

PRESSURE VESSEL 계산서 (압력용기)

공사명		장비명	PRESSURE VESSEL
작성자		작성일	2026. 10. 25.

기준: ASME Sec. VIII Div.1 설계 보조용 (법정 검사용 아님), 부식된 안쪽 치수 기준. 압력은 kgf/cm² 로 생각하고, 계산은 MPa·mm 로 합니다 (1 kgf/cm² = 0.0980665 MPa).

1. 설계 조건

설계압력 P	10.00 kgf/cm ² (0.981 MPa)	설계온도 T	100 °C
형식	수직형	경판 형식	반타원 2:1
내경 Di	1,500 mm	동체 길이 L (T.L~T.L)	3,000 mm
재질	SA-516-70 (탄소강)	밀도	7.85 g/cm ³
허용응력 S (설계온도)	138.0 MPa	허용응력 S _{시험} (38 °C)	138.0 MPa
용접 효율 E	0.85	부식 여유 CA	1.5 mm
경판 성형 감소	10.0 %	최소 두께	6.0 mm
내용물 비중	1.00	액 높이 (정수두)	0 (무시)
계산에 쓴 압력 P	10.00 kgf/cm ² (0.981 MPa)		

허용응력은 재질표(부록 ④)에서 설계온도 100 °C 를 선형 보간한 참고값입니다. S_{시험} 은 38 °C 값입니다.

$$R = Di/2 + CA = 1,500/2 + 1.5 = 751.50 \text{ mm} \quad D = Di + 2 \cdot CA = 1,500 + 2 \times 1.5 = 1,503.00 \text{ mm}$$

2. 동체 두께 (UG-27)

$$\text{원주방향 } t = P \cdot R \div (S \cdot E - 0.6 \cdot P) = 0.981 \times 751.50 \div (138.0 \times 0.85 - 0.6 \times 0.981) = 6.314 \text{ mm}$$

$$\text{길이방향 } t = P \cdot R \div (2 \cdot S \cdot E + 0.4 \cdot P) = 0.981 \times 751.50 \div (2 \times 138.0 \times 0.85 + 0.4 \times 0.981) = 3.136 \text{ mm}$$

$$\text{필요 두께 } t_{\text{req}} = \text{큰 값} = 6.314 \text{ mm} \rightarrow + CA \ 1.5 = 7.814 \text{ mm (최소 두께 6.0 mm 와 비교 큰 값 7.814 mm)}$$

$$\text{확인: } P \leq 0.385 \cdot S \cdot E \rightarrow 0.981 \leq 45.161 \text{ MPa} \rightarrow \text{적합 (OK)}$$

→ 판 두께 목록에서 올림: 동체 8 mm

3. 경판 두께 (UG-32) — 반타원 2:1

$$t = P \cdot D \div (2 \cdot S \cdot E - 0.2 \cdot P) = 0.981 \times 1,503.00 \div (2 \times 138.0 \times 0.85 - 0.2 \times 0.981) = 6.288 \text{ mm}$$

$$+ CA \ 1.5 = 7.788 \text{ mm}$$

$$\text{성형 감소 10.0 \% 감안 주문 두께} = 7.788 \div (1 - 0.100) = 8.653 \text{ mm}$$

$$\text{최소 두께 6.0 mm 와 비교 큰 값 8.653 mm}$$

→ 판 두께 목록에서 올림: 경판 9 mm

4. 최고 허용 압력 MAWP

$$\text{동체 유효 두께 } t = 8 - CA \ 1.5 = 6.50 \text{ mm}$$

$$\text{동체 } P = S \cdot E \cdot t \div (R + 0.6 \cdot t) = 138.0 \times 0.85 \times 6.50 \div (751.50 + 0.6 \times 6.50) = 10.29 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (1.009 MPa)}$$

$$\text{경판 유효 두께 } t = 9 \times (1 - 0.100) - CA \ 1.5 = 6.60 \text{ mm}$$

$$\text{경판 } P = 2 \cdot S \cdot E \cdot t \div (D + 0.2 \cdot t) = 2 \times 138.0 \times 0.85 \times 6.60 \div (1,503.00 + 0.2 \times 6.60) = 10.50 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (1.029 MPa)}$$

$$\text{MAWP} = \text{둘 중 작은 값} = 10.29 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (1.009 MPa)} \text{ (동체가 정함, 설계압력 10.00 kgf/cm}^2 \text{ (0.981 MPa))}$$

