

# 지시서 (Instruction)

문서명	압력용기 내용적 정산
문서번호	INSPEC-IN-009
제정일자	1999. 10. 11.
개정일자	2021. 00. 00.
발행일자	2021. 00. 00.

관리본

비관리본

승인

2021. 00. 00.

품질책임자

일자

작성·검토


2021. 00. 00.

품질책임자대리인

일자




한국에너지공단

 한국에너지공단	지 시 서	문서번호	INSPEC-IN-009
		개정일자	2021. 00. 00.
	압력용기 내용적 정산	개정번호	9
		페이지	1/20

## 목 차

1. 목적
2. 적용범위
3. 책임 및 권한
4. 내용적 정산 일반
5. 단위 및 유효숫자
6. 내용적 계산법
7. 검사신청시 내용적 적용

 한국에너지공단	지 시 서	문서번호	INSPEC-IN-009
		개정일자	2021. 00. 00.
	압력용기 내용적 정산	개정번호	9
		페이지	2/20

## 1. 목적

본 지시서는 검사대상기기중 압력용기의 내용적 정산 방법에 대한 질적 향상을 목적으로 한다.

## 2. 적용범위

에너지이용합리화법 제39조(검사대상기기의 검사) 제1항 및 열사용기자재관리규칙 제31조(검사대상기기) 및 제34조(검사기준)의 규정에 의거 제조되는 압력용기의 내용적 계산에 적용한다.

## 3. 책임 및 권한

3.1 품질책임자는 본 지시서의 제정, 개정에 대한 책임이 있으며, 필요한 경우 압력용기 내용적 정산방법에 대하여 검사원을 대상으로 교육훈련을 실시할 책임이 있다.


3.2 검사원은 본 지시서에 따라 압력용기의 내용적 계산을 행하여야 할 책임이 있다.

## 4. 내용적 정산 일반

압력용기의 내용적은 「검사기준 지시서(INSPEC-IN-003)」 압력용기 제조(용접 및 구조) 검사의 “압력용기의 범위”의 규정에 따라 압력용기로 간주되는 범위까지의 내용적을 계산하고 다음에 따른다

### 4.1 내용적 계산의 범위

압력용기의 본체(동체, 경판, 이에 직결되는 노즐 등) 및 이를 압력용기 이외의 장치와 연결하는 관에서 압력용기에 가장 가까운 용접이음, 플랜지이음 또는 나사이음까지의 부분을 내용적으로 계산한다.

 한국에너지공단	지시서	문서번호	INSPEC-IN-009
		개정일자	2021. 00. 00.
	압력용기 내용적 정산	개정번호	9
		페이지	3/20

## 4.2 내용적 계산의 일반

- (1) 압력용기의 내부용적(Empty Volume)을 계산한다.
- (2) 열교환기, 온수가열기, 다단식취사기, 반응기, 염색기, 자켓부착용기등과 같이 이중구조로 가열매체와 피가열매체가 다르거나 또는 압력을 각각 상이하게 받는 부분의 내용적은 별개로 계산한다.
- (3) 몸통에 내압을 받지 않는 자켓부착용기의 경우, 몸통의 용적에 자켓의 용적을 더하여 산정하고 몸통의 내용적은 외압을 받는 부분만 계산한다.
- (4) 압력용기에 부착되는 200A이상인 노즐의 경우는 내용적을 계산한다.

## 4.3 내용적 계산의 제외

배관용 노즐(200A미만), 관판부분 및 기타 공작상 가제되고 무시하여도 좋은 부분의 용적은 계산에서 제외하여도 좋다.

## 5. 단위 및 유효숫자

### 5.1 압력용기 내용적단위


압력용기 내용적 단위는  $m^3$ 으로 한다.

### 5.2 내용적의 유효숫자

내용적의 수치는 KS Q 5002(데이터의 통계적 해석방법-제1부 : 데이터의 통계적 기술)에 의하여 유효숫자 2자리로 뱃는다. 단,  $100 m^3$  이상의 내용적은  $m^3$  정수치로 뱃는다.

### 5.3 수치의 뱃음법

#### 5.3.1 유효숫자의 자리수

 한국에너지공단	지시서	문서번호	INSPEC-IN-009
		개정일자	2021. 00. 00.
	압력용기 내용적 정산	개정번호	9
		페이지	4/20

유효숫자의 자리수라 함은 0이 아닌 최고위의 수치의 자리에서 부터 센다.


### 5.3.2 수치의 뺏음법

어떤수치를 유효숫자  $n$ 자리의 수치로 뺏을 때 또는 소숫점이하  $n$ 자리의 수치로 뺏을 때는  $(n + 1)$ 자리이하의 수치를 다음과 같이 정리한다. 단, 이 뺏음법은 한번에 하여야 한다.

- (1)  $(n + 1)$ 자리 이하의 수치가  $n$  자리의 1단위의  $\frac{1}{2}$  미만일 때는 버린다.  
<보기> 1.234를 유효자리 2자리로 뺏으면 1.2가 된다.
- (2)  $(n + 1)$  자리 이하의 수치가  $n$  자리의 1단위의  $\frac{1}{2}$  넘을 때는  $n$ 자리를 1단위만 올린다.  
<보기> 1.2501를 유효자리 2자리로 뺏으면 1.3이 된다.
- (3)  $(n + 1)$ 자리 이하의 수치가  $n$  자리의 1단위의  $\frac{1}{2}$  이던가 또는  $(n + 1)$ 자리 이하의 수치가 버려진 것인지, 올려진 것인지, 알 수 없을 때는 다음과 같이 한다.
  - (a)  $n$ 자리의 수치가 0, 2, 4, 6, 8이면 버린다  
<보기> 0.105를 유효자리 2자리로 뺏으면 0.10이 된다.
  - (b)  $n$ 자리의 수치가 1, 3, 5, 7, 9이면  $n$ 자리를 1단위만 올린다.  
<보기> 0.0955를 유효자리 2자리로 뺏으면 0.096이 된다.
- (4)  $(n + 1)$ 자리 이하의 수치가 버려진 것인지, 올려진 것인지, 알고 있을 때는 (1)항 또는 (2)항의 방법으로 하여야 한다.  
<보기> 2.35(이 수치는 2.347이 올려진 것이라는 것을 알고 있다)를 유효자리 2자리로 뺏으면 2.3이 된다.  
<보기> 2.45(이 수치는 2.452를 버려진 것이라는 것을 알고 있다)를 유효자리 2자리로 뺏으면 2.5가 된다.

