

축열식 전기보일러, 전기온수기 설계

● 축열식 전기보일러 설계

1. 교육범위

1.1. 축열재를 물로 하는 전기보일러를 설계함에 있어서 구조, 강도 및 안전장치에 대해서 설명하고자 한다.

1.2. 제품의 범위

항 목	규 격
사용전원	심야전력
축열재	물
사용용도	난방
사용압력	3.5kg/cm ² 이하
소비전력	30kW이하

2. 보일러 분류

	분 류	내 용	비 고
1	설치장소	실내용	
		실외용	
2	발열장치의 위치	일체형	축열조 내부
			가열조 내부
3	이용방식	직접이용	
		열교환이용	
4	축열조 형태	난방전용	
		난방, 급탕 분리된 일체형	
5	사용압력	1.0kg/cm ²	
		2.0kg/cm ²	
		3.5kg/cm ²	

	분 류	내 용	비 고
6	축열재	물	
		잠열재	
		벽돌	
7	축열조 용량	10kW이하	900 l 이하
		10kW초과 20kW이하	1800 l 이하
		20kW초과 30kW이하	2700 l 이하
8	소비전력	220V단상	380V 3상은 해당없음

3. 축열조 용량설계

(1) 설계기준

- 단위 면적당 난방부하: 270kcal/h평 ≈ 81.67kcal/hm²
- 축열온도는 40°C → 90°C로 높이는 것으로 함.
- 심야전기 공급시간이 10시간이므로 축열된 열을 난방으로 사용하게 되는 시간은 14시간이 된다.

(2) 용량 설계 예: 20평용 보일러

- 14시간 사용할 열량은 270kcal/h평 × 14h × 20평 = 75,600kcal이 된다.
- 축열조 용량은 75,600kcal ÷ (90°C - 40°C) = 1,512 l 이 된다.
- 100 l 단위로 표시하게 되면 1,500 l 가 되는 것이다.

(3) 축열조 용량, 표준난방면적은 심야기기인정 기준의 <표 1>을 이용하면 충분하나 여기서는 설정된 배경을 설명한 것이다.

(4) 심야기기 인정기준 <표 1>

표시된 이외의 규격을 제작하고자 할 때는 소비전력과 용량을 비례해서 맞추되 표시단위는 100 l 단위로 한다.

〈 표 1 〉			
구분	정격용량(kW)	축열조용량 (l)	표준난방면적(m ²)
물축열식	10kW이하	500	22
		600	26
		700	31
		800	35
		900	39
	10kW초과 20kW이하	1000	44
		1200	52
		1500	65
		1800	79
	20kW초과 30kW이하	2000	87
		2500	109
		2700	118

4. 표준난방면적

표준난방면적(m²)

$$= \frac{Q}{270 \text{ kcal/h} \cdot \text{평} \times (24\text{h} - H_1) \div 3,3057 \text{ m}^2/\text{평}}$$

Q : 최대축열량(축열조용량 × (90°C - 40°C))

H₁ : 심야전력 공급시간(10시간)

예) 축열조용량 1500 l 일때 표준난방면적

표준난방면적(m²)

$$= \frac{1500 \times (90 - 40)}{270 \times (24 - 10) \div 3,3057}$$

$$= 65.59 \approx 66(\text{m}^2)$$

5. 정격소비전력 (Heater 용량)

정격소비전력(kW)

$$= \text{표준난방면적}(\text{m}^2) \times 0.85 \text{ kW}/\text{평} \div 3,3057 \text{ m}^2/\text{평}$$

예) 표준난방면적 65m²인 경우

$$\text{정격소비전력}(\text{kW}) = 65 \times 0.85 \div 3,3057 = 16.7(\text{kW})$$

· 정격소비전력의 개념(참고)

- (1) 10시간동안에 24시간(1일동안) 사용할 열을 발열할 수 있는 Heater를 선정하는 것이다.

(2) 난방면적이 65m²인 경우

$$1\text{일 총사용열량}(\text{kcal}) = 270 \times 24 \times 65 \div 3,3057$$

$$= 127,412(\text{kcal}) \text{가 된다.}$$

이것을 10시간에 발열해야 하므로 Heater용량은 127,412 ÷ 10 = 12,741.2 kcal/h = 14.815 kW가 된다.

실제 선정된 히타용량은 16.7kW이므로 16.7 ÷ 14.815 = 1.127이 된다.

