



# 기계설비배관 및 장비단열기준 개발

## 1. 연구의 배경 및 필요성

최근 건축의 단열기준은 2025년 시행 예정인 신축 주택 제로에너지하우스 의무화에 따라 꾸준히 강화되고 있고, 이와 관련한 재료 및 디테일 개발이 지속적으로 이루어지고 있다. 이에 반하여 기계설비 단열기준은 2002년 이후 개정이 이루어지고 있지 않으며, 2011년 고무발포 단열재가 추가된 것이 전부이다. 건축분야에서는 꾸준한 단열 개선이 이루어지고 있는데 기계설비분야에서 기준 개정이 이루어지지 않는다면, 향후 건물에서의 에너지 손실량 비중이 기계설비분야에서 더 커질 우려가 있다.

따라서 본 연구는 대한기계설비산업연구원의 기본 사업 목적에 따라, 기계설비 기술기준에 대한 첫 번째 고찰로서 현재의 배관 단열 기준 점검과 개정의 필요성을 검토하였다.

## 2. 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 국내의 기계설비 관련 단열 기준 및 연구 동향 조사를 통하여, 단열 기준의 상향 개정의 필요성이 있음을 확인하였고, 기존의 원통 전열이론과 대류 및 복사 열전달을 고려한 배관단열설계 Tool [그림 1]을 제작하였다.

〈표 1〉 국내 건축기계설비공사표준시방서

조건		관수온도61~90℃, 주위온도20℃, 표면온도≤40℃															
관지름(A)		15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	≥300	
단열두께 (mm)	1996 개정	25					40										
	2002 개정	25					40					50					
	2005 개정	25					40					50					
	2011 개정	25					40(32)					50(40)					

〈표 2〉 미국 ASHRAE 90.1

유체온도 범위(℃)	단열재 열전도율		일반 파이프 또는 튜브 크기(mm)											
	열전도율 (W/m℃)	평균온도 (℃)	≤25		25to<40		40to<100		100to<200		≥200			
			단열두께(mm)											
			2007	2013	2007	2013	2007	2013	2007	2013	2007	2013	2007	2013
>177℃	0.046~0.049	121	64	115	76	125	76	125	102	125	102	125		
122~177℃	0.042~0.046	93	38	80	64	100	76	115	76	115	76	115		
94~121℃	0.039~0.043	66	38	65	38	65	51	80	51	80	51	80		
61~93℃	0.036~0.042	52	25	40	25	40	25	50	38	50	38	50		
41~60℃	0.032~0.040	38	13	25	13	25	25	40	25	40	25	40		

〈표 3〉 영국 BS 5422

단열두께가 적용된 스틸파이프 외경(mm)		21.3	26.9	33.7	42.4	48.3	60.3	76.1	88.9	114.3	139.7	168.3
t=75℃ λ=0.04 ε=0.05	단열두께 (mm)	35	38	40	42	44	46	48	49	51	52	53
	최대 열손실량 (W/m)	9.28	10.06	11.07	12.3	12.94	14.45	16.35	17.91	20.77	23.71	26.89
t=125℃ (121~150℃) λ=0.04 ε=0.05	단열두께 (mm)	29	37	46	59	61	66	71	74	79	83	86
	최대 열손실량 (W/m)	18.32	18.7	19.02	19.25	20.17	21.96	24.21	25.99	29.32	32.47	36.04

INPUT				RESULT			
$T_f$ 배관 내부 온도	50	℃	①	$T_s$ 단열체 표면 온도	9.33	℃	④
$T_{amb}$ 주변 온도	5	℃		$DP_f$ 공간 노점 온도	2.69	℃	
$R_{s,rel}$ 상대 습도	85	% (5% 단위로 증가)		$DP_{max}$ 결로판정			미발생
$v$ 주변 기류 속도	0.2	m/s	②	$q_{loss}$ 단위길이당 배관 열손실	8.03	W/m	
$Thick_{ins}$ 단열체 두께	63	mm		$r_o$ 외경단열두께	24.60	mm	
$AW(SA)$ 배관 외경	32A	mm		$q_{in}$ 열전달률(단열체 열저장)	15.1	W/m <sup>2</sup>	③
$k$ 단열체 열전도도	양형재2	W/mK		$q_{out}$ 열전달률(배사/대류 열저장)	15.1	W/m <sup>2</sup>	
$C$ 열용량방정계수	양형 열 흐름	-		$q_{net}$ 열전달률(총 열저장)	15.1	W/m <sup>2</sup>	
$r_p$ 배관 외경	42.7	mm		$h = h_{conv} + h_{rad}$ 대류/복사열전달률	3.50	W/m <sup>2</sup> ·K	
$r_i$ 단열체 내경	43	mm			3.50	W/m <sup>2</sup> ·K	
$r_o = r_s$ 단열체 외경(단열체가 1단인 경우)	169	mm		$h_{conv}$ 대류열전달률	3.31	W/m <sup>2</sup> ·K	
$T_{avg}$ 표면온도 기준 평균 절대온도	504.6	K		$h_{rad}$ 복사열전달률	0.19	W/m <sup>2</sup> ·K	
$\Delta T$ 온도차( $T_s - T_{amb}$ )	4.33	K		$R_1$ 단열체 열저장	2.69	m <sup>2</sup> ·K/W	
$\epsilon$ 유료복사계수	0.03	-		$R_2$ 대류/복사 열저장	0.29	m <sup>2</sup> ·K/W	
$SP$ Stefan-Boltzman 상수	1.713E-09	Btu/hr·ft <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup>		$R_3$ 총 열저장	2.98	m <sup>2</sup> ·K/W	

