

온수배관의 설치 위치에 따른 단열재 표면온도 및 에너지 손실량 비교

Comparison of Insulation Surface Temperature and Energy Loss Based on the Location of a Hot-Water Pipe

김성은(Seong Eun Kim)¹, 송용우(Yong Woo Song)¹, 박진철(Jin Chul Park)^{2*}

¹중앙대학교 건축공학과 박사과정, ²중앙대학교 건축학부 교수

¹Ph.D. Course, Graduate School, Department of Architectural Engineering, Chung-Ang University, Seoul, 06974, Korea

²Professor, School of Architecture and Building Science, Chung-Ang University, Seoul, 06974, Korea

(Received October 19, 2020; revision received October 29, 2020; Accepted: November 2, 2020)

Abstract In this study, we compared standards for improving the performance of pipes based on their location to better the energy efficiency of buildings. We performed a simulated comparative analysis by measuring the temperature of each installed pipe and applying the insulation-thickness standard used at home and abroad. The pipe shaft located indoors maintained an almost constant temperature, but the pipe installed in an underground parking space was greatly affected by the outside temperature. In winter, the average temperatures of the inside pipe shaft and the one on the first-basement floor were 25.5°C and 3.3°C, respectively. The simulation analysis for each insulation-thickness criterion showed that the heat loss decreased by 1.7~2.2% when the overseas standard was applied. The analysis of the two installation locations showed that the average heat loss of the pipe installed in the underground parking space was 36.7% greater than that of the pipe that was installed indoors.

Key words Hot water pipe location(온수배관 설치 위치), Energy loss(에너지 손실), Insulation surface temperature(단열재 표면온도), Simulation(시뮬레이션)

* Corresponding author, E-mail: jincpark@cau.ac.kr

기호설명

Q	: 단위길이 당 열손실량 [W/m]	r ₂	: 보온재 포함 반지름 [m]
T _i	: 온수 공급온도 [°C]	h ₁	: 물 열전도율, 0.6 [W/mK]
T _o	: 외기 온도 [°C]	h ₂	: 공기 열전도율, 0.025 [W/mK]
r ₁	: 배관 반지름 [m]	k	: 보온재의 열전도율 [W/mK]

1. 연구배경 및 목적

1.1 연구 배경 및 목적

제로에너지 건축 의무화 정책에 따라 2020년 1천 m² 이상 공공건축물을 시작으로 2030년에는 모든 건축물로 인증대상 범위가 확대될 예정이다.⁽¹⁾ 이에 따라 모든 건축물은 건축물에너지효율등급 1++ 수준 이상을 만족해야 하므로, 연간 단위면적당 1차에너지 소요량은 주거용 건물일 경우 60~90 kWh/m²·년 미만, 주거용 이외의

건물일 경우 80~140 kWh/m²·년 미만이어야 한다.⁽²⁾ 이는 독일의 패시브하우스 인증제도의 1차에너지 요구량인 120 kWh/m²·년⁽³⁾보다 30~100% 강화된 수치이다. 따라서 건축물의 제로에너지화를 위해서는 이미 법규적으로 강화되어 적용 중인 외피 및 창호의 단열 등 패시브 기술 외에도 추가적인 에너지 절감을 위해 기계설비 및 배관 등 에너지 사용 효율 향상 측면에서 접근할 필요가 있다.

Anti Hamburg et al.⁽⁴⁾의 연구에 따르면 비난방공간일 경우 배관의 단열 유무에 따라 에너지 손실을 22%에서 9%까지 줄일 수 있고, 배관 단열 향상으로 인한 에너지 절감비율은 에너지절약 주택일수록 높아진다고 한다. 미국의 경우 이미 건물에너지 사용을 30% 줄이기 위한 방안으로 ASHRAE Standard 90.1 배관 단열 두께 기준을 2007년, 2013년에 지속적으로 개정해왔다.⁽⁵⁾ 그러나 국내 관련 기준은 지난 18년 동안 2002년 개정된 ‘건축기계설비공사 표준시방서’의 단열 두께를 유지하고 있어, 최소 ASHRAE 기준 두께 이상으로 향상시킬 필요가 있다. 또한 건물 외부에 설치된 온수배관은 외부 환경으로부터의 영향에 따라 실내에 설치된 배관의 단열 두께와 달리 적용할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 국내외 배관 단열 기준 향상을 위한 기초자료를 제공하기 위해 겨울철 외부에 노출된 온수배관 주변의 온도 변화 및 실내 파이프 샤프트 공간의 온도변화를 측정하고, 시뮬레이션을 실시하여 국내·외 기준에 따른 배관 단열 두께별 에너지 손실량을 비교하였다.