5. 수압시험 압력 (UG-99(b))

$$S_{\text{시험}} \div S_{\text{설계}} = 138.0 \div 138.0 = 1.000$$

$$P_t = 1.3 \times \text{MAWP} \times (S_{\text{시험}}/S_{\text{설계}}) = 1.3 \times 1.009 \times 1.000 = 13.38 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (1.312 MPa)}$$

$$\text{참고 (설계압력 기준)} \quad 1.3 \times P \times \text{비율} = 1.3 \times 0.981 \times 1.000 = 13.00 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (1.275 MPa)}$$

※ 설계 보조용 값입니다 (법정 검사용 아님).

6. 노즐 보강 (UG-37, 간단법: $f_r = 1$, $F = 1$, 보강판 없이 먼저)

노즐 165.2×7.1 (CA 1.5), 위치 동체, 재질은 동체와 같다고 봄

$$d = \text{OD} - 2 \cdot (t_n - \text{CAn}) = 165.2 - 2 \times (7.1 - 1.5) = 154.00 \text{ mm}$$

$$t_r \text{ (동체 필요, CA 제외)} = 6.314 \text{ mm} \quad t \text{ (동체 선정 - CA)} = 8 - 1.5 = 6.50 \text{ mm} \quad E_1 = 1 \text{ 로 봄}$$

$$t_{rn} = P \cdot R_n \div (S \cdot E - 0.6 \cdot P) = 0.981 \times 77.00 \div (138.0 \times 0.85 - 0.6 \times 0.981) = 0.647 \text{ mm} \quad t_n - \text{CAn} = 5.60 \text{ mm}$$

$$\text{필요 면적 } A = d \cdot t_r = 154.00 \times 6.314 = 972.4 \text{ mm}^2$$

$$A_1 = \text{큰 값} \{ d \cdot (t - t_r) = 28.6 ; 2 \cdot (t + t_n) \cdot (t - t_r) = 4.5 \} = 28.6 \text{ mm}^2 \text{ (동체 남는 면적)}$$

$$A_2 = 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot \min(t, t_n) = 5 \times (5.60 - 0.647) \times 5.60 = 138.7 \text{ mm}^2 \text{ (노즐 목 남는 면적)}$$

$$A_1 + A_2 = 167.3 \text{ mm}^2 < A \text{ } 972.4 \text{ mm}^2$$

부족 면적 = 805.2 mm^2 . 보강판 바깥지름 $D_p = 2 \cdot d = 308.0 \text{ mm}$ 로 두면

$$t_e = (A - A_1 - A_2) \div (D_p - d - 2 \cdot (t_n - \text{CAn})) = 805.2 \div (308.0 - 154.0 - 2 \times 5.60) = 5.64 \text{ mm}$$

→ **보강판 필요: 바깥지름 308 mm × 두께 6 mm**

※ 용접 면적, 보강 범위 제한, UG-36 개구 제한은 따로 확인하세요.

7. 용량과 무게

$$\text{동체 부피} = \pi/4 \times D_i^2 \times L = 0.7854 \times 1,500^2 \times 3,000 \div 10^9 = 5.301 \text{ m}^3$$

$$\text{경판 부피 (1개)} = \pi \cdot D_i^3/24 = 0.442 \text{ m}^3 \times 2 \text{ 개} = 0.884 \text{ m}^3$$