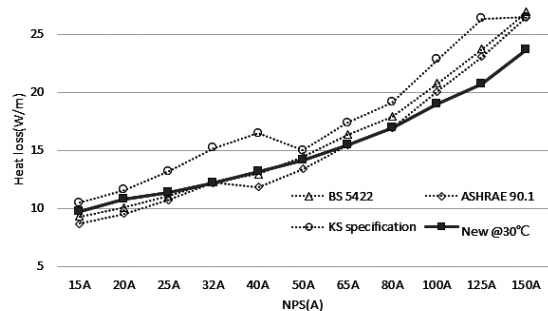
[그림 1] 배관단열설계 Tool

### 3. 연구결과

본 연구에서 제작한 Tool을 이용하여 급탕관, 온수관, 증기관 및 일부 냉수관에 한정하여, 다음과 같은 연구결과를 도출하였다.

① 배관 단열 기준 개정 방안 : 급탕관, 온수관, 증기관에 대하여 현행 화상방지를 고려하여 표면온도 40℃로 되어 있는 단열 기준을, 열손실 방지 목적을 추가하여 표면온도 30℃로 변경할 경우, 영국의 BS 5422과 미국의 ASHRAE 기준과 비교하여 관지름

50A 이하에서는 비슷하거나 약간 낮은 기준이 되고, 그 이상 150A 까지는 열손실이 더 적은 기준 제시가 가능하다.



[그림 2] 표면온도 30℃ 기준에서 국외 기준과의 방출열량 비교

② 성능에 기반한 단열 설계방법 제시 : 본 연구에서 제작한 배관단열 설계 Tool을 이용하여 냉난방을 동시에 사용하는 지열 배관에 대하여 성능 설계 방법을 소개함. 건축기계설비공사표준시방서에서 제시된 주변온도 20℃, 상대습도 75%가 아닌 건물 조건이 여름철 상대습도 85%, 겨울철 주변온도 5℃로 가정할 경우, 냉방 및 난방 조건에서 기존 40 mm의 단열은 63 mm로 강화하여 설계할 필요가 있다.



〈표 3〉 냉방시를 고려한 단열두께 계산

조건	상대습도 (%)	단열두께 (mm)	표면온도 (°C)	노점온도 (°C)	결로판정	손실열량 (W/m)
관수온도=5 °C 주위온도=30 °C 기류속도=0.2 m/s NPS(A)=32A 복사계수=0.03 수평흐름	75	40	25.9	25.13	미발생	-5.37
	80			26.21	결로발생	
	85			27.23		
	80	44	26.23	26.21	미발생	-5.15
	85	62	27.24	27.23		-4.43

〈표 5〉 난방시를 고려한 단열두께 계산

조건	주위온도 (°C)	표면온도 (°C)	손실열량 (W/m)	비고
관수온도=50 °C 기류속도=0.2 m/s NPS(A)=32A 단열두께=25 mm 수평흐름	20	27.02	8.05	표준시방서에 따른 계산 결과
	5	14.82	12.32	주위온도가 낮아지면 손실열량이 53% 증가
	5	9.33	8.03	손실열량을 동일하게 하기 위한 단열 두께는 63 mm

#### 4. 결론

본 연구에서는 기계설비 단열분야의 첫 번째 연구로 국내외 관련 기준 및 연구 동향 및 단열 두께 계산을 위한 원통 전열 이론을 고찰하여 단열 기준 개정의 필요성과 방법을 제안하였다. 또한 설계 Tool 제작을 통하여 배관 설계 또는 시공자가 배관을 통한 에너지 절감 목표를 설정하여 쉽고 간편하게 성능에

기반한 단열 설계를 할 수 있는 방법을 제안하였다.

향후 추가 연구를 통하여 단열재 재질 및 종류에 따라 달라지는 표면방사율, 열전도율 등을 고려한 보다 정교한 두께 기준이 마련되어야 할 것이며, 냉방 배관 등 다양한 경우에 대한 기준에 대한 추가적인 개정안 개발이 필요하다. 🌀



류형규 대한기계설비산업연구원 ryuhk1972@krimfi.re.kr  
 윤희원 대한기계설비산업연구원 yhiwon@krimfi.re.kr  
 최승혁 대한기계설비산업연구원 sh.choi@krimfi.re.kr