

제 출 문

국토교통부장관 귀하

‘지열시스템 부하분담율 개선을 위한 인공신경망 기반 성능예측기술 및 하이브리드 제어 프로세스 개발’(연구개발 기간 : 2018.04.17~2019.12.31) 과제의 최종보고서 1부를 제출합니다.

2020.02.21.

주관연구기관명 : 영남대학교 산학협력단장 (대표자) 박 용 완 (인)



주관연구기관책임자: 조 영 흠

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

제 출 문

국토교통부장관 귀하

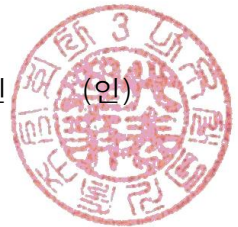
‘지열시스템 부하분담율 개선을 위한 인공지능경망 기반 성능예측기술 및 하이브리드 제어 프로세스 개발’(연구개발 기간 : 2018.04.17~2019.12.31) 과제의 최종보고서 1부를 제출합니다.

2020.02.21.

공동연구기관명 : 나우설비기술(주)

(대표자) 김 용 인

(인)



공동연구기관책임자: 김 용 인

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	19CTAP-C143 443-02	해당 단계 연구 기간	2019-01-01 ~ 2019-12-31	단계구분	1/1 (해당단계)/(총단계)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	기초원천			
연구과제명	대과제명	지열시스템 부하분담률 개선을 위한 인공신경망 기반 성능예측기술 및 하이브리드 제어 프로세스 개발			
	세부과제명	인공신경망 기반 지열 성능 예측 기술 및 하이브리드 운영 기술개발 지열 히트펌프 성능 평가 및 하이브리드 설계 방안 개발			
연구책임자	조영흠	해당단계 참여연구원 수	총: 명 내부: 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 220,000 천원 민간: 73,500 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 293,500 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 11명 내부: 5명 외부: 6명	총 연구비	정부: 370,000 천원 민간: 124,500 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 494,500 천원
연구기관명 및 소속 부서명	영남대학교 산학협력단			참여기업명 나우설비기술(주)	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반
-------------------------	----

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 ·장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약

본 연구에서는 인공신경망 기반 지열 시스템 성능예측기술을 개발하고, 이를 활용한 지열 시스템 하이브리드 제어 프로세스 개발 및 검증을 통하여 지열 시스템 부하분담률 개선과 시스템의 효율 향상을 목표로 함. 인공신경망 기반 지열 시스템의 성능예측기술은 시스템의 효율 저하 및 고장감지에 활용될 수 있으며 이에 대한 빠른 대응으로 효율적인 운영이 가능함. 하이브리드 지열 시스템 설계 및 운영 기술개발로 지열 시스템의 부하분담률을 개선할 수 있으며 하이브리드 시스템 운전 여부를 성능으로 판단하여 지열 시스템의 효율 향상이 가능함.

보고서 면수 : 138

<국문 요약문>

연구의 목적 및 내용	• 인공지능망 기반 지열 히트펌프 및 열원 시스템 성능예측기술 개발 • 지열 시스템 하이브리드 제어 프로세스 개발 → 지열 히트펌프 시스템의 인공지능망 기반의 성능예측기술을 개발하고 이를 활용한 지열 히트펌프 시스템 하이브리드 제어 프로세스 개발 및 검증을 통하여 지열 히트펌프 시스템 부하분담률 개선을 통한 시스템의 효율 향상을 목표로 함. • 인공지능망 기반 지열 히트펌프 및 열원 시스템 성능 예측 기술 개발 - 성능 예측 기술의 성능 목표 및 개발 방향 설정 - 인공지능망 기반 성능예측기술 개발을 위한 입력값 도출 - 지열 히트펌프 및 기존 열원 시스템 성능예측기술 개발 - 개발 성능예측 기술 불확실성 분석 • 성능예측기술을 활용한 지열 히트펌프 시스템 하이브리드 제어 프로세스 개발 - 지열 히트펌프 시스템 최적 분담 알고리즘 개발 - 지열 히트펌프 시스템 하이브리드 설계 방안 개발 - 성능 예측 기술을 활용한 하이브리드 운영 알고리즘 개발 - 이론적 성능 검토 및 Test-Bed를 통한 실증				
연구개발성과	• 인공지능망 기반 지열 히트펌프 및 열원 시스템 성능예측기술 개발 - 인공지능망 기반 지열 히트펌프 시스템 성능예측기술 - 열원 시스템 성능예측기술 개발 • 성능예측기술을 활용한 지열 히트펌프 시스템 하이브리드 제어 프로세스 개발 - 지열 히트펌프 시스템 하이브리드 설계 방안 개발을 통한 지열 히트펌프 시스템의 부하분담률 개선 - 성능예측기술을 활용한 하이브리드 운영 알고리즘 개발을 통한 지열 히트펌프 시스템 효율 향상				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	• 인공지능망 기반 지열 히트펌프 및 열원 시스템 성능예측기술 개발 - 지열 히트펌프 시스템의 성능 예측을 통한 열원 시스템의 제어 및 운영 기술개발에 효과적으로 활용 - 열원 시스템의 성능 모니터링 기술로 건물 유지관리에 효과적으로 활용 가능 • 성능예측기술을 활용한 지열 히트펌프 시스템 하이브리드 제어 프로세스 개발 - 건물에너지시스템과 연계하여 지열 시스템 및 기존 열원 시스템의 에너지 절감과 시스템 최적화를 위해 활용 - 개발된 성능예측기술 및 하이브리드 운영 기술은 국가의 에너지 전략 로드맵의 건축설비 측정 및 제어 시스템 개발과 건축설비 통합 에너지 관리 시스템 개발 부문의 연구에 직간접적으로 활용 가능 - 지열 히트펌프 시스템 하이브리드 제어 프로세스 개발을 통해 신재생 시스템 효율 향상을 통한 제로 에너지 건물 구현에 활용 가능				
핵심어 (5개 이내)	지열 시스템	인공지능망	성능 예측	하이브리드 제어	부하분담률

