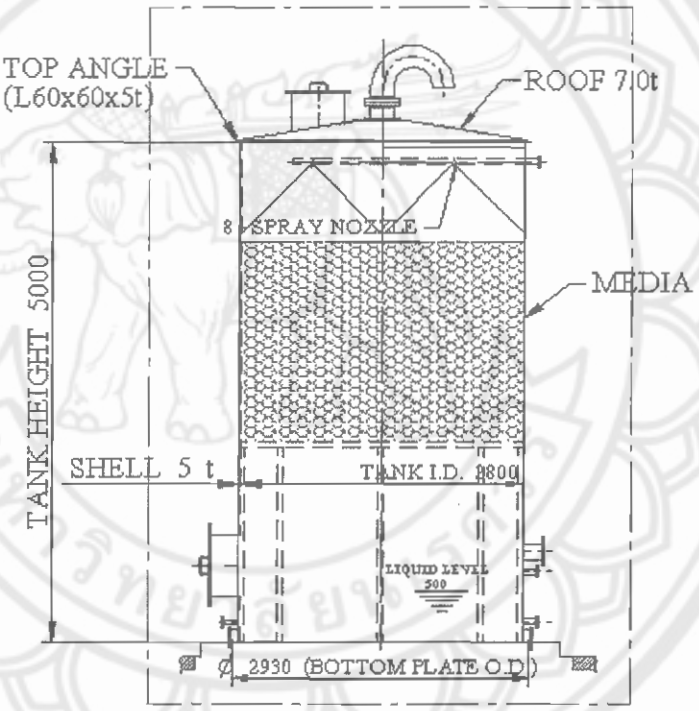
# บทที่ 2
# หลักการและทฤษฎี

การออกแบบถัง Biofilter เป็นการออกแบบภายใต้ข้อจำกัดและความเหมาะสมกับโรงงานของบริษัท ปตท. เคมิคอล จำกัด (มหาชน) ซึ่งถัง Biofilter เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดกลิ่น VOCs ในที่นี้ หมายถึง Butadiene, Methyl Acetate, Ethyl Acetate, Vinyl Acetate โดยใช้กระบวนการทางชีวภาพ ในการย่อยสลายและให้ผลิตผลเป็น $CO_2$ และ $O_2$ ดังแสดงในรูปที่ 2.1




**รูปที่ 2.1 แสดงถัง Biofilter**

ข้อกำหนดทั่วไปที่ใช้ในการออกแบบถัง Biofilter ใช้มาตรฐานตาม American Petroleum Institute (API) API STANDARD 650

## 2.1 สิ่งที่ควรพิจารณาในการออกแบบ (Design Considerations)

2.1.1 ปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบ

ผู้ซื้อจะต้องระบุอุณหภูมิที่ใช้ในการออกแบบ (โดยมีพื้นฐานจากอุณหภูมิที่อยู่บริเวณล้อมรอบ) ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความเผื่อการกัดกร่อน และความเร็วลมที่ใช้ในการออกแบบ

2.1.2 แรงกระทำจากภายนอก

**ผู้ซื้อจะต้องระบุขนาดและทิศทางของแรงกระทำจากภายนอกที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากการออกแบบผนังหรือจุดเชื่อมต่อของถัง การออกแบบเพื่อรับแรงดังกล่าว จะต้องได้รับการตกลงกันระหว่างผู้ซื้อและผู้ผลิต**

2.1.3 ตรวจสอบ ตรวจวัดเชิงป้องกัน (Protective Measures)

สิ่งที่ผู้ซื้อต้องพิจารณาเป็นพิเศษคือ รากฐาน (Foundation), ค่าความเผื่อการกัดกร่อน (Corrosion allowance), การทดสอบค่าความแข็งของวัสดุ (Hardness testing) และอื่นๆ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการวัดเชิงป้องกัน

2.1.4 ความดันภายนอก

มาตรฐานนี้ไม่สามารถนำไปใช้กับการออกแบบถังที่เป็นสูญญากาศ อย่างไรก็ตาม ถังที่ออกแบบตามมาตรฐานนี้จะสามารถรองรับความดันสูญญากาศได้ 0.25 kPa (1 in of water)

2.1.5 ความจุของถัง

2.1.5.1 ผู้ซื้อจะต้องระบุปริมาณความจุสูงสุดของถัง

2.1.5.2 Maximum capacity คือ ปริมาณของผลิตภัณฑ์ในถังเมื่อผลิตภัณฑ์ในถังอยู่ในระดับที่ออกแบบ

2.1.5.3 ปริมาณความจุขณะทำงานสุทธิของถัง (Net working capacity) คือ ปริมาณของผลิตภัณฑ์ในถังขณะทำการผลิตปกติ ซึ่งเท่ากับปริมาณความจุสูงสุดลบด้วยปริมาณความจุขณะใช้งานที่น้อยที่สุด

## 2.2 สิ่งที่ควรพิจารณาเป็นพิเศษในการออกแบบ (Special Considerations)

2.2.1 ฐานราก (Foundation)

การเลือกที่ตั้ง การออกแบบ และโครงสร้างของฐานราก ควรมีการพิจารณาตาม Appendix B เพื่อให้เหมาะสมการรับภาระของถัง

2.2.2 ค่าความเผื่อการกัดกร่อน (Corrosion allowance)

**หลังจากพิจารณาถึงผลกระทบทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากของเหลวและไอเหนือของเหลวภายในถังและสภาวะบรรยากาศโดยรอบถัง ผู้ซื้อจะต้องกำหนดค่าความเผื่อการกัดกร่อนของผนัง(Shell), ก้นถัง (Bottom), หลังคา (Roof), จุดต่อท่อ (Nozzle), ช่องเปิด (Manhole) และโครงสร้างของถัง (Structural)**

2.2.3 ความแข็งของรอยเชื่อม (Weld Hardness)

กรณีที่ระบุโดยผู้ซื้อ ความแข็งของรอยเชื่อมของผนังถังซึ่งอยู่ในกลุ่ม IV, IVA, V และ VI จะต้องถูกประเมินโดยวิธีใดวิธีหนึ่งหรือทั้งสองวิธีดังต่อไปนี้

การทดสอบคุณสมบัติของงานเชื่อม (Welding-procedure qualification test) จะต้องมีการทดสอบความแข็งรอยเชื่อมโดยต้องใช้ชิ้นงานตัวอย่าง ที่ระบุไว้ด้วยเสมอ

งานเชื่อมอัตโนมัติ จะต้องทำการทดสอบความแข็งรอยเชื่อมบนผิวชิ้นงานจริง (ผิวถัง) โดยอย่างน้อย รอยเชื่อมในแนวตั้งและรอยเชื่อมในแนวนอน ที่ระยะ 30 m (100 ft) ของแต่ละวงรอบรอยเชื่อมจะต้องถูกทำการทดสอบ

**2.3 Bottom Plates**

2.3.1 Bottom Plates จะต้องมีความหนาอย่างน้อย 6 mm ( $\frac{1}{4}$ in.)

กรณีที่ไม่ถูกระบุโดยผู้ซื้อ แผ่นโลหะสี่เหลี่ยมที่ใช้ทำก้นถังแต่ละแผ่นจะต้องมีความกว้างอย่างน้อย 1800 mm

2.3.2 ขนาดความกว้างของ Bottom Plates ที่เหมาะสมจะต้องสั่งเผื่อการตัดแต่งอย่างน้อย 25 mm (1 in.) ห่างจากขอบด้านนอกของรอยเชื่อมติดกันจากด้านล่างถึงแผ่นโลหะที่เป็นผนัง

2.3.3 การเชื่อม Bottom Plates จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานข้อ 2.14.4

**2.4 Annular Bottom Plates**

2.4.1 เมื่อตัวผนังด้านล่างออกแบบโดยใช้วัสดุในกลุ่ม IV, IVA, V และ VI โดยใช้ค่าความเผื่อการกัดกร่อน (Corrosion allowance) ในการออกแบบ Annular bottom plates จะต้องเชื่อมแบบ Butt-weld

เมื่อตัวผนังด้านล่างออกแบบโดยใช้วัสดุในกลุ่ม IV, IVA, V และ VI โดยใช้ค่า Maximum product stress ในการออกแบบ และค่า Maximum product stress น้อยกว่าหรือเท่ากับ 160 MPa หรือ ค่า Maximum hydrostatic test stress น้อยกว่าหรือเท่ากับ 170 MPa Annular Plates อาจจะสามารถใช้การเชื่อมแบบ Lap-weld

2.4.2 Annular Plates จะต้องมีความกว้างในแนวรัศมีอย่างน้อย 600 mm วัดจากด้านในของผนังถึงรอยเชื่อมแบบ Lap-weld ของ Bottom Plates และจะต้องมีระยะความกว้างในแนวรัศมีอย่างน้อย 50 mm วัดจากผนังด้านนอกออกไป ความกว้างตามแนวรัศมีของ Annular Plates จะต้องเพิ่มขึ้นตามสูตรการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\frac{215t_b}{(HG)^{0.5}}$$

เมื่อ

$t_b$ = ความหนาของ Annular Plates (mm)

H = ระดับสูงสุดของของเหลวในถัง (m)

G = ความถ่วงจำเพาะของของเหลวในถัง

2.4.3 ความหนาของ Annular Bottom Plates จะต้องไม่น้อยกว่า ความหนาที่ระบุไว้ในตารางที่ 2.2 บวกกับกับค่าความเผื่อการกัดกร่อน

**2.5 การออกแบบผนัง (Shell Design)**

2.5.1 การออกแบบถังโดยทั่วไป (General)

2.5.1.1 ความหนาของผนังถังที่ใช้งาน จะต้องมีค่ามากกว่าค่าความหนาที่ได้จากการคำนวณ (ซึ่งรวมค่าความเผื่อการกัดกร่อนไว้แล้ว) และมีค่ามากกว่าค่าความหนาของผนังที่ทดสอบด้วยความดันน้ำ) แต่ความหนาของผนังจะต้องไม่น้อยกว่าค่าดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 2.1 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของถังและความหนา**

(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)

| Nominal Tank Diameter | | Nominal Plate Thickness | |
|---|---|---|---|
| (m) | (ft) | (mm) | (in.) |
| < 15 | < 50 | 5 | $^3/_{16}$ |
| 15 to < 36 | 50 to < 120 | 6 | $^1/_4$ |
| 36 to 60 | 120 to 200 | 8 | $^5/_{16}$ |
| > 60 | > 200 | 10 | $^3/_8$ |

**ตารางที่ 2.2 แสดงความหนาของ Annular Bottom Plates**

(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)

| Nominal Plate Thickness[a] of First Shell Course (mm) | Hydrostatic Test Stress[b] in First Shell Course (MPa) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ≤ 190 | ≤ 210 | ≤ 230 | ≤ 250 |
| $t \le 19$ | 6 | 6 | 7 | 9 |
| $19 < t \le 25$ | 6 | 7 | 10 | 11 |
| $25 < t \le 32$ | 6 | 9 | 12 | 14 |
| $32 < t \le 38$ | 8 | 11 | 14 | 17 |
| $38 < t \le 45$ | 9 | 13 | 16 | 19 |

2.5.1.2 กรณีไม่มีการระบุอื่นใดจากผู้ซื้อ แผ่นผนังของถังจะต้องมีความกว้างอย่างน้อย 1800 mm (72 in) และเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมในกรณีเชื่อมต่อกันแบบเชื่อมชน (Butt-weld)

2.5.1.3 การออกแบบความหนาของผนัง จะต้องคำนวณบนพื้นฐานของถังที่บรรจุของเหลวที่ระดับความสูง และผู้ซื้อจะต้องระบุค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลวดังกล่าว

2.5.1.4 ความหนาของผนังสำหรับทำการทดสอบด้วยความดันน้ำ จะต้องคำนวณบนพื้นฐานของถังที่บรรจุด้วยน้ำที่ระดับความสูง

2.5.1.5 ค่าความเค้นได้จากการคำนวณ สำหรับผนังแต่ละแผ่น ค่าความเค้นที่ได้ต้องไม่มากกว่าค่าความเค้นที่ได้รับอนุญาติของวัสดุที่ใช้ แผ่นผนังด้านล่างจะต้องไม่บางกว่าแผ่นผนังด้านบนถัดไป

2.5.1.6 จะต้องตรวจสอบเสถียรภาพของผนังถัง เนื่องจากแรงลม ตามมาตรฐานข้อที่ 2.12 โดยความเร็วลมจะถูกระบุโดยผู้ซื้อ ถ้าผลการตรวจสอบระบุว่าต้องการเสถียรภาพจะต้องติดตั้ง intermediate girders หรือเพิ่มความหนาผนังถังหรือทั้งสองอยู่ควบคู่กัน

2.5.1.7 ผู้ผลิตจะต้องจัดสั่งแบบของผนังถัง ซึ่งจะต้องระบุข้อมูลดังต่อไปนี้ ร่วมด้วย