## 6. 내용적 계산법

### 6.1 내용적 계산 일반

 한국에너지공단	지 시 서	문서번호	INSPEC-IN-009
	압력용기 내용적 정산	개정일자	2021. 00. 00.
		개정번호	9
		페이지	5/20

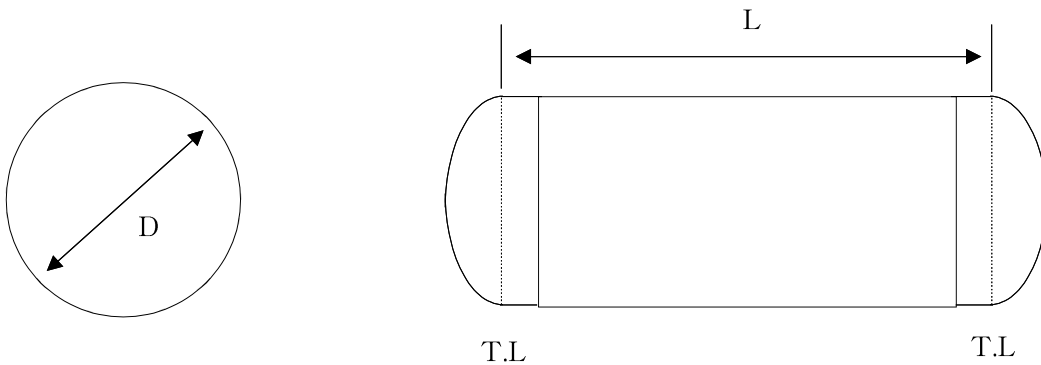
- (1) 내용적 계산에 사용하는 모든 치수는 내측치수 또는 내안지름(또는 안반지름)을 사용한다.
- (2) 압력용기 내부에 설치되는 관등 구조물이 차지하는 부분의 계산에는 외측치수를 사용할 수 있다.

## 6.2 동체의 내용적 계산

- (1) 동체의 내용적 계산은 “내단면적” × “동체의 길이”로 한다.
- (2) 동체의 길이는 경판이나 뚜껑판의 굽힘이 시작되는 선(Tangent Line, T.L)에서 T.L까지로 한다.
- (3) 동체의 내용적 계산식

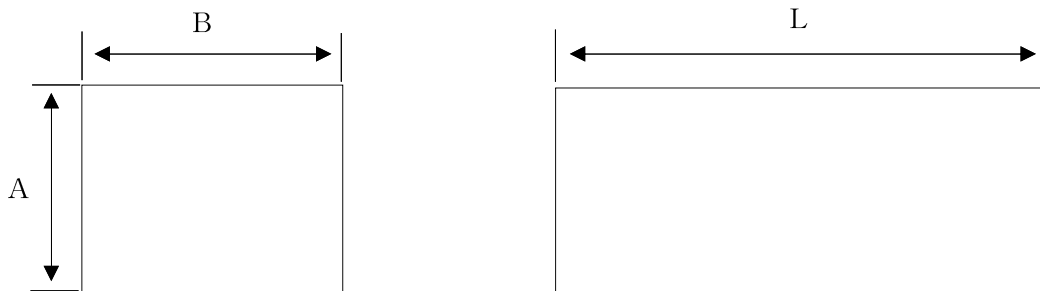
### ① 원통형 동체의 경우


$$\text{내용적(m}^3\text{)} = \text{원주율} \times \{\text{원의지름(m)}\}^2 \div 4 \times \text{동체의길이(m)} = \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \times L$$



### ② 사각형 동체의 경우

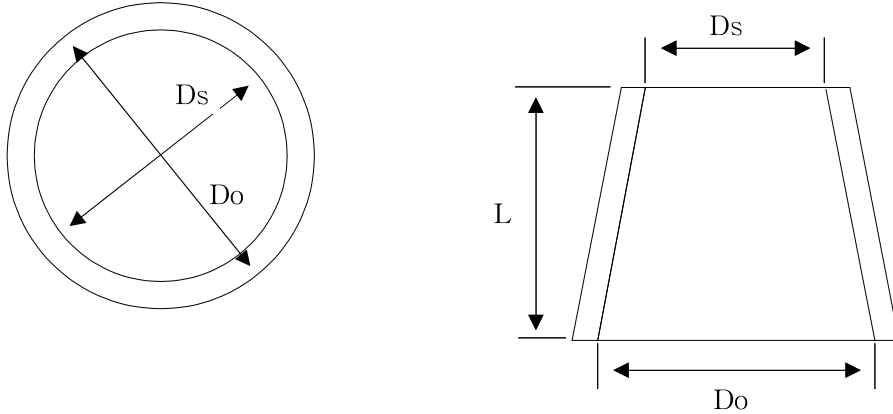
$$\text{내용적(m}^3\text{)} = \text{세로(m)} \times \text{가로(m)} \times \text{동체의 길이(m)} = A \times B \times L$$



 한국에너지공단	지 시 서	문서번호	INSPEC-IN-009
	압력용기 내용적 정산	개정일자	2021. 00. 00.
		개정번호	9
		페이지	6/20

③ 원뿔형 동체의 경우

$$\text{내용적(m}^3\text{)} = \frac{\pi}{12}(D_o^2 + D_o D_s + D_s^2)L$$

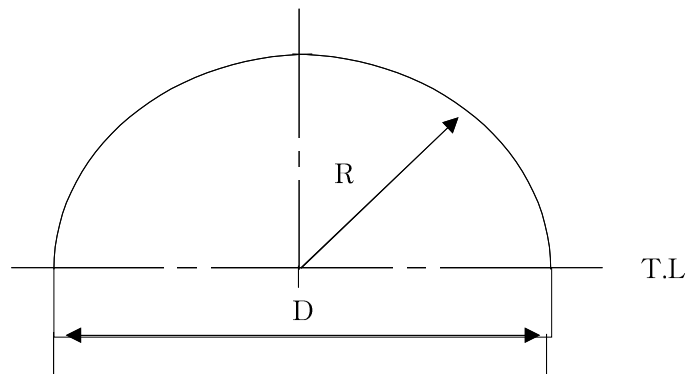


6.3 경판의 내용적 계산식

여러가지 모양의 경판(또는 뚜껑판)이 가지는 내용적은 계산에 포함시켜야 한다.