< SUMMARY >

Purpose & Contents	• ANN based development of geothermal heat pump and heat source system performance prediction technology • Development of geothermal system hybrid control process → ANN based development of performance prediction and hybrid control process for improving the system efficiency through the load sharing ratio of geothermal heat pump system • ANN based development of geothermal heat pump and heat source system performance prediction technology – Setting performance goal and development direction of performance prediction – Derivation of input value for developing performance prediction technology based on ANN – Development of prediction technology of geothermal heat pump and existing heat source system – Uncertainty analysis of developed performance prediction technology • Development hybrid control process of geothermal heat pump system using performance prediction technology – Development of optimal sharing algorithm for geothermal heat pump system – Development of hybrid design method of geothermal heat pump system – Development of hybrid operation algorithm using performance prediction technology – Theoretical performance review and verification through the Test-Bed				
Results	• ANN based development of geothermal heat pump and heat source system performance prediction technology – Performance prediction technology of geothermal heat pump system based on ANN – Development of heat source system performance prediction • Development hybrid control process of geothermal heat pump system using performance prediction technology – Improve of load sharing ratio of geothermal heat pump system by developing hybrid design method of geothermal heat pump system – Improve efficiency of geothermal heat pump system by developing hybrid operating algorithm using performance prediction technology				
Expected Contribution	• ANN based development of geothermal heat pump and heat source system performance prediction technology – Utilize of developing heat source system control and operation technology through performance prediction of geothermal heat pump system – Efficient building maintenance through performance monitoring technology of heat source system • Development hybrid control process of geothermal heat pump system using performance prediction technology – Utilize of geothermal and existing heat source system for energy savings and system optimization in conjunction with building energy system – Developed performance prediction and hybrid operating technology can be used directly or indirectly in the research of development of building equipment measurement and control system of national energy strategy road-map and integrated energy management system for building facility – Applicable to zero energy building through improvement of efficiency of new and renewable system by developing geothermal heat pump system hybrid control process				
Keywords	Geothermal System	Artificial Neural Network	Performance Prediction	Hybrid Control	Load Sharing Ratio

< CONTENTS >

1. Outline of R & D	1
2. The status of domestic and overseas technology development	6
3. Research contents and achievements	9
4. Goal achievement and contribution of related field	88
5. Useful planning of R & D achievements	89
6. Overseas scientific and Technology information collected during the research process	90
7. Security level of R & D achievements	92
8. Research facilities and equipments registered with NTIS	93
9. Implementation of laboratory safety measures in accordance with R & D progress	94
10. Representative R & D achievement	99
11. Other details	100
12. Reference	101
[Appendix] Design Statement	

< 목 차 >

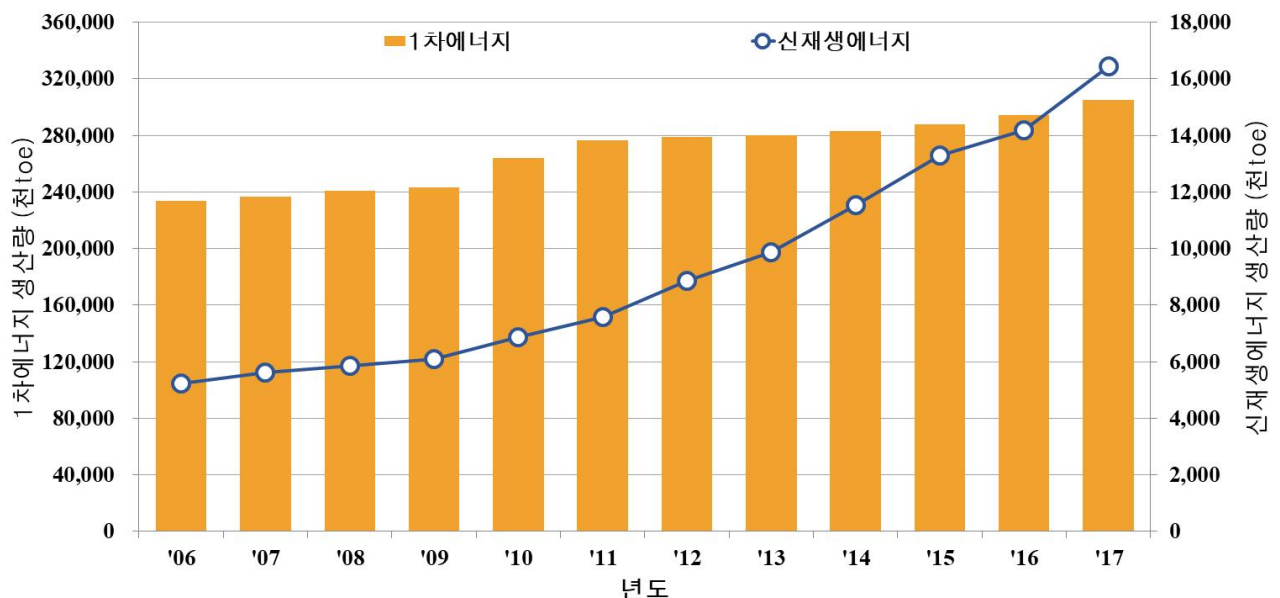
1. 연구개발과제의 개요	1
2. 국내외 기술개발 현황	6
3. 연구수행내용 및 성과	9
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	88
5. 연구개발성과의 활용 계획	89
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	90
7. 연구개발성과의 보안등급	92
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	93
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	94
10. 연구개발과제의 대표적 연구실적	99
11. 기타 사항	100
12. 참고문헌	101