1. ความหนาของผนังที่ต้องการ (Required thickness) ทั้งสำหรับที่คำนวณได้ได้จากการออกแบบ (รวมค่าเผื่อการกัดกร่อน) และสำหรับการทดสอบความดันน้ำ
2. ความหนาของผนังที่ใช้ (Nominal thickness)
3. วัสดุของแผ่นผนัง
4. ค่า Allowable stresses

**2.6 ค่า Stress ที่ยอมรับได้ (Allowable Stress)**

2.6.1 ค่า Maximum allowable product design stress, $S_d$, ของวัสดุดูได้ตามตาราง 2.3 ค่า $S_d$ จะเท่ากับ 2 ใน 3 ของค่า Yield Strength หรือเท่ากับ 2 ใน 5 ของ Tensile Strength ของวัสดุ โดยเลือกใช้ค่าที่น้อยที่สุด

2.6.2 ค่า Maximum allowable hydrostatic test stress, $S_t$, ของวัสดุดูได้ตามตาราง 2.3 ค่า $S_d$ จะเท่ากับ 3 ใน 4 ของค่า Yield Strength หรือเท่ากับ 3 ใน 7 ของ Tensile Strength ของวัสดุ โดยเลือกใช้ค่าที่น้อยที่สุด

2.6.3 ค่า Design Stress ที่ใช้สำหรับโครงสร้าง เป็นไปตามค่า Allowable working stress ในมาตรฐานข้อที่ 3.10.3 ใน API 650

**2.7 วิธีคำนวณหาความหนาของผนัง โดยใช้วิธี 1-Foot Method**

2.7.1 วิธี 1-Foot Method คำนวณหาความหนาของผนังแต่ละแผ่นที่ 0.3 m (1 ft) เหนือจากด้านล่างของถัง วิธีนี้ไม่สามารถใช้กับถังที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 60 m (200 ft)

2.7.2 คำนวณความหนาของผนังที่น้อยที่สุดได้จาก

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

เมื่อ

$t_d$ = ความหนาของผนังในการออกแบบ (mm)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถัง (m)

H = ระดับของเหลวในการออกแบบ (m)

G = ค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลว

CA = ค่าความเผื่อการกัดกร่อน

$S_d$ = ค่า Allowable stress สำหรับการออกแบบ (MPa)

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

เมื่อ $t_t$ = ความหนาของผนังสำหรับการทดสอบ Hydrostatic test (mm)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถัง (m)

H = ระดับของเหลวในการออกแบบ (m)

$S_t$ = ค่า allowable stress สำหรับ Hydrostatic test (MPa)

**ตารางที่ 2.3 แสดง Permissible และ Allowable Stresses**

(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)

| Plate Specification | Grade | Minimum Yield Strength MPa (psi) | Minimum Tensile Strength MPa (psi) | Product Design Stress $S_d$ MPa (psi) | Hydrostatic Test Stress $S_t$ MPa (psi) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ASTM Specifications | | | |
| A 283M | C | 205 (30,000) | 380 (55,000) | 137 (20,000) | 154 (22,500) |
| A 285M | C | 205 (30,000) | 380 (55,000) | 137 (20,000) | 154 (22,500) |
| A 131M | A, B, CS | 235 (34,000) | 400 (58,000) | 157 (22,700) | 171 (24,900) |
| A 36M | — | 250 (36,000) | 400 (58,000) | 160 (23,200) | 171 (24,900) |
| A 131M | EH 36 | 360 (51,000) | 490[a] (71,000[a]) | 196 (28,400) | 210 (30,400) |
| A 573M | 400 | 220 (32,000) | 400 (58,000) | 147 (21,300) | 165 (24,000) |
| A 573M | 450 | 240 (35,000) | 450 (65,000) | 160 (23,300) | 180 (26,300) |
| A 573M | 485 | 290 (42,000) | 485[a] (70,000[a]) | 193 (28,000) | 208 (30,000) |
| A 516M | 380 | 205 (30,000) | 380 (55,000) | 137 (20,000) | 154 (22,500) |
| A 516M | 415 | 220 (32,000) | 415 (60,000) | 147 (21,300) | 165 (24,000) |
| A 516M | 450 | 240 (35,000) | 450 (65,000) | 160 (23,300) | 180 (26,300) |
| A 516M | 485 | 260 (38,000) | 485 (70,000) | 173 (25,300) | 195 (28,500) |
| A 662M | B | 275 (40,000) | 450 (65,000) | 180 (26,000) | 193 (27,900) |
| A 662M | C | 295 (43,000) | 485[a] (70,000[a]) | 194 (28,000) | 208 (30,000) |
| A 537M | 1 | 345 (50,000) | 485[a] (70,000[a]) | 194 (28,000) | 208 (30,000) |
| A 537M | 2 | 415 (60,000) | 550[a] (80,000[a]) | 220 (32,000) | 236 (34,300) |
| A 633M | C, D | 345 (50,000) | 485[a] (70,000[a]) | 194 (28,000) | 208 (30,000) |
| A 678M | A | 345 (50,000) | 485[a] (70,000[a]) | 194 (28,000) | 208 (30,000) |
| A 678M | B | 415 (60,000) | 550[a] (80,000[a]) | 220 (32,000) | 236 (34,300) |
| A 737M | B | 345 (50,000) | 485[a] (70,000[a]) | 194 (28,000) | 208 (30,000) |
| | | CSA Specifications | | | |
| G40.21M | 260W | 260 (37,700) | 410 (59,500) | 164 (23,800) | 176 (25,500) |
| G40.21M | 300W | 300 (43,500) | 450 (65,300) | 180 (26,100) | 193 (28,000) |
| G40.21M | 350WT | 350 (50,800) | 480[a] (69,600[a]) | 192 (27,900) | 206 (29,800) |
| G40.21M | 350W | 350 (50,800) | 450 (65,300) | 180 (26,100) | 193 (28,000) |
| | | National Standards | | | |
| | 37 | 205 (30,000) | 365 (52,600) | 137 (20,000) | 154 (22,500) |
| | 41 | 235 (34,000) | 400 (58,300) | 157 (22,700) | 171 (25,000) |
| | 44 | 250 (36,000) | 430 (62,600) | 167 (24,000) | 184 (26,800) |
| | | ISO 630 | | | |
| **E 275** | **C, D** | **265 (38,400)** | **61,900 (61,900)** | **170 (24,700)** | **182 (26,500)** |
| **E 355** | **C, D** | **345 (50,000)** | **71,000[a] (71,000[a])** | **196 (28,400)** | **210 (30,400)** |

**2.8 ผนังช่องเปิด (Shell Manholes)**

2.8.1 ผนังช่องเปิด (Shell Manholes) จะต้องมีรายละเอียดเป็นไปตามรูป 2.2A และ 2.2B และตาราง 2.5 ถึง 2.6 (หรือ ตาราง 2.7 ถึง 2.9) Manhole reinforcing plate จะต้องมี tell-tale hole ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ( $\frac{1}{4}$ in.) หรือในกรณีที่ Reinforeing plate ประกอบขึ้นจาก plate หลายชิ้น แต่ละชิ้นจะต้องมี tell-tale hole เช่นเดียวกัน (สำหรับตรวจจับการรั่วผ่านรอยเชื่อมด้านในระหว่าง Shell กับ Manhole plate ) โดยที่ tell-tale hole จะต้องอยู่ในแนวเดียวกันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิด (Manhole) และเปิดสู่บรรยากาศ

2.8.2 ช่องเปิด (Manhole) จะต้องเชื่อมแบบ Buitt-up และมีขนาดตามที่ระบุไว้ในตาราง 2.4 ถึง 2.6 เมื่อนำค่าความเผื่อการกัดกร่อน (Corrosion allowance) มาประยุกต์ใช้กับผนังช่องเปิด (Shell Manholes) ค่าความเผื่อการกัดกร่อนต้องบวกเพิ่มค่า Minimum neck, Cover plate และค่าความหนา Bolting flange ในตาราง 2.4 และ 2.5 ด้วย

2.8.3 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุดของช่อง (Hole) ใน Shell Plate ($D_p$) ดูใน Column 3 ของตาราง 2.8 ส่วนขนาดแผ่นเสริมแรง (Reinforcing plate) ดูในตาราง 2.7

2.8.4 วัสดุที่เลือกใช้ทำประเก็น (Gasket) จะต้องมีความเหมาะสมบนพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในถัง, อุณหภูมิ และการต้านทานการติดไฟ ขนาดของประเก็นที่ใช้งานร่วมกับหน้าแปลนแบบ Thin-plate มีขนาดและลักษณะตามรูป 2.2A โดยประเก็นที่ใช้จะต้องเป็นแบบ Soft Gasket อาทิเช่น ประเก็น Non-asbestos ส่วนในกรณีที่ใช้ประเก็นแบบ Hard Gasket (เช่น Spiral wound metal, Solid metal, Corruget metal, Metal jacket) ขนาดและลักษณะของประเก็นรวมทั้งหน้าแปลนและแผ่นปิด Manhole (Manhole flange, Manhole cover) จะต้องเป็นไปตาม API 620 หัวข้อที่ 3.20 และ 3.21

**2.9 ผนัง Nozzles และ Flanges (Shell Nozzle and Flanges)**

2.9.1 ผนัง Nozzles และ Flanges จะต้องเป็นไปตามรูป 2.2B, 2.8 และ 2.9 และตาราง 2.7 ถึง 2.9 Nozzle reinforcing plate จะต้องมี tell-tale hole ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ( $\frac{1}{4}$ in.) และควรอยู่ในแนวเดียวกันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิด (Manhole) และเปิดสู่บรรยากาศ

2.9.2 ขนาดความหนาของ Nozzle neck ที่น้อยที่สุด ที่สามารถใช้ได้จะเท่ากับค่า required thickness ตามตาราง 2.7 column 3.

**ตารางที่ 2.4 แสดงความหนาของ Shell Manhole Cover Plate และ Bolting Flange**

(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)

| Column 1 | Column 2 | Column 3 | Column 4 | Column 5 | Column 6 | Column 7 | Column 8 | Column 9 | Column 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Max. Design Liquid Level m (ft) $H$ | Equivalent Pressure[a] kPa (psi) | Minimum Thickness of Cover Plate[b] ($t_c$) | | | | Minimum Thickness of Bolting Flange After Finishing[b] ($t_f$) | | | |
| | | 500 mm (20 in.) Manhole | 600 mm (24 in.) Manhole | 750 mm (30 in.) Manhole | 900 mm (36 in.) Manhole | 500 mm (20 in.) Manhole | 600 mm (24 in.) Manhole | 750 mm (30 in.) Manhole | 900 mm (36 in.) Manhole |
| 6.4 (21) | 63 (9.1) | 8 (5/16) | 10 (3/8) | 11 (7/16) | 13 (1/2) | 6 (1/4) | 6 (1/4) | 8 (5/16) | 10 (3/8) |
| 8.2 (27) | 80 (11.7) | 10 (3/8) | 11 (7/16) | 13 (1/2) | 14 (9/16) | 6 (1/4) | 8 (5/16) | 10 (3/8) | 11 (7/16) |
| 9.8 (32) | 96 (13.9) | 10 (3/8) | 11 (7/16) | 14 (9/16) | 16 (5/8) | 6 (1/4) | 8 (5/16) | 11 (7/16) | 13 (1/2) |
| 12 (40) | 118 (17.4) | 11 (7/16) | 13 (1/2) | 16 (5/8) | 18 (11/16) | 8 (5/16) | 10 (3/8) | 13 (1/2) | 14 (9/16) |
| 14 (45) | 137 (19.5) | 13 (1/2) | 14 (9/16) | 16 (5/8) | 19 (3/4) | 10 (3/8) | 11 (7/16) | 13 (1/2) | 16 (5/8) |
| 16 (54) | 157 (23.4) | 13 (1/2) | 14 (9/16) | 18 (11/16) | 21 (13/16) | 10 (3/8) | 11 (7/16) | 14 (9/16) | 18 (11/16) |
| 20 (65) | 196 (28.2) | 14 (9/16) | 16 (5/8) | 19 (3/4) | 22 (7/8) | 11 (7/16) | 13 (1/2) | 16 (5/8) | 19 (3/4) |
| 23 (75) | 226 (32.5) | 16 (5/8) | 18 (11/16) | 21 (13/16) | 24 (15/16) | 12.5 (1/2) | 14 (9/16) | 18 (11/16) | 21 (13/16) |

