

보온재의 경제적 시공두께 산출방법

대한설비공사협회 설비기술연구소
소장 김성찬

우리나라 산업표준인 보온·보랭공사의 시공표준 KSF 2803에 의하면 보온재의 경제적 시공두께란 「보온재 시공비의 연간 감가상각비와 연간 운전시간에 대한 손실열량의 가격 합계가 최소가 되는 두께」로 정의하고 있다. 본고는 보온재의 경제적 시공두께의 정의와 계산방법에 대하여 간략하게 설명한 내용으로, 계산식중의 합정은 보온시공비였는데 여러가지로 분석하여 본 결과 계수의 조정이 필요하다고 결론을 내리고 자료를 수집하여 조정한 것이다.

[1] 머리말

보온의 목적은 열을 수송하는 배관이나 열을 생산하는 각종 기기에 보온재를 취부하여 귀중한 에너지의 손실을 방지하기 위한 것이다.

에너지를 절약하는 방법은 간단히 두 가지로 생각할 수 있는데, 하나는 기기의 열효율을 높이는 것이고 둘째는 보온시공을 하여 열손실을 줄이는 것이다.

기기의 열효율을 높이는 것은 고도의 이론과 기술이 필요하나 적정한 단열두께를 선정하여 보온시공하는 것은 간단하다고 볼 수 있다.

에너지 부존자원이 없는 우리나라에서는 에너지 절약에 최선을 다 하여야 한다고 생각한다.

보온은 두껍게 하면 할수록 손실열량은 줄어드나 초기 시공비가 증가하고, 얇게 하면 할수

록 초기 시공비는 적어지나 손실열량이 증가하여 에너지를 낭비하게 되고 운영비를 증가시킨다.

우리나라 산업표준인 보온·보랭공사의 시공표준 KSF2803에 의하면 보온재의 경제적 시공두께란 「보온재 시공비의 연간 감가상각비와 연간 운전시간에 대한 손실열량의 가격 합계가 최소가 되는 두께」로 정의하고 있다.

보온재의 경제적 시공두께 산출방법을 KSF2803에 의거하여 설명하고자 한다.

[2] 보온재의 경제적 시공두께

앞에서 말한 바와 같이 보온재의 경제적 시공두께는 보온시공비의 연간 감가상각비와 연간 운전시간에 대한 손실열량의 합계가 최소가 되는 두께인데 이를 식으로 표시하면 다음과 같다.

1] 관의 경우

(1) 시공두께 : F_1 의 값이 최소치가 되도록 다음 식에 의하여 계산한다.

$$F_1 = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_0^2) a \cdot N + bhQ \quad \dots \quad ①$$

$$X = \frac{d_1 - d_0}{2} \quad \dots \dots \dots \quad ②$$

(2) 방산열량

$$Q = \frac{2\pi(\theta_0 - \theta_r)}{\frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{d_1}{d_0} + \frac{2}{\alpha d_1}} \quad \dots \dots \dots \quad ③$$

2] 평면의 경우

(1) 시공두께 : F_2 의 값이 최소가 되도록 다음 식에 의하여 계산한다.

$$F_2 = X \cdot \theta \cdot N + bhQ \quad \dots \dots \dots \quad ④$$

(2) 방산열량

$$Q = \frac{\theta_0 - \theta_r}{\frac{X}{\lambda} + \frac{1}{\alpha}} \quad \dots \dots \dots \quad ⑤$$

연간 감가상각률

$$N = \frac{i(1+i)^m}{(1+i)^m - 1} \quad \dots \dots \dots \quad ⑥$$

여기에서

F_1 : 관의 경우 보온에 대한 연간 총 비용(원/㎡)

F_2 : 평면의 경우 보온에 의한 연간 총 비용(원/㎡)

a: 보온재 1㎡당 시공가격(원/㎡)

b: 열량가격(원·h){원/0.86Kcal}

d_1 : 보온재의 바깥지름(m)

d_0 : 보온재의 안 지름(관의 바깥지름을 기준으로 한다)(m)

h: 연간사용시간(hr)

X: 보온재의 두께(m)

Q: 방산열량(관의 경우)(w/m) {Kcal/m·h}
(평면의 경우)(w/㎡·k) {Kcal/㎡·h}

N: 상각률

i: 연이율

m: 사용연수(감가 상각연수)(년)

