

최종보고서(일반과제용)						보안등급	
						일반[✓], 보안[]	
중앙행정기관명	국토교통부			사업명	사업명	국토교통기술촉진연구사업	
전문기관명	국토교통과학기술진흥원			내역사업명		국토교통기술혁신연구	
공고번호	공고-제 호			총괄연구개발 식별번호	-		
				연구개발과제번호	21CTAP-C152139-03		
국가과학기술 표준분류	건축환경 설비기술	80%	달리 분류되지 않은 기계	20%			
총괄연구개발명	국문	-					
	영문	-					
연구개발과제명	국문	제로에너지건축물 적용을 위한 선진국 수준의 에너지성능을 가진 기계설비배관 단열기준 개선 연구					
	영문	A study on improvement of thermal insulation standard for mechanical pipes with energy performance at the level of advanced countries for zero energy building					
주관연구기관	기관명	(재)대한기계설비산업연구원		사업자등록번호	211-82-18839		
	주소	(우:06068) 서울 강남구 학동로 429		법인등록번호	110122-0111418		
주관연구책임자	성명	류형규		직위	실장		
	연락처	직장전화	02-6240-2004	휴대전화	010-6797-7211		
		전자우편	ryuhk1972@krimfi.re.kr	국가연구자번호	10146272		
연구개발기간	전체	2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(33개월)					
	1년차	2019. 04. 19 - 2019. 12. 31(9개월)					
	2년차	2020. 01. 01 - 2020. 12. 31(12개월)					
	3년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(12개월)					
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금 자비자력기타()			연구개발비 외 지원금
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물
총계	480,000	21,350	172,150	-	-	501,350	172,150
1년차	130,000	5,000	45,000	-	-	135,000	45,000
2년차	100,000	8,000	52,000	-	-	108,000	52,000
3년차	250,000	8,350	75,150	-	-	258,350	75,150
공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
공동연구기관	중앙대학교 산학협력단 (주)구성이앤드씨	박진철 지평삼	교수 소장	02-820-5261 02-402-5973	jincpark@cau.ac.kr ninstar@chol.com	공동 공동	대학 중소기업
위탁연구기관							
연구기관 외 기관							
연구개발담당자 실무담당자	성명	윤희원		직위	선임연구원		
	연락처	직장전화	02-6240-2006	휴대전화	010-3884-2176		
		전자우편	yhiwon@krimfi.re.kr	국가연구자번호	11469300		

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재 처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2021년 12월 31일

주관연구책임자 : 류 형 규



주관연구기관의 장 : (재)대한기계설비산업연구원 정 달 홍 (직인)



국토교통과학기술진흥원장 귀하

본 서식은 「국가연구개발혁신법」 시행('21.01.01) 이전에 최종 협약하여 '21.01.01 이후에 최종평가를 시행하는 일반과제용 입니다.

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성

사업명	국토교통기술촉진사업	총괄연구개발 식별번호	-
내역사업명	국토교통기술혁신연구	연구개발과제번호	21CTAP-C152139-03
국가과학기술 표준분류	건축환경 설비기술	80%	달리 분류되지 않은 기계 20%
총괄연구개발명	-		
연구개발과제명	제로에너지건축물 적용을 위한 선진국 수준의 에너지성능을 가진 기계설비배관 단열기준 개선 연구		
전체 연구개발기간	2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(33개월)		
총 연구개발비	총 673,500천원 (정부지원연구개발비 : 480,000천원, 기관부담연구개발비 : 193,500천원, 지방자치단체 : 천원, 그 외 지원금 : 천원)		
연구개발단계	기초[] 응용[☒] 개발[] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]	기술성숙도	착수시점 기준(4) 종료시점 목표(6)
연구개발과제 유형	지정공모 [] 자유공모 [☒]		
연구개발과제 특성	사회이슈해결		
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표	제로에너지건축물 적용을 위한 선진국 수준의 에너지성능을 가진 기계설비배관 단열기준 수립	
	전체 내용	□ 정부의 에너지 정책에서 소외된 기계설비배관 단열기준 ▪ 국내 배관단열 두께는 2002년 개정된 이후 성능 개정 없이 유지되고 있음 ▪ 단열재 재질로 단열기준이 구분되어, 새로운 소재개발이 어려움 ▪ 2011년 추가된 고무발포보온재는 열전도율이 타 단열재와 비슷하지만 단열두께는 적게 적용(기준 표면온도 40℃ 기준으로 인해 단열 성능은 저하되는 결과 초래) ▪ 최근 에너지 절감 정책에 부합하는 단열기준 검토 및 변경이 필요 □ 지속적으로 강화되어온 국외 배관단열 기준 ▪ ASHRAE 90.1 2010년 개정 시에 건물에너지의 30% 절감을 위한 방안으로 배관단열기준 강화하였으며, 강화하기 전 기준이 현재 국내기준과 비슷함 ▪ BS 5422 는 2009년 개정 시 열손실 최대 33% 절감 가능한 단열두께 기준으로 강화 □ 선진국 수준의 에너지성능을 가진 기계설비배관 단열기준 ▪ 국내외 단열기준의 에너지 성능을 비교하여 선진국 수준의 에너지 성능기준 도출 ▪ 기계설비배관 단열 현황 파악 및 현장 측정을 통한 배관단열 기준 보완 ▪ 시뮬레이션 분석을 통해 배관단열 기준 일반화 ▪ 배관단열 전문가들의 자문을 통한 국내 여건을 감안한 배관단열 기준 제시 ▪ 선진국 수준의 에너지성능을 가진 기계설비배관 단열기준 수립 □ 에너지성능 기반 배관단열 두께산정 프로그램 개발 ▪ 에너지성능 목표에 따라 배관단열 두께를 계산할 수 있는 계산 프로그램 개발 ▪ 제로에너지건축물 배관단열기준 적용에 따른 에너지 성능 및 비용 평가 가능 □ 제로에너지건축물 인증 배관단열관련 정책제안 ▪ 제로에너지건축물 적용을 위한 기계설비 배관 단열기준 KCS 개정(안) 제안 ▪ 기계설비배관 단열관련 정책제안을 통해 제로에너지건축물 인증제도에 반영 □ 기계설비배관 단열 적용 매뉴얼 ▪ 기계설비배관 단열기준 적용을 위한 정확하고 상세한 매뉴얼 제시 필요 □ 에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립 ▪ 기존 기계설비배관 단열기준 대비 손실에너지 20% 이상 절감	
	1년차	목표	선진국 수준의 에너지 성능기준 도출 및 기계설비 배관단열 실태조사
	내용	-선진국 수준의 에너지 성능 기준을 도출하여 국내 기계설비배관 단열기준에 적용	

			-기계설비 배관단열 현장 실태조사를 통한 문제점 도출 및 개선안 수립											
	2년차	목표	에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 초안 수립											
		내용	-현장 측정 및 시뮬레이션 분석을 통한 기계설비배관 단열기준 검토 -제로에너지건축물 인증제도 검토 -기계설비배관 단열두께 계산 프로그램 개발											
	3년차	목표	에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립 및 단열기준 적용 매뉴얼 작성											
내용		-에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립 -제로에너지 건축물 인증 시 배관단열 관련 정책 제언 -단열기준 현장적용 방법 및 배관단열 관련 사항을 정리한 현장적용 매뉴얼 작성												
연구개발성과			☐ 에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립 - 기존 배관단열기준 대비 손실에너지 20% 이상 절감 ☐ 에너지성능 기반의 배관단열 두께산정 프로그램 개발 - 에너지성능 목표에 따라 배관단열 두께 계산 가능 ☐ 제로에너지건축물 인증 시 배관단열관련 정책제안 - 제로에너지건축물 적용을 위한 기계설비 배관 단열기준 KCS 개정(안) 제언 ☐ 기계설비배관 단열기준 적용 매뉴얼 - 기계설비배관 단열 관련 정확하고 상세한 시공 기준 제공											
연구개발성과 활용방안 및 기대효과			☐ 배관에서의 손실에너지 절감 - 기존 건물과 신축건물에서의 에너지 절감 방안으로 활용 - 기존 단열기준 대비 손실에너지 20% 이상 절감 - 에너지성능에 따른 단열두께 산정 가능한 프로그램으로 추가적인 에너지 절감 가능 ☐ 기계설비배관 단열기준 에너지 성능 향상 - 단열재 재질이 아닌 에너지성능 목표에 기반한 단열기준 수립 - 새로운 소재의 단열재 개발 가능성 - 선진국 수준의 배관단열 성능 구현 ☐ 정부의 에너지 절감 정책에 적극 반영 - KCS 보온공사 기준에 제로에너지건축물 기준 반영을 위한 자료로 활용 - 인증제도 배관단열 항목 추가 - 기계설비배관 단열 매뉴얼 적용으로 정확한 시공과 품질 및 에너지 성능 향상											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유			해당없음											
연구개발성과의 등록·기탁 건수			논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
										생명 정보	생물 자원		정보	실물
			5	2				1						
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황			구입기관	연구시설·장비명		규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호		
국문핵심어 (5개 이내)			기계설비배관			단열재		단열기준		에너지절감		성능 기반		
영문핵심어 (5개 이내)			Mechanical pipe			Insulation		Insulation standard		Energy saving		Performance based		

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

별첨자료(참고문헌 등)

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

- 기계설비배관 단열 기준 개선 방안 마련
 - 현장 측정 및 시뮬레이션 분석을 통한 기계설비배관 단열기준 검토
 - 제로에너지건축물 인증제도 검토
- 제로에너지건축물 적용을 위해 선진국 수준의 에너지 성능을 가진 기계설비배관 단열기준 수립
 - 에너지 성능을 기반으로 기계설비배관 단열기준안 제시 및 정책제안
 - 단열기준 적용을 위한 현장 적용 매뉴얼 작성



2) 연구개발과제의 년차별 목표

가. 1차 연도

- ① 개발 목표
 - 주관연구기관(대한기계설비산업연구원): 에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 초안 수립
 - 공동기관 1(중앙대학교 산학협력단): 선진국 수준의 에너지성능기준 도출
 - 공동기관 2((주) 구성이엔드씨): 기계설비 배관단열 실태조사
- ② 개발 내용 및 범위
 - 주관연구기관(대한기계설비산업연구원):국내외 기계설비배관 단열기준 조사·비교검토 하여 에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 초안 수립
 - 공동기관 1(중앙대학교 산학협력단):선진국 수준의 에너지성능기준을 도출하여 국내 기계설비배관 단열기준에 적용
 - 공동기관 2((주) 구성이엔드씨):기계설비 배관단열 실태조사를 통한 현장 문제점 도출 및 개선안 수립



나. 2차 연도

① 개발 목표

- 주관연구기관(대한기계설비산업연구원): 초안 검토 및 배관단열 두께산정 프로그램 개발
- 공동기관 1(중앙대학교 산학협력단): 시뮬레이션 분석을 통한 단열기준 보완 및 제로에너지 건축물 인증제도의 배관단열항목 적용 검토
- 공동기관 2((주)구성이엔드씨): 현장 측정을 통한 단열기준 보완

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(대한기계설비산업연구원):에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 초안 수립
- 공동기관 1(중앙대학교 산학협력단):선진국 수준의 에너지성능기준 도출
- 공동기관 2((주)구성이엔드씨):기계설비 배관단열 실태조사



다. 3차 연도

① 개발 목표

- 주관연구기관(대한기계설비산업연구원):에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립 및 에너지 성능 평가
- 참여기관 1(중앙대학교 산학협력단):제로에너지 건축물 인증 시 배관단열관련 정책제안
- 참여기관 2((주)구성이엔드씨):기계설비배관 단열기준 적용 매뉴얼

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(대한기계설비산업연구원):에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립 및 에너지 성능 평가
- 참여기관 1(중앙대학교 산학협력단):제로에너지 건축물 인증 시 배관단열관련 정책제안
- 참여기관 2((주)구성이엔드씨):기계설비배관 단열기준 적용 매뉴얼



구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019)	에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 초안 수립	에너지 성능기반의 기계설비배관 단열기준 초안 수립	평균 10%정도 열출입량의 차이 발생	기존 대비 두께 증가 30% 이하	국내외 기준을 적용한 열출입량 비교	5
		선진국 수준의 에너지성능기준 도출	국외에 비해 단열두께 평균 28% 이하	기존대비 10%이상	선진국 수준을 위한 단계적 성능 향상	10
	기계설비 배관단열 실태조사	기계설비 배관단열 현장 실태조사 및 문제점 도출	70%/90%	85%	현장실태조사보 고서 작성 제출 여부	5
2년차 (2020)	에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립	기준 초안 검토 및 배관단열 두께산정 프로그램 개발	국내 여건에 맞는 프로그램 개발로 비교대상 없음	프로그램 개발	프로그램 개발 여부 및 적용성	10
	에너지 성능기반의 기계설비배관 단열기준 검증 및 정책제안	현장측정 및 시뮬레이션 분석을 통한 단열기준 보완	국외에 비해 단열두께 평균 28% 이하	기존대비 15%이상	선진국 수준을 위한 단계적 성능 향상	10
		제로에너지건축물 인증제도 검토	국내 단열 두께 기준에 대한 기준 미비	두께기준 30%이하 에너지절감량 15%이상	선진국 수준을 위한 단계적 성능 향상	5
	기계설비 배관단열 실태 파악 및 적용 매뉴얼 개발	현장 조사를 통한 단열기준 개선 방안 및 보온재 단열효과 비교 실험	70%/90%	85%	배관 단열 문제점 개선을 위한 시공성 확보 방안 수립 여부	10
3년차 (2021)	에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립	에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립	평균 6%정도 열출입량의 차이 발생	기존 대비 에너지 절감 20% 이상	기준(안)을 적용한 열출입량 비교	15
	에너지 성능기반의 기계설비배관 단열기준 검증 및 정책제안	제로에너지건축물 인증 시 배관단열관련 정책제안	국외에 비해 단열두께 평균 28% 이하	기존대비 20%이상	선진국 수준을 위한 단계적 성능 향상	15
	기계설비 배관단열 실태 파악 및 적용 매뉴얼 개발	기계설비 배관단열 매뉴얼 개발	70%/90%	85%	매뉴얼 제출 여부	10
		단열시공 시방서 개정 의견(안)작성	70%/90%	85%	개정 의견(안)작 성 제시	5

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

□ 수행 과정

○ 에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립 및 에너지 성능 평가

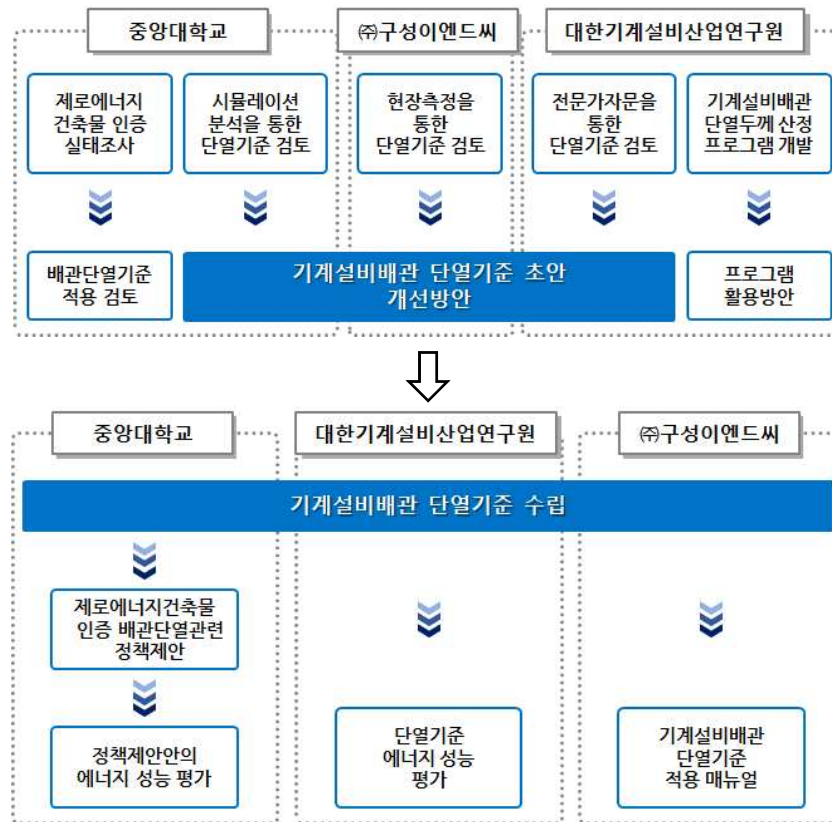
- 앞선 연구들을 통한 에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립
 - 배관의 종류 및 공간환경의 항목화
 - 보온재 종류(열관류율)에 따른 두께의 수치화
- 선진국 수준의 에너지성능 기준을 도출하여 국내 기계설비배관 단열기준에 적용
- 단열기준의 에너지 성능 평가
- 에너지성능을 고려한 배관단열 두께산정 프로그램 개발

○ 제로에너지 건축물 인증 시 배관단열관련 정책제안

- 제로에너지 건축물 인증제도의 배관 단열기준 적용 검토
- 제로에너지 건축물 인증 시 배관단열관련 정책 제안
- 정책제안(안)의 에너지 성능 평가

○ 기계설비배관 단열기준 적용 매뉴얼

- 배관단열 현장 문제점 도출 및 개선안 수립
- 단열기준 현장적용 방법 및 배관단열 관련 사항을 정리한 현장적용 매뉴얼 작성



□ 수행 내용

○ 에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립

- 국내외 기계설비배관 단열기준을 조사하고 에너지 성능을 비교·검토
- 선진국 수준의 에너지 성능기준을 도출하여 국내 기계설비배관 단열기준에 적용
- 기존의 두께 기준에서 열출입량을 기준으로 기존 대비 10% 절감한 에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준(안) 제시

○ 기계설비배관 단열두께 계산 프로그램 개발

- 원통전열 이론을 바탕으로 냉난방·급탕 배관 등의 출입열량 등을 통한 건물 기계설비배관의 단열두께를 검토할 수 있는 프로그램 개발
- 에너지 절감 목표 설정에 따른 배관 단열두께 계산 가능
- 배관 동결개시시간 계산 및 결로발생 여부 판단

○ 시뮬레이션 분석을 통한 국내외 배관단열 기준에 따른 에너지 절감량 검토

- C대학병원을 대상으로 배관이 설치되는 위치(지하주차장, 기계실, 파이프 샤프트)의 겨울철 온도를 측정하고, 외부 기온을 측정하고 비교 검토함
- 현장측정 데이터를 바탕으로 설치 위치에 따른 주변온도를 반영하여 전산유체해석(CFD) 분석을 수행하고 국내외 기준에 적용시 에너지 손실량을 비교검토함

○ 제로에너지 건축물 인증제도 검토 및 배관단열관련 정책 제안

- 국내외 제로에너지건축물 인증제도 상 관련 기준 검토
- 국내외 문헌조사를 통해 배관 성능 향상을 통한 에너지 절감 가능성 검토
- 겨울철 외부 온도에 따른 국내외 기준에 적용시 에너지 손실량을 비교검토함

- 국내외 기준 비교 및 두께별 에너지 손실량 시뮬레이션을 통한 단열 두께 제시
 - 기상청 겨울철 기온 데이터 분석 및 현장실측을 통한 주차장 배관단열설계 조건 검토
 - 배관의 설치 위치 및 단열재 열전도율을 고려한 기준 제시
- 기계설비 배관단열 실태조사와 현장 측정을 통한 시공 상 문제점 도출 및 개선안 수립
- 준공 후 2~25년 경과한 국내 건축물의 배관 보온 실태를 파악하기 위하여 총 16개 현장에 대하여 주재료의 종류, 보조재료의 종류, 열매의 종류와 사용온도, 보온재 표면 온도, 보온 유지상태 등을 조사하여 문제점과 개선 방향 설정
 - 배관 단열의 현장조사와 보온재별 표면 온도 비교 측정을 통하여 단열의 개선 방향을 설정하고 관리자와의 면담을 통하여 현장 개선 사항과 보온 시공 상의 문제점에 대한 의견 조사를 통하여 단열시공 기준의 보완 내용 파악
- 기계설비 배관 단열기준 매뉴얼 작성
- 단열기준 적용 시 발생할 수 있는 시행착오를 줄이고, 적용성을 높임
 - 배관단열 시 하자를 줄여 유지관리비 절감 및 배관수명 연장
 - 표준시방서의 미비한 사항과 상이한 부분을 조사하여 파악하고 시방서 개정의견(안)을 작성

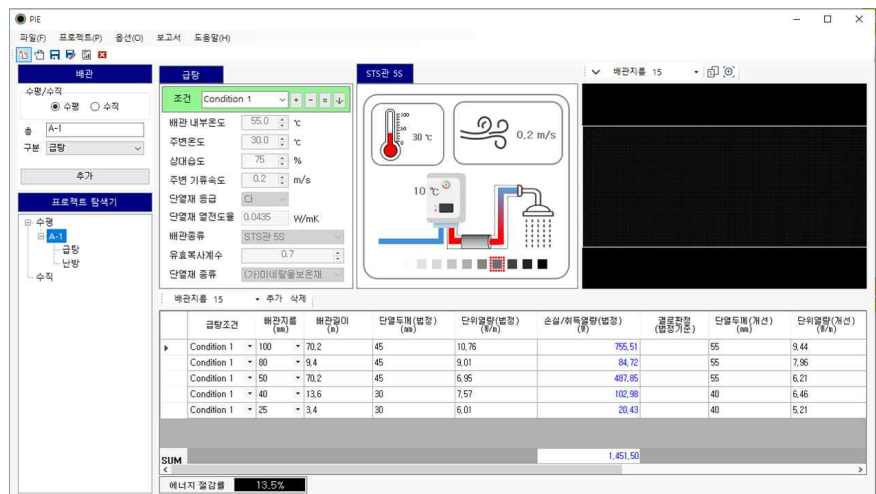
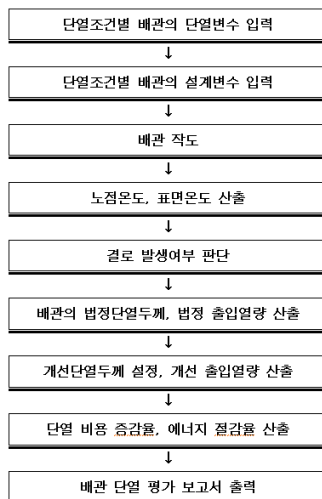
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

<요약>

- 에너지 성능 기반의 기계설비 배관단열기준 수립, 제로에너지건축물 인증 시 배관단열관련 정책제안, 기계설비배관 단열기준 적용 매뉴얼의 연구개발성과를 달성함
- 에너지 성능을 고려한 선진국 수준의 기계설비 배관 단열기준(안)을 작성하고 기계설비배관 단열두께 계산 프로그램을 개발



- 현장측정 및 시뮬레이션 분석을 통한 에너지 절감량 검토 및 단열기준 보완
- 국내 건축기계설비공사 표준시방서 보온기준(KCS 31 20 05 : 2016) 및 ASHRAE 90.1(2013) 기준 단열두께에 따른 CFD 비교 분석 수행하였으며, 국내 기준은 ASHRAE 기준에 비해 단열 두께가 얇아 단열재 표면온도의 상승 및 에너지 손실이 110~125% 증가함

1.1 연구개발 최종목표

- 최근 폭염 등 이상기후 현상이 증가함에 따라 국가 온실가스 감축 목표를 이행하고, 신재생에너지 활용을 촉진하며, 기후변화에 적극 대응하는 수단으로 제로에너지건축의 필요성이 높아지고 있음
- 정부에서는 2030 국가 온실가스 감축목표 상향안을 발표하고 건물 부문에서는 제로에너지 건축 활성화 유도, 에너지 고효율 기기 보급, 스마트에너지 관리 등을 통해 2018년 52.1백만톤에서 2030년 35.0백만톤으로 32.8% 감축하는 것을 목표로 함



[그림 1] 국토교통 탄소중립 로드맵_건물 부문(국토교통부)

- 제로에너지건축물 인증 대상을 주거·상업용에서 공업·농업용 건물, 기반시설 등까지 확대하고 에너지 감축 인증범위 또한 냉방, 난방, 급탕, 환기, 조명, 가전, 취사, 공용전기로 확대하는 것을 제안하고 있음
- 국내에서도 1천 m^2 이상 공공건축물을 시작으로 제로에너지 건축물 의무화가 시행되며, 2030년까지 500 m^2 이상의 모든 건축물이 의무화 대상에 포함됨

	조기적용	녹색건축 활성화 방안('21.6)		2050 시나리오
현재	'23~'24	'25	'30	'50
	공동주택 ('23) 공공분양·임대 ('24) 민간분양·임대 중 30세대 이상	1천 m^2 이상 민간건물	5백 m^2 이상 민간건물	~ 중 건물 (1등급)

[그림 2] 2030 국가온실가스감축목표(NDC) 상향_국토교통부

- 제로에너지 건축의 단계적 의무화를 위해 여러 정책들이 발표되고 이에 건축물의 외피 단열성능은 매년 강화되고 있으나 건축물에서 열손실을 저감하는 데 중요한 요소 중 하나인 배관, 덕트 및 기기보온에 대해서는 기준강화나 열손실에 대한 검토·평가가 이루어지지 않고 있음
- 건축기계설비공사 표준시방서의 배관 단열기준은 2002년 개정 이후 동일한 기준으로 사용되다 2011년, 2021년 두 번에 걸쳐 일부 개정되었음
- 1980년 제정부부터 2011년 개정까지 관내수온의 조건, 관지름의 범위 등이 변경되었지만 단열두께는 크게 달라지지 않음
- 2021년 개정되며 단열재의 열전도율을 기준으로 구분하여 단열두께를 적용하도록 하였으며 단열두께 또한 소폭 상승함
- 배관 및 덕트의 단열은 난방시스템에서의 열손실과 냉방시스템에서의 열획득을 최소화하는 요소이므로 제로에너지건축 의무화에 대비하여 배관단열기준의 점검 및 개선안 마련이 필요함. 또한 건축물의 에너지 효율을 향상시키기 위해 냉난방 및 급탕 배관의 단열 성능을 예측하는 것이 필

요함

- 선행 연구에 따르면 배관 계통에서 발생하는 에너지 손실이 일반적으로 인식하고 있는 15% 정도 보다 더 높게 발생하고 있으며, 공동주택 난방배관의 단열두께가 배관의 열손실에 큰 영향을 미치고 있어 현행 기준보다 10~15mm정도 두껍게 보온하는 것이 경제적이라고 함

○ 본 연구에서는 제로에너지건축물 인증제도 검토, 실태조사 및 시뮬레이션 분석을 통하여 기계설비배관 단열기준을 검토하고 개선 방안을 마련함

1.2 단계별 연구개발 목표 및 결과

구분 (연도 /단계)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
1차 연도 (2019)	에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립	에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 초안 수립	에너지 성능 기반의 기계 설비배관 단열기준 초안 수립	-표면온도 기준 40℃→30℃ 기준을 적용한 단열기준 초안 제시 -단열두께 계산 프로그램 초안 제시
	에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 검증 및 정책제안	선진국 수준의 에너지성능기준 도출	국내외 기계설비배관 단열기준 조사 및 에너지 성능 비교 검토	배관단열 유체역학 시뮬레이션 평가를 통해 국내 기준의 문제점과 개선 필요성을 파악
	기계설비 배관단열 실태 파악 및 적용 매뉴얼 개발	기계설비 배관단열 실태조사	배관단열 현장 문제점 도출 및 개선안 수립	중앙대병원 등 14개 건축물 단열 실태조사 및 문제점 도출
2차 연도 (2020)	에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립	기계설비 배관단열기준 초안 검토 및 배관단열 두께산정 프로그램 개발	에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 초안 수립	-열방출량을 기준으로 계산한 온수관, 냉수관 등의 단열두께 초안 제시 -배관 단열두께 산정 계산 프로그램 개발
	에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 검증 및 정책제안	시뮬레이션 분석을 통한 단열기준 보완 및 제로에너지 건축물 인증제도의 배관단열항목 적용 검토	-시뮬레이션 분석 -제로에너지 건축물 인증 관련 제도 현황 분석 및 해외 배관단열 항목 검토	-시뮬레이션 분석을 통한 현재 성능 및 보완 검토 -제로에너지 건축물 인증 제도 비교 및 선진국 수준의 에너지 성능 향상 필요
	기계설비 배관단열 실태 파악 및 적용 매뉴얼 개발	현장적용 관점에서의 기계설비배관단열 시공기준 검토	현장 조사를 통한 단열기준 보완 방안 연구와 보온재 단열효과 비교실험	-현장조사 및 비교실험을 통하여 배관 단열에 대한 시공성 확보 방안 수립
3차 연도 (2021)	에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립	에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립	에너지 성능기반의 기계설비배관 단열 기준 제시	-배관 단열 계산 프로그램 개발 -기계설비 배관 단열두께 에 따른 열손실 비교·검 토를 통한 기준 개선(안) 마련
	에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 검증 및 정책제안	제로에너지건축물 인증 시 배관단열 관련 정책 제안	-제로에너지건축물 인증 제도 제안 및 협의 -제로에너지건축물 인증 배관단열 관련 정책 제안	-제로에너지 건축물을 위 한 선진국 수준의 배관단 열 기준(안) 제시 -외기노출 배관의 단열두 께 기준에 대한 정책 제안
	기계설비 배관단열 실태 파악 및 적용 매뉴얼 개발	기계설비배관 단열기준 적용 매뉴얼	-단열시공 시방서 개정안 작성 -배관공사 부위별 단열시 공 방법 매뉴얼 작성	기계설비 배관단열기준 매 뉴얼 작성 완료 단열시공 관련 시방서 개 정의견(안) 작성 완료

2. 연구수행 내용 및 결과

2.1 연구개발결과 요약

2.1.1 에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립

- 국내외 단열두께 기준 및 열출입량을 비교하였을 때 국내 기준에서 발생하는 열출입량이 전체적으로 높은 것을 확인할 수 있으며 건물의 열손실을 줄이기 위하여 국내 기준의 개선이 필요함. 에너지절약 관점에서 보온재 두께 기준을 단계적으로 강화할 필요가 있으며, 우선적으로 현재 열출입량 대비 10% 절감한 단열두께를 계산함
- 냉수관 등의 경우 ASHRAE 기준은 최소 단열두께를 제시하고 있어 KCS 기준의 기본값이 더 높음. 냉수관 등의 경우 경제성 등을 고려하여 결로가 발생하지 않는 최소 단열두께를 계산해보면 기존 열출입량 대비 45% 이상 열출입량이 증가하게 됨. 결로가 발생하지 않으면서 열출입량이 과도하게 증가하지 않도록 기존 열출입량 대비 10%정도 증가한 열출입량을 내는 단열두께를 산함
- 향후에는 기준에 정해진 단열재 두께값이 아닌 설치 위치에 따라 외기에 면하는 곳과 면하지 않는 곳을 구분하여 주변온도 조건 기준을 정해 해당 열출입량 이하의 값이 나오는 단열두께를 계산하여 적용하는 방향으로 개선하는 것을 제안함
- 원통전열 이론을 바탕으로 냉난방·급탕 배관 등의 출입열량 및 결로 판정을 통한 건물 기계설비 배관의 단열두께를 검토할 수 있는 프로그램 개발

연차	연차별 연구목표	연구내용
1차년도	에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 초안 수립	-국내외 기계설비배관 단열기준을 조사하고, 에너지 성능을 비교 검토 -선진국 수준의 에너지성능 기준을 도출하여 국내 기계설비배관 단열기준에 적용 -에너지성능 기반의 기계설비배관 단열기준 초안 수립 -표면온도 기준 40℃→30℃ 기준을 적용한 단열기준 초안 제시
2차년도	초안 검토 및 배관단열 두께산정 프로그램 개발	-에너지성능을 고려한 배관단열 두께산정 프로그램 개발 -배관단열 관련 취약 현장을 측정하여 문제점 및 개선안 도출 -열출입량을 기준으로 기존 대비 10% 절감하여 계산한 온수관, 냉수관 등의 단열두께 초안 제시
3차년도	에너지성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립	-에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립 -개발된 배관 단열두께 계산 프로그램을 활용하여 배관 단열기준의 열출입량 비교·검토 -기존의 두께 기준에서 열출입량으로 바꾼 기준(안) 및 ZEB기준(안) 제시

2.1.2 에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 검증 및 정책제안

- 기계설비기준 및 제로에너지건축물 인증기준의 배관 단열에 관한 국내외 단열 기준 조사 및 비교 검토
- 시뮬레이션 평가를 통한 현재 성능 및 단열 두께 기준 개선사항 검토
- 제로에너지 건축물을 위한 선진국 수준의 배관단열 정책 제안

1) 건축기계설비공사 표준시방서, 보온공사(KCS 31 20 05 : 2021)

2) International Code Council(ICC), International Energy Conservation Code(IECC : 2021)

3) 유민상 외, 공동주택 겨울철 외기 노출 배관의 표면온도측정을 통한 열손실량, 대한설비공학회 2021 하계학술발표대회 논문집, 2021, pp.436-439

4) ASHRAE, 2019, ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1

연차	연차별 연구목표	연구내용
1차년도	선진국 수준의 에너지성능기 준 도출	-국내외 기계설비배관 단열기준 조사 및 에너지 성능 비교 검 토를 통한 표면온도 단열기준 초안 제시 -에너지성능 기반의 기계설비배관 단열기준 초안 수립을 위한 시뮬레이션 평가 진행
2차년도	시뮬레이션 분석 및 제로에너지 건축물 인증제도 검토	-시뮬레이션 분석을 통한 현재 성능 검토 및 단열기준 보완 -현 제로에너지건축물 인증제도의 수준 향상을 위한 선진국 수 준의 에너지 인증제도 검토
3차년도	제로에너지건 축물 인증 시 배관단열 관련 정책 제안	-국내외 배관단열 기준 검토를 통한 국내 기준의 개선사항 도출 -제로에너지 건축물을 위한 선진국 수준의 배관 단열 기준안 제시 -건축기계설비공사 표준시방서 보온기준에 대한 정책 개선안 제안

2.1.3 기계설비 배관단열 실태 파악 및 적용 매뉴얼 개발

- 기계설비 배관 단열 현장 실태조사를 통한 문제점 도출과 개선 방안 수립
- 기계설비 배관 단열기준 매뉴얼 개발
- 표준시방서 개정의견(안) 작성

연차	연차별 연구목표	연구내용
1차년도	기계설비 배관단열 실태조사	기계설비 배관단열 현장 실태조사 및 문제점 도출
2차년도	현장적용 관점에서 기계설비배관 단열 기준 보완	현장 조사와 보온재 단열효과 비교를 통한 단열기준 개선 방안
3차년도	기계설비배관 단열기준 적용 매뉴얼	-기계설비배관 단열기준 적용 매뉴얼 작성 -기계설비배관단열 문제점 개선을 위한 표준시방서 개정의견 (안) 작성

2.2 연구개발 주요내용

2.2.1 국내외 배관단열 기준 비교·검토

1) 국내 배관 단열기준

- 본 연구진은 기계설비법 제정을 위한 연구에 참여하며 배관 단열성능 판단에 효율적인 열전도율 기준으로 구분된 배관 단열두께 기준이 반영될 수 있도록 하였으며, 2020년 4월 18일 시행된 「기계설비법」 제14조에 따른 「기계설비 기술기준」 [별표 10]의 보온설비의 설계 및 유지관리기준에서 열전도율 기준으로 단열두께를 정하였음. 이와 함께 「기계설비법」 제16조에 따른 「기계설비 유지관리기준」 에서 유지관리 및 성능점검 대상으로 보온설비 등을 정하였으며, 각 2021년 6월과 8월에 입법 고시됨

기계설비 기술기준
[국토교통부고시 제2021-851호]

기계설비 유지관리기준
[국토교통부고시 제2021-1013호]

[별표 1] 열원설비 및 냉난방설비의 설계 및 시공 기준

1. 열원 및 냉난방설비 일반사항
2. 열원 및 냉난방설비 설계
3. 열원 및 냉난방설비 시공

[별표 2] 공기조화설비의 설계 및 시공 기준

[별표 3] 환기설비의 설계 및 시공 기준

[별표 4] 위생기구설비의 설계 및 시공 기준

[별표 5] 급수급탕설비의 설계 및 시공 기준

[별표 6] 오·배수 통기 및 우수배수설비의 설계 및 시공 기준

[별표 7] 오수정화 및 물재이용설비의 설계 및 시공 기준

[별표 8] 배관설비의 설계 및 시공 기준

[별표 9] 덕트설비의 설계 및 시공 기준

[별표 10] 보온설비의 설계 및 시공 기준

[별표 11] 자동제어설비의 설계 및 시공 기준

[별표 12] 방음방진·내진 설비의 설계 및 시공 기준

[별표 13] 플랜트설비의 설계 및 시공 기준

[별표 14] 특수설비의 설계 및 시공 기준

[별표 15] 기계설비 유지관리를 고려한 설계기준

[별지 제1호서식] 기계설비 착공 전 확인표

[별지 제2호서식] 기계설비 착공 적할 확인서

[별지 제3호서식] 기계설비 사용 전 확인표

[별지 제4호서식] 기계설비 성능확인서

[별지 제5호서식] 기계설비 안전확인서

[별지 제6호서식] 기계설비 사용적합 확인서

[별지 2] 기계설비 유지관리 대상 점검표

[별지 3] 기계설비 성능점검 대상 점검표

- 냉동기 유지관리 성능 점검표
- 냉각탑 유지관리 성능 점검표
- 축열조 유지관리 성능 점검표
- 보일러 유지관리 성능 점검표
- 열교환기 유지관리 성능 점검표
- 팽창탱크 유지관리 성능 점검표
- 펌프(냉난방, 급수) 유지관리 성능 점검표
- 신재생에너지 시스템 유지관리 성능 점검표
- 연료전지 유지관리 성능 점검표
- 패시지 에어컨 유지관리 성능 점검표
- 황온습윤기 유지관리 성능 점검표
- 공기조화기 유지관리 성능 점검표
- 팬코일 유닛 유지관리 성능 점검표
- 환기설비 유지관리 성능 점검표
- 필터 유지관리 성능 점검표
- 위생기구설비 유지관리 성능 점검표
- 급수·급탕설비 유지관리 성능 점검표
- 고·저수조 유지관리 성능 점검표
- 오·배수 통기 및 우수배수설비 유지관리 성능 점검표
- 오수정화설비 유지관리 성능 점검표
- 물 재이용설비 유지관리 성능 점검표
- 배관설비 유지관리 성능 점검표
- 덕트설비 유지관리 성능 점검표
- **보온설비 유지관리 성능 점검표**
- 자동제어설비 유지관리 성능 점검표
- 방음·방진·내진 설비 유지관리 성능 점검표

[그림 3] 기계설비법 내 기술기준 및 유지관리기준에 보온설비 반영

- 건축기계설비공사 표준시방서 중 보온공사(KCS 31 20 05)는 2021년 개정되었으며 <표 1>~<표 3>과 같음
- 이전의 기준은 단열재 종류별로 단열두께를 규정하여 단열재 선택에 한정적이고 같은 단열재 종류라도 제조업체별로 열전도율의 차이가 있어 정확한 건물 성능 비교에 어려움이 있었음
 - 2021년 개정된 보온공사 기준은 단열재의 열전도율 범위에 따라 등급별 단열두께를 정하고 있으며, 주변온도 기준도 20℃에서 30℃로 상향됨

<표 1> 급탕관, 온수관, 증기관의 보온재 등급별 보온두께(KCS 31 20 05:2021)

보온재 등급	보온재 열전도율의 범위 - W/mK	보온두께(mm)									
		일반			중온			고온			
		관호칭 지름 15~40	관호칭 지름 50~125	관호칭 지름 150이상	관호칭 지름 15~40	관호칭 지름 50~125	관호칭 지름 150이상	관호칭 지름 25이하	관호칭 지름 32~65	관호칭 지름 80~300	관호칭 지름 300이상
가	0.030 초과 0.034 이하	20	35	45	35	45	70	45	50	80	100
나	0.035~0.040	25	40	50	40	50	80				
다	0.041~0.046	30	45	60	45	60	90				
라	0.047~0.051	35	50	65	50	65	100				

일반: 관내 수온 90℃ 이하, 주위온도 30℃ 이하

중온: 관내 수온 90~120℃, 주위온도 30℃ 이하

고온: 관내 수온 121~220℃, 주위온도 30℃ 이하

<표 2> 급수관 및 배수관 등의 결로방지를 위한 보온재 등급별 보온두께(KCS 31 20 05:2021)

보온재 등급	보온재 열전도율의 범위 - W/mK	보온두께(mm)				
		일반		다습		
		관 호칭지름 15~80	관 호칭지름 100 이상	관 호칭지름 15~25	관 호칭지름 32~300	관 호칭지름 350 이상
가	0.030 초과 0.034 이하	20	35	20	35	45
나	0.035~0.040	25	40	25	40	50
다	0.041~0.046	30	45	30	45	60
라	0.047~0.051	35	50	35	50	65

일반: 관내 수온 15℃ 이하, 주위온도 30℃ 이하, 상대습도 75% 미만

다습: 관내 수온 15℃ 이하, 주위온도 30℃ 초과 또는 상대습도 75% 이상

<표 3> 냉수관, 냉온수관의 보온재 등급별 보온두께(KCS 31 20 05:2021)

보온 재 등급	보온재 열전도율의 범위 - W/mK	보온두께(mm)						
		저온 일반		일반		다습 저온, 일반		
		관 호칭 지름 15~25	관 호칭 지름 32 이상	관 호칭 지름 15~25	관 호칭 지름 32 이상	관 호칭 지름 15~32	관 호칭 지름 40~100	관 호칭 지름 125 이상
가	0.030 초과 0.034 이하	25	40	20	35	35	45	65
나	0.035~0.040	30	45	25	40	40	50	75
다	0.041~0.046	35	50	30	45	45	60	90
라	0.047~0.051	40	55	35	50	50	65	100

*4℃ 미만의 냉수는 특기 시방에 따름

저온, 일반: 관내 수온 4℃ 이상 6℃ 미만, 주위온도 30℃ 이하, 상대습도 75% 미만

일반: 관내 수온 6~15℃, 주위온도 30℃ 이하, 상대습도 75% 미만

다습, 저온: 관내 수온 4℃ 이상 6℃ 미만, 주위온도 30℃ 초과 또는 상대습도 75% 이상

다습, 일반: 관내 수온 6~15℃, 주위온도 30℃ 초과 또는 상대습도 75% 이상

2) 국외 배관 단열기준

- 국외 기준으로 ASHRAE 90.1에 제시된 단열두께가 있음. 기준에 나오지 않은 열전도율의 단열재에 대해서는 계산식을 사용하여 단열두께를 결정하도록 하며, 기준에 제시된 단열두께는 에너지 효율성만을 고려한 것으로 안전문제나 표면온도와 관련하여 필요시에는 추가 단열을 요구할 수 있다고 명시하고 있음
- 해당 기준은 2010년 개정하며 건물 에너지 사용의 30%를 줄이기 위한 방안 중 하나로 배관과 덕트의 단열두께를 증가시킴
- ASHRAE 기준은 관내수온 범위에 따라 적용되는 단열재의 열전도율과 두께를 제시하여 관내수온 범위 내에서 모든 열전도율 범위의 단열두께를 제시하는 국내 기준과 차이를 보임

<표 4> ASHRAE 90.1(2019)의 배관 단열기준

Systems	Fluid Operating Temperature Range(℃) and Usage	Insulation Conductivity		≥Nominal Pipe or Tube Size, mm				
		Conductivity, W/(m·℃)	Mean Rating Temperature, ℃	<25	25 to <40	40 to <100	100 to <200	≥200
				Insulation Thickness, mm				
Heating and Hot-water systems	>177	0.046 to 0.049	121	115	125	125	125	125
	122 to 177	0.042 to 0.046	93	80	100	115	115	115
	94 to 121	0.039 to 0.043	66	65	65	80	80	80
	61 to 93	0.036 to 0.042	52	40	40	50	50	50
	41 to 60	0.032 to 0.040	38	25	25	40	40	40
Cooling systems	4 to 16	0.030 to 0.039	24	13	13	25	25	25
	<4	0.029 to 0.037	10	13	25	25	25	40

- 영국의 Building Regulation Part L의 지침 Non-Domestic Building Services Compliance Guide는 건물 규정의 에너지 효율성 요구 사항을 준수하는데 도움이 되도록 신축 및 기축 비가정 건물에 설비 설치에 관한 지침을 제공함

Outside pipe diameter (mm)	Heat loss (W/m)			
	Hot water ^[1]	Low temperature heating ^[2]	Medium temperature heating ^[3]	High temperature heating ^[4]
		≤ 95°C	96°C to 120°C	121°C to 150°C
17.2	6.60	8.90	13.34	17.92
21.3	7.13	9.28	13.56	18.32
26.9	7.83	10.06	13.83	18.70
33.7	8.62	11.07	14.39	19.02
42.4	9.72	12.30	15.66	19.25
48.3	10.21	12.94	16.67	20.17
60.3	11.57	14.45	18.25	21.96
76.1	13.09	16.35	20.42	24.21
88.9	14.58	17.91	22.09	25.99
114.3	17.20	20.77	25.31	29.32
139.7	19.65	23.71	28.23	32.47
168.3	22.31	26.89	31.61	36.04
219.1	27.52	32.54	37.66	42.16
≥ 273.0	32.40	38.83	43.72	48.48

Note
To ensure compliance with the maximum heat loss criteria, insulation thicknesses should be calculated according to BS EN ISO 12241 using standardised assumptions:
 [1] Horizontal pipe at 60°C in still air at 15°C
 [2] Horizontal pipe at 75°C in still air at 15°C
 [3] Horizontal pipe at 100°C in still air at 15°C
 [4] Horizontal pipe at 125°C in still air at 15°C

Recommended maximum heat losses for direct hot water and heating pipes

Outside diameter of steel pipe on which insulation has been based (mm)	Heat gain (W/m)		
	Temperature of contents (°C)		
	>10 ^[1]	4.9 to 10.0 ^[2]	0 to 4.9 ^[3]
17.2	2.48	2.97	3.47
21.3	2.72	3.27	3.81
26.9	3.05	3.58	4.18
33.7	3.41	4.01	4.60
42.4	3.86	4.53	5.11
48.3	4.11	4.82	5.45
60.3	4.78	5.48	6.17
76.1	5.51	6.30	6.70
88.9	6.17	6.90	7.77
114.3	7.28	8.31	9.15
139.7	8.52	9.49	10.45
168.3	9.89	10.97	11.86
219.1	12.27	13.57	14.61
≥273.0	14.74	16.28	17.48

Note
To ensure compliance with the maximum heat gain criteria, insulation thicknesses should be calculated according to BS EN ISO 12241 using standardised assumptions:
 [1] Horizontal pipe at 10°C in still air at 25°C
 [2] Horizontal pipe at 5°C in still air at 25°C
 [3] Horizontal pipe at 0°C in still air at 25°C

Recommended maximum heat gains for cooled water supply pipes

[그림 4] 영국 기준의 배관 단열 시 최대 열손실/획득 기준값

- 영국의 BS 5422는 유효복사계수, 단열재의 열전도율, 관내온도 등에 따라 단열 두께를 달리 규정하고 있으며, 관지름별로 허용 가능한 최대 열손실 값을 정해두고 이 기준을 근거로 단열재 생산 업체에서 제품 종류와 특성, 사용목적 등에 맞는 두께 기준을 계산해서 제공함

Outside diameter of steel pipe on which insulation thickness has been based	Low emissivity surface finish ($\epsilon = 0.05$)																											
	Low temperature heating services ($\leq 95^\circ\text{C}$)								Medium temperature heating services ($96^\circ\text{C} - 120^\circ\text{C}$)								High temperature heating services ($121^\circ\text{C} - 150^\circ\text{C}$)											
	$t = 75$								$t = 100$								$t = 125$											
	$\lambda = 0.025$	$\lambda = 0.03$	$\lambda = 0.035$	$\lambda = 0.04$	$\lambda = 0.045$	$\lambda = 0.05$	$\lambda = 0.055$	Max heat loss	$\lambda = 0.025$	$\lambda = 0.03$	$\lambda = 0.035$	$\lambda = 0.04$	$\lambda = 0.045$	$\lambda = 0.05$	$\lambda = 0.055$	Max heat loss	$\lambda = 0.025$	$\lambda = 0.03$	$\lambda = 0.035$	$\lambda = 0.04$	$\lambda = 0.045$	$\lambda = 0.05$	$\lambda = 0.055$	Max heat loss				
	(mm)	Thickness of insulation (mm)							(W/m)	Thickness of insulation (mm)							(W/m)	Thickness of insulation (mm)							(W/m)			
17.2	12	17	22	30	39	51	66	8.9	11	15	20	26	34	44	56	13.34	10	13	18	24	31	39	50	17.92				
21.3	14	20	26	35	46	59	75	9.28	14	18	25	32	42	54	69	13.56	12	17	22	29	38	48	61	18.32				
26.9	16	22	29	38	49	62	78	10.06	17	24	31	41	53	67	85	13.83	16	22	28	37	47	60	76	18.7				
33.7	18	24	31	40	51	64	79	11.07	21	28	37	48	62	78	98	14.39	20	27	36	46	59	74	93	19.02				
42.4	20	26	33	42	52	65	79	12.3	24	32	41	52	66	83	103	15.66	26	35	45	59	74	93	117	19.25				
48.3	21	27	35	44	55	67	82	12.94	25	33	42	53	67	83	102	16.67	28	37	48	61	77	97	120	20.17				
60.3	23	29	37	46	56	68	82	14.45	27	36	46	57	71	87	106	18.25	31	41	52	66	83	102	125	21.96				
76.1	24	31	39	48	58	70	83	16.35	30	39	49	60	74	89	107	20.42	34	45	57	71	88	107	129	24.21				
88.9	25	32	40	49	59	70	82	17.91	31	40	51	62	76	91	108	22.09	36	47	60	74	91	110	132	25.99				
114.3	27	34	42	51	61	71	83	20.77	34	43	54	65	79	93	110	25.31	40	51	64	79	96	115	136	29.32				
139.7	28	35	43	52	61	71	82	23.71	36	46	57	68	82	96	112	28.23	43	55	68	83	100	118	139	32.47				
168.3	29	37	44	53	62	72	82	26.89	38	48	59	70	83	98	113	31.61	46	58	71	86	103	121	141	36.04				
219.1	30	38	45	54	62	72	82	32.54	40	50	61	72	85	98	113	37.66	49	62	75	90	106	124	144	42.16				
273	31	38	46	54	62	71	80	38.83	42	52	63	74	87	100	114	43.72	52	64	78	93	109	127	145	48.48				

Key

t = water temperature; standardized assumption for calculation purposes ($^\circ\text{C}$)

λ = thermal conductivity at mean temperature of insulation (W/m · K)

ϵ = emissivity of outer surface of insulated system

NOTE 1 Insulation thicknesses in this table have been calculated according to BS EN ISO 12241:1998 using standardized assumptions: horizontal pipe in still air at 15°C at $t^\circ\text{C}$, emissivity of outer surface of insulated system as specified.