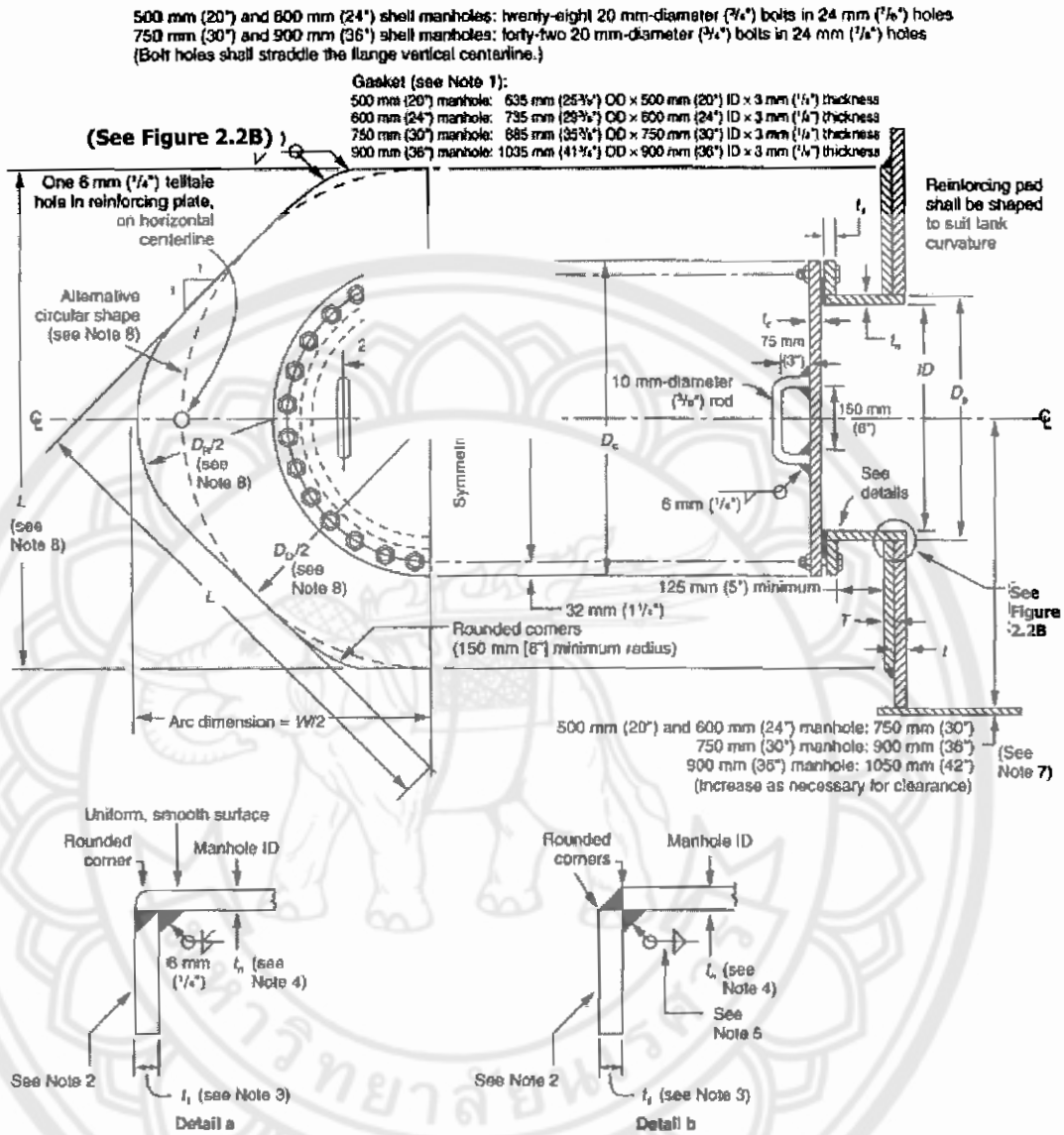
**ตารางที่ 2.5 แสดงขนาดสำหรับ Shell Manhole Neck Thickness**

(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)

| Thickness of Shell and Manhole Reinforcing Plate[a] $t$ and $T$ | Minimum Neck Thickness[b,c] $t_n$ mm (in.) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | For Manhole Diameter 500 mm (20 in.) | For Manhole Diameter 600 mm (24 in.) | For Manhole Diameter 750 mm (30 in.) | For Manhole Diameter 900 mm (36 in.) |
| 5 (3/16) | 5 (3/16) | 5 (3/16) | 5 (3/16) | 5 (3/16) |
| 6 (1/4) | 6 (1/4) | 6 (1/4) | 6 (1/4) | 6 (1/4) |
| 8 (5/16) | 6 (1/4) | 6 (1/4) | 8 (5/16) | 8 (5/16) |
| 10 (3/8) | 6 (1/4) | 6 (1/4) | 8 (5/16) | 10 (3/8) |
| 11 (7/16) | 6 (1/4) | 6 (1/4) | 8 (5/16) | 10 (3/8) |
| 12.5 (1/2) | 6 (1/4) | 6 (1/4) | 8 (5/16) | 10 (3/8) |
| 14 (9/16) | 6 (1/4) | 6 (1/4) | 8 (5/16) | 10 (3/8) |
| 16 (5/8) | 6 (1/4) | 6 (1/4) | 8 (5/16) | 10 (3/8) |
| 18 (11/16) | 6 (1/4) | 6 (1/4) | 8 (5/16) | 10 (3/8) |
| 19 (3/4) | 6 (1/4) | 6 (1/4) | 8 (5/16) | 10 (3/8) |
| 21 (13/16) | 8 (5/16) | 6 (1/4) | 8 (5/16) | 10 (3/8) |
| 22 (7/8) | 10 (3/8) | 8 (5/16) | 8 (5/16) | 10 (3/8) |
| 24 (15/16) | 11 (7/16) | 11 (7/16) | 11 (7/16) | 11 (7/16) |
| 25 (1) | 11 (7/16) | 11 (7/16) | 11 (7/16) | 11 (7/16) |
| 27 (1 1/16) | 11 (7/16) | 11 (7/16) | 11 (7/16) | 11 (7/16) |
| 28 (1 1/8) | 13 (1/2) | 13 (1/2) | 13 (1/2) | 13 (1/2) |
| 30 (1 3/16) | 14 (9/16) | 14 (9/16) | 14 (9/16) | 14 (9/16) |
| 32 (1 1/4) | 16 (5/8) | 14 (9/16) | 14 (9/16) | 14 (9/16) |
| 33 (1 5/16) | 16 (5/8) | 16 (5/8) | 16 (5/8) | 16 (5/8) |
| 34 (1 3/8) | 17 (11/16) | 16 (5/8) | 16 (5/8) | 16 (5/8) |
| 36 (1 7/16) | 17 (11/16) | 17 (11/16) | 17 (11/16) | 17 (11/16) |
| 40 (1 1/2) | 19 (3/4) | 19 (3/4) | 19 (3/4) | 19 (3/4) |

**ตารางที่ 2.6 แสดงขนาด Bolt Circle Diameter $D_b$ และ Cover Plate Diameter $D_c$ สำหรับ Shell Manhole** (ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)

| Column 1 | Column 2 | Column 3 |
|---|---|---|
| Manhole Diameter mm (in.) | Bolt Circle Diameter $D_b$ mm (in.) | Cover Plate Diameter $D_c$ mm (in.) |
| 500 (20) | 656 (26 1/4) | 720 (28 3/4) |
| 600 (24) | 756 (30 1/4) | 820 (32 3/4) |
| 750 (30) | 906 (36 1/4) | 970 (38 3/4) |
| 900 (36) | 1056 (42 1/4) | 1120 (44 3/4) |

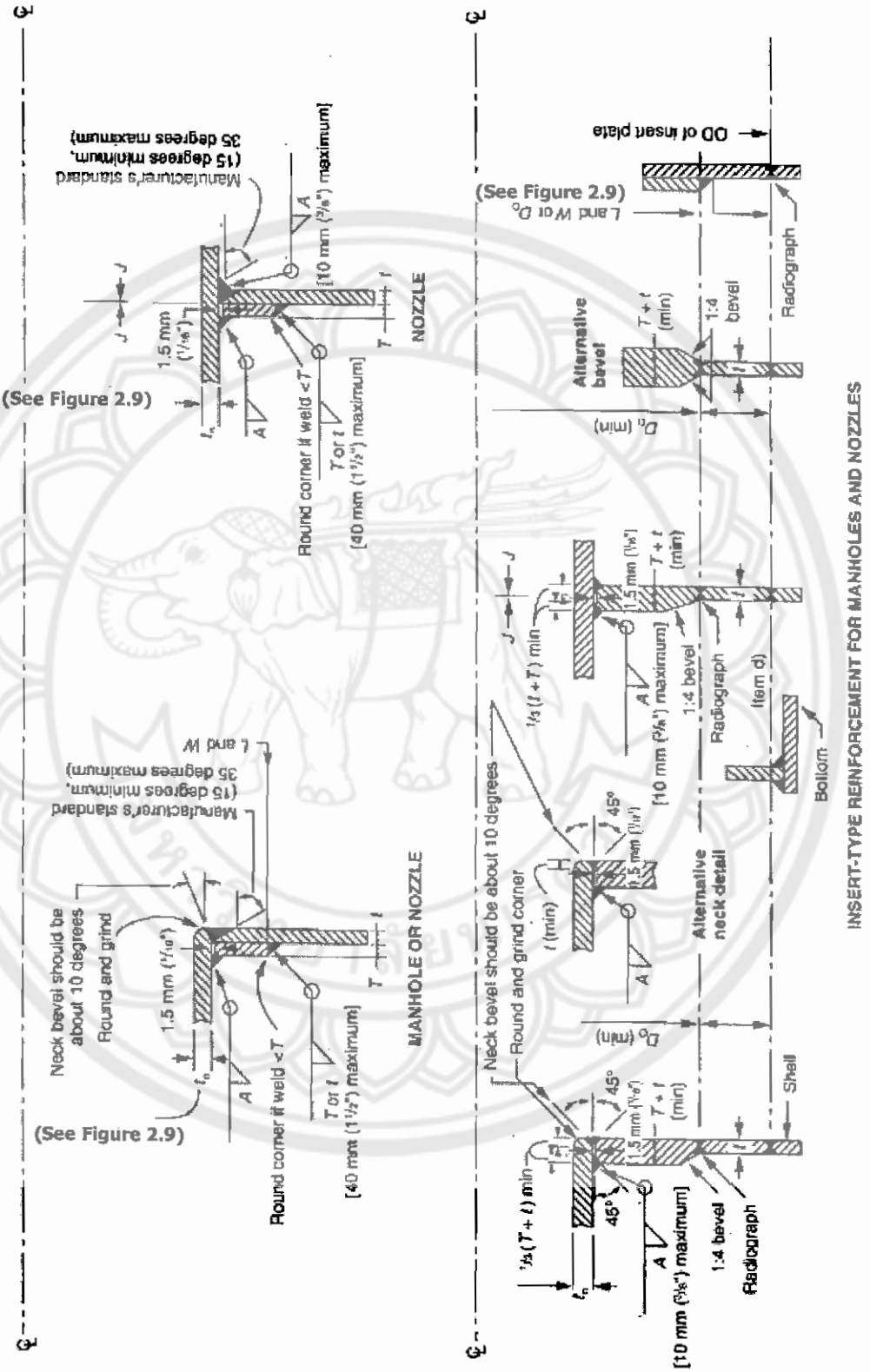



หมายเหตุ

1. วัสดุที่เลือกใช้ทำประเก็นจะต้องระบุโดยผู้ซื้อ ตามข้อที่ 2.8.4
2. ผิวหน้าของประเก็นควรจะมีความกว้าง gasket-bearing อย่างน้อย 20 mm.
3. ตามตารางที่ 2.4
4. ตามตารางที่ 2.5
5. ขนาดของรอยเชื่อมจะต้องมีความหนาเท่ากับขนาดความหนาของชิ้นงาน
6. Shell Nozzle ในตารางที่ 2.7 สำหรับ Manhole
7. เมื่อใช้ Shell Nozzle ในรูปที่ 2.3 ดูขนาด Shell Nozzle ในตารางที่ 2.7
8. สำหรับขนาด $D_o$, $D_R$, L ตามตารางที่ 2.7 ใน Columns 4, 5 และ 6