(1) 반구형체의 경우

$$\text{내용적(m}^3\text{)} = \text{원주율} \times \{\text{원의 반지름(m)}\}^3 \times \frac{2}{3} = \frac{2}{3} \times \pi \times R^3$$



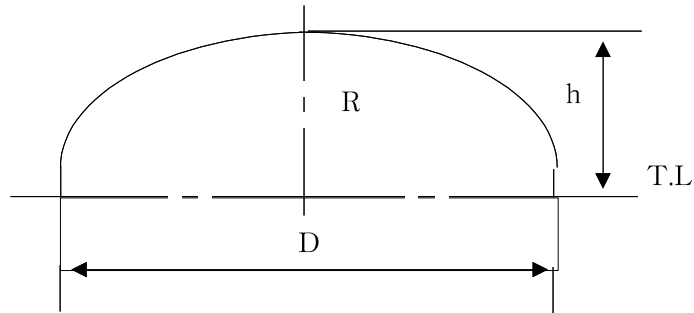
(2) 반타원체의 경우

① 장경 : 단경 = 2 : 1 인 경우

 한국에너지공단	지시서	문서번호	INSPEC-IN-009
	<b>압력용기 내용적 정산</b>	개정일자	2021. 00. 00.
		개정번호	9
		페이지	7/20

$$\text{경판의 높이}(h) = \frac{1}{4} D$$

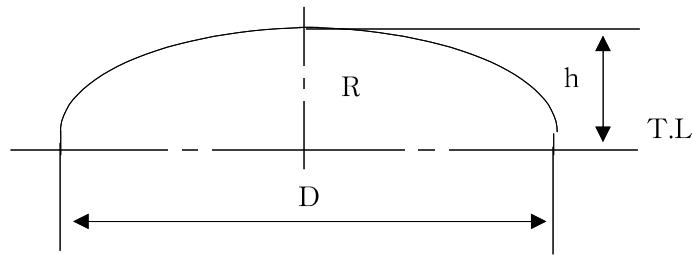
$$\text{내용적}(m^3) = \text{원주율} \times \{\text{원의 지름}(m)\}^3 \div 24 = \frac{\pi}{24} \times D^3$$



② 장경 : 단경 = 3 : 1 인 경우

$$\text{경판의 높이}(h) = \frac{1}{6} D$$

$$\text{내용적}(m^3) = \text{원주율} \times \{\text{원의 지름}(m)\}^3 \div 36 = \frac{\pi}{36} \times D^3$$



(3) 접시형의 경우


① 접시형 경판의 구성 요건

$$R \leq 1.5 D, \quad r \geq 0.06 D, \quad r \geq 3 t$$

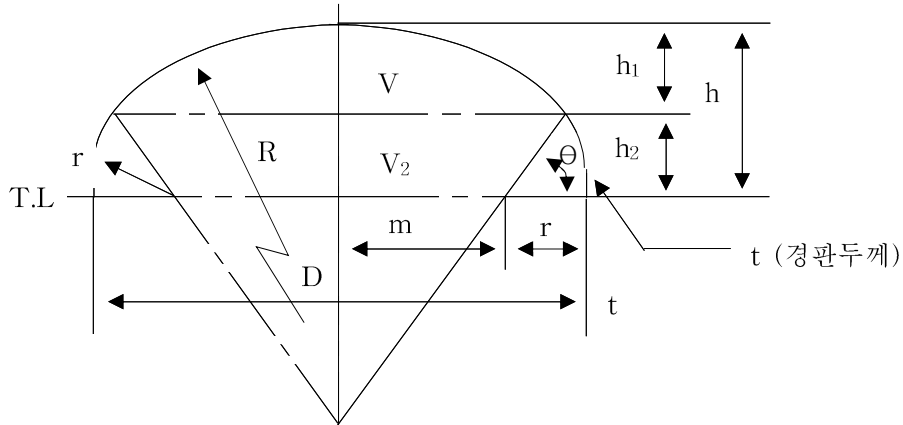
$$h = R - \sqrt{(R - r)^2 - (m - r)^2}$$

$$h_2 = r \sin \theta, \quad \theta = \cos^{-1} \frac{m}{R - r}, \quad h_1 = h - h_2$$



 한국에너지공단	지시서	문서번호	INSPEC-IN-009
	압력용기 내용적 정산	개정일자	2021. 00. 00.
		개정번호	9
		페이지	8/20

$$m = \frac{D}{2} - r$$




② 접시형 경판의 내용적 계산 일반식

$$V = V_1 + V_2$$

$$V_1 = \frac{\pi}{3} h_1^2 (3R - h_1)$$

$$V_2 = \pi \left\{ (r^2 + m^2) h_2 - \frac{h_2^3}{3} + m h_2 \sqrt{r^2 - h_2^2} + m r^2 \theta \right\}$$

$$\theta = \text{radian} \left( \cos^{-1} \frac{m}{R - r} \right)$$

 한국에너지공단	지시서	문서번호	INSPEC-IN-009
		개정일자	2021. 00. 00.
	압력용기 내용적 정산	개정번호	9
		페이지	9/20

③ 접시형 경판의 내용적 조건표

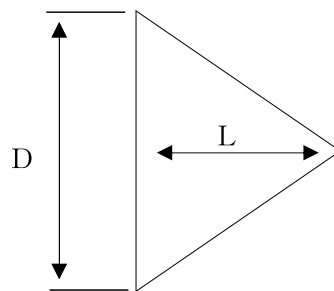
( 단위 :  $\times D^3$  )

중양둥글기 R (Crown Radius)	구석둥글기 r (Knuckle Radius)										
	0.06D	0.07D	0.08D	0.09D	0.10D	0.11D	0.12D	0.13D	0.14D	0.15D	0.155D
<b>0.8D</b>	0.09454	0.09837	0.10220	0.10603	0.10989	0.11375	0.11759	0.12146	0.12536	0.12924	0.13116
<b>0.9D</b>	0.08659	0.09083	0.09503	0.09923	0.10344	0.10765	0.11185	0.11605	0.12027	0.12448	0.12656
<b>1.0D</b>	0.08099	0.08551	0.09001	0.09448	0.09897	0.10344	0.10790	0.11234	0.11681	0.12125	0.12345
<b>1.1D</b>	0.07677	0.08153	0.08625	0.09095	0.09565	1.0034	0.10499	0.10963	0.11429	0.11890	0.12119
<b>1.2D</b>	0.07347	0.07842	0.08333	0.08821	0.09308	0.09794	0.10275	0.10755	0.11237	0.11713	0.11948
<b>1.3D</b>	0.07080	0.07592	0.08098	0.08602	0.09103	0.09604	0.10098	0.10591	0.11084	0.11573	0.11814
<b>1.4D</b>	0.06861	0.07387	0.07906	0.08422	0.08936	0.09447	0.09954	0.10458	0.10961	0.11459	0.11705
<b>1.5D</b>	0.06677	0.07214	0.07745	0.8272	0.08797	0.09318	0.09833	0.10347	0.10859	0.11365	0.11616

※ 여기에서 D : 플랜지부 안지름(m)

(4) 원뿔형의 경우


$$\text{내용적(m}^3\text{)} = \frac{\pi}{12} D^2 L$$



7. 검사신청시 내용적 적용

7.1 적용근거

(1) 에너지이용합리화법 제39조 제1항의 규정 및 시행규칙 제31조의14, 제31조의

 한국에너지공단	지 시 서	문서번호	INSPEC-IN-009
		개정일자	2021. 00. 00.
	압력용기 내용적 정산	개정번호	9
		페이지	10/20

15 규정에 의한 검사신청시 별지 제14호서식의 ⑦항에 기록하여 적용한다.