NOTE 2 Heat loss relates to the specified thickness and temperature.

NOTE 3 The thicknesses in this table are applicable to pipes serving commercial solar hot water panels.

Indicative thickness of insulation for non-domestic heating services to control heat loss—Low emissivity outer surfaces

Outside diameter of steel pipe on which insulation thickness has been based	High emissivity surface finish ($\epsilon = 0.9$)																											
	Low temperature heating services ($\leq 95^\circ\text{C}$)								Medium temperature heating services ($96^\circ\text{C} - 120^\circ\text{C}$)								High temperature heating services ($121^\circ\text{C} - 150^\circ\text{C}$)											
	$t = 75$								$t = 100$								$t = 125$											
	$\lambda = 0.025$	$\lambda = 0.03$	$\lambda = 0.035$	$\lambda = 0.04$	$\lambda = 0.045$	$\lambda = 0.05$	$\lambda = 0.055$	Max heat loss	$\lambda = 0.025$	$\lambda = 0.03$	$\lambda = 0.035$	$\lambda = 0.04$	$\lambda = 0.045$	$\lambda = 0.05$	$\lambda = 0.055$	Max heat loss	$\lambda = 0.025$	$\lambda = 0.03$	$\lambda = 0.035$	$\lambda = 0.04$	$\lambda = 0.045$	$\lambda = 0.05$	$\lambda = 0.055$	Max heat loss				
	(mm)	Thickness of insulation (mm)							(W/m)	Thickness of insulation (mm)							(W/m)	Thickness of insulation (mm)							(W/m)			
17.2	14	19	25	34	44	57	72	8.9	13	17	23	30	38	49	62	13.34	12	16	21	28	35	45	57	17.92				
21.3	16	22	30	39	50	64	81	9.28	16	21	28	36	47	60	75	13.56	15	20	26	33	42	54	67	18.32				
26.9	18	25	33	42	54	68	85	10.06	20	26	35	45	58	73	92	13.83	18	24	32	41	52	66	82	18.7				
33.7	20	27	35	44	56	69	85	11.07	23	31	41	53	67	84	106	14.39	23	30	39	51	64	81	100	19.02				
42.4	22	29	37	46	57	70	86	12.3	26	35	45	57	72	89	110	15.66	28	38	49	63	80	100	124	19.25				
48.3	23	30	39	48	60	73	88	12.94	27	36	46	58	72	89	109	16.67	30	40	52	66	83	103	127	20.17				
60.3	25	32	41	51	62	74	89	14.45	30	39	50	62	77	94	113	18.25	34	44	57	71	88	109	133	21.96				
76.1	27	35	43	53	64	76	90	16.35	32	42	53	65	80	96	115	20.42	37	48	61	76	94	114	137	24.21				
88.9	28	36	44	54	64	76	90	17.91	34	44	55	68	82	98	116	22.09	39	51	64	79	97	117	140	25.99				
114.3	30	38	47	56	66	78	91	20.77	37	47	58	71	85	100	118	25.31	43	55	69	85	102	122	144	29.32				
139.7	31	39	48	57	67	78	90	23.71	39	50	61	74	88	103	120	28.23	46	59	73	89	106	126	148	32.47				
168.3	33	40	49	58	68	79	90	26.89	41	52	64	76	90	105	122	31.61	49	62	76	92	109	129	150	36.04				
219.1	34	42	50	60	69	79	90	32.54	44	55	66	79	92	106	122	37.66	53	66	81	96	114	132	153	42.16				
273	35	43	51	60	69	79	89	38.83	46	57	68	81	94	108	123	43.72	56	69	84	100	117	135	155	48.48				

Key

t = water temperature; standardized assumption for calculation purposes ($^\circ\text{C}$)

λ = thermal conductivity at mean temperature of insulation (W/m · K)

ϵ = emissivity of outer surface of insulated system

NOTE 1 Insulation thicknesses in this table have been calculated according to BS EN ISO 12241:1998 using standardized assumptions: horizontal pipe in still air at 15°C at $t^\circ\text{C}$, emissivity of outer surface of insulated system as specified.

NOTE 2 Heat loss relates to the specified thickness and temperature.

NOTE 3 The thicknesses in this table are applicable to pipes serving commercial solar hot water panels.

Indicative thickness of insulation for non-domestic heating services to control heat loss—Low emissivity outer surfaces

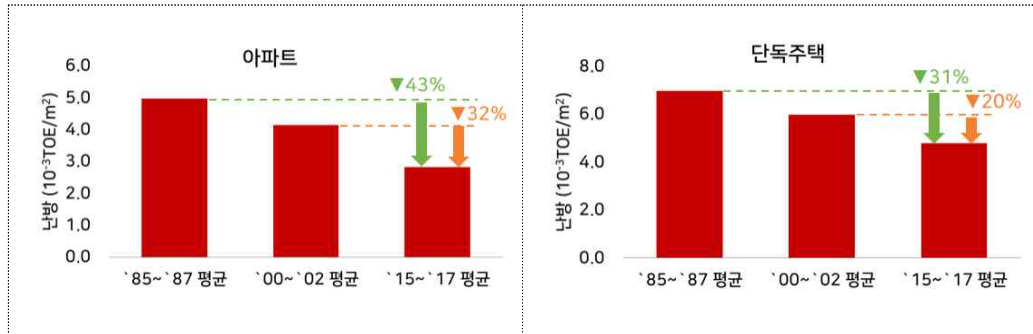
[그림 5] BS 5422(2009)의 배관 단열기준 예

2.2.2 배관 단열 관련 제로에너지건축물 인증제도 검토

1) 개요

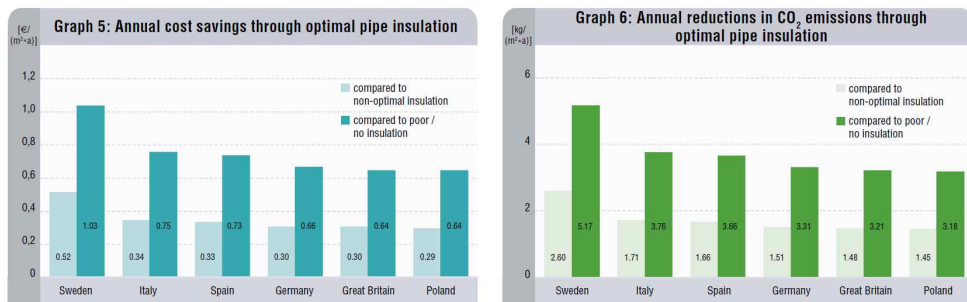
- 건축물의 탄소저감형 제로 에너지 달성 계획은 2013년 녹색건축물 조성 지원법 시행 이후 제1차 기본계획의 추진 기간(2014~2018)에 이어 2019년 제2차 녹색건축물 기본계획(2020~2040)을 수립하여 제로에너지건축물 의무화 및 녹색건축물 시장 활성화 전략을 추진 중임
- 제로에너지건축물은 2020년부터 1천㎡ 이상 공공건축물을 시작으로 2030년까지 단계적 의무화 추진 예정
 - 2016년에 수립된 기존 제로에너지건축 의무화 로드맵은 2020년에 중소규모 건축물(5백~3천㎡)부터 적용할 계획이었으나 추가공사비 부담 여력이 큰 중대형 건축물(1천㎡ 이상)부터 적용하는 것으로 로드맵이 수정됨
 - 2025년부터 공공건축물은 5백㎡ 이상, 민간 건축물은 1천㎡ 이상, 공동주택의 경우 30세대 이상은 모두 의무화 대상
 - 2030년에는 5백㎡ 이상 모든 건축물을 대상으로 의무화가 전면 시행
- 실제 단열 강화 등 지속적인 건물에너지 저감 정책으로 인해 난방에너지 사용량은 30년 전 사용승인('85~'87년)된 주거건물 대비 최근('15~'17년) 사용승인된 건물을 비교한 결과, 아파트는

43%, 단독주택은 31% 저감된 것으로 나타남



[그림 6] 아파트 및 단독주택 준공시기별 단위면적당 난방에너지사용량 비교

- 이와 같이 건축물의 단열과 현재 제로에너지 건축 기술은 선진국 대비 단열재는 90% 수준이며, '건축물의 에너지절약설계기준'은 2016년 7월부터 기존 대비 25% 이상 단열 기준 강화, 2018년 9월부터 주거 및 비주거 부분 단열 기준을 패시브 건축물 수준으로 강화되어 적용하고 있음
- 그러나 현재 건축물 수준에서 2030년 제로에너지 목표 달성을 위해서는 기존의 외피 중심의 단열계획 외에 신재생에너지와 같은 액티브 기술의 도입 측면, 또한 기계설비적 측면에서 기기의 효율 향상 및 건물의 배관을 통한 공급 손실 측면에서의 고려가 필요함
- 특히 배관 및 덕트의 단열성능 향상과 관련된 보온기준을 규정한 건축기계설비공사 표준시방서는 2002년 개정 이후 현재까지 약 18년간 동일한 기준이 적용되어 왔으며, 최근에서야 개정되어 공고 예정임
- 특히 배관 및 덕트의 단열은 다음과 같은 연구결과에서 알 수 있듯이 냉난방시스템에서의 설비에너지효율을 향상시킬 수 있음
- Armacell 사 기술자료에 의하면, 배관의 단열재 성능을 향상시키는 것만으로도 단열재를 최적화하지 않았을 경우와 최적화 한 경우 에너지 비용과 탄소배출량을 50% 이상 저감할 수 있다고 함



[그림 7] 배관 단열 두께 최적화에 따른 비용 및 탄소배출 저감량 비교

- 박동식 외연구에 따르면 공동주택의 난방배관에서 손실되는 열량은 난방온수가 40℃일 경우 연간 6%가 손실되는 것으로 분석되었고, 난방온수의 온도가 5℃씩 높아 질 경우 손실열량 값이 1%씩 증가한다고 함
- Anti Hamburg 외 연구에 따르면 에스토니아 지역의 오래된 아파트의 난방이 되지 않는 지하실(13℃)에 설치된 배관의 열손실량은 배관에 단열을 하지 않은 경우 전체 전달 에너지의 최대 22%에서 단열을 하는 경우 최대 9%로 줄일 수 있다고 함
- 이와 같이 2030년 건축물의 제로에너지화를 대비하기 위해서는 기존의 패시브, 액티브 기술의 적용뿐만 아니라 기계설비의 성능 및 이용효율 향상도 고려되어야 함
- 따라서 본 연구는 국내외 제로에너지건축물 인증제도의 배관 단열에 대한 항목 및 기준 검토를 통해 앞으로의 개선 방향을 도출하고자 함

2) 국내외 제로에너지 건축물 인증제도 검토

(1) 국내

- 정부는 에너지 절감을 위해 2020년까지 건물부문 온실가스의 배출전망치(BAU) 대비 26.9%까지 저감 목표치를 발표하였으며, 이를 위한 여러 가지 정책을 추진 중임
- 2020년부터 온실가스 감축, 미세먼지 저감 등 기후변화 문제에 대응하기 위하여 제로에너지건축 의무화가 단계적으로 시행됨([그림 8] 참조)



[그림 8] 제로에너지건축 의무화를 위한 단계적 확산

- 이에 따라, 국내에서는 건축물의 효율적인 에너지 관리, 환경 보존 목적 건축물, 에너지 저소비 등 기준을 만족하는 건축물 인증제도를 시행하고 있음(<표 5> 참조)

<표 5> 국내 건축물 인증제도 - 1

구분	건축물의 에너지절약 설계기준_EPI	에너지 절약형 친환경 주택의 건설 기준
인증마크	X	X
발행 기관	국토교통부, 환경부	국토교통부
인증대상	건축허가를 신청하거나 용도변경 허가신청 또는 신고하는 건축물 건축물대장 기재내용의 변경을 신청하는 건축물	주택법상 사업계획승인 대상
인증 의무대상	연면적 500㎡ 이상 모든 건축물	30세대 이상 공동주택 50세대 이상 도시형생활주택 300세대 이상 주상복합아파트
평가항목	건축, 기계, 전기, 신재생 평점 합계 65점 이상 (공공기관 74점)	총 에너지 사용량 CO2 절감률
평가 목적	건축물의 효율적인 에너지 관리를 위해, 열 손실 방지 등 에너지절약 설계에 관한 기준, 에너지절약계획서 및 설계 검토서 작성 기준, 녹색건축물의 건축을 활성화하기 위한 건축기준 완화에 관한 사항 등을 정함을 목적으로 함.	「주택건설기준 등에 관한 규정」 제64조 및 국토교통부 고시 「에너지절약형 친환경주택의 건설기준」에 의거하여 에너지 절약형 친환경 주택의 건설유도 및 촉진
배관 단열 기준	「건축물의 에너지절약설계기준」 제8조제2호에 의한 열원 및 반송설비 조건을 따름 - 배관 보온두께 지정	에너지절약형 친환경주택의 건설기준, 제7조 3항-2-나 「건축물의 에너지절약설계기준」 제8조제2호에 의한 열원 및 반송설비 조건을 따름 - 배관 보온두께 지정

<표 6> 국내 건축물 인증제도 - 2

구분	녹색건축인증 (G-Seed)	건축물 에너지 효율 등급		제로에너지빌딩 (ZEB)					
인증마크									
발행 기관	국토교통부, 환경부	국토교통부		국토교통부, 산업통상자원부					
인증대상	* 신축 사용승인 또는 사용검사를 받은 후 3년 이내의 모든 건축물 * 기존 공동주택, 업무용 건축물	녹색건축물 조성 지원법 제 12조 제 1항에 따른 건축물 中 *실내 냉난방 온도 설정 조건을 만족하는 건축물 (연면적 1/2) 이상 *냉방 또는 난방 면적이 500㎡ 이상인 건축물 *신축 재축 증축하는 건축물(연면적 3000㎡이상)		* 시장형, 준시장형 공기업의 교육연구시설, 업무시 * 준시장형 공기업의 신축, 별도 증축 건축물 (2018년) * 공공기관 연면적 10,000㎡ 이상(공동주택, 오피스텔 제외) BEMS 의무					
인증 의무대상	공공기관발주 연면적 3000㎡ 이상 건축물	<table><tr><td rowspan="2">공공기관</td><td>연면적 3000㎡ 이상 신축 및 별도 증축 공동주택 / 오피스텔</td></tr><tr><td></td></tr><tr><td>시장 · 준시장 공기업</td><td>연면적 3000㎡ 이상 신축 및 별도 증축</td></tr></table>	공공기관	연면적 3000㎡ 이상 신축 및 별도 증축 공동주택 / 오피스텔		시장 · 준시장 공기업	연면적 3000㎡ 이상 신축 및 별도 증축	인증 요건 에너지 효율등급 1++ 이상 에너지 자립률 20% 이상 3. 건물 에너지 관리 시스템	
공공기관	연면적 3000㎡ 이상 신축 및 별도 증축 공동주택 / 오피스텔								
시장 · 준시장 공기업	연면적 3000㎡ 이상 신축 및 별도 증축								
평가항목	토지이용 및 교통 에너지 및 환경오염 재료 및 자원 물 순환 관리 유지 관리 생태환경 실내환경 주택 성능분야	1차 에너지 소요량 (냉방/난방/급탕/조명/환기 에너지 소요량) 단위세대 환기회수		ECO-2를 이용한 단위면적당 1차 에너지 소요량 건축물 에너지 효율등급 [1차 에너지 소요량 (냉방/난방/급탕/조명/환기 에너지 소요량)] 에너지 자립률 BEMS 또는 원격 검침 전자식 계량기 설치 유무					
평가 목적	기존대지의 환경 및 생태학적 가치를 평가하여 환경적으로 가치 있는 토지자원을 보호.	건축물의 설계 및 시공단계에서부터 에너지 효율적 설계를 채택, 원천적으로 에너지를 저소비하는 에너지 절약형 건물보급		건물의 손실되는 에너지량을 최소화, 신재생에너지로 에너지 소비를 최소화 하는 건물 에너지 효율 등급 1++ 등급 이상의 건물에서 에너지 자립률 산출을 통한 등급 부여					
배관 단열 기준	X	X		X					

- 건축물 에너지 절약 설계기준, 에너지 절약형 친환경 주택 건설기준의 경우 배관 단열에 대한 기준이 명시(<표 5> 참조)되어 있으나, 녹색건축인증, 건축물 에너지효율등급 인증시스템, 제로에너지빌딩 인증 기준 내에서는 배관 단열재 두께에 대한 기준은 명시되어 있지 않음(<표 6> 참조)
 - 국내 제로에너지 건축물 인증제도는 국토교통부, 환경부, 산업통상자원부에서 발행
 - 에너지절약 설계기준 EPI, 친환경 주택 건설기준, 녹색건축인증(G-Seed), 건축물 에너지 효율 등급 인증시스템, 제로에너지빌딩(ZEB) 으로 총 다섯 가지의 제도가 존재
 - 그 중 EPI 와 에너지 절약형 친환경 주택의 건설기준에서만 배관 단열에 대한 기준을 제시하고 있음
- 건축물 에너지 절약 설계기준인 EPI는 건축허가 신청 및 용도변경 허가를 신청 또는 신고하는 건축물과 건축물대장 기재 내용의 변경을 신청하는 건축물에 대해 인증을 진행하고 있음
 - 연면적 500㎡ 이상 모든 건축물을 대상으로 하며, 평가항목은 건축, 기계, 전기, 신재생으로

합계 평점 65점 이상이 되어야 함

- 「건축물의 에너지절약설계기준」 제8조 제2호에 의한 열원 및 반송설비 조건에 따라 건축기계 설비 표준시방서 기준의 20% 이상의 단열재를 적용하도록 배관 보온두께에 대한 기준도 제시
- 에너지 절약형 친환경 주택의 건설기준에서는 주택법상 사업계획승인 대상에 대하여 인증을 진행하며, 공동주택은 30세대 이상, 도시형생활주택은 50세대 이상, 주상복합아파트는 300세대 이상을 인증 의무대상으로 지정함
- 평가항목은 에너지사용량 중 CO₂의 절감률을 평가하며, 에너지 절약형 친환경 주택의 건설을 목적으로 함
- 또한, 에너지절약형 친환경주택 건설기준, 제7조 3항-2-나 및 「건축물의 에너지절약설계기준」 제8조 제2호에 의한 열원 및 반송설비 조건에 따라 배관 단열 두께에 대한 기준 제시
- 제로에너지 건축물 인증제도에는 에너지해석 시뮬레이션인 ECO2를 이용한 평가방법이 있음
- ECO2는 ISO 13790 과 DIN V 18599 을 기준으로 개발되어, 건축물 에너지효율등급 인증시스템, 제로 에너지빌딩 등급 평가 시 사용되고 있음
- 하지만 ECO2에서는 [그림 9]와 같이 배관 길이는 지정할 수 있으나 배관 단열재 두께 및 종류를 지정할 수 없어 국내 배관 단열 기준에 적합한지 확인할 수 없음

[그림 9] 건물 에너지 평가 프로그램 ECO2 난방 및 급탕 설정화면

(2) 국외

- 해외 친환경 건축물 인증제도는 대표적으로 미국 LEED, 영국 BREEAM 등이 있음. 해외의 인증 제도에서도 국내 인증제도와 마찬가지로 배관의 단열부분에 대한 상세한 내용은 포함하고 있지 않으며, 건축물의 에너지적인 측면에서 포괄적으로 접근하도록 하고 있음
- 영국 BREEAM의 경우 건물 환경 영향을 기초로 종합적인 건물 평가 시스템이며, 건물 에너지 효율 및 탄소 배출 고려와 더불어 건물로 인해 발생하는 에너지 최소화 등도 함께 고려함. 총 10개의 항목으로 분류하여 평가해 점수에 따라 Outstanding, Excellent, Very Good, Good, Pass 등급으로 인증 등급을 분류함.
- 에너지 절약 성능 향상 기술의 일부분으로 배관의 단열 필요성에 대해 Technical Manual을 통해 소개하고 새로운 친환경적이면서 열성능을 갖춘 단열 재료를 사용하도록 하고 있음

<표 7> BREEAM 요구사항

Materials : Insulation	
Pre-requisite	Any new insulation specified for use within the following building elements must be assessed: 1. External walls 2. Ground floor 3. Roof 4. Building services

- LEED의 경우 국제적으로 가장 많이 통용되고 있는 친환경 건축물 인증 제도로 5가지 분야로 나뉘어 총 72가지 세부 항목으로 분류하여 평가를 진행함. LEED에서는 BREEAM과 같이 다음 표와 같이 신축 건물에 대한 LEED BD+C에서는 별도의 배관 단열 기준에 대한 항목을 명시적으로 포함하고 있지 않음. 그러나 에너지 성능 향상을 위해 기계설비 부분의 단열도 필요한 부분으로 설명하고 있음

<표 8> LEED v4.1의 건물 설계 및 건설(LEED BD+C)

LEED Credit	LEED Requirement
Energy and Atmosphere (EA)	
Prerequisite 2: Minimum Energy Performance	10% performance improvement for new buildings or 5% better performance for renovated existing buildings , with baseline building performance rating calculated per method in Appendix G of ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007 for whole building simulation.
Credit 1: Optimize Energy Performance (1-19 points)	Improve building performance rating compared with the baseline building performance rating, calculated per Appendix G of ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007 a whole project simulation model, with points awarded per energy cost savings in LEED table.
Credit 1.3: Optimize Energy Performance (HVAC) (5-10 points)	

- 그러나 LEED Residential BD+C의 Energy and Atmosphere (EA)의 “Efficient hot water distribution system” 항목에서는 <표 9>와 같이 배관의 단열에 대한 내용을 포함하고 있음. 온수의 분배 시스템에 R-4 이상의 단열재를 사용하도록 하고 있음. 또한 <표 10>에서 배관의 사이즈 별로 적정한 길이를 제안하고 있음

<표 9> LEED v4.1의 주거 설계 및 건설(LEED Residential)

LEED Credit	LEED Requirement
Energy and Atmosphere (EA)	
Efficient hot water distribution system	
Option 1. Efficient Hot Water Distribution (1 point)	Design and install an energy-efficient hot water distribution system, based on either maximum pipe length requirements (Path 1) or maximum pipe volume limits (Path 2). The source of hot water is assumed to be a water heater, boiler, circulation loop piping, or electric heat-traced piping. Multiple water heaters and multiple distribution systems may be used to comply with this credit. All heat traced piping must be insulated.
Option 3. Pipe Insulation (1 point)	Install at least R-4 insulation on all domestic hot water piping, including subslab pipes. Insulation on all piping elbows and tees must adequately insulate changes in direction. Run buried piping in a slab or below grade through a protective, waterproof raceway, channel, sleeve, or path whose internal dimensions and changes of direction are large enough that the piping and insulation can be removed and replaced without damaging the piping's dimensional integrity

<표 10> LEED v4.1 Residential DB+C의 최대 배관 길이

Nominal pipe size (mm)	Maximum pipe or tube length	
	Hot water source is a water heater or boiler with no circulation loop or heat traced pipe or in multifamily buildings a central circulation loop or heat traced pipe (meters)	Hot water source is a circulation loop or heat traced pipe serving a single unit or house (meters)
6	15	5
8	15	5
9	15	5
13	13	5
16	10	4
19	6	2
22	5	2
25	4	2
32	2	1
38	2	1
50 ≤	1	0.3

- 또한 ASHRAE Green Guideline 또한 건축물 에너지, 이산화탄소 배출량, 그린빌딩 평가체제와 기준, 수자원, 플랜트, 보일러 설계에 관한 전반적인 가이드라인을 포함함. ASHRAE Green Guideline의 건물 에너지관리 시스템 도입을 통해 최적 제어 시 전체 에너지 절감량이 77%에 도달할 수 있다고 조사됨
- 영국 SAP&SAP 80+ initiative의 경우 주택 및 업무용 건물의 에너지 절약을 목적으로 시행하였으며, 본 제도의 시행으로 주택 자재, 고단열 창호, 에너지 절약 설비기기 등의 기술 개발이 유도되었음
- 이에 따른 배관 단열과 관련된 해외 기준으로 국제 에너지 절약 코드(IECC, International Energy Conservation Code)에서 에너지 효율적 건물 설계를 위한 기준 중 하나로 배관 단열재의 열관류율 및 단열 두께를 규정
- 또한 해외 기준 중 하나인 ASHRAE Standard 90.1은 2007년 기준에서 신규 기준으로 개정되어 기존 기준보다 건물 에너지 사용을 30% 줄이도록 개정되었으며 건물에너지 사용량 30% 저감 방안 중 하나로 배관과 덕트의 단열 두께 증가 항목이 포함
- 그러나 국내 건축기계설비공사 표준시방서 기준은 2002년 개정 후 개정 사항이 없으며 현행 기

<표 11> ASHRAE Standard 90.1 배관 단열 기준 변경 사항

Fluid Operating temperature Range(℃) and Usage	Insulation Conductivity		Nominal Pipe or Tube Size(mm)									
	Conductivity (W/m ℃)	Mean Rating Tempe rature (℃)	≤25		25 to <40		40 to <100		100 to <200		≥200	
			Insulation Thickness(mm)									
			'07	'13	'07	'13	'07	'13	'07	'13	'07	'13
>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

2.2.3 배관단열 실태조사

1) 국내 배관단열 시공 실태조사

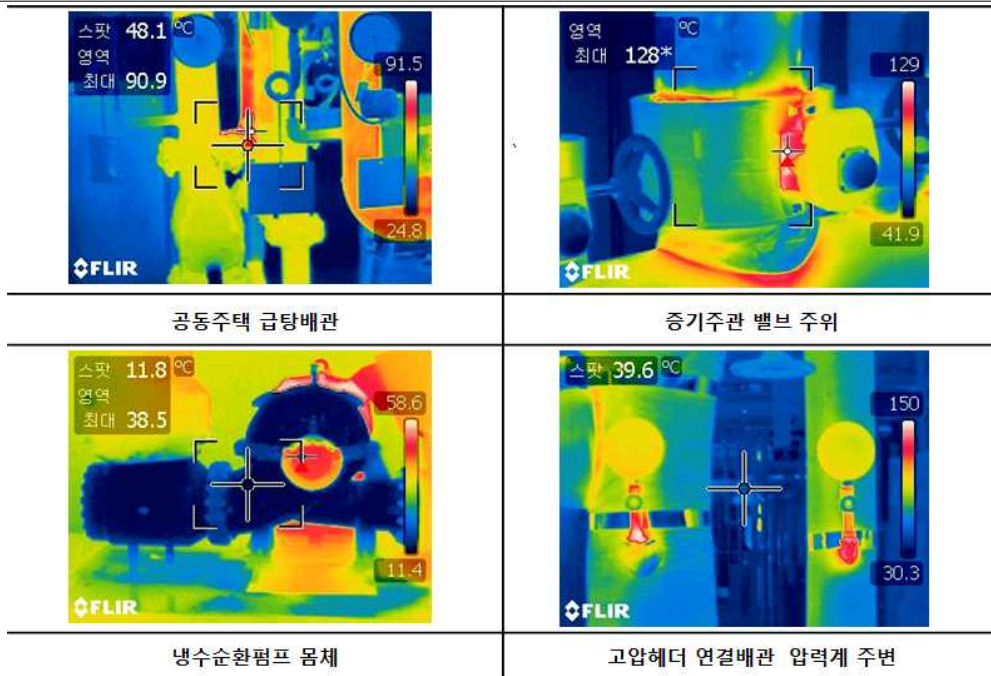
- 기계설비배관 보온재 중 보온통 형상을 가진 것을 대상으로 보온 주재료, 보온 마감재료, 열매 종류와 사용온도, 보온재 표면온도, 보온 유지상태 등을 조사
- 조사 기간이 하절기인 관계로 냉방배관을 주 대상으로 하였고, 일부 온열을 공급하고 있는 경우에 대하여 난방배관에 대해 조사 수행하였으며, 열손실이 많은 난방배관의 경우 동절기 현장 재방문 및 추가 조사함

<표 12> 조사 대상 현장

구분	내용
소재지	서울 및 수도권
조사 기간	2019. 07. 08 ~ 07. 30
대상 건물	준공 후 2년~25년, 총 14개 현장
건물 종별	공동주택, 사무실, 학교, 병원, 복합건물

			
주증기 밸브 연결배관	냉수주관 서포트 부위 배관	냉온수헤더 자켓보온	냉수펌프밸브 자켓보온
			
급탕열교환기 연결배관	냉동기 연결배관	공동주택 공동구 난방관보온 훼손	옥외배관 자켓보온

[그림 10] 현장 조사



[그림 11] 열화상 측정으로 통한 열손실량 파악

○ 현장조사를 통한 기존 건물의 배관단열 현황을 정리하면 다음과 같음

<표 13> 기존 건축물의 배관단열 현황

구분		내용
배관 보온 재료	증 기 관	- 100℃ 이상 고온으로 무기질 유리솜 보온통 사용
	냉온수관	- 2000년도 초까지는 무기질 유리솜 보온통을 사용 - 2000년도 중반 이후 유리솜 보온통, 고무발포 보온재, 폴리에틸렌폼 보온재 등을 혼용하여 사용
	급수급탕관	- 일반적으로 냉온수관 보온재와 동일한 재료 사용
	보온외장재	- 기계실과 기준층에 대한 보온외장재는 다양한 재료 사용 - 기계실의 경우 함석 자켓이나 매직테이프를 사용한 현장이 있으나, 많은 현장에서는 저렴한 PVC 테이프 사용 - 고무발포의 경우 별도의 외장재를 사용하지 않음 - 기준층 은폐 부분에는 대부분 저렴한 PVC 테이프 사용
밸브, 플랜지류 보온재료		- 밸브나 플랜지의 보온재료는 배관과 동일한 것을 사용하고 있으며 공장 성형제품을 사용한 현장은 없음 - 밸브와 플랜지의 보온 외장재는 대부분 기계실 외장재와 같은 재료 사용

<표 14> 기존 건축물의 배관단열 문제점 파악

구분	내용
결로 발생	- 하절기 냉수를 사용하는 경우, 냉수관 표면이 노점온도 이하로 내려감에 따라 배관표면에 결로 현상이 나타난 현장이 있음 - 결로가 주로 발생하는 부위는 배관 재료가 금속인 밸브핸들 부위, 핸들기어 부분, 온도계 또는 압력계 등의 배관 접속부위, 팬코일 유닛이 연결되는 배관 부위 등이며, 보온재 연결부위, 서포트부분, 일부 배관 내부에서도 발생 - 배관부분 이외에 냉수순환펌프를 보온하지 않은 경우 결로 발생이 심함
시공성	- 유리솜의 경우 시공자들이 가루분진으로 인한 따가움 등으로 기피하는 경향이 높음에 따라 분진 발생이 없는 유기질 보온재를 선호하는 경향이 커지고 있음
시효 경과	- 유기질의 경우 시공년도가 오래지 않아 시효경화에 따른 문제점은 나타나지 않음
노후 훼손	- 보온재 자체의 노후 또는 경화현상은 거의 없으나, 보온마감재의 훼손은 장시간 경과에 따른 유지관리 훼손과 재질 노후발생

2) 에너지 절감을 위한 배관 시공 방안

(1) 개요

- 건축물 내에 설치되어 있는 기계설비 시스템은 열에너지를 열원장치로부터 배관망을 통하여 열이 필요한 장치나 장소로 이송하고 있음. 이때 배관 내에는 고온과 저온의 유체인 증기, 온수, 냉수, 급탕 등이 흐르고 있어 배관내의 유체와 배관 주위와 열전달이 일어나 에너지 손실이 발생함. 이때 배관의 열손실을 줄이기 위하여 배관 외부에는 단열재를 시공하여 열저항을 증가시켜 열전달률이 낮게 되도록 함. 또한 단열재 외부에는 단열재의 기능과 외관상의 보완을 위하여 마감재로 시공함
- 기계설비 배관공사에서 시행되는 배관 단열공사는 배관 내에 흐르는 열매 조건에 따라 두께와 시공방법이 다르게 됨. 열매는 온도 조건에 따라 100℃를 넘는 증기나 중온수, 60℃~100℃ 범주인 온수나 급탕수가 있으며 하절기 냉방을 위한 10℃ 전후의 저온수가 있음. 또한 배관 계통에는 직관부 이외에 부속류와 밸브류 등이 부착되어 있어 다양한 형태의 보온 시공을 요구하게 됨. 따라서 열매 조건, 시공 조건에 따라 보온재의 종류와 시공 방법을 고려하여야 함
- 배관 계통에서 발생하는 에너지 손실이 일반적으로 인식하고 있는 15% 정도의 손실량이 실제로 더 높게 발생하고 있는 것을 실제 사례 연구를 통하여 확인할 수 있음. 또한 시공 후 장시간이 경과하였을 때 노화 상태와 관리 상태에 따라 단열 성능에 영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 실태조사를 통하여 문제점을 파악하고 향후 시공단계에서 고려하여야 할 기준을 제시함으로 배관에서 손실되는 에너지를 최대한 줄일 수 있도록 하고자 함

(2) 기존 시공방법 조사결과와 문제점

(2-1) 보온재

가. 개요

- 건축물 내에 시공되어 있는 배관 보온의 기존 시공방법의 문제점을 파악하기 위하여 준공 후 5년이 경과한 건물을 대상으로 조사함. 조사 대상 건물은 건물의 다양성에 따른 결과를 보기 위하여 사무용, 병원, 공동주택, 학교 등으로 함. 대상 건물 수는 총 16개 현장으로 사용 열매의 종류, 열매의 사용온도, 배관 주위 온습도, 사용보온재의 종류와 두께, 보온마감 시공방법, 보온재 표면온도, 밸브류의 보온방법, 냉수관 결로 발생 유무, 보온유지상태 등에 대하여 조사. 또한 관리자와의 면담을 통하여 현장 개선 사항과 보온 시공 상의 문제점에 대하여 의견을 알아보았음
- 보온재의 열적 성능 즉 에너지 손실과 가장 밀접한 것은 열전도율, 흡수성, 투습성임. 보온재와 보온외장재의 내구성을 파악하기 위하여 시공된 재료의 경화상태나 변형 상태를 확인

나. 보온재 사용재료 특성

- 조사결과 현장에서 주로 사용되는 보온재는 글라스 울, 고무발포와 발포폴리에틸렌 단열재이며 준공시기에 따라 사용 단열재의 종류 변화가 있음. 주로 사용된 단열재의 특성을 살펴보면 아래와 같음

① 글라스 울 단열재

- 인조광물섬유 단열재인 글라스 울은 유리 또는 유리질을 주성분으로 하는 물질을 용융하고 섬유화한 후 열경화성 유기결합제인 페놀수지를 이용하여 결합시킨 것으로 섬유의 굵기가 12 μ m이하 평균 7 μ m 정도의 것임. 보온 단열성이 우수하고 내화성, 흡음성 등이 우수함. 밀도는 24K~120K 범위로 생산되며 밀도 48K일 때 평균온도 20℃ 기준일 때 열전도율 0.034 W/(m·K)이하임. 단기 흡수성은 ISO 29767에 따라 시험 1.0 kg/m²이하이며 장기흡수성은 ISO 16535에 따라 시험 3.0 kg/m²이하임

② 발포 폴리에틸렌 단열재

- 폴리에틸렌 수지를 발포제를 이용하여 독립기포 구조로 발포시킨 것으로 가교품과 무가교품이 있음. 가교품은 신장력, 탄성력, 가공성이 우수하나 재생이 불가능하며 최고사용온도가 120℃이고 단열성능이 무가교에 비하여 우수함. 무가교품은 재생이 가능하나 최고사용온도가 70℃이하로 난연성이 없음
- 열전도율은 섭씨 23도 기준에서 0.043 W/(m·K)이하이며, 흡수량은 0.01 g/100 cm² 이하이고 투습계수는 25 mm 당 10 ng/m²·s·Pa이하임. 1종은 난연성이 없으며 2종은 연소성이 HF-1임

③ 고무발포 단열재

- 천연고무나 또는 합성고무 또는 이 두 가지 성분과 열가소성 수지 또는 열경화성 수지 가소제, 노화방지제, 발포충량제, 난연제 그리고 다양한 첨가제들을 성분으로 발포된 연질 독립기포 구조를 갖는 단열재료. 고무발포 단열재에 많이 쓰이는 합성고무는 니트릴 부타디엔의 공중합체인 NBR(Nitrile Butadiene Rubber)과 에틸렌 프로필렌 디엔의 3원 중합체인 EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer) 등이 있으며 NBR은 비교적 가공성이 우수하므로 수요자 요구에 부응하기 쉬운 장점과 내유성이 있고, EPDM은 가황속도는 늦으나 내열성이 좋음
- 1종은 사용온도 -184~105℃, 열전도율 0.035 W/(m·K)이하이며, 2종은 사용온도 -184~150℃로서 열전도율 0.040 W/(m·K)이하. 수증기 투습계수는 1종이 6 ng/m²·s·Pa이하, 2종은 10 ng/m²·s·Pa이하이며 흡수량은 1 g/100 cm²이하. 난연성으로 산소지수에 의한 연소거동의 측정에서 산소지수 LOI 28이상임
- 주로 사용하고 있는 보온재는 유리솜, 고무발포, 발포폴리에틸렌임. 준공시점을 기준으로 2005년도 전후 이전에는 증기, 온냉수, 급탕배관의 보온재로 유리솜 보온통이 주류를 이루었으나 그 이후에는 열매온도가 100℃ 이상인 증기나 중온수 배관을 제외하고 냉온수와 급탕 배관용 보온재는 고무발포 보온재, 발포폴리에틸렌폼 보온재 등으로 바뀌어 가고 있음

다. 보온재료 사용현황

- 조사 대상 현장의 배관 보온재의 종류별 사용 현황은 <표 15>와 같으나 조사 대상 건물의 준공연도가 2005년 이전 건물이 약 40% 정도인 점을 고려할 때 냉온수와 급탕관의 경우 거의 고무발포나 폴리에틸렌폼 보온재를 사용하는 것으로 파악됨. 하지만 증기관의 경우에는 고온의 내열성을 가지고 있어야 하므로 무기질의 유리솜 보온통을 계속 사용하는 것으로 파악됨

<표 15> 보온재 종류별 사용 현황

대상 배관	유리솜		고무발포		발포폴리에틸렌		계
	현장수	비율(%)	현장수	비율(%)	현장수	비율(%)	
증기관	6	100	0	0	0	0	100
냉온수관	7	54	3	23	3	23	100
급탕관	6	40	4	27	5	33	100

- 배관보온재의 사용두께 현황은 <표 16>과 같음. 유리솜 보온재를 사용한 현장의 경우 대부분 개정 전인 2016년도표준시방서의 기준과 같은 두께로 시공하였으나 증기관의 경우 과반의 현장은 기준에 미달되는 40 mm로 시공되었음
- 고무발포 보온재의 경우 개정 전 표준시방서는 온수용 32 mm, 냉수용 19 mm 기준이나 대부분 기준에 미달되는 25 mm 또는 20 mm 두께로 시공되었으며, 급탕관의 경우도 개정 전 표준시방서는 32 mm이나 50%는 20 mm로 시공하여 기준에 미달됨을 알 수 있음
- 발포폴리에틸렌 보온재의 경우, 개정 전 표준시방서는 온수용 40 mm, 냉수용 40 mm 기준이나 대부분 기준에 미달되는 20 mm 두께로 시공되었으며, 급탕관의 경우도 개정 전 표준시방서는 40 mm이나 대부분 20 mm로 시공하여 기준에 미달됨을 알 수 있음

<표 16> 배관보온재 사용 두께 현황(관지름 50mm 기준)

대상 배관	보온 두께 (mm)	유리솜		고무발포		발포폴리에틸렌		재료 두께별 비율
		현장수	비율(%)	현장수	비율(%)	현장수	비율(%)	
증기관	50	3	16	0		0		50
	40	3	16	0		0		50
	40	7	36	0		0		54
냉온수관	25	0		1	14.5	0		8
	20	0		2	28.5	3	38	38
	40	6	32	0		0		40
급탕관	32	0		2	28.5	0		13
	20	0		2	28.5	5	62	47

라. 문제점

① 단열두께와 마감

- 조사 사례에서와 같이 90℃이하의 열매를 사용하는 급탕, 온수, 냉수 배관의 단열재로 고무발포나 발포폴리에틸렌을 사용하는 경향이 높아지고 있음. 이때 보온재의 두께 결정 시 2016년도 표준시방서 기준보다 얇은 제품을 사용하는 경향이 높은 것을 볼 수 있음. 이는 제품의 열전도율 값을 기준으로 하여 보온 두께를 결정하여야 하나 제조업체의 안내 기준에 따라 사용하는 경향이 높은 것으로 보임. 이에 기계설비 기술기준 별표 10 보온설비에서는 사용하고자 하는 보온재료의 열전도율 기준으로 두께를 정하도록 하였음
- 또한 사용재료 선택 시 사용위치와 용도를 고려하고 표준시방서 상의 보온재의 화재안전 성능시험, 내화시험, 연소성능시험 및 가스 유해성시험 기준에 적합한 재질을 선택하여야 함

② 결로

- 냉수배관인 경우 주위온도와 습도가 높고 배관 내 유체의 온도가 노점온도보다 낮은 경우 결로 현상이 일어나는 경우가 많이 있음. 특히 플랜지나 밸브류, 순환펌프 등과 같이 연결 부분에서 결로 현상이 많이 일어나고 있음. 결로 현상은 유리솜 보온재와 같이 투습현상이 가능한 보온재일 경우 투습 차단 시공이 안 되어 있거나 시공불량인 경우 심하게 발생하였음. 이때 [그림 12]와 같이 응축수가 흘러나와 지지철물을 부식시키고 아래로 떨어짐. 이 경우 관리자는 이 부분에 대

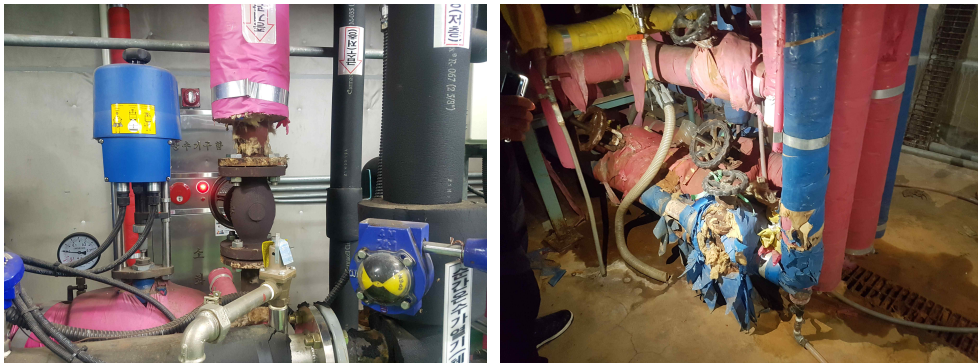
한 결로발생 방지를 위한 보강 단열을 하여야 하나, 원 시공상태로 방치하고 있는 경우가 많이 있음. 이로 인하여 장비나 배관의 부식을 촉진하여 수명을 줄이게 되고 에너지 손실이 발생하게 됨



[그림 12] 배관 외부 결로발생

③ 유지관리

- 보온의 목적은 외부와의 열전달을 최소화하는 것임. 이를 위하여 보온통을 이용하여 통 외부에 외장재로 시공하는 것이 일반적 임. 준공 후 유지관리 단계에서 보수나 점검을 위하여 보온의 일부분을 해체하는 경우가 발생할 수 있음. 이 경우 원상태로 복구를 진행하여야 하나 아래 [그림 13]과 같이 많은 경우 원상태 복구가 미흡한 실정임. 이는 유지관리업체나 유지관리자의 관리능력상의 문제로 보아야 할 것임. 관련 보수 교육 시 보온 훼손으로 인한 에너지 손실에 대한 개념을 특별히 인지시켜 주어야 함



[그림 13] 보온훼손 및 미시공 부위

(2-2) 외장재

가. 개요

- 보온외장재는 보온통 외부에서 형상을 유지하고 미관을 개선하며 보온 성능을 유지하기 위하여 사용. 외장재는 보온효율 및 보온재 사용연수를 결정하는 중요한 재료이므로 내후성, 내구성, 내열성, 내식성, 내마모성, 내산성, 내알칼리성, 내용제성, 모양, 시공장소와의 적합성, 안전성, 시공성 등을 고려하여 결정
- 외장재는 기계적, 화학적, 열적 및 습한 상태 조건과 비용 및 외관 요건에 기초하여 사용. 단순히 미관을 위한 마감재로서 뿐 아니라 단열의 효율성과 기능을 위하여 습기 유입과 방사에 의한 표면 열전달 저감, 기계적, 화학적 손상으로부터 보호하는 것도 고려하여야 함

나. 외장재의 종류

- 외장재의 종류를 보면 금속판, 알루미늄 가공시트, 성형 PVC 커버, 외장용 테이프로 크게 구분할 수 있음. 금속판에는 아연도철판이나 알루미늄판, 스테인리스강판 등이 이용되며, 알루미늄 가공

시트는 알루미늄박에 그래프트지 및 유리섬유 보강 PE필름을 맞붙인 것을 사용. 성형 PVC커버는 엘보와 같은 부속의 형상대로 성형하여 시공할 수 있는 것임. 외장용 테이프는 면포, 유리직물, 알루미늄유리직물, 방식용 폴리염화비닐테이프 일명 매직테이프, PE계열의 폴리마테이프를 사용. 보조재료로 아스팔트펄트, 원지 폴리에틸렌필름, 정형용 원지, 알루미늄박판점착테이프 등이 있으며 용도에 따라 선택하여 사용