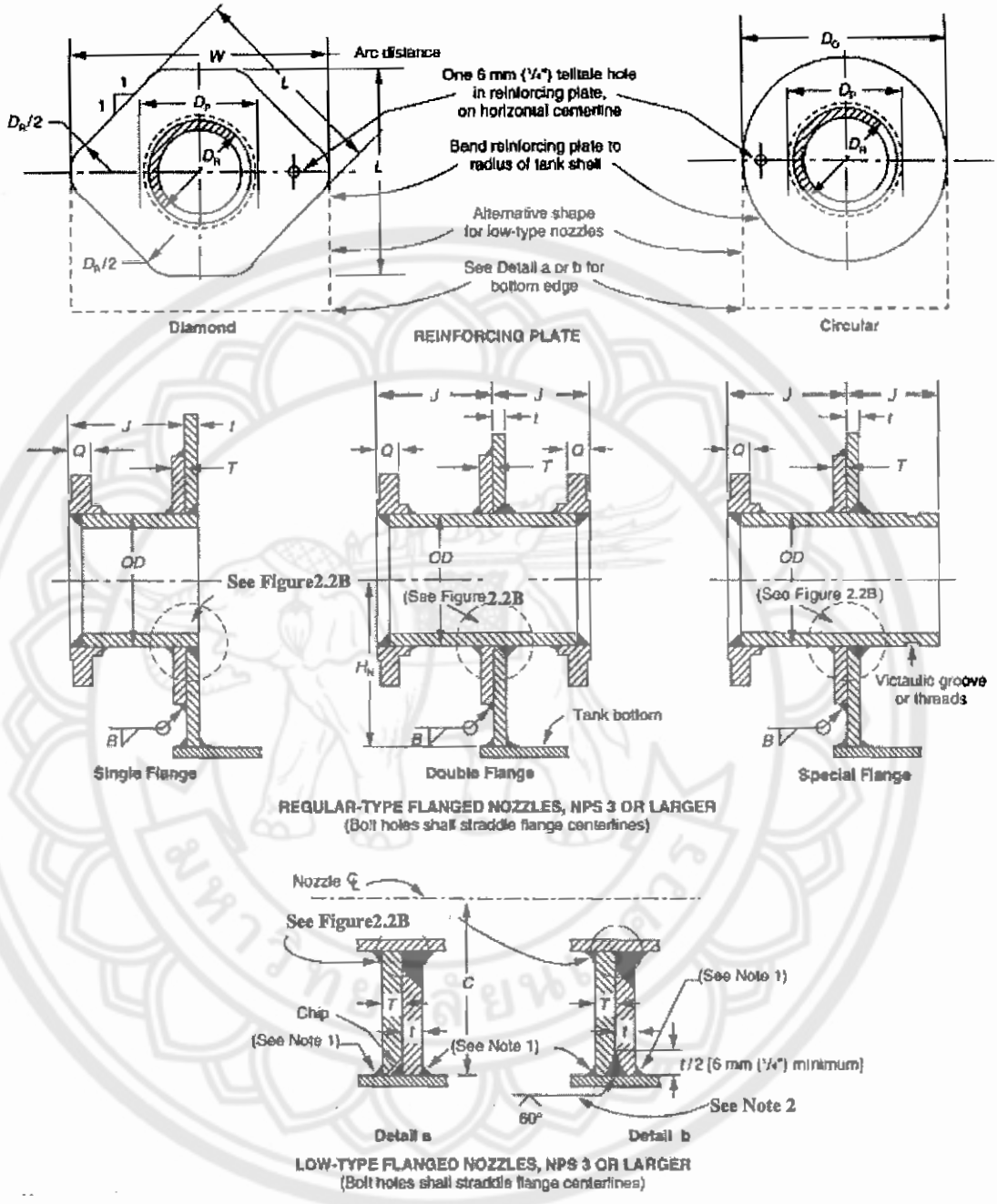
**รูปที่ 2.2A Shell Manhole**

(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)




**รูปที่ 2.2B แสดงรายละเอียดของ Shell Manhole และ Nozzle**

(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)

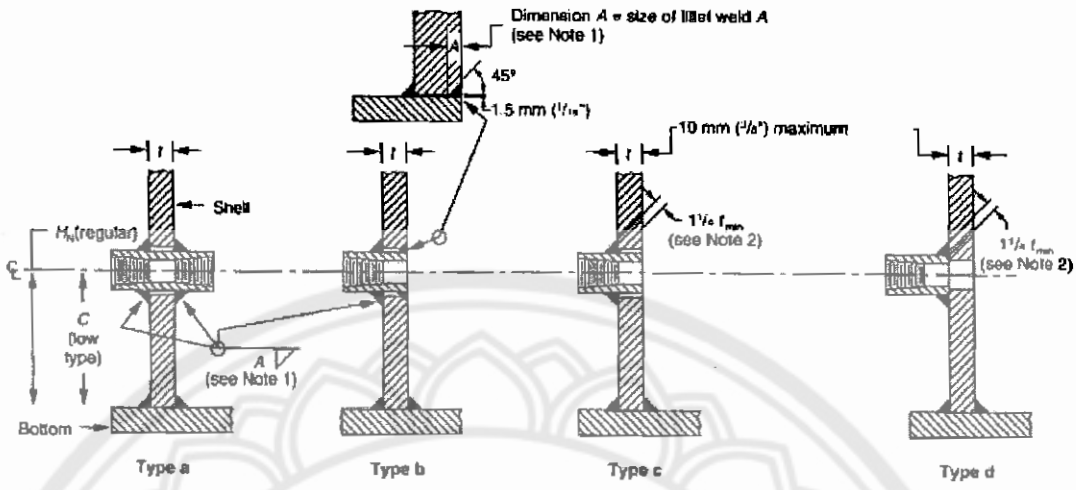



หมายเหตุ

1. รูปแบบขนาดของรอยเชื่อม ตาม 2.14.5
2. รอยเชื่อมไม่ติดกับแผ่นพื้น

**รูปที่ 2.3 แสดง Shell Nozzle ในตารางที่ 2.7, 2.8 และ 2.9**

(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)




THREADED-TYPE SHELL NOZZLES, NPS ¼ THROUGH NPS 2

**รูปที่ 2.3 แสดง Shell Nozzle ในตารางที่ 2.7, 2.8 และ 2.9 (ต่อ)**

## ตารางที่ 2.7 แสดงขนาดสำหรับ Shell Nozzle [mm (in.)]

(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)

| Column 1 | Column 2 | Column 3 | Column 4 | Column 5 | Column 6 | Column 7[c] | Column 8[c] | Column 9[c] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NPS (Size of Nozzle) | Outside Diameter of Pipe | Nominal Thickness of Flanged Nozzle Pipe Wall[a,b] $t_n$ | Diameter of Hole in Reinforcing Plate $D_R$ | Length of Side of Reinforcing Plate[b] or Diameter $L = D_o$ | Width of Reinforcing Plate $W$ | Minimum Distance from Shell to Flange Face $J$ | Minimum Distance from Bottom of Tank to Center of Nozzle | |
| | | | | | | | Regular Type[d] $H_N$ | Low Type $C$ |
| | | | Flanged Fittings | | | | | |
| 48 | 1219.2 (48) | e | 1222 (48 1/8) | 2455 (96 3/4) | 2970 (117) | 400 (16) | 1325 (52) | 1230 (48 3/8) |
| 46 | 1168.4 (46) | e | 1172 (46 1/8) | 2355 (92 3/4) | 2845 (112) | 400 (16) | 1275 (50) | 1180 (46 3/8) |
| 44 | 1117.6 (44) | e | 1121 (44 1/8) | 2255 (88 3/4) | 2725 (107 1/4) | 375 (15) | 1225 (48) | 1125 (44 3/8) |
| 42 | 1066.8 (42) | e | 1070 (42 1/8) | 2155 (84 3/4) | 2605 (102 1/2) | 375 (15) | 1175 (46) | 1075 (42 3/8) |
| 40 | 1016 (40) | e | 1019 (40 1/8) | 2050 (80 3/4) | 2485 (97 3/4) | 375 (15) | 1125 (44) | 1025 (40 3/8) |
| 38 | 965.2 (38) | e | 968 (38 1/8) | 1950 (76 3/4) | 2355 (92 3/4) | 350 (14) | 1075 (42) | 975 (38 3/8) |
| 36 | 914.4 (36) | e | 918 (36 1/8) | 1850 (72 3/4) | 2235 (88) | 350 (14) | 1025 (40) | 925 (36 3/8) |
| 34 | 863.6 (34) | e | 867 (34 1/8) | 1745 (68 3/4) | 2115 (83 1/4) | 325 (13) | 975 (38) | 875 (34 3/8) |
| 32 | 812.8 (32) | e | 816 (32 1/8) | 1645 (64 3/4) | 1995 (78 1/2) | 325 (13) | 925 (36) | 820 (32 3/8) |
| 30 | 762.0 (30) | e | 765 (30 1/8) | 1545 (60 3/4) | 1865 (73 1/2) | 300 (12) | 875 (34) | 770 (30 3/8) |
| 28 | 711.2 (28) | e | 714 (28 1/8) | 1440 (56 3/4) | 1745 (68 3/4) | 300 (12) | 825 (32) | 720 (28 3/8) |
| 26 | 660.4 (26) | e | 664 (26 1/8) | 1340 (52 3/4) | 1625 (64) | 300 (12) | 750 (30) | 670 (26 3/8) |
| 24 | 609.6 (24) | 12.7 (0.50) | 613 (24 1/8) | 1255 (49 1/2) | 1525 (60) | 300 (12) | 700 (28) | 630 (24 3/4) |
| 22 | 558.8 (22) | 12.7 (0.50) | 562 (22 1/8) | 1155 (45 1/2) | 1405 (55 1/4) | 275 (11) | 650 (26) | 580 (22 3/4) |
| 20 | 508.0 (20) | 12.7 (0.50) | 511 (20 1/8) | 1055 (41 1/2) | 1285 (50 1/2) | 275 (11) | 600 (24) | 525 (20 3/4) |
| 18 | 457.2 (18) | 12.7 (0.50) | 460 (18 1/8) | 950 (37 1/2) | 1160 (45 3/4) | 250 (10) | 550 (22) | 475 (18 3/4) |
| 16 | 406.4 (16) | 12.7 (0.50) | 410 (16 1/8) | 850 (33 1/2) | 1035 (40 3/4) | 250 (10) | 500 (20) | 425 (16 3/4) |
| 14 | 355.6 (14) | 12.7 (0.50) | 359 (14 1/8) | 750 (29 1/2) | 915 (36) | 250 (10) | 450 (18) | 375 (14 3/4) |
| 12 | 323.8 (12 3/4) | 12.7 (0.50) | 327 (12 7/8) | 685 (27) | 840 (33) | 225 (9) | 425 (17) | 345 (13 1/2) |
| 10 | 273.0 (10 3/4) | 12.7 (0.50) | 276 (10 7/8) | 585 (23) | 720 (28 1/4) | 225 (9) | 375 (15) | 290 (11 1/2) |
| 8 | 219.1 (8 5/8) | 12.7 (0.50) | 222 (8 3/4) | 485 (19) | 590 (23 1/4) | 200 (8) | 325 (13) | 240 (9 1/2) |
| 6 | 168.3 (6 5/8) | 10.97 (0.432) | 171 (6 3/4) | 400 (15 3/4) | 495 (19 1/2) | 200 (8) | 275 (11) | 200 (7 7/8) |
| 4 | 114.3 (4 1/2) | 8.56 (0.337) | 117 (4 5/8) | 305 (12) | 385 (15 1/4) | 175 (7) | 225 (9) | 150 (6) |
| 3 | 88.9 (3 1/2) | 7.62 (0.300) | 92 (3 5/8) | 265 (10 1/2) | 345 (13 1/2) | 175 (7) | 200 (8) | 135 (5 1/4) |
| 2[f] | 60.3 (2 3/8) | 5.54 (0.218) | 63 (2 1/2) | — | — | 150 (6) | 175 (7) | i |
| 1 1/2[f] | 48.3 (1.90) | 5.08 (0.200) | 51 (2) | — | — | 150 (6) | 150 (6) | i |
| | | | Threaded Fittings | | | | | |
| 3[g] | 101.6 (4.00) | Coupling | 105 (4 1/8) | 285 (11 1/4) | 360 (14 1/4) | — | 225 (9) | 145 (5 3/8) |
| 2[f] | 73.0 (2.875) | Coupling | 76 (3) | — | — | — | 175 (7) | i |
| 1 1/2[f] | 55.9 (2.200) | Coupling | 59 (2 3/8) | — | — | — | 150 (6) | i |
| 1[f] | 40.0 (1.576) | Coupling | 43 (1 11/16) | — | — | — | 125 (5) | i |
| 3/4[f] | 33.4 (1.313) | Coupling | 36 (1 7/16) | — | — | — | 100 (4) | i |

**ตารางที่ 2.8 แสดงขนาดสำหรับ Shell Nozzle: Pipe, และ Welding Schedules [mm (in.)]**

(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)

