอบและการบำรุงรักษาระหว่างการใช้งาน (ต่อ)**

| ข้อ | รายละเอียด | มี | ไม่มี | ไม่เกี่ยวข้อง | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|
| 6.4.3 | มีแผนการตรวจสอบภายนอกขณะใช้งาน (External inspection) ตามความถี่ที่กำหนด (ทุก 5 ปี) ตามมาตรฐาน API 653 โดย<br>- ตรวจสอบด้วยสายตา (Visual inspection) ตามข้อกำหนด Appendix : API Std 653 Checklist for tank inspection สำหรับ Tank in-service inspection checklist<br>- ตรวจวัดความเอียงของตัวถัง (Plumbness test)<br>- ตรวจวัดความหนาบริเวณผนังและหลังคาถังเก็บ<br><br>โดยตรวจครั้งล่าสุดเมื่อ<br>..... | | | | |
| 6.4.4 | มีแผนการตรวจสอบภายในของถังเก็บสารเคมี (Internal inspection) ตามมาตรฐาน API 653 โดย<br>- ตรวจวัดความหนา โดยทำการวัดทุกแผ่นบริเวณพื้นถัง<br>- ตรวจสอบและทดสอบพื้นถัง แนวเชื่อมบริเวณเชื่อมต่อระหว่างผนังถังกับพื้นถัง และบริเวณใกล้เคียง<br>- ความเรียบของพื้นถัง การโก่งและทรุดของพื้นถัง การสึกกร่อนใต้พื้นถัง และตรวจหารอยรั่วตามแนวเชื่อม ซึ่งทำการตรวจสอบบริเวณรอยเชื่อมของพื้นถัง (Bottom plate)<br>- ตรวจสอบด้วยสายตา (Visual inspection) ตามข้อกำหนด Appendix : API Std 653 Checklist for tank inspection สำหรับ Tank out-of-service inspection checklist<br><br>โดยตรวจครั้งล่าสุดเมื่อ<br>..... | | | | |

**สรุปผลการตรวจสอบ**

.....

.....

.....

.....

.....

วันที่บันทึกข้อมูล (วว/ดด/ปป) .....  ผู้ให้ข้อมูล .....

ผู้ตรวจสอบ 1).....

2).....

## ภาคผนวก ก.1

## ตารางเปลี่ยนหน่วย

| Quantity | English Unit | Convert by multiply | SI Unit |
|---|---|---|---|
| Length (ความยาว) | ft (ฟุต) | 0.3048 | m (เมตร) |
| Mass (น้ำหนัก) | lb (ปอนด์) | 0.4536 | kg (กิโลกรัม) |
| Area (พื้นที่) | $ft^2$ (ตารางฟุต) | 0.09290 | $m^2$ (ตารางเมตร) |
| Volume (ปริมาตร) | $ft^3$ (ลูกบาศก์ฟุต) | 0.02832 | $m^3$ (ลูกบาศก์เมตร) |
| | gallon (แกลลอน) | 3.79 | liter (ลิตร) |
| Density (ความหนาแน่น) | $lb/ft^3$ (ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต) | 16.02 | $kg/m^3$ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) |
| Pressure, stress (ความดัน ความเค้น) | $lb_f/in^2$ (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) | 6.895 | kPa (กิโลปาสคาล) |
| Force, weight (แรง น้ำหนัก) | $lb_f$ (ปอนด์) | 4.448 | N (นิวตัน) |

## ภาคผนวก ข.1

## ความสมดุลระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของถัง

| Height, m. | Diameter, m. | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12.5 | 15 | 17.5 | 20 | 22.5 | 25 | 27.5 |
| 1 | 7 | 12 | 28 | 50 | 78 | 122 | 176 | 240 | 314 | 397 | 490 | 593 |
| 2 | 14 | 25 | 56 | 100 | 157 | 245 | 353 | 481 | 628 | 795 | 981 | 1,187 |
| 3 | 21 | 37 | 84 | 150 | 235 | 358 | 530 | 721 | 942 | 1,192 | 1,472 | 1,781 |
| 4 | 28 | 50 | 113 | 201 | 314 | 490 | 706 | 962 | 1,256 | 1,590 | 1,963 | 2,375 |
| 5 | 35 | 62 | 141 | 251 | 392 | 613 | 883 | 1,202 | 1,570 | 1,988 | 2,454 | 2,969 |
| 6 | 42 | 75 | 169 | 301 | 471 | 736 | 1,060 | 1,443 | 1,884 | 2,385 | 2,954 | 3,563 |
| 7 | | 87 | 197 | 351 | 549 | 859 | 1,237 | 1,683 | 2,199 | 2,783 | 3,436 | 4,157 |
| 8 | | | 226 | 402 | 628 | 981 | 1,413 | 1,942 | 2,513 | 3,180 | 3,926 | 4,751 |
| 9 | | | 254 | 452 | 706 | 1,104 | 1,590 | 2,164 | 2,827 | 3,578 | 4,417 | 5,345 |
| 10 | | | 282 | 502 | 785 | 1,227 | 1,767 | 2,405 | 3,141 | 3,976 | 4,908 | 5,393 |
| 11 | | | | 552 | 863 | 1,349 | 1,943 | 2,645 | 3,455 | 4,373 | 5,399 | 6,533 |
| 12 | | | | 603 | 942 | 1,472 | 2,120 | 2,886 | 3,769 | 4,771 | 5,890 | 7,127 |

## ภาคผนวก ข.2

## ข้อมูลเบื้องต้นที่ต้องการใช้ในการคำนวณ

กำหนดความหมายของตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ

- เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของถังที่เปลือกถังชั้นล่างสุด, D
- ระดับของเหลวออกแบบสูงสุด, H
- ค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลวที่บรรจุ ที่อุณหภูมิใช้งาน, G
- ค่าความหนาเผื่อสำหรับการกัดกร่อน, CA
- ค่าความเค้นสูงสุดขณะใช้งาน, $S_d$
- ค่าความเค้นสูงสุดขณะอัดน้ำทดสอบ, $S_t$
- ความกว้างของแผ่นเหล็กที่ใช้ในการสร้างเปลือกถัง ความสูงของ (Shell course) ในแต่ละชั้น, h
- Thickness hydrostatic test *($t_t$)* หมายถึง ความหนาจากการอัดน้ำทดสอบ
- Thickness minimum *($t_{min}$)* หมายถึง หาค่าความหนาต่ำสุดที่ยอมได้
- Thickness of shell *($t_s$)* หมายถึง ความหนาออกแบบของ Shell
- Thickness product design *($t_d$)* หมายถึง ความหนาชั้นล่างสุด

### การคำนวณหาความหนาของเปลือกถัง (Shell) ชั้นล่างสุด

| ขั้นที่ | การดำเนินการ | สูตรที่ใช้ในการคำนวณ | แทนค่าข้อมูลที่ได้จากลงในสูตร | ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ | หน่วย |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.1 | หาค่า $t_d$ | $t_d = \frac{4.9D(H-0.3)G}{S_d} + CA$ | $\frac{4.9 \times __ (_ - 0.3) \times _}{____} + _$ | $t_d$ | มิลลิเมตร (mm.) |
| 1.2 | หาค่า $t_t$ | $t_t = \frac{4.9D(H-0.3)}{S_t}$ | $\frac{4.9 \times __ (__ - 0.3)}{____}$ | $t_t$ | มิลลิเมตร (mm.) |
| 1.3 | หาค่าความหนาจากการคำนวณ $t_1$ | เปรียบเทียบค่า $t_d$ และ $t_t$ เลือกค่าที่มากกว่า จากทั้งสองค่า | $t_d$ = _____<br>$t_t$ = _____ | $t_1$ | มิลลิเมตร (mm.) |