[부록] 일반 지열 시스템 및 하이브리드 지열 시스템 설계 내역서

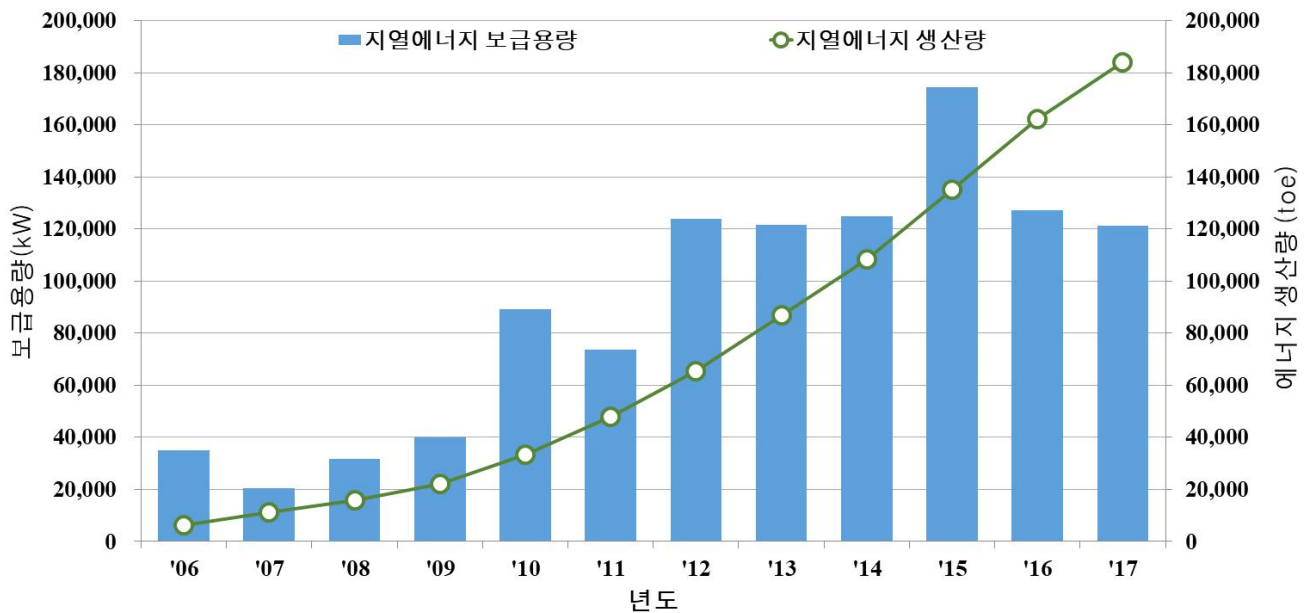
제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

- 전 세계적으로 온실가스 절감 필요에 대한 요구가 높아지며 에너지 절감에 관한 관심이 높아지고 있음. 전체 에너지 소비량의 25%로 큰 비중을 차지하는 건물 분야는 여러 방안으로 에너지 절감을 실천하고자 함.
- 건물 분야의 에너지 절감을 위해 기존 화력발전소 운영 업체가 일정 비율을 의무적으로 신재생 에너지로 발전하도록 하는 ‘신재생 에너지 공급 의무화제도’, ‘신재생 에너지 설치 의무화 사업’ 등의 여러 제도 도입 및 시행을 통한 신재생 에너지 사용을 유도함.
- ‘신재생 에너지 설치 의무화제도’에 의해 공공건축물 신축, 증축 등 연면적 1,000㎡ 이상인 건물에 대해 에너지 사용량의 일정 비율을 신재생 에너지로 공급하도록 하며, 비율은 2018년 24%에서 2020년까지 30% 이상 적용하도록 함.
- 신재생 에너지 관련 제도 시행을 통해 신재생 에너지 보급량은 꾸준히 증가하고 있으며 2016년 기준 전체 1차 에너지 공급량 중 4.8%에 해당함. 신재생 에너지는 태양광(6.4%), 지열(1.0%), 태양열(0.2%) 등의 순으로 공급되고 있으며 현재 초기투자비의 문제로 태양광 시스템을 선호하고 있지만 2020년 이후 신재생 에너지로 30% 이상을 공급해야 함에 따라 설치 가용 면적의 제한이 있는 태양광 이외의 신재생 에너지에 대한 설치 증대 예상.
- 신재생 에너지 중 지열 시스템은 열원을 안정적으로 공급할 수 있으며 연중 효율적인 운영 및 우수한 성능을 나타내지만, 시공의 어려움 및 높은 초기투자비로 인해 공공건물에 작은 용량으로 주로 설치되었으나, 공급 의무화제도 시행에 따라 공공기관 및 일반 건물에 대한 설치 증가함.
- 2000년대 초 지열 히트펌프 시스템이 국내에 도입된 후 2003년 말까지 약 30개 설치되었으나 신재생 에너지 보급 활성화제도 시행에 따라 2016년 누적 보급용량이 979,256kW이며 2015년 대비 1차 에너지 생산량 20% 증가함.