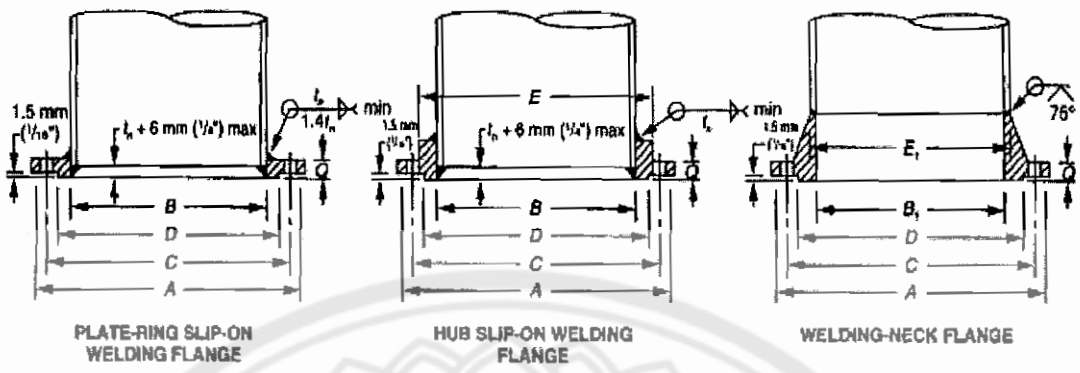
| Column 1 | Column 2 | Column 3 | Column 4 | Column 5 | Column 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Size of Fillet Weld *A* | |
| Thickness of Shell and Reinforcing Plate[a] *t* and *T* | Minimum Pipe Wall Thickness of Flanged Nozzles[b,c] $t_n$ | Maximum Diameter of Hole in Shell Plate ($D_p$) Equals Outside Diameter of Pipe Plus | Size of Fillet Weld *B* | Nozzles Larger Than NPS 2 | NPS 2, $1\frac{1}{2}$, $1\frac{3}{4}$ Nozzles |
| 5 (3/16) | 12.5 (1/2) | 16 (5/8) | 5 (3/16) | 6 (1/4) | 6 (1/4) |
| 6 (1/4) | 12.5 (1/2) | 16 (5/8) | 6 (3/4) | 6 (1/4) | 6 (1/4) |
| 8 (5/16) | 12.5 (1/2) | 16 (5/8) | 8 (5/16) | 6 (1/4) | 6 (1/4) |
| 10 (3/8) | 12.5 (1/2) | 16 (5/8) | 10 (3/8) | 6 (1/4) | 6 (1/4) |
| 11 (7/16) | 12.5 (1/2) | 16 (5/8) | 11 (7/16) | 6 (1/4) | 6 (1/4) |
| 12.5 (1/2) | 12.5 (1/2) | 16 (5/8) | 13 (1/2) | 6 (1/4) | 8 (5/16) |
| 14 (9/16) | 12.5 (1/2) | 20 (3/4) | 14 (9/16) | 6 (1/4) | 8 (5/16) |
| 16 (5/8) | 12.5 (1/2) | 20 (3/4) | 16 (5/8) | 8 (5/16) | 8 (5/16) |
| 17 (11/16) | 12.5 (1/2) | 20 (3/4) | 18 (11/16) | 8 (5/16) | 8 (5/16) |
| 20 (3/4) | 12.5 (1/2) | 20 (3/4) | 20 (3/4) | 8 (5/16) | 8 (5/16) |
| 21 (13/16) | 12.5 (1/2) | 20 (3/4) | 21 (13/16) | 10 (3/8) | 8 (5/16) |
| 22 (7/8) | 12.5 (1/2) | 20 (3/4) | 22 (7/8) | 10 (3/8) | 8 (5/16) |
| 24 (15/16) | 12.5 (1/2) | 20 (3/4) | 24 (15/16) | 10 (3/8) | 8 (5/16) |
| 25 (1) | 12.5 (1/2) | 20 (3/4) | 25 (1) | 11 (7/16) | 8 (5/16) |
| 27 (1 1/16) | 14 (9/16) | 20 (3/4) | 27 (1 1/16) | 11 (7/16) | 8 (5/16) |
| 28 (1 1/8) | 14 (9/16) | 20 (3/4) | 28 (1 1/8) | 11 (7/16) | 8 (5/16) |
| 30 (1 3/16) | 16 (5/8) | 20 (3/4) | 30 (1 3/16) | 13 (1/2) | 8 (5/16) |
| 32 (1 1/4) | 16 (5/8) | 20 (3/4) | 32 (1 1/4) | 13 (1/2) | 8 (5/16) |
| 33 (1 5/16) | 17 (11/16) | 20 (3/4) | 33 (1 5/16) | 13 (1/2) | 8 (5/16) |
| 35 (1 3/8) | 17 (11/16) | 20 (3/4) | 35 (1 3/8) | 14 (9/16) | 8 (5/16) |
| 36 (1 7/16) | 20 (3/4) | 20 (3/4) | 36 (1 7/16) | 14 (9/16) | 8 (5/16) |
| 38 (1 1/2) | 20 (3/4) | 20 (3/4) | 38 (1 1/2) | 14 (9/16) | 8 (5/16) |
| 40 (1 9/16) | 21 (13/16) | 20 (3/4) | 38 (1 1/2) | 14 (9/16) | 8 (5/16) |
| 41 (1 5/8) | 21 (13/16) | 20 (3/4) | 38 (1 1/2) | 16 (5/8) | 8 (5/16) |
| 43 (1 11/16) | 22 (7/8) | 20 (3/4) | 38 (1 1/2) | 16 (5/8) | 8 (5/16) |
| 45 (1 3/4) | 22 (7/8) | 20 (3/4) | 38 (1 1/2) | 16 (5/8) | 8 (5/16) |

## ตารางที่ 2.9 แสดงขนาดสำหรับ Shell Nozzle Flanges [mm (in.)]

(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)

| Column 1 | Column 2 | Column 3 | Column 4 | Column 5 | Column 6 | Column 7 | Column 8 | Column 9 | Column 10 | Column 11 | Column |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | Diameter of Bore | | Minimum Diameter Hub at Point of We | |
| NPS (Size of Nozzle) | Minimum Thickness of Flange[d] *Q* | Outside Diameter of Flange *A* | Diameter of Raised Face *D* | Diameter of Bolt Circle *C* | Number of Holes | Diameter of Holes | Diameter of Bolts | Slip-on Type: Outside Diameter of Pipe Plus *B* | Welding Neck Type[a] $B_1$ | Slip-on Type[b] *E* | Welding Neck Type[c] $E_1$ |
| 48 | 70 (2 3/4) | 1310 (59 1/2) | 1160 (53 1/2) | 1420 (56) | 44 (44) | 42 (1 5/8) | 38 (1 1/2) | 6.8 (0.25) | a | b | c |
| 46 | 68 (2 11/16) | 1460 (57 1/2) | 1295 (51) | 1365 (53 3/4) | 40 (40) | 42 (1 5/8) | 38 (1 1/2) | 6.6 (0.25) | a | b | c |
| 44 | 67 (2 5/8) | 1405 (55 1/4) | 1245 (49) | 1315 (51 3/4) | 40 (40) | 42 (1 5/8) | 38 (1 1/2) | 6.4 (0.25) | a | b | c |
| 42 | 67 (2 5/8) | 1345 (53) | 1195 (47) | 1255 (49 1/2) | 36 (36) | 42 (1 5/8) | 38 (1 1/2) | 6.2 (0.25) | a | b | c |
| 40 | 65 (2 1/2) | 1290 (50 3/4) | 1125 (44 1/4) | 1200 (47 1/4) | 36 (36) | 42 (1 5/8) | 38 (1 1/2) | 6.0 (0.25) | a | b | c |
| 38 | 60 (2 3/8) | 1240 (48 3/4) | 1075 (42 1/4) | 1150 (45 1/4) | 32 (32) | 42 (1 5/8) | 38 (1 1/2) | 6.8 (0.25) | a | b | c |
| 36 | 60 (2 3/8) | 1170 (46) | 1020 (40 1/4) | 1085 (42 3/4) | 32 (32) | 42 (1 5/8) | 38 (1 1/2) | 6.6 (0.25) | a | b | c |
| 34 | 59 (2 5/16) | 1110 (43 3/4) | 960 (37 3/4) | 1030 (40 1/2) | 32 (32) | 42 (1 5/8) | 38 (1 1/2) | 6.4 (0.25) | a | b | c |
| 32 | 57 (2 1/4) | 1060 (41 3/4) | 910 (35 3/4) | 980 (38 1/2) | 28 (28) | 42 (1 5/8) | 38 (1 1/2) | 6.2 (0.25) | a | b | c |
| 30 | 54 (2 1/8) | 985 (38 3/4) | 855 (33 3/4) | 915 (36) | 28 (28) | 33 (1 3/8) | 30 (1 1/4) | 6.0 (0.25) | a | b | c |
| 28 | 52 (2 1/16) | 925 (36 1/2) | 795 (31 1/4) | 865 (34) | 28 (28) | 33 (1 3/8) | 30 (1 1/4) | 6.8 (0.25) | a | b | c |
| 26 | 50 (2) | 870 (34 1/4) | 745 (29 1/4) | 805 (31 3/4) | 24 (24) | 33 (1 3/8) | 30 (1 1/4) | 6.6 (0.25) | a | b | c |
| 24 | 48 (1 7/8) | 815 (32) | 690 (27 1/4) | 750 (29 1/2) | 20 (20) | 33 (1 3/8) | 30 (1 1/4) | 4.4 (0.19) | a | b | c |
| 22 | 46 (1 13/16) | 750 (29 1/2) | 640 (25 1/4) | 690 (27 1/4) | 20 (20) | 33 (1 3/8) | 30 (1 1/4) | 5.2 (0.19) | a | b | c |
| 20 | 43 (1 11/16) | 700 (27 1/2) | 585 (23) | 635 (25) | 20 (20) | 30 (1 1/4) | 27 (1 1/8) | 5.0 (0.19) | a | b | c |
| 18 | 40 (1 9/16) | 635 (25) | 535 (21) | 580 (22 3/4) | 16 (16) | 30 (1 1/4) | 27 (1 1/8) | 4.8 (0.19) | a | b | c |
| 16 | 36 (1 7/16) | 595 (23 1/2) | 470 (18 1/2) | 540 (21 1/4) | 16 (16) | 27 (1 1/8) | 24 (1) | 4.6 (0.19) | a | b | c |
| 14 | 35 (1 3/8) | 535 (21) | 415 (16 1/4) | 475 (18 3/4) | 12 (12) | 27 (1 1/8) | 24 (1) | 4.4 (0.19) | a | b | c |
| 12 | 32 (1 1/4) | 485 (19) | 380 (15) | 430 (17) | 12 (12) | 25 (1) | 22 (7/8) | 3.15 (0.13) | a | b | c |
| 10 | 30 (1 3/16) | 405 (16) | 325 (12 3/4) | 360 (14 1/4) | 12 (12) | 25 (1) | 22 (7/8) | 2.95 (0.13) | a | b | c |
| 8 | 28 (1 1/8) | 345 (13 1/2) | 270 (10 5/8) | 300 (11 3/4) | 8 (8) | 23 (7/8) | 20 (3/4) | 2.92 (0.10) | a | b | c |
| 6 | 25 (1) | 280 (11) | 216 (8 1/2) | 240 (9 1/2) | 8 (8) | 23 (7/8) | 20 (3/4) | 2.72 (0.10) | a | b | c |
| 4 | 24 (15/16) | 230 (9) | 157 (6 3/16) | 190 (7 1/2) | 8 (8) | 19 (3/4) | 16 (5/8) | 1.7 (0.06) | a | b | c |
| 3 | 24 (15/16) | 190 (7 1/2) | 127 (5) | 152 (6) | 4 (4) | 19 (3/4) | 16 (5/8) | 1.1 (0.06) | a | b | c |
| 2 | 20 (3/4) | 150 (6) | 92 (3 5/8) | 121 (4 3/4) | 4 (4) | 19 (3/4) | 16 (5/8) | 1.68 (0.07) | a | b | c |
| 1 1/2 | 17 (11/16) | 125 (5) | 73 (2 7/8) | 98 (3 7/8) | 4 (4) | 16 (5/8) | 12 (1/2) | 1.74 (0.07) | a | b | c |

[a] $B_1$ = inside diameter of pipe.
[b] $E$ = outside diameter of pipe + $2t_n$.
[c] $E_1$ = outside diameter of pipe.
[d] Corrosion allowance, if specified, need not be added to flange and cover thicknesses complying with ASME B16.5 Class 150, ASME B16.1 Class 125, and ASME B16.47 flanges.