다. 외장재 사용현황

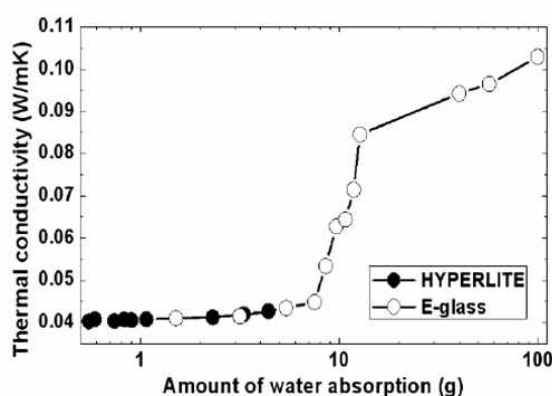
- 조사현장에서 사용한 보온외장재의 종류는 은폐 부위와 기계실 이외부분에서는 PVC 테프, 매직 테프로 <표 17>과 같음. 가장 많이 사용되고 있는 외장재는 폴리마테프로 73% 정도임. 이때 실내 기계실 등 노출공간에서 고온의 증기배관과 같은 경우 유리섬 보온재를 사용할 때 밸브류 등에는 함석자켓을 이용하는 경우가 있으나 많은 경우 배관보온 외장재와 같은 재료로 마감 시공하는 경우가 많았음. 특히 근래에 고무발포보온재를 사용하는 경우 외장재 없이 고무발포 재료 그대로 마감없이 시공하는 경우가 많이 있음
- 옥외 노출 공간에서의 외장재는 함석자켓이나 알루미늄 자켓 방식을 많이 이용하고 있음. 발포폴리에틸렌폼 보온재의 경우에는 보온통 외부에 PVC테이프를 사용한 경우가 많았음

<표 17> 보온외장재의 사용 현황

대상 배관	매직테이프		폴리마테프		외장재 없음 또는 은박		계
	현장수	비율(%)	현장수	비율(%)	현장수	비율(%)	
증기관	1	17	5	83	0	0	
냉온수관	1	8	9	69	3	23	
급탕관	0	0	11	73	4	27	

라. 문제점

- 외장재는 대기로부터 단열재료의 수증기 통과를 차단하거나 지연시키도록 설계 시공되어야 함. 투습성의 영향으로 10년 정도 경과 후 열전도율의 변화가 글라스울의 경우 67% 정도, 고무발포는 37% 정도, 폴리에틸렌폼은 42% 정도 증가한다는 연구 보고도 있음. [그림 14]와 같이 흡수량이 증가하면 보온재의 열전도율은 급격히 증가하는 것으로 나타남. 이에 단열재의 투습방지가 단열성능에 중요한 과제임을 알 수 있음



[그림 14] 보온재의 흡수율과 전도율

- 적절한 조인트 밀봉은 시스템의 장기적 품질과 기능에 중요. 외장재 선택 시 앞의 사항을 고려하여야 하나 대부분 이를 간과하는 경우가 많음. 특히 냉수배관의 경우 결로방지를 위하여 외부로부터의 습공기가 침투하지 못하도록 기밀시공을 하여야 하나 <표 17>과 같이 유리섬 보온재와 폴리마테프로 시공하는 경우 투습의 방지는 어려운 형편임. 또한 발포폴리에틸렌과 폴리마테이프를 이용하는 경우에도 이음부분에 대한 점착테이프 시공을 누락하는 경우가 많아 투습방지는 어려운 형편임. 점착테이프의 점착성능 내구성이 짧은 경우 기밀성능이 떨어지게 됨. 보온재의 끝

단부분에서의 기밀성과 냉수관이 긴 경우에는 길이방향으로의 투습의 전달을 저감시키기 위하여 습증기차단(vapor stop) 기능을 갖추어야 할 것으로 보임

- 이를 위하여 기계설비법 제16조에 따른 기계설비 유지관리기준에 보온설비의 유지관리 내용을 신설하고 <표 18>과 같이 외관, 운전, 안전, 성능으로 점검 항목을 분류하여 기계설비법 제19조에 따라 선임되는 기계설비 유지관리자로 하여금 관리하도록 하였음(2021년 입법)

<표 18> 보온설비 점검

점검항목	점검방법	점검내용	비 고
외관	일상점검	열선외면의 피복상태, 파워킷, 엔트킷 등 상태, 배관, 덕트 외면의 보온재 훼손, 오염 상태, 배관보온, 덕트보온, 보온, 밸브류 보온, 열선 및 패널 보온 상태, 노후, 파손, 틈새 이격 등 상태	
	성능점검	탱크, 장비류 및 밸브류 보온 마감 상태, 보온의 단열 및 결로상태, 계량기 및 배관 주변의 보온상태, 소음챔버, 덕트 내·외부 등 소음재의 부착상태	
운전	일상점검	열선의 동작상태, 용도별 보온성능, 운전시 덕트, 배관 등 보온재 이상 여부	
	성능점검	마감재의 난연성 등 화재안전, 열선 운전시 온도에 의한 제어상태 여부	
안전	일상점검	열선 및 패널 단열성능, 열선 온도에 따른 과열 시 과열 방지 동작 여부, 계량기 주변 등 동파방지 보온상태	
	성능점검	동파방지 성능등과 마감재의 화재안전, 보온 마감재(불연, 난연재)의 화재 안전 상태	
성능	일상점검	열선의 온도에 따른 동작, 과열, 경보 상태	
	성능점검	열선의 피복상태 전원 누전 전압, 전류 등 상태, 보온재 용도에 따른 성능상태(보온, 보랭, 결로, 단열)	

(2-3) 보온재 전열특성 실험

가. 대상 배관

- 대상 배관은 증기관과 온수관으로 함. 증기관은 서울 소재 주상복합 건물에서 난방용으로 이용되고 있는 기존 난방배관 중에서 고압증기관인 강관 $\varnothing 100$ 를 대상으로 선정. 선정된 배관에서 1 m 정도 기존 보온재를 해체하고 새로운 보온재를 두께별로 시공한 후 실험
- 저온수관은 실험장치를 구성하여 스테인리스강관 $\varnothing 60$ 을 대상으로 함

나. 실험방법

- 실험장치는 [그림 15]와 같이 각형의 온수저장탱크에 온도조절장치가 부착된 전기히터를 설치하여 온수온도를 일정하게 생성하도록 함. 온수저장탱크와 온수해더를 통하여 호칭지름 60 mm인 스테인리스관 2열을 연결하고 각 배관에는 유량을 확인하기 위한 순간유량계와 삼입식 온도계를 설치

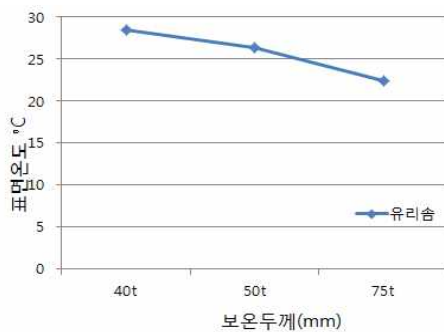


[그림 15] 온수배관 장치

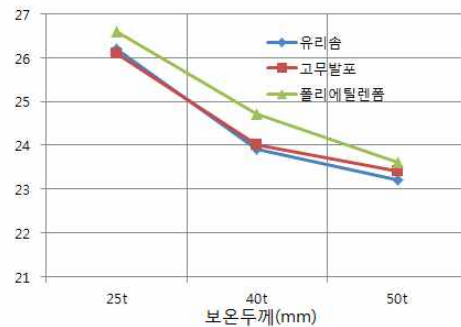
- 배관재의 표면, 보온재의 표면, 온수저장탱크의 온수, 실내의 온도를 측정하기 위한 열전대를 설치하고 데이터로거를 이용하여 측정자료를 수집. 배관재와 보온통 외부에는 원주방향 90도 간격으로 2개의 열전대, 길이방향으로 2개소 총 4개소를 설치함
- 실험 조건은 고압증기관인 경우 실내온도 10℃, 증기온도 120℃인 상태에서 유리솜 보온재의 두께를 40t, 50t, 75t로 하였음. 저온수관은 실내온도 10℃, 온수온도 75℃인 상태에서 보온재료를 유리솜, 고무발포, 폴리에틸렌 폼으로 바꾸어가고 각 보온재별로 두께 25t, 40t, 50t인 경우로 함

다. 실험결과

- 증기관의 경우 [그림 16]과 같이 보온통 외부의 표면온도가 단열두께 40t인 경우 28℃, 50t의 경우 26℃, 75t의 경우 22.5℃를 나타냄. 온수관의 경우에는 [그림 17]과 같이 보온외부의 표면온도가 보온 재료별로 큰 차이가 있는 것을 볼 수 있음. 유리솜과 고무발포의 경우에는 재료의 열전도율이 비슷하므로 표면온도도 비슷한 경향을 나타냄



[그림 16] 증기배관 표면온도



[그림 17] 온수배관 표면온도

- 두께 25t의 경우 26.2℃, 40t의 경우 24℃, 50t의 경우 23.3℃ 정도를 나타내고 있으며 단열두께가 2배인 경우가 2.9℃ 정도 낮음을 볼 수 있음. 폴리에틸렌폼의 경우 25t의 경우 26.7℃, 40t의 경우 24.8℃, 50t의 경우 23.6℃를 나타내고 있으며 단열두께가 2배인 경우가 3.1℃ 정도 낮음을 볼 수 있음
- 재료의 열전도율이 높은 폴리에틸렌폼의 경우 고무발포나 유리솜 보온재보다 높은 표면온도를 나타내 외부로의 열손실이 크게 될 것임을 알 수 있음. 내부온도 차이에 따른 보온재 표면온도 차이를 비교해 보기 위하여 증기관과 온수관을 비교하여 보면 온도차이가 45℃로서 유리솜인 단열두께 40t의 경우 표면온도는 4℃ 정도의 차이가 남을 알 수 있음. 따라서 고온인 경우 단열두께가 배관 열손실에 큰 영향을 미침을 알 수 있음

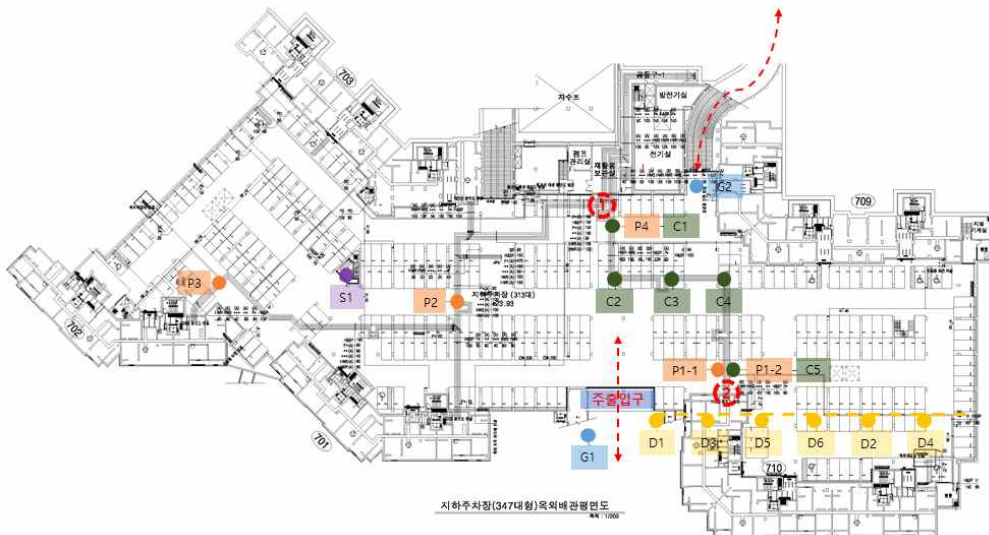
2.2.4 국내 배관단열 설치 환경 조사

1) 현장 측정

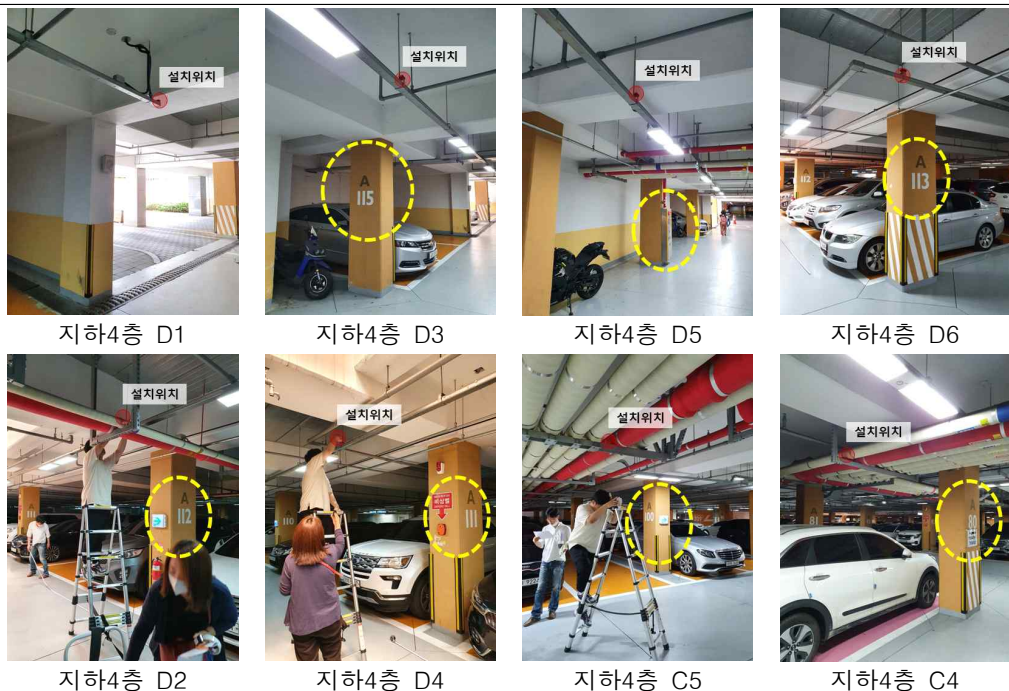
- 공동주택에서의 현황을 파악하기 위해 LH공동주택을 대상으로 지하주차장, 기계실, 실외공간의 온습도 측정 진행
- 배관 단열과 관련된 KCS 기준은 공간에 설치된 배관 위주로 규정하여 주위온도 30℃를 기준으로 함. 지하주차장, 공동구 공간 등 배관이 외기에 직간접적으로 노출되어 시공되는 공간에 대해서는 고려되지 않음. 공동주택 지하주차장을 대상으로 온습도를 측정·비교함
- 측정지점은 다음과 같음: 주출입구를 기준으로 외부(G1), 주출입구에서 20m(P1), 40m(P2, 주출입구 측면/C1, 주출입구 정면), 80m(P3), 계단실(S1, 외부로 수직 연결), 램프 초입(G2)

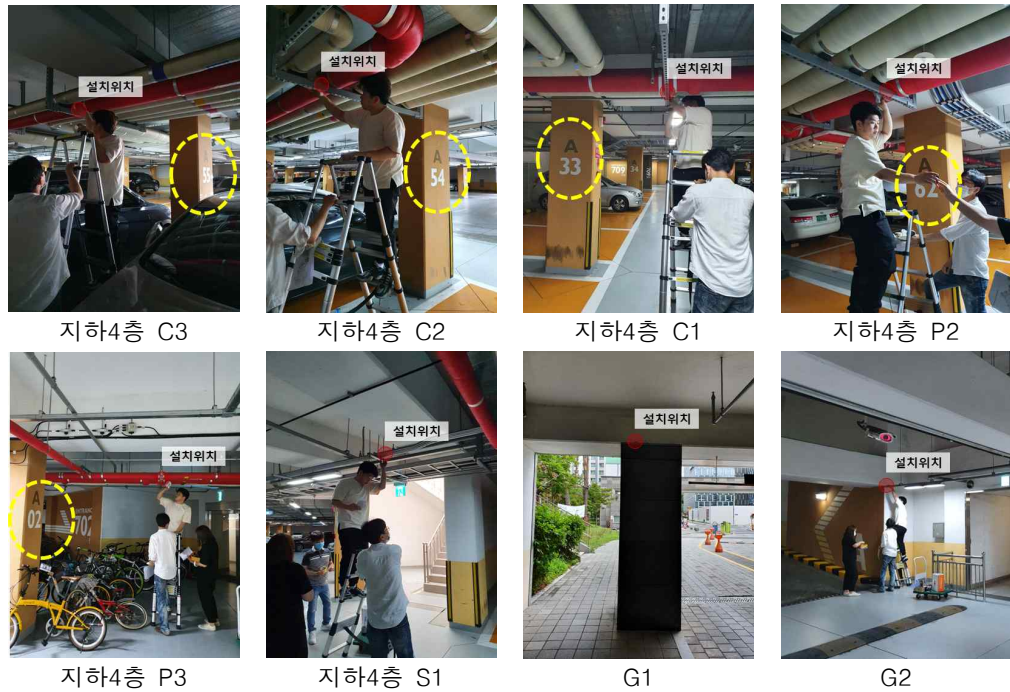
<표 19> 공동주택 측정개요

구분	내용
측정장소	서울 LH공동주택
측정기간	하절기, 동절기 (2020.07.24. 측정 시작)
사용기기	testo 174H
측정위치	실내외 28지점



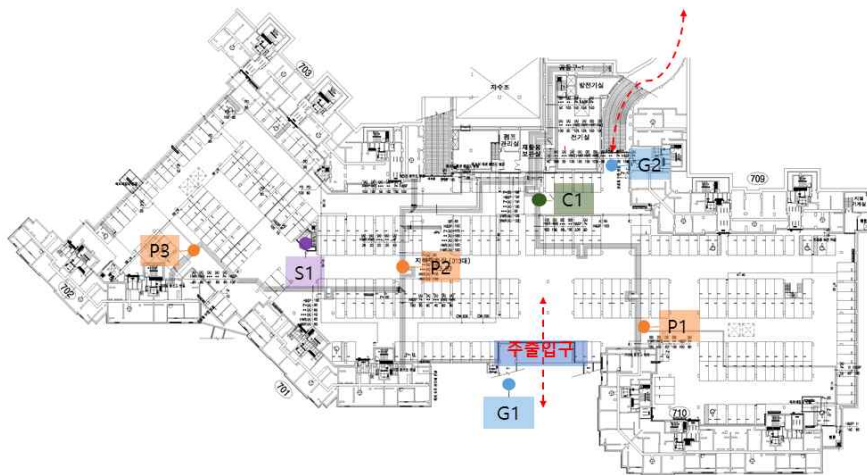
지하주차장(347대형) 옥외배관평면도 및 측정위치



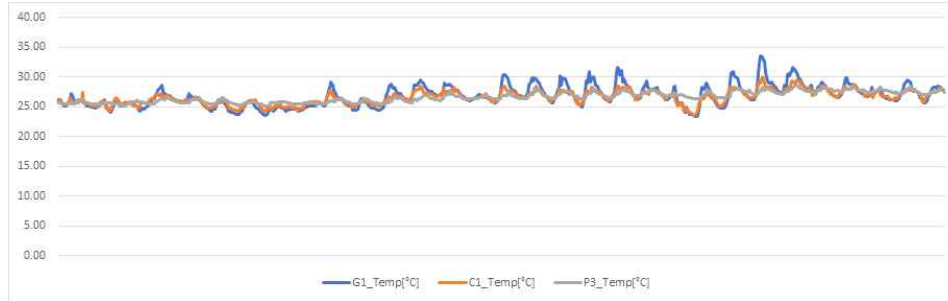


(1) 지하주차장 배관 주위온도 비교

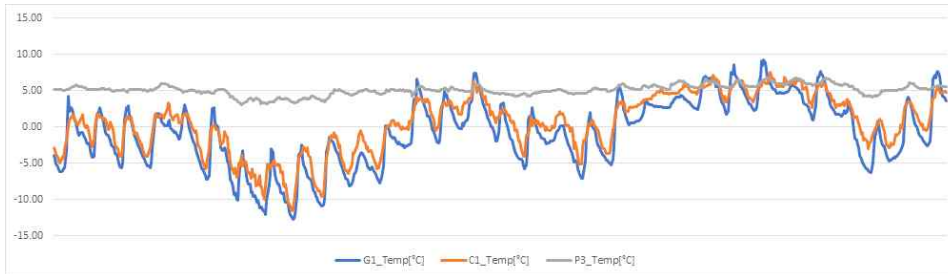
○ 측정된 온습도 값은 <표 20>과 같음. 동일한 배관이 지나가는 공간에서 외부와 직접 면하거나 간접 면하는 것에 따라 주위 온도의 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있음. 주출입구와 가장 먼 곳에 위치하며 간접 면하는 측정위치 P3의 경우 최저기온이 3.1℃인데 반해 주출입구와 40m의 거리에 위치해도 정면으로 직접 외기가 통하는 위치의 C1의 최저기온은 -11.5℃로 14.6℃와 차이가 발생함



[그림 18] 지하주차장 온습도 측정위치



여름철(8월) 기온 비교



겨울철(1월) 기온 비교

G1: 외부기온
C1: 외기에 직접 면하는 위치
P3: 외기에 간접 면하는 위치

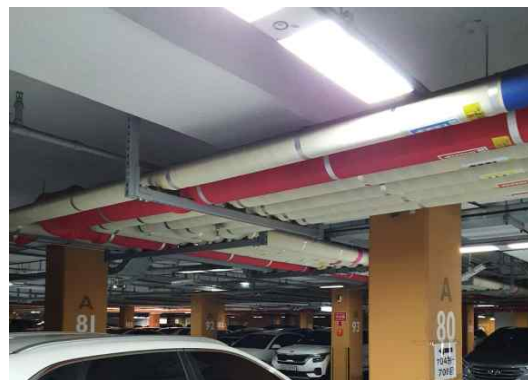
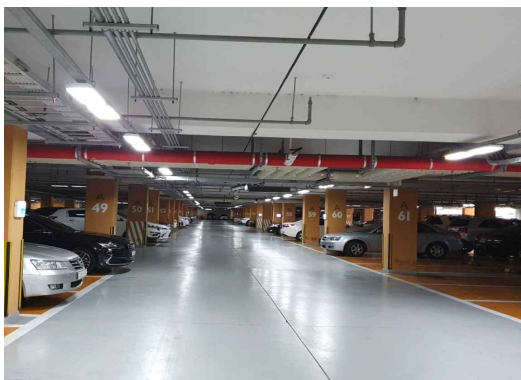
[그림 19] 계절별 지하주차장 내 측정 위치에 따른 기온 비교

<표 20> 지하주차장 온습도 측정값

측정값		G1	G2	P1	P2	P3	C1	S1
온도, °C	최소	-12.7	-12	0.1	1.9	3.1	-11.5	-1
	최대	33.6	28.8	29.1	30.5	28.6	30.1	29.8
	평균	13.1	13.1	16.6	16.3	16.6	13.6	16.1
습도, %RH	최소	14.8	17.6	14.2	14.2	15.4	17.9	16.7
	최대	99.9	99.7	95.4	97.5	98.9	99.9	99.2
	평균	64	61.3	51.2	52.1	52.9	59.5	53.9

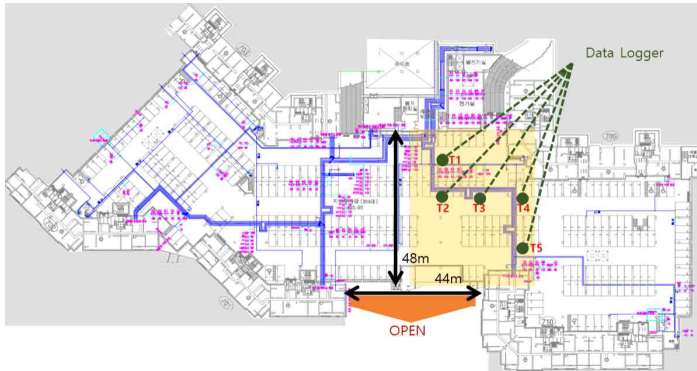
(2) 외부 노출 배관의 겨울철 주위온도 비교

- 지역난방을 이용한 중앙난방공급 방식으로 난방수는 기계실에서 지하주차장 천장에 수평으로 설치된 난방배관을 통해 각 주동으로 공급되며, [그림 20]과 같이 지하주차장은 별도의 단열조치가 없이 배관이 천장에 그대로 노출된 형태임



[그림 20] 강남구 A 아파트 지하주차장 배관 설치 사진

- 측정대상 아파트의 경우, [그림 21]과 같이 경사지에 시공된 단지로 지하 1층 주차장의 일부가 외부에 개방된 형태로 외부 기온에 직접적인 영향을 받음. 지하주차장의 입구로부터의 깊이는 약 48m이며, 외부로 개방된 길이는 약 44m임



[그림 21] 지하 1층 주차장 평면도

<표 21> 측정대상 개요

위치	서울시 강남구
측정기간	2020.12.01.~2021.1.31.
측정대상	배관 주변 기온
측정장비	Testo 174H
측정지점 수	5 지점(T1~T5)
측정간격	1시간

- <표 21>과 같이 지하주차장 천장에 설치된 난방 배관의 주변에 5대의 온도계(T1~T5)를 설치하고 2020년 12월 1일부터 2021년 1월 31일까지 겨울철 온도를 측정함
- 온도계의 설치 위치는 주차장 입구에서 가장 가까워 외기에 직접적으로 영향을 받을 것으로 보이는 배관을 선정함
- 지하주차장에 설치된 배관온도를 측정한 결과, <표 22>와 같이 측정기간동안 각 측정지점의 평균 기온은 3.1℃(평균 외기온 1.5℃보다 1.6℃ 상향) 배관 주변 최저기온은 -8.1℃(외기온 -10.8℃)로 나타남

<표 22> 측정결과

구분	지하주차장 내부 측정결과						외기 측정결과	내외부 온도차
	T1	T2	T3	T4	T5	지점 평균		
측정데이터수	1488	1488	1488	1488	1488	-	1488	
평균기온(℃)	1.9	1.9	1.5	3.4	6.6	3.1	1.5	1.6
최저기온(℃)	-11.5	-12.0	-11.6	-5.7	0.1	-8.1	-10.8	2.7
최고기온(℃)	8.4	8.6	8.5	9.4	11.1	9.2	12.6	-3.4

- 최고기온은 배관 주변이 9.2℃로 외기온 12.6℃보다 3.4℃ 낮게 나타남. 특히, 지하주차장 내부의 일부 외부에 개방된 부분을 제외하고 지반 아래 있어 외기온보다 온도변화폭이 작은 것으로 나타남
- 그러나 가장 바깥쪽의 T5는 6.6℃, 안쪽 T1은 1.9℃로 바깥쪽 측정점일수록 평균 온도는 상승하였는데, 이는 바깥쪽일수록 낮시간 동안 일사 및 상대적으로 높은 온도의 외부 공기 유입으로 인해 안쪽보다 높은 것으로 판단됨
- 따라서 겨울철 지하주차장 배관온도 측정결과를 종합하면 배관온도는 3.1℃로 평균 외기온도와 거의 유사한 수준을 보이고 있음
- 이 결과는 국내 표준시방서 기준에서 제시하는 주변온도 30℃ 이하 기준과 비교할 때 26.9℃의 차이가 발생하므로, 겨울철 외기에 노출된 배관의 경우 열손실량이 건물 내부의 파이프 샤프트 등에 설치되는 배관보다 증가할 수 있음

2) 배관 노출 공간의 온도 모니터링

- KCS 31 20 05:2018 보온공사의 보온두께 조건을 보면 온수관 등의 경우 주위온도 20℃, 냉수관 등의 경우 주위온도 30℃를 기준으로 하여 공간에 설치된 배관 위주로 규정하고 있으며, 지하주차장, 공동구 공간 등 배관이 외기에 직·간접적으로 노출되어 시공되는 공간에 대해서는 고려되

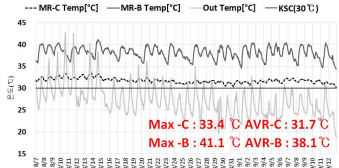
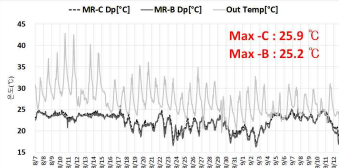
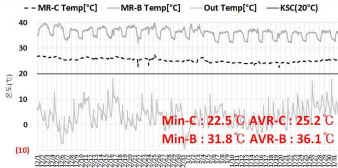
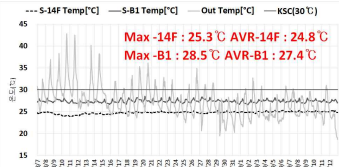
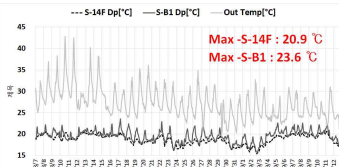
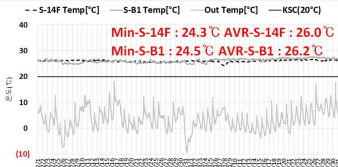
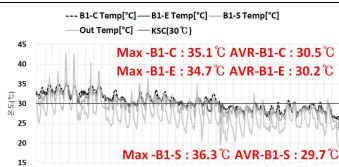
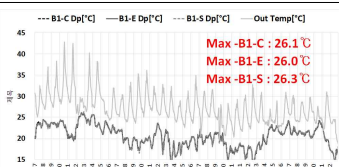
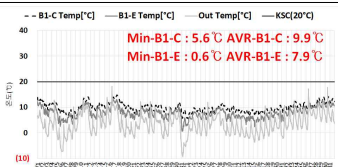
고 있지 않음

- 이러한 상황을 파악하기 위해 하절기(2019.08.~2019.09.), 동절기(2019.12.~2020.1.) 동안 서울의 C병원에서 배관이 노출된 기계실, 지하주차장, PS, 외부공간의 온습도를 측정 비교함

<표 23> C병원 측정개요

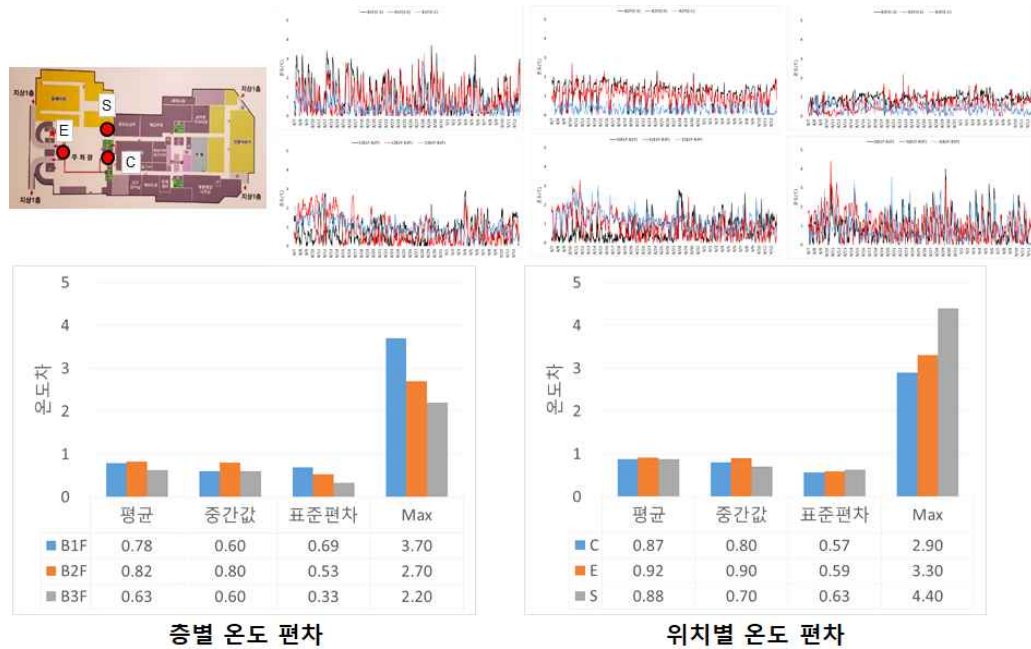
구분		내용	
측정장소		흑석동 C병원 건물	
측정기간		하절기 2019.08. ~ 2019.09. 동절기 2019.12. ~ 2020.01.	
사용기기		testo 174H	
측정위치		기계실 2/지하주차장 3/PS 2/실외공간 1	
			
외기		B1F-C(중앙)	B1F-E(입구)
			
MR-C (기계실 냉동기 옆)		MR-B (기계실 보일러 옆)	S-14F (14층 병동 샤프트)
			
		B1F-S(측벽)	
		S-B1F (지하층 샤프트)	

<표 24> 기계설비배관 설치공간 온습도 측정결과

구분	하절기		동절기
	실내온도, 외기온도 비교		실내온도, 외기온도 비교
기계실			
	Max -C : 33.4 °C AVR-C : 31.7 °C Max -B : 41.1 °C AVR-B : 38.1 °C	Max -C : 25.9 °C Max -B : 25.2 °C	Min -C : 22.5 °C AVR-C : 25.2 °C Min -B : 31.8 °C AVR-B : 36.1 °C
샤프트			
	Max -14F : 25.3 °C AVR-14F : 24.8 °C Max -B1 : 28.5 °C AVR-B1 : 27.4 °C	Max -S-14F : 20.9 °C Max -S-B1 : 23.6 °C	Min -S-14F : 24.3 °C AVR-S-14F : 26.0 °C Min -S-B1 : 24.5 °C AVR-S-B1 : 26.2 °C
주차장			
	Max -B1-C : 35.1 °C AVR-B1-C : 30.5 °C Max -B1-E : 34.7 °C AVR-B1-E : 30.2 °C Max -B1-S : 36.3 °C AVR-B1-S : 29.7 °C	Max -B1-C : 26.1 °C Max -B1-E : 26.0 °C Max -B1-S : 26.3 °C	Min -B1-C : 5.6 °C AVR-B1-C : 9.9 °C Min -B1-E : 0.6 °C AVR-B1-E : 7.9 °C

- 하절기 실내온도와 외기온도를 비교하면 기계실에서는 평균 38.1℃, 지하1층 주차장 중앙(B1F-C)에서 평균 30.5℃로 KCS 기준인 30℃보다 높게 나타남
- 동절기 실내온도와 외기온도를 비교하면 지하1층 주차장 출입구(B1F-E)에서 평균 7.9℃로 KCS 기준의 주위온도 20℃ 기준보다 낮게 나타남
- KCS 기준 조건으로 배관 단열두께 설계 시 기계실과 지하주차장 등의 배관에서 에너지 손실이

발생할 가능성이 높으므로 주위온도 및 상대습도를 고려한 배관 단열기준 개선이 필요함



[그림 22] 온도편차 분석

3) 배관단열 기준 성능 검증

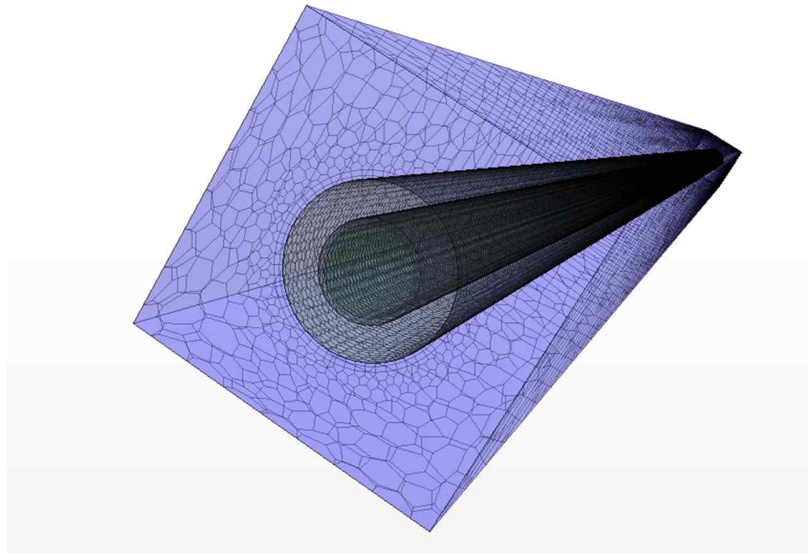
- 상기 옥외에 노출되는 배관을 대상으로 국내외 단열 두께 기준에 따른 배관의 열손실량 및 표면 온도 등을 CFD를 이용하여 분석
- 시뮬레이션에 사용한 프로그램은 STAR-CCM+ 14.04.011이며, 경계 조건 alc 시뮬레이션 CASE 그리고 해석 모델은 다음과 같음

<표 25> 시뮬레이션 경계조건

구분		입력조건
배관	길이 조건	10m
	규격	100A(외경 114.3mm)
	재질	stainless steel
적용 단열기준	국내	KCS 31 20 05 : 2016
	국외	ASHRAE 90.1 : 2013
온수	온도	75℃ / 105℃
	관내유속	2m/s (KDS 31 25 25 : 2016)
외기 (서울, 겨울철, 30년 평균)	최저기온	-5.9℃
난류모델		Realizable k-ε turbulence model

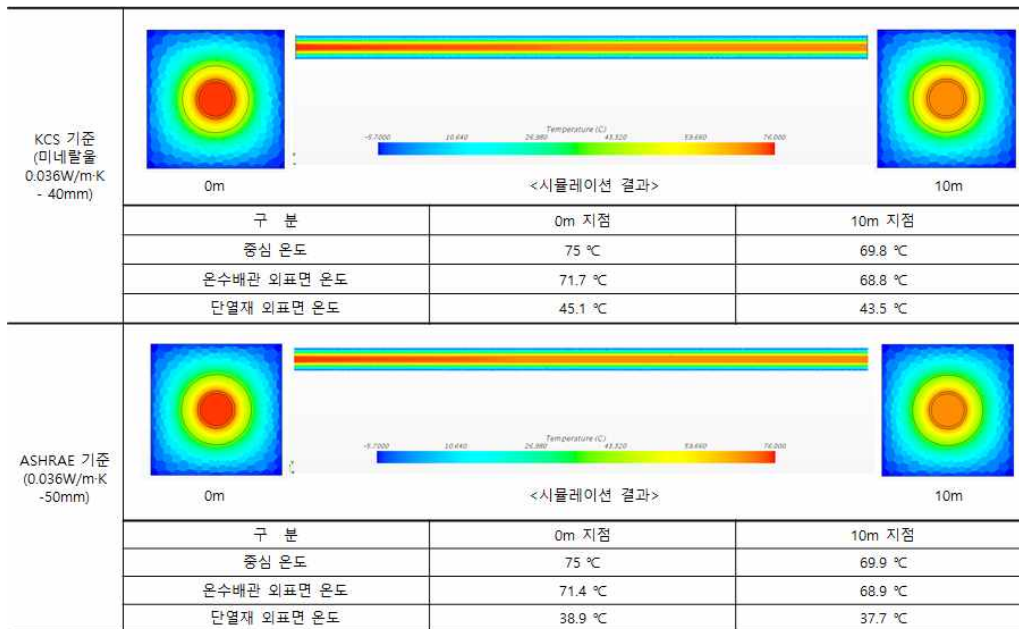
<표 26> 시뮬레이션 CASE

CASE	온수온도	적용 재료 기준		두께
CASE-1-1	저온(75℃)	KCS	미네랄울(0.036W/m·K)	40mm
CASE-1-2		ASHRAE	0.036W/m·K	50mm
CASE-2-1	중온(105℃)	KCS	미네랄울(0.036W/m·K)	50mm
CASE-2-2		ASHRAE	0.039W/m·K	80mm
CASE-3-1	고온(220℃)	KCS	미네랄울(0.036W/m·K)	75mm
CASE-3-2		ASHRAE	0.046W/m·K	125mm

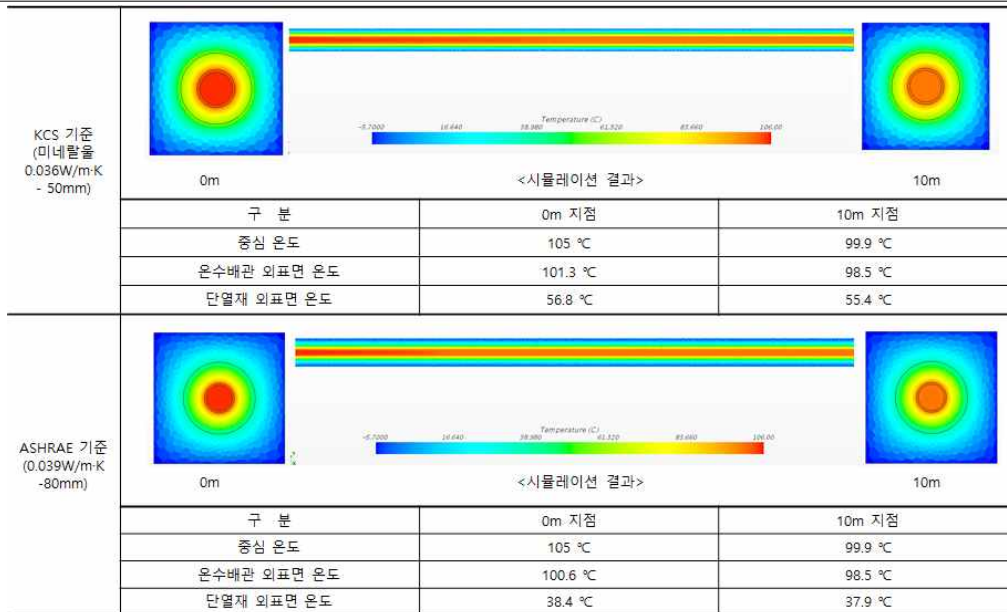


[그림 23] CFD 해석 모델

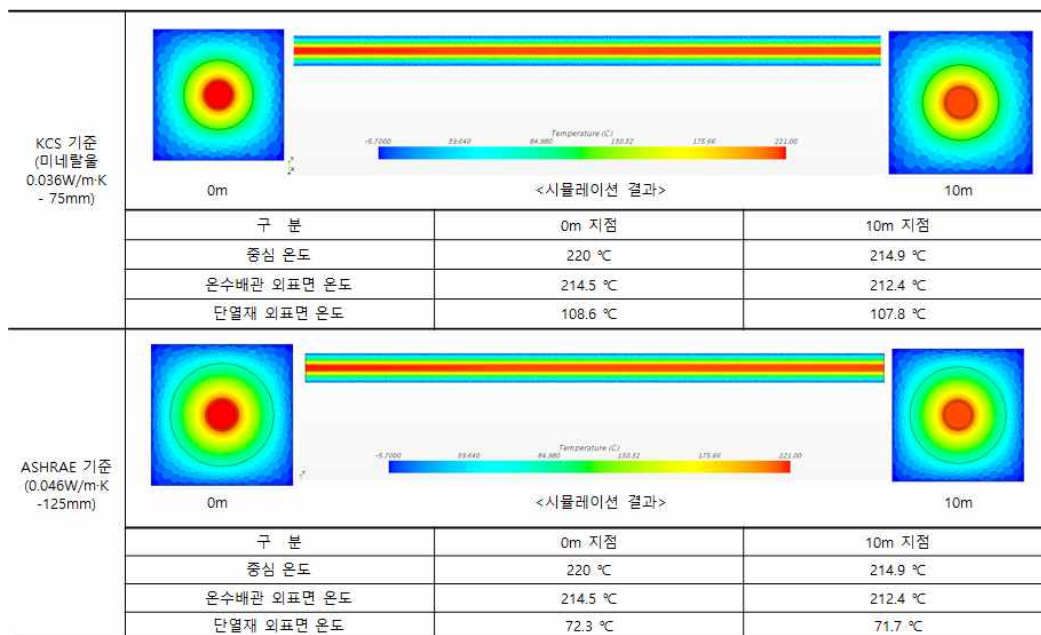
- 시뮬레이션 비교 결과, 국내의 단열재 두께 기준이 상대적으로 얇기 때문에 단열재표면온도 차이가 저온에서는 -5°C , 고온에서는 -36.1°C 까지 차이가 나는 것으로 나타났으며, 이에 따라 국내 기준이 미국 기준에 비해 표면온도가 높아 열손실이 더 클 것으로 판단됨



[그림 24] 시뮬레이션 결과 - 저온(75°C)



[그림 25] 시뮬레이션 결과 - 중온(105℃)



[그림 26] 시뮬레이션 결과 - 고온(220℃)

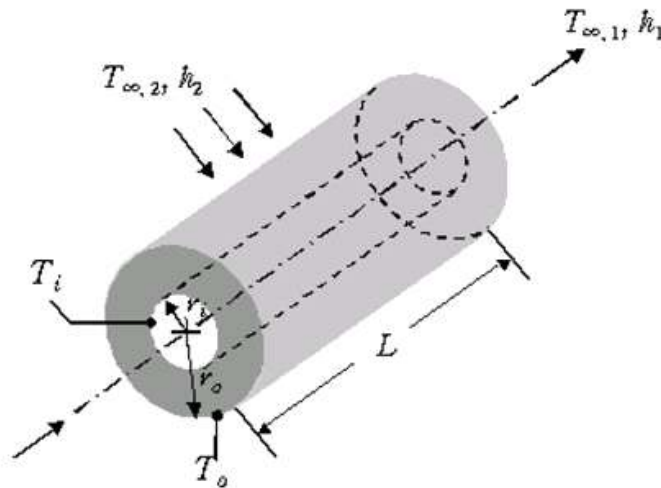
<표 27> 시뮬레이션 결과

구분	유입온수 설정온도 (℃)	적용기준	적용 단열재	적용 두께 (mm)	10m 지점 온도(℃)			비고
					중심	온수배관 표면	단열재 외표면	
저온 (61~90 ℃)	75	①KCS	미네랄울 보온통	40	69.8	68.8	43.5	0.036W/m·K
		②ASHRAE	0.036W/m·K	50	69.9	68.9	37.7	
		온도차(②-①)			0.1	0.1	-5.8	
중온 (90~120 ℃)	105	①KCS	미네랄울 보온통	50	99.9	98.5	55.4	0.036W/m·K
		②ASHRAE	0.039W/m·K	80	99.9	98.5	37.9	
		온도차(②-①)			0	0	-17.5	
고온 (220℃ 이상)	220	①KCS	미네랄울 보온통	75	214.9	212.4	107.8	0.036W/m·K
		②ASHRAE	0.046W/m·K	125	214.9	212.4	71.7	
		온도차(②-①)			0	0	-36.1	

2.2.5 기계설비배관 단열두께 계산 프로그램 개발

1) 배관단열 계산을 위한 원통전열 이론

- 배관 내 유체의 단열재를 통한 열출입은 배관 내부의 전도(Conduction)에 의한 열전달과 단열재 외피에서의 복사(Radiation) 및 대류(Convection)에 의한 열전달량이 같아지도록 계산하는 것이며, 이를 개념적으로 나타내면 다음 그림과 같음. 이는 KS F 2803 및 ASTM C 680의 원통전열식을 이용하여 계산할 수 있으며, 열전달량은 원통(배관)의 반지름과 내·외부 온도차를 이용하여 식 (1)로 계산할 수 있음



[그림 27] 원통전열 이론의 도식화

$$q_{\pi pe} = -k(2\pi rL) \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{2\pi kL(T_1 - T_s)}{\ln(r_s/r_i)} \quad (1)$$

- 식(1)에서는 배관표면온도 T_s 가 결정되어 있지 않으며, 단열재 중간에서 에너지 유출이 없기 때문에 각 단의 열전달 밀도와 보온재 계통 전체의 열전달 밀도는 동일하고 이러한 동일한 열전달 밀도를 보온재의 열전도율과 표면 복사/대류 열 전달율, 보온재 계통 전체에 대한 계산을 통해 배관표면온도 T_s 를 계산할 수 있음
- 원통전열에서는 보온재 중간에서 에너지 유출이 없기 때문에, 각 단(단열재가 여러 겹일 경우)의 열전달 밀도와 보온재 계통 전체의 열전달 밀도가 동일해야 함. 따라서 표면 복사/대류 열전달을

에 의한 저항(R_s), 단열재의 열전도율에 의한 저항(R_i) 그리고 보온재 계통 전체에 의한 저항(R_t)과 해당 지점의 온도차에 대한 열전달밀도를 함수로 표시하면 식(2)와 같고, 이 세 개의 저항에 의한 열전달 밀도($q_{ns} = q_{ni} = q_{nt}$)가 같아지는 경우에 배관표면온도 T_s 를 산출할 수 있음. 여기서 T_1 은 배관 내 유체온도, T_{amb} 는 주변온도이며, 설계자가 결정하는 값임

$$q_{ns} = \frac{(T_s - T_{amb})}{R_s}, \quad q_{ni} = \frac{(T_i - T_{i_o})}{R_i}, \quad q_{nt} = \frac{(T_1 - T_{amb})}{R_t} \quad (2)$$

여기서,

q_n : 열전달밀도

T_i : i 번째 단의 보온재 내부온도

T_{i_o} : i 번째 단의 보온재 외부온도

R_i : i 번째 단의 보온재 열전도율에 의한 열저항

T_s : 보온재 표면온도

T_{amb} : 주변온도

R_s : 표면복사/대류 열전달율에 의한 열저항

R_t : 보온계통 총 열저항

T_1 : 첫번째 단의 보온재 내부온도, 즉 내부 유체 온도

- 단열재 외부를 통한 열전달은 배관이 위치하는 공간의 복사와 대류에 의해 결정되며, 계산에 필요한 표면 복사/대류 열 전달에 의한 저항(R_s)은 각각 식(3)과 식(4)를 이용하여 계산한 대류 열 전달율과 복사 열전달율을 합함

$$h_{cv} = C \times \left(\frac{1}{d}\right)^{0.2} \times \left(\frac{1}{T_{avg}}\right)^{0.181} \times dT^{0.266} \times \sqrt{1 + 1.277 \times v} \quad (3)$$