- (2) ⑨항의 용량란에 내용적을 기록할 때에는 KS A 0021에 의거 유효숫자 2 자리로 맺어 m<sup>3</sup>단위로 기재한다.

## 7.2 적용방법

- (1) 각 부분의 내용적은 별도로 계산하여 KS A 0021에 의거 유효숫자 2자리로 맺음하여 이들을 합산한다.
- (2) 합산한 내용적을 KS A 0021에 의거 유효숫자 2자리로 맺음하여 사용한다.
- (3) 강도계산서에는 각 부분의 내용적을 각각 계산하여 산출근거를 제시하고 합산된 내용적에 각부분의 내용적을 병기하여야 한다.
- (4) 단, 노즐, 맨홀 등의 경우 300A이상만 합산한다.

## 7.3 기기별 내용적 계산 사례


### 7.3.1 온수가열기(탱크)

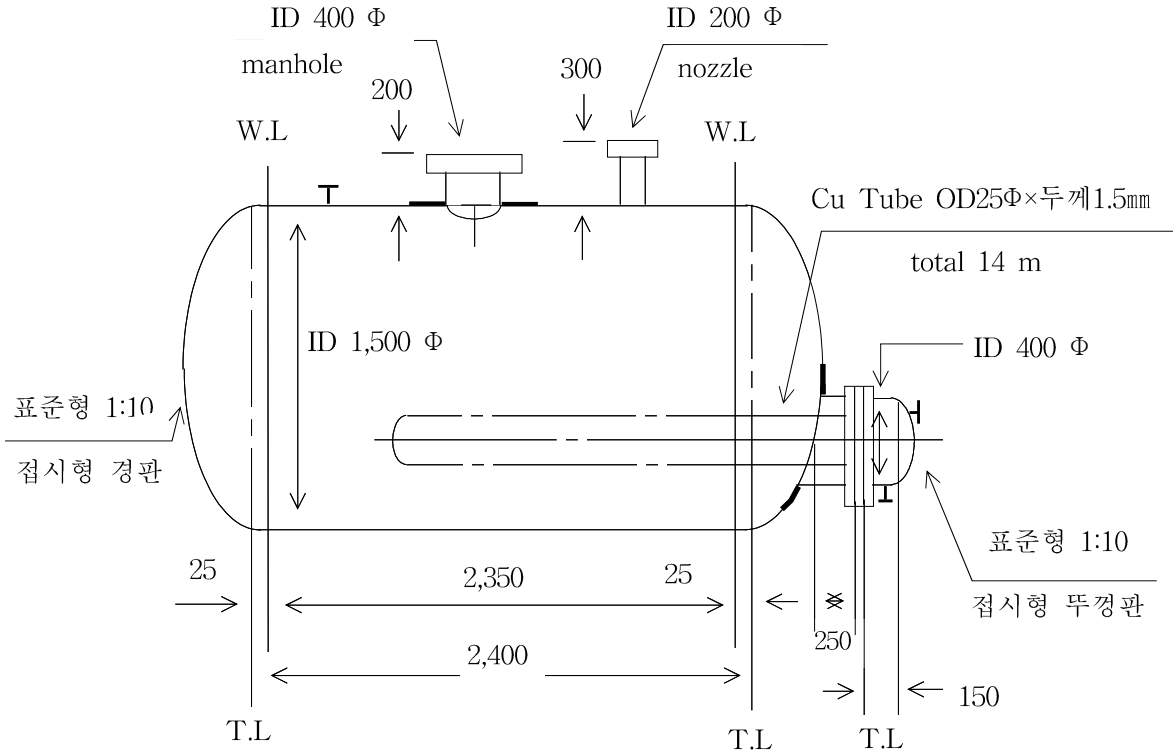
- (1) 온수가열기 내용적 계산식

$$\text{온수가열기 내용적}(V) = \text{동체측 내용적}(V_s) + \text{튜브측 내용적}(V_t)$$

$$\text{동체측 내용적}(V_s) = (\text{동체의 내용적}) + \{(\text{경판내용적}) \times 2\} + (\text{Channel의 내용적}) + (\text{맨홀의 내용적})$$

$$\text{튜브측 내용적}(V_t) = (\text{가열부 동체의 내용적} + \text{뚜껑판의 내용적})$$

 한국에너지공단	<b>지 시 서</b>	문서번호	INSPEC-IN-009
	<b>압력용기 내용적 정산</b>	개정일자	2021. 00. 00.
		개정번호	9
		페이지	11/20



(2) 온수가열기 내용적 계산의 실례


$$V_s = \left[ \frac{\pi \times (1.5)^2}{4} \times 2.4 + 0.09897(1.5)^3 \times 2 + \frac{\pi \times (0.4)^2}{4} \times 0.25 + \frac{\pi \times (0.4)^2}{4} \times 0.2 \right]$$