หมายเหตุ

$t_n$ คือ ความหนาของผนังท่อ (ตามตารางที่ 2.7 และ 2.8 )

**รูปที่ 2.4 แสดง Shell Nozzle and Flanges**

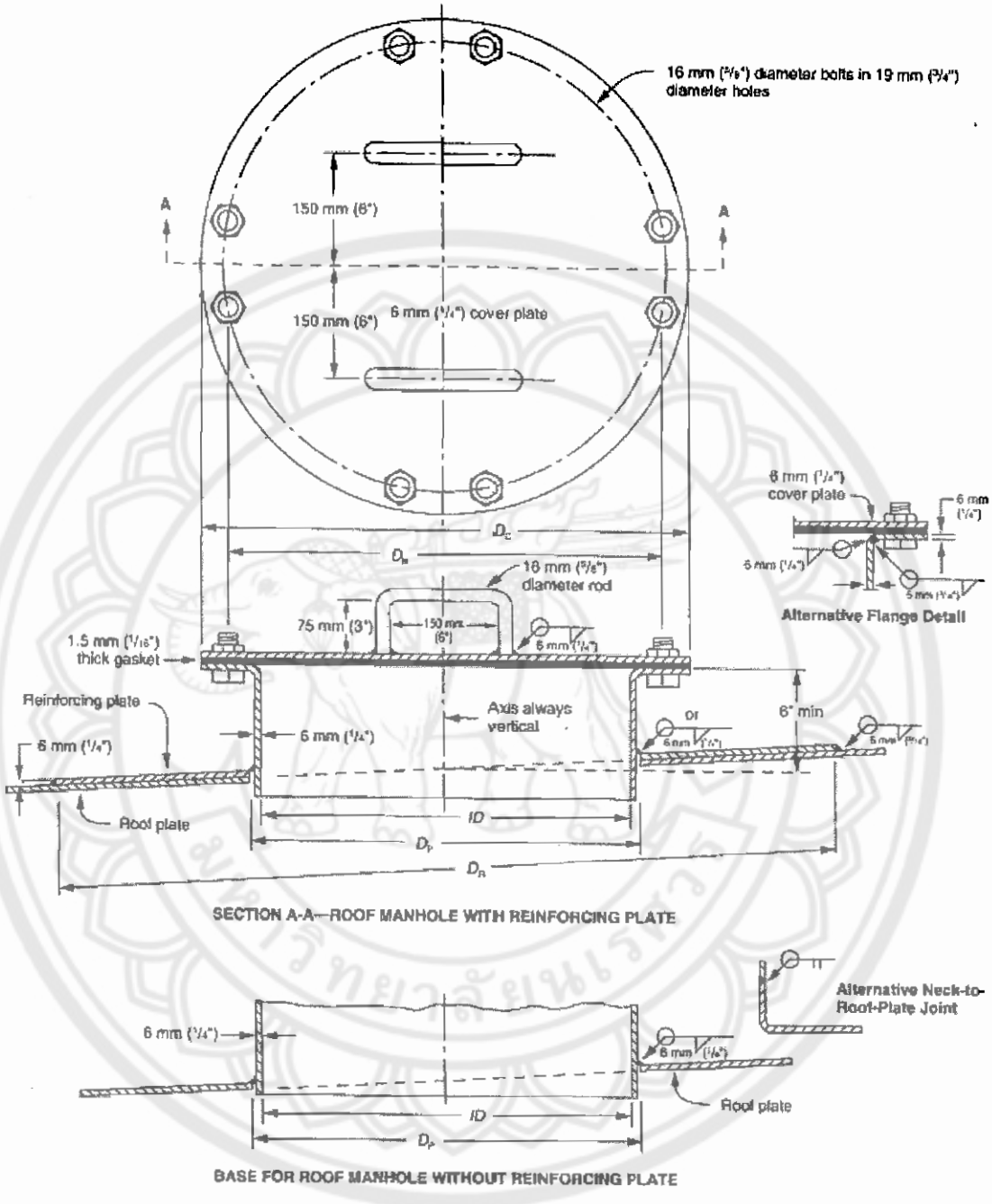
(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)

## 2.10 หลังคาช่องเปิด (Roof Manholes)

หลังคาช่องเปิด (Roof Manholes) จะต้องเป็นไปตาม รูป 2.5 และตาราง 2.10 ในกรณีที่จะต้องมีการใช้งานหลังคาช่องเปิดขณะที่ใช้งานถัง โครงสร้างของหลังคา (Roof) โดยรอบหลังคาช่องเปิด จะต้องทำการเสริมความแข็งแรง

## 2.11 Roof Nozzle

Roof Nozzle ที่เป็นแบบหน้าแปลน (Flange) จะต้องเป็นไปตาม รูป 2.6 และตาราง 2.11




**รูปที่ 2.5 แสดงหลังคาช่องเปิด (Roof Manholes) ตามตารางที่ 2.10**

(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)

**ตารางที่ 2.10 แสดงขนาดสำหรับ Roof Manholes [mm (in.)]**

(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)

| Column 1 | Column 2 | Column 3 | Column 4 | Column 5 | Column 6 | Column 7 | Column 8 | Column 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Size of Manhole | Diameter of Neck $ID^a$ | Diameter of Cover Plate $D_C$ | Diameter of Bolt Circle $D_B$ | Number of Bolts | Diameter of Gasket: Inside | Diameter of Gasket: Outside | Diameter of Hole in Roof Plate or Reinforcing Plate $D_P$ | Outside Diameter of Reinforcing Plate $D_R$ |
| 500 (20) | 500 (20) | 650 (26) | 590 (23 1/2) | 16 | 500 (20) | 650 (26) | 515 (20 5/8) | 1050 (42) |
| 600 (24) | 600 (24) | 750 (30) | 690 (27 1/2) | 20 | 600 (24) | 750 (30) | 615 (24 5/8) | 1150 (46) |

[a]Pipe may be used for neck, providing the minimum nominal wall thickness is 6 mm (1/4 in.). ($ID$ and $D_p$ shall be adjusted accordingly.)

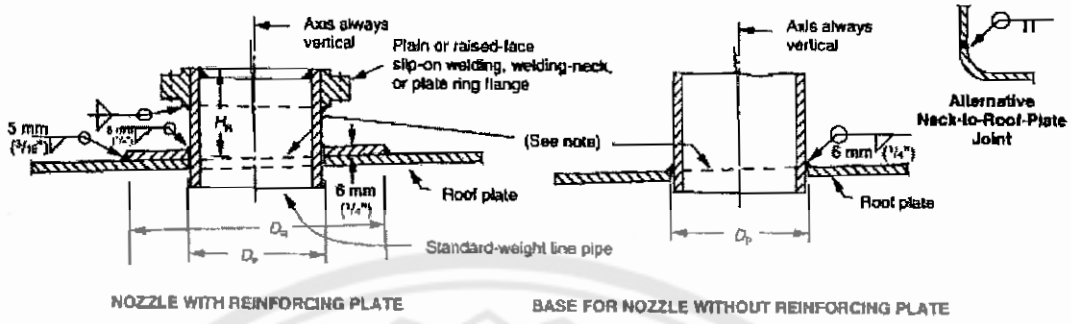
**ตารางที่ 2.11 แสดงขนาดสำหรับ Flanged Roof Nozzles [mm (in.)]**

(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)

| Column 1 | Column 2 | Column 3 | Column 4 | Column 5 |
|---|---|---|---|---|
| Nozzle NPS | Outside Diameter of Pipe Neck | Diameter of Hole in Roof Plate or Reinforcing Plate $D_P$ | Minimum Height of Nozzle $H_R$ | Outside Diameter of Reinforcing Plate[a] $D_R$ |
| 1 1/2 | 48.3 (1.900) | 50 (2) | 150 (6) | 125 (5) |
| 2 | 60.3 (23/8) | 65 (2 1/2) | 150 (6) | 175 (7) |
| 3 | 88.9 (3 1/2) | 92 (3 5/8) | 150 (6) | 225 (9) |
| 4 | 114.3 (4 1/2) | 120 (4 5/8) | 150 (6) | 275 (11) |
| 6 | 168.3 (6 5/8) | 170 (6 3/4) | 150 (6) | 375 (15) |
| 8 | 219.1 (8 5/8) | 225 (8 7/8) | 150 (6) | 450 (18) |
| 10 | 273.0 (10 3/4) | 280 (11) | 200 (8) | 550 (22) |
| 12 | 323.8 (12 3/4) | 330 (13) | 200 (8) | 600 (24) |

[a]Reinforcing plates are not required on nozzles NPS 6 or smaller but may be used if desired.

หมายเหตุ: ตามรูปที่ 2.6




**รูปที่ 2.6 แสดง Flanged Roof Nozzles (ตามตารางที่ 2.11)**

(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)

**2.12 Intermediate Wind Girders**

2.12.1 ค่าความสูงสูงสุดของผนังที่ไม่ได้เสริมความแข็งแรง (The maximum height of the unstiffened shell) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$H_1 = 9.47t\sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3}$$

เมื่อ

$H_1$ = ความสูง (m) ระหว่าง Intermediate wind girders กับ Top Angle ของผนังถัง

$t$ = ความหนาของผนังส่วนบนของถัง (mm)

$D$ = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง (m)

หมายเหตุ : สูตรนี้สามารถใช้ได้กับถังแบบเปิด (Open top) และแบบปิด (Closed top) โดยมีพื้นฐานมาจากแรงลมที่ความเร็วลม 160 km/hr ที่ความสูงจากพื้น 9 m.

ค่า $H_1$ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากความเร็วลมอื่นๆ นอกเหนือจาก 160 km/hr (ความเร็วลมที่ระบุโดยผู้ซื้อ) โดยการคูณด้วย $[(V_r/V)^2]$ เมื่อ $V_r$ = 160 km/hr และ V = ความเร็วลมที่ระบุโดยผู้ซื้อ

2.12.2 ค่าการแปลงของค่าความสูงของผนังถัง (Height of the transformed shell) คำนวณได้ตามสูตรดังต่อไปนี้

1. จากสมการดังต่อไปนี้ สามารถเปลี่ยนค่าความสูงของผนังถังแต่ละแผ่น โดยที่แต่ละแผ่นมีความหนาต่างกัน (Actual width of each shell course) เป็นค่าความสูงของผนังถังในแต่ละแผ่น ที่มีความหนาเท่ากัน เท่ากับความหนาผนังด้านบน (Transposed width of each shell course)

ฝ
TJ
1470
ร343ก
2548
i. 3854058
สำนักหอสมุด
17 มี.ค. 2551



$$W_{tr} = W\sqrt{\left(\frac{t_{uniform}}{t_{actual}}\right)^5}$$

เมื่อ

$W_{tr}$ = Transposed width of each shell course (mm)

$W$ = Actual width of each shell course (mm)

$t_{uniform}$ = ความหนาของผนังส่วนบนของถัง

$t_{actual}$ = ความหนาของผนังถังในแต่ละแผ่น ซึ่งมีขนาดความหนาต่างๆ กัน

2. ค่าการแปลงของค่าความสูงของผนังถัง คือ ค่าผลรวมของ $W_{tr}$ ของทุกขนาดความหนาของแผ่นผนังถัง

2.12.3 ถ้าค่าการแปลงของค่าความสูงของผนังถัง มีค่ามากกว่า ค่า $H_1$ ถังจะต้องมี Intermediate wind girders

**2.13 หลังคา (Roof)**

2.13.1 นิยาม (Definitions)

1. Supported cone roof คือ หลังคาถังที่มีรูปทรงเป็นรูปทรงกรวยและมีการรองรับด้วยคานค้ำยันหลังคา (Rafter) ซึ่งวางบนคานยาว (Girder) และเสา (Column) หรือรองรับด้วย คานค้ำยันหลังคา ซึ่งวางบน โครงถัก (Truss) กับเสาหรือไม่มีเสา

2. Self-Supporting cone roof คือ หลังคาถังรูปทรงกรวย ซึ่งถูกรองรับด้วยผนังของถังเอง

3. Self-Supporting dome roof คือ หลังคาถังรูปทรงกลม ซึ่งถูกรองรับด้วยผนังของถังเอง

4. Self-Supporting umbrella roof คือ หลังคาที่ได้รับการปรับปรุงมาจากแบบ Dome roof โดยชิ้นส่วนในแนวนอนจะเป็น Regular polygon

2.13.2 หลักการโดยทั่วไป (General)

2.13.2.1 หลังคาและโครงสร้างรับน้ำหนักของหลังคา จะต้องออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักของหลังคาและโครงสร้างเอง (Dead load) บวกกับแรงกระทำใดๆ จากภายนอก (Uniform live load) ที่ไม่น้อยกว่า 1.2 kPa ในแนวตั้งฉากกับผิวถัง

2.13.2.2 แผ่นหลังคาจะต้องมีความหนาอย่างน้อย 5 mm และในกรณี Self-Supporting roof จะต้องมีความหนาเพิ่มขึ้นตามข้อที่ 2.13.4 ค่าความเผื่อการกัดกร่อนจะต้องบวกรวมค่าความหนาดังกล่าวด้วย ในกรณีที่ระบุค่าความเผื่อการกัดกร่อน

**2.13.2.3 แผ่นหลังคา (Roof Plate) ของถังแบบ Supported cone roof จะต้องเชื่อมหรือยึดติดกับโครงสร้างรองรับเสมอ**

**2.13.2.4 ชิ้นส่วนที่เป็นโครงสร้างของหลังคาทั้งหมด ทั้งที่อยู่ภายในหรือภายนอกจะต้องมีความหนาอย่างน้อย 4.3 mm**

2.13.2.5 แผ่นหลังคา (Roof Plate) จะต้องเชื่อมติดกับ Top angle ของถัง โดยการเชื่อมแบบ Fillet โดยรอบอย่างต่อเนื่อง