결국, 약 12.7% 여유있게 선정되는 것이다.

6. 난방부하

(1) 전기보일러설계 기준에서 단위면적 당 난방부하를 270 kcal/h · 평으로 기준을 잡고 있는데, 그것에 관한 근거를 명확하게 알 필요가 있다.

(2) 정확한 난방부하를 잡기는 매우 어려운 일이다. 건물의 외벽, 지붕, 바닥, 창문 등의 보온상태와 집의 방향, 지역에 따라서 모두 다르기 때문이다.

(3) 그래서 그것에 관한 실험자료를 갖고 사용을 하게 되는데 주택의 단열상태별로 상급, 중급, 하급으로 구분을 하고 지역별로 구분이 되어있다.

(4) 전기보일러 기술기준에서 사용하는 난방부하 270 kcal/h · 평은 대구나 전주지역의 중급 단열조건을 잡은 것으로 보인다.

(5) 그러므로 전기보일러를 판매할 때 확실적으로 난방평수를 적용하는 것은 오류가 있을 수 있다.

(6) 참고로 가정용 기름이나 가스보일러 난방부하는 500 kcal/h · 평으로 잡고 있는데 이것은 중부지방의 중급과 하급의 중간상태를 기준으로 한 것이다.

(7) 결국, 기름이나 가스보일러보다 전기보일러가 여유를 적게 갖고 있기 때문에 선정에 세심한 주의가 필요하다.

상급: 근래에 건축한 건설한 아파트

중급: 건축법령의 단열기준에 따라 건축한 단독 주택

하급: 건축법령 단열기준에 미달하는 단독주택
 $270 \text{ kcal/h} \cdot \text{평} \approx 81.67 \text{ kcal/hm}^2$

〈 지역별 열손실 지수 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$) 〉			
	상 급	중 급	하 급
강 룡	60.3	79.3	188.0
서 울	68.9	90.9	216.3
인 천	64.5	84.9	201.7
울릉도	51.8	67.9	160.1
추풍령	62.4	82.1	194.8
포 향	55.9	73.4	172.7
대 구	61.8	81.5	193.6
전 주	62.1	81.9	194.4
울 산	55.7	73.1	172.1
광 주	57.8	76.0	180.1
부 산	51.5	67.5	159.3
목 포	53.5	70.3	166.1
여 수	51.6	67.7	159.6
제 주	44.1	57.8	136.2

7. 구조설계

- (1) 최고사용압력 $1 \text{ kg}/\text{m}^2$ 이하의 보일러
- (2) 압력을 받는 부분의 최소 두께 (단위: mm)

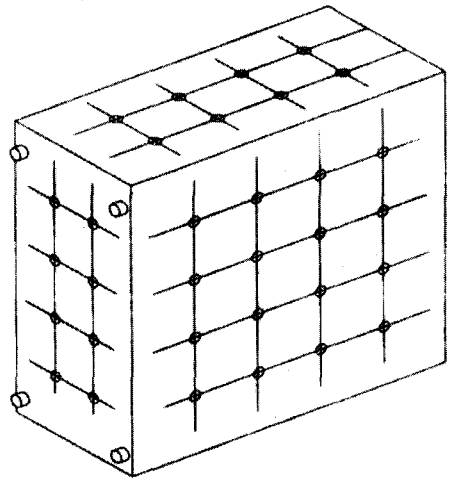
사 용 재 료	주요재질 기호	원통형	각형
KSD3503 및 3501	SS41, SHP 1	3.0	4.0
KSD3698 및 3705	STS304, STS3166	2.0	2.0

- (3) 최고사용압력에서 관체의 변형이 없도록 스테이를 부착해야 한다.

8. 강도설계

8.1. 계산방법

- (1) 관체에서 스테이가 지지하는 면적(A)이 가



〈그림 1〉 스테이로 지지하는 각형보일러의 개략도

장 큰 곳을 찾는다.

- (2) 스테이 단면이 받는 허용압력(P_{stay})을 산출한다.
- (3) 스테이 용접부가 받는 허용압력(P_{weld})을 산출한다.
- (4) 관체의 허용압력은 스테이 단면이 받는 허용압력(P_{stay})과 스테이 용접부가 받는 허용압력(P_{weld})중 최소값이며, $1 \text{ kg}/\text{m}^2$ 이상이어야 한다.