λ : 보온재의 열 전도율(w/m·k){Kcal/m·h·℃}

α : 표면의 열 전달률(w/㎡·k){Kcal/㎡·h·℃}

θ_0 : 내부온도(℃)

θ_r : 외기온도(℃)

θ_s : 보온재의 표면온도(℃)

l_n : 자연대수

[3] 경제적 시공두께 산출계산에서 주의 할 사항

설비공사의 주된 공사가 배관공사이므로 배관에 대한 공식을 위주로 설명하고자 한다.

$$F_1 = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_0^2) a \cdot N + bhQ \quad \dots \quad ①$$

여기에서 ①항은 배관길이 1m당 보온시공비의 1년간 감가상각비이고, ②항은 1년간 운전시간에 대한 손실열량의 가격을 표시한 것이다.

①항의 $\frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_0^2)$ 은 배관길이 1m당 소요되는 보온재부피이고, a는 보온재 1㎡의 시공노무비와 보온재 1㎡가격을 합한 시공비이며 N은 연간 감가상각률이다.

②항의 b는 손실열량 1w·h당 열량가격이며 h는 연간 운전시간, Q는 시간당 방산열량(손실열량)이다.

1] 보온시공비

식으로 표시하면 다음과 같다.

a = 1m³당 보온시공비 = 제 잡비율 × (1m³당 보온 시공노무비 + 1m³당 보온재료비)로 표시된다.

2] 제 잡비율

제 잡비율은 재경경제원 회계예규 「원가계산에 의한 예정가격작성준칙」의 제3장 공사원가계산에서 경비, 일반관리비, 이윤 및 부가가치세를 포함한 비율이다.

보온재 1m³당 시공비를 수식으로 표시하면

$$a = 1.35 \times \frac{1,000}{X_0^k} \times 33,000 + 150,000 \dots\dots ⑦$$

여기에서

1.35 : 제 잡비율로서 전문건설공사중 기계설비공사(5억 이상 30억 미만 공사)를 기준으로 산출한 값

$\frac{1000}{X_0^k}$: 보온재 1m³당 시공에 소요되는 공수

X₀ : 보온통의 두께(mm)

33,000 : 보온공의 일당 노무비(원)

15,000 : 압면이나 유리면 보온재의 1m³당 재료비(원)

* 참조 : 규산칼슘 보온통 및 발수성 펄라이트 보온통 가격은 대략 260,000원/m³임

⑦식을 다시 쓰면

$$a = 1.35 \frac{33,000}{X_0^k} + 150 \times 10^3 \dots\dots ⑧$$

$$= 1.35 (33,000 \times X_0^{-k} + 150) \times 10^3$$

K는 정수로서 관 바깥지름에 따라 다음 값을 사용한다.

15A~20A	K = 1.09
25A~50A	K = 1.13
65A~150A	K = 1.17
200A~300A	K = 1.21
350A~평면	K = 1.28

[그림 1]은 경제적 보온두께를 구하기 위한 보온재의 두께와 시공가격의 관계를 나타낸 것이다.

⑧식은 노무비, 재료비가 변경되거나 공사비의 구성요소와 제 잡비율이 변경되면 재조정하여야 한다는 점에 유의하여야 한다.

1995년 8월 7일 개정된 KSF2803은 ⑧식을 적용하여 산출된 값이면 1994년 개정작업 당시의 보온공 노임이 33,000원이었음을 일러 둔다.

참고로 개정전의 보온시공비 공식은

$$a = 1.2(12,000 X_0^{-k} + 100) \times 10^3$$

이었으며

$$a = 5.2(13,400 X_0^{-k} + 100) \times 10^4$$

식을 사용한 예도 본적이 있으나 외국에서 사용하는 공식을 그대로 적용하는 것은 매우 위험한 일이며, 특히 주의해야 할 점이다.