**การคำนวณหาความหนาของเปลือกถัง (Shell) ชั้นล่างสุด**

<table>
<tr><th>ขั้นที่</th><th>การ<br>ดำเนินการ</th><th>สูตรที่ใช้ในการคำนวณ</th><th>แทนค่าข้อมูลที่ได้จาก<br>ลงในสูตร</th><th>ผลลัพธ์ที่<br>ได้จาก<br>การ<br>คำนวณ</th><th>หน่วย</th></tr>
<tr><td>2.1</td><td>หาค่าความหนาต่ำสุดที่ยอมรับได้ $t_{min}$</td><td>หาค่าความหนาต่ำสุดของ Shell ($t_{min}$) ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง (D) จากตารางด้านล่าง<br><table><tr><th>D (m)</th><th>$t_{min}$ (mm)</th></tr><tr><td>< 15</td><td>5</td></tr><tr><td>15 to < 36</td><td>6</td></tr><tr><td>36 to 60</td><td>8</td></tr><tr><td>>60</td><td>10</td></tr></table>หมายเหตุ ถ้าถังมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 3.2-15 เมตร ความหนาของผนังชั้นล่างสุดต้องไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร</td><td>$D$ = _____ เมตร<br>$t_{min}$ = _____ มิลลิเมตร</td><td>$t_{min}$</td><td>มิลลิเมตร<br>(mm.)</td></tr>
<tr><td>2.2</td><td>หาค่าความหนาออกแบบของ Shell ($t_s$)</td><td>เปรียบเทียบค่าที่ได้จากข้อ 1.3 ($t_1$) และข้อ 2.1 ($t_{min}$) โดยเลือกค่าที่มากที่สุด</td><td>$t_1$ = _____ มิลลิเมตร<br>$t_{min}$ = _____ มิลลิเมตร</td><td>$t_s$</td><td>มิลลิเมตร<br>(mm.)</td></tr>
</table>

**ภาคผนวก ข.3**

**การคำนวณหาความหนาของเปลือกถัง (Shell) ชั้นที่ n**

| ขั้นที่ | การดำเนินการ | สูตรที่ใช้ในการคำนวณ | แทนค่าข้อมูลที่ได้ ลงในสูตร | ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ | หน่วย |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.1 | หาค่าความสูงของของเหลวที่นำมาคำนวณ $H_n$ | $H_n = H - (n-1)(h)$ | $H_n$ = ____- ( ___ - 1)( ____ ) | $H_n$ | เมตร (m.) |
| 1.2 | กำหนดค่า H ที่จะนำไปแทนค่าในข้อ 1.3 และ 1.4 | $H = H_n$ | $H$ = _____ | $H$ | เมตร (m.) |
| 1.3 | หาค่า $t_d$ | $t_d = \frac{4.9D(H-0.3)G}{S_d} + C_A$ | $\frac{4.9 \times ____ (____ - 0.3) \times ____}{____} + ____$ | $t_d$ | มิลลิเมตร (mm.) |
| 1.4 | หาค่า $t_t$ | $t_t = \frac{4.9D(H-0.3)}{S_t}$ | $\frac{4.9 \times ____(____ - 0.3)}{____}$ | $t_t$ | มิลลิเมตร (mm.) |
| 1.5 | หาค่าความหนาจากการคำนวณ $t_1$ | เปรียบเทียบค่า $t_d$ และ $t_t$ โดยเลือกค่าที่มากกว่าจากทั้งสองค่า | $t_d$ = _____<br>$t_t$ = _____ | $t_1$ | มิลลิเมตร (mm.) |

<table>
<tr><th>ขั้นที่</th><th>การ<br>ดำเนินการ</th><th>สูตรที่ใช้ในการคำนวณ</th><th>แทนค่าข้อมูลที่ได้ ลงในสูตร</th><th>ผลลัพธ์ที่<br>ได้จาก<br>การ<br>คำนวณ</th><th>หน่วย</th></tr>
<tr><td>2.1</td><td>หาค่าความหนาต่ำสุดที่ยอมได้ $t_{min}$</td><td>หาค่าความหนาต่ำสุดของ shell ($t_{min}$) ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง ($D$) จากตารางด้านล่าง<br><table><tr><th>D (m)</th><th>$t_{min}$ (mm)</th></tr><tr><td>< 15</td><td>5</td></tr><tr><td>15 to <36</td><td>6</td></tr><tr><td>36 to 60</td><td>8</td></tr><tr><td>>60</td><td>10</td></tr></table>หมายเหตุ ถ้าถังมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 3.2-15 เมตร ความหนาของผนังชั้นล่างสุดต้องไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร</td><td>D = _____ เมตร<br>$t_{min}$ = _____ มิลลิเมตร</td><td>$t_{min}$</td><td>มิลลิเมตร<br>(mm.)</td></tr>
<tr><td>2.2</td><td>หาค่าความหนาออกแบบของ shell $t_{s(n)}$</td><td>เปรียบเทียบค่าที่ได้จากข้อ 1.5 ($t_1$)<br>และข้อ 2.1 ($t_{min}$)<br>โดยเลือกค่าที่มากที่สุด</td><td>$t_1$ = _____ มิลลิเมตร<br>$t_{min}$ = _____ มิลลิเมตร</td><td>$t_{s(n)}$</td><td>มิลลิเมตร<br>(mm.)</td></tr>
</table>

## ภาคผนวก ข.4

## ค่าความเค้นของวัสดุแต่ละชนิด

| Plate Specification | Grade | Nominal Plate Thickness $t$ mm | Minimum Yield Strength MPa | Minimum Tensile Strength MPa | Product Design Stress $S_d$ MPa | Hydrostatic Test Stress $S_t$ MPa |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ASTM Specifications | | | | | | |
| A283M | C | | 205 | 380 | 137 | 154 |
| A283M | C | | 205 | 380 | 137 | 154 |
| A 131M | A, B | | 235 | 400 | 157 | 171 |
| A36M | | | 250 | 400 | 160 | 171 |
| A 131M | EH 36 | | 360 | 490a | 196 | 210 |
| A573M | 400 | | 220 | 400 | 147 | 165 |
| A573M | 450 | | 240 | 450 | 160 | 180 |
| A573M | 485 | | 290 | 435a | 193 | 208 |
| A516M | 380 | | 205 | 380 | 137 | 154 |
| A516M | 415 | | 220 | 415 | 147 | 165 |
| A516M | 450 | | 240 | 450 | 160 | 180 |
| A516M | 485 | | 260 | 485 | 173 | 195 |
| A662M | B | | 275 | 450 | 180 | 193 |
| A662M | C | | 295 | 435a | 194 | 208 |
| A537M | | $t \leq 65$ | 345 | 435a | 194 | 208 |
| | | $65 < t \leq 100$ | 310 | 450b | 180 | 193 |
| A537M | 2 | $t \leq 65$ | 415 | 550a | 220 | 236 |
| | | $65 < t \leq 100$ | 380 | 515b | 206 | 221 |
| A633M | C,D | $t \leq 65$ | 345 | 435a | 194 | 208 |
| | | $65 < t \leq 100$ | 315 | 450b | 180 | 193 |
| A678M | A | | 345 | 485[3] | 194 | 208 |
| A678M | B | | 415 | 550[3] | 220 | 236 |
| A737M | B | | 345 | 485[3] | 194 | 208 |
| A841M | Class 1 | | 345 | 485[3] | 194 | 208 |
| A841M | Class 2 | | 415 | 550[3] | 220 | 236 |
| CSA Specifications | | | | | | |
| G40.21M | 260W | | 260 | 410 | 164 | 176 |
| G40.21M | 260WT | | 260 | 410 | 164 | 176 |
| G40.21M | 300W | | 300 | 450 | 180 | 193 |
| G40.21M | 300WT | | 300 | 450 | 180 | 193 |