여기서,

h_{cv} : 표면 대류 열전달율

C : 열흐름 방향계수

– 원통, 수평 열흐름(수직표면) = 1.016

– 원통, 수직 열흐름(수평표면) = 1.235

d : 원통(배관)직경

T_{avg} : 표면 공기층의 평균 절대 온도, $T_{avg} = \frac{T_s + T_{amb}}{2}$

T_s : 보온재 표면 온도

T_{amb} : 주변 온도

dT : 보온재 표면온도와 주변온도차의 절대값, $dT = |T_s - T_{amb}|$

v_{amb} : 기류속도

$$h_{rad} = \epsilon \times 0.1713 \times 10^{-8} \times (T_{amb} + 459.6)^4 - \frac{(T_s + 459.6)^4}{(T_{amb} - T_s)} \quad (4)$$

여기서,

h_{rad} : 표면 복사 열전달율

ϵ : 주변 복사 계수를 포함하는 유효 복사 계수

0.1713×10^{-8} : *Stefan-Boltzman* 상수

- 표면 복사/대류 열 전달을 구한 다음 식(5)와 같이 합산 한 후, 식(6)과 같이 역수를 취하면 표면 복사/대류 열전달율에 의한 열저항을 계산할 수 있으며, 여기서 h_{rad} 에 정해지지 않은 배관표면온도 T_s 가 필요하기 때문에 반복 계산 수행이 필요함

$$h = h_{cv} + h_{rad} \quad (5)$$

$$R_s = \frac{1}{h} \quad (6)$$

여기서,

R_s : 표면복사/대류 열전달율에 의한 열저항, $hr\ m^2\ ^\circ C/kcal$

h : 보온재 표면 복사/대류 열전달율에 의한 열저항, $hr\ m^2\ ^\circ C/kcal$

- 단열재의 열전도에 의한 열저항(R_i)은 식(7)을 이용하여 계산할 수 있고, 특별히 여러 겹으로 시공하는 경우에는 각각을 계산 후 각 저항을 합산

$$R_i = \frac{r_n \times \ln(r_o/r_i)}{k} \quad (7)$$

여기서,

R_i : i 번째 단의 보온재 열전도율에 의한 열저항

r_n : 최종단 보온재 외경의 반지름

r_{i_o} : i 번째 단의 보온재 외경의 반지름

r_i : i 번째 단의 보온재 내경의 반지름

k_i : i 번째 단의 열전도율

- 보온재 계통 전체에 대하여 열 저항(R_t)은 식(8)과 같이 상기의 열저항을 모두 합산하여 계산함

$$R_t = R_s + R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (8)$$

여기서,

R_t : 보온 계통 총 열저항

R_n : n 번째 단의 보온재 열전도율에 의한 열저항

2) 배관단열설계 Tool 개발

- 앞서 기술한 원통전열 이론과 엑셀 프로그램을 활용하여 배관단열 시공 및 설계자가 손쉽게 최적의 단열 두께를 계산할 수 있는 계산 Tool을 제작
- 식(4)의 h_{rad} 에 정해지지 않은 배관표면온도 T_s 가 필요하기 때문에 반복 계산 수행이 필요한데, Microsoft의 엑셀은 수식 반복계산 옵션을 사용하여 최대 반복 100회, 변화 한도값 0.001 이내로 계산하도록 설정할 수 있기 때문에, 이를 이용하면 별도의 'for'문이나 'while'문과 같은 컴퓨터 언어를 사용하지 않아도 손쉽게 반복 계산 수행이 가능함
- 제작된 배관단열설계 Tool은 다음 그림과 같으며, Tool은 크게 좌측 화면은 입력(Input)창으로 우측 화면은 출력(Output)창으로 구분함

INPUT				RESULT			
T_i 배관 내부 온도	6	℃		T_s 단열재 표면 온도	16.98	℃	
T_{amb} 주변 온도	20	℃		DP_t 공간 노점온도	14.80	℃	
R_h 상대 습도	72	%		$DP_{Decision}$ 결로판정	미발생		
v 주변 기류 속도	0.2	m/s		q_{loss} 단위길이당 배관 열손실	(4.91)	W/m	
$Thick$ 단열재 두께	15	mm		r_o 임계단열두께	10.38	mm	
$NPS(A)$ 배관 호칭경	40A	mm		q_{eq} 열전달밀도(단열재 열저항)	(19.79)	W/m²	
k 단열재 열전도도		W/mK		q_{eq} 열전달밀도(복사·대류 열저항)	(19.79)	W/m²	
C 열흐름방향계수	수평 또는 수직			q_{eq} 열전달밀도(총 열저항)	(19.79)	W/m²	
r_o 배관 외경	48.6	mm		$h = h_{rad} + h_{conv}$ 대류/복사 열전달율	6.55	W/m²K	
r_i 단열재 내경	49	mm			6.55	W/m²K	
$r_o = r_i$ 단열재 외경(단열재가 1단인 경)	79	mm		h_{rad} 대류 열전달율	2.88	W/m²K	
T_{avg} 표면평균온도	525.0	K		h_{conv} 복사 열전달율	3.72	W/m²K	
f 온도차($T_{i,amb} - T_{avg}$)	3.02	K		R 단열재 열저항	0.55	m²K/W	
ϵ 유효복사계수	0.7			R 대류/복사 열저항	0.15	m²K/W	
SB Stefan-Boltzman 상수	1.713E-09	Btu/hr-ft²-R⁴		R_{tot} 총 열저항	0.71	m²K/W	

[그림 28] 배관단열설계 Tool

- 좌측의 입력창 ①에는 배관이 위치하는 공간의 배관내부 온도와 주변 온·습도를 입력할 수 있고, ②에는 공간 주변의 기류속도, 열흐름방향, 단열재 열전도도, 설계 대상 배관경에 따른 임의의 단열두께(표준시방서 기준)를 입력할 수 있음
- 배관경의 경우 엑셀 내에 NPS(A) 호칭경을 입력하여 해당 크기를 선택할 수 있도록 하였으며, 단열재 열전도도 또한 선택이 가능하도록 함. Default 값은 일반적인 가교발포 폴리에틸렌의 열전도도 값인 0.043 W/mK로 설정하였다. 배관의 위치가 수평 또는 수직인 경우에 따라 열흐름 방향계수가 차이가 있기 때문에, 이에 따른 설정 또한 달리 할 수 있도록 함
- 좌측 하단의 나머지(배관 외경, 단열재 내경 등)은 ①, ②를 입력하면 자동으로 계산되어 나타나며, 유효복사계수는 값을 직접 입력할 수 있음
- ①과 ②의 간단한 정보를 이용하여 ③에서는 단열재, 복사·대류, 총 열저항에 의한 열전달 밀도가 같아지도록 표면 복사/대류 열전달을 값이 반복 계산되고 ④에서 표면온도 T_s 가 계산됨. 임계단열두께는 단열재의 열전도도와 대류열전달 계수가 동일한 단열두께를 나타내는 것으로 에너지 절약을 위해서는 임계단열두께 이상으로 설계 및 시공하여야 하므로 배관단열 설계 시 참조할 수 있도록 제시
- 냉수관의 경우에는 입력된 주변온도와 상대습도에 따라 ④에서 배관 표면의 결로 발생여부를 판단함. 결로여부의 판단은 건구온도와 상대습도를 다음의 식을 이용하여 노점온도를 계산하여 결로 판정이 가능하도록 하였음

$$(0.66077 - \log_{10}(10^{0.6607 + 7.5 \times \frac{T}{237.3 + T}})) \times \frac{RH}{100} \times 237.3$$

$$DP_t = \frac{\log_{10}(10^{0.6607 + 7.5 \times \frac{T}{237.3 + T}}) \times \frac{RH}{100} - 8.16078}{(9)}$$

- 이러한 방법으로 공간의 노점온도(DP_t)가 계산되면 단열재 표면온도(T_s)와의 대소를 판별하여 결로를 판정($DP_{Decision}$)하게 됨. 이 계산 Tool을 이용하면 최종적으로는 온수관 또는 냉수관에서 단위 길이 당 배관 열손실 또는 취득열량을 계산할 수 있음

3) 배관단열 프로그램 초안 작성

- 국내 대부분의 현장에서 배관 단열재 공사와 관련하여 별도의 산출내역을 가지고 있지 않으며, 배관물량을 산출하면서 집계표에 필요 보온재를 표현하는 정도로 작업되고 있음. 일반적으로 집

계표를 바탕으로 시방서 기준을 적용하여 보온재 물량을 계산함

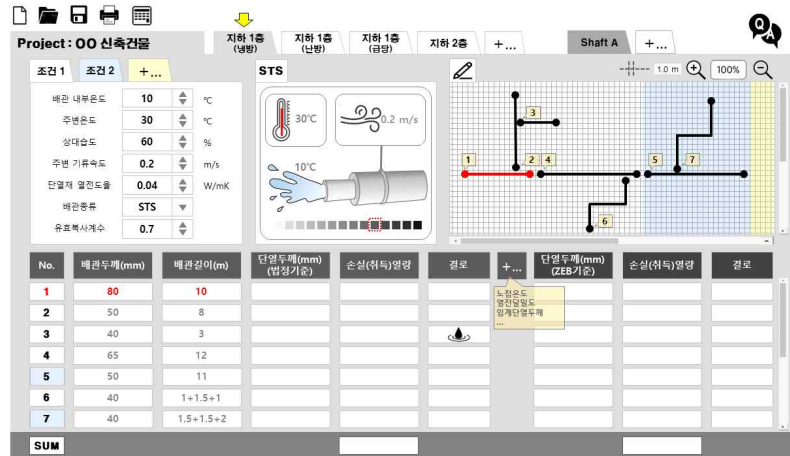
품 명	규 격	단 위	수 량	단 위 수 량	산 식	비 고
B2F ○○○실 공사[1EA] - 신설공사[1EA] - 급수급탕배관공사[1EA] - ○○○○ B2층 급수[1EA]						
[S: 1/100]			0	0		
■ 급수			0	0		
동관 (L-TYPE)	D 15	M	4	4	$0.5+1+0.5+1.5+0.5$	
관보온(마티론+매직테이프)	D 15x25T	M	4	4	$4+1$	
절연행가	D 15	개 소	4	4	$4+1$	
			0	0		
동열보	D 15	EA	3	3	$2+1$	
동관용접	D 15	개 소	6	6	$(3+2)$	
동티미	D 50	EA	2	2	$1+1$	
동관용접	D 50	개 소	6	6	$(2+3)$	
동캡	D 15	EA	2	2	$1+1$	
동관용접	D 15	개 소	2	2	$(2+1)$	
■ 정수기 주위 배관		SET	0	0	$1+1$	
동관 (L-TYPE)	D 15	M	6	6	$2+3$	
관보온(마티론+매직테이프)	D 15x25T	M	6	6	$2+3$	
동열보	D 15	EA	6	6	$2+3$	
보온용 볼밸브	D 15	EA	2	2	$2+1$	
동유니온 (C+M)	D 15	EA	2	2	$2+1$	
활동마달타 (C+M)	D 15	EA	2	2	$2+1$	
활동마달타 (C+F)	D 15	EA	2	2	$2+1$	
동관용접	D 15	개 소	18	18	$(6+2)+(2+1)+(2+1)+(2+1)$	
배수판			0	0		
물받이판(STS)	1.0T	M2	1.14	1.14	$((0.5+0.3)*2+(0.45+0.3)*2)*2$	

[그림 29] 기계설비 배관공사 산출서 예

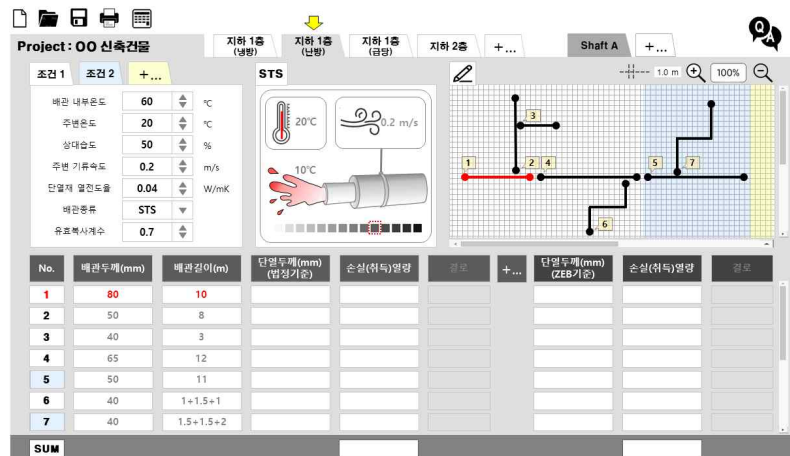
- 현재 수준에서는 도면이나 시방서에 적용된 보온재의 정보 및 물량을 표기하는 것까지 가능할 것으로 판단되며 작업환경의 개선 및 에너지 절약적인 배관 보온재 적용을 위한 개선 노력이 필요함
- 이에 원통전열 이론을 바탕으로 냉난방·급탕 배관 등의 출입열량 및 결로 판정을 통한 건물 기계설비 배관의 단열두께를 검토할 수 있는 프로그램을 개발함(1차년도 성과)
- 배관 내 유체의 단열재를 통한 열출입은 배관 내부의 전도(Conduction)에 의한 열전달과 단열재 외피에서의 복사(Radiation) 및 대류(Convection)에 의한 열전달량이 같아지도록 계산하는 것으로 프로그램 내 계산식은 ‘KS F 2803 보온 보랭 공사의 시공 표준’과 ‘ASTM C680-89 Standard Practice for Determination of Heat Gain or Loss and the Surface Temperatures of Insulated Pipe and Equipment Systems by the Use of a Computer Program’을 참고하여 식을 변형하여 작성함
- 해당 프로그램은 단열재, 복사·대류, 열저항에 의한 열전달 밀도가 같아지도록 표면 복사/대류 열전달률 값이 반복 계산되고, 표면 복사 열전달률 h_{rad} 의 결정에 필요한 단열재 표면온도 T_s 를 계산
- 주변온도, 상대습도 등의 입력 조건을 통하여 냉수배관의 표면 결로 발생여부를 판정함
- 공간의 노점온도(DP_t)가 계산되면 단열재 표면온도(T_s)와의 비교를 통해 결로를 판정함
- 냉난방·급탕 배관의 단위길이 당 배관 단열재를 통한 출입열량을 계산
- 입력값: 배관 내 유체온도 T_1 (℃), 주변온도 T_{amb} (℃), 상대습도 R_h (%), 주변기류속도 v (m/s), 단열재 두께(mm), 배관 호칭경 NPS(A), 단열재 열전도율 k (W/m·K), 열흐름방향계수 C , 유효복사계수 ϵ
- 출력값: 단열재 표면온도 T_s (℃), 공간 노점온도 DP_t (℃), 단위길이 당 배관 열손실 $q_{\pi pe}$ (W/m), 결로판정
- 공통 입력조건(배관 내부온도, 주변온도, 상대습도, 주변기류속도, 단열재 열전도율, 배관종류, 유효복사 계수)을 입력하고, 검토 대상 건물의 배관을 스케치함
- 스케치한 배관의 수만큼 입력창이 활성화되며 활성화된 입력창에 배관두께(호칭경)를 입력하면

법정기준 및 ZEB기준 단열두께가 자동으로 산출됨

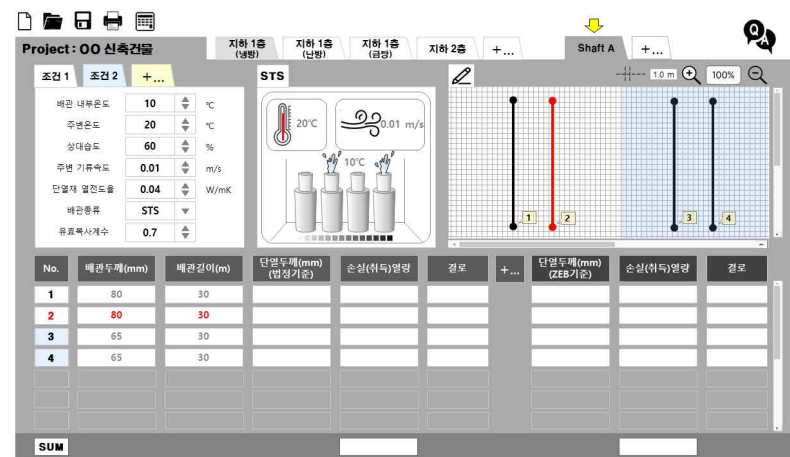
- 배관 전체 길이를 입력하면 전체 배관을 통한 손실 또는 취득 열량을 집계할 수 있으며, 필요한 배관용도(난방, 냉방, 급탕 등)에 따라 시트(sheet)를 추가할 수 있음



[그림 30] 냉수관(수평흐름) 검토 예시



[그림 31] 온수관(수평흐름) 검토 예시



[그림 32] 수직배관 검토 예시

4) 배관단열 프로그램 개발

(1) 프로그램 개요

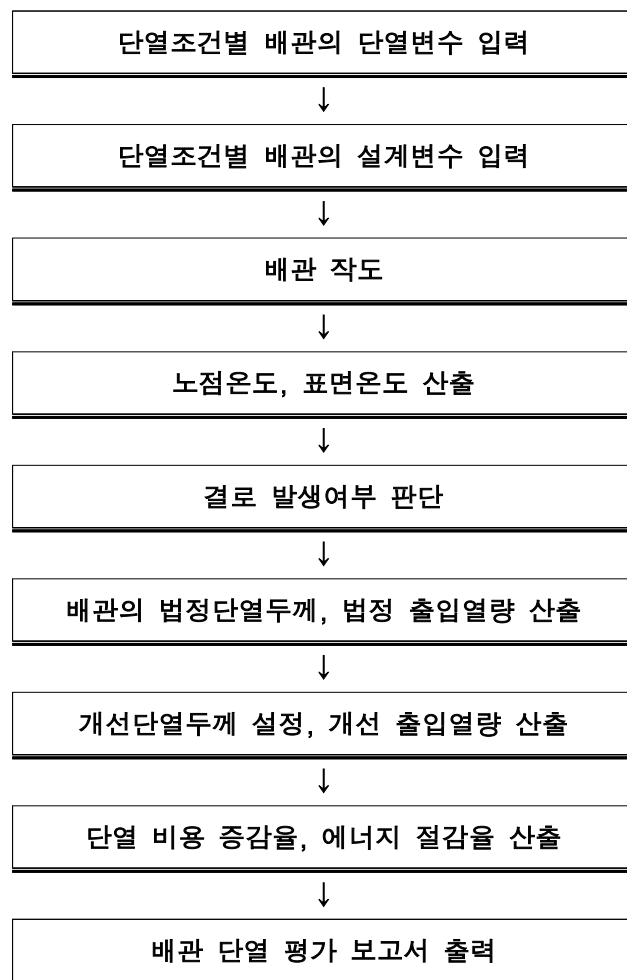
- 엑셀 프로그램을 활용한 기계설비 배관단열 계산식을 바탕으로 프로그램을 개발함. 본 연구를 통해 제작된 기계설비 배관단열 두께 검토 프로그램은 원통전열 이론을 바탕으로 냉난방, 급탕 배관 등의 출입 열량, 결과 판정 등을 통해 건축물 기계설비 배관의 단열두께를 검토함
- 본 연구로 개발된 건축물 배관 단열 설계 프로그램은 배관의 단열 변수와 설계 변수를 입력하여

배관의 법정 단열 두께, 개선 단열 두께, 에너지 절감율이 자동으로 산출되어 배관의 결로 발생 여부와 단열 성능을 예측할 수 있음

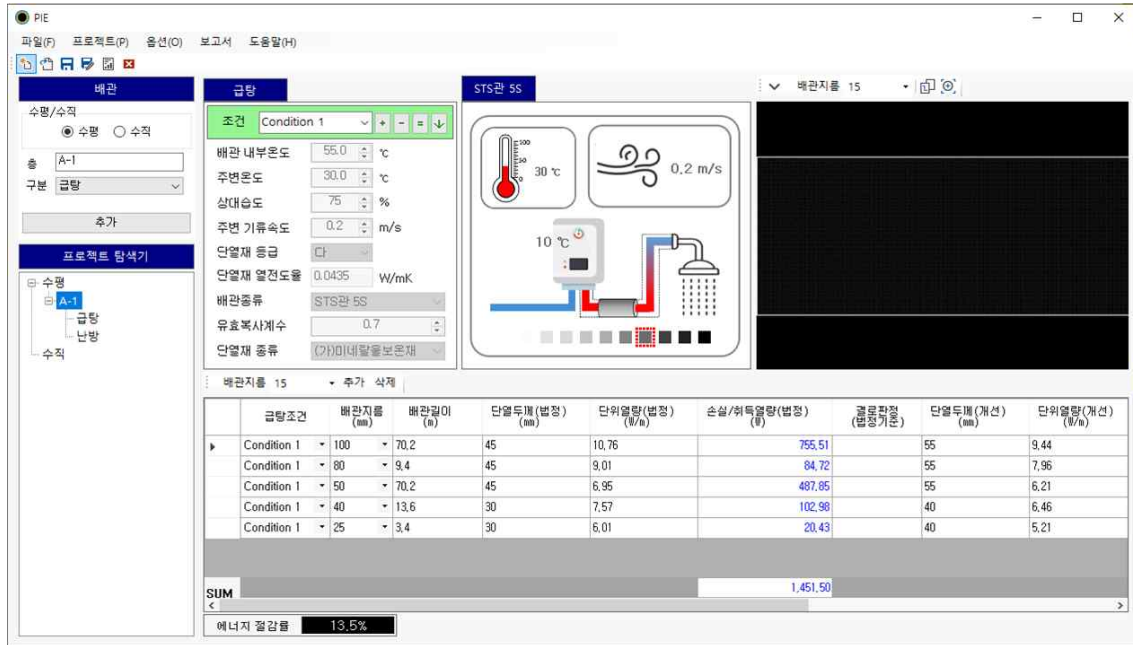
- 단열 변수는 냉방·난방을 포함하는 공조 조건, 배관의 내부 온도, 주변 온도, 배관이 설치된 실의 상대습도, 기류속도, 단열재의 열전도율, 배관의 재질, 유효복사계수, 목표 에너지 절감률, 단열재 두께 20% 증가(EPI기준 만족) 등이 있음
- 설계 변수는 배관의 배치 방향(수평, 수직), 배치 높이, 용도 및 크기 등이 있음

○ 프로그램에 단열 변수와 설계 변수를 입력하면 법정 단열 두께, 개선 단열 두께, 에너지 절감율, 배관 동결 개시 시간 등이 자동으로 산출되어 배관의 결로 발생 여부와 단열 성능을 예측하여 효율적인 단열 설계가 가능함

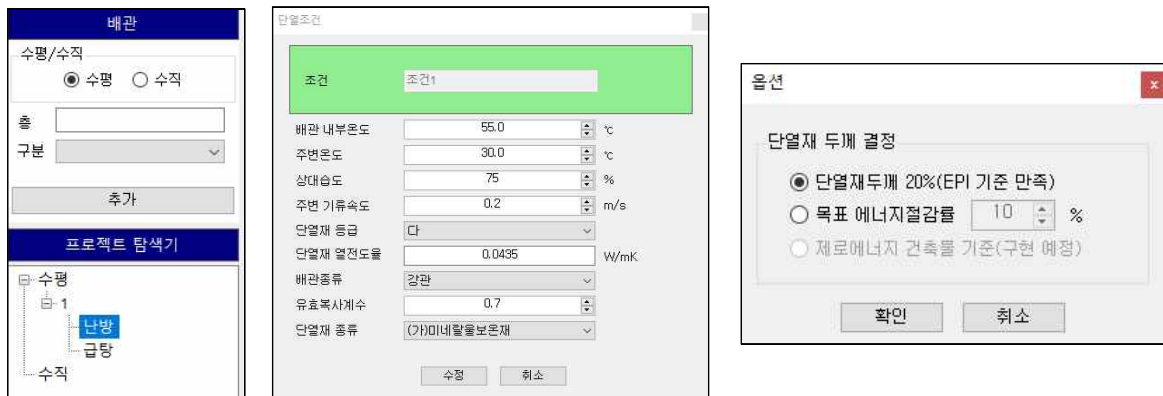
- 법정 출입열량과 개선 출입열량은 배관의 단위 길이당 손실 또는 취득 열량과 배관의 총 길이당 손실 또는 취득 열량을 포함함
- 개선 단열두께는 법정 단열두께를 목표 에너지 절감율만큼 증가시켜 산출한 값임



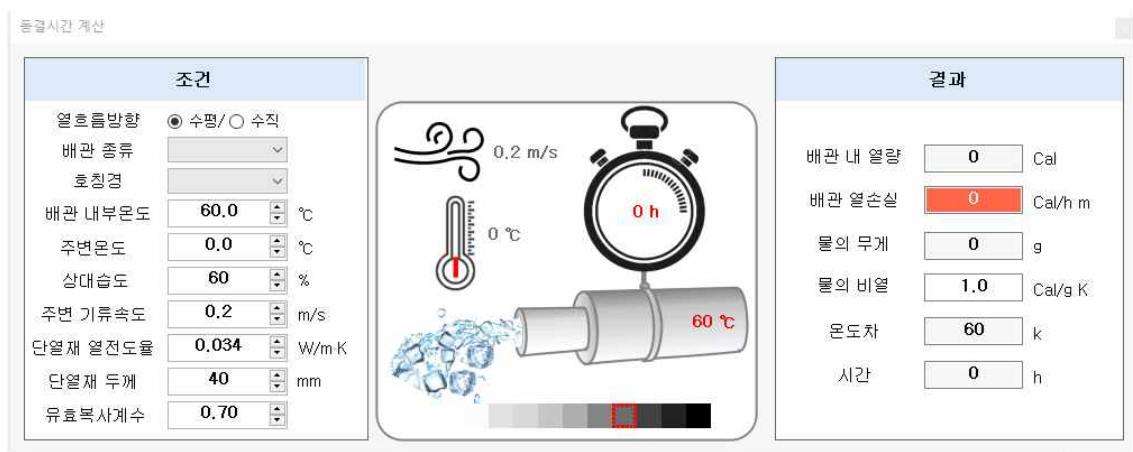
[그림 33] 프로그램의 배관 단열 설계방법 순서도



[그림 34] 프로그램 실행화면



[그림 35] 단열조건별 배관의 단열 변수 입력 예



[그림 36] 동결시간 계산 탭

(2) 프로그램 활용

- 국내 대부분의 현장에서 배관 단열 공사와 관련하여 별도의 산출내역을 가지고 있지 않으며, 배관 물량을 산출하면서 집계표에 필요 단열재를 표현하는 정도로 작업하고 있음. 일반적으로 집계표를 바탕으로 시방서 기준을 적용하여 단열재 물량을 계산하고, 현재 수준에서는 도면이나 시방서에 적용된 단열재의 정보 및 물량을 표기하는 것까지 가능할 것으로 판단됨

- 개발된 기계설비 배관단열 두께 검토 프로그램은 조건 입력 후 배관경을 정하면 시방서 기준의 단열재 두께가 자동으로 입력되며, 에너지 절감을 설정 시 해당 값을 만족하기 위한 단열두께가 계산되어 표현되므로 이를 활용하여 작업환경을 개선하고 에너지를 절약하는 방향으로 배관 단열재를 적용할 수 있음
- LH의 공동주택을 대상으로 옥외배관 산출서를 활용하여 배관 단열두께 및 열출입량의 계산을 진행함
 - 일반적인 상황으로 가정하여 주변온도 30℃, 상대습도 75%, 열전도율 다 등급(0.0435W/mK), 배관종류 STS, 배관 내부온도 난방 50℃, 급탕 55℃로 입력조건을 정하여 프로그램에 적용. 저층부, 고층부의 준별로 배관경과 배관길이를 입력하면 해당하는 법정 기준의 단열두께가 선택되고 손실/취득 열량이 계산됨
 - 그 결과 법정 단열기준 적용 시 옥외배관에서 난방 16.4kW, 급탕 21.1kW의 열손실이 발생할 수 있음을 확인. 배관에서 10%의 에너지 절감을 목표로 단열재 두께를 상향하여 계산하면 난방 14.5kW, 급탕 18.4kW로 각각 13.3%, 14.5%의 에너지 절감이 가능할 것으로 판단됨
- 실태조사에서 측정한 공동주택 지하주차장의 외부온도를 시뮬레이션에 적용. KCS의 주변온도 기준 30℃와 지하주차장 온도 측정 포인트 C1(외기 직접 면함), P3(외기 간접 면함)의 최저기온과 1월 평균기온을 적용하였으며 그 결과값은 <표 28>과 같음
 - 주변온도 기준 30℃일 때 난방 배관의 열출입량 16,422.5W, C1의 최저기온 -5.11℃일 때 50,504.1W로 주변온도에 따라 배관의 열출입량에 큰 차이 발생
 - 주변온도에 따른 난방, 급탕의 열출입량을 비교해보면 KCS 기준 대비 2~3배의 차이를 보이는 것을 확인할 수 있음

<표 28> 주변온도에 따른 열출입량 비교

구분		KCS	C1(외기 직접 면함)		P3(외기 간접 면함)	
			최소	1월 평균	최소	1월 평균
주변온도, ℃		30	-11.5	0.52	3.1	5.11
열출입량, W	난방	16,422.5	50,504.1	40,656.2	38,534.4	36,887.8
	급탕	21,090	56,099.9	45,975	43,802.5	42,102.5

2.2.6 에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립

1) 성능기반 단열 두께 계산 방법

- 표준시방서에 따른 일반적인 배관단열 설계는 급탕, 증기, 온수관의 경우 배관내부온도 61~90℃, 주변온도 20℃, 냉수관의 경우 배관내부온도 5℃ 또는 10℃, 주변습도 75%로 고정되어 있고, 사용할 배관 호칭경에 따라 정해진 단열재 두께를 결정하여 설계함
- 그러나 건물 내 기계실 위치, 수요처까지 배관 경로에 따라 주변 환경은 변화하므로 고정된 기준으로는 수요처까지 에너지를 균일한 조건으로 공급할 수 없음
 - 예를 들어 대규모 공동주택 단지에서 지역냉난방, 열병합발전 시설 또는 지열시스템 등과 같은 중앙열원 장비가 설치가 되어 있을 경우 기계실에서 관리사무실 또는 보육시설 등으로 냉·온수를 공급할 경우, 일반적으로 지하주차장 상부를 지나감. 이때 지하주차장 공간의 온·습도는 외부 환경에 그대로 노출이 되기 때문에 겨울에는 0℃ 이하, 여름에는 80% 이상의 다습한 조건이 형성됨. 따라서 표준시방서 조건에 따른 단열 두께를 적용할 경우 예상보다 많은 양의 에너지가 배관을 통해 손실될 수 있음
- 본 연구에서는 배관단열설계 Tool을 사용하여 성능에 기반한 단열설계 방법을 제안하였으며, 계산을 위하여 대상 설비는 지열시스템의 2차측 배관으로 설정하여 배관단열설계 Tool을 이용하여 여름철과 겨울철 조건을 계산함. 이때 조건은 지열 배관은 냉난방을 동시에 사용이 가능하기 때문에 공간조건을 여름철은 상대습도 85%, 겨울철은 주변온도 5℃로 가정함
- 여름철 조건으로 배관온도(T_1) 5℃, 주변온도(T_{amb}) 30℃, 주변기류속도(v) 0.2 m/s, 배관경

($NPS(A)$) 32A, 유효복사계수(ϵ) 0.03, 수평 열흐름조건에서 표준시방서의 40 mm 단열 두께 기준을 적용. 계산 결과는 다음 표와 같으며, 상대습도(R_h) 75% 기준에서는 결로가 발생하지 않음. 그러나 습도가 80%, 85%로 증가할 경우에는 공간의 노점온도가 상승하여 표면에 결로가 발생함. 이때 결로가 발생하지 않도록 하기 위해서는 단열 두께는 80%에서는 44 mm, 85%에서는 62 mm로 증가하여야 하며, 단열재 두께 증가 시 배관을 통한 열손실(냉방이므로 열획득)은 75%에서는 -5.37 W/m, 80%에서는 -5.15 W/m, 85%에서는 -4.43 W/m로 감소하게 되어 에너지 절감 효과가 발생함

<표 29> 냉방시를 고려한 단열두께 계산

조건	상대습도 (%)	단열두께 (mm)	표면온도 (℃)	노점온도 (℃)	결로판정	손실열량 (W/m)
관수온도=5℃ 주위온도=30℃ 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

- 여름철 조건으로 지열시스템으로 만들 수 있는 최고 온도를 가정하여 배관온도(T_1) 50°C, 주변온도(T_{amb}) 20°C, 주변기류속도(v) 0.2 m/s, 배관경($NPS(A)$) 32A, 유효복사계수(ϵ) 0.03, 수평 열흐름조건에서 표준시방서의 25 mm 단열 두께를 적용. 계산 결과는 다음 표와 같음. 표면 온도는 27.02°C이며, 2차측 배관이 외기와 통하는 지하 주차장에 노출될 경우를 가정하여 주변온도를 5°C로 계산할 경우에도 단열재 표면온도는 14.82°C로 표면온도(T_s) 40°C 기준에 부합함. 그러나 주변온도 20°C와 5°C일 때의 열손실은 각각 8.05 W/m, 12.32 W/m로 손실 열량이 약 53% 증가하게 됨. 배관의 열손실이 같기 위한 단열두께는 63 mm이며, 이때 표면온도는 9.33°C가 됨. 지열시스템은 히트펌프에서 냉온수를 동시에 생산 가능하기 때문에 이 경우에 있어서는 63 mm 단열재 적용을 검토할 수 있음

<표 30> 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 단열두께는 63 mm

2) 국내외 배관 단열기준 비교를 통한 단열기준 초안 작성

(1) 시뮬레이션을 통한 배관 단열 두께 검토

- 국내외 인증제도 검토를 통해 확인한 결과 건축물 에너지 절감을 위해 건축, 기계, 전기분야 등의 개선을 이루어 에너지 절감을 도모하고 있음
- 하지만 주로 자재, 외벽, 바닥, 천장 및 창호의 단열성능 개선, 신재생에너지 도입 등을 통한 건축물 에너지 절감만을 도모하고 있는 상황
- 배관의 경우 건물 내 난방 및 냉방에 사용되는 열매의 이동 통로로 배관 단열재 기준 권고를 통해 배관 내 유체의 열 수송 시 발생하는 열손실 저감을 통한 에너지 절감이 가능할 것으로 판단

- 국내의 경우 크게 5가지 인증 기준이 있으나, 배관 단열에 대한 내용은 건축물의 에너지절약 설계기준과 에너지 절약형 친환경 주택의 건설 기준에 제시되고 있음
- 제시된 기준의 경우 2011년에 표준시방서가 개정되면서 관내 수온의 조건, 관지름의 범위 등이 변경되었지만 단열두께에 대한 사항은 2002년 개정된 이후 현재까지 사용되고 있음
- 국외의 대표적인 3가지 인증 기준 검토 결과 배관단열과 관련된 기준은 언급되지 않았으나, 세부 규칙으로 활용되는 ASHRAE Standard 90.1에서는 지속적인 배관단열 기준을 상향시키고 있음을 확인함
- 국내에서 사용되고 있는 기준은 개정이 되었으나, <표 31>에 나타난 바와 같이 해외 기준에 비해 세부적인 온도 범위를 제시하지 못하고 있으며, 단열 두께 부족 등 한계가 존재함
- <표 32>와 같이 ASHRAE 기준이 온도조건에 따른 보온재의 열전도율로 지정하는데 비해 국내의 경우 자재의 종류로 규정됨에 따라 배관의 사용 온도 범위에 따른 명확한 기준 제시가 되고 있지 않음
- 따라서 국내 기준 역시 ASHRAE Standard 90.1의 개정과 같이 새로운 설계 요구 사항을 반영하여 개정할 경우 배관내 유체의 열손실 저감 효과를 통한 에너지 절약이 가능할 것으로 사료됨
- 이에 따라 <표 31>과 같이 배관의 단열두께에 국내 기준과 해외 기준을 적용하였을 경우 냉난방 에너지 소비량의 차이를 알아보기 위해 시뮬레이션함

<표 31> 국내·외 배관 단열 기준 비교

온도범위 (℃)		열전도율 (W/m℃) 또는 재료	배관 두께(mm)													
			15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	≥300
			단열 두께(mm)													
국 외	>177℃	0.046~0.049	115		125		125			125			125			
	122~177℃	0.042~0.046	80		100		115			115			115			
	94~121℃	0.039~0.043	65		65		80			80			80			
	61~93℃	0.036~0.042	40		40		50			50			50			
	41~60℃	0.032~0.040	25		25		40			40			40			
국 내	220 ℃	미네랄울 보온통, 유리면 보온통 발수성 필라이트 보온통, 규산칼슘 보온통	50				75				100					
	121~175℃	미네랄울 보온통, 유리면 보온통 발수성 필라이트 보온통, 규산칼슘 보온통	40				50		75				100			
	91~120℃	미네랄울 보온통, 보온대 1호 유리면 보온통, 보온판 24k 발포 폴리에틸렌 보온통 2중	40				50				75					
	61~90℃	미네랄울 보온통, 보온대 1호 유리면 보온통, 보온판 24k 발포 폴리에틸렌 보온통 2중	25				40				50					
		고무발포 보온통, 보온판 1중	25				32				40					

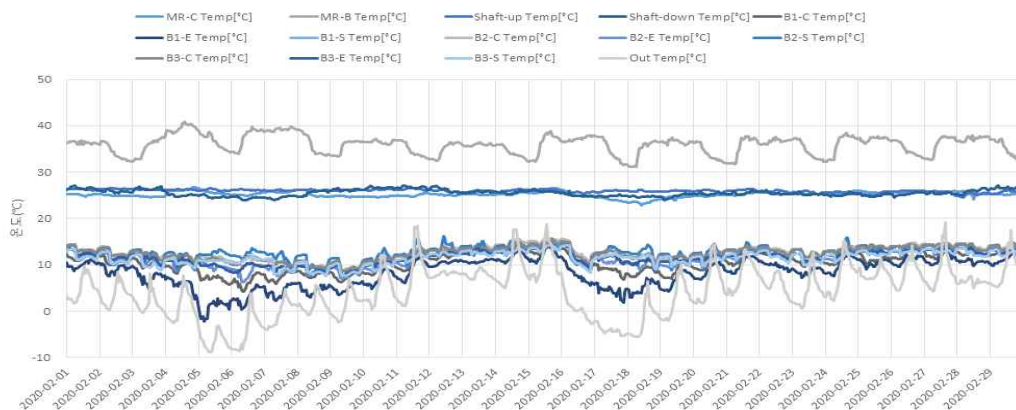
※ 국외 기준 : ASHRAE Standard 90.1:2013

국내 기준 : 기계설비공사 표준시방서 기준(KCS 31 20 05:2018)

<표 32> 온도 범위에 따른 국내·외 배관 자재별 열전도율 비교

국외			국내			
온도범위 (℃)	열전도율 (W/m℃)	평균 온도 (℃)	온도범위 (℃)	자재	열전도율 (W/m℃)	비고
>177℃	0.046~0.049	93	220℃	미네랄울 보온통, 유리면 보온통 발수성 펄라이트 보온통, 규산칼슘 보온통	0.043 0.062 0.062	at 70℃
122~177℃	0.042~0.046	66	121~175℃	미네랄울 보온통, 유리면 보온통 발수성 펄라이트 보온통, 규산칼슘 보온통	0.043 0.062 0.062	at 70℃
94~121℃	0.039~0.043	52	91~120℃	미네랄울 보온통, 보온대 1호 유리면 보온통, 보온판 24k 발포 폴리에틸렌 보온통 2중	0.043~0.044 0.043~0.044 0.033	at 70℃ at 70℃ at 20℃
61~93℃	0.036~0.042	38	61~90℃	미네랄울 보온통, 보온대 1호 유리면 보온통, 보온판 24k 발포 폴리에틸렌 보온통 2중	0.036~0.040 0.036~0.037 0.033	at 20℃
				고무발포 보온통, 보온판 1중	0.033~0.034	at 20℃

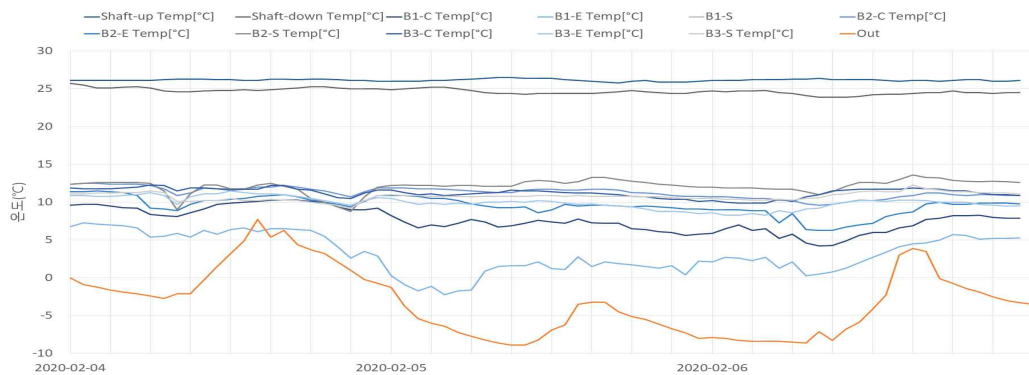
- 먼저 배관의 열손실 산정을 위해 지하주차장과 같은 외부로 노출된 환경에서의 배관 주변 온도 및 파이프 샤프트 공간에서의 겨울철 온도를 실측함. 실측 대상은 C 대학병원 지하 1~3층 주차장 공간과 지하1층과 14층의 파이프 샤프트 내부 공간 온도를 2019년 12월부터 2020년 3월까지 약 4개월간 측정하였으며 이 중 최저기온이 나타난 2월의 온도 그래프는 [그림 37]과 같음



[그림 37] 2020년 2월 온도 측정 결과

- 실내 공간에 위치한 파이프 샤프트의 내부 온도는 외부 기온의 변화와 관계없이 지하 1층 샤프트 내부 온도는 평균 25.9℃, 14층 샤프트 내부 온도는 평균 25.5℃로 거의 일정한 온도를 유지하고 있음
- 외기에 면한 지하 1층 주차장 공간의 경우 외부 기온에 따라 주차장 공기 온도도 눈에 띄는 변화가 나타났으나 지하 2~3층으로 갈수록 그 영향이 작아짐을 알 수 있었음
- [그림 38]과 같이 올해 최저기온(-8.9℃)이 나타난 2/4~2/6 사이의 온도측정 결과, 외부에 면한 지하 1층 주차장의 최저온도는 -2.2℃, 평균온도는 7.9℃로 나타남

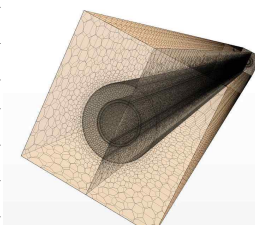
○ 본 연구에서는 실제 측정결과를 바탕으로 배관 주변의 최저 온도를 적용하여 노출 배관의 시뮬레이션을 실시함. 시뮬레이션 도구는 Star CCM+(2019 Build 14.04.011)를 이용함



[그림 38] 최저기온이 나타난 2/4~2/6 온도측정 결과

○ 관내 수온은 건축기계설비공사 표준시방서에서 명시되어 있는 관경 100A에 대한 기준 저온수(61℃ ~ 90℃)의 평균온도인 75℃를 적용함. 열전도율 0.036 W/m·K의 미네랄 울을 적용

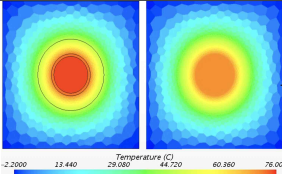
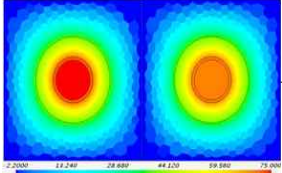
<표 33> 시뮬레이션 입력값

Category	Input	Modeling image
Pipe	Length 10m	
	Size(external, internal) 100A (113.4mm, 94mm)	
	Material Stainless steel	
Applied standard	Domestic KCS 31 20 05 : 2018	
	Abroad ASHRAE 90.1 : 2013	
Heat insulating material	Thickness 40T, 50T	
	Material Mineral wool	
Water	Temp. 75℃	
	velocity 2 m/s (KDS 31 25 25 : 2016)	
Outside air	Temp. -2.2℃	

<표 34> 시뮬레이션 케이스

Standard	Water temp.	Thermal conductance	Thickness
KCS: 2018	75℃	mineral wool (0.036 W/m·K)	40 mm
ASHRAE	75℃	0.036 W/m·K	50 mm

<표 35> 시뮬레이션 결과

Standard Thickness	Water temp.	legend	location	Input Temp.	Output temp.
KCS 40mm	Low temp. (75 °C)		Water	75 °C	69.9 °C
			Surface of insulation	45.7 °C	44.6 °C
ASHRAE 50mm	Low temp. (75 °C)		Water	75 °C	69.9 °C
			Surface of insulation	38.7 °C	37.7 °C

- 국내 KCS 31 20 05:2018 기준의 경우 단열재 표면온도는 유입구에서 45.7 °C, 유출구에서 44.6 °C로 나타났으며, 해외 ASHRAE 기준의 경우 단열재 표면온도는 유입구에서 38.7 °C, 유출구에서 37.7 °C로 나타남
- 시뮬레이션 결과 국내 기준에서 단열재 표면온도가 40°C 이상으로 나타나 현행 기준인 표면온도 40°C 이하를 만족하지 못함. 그러나 해외 ASHRAE 기준에서 단열재 표면온도가 40°C 이하로 나타나 현행 기준인 표면온도 온도 40 °C 이하를 만족함
- 따라서 국내 단열 두께의 기준을 상향시키거나 열전도율이 낮은 재료의 사용과 같은 변화가 필요할 것으로 사료됨. 또한 전체 건물의 에너지 성능적 관점에서 전반적인 정책 기준 강화가 필요할 것으로 판단됨

(2) 열출입량을 기준으로 한 배관 단열기준 초안 작성

- 「기계설비 기술기준」 [별표 10]보온설비 세부기준과 ASHRAE 90.1의 최소 단열두께 기준에 대하여 동일조건에서 열출입량을 비교함
- 열전도율은 보온재 등급별로 각 범위 내 중간값을 사용하고, 유효복사계수는 BS 5422:2009에 나온 일반적인 범위의 최소값(0.02)와 최대값(0.95)를 참고하여 반영함

<표 36> 표면방사율(ε)-BS 5422:2009

Material	ε	Material	ε
Aluminium, bright	0.05	Fire brick	0.75
Aluminium, oxidized	0.13	Galvanized steel, blank	0.26
Aluminium foil, bright reinforced	0.05	Galvanized steel, dusty	0.44
Aluminium foil, polyester faced reinforced	0.40	Paint, black	0.95
Alu-zinc	0.18	paint, other colours	0.90
Austenitic steel	0.15	paint, white	0.85
Brass, dull tarnished	0.61	paint, aluminium weathered	0.55
Brass, unoxidized	0.035	paint, aluminium new	0.30
Cast iron (and iron)	0.35	Roofing felt	0.94
Cast iron, rusted or oxidized	0.65	Rubber, black	0.95
Chrome, polished	0.10	Rubber, grey	0.85
Cloth	0.90	Steel	0.35
Copper, commercial scoured to a shine	0.07	Steel, black painted	0.90
Copper, oxidized	0.70	Steel, oxidized	0.80
Copper, polished	0.02	White lacquer	0.95

- ASHRAE 기준은 온도범위에 따라 열전도율 범위를 정하고 있어 KCS 기준과 차이를 보임. 열방출량 비교를 위해 관내수온을 우선으로 기준을 적용하여 계산함

온수관 등

관내수온 90℃ 이하, 주위온도 30℃ 이하
수평열흐름, 유효복사계수 0.02/0.95

보온재 등급	가	열전도율		0.032	관내수온		90℃							
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A	
보온두께 (기준)	ASHRAE-가	25	25	25	25	40	40	40	40	40	40	40	40	
	기술기준-가	20	20	20	20	20	35	35	35	35	35	35	45	
열방출량	ASHRAE-가(0.02)	8.56	9.82	11.04	12.84	10.95	12.58	14.63	16.33	17.88	19.56	22.75	26.06	
	기술기준-가(0.02)	9.40	10.86	12.29	14.40	15.79	13.54	15.82	17.70	19.43	21.30	24.86	24.04	
	ASHRAE-가(0.95)	9.53	10.98	12.40	14.48	11.90	13.71	16.07	17.98	19.72	21.60	25.19	28.90	
	기술기준-가(0.95)	10.69	12.43	14.12	16.62	18.27	14.91	17.56	19.70	21.67	23.78	27.83	26.43	
	열방출량 차이(0.02)	9%	10%	10%	11%	31%	7%	7%	8%	8%	8%	8%	-8%	
	열방출량 차이(0.95)	12%	13%	14%	15%	54%	9%	9%	10%	10%	10%	10%	-9%	