내용적 합계 = 6.185 m³ (경판 직선부 제외)

$$\text{동체 무게} = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \cdot L \cdot \rho = 3.1416 \times (1,500 + 8) \times 8 \times 3,000 \times 7.85 \div 10^6 = 892.5 \text{ kg}$$

$$\text{경판 무게 (1개)} = 1.084 \times D_i^2 \times t \times \rho = 1.084 \times 1,500^2 \times 9 \times 7.85 \div 10^6 = 172.3 \text{ kg} \times 2 \text{ 개} = 344.6 \text{ kg}$$

$$\text{빈 무게} = (\text{동체} + \text{경판 } 2\text{개}) \times (1 + \text{부속품 } 10\%) = 1,237.2 \times 1.10 = 1,361 \text{ kg}$$

$$\text{물 가득 무게} = \text{빈 무게} + \text{내용적} \times 1000 = 1,361 + 6,185 = 7,546 \text{ kg}$$

$$\text{운전 무게 (가득, 비중 1.00)} = 1,361 + 6,185 = 7,546 \text{ kg}$$

8. 받침 반력

$$\text{수직형 다리 4 개: 물 가득 } 7,546 \div 4 = 1,886 \text{ kg (18.50 kN)} \quad \text{운전 } 7,546 \div 4 = 1,886 \text{ kg}$$

※ 풍하중·지진은 다음 9번, 받침(다리·스커트) 검토는 10번에서 합니다. 반력은 무게만 균등하게 나눈 값입니다.

9. 바람·지진 하중 (간단한 정적 계산)

외경 $D_o = D_i + 2 \cdot t = 1,500 + 2 \times 8 = 1,516 \text{ mm}$ 보온 포함 $D_o' = D_o + 2 \times \theta = 1,516 \text{ mm}$

경판 깊이 $H = D_i/4 = 375.0 \text{ mm}$ 전체 높이 $H_v = L + 2 \cdot H = 3,000 + 2 \times 375.0 = 3,750 \text{ mm}$

설계 풍압 $q = 150 \text{ kgf/m}^2$, 풍력계수 $C_f = 0.70$, 지진 계수 $C_s = 0.20$, 운전 무게 $W_{op} = 7,546 \text{ kg}$

받침 높이 = 1,000 mm (다리 길이) 작용 높이 $h = \text{받침 높이} + H_v/2 = 1,000 + 1,875 = 2,875 \text{ mm}$ (바람 중심과 무게 중심을 같게 봄)

바람 $F_w = q \cdot C_f \cdot D_o' \cdot H_v = 150 \times 0.70 \times 1.516 \times 3.750 = 597 \text{ kgf}$ (5.85 kN)

지진 $F_s = C_s \cdot W_{op} = 0.20 \times 7,546 = 1,509 \text{ kgf}$ (14.80 kN)

바람 모멘트 $M_w = F_w \cdot h = 597 \times 2,875 \div 1000 = 1,716 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ 지진 모멘트 $M_s = F_s \cdot h = 1,509 \times 2,875 \div 1000 = 4,339 \text{ kgf} \cdot \text{m}$

→ 지진이 더 큼 (둘을 더하지 않음): 밀면 모멘트 $M = 4,339 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ (42.55 kN·m), 전단력 $V = 1,509 \text{ kgf}$ (14.80 kN)

※ 간단한 정적법입니다. 실제 설계는 현장의 KDS 41 (풍하중·지진하중) 값으로 하세요.

10. 다리 검토 (파이프 다리, AISC ASD)

다리 4 개, 길이 $L_g = 1,000$ mm, 다리 원 지름 $D_b = 1,500$ mm, 유효길이 계수 $K = 2.00$ 재질 STPG370: $F_y = 215$ MPa, $E = 205,000$ MPa

최대 축력 $P = W_{op}/n + 4 \cdot M/(n \cdot D_b) = 74,000/4 + 4 \times 42,550,047/(4 \times 1,500) = 18,500 + 28,367 = 46,867$ N
(4,779 kgf) (M = 다리 밑 기준 모멘트)

다리 1개 가로힘 $V/n = 14,800/4 = 3,700$ N 힘 모멘트 $M_b = (V/n) \cdot L_g = 3,700 \times 1,000 = 3,700,004$ N·mm (한쪽 고정 막대, 안전쪽)

자동 선정: **80A Sch80** ($\phi 89.1 \times 7.6$), $A = 1,946$ mm², $Z = 36,581$ mm³, $r = 28.9$ mm, 15.28 kg/m