8.2. 시험에 의한 검증

- (1) 스테이가 지지하는 면적이 가장 넓은 곳을 포함하는 스테이 간격이 가장 큰 곳의 중앙부에서 관체의 압력을 상승시킬 때 변형량을 다이알 게이지를 이용하여 측정한다.

8.3. 적합성 판정

- (1) 시험에서 측정된 변형량의 값이 5 mm 이내에 있으면 적합한 것으로 판정할 수 있다.
- (2) 여기에서 5 mm 를 기준으로 잡은 것은 육안

으로 관찰했을 때 변형이라고 잘 느끼지 못하는 정도를 잡은 것이다.

8.4. 계산 예

(1) 스테이가 지지하는 가장 큰 곳의 면적 계산

$$A = 83,709 \text{ mm}^2 = 837 \text{ cm}^2$$

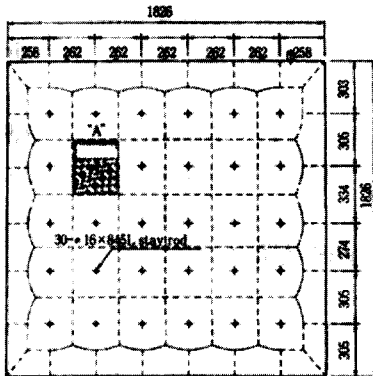
(2) 스테이 단면이 받는 허용압력(Pstay)

$$\begin{aligned} P_{\text{stay}} &= \frac{A \times \alpha_a}{1.1 \times (A - A_{\text{stay}}) \times 100} \\ &= \frac{2.01 \times 10.3 \times 100}{1.1 \times (837 - 2.01)} \\ &= 224 (\text{kg/cm}^2) \gg 1 \text{kg/cm}^2 \text{이므로 안전하다.} \end{aligned}$$

Astay: 스테이의 단면적 (cm²)

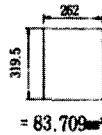
αa: 모재의 허용인장응력 (kg/mm²)

A: 스테이가 지지하는 면적 (cm²)



〈그림 2〉 스테이 배열 도면

Stay가 지지하는
최대면적



τw: 모재의 전단응력 (kg/mm²)

(허용인장응력의 80%)

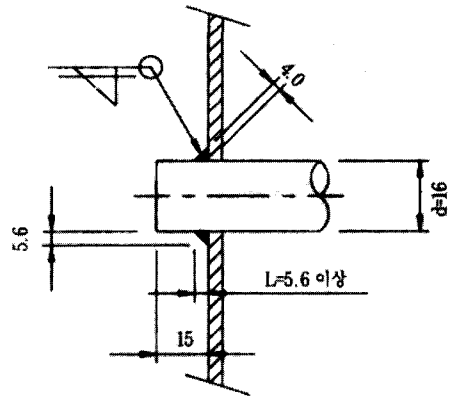
η: 용접효율 = 0.58

(필렛용접후 열처리 하지 않을 때)

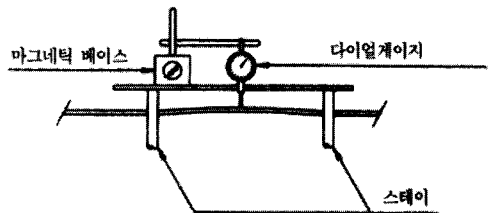
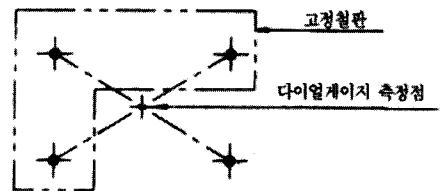
8.5. 시험에 의한 검증

(1) 시험방법

스테이 간격이 가장 넓은 부분을 선정하고 넓은 부분을 구성하는 스테이에 철판을 고정하고, 중앙



〈그림 3〉 스테이의 용접방법



〈그림 4〉 변형량 시험장치 개략도

(3) 스테이 용접면이 받는 허용압력(Pweld)

$$\begin{aligned} P_{\text{weld}} &= \frac{a_i \times \tau_w \times \eta}{A - A_{\text{stay}}} \\ &= \frac{236 \times 8.24 \times 0.58 \times 100}{837 - 2.01} \\ &= 1.35 (\text{kgf/cm}^2) \gg 1 (\text{kgf/cm}^2) \end{aligned}$$

이므로 안전하다.

ai: 용접 목두께 단면적 (mm²)

부에 다이알게이지를 설치한 후 관체에 수압을 가하면서 변형량을 측정한다.