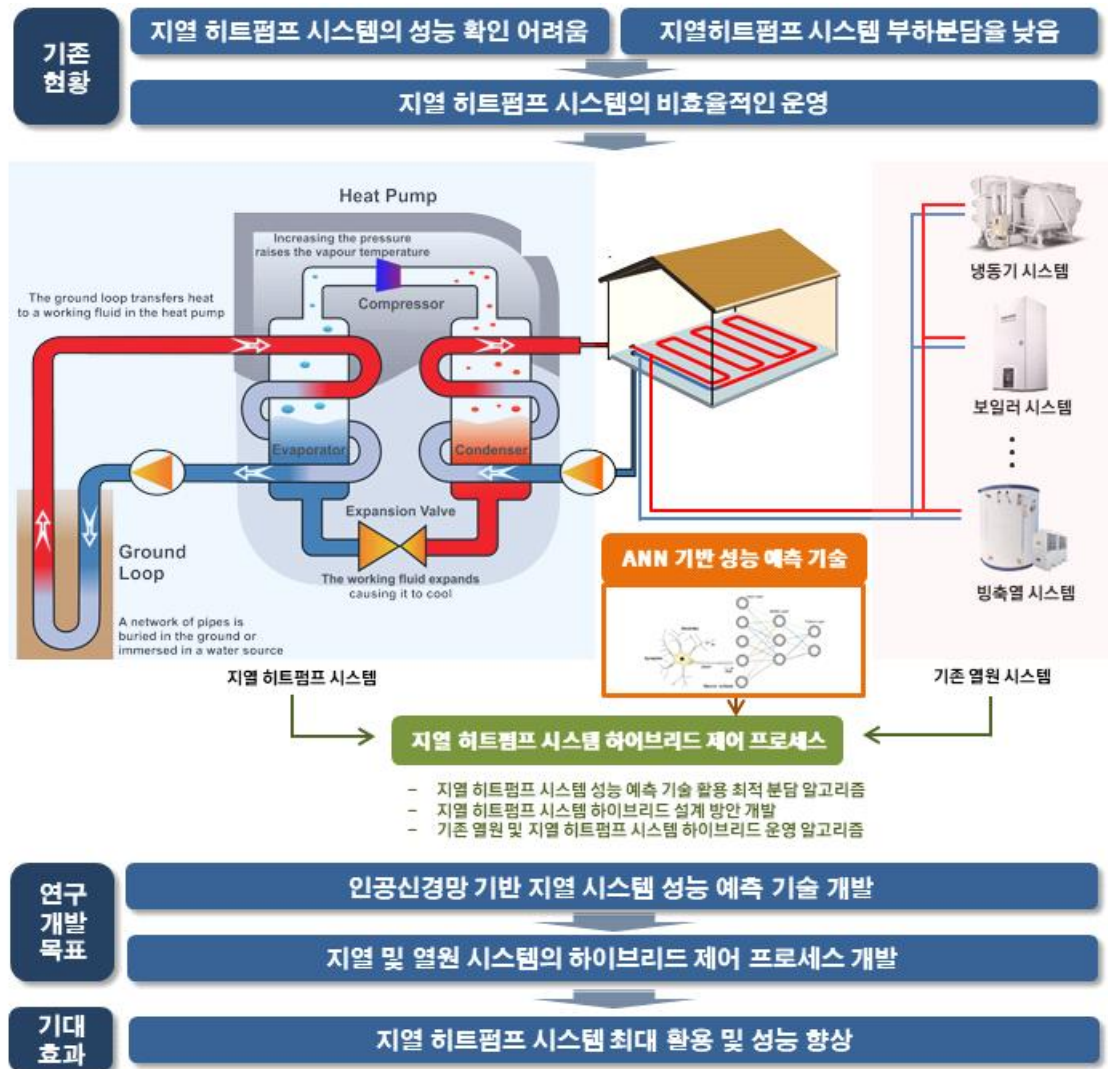
[연도별 신재생 에너지 생산량]



[지열 시스템 보급 및 생산 현황]