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구는 배관의 단열성능 향상 기준을 제안하기 위한 사전 연구로서, 배관의 설치 위치별 주변 공기 온도 측정 및 국내·외 단열 두께 기준에 따른 시뮬레이션 분석을 실시하였다.

배관 설치 위치에 따라 달라지는 공간의 주변 온도는 단열 두께에 영향을 미칠 수 있다. 단열재의 두께를 결정하는 중요한 요소인 열손실량이 외피 내부와 외부의 온도차가 클수록 커지기 때문이다. 그러나 국내 배관 단열 두께 기준은 배관의 설치 위치와 상관없이 동일한 기준을 적용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 외부 온도와의 온도차가 큰 겨울철, 온수배관 설치 공간별 공기 온도를 측정하였으며, 측정결과를 활용하여 국·내외 배관 단열 기준 두께별로 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 또한 온도 비교를 통해 설치 위치별, 기준별 배관의 에너지 손실량을 비교하였다.

2. 온수배관 설치 위치에 따른 온도 측정

2.1 측정 개요

측정 대상은 지하 3층, 지상 15층 규모의 다중이용시설 건물로 겨울철 온도를 측정하였다. 측정기간은 2020년 2월 1일부터 2월 29일까지 한 달간이며, 온습도 데이터로거(Testo 174H)를 이용하여 1시간 간격으로 측정하였다. 측정 위치는 Table 1과 같이 외기온도, 지하 1층, 지상 14층 파이프 샤프트의 내부 공간 온도, 지하 주차장 1~3층 공기 온도를 측정하였다.

Table 1 Measurement overview

Building type	Multi-use facility	Measurement Point		
Building location	Dongjak-gu, Seoul			
Floors	B3F~14F	Outdoor Air	Pipe shaft(B1F,14F)	Parking space (B1F~B3F)
Measurement	Equipment	Data logger (Testo 174H)		
	Period	2020. 2. 1.~ 2020. 2. 29.		
	Interval	1 hour		

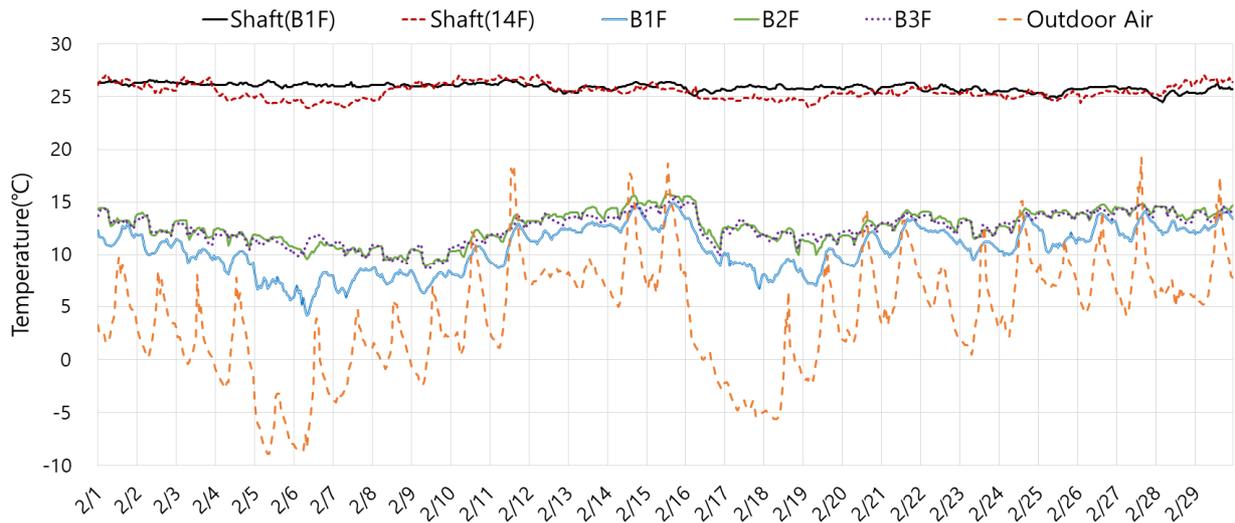


Fig. 1 Ambient temperature of pipe in winter(2020. 2. 1.~2020. 2. 29.)