보온재 등급	나	열전도율	0.0375	관내수온	90℃								
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
보온두께 (기준)	ASHRAE-나	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	50	50
	기술기준-나	25	25	25	25	25	40	40	40	40	40	40	50
열방출량	ASHRAE-나(0.02)	8.15	9.20	10.20	11.67	11.30	12.88	14.86	16.49	17.98	19.58	22.63	25.78
	기술기준-나(0.02)	9.81	11.24	12.63	14.67	16.01	14.49	16.83	18.77	20.55	22.47	26.12	25.78
	ASHRAE-나(0.95)	8.82	9.99	11.13	12.77	12.20	13.94	16.21	18.03	19.69	21.47	24.88	28.40
	기술기준-나(0.95)	11.05	12.73	14.37	16.77	18.35	15.94	18.68	20.89	22.91	25.09	29.25	28.40
	열방출량 차이(0.02)	17%	18%	19%	20%	29%	11%	12%	12%	13%	13%	13%	0%
	열방출량 차이(0.95)	25%	27%	29%	31%	50%	14%	15%	16%	16%	17%	18%	0%

보온재 등급	다	열전도율	0.0435	관내수온	90℃								
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
보온두께 (기준)	ASHRAE-다	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	50	50
	기술기준-다	30	30	30	30	30	45	45	45	45	45	45	60
열방출량	ASHRAE-다(0.02)	9.31	10.50	11.65	13.30	12.92	14.72	16.97	18.82	20.51	22.33	25.80	29.37
	기술기준-다(0.02)	10.38	11.81	13.20	15.22	16.55	15.53	17.96	19.97	21.80	23.78	27.55	26.12
	ASHRAE-다(0.95)	10.17	11.52	12.81	14.70	14.06	16.07	18.67	20.76	22.67	24.73	28.64	32.69
	기술기준-다(0.95)	11.62	13.29	14.91	17.28	18.84	17.10	19.94	22.23	24.32	26.57	30.87	28.65
	열방출량 차이(0.02)	10%	11%	12%	13%	22%	5%	6%	6%	6%	6%	6%	-12%
	열방출량 차이(0.95)	14%	15%	16%	18%	34%	6%	7%	7%	7%	7%	8%	-12%

보온재 등급	라	열전도율	0.049	관내수온	90℃								
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
보온두께 (기준)	ASHRAE-라	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	50	50
	기술기준-라	35	35	35	35	35	50	50	50	50	50	50	65
열방출량	ASHRAE-라(0.02)	10.36	11.67	12.93	14.76	14.38	16.36	18.84	20.89	22.76	24.77	28.61	32.56
	기술기준-라(0.02)	10.87	12.30	13.68	15.68	16.99	16.36	18.84	20.89	22.76	24.77	28.61	27.60
	ASHRAE-라(0.95)	11.39	12.89	14.34	16.45	15.75	18.00	20.91	23.24	25.37	27.67	32.04	36.56
	기술기준-라(0.95)	12.09	13.75	15.36	17.69	19.22	18.00	20.91	23.24	25.37	27.67	32.04	30.32
	열방출량 차이(0.02)	5%	5%	5%	6%	15%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-18%
	열방출량 차이(0.95)	6%	7%	7%	8%	22%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-17%



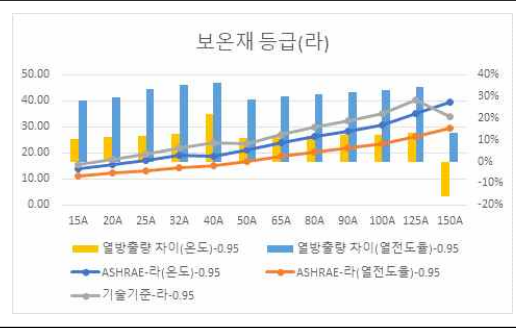
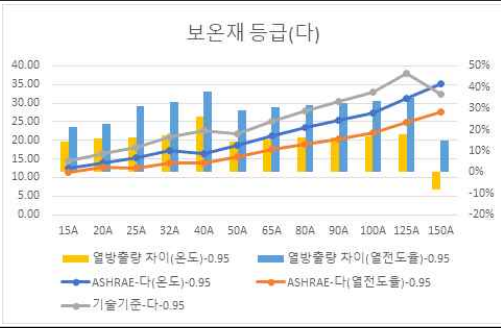
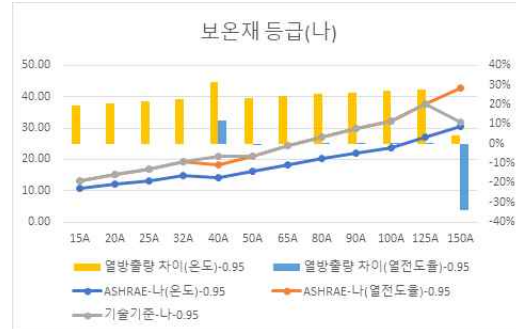
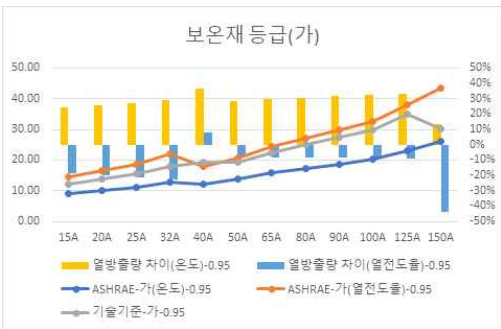
관내수온 91~120℃, 주위온도 30℃ 이하
수평열흐름, 유효복사계수 0.02/0.95

보온재 등급		가		열전도율		관내수온		120℃						
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A	
보온두께 (기준)	ASHRAE-가(온도기준)	65	65	65	65	80	80	80	80	80	80	80	80	
	ASHRAE-가(열전도율 기준)	25	25	25	25	40	40	40	40	40	40	40	40	
	기술기준-가	35	35	35	35	35	45	45	45	45	45	45	65	
열방출량	ASHRAE-가(온도)-0.02	8.81	9.80	10.75	12.10	11.75	13.20	15.03	16.50	17.84	19.27	21.98	24.76	
	ASHRAE-가(열전도율)-0.02	13.01	14.94	16.81	19.56	16.59	19.07	22.21	24.79	27.15	29.70	34.56	39.59	
	기술기준-가-0.02	11.28	12.80	14.27	16.41	17.81	17.87	20.73	23.07	25.22	27.53	31.94	28.40	
	ASHRAE-가(온도)-0.95	9.19	10.25	11.26	12.71	12.25	13.79	15.77	17.34	18.76	20.29	23.19	26.16	
	ASHRAE-가(열전도율)-0.95	14.40	16.60	18.75	21.91	17.94	20.68	24.26	27.13	29.77	32.61	38.03	43.64	
	기술기준-가-0.95	12.16	13.85	15.49	17.88	19.44	19.22	22.45	25.04	27.41	29.96	34.84	30.33	
	열방출량 차이(온도)-0.02	22%	23%	25%	26%	34%	26%	27%	28%	29%	30%	31%	13%	
	열방출량 차이(열전도율)-0.02	-15%	-17%	-18%	-19%	-7%	-7%	-7%	-7%	-8%	-8%	-8%	-39%	
	열방출량 차이(온도)-0.95	24%	26%	27%	29%	37%	28%	30%	31%	32%	32%	33%	14%	
	열방출량 차이(열전도율)-0.95	-18%	-20%	-21%	-23%	8%	-8%	-8%	-8%	-9%	-9%	-9%	-44%	

보온재 등급		나		열전도율		0.0375		관내수온		120℃									
구분	호칭명	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A						
보온두께 (기준)	ASHRAE-나(온도기준)	65	65	65	65	80	80	80	80	80	80	80	80						
	ASHRAE-나(열전도율 기준)	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	50	50						
	기술기준-나	40	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	75						
열방출량	ASHRAE-나(온도)-0.02	10.24	11.39	12.48	14.05	13.66	15.34	17.46	19.16	20.71	22.36	25.50	28.72						
	ASHRAE-나(열전도율)-0.02	12.35	13.94	15.47	17.70	17.11	19.51	22.53	25.01	27.28	29.71	34.35	39.14						
	기술기준-나-0.02	12.35	13.94	15.47	17.70	19.15	19.51	22.53	25.01	27.28	29.71	34.35	39.14						
	ASHRAE-나(온도)-0.95	10.74	11.98	13.15	14.84	14.32	16.11	18.42	20.25	21.91	23.69	27.07	30.54						
	ASHRAE-나(열전도율)-0.95	13.30	15.07	16.78	19.27	18.38	21.02	24.44	27.19	29.70	32.40	37.55	42.87						
	기술기준-나-0.95	13.30	15.07	16.78	19.27	20.89	21.02	24.44	27.19	29.70	32.40	37.55	31.95						
	열방출량 차이(온도)-0.02	17%	18%	19%	21%	29%	21%	23%	23%	24%	25%	26%	4%						
	열방출량 차이(열전도율)-0.02	0%	0%	0%	0%	11%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-31%						
	열방출량 차이(온도)-0.95	19%	21%	22%	23%	31%	23%	25%	26%	26%	27%	28%	4%						
	열방출량 차이(열전도율)-0.95	0%	0%	0%	0%	12%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-34%						

보온재 등급		다				열전도율		0.0435		관내수온		120℃									
구분		호칭점		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A						
보온두께 (기준)	ASHRAE-다(온도기준)	65	65	65	65	65	80	80	80	80	80	80	80	80	80						
	ASHRAE-다(열전도율 기준)	80	80	100	100	100	115	115	115	115	115	115	115	115	115						
	기술기준-다	45	45	45	45	45	45	60	60	60	60	60	60	60	90						
열방출량	ASHRAE-다(온도)-0.02	11.77	13.09	14.34	16.14	15.72	17.64	20.06	22.01	23.78	25.67	29.26	32.95	32.95	32.95						
	ASHRAE-다(열전도율)-0.02	10.93	12.09	12.06	13.39	13.42	14.90	16.74	18.22	19.54	20.96	23.63	26.35	26.35	26.35						
	기술기준-다-0.02	13.50	15.18	16.79	19.11	20.62	20.34	23.33	25.77	28.00	30.39	34.94	30.60	30.60	30.60						
	ASHRAE-다(온도)-0.95	12.42	13.84	15.20	17.15	16.56	18.63	21.29	23.40	25.32	27.38	31.27	35.27	35.27	35.27						
	ASHRAE-다(열전도율)-0.95	11.42	12.66	12.54	13.95	13.93	15.49	17.47	19.04	20.45	21.95	24.79	27.69	27.69	27.69						
	기술기준-다-0.95	14.54	16.41	18.20	20.80	22.49	21.82	25.20	27.90	30.36	33.00	38.04	32.55	32.55	32.55						
	열방출량 차이(온도)-0.02	13%	14%	15%	16%	24%	13%	14%	15%	15%	16%	16%	16%	-8%	-8%						
	열방출량 차이(열전도율)-0.02	19%	20%	28%	30%	35%	27%	28%	29%	30%	31%	32%	14%	14%	14%						
	열방출량 차이(온도)-0.95	15%	16%	16%	18%	26%	15%	16%	16%	17%	17%	18%	18%	-8%	-8%						
	열방출량 차이(열전도율)-0.95	21%	23%	31%	33%	38%	29%	31%	32%	33%	33%	35%	15%	15%	15%						

보온재 등급		라				열전도율		0.049		관내수온		120℃									
구분	호칭명	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A								
보온두께 (기준)	ASHRAE-라(온도기준)	65	65	65	65	80	80	80	80	80	80	80	80								
	ASHRAE-라(열전도율 기준)	115	115	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125								
열방출량	기술기준-라	50	50	50	50	50	65	65	65	65	65	65	100								
	ASHRAE-라(온도)-0.02	13.16	14.63	16.02	18.02	17.58	19.72	22.40	24.57	26.55	28.65	32.65	36.75								
	ASHRAE-라(열전도율)-0.02	10.83	11.86	12.44	13.72	14.53	16.09	18.03	19.57	20.96	22.44	25.23	28.07								
	기술기준-라-0.02	14.47	16.21	17.87	20.26	21.81	21.80	24.92	27.47	29.80	32.29	37.02	32.05								
	ASHRAE-라(온도)-0.95	13.94	15.55	17.07	19.25	18.60	20.92	23.90	26.27	28.42	30.73	35.10	39.58								
	ASHRAE-라(열전도율)-0.95	11.21	12.29	12.87	14.22	15.08	16.73	18.82	20.46	21.94	23.52	26.49	29.51								
	기술기준-라-0.95	15.57	17.51	19.36	22.03	23.77	23.41	26.95	29.77	32.34	35.10	40.35	34.07								
	열방출량 차이(온도)-0.02	9%	10%	10%	11%	19%	10%	10%	11%	11%	11%	12%	-15%								
	열방출량 차이(열전도율)-0.02	25%	27%	30%	32%	33%	26%	28%	29%	30%	30%	32%	12%								
	열방출량 차이(온도)-0.95	10%	11%	12%	13%	22%	11%	11%	12%	12%	12%	13%	-16%								
	열방출량 차이(열전도율)-0.95	28%	30%	34%	35%	37%	29%	30%	31%	32%	33%	34%	13%								



- 온수관 등 관내수온 90℃ 이하의 경우 기술기준과 ASHRAE기준의 열방출량을 비교했을 때 평균 10%정도의 차이를 보임. 호칭경 15A~40A 범위에서 단열두께에 큰 차이가 있으며 기술기준 단열두께 기준의 경계지점인 호칭경 40A의 경우 ASHRAE 기준의 열방출량과 비교했을 때 최대 54%의 차이를 보임. 전체적으로 비교했을 때 기술기준의 열방출량이 ASHRAE 기준보다 평균 10%정도 높음
- 온수관 등 관내수온 91~120℃의 경우 기준 작성에서 큰 차이가 발생함. ASHRAE 기준의 경우

61~93℃에서 0.036~0.042W/(m·℃)의 열전도율의 보온재, 94~121℃에서 0.039~0.043W/(m·℃) 열전도율의 보온재 기준을 제시함. KCS 기준에서 해당 열전도율 범위인 보온재 등급(나)(다)의 열방출량을 비교해 보면 기술기준의 열방출량이 ASHRAE 기준보다 평균 18%정도 높음

- 국내외 단열두께 기준 및 열방출량을 비교하였을 때 국내 기준에서 발생하는 열방출량이 전체적으로 높은 것으로 확인할 수 있으며 건물의 열손실을 줄이기 위하여 국내 기준의 개선이 필요함. 에너지절약 관점에서 보온재 두께 기준을 단계적으로 강화할 필요가 있으며, 우선적으로 열방출량 값이 큰 유효복사계수 0.95의 조건을 기준으로 현재 열방출량 대비 10% 절감한 단열두께를 계산함
- 계산된 온수관 등 단열두께 개선(안)은 <표 37>, <표 38>과 같음. 기존 기술기준 대비 단열두께가 평균 20% 증가함. 호칭경별 열방출량을 기준으로 계산하여 단열두께의 값이 일정하지 않으므로 기술기준의 호칭경 구분에 맞춰 단열두께 값을 정비할 필요가 있음. 또한 호칭경 150A의 경우 기존 대비 열방출량이 10% 감소하는 단열두께가 과한 설계기준이 될 수 있으므로 기존의 기준을 유지하는 방향으로 고려할 필요 있음

<표 37> 온수관 등 관내수온 90℃ 이하 단열두께 개선(안)

보온재 등급	가	열전도율	0.032	관내수온	90℃ 이하									
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A	
보온두께 (기준)	ASHRAE-가	25	25	25	25	40	40	40	40	40	40	40	40	
	기술기준-가	20	20	20	20	20	35	35	35	35	35	35	45	
	ASHRAE-가	9.53	10.98	12.40	14.48	11.90	13.71	16.07	17.98	19.72	21.60	25.19	28.90	
	기술기준-가	10.69	12.43	14.12	16.62	18.27	14.91	17.56	19.70	21.67	23.78	27.83	26.43	
열방출량	열방출량 10%감소	9.62	11.18	12.71	14.96	16.45	13.42	15.81	17.73	19.50	21.40	25.05	23.78	
	보온두께 계산값	24.5	24.2	23.9	23.7	23.6	41.4	41.0	40.8	40.6	40.5	40.3	51.8	
	보온두께 개선(안)mm	25	25	24	24	24	42	41	41	41	41	41	52	

보온재 등급	나	열전도율	0.0375	관내수온	90℃ 이하								
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
보온두께 (기준)	ASHRAE-나	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	50	50
	기술기준-나	25	25	25	25	25	40	40	40	40	40	40	50
	ASHRAE-나	8.82	9.99	11.13	12.77	12.20	13.94	16.21	18.03	19.69	21.47	24.88	28.40
	기술기준-나	11.05	12.73	14.37	16.77	18.35	15.94	18.68	20.89	22.91	25.09	29.25	28.40
열방출량	열방출량 10%감소	9.95	11.46	12.93	15.09	16.51	14.35	16.82	18.80	20.62	22.58	26.33	25.56
	보온두께 계산값	31.0	30.5	30.2	29.9	29.7	47.6	47.2	46.9	46.7	46.5	46.2	57.7
	보온두께 개선(안)mm	31	31	31	30	30	48	48	47	47	47	47	58

보온재 등급	다	열전도율	0.0435	관내수온	90℃ 이하								
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
보온두께 (기준)	ASHRAE-다	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	50	50
	기술기준(다)	30	30	30	30	30	45	45	45	45	45	45	60
	ASHRAE-다	10.17	11.52	12.81	14.70	14.06	16.07	18.67	20.76	22.67	24.73	28.64	32.69
	기술기준(다)	11.62	13.29	14.91	17.28	18.84	17.10	19.94	22.23	24.32	26.57	30.87	28.65
열방출량	열방출량 10%감소	10.46	11.96	13.42	15.55	16.95	15.39	17.95	20.01	21.89	23.92	27.79	25.78
	보온두께 계산값	37.60	37.00	36.60	36.10	35.90	53.90	53.30	53.00	52.70	52.50	52.20	69.60
	보온두께 개선(안)mm	38	37	37	37	36	54	54	53	53	53	53	70

보온재 등급	라	열전도율	0.049	관내수온	90℃ 이하								
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
보온두께 (기준)	ASHRAE-라	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	50	50
	기술기준(라)	35	35	35	35	35	50	50	50	50	50	50	65
	ASHRAE-라	11.39	12.89	14.34	16.45	15.75	18.00	20.91	23.24	25.37	27.67	32.04	36.56
	기술기준(라)	12.09	13.75	15.36	17.69	19.22	18.00	20.91	23.24	25.37	27.67	32.04	30.32
열방출량	열방출량 10%감소	10.88	12.38	13.82	15.92	17.30	16.20	18.82	20.92	22.84	24.90	28.84	27.29
	보온두께 계산값	44.30	43.60	43.00	42.50	42.20	60.20	59.60	59.20	58.80	58.60	58.20	75.70
	보온두께 개선(안)mm	45	44	43	43	43	61	60	60	59	59	59	76

구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
기존	가	20	20	20	20	20	35	35	35	35	35	35	45
	나	25	25	25	25	25	40	40	40	40	40	40	50
	다	30	30	30	30	30	45	45	45	45	45	45	60
	라	35	35	35	35	35	50	50	50	50	50	50	65
개선(안)	가	25	25	24	24	24	42	41	41	41	41	41	52
	나	31	31	31	30	30	48	48	47	47	47	47	58
	다	38	37	37	37	36	54	54	53	53	53	53	70
	라	45	44	43	43	43	61	60	60	59	59	59	76

<표 38> 온수관 등 관내수온 91~120℃ 단열두께 개선(안)

보온재 등급		가		열전도율		0.032		관내수온		120℃					
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A		
보온두께 (기준)	ASHRAE-가(온도기준)	65	65	65	65	80	80	80	80	80	80	80	80		
	ASHRAE-가(열전도율 기준)	25	25	25	25	40	40	40	40	40	40	40	40		
	기술기준-가	35	35	35	35	35	45	45	45	45	45	45	65		
일방출량	ASHRAE-가(온도기준)	9.19	10.25	11.26	12.71	12.25	13.79	15.77	17.34	18.76	20.29	23.19	26.16		
	ASHRAE-가(열전도율 기준)	14.40	16.60	18.75	21.91	17.94	20.68	24.26	27.13	29.77	32.61	38.03	43.64		
	기술기준-가	12.16	13.85	15.49	17.88	19.44	19.22	22.45	25.04	27.41	29.96	34.84	30.33		
일방출량 10%감소		10.94	12.47	13.94	16.09	17.49	17.30	20.21	22.54	24.67	26.97	31.36	27.30		
보온두께 계산값		43.8	43.00	42.60	42.00	41.80	53.60	53.00	52.70	52.50	52.30	52.00	75.30		
보온두께 개선(안)mm		44	43	43	42	42	54	53	53	53	53	52	76		

보온재 등급		나		열전도율		0.0375		관내수온		120℃					
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A		
보온두께 (기준)	ASHRAE-나(온도기준)	65	65	65	65	80	80	80	80	80	80	80	80		
	ASHRAE-나(열전도율 기준)	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	50	50		
	기술기준-나	40	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	75		
일방출량	ASHRAE-나(온도기준)	10.74	11.98	13.15	14.84	14.32	16.11	18.42	20.25	21.91	23.69	27.07	30.54		
	ASHRAE-나(열전도율 기준)	13.30	15.07	16.78	19.27	18.38	21.02	24.44	27.19	29.70	32.40	37.55	42.87		
	기술기준-나	13.30	15.07	16.78	19.27	20.89	21.02	24.44	27.19	29.70	32.40	37.55	31.95		
일방출량 10%감소		11.97	13.57	15.10	17.34	18.80	18.92	22.00	24.47	26.73	29.16	33.80	28.75		
보온두께 계산값		50.5	49.60	49.10	48.40	48.10	59.90	59.30	58.90	58.60	58.30	57.90	87.30		
보온두께 개선(안)mm		51	50	50	49	49	60	60	59	59	59	58	88		

보온재 등급		다	열전도율		0.0435	관내수온		120℃						
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A	
보온두께 (기준)	ASHRAE-다(온도기준)	65	65	65	65	80	80	80	80	80	80	80	80	
	ASHRAE-다(열전도율 기준)	80	80	100	100	115	115	115	115	115	115	115	115	
	기술기준-다	45	45	45	45	45	60	60	60	60	60	60	90	
일방출량	ASHRAE-다(온도기준)	12.42	13.84	15.20	17.15	16.56	18.63	21.29	23.40	25.32	27.38	31.27	35.27	
	ASHRAE-다(열전도율 기준)	11.42	12.66	12.54	13.95	13.93	15.49	17.47	19.04	20.45	21.95	24.79	27.69	
	기술기준-다	14.54	16.41	18.20	20.80	22.49	21.82	25.20	27.90	30.36	33.00	38.04	32.55	
일방출량 10%감소		13.09	14.77	16.38	18.72	20.25	19.64	22.68	25.11	27.32	29.70	34.23	29.29	
보온두께 계산값		57.3	56.30	55.60	54.80	54.40	72.50	71.70	71.20	70.80	70.40	69.90	105.50	
보온두께 개선(안)mm		58	57	56	55	55	73	72	72	71	71	70	106	

보온재 등급		라		열전도율		0.049		관내수온		120℃					
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A		
보온두께 (기준)	ASHRAE-라(온도기준)	65	65	65	65	80	80	80	80	80	80	80	80		
	ASHRAE-라(열전도율 기준)	115	115	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125		
	기술기준-라	50	50	50	50	50	65	65	65	65	65	65	100		
일방출량	ASHRAE-라(온도기준)	13.94	15.55	17.07	19.25	18.60	20.92	23.90	26.27	28.42	30.73	35.10	39.58		
	ASHRAE-라(열전도율 기준)	11.21	12.29	12.87	14.22	15.08	16.73	18.82	20.46	21.94	23.52	26.49	29.51		
	기술기준-라	15.57	17.51	19.36	22.03	23.77	23.41	26.95	29.77	32.34	35.10	40.35	34.07		
일방출량 10%감소		14.02	15.76	17.42	19.83	21.39	21.07	24.25	26.79	29.11	31.59	36.31	30.66		
보온두께 계산값		64.1	63.00	62.20	61.30	60.90	78.90	78.00	77.40	77.00	76.60	76.00	117.70		
보온두께 개선(안)mm		65	63	63	62	61	79	78	78	77	77	76	118		

구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
기존	가	35	35	35	35	35	45	45	45	45	45	45	65
	나	40	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	75
	다	45	45	45	45	45	60	60	60	60	60	60	90
	라	50	50	50	50	50	65	65	65	65	65	65	100
개선(안)	가	44	43	43	42	42	54	53	53	53	53	52	76
	나	51	50	50	49	49	60	60	59	59	59	58	88
	다	58	57	56	55	55	73	72	72	71	71	70	106
	라	65	63	63	62	61	79	78	78	77	77	76	118

냉수관 등(일반)

관내수온 4℃ 이상 6℃ 미만, 주위온도 30℃ 이하, 상대습도 75% 미만
수평열흐름, 유효복사계수 0.02/0.95

용량 결과발생

보온재 등급	가	열전도율	0.032	관내수온	5℃										
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A		
보온두께 (기준)	ASHRAE-가	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	기술기준(가)	25	25	25	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	ASHRAE-가(0.02)	-4.42	-5.17	-5.92	-7.02	-5.62	-6.55	-7.70	-8.67	-9.57	-10.53	-12.39	-14.31		
	기술기준-가(0.02)	-3.45	-3.95	-4.44	-4.11	-4.45	-5.10	-5.92	-6.61	-7.23	-7.90	-9.19	-10.52		
	ASHRAE-가(0.95)	-5.35	-6.30	-7.24	-8.63	-6.41	-7.50	-8.91	-10.07	-11.12	-12.27	-14.46	-16.73		
열방출량	기술기준-가(0.95)	-3.87	-4.46	-5.02	-4.49	-4.87	-5.60	-6.56	-7.33	-8.04	-8.80	-10.26	-11.77		
	표면온도(A-가)(0.02)	22.15	21.90	21.72	21.51	24.66	24.49	24.16	24.06	23.98	23.91	23.81	23.73		
	표면온도(K-가)(0.02)	25.33	25.12	24.96	26.49	26.41	26.26	25.99	25.83	25.76	25.76	25.66	25.57		
	표면온도(A-가)(0.95)	25.76	25.58	25.45	25.30	27.42	27.32	27.18	27.12	27.07	27.03	26.96	26.91		
	표면온도(K-가)(0.95)	27.83	27.70	27.60	28.48	28.43	28.35	28.25	28.20	28.16	28.12	28.07	28.02		

보온재 등급	나	열전도율	0.0375	관내수온	5℃										
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A		
보온두께 (기준)	ASHRAE-나	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	기술기준(나)	30	30	30	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
	ASHRAE-나(0.02)	-4.96	-5.79	-6.62	-7.84	-6.39	-7.44	-8.73	-9.83	-10.84	-11.93	-14.02	-16.19		
	기술기준-나(0.02)	-3.68	-4.19	-4.68	-4.48	-4.83	-5.52	-6.38	-7.09	-7.74	-8.44	-9.78	-11.15		
	ASHRAE-나(0.95)	-6.11	-7.18	-8.24	-9.82	-7.39	-8.64	-10.26	-11.58	-12.90	-14.11	-16.63	-19.24		
열방출량	기술기준-나(0.95)	-4.11	-4.70	-5.27	-4.90	-5.29	-6.07	-7.07	-7.88	-8.62	-9.41	-10.93	-12.50		
	표면온도(A-나)(0.02)	21.41	21.15	20.95	20.73	24.08	23.90	23.54	23.44	23.35	23.28	23.17	23.09		
	표면온도(K-나)(0.02)	25.56	25.36	25.19	26.47	26.38	26.23	25.95	25.85	25.78	25.71	25.60	25.51		
	표면온도(A-나)(0.95)	25.22	25.02	24.88	24.71	27.06	26.95	26.79	26.72	26.67	26.62	26.55	26.49		
	표면온도(K-나)(0.95)	27.96	27.84	27.74	28.47	28.42	28.34	28.23	28.18	28.13	28.09	28.03	27.98		

보온재 등급	다	열전도율	0.0435	관내수온	5℃										
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A		
보온두께 (기준)	ASHRAE-다(열전도율 범위 밖)	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	기술기준(다)	35	35	35	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	ASHRAE-다(0.02)	-5.49	-6.41	-7.31	-8.66	-7.19	-8.36	-9.79	-11.02	-12.15	-13.36	-15.69	-18.11		
	기술기준-다(0.02)	-3.96	-4.47	-4.97	-4.88	-5.25	-5.97	-6.86	-7.61	-8.29	-9.02	-10.41	-11.84		
	ASHRAE-다(0.95)	-6.89	-8.10	-9.28	-11.05	-8.43	-9.84	-11.68	-13.18	-14.56	-16.05	-18.90	-21.86		
열방출량	기술기준-다(0.95)	-4.40	-5.00	-5.58	-5.33	-5.75	-6.57	-7.62	-8.47	-9.24	-10.07	-11.66	-13.30		
	표면온도(A-다)(0.02)	20.68	20.40	20.20	19.98	23.50	23.31	22.93	22.81	22.73	22.65	22.53	22.44		
	표면온도(K-다)(0.02)	25.71	25.51	25.34	26.44	26.35	26.19	25.90	25.80	25.72	25.64	25.52	25.43		
	표면온도(A-다)(0.95)	24.67	24.45	24.29	24.11	26.69	26.56	26.39	26.31	26.25	26.20	26.12	26.06		
	표면온도(K-다)(0.95)	28.05	27.93	27.83	28.45	28.40	28.31	28.20	28.15	28.10	28.06	27.99	27.94		

보온재 등급	라	열전도율	0.049	관내수온	5℃										
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A		
보온두께 (기준)	ASHRAE-라(열전도율 범위 밖)	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	기술기준(라)	40	40	40	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
	ASHRAE-라(0.02)	-5.95	-6.93	-7.90	-9.34	-7.88	-9.16	-10.71	-12.05	-13.27	-14.60	-17.13	-19.76		
	기술기준-라(0.02)	-4.19	-4.71	-5.22	-5.20	-5.58	-6.33	-7.25	-8.02	-8.72	-9.46	-10.89	-12.36		
	ASHRAE-라(0.95)	-7.57	-8.89	-10.19	-12.11	-9.35	-10.91	-12.94	-14.60	-16.12	-17.76	-20.91	-24.18		
열방출량	기술기준-라(0.95)	-4.64	-5.25	-5.83	-5.69	-6.12	-6.96	-8.05	-8.92	-9.72	-10.57	-12.20	-13.88		
	표면온도(A-라)(0.02)	20.07	19.79	19.58	19.35	23.01	22.81	22.41	22.29	22.20	22.11	21.99	21.90		
	표면온도(K-라)(0.02)	25.87	25.67	25.50	26.45	26.35	26.20	25.90	25.80	25.71	25.63	25.51	25.41		
	표면온도(A-라)(0.95)	24.19	23.96	23.79	23.60	26.36	26.22	26.03	25.95	25.89	25.83	25.74	25.68		
	표면온도(K-라)(0.95)	28.14	28.02	27.92	28.45	28.40	28.32	28.20	28.14	28.10	28.05	27.98	27.93		



관내수온 6~15℃, 주위온도 30℃ 이하, 상대습도 75% 미만
수평열흐름, 유효복사계수 0.02/0.95

용역 결과발생

보온재 등급		가	열전도율	0.032	관내수온	10℃										
구분	호칭명	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A			
보온두께 (기준)	ASHRAE-가	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25			
	기술기준(가)	20	20	20	35	35	35	35	35	35	35	35	35			
	ASHRAE-가(0.02)	-3.48	-4.07	-4.66	-5.52	-4.45	-5.18	-6.09	-6.86	-7.57	-8.33	-9.79	-11.31			
	기술기준-가(0.02)	-2.97	-3.43	-3.88	-3.48	-3.77	-4.35	-5.06	-5.66	-6.21	-6.80	-7.93	-9.10			
	ASHRAE-가(0.95)	-4.28	-5.04	-5.78	-6.90	-5.13	-6.00	-7.13	-8.05	-8.90	-9.81	-11.57	-13.38			
열방출량	기술기준-가(0.95)	-3.45	-4.00	-4.55	-3.87	-4.20	-4.86	-5.72	-6.41	-7.05	-7.73	-9.04	-10.40			
	표면온도(A-가)(0.02)	23.51	23.31	23.16	22.99	25.57	25.43	25.16	25.07	25.01	24.95	24.87	24.81			
	표면온도(K-가)(0.02)	25.33	25.14	24.99	26.72	26.64	26.52	26.28	26.20	26.13	26.08	25.99	25.93			
	표면온도(A-가)(0.95)	26.60	26.45	26.34	26.22	27.93	27.85	27.74	27.69	27.65	27.62	27.57	27.53			
	표면온도(K-가)(0.95)	27.79	27.67	27.58	28.59	28.55	28.48	28.39	28.35	28.31	28.28	28.23	28.19			

보온재 등급		나	열전도율	0.0375	관내수온	10℃										
구분	호칭명	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A			
보온두께 (기준)	ASHRAE-나	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25			
	기술기준(나)	25	25	25	40	40	40	40	40	40	40	40	40			
	ASHRAE-나(0.02)	-3.90	-4.55	-5.20	-6.16	-5.06	-5.88	-6.90	-7.76	-8.56	-9.42	-11.07	-12.78			
	기술기준-나(0.02)	-3.12	-3.57	-4.00	-3.75	-4.06	-4.65	-5.39	-6.00	-6.57	-7.17	-8.33	-9.53			
	ASHRAE-나(0.95)	-4.88	-5.74	-6.59	-7.85	-5.91	-6.91	-8.21	-9.26	-10.24	-11.28	-13.30	-15.38			
열방출량	기술기준-나(0.95)	-3.58	-4.12	-4.64	-4.17	-4.52	-5.20	-6.08	-6.80	-7.45	-8.16	-9.50	-10.89			
	표면온도(A-나)(0.02)	22.91	22.69	22.53	22.36	25.09	24.95	24.65	24.56	24.49	24.43	24.35	24.28			
	표면온도(K-나)(0.02)	25.69	25.51	25.36	26.74	26.66	26.53	26.29	26.20	26.14	26.08	25.98	25.91			
	표면온도(A-나)(0.95)	26.16	26.00	25.88	25.75	27.64	27.55	27.43	27.37	27.33	27.29	27.23	27.19			
	표면온도(K-나)(0.95)	28.01	27.90	27.81	28.60	28.56	28.49	28.40	28.35	28.31	28.28	28.23	28.19			

보온재 등급		다	열전도율	0.0435	관내수온	10℃										
구분	호칭명	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A			
보온두께 (기준)	ASHRAE-다(열전도율 범위 밖)	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25			
	기술기준(다)	30	30	30	45	45	45	45	45	45	45	45	45			
	ASHRAE-다(0.02)	-4.31	-5.03	-5.74	-6.79	-5.68	-6.60	-7.73	-8.69	-9.58	-10.54	-12.37	-14.27			
	기술기준-다(0.02)	-3.31	-3.76	-4.19	-4.05	-4.37	-4.98	-5.75	-6.38	-6.97	-7.59	-8.79	-10.02			
	ASHRAE-다(0.95)	-5.51	-6.47	-7.42	-8.82	-6.74	-7.87	-9.34	-10.54	-11.64	-12.83	-15.11	-17.48			
열방출량	기술기준-다(0.95)	-3.77	-4.31	-4.82	-4.50	-4.87	-5.57	-6.49	-7.23	-7.91	-8.64	-10.03	-11.46			
	표면온도(A-다)(0.02)	22.31	22.09	21.92	21.74	24.62	24.46	24.15	24.05	23.98	23.92	23.82	23.75			
	표면온도(K-다)(0.02)	25.93	25.74	25.59	26.74	26.66	26.53	26.29	26.19	26.12	26.06	25.96	25.88			
	표면온도(A-다)(0.95)	25.71	25.54	25.41	25.27	27.34	27.24	27.10	27.04	26.99	26.95	26.89	26.84			
	표면온도(K-다)(0.95)	28.15	28.04	27.95	28.60	28.56	28.49	28.39	28.34	28.30	28.27	28.21	28.17			

보온재 등급		라	열전도율	0.049	관내수온	10℃										
구분	호칭명	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A			
보온두께 (기준)	ASHRAE-라(열전도율 범위 밖)	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25			
	기술기준(라)	35	35	35	50	50	50	50	50	50	50	50	50			
	ASHRAE-라(0.02)	-4.66	-5.43	-6.19	-7.31	-6.22	-7.22	-8.44	-9.49	-10.46	-11.50	-13.49	-15.56			
	기술기준-라(0.02)	-3.47	-3.92	-4.35	-4.30	-4.62	-5.25	-6.03	-6.68	-7.27	-7.91	-9.12	-10.37			
	ASHRAE-라(0.95)	-6.05	-7.10	-8.14	-9.67	-7.48	-8.73	-10.35	-11.67	-12.89	-14.20	-16.72	-19.33			
열방출량	기술기준-라(0.95)	-3.93	-4.46	-4.98	-4.77	-5.14	-5.87	-6.81	-7.56	-8.25	-8.99	-10.41	-11.87			
	표면온도(A-라)(0.02)	21.82	21.59	21.42	21.23	24.21	24.05	23.72	23.62	23.55	23.48	23.38	23.31			
	표면온도(K-라)(0.02)	26.14	25.96	25.81	26.78	26.70	26.56	26.31	26.21	26.14	26.08	25.97	25.89			
	표면온도(A-라)(0.95)	25.33	25.15	25.01	24.86	27.08	26.97	26.82	26.75	26.70	26.65	26.58	26.53			
	표면온도(K-라)(0.95)	28.27	28.16	28.08	28.62	28.58	28.50	28.41	28.36	28.32	28.28	28.22	28.17			



냉수관 등(다습)

관내수온 4℃ 이상 6℃ 미만, 주위온도 30℃ 초과 또는 상대습도 75% 이상
수평열흐름, 유효복사계수 0.02/0.95

용량 결로발생

보온재 등급	가	열전도율				0.032	관내수온		5℃								
구분	호칭경	15A				20A	25A		32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
보온두께 (기준)	ASHRAE-가	13	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	기술기준(가)	35	35	35	35	35	45	45	45	45	45	45	45	45	65	65	65
열방출량	ASHRAE-가(0.02)	-4.42	-5.17	-5.92	-7.02	-5.62	-6.55	-7.70	-8.67	-9.57	-10.53	-12.39	-14.31				
	기술기준-가(0.02)	-3.03	-3.43	-3.82	-4.38	-4.20	-4.80	-5.55	-6.17	-6.74	-7.36	-8.77	-9.66				
	ASHRAE-가(0.95)	-5.35	-6.30	-7.24	-8.63	-6.41	-7.50	-8.91	-10.07	-11.12	-12.27	-14.46	-16.73				
	기술기준-가(0.95)	-3.30	-3.76	-4.20	-4.84	-4.56	-5.22	-6.09	-6.79	-7.43	-8.12	-9.30	-8.27				
표면온도	표면온도(A-가)(0.02)	22.15	21.90	21.72	21.51	24.66	24.49	24.16	24.06	23.98	23.91	23.81	23.73				
	표면온도(K-가)(0.02)	26.54	26.36	26.22	26.05	26.77	26.63	26.38	26.29	26.22	26.15	27.11	27.03				
	표면온도(A-가)(0.95)	25.76	25.58	25.45	25.30	27.42	27.32	27.18	27.12	27.07	27.03	26.96	26.91				
	표면온도(K-가)(0.95)	28.50	28.41	28.33	28.24	28.62	28.55	28.46	28.41	28.37	28.34	28.83	28.80				

보온재 등급	나	열전도율	0.0375	관내수온	5℃								
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
보온두께 (기준)	ASHRAE-나	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25
	기술기준(나)	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	75	75
	ASHRAE-나(0.02)	-4.96	-5.79	-6.62	-7.84	-6.39	-7.44	-8.73	-9.83	-10.84	-11.93	-14.02	-16.19
	기술기준-나(0.02)	-3.31	-3.73	-4.14	-4.73	-4.60	-5.24	-6.03	-6.69	-7.29	-7.93	-9.16	-8.07
	ASHRAE-나(0.95)	-6.11	-7.18	-8.24	-9.82	-7.39	-8.64	-10.26	-11.58	-12.80	-14.11	-16.63	-19.24
열방출량	기술기준-나(0.95)	-3.61	-4.09	-4.55	-5.21	-5.00	-5.71	-6.63	-7.37	-8.04	-8.77	-9.72	-8.72
	표면온도(A-나)(0.02)	21.41	21.15	20.95	20.73	24.08	23.90	23.54	23.44	23.35	23.28	23.17	23.09
	표면온도(K-나)(0.02)	26.57	26.40	26.25	26.08	26.71	26.57	26.31	26.21	26.13	26.06	27.14	27.06
	표면온도(A-나)(0.95)	25.22	25.02	24.88	24.71	27.06	26.95	26.79	26.72	26.67	26.62	26.55	26.49
	표면온도(K-나)(0.95)	28.52	28.43	28.35	28.25	28.59	28.52	28.42	28.37	28.33	28.29	28.85	28.81

보온재 등급	다	열전도율	0.0435	관내수온	5℃								
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
보온두께 (기준)	ASHRAE-다(열전도율 범위 밖)	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25
	기술기준(다)	45	45	45	45	60	60	60	60	60	60	90	90
	ASHRAE-다(0.02)	-5.49	-6.41	-7.31	-8.66	-7.19	-8.36	-9.79	-11.02	-12.15	-13.36	-15.69	-18.11
	기술기준-다(0.02)	-3.62	-4.07	-4.49	-5.10	-4.83	-5.47	-6.26	-6.91	-7.50	-8.13	-9.37	-8.27
	ASHRAE-다(0.95)	-6.89	-8.10	-9.28	-11.05	-8.43	-9.84	-11.68	-13.18	-14.56	-16.05	-18.90	-21.86
열방출량	기술기준-다(0.95)	-3.95	-4.45	-4.93	-5.63	-5.23	-5.94	-6.85	-7.57	-8.24	-8.95	-9.91	-8.89
	표면온도(A-다)(0.02)	20.68	20.40	20.20	19.98	23.50	23.31	22.93	22.81	22.73	22.65	22.53	22.44
	표면온도(K-다)(0.02)	26.58	26.41	26.26	26.09	26.90	26.76	26.51	26.41	26.33	26.26	27.29	27.21
	표면온도(A-다)(0.95)	24.67	24.45	24.29	24.11	26.69	26.56	26.39	26.31	26.25	26.20	26.12	26.06
	표면온도(K-다)(0.95)	28.53	28.43	28.35	28.26	28.69	28.62	28.53	28.48	28.44	28.40	28.93	28.89

보온재 등급	라	열전도율	0.049	관내수온	5℃								
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
보온두께 (기준)	ASHRAE-라(열전도율 범위 밖)	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25
	기술기준(라)	50	50	50	50	65	65	65	65	65	65	100	100
	ASHRAE-라(0.02)	-5.95	-6.93	-7.90	-9.34	-7.88	-9.16	-10.71	-12.05	-13.27	-14.60	-17.13	-19.76
	기술기준-라(0.02)	-3.89	-4.35	-4.78	-5.41	-5.20	-5.86	-6.68	-7.36	-7.97	-8.63	-9.74	-8.66
	ASHRAE-라(0.95)	-7.57	-8.89	-10.19	-12.11	-9.35	-10.91	-12.94	-14.60	-16.12	-17.76	-20.91	-24.18
열방출량	기술기준-라(0.95)	-4.23	-4.75	-5.25	-5.96	-5.63	-6.37	-7.32	-8.08	-8.77	-9.51	-10.31	-9.31
	표면온도(A-라)(0.02)	20.07	19.79	19.58	19.35	23.01	22.81	22.41	22.29	22.20	22.11	21.99	21.90
	표면온도(K-라)(0.02)	26.62	26.45	26.31	26.13	26.87	26.72	26.46	26.36	26.28	26.21	27.32	27.24
	표면온도(A-라)(0.95)	24.19	23.96	23.79	23.60	26.36	26.22	26.03	25.95	25.89	25.83	25.74	25.68
	표면온도(K-라)(0.95)	28.55	28.46	28.38	28.28	28.68	28.60	28.50	28.45	28.41	28.37	28.94	28.90



관내수온 6~15℃, 주위온도 30℃ 초과 또는 상대습도 75% 이상
수평열흐름, 유효복사계수 0.02/0.95

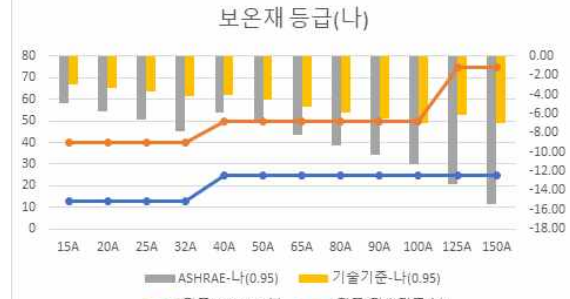
용량 결로발생

보온재 등급		가	열전도율		0.032	관내수온	10℃										
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A				
보온두께 (기준)	ASHRAE-가	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25				
	기술기준(가)	35	35	35	35	45	45	45	45	45	45	45	45				
	ASHRAE-가(0.02)	-3.48	-4.07	-4.66	-5.52	-4.45	-5.18	-6.09	-6.86	-7.57	-8.33	-9.79	-11.31				
	기술기준-가(0.02)	-2.41	-2.72	-3.03	-3.48	-3.34	-3.81	-4.41	-4.91	-5.36	-5.84	-5.38	-6.09				
열방출량	ASHRAE-가(0.95)	-4.28	-5.04	-5.79	-6.90	-5.13	-6.00	-7.13	-8.05	-8.90	-9.81	-11.57	-13.38				
	기술기준-가(0.95)	-2.64	-3.01	-3.36	-3.87	-3.64	-4.18	-4.87	-5.43	-5.94	-6.49	-5.84	-6.62				
	표면온도(A-가)(0.02)	23.51	23.31	23.16	22.99	25.57	25.43	25.16	25.07	25.01	24.95	24.87	24.81				
	표면온도(K-가)(0.02)	27.12	26.97	26.86	26.72	27.31	27.20	26.99	26.91	26.85	26.80	27.59	27.53				
표면온도	표면온도(A-가)(0.95)	26.60	26.45	26.34	26.22	27.93	27.85	27.74	27.69	27.65	27.62	27.57	27.53				
	표면온도(K-가)(0.95)	28.80	28.73	28.66	28.59	28.90	28.84	28.77	28.73	28.70	28.67	29.07	29.04				

보온재 등급		나	열전도율		0.0375	관내수온	10℃										
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A				
보온두께 (기준)	ASHRAE-나	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25				
	기술기준(나)	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	50	50				
	ASHRAE-나(0.02)	-3.90	-4.55	-5.20	-6.16	-5.06	-5.88	-6.90	-7.76	-8.56	-9.42	-11.07	-12.78				
	기술기준-나(0.02)	-2.63	-2.97	-3.29	-3.75	-3.66	-4.16	-4.79	-5.31	-5.79	-6.30	-5.70	-6.42				
열방출량	ASHRAE-나(0.95)	-4.88	-5.74	-6.59	-7.85	-5.91	-6.91	-8.21	-9.26	-10.24	-11.28	-13.30	-15.38				
	기술기준-나(0.95)	-2.89	-3.27	-3.64	-4.17	-4.00	-4.57	-5.30	-5.90	-6.44	-7.02	-6.17	-6.97				
	표면온도(A-나)(0.02)	22.91	22.69	22.53	22.36	25.09	24.95	24.65	24.56	24.49	24.43	24.35	24.28				
	표면온도(K-나)(0.02)	27.15	27.00	26.88	26.74	27.26	27.14	26.93	26.85	26.78	26.73	27.62	27.55				
표면온도	표면온도(A-나)(0.95)	26.16	26.00	25.88	25.75	27.64	27.55	27.43	27.37	27.33	27.29	27.23	27.19				
	표면온도(K-나)(0.95)	28.82	28.74	28.68	28.60	28.87	28.82	28.74	28.70	28.66	28.63	29.08	29.05				