| Plate Specification | Grade | Nominal Plate Thickness $t$ mm | Minimum Yield Strength MPa | Minimum Tensile Strength MPa | Product Design Stress $S_d$ MPa | Hydrostatic Test Stress $S_t$ MPa |
|---|---|---|---|---|---|---|
| G40.21M | 350W | | 350 | 450 | 180 | 193 |
| G40.21M | 350WT | t ≤ 65 | 350 | 480[1] | 192 | 206 |
| | | 65 ≤ t ≤ 100 | 320 | 480[1] | 192 | 206 |
| | | | National Standards | | | |
| | 235 | | 235 | 365 | 137 | 154 |
| | 250 | | 250 | 400 | 157 | 171 |
| | 275 | | 275 | 430 | 167 | 184 |
| | | | ISO Specifications | | | |
| ISO 630 | E 355C, D | t ≤ 16 | 275 | 410 | 164 | 176 |
| | | 16 ≤ t40 | 265 | 410 | 164 | 176 |
| | E 355, D | t ≤ 16 | 355 | 490[3] | 196 | 201 |
| | | 16 < t ≤ 40 | 345 | 490[3] | 196 | 201 |
| | | 40 < t ≤ 50 | 335 | 490[3] | 196 | 201 |
| | | | EN Specifications | | | |
| EN 10025 | S 355J0, J2 | t ≤ 16 | 275 | 410 | 164 | 176 |
| | | 16 < t ≤ 1 ½ | 265 | 410 | 164 | 176 |
| | S 355J0, J2, K2 | t ≤ 16 | 355 | 470[3] | 188 | 201 |
| | | 16 < t ≤ 40 | 345 | 470[3] | 188 | 201 |
| | | 40 < t ≤ 50 | 335 | 470[3] | 188 | 201 |

- [a] By agreement between the Purchaser and the Manufacturer, the tensile strength of ASTM A 537M, Class 2, A 678M, Grade B, and A 841M, Class 2, materials m be increased to 585 MPa minimum and 690 MPa maximum. The tensile strength of the other listed materials may be increased to 515 MPa minimum and 620 MPa maximum. When this is done, the allowable stresses s all be determined as stated in 5.6.2.1 and 5.6.2.2
- [b] By agreement between the Purchaser and the Manufacturer, the tensile strength of ASTM A 537M, Class 2 materials map be increased to 550 MPa minimum and 690 MPA maximum. The tensile strength of the other listed materials may be increased to 485 MPa minimum and 620 MPa maximum. When this is done, the allowable stresses s all be determined as stated in 5.6.2.1 and 5.6.2.2

ที่มา : Table 5-2a- (SI) Permissible Plate Materials and Allowable Stresses
API 650 Welded Tanks for Oil Storage ADDENDUM 2011 Chapter 5 (Paper 5-13)

## ภาคผนวก ข.5

## การคำนวณค่าความเค้นสูงสุด

| มาตรฐานเหล็ก | Product design stress, $S_d$ (MPa) | Hydrostatic design stress, $S_t$ (MPa) |
|---|---|---|
| มอก. 1479-2541 | 116 | 131 |
| มอก. 1499-2541 | 156 | 171 |
| มอก. 2060-2543 | 160 | 172 |
| ASTM 304 | 143 | 161 |

คำนวณหาค่าความเค้นสูงสุดขณะใช้งาน , $S_d$

$S_d = \frac{2}{3}$ x yield strength หรือ $\frac{2}{5}$ x tensile strength หน่วย เมกะพาสคาล (MPa)

ค่าความเค้นสูงสุดขณะอัดน้ำทดสอบ, $S_t$

$S_t = \frac{3}{4}$ x yield strength หรือ $\frac{3}{7}$ x tensile strength หน่วย เมกะพาสคาล (MPa)

หลังจากคำนวณค่า $S_d$ และ $S_t$ จากแต่ละสูตรเสร็จแล้ว เราจะเลือกใช้ค่า $S_d$ และ $S_t$ ที่น้อยที่สุด

ตัวอย่างการคำนวณค่าความเค้นสูงสุดขณะใช้งาน และค่าความเค้นสูงสุดขณะอัดน้ำทดสอบ
ของเหล็กมอก. 1499-2541

| มาตรฐานเหล็ก | Yield strength (MPa) | Tensile strength (MPa) |
|---|---|---|
| มอก. 1499-2541 | **235** | **400** |

จะได้ $S_d = \frac{2}{3}$ x 235 = 156 MPa หรือ $\frac{2}{5}$ x 400 = 160 MPa

$S_t = \frac{3}{4}$ x 175 = 176 MPa หรือ $\frac{3}{7}$ x 330 = 171 MPa

ดังนั้น เหล็กมาตรฐาน มอก. 1499-2541 จะมีค่า $S_d$ = 156 MPa และค่า $S_t$ = 171 MPa