Table 2 Result of ambient temperature of pipe

Location	Outdoor	Pipe shaft		Parking space		
		B1F	14F	B1F	B2F	B3F
Minimum temperature	-8.9°C	23.9°C	25.8°C	-2.2°C	6.3°C	8.3°C
Average temperature	-3.2°C	24.7°C	26.2°C	3.3°C	9.5°C	10.0°C

2.2 측정 결과

다중이용시설의 주차장 및 실내 파이프 샤프트 내부 온도를 측정한 결과는 Fig. 1, Table 2와 같다.

파이프 샤프트 내부의 공간 온도는 평균 25.5°C로 거의 일정한 온도를 유지하고 있었다. 최저 온도는 Table 1과 같이 23.9°C이하로 떨어지지 않았으며, 평균온도는 지하 1층(Shaft(B1F)) 24.7°C, 14층(Shaft(14F)) 26.2°C로 상부가 1.5°C 높게 나타나고 있었다.

반면, 지하 주차장의 경우 외부(Outdoor Air)의 기온변화에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다. 2월 한달 간 평균 외기온도가 -3.2°C, 최저기온은 -8.9°C일 때, 지하 1층 주차장(B1F)은 최저 -2.2°C, 평균 3.3°C, 지하 2층(B2F)은 최저 6.3°C, 평균 9.5°C, 지하 3층(B3F)은 최저 8.3°C, 평균 10.0°C로 나타났다. 외부 평균기온과의 온도 차이는 지하 1층 6.5°C, 지하 2층 12.7°C, 지하 3층 13.2°C로 외기와 직접 면하는 지하 1층이 외부기온에 가장 영향이 컸다. 지하 2층 이하는 아래로 내려갈수록 1층에 비해 그 영향이 절반 수준으로 줄어들었다.

지하주차장의 평균온도는 ‘건축기계설비공사 표준시방서’의 보온두께 기준에 제시된 주변온도 20°C보다 6.8°C ~ 16.7°C 낮게 나타났다. 열손실량은 온수온도와 주변온도차가 클수록 커진다. 그렇기 때문에 기준에 제시된 단열 두께로 설치할 경우 열손실량은 계획된 것보다 커질 것이다. 따라서 외부에 설치되는 배관의 경우 외부 온도에 따라 단열 두께 기준 상향을 고려할 필요가 있다.

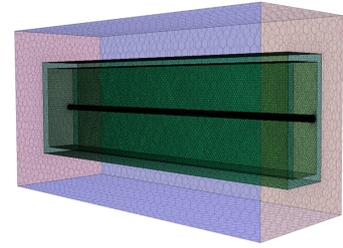
3. 시뮬레이션 개요 및 결과

3.1 시뮬레이션 개요

본 연구에서는 온수배관의 설치 위치에 따른 단열 두께 검토를 위해 전산유체해석 프로그램(Star-CCM+ 2019.2)을 이용하여 단열재 표면 온도 및 관내 수온을 비교하였다.

Table 3 Simulation input data

Item	Input data	
Pipe	Length	10m
	Size	100A(internal diameter 100mm)
Hot water	Temperature	80℃
	velocity	2m/s (KDS 31 25 25 : 2016)
Wall of pipe shaft	0.34 W/m ² K	
Turbulent model	Realizable k-ε turbulence model	
Number of mesh	4,310,606	



Modeling Image

Table 4 Simulation case

Location	Ambient Temperature	Heat conductivity of applied materials		Insulation thickness
Pipe shaft	25.5℃	KCS	Mineral wool(0.036 W/m · K)	40 mm
		ASHRAE	0.036 W/m · K	50 mm
Parking space (in basement)	3.3℃	KCS	Mineral wool(0.036 W/m · K)	40 mm
		ASHRAE	0.036 W/m · K	50 mm

관경 100 A, 배관 길이 10 m의 온수배관을 기준으로 하였으며, 시뮬레이션 입력 조건은 Table 1과 같다. 단열 두께는 열전도율이 0.036 W/m · K인 재료를 사용할 경우 국내 표준시방서 기준(KCS31 20 05 : 2018)인 40 mm와 국내 기준보다 높은 해외 기준(ASHRAE 90.1 : 2013)인 50 mm를 적용 시, 각각의 두께에 대해 실내와 실외에 설치하는 경우로 설정하여 단열재 표면온도 및 온수온도를 비교하였다.

따라서 시뮬레이션은 Table 2와 같이 파이프 샤프트 공간과 지하 주차장의 국내 기준과 해외 배관 단열 두께 기준을 적용한 경우 4가지를 수행하였다. 배관 주변 온도는 현장측정 결과를 이용하여 파이프 샤프트 내부 공기온도는 25.5℃, 주차장 공기온도는 3.3℃를 적용하였다. 파이프 샤프트를 감싸고 있는 외벽의 열관류율은 에너지절약설계기준⁽⁶⁾의 중부2지역의 간접외기 기준인 0.34 W/m²K를 적용하였다.