$$= 5.0(\text{m}^3)$$

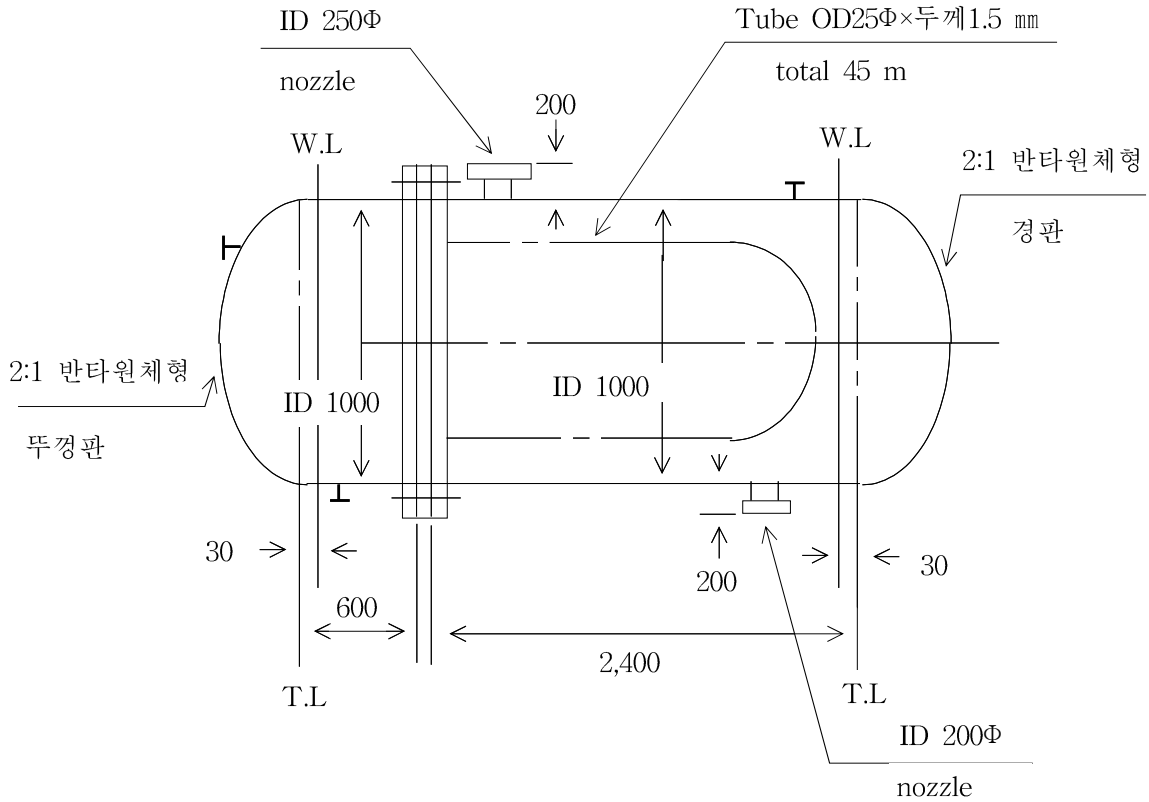
$$V_t = \left[ \frac{\pi \times (0.4)^2}{4} \times 0.15 + 0.09897(0.4)^3 \right]$$

$$= 0.025(\text{m}^3)$$

① 온수가열기의 내용적은 (V) = 5.0 m<sup>3</sup>으로 표기함.

 한국에너지공단	지 시 서	문서번호	INSPEC-IN-009
	압력용기 내용적 정산	개정일자	2021. 00. 00.
		개정번호	9
		페이지	12/20

7.3.2 다관원통형 열교환기(U자관형)



(1) 다관원통형 열교환기(U자관형) 내용적 계산식

열교환기 내용적 (V) = 동체측 내용적 (Vs) + 튜브측 내용적 (Vt)

(2) 다관원통형 열교환기(U자관형) 내용적 계산 실례


$$V_s = \left[ \frac{\pi \times (1)^2}{4} \times 2.4 + \frac{\pi \times (1)^3}{24} \right]$$

$$= 2.0(\text{m}^3)$$

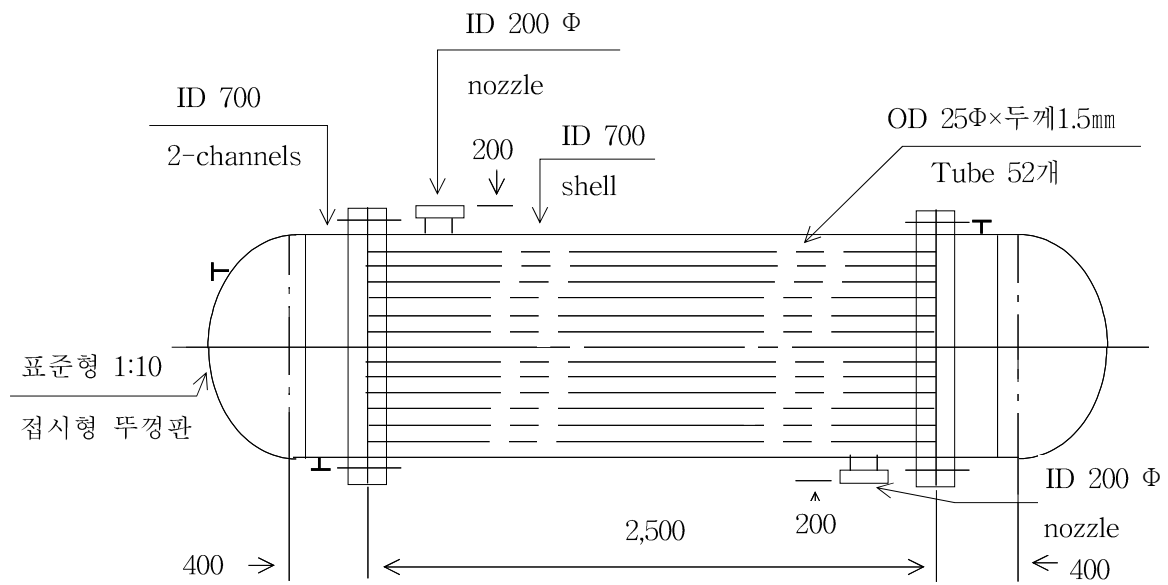
$$V_t = \frac{\pi \times (1)^2}{4} \times 0.6 + \frac{\pi \times (1)^3}{24}$$

$$= 0.60(\text{m}^3)$$

① 다관원통형 열교환기(U자관형) 내용적은 V= 2.6 m<sup>3</sup> 으로 표기함.

 한국에너지공단	지 시 서	문서번호	INSPEC-IN-009
	압력용기 내용적 정산	개정일자	2021. 00. 00.
		개정번호	9
		페이지	13/20

### 7.3.3 다관원통형 열교환기(고정관판식)



#### (1) 다관원통형 열교환기(고정관판식) 내용적 계산식


$$\text{열교환기 내용적 (V)} = \text{동체측 내용적 (Vs)} + \text{튜브측 내용적 (Vt)}$$

#### (2) 다관원통형 열교환기(고정관판식) 내용적 계산 실례

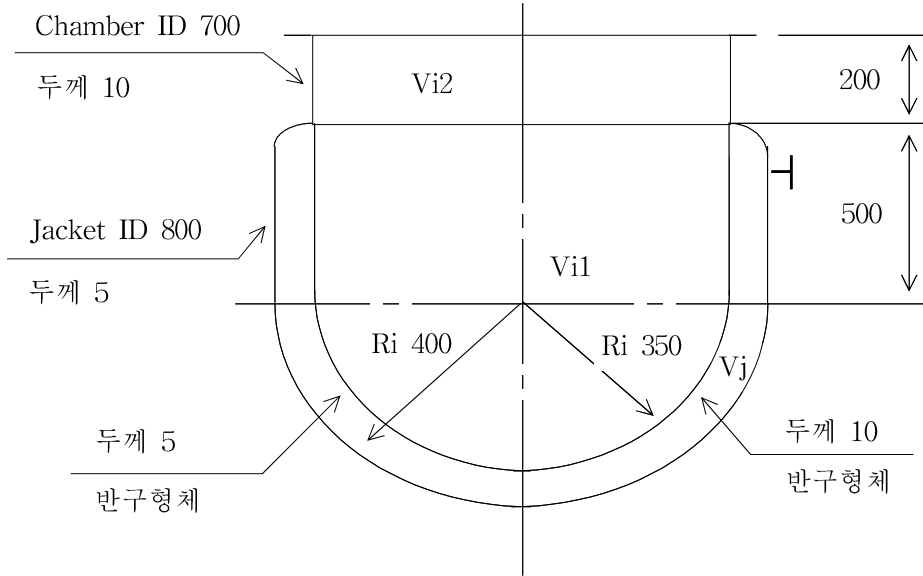
$$\begin{aligned}
 V_s &= \left[ \frac{\pi \times (0.7)^2}{4} \times 2.5 \right] \\
 &= 0.96(\text{m}^3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_t &= 2 \times \left[ \frac{\pi \times (0.7)^2}{4} \times 0.4 + 0.09897 \times (0.7)^3 \right] \\
 &= 0.38(\text{m}^3)
 \end{aligned}$$