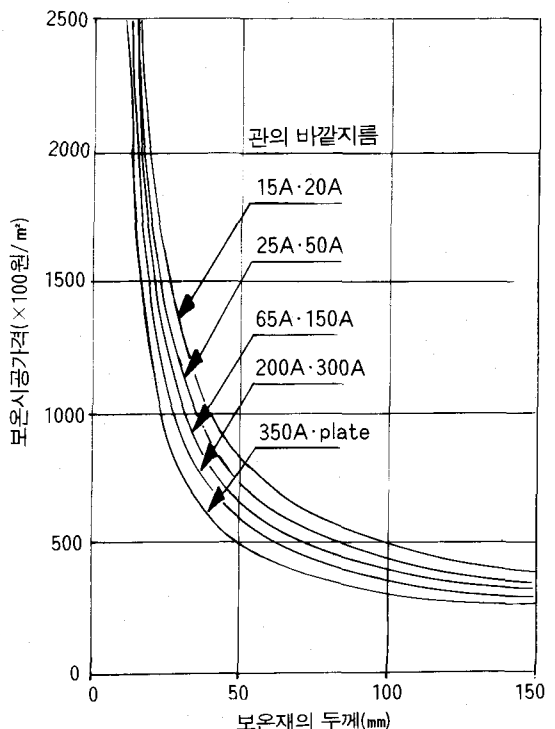
3]상각률의 산출

한국은행 월별 통계자료에서 일반 건물이나 공장 건축을 위한 연이를 적용에 있어서 일반은행의 투자기금대출중「일반」을 적용하면 연이율 9.0%이고 사용년수 10년을 대입하면

$$N = \frac{i(1+i)^m}{(1+i)^m - 1} = \frac{0.09(1+0.09)^{10}}{(1+0.09)^{10} - 1} = 0.1558$$

가 된다.

[그림1] 경제적두께를 구하기 위한 보온재의 두께와 시공가격의 관계



4] 손실열량 가격

(1) 온열의 경우

실제 사용하는 연료의 가격과 보일러 효율을 고려한 가격을 산출한다. 열량단위가 Kcal 이면 0.86을 곱한다.

$$\text{열량가격} = \frac{\text{단위중량 또는 부피당 연료가격}}{\text{단위중량 또는 부피당 열량}} \times \frac{1}{\text{보일러 효율}} \times 0.86(\text{원}/\text{w}\cdot\text{h})$$

[예] 증유

가격 : 136.07원/ℓ

발열량 : 9,700 Kcal/ℓ

보일러 효율 : 85%

$$\text{열량가격} = \frac{136.07}{9,700} \times \frac{1}{0.85} \times 0.86 = 0.0142 \text{ 원}/\text{w}\cdot\text{h}$$

(2) 냉열의 경우

전력을 사용하면 kW당 평균전력요금에 냉동기의 모터효율과 냉동기의 C.O.P를 고려하여 열량가격을 산출한다.

$$\text{냉열량가격} = \frac{\text{kW당 전력요금}}{\text{모터효율}} \times \frac{1}{\text{C.O.P}} \times \frac{1}{1,000} \quad (\text{원}/\text{w}\cdot\text{h})$$

[예] 전력

전력요금 : 100원/1kWH (가정)

모터효율 : 90%

C.O.P : 3.5

$$\text{냉열량가격} = 100 \times \frac{1}{0.9} \times \frac{1}{3.5} \times \frac{1}{1,000} = 0.0317 \text{ 원}/\text{w}\cdot\text{h}$$

5] 사용시간(h)

1년중 실제 가동시간을 계산하여 적용하는 것이 타당하나 일반적으로 1년 365일중 일요일, 국경일 및 공휴일을 제외하면 대략 작업일수는 300일이 된다.

1일 가동시간이 10시간이면

300일/년 × 10시간/일 = 3,000시간/년

1일 가동시간이 24시간이면

300일/년 × 24시간/일 = 7,200시간/년

아파트와 같이 겨울철 난방만 하는 경우는 실제 운전시간을 계산하여 적용하는 것이 적정하다.

6] 방산열량(Q)

방산열량은 ③ 식으로 계산한다.

[4] KSF2803에서 경제적인 시공두께 산정을 위한 조건 설정

이해를 돕기 위하여 KS규격 제정에 적용한 조건을 소개한다.

1] 암면, 유리면, 규산칼슘, 발수성 펠라이트 보온재로 보온두께 및 방산열량 계산을 위한 조건 설정

외기온도(실내온도) : 20℃

표면의 열전달률 : 12w/m²·k {10.32kcal/m²·h·℃}

연이율 : 0.09

사용년수 : 10년

1m³당 보온재 시공비 : a=1.35(33,000X₀^{-k}+C)×10³

여기에서

C : 150(암면, 유리면)

C : 260(규산칼슘, 발수성펠라이트)

열량가격 : 0.011원/w·h(산업설비용)

0.021원/w·h(건축설비용)

0.031원/w·h(건축설비용 냉열)

- 열생산에 소요된 석탄류, 석유류, 가스류 소비량의 가중평균치임)

연간 사용시간 : 3000시간

7200시간

*비고 : 표에 표시된 방산열량은 공식에 의하여 산출된 이론치이며 방습재 및 외장재는 고려하지 않았음.