보온재 등급		다	열전도율		0.0435	관내수온	10℃										
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A				
보온두께 (기준)	ASHRAE-다(열전도율 범위 밖)	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25				
	기술기준(다)	45	45	45	45	60	60	60	60	60	60	90	90				
	ASHRAE-다(0.02)	-4.31	-5.03	-5.74	-6.79	-5.68	-6.60	-7.73	-8.69	-9.58	-10.54	-12.37	-14.27				
	기술기준-다(0.02)	-2.88	-3.23	-3.57	-4.05	-3.85	-4.35	-4.97	-5.49	-5.96	-6.46	-5.87	-6.58				
열방출량	ASHRAE-다(0.95)	-5.51	-6.47	-7.42	-8.82	-6.74	-7.87	-9.34	-10.54	-11.64	-12.83	-15.11	-17.48				
	기술기준-다(0.95)	-3.16	-3.56	-3.95	-4.50	-4.18	-4.75	-5.48	-6.06	-6.59	-7.16	-6.33	-7.11				
	표면온도(A-다)(0.02)	22.31	22.09	21.92	21.74	24.62	24.46	24.15	24.05	23.98	23.92	23.82	23.75				
	표면온도(K-다)(0.02)	27.16	27.01	26.89	26.74	27.42	27.31	27.09	27.01	26.95	26.89	27.75	27.68				
표면온도	표면온도(A-다)(0.95)	25.71	25.54	25.41	25.27	27.34	27.24	27.10	27.04	26.99	26.95	26.89	26.84				
	표면온도(K-다)(0.95)	28.82	28.75	28.68	28.60	28.96	28.90	28.82	28.78	28.75	28.72	29.14	29.11				

보온재 등급		라	열전도율		0.049	관내수온	10℃										
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A				
보온두께 (기준)	ASHRAE-라(열전도율 범위 밖)	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25				
	기술기준(라)	50	50	50	50	65	65	65	65	65	65	100	100				
	ASHRAE-라(0.02)	-4.66	-5.43	-6.19	-7.31	-6.22	-7.22	-8.44	-9.49	-10.46	-11.50	-13.49	-15.56				
	기술기준-라(0.02)	-3.09	-3.45	-3.80	-4.30	-4.13	-4.66	-5.31	-5.85	-6.33	-6.86	-6.16	-6.89				
열방출량	ASHRAE-라(0.95)	-6.05	-7.10	-8.14	-9.67	-7.48	-8.73	-10.35	-11.67	-12.89	-14.20	-16.72	-19.33				
	기술기준-라(0.95)	-3.39	-3.80	-4.20	-4.77	-4.50	-5.09	-5.85	-6.46	-7.02	-7.61	-6.65	-7.45				
	표면온도(A-라)(0.02)	21.82	21.59	21.42	21.23	24.21	24.05	23.72	23.62	23.55	23.48	23.38	23.31				
	표면온도(K-라)(0.02)	27.19	27.05	26.93	26.78	27.39	27.27	27.06	26.97	26.91	26.84	27.77	27.70				
표면온도	표면온도(A-라)(0.95)	25.33	25.15	25.01	24.86	27.08	26.97	26.82	26.75	26.70	26.65	26.58	26.53				
	표면온도(K-라)(0.95)	28.84	28.76	28.70	28.62	28.94	28.88	28.80	28.76	28.73	28.69	29.15	29.12				



- 냉수관 등의 경우 ASHRAE 기준은 최소 단열두께를 제시하고 있어 기술기준이 더 높은 기본값을 기준으로 하고 있음. ASHRAE의 경우 4℃ 이하에서 열전도율 0.029~0.037W/(m·℃), 4~16℃에서 열전도율 0.030~0.039W/(m·℃) 보온재로 기준을 두어 기술기준과 차이를 보임
- 냉수관 등의 경우 경제성 등을 고려하여 결로가 발생하지 않는 최소 단열두께를 계산해보면 기존 열방출량 대비 45% 이상 열방출량이 증가하게 됨. 열방출량이 과도하게 증가하지 않도록 우선적

으로 열방출량 값이 큰 유효복사계수 0.95의 조건을 기준으로 기존 열방출량 대비 10%정도 증가한 열방출량을 내는 단열두께를 계산함

- 계산된 냉수관 등 단열두께 개선(안)은 <표 39>~ <표 42>와 같음. 기존 기술기준 대비 일반의 경우 평균 14%, 다습의 경우 평균 15% 정도 단열두께가 감소함. 호칭경별 열방출량을 기준으로 계산하여 단열두께의 값이 일정하지 않으므로 기술기준의 호칭경 구분에 맞춰 단열두께 값을 정할 필요가 있음

<표 39> 냉수관 등 관내수온 4~6℃(일반) 단열두께 개선(안)

모든재 등급	가	일전도율				관내수온				5℃						
		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A			
보온두께 (기준)	ASHRAE-가	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	기술기준-가	25	25	25	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
열방출량	ASHRAE-가	-5.35	-6.30	-7.24	-8.63	-6.41	-7.50	-8.91	-10.07	-11.12	-12.27	-14.46	-16.73			
	기술기준-가	-3.87	-4.46	-5.02	-4.49	-4.87	-5.60	-6.56	-7.33	-8.04	-8.80	-10.26	-11.77			
표면온도	표면온도(A-가)	25.76	25.58	25.45	25.30	27.42	27.32	27.18	27.12	27.07	27.03	26.96	26.91			
	표면온도(K-가)	27.83	27.70	27.60	28.48	28.43	28.35	28.25	28.20	28.16	28.12	28.07	28.02			
	겔로미발생 두께	6.93	7.17	7.36	7.56	7.67	7.83	8.12	8.22	8.29	8.35	8.44	8.50			
	겔로미발생(열손실)	-7.28	-8.60	-9.89	-11.81	-13.07	-15.57	-18.59	-21.21	-23.63	-26.25	-31.26	-36.49			
	겔로미발생 두께 열방출량 차이	47%	48%	49%	62%	63%	64%	65%	65%	66%	66%	67%	68%			
	기존 열방출량+10%	-4.26	-4.90	-5.53	-4.94	-5.35	-6.16	-7.22	-8.07	-8.85	-9.68	-11.29	-12.94			
	보온두께 계산값	20.50	20.85	21.00	33.70	33.90	34.20	34.50	34.65	34.75	34.90	35.05	35.20			
	보온두께 개선(안)mm	21	21	21	34	34	35	35	35	35	35	36	36			

모든재 등급	나	일전도율				관내수온				5℃						
		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A			
보온두께 (기준)	ASHRAE-나	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	기술기준-나	30	30	30	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
열방출량	ASHRAE-나	-6.11	-7.18	-8.24	-9.82	-7.39	-8.64	-10.26	-11.58	-12.80	-14.11	-16.63	-19.24			
	기술기준-나	-4.11	-4.70	-5.27	-4.90	-5.29	-6.07	-7.07	-7.88	-8.62	-9.41	-10.93	-12.50			
표면온도	표면온도(A-나)	25.22	25.02	24.88	24.71	27.06	26.95	26.79	26.72	26.67	26.62	26.55	26.49			
	표면온도(K-나)	27.96	27.84	27.74	28.47	28.42	28.34	28.23	28.18	28.13	28.09	28.03	27.98			
	겔로미발생 두께	7.920	8.220	8.440	8.700	8.830	9.040	9.400	9.520	9.610	9.690	9.800	9.890			
	겔로미발생(열손실)	-7.69	-9.03	-10.34	-12.27	-13.55	-16.06	-19.09	-21.73	-24.16	-26.78	-31.82	-37.04			
	겔로미발생 두께 열방출량 차이	47%	48%	49%	60%	61%	62%	63%	64%	64%	65%	66%	68%			
	기존 열방출량+10%	-4.52	-5.17	-5.80	-5.39	-5.82	-6.67	-7.78	-8.67	-9.48	-10.35	-12.02	-13.75			
	보온두께 계산값	24.50	24.80	25.00	37.60	37.90	38.30	38.60	38.80	38.95	39.15	39.35	39.46			
	보온두께 개선(안)mm	25	25	25	38	38	39	39	39	39	40	40	40			

모든재 등급	다	일전도율				관내수온				5℃						
		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A			
보온두께 (기준)	ASHRAE-다(일전도율 범위 밖)	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	기술기준-다	35	35	35	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
열방출량	ASHRAE-다(일전도율 범위 밖)	-6.89	-8.10	-9.28	-11.05	-8.43	-9.84	-11.68	-13.18	-14.56	-16.05	-18.90	-21.86			
	기술기준-다	-4.40	-5.00	-5.58	-5.33	-5.75	-6.57	-7.62	-8.47	-9.24	-10.07	-11.66	-13.30			
표면온도	표면온도(A-다)	24.67	24.45	24.29	24.11	26.69	26.56	26.39	26.31	26.25	26.20	26.12	26.06			
	표면온도(K-다)	28.05	27.93	27.83	28.45	28.40	28.31	28.20	28.15	28.10	28.06	27.99	27.94			
	겔로미발생 두께	8.970	9.320	9.600	9.910	10.070	10.320	10.750	10.900	11.020	11.120	11.270	11.380			
	겔로미발생(열손실)	-8.11	-9.48	-10.81	-12.76	-14.05	-16.59	-19.64	-22.30	-24.73	-27.36	-32.40	-37.64			
	겔로미발생 두께 열방출량 차이	46%	47%	48%	58%	59%	60%	61%	62%	63%	63%	64%	65%			
	기존 열방출량+10%	-4.84	-5.50	-6.14	-5.87	-6.33	-7.22	-8.38	-9.31	-10.16	-11.08	-12.82	-14.63			
	보온두께 계산값	28.30	28.70	29.00	41.50	41.80	42.30	42.70	42.95	43.15	43.30	43.55	43.70			
	보온두께 개선(안)mm	29	29	29	42	42	43	43	43	44	44	44	44			

모든재 등급	라	일전도율				관내수온				5℃						
		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A			
보온두께 (기준)	ASHRAE-라(일전도율 범위 밖)	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	기술기준-라	40	40	40	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
열방출량	ASHRAE-라(일전도율 범위 밖)	-7.57	-8.89	-10.19	-12.11	-9.35	-10.91	-12.94	-14.60	-16.12	-17.76	-20.91	-24.18			
	기술기준-라	-4.64	-5.25	-5.83	-5.69	-6.12	-6.96	-8.05	-8.92	-9.72	-10.57	-12.20	-13.88			
표면온도	표면온도(A-라)	24.19	23.96	23.79	23.60	26.36	26.22	26.03	25.95	25.89	25.83	25.74	25.68			
	표면온도(K-라)	28.14	28.02	27.92	28.45	28.40	28.32	28.20	28.14	28.10	28.05	27.98	27.93			
	겔로미발생 두께	9.90	10.31	10.62	11.00	11.18	11.48	11.97	12.15	12.29	12.41	12.59	12.73			
	겔로미발생(열손실)	-8.49	-9.88	-11.23	-13.19	-14.50	-17.06	-20.13	-22.79	-25.24	-27.88	-32.94	-38.18			
	겔로미발생 두께 열방출량 차이	45%	47%	48%	57%	58%	59%	60%	61%	62%	62%	63%	64%			
	기존 열방출량+10%	-5.11	-5.77	-6.42	-6.26	-6.73	-7.66	-8.86	-9.82	-10.69	-11.63	-13.42	-15.27			
	보온두께 계산값	32.00	32.60	32.90	45.40	45.80	46.30	46.70	47.00	47.28	47.45	47.75	47.98			
	보온두께 개선(안)mm	32	33	33	46	46	47	47	47	48	48	48	48			

구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
기존	가	25	25	25	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	나	30	30	30	45	45	45	45	45	45	45	45	45
	다	35	35	35	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	라	40	40	40	55	55	55	55	55	55	55	55	55
개선(안)	가	21	21	21	34	34	35	35	35	35	35	36	36
	나	25	25	25	38	38	39	39	39	39	40	40	40
	다	29	29	29	42	42	43	43	43	44	44	44	44
	라	32	33	33	46	46	47	47	47	48	48	48	48

<표 40> 냉수관 등 관내수온 6~15℃(일반) 단열두께 개선(안)

모온재 등급		가	일전도율				관내수온		10℃										
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A						
모온두께 (기준)	ASHRAE-가	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25						
	기술기준-가	20	20	20	35	35	35	35	35	35	35	35	35						
일방출량	ASHRAE-가	-4.28	-5.04	-5.78	-6.90	-5.13	-6.00	-7.13	-8.05	-8.90	-9.81	-11.57	-13.38						
	기술기준-가	-3.45	-4.00	-4.55	-3.87	-4.20	-4.86	-5.72	-6.41	-7.05	-7.73	-9.04	-10.40						
표면온도	표면온도(A-가)	26.60	26.45	26.34	26.22	27.93	27.85	27.74	27.69	27.65	27.62	27.57	27.53						
	표면온도(K-가)	27.79	27.67	27.58	28.59	28.55	28.48	28.39	28.35	28.31	28.28	28.23	28.19						
기온 일방출량+10%	겔로미발생 두께	5.14	5.30	5.41	5.53	5.60	5.69	5.88	5.93	5.97	6.00	6.05	6.09						
	겔로미발생(일손실)	-6.66	-7.96	-9.24	-11.15	-12.41	-14.93	-17.96	-20.62	-23.06	-25.72	-30.79	-36.06						
	겔로미발생 두께 일방출량 차이	48%	50%	51%	65%	66%	67%	68%	69%	69%	70%	71%	71%						
	기온 일방출량+10%	-3.80	-4.41	-5.00	-4.26	-4.62	-5.35	-6.29	-7.05	-7.75	-8.50	-9.95	-11.44						
	모온두께 계산값	16.50	16.70	16.85	29.50	29.80	30.00	30.20	30.40	30.50	30.60	30.70	30.80						
모온두께 개선(안)mm		17	17	17	30	30	30	31	31	31	31	31	31						

모온재 등급		나	일전도율				관내수온		10℃										
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A						
모온두께 (기준)	ASHRAE-나	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25						
	기술기준-나	25	25	25	40	40	40	40	40	40	40	40	40						
일방출량	ASHRAE-나	-4.88	-5.74	-6.59	-7.85	-5.91	-6.91	-8.21	-9.26	-10.24	-11.28	-13.30	-15.38						
	기술기준-나	-3.58	-4.12	-4.64	-4.17	-4.52	-5.20	-6.08	-6.80	-7.45	-8.16	-9.50	-10.89						
표면온도	표면온도(A-나)	26.16	26.00	25.88	25.75	27.64	27.55	27.43	27.37	27.33	27.29	27.23	27.19						
	표면온도(K-나)	28.01	27.90	27.81	28.60	28.56	28.49	28.40	28.35	28.31	28.28	28.23	28.19						
기온 일방출량+10%	겔로미발생 두께	5.90	6.09	6.23	6.39	6.47	6.59	6.82	6.89	6.94	6.98	7.05	7.10						
	겔로미발생(일손실)	-6.97	-8.29	-9.58	-11.50	-12.77	-15.30	-18.35	-21.00	-23.45	-26.11	-31.18	-36.46						
	겔로미발생 두께 일방출량 차이	49%	50%	52%	64%	65%	66%	67%	68%	68%	69%	70%	70%						
	기온 일방출량+10%	-3.94	-4.53	-5.10	-4.59	-4.97	-5.72	-6.69	-7.48	-8.20	-8.97	-10.45	-11.98						
	모온두께 계산값	20.40	20.70	20.90	33.50	33.80	34.10	34.40	34.55	34.64	34.79	34.97	35.14						
모온두께 개선(안)mm		21	21	21	34	34	35	35	35	35	35	35	36						

모온재 등급		다	일전도율				관내수온		10℃										
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A						
모온두께 (기준)	ASHRAE-다	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25						
	기술기준-다	30	30	30	45	45	45	45	45	45	45	45	45						
일방출량	ASHRAE-다	-5.51	-6.47	-7.42	-8.62	-6.74	-7.87	-9.34	-10.54	-11.64	-12.83	-15.11	-17.48						
	기술기준-다	-3.77	-4.31	-4.82	-4.50	-4.87	-5.57	-6.49	-7.23	-7.91	-8.64	-10.03	-11.46						
표면온도	표면온도(A-다)	25.71	25.54	25.41	25.27	27.34	27.24	27.10	27.04	26.99	26.95	26.89	26.84						
	표면온도(K-다)	28.15	28.04	27.95	28.60	28.56	28.49	28.39	28.34	28.30	28.27	28.21	28.17						
기온 일방출량+10%	겔로미발생 두께	6.70	6.93	7.10	7.30	7.40	7.55	7.83	7.91	7.98	8.04	8.12	8.18						
	겔로미발생(일손실)	-7.30	-8.63	-9.94	-11.88	-13.15	-15.69	-18.75	-21.43	-23.87	-26.52	-31.62	-36.92						
	겔로미발생 두께 일방출량 차이	48%	50%	51%	62%	63%	64%	65%	66%	67%	67%	68%	69%						
	기온 일방출량+10%	-4.15	-4.74	-5.31	-4.95	-5.35	-6.13	-7.14	-7.96	-8.70	-9.50	-11.03	-12.61						
	모온두께 계산값	24.20	24.53	24.90	37.50	37.80	38.20	38.50	38.70	38.85	38.98	39.20	39.36						
모온두께 개선(안)mm		25	25	25	38	38	39	39	39	39	39	40	40						

모온재 등급		라	일전도율				관내수온		10℃										
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A						
모온두께 (기준)	ASHRAE-라	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25						
	기술기준-라	35	35	35	50	50	50	50	50	50	50	50	50						
일방출량	ASHRAE-라	-6.05	-7.10	-8.14	-9.67	-7.48	-8.73	-10.35	-11.67	-12.89	-14.20	-16.72	-19.33						
	기술기준-라	-3.93	-4.46	-4.98	-4.77	-5.14	-5.87	-6.81	-7.56	-8.25	-8.99	-10.41	-11.87						
표면온도	표면온도(A-라)	25.33	25.15	25.01	24.86	27.08	26.97	26.82	26.75	26.70	26.65	26.58	26.53						
	표면온도(K-라)	28.27	28.16	28.08	28.62	28.58	28.50	28.41	28.36	28.32	28.28	28.22	28.17						
기온 일방출량+10%	겔로미발생 두께	7.41	7.68	7.88	8.11	8.23	8.41	8.73	8.84	8.92	8.99	9.09	9.17						
	겔로미발생(일손실)	-7.59	-8.94	-10.26	-12.21	-13.50	-16.05	-19.13	-21.80	-24.26	-26.91	-32.02	-37.31						
	겔로미발생 두께 일방출량 차이	48%	50%	52%	61%	62%	63%	64%	65%	66%	67%	67%	68%						
	기온 일방출량+10%	-4.32	-4.91	-5.48	-5.25	-5.66	-6.46	-7.49	-8.32	-9.08	-9.89	-11.45	-13.05						
	모온두께 계산값	28.10	28.50	28.80	41.40	41.70	42.10	42.60	42.80	43.00	43.20	43.45	43.65						
모온두께 개선(안)mm		29	29	29	42	42	43	43	43	43	44	44	44						

구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
기존	가	20	20	20	35	35	35	35	35	35	35	35	35
	나	25	25	25	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	다	30	30	30	45	45	45	45	45	45	45	45	45
	라	35	35	35	50	50	50	50	50	50	50	50	50
개선(안)	가	17	17	17	30	30	30	31	31	31	31	31	31
	나	21	21	21	34	34	35	35	35	35	35	35	36
	다	25	25	25	38	38	39	39	39	39	39	40	40
	라	29	29	29	42	42	43	43	43	43	44	44	44

<표 41> 냉수관 등 관내수온 4~6℃(다습) 단열두께 개선(안)

보온재 등급		가	일전도율		0.032	관내수온		5℃						
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A	
보온두께 (기준)	ASHRAE-가	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25	
	기술기준-가	35	35	35	35	45	45	45	45	45	45	65	65	
일방출량	ASHRAE-가	-5.35	-6.30	-7.24	-8.63	-6.41	-7.50	-8.91	-10.07	-11.12	-12.27	-14.46	-16.73	
	기술기준-가	-3.30	-3.76	-4.20	-4.84	-4.56	-5.22	-6.09	-6.79	-7.43	-8.12	-9.30	-8.27	
표면온도	표면온도(A-가)	25.76	25.58	25.45	25.30	27.42	27.32	27.18	27.12	27.07	27.03	26.96	26.91	
	표면온도(K-가)	28.50	28.41	28.33	28.24	28.62	28.55	28.46	28.41	28.37	28.34	28.83	28.80	
개선(안)	절로미발생 두께	11.1	11.5	11.9	12.4	12.6	12.9	13.5	13.7	13.9	14.0	14.3	14.4	
	절로미발생(열손실)	-5.80	-6.71	-7.60	-8.89	-9.75	-11.42	-13.43	-15.16	-16.75	-18.48	-21.75	-25.17	
	절로미발생 두께 일방출량 차이	43%	44%	45%	46%	53%	54%	55%	55%	56%	56%	66%	67%	
	기준 일방출량+10%	-3.63	-4.13	-4.62	-5.32	-5.01	-5.75	-6.70	-7.47	-8.17	-8.93	-8.03	-9.10	
	보온두께 계산값	28.6	29.0	29.2	29.6	38.0	38.3	38.7	38.9	39.1	39.2	56.5	56.9	
	보온두께 개선(안)mm	29	29	30	30	38	39	39	39	40	40	57	57	

보온재 등급		나	일전도율		0.0375	관내수온		5℃						
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A	
보온두께 (기준)	ASHRAE-나	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25	
	기술기준-나	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	75	75	
일방출량	ASHRAE-나	-6.11	-7.18	-8.24	-9.82	-7.39	-8.64	-10.26	-11.58	-12.80	-14.11	-16.63	-19.24	
	기술기준-나	-3.61	-4.09	-4.55	-5.21	-5.00	-5.71	-6.63	-7.37	-8.04	-8.77	-7.72	-8.72	
표면온도	표면온도(A-나)	25.22	25.02	24.88	24.71	27.06	26.95	26.79	26.72	26.67	26.62	26.55	26.49	
	표면온도(K-나)	28.52	28.43	28.35	28.25	28.59	28.52	28.42	28.37	28.33	28.29	28.85	28.81	
개선(안)	절로미발생 두께	12.6	13.2	13.6	14.1	14.4	14.9	15.5	15.8	16.0	16.2	16.5	16.7	
	절로미발생(열손실)	-6.20	-7.14	-8.04	-9.37	-10.23	-11.93	-13.95	-15.70	-17.30	-19.03	-22.34	-25.75	
	절로미발생 두께 일방출량 차이	42%	43%	43%	44%	51%	52%	53%	54%	54%	64%	66%	69%	
	기준 일방출량+10%	-3.97	-4.50	-5.00	-5.73	-5.50	-6.28	-7.29	-8.11	-8.85	-9.65	-8.49	-9.59	
	보온두께 계산값	32.4	32.7	33.2	33.6	42.0	42.4	42.8	43.0	43.2	43.4	65.0	65.3	
	보온두께 개선(안)mm	33	33	34	34	42	43	43	43	44	44	65	66	

보온재 등급		다	일전도율		0.0435	관내수온		5℃						
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A	
보온두께 (기준)	ASHRAE-다 (일전도율 범위 밖)	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25	
	기술기준-다	45	45	45	45	60	60	60	60	60	60	90	90	
일방출량	ASHRAE-다	-6.89	-8.10	-9.28	-11.05	-8.43	-9.84	-11.68	-13.18	-14.56	-16.05	-18.90	-21.86	
	기술기준-다	-3.95	-4.45	-4.93	-5.63	-5.23	-5.94	-6.85	-7.57	-8.24	-8.95	-7.91	-8.89	
표면온도	표면온도(A-다)	24.67	24.45	24.29	24.11	26.69	26.56	26.39	26.31	26.25	26.20	26.12	26.06	
	표면온도(K-다)	28.53	28.43	28.35	28.26	28.69	28.62	28.53	28.48	28.44	28.40	28.95	28.89	
개선(안)	절로미발생 두께	14.2	14.9	15.4	16.0	16.3	16.9	17.7	18.0	18.3	18.5	18.9	19.2	
	절로미발생(열손실)	-6.62	-7.59	-8.51	-9.86	-10.74	-12.46	-14.51	-16.28	-17.90	-19.64	-22.96	-26.37	
	절로미발생 두께 일방출량 차이	40%	41%	42%	43%	51%	52%	53%	54%	54%	64%	66%	69%	
	기준 일방출량+10%	-4.35	-4.90	-5.43	-6.19	-5.75	-6.53	-7.53	-8.33	-9.06	-9.84	-8.70	-9.78	
	보온두께 계산값	36.0	36.5	37.0	37.5	50.0	50.5	51.0	51.3	51.6	51.8	77.5	78.0	
	보온두께 개선(안)mm	36	37	37	38	50	51	51	52	52	52	78	78	

보온재 등급		라	일전도율		0.049	관내수온		5℃						
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A	
보온두께 (기준)	ASHRAE-라 (일전도율 범위 밖)	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25	
	기술기준-라	50	50	50	50	65	65	65	65	65	65	100	100	
일방출량	ASHRAE-라	-7.57	-8.89	-10.19	-12.11	-9.35	-10.91	-12.94	-14.60	-16.12	-17.76	-20.91	-24.18	
	기술기준-라	-4.23	-4.75	-5.25	-5.96	-5.63	-6.37	-7.32	-8.08	-8.77	-9.51	-8.31	-9.31	
표면온도	표면온도(A-라)	24.19	23.96	23.79	23.60	26.36	26.22	26.03	25.95	25.89	25.83	25.74	25.68	
	표면온도(K-라)	28.55	28.46	28.38	28.28	28.68	28.60	28.50	28.45	28.41	28.37	28.94	28.90	
개선(안)	절로미발생 두께	15.6	16.4	17.0	17.7	18.1	18.7	19.6	20.0	20.3	20.6	21.1	21.4	
	절로미발생(열손실)	-7.00	-7.98	-8.93	-10.29	-11.19	-12.93	-15.01	-16.79	-18.42	-20.17	-23.51	-26.96	
	절로미발생 두께 일방출량 차이	40%	40%	41%	42%	50%	51%	52%	53%	53%	63%	65%	69%	
	기준 일방출량+10%	-4.66	-5.23	-5.77	-6.56	-6.19	-7.00	-8.05	-8.89	-9.65	-10.46	-9.14	-10.24	
	보온두께 계산값	39.6	40.4	40.9	41.5	53.8	54.5	55.0	55.3	55.6	56.0	85.7	86.3	
	보온두께 개선(안)mm	40	41	41	42	54	55	55	56	56	56	86	87	

구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
기존	가	35	35	35	35	45	45	45	45	45	45	65	65
	나	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	75	75
	다	45	45	45	45	60	60	60	60	60	60	90	90
	라	50	50	50	50	65	65	65	65	65	65	100	100
개선(안)	가	29	29	30	30	38	39	39	39	40	40	57	57
	나	33	33	34	34	42	43	43	43	44	44	65	66
	다	36	37	37	38	50	51	51	52	52	52	78	78
	라	40	41	41	42	54	55	55	56	56	56	86	87

<표 42> 냉수관 등 관내수온 6~15℃(다습) 단열두께 개선(안)

보온재 등급		가	일전도율		0.032		관내수온		10℃												
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A								
보온두께 (기준)	ASHRAE-가	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25								
	기술기준-가	35	35	35	35	45	45	45	45	45	45	65	65								
일방출량	ASHRAE-가	-4.28	-5.04	-5.79	-6.90	-5.13	-6.00	-7.13	-8.05	-8.90	-9.81	-11.57	-13.38								
	기술기준-가	-2.64	-3.01	-3.36	-3.87	-3.64	-4.18	-4.87	-5.43	-5.94	-6.49	-7.14	-7.82								
표면온도	표면온도(A-가)	26.60	26.45	26.34	26.22	27.93	27.85	27.74	27.69	27.65	27.62	27.57	27.53								
	표면온도(K-가)	28.80	28.73	28.66	28.59	28.90	28.84	28.77	28.73	28.70	28.67	28.67	28.67								
절로미발생 두께	절로미발생(일전도)	8.62	8.96	9.22	9.51	9.67	9.90	10.30	10.43	10.53	10.63	10.77	10.87								
	절로미발생(일전도)	-5.24	-6.13	-7.00	-8.28	-9.12	-10.79	-12.79	-14.54	-16.15	-17.87	-21.19	-24.63								
기존 열방출량 +10%	기존 열방출량 +10%	50%	51%	52%	53%	60%	61%	62%	63%	63%	64%	72%	73%								
	기존 열방출량 +10%	-2.91	-3.31	-3.69	-4.26	-4.01	-4.60	-5.36	-5.98	-6.54	-7.14	-7.82	-8.51								
보온두께 개선값		28.50	28.90	29.20	29.50	38.00	38.30	38.70	38.90	39.05	39.20	56.60	56.90								
보온두께 개선(안)mm		29	29	30	30	38	39	39	39	40	40	57	57								

보온재 등급		나	일전도율		0.0375		관내수온		10℃												
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A								
보온두께 (기준)	ASHRAE-나	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25								
	기술기준-나	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	75	75								
일방출량	ASHRAE-나	-4.88	-5.74	-6.59	-7.85	-5.91	-6.91	-8.21	-9.26	-10.24	-11.28	-13.30	-15.38								
	기술기준-나	-2.89	-3.27	-3.64	-4.17	-4.00	-4.57	-5.30	-5.90	-6.44	-7.02	-7.67	-8.33								
표면온도	표면온도(A-나)	26.16	26.00	25.88	25.75	27.64	27.55	27.43	27.37	27.33	27.29	27.23	27.19								
	표면온도(K-나)	28.82	28.74	28.68	28.60	28.87	28.82	28.74	28.70	28.66	28.63	28.63	28.63								
절로미발생 두께	절로미발생(일전도)	9.83	10.24	10.55	10.91	11.10	11.40	11.87	12.05	12.20	12.31	12.50	12.63								
	절로미발생(일전도)	-5.56	-6.47	-7.36	-8.66	-9.51	-11.19	-13.22	-14.97	-16.57	-18.31	-21.63	-25.08								
기존 열방출량 +10%	기존 열방출량 +10%	48%	49%	51%	52%	58%	59%	60%	61%	61%	62%	71%	72%								
	기존 열방출량 +10%	-3.18	-3.60	-4.00	-4.59	-4.40	-5.02	-5.83	-6.48	-7.08	-7.72	-8.37	-9.03								
보온두께 개선값		32.20	32.80	33.20	33.50	42.00	42.50	42.80	43.10	43.20	43.40	65.00	65.30								
보온두께 개선(안)mm		33	33	34	34	42	43	43	44	44	44	65	66								

보온재 등급		다	일전도율		0.0435		관내수온		10℃												
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A								
보온두께 (기준)	ASHRAE-다(일전도율 범위 밖)	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25								
	기술기준-다	45	45	45	45	60	60	60	60	60	60	90	90								
일방출량	ASHRAE-다	-5.51	-6.47	-7.42	-8.82	-6.74	-7.87	-9.34	-10.54	-11.64	-12.83	-15.11	-17.48								
	기술기준-다	-3.16	-3.56	-3.95	-4.50	-4.18	-4.75	-5.48	-6.06	-6.59	-7.16	-7.82	-8.49								
표면온도	표면온도(A-다)	25.71	25.54	25.41	25.27	27.34	27.24	27.10	27.04	26.99	26.95	26.89	26.84								
	표면온도(K-다)	28.82	28.75	28.68	28.60	28.96	28.90	28.82	28.78	28.75	28.72	28.72	28.72								
절로미발생 두께	절로미발생(일전도)	11.11	11.60	11.97	12.40	12.63	13.00	13.56	13.80	13.95	14.10	14.33	14.51								
	절로미발생(일전도)	-5.90	-6.83	-7.73	-9.05	-9.91	-11.61	-13.66	-15.41	-17.04	-18.79	-22.13	-25.58								
기존 열방출량 +10%	기존 열방출량 +10%	46%	48%	49%	50%	56%	58%	60%	61%	61%	62%	71%	72%								
	기존 열방출량 +10%	-3.48	-3.92	-4.34	-4.95	-4.60	-5.22	-6.02	-6.66	-7.25	-7.87	-8.51	-9.16								
보온두께 개선값		36.00	36.50	37.00	37.50	50.00	50.50	51.00	51.40	51.50	51.80	77.50	78.00								
보온두께 개선(안)mm		36	37	37	38	50	51	51	52	52	52	78	78								

보온재 등급		라	일전도율		0.049		관내수온		10℃												
구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A								
보온두께 (기준)	ASHRAE-라(일전도율 범위 밖)	13	13	13	13	25	25	25	25	25	25	25	25								
	기술기준-라	50	50	50	50	65	65	65	65	65	65	100	100								
일방출량	ASHRAE-라	-6.05	-7.10	-8.14	-9.67	-7.48	-8.73	-10.35	-11.67	-12.89	-14.20	-16.72	-19.33								
	기술기준-라	-3.39	-3.80	-4.20	-4.77	-4.50	-5.09	-5.85	-6.46	-7.02	-7.61	-8.25	-8.91								
표면온도	표면온도(A-라)	25.33	25.15	25.01	24.86	27.08	26.97	26.82	26.75	26.70	26.65	26.58	26.53								
	표면온도(K-라)	28.84	28.76	28.70	28.62	28.94	28.88	28.80	28.76	28.73	28.69	28.69	28.69								
절로미발생 두께	절로미발생(일전도)	12.25	12.80	13.23	13.72	13.99	14.42	15.07	15.33	15.54	15.72	16.00	16.20								
	절로미발생(일전도)	-6.20	-7.15	-8.07	-9.41	-10.28	-11.99	-14.05	-15.83	-17.45	-19.21	-22.55	-26.03								
기존 열방출량 +10%	기존 열방출량 +10%	45%	47%	48%	49%	56%	58%	58%	59%	60%	60%	71%	71%								
	기존 열방출량 +10%	-3.72	-4.18	-4.62	-5.25	-4.95	-5.60	-6.44	-7.11	-7.72	-8.37	-9.03	-9.70								
보온두께 개선값		39.80	40.50	40.80	41.40	53.80	54.50	55.00	55.40	55.60	55.90	85.80	86.30								
보온두께 개선(안)mm		40	41	41	42	54	55	55	56	56	56	86	87								

구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
기존	가	35	35	35	35	45	45	45	45	45	45	65	65
	나	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	75	75
	다	45	45	45	45	60	60	60	60	60	60	90	90
	라	50	50	50	50	65	65	65	65	65	65	100	100
개선(안)	가	29	29	30	30	38	39	39	39	40	40	57	57
	나	33	33	34	34	42	43	43	44	44	44	65	66
	다	36	37	37	38	50	51	51	52	52	52	78	78
	라	40	41	41	42	54	55	55	56	56	56	86	87

- 관내수온 75℃, 100℃, 125℃/주변온도 15℃

○ ASHRAE의 경우 관내수온을 기준으로 해당하는 범위의 값을 적용하여 계산함

- 관내수온 61~93℃일 때 단열재 열전도율 범위 0.036~0.042W/(m·℃), 관내수온 94~121℃일 때 단열재 열전도율 범위 0.039~0.043W/(m·℃), 관내수온 122~177℃일 때 단열재 열전도율 범위 0.042~0.046W/(m·℃)이므로 관내수온 75℃일 때 KCS 단열재 등급(나), 관내수온 100℃일 때 KCS 단열재 등급(다), 관내수온 125℃일 때 KCS 단열재 등급(다)를 적용한 값과 비교함

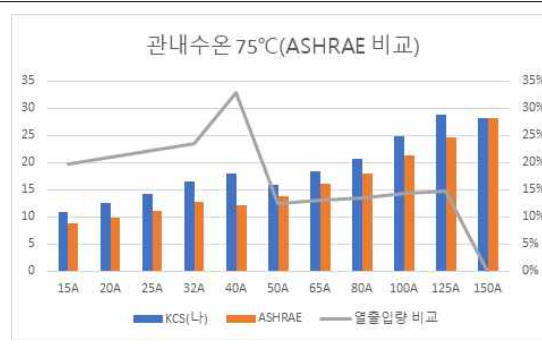
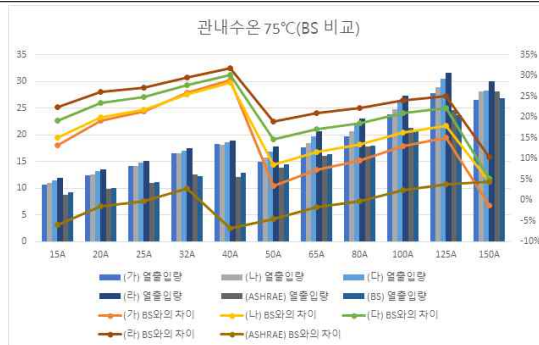
온수관 등(1)

관내수온 90℃ 이하, 주위온도 30℃ 이하

열전도율 범위 중간값, 수평열흐름, 유효복사계수 0.9

관내수온 75℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
KCS(가)	열출입량(W/m)	10.7	12.43	14.1	16.58	18.22	14.97	17.64	19.78	23.85	27.91	26.56
	BS와의 차이	13%	19%	21%	26%	29%	3%	7%	9%	13%	15%	-1%
KCS(나)	열출입량(W/m)	10.92	12.57	14.17	16.52	18.07	15.78	18.49	20.67	24.81	28.91	28.12
	BS와의 차이	15%	20%	22%	26%	28%	8%	12%	13%	16%	18%	4%
KCS(다)	열출입량(W/m)	11.49	13.13	14.72	17.04	18.56	16.92	19.74	21.99	26.27	30.51	28.38
	BS와의 차이	19%	23%	25%	28%	30%	15%	17%	19%	21%	22%	5%
KCS(라)	열출입량(W/m)	11.97	13.6	15.17	17.46	18.96	17.82	20.69	23	27.35	31.67	30.03
	BS와의 차이	22%	26%	27%	30%	32%	19%	21%	22%	24%	25%	10%
ASHRAE	열출입량(W/m)	8.76	9.92	11.03	12.65	12.11	13.83	16.08	17.87	21.28	24.65	28.12
	BS와의 차이	-6%	-1%	0%	3%	-7%	-4%	-2%	0%	2%	4%	4%
BS의 열출입량(W/m)		9.28	10.06	11.07	12.3	12.94	14.45	16.35	17.91	20.77	23.71	26.89

관내수온 75℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
열출입량 (W/m)	KCS(나)	10.92	12.57	14.17	16.52	18.07	15.78	18.49	20.67	24.81	28.91	28.12
	ASHRAE	8.76	9.92	11.03	12.65	12.11	13.83	16.08	17.87	21.28	24.65	28.12
열출입량 비교		20%	21%	22%	23%	33%	12%	13%	14%	14%	15%	0%

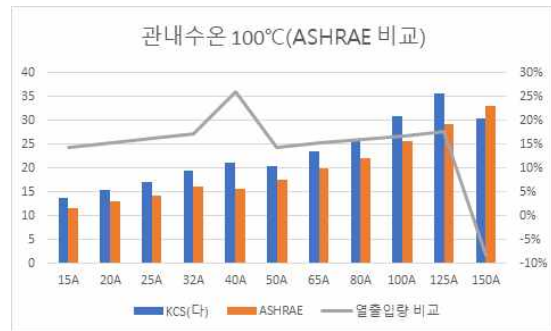
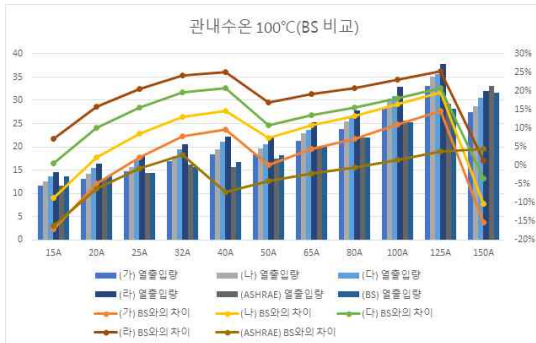


관내수온 91~120℃, 주위온도 30℃ 이하

열전도율 범위 중간값, 수평열흐름, 유효복사계수 0.9

관내수온 100℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
KCS(가)	열출입량(W/m)	11.57	13.18	14.72	16.98	18.45	18.29	21.35	23.81	28.47	33.09	27.4
	BS와의 차이	-17%	-5%	2%	8%	10%	0%	4%	7%	11%	15%	-15%
KCS(나)	열출입량(W/m)	12.47	14.13	15.72	18.03	19.54	19.7	22.9	25.47	30.33	35.14	28.67
	BS와의 차이	-9%	2%	8%	13%	15%	7%	11%	13%	17%	20%	-10%
KCS(다)	열출입량(W/m)	13.64	15.38	17.05	19.47	21.05	20.46	23.62	26.14	30.91	35.61	30.56
	BS와의 차이	1%	10%	16%	20%	21%	11%	14%	15%	18%	21%	-3%
KCS(라)	열출입량(W/m)	14.61	16.41	18.13	20.63	22.24	21.94	25.25	27.89	32.87	37.77	31.99
	BS와의 차이	7%	16%	21%	24%	25%	17%	19%	21%	23%	25%	1%
ASHRAE	열출입량(W/m)	11.67	13.01	14.28	16.1	15.56	17.5	20	21.98	25.7	29.35	33.09
	BS와의 차이	-16%	-6%	-1%	3%	-7%	-4%	-2%	-1%	2%	4%	4%
BS의 열출입량(W/m)		13.56	13.83	14.39	15.66	16.67	18.25	20.42	22.09	25.31	28.23	31.61

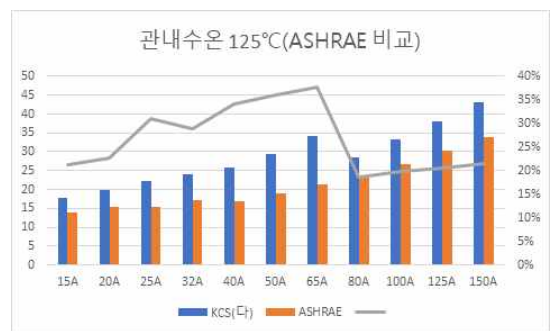
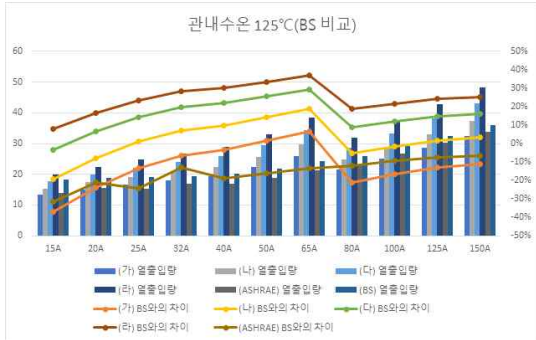
관내수온 100℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
열출입량 (W/m)	KCS(다)	13.64	15.38	17.05	19.47	21.05	20.46	23.62	26.14	30.91	35.61	30.56
	ASHRAE	11.67	13.01	14.28	16.1	15.56	17.5	20	21.98	25.7	29.35	33.09
열출입량 비교		14%	15%	16%	17%	26%	14%	15%	16%	17%	18%	-8%



관내수온 121~220℃, 주위온도 30℃ 이하
열전도를 범위 중간값, 수평열흐름, 유효복사계수 0.9

관내수온 125℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
KCS(가)	열출입량(W/m)	13.37	15.1	16.75	18.07	19.5	22.3	25.95	21.48	25.13	28.71	32.39
	BS와의 차이	-37%	-24%	-14%	-7%	-3%	2%	7%	-21%	-17%	-13%	-11%
KCS(나)	열출입량(W/m)	15.36	17.34	19.23	20.75	22.39	25.6	29.78	24.7	28.89	33.01	37.23
	BS와의 차이	-19%	-8%	1%	7%	10%	14%	19%	-5%	-1%	2%	3%
KCS(다)	열출입량(W/m)	17.72	20	22.17	23.94	25.83	29.51	34.31	28.53	33.37	38.12	42.98
	BS와의 차이	-3%	7%	14%	20%	22%	26%	29%	9%	12%	15%	16%
KCS(라)	열출입량(W/m)	19.87	22.41	24.84	26.83	28.94	33.06	38.42	32.03	37.45	42.77	48.22
	BS와의 차이	8%	17%	23%	28%	30%	34%	37%	19%	22%	24%	25%
ASHRAE	열출입량(W/m)	13.94	15.44	15.31	17.03	17	18.9	21.33	23.23	26.79	30.25	33.78
	BS와의 차이	-31%	-21%	-24%	-13%	-19%	-16%	-14%	-12%	-9%	-7%	-7%
BS의 열출입량(W/m)		18.32	18.7	19.02	19.25	20.17	21.96	24.21	25.99	29.32	32.47	36.04

관내수온 125℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
열출입량 (W/m)	KCS(다)	17.72	20	22.17	23.94	25.83	29.51	34.31	28.53	33.37	38.12	42.98
	ASHRAE	13.94	15.44	15.31	17.03	17	18.9	21.33	23.23	26.79	30.25	33.78
열출입량 비교		21%	23%	31%	29%	34%	36%	38%	19%	20%	21%	21%



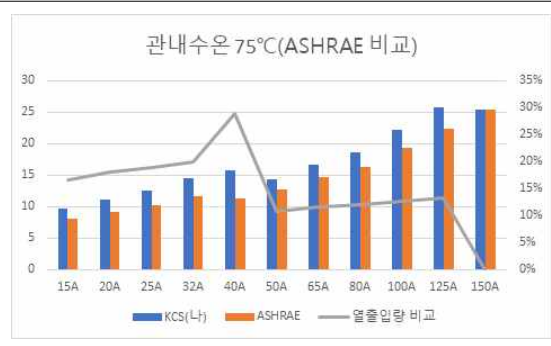
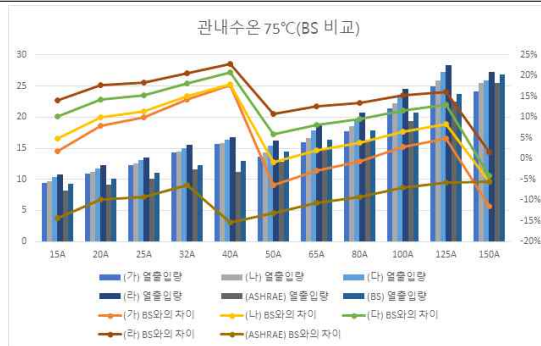
온수관 등(2)

관내수온 90℃ 이하, 주위온도 30℃ 이하

열전도율 범위 중간값, 수평열흐름, 유효복사계수 0.05

관내수온 75℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
KCS(가)	열출입량(W/m)	9.45	10.92	12.3	14.36	15.74	13.57	15.89	17.79	21.35	24.92	24.1
	BS와의 차이	2%	8%	10%	14%	18%	-6%	-3%	-1%	3%	5%	-12%
KCS(나)	열출입량(W/m)	9.75	11.17	12.5	14.47	15.78	14.32	16.69	18.61	22.22	25.84	25.49
	BS와의 차이	5%	10%	11%	15%	18%	-1%	2%	4%	7%	8%	-5%
KCS(다)	열출입량(W/m)	10.32	11.74	13.07	15.02	16.32	15.36	17.81	19.79	23.52	27.25	25.84
	BS와의 차이	10%	14%	15%	18%	21%	6%	8%	9%	12%	13%	-4%
KCS(라)	열출입량(W/m)	10.81	12.23	13.55	15.49	16.77	16.18	18.69	20.71	24.51	28.29	27.3
	BS와의 차이	14%	18%	18%	21%	23%	11%	13%	14%	15%	16%	2%
ASHRAE	열출입량(W/m)	8.12	9.16	10.14	11.57	11.22	12.77	14.77	16.38	19.42	22.43	25.49
	BS와의 차이	-14%	-10%	-9%	-6%	-15%	-13%	-11%	-9%	-7%	-6%	-5%
BS의 열출입량(W/m)		9.28	10.06	11.07	12.3	12.94	14.45	16.35	17.91	20.77	23.71	26.89

관내수온 75℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
열출입량	KCS(나)	9.75	11.17	12.5	14.47	15.78	14.32	16.69	18.61	22.22	25.84	25.49
(W/m)	ASHRAE	8.12	9.16	10.14	11.57	11.22	12.77	14.77	16.38	19.42	22.43	25.49
열출입량 비교		17%	18%	19%	20%	29%	11%	12%	12%	13%	13%	0%