① 다관원통형 열교환기(고정관판식) 내용적은  $V = 1.3 \text{ m}^3$  으로 표기 함.

 한국에너지공단	지 시 서	문서번호	INSPEC-IN-009
	압력용기 내용적 정산	개정일자	2021. 00. 00.
		개정번호	9
		페이지	14/20

7.3.4 이중솔



(1) 이중솔 내용적 계산식

① 내부압력  $P \leq 0$  인 경우

이중솔의 내용적 ( $V$ ) = 자켓층 내용적 ( $V_j$ )


② 내부압력  $P > 0$  인 경우

이중솔의 내용적 ( $V$ ) = 가열되는 내부의 내용적 ( $V_{i1}$ ) + 가열되지 않는 내부의 내용적( $V_{i2}$ ) + 자켓층 내용적 ( $V_j$ )

(2) 이중솔 내용적 계산 실례

① 내부압력  $P \leq 0$  인 경우

$$\begin{aligned}
V_j &= \left[ \frac{\pi \times (0.8)^2}{4} \times 0.5 + \frac{2}{3} \times \pi \times (0.4)^3 \right] - \left[ \frac{\pi \times (0.72)^2}{4} \times 0.5 + \frac{2}{3} \times \pi \times (0.36)^3 \right] \\
&= 0.084(\text{m}^3)
\end{aligned}$$

 한국에너지공단	지 시 서	문서번호	INSPEC-IN-009
		개정일자	2021. 00. 00.
	압력용기 내용적 정산	개정번호	9
		페이지	15/20

㉠ 내부에 -압력(부압)이 걸리거나 대기 개방형인 이중솔 내용적은 자켓의 내용적만 계산함

㉡ 이중솔 내용적은  $V = 0.084 \text{ m}^3$  으로 표기함.

② 내부압력  $P > 0$  인 경우

$$V_i = V_{i1} + V_{i2}$$


$$V_i = \left[ \frac{\pi \times (0.7)^2}{4} \times 0.5 + \frac{2 \times \pi \times (0.35)^3}{3} + \frac{\pi \times (0.7)^2}{4} \times 0.2 \right] = 0.36(\text{m}^3)$$

$$V_j = \left[ \frac{\pi \times (0.8)^2}{4} \times 0.5 + \frac{2}{3} \times \pi \times (0.4)^3 \right] - \left[ \frac{\pi \times (0.72)^2}{4} \times 0.5 + \frac{2}{3} \times \pi \times (0.36)^3 \right]$$

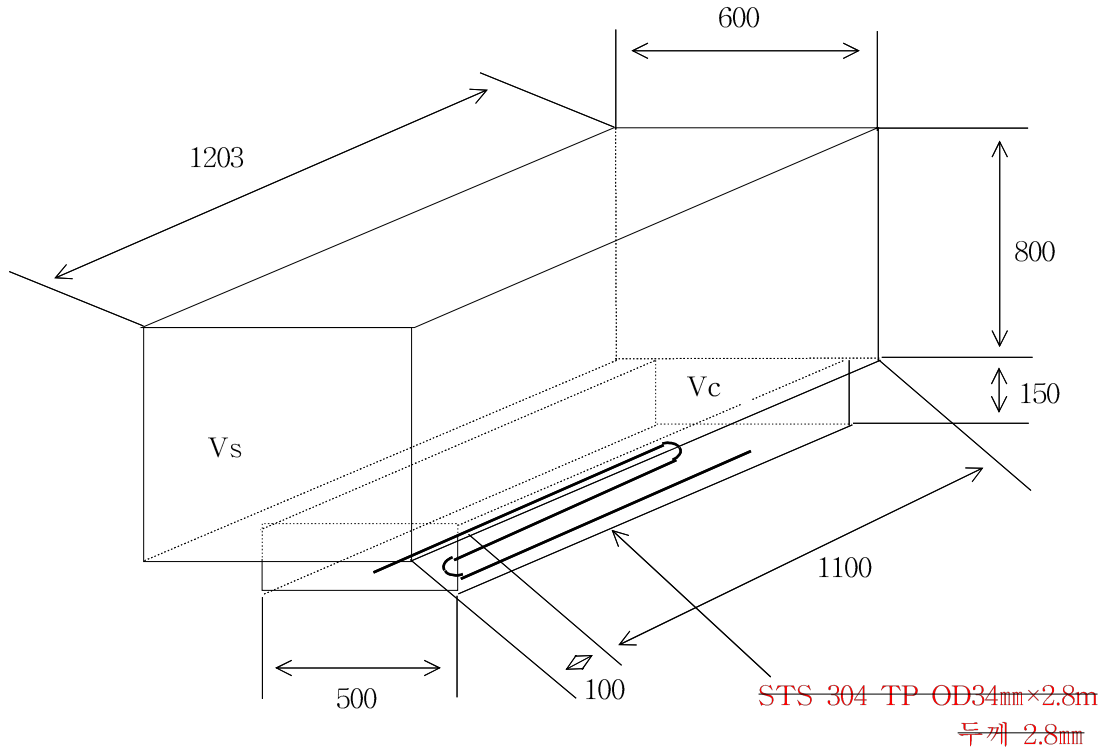
$$= 0.084(\text{m}^3)$$

㉠ 이중솔 내용적은  $V = 0.44 \text{ m}^3$  으로 표기함.