- 2016년 기준 지열 시스템의 용도별 보급현황을 살펴보면 공공시설(36.9%), 가정용(16.7%), 교육 시설(15.8%) 순으로 보급되고 있으며, 용량별로는 1000~3000kW (26.4%), 500~1,000kW (25.3%), 200~500kW (22.3%) 순으로 보급되어 공공시설 외의 용도에도 보급이 증대되고 있으며 용량도 대형화되는 추세임.
- 지열 히트펌프 시스템의 보급이 활성화되는 반면 설치 의무화제도에 의해 건물 공사 예산 및 에너지생산량을 고려하여 의무적으로 설치되어 설치 후 효율적인 운영이 이루어지고 있지 않음. 대부분 지열 시스템이 전체 건물의 일부분 공조를 담당하는 부분 부하 형태이며 기존 열원과 분리 설계되어 있어 지열 히트펌프 시스템을 100% 활용하지 못함.
- 또한, 지열 시스템의 성능계수는 효율적인 운영 및 시스템 효율 향상을 위해 중요한 요소이나 성능을 구하는데 필요한 측정의 어려움 및 진단 센서의 부족으로 운영 시 성능 확인이 힘들.
- 효율이 높은 지열 시스템을 효율적으로 활용하지 못해 에너지 낭비 및 경제성의 문제가 발생하지만, 현재 국내에서는 지열 시스템의 설계 및 지중 열교환기의 효율 향상 관련 연구는 많지만 지열 시스템의 기존 열원과의 하이브리드 설계 및 운영에 관련된 연구는 미흡함.
- 지열 히트펌프 시스템의 냉난방 성능 평가에 관련된 연구는 다양하게 진행되고 있으나 운영 시 시스템의 성능을 예측하는 연구는 미흡함.
- 인공지능망 기술은 인공 뉴런이 학습을 통해 입력 신호와 출력신호 간의 관계를 모델화하는 기술로 기존의 지열 시스템의 성능을 구하는 데 필요한 측정을 하지 않고 성능 예측이 가능함.
- 지열 시스템의 성능 계산을 위한 기존의 수학적 모델 분석을 통한 지열 시스템의 성능 계산에 필요한 인자(히트펌프 소비동력, 열량 등) 및 성능에 영향을 미치는 인자(유량, 온도 등)를 활용한 인공지능망 기반 성능예측기술 개발에 관한 연구가 필요함.
- 또한, 설치된 지열 히트펌프 시스템을 100% 활용하기 위해 기존 열원의 성능 예측 및 기존 열원과 하이브리드 제어 프로세스 개발에 관한 연구가 필요함.

- 기존 열원과 지열 시스템을 통합하여 지열 시스템의 우선 사용으로 부하분담률을 개선하기 위한 열원 장비 상호 간의 유량 차이 확인 및 냉온수 유량을 적절히 분배할 수 있는 부하 측 배관 구성 설계 등 하이브리드 설계 방안 개발 및 하이브리드 제어 프로세스 개발에 관한 연구가 필요함.
- 지열 히트펌프 시스템의 인공지능망 기반 성능예측기술을 활용한 하이브리드 제어 프로세스 개발과 Test-Bed 대상 검증을 통해 건물의 에너지 절감이 기대되고 지열 히트펌프 시스템 자동제어 기술 적용 할 경우 기존 건물에너지 사용량 대비 약 10% 이상의 에너지비용 절감 효과가 예상됨.



[연구개발 목적]

2. 연구개발의 필요성

- 화석연료의 사용증가로 온실가스의 증가가 전 세계적인 문제로 나타나고 있으며 에너지원의 약 85%를 화석연료에 의존하고 있음. 화석연료의 경우 매장량이 한정되어 있으며 환경문제 초래로 환경오염의 피해를 최소화하기 위해 신재생 에너지에 관한 관심이 높아지고 있음.
- 전체 에너지 소비량의 25%로 큰 비중을 차지하는 건물 분야는 여러 방안으로 에너지 절감 및 효율적인 사용을 실천하고자 하며 신재생 보급 활성화를 위한 제도 마련 및 시행을 통해 신재생 에너지 사용을 유도하고 있음.
- 신재생 에너지 중 열원을 안정적으로 공급할 수 있으며 연중 효율적인 운영 및 우수한 성능을 나타내는 지열 히트펌프 시스템의 설치 및 운영이 공공건물의 작은 용량에서 공공기관 및 일반 건물의 대형화로 확산하고 있음.
- 지열 시스템의 설치 후 운영 시에 비효율적인 운영을 통해 고효율인 지열 히트펌프 시스템을 100% 활용하지 못하는 상황이 발생함. 건축 기술자의 관련 전문 지식 및 경험 부족으로 인한 비효율적 운영, 공급 의무화제도에 의해 예산 및 에너지생산량을 고려한 의무적 설치로 인해 분담하는 부하에 비해 과 설계되며 기존 건물시스템과 연계되지 못하고 독립 시스템으로 분리되어 설계됨에 따라 효율 저하 및 경제성 악화를 초래함.
- 지열 시스템의 성능계수는 지열 히트펌프의 성능을 나타내는 값으로 열효율이 좋고 나쁨을 판정하는 기준으로 사용되는 지표로 시스템의 효율적 운영을 위해 모니터링돼야 하는 지표임. 실제 운영 시에 성능 관련 필요한 측정의 어려움 및 진단 센서의 부족으로 운영 시 성능 확인이 힘들며 이에 따라 효율적 운영에 어려움이 발생함.
- 지열 시스템의 성능 산출 관련 수학적 모델 분석을 통해 필요한 입력값 도출 및 통계프로그램을 활용한 지열 시스템 성능 예측 인공지능경망 모델개발이 기존의 측정 어려움 및 진단 센서의 부족을 해결할 수 있음.
- 지열 시스템의 운영 시 인공지능경망을 기반으로 시스템 성능을 예측함으로써 성능계수를 시스템운영 제어 포인트로 활용할 수 있으며 성능에 대해 반응을 빠르게 할 수 있으며 이를 통해 시스템의 효율을 높여 에너지 절감이 가능함.
- 부분 부하를 독립적으로 담당하여 효율이 저하된 지열 히트펌프 시스템을 기존 열원보다 부하분담률을 개선하여 지열 시스템을 최대 활용 후 기존 열원의 사용하는 지열 히트펌프 시스템의 하이브리드 제어 프로세스를 개발하고자 함.
- 이에 따라 고효율 시스템인 지열 시스템의 최대 활용을 통해 건물의 연간 에너지를 약 20% 절감할 수 있으며 지열 시스템의 효율을 향상할 수 있음.