(2) 다이알게이지 부착방법

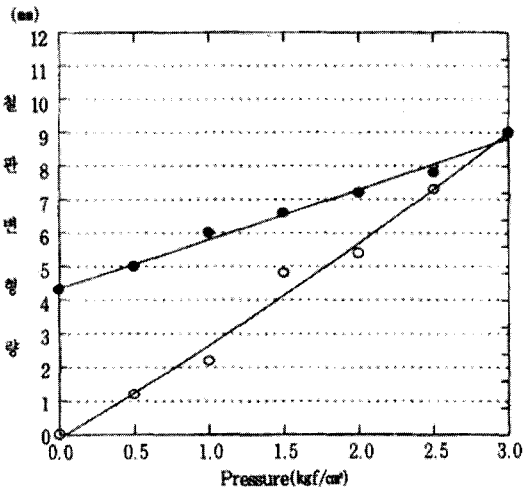
다이알게이지는 <그림 4>와 같이 측정지점의 변방향에 위치하도록 설치하고, 고정철판은 3개의 스테이에 3점 지지한다.

(3) 시험압력의 설정

- 0.5kg/cm²간격으로 3.0kg/cm²까지 증가시키면서 가압 변형량을 측정한다.
- 3kg/cm²에 도달한 후 0.5kg/cm² 간격으로 0kg/cm²까지 감소시키면서 감압 변형량을 측정한다.

(4) 시험결과

시험압력(kg/cm ²)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
가압변형량(mm)	0	1.2	2.2	4.8	5.4	7.3	9.0
감압변형량(mm)	4.3	5.0	6.0	6.6	7.2	7.8	9.0



(5) 적합성 판정

계산에 의한 강도도 만족하고 시험에 의한 변형량도 5mm이내에 있으므로, 강도설계는 적합하다고 본다.

9. 히타설계

9.1. 히타는 전기보일러에서 관체 다음으로 중요한 기능을 하는 부품이기 때문에 충분한 검토가 필요하다.

9.2. 구조 : 나사식 220V단상, 시즈히타로 한다.

9.3. Watt밀도(히타표면적당 열부하, W/cm²)

Watt밀도

$$= \frac{\text{히타의 소비전력(W)}}{\text{히타에서 발열되는 부분의 총표면적(cm²)}}$$

예) 히타의 소비전력: 10kW = 10,000W

히타의 표면적: 1,250cm²

$$W\text{밀도}(W/cm^2) = \frac{10,000(W)}{1,250(cm^2)} = 8.0$$

- Watt밀도는 작을수록 수명을 길어지나, 크기가 커지기 때문에 가격이 비싸진다.
- Watt밀도 설정기준은 발열선의 재질, 충전재의 종류 및 충전정도에 따라서 다르겠지만, 국내의 시즈히타는 9.0W/cm² 이하로 잡는 것이 적절하다고 본다.
- 외국은수기의 경우는 4.24W/cm²부터 15.23W/cm²로 다양한 제품들이 수입되고 있다.

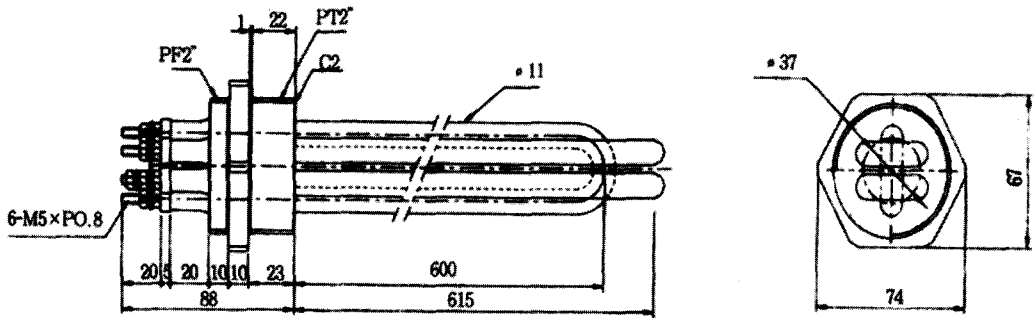
9.4. 시이즈 히터의 신뢰성

시이즈히터 가속 수명시험을 통하여 평균수명(MTBF) 및 고장률(入)을 구하며, 이를 토대로 수명향상을 위한 내구성에 대한 연구가 진행되어야 한다.