또한 시뮬레이션을 통해 분석된 배관의 표면온도 및 온수온도를 이용하여, 식(1)을 이용하여 단위길이당 열손실량(Q)을 산정하였다.

$$Q = \frac{T_i - T_o}{\frac{1}{(2\pi r_1)h_1} + \frac{\ln(r_2 - r_1)}{2\pi k} + \frac{1}{(2\pi r_2)h_2}} \quad (1)$$

3.2 분석결과

시뮬레이션 분석을 통해 온수배관이 파이프 샤프트 안에 설치되는 경우와 외부로 노출된 지하주차장 공간에 설치되는 경우, 국내 40 mm 및 ASHRAE 50 mm의 배관 단열 두께를 각각 적용 시 표면온도 및 온수온도를 도출한 결과는 Table 5와 같다.

첫째, 국내 및 해외 배관 단열 기준 두께를 적용하는 경우 분석결과는 다음과 같다.

파이프 샤프트 내부에 온수배관을 설치할 때 80℃의 동일한 온도의 온수를 공급할 때, 길이 10 m 배관의 유출온도는 국내 기준 적용 시 78.6℃, 해외 기준 적용 시 78.7℃로 해외 기준을 적용한 경우가 0.1℃ 높게 나타났다. 또한, 단열재 표면온도는 국내 기준 46.8℃, 해외 기준 44.0℃로 해외 기준이 2.8℃ 더 낮았다. 이를 통해 해외 기준 적용 시 배관의 온수가 통과할 때 외부로 배출되는 열손실량이 더 작음을 알 수 있다. 열손실량을 계산한 결과에서도 국내 기준보다 해외 기준이 1.7% 더 작게 나타났다.

Table 5 Result of simulation

Location	① Pipe shaft		② Parking space(in basement)		Comparison by location (①-②)	
	KCS	ASHRAE	KCS	ASHRAE	KCS	ASHRAE
Standard						
Insulation thickness	40 mm	50 mm	40 mm	50 mm	40 mm	50 mm
Water temp.	Inlet(㉠)	80℃	80℃	80℃	80℃	
	Outlet(at 10 m)(㉡)	78.6℃	78.7℃	77.9℃	78.2℃	0.7℃
	Difference(㉠-㉡)	1.4℃	1.3℃	2.1℃	1.8℃	
Surface temp. of insulation	46.8℃	44.0℃	34.3℃	30.9℃	12.5℃	13.1℃
Difference of surface temp.	2.8℃		3.4℃			
Air temp. in pipe shaft	25.4℃	25.3℃	-	-	-	-
Heat loss	1,965.6 W/m	1,933.6 W/m	2,694.9 W/m	2,635.7 W/m	- 729.3 W/m	- 702.1 W/m
	1.7% ▽		2.2% ▽		△ 37.1%	△ 36.3%

외부에 노출된 지하주차장에 온수배관을 설치하는 경우, 80℃ 온수 공급 시, 10 m 배관의 유출온도는 국내 기준 적용 시 77.9℃, 해외 기준 적용 시 78.2℃로 국내에 비해 0.3℃ 더 높게 나타났다. 또한, 단열재 표면온도는 국내 기준 34.3℃, 해외 기준 30.9℃로 해외 기준이 3.4℃ 더 낮아, 파이프 샤프트에 설치되는 경우와 마찬가지로 국내 기준보다 해외 기준을 적용했을 경우 열손실량이 2.2% 줄어들고 있음을 알 수 있다.

둘째, 온수배관의 설치 위치에 따른 분석결과는 다음과 같다.

국내 기준을 적용했을 경우, 유출온도는 온수배관을 지하주차장에 설치하는 경우 파이프 샤프트에 설치하는 경우보다 0.7℃ 낮아 열손실이 더 큰 것으로 나타났다. 또한 표면온도 차이는 12.5℃로 매우 크게 나타났으며, 이로 인한 열손실 차이는 지하주차장에 설치하는 경우 37.1% 증가하는 것으로 나타났다.

해외 기준을 적용했을 경우, 유출온도는 온수배관을 지하주차장에 설치하는 경우 파이프 샤프트에 설치하는 경우보다 0.5℃ 낮아 열손실이 더 큰 것으로 나타났다. 또한 표면온도 차이는 13.1℃로 매우 크게 나타났으며, 이로 인한 열손실 차이는 지하주차장에 설치하는 경우 36.3% 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 온수배관의 설치 위치에 따라 열손실량이 평균 36.7% 차이가 발생함을 확인하였다.