3. 연구개발 범위

3.1 1차년도

- 인공지능경망 기반 지열 시스템 및 열원 시스템 성능예측기술 개발

구분	연구개발 범위
인공지능경망 기반 지열 시스템 성능예측기술 개발	○ 국내외 연구 동향 조사 - 지열 시스템 성능예측 관련 국내외 연구 동향 조사 - 지열 시스템 성능예측기술 개발 방향 설정 ○ 지열 시스템 성능예측기술 개발 - 지열 시스템 성능예측기술 개발을 위한 입력값 도출 - 인공지능경망 기반 지열 시스템 성능예측기술 개발 ○ 개발 기술검증 - 개발 성능예측기술 검증을 통한 개발기술 신뢰도 검증
인공지능경망 기반 열원 시스템 성능예측기술 개발	○ 국내외 연구 동향 조사 - 열원 시스템 성능예측 관련 국내외 연구 동향 조사 - 열원 시스템 성능예측기술 개발 방향 설정 ○ 열원 시스템 성능예측기술 개발 - 열원 시스템 성능예측기술 개발을 위한 입력값 도출 - 인공지능경망 기반 및 열원 시스템 성능예측기술 개발 ○ 개발 기술검증 - 개발 성능예측기술 검증을 통한 개발기술 신뢰도 검증

3.2 2차년도

- 인공지능경망 기반 성능예측기술을 활용한 지열 시스템 하이브리드 제어 프로세스 개발

구분	연구개발 범위
하이브리드 지열 시스템 운영 기술개발	○ 국내외 현황분석 및 실태조사 - 하이브리드 지열 시스템 운영 기술과 관련 국내외 현황 및 실사례 조사 - 기존 지열 시스템 운영 기술 문제점 도출 및 개발 방향 설정 ○ 지열 시스템 최적 분담 알고리즘 개발 - 지열 시스템 부하분담률 개선을 위한 최적 분담 알고리즘 개발 - 하이브리드 지열 시스템 운영 기술개발 - 하이브리드 지열 시스템 운영 알고리즘 개발 ○ 개발 기술검증 - 개발기술 이론적 성능평가 및 시뮬레이션을 통한 검증
하이브리드 지열 시스템 설계기술 개발	○ 국내외 현황분석 및 실태조사 - 하이브리드 지열 시스템 설계기술과 관련 국내외 현황 및 실사례 조사 - 기존 지열 시스템 설계 기술 문제점 도출 및 개발 방향 설정 - 하이브리드 지열 시스템 설계기술 개발 - 기존 지열 시스템 설계 개선 요소 도출 - 하이브리드 지열 시스템 설계기술 개발

제2장. 국내외 기술개발 현황

1. 국내외 기술 현황

1) 지열 시스템

- 에너지 절약과 효율적인 사용에 관한 관심이 높아짐에 따라 신재생 에너지 개발 및 이용의 필요성이 급증하고 있음. 다른 열원을 사용하는 시스템의 경우 열원의 연속성이 부족하지만, 지열을 열원으로 사용하는 경우 안정적으로 열원을 공급할 수 있음. 또한, 연중 효율적인 운영이 가능하며 우수한 성능을 나타내어 신재생 에너지 중 지열원을 이용한 시스템이 큰 주목을 받고 있음.
- 지열은 냉난방 열원으로 우수한 효율을 나타내지만 높은 초기투자비와 시공상의 어려움으로 인해 작은 용량을 위주로 공공건물에 주로 설치되었지만, 2004년 이후 공공 의무화 사업이 행해지면서 공공기관 및 일반 건물에 대한 설치도 증가하고 있음.
- 지열 전문위원회의 지열 냉난방 분야에 대한 주요 국가의 동향 분석 결과, 전 세계적으로 지열 에너지 시설 용량은 2000년 대비 2005년에 약 2배 정도 증가하였으며, 지열 에너지이용량은 약 43%의 증가율을 보였음.
- 세계 지열 에너지 활용방식별 이용 현황분석 결과 최근 지열 에너지이용 증가를 주도적으로 이끈 분야는 지열 히트펌프 시스템임. 지열 히트펌프 시스템을 포함하여 전 세계 지열 에너지이용을 주도하고 있는 미국은 지열 히트펌프 시스템을 적극적으로 보급하고 있음.

2) 인공지능망 기술

- 입력층, 히든층, 출력층의 뉴런들과 각 뉴런 사이의 관계에 기반해 결과 값을 도출하는 인공지능망 기술은 수학적 관계성이 명확하지 않은 모델에 안정적으로 적용할 수 있어 최근 건축 분야에서 인공지능망을 활용하는 다양한 연구가 진행되고 있음.
- 국외의 경우 지열 히트펌프 시스템의 성능 예측에 인공지능망을 활용하여 기존의 성능계수와 인공지능망을 활용해 예측된 성능 비교를 통한 신뢰성 검증과 관련된 연구가 진행되는 반면 국내의 경우 건물의 이상적인 제어를 위한 최적제어 알고리즘 개발에 인공지능망을 활용하는 연구가 주로 이루어짐. 인공지능망 기술 활용 지열 히트펌프 시스템 관련 연구는 미흡함.