$KL/r = 2.00 \times 1,000 \div 28.9 = 69.1$ (≤ 200 : **적합 (OK)**) $C_c = \sqrt{(2\pi^2 E/F_y)} = \sqrt{(2 \times 9.8696 \times 205,000 \div 215)} = 137.2$

$F_a = [1 - (KL/r)^2/(2 \cdot C_c^2)] \cdot F_y \div [5/3 + 3(KL/r)/(8 \cdot C_c) - (KL/r)^3/(8 \cdot C_c^3)] = [1 - 69.1^2/(2 \times 137.2^2)] \times 215 \div [5/3 + 3 \times 69.1/(8 \times 137.2) - 69.1^3/(8 \times 137.2^3)] = 102.0$ MPa (1,041 kgf/cm²)

$F_b = 0.66 \cdot F_y = 0.66 \times 215 = 141.9$ MPa (1,447 kgf/cm²)

$f_a = P/A = 46,867 \div 1,946 = 24.1$ MPa (246 kgf/cm²) $f_b = M_b/Z = 3,700,004 \div 36,581 = 101.1$ MPa (1,031 kgf/cm²)

$f_a/F_a + f_b/F_b = 0.236 + 0.713 = 0.949 \leq 1.0 \rightarrow$ **적합 (OK)**

파이프 (가벼운 순)	$\phi \times t$	kg/m	KL/r	F_a (MPa)	f_a/F_a	f_b/F_b	합	판정
50A Sch40	60.5 × 3.9	5.44	99.7	83.7	0.808	2.827	3.635	NG
50A Sch80	60.5 × 5.5	7.46	102.3	81.9	0.602	2.173	2.775	NG
65A Sch40	76.3 × 5.2	9.12	79.4	96.3	0.419	1.348	1.767	NG
80A Sch40	89.1 × 5.5	11.34	67.5	102.9	0.315	0.917	1.232	NG
65A Sch80	76.3 × 7	11.96	81.2	95.2	0.323	1.076	1.399	NG
80A Sch80	89.1 × 7.6	15.28	69.1	102.0	0.236	0.713	0.949	OK
100A Sch40	114.3 × 6	16.03	52.2	110.7	0.207	0.496	0.704	OK
125A Sch40	139.8 × 6.6	21.68	42.4	115.1	0.147	0.297	0.444	OK
100A Sch80	114.3 × 8.6	22.42	53.3	110.1	0.149	0.371	0.520	OK
150A Sch40	165.2 × 7.1	27.68	35.7	117.9	0.113	0.195	0.308	OK
125A Sch80	139.8 × 9.5	30.53	43.3	114.7	0.105	0.220	0.325	OK
150A Sch80	165.2 × 11	41.83	36.6	117.5	0.075	0.135	0.210	OK
200A Sch40	216.3 × 8.2	42.08	27.2	121.1	0.072	0.097	0.169	OK
250A Sch40	267.4 × 9.3	59.20	21.9	123.0	0.051	0.055	0.106	OK
200A Sch80	216.3 × 12.7	63.77	27.7	120.9	0.048	0.067	0.114	OK
250A Sch80	267.4 × 15.1	93.95	22.4	122.8	0.032	0.036	0.068	OK

※ 위 표는 같은 하중·K 로 모든 파이프를 검토한 것입니다 (노란 칸 = 선정). 다리 윗부분 볼임 용접·동체 국부 응력, 베이스 플레이트, 바닥 앵커는 따로 검토하세요.

11. 결과 요약

설계 조건	10.00 kgf/cm ² (0.981 MPa) / 100 °C / SA-516-70 (탄소강) / E 0.85 / CA 1.5
동체 두께	계산 7.81 mm → 선정 8 mm (원주 6.31 + CA)
경판 두께 (반타원 2:1)	계산 7.79 mm → 성형 감안 8.65 mm → 선정 9 mm
최고 허용 압력 MAWP	10.29 kgf/cm ² (1.009 MPa) (동체 10.29, 경판 10.50 kgf/cm ²)
수압시험 압력	13.38 kgf/cm ² (1.312 MPa)
노즐 보강	보강판 필요 Ø308 × 6 mm
내용적	6.185 m ³
빈 무게 / 물 가득 / 운전	1,361 / 7,546 / 7,546 kg
다리 1개 반력 (4개)	물 가득 1,886 kg / 운전 1,886 kg
바람·지진	지진 지배: M = 4,339 kgf·m, V = 1,509 kgf (바람 597 / 지진 1,509 kgf)
다리 (파이프)	80A Sch80 (Ø89.1 × 7.6) × 4 개, 합 0.95 적합 (OK) (KL/r 69, P 4,779 kgf)

경고 없음.