2.13.2.5.1 ในกรณีที่รอยเชื่อมแบบ Fillet ระหว่างแผ่นหลังคาและ Top angle มีขนาดน้อยกว่า 5 mm, และความชัน (Slope) ของหลังคาน้อยกว่า 50 mm ต่อ 300 mm, และลักษณะรูปร่างของ Shell to roof compression-ring เป็นไปตามหัวข้อ a-d ในรูปที่ 2.7 และพื้นที่หน้าตัดบริเวณรอยต่อระหว่างผนัง (Shell) และหลังคา (Roof) หรือ ค่า A น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่ได้จากการคำนวณตามข้อ 2.13.2.5.3 จะสามารถพิจารณาได้ว่ารอยเชื่อมดังกล่าวเป็นรอยเชื่อมที่เปราะบาง และถ้าถังมีความดันภายในมากเกินค่าออกแบบ บริเวณดังกล่าวจะเกิดการเสียหายได้ก่อนบริเวณอื่นๆ ของถัง

2.13.2.5.2 ในกรณีที่รอยเชื่อมแบบ Fillet ระหว่างแผ่นหลังคาและ Top angle มีขนาดมากกว่า 5 mm, และความชัน (Slope) ของหลังคามีค่ามากกว่า 50 mm ต่อ 300 mm, และลักษณะรูปร่างของ Shell to roof compression-ring อยู่นอกเหนือหัวข้อ a-d ในรูปที่ 2.7 และพื้นที่หน้าตัดบริเวณรอยต่อระหว่างผนัง (Shell) และหลังคา (Roof) หรือ ค่า A มากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณตามข้อที่ 2.13.2.5.3 หรือเป็นรอยเชื่อมแบบ Fillet ทั้ง 2 ด้าน ผู้ซื้อจะต้องจัดหา Emergency Venting device ตามมาตรฐาน API 2000 และผู้ผลิตจะต้องจัดเตรียมจุดเชื่อมต่อสำหรับอุปกรณ์ดังกล่าว

2.13.2.5.3 ในกรณีที่ผู้ซื้อระบุว่ารอยเชื่อมระหว่างหลังคาและTop angle เป็นแบบเปราะ (Frangible Joint) พื้นที่หน้าตัดบริเวณระหว่างหลังคาและผนัง หรือค่า A จะต้องไม่เกินค่าดังต่อไปนี้

$$A = \frac{W}{1390 \tan\theta}$$

**หมายเหตุ:** **รายละเอียดเพิ่มเติม ตาม Appendix F.**

**ในกรณีที่ ระบุว่าเป็น Frangible Joint ของขนาด Top angle สามารถมีขนาดเล็กกว่าตามที่ระบุในหัวข้อ 4.3 ของ 2.14.6**

2.13.3 Supported Cone Roofs

**2.13.3.1 ความชันของหลังคา จะต้องเท่ากับ 19 mm ต่อ 300 mm (หรือ มากกว่าในกรณีที่ระบุโดยผู้ซื้อ)**

**2.13.3.2 คานค้ำยันหลังคา (Rafter) จะต้องทำมาจากเหล็กโครงสร้าง (Rolled** Structure) หรือโครงสร้างที่ประกอบเชื่อม (Fabricated Structure)

2.13.3.3 คานค้ำยันหลังคา (Rafter) จะต้องติดตั้งโดยระยะระหว่างปลายของแต่ละคานบนขอบถัง ห่างกันไม่เกิน $0.6\pi$ m. และปลายบนวงแหวนด้านใน ห่างกันไม่เกิน 1.7 m.

2.13.3.4 Rafter Clips สำหรับรองรับคานค้ำยันหลังคา (Rafter) จะต้องเชื่อมติดเข้ากับผนังของถัง

2.13.4 Self-Supporting Cone Roof

2.13.4.1 หลังคาแบบ Self-Supporting Cone Roof จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

$\theta \leq 37$ องศา (ความชันเท่ากับ 9:12)

$\theta \geq 9.5$ องศา (ความชันเท่ากับ 2:12)

เมื่อ $\theta$ = มุมของหลังคาวัดจากแนวระดับ

ความหนาของหลังคาน้อยที่สุดเท่ากับ $\frac{D}{4.8\sin\theta}$ แต่ต้องมากกว่า 5 mm และความหนาของหลังคามากที่สุดเท่ากับ 13 mm (ไม่รวมค่าความเผื่อการกัดกร่อน)

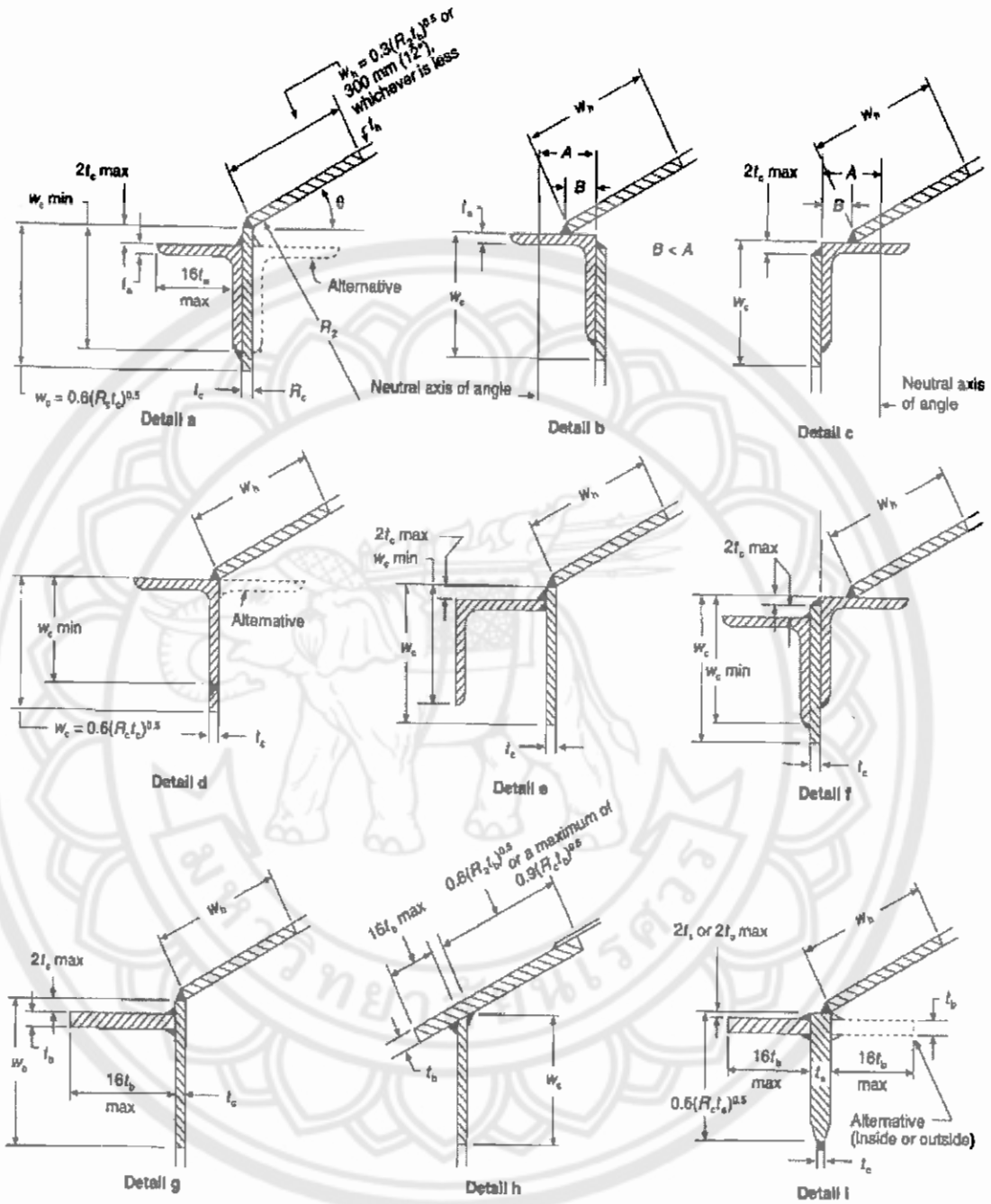
เมื่อ D = เส้นผ่านศูนย์กลางของถัง (m)

หมายเหตุ: เมื่อผลรวมของภาระจากน้ำหนัก (Dead Load) และภาระจากแรงภายนอก (Live Load) มากกว่า 2.2 kPa ค่าความหนาของหลังคาที่น้อยที่สุดจะต้องเพิ่มขึ้นโดยคูณสัดส่วนดังต่อไปนี้

$$\sqrt{\frac{live\,load + dead\,load}{2.2\,kPa}}$$

2.13.5 Participating Area at the roof-to-shell junction คำนวณได้จาก รูปที่ 2.7 และ Participating Area จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าดังต่อไปนี้

$$\frac{D^2}{0.432\sin\theta}$$




$t_a$ = thickness of angle leg,
$t_b$ = thickness of bar,
$t_c$ = thickness of shell plate,
$t_h$ = thickness of roof plate,
$t_s$ = thickness of thickened plate in shell,
$w_c$ = maximum width of participating shell,
= $0.6\ (R_c t_c)^{0.5}$,

$w_h$ = maximum width of participating roof,
= $0.3(R_2 t_h)^{0.5}$ or 300 mm (12 in.), whichever is less,
$R_c$ = inside radius of tank shell,
$R_2$ = length of the normal to the roof, measured from the vertical centerline of the tank,
= $R_c/(\sin\theta)$.

Note: All dimensions and thicknesses are in mm (in.)

**รูปที่ 2.7 แสดง Participating Area**

(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)

**2.14 การเชื่อมต่อ (Joint)**

2.14.1 ข้อจำกัดของการเชื่อม (Restictions on Joints)

2.14.1.1 การเชื่อมแบบ Tack weld ไม่สามารถนำไปใช้เชื่อมโครงสร้างเพื่อรับแรง

2.14.1.2 ขนาดของรอยเชื่อมแบบ Fillet weld จะต้องมีค่าอย่างน้อยและไม่น้อยกว่าค่าดังต่อไปนี้

1. สำหรับเหล็กแผ่นความหนา 5 mm ( $\frac{3}{16}$ in.) รอยเชื่อมจะต้องเต็มตลอดความหนา

2. สำหรับเหล็กแผ่นความหนามากกว่า 5 mm ( $\frac{3}{16}$ in.) รอยเชื่อมจะต้องมีขนาดอย่างน้อยต้องมากกว่า $\frac{1}{3}$ ของความหนาของแผ่นเหล็กที่บางที่สุด และมีขนาดอย่างน้อยไม่น้อยกว่า 5 mm.

2.14.1.3 การเชื่อมแบบ Single-welded lap สามารถใช้เฉพาะที่ Bottom plate และ roof plate เท่านั้น

2.14.2 สัญลักษณ์การเชื่อม (Welding symbols) เป็นไปตามมาตรฐาน AWS (American Welding Society)

2.14.3 ตัวอย่างการเชื่อม (Typical Joints)

2.14.3.1 การเชื่อมผนังของถังในแนวตั้ง (Vertical Shell Joints)

1. การเชื่อมผนังถังในแนวตั้งจะต้องเป็นแบบ Butt weld และเชื่อมเต็มความหนาของผนัง ดังตัวอย่างตาม รูปที่ 2.7

2. รอยเชื่อมของผนังในแนวตั้ง ของแผ่นผนังในชั้นถัดไปจะต้องอยู่ในตำแหน่งเยื้องกันอย่างน้อย 5 เท่าของความหนาของแผ่นผนังที่หนามากที่สุด ณ. จุดเชื่อมนั้น

2.14.3.2 การเชื่อมผนังของถังในแนวนอน (Horizontal Shell Joints )

1. รอยเชื่อมของผนังในแนวนอนจะต้องเป็นรอยเชื่อมแบบเต็มความหนา อย่างไรก็ตาม Top angle อาจจะสามารถเชื่อมแบบ Double-welded lap ได้ ดังตัวอย่างตาม รูปที่ 2.8

2. แผ่นผนังในแต่ละชั้นของความสูง จะต้องวางตัวให้มีจุดกึ่งกลางของความหนาของแผ่นตรงกัน

2.14.4 การเชื่อมแผ่นพื้นของถังแบบเชื่อมชน (Butt-Welded Bottom Joints)