3) 성능예측기술

- 지열 히트펌프 시스템의 설치가 증가함에 반해 효율적인 히트펌프 시스템의 운영은 잘 이루어지고 있지 않음. 공급 의무화 및 설치 의무화 관련 법규에서 제시하는 기준에 맞춰 필요 이상 용량의 시스템 설치 후 비효율적인 활용으로 인한 에너지 낭비의 문제가 발생함.
- 지열 히트펌프 시스템은 일반적으로 다수의 실내기를 담당하며 대부분 부분 부하 상태로 운영이 되고 지열 히트펌프 시스템의 지중 순환 펌프는 대부분 정속으로 사용하여 부하와 상관없이 일정한 유량을 지속적으로 공급함. 이에 따라 지열 히트펌프 시스템의 성능이 저감 되는 문제점이 있음.
- 국내외에서 시뮬레이션 및 실험 등을 통한 지열 히트펌프 시스템의 성능평가에 대한 연구가 진행되고 있으며 지열 히트펌프 성능 향상을 위한 다양한 연구가 진행되고 있으나 운영 시스템의 성능을 예측하는 연구는 미비한 실정임.

4) 하이브리드 제어

- 하이브리드 제어는 신재생 에너지를 포함하여 기존의 열원과 지열 히트펌프 시스템을 복합적으로 운영하는 제어기술로 국외의 경우 지열 히트펌프 시스템의 효율 향상 방법의 하나로 타 열원 시스템과 복합운전을 통한 시스템 성능개선에 관한 연구가 진행되고 있음.
- 국내에 설치된 대부분의 지열 시스템의 경우 기존 열원과 분리 설계되어 있으며 건물 일부의 공조를

담당하며 이러한 설계 및 운영방식이 시스템 성능 저하의 원인 중 하나지만 타 열원과의 하이브리드 운영 관련 연구가 미흡하게 진행되고 있음. 주로 신재생 에너지 열원과의 하이브리드 운영 연구가 주를 이루고 있으며 하이브리드 시스템을 통한 성능개선 분석만 이루어짐. 지열 히트펌프 시스템의 하이브리드 설계 및 운영 기술을 개발하는 하이브리드 프로세스 개발 관련 연구는 미흡함.

2. 국가 연구개발 사업 유사연구 분석

- 국가과학기술지식정보서비스를 통한 유사과제 검색결과, 본 과제의 목표인 ‘지열 시스템 부하분담률 개선을 위한 인공지능망 기반 성능예측기술 및 하이브리드 제어 프로세스 개발’ 과 같은 지열 히트펌프 시스템의 인공지능망 기반 성능예측기술 및 기존 열원과 하이브리드 설계 및 운영 기술에 관한 유사 연구가 부재.
- 지열 시스템과 관련된 유사과제의 분석 결과, 5RT/20RT급 다기능 히트펌프 개발, 단일공 심부 지열 지하 플랜트 설계기술 개발, 지중 공기를 이용한 열펌프 열원 취득 열교환 시스템 개발 등 지열 시스템의 성능 향상을 위한 하드웨어 개발이 주된 내용임.
- 성능 예측과 관련된 유사과제의 분석 결과, 건물에너지 성능 모니터링 및 최적제어를 위한 가상센서 개발, GSHP 연계 복합열원설비용 통합제어장치 및 모듈개발이 주된 내용임.

[국내 연구개발과제 분석]

분야	부처명	사업명	과제명	예산 (백만원)	기간
지열 시스템	미래창조과학부	특구기술사업화사업	5RT/20RT급 다기능 히트펌프 개발	967	12.06~14.05
	미래창조과학부	산업계연계형 사업	구간차등 단열기술을 적용한 열량 40RT급 대구경 개방형 지열냉난방 시스템 상용화 - 심도 500m 급 지열 열교환 기술 개발	200	16.01~16.12
	미래창조과학부	산업계연계형 세부사업	단일공 심부지열 지하플랜트 설계 기술 개발	170	14.01~14.12
	미래창조과학부	중견연구자지원사업	저비용 고효율 지중 열교환기 시스템 설계 기술 개발	294	13.12~16.11
	미래창조과학부	중견연구자지원사업	하이브리드 신재생설비에너지원 시스템 구현 및 다중에너지원 건물관리 시스템(NE-BEMS) 개발	583	11.09~14.08
	미래창조과학부	일반연구자지원사업	태양열, 지열 및 공기 열원 네트워크 모델을 이용한 하이브리드 히트펌프 시스템에 관한 연구	150	11.05~14.04
	중소기업기술 정보진흥원	산학 공동기술개발지원사업	지중공기를 이용한 열펌프 열원 취득 열교환 시스템 개발	-	08.07~09.06
성능 예측	국토교통부	국토교통기술촉진 연구사업	건물에너지 성능 모니터링 및 최적제어를 위한 가상 센서 개발	50	14.08~16.07
	중소기업기술 정보진흥원	산학 공동기술개발지원사업	GSHP 연계 복합열원설비용 통합제어장치 및 모듈개발	-	08.07~09.06

3. 국내외 관련 기술 특허 동향

- 지열 히트펌프 시스템 성능예측 기술 및 하이브리드 제어 프로세스 관련하여 국외의 경우 기술 및 특허들이 존재하나 하이브리드 운영 기술의 경우 신재생에너지 간의 하이브리드 운영 기술인 경우가 많으며, 국내의 경우 본 연구와 같이 시스템 성능예측 기술을 활용한 하이브리드 설계 및 운영 기술 관련 특허는 전무.