4. 결 론

본 연구는 건축물의 에너지 효율 측면에서 배관의 단열 성능 향상을 위한 기준 마련을 목적으로 배관의 설치 공간별 온도 측정 및 국내외 단열 두께 기준 적용을 통한 시뮬레이션 비교 분석을 수행하였다. 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 배관의 주변온도는 열손실량 및 단열 두께에 영향을 미치므로 실제 다중이용시설을 대상으로 배관의 설치공간별 겨울철 온도 변화를 측정하였다. 실내에 위치한 파이프 샤프트는 거의 일정한 온도를 유지하고 있었으나 지하주차장의 경우 실외 외기온의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 측정 기간인 2020년 2월 파이프 샤프트 및 지하 1층 주차장의 평균온도는 각각 25.5℃, 3.3℃로 나타났으며, 지하주차장은 국내 배관의 단열두께 기준에 제시된 주변온도 20℃보다 낮았다.
- (2) 국내(건축기계설비공사 표준시방서) 및 해외(ASHRAE) 단열두께 기준별 시뮬레이션 분석 결과, 국내 기준에 비해 해외 기준을 적용했을 경우 단열재 표면온도가 더 낮아 열손실이 작고 온수온도가 더 높게 나타났다. 열손실량은 파이프 샤프트에 설치되는 경우 해외 기준이 1.7%, 지하주차장에 설치하는 경우 2.2% 감소하는 것으로 나타났다.
- (3) 배관의 각 설치 위치별 시뮬레이션 분석결과, 동일 단열 두께 기준을 적용했을 때 지하주차장에 설치된 배관의 열손실량이 실내 파이프 샤프트에 설치된 배관의 열손실량보다 국내 기준의 경우 37.1%, 해외 기준의 경우 36.3% 에너지 손실량이 증가하고 있었다. 즉, 에너지 손실이 외부에 설치되는 경우 평균 36.7% 증가하는 것으로 나타났다.

본 연구에서 배관 설치 위치별 주변 온도 조건 변화에 따른 배관 에너지손실량을 비교한 결과, 열손실량의 차이가 매우 큰 것으로 나타났다. 따라서 건축물의 에너지 제로화를 위해서는 배관의 설치 위치별로 배관의 두께 기준을 다르게 적용할 필요가 있다고 판단된다. 또한 본 연구에서는 단일 건물을 대상으로 측정한 결과를 활용하여 배관의 열손실량을 추정하였는데, 외부에 노출된 면적 및 배관의 설치 위치 등에 따라 온도조건이 달라질 수 있기 때문에 표준화된 기준 제시를 위해서는 추후 더 많은 건물 사례에 대한 장기적인 모니터링이 필요할 것으로 보인다.

후 기

본 연구는 국토교통기술촉진연구사업의 일환으로 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행되었음(과제번호 20CTAPC15308302).

References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2019, The 2nd Basic Plan for Green Buildings (2020~2024).
2. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020, Building energy efficiency level certification and zero energy building certification standards, Notice No. 2020-574.
3. Korea Conformity Laboratories, 2017, A study on improving the energy efficiency system of buildings.
4. Hamburg, A. and Kalamees, T., 2020, The Influence of Heat Loss from Pipes in an Unheated Basement on the Heating Energy Consumption of an Entire Typical Apartment Building, E3S Web of Conferences, Vol. 172.
5. Choi, S. H., Gim, Y. S., Yun, H. W., and Ryu, H. K., 2017, A Standard Study for Improving Thermal Performance of the Hot and Cold Water Pipe Insulation in Buildings, Korea Society of Geothermal Energy Engineers, Vol. 13, No. 4, pp. 21-30.
6. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2018, Energy Saving Design Standards for Buildings, Notice No. 2017-881.
7. Gordon, H. H., 2010, ASHRAE Standard 90.1-2010 Increases Minimum Pipe Insulation Thicknesses, Insulation Outlook(National Insulation Association).
8. Kim, S. E., Park, J. C., and Ryu, H. K., 2020, Simulation of Surface Temperature Change by the Insulation Thickness of Hot Water Pipe in Building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 1, pp. 21-26.
9. Jung, Y. G., Kim, S. E., and Park, J. C., 2020, Simulation of Pipe Insulation Thickness in Hospital Buildings, Proceeding of SAREK 2020 Summer Annual Conference.