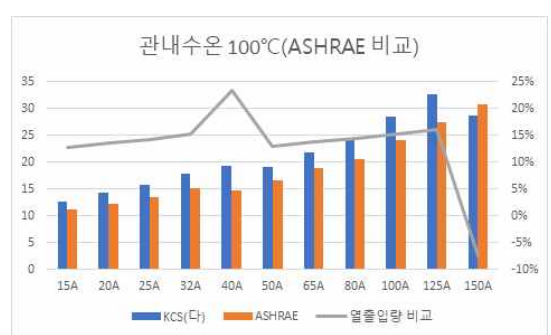
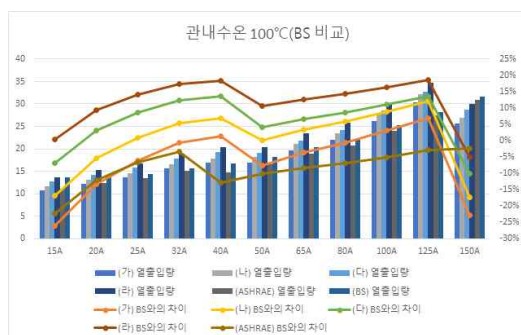


관내수온 91~120℃, 주위온도 30℃ 이하

열전도율 범위 중간값, 수평열흐름, 유효복사계수 0.05

관내수온 100℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
KCS(가)	열출입량(W/m)	10.76	12.21	13.57	15.57	16.89	16.96	19.71	21.94	26.13	30.3	25.71
	BS와의 차이	-26%	-13%	-6%	-1%	1%	-8%	-4%	-1%	3%	7%	-23%
KCS(나)	열출입량(W/m)	11.61	13.11	14.51	16.56	17.91	18.26	21.13	23.45	27.8	32.14	26.92
	BS와의 차이	-17%	-5%	1%	5%	7%	0%	3%	6%	9%	12%	-17%
KCS(다)	열출입량(W/m)	12.7	14.27	15.74	17.88	19.29	19.04	21.89	24.17	28.46	32.71	28.69
	BS와의 차이	-7%	3%	9%	12%	14%	4%	7%	9%	11%	14%	-10%
KCS(라)	열출입량(W/m)	13.61	15.24	16.76	18.96	20.41	20.41	23.38	25.76	30.23	34.64	30.05
	BS와의 차이	0%	9%	14%	17%	18%	11%	13%	14%	16%	19%	-5%
ASHRAE	열출입량(W/m)	11.09	12.33	13.49	15.15	14.77	16.56	18.85	20.68	24.09	27.46	30.86
	BS와의 차이	-22%	-12%	-7%	-3%	-13%	-10%	-8%	-7%	-5%	-3%	-2%
BS의 열출입량(W/m)		13.56	13.83	14.39	15.66	16.67	18.25	20.42	22.09	25.31	28.23	31.61

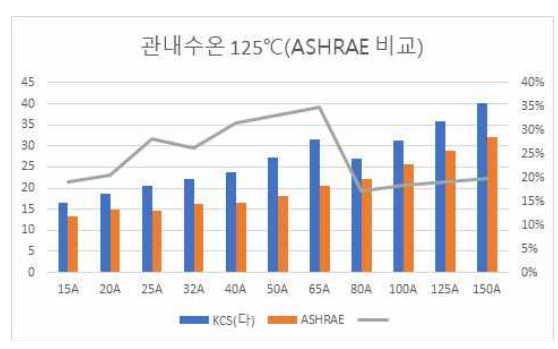
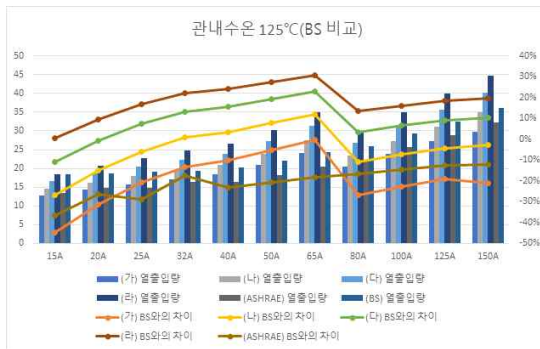
관내수온 100℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
열출입량	KCS(다)	12.7	14.27	15.74	17.88	19.29	19.04	21.89	24.17	28.46	32.71	28.69
(W/m)	ASHRAE	11.09	12.33	13.49	15.15	14.77	16.56	18.85	20.68	24.09	27.46	30.86
열출입량 비교		13%	14%	14%	15%	23%	13%	14%	14%	15%	16%	-8%



관내수온 121~220℃, 주위온도 30℃ 이하
열전도율 범위 중간값, 수평열흐름, 유효복사계수 0.05

관내수온 125℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
KCS(가)	열출입량(W/m)	12.64	14.23	15.73	17	18.32	20.87	24.18	20.48	23.89	27.25	29.71
	BS와의 차이	-45%	-31%	-21%	-13%	-10%	-5%	0%	-27%	-23%	-19%	-21%
KCS(나)	열출입량(W/m)	14.44	16.24	17.93	19.4	20.9	23.79	27.54	23.43	27.32	31.15	35.04
	BS와의 차이	-27%	-15%	-6%	1%	3%	8%	12%	-11%	-7%	-4%	-3%
KCS(다)	열출입량(W/m)	16.54	18.6	20.52	22.21	23.91	27.21	31.47	26.91	31.36	35.74	40.18
	BS와의 차이	-11%	-1%	7%	13%	16%	19%	23%	3%	7%	9%	10%
KCS(라)	열출입량(W/m)	18.44	20.71	22.84	24.73	26.62	30.26	34.98	30.05	35	39.88	44.81
	BS와의 차이	1%	10%	17%	22%	24%	27%	31%	14%	16%	19%	20%
ASHRAE	열출입량(W/m)	13.39	14.8	14.76	16.37	16.4	18.2	20.48	22.28	25.62	28.88	32.17
	BS와의 차이	-37%	-26%	-29%	-18%	-23%	-18%	-17%	-14%	-12%	-12%	-12%
BS의 열출입량(W/m)		18.32	18.7	19.02	19.25	20.17	21.96	24.21	25.99	29.32	32.47	36.04

관내수온 125℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
열출입량	KCS(다)	16.54	18.6	20.52	22.21	23.91	27.21	31.47	26.91	31.36	35.74	40.18
(W/m)	ASHRAE	13.39	14.8	14.76	16.37	16.4	18.2	20.48	22.28	25.62	28.88	32.17
열출입량 비교		19%	20%	28%	26%	31%	33%	35%	17%	18%	19%	20%



- 단열재의 열전도율에 상관없이 주변온도 조건과 열출입량에 따라 단열재 두께를 계산하여 사용하도록 열출입량의 값이 작은 유효복사계수 0.05를 기준으로 열출입량 평균값 계산
- 위의 조건에서 KCS 두께 기준에 따른 열출입량의 평균 대비 10% 절감한 열출입량을 제로에너지 기준으로 정하여 계산함
 - 2차년도 연구결과에 따라 선진국 수준의 단열두께 기준을 위해 열출입량 10% 절감
- 향후에는 기존의 정해진 두께값이 아닌 설치 위치에 따라 외기에 면하는 곳과 면하지 않는 곳을 구분하여 주변온도 조건 기준을 정해 해당 열출입량 이하의 값이 나오는 단열두께를 계산하여 적용하는 방향으로 개선할 필요가 있음
 - 외기에 면하지 않는 곳은 기존의 주변온도 30℃기준이나 해외의 15℃를 적용할 수 있고, 외기에 면하는 곳은 공동연구기관의 연구결과를 참고하여 5℃ 기준을 적용하는 등 적절한 수준을 정하여 적용

<표 43> 온수관 등 단열두께 기준 개선(안)

구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
열출입량 기준 (W/m)	일반	10.08	11.52	12.86	14.84	16.15	14.86	17.27	19.23	21.02	22.90	26.58	25.68
	중은	12.17	13.71	15.15	17.24	18.63	18.67	21.53	23.83	25.93	28.16	32.45	27.84
	고온	15.52	17.45	19.26	20.84	22.44	25.53	29.54	25.22	27.25	29.39	33.51	37.44
ZEB 열출입량 기준 (W/m)	일반	9.07	10.36	11.57	13.35	14.54	13.37	15.54	17.30	18.91	20.61	23.92	23.11
	중은	10.95	12.34	13.63	15.52	16.76	16.80	19.37	21.45	23.34	25.34	29.20	25.06
	고온	13.96	15.70	17.33	18.75	20.19	22.98	26.59	22.70	24.52	26.45	30.15	33.69

○ 개선(안)을 기준으로 단열두께를 계산하면 다음 <표 44>와 같음

- 관내수온 75℃, 주변온도 5℃, 단열재 나등급을 적용하여 계산함
- 기존 KCS기준의 단열두께와 비교하면 기존 개선(안)은 평균 29%, ZEB기준(안)은 평균 59% 증가 됨

<표 44> 기준개선(안)을 적용한 단열두께 계산 예시

구분	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
KCS기준	25	25	25	25	25	40	40	40	40	40	40	50
기준개선(안)	34	34	33	33	51	50	50	50	50	50	49	63
ZEB기준(안)	45	44	43	42	41	63	61	60	59	59	58	74
개선(안) 증가율	36%	36%	36%	32%	32%	28%	25%	25%	25%	25%	23%	26%
ZEB(안) 증가율	80%	76%	72%	68%	64%	58%	53%	50%	48%	48%	45%	48%

○ 냉수관 등의 기준에 대해서도 위와 동일한 방식으로 열출입량 계산

- 영국의 기준은 열전도율, 유효복사계수 등에 상관없이 관내 수온과 배관경에 따라 해당하는 열출입량 기준을 제시하고, 주변온도 25℃ 일 때, 냉방 배관의 관내 수온 범위 4.9~10℃일 때 5℃, 10℃ 이상일 때 10℃를 적용하여 기존 열출입량 이하가 되는 배관 단열두께를 계산하여 적용함
- 국내 기준의 열출입량 계산을 위해 열전도율은 범위 내 평균값, 유효복사계수는 0.05를 적용하고 주변온도, 관내 수온은 영국 계산 기준을 참조함
 - 관내수온 5℃, 10℃/주변온도 25℃/상대습도 일반 70%, 다습 75%
- ASHRAE의 경우 관내수온을 기준으로 해당하는 범위의 값을 적용하여 계산함
 - 관내수온 4~10℃일 때 단열재 열전도율 범위 0.030~0.039W/(m·℃)이므로 관내수온 5℃, 10℃ 일 때 KCS 단열재 등급(가), (나)를 적용한 값과 비교함

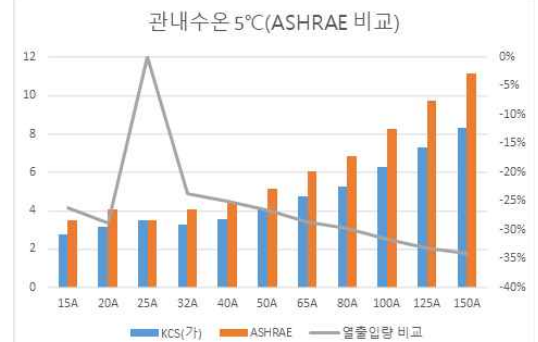
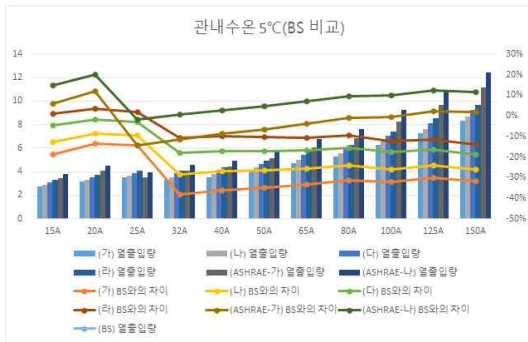
냉수관 등(일반)

관내수온 4 이상 6℃ 미만, 주위온도 30℃ 이하, 상대습도 75% 미만
열전도율 범위 중간값, 수평열흐름, 유효복사계수 0.05

관내수온 5℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
KCS(가)	열출입량(W/m)	2.75	3.15	3.51	3.28	3.54	4.06	4.72	5.26	6.28	7.29	8.32
	BS와의 차이	-19%	-14%	-14%	-38%	-36%	-35%	-33%	-31%	-32%	-30%	-32%
KCS(나)	열출입량(W/m)	2.9	3.3	3.66	3.52	3.8	4.33	5.01	5.57	6.6	7.65	8.7
	BS와의 차이	-13%	-8%	-10%	-29%	-27%	-27%	-26%	-24%	-26%	-24%	-26%
KCS(다)	열출입량(W/m)	3.12	3.52	3.9	3.84	4.12	4.68	5.39	5.98	7.06	8.15	9.23
	BS와의 차이	-5%	-2%	-3%	-18%	-17%	-17%	-17%	-15%	-18%	-16%	-19%
KCS(라)	열출입량(W/m)	3.3	3.71	4.09	4.09	4.39	4.96	5.7	6.3	7.41	8.52	9.64
	BS와의 차이	1%	4%	2%	-11%	-10%	-10%	-11%	-10%	-12%	-11%	-14%
ASHRAE(가)	열출입량(W/m)	3.47	4.06	3.51	4.06	4.43	5.14	6.07	6.83	8.27	9.71	11.16
	BS와의 차이	6%	12%	-14%	-12%	-9%	-7%	-4%	-1%	0%	2%	2%
ASHRAE(나)	열출입량(W/m)	3.83	4.48	3.94	4.55	4.96	5.75	6.78	7.63	9.22	10.82	12.43
	BS와의 차이	15%	20%	-2%	0%	3%	5%	7%	10%	10%	12%	12%
BS의 열출입량(W/m)		3.27	3.58	4.01	4.53	4.82	5.48	6.3	6.9	8.31	9.49	10.97

관내수온 5℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
열출입량	KCS(가)	2.75	3.15	3.51	3.28	3.54	4.06	4.72	5.26	6.28	7.29	8.32
(W/m)	ASHRAE	3.47	4.06	3.51	4.06	4.43	5.14	6.07	6.83	8.27	9.71	11.16
열출입량 비교		-26%	-29%	0%	-24%	-25%	-27%	-29%	-30%	-32%	-33%	-34%

구분		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
열출입량	KCS(나)	2.9	3.3	3.66	3.52	3.8	4.33	5.01	5.57	6.6	7.65	8.7
(W/m)	ASHRAE	3.83	4.48	3.94	4.55	4.96	5.75	6.78	7.63	9.22	10.82	12.43
열출입량 비교		-32%	-36%	-8%	-29%	-31%	-33%	-35%	-37%	-40%	-41%	-43%

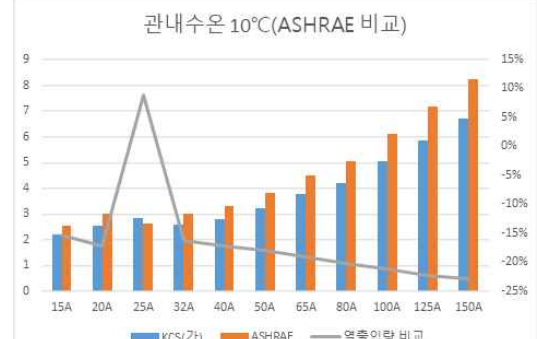
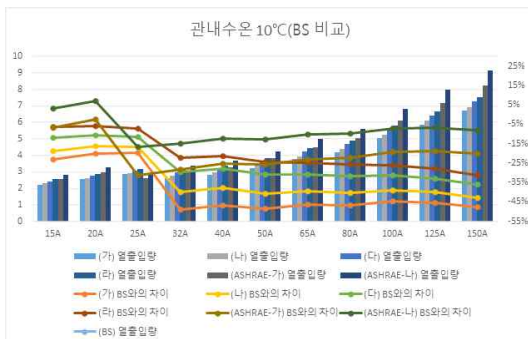


관내수온 6~15℃, 주위온도 30℃ 이하, 상대습도 75% 미만
열전도를 범위 중간값, 수평열흐름, 유효복사계수 0.05

관내수온 10℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
KCS(가)	열출입량(W/m)	2.21	2.54	2.85	2.59	2.8	3.22	3.76	4.2	5.03	5.86	6.7
	BS와의 차이	-23%	-20%	-20%	-49%	-47%	-48%	-47%	-47%	-45%	-45%	-48%
KCS(나)	열출입량(W/m)	2.29	2.62	2.92	2.76	2.98	3.4	3.95	4.4	5.24	6.08	6.93
	BS와의 차이	-19%	-16%	-17%	-40%	-38%	-41%	-39%	-40%	-39%	-40%	-43%
KCS(다)	열출입량(W/m)	2.43	2.76	3.06	2.98	3.21	3.65	4.21	4.68	5.55	6.41	7.28
	BS와의 차이	-12%	-11%	-11%	-30%	-28%	-31%	-31%	-32%	-31%	-33%	-36%
KCS(라)	열출입량(W/m)	2.56	2.88	3.18	3.16	3.39	3.84	4.42	4.9	5.78	6.66	7.54
	BS와의 차이	-6%	-6%	-7%	-22%	-21%	-24%	-25%	-26%	-26%	-28%	-31%
ASHRAE(가)	열출입량(W/m)	2.55	2.98	2.6	3.01	3.28	3.8	4.48	5.05	6.1	7.17	8.24
	BS와의 차이	-7%	-2%	-31%	-28%	-25%	-26%	-23%	-22%	-19%	-19%	-20%
ASHRAE(나)	열출입량(W/m)	2.81	3.28	2.92	3.36	3.66	4.24	5	5.62	6.79	7.98	9.15
	BS와의 차이	3%	7%	-17%	-15%	-12%	-13%	-10%	-10%	-7%	-7%	-8%
BS의 열출입량(W/m)		2.72	3.05	3.41	3.86	4.11	4.78	5.51	6.17	7.28	8.52	9.89

관내수온 10℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
열출입량	KCS(가)	2.21	2.54	2.85	2.59	2.8	3.22	3.76	4.2	5.03	5.86	6.7
(W/m)	ASHRAE	2.55	2.98	2.6	3.01	3.28	3.8	4.48	5.05	6.1	7.17	8.24
열출입량 비교		-15%	-17%	9%	-16%	-17%	-18%	-19%	-20%	-21%	-22%	-23%

구분		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
열출입량	KCS(나)	2.29	2.62	2.92	2.76	2.98	3.4	3.95	4.4	5.24	6.08	6.93
(W/m)	ASHRAE	2.81	3.28	2.92	3.36	3.66	4.24	5	5.62	6.79	7.98	9.15
열출입량 비교		-23%	-25%	0%	-22%	-23%	-25%	-27%	-28%	-30%	-31%	-32%



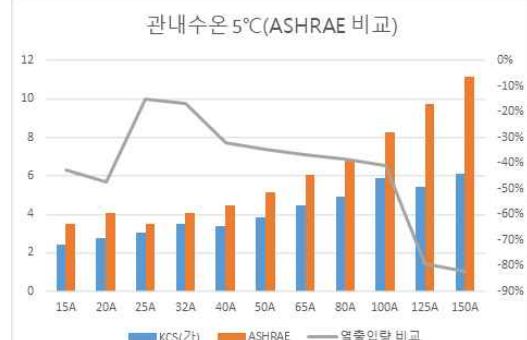
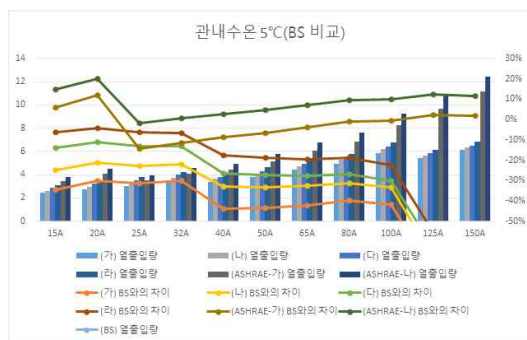
냉수관 등(다습)

관내수온 4 이상 6℃ 미만, 주위온도 30℃ 초과 또는 상대습도 75% 이상
열전도율 범위 중간값, 수평열흐름, 유효복사계수 0.05

관내수온 5℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
KCS(가)	열출입량(W/m)	2.43	2.75	3.05	3.48	3.35	3.82	4.43	4.93	5.86	5.42	6.12
	BS와의 차이	-35%	-30%	-31%	-30%	-44%	-43%	-42%	-40%	-42%	-75%	-79%
KCS(나)	열출입량(W/m)	2.62	2.95	3.26	3.71	3.62	4.11	4.75	5.26	6.23	5.66	6.36
	BS와의 차이	-25%	-21%	-23%	-22%	-33%	-33%	-33%	-31%	-33%	-68%	-72%
KCS(다)	열출입량(W/m)	2.87	3.22	3.54	4.01	3.81	4.3	4.93	5.44	6.39	5.83	6.52
	BS와의 차이	-14%	-11%	-13%	-13%	-27%	-27%	-28%	-27%	-30%	-63%	-68%
KCS(라)	열출입량(W/m)	3.08	3.44	3.77	4.25	4.1	4.61	5.27	5.8	6.78	6.12	6.83
	BS와의 차이	-6%	-4%	-6%	-7%	-18%	-19%	-20%	-19%	-23%	-55%	-61%
ASHRAE(가)	열출입량(W/m)	3.47	4.06	3.51	4.06	4.43	5.14	6.07	6.83	8.27	9.71	11.16
	BS와의 차이	6%	12%	-14%	-12%	-9%	-7%	-4%	-1%	0%	2%	2%
ASHRAE(나)	열출입량(W/m)	3.83	4.48	3.94	4.55	4.96	5.75	6.78	7.63	9.22	10.82	12.43
	BS와의 차이	15%	20%	-2%	0%	3%	5%	7%	10%	10%	12%	12%
BS의 열출입량(W/m)		3.27	3.58	4.01	4.53	4.82	5.48	6.3	6.9	8.31	9.49	10.97

관내수온 5℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
열출입량 (W/m)	KCS(가)	2.43	2.75	3.05	3.48	3.35	3.82	4.43	4.93	5.86	5.42	6.12
	ASHRAE	3.47	4.06	3.51	4.06	4.43	5.14	6.07	6.83	8.27	9.71	11.16
열출입량 비교		-43%	-48%	-15%	-17%	-32%	-35%	-37%	-39%	-41%	-79%	-82%

구분		호칭경										
		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
열출입량 (W/m)	KCS(나)	2.62	2.95	3.26	3.71	3.62	4.11	4.75	5.26	6.23	5.66	6.36
	ASHRAE	3.83	4.48	3.94	4.55	4.96	5.75	6.78	7.63	9.22	10.82	12.43
열출입량 비교		-46%	-52%	-21%	-23%	-37%	-40%	-43%	-45%	-48%	-91%	-95%

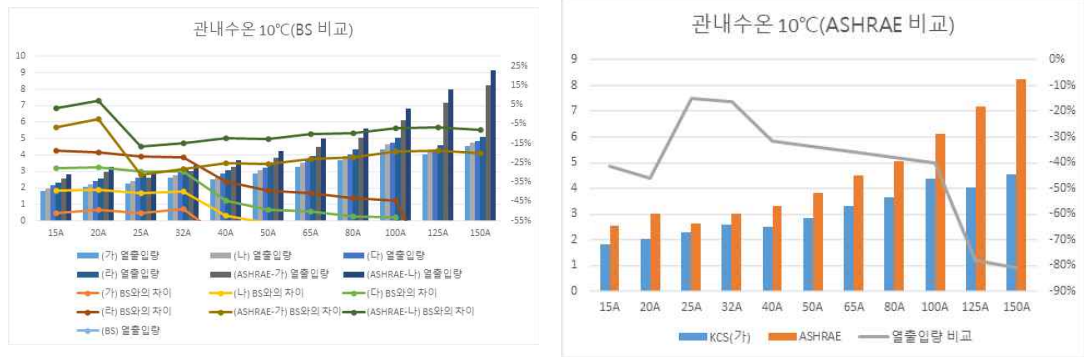


관내수온 6~15℃, 주위온도 30℃ 초과 또는 상대습도 75% 이상
열전도율 범위 중간값, 수평열흐름, 유효복사계수 0.05

관내수온 10℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
KCS(가)	열출입량(W/m)	1.8	2.04	2.26	2.59	2.49	2.84	3.29	3.66	4.35	4.03	4.55
	BS와의 차이	-51%	-50%	-51%	-49%	-65%	-68%	-67%	-69%	-67%	-111%	-117%
KCS(나)	열출입량(W/m)	1.95	2.19	2.42	2.76	2.7	3.06	3.53	3.91	4.63	4.21	4.74
	BS와의 차이	-39%	-39%	-41%	-40%	-52%	-56%	-56%	-58%	-57%	-102%	-109%
KCS(다)	열출입량(W/m)	2.13	2.39	2.63	2.98	2.84	3.2	3.67	4.04	4.75	4.34	4.86
	BS와의 차이	-28%	-28%	-30%	-30%	-45%	-49%	-50%	-53%	-53%	-96%	-103%
KCS(라)	열출입량(W/m)	2.29	2.55	2.8	3.16	3.05	3.43	3.91	4.31	5.04	4.56	5.09
	BS와의 차이	-19%	-20%	-22%	-22%	-35%	-39%	-41%	-43%	-44%	-87%	-94%
ASHRAE(가)	열출입량(W/m)	2.55	2.98	2.6	3.01	3.28	3.8	4.48	5.05	6.1	7.17	8.24
	BS와의 차이	-7%	-2%	-31%	-28%	-25%	-26%	-23%	-22%	-19%	-19%	-20%
ASHRAE(나)	열출입량(W/m)	2.81	3.28	2.92	3.36	3.66	4.24	5	5.62	6.79	7.98	9.15
	BS와의 차이	3%	7%	-17%	-15%	-12%	-13%	-10%	-10%	-7%	-7%	-8%
BS의 열출입량(W/m)		2.72	3.05	3.41	3.86	4.11	4.78	5.51	6.17	7.28	8.52	9.89

관내수온 10℃		호칭경										
구분		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
열출입량 (W/m)	KCS(가)	1.8	2.04	2.26	2.59	2.49	2.84	3.29	3.66	4.35	4.03	4.55
	ASHRAE	2.55	2.98	2.6	3.01	3.28	3.8	4.48	5.05	6.1	7.17	8.24
열출입량 비교		-42%	-46%	-15%	-16%	-32%	-34%	-36%	-38%	-40%	-78%	-81%

구분		호칭경										
		15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
열출입량 (W/m)	KCS(나)	1.95	2.19	2.42	2.76	2.7	3.06	3.53	3.91	4.63	4.21	4.74
	ASHRAE	2.81	3.28	2.92	3.36	3.66	4.24	5	5.62	6.79	7.98	9.15
열출입량 비교		-44%	-50%	-21%	-22%	-36%	-39%	-42%	-44%	-47%	-90%	-93%



- 냉수관 등의 경우 열출입량 기준으로 계산 시 배관 단열두께가 과도하게 증가하지 않도록 2차년도 연구결과와 해외기준을 참고하여 기존 열출입량 대비 10% 증가한 열출입량을 계산함
- 냉수관 등의 기준은 최소 단열두께를 제시하는 해외기준보다 국내기준이 더 높으며, 최대 열출입량을 기준으로 제안하기 위하여 기존의 열출입량 계산값을 ZEB 기준(안)으로 제시하고 10% 상향된 열출입량을 기본 기준(안)으로 제안함

<표 45> 냉수관 등 단열두께 기준 개선(안)_일반

구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
열출입량 기준 (W/m)	4-6℃	3.32	3.76	4.17	4.05	4.36	4.96	5.73	6.36	6.93	7.52	8.69	9.87
	6-15℃	2.61	2.97	3.30	3.16	3.40	3.88	4.49	5.00	5.46	5.94	6.88	7.82
ZEB 열출입량 기준 (W/m)	4-6℃	3.02	3.42	3.79	3.68	3.96	4.51	5.21	5.78	6.30	6.84	7.90	8.97
	6-15℃	2.37	2.70	3.00	2.87	3.10	3.53	4.09	4.55	4.96	5.40	6.25	7.11

<표 46> 냉수관 등 단열두께 기준 개선(안)_다습

구분	호칭경	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
열출입량 기준 (W/m)	4-6℃	3.03	3.40	3.75	4.25	4.09	4.63	5.33	5.89	6.40	6.95	6.33	7.10
	6-15℃	2.25	2.52	2.78	3.16	3.05	3.45	3.96	4.38	4.76	5.16	4.71	5.29
ZEB 열출입량 기준 (W/m)	4-6℃	2.75	3.09	3.41	3.86	3.72	4.21	4.85	5.36	5.82	6.32	5.76	6.46
	6-15℃	2.04	2.29	2.53	2.87	2.77	3.13	3.60	3.98	4.33	4.69	4.29	4.81

- 개선(안)을 기준으로 단열두께를 계산하면 다음 <표 47>과 같음
- 관내수온 5℃, 주변온도 25℃, 상대습도 75%, 단열재 나등급을 적용하여 계산함
 - 기존 KCS기준의 단열두께와 비교하면 기존 개선(안)은 평균 22%, ZEB기준(안)은 평균 5% 감소됨

<표 47> 기준개선(안)을 적용한 단열두께 계산 예시

구분	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	90A	100A	125A	150A
KCS기준	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	75	75
기준개선(안)	27	28	27	30	39	39	40	41	41	42	62	63
ZEB기준(안)	35	36	36	37	47	48	48	49	49	49	73	74
개선(안) 증가율	-33%	-30%	-33%	-25%	-22%	-22%	-20%	-18%	-18%	-16%	-17%	-16%
ZEB(안) 증가율	-13%	-10%	-10%	-8%	-6%	-4%	-4%	-2%	-2%	-2%	-3%	-1%

2.2.7 에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 검증 및 정책제안

1) 국내외 배관단열 기준 검토를 통한 국내 기준의 개선사항 도출

- 국내의 경우, 기계설비 배관에 대한 단열 규정은 ‘건축기계설비공사 표준시방서 보온공사(KCS 31 20 05 : 2021)’(이하 표준시방서 기준)에 따르며, 이 기준은 기기, 덕트 및 배관류의 결로 방지, 동파방지, 보온 및 보랭 공사에 대한 내용을 포함¹⁾
- 국외 기준의 경우, 미국, 영국, 독일 등 많은 선진국에서 인용하고 있는 기준으로 International Energy Conservation Code(IECC : 2021)이 있으며, 최근 2021년 개정됨. 기기, 덕트 및 배관류의 보온공사에 대한 내용은 ‘CHAPTER 4. COMMERCIAL ENERGY EFFICIENCY’의 ‘SECTION C403. BUILDING MECHANICAL SYSTEMS’, ‘SECTION C404. SERVICE WATER HEATING’에 제시되어 있음 ²⁾
- 국내 기준과 IECC 기준은 주요한 3가지의 차이를 보임
 - ① 보온 두께 기준
 - 보온 두께는 최소 2%에서 최대 65%까지 IECC 기준이 국내 기준에 비해 두꺼움 (단, 관내수온 40~60℃, 91~120℃ 범위, 관경 150 이상의 경우 제외)
 - 관내수온이 40~60℃ 범위에서는 IECC 기준에 비해 국내 기준은 사용 가능한 단열재가 가와 나등급 단열재로 세분화되어 있음. 관경이 150 미만일 경우에는 나등급 단열재 사용시 IECC 기준과 거의 유사한 두께를 나타냈으나, 가등급 단열재를 사용하면 단열두께가 8~20% 더 얇은 것으로 나타남. 관경이 150 이상일 경우 국내 기준이 IECC 기준보다 단열 두께가 18~31% 더 두꺼운 것으로 나타남
 - 관내수온이 61~90℃ 범위에서는 IECC 기준에 비해 국내 기준 두께가 최소 2%에서 최대 48% 얇은 것으로 나타남. 관경이 작을수록 두께 차이가 커짐
 - 관내수온이 91~120℃ 범위에서는 관경이 150 이하일 때 IECC 기준에 비해 국내 기준 두께가 최소 6%에서 최대 37% 얇은 것으로 나타남. 관경이 150 이상일 경우 국내 기준이 5~18% 더 두꺼운 것으로 나타남
 - 관내수온이 121~220℃ 범위에서는 IECC 기준에 비해 국내 기준 두께가 최소 13%에서 최대 65% 얇은 것으로 나타남. 관경이 작을수록 두께 차이가 커짐

<표 48> 국내 및 IECC 기준 비교 결과

(단위 : mm)

관내수온 (℃)	기준	단열재 열전도율		관 호칭지름												
		열전도율 (W/m·K)	평균시험 온도(℃)	15	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	300	<300
40	IECC	0.030~0.040	37.8	25.4	25.4	25.4	25.4	38.1	38.1	38.1	38.1	38.1	38.1	38.1	38.1	38.1
- 60	국내	0.030~0.034 (가등급)	23±2	20	20	20	20	35	35	35	35	35	45	45	45	45

		0.035-0.040 (나등급)	23±2	25	25	25	25	40	40	40	40	40	50	50	50	50
비교				-21%	-21%	-21%	-21%	-8%	-8%	-8%	-8%	-8%	18%	18%	18%	18%
				-2%	-2%	-2%	-2%	5%	5%	5%	5%	5%	31%	31%	31%	31%
61 - 90	IECC	0.036-0.042	52	38.1	38.1	38.1	38.1	50.8	50.8	50.8	50.8	50.8	50.8	50.8	50.8	50.8
	국내	0.030-0.034 (가등급)	23±2	20	20	20	20	35	35	35	35	35	45	45	45	45
		0.035-0.040 (나등급)	23±2	25	25	25	25	40	40	40	40	40	50	50	50	50
	비교			-48%	-48%	-48%	-48%	-31%	-31%	-31%	-31%	-31%	-11%	-11%	-11%	-11%
				-34%	-34%	-34%	-34%	-21%	-21%	-21%	-21%	-21%	-2%	-2%	-2%	-2%
91 - 120	IECC	0.039-0.043	66	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	76.2	76.2	76.2	76.2	76.2
	국내	0.035-0.040 (나등급)	23±2	40	40	40	40	50	50	50	50	50	80	80	80	80
		0.041-0.046 (다 등급)	23±2	45	45	45	45	60	60	60	60	60	90	90	90	90
	비교			-37%	-37%	-37%	-37%	-21%	-21%	-21%	-21%	-34%	5%	5%	5%	5%
				-29%	-29%	-29%	-29%	-6%	-6%	-6%	-6%	-21%	18%	18%	18%	18%
121 - 177	IECC	0.042-0.046	93	76.2	76.2	101.6	101.6	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3
	국내	0.041-0.046 (다 등급)	23±2	40	40	50	50	50	50	80	80	80	80	80	80	100
	비교			-48%	-48%	-51%	-51%	-56%	-56%	-30%	-30%	-30%	-30%	-30%	-30%	-13%
	IECC	0.046-0.049	121	114.3	114.3	127.0	127.0	127.0	127.0	127.0	127.0	127.0	127.0	127.0	127.0	127.0
	국내	0.047-0.051 (라 등급)	23±2	40	40	50	50	50	50	80	80	80	80	80	80	100
220	비교			-65%	-65%	-61%	-61%	-61%	-61%	-37%	-37%	-37%	-37%	-37%	-37%	-21%

- 국내 기준을 IECC 수준 비교를 위해 제시된 열전도율에 따른 단열 두께값으로 열저항값을 역산한 후 단열 두께를 재산정하면 <표 49>와 같이 개선안을 제시할 수 있음
- 선진국 수준의 기준 개선안에서는 40~60℃ 온도범위가 추가되었으며, 그 외 온도 범위에서는 기존 대비 평균 39.4% 단열 두께가 증가됨

<표 49> 선진국 수준의 국내 기준 개선안

(단위 : mm)

관내 수온(℃)	보온재 등급	보온재 열전도율 (W/m·K)	관 호칭지름										
			15	25	32	40	50	65	80	125	150	300	300초과
40-60	가	0.032	25	25	25	25	35	35	35	35	45	45	45
	나	0.038	30	30	30	30	40	40	40	40	50	50	50
	다	0.044	35	35	35	35	50	50	50	50	60	60	60
	라	0.049	35	35	35	35	55	55	55	55	65	65	65
61-90	가	0.032	30	30	30	30	40	40	40	40	45	45	45
	나	0.038	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	50
	다	0.044	45	45	45	45	60	60	60	60	60	60	60
	라	0.049	50	50	50	50	65	65	65	65	65	65	65
91~120	가	0.032	50	50	50	50	50	50	50	60	70	70	70
	나	0.038	60	60	60	60	60	60	60	70	80	80	80
	다	0.044	70	70	70	70	70	70	70	85	90	90	90
	라	0.049	75	75	75	75	75	75	75	70	100	100	100
121~200	가	0.032	55	55	75	75	85	85	85	85	85	85	85
	나	0.038	70	70	90	90	100	100	100	100	100	100	100
	다	0.044	80	80	100	100	115	115	115	115	115	115	115
	라	0.049	85	85	115	115	130	130	130	130	130	130	130

② 단열재의 열전도율 시험온도 조건

- 국내 기준에서는 단열재의 열전도율 기준을 제시하기 위한 시험온도 조건에 배관의 사용온도를 고려하지 않음
- 열전도율은 온도가 올라갈수록 상승함. 동일 자재라도 <표 50>과 같이 시험온도가 올라갈수록 열전도율이 달라지기 때문에 단열재는 사용온도 범위에서의 열전도율을 기준으로 선정하는 것이 바람직함
- 예를 들어, 24℃에서의 열전도율이 0.035인 보온판2호의 경우 관내수온 38℃에서는 “나”등급 단열재이지만, 관내수온 93℃에서는 “다”등급에 해당하므로 “나”등급 기준이 아닌 “다”등급으로 적용해 단열 두께 또한 더 두꺼워져야 함

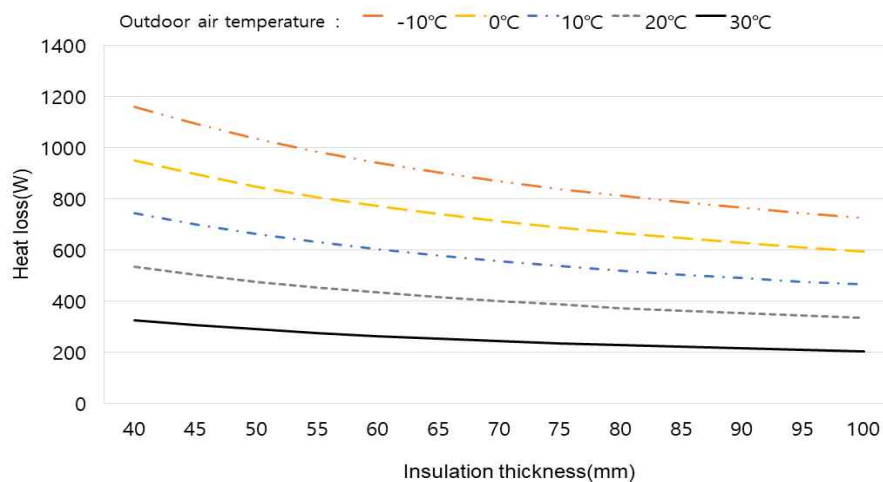
<표 50> 시험온도별 미네랄울 열전도율 (출처 : KCC 카탈로그, 2020)

구분	밀도 (kg/m³)	열전도율(W/m·K)							
		24 ℃	38 ℃	93 ℃	149 ℃	204 ℃	260 ℃	316 ℃	371 ℃
보온판2호	120	0.035	0.036	0.045	0.054	0.064	0.073	0.085	0.098
블랭킷1호	100	0.035	0.037	0.047	0.059	0.071	0.087	0.104	0.124
블랭킷2호	120	0.035	0.036	0.047	0.059	0.067	0.080	0.094	0.111

- IECC의 경우 배관의 사용온도인 관내수온을 고려한 시험온도 기준을 제시하고 있음. 그러나 국내 기준의 경우 KS L 9016에 의한 $23\pm2^{\circ}\text{C}$ 시험조건에서의 열전도율만을 채택하고 있음

③ 배관의 설치 위치에 대한 고려

- 국내 기준의 경우, 주위온도 30℃ 이하, 상대습도 75인 경우 배관의 설치 위치와 관계없이 동일한 기준을 적용하도록 하고 있음. 단, 이 주위온도 조건과 시공 장소의 조건이 현저하게 다른 경우는 그 조건에 따라 KS F 2803의 열전달 계산식에 의해 산출하도록 하고 있음
- 국내의 경우 계절적인 외기온의 차이가 매우 크므로 배관이 지하주차장 등 외기에 노출되어 설치되는 경우 여름철에는 주위온도가 30℃와 유사할 수 있으나, 겨울철에는 영하로 떨어지는 경우도 발생함. 그러나 주위온도에 대한 기준에 계절적인 부분을 고려해야하는지 모호하여 현재 대부분이 표준시방서에 제시된 주위온도가 30℃ 이하의 단열 두께 기준을 적용하고 있음
- 외부에 노출된 배관(관내수온 50℃, 관경 100mm, STS)의 예를 들어 손실량을 예측한 결과 외기온도가 30℃ 조건일 때 보다 10℃씩 떨어질 때마다 에너지 손실량은 40% 증가함³⁾([그림 39] 참조)



[그림 39] 외기 온도에 따른 단열재 두께별 에너지 손실량 예측
(관내수온 50℃, 관경 100mm)

- IECC 기준의 경우, 덕트나 플래넘 단열에 대한 것으로 비공조공간에 설치되는 경우 R-6 (RSI-1.057 $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$) 이상의 단열 조치를 취해야 하며, 건물 외부에 설치되는 경우 Climate Zone에 따라 Zones 0~4는 R-8 (RSI-1.409 $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$), Zones 5~8은 R-12(RSI-2.113 $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$) 이상의 단열 조치를 취하도록 하고 있음. 즉, 설치 위치에 따라 기준을 0.33~2배 상향된 기준을 제시하고 있음
 - 배관의 경우에도 이와 같이 에너지 손실을 낮추기 위해서 건물 외부에 설치되는 경우 제시된 두께 기준보다 상향되어야 할 것으로 판단됨
 - 우리나라는 대부분 Zone 4에 속하지만, 춘천, 철원, 대관령 등 북부지역의 경우 Zone 5~6에 속함.⁴⁾ 따라서 R-8에서 R-12에 상응하는 단열 조치가 추가로 필요할 것으로 판단됨
- 예) 일반조건 대비 IECC 기준은 R-8 적용시 8.2~29.4%, R-12 적용시 62.2~94.1% 상향
국내기준은 R-8 적용시 32.1~28.8%, R-12 적용시 93.2~98.1% 상향되어야함

<표 51> 관경 100일 때, Climate Zone에 따른 단열 두께 비교

(단위 : mm)

관내 수온(℃)	기준	단열두께 산정 열전도율 (W/m·K)	일반조건	Climate Zone 0~4 (R-8 적용시)		Climate Zone 5~8 (R-12 적용시)	
			단열두께	단열두께	증가율	단열두께	증가율
40~60	IECC	0.0350	38.1	49.3	29.4%	74.0	94.1%
	국내	0.0320	35	45.1	28.8%	67.6	93.2%
		0.0375	40	52.8	32.1%	79.2	98.1%
61~90	IECC	0.039	50.8	55.0	8.2%	82.4	62.2%
	국내	0.0320	35	45.1	28.8%	67.6	93.2%
		0.0375	40	52.8	32.1%	79.2	98.1%

※ 단열두께 산정 열전도율은 각 기준 범위의 중간값임

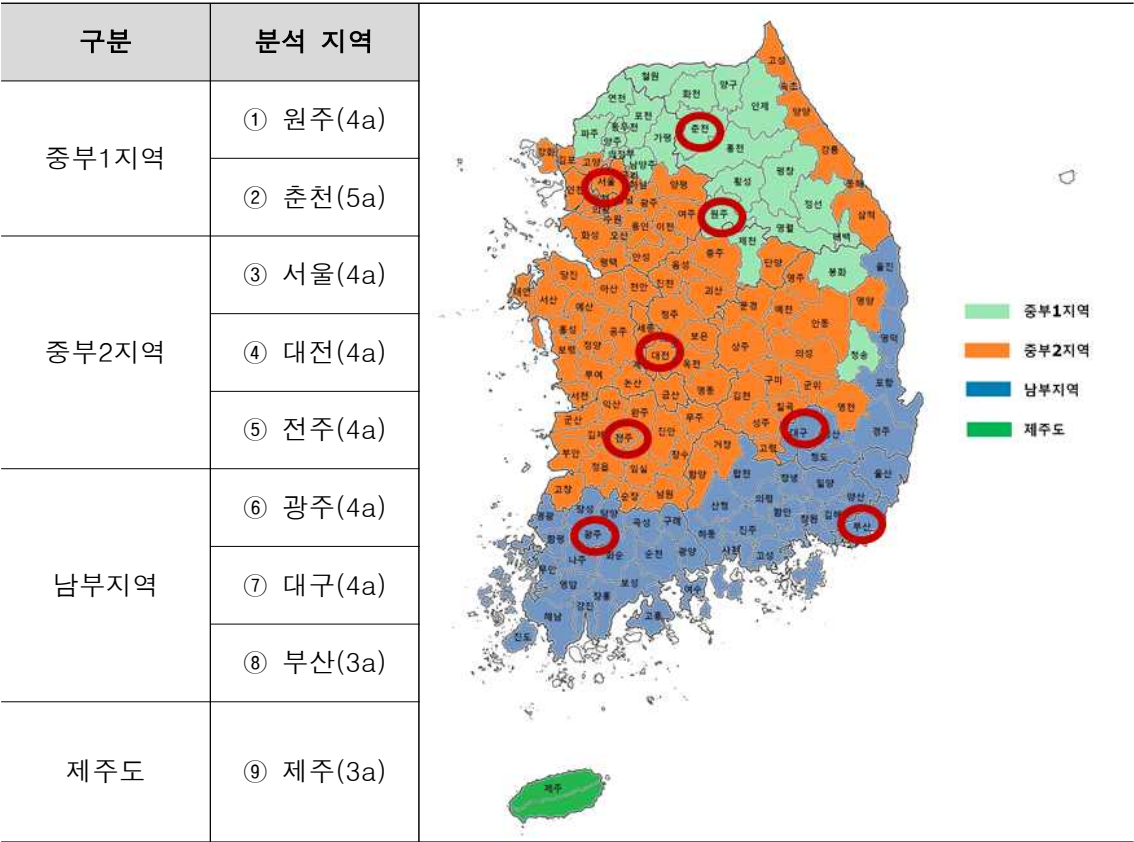
- 따라서 국내 기준에 대한 개정 시 제시된 3가지 차이점을 바탕으로 선진국 수준의 단열 두께 기준으로의 상향시켰으며, 실제 사용 온도에 적합한 열전도율의 시험온도 기준의 선정, 배관의 설치 위치가 고려

2) 제로에너지 건축물을 위한 선진국 수준의 배관 단열 기준안 제시

(1) 배관단열 기준 제안을 위한 기후데이터 분석

- 외기 노출 배관의 겨울철 주위온도 측정 결과, 외기의 영향을 많이 받는 것으로 확인됨. 따라서 단열두께별 열손실량 산정을 위해 필요한 배관의 주변온도 기준을 설정하기 위해 겨울철 국내 외기온 데이터를 분석함
- 분석에 활용된 데이터는 기상청의 최근 10년(2011년~2020년)간 겨울철(12월, 1월, 2월)의 시간별 온도 관측값이며, 총 9개의 지역을 대상으로 함
- 분석 지역은 에너지절약설계기준의 지역구분을 인용하여 전국의 주요 도시 중 중부1지역은 원주, 춘천, 중부2지역은 서울, 대전, 전주, 남부지역은 광주, 대구, 부산, 제주지역은 제주를 선정함 (<표 52> 참고)
- 이 중 대부분의 지역이 Climate Zone 4a에 속하며, 춘천은 5a, 부산과 제주는 3a에 속함

<표 52> 분석 지역 구분



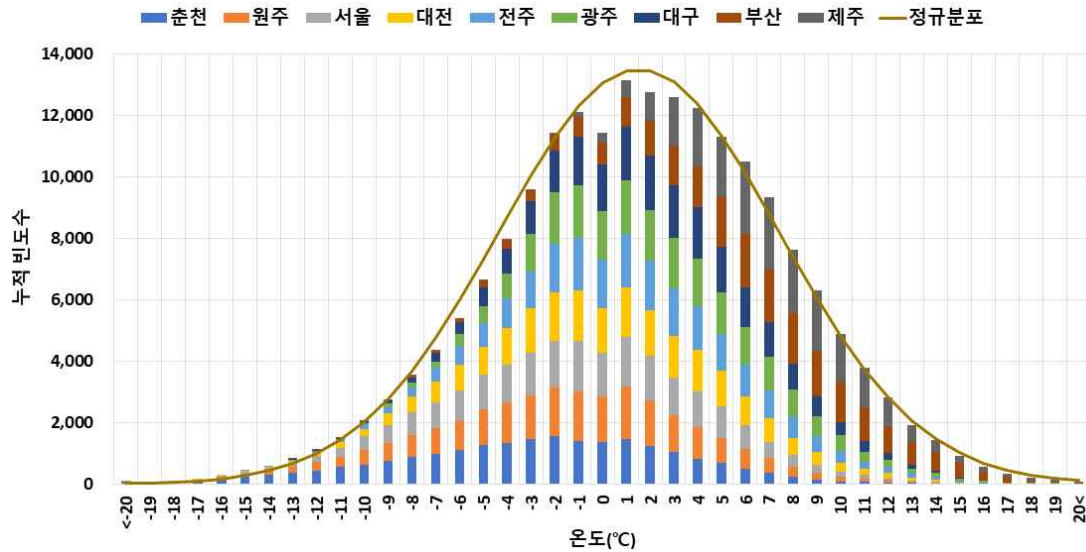
※ () : ASHRAE Standard 90.1의 Climate Zone 구분