부록. 적용 근거표

노란 칸 = 이번 계산에 쓴 값. 허용응력은 ASME II-D 형식의 참고값입니다. 최신판으로 확인하세요.

① 허용응력 S (MPa) — 온도 사이의 직선으로 보간

재질	38 °C	93 °C	149 °C	204 °C	260 °C	316 °C	343 °C	350 °C	371 °C	밀도 g/cm³	Sy 상온
SA-516-70 (탄소강)	138	138	138	138	138	138	138	-	-	7.85	260
SA-516-60 (탄소강)	118	118	118	118	118	118	118	-	-	7.85	220
SA-285-C (탄소강)	108	108	108	108	108	108	108	-	-	7.85	205
SS400 (KS, 참고)	100	100	100	100	100	100	-	100	-	7.85	245
SA-240-304 (SUS304)	138	115	103	95	89	85	-	-	82	7.93	205
SA-240-316L (SUS316L)	115	98	88	81	75	71	-	-	69	7.93	170

※ 이번: SA-516-70 (탄소강), T = 100 °C → S = 138.00 MPa, S_{시험}(38 °C) = 138.00 MPa. 탄소강은 343 °C(SS400 은 350 °C) 이하 값만 있습니다.

② 용접 효율 E

방사선 검사	E
전부 방사선	1.00
부분 방사선 (Spot)	0.85
방사선 없음	0.70

③ 쓴 식 (ASME Sec. VIII Div.1)

동체 원주 (UG-27)	$t = P \cdot R \div (S \cdot E - 0.6 \cdot P)$, $P \leq 0.385 \cdot S \cdot E$
동체 길이방향 (UG-27)	$t = P \cdot R \div (2 \cdot S \cdot E + 0.4 \cdot P)$
반타원 2:1 경판 (UG-32)	$t = P \cdot D \div (2 \cdot S \cdot E - 0.2 \cdot P)$
접시형 경판 (UG-32)	$t = 0.885 \cdot P \cdot L \div (S \cdot E - 0.1 \cdot P)$, L = 크라운 반지름
반구형 경판 (UG-32)	$t = P \cdot R \div (2 \cdot S \cdot E - 0.2 \cdot P)$
평판 (UG-34)	$t = D \cdot \sqrt{(C \cdot P \div (S \cdot E))}$
MAWP (역산)	동체 $P = S \cdot E \cdot t \div (R + 0.6 \cdot t)$; 2:1 $P = 2 \cdot S \cdot E \cdot t \div (D + 0.2 \cdot t)$; 접시형 $P = S \cdot E \cdot t \div (0.885 \cdot L + 0.1 \cdot t)$; 반구형 $P = 2 \cdot S \cdot E \cdot t \div (R + 0.2 \cdot t)$; 평판 $P = S \cdot E \cdot (t/D)^2 \div C$
수압시험 (UG-99(b))	$P_t = 1.3 \times \text{MAWP} \times (S_{\text{시험}} \div S_{\text{설계}})$
노즐 보강 (UG-37)	$A = d \cdot t_r \cdot F$; $A_1 = \text{큰 값} \{d(E_1 t - F \cdot t_r), 2(t + t_n)(E_1 t - F \cdot t_r)\}$; $A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot \min(t, t_n)$; $A_1 + A_2 \geq A$ 이면 보강판 불필요
R, D	$R = D_i/2 + CA$, $D = D_i + 2 \cdot CA$ (부식된 안쪽 치수)
경판 주문 두께	$t_{\text{주문}} = t_{\text{필요}} \div (1 - \text{성형 감소 \%})$ (평판 제외)

④ 판 두께 목록 (mm)

6	8	9	10	12	14	16	19	22	25	28	32	36	40	45	50	55	60
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

※ 노란 칸 = 동체 8 mm, 경판 9 mm 선정.