 한국에너지공단	지시서	문서번호	INSPEC-IN-009
		개정일자	2021. 00. 00.
	압력용기 내용적 정산	개정번호	9
		페이지	16/20

### 7.3.5 다단식 취사기



#### (1) 다단식취사기 내용적 계산식


다단식취사기 내용적 (V) = 동체의 내용적 (Vs) + 챔버의 내용적 (Vc)

#### (2) 다단식취사기 내용적 계산 실례

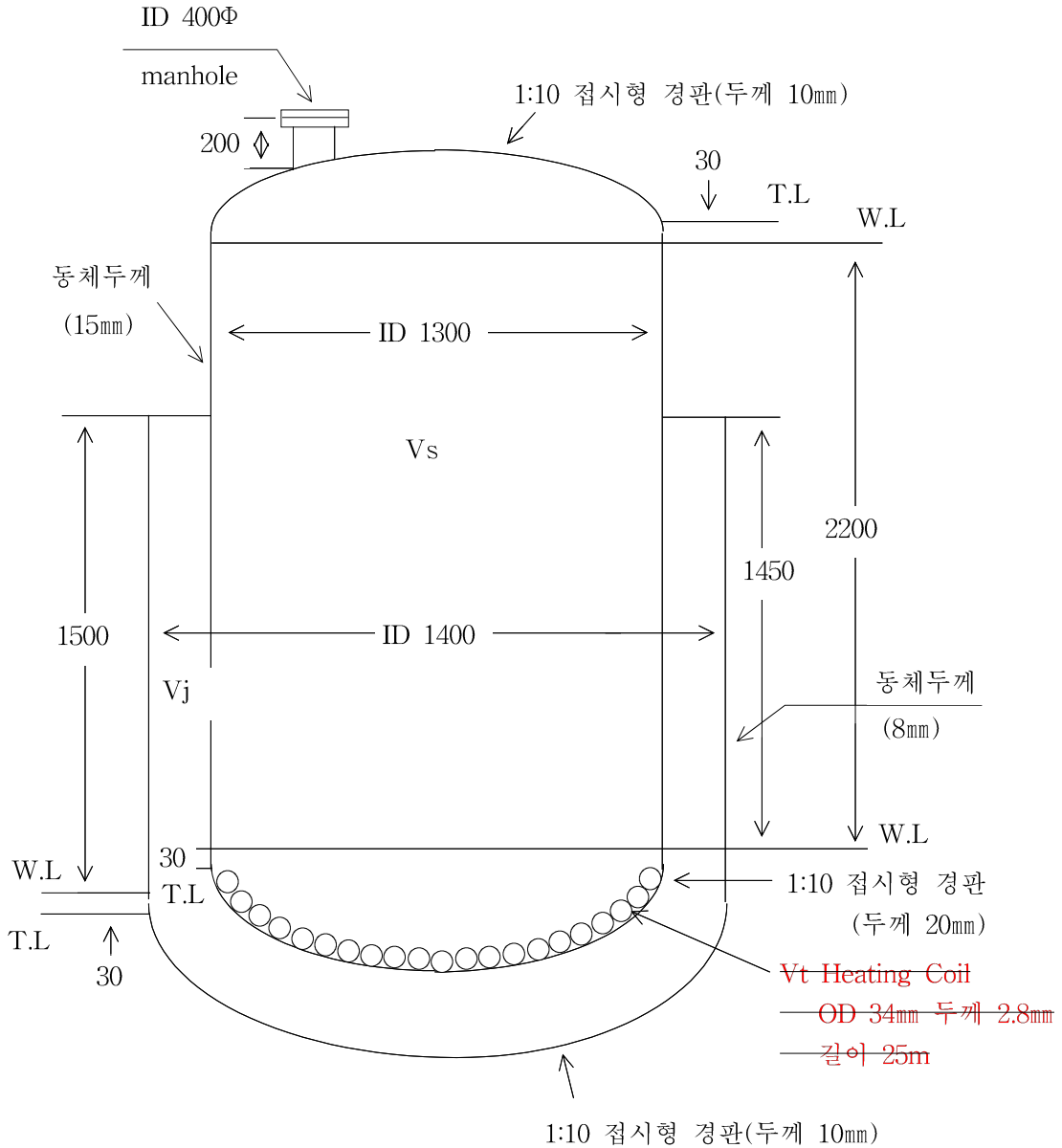
$$V_s = L1 \times W1 \times H1 = 1.203 \times 0.6 \times 0.8 = 0.58\text{m}^3$$

$$V_c = (L2 \times W2 \times H2) = (1.1 \times 0.5 \times 0.15) = 0.083\text{m}^3$$

① 다단식취사기 내용적은  $V = 0.66\text{m}^3$  으로 표기함.

 한국에너지공단	지 시 서	문서번호	INSPEC-IN-009
	압력용기 내용적 정산	개정일자	2021. 00. 00.
		개정번호	9
		페이지	17/20


7.3.6 반응기



(1) 반응기 내용적 계산식

① 내부압력  $P \leq 0$  인 경우

반응기의 내용적 (V) = 외압 받는 동체측 내용적 (Vs) + 자켓측

 한국에너지공단	지 시 서	문서번호	INSPEC-IN-009
	압력용기 내용적 정산	개정일자	2021. 00. 00.
		개정번호	9
		페이지	18/20

내용적 (Vj)

외압 받는 동체측 내용적(Vs) = (동체측내용적) + (경판내용적) × 1  
자켓측 내용적(Vj) = (자켓부 동체의 내용적 + 자켓경판의 내용적) - ( 동체  
의 외용적 + 동체경판의 외용적)

② 내부압력 P > 0 인 경우

반응기의 내용적 (V) = 동체내부의 내용적(Vs) + 자켓측 내용적 (Vj)  
동체측 내용적(Vs) = (동체측내용적) + (경판내용적) × 2 + (맨홀의 내용적)  
자켓측 내용적(Vj) = (자켓부 동체의 내용적 + 자켓경판의 내용적) - ( 동체의  
외용적 + 동체경판의 외용적)

(2) 반응기 내용적 계산의 실례


① 내부압력 P ≤ 0 인 경우

$$\begin{aligned}
V_s &= \left[ \frac{\pi \times (1.3)^2}{4} \times 1.48 + 0.09897 \times (1.3)^3 \times 1 \right] \\
&= 2.2(\text{m}^3) \\
V_j &= \left[ \left( \frac{\pi \times (1.4)^2}{4} \times 1.53 + 0.09897 \times 1.4^3 \times 1 \right) - \left( \frac{\pi \times (1.33)^2}{4} \times 1.48 \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + 0.09897 \times 1.32^3 \times 1 \right) \right] = 0.34(\text{m}^3)
\end{aligned}$$

㉠ 반응기 내용적은 V= 2.5 m<sup>3</sup> 으로 표기함.