2] 보랭공사에 사용하는 보랭재의 두께 및 방산열량 계산을 위한 조건 설정

보랭공사에 사용하는 보랭재의 두께는 표면에 결로가 생기지 않는 조건으로 선출하였다.

외기온도(실내온도) : 30℃

상대습도 : 85%

표면의 열전달률 : $8/m^2 \cdot k$ ($6.88kcal/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$)

※비고 : 보랭 시공후의 표면온도는 표면에 결로가 생기지 않는 온도로 하기 위하여 상기 조건으로 구한 노점온도에 +0.3℃를 가산하여 계산했다.

3] 건축물의 공기조화설비 및 급배수 위생설비에 사용하는 보온재, 보랭재 및 방로재의 시공두께 및 방산열량 계산을 위한 조건 설정

증기 및 응축수 배관, 냉온수 배관, 덕트, 냉수관 및 수배관에 대하여 온도별, 보온재 종류별로 경제적 시공두께를 산출하기 위한 조건 설정은 다음과 같다.

내부온도 : 공조급기덕트 15℃

공조환기덕트 26℃

1차 냉수관 5℃

2차 냉수관 10℃

일반 물배관 15℃

외기온도 : 옥내공조부분 26℃

옥내비공조부분 30℃

옥외부분 35℃

상대습도 : 옥내공조부분 60%

옥내비공조부분 및 옥외부분

85%, 90%

표면의 열전달률 : $8/m^2 \cdot k$ ($6.88kcal/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$)

※비고 : 위와 현저히 다른 조건으로 시공하는 경우는 별도의 계산이 필요하다.

[표]는 KSF2803의 개정 전후를 항목별로 비교한 것이다.

	KS 개정 후	KS 개정 전
보온 시공비의 제작비율	1.35	1.2
연 이 율	9%	7%
연간상각률	$N = 0.1558$	$N = 0.1428$
사 용 시 간	3,000시간, 7,200시간, 1,500시간	3,000시간, 7,300시간
열 량 가 격	산업용 $\text{₩ } 11.0/1,000w \cdot h$ 건물 난방용 $\text{₩ } 21.0/1,000w \cdot h$ 건물 냉방용(전력) $\text{₩ } 31.0/1,000w \cdot h$	$w 100,000w \cdot h$ (단일 가격적용)
보 온 재 가 격	암면, 유리면 $\text{₩ } 150,000/m^2$ 규산칼슘, 발수성 필라이트 $\text{₩ } 260,000/m^2$	$w 100,000/m^2$ (단일 가격 적용)
보 온 공 노 무 비	$\text{₩ } 33,000/\text{일} \cdot \text{인}$	$w 12,000/\text{일} \cdot \text{인}$
보 온 시 공 비	암면, 유리면 $1.35(33,000X_0^{-k} + 150) \times 10^3$ 규산칼슘, 발수성 필라이트 $1.35(33,000X_0^{-k} + 260) \times 10^3$	$1.2(12,000X_0^{-k} + 100) \times 10^3$ (단일 공식 적용)
보 온 두 께 [참 고 1]	보온재 가격, 열량 가격의 차이로 관의 호칭 지름이 크면 클수록, 외기온도와 관내 온도차가 크면 클수록 두꺼워짐	
보 랑 두 께 [참 고 2]	노점온도 +0.3℃의 계산값과, 연간 3,000시간 운전 시 경제적 보랭두께를 산출하여 큰 값을 적용함	노점온도 +0.3℃로만 계산 경제적 보랭두께 고려하지 않음
건물의 공기조화 설비 [참 고 3]	○참고3, 표1, 증기배관의 보온두께(신설) 난방운전, 1500시간으로 경제적 보온두께 산출 ○참고3, 표2, 냉온수배관 보온두께(신설) 난방운전 1500시간, 냉방운전 1500시간의 손실	없음 없음
냉수관 보랭두께 [참 고 4] 수배관 보랭두께 [참 고 5]	노점온도 +0.3℃로 계산한 값과 냉동운전 1500시간의 경제적 보랭두께 산출값중 큰값을 적용	노점온도 +0.3℃로 계산