# ภาคผนวก ข.6

## ตัวอย่างวัสดุปูผิวถังเก็บของเหลวต่าง ๆ

**Rating – Chemical Effect**

A: No effect – Excellent

B: Minor effect – Good

C: Moderate effect – Fair

D: Severe effect – Not Recommended

| | 302 Stainless Steel | 304Stainless Steel | 316 Stainless Steel | 440 Stainless Steel | Aluminum | TITANIUM | HASTELLOY C | Cast Bronze | Brass | Cast Iron | Carbon Steel | KYNAR | PVC (Type 1) | Tygon (E-3606) | Teflon | Noryl | Polyacetal | Nylon | Cycolac (ABS) | Polyethylene | POLYPROPYLENE | RYTON | CARBON | CERAMIC | CERAMAGNET "A" | VITON | BUNA N (NITRILE) | Silicon | Neoprene | Ethylene Propylene (EPM) | Rubber (Natural) | Epoxy |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Acetic Acid, Glacia[1] | - | B | A | A | B | A | A | C | C | D | A | - | C | B | A | C | D | D | D | B | B | A | A | A | - | D | D | B | C | B | C | B |
| Acetic Acid 20% | - | B | A | - | - | A | A | - | C | - | - | A | B | - | A | A | - | D | - | - | A | A | - | A | - | A | C | - | C | - | - | B |
| Acetic Acid 80% | - | B | A | - | - | A | A | - | C | - | - | A | D | - | A | B | - | D | - | - | B | - | - | A | - | A | C | - | D | - | - | B |
| Acetic Acid | - | B | A | B | B | A | A | C | C | D | C | B | A | B | A | A | D | D | C | B | A | A | A | A | - | C | C | - | C | B | C | A |
| Hydrobromic Acid 20% | - | - | D | - | - | A | A | - | - | - | - | A | A | - | A | A | - | D | - | - | A | - | - | B | - | A | D | - | C | - | - | B |
| Hydrobromic Acid[3] | D | D | D | D | D | A | A | D | - | D | D | A | A | B | A | C | D | D | - | B | B | - | A | A | - | A | D | D | D | A | A | A |
| Hydrochloric Acid (Dry Gas) | D | C | A | - | D | - | A | - | - | - | D | - | A | - | A | - | - | - | - | - | - | - | A | - | - | - | - | - | - | A | - | A |
| Hydrochloric Acid 20%[3] | - | D | D | D | D | C | B | D | - | D | - | A | A | B | A | A | D | D | B | A | A | D | A | A | D | A | C | - | C | A | C | A |
| Hydrochloric Acid 37% [3] | - | D | D | D | D | C | B | D | - | D | - | A | A | B | A | A | D | D | C | A | A | D | A | C | D | A | C | C | C | C | D | A |
| Hydrochloric Acid 100% | - | D | D | - | D | D | C | D | - | D | - | - | A | A | A | - | - | D | - | A | - | - | A | C | - | C | D | - | C | - | A | A |
| Hydrocyanic Acid | A | A | A | C | A | A | A | D | D | - | C | - | A | B | A | A | B | A | - | B | A | - | A | A | - | A | C | - | B | - | A | A |
| Hydrofluoric Acid 20%[1] | - | D | D | D | D | D | B | D | - | D | - | - | D | B | A | A | D | D | - | C | A | C | B | C | D | A | D | - | C | A | C | B |
| Hydrofluoric Acid 75%[1 2] | - | C | D | - | D | D | C | D | - | D | - | A | C | B | A | D | D | D | - | C | B | C | D | D | D | A | D | D | D | C | C | C |
| Hydrofluoric Acid 100% | D | D | D | - | D | D | B | D | - | D | D | - | C | D | A | - | - | - | - | D | - | C | D | D | - | - | D | - | D | - | D | A |
| Nitric Acid (10% Solution) | A | A | A | A | D | A | A | D | - | D | D | A | A | B | A | A | D | D | C | B | A | D | C | B | D | A | D | - | D | B | D | A |
| Nitric Acid (20% Solution) | - | A | A | A | D | A | A | D | - | D | - | B | A | B | A | A | D | D | D | B | A | C | D | C | D | A | D | - | D | D | D | B |
| Nitric Acid (50% Solution) | - | A | A | A | D | A | A | D | - | D | - | B | A | B | A | A | D | D | D | C | D | C | D | A | - | A | D | - | D | D | D | D |
| Nitric Acid (Concentrated Solution) | - | D | B | A | B | A | B | D | D | D | - | - | D | C | A | D | D | D | D | D | D | C | D | A | C | B | D | - | D | D | D | D |
| Phosphoric Acid (to 40% Solution) | - | B | A | A | D | A | A | D | D | D | - | - | A | B | A | A | D | D | C | B | A | A | B | C | D | A | D | - | D | B | C | A |
| Phsophoric Acid (40-100% Solution) | - | C | B | B | D | B | A | D | D | D | - | - | A | B | A | A | D | D | D | C | A | A | B | D | D | A | D | - | D | B | C | C |
| Potassium Hydroxide (50%) | A | B | B | B | D | C | A | D | D | C | A | D | A | B | A | A | D | A | C | B | A | A | - | D | A | D | B | C | A | A | C | A |
| Sulfuric Acid (to 10%) | - | D | C | C | C | A | A | D | D | D | - | A | A | B | A | A | D | D | B | B | A | A | A | A | - | A | C | - | D | D | C | A |
| Sulfuric Acid (10%-75%)[2] | - | D | D | D | D | C | B | D | D | D | - | A | A | B | A | B | D | D | B | C | A | B | A | D | C | A | D | - | D | D | D | B |
| Sulfuric Acid (75%-100%) | - | - | D | - | - | D | B | - | D | - | - | A | B | - | A | A | - | D | - | - | B | C | - | A | - | A | D | - | D | - | - | D |

Footnotes

1. P.V.C. – Satisfactory to 72 °F
2. Polypropylene - Satisfactory to 72 °F
3. Buna-N – Satisfactory for "O" Rings

**หมายเหตุ :** ตารางข้างต้น เป็นการยกตัวอย่าง Compatibility Resistant Chart ที่ได้จากผู้ให้บริการหนึ่งซึ่งอาจมีความเหมือนหรือแตกต่างจากที่อื่นก็ได้ (ที่มา http://www.quickcutgasket.com/pdf/Chemical-Resistance-Chart.pdf เข้าถึงเมื่อกรกฎาคม 2559)

# ภาคผนวก ค

# ตัวอย่างการคำนวณสำหรับถังเก็บสารกัดกร่อน

ขั้นตอนการคำนวณสำหรับการออกแบบถังเก็บสารเคมี/ คำนวณที่ความจุสูงสุด (V) 500 ลูกบาศก์เมตร

**1. ตัวอย่างการคำนวณถังเหล็กกล้าไร้สนิม**

กำหนดให้ระดับของเหลวออกแบบสูงสุด (H) = 7 เมตร

บรรจุกรดซัลฟิวริก Specific gravity (G) = 1.84

กำหนดให้ความหนาเผื่อกัดกร่อน CA 0.28 มิลลิเมตร/ปี ใช้งาน 30 ปี ดังนั้น CA = 0.28 x 30 = 8.4 มิลลิเมตร

วัสดุที่เลือกใช้ Shell (Plate) เลือกเหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน ASTM ชนิด A304 Stainless steel

**หาค่าความเค้นของวัสดุแต่ละชนิด จากสูตรด้านล่าง**

ซึ่งเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด ASTM A304 มีค่า Tensile strength = 505 MPa และ Yield strength = 215 MPa

$$\text{จะได้ } S_d = \frac{2}{3} \times 215 = 143 \text{ MPa} \quad \text{หรือ } \frac{2}{5} \times 505 = 202 \text{ MPa}$$

$$S_t = \frac{3}{4} \times 215 = 161 \text{ MPa} \quad \text{หรือ } \frac{3}{7} \times 505 = 216 \text{ MPa}$$

ดังนั้น เหล็กมาตรฐาน ASTM A304 จะมีค่า ความเค้นสูงสุดขณะใช้งาน ($S_d$) = 143 MPa และความเค้นสูงสุดขณะอัดน้ำทดสอบ ($S_t$) = 161 MPa

ความกว้างของแผ่นเหล็ก h = 1.524 เมตร (เลือกเหล็กกว้าง x ยาว = 1.524 x 6.096 เมตร)