② 내부압력 P > 0 인 경우

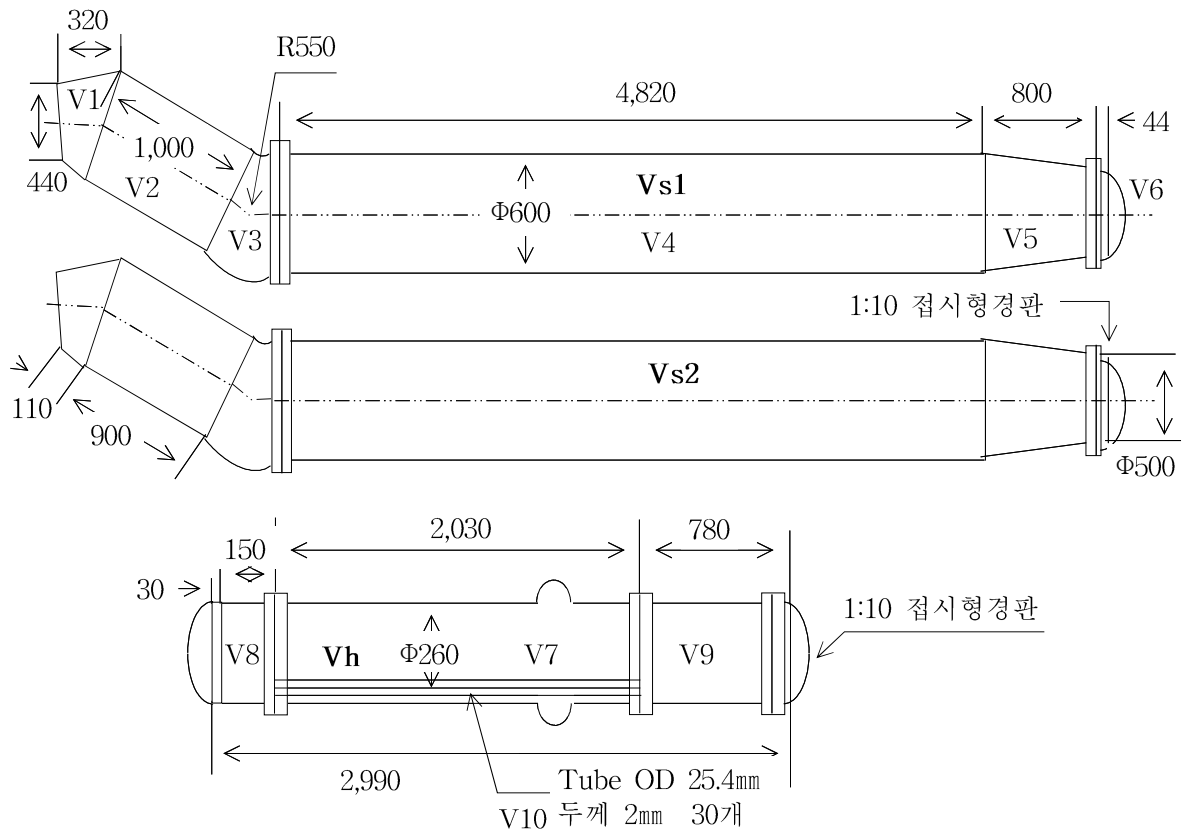
$$\begin{aligned}
V_s &= \left[ \frac{\pi \times (1.3)^2}{4} \times 2.26 + 0.09897 \times (1.3)^3 \times 2 + \frac{\pi \times (0.4)^2}{4} \times 0.2 - \frac{\pi \times (0.034)^2}{4} \times 25 \right] \\
&= 3.4(\text{m}^3)
\end{aligned}$$

 한국에너지공단	지 시 서	문서번호	INSPEC-IN-009
	압력용기 내용적 정산	개정일자	2021. 00. 00.
		개정번호	9
		페이지	19/20

$$V_j = \left[ \left( \frac{\pi \times (1.4)^2}{4} \times 1.53 + 0.09897 \times 1.4^3 \times 1 \right) - \left( \frac{\pi \times (1.33)^2}{4} \times 1.48 + 0.09897 \times 1.32^3 \times 1 \right) \right] = 0.34 (\text{m}^3)$$

㉠ 반응기의 내용적은 (V) = 3.7 m<sup>3</sup> 으로 표기함.


### 7.3.7 열색기



#### (1) 열색기 내용적 계산식

열색기의 내용적 (V) = 열색기동체 내용적 #1(Vs1) + 열색기동체 내용적 #2(Vs2) + 열교환기 내용적(Vh)

열색기 동체내용적(Vs) = 열색기동체 각부(V1 ~V6) 내용적의 합 ×동체의

 한국에너지공단	지 시 서	문서번호	INSPEC-IN-009
	압력용기 내용적 정산	개정일자	2021. 00. 00.
		개정번호	9
		페이지	20/20

수(tube의 수)

열교환기 내용적(Vh) = {열교환기 동체의 내용적(V7) + 열교환기 튜브측의 내용적(V8+V9)}

(2) 열색기 내용적 계산의 실례

$$V_s = (V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6) \times 2$$

$$V_1 = \frac{\pi}{12} \times (0.6^2 + 0.6 \times 0.44 + 0.44^2) \times \left( \frac{0.32 + 0.11}{2} \right) = 0.046 \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi}{4} \times 0.6^2 \times \left( \frac{0.9 + 1.0}{2} \right) = 0.27 \text{ m}^3$$

$$V_3 = \frac{\pi}{4} \times 0.6^2 \times 2 \times \pi \times 0.55 \times \left( \frac{45}{360} \right) = 0.12 \text{ m}^3$$

$$V_4 = \frac{\pi}{4} \times 0.6^2 \times 4.82 = 1.4 \text{ m}^3$$

$$V_5 = \frac{\pi}{12} \times (0.6^2 + 0.6 \times 0.5 + 0.5^2) \times 0.8 = 0.19 \text{ m}^3$$

$$V_6 = \frac{\pi}{4} \times 0.5^2 \times 0.044 + 0.09897 \times 0.5^3 = 0.021 \text{ m}^3$$

$$V_s = (0.046 + 0.27 + 0.12 + 1.4 + 0.19 + 0.021) \times 2 = 4.1 (\text{m}^3)$$

$$V_{hs} = V_7$$

$$V_{hs} = \left( \frac{\pi}{4} \times 0.26^2 \times 2.03 \right) = 0.11 (\text{m}^3)$$

$$V_{ht} = V_8 + V_9$$

$$V_8 = \left( \frac{\pi}{4} \times 0.26^2 \times 0.18 \right) + (0.09897 \times 0.26^3 \times 1) = 0.011 \text{ m}^3$$

$$V_9 = \left( \frac{\pi}{4} \times 0.26^2 \times 0.78 \right) + (0.09897 \times 0.26^3 \times 1) = 0.043 \text{ m}^3$$

$$V_{ht} = 0.011 + 0.043 = 0.054 (\text{m}^3)$$

① 열색기 내용적은  $V = 4.3 \text{ m}^3$  으로 표기함.