⑤ 바람·지진 식 (간단한 정적법)

바람 (수직형)	$F_w = q \cdot C_f \cdot D_o' \cdot H_v$ (kgf), $D_o' = D_o + 2 \times \text{보온}$, $H_v = L + 2H$
지진 (수직형)	$F_s = C_s \cdot W_{op}$ (kgf)
밀면 모멘트	M = 큰 값 { $F_w \cdot h$, $F_s \cdot h$ } (더하지 않음), h = 받침 높이 + $H_v/2$; V = 지배하는 힘

간단한 정적법입니다. 실제 설계는 현장의 KDS 41 (풍하중·지진하중) 값으로 하세요. 이번: $q = 150 \text{ kgf/m}^2$, $C_f = 0.70$, $C_s = 0.20$.

⑥ 다리 파이프 STPG370 (KS D 3562 Sch40 · Sch80) 과 식

파이프	Ø × t (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)	Z (mm ³)	r (mm)	kg/m
50A Sch40	60.5 × 3.9	693	279,017	9,224	20.1	5.44
50A Sch80	60.5 × 5.5	950	362,938	11,998	19.5	7.46
65A Sch40	76.3 × 5.2	1,162	737,885	19,342	25.2	9.12
65A Sch80	76.3 × 7	1,524	924,201	24,225	24.6	11.96
80A Sch40	89.1 × 5.5	1,445	1,267,410	28,449	29.6	11.34
80A Sch80	89.1 × 7.6	1,946	1,629,696	36,581	28.9	15.28
100A Sch40	114.3 × 6	2,041	3,002,116	52,530	38.3	16.03
100A Sch80	114.3 × 8.6	2,856	4,014,660	70,248	37.5	22.42
125A Sch40	139.8 × 6.6	2,762	6,140,185	87,842	47.2	21.68
125A Sch80	139.8 × 9.5	3,889	8,296,964	118,698	46.2	30.53
150A Sch40	165.2 × 7.1	3,526	11,040,502	133,662	56.0	27.68
150A Sch80	165.2 × 11	5,329	15,918,793	192,721	54.7	41.83
200A Sch40	216.3 × 8.2	5,361	29,064,562	268,743	73.6	42.08
200A Sch80	216.3 × 12.7	8,123	42,255,520	390,712	72.1	63.77
250A Sch40	267.4 × 9.3	7,541	62,873,892	470,261	91.3	59.20
250A Sch80	267.4 × 15.1	11,969	95,574,366	714,842	89.4	93.95
단면 성질	$A = \pi/4(OD^2 - ID^2)$, $I = \pi/64(OD^4 - ID^4)$, $Z = I \div (OD/2)$, $r = \sqrt{I/A}$, $kg/m = A(mm^2) \times 7.85 \times 10^{-3}$					
축력 (다리 1개)	$P = W_{op}/n + 4 \cdot M/(n \cdot Db)$; 가로힘 V/n , 휨 $M_b = (V/n) \cdot L_g$					
AISC ASD (1989) 허용 압축	$C_c = \sqrt{(2\pi^2 E/F_y)}$; $KL/r \leq C_c$ 이면 $F_a = [1 - (KL/r)^2/(2C_c^2)] \cdot F_y \div [5/3 + 3(KL/r)/(8C_c) - (KL/r)^3/(8C_c^3)]$, 아니면 $F_a = 12\pi^2 E \div (23(KL/r)^2)$					
허용 휨, 합성	$F_b = 0.66 \cdot F_y$; $f_a/F_a + f_b/F_b \leq 1.0$, $KL/r \leq 200$ ($F_y = 215$, $E = 205,000$ MPa)					

⑦ 주의

ASME Sec. VIII Div.1 기준 설계 보조용 (법정 검사용 아님). 허용응력은 ASME II-D 참고값 — 최신판으로 확인.