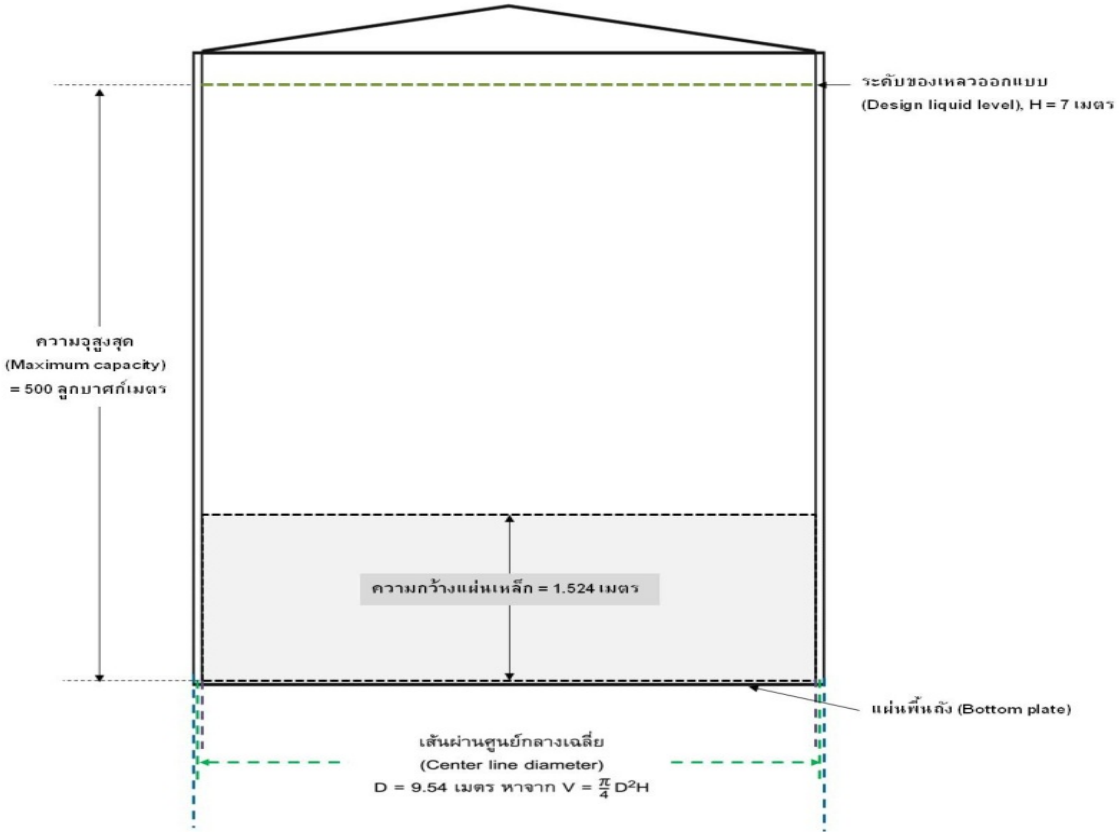
จาก V = 500 ลูกบาศก์เมตร, h = 7 เมตร

$$\frac{\pi}{4} D^2 H = 500$$

$$D = \sqrt{\frac{500 \times 4}{\pi \times 7}}$$

$$D = 9.54 \text{ เมตร}$$

ดังนั้น เส้นผ่านศูนย์กลาง, D = 9.54 เมตร และสรุปข้อมูลถังที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้




**ความหนาชั้นล่างสุด**

จากสมการ $$t_d = \frac{4.9D(H-0.3)G}{S_d E} + C_A$$

$$t_d = \frac{4.9 \times 9.54(7.0-0.3)(1.84)}{143\ (1)} + 8.4$$

$$= \frac{576.28}{143} + 8.4 = 12.43 \text{ มิลลิเมตร}$$

**ความหนาจากการอัดน้ำทดสอบ**

จากสมการ

$$t_t = \frac{4.9D(H-0.3)}{S_t E}$$

$$t_t = \frac{4.9 \times 9.54(7.0-0.3)}{161\ (1)}$$

$$= 1.95 \text{ มิลลิเมตร}$$

เปรียบเทียบระหว่างค่า $t_d$ = 12.43 มิลลิเมตร และ $t_t$ = 1.95 มิลลิเมตร

$t_d > t_t$ ดังนั้น $t_1$ = 12.43 มิลลิเมตร

ความหนาต่ำสุดสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) < 15 เมตร ดังนั้น $t_{min}$ = 6 มิลลิเมตร

ความหนาออกแบบของ Shell ($t_s$) เปรียบเทียบระหว่าง $t_1$ = 12.43 มิลลิเมตร และ $t_{min}$ = 6 มิลลิเมตร

$t_{min} < t_1$ ดังนั้น $t_{s1}$ = 12.43 มิลลิเมตร

**ความหนาชั้นถัดจากชั้นล่างสุด**

ความสูงของเหลวที่นำมาคำนวณ จากสมการ $H_n = H - (n-1)(h)$

ความสูงของของเหลว $H_n = 7.0 - (1-1)(1.524)$ และ $H_1 = 7.0$ เมตร (ชั้น 1 คือ ชั้นล่างสุด)

$$H_2 = 7.0-(2-1)(1.524) = 5.476 \text{ (ชั้นที่ 2)}$$

$$t_d = \frac{4.9 \times 9.54\ (5.476-0.3)(1.84)}{143\ (1)} + 8.4 = 11.51 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$t_t = \frac{4.9 \times 9.54\ (5.476-0.3)}{161\ (1)} = 1.50 \text{ มิลลิเมตร}$$

เลือก $t_1 = 11.51$ มิลลิเมตร

แต่ $t_{min} = 6$ มิลลิเมตร ดังนั้น $t_{s2} = 11.51$ มิลลิเมตร

ถังใบนี้ต้องใช้ shell 5 ชั้น ดังนี้

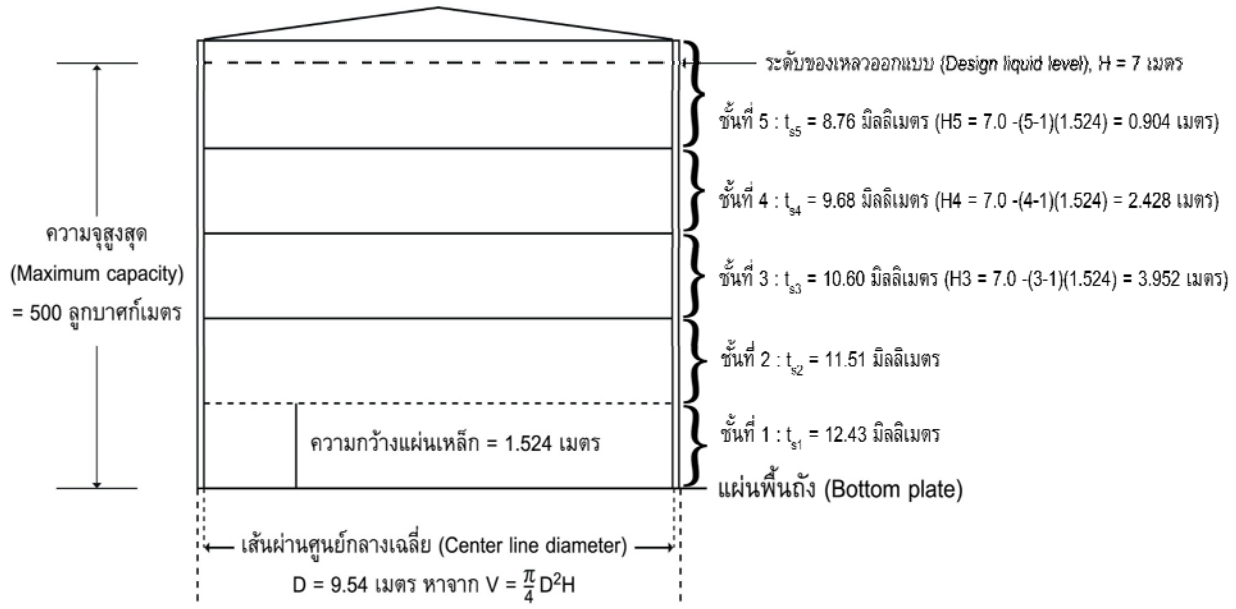
ชั้นที่ 1 : $t_{s1} = 12.43$ มิลลิเมตร

ชั้นที่ 2 : $t_{s2} = 11.51$ มิลลิเมตร

ชั้นที่ 3 : $t_{s3} = 10.60$ มิลลิเมตร (H3 = 7.0 -(3-1)(1.524) = 3.952 เมตร)

ชั้นที่ 4 : $t_{s4} = 9.68$ มิลลิเมตร (H4 = 7.0 -(4-1)(1.524) = 2.428 เมตร)

ชั้นที่ 5 : $t_{s5} = 8.76$ มิลลิเมตร (H5 = 7.0 -(5-1)(1.524) = 0.904 เมตร)



**2. ตัวอย่างการคำนวณถังเหล็กกล้า**

กรณีบรรจุกรดซัลฟิวริกเหมือนกัน และมีระดับของเหลวออกแบบสูงสุด (H) = 7 เมตร เท่ากัน แต่เปลี่ยนวัสดุเป็นเหล็กกล้า ซึ่งสมมติให้อัตราการกัดกร่อนมีค่าเท่ากับ 1 มิลลิเมตร /ปี ใช้งาน 30 ปี ดังนั้นความหนาเผื่อกัดกร่อน CA = 1 x 30 = 30 มิลลิเมตร *(เนื่องจากไม่มีข้อมูลค่าอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้ากับกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นดังกล่าว จึงเลือกสมมติค่า อัตราการกัดกร่อนมีค่าเท่ากับ 1 มิลลิเมตร /ปี)*

วัสดุที่เลือกใช้ Shell (Plate) เลือกเหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน ASTM ชนิด A573 Grade 485

**หาค่าความเค้นของวัสดุแต่ละชนิด จากตารางภาคผนวกที่ ข.5**

ความเค้นสูงสุดขณะใช้งาน ($S_d$) = 193 MPa.