10. 팽창탱크 설계

10.1. 팽창탱크의 설치목적

- 보일러 운전중 온도상승에 따른 체적팽창으로 인하여 생성되는 팽창압력을 흡수



〈그림 5〉 수축열식 전기보일러용 사이즈 히터

· 부족한 보충수를 공급한다.

배관의 열팽창 등이 있다.

10.2. 관수량(Q=보일러+배관)

- 보일러내의 용적(l) (예)2,000 l
- 배관내에 있는 물의 양(l)
(예)XL Pipe 87㎡난방≒40 l

10.3. 개방형 팽창탱크 용량계산(2,000 l 예)

$$V = \left(\frac{1}{A_1} - \frac{1}{A_2} \right) \times Q \times \alpha$$

Q=관수량(2,040 l)

A₁=가열된 물의 밀도(kg/l):90°C

A₂=가열전 물의 밀도(kg/l):40°C

α=안전율(1.5)

$$V = \left(\frac{1}{0.96534} - \frac{1}{0.99224} \right) \times 2,040 \times 1.5$$

$$= 0.0359 \times 1,530 \times 1.5$$

$$\approx 86 l$$

10.4. 관수 팽창량 시험

- 시험을 통한 관수팽창량은 이론 관수팽창량보다 약 10~30% 작게 나타난다.
- 그 원인으로 관수의 성분 및 이물질, 관체 및

10.5. 팽창탱크 용량이 작을 경우 문제점

- 가열된 때는 물이 넘치고, 방열될 때는 새로운 물이 공급된다.
- 새로운 물은 용존산소 농도가 높기 때문에 철을 부식시키게 되어 수명이 급격히 단축된다.
- 새로운 물이 들어가지 않을 경우는 공기 접촉부에서 일부는 산소가 침투되겠지만, 많은 양이 아니기 때문에 철 보일러라도 충분한 수명이 유지된다.

● 열식 전기온수기

1. 범위

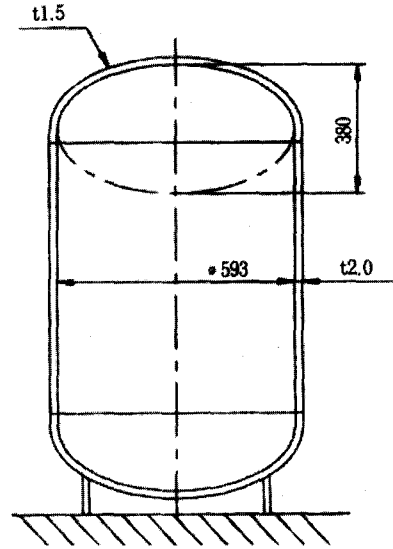
1.1. 심야전력을 이용하여 온수를 축열조에 저장시켰다가 사용하는 전기온수기를 설계함에 있어서 구조, 강도 및 안전 장치에 대해서 설명하고자 한다.

1.2. 제품의 범위

항 목	규 격
사용전원	심야전력
축열재	물
사용용도	급탕(온수)
사용압력	시험압력:3.0kg/cm ² , KS:1.0kg/cm ²
소비전력	50kW이하

2. 온수기 분류 및 용어의 정의

분 류	내 용	비 고
1 설치장소	실내용	
	실외용	
2 정격전압	단상, 교류 220V	KS:단상교류220V 또는 3상380/440V 점용가능
	25kW초과 - 50kW이하 중 특별한곳은 3상 380V이상	
3 정격소비전력	축열조 100 / 당 1kW	
4 저장식	보온이 되고 동시에 탱을 저장 할 수 있는 탱크를 가진 구조	
5 압상식	탱크하부로 급수하여 상부에서 배수하는 구조	원지식 입구측에 밸브조작
		선지식 출구측에 밸브조작
6 탱크용량	물을 저장할 수 있는 탱크의 용적	



〈그림 1〉 전기온수기 관체 개략도

P=최고사용압력(kg/cm²)

Di=동체의 내경(mm)

δa=재료의 허용인장응력(kg/mm²)

η=용접효율(%)

a=부식여유(mm)

3. 구조설계 예

- (1) 최고사용압력 7kg/cm² 이하의 원통형 온수기
- (2) 재질 : STS304L
- (3) 반타원형 경판으로 한다.
- (4) 스테이는 부착하지 않는다.