การเชื่อมแบบเชื่อมชนจะต้องเตรียมขอบของชิ้นงานก่อนการเชื่อมเป็นแบบ Square หรือแบบ V groove โดยถ้าเป็นแบบ Square จะต้องมีระยะห่างระหว่างขอบ (Root opening) ไม่น้อยกว่า 6 mm การเชื่อมชนจะต้องมีแผ่นรอง (Backing strip) ไว้เพื่อเชื่อมชนแบบ Tack จัดตำแหน่งระหว่างแผ่นพื้นให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้อง ก่อนทำการเชื่อมชนเต็มแนว

2.14.5 การเชื่อมแผ่นผนังถังเข้ากับแผ่นผนังพื้นถัง (Shell-to-Bottom Fillet welds)

1. สำหรับแผ่นพื้นที่มีความหนา 12.5 mm ( $\frac{1}{2}$ in.) หรือน้อยกว่านี้ รอยเชื่อมระหว่างแผ่นผนังถังกับแผ่นพื้นจะต้องเป็นแบบ Fillet weld ทั้ง 2 ด้านของผนังถัง และเป็นรอยเชื่อมต่อเนื่องรอบแผ่นผนังถัง ขนาดของรอยเชื่อมจะต้องมีขนาดไม่เกิน 12.5 mm ( $\frac{1}{2}$ in.) และไม่น้อยกว่าขนาดความหนาของแผ่นผนังและแผ่นพื้น หรือน้อยกว่าค่าดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 2.12 แสดงค่าความหนาของแผ่นผนังและขนาดของรอยเชื่อม**

(ที่มา : Ameriean Petroleum Institute, 1998)

| Nominal Thickness of Shell Plate | | Minimum Size of Fillet Weld | |
|---|---|---|---|
| (mm) | (in.) | (mm) | (in.) |
| 5 | 0.1875 | 5 | $\frac{3}{16}$ |
| > 5 to 20 | > 0.1875 to 0.75 | 6 | $\frac{1}{4}$ |
| > 20 to 32 | > 0.75 to 1.25 | 8 | $\frac{5}{16}$ |
| > 32 to 45 | > 1.25 to 1.75 | 10 | $\frac{3}{8}$ |

2.14.6 การเชื่อมแผ่นหลังคาถังและ Top angle (Roof and Top-Angle Joints)

1. รอยเชื่อมของแผ่นหลังคาจะต้องเป็นแบบ Fillet weld และเป็นการเชื่อมแบบต่อเนื่อง ดังรูปที่ 2.9 ในบางครั้งการเชื่อมแบบเชื่อมชน (Butt weld) ก็สามารถใช้ได้

2. การเชื่อมระหว่างแผ่นหลังคาเข้ากับ Top angle จะต้องเป็นแบบ Fillet weld และเป็นการเชื่อมแบบต่อเนื่อง ดังรูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10

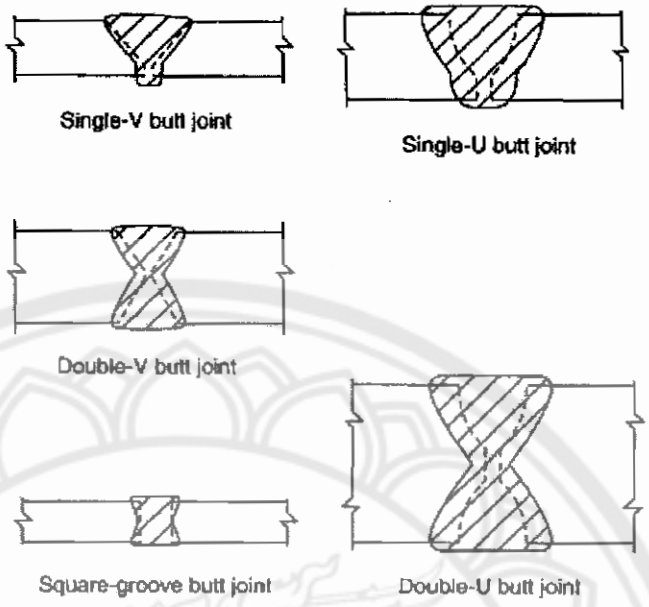
3. การเชื่อมต่อระหว่างชิ้นงาน Top angle เข้าด้วยกัน สำหรับถังแบบ Self-supporting roof จะต้องเป็นแบบเชื่อมชน (Butt weld) เต็มความหนา

4. ขนาดของ Top angle จะต้องเป็นไปดามนี้

4.1 ถังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 11 m ขนาดของ Top angle จะต้องไม่น้อยกว่า $51 \times 51 \times 4.8$ mm.

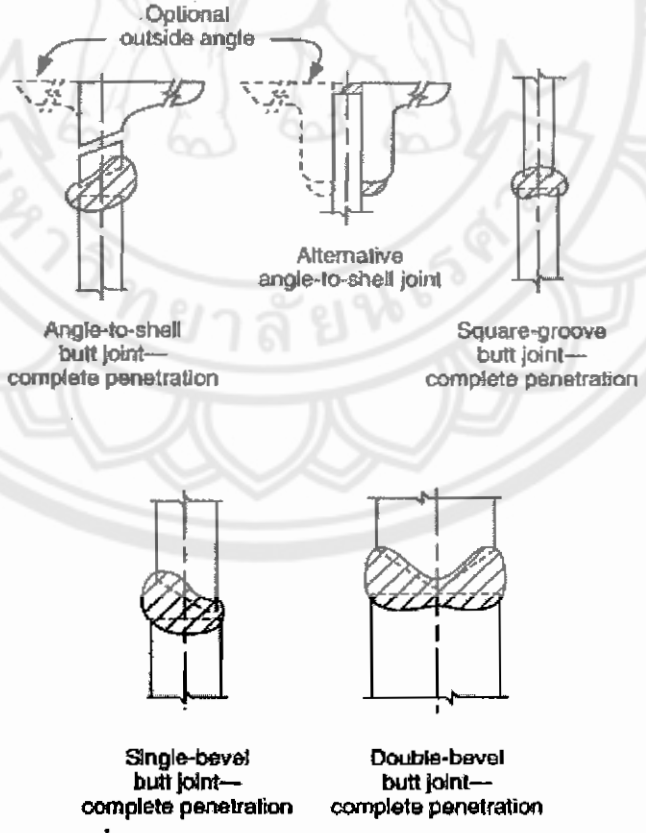
4.2 ถังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 11 m และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 18 m ขนาดของ Top angle จะต้องไม่น้อยกว่า $51 \times 51 \times 6.4$ mm.

4.3 ถังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 18 m ขนาดของ Top angle จะต้องไม่น้อยกว่า $76 \times 76 \times 9.5$ mm.



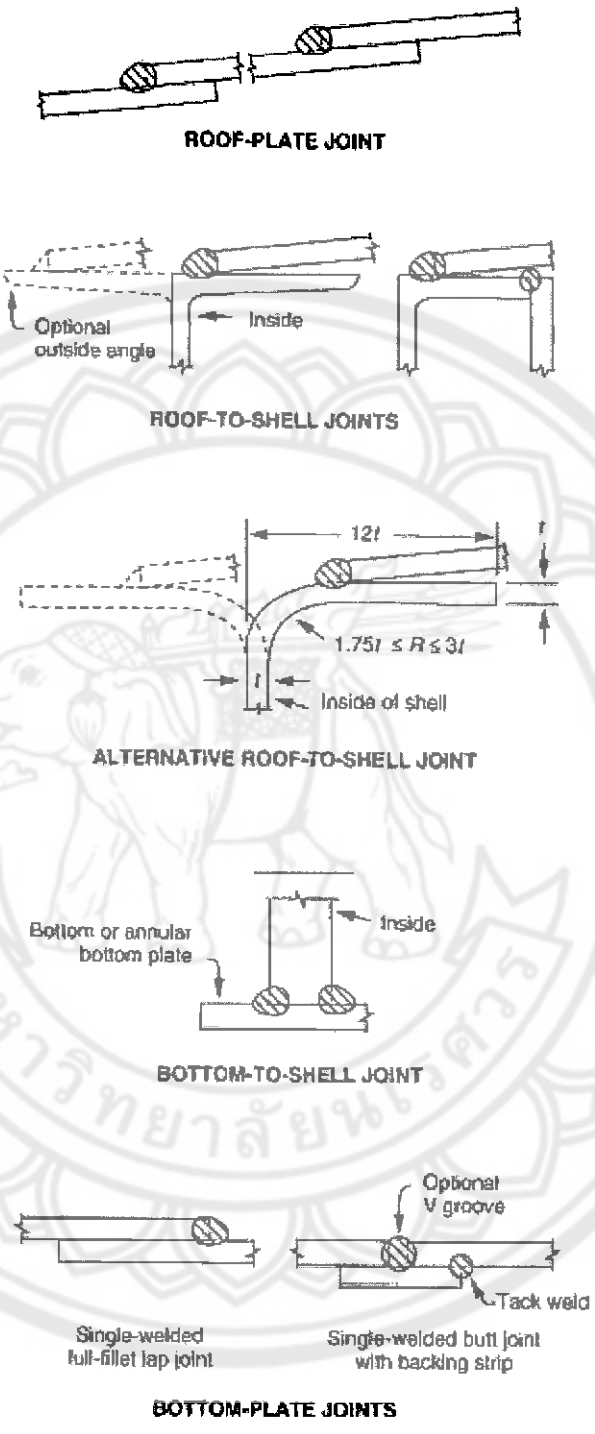

**รูปที่ 2.8 แสดงการเชื่อมผนังถังในแนวตั้ง (Typical Vertical Shell Joints)**

(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)




**รูปที่ 2.9 แสดงการเชื่อมผนังถังในแนวนอน (Typical Horizontal Shell Joints )**

(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)




**รูปที่ 2.10 แสดงการเชื่อมของแผ่นหลังคาและพื้น (Typical Roof and Bottom Joints)**

(ที่มา : American Petroleum Institute, 1998)

**2.15 ภาระเนื่องจากแรงลมที่กระทำกับถังหรือเสถียรภาพของถังที่จะไม่เกิดการพลิกคว่ำ (Wind load on tanks (Overturning stability))**

2.15.1 ค่า Overturning stability จะต้องทำการคำนวณตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ค่าแรงลมที่กระทำกับถัง

1. แรงลมกระทำในระนาบแนวตั้งเท่ากับ 1.4 kPa
2. แรงลมกระทำบนพื้นที่ฉาย (Projected area) ของรูปทรงกระบอกเท่ากับ 0.86 kPa
3. แรงลมกระทำบนพื้นที่ฉาย (Projected area) ของรูปทรงกรวยเท่ากับ 0.72 kPa

โดยค่าดังกล่าวมีพื้นฐานโดยการคิดจากความเร็วลมที่ 160 km/hr ดังนั้นที่ความเร็วลมอื่นใด ค่าดังกล่าวจะต้องเปลี่ยนแปลง โดยการคูณค่าที่ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\left(\frac{V}{160}\right)^2$$

เมื่อ $V$ = ความเร็วลมอื่นใด ที่ระบุโดยผู้ซื้อ (km/hr)

2.15.2 สำหรับถังที่ไม่ได้ยึดติดกับฐานรากใดๆ (Unanchored tank) ค่า Overturning moment จากแรงดันลม จะต้องไม่เกิน 2 ใน 3 ของค่า Dead-load resisting moment (ค่า Dead-load resisting moment คิดที่ถังเปล่า) ตามสมการดังต่อไปนี้

$$M \le \frac{2}{3}\left(\frac{WD}{2}\right)$$

เมื่อ $M$ = Overturning moment (N-m)

$W$ = น้ำหนักของผนังถัง (โดยคิดที่ความหนาผนังที่ยังไม่ได้รวมค่าความเผื่อการกัดกร่อน) บวกด้วยน้ำหนักที่ผนังของถังรองรับอยู่ (น้ำหนักหลังคาถัง) ลบด้วยแรงยกที่เกิดจากความดันภายในถังขณะใช้งาน

$D$ = เส้นผ่านศูนย์กลางถัง (m)

2.15.3 เมื่อถังยึดติดกับฐานรากโดยใช้ Anchor bolt ค่าแรงดึง (Tension load) ที่กระทำบน Anchor bolt จะต้องคำนวณตามสมการต่อไปนี้

$$t_B = \frac{4M_w}{DN} - \frac{W}{N}$$

เมื่อ

$t_B$ = ค่าแรงดึงที่กระทำบน Anchor bolt (N)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของ Anchor bolt circle (m)

N = จำนวนของ Anchor bolt ที่ใช้

ตำแหน่งของ Anchor bolt อยู่ห่างกันได้มากที่สุดไม่เกิน 3 m.

2.15.4 ถังที่อาจจะสามารถเคลื่อนที่สไลด์เนื่องจากแรงดันลมให้ใช้ค่า Sliding friction = 0.4 (กรณีที่ไม่มีการระบุอื่นใด) คูณกับแรงปฏิกริยาตั้งฉากที่กระทำกับตัวถัง (น้ำหนักถัง) ตรวจสอบแรงเสียดทานที่จะทำให้ถังไม่สไลด์