ความเค้นสูงสุดขณะอัดน้ำทดสอบ ($S_t$) = 208 MPa.

ความกว้างของแผ่นเหล็ก (h) = 1.524 เมตร (เลือกเหล็กกว้าง x ยาว = 1.524 x 6.096 เมตร)

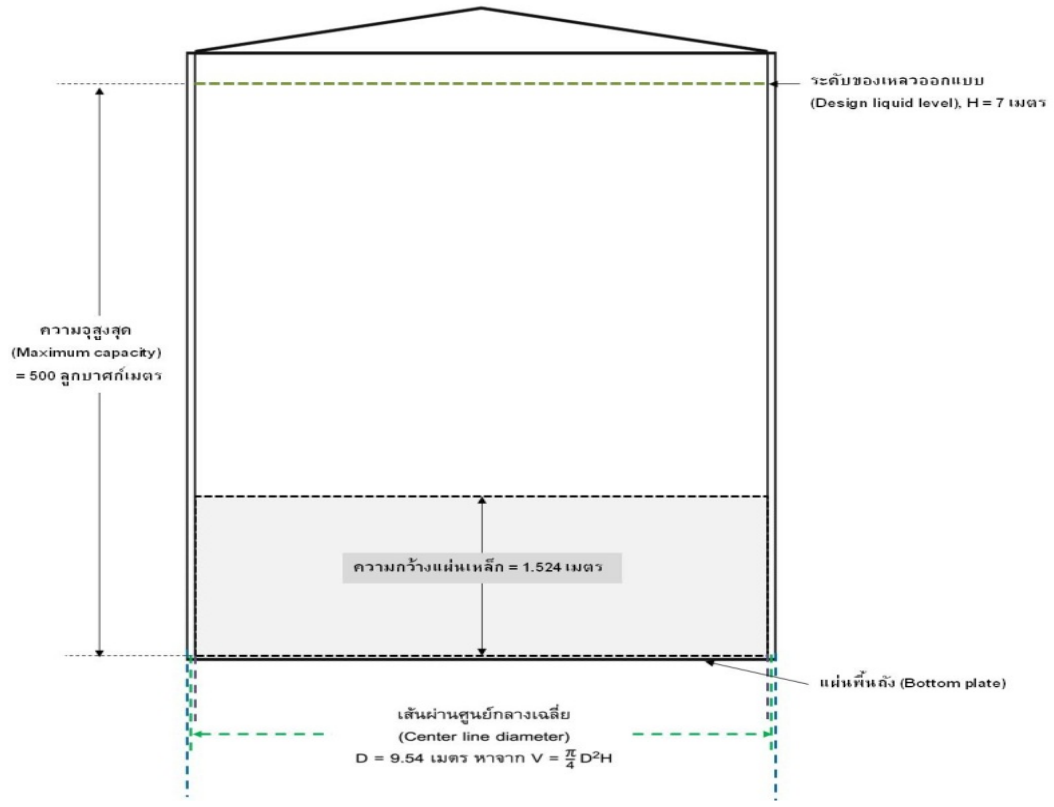
จาก V = 500 ลูกบาศก์เมตร, h = 7 เมตร

$$\frac{\pi}{4} D^2 H = 500$$

$$D = \sqrt{\frac{500 \times 4}{\pi \times 7}}$$

D = 9.54 เมตร

<u>ดังนั้น</u> เส้นผ่านศูนย์กลาง, D = 9.54 เมตร และสรุปข้อมูลถังที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้



**ความหนาชั้นล่างสุด**

จากสมการ $$t_d = \frac{4.9D(H-0.3)G}{S_d} + C_A$$

$$t_d = \frac{4.9 \times 9.54(7.0-0.3)(1.84)}{193} + 3$$

$$= \frac{576.28}{193} + 30 = 32.99 \text{ มิลลิเมตร}$$

**ความหนาจากการอัดน้ำทดสอบ**

จากสมการ

$$t_t = \frac{4.9D(H-0.3)}{S_t}$$

$$t_t = \frac{4.9 \times 9.54(7.0-0.3)}{208}$$

$$= 1.51 \text{ มิลลิเมตร}$$

เปรียบเทียบระหว่างค่า $t_d$ = 32.99 มิลลิเมตร และ $t_t$ = 1.51 มิลลิเมตร

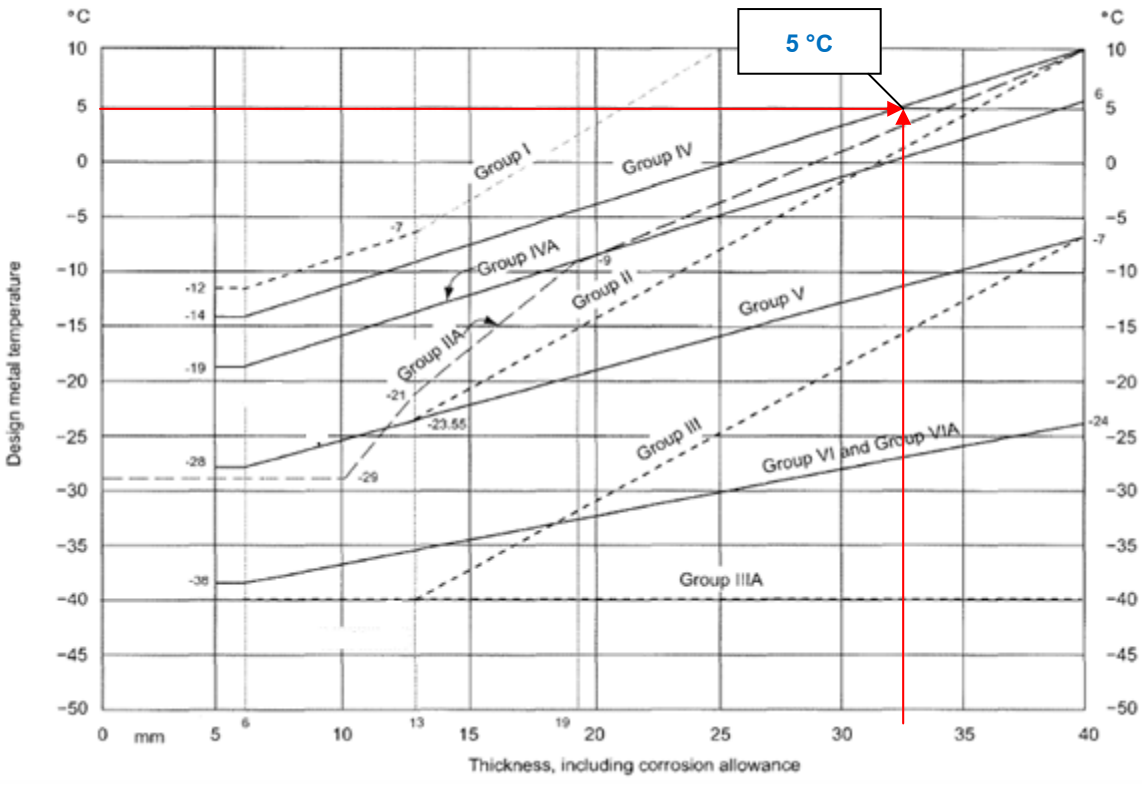
$t_d > t_t$ ดังนั้น $t_1$ = 32.99 มิลลิเมตร