4. 강도설계

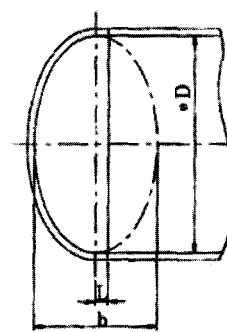
4.1. 동체 두께(t)

- (1) 안지름 기준

$$t = \frac{P \cdot Di}{200\delta a \eta - 2P(1-k)} + \alpha$$

4.2. 경판의 종류

- (1) 반타원형(보강할 구멍이 없고 중저면 가압)



$$t = \frac{P \cdot D \cdot V}{200\delta a \eta - 0.2P} + \alpha$$

P:최고사용압력(kgf/cm²)

D:반타원형의 장경(mm)

V:경판 형상계수

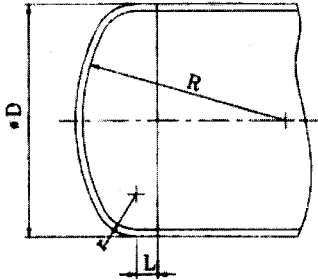
$$= \frac{1}{6} \left\{ 2 + \left(\frac{D}{2h} \right)^2 \right\}$$

h:단경의 $\frac{1}{2}$ (mm)

δa=재료의 허용인장응력(kgf/mm²)

η=용접이음매의 용접효율

(2) 접시형, 온반구형(보강할 구멍이 없고 중저면 가압)



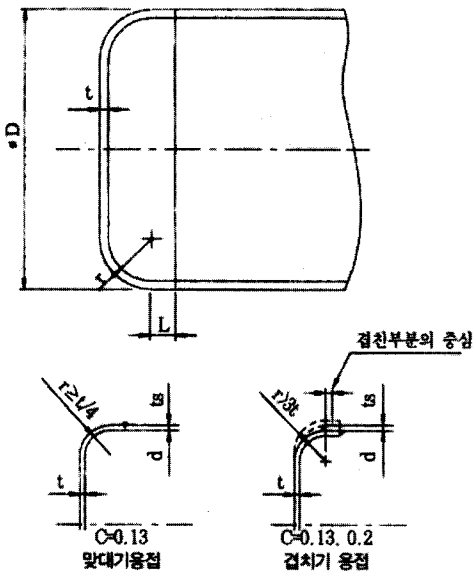
$$t = \frac{P R W}{200\delta_a \eta - 0.2P} + \alpha$$

P: 최고사용압력(kgf/cm²)
 R: 경판의 곡면반지름(mm)
 W: 경판 형상계수
 온반구형=1

$$\text{접시형} = \frac{1}{4} \left\{ 3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right\}$$

δ_a : 재료의 허용인장응력(kgf/mm²)
 η : 용접이음매의 용접효율

(3) 평경판



$$t = d \sqrt{\frac{ZCP}{100\delta_a}} + \alpha$$

d: 내경 또는 최소스팬(mm)

Z: 평판 형상계수로 원형평판은 1로 한다.

C: 맞대기 용접일 경우

d가 600mm 이하이고, 동체와 두께차이가 0.25t 이하, $r \geq \frac{1}{4}t$ 일때, 0.13으로 한다.

겹치기 용접일 경우

$$l = \left(1.1 - 0.8 \frac{ts^2}{t^2} \right) \sqrt{dt}$$

l 이 위값 미만일 때는 0.20

l 이 위값 이상일 때는 0.13으로 한다.

4.3. 계산 예

(1) 동체의 최소두께(안지름 기준)

$$t = \frac{P D_i}{200\delta_a \eta - 2P(1-k)} + \alpha$$

$$= \frac{7 \times 593}{200 \times 11.3 \times 0.9 - 2 \times 7(1-0.4)}$$

$$\approx 2.0(\text{mm})$$

∴ 동체두께는 2.0mm 이상으로 해야 한다.

∴ 최종설계는 동체두께: 2.0mm

(2) 반타원형 경판의 최소두께

$$t = \frac{P D V}{200\delta_a \eta - 0.2P} + \alpha$$

$$= \frac{7 \times 593 \times 0.74}{200 \times 11.3 \times 1.0 - 0.2 \times 7}$$

$$\approx 1.36(\text{mm})$$

∴ 경판의 두께는 1.36mm 이상으로 해야 한다.

∴ 최종설계 경판두께는 1.5mm

자료제공: (주)경동보일러
에너지기술연구소