○ <표 53>과 같이 9개 지역 겨울철 평균온도는 1.5℃, 최고평균기온은 16.3℃, 최저평균기온은 -12.3℃로 나타남

<표 53> 지역별 평균 기온

구분	춘천	원주	서울	대전	전주	광주	대구	부산	제주	평균
평균기온(℃)	-2.8	-1.4	-0.9	0.2	1.3	2.1	2.1	6.1	7.1	1.5
최고평균기온(℃)	12.8	14.0	13.8	15.6	17.3	16.8	16.6	19.3	20.1	16.3
최저평균기온(℃)	-19.4	-15.9	-15.0	-13.7	-11.4	-9.9	-10.9	-9.5	-4.6	-12.3

○ [그림 40]은 최근 10년간 겨울철 온도 관측값의 출현빈도를 누적한 그래프로, <표 54>와 같이 평균 1.5℃, 표준편차 5.9를 갖는 정규분포를 보임

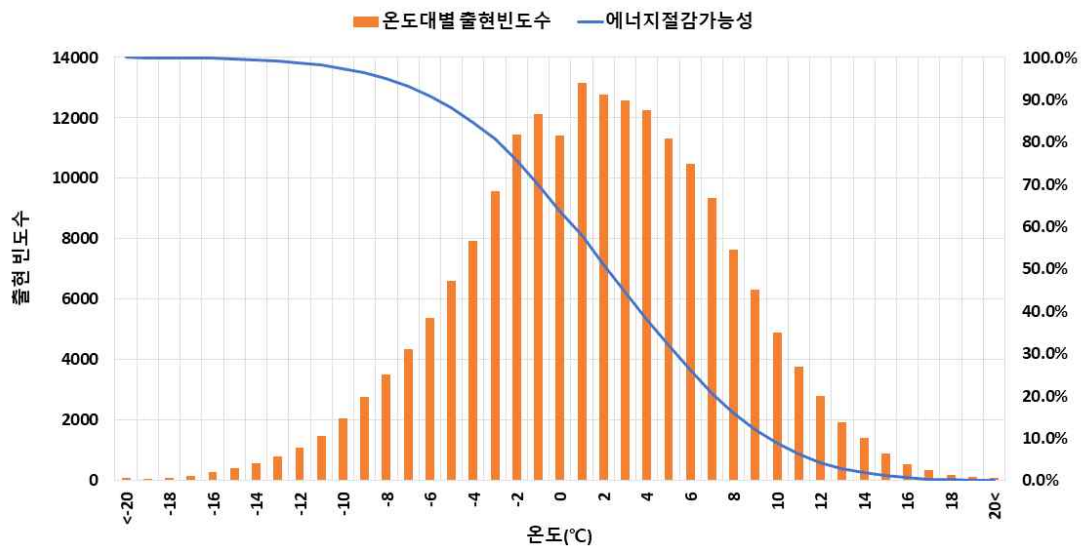


[그림 40] 전국 9개 지역 겨울철 온도 분포

<표 54> 전국 9개지역 평균값

구분	평균값	최고값	최저값	최다빈도값	표준편차
전국 9개 지역	1.5 °C	23.1 °C	-23.1 °C	1.1 °C	5.9

- 단열재 두께를 산정하기 위해서 특정 온도 $T^{\circ}\text{C}$ 에서 단열 기준을 선정할 경우, $T^{\circ}\text{C}$ 이상의 온도범위에서 에너지절감 가능성 확보 비율은 그 온도 이하의 누적 출현비율과 같음
- 따라서 에너지절감 가능성은 다음 [그림 41]과 같이 나타낼 수 있으며, <표 51>과 같이 에너지절감 가능성이 50% 수준의 온도는 약 2°C , 70% 수준은 약 -12°C , 30% 수준은 5°C 로 나타남



[그림 41] 에너지 절감 비율

- 따라서 단열설계를 위한 겨울철 외기 온도기준을 에너지 절감 가능성 30%~ 50% 수준에 해당하는 $2\sim 5^{\circ}\text{C}$ 로 선정하고, 각 온도대별 배관의 단열두께 및 경제성을 산정함
 - 30% 상향 수준 주변온도기준 : 5°C
 - 50% 상향 수준 주변온도기준 : 2°C

(2) 외기 노출 배관의 단열 두께 기준 제안

○ 배관의 단위길이 당 열손실량 $Q(W/m)$ 은 다음의 식(10)을 사용해 간단하게 구할 수 있음

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi Lk} + \frac{1}{h(2\pi r_2 L)}} \quad (10)$$

여기서, Q : 열손실량 [W] k : 파이프 재료의 열 전도율 [W/m]

T_1 : 배관 표면온도 [°C] T_2 : 외기 온도 [°C]

r_1 : 배관 내부 반경 [mm] r_2 : 배관 외부 반경 [mm]

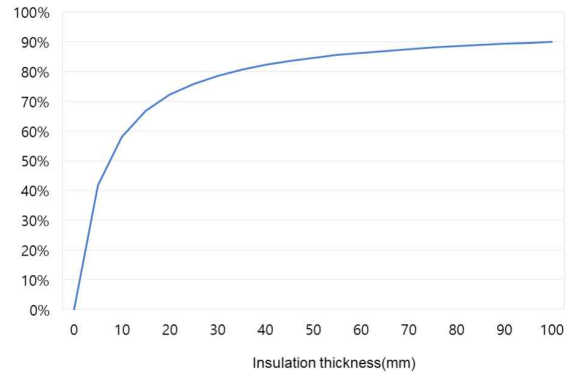
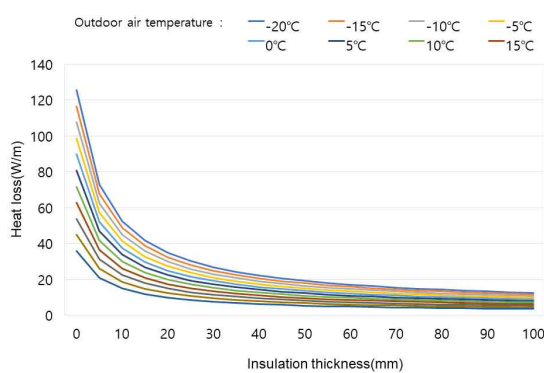
L : 유체가 이송되는 파이프의 길이[m]

h : 열전달계수($W/m^2 \cdot K$), 공기(자연대류)는 5~25

○ T_1 는 온수 공급온도(°C)로 지역난방 열공급온도(동절기 50°C) 기준으로 산정하였으며, T_2 는 외기 온도(°C)로 앞에서 산정한 겨울철 외기 온도 기준인 2°C, 5°C 기준을 각각 적용하여 단열 두께별 열손실량을 비교함

○ 열전도율 0.035 W/m·K(나등급) 인 경우 에너지 손실량 산정

- 주변온도가 30도 기준, 40mm 두께 기준 적용 시, 7.3 W/m 에너지 손실량 발생함
- 이와 동일한 수준의 에너지 손실량을 확보하는 경우 배관 단열 두께는 주변온도가 5°C일 경우, 단열 두께가 160mm까지 두꺼워져야 하며, 주변온도가 2°C일 경우, 단열 두께가 180mm까지 두꺼워져야함



[그림 42] 두께에 따른 에너지손실량(W/m)

[그림 43] 두께에 따른 에너지절감율 누적(%)

<표 55> 배관경 100mm, 온수온도 50°C 일 때, 보온재 두께별 주변온도에 따른 에너지 손실량

(단위 : W/m)

주변온도		보온재두께					
		40mm (KCS)	50mm	75mm	100mm	160mm	180mm
기준온도	30 °C	7.3	6.3	4.9	4.2	3.2	3
외기온도	5 °C	16.4	14.3	11.1	9.4	7.2	6.8
	2 °C	17.5	15.2	11.8	10	7.7	7.3

- 단열재 두께가 기존 40mm에서 160mm, 180mm까지 상향시킬 경우, 두께 증가로 인한 가격 상승이 불가피함. 이에 따라 단열 두께 증가에 따른 에너지 절감율 및 가격 상승률을 비교함

○ 단열재 가격 상승률 검토

- 단열재 자재 단가

※ 조달청, 21년 하반기 시설자재 가격정보공개(건축,토목,기계,전기·통신분야)

※ 보온통에 대한 가격이 별도로 제시되어 있지 않아 동일 소재 가격 적용

<표 56> 섬유단열재 가격 정보

구분	밀도(kg/㎡)	두께(mm)	가격 정보(원/㎡)
섬유단열재 (암면블랭킷, 펠트)	60	100	8,184
	80	100	10,824
	100	100	13,596

- 단열재 가격 정보를 바탕으로 단열 두께에 따른 에너지 손실량 및 단열재 가격 상승률을 검토 하면 다음과 같이 산정할 수 있음

배관경 100mm 인 경우, 바깥지름 114.3 mm이므로 배관 둘레 0.36m이므로

단열 두께 100mm 일 때 $8,184\text{원}/\text{㎡} \times 0.36 \text{ m} = 2937.3 \text{ 원}/\text{m}$

단열 두께 1mm 당 $29.373\text{원}/\text{m} \times 40\text{mm} = 1,175 \text{ 원}/\text{m}$

<표 57> 단열 두께에 따른 에너지 손실량 및 단열재 가격 상승율(배관경 100mm, 온수온도 50℃)

(단위 : W/m)

주변온도		보온재두께					
		40mm (KCS)	50mm	75mm	100mm	160mm	180mm
기준온도	5 ℃	16.4	14.3	11.1	9.4	7.2	6.8
두께증가에 따른 에너지절감율(%)		-	▲14%	▲33%	▲42%	▲56%	▲59%
가격	단가(원/m)	1,175	1,469	1,763	2,203	4,700	5,288
비교	증가율	-	▲125%	▲187%	▲250%	▲400%	▲450%

- 단열재 두께가 기존 40mm에서 160mm, 180mm까지 상향시킬 경우, 단열재 단가가 m당 400~450%까지 증가함
- 배관경 100mm의 온수온도 50℃일 때, 제안된 단열 두께 기준인 50mm를 역산하면 R-8과 유사한 값을 가짐
 - $RSI(\text{㎡} \cdot \text{K}/\text{W}) = \text{두께 } 0.05 \text{ m} / \text{열전도율 } 0.035 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K} = 1.42$
 - $R(\text{Btu} \times \text{in.}/(\text{h} \times \text{ft}^2 \times \text{°F})) = RSI / 0.1761 = 8.1$
- 위와 같은 방식으로 배관경 50mm, 150mm일 때를 산정하면, 다음과 같음

<표 58> 단열 두께에 따른 에너지 손실량 및 단열재 가격 상승율(배관경 50mm, 온수온도 50℃)

(단위 : W/m)

주변온도		보온재두께					
		40mm (KCS)	50mm	75mm	100mm	160mm	180mm
기준온도	5 ℃	10.5	9.3	7.5	6.5	5.3	5.0
두께증가에 따른 에너지절감율(%)		-	▲11%	▲28%	▲38%	▲50%	▲52%
가격	단가(원/m)	622	777	1,166	1,555	2,488	2,799
비교	증가율	-	▲125%	▲188%	▲250%	▲400%	▲450%

<표 59> 단열 두께에 따른 에너지 손실량 및 단열재 가격 상승율(배관경 150mm, 온수온도 50℃)

(단위 : W/m)

주변온도		보온재두께					
		50mm (KCS)	60mm	75mm	100mm	160mm	180mm
기준온도	5 ℃	29.2	25.9	22.3	18.5	13.9	13.0
두께증가에 따른 에너지절감율(%)		-	▲11%	▲24%	▲37%	▲52%	▲55%
가격	단가(원/m)	2,123	2,547	3,184	4,245	6,792	7,642
비교	증가율	-	▲120%	▲150%	▲200%	▲320%	▲360%

- 기존 기준의 약 10mm 두께를 증가시키는 경우, 에너지 절감율 10~15% 증가 수준에서, 단열재 단가 120~130% 상승되는 수준으로 나타남
- 따라서, 제로에너지건축물을 위한 외기 노출 배관의 단열 두께는 갑작스러운 단열 두께 상승으로 인한 시장의 충격을 완화하고, 에너지 절약성을 확보하기 위하여 기존 두께의 10mm 두께를 증가를 시작으로 점차 기준을 강화해 나갈 필요가 있다고 판단됨

3) 건축기계설비공사 표준시방서 보온기준에 대한 정책 개선안 제안

○ 개정(안)을 마련함에 있어 주요 고려 사항은 다음과 같음

- 국내 기준의 단열 두께를 주요 선진국에서 인용하고 있는 International Energy Conservation Code(IECC 2021) 기준 수준으로 상향함
- 단열재의 열전도율은 시험온도 조건의 온도가 높아질수록 비례하여 높아짐. 따라서 배관의 사용온도 범위에서 시험한 단열재의 열전도율을 기준하도록 변경
- 건물의 외부 또는 지하주차장과 같이 외기에 배관이 직접적으로 노출되는 경우, 기존 기준에서 제시되는 단열 두께보다 상향된 기준을 적용해야함. 기존 두께에 약 10mm를 추가하였을 경우 에너지 소비량이 10~20% 저감하며, 비용이 약 20~30% 증가되는 수준임

○ 앞의 연구 결과를 바탕으로 표준시방서의 보온기준에 대해 다음과 같이 개선안을 제시할 수 있음

배관 단열 기준 향상 정책 제안을 위한 기존 기준과 개정(안)

현행기준 (KCS 31 20 05 : 2021 보온공사)	기준 재정 제안
(앞부분 생략)	(앞부분 생략)
2.2 보온두께의 공통사항	2.2 보온두께의 공통사항
(1) 보온두께는 보온재만의 두께를 말하며 외장재 및 보조재의 두께는 포함하지 않는다. (2) 결로 및 동파방지가 동시에 필요할 경우의 보온 두께는 두 가지 중에서 큰 쪽의 시방을 적용한다. (3) 기기, 덕트 및 배관의 보온 두께는 2.3, 2.4, 2.5에 있는 조건과 시공 장소의 조건이 현저하게 다른 경우는 그 조건에 따라 KS F 2803에 따른다. (4) 보온과 보랭이 동시에 필요한 경우의 보온두께는 두 가지 중에서 두께가 큰 쪽의 시방을 적용한다. (5) 기타 재료의 보온, 보랭 두께는 공사시방서를 참조한다. (6) 단열재의 단열성능, 화재안전성능은 승인 요청일로부터 1년 이내에 발급된 국가공인시험기관의 시험성적서를 첨부한다. (7) 단열재는 사용 온도에 적합한 재료를 사용한다. 해당 단열재는 사용 온도에서 10년 이상의 장시간 사용 시에 형상, 강도 또는 물리적 특성이 변하지 않고 단열 성능이 유지되어야 한다. (8) 보랭의 경우, 보온재 표면 및 이음부 방습처리를 확실하게 하여 보온재 내로 습기 침투를 방지하여야 한다. (9) 표기된 보온 두께는 최소 기준이며, 현장 여건 또는 제품 생산에 따라 그 이상 두께의 사용은 가능하다. 보온 두께의 부분적인 허용 오차는 +3 mm, -2 mm로 한다. (10) 열전도율 0.030 W/m·K 이하의 보온재는 보온재 등급 “가” 항의 열전도율 0.034 W/m·K를 기준으로 해당 보온두께를 기준하여 열전도율에 비례한 보온두께를 사용할 수 있다. (11) 주위온도 30 ℃ 이하는 건물 내에 위치한 기기, 배관, 덕트 등에 적용하며 주위온도 30 ℃ 초과는 옥외에 설치된 기기, 배관, 덕트 등에 적용한다.	(1) 보온두께는 보온재만의 두께를 말하며 외장재 및 보조재의 두께는 포함하지 않는다. (2) 결로 및 동파방지가 동시에 필요할 경우의 보온 두께는 두 가지 중에서 큰 쪽의 시방을 적용한다. (3) 기기, 덕트 및 배관의 보온 두께는 2.3, 2.4, 2.5에 있는 조건과 시공 장소의 조건이 현저하게 다른 경우는 그 조건에 따라 KS F 2803에 따른다. (4) 보온과 보랭이 동시에 필요한 경우의 보온두께는 두 가지 중에서 두께가 큰 쪽의 시방을 적용한다. (5) 기타 재료의 보온, 보랭 두께는 공사시방서를 참조한다. (6) 단열재의 단열성능, 화재안전성능은 승인 요청일로부터 1년 이내에 발급된 국가공인시험기관의 시험성적서를 첨부한다. (7) 단열재는 사용 온도에 적합한 재료를 사용한다. 해당 단열재는 사용 온도에서 10년 이상의 장시간 사용 시에 형상, 강도 또는 물리적 특성이 변하지 않고 단열 성능이 유지되어야 한다. (8) 보랭의 경우, 보온재 표면 및 이음부 방습처리를 확실하게 하여 보온재 내로 습기 침투를 방지하여야 한다. (9) 표기된 보온 두께는 최소 기준이며, 현장 여건 또는 제품 생산에 따라 그 이상 두께의 사용은 가능하다. 보온 두께의 부분적인 허용 오차는 +3 mm, -2 mm로 한다. (10) 열전도율 0.030 W/m·K 이하의 보온재는 보온재 등급 “가” 항의 열전도율 0.034 W/m·K를 기준으로 해당 보온두께를 기준하여 열전도율에 비례한 보온두께를 사용할 수 있다. (11) 주위온도 30 ℃ 이하는 건물 내에 위치한 기기, 배관, 덕트 등에 적용하며 주위온도 30 ℃ 초과는 옥외에 설치된 기기, 배관, 덕트 등에 적용한다.

현행기준 (KCS 31 20 05 : 2021 보온공사)		기준 재정 제안					
		(12) 급탕관의 경우, 건물 외부에 배관이 설치되어 외기에 노출되거나 지하주차장 등 단열되지 않은 공간에서는 최소 10mm 이상인 단열재를 사용할 것을 권장한다.					
(중략)		(중략)					
2.5 배관의 보온두께		2.5 배관의 보온두께					
(중략)		(중략)					
(2) 급탕관, 온수관, 증기관의 보온재 등급별 보온두께는 다음 표에 따른다. ① 일반적인 경우		(2) 급탕관, 온수관, 증기관의 보온재 등급별 보온두께는 다음 표에 따른다. ① 일반적인 경우					
가. 조건: 관내 수온 90 ℃ 이하, 주위온도 30 ℃ 이하		가. 조건: 관내 수온 40~60 ℃, 주위온도 30 ℃ 이하					
표 2.5-3 온수관 등의 보온 두께 (일반)		표 2.5-3 온수관 등의 보온 두께 (일반)					
보온재 등급	보온재 열전도율의 범위 - W/m · K (KS L 9016에 의한 23±2℃ 시험조건에서 열전도율)	보온두께(mm)		열전도율 시험 온도 기준 (℃)	보온두께(mm)		
		관호칭 지름 15~40	관호칭 지름 50~125		관호칭 지름 150 이상	관호칭 지름 15~40	관호칭 지름 50~125
가	0.030 초과 0.034 이하	20	35	23±2	25	35	45
나	0.035~0.040	25	40		50		
다	0.041~0.046	30	45		60		
라	0.047~0.051	35	50		65		

현행기준 (KCS 31 20 05 : 2021 보온공사)					기준 재정 제안								
					나. 조건: 관내 수온 61~90 ℃, 주위온도 30 ℃ 이하								
					표 2.5-3 온수관 등의 보온 두께 (일반)								
					보온재 등급	보온재 열전도율의 범위 - W/m · K	열전도율 시험 온도 기준 (℃)	보온두께(mm)					
								관호칭 지름 15~40	관호칭 지름 50~125	관호칭 지름 150 이상			
								가	0.030 초과 0.034 이하	50±2	30	40	45
나	0.035~0.040	40	50	50									
다	0.041~0.046	45	60	60									
라	0.047~0.051	50	65	65									
나. 조건: 관내 수온 91~120 ℃, 주위온도 30 ℃ 이하					다. 조건: 관내 수온 91~120 ℃, 주위온도 30 ℃ 이하								
					표 2.5-4 온수관 등의 보온 두께 (중온)								
					보온재 등급	보온재 열전도율의 범위 - W/m · K (KS L 9016에 의한 23±2℃ 시험조건에서 열전도율)	보온두께(mm)						
							관호칭 지름 15~40	관호칭 지름 50~125	관호칭 지름 150 이상				
							가	0.030 초과 0.034 이하	35	45	70		
나	0.035~0.040	40	50	80									
다	0.041~0.046	45	60	90									
라	0.047~0.051	50	65	100									
					표 2.5-4 온수관 등의 보온 두께 (중온)								
					보온재 등급	보온재 열전도율의 범위 - W/m · K	열전도율 시험 온도 기준 (℃)	보온두께(mm)					
								관호칭 지름 15~40	관호칭 지름 50~125	관호칭 지름 150 이상			
								가	0.030 초과 0.034 이하	65±2	50	60	70
								나	0.035~0.040		60	70	80
다	0.041~0.046	70	85	90									
라	0.047~0.051	75	85	100									

현행기준 (KCS 31 20 05 : 2021 보온공사)						기준 재정 제안					
② 고온의 경우 가. 조건: 관내 수온 121~220 ℃, 주위온도 30 ℃ 이하 표 2.5-5 고온수관 등의 보온 두께 (고온)						② 고온의 경우 가. 조건: 관내 수온 121~220 ℃, 주위온도 30 ℃ 이하 표 2.5-5 고온수관 등의 보온 두께 (고온)					
보 온 재 등 급	관 호칭지름 (mm)	25 이하	32~65	80~300	300 초과	보 온 재 등 급	보온재 열전도율의 범위 - W/m · K	열전 도율 시험 온도 기준 (℃)	보온두께(mm)		
	보온두께(mm)	40	50	80	100				25 이하	32 ~40	50 이상
가	보온재	0.034 초과 0.034 이하				가	0.030 초과 0.034 이하	93±2	55	75	85
나	열전도율의	0.035~0.040				나	0.035~0.040		70	90	100
다	범위 -	0.041~0.046				다	0.041~0.046		80	100	115
라	W/m · K	0.047~0.051				라	0.047~0.051		85	115	130
(이하 생략)						(이하 생략)					

4) 배관단열기준의 시공성 확보 방안

(4-1) 배관단열재 선정

가. 재료 선정

- 단열재는 아래와 같은 기능을 수행하므로 목적을 달성할 수 있는 보온재료를 선정하여야 함. 또한 사용온도범위에 적합한 재료를 선정하여야 함
 - ① 열손실 또는 열취득을 줄임으로 에너지 보존
 - ② 사용자 보호와 쾌적함을 위한 표면 온도 제어
 - ③ 공정에서 온도제어를 용이하게 함
 - ④ 차가운 표면에서 증기 유동이나 수분의 응축을 방지
 - ⑤ 상업용이나 산업용 시설에서 냉난방, 환기, 위생, 증기, 공정, 동력시스템의 운전율을 향상
 - ⑥ 사용위치와 용도를 고려하여 보온재의 화재안전 성능시험, 내화시험, 연소성능시험 및 가스 유해성시험 기준에 적합한 재질을 선택
 - ⑦ 식품, 화장품 공장에서 USAD(FDA) 기준을 충족시키는데 기계설비 시스템을 보조
 - ⑧ 사용자 보호와 쾌적함을 위해 소음을 제어
 - ⑨ 배관이나 장비의 동결방지를 도움
 - ⑩ 분진이나 온실가스의 배출을 줄여 환경을 보호
- 온도범위에 따른 사용가능한 재료는 극저온도 범위 -45.5℃ 이하는 천연 가스, 메탄, 산소, 질소 등과 같은 가스를 액화하여 운반과 사용을 용이하게 하는 프로세스와 마주치는 조건들을 포함함. 이 범위의 재료 선택은 열값과 안전을 위해 필요한 내부 냉각기 표면으로의 증기 흐름 저항성을 제공하는 증기 밀봉 시스템에서 사용할 수 있는 능력에 따라 정해짐. 극저온도 범위에 사용되는 재료는 셀룰러 글라스, 탄성체, flexible aerogel, 페놀릭, 폴리소시아나이트, 폴리스티렌 등 임
- 저온 범위 -45℃ ~ 16℃인 저온 설비의 주요 설계 문제는 수분 침투와 작동 효율임. 따뜻한 외부 표면에서 내부 표면으로의 증기 흐름의 압력은 증기를 분산되게 만들 수 있으며, 밀봉되지 않은 접합부나 균열을 통해 증기가 유입된 다음 응축, 동결 및 손상을 일으킬 수 있음. 냉방 비용이 난방비보다 높기 때문에 더 많은 단열재가 정당화되거나 요구되는 경우가 많음. 냉방 라인 용도에 대해 경제적으로 추천되는 정도 이상의 추가적인 단열 두께가 따뜻한 표면 온도를 이슬점 위

로 유지시키기 위해 사용되기도 함. 냉수 1°C~16°C에서 수증기는 금속위에 응축되어 단열재의 흡수율을 상승시켜 단열성능을 떨어뜨림. 이러한 온도 범위에서 일반적으로 사용되는 단열재는 셀룰러 글라스, 탄성체, 유리섬유, 미네랄 섬유, 페놀릭, 폴리오레핀, 폴리소시아나트륨, 폴리우레탄, 폴리스티렌 등 임

- 중간 온도 범위 16°C ~ 232°C에서는 대부분의 산업 공정과 상업적 설비에서 필요한 온수 및 증기 시스템을 포함. 이 범위의 재료 선택은 저온일 때보다 열적 성질에 대한 가중치를 둠. 그러나 기계적 및 화학적 특성, 형태 가공성, 설치 시간 및 비용 등의 다른 요소도 중요. 중간 온도 범위에서 일반적으로 사용되는 재료는 규산칼슘, 셀룰러 글라스, 탄성중합체, 팽창 실리카나 펄라이트, 유리 섬유, 미네랄 섬유, 페놀릭, 폴리스티렌, 폴리우레탄, 폴리소시아나트륨, 폴리오레핀 등 임
- 고온 범위 233°C ~ 816°C는 단열재의 내화범위에 가까워짐에 따라 사용 가능한 재료와 적용방법이 줄어듦. 고온 재료는 종종 특수 바인더를 사용하여 제조된 다른 재료 또는 유사한 재료들의 조합임. 자켓팅은 일반적으로 현장에서 적용됨. 산업용 전력 및 공정 배관 및 장비, 보일러, 브리칭, 배기 및 소각장치가 이 온도 적용 범위에 포함됨. 일반적으로 사용되는 재료는 규산칼슘, 셀룰러 글라스, 시멘트, 세라믹 섬유, 유리 섬유, 미네랄섬유, 팽창 실리카나 펄라이트 등으로 고온 범위로 나열된 모든 단열재들이 최대 사용 온도와 일치하는 것은 아님

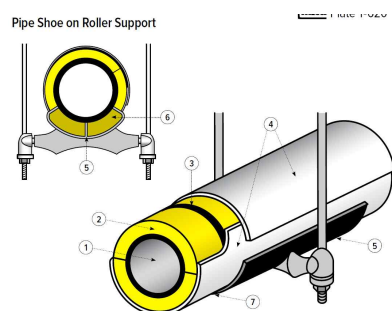
나. 단열두께

- 조사 사례에서와 같이 국가 표준시방서에서 규정한 단열두께를 기준으로 할 때 무기질 보온재인 유리섬보온재의 경우에는 기준에 따라 두께가 지켜지고 있으나 유기질 형태의 보온재는 대부분 기준보다 낮은 두께를 사용하고 있는 것으로 확인됨. 이는 재료의 가격경쟁력에서 유기질보온재가 고가인 이유로 두께를 얇게 사용하는 것으로 보임. 따라서 기계설비 기술기준에서 두께 선정시 재료의 열전도율에 따라 두께가 선정되도록 변경 예정이므로 이를 준수할 수 있도록 홍보가 필요하며, 기준으로 선정되도록 해야 함. 특히 제로 에너지 건축물 적용을 위한 기준에서도 재료의 열전도율 기준으로 선정될 수 있도록 하여야 함

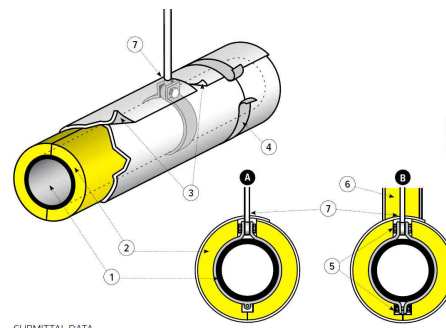
(3-2) 배관 단열시공 기준

가. 시공부위 보완

- 시공과정에서 [그림 44], [그림 45]와 같이 단열이 꼭 필요한 부위에 대하여 누락 시공하는 경우가 종종 있는 것으로 파악됨. 이는 시방서 상에서 명시되지 않았거나 애매한 경우가 있어 시공상의 착오를 일으키는 것으로 보임. 따라서 보온시공부위에 대한 구체적인 매뉴얼을 작성하여 시공자로 하여금 참조하도록 하는 것이 필요. 아래 그림은 대표적인 보온 시공 상세의 예를 보여줌



[그림 44] 파이프 슈 단열시공

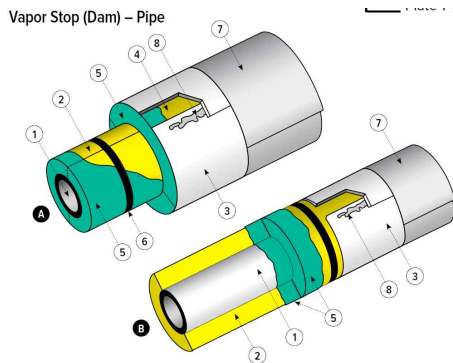


[그림 45] 분할행거 단열시공

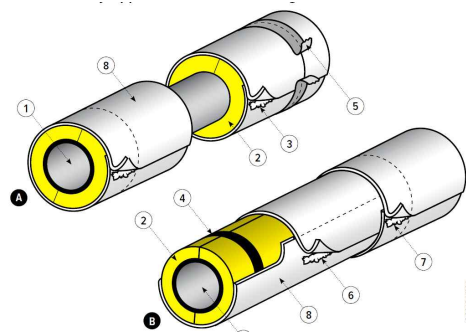
- 또한 준공 후 유지관리 단계에서 보수나 점검을 위하여 보온의 일부분을 해체하는 경우 원상태로 복구하는 것이 에너지 절약을 위하여 중요하다는 인식의 개선이 필요하므로 기계설비법에 따라 보수교육을 진행하는 경우 교육내용 중에 포함되도록 할 예정임

나. 결로

- 저온의 열매를 사용하는 경우 배관표면의 온도가 사용 장소의 주위공기 상태의 노점온도보다 낮을 때 습공기가 배관 표면에 접촉하는 환경이 되면 결로가 발생하여 보온재로 흡습되는 현상이 일어남. 이 경우 결로로 인한 낙수 현상으로 문제가 발생. 결로방지를 위하여 보온재의 끝단부분에서의 기밀성과 길이 방향에서의 연결 부분에서 투습의 전달을 차단시키기 위하여 습증기차단(vapor stop) 기능을 갖추어야 함
- 그러나 국내 보온시공에서는 대부분 이에 대한 부분을 간과하고 있어 결로로 인한 하자 사례가 많은 편임. 특히 열전도율이 높은 지지철물 부분에서 결로 현상이 자주 발생
- 따라서 이 부분에 대한 시공 개선이 필요. [그림 46], [그림 47]과 같이 해외에서는 습증기 차단 시공과 종방향 접착제 시공을 통하여 투습 현상을 방지하고 있어 국내에서도 이에 대한 시공 상세 제공이 필요함



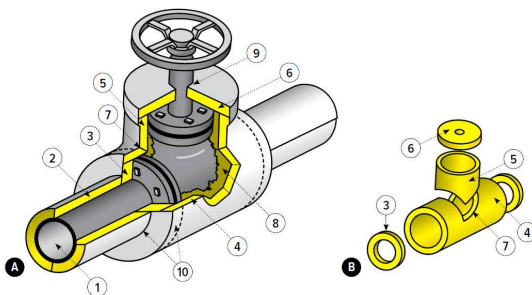
[그림 46] 습증기 차단 시공



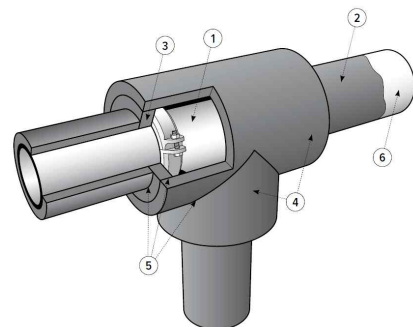
[그림 47] 종방향 접착제 시공

다. 밸브 류 등의 단열시공방법

- [그림 48], [그림 49]와 같이 배관이음쇠, 밸브 류, 계기 류 등 배관 도중에 설치되는 각종 연결 부속 부분에 대한 시공 상세가 미비하여 시공현장에서 임의적인 시공이 이루어지거나 누락시공이 일어나는 경우가 많이 있음
- 이에 대한 시공 상세 매뉴얼 제공을 통하여 보완하여야 할 필요가 대두됨. 특히 국내에서는 성형 제품의 사용이 미미하므로 성형 제품을 적용하는 방안도 고려되어야 함



[그림 48] 밸브보온시공



[그림 49] 이음부속 보온

라. 외장재의 보완

- 앞서 언급한 외장재의 기능에 부합하기 위해 고려되어야 할 자켓 소재와 매스틱 소재의 특성은 내부 및 외부 움직임에 대한 내성이 필요함. 이는 단열재의 열팽창 및 수축(즉, 고온 단열재의 수축)을 흡수하거나 보상해야 할 때 또는 시스템 진동을 고려해야 할 때 중요. 결로에 대한 문제를 해결하기 위하여 보온재료와 함께 외장재도 중요한 역할을 함. 이는 증기 투과성에 대한 침투성을 고려함으로 커버는 수증기가 절연체로 유입되는 것을 방지해야 함
- 하지만 국내에서는 이에 대한 고려를 하지 않는 실정이므로 개선이 필요. 또한 중요한 요소 중의

하나가 내연성능과 방사도에 대한 고려임. 내연성능으로 불길의 확산, 연기발생률을 고려해야 함. 단열재 표면을 통하여 주위로 열은 대류와 복사로 전달되므로 외장재의 방사율이 중요하나 국내에서는 이에 대한 기준이나 고려가 없는 실정임

2.2.8 기계설비 배관단열 실태 파악 및 적용 매뉴얼 개발

1) 기계설비배관 단열기준 적용 매뉴얼 개발[첨부 1 참조]

- 국내에서 배관단열과 관련된 기준은 표준시방서의 보온공사 부분이 유일함. 이 시방서는 서술형으로 되어 있고 구체적 기준 제시가 없거나 미흡한 부분으로 인하여 현장 시공 시 문제점을 일으키는 경우가 발생할 수 있음
- 이에 매뉴얼을 통하여 설계단계부터 시공단계까지 필요한 내용을 제공함으로 배관을 통하여 손실되는 에너지를 절약하고 배관단열 수명을 연장할 수 있음

2) 기계설비배관 단열 문제점 개선을 위한 표준시방서 개정의견(안) 작성

- 현 국내 표준시방서의 부족한 부분과 개선이 필요한 부분에 대하여 본 연구를 진행하며 도출된 개선 방향을 실제 현장에 적용하기 위하여 표준시방서 개정의견(안)을 작성하여 차후 개정 시 반영할 수 있도록 함

(2) 정량적 연구개발성과

구분	성과지표명	목표치	달성치
과학적 성과	국내외 학술지 게재	4건	5건
	국내외 학술회의 발표	4건	8건
기술적 성과	특허 출원	2건	2건
	소프트웨어(SW)	1건	1건
사회적 성과	매뉴얼	-	1건
	정책제안보고서	-	1건

○ 과학적 성과

- SCI논문 목표 1건 대비 0건 미달성, 비SCI논문 목표 3건 대시 5건 초과달성(SCI논문 목표 미달성으로 비SCI논문 2건 초과달성함)
- 학술회의 발표 목표 4건 대비 8건 초과 달성

○ 기술적 성과

- 특허출원 목표 2건 대비 2건 달성
- 소프트웨어 저작권 등록 목표 1건 대비 1건 달성

○ 사회적 성과

- 기계설비 배관단열 매뉴얼 개발 추가 달성: 기계설비 배관 단열공사의 문제점을 개선하기 위하여 단열재의 선정, 설계, 시공, 유지관리에 대한 상세 기술을 제공하여 배관 단열의 부실로 인한 열에너지 손실을 최소화함을 목적으로 함
-

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	건물 온수배관에서 단열두께에 따른 표면온도 변화 시뮬레이션	설비공학 논문집	김성은	32(1)	대한민국	대한설비 공학회	비SCIE	2020.1.	1229-6430	100
2	온수배관의 설치 위치에 따른 단열재 표면온도 및 에너지 손실량 비교	설비공학 논문집	김성은	33(1)	대한민국	대한설비 공학회	비SCIE	2021.1.	1229-6430	100
3	에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 개선을 위한 연구	한국지열·수 열에너지학 회 논문집	윤희원	17(4)	대한민국	한국지열·수열 에너지학회	비SCIE	2021.12.	2799-4783	100
4	외기노출 난방배관의 단열두께에 대한 기준 및 에너지손실량 비교	설비공학 논문집	김성은	34(3)	대한민국	대한설비 공학회	비SCIE	2022.3.	1229-6430	100
5	건물에너지분석에 서의 측정·검증(M&V) 데이터 보관 방안	설비공학 논문집	박윤미	34(3)	대한민국	대한설비 공학회	비SCIE	2022.3.	1229-6430	100

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	EKC2019	A study for improving thermal performance of the hot and cold water pipe insulation standard in buildings	류형규	2019.7.16	비엔나	오스트리아
2	대한설비공학회2020 하계학술발표대회	배관단열기준 개선을 위한 기계설비배관 설치공간의 동하계 온습도 실측 연구	최승혁	2020.6.18	휘닉스 평창	대한민국
3	대한설비공학회2020 하계학술발표대회	설비배관 단열의 실태와 문제점	성순경	2020.6.18	휘닉스 평창	대한민국
4	대한설비공학회2020 하계학술발표대회	병원 건물에서 배관 단열 두께에 따른 시뮬레이션	정용기	2020.6.19	휘닉스 평창	대한민국
5	대한설비공학회2021 하계학술발표대회	국내외 배관 단열시공의 비교	성순경	2021.6.23	휘닉스 평창	대한민국
6	대한설비공학회2021 하계학술발표대회	공동주택 겨울철 외기 노출 배관의 표면온도 측정을 통한 열손실량	유민상	2021.6.25	휘닉스 평창	대한민국
7	대한건축학회 2021 추계학술발표대회	외기 노출 배관의 단열두께 선정에 위한 겨울철 외기온 분석	유민상	2021.10.29.	여수엑스포컨벤 션센터	대한민국
8	대한설비공학회2021 동계학술발표대회	건축물의 기계설비 배관단열 설계 프로그램 개발 연구	류형규	2021.11.19	세종대학교	대한민국
9	대한설비공학회2021 동계학술발표대회	공동주택 외기 노출 배관의 단열 두께에 따른 열손실량 비교	유민상	2021.11.19	세종대학교	대한민국

□ 기술 요약 정보

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식

□ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호

☐
생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

☐
지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	배관 보온재 내 수증기의 길이방향 전달 차단을 위한 베이퍼 댐	대한민국	구성이앤드씨	2021.8.31	특허-2021-0114409				100	
2	특허	건축물 기계설비 배관단열 두께 검토 프로그램	대한민국	(재)대한기계설비산업연구원	2021.8.4.	10-2021-0102645				100	

☐
지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타

☐
저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	건축물 기계설비 배관단열 두께 검토 프로그램	2020.7.14.	(재)대한기계설비산업연구원	2020.9.29.	C-2020-033611	(재)대한기계설비산업연구원	100

☐
신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

☐
기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

☐
표준화

☐
국내표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

☐
국제표준

번호	표준화단계 구분	표준명	표준기구명	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

☐ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)

☐ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)

☐ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)

☐ 사업화 투자실적

번호	연도	투자 자금 성격*	추가 연구개발 투자(천원)	설비 투자(천원)	기타 투자(천원)	합계(천원)

☐ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

☐ 매출 실적(누적)

번호	사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
			국내(천원)	국외(달러)		
합계						

☐ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
		국외			
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획					
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
	수 출				

☐ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			yyyy년	yyyy년	
합계					

☐ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	
		생산인력	
	개발 후	연구인력	
		생산인력	

☐ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

☐ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수, 명)	기타
해당 연도							
기대 목표							

☐ 산업 지원(기술지도)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

□ 기술 무역

(단위 : 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	총 계약액	기 징수액	해당 연도	징수액	향후 예정액	수출/수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구 분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용
1	표준시방서	개선	시방서	2023 예정	보온공사 관련 보완

□ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)
1	(주)구성이엔드씨	2021.3.1.	10개월	1	0

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타

□ 산업 기술 인력 양성

번호	연도	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)

☐ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

☐ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일

☐ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

☐ 연구시설·장비

번호	구축 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

[그 밖의 성과](해당 시 작성)

○	
-	
○	
-	

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성)

○	
-	
○	
-	

2) 목표 달성 수준

연구 개발 목표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준 수립	○ 에너지 성능 기반의 기계설비배관 단열기준(안) 제시 - 배관의 열출입량을 기준으로 기존대비 10% 절감	100
○ 기계설비배관 단열두께 계산 프로그램 개발	○ 기계설비배관 단열두께 계산 프로그램 개발 완료 - 에너지 절감 목표 설정에 따른 배관 단열두께 계산	100
○ 선진국 수준의 에너지성능기준 도출 - 기존대비 10%이상	○ 시뮬레이션을 통한 국내외 단열기준에 따른 에너지 절감량 검토 - 국내외 배관 단열두께 기준 비교 - 국내외 두께 기준을 적용한 시뮬레이션을 통한 에너지 손실량을 비교결과, ASHRAE 기준으로 상향될 경우 10~25% 에너지손실량 추가 저감	100
○ 현장측정 및 시뮬레이션 분석을 통한 단열기준 보완 - 기존대비 15%이상	○ 현장측정 및 시뮬레이션 분석을 통한 단열기준 보완 - 지하주차장과 같이 외기에 노출된 배관과 파이프 샤프트 내에 있는 경우 현장 온도 데이터 측정 및 시뮬레이션 분석 - 외기에 노출된 배관의 에너지손실량이 파이프샤프트 대비 35% 증가됨에 따라 단열두께향상을 통해 기존대비 15% 이상의 목표 달성	100
○ 제로에너지건축물 인증제도 검토 - 두께기준 30%이하. 에너지절감량 15%이상	○ 제로에너지건축물 인증제도의 배관단열두께 기준 및 에너지절감량 검토 - 국내 기준의 경우 단열 두께 기준이 해외에 비해 관경 별 단열두께가 얇아 해외기준 수준까지 2~57%이상 향상되어야하며, 이에 따라 에너지손실량이 기존대비 15%이상 저감	100
○ 제로에너지건축물 인증 시 배관단열관련 정책제안 - 기존대비 20%이상	○ 제로에너지건축물 인증 시 배관단열관련 정책 제안 - 기존 건축공사시방서 기계설비공사 보온공사 기준에 대한 온수배관 단열 두께 기준 보완값 제시을 통해 기존대비 20% 이상 성능 향상	100
○ 보온공사 표준시방서 개정의견(안) 작성	○ 배관보온 표준시방서 개정의견(안) 작성	100
○ 기계설비배관 단열기준 적용 매뉴얼 작성	○ 기계설비배관 단열기준 매뉴얼 개발 완료	100

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

- 제로에너지건축물 인증 시 배관단열관련 정책 제안(중앙대학교)
 - 최근 2021년 국내 기준 개정 강화로 인해 국내외 기준 수준 격차가 개선되었고, 국내 정책 중심의 연구로 보편적·국제적 관점에서의 SCI 논문 게재에 어려움이 발생함. 또한 부실위험 학술지의 증가로 인한 Target 저널 선정의 어려움 발생(국내 등재학술지 2편, 학술발표대회 2건 추가 달성)

2) 자체 보완활동

- 제로에너지건축물 인증 시 배관단열관련 정책 제안(중앙대학교)
 - SCI 1건에 대한 미달로 인해 기존 목표실적으로 설정되지 않은 국내 등재학술지에 논문 2건을 추가하였으며, 학술발표대회에 3건 참여함으로써 기존 목표실적 1건보다 2건 추가달성함

3) 연구개발 과정의 성실성

- 제로에너지건축물 인증 시 배관단열관련 정책 제안(중앙대학교)
 - 최근 2021년을 기준으로 국내 건축기계설비공사 표준시방서 보온공사(KCS 31 20 05 : 2021)과 국제 제로에너지 건축물 기준인 IECC(International Energy Conservation Code)가 개정됨에 따라 기존 기준 비교 내용에 신규 기준에 대한 내용을 정책 제안에 반영하고자 함
 - 최근 개정 기준 및 국내 정책 제안을 위해 분석한 내용을 바탕으로 국내 등재학술지에 논문 2편을 추가하였으며, 학술발표 또한 목표실적보다 2건 추가 달성함

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 제로에너지건물 배관 단열기준(안) 적용 시 기존 단열기준 대비 열출입량 10% 이상 절감 가능
- 배관 단열 설계 시 설계자가 원하는 에너지 성능에 따른 단열두께 산정이 용이함
- 기계설비 배관단열 기준 매뉴얼 적용으로 시행착오를 줄이고 적용성을 높여 유지관리비 절감 및 배관 수명 연장 기대
- 표준시방서 개정 제안으로 건축물 에너지의 통합적인 관리 및 손실에너지 최소화
- 선진국(미국, 영국 등) 수준의 기계설비배관 단열기준 제공으로 국내의 배관단열 관련 제도의 역량 증가에 기여
- 기계설비 배관단열 기준 매뉴얼은 단열재료의 성질, 시스템 설계, 시방서 작성 등을 종합적으로 구성하여 사용자가 쉽게 접근할 수 있도록 함
- 제로에너지건축물 인증 시 배관단열관련 정책 제안
 - 2030 국가온실가스 감축 목표가 40%로 상향됨에 따라 제로에너지건축물에 대한 필요성이 강조되고 있으며, 건축물의 에너지 절약을 위해 선진국 수준의 배관단열 성능 기준 마련이 필요함
 - 선진국의 기준 수준 및 국내 기후조건을 고려한 배관단열 기준 제시를 통해 관련 정책 강화에 필요한 근거 자료로 활용 가능

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

-
- 제로에너지 건축물 단계적 의무화에 맞춰 기계설비배관 부분의 에너지 절감 방안으로 활용
 - 기계설비 배관 단열두께 계산 프로그램을 활용하여 단열두께에 따른 에너지 성능 평가
 - 제로에너지건축물 인증 시 배관단열관련 정책
 - 국토교통부 및 정부산하기관의 제로에너지건축물 활성화를 위한 배관 단열 규정 및 지침 마련 시 근거 자료로 활용이 기대됨
 - 기계설비분야 단체 표준 및 지침 제정에 근거자료로 활용될 수 있으며, 정책 개선을 통해 모든 건축현장에 상향된 기준 적용 기대
 - 표준시방서 개정 필요부분 비교표 작성
 - 차후 관련 학회와 국가건설기준센터에서 표준시방서 개정 시 적극 반영토록 요청
 - “기계설비배관 단열기준 매뉴얼”의 활용을 위하여 관련 학회 기술자료 또는 기준으로 등재될 수 있도록 하고 관련 업계 홍보
-

< 별첨 >

별첨 자료

1. 참고문헌
2. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료
3. 세부 정량적 연구개발성과 증빙자료(총 연구개발기간 성과점검기준표 실적 증빙자료에 기 포함되어 있는 증빙자료 제외)

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘제로에너지건축물 적용을 위한 선진국 수준의 에너지성능을 가진 기계설비배관 단열기준 개선 연구’ 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.