ความหนาต่ำสุดสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) < 15 เมตร ดังนั้น $t_{min}$ = 6 มิลลิเมตร

ความหนาออกแบบของ Shell ($t_s$) เปรียบเทียบระหว่าง $t_1$ = 32.99 mm. และ $t_{min}$ = 6 มิลลิเมตร

$t_{min} < t_1$ ดังนั้น $t_{s1}$ = 32.99 มิลลิเมตร

หลังจากทราบความหนาของชั้นล่างสุดแล้ว ให้กลับไปตรวจสอบว่าเกรดเหล็กที่เลือกมาเหมาะสมกับอุณหภูมิใช้งานหรือไม่ จากรูปที่ 3.1 (โดยพิจารณาอุณหภูมิการใช้งานตามหัวข้อ 3.2.1) กรณีของกรดซัลฟิวริกที่เลือกพิจารณาอุณหภูมิต่ำสุดที่มีโอกาสเกิดขึ้นในขณะใช้งานของสถานที่ติดตั้ง คืออุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส




จากรูปจะเห็นว่าความหนาของเหล็กที่ 32.99 มิลลิเมตร สำหรับเหล็ก A573 Grade 485 Group IV (As rolled, killed, fined-grain practice) จะสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส ขณะที่โอกาสอุณหภูมิใช้งานต่ำสุดอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส แสดงว่าเกรดเหล็กที่เลือกใช้เหมาะสมกับการใช้งานโดยไม่ต้องทำ Impact test

**ความหนาชั้นถัดจากชั้นล่างสุด**

ความสูงของเหลวที่นำมาคำนวณ จากสมการ $H_n = H - (n-1)(h)$

ความสูงของของเหลว $H_n = 7.0 - (1-1)(1.524)$ และ $H_1 = 7.0$ m. (ชั้น 1 คือ ชั้นล่างสุด)

$H_2 = 7.0-(2-1)(1.524) = 5.476$ (ชั้นที่ 2)

$$t_d = \frac{4.9 \times 9.54\ (5.476-0.3)(1.84)}{193} + 30 = 32.31 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$t_t = \frac{4.9 \times 9.54\ (5.476-0.3)}{208} = 1.50 \text{ มิลลิเมตร}$$

เลือก $t_1 = 32.31$ มิลลิเมตร

แต่ $t_{min} = 6$ mm. ดังนั้น $t_{s2} = 32.31$ มิลลิเมตร

ถังใบนี้ต้องใช้ shell 5 ชั้น ดังนี้

ชั้นที่ 1 : $t_{s1} = 32.99$ มิลลิเมตร

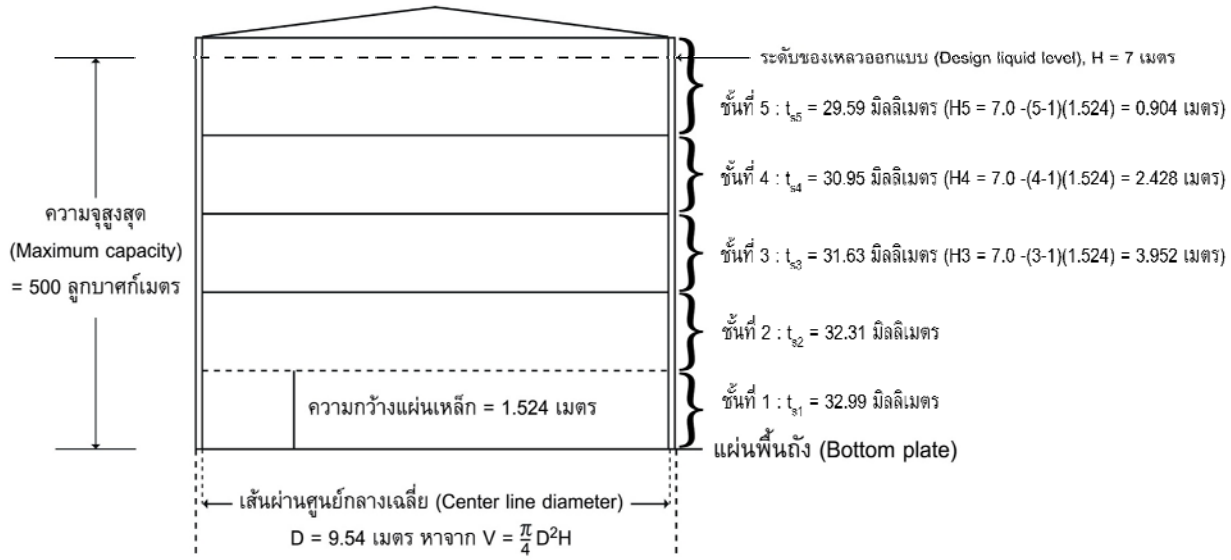
ชั้นที่ 2 : $t_{s2} = 32.31$ มิลลิเมตร

ชั้นที่ 3 : $t_{s3} = 31.63$ มิลลิเมตร (H3 = 7.0 -(3-1)(1.524) = 3.952 เมตร)

ชั้นที่ 4 : $t_{s4} = 30.95$ มิลลิเมตร (H4 = 7.0 -(4-1)(1.524) = 2.428 เมตร)

ชั้นที่ 5 : $t_{s5} = 29.59$ มิลลิเมตร (H5 = 7.0 -(5-1)(1.524) = 0.904 เมตร)

หลังจากทราบความหนาของเหล็กกล้าไร้สนิม และเหล็กกล้าในแต่ละชั้น เมื่อถึงขั้นตอนการสร้างถังจะต้องเลือกใช้แผ่นเหล็กที่มีความหนาขั้นต่ำอย่างน้อยตามที่ออกแบบได้ในแต่ละชั้น



# ภาคผนวก ง

1. **วิธีการอัดน้ำเพื่อทดสอบความดัน (Hydrostatic test)** มีขั้นตอนดังนี้

- ให้ทำการตรวจพินิจด้วยสายตา (Visual inspection) ตามมาตรฐานการตรวจสอบ บริเวณภายนอก ของถัง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของงานสร้างและติดตั้งถังตามแบบ หาสภาพการผุกร่อนของถังรับ แรงดัน รวมไปถึงสภาพบกพร่องอื่นๆ โดยที่คุณสมบัติของผู้ตรวจสอบและทดสอบให้เป็นไปตาม มาตรฐานผู้ตรวจสอบ และทดสอบโดยไม่ทำลาย[1]
- ให้ทำการกำจัดเศษวัสดุต่างๆ จากงานสร้างและติดตั้งถังออกให้หมด และทำความสะอาดภายในถังให้สะอาด
- ให้จัดหาน้ำสะอาดเพื่อใช้ในการทดสอบถัง โดยถ้าเป็นถังเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) น้ำจะต้องมีค่าคลอไรด์ไม่เกิน 30 ppm.
- ให้ทำการปิดรูทางออกทั้งหมดที่เปลือก (Tank shell) ของถังด้วยวาล์วและหน้าแปลนทึบเพื่อไม่ให้น้ำรั่วออกจากถังในขณะทำการทดสอบการอัดน้ำ (Hydrostatic test)
- ให้ทำการตรวจสอบค่าการทรุดตัวและความเอียงของถังของถังก่อนเติมน้ำและหลังจากทดสอบความดันและระบายน้ำออก ที่ระดับปริมาตรความจุถังที่ 0%, 25%, 50%, 75% และ100%
- ให้ทำการตรวจสอบความเอียงของถังของถังก่อนเติมน้ำและหลังจากทดสอบความดันและระบายน้ำออก ที่ระดับปริมาตรความจุถังที่ 0%และ100%
- ให้ทำการเติมน้ำเพื่อทดสอบความดันของถัง โดยให้ควบคุมอัตราการเติมน้ำเข้าถังตาม API 650 ตามตาราง ดังนี้

**Water Filling Rate**

| Bottom Course Thickness | Tank Portion | Maximum Filling Rate |
|---|---|---|
| Less than 22 mm (7/8 in.) | – Top course | 300 mm (12 in.)/hr |
| | – Below top course | 460 mm (18 in.)/hr |
| 22 mm (7/8 in.) and thicker | – Top third of tank | 230 mm (9 in.)/hr |
| | – Middle third of tank | 300 (12 in.)/hr |
| | – Bottom third of tank | 460 (18 in.)/hr |

- ในระหว่างการเติมน้ำที่แต่ละระดับคือ 25%, 50% และ 75% ให้ทำการพักการเติมน้ำเพื่อตรวจสอบการทรุดตัวของถังและที่ 100% ให้ทำการคงระดับน้ำไว้ 24 ชั่วโมงเพื่อทดสอบความแข็งแรงและตรวจสอบการรั่วซึมของถัง
  1.) หากพบจุดบกพร่อง ให้ทำการแก้ไข ณ จุดหรือตำแหน่งที่มีปัญหานั้นๆ ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักจะเกิดบริเวณของจุดต่อที่ใช้งานบ่อย เช่น ข้อต่อ เกลียวของวาลว์ หรืออาจพบได้บริเวณหน้าแปลน (Flange) เป็นต้น
  2.) หากไม่พบจุดบกพร่อง หรือรอยรั่วซึม ปริบวมใดๆ ของถังเก็บ เมื่อครบระยะเวลา 24 ชั่วโมง ถือว่าถังมีสภาพปกติ

---

[1] มาตรฐานผู้ทดสอบโดยไม่ทำลาย สำหรับการทดสอบและตรวจสอบถังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิง ถังขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง ระบบท่อขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง สถาบันพัฒนาเทคนิคพลังงาน (http://www.doeb.go.th/v5/show_km.php?tid=105)

- ทำการตรวจสอบค่าการทรุดตัวและความเอียงของถัง ถ้าค่าต่างๆ ยอมรับได้ ให้ทำการระบายน้ำออกจากถัง

2. **วิธีการวัดค่าความดิ่ง (Plumbness)**[2] มีขั้นตอนดังนี้
   - ดำเนินการตรวจวัดโดยรอบของถัง 0°, 45°, 90°, 135°, 180, 225°, 270°
   - ค่าความดิ่งของชั้นบนสุดของถังเมื่อเทียบกับจุดล่างสุดของถัง ต้องไม่เกิน 1/200 ของความสูงของถัง

ทั้งนี้การตรวจวัดความดิ่งควรที่จะดำเนินการตรวจวัดในผนังชั้นที่ 1 ก่อน เพื่อให้มีความมั่นใจว่าผนังของเปลือกถังสามารถรองรับค่าพิกัดความเผื่อที่จะเกิดขึ้นในทุกมิติ

3. **วิธีการวัดค่าโก่งตัวหรือยุบตัวของผนังถัง** มีขั้นตอนดังนี้

   **3.1 ค่าโก่งตัวหรือยุบตัวของผนังถังตามแนวเชื่อมตั้ง (Peaking)** ตรวจวัดโดยการใช้ Horizontal sweep board ความยาว 36 นิ้ว หรือ 900 มิลลิเมตร ค่าความโก่งผนังตามแนวเชื่อมตั้งจะต้องไม่เกิน ½ นิ้ว หรือ 12.7 มิลลิเมตร

   **3.2 ค่าโก่งตัวหรือยุบตัวของผนังถังตามแนวเชื่อมนอน (Banding)** ตรวจวัดโดยการใช้ Vertical sweep board ความยาว 36 นิ้ว หรือ 900 มิลลิเมตร ค่าความโก่งผนังตามแนวเชื่อมนอนจะต้องไม่เกิน ½ นิ้ว หรือ 12.7 มิลลิเมตร

[2] Plumbness Test (https://lukmanwelding.wordpress.com/storage-tank/)

# เอกสารอ้างอิง


1. *คลังศัพท์ไทย* (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://www.egov.go.th/th/e-government-service/102
2. สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2548). *คู่มือการตรวจสอบ ติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่อันตรายที่มีไอระเหยของสารไวไฟ*.
3. *Introduction To Explosive Atmospheres* (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.exveritas.com/introduction-to-expolsive-atmospheres/
4. รศ.ดร.สมพงศ์ จันทร์โพธิ์ศรี. (2549). *พจนานุกรมเคมี (Dictionary of Chemistry)*. สำนักพิมพ์วิทยพัฒน์
5. *พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2554* (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.royin.go.th/dictionary/
6. Agriculture, Trade and Consumer Protection. (2013). *chapter ATCP 93 FLAMMABLE, COMBUSTIBLE AND HAZARDOUS LIQUIDS.*
7. The American National Standards Institute / The American Society of Mechanical Engineers. (1989). *ANSI/ASME B 31.4 Liquid Transportation System for Hydrocarbon, Liquid Petroleum Gas, Anhydrous Ammonia and Alcohols.*
8. American Petroleum Institute. (11th edition, 2008). *API 620: Design and Construction of Large Welded Low. Pressure Storage Tanks.*
9. American Petroleum Institute. (11th edition, 2012). *API 650: Welded Steel Tanks for Oil Storage.*
10. American Petroleum Institute. (4th edition, 2014). *API 652: Linings of Aboveground Petroleum Storage Tank Bottoms.*
11. American Petroleum Institute. (4th edition, 2014). *API 653: Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks.*
12. ASM International. (2nd edition, 2002). *Handbook of Corrosion Data.*
13. Deutsche Industrie Normen (DIN). (2007). *DIN 6600 : Steel Tanks for The Storage of Flammable and Non- Flammable Water Polluting Liquids Concepts and Inspection*.

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)


14. Deutsche Industrie Normen (DIN). (1989). *DIN 6618 : Part 1 Vertical Single-wall Steel Tanks for the Above Ground Storage of Flammable and Non- Flammable Water Polluting Liquids*.
15. National Fire Protection Association (NFPA). (2012). *NFPA 30: Flammable and Combustible Liquids Code.*
16. National Fire Protection Association (NFPA). (2012). *NFPA 704: Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response.*
17. Basle Chemical Industry (BCI). (2009). *Tank Farm Guidelines for the Chemical Industry (TRCI)*.

# กรณีฉุกเฉินเกี่ยวกับสารเคมี

| หน่วยงาน | หมายเลขโทรศัพท์ | |
|---|---|---|
| | **ตลอด 24 ชั่วโมง** | **เฉพาะเวลาทำการ** |
| กรมโรงงานอุตสาหกรรม | - | 02-202-4000 |
| ศูนย์ปลอดภัยคมนาคม | 1356 | - |
| ศูนย์กู้ชีพนเรนทร | 1669, 02-354-8222 | - |
| กรมควบคุมมลพิษ | 1650 | 02-298-2000 |
| กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย | 1784 | 0-2243-0020-27, 0-2241-7470-84 |
| สำนักป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กรุงเทพมหานคร | 199 | 02-354-6858 |
| กองบังคับการตำรวจทางหลวง | 1193, 0-2354-6007 | - |
| สวพ. 91 | 1644, 0 2562 0033-4 | - |
| จส. 100 | 1137, 02-249-9449-58 ต่อ 0 | - |
| ร่วมด้วยช่วยกัน | 1677 | 0-2730-2400 |

กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS


## กรมโรงงานอุตสาหกรรม

75/6 ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400

โทรศัพท์ 02 202 4000

www.diw.go.th