[조사대상 및 검색 DB]

조사대상 국가	전 세계	
대상 기간	1980~2017	
키워드	국문	지열 히트펌프 시스템, 성능예측, 성능 모니터링, COP, 하이브리드, 복합
	영문	Geothermal Heat Pump System, Performance prediction, Monitoring, COP, Hybrid, Complex
검색방법	Google Patents (http://www.google.com/patents)	

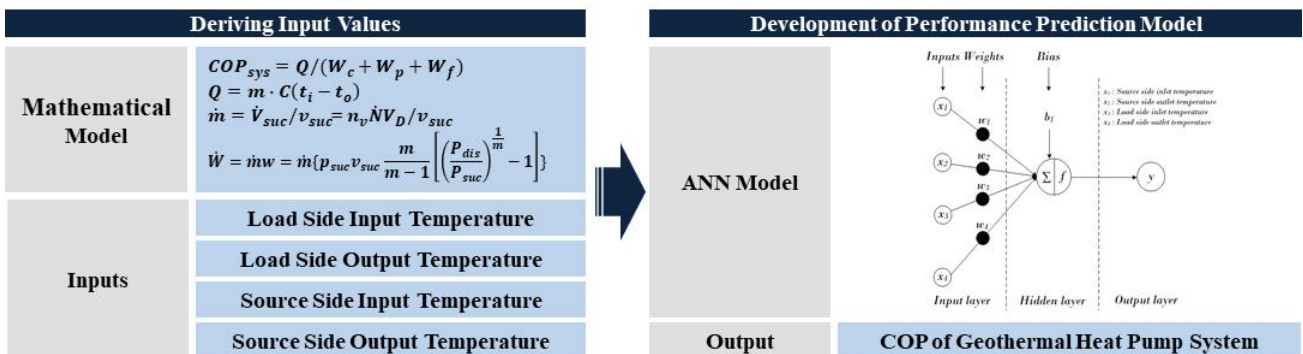
[특허 검색결과]

번호	특허명	보유기관명	출원일
US20150094989 A1	System and method for monitoring geothermal heat transfer system performance	Denis Lazare Collet, Andrew Smallridge	2009.09.21
WO2015035241 A1	System for optimization of building heating and cooling systems	Greensleeves, LLC	2014.09.05
WO 2009139926 A1	Hybrid solar collector and geothermal system	Potomac Energy Projects, Llc	2009.05.18
WO 2011017450 A2	Heat pump with integral solar collector	Sol Xorce, Llc.	2010.08.04
WO2015050372 A1	복합열원을 이용한 발전 시스템	김영선	2014.10.01
WO2012020955 A2	냉난방 및 급탕용 히트펌프 시스템 및 그 제어방법	한밭대학교 산학협력단, 주식회사 삼영	2011.08.08
JP2001349598A	Performance evaluation system for electric installation in building, outputs building performance evaluation information based on computed energy consumption in building	SHIMIZU CORP	2001.12.21
US20110029341A1	Web-based auditing system managing and utilizing building energy information, has device that receives login request from user and transmits message containing user specified and calculates information	ECOINSIGHT INC., Atlanta, GA, US	2011.02.03

제3장. 연구수행내용 및 성과

1. 인공신경망 기반 지열 시스템 및 열원 시스템 성능예측기술 개발

- 지열 시스템 및 열원 시스템의 성능계수는 시스템의 성능을 나타내는 값으로 열효율이 높고 낮음을 판정하는 기준으로 사용되는 지표로 시스템의 효율적인 운영을 위해 모니터링을 해야 하는 지표임. 기존의 성능 측정 장비는 높은 비용이며 지열 시스템의 운영 시 성능 파악을 위해 필요한 다양한 요소 측정 또는 기존의 성능 측정 장비를 통해 성능 파악이 가능하지만, 측정의 어려움 및 진단 센서의 부족과 기존 측정 장비의 높은 비용으로 인해 실시간 성능 확인이 잘 이루어지지 않음.
- 지열 및 열원 시스템운영 시 성능을 예측함으로 지열 시스템의 고장 등으로 인한 성능 저하에 대한 빠른 반응을 가능하게 하며 시스템 성능 향상 및 에너지 절감을 위한 시스템의 효율적 운영을 위한 운영 기술에 활용하기 위해 지열 및 열원 시스템의 성능예측기술이 필요함.
- 입력층, 히든층, 출력층의 뉴런들과 각 뉴런 사이의 관계에 기반하여 결과 값을 도출하는 인공신경망 기술은 최근 건축설비 분야에서 냉난방 시스템의 최적 작동 시점 예측 및 예측 제어 등 인공신경망을 활용하는 다양한 연구가 진행 중임.
- 본 연구에서는 아래 그림과 같이 인공신경망 기반 성능예측기술을 개발함. 지열 및 열원 시스템의 성능 산출과 관련된 수학적 모델 분석을 통해 입력변수 도출 및 통계프로그램 R Studio를 활용해 인공신경망 기반 성능예측기술을 개발했으며 지열 시스템운영 데이터를 활용해 측정 성능과 예측된 성능의 비교·분석을 통해 개발 성능예측기술을 검증함.
- 지열 시스템 성능예측기술 검증은 지열 시스템운영 데이터를 활용한 측정 성능, 다중회귀 분석을 통한 수학적 모델 및 인공신경망 기반 성능예측기술을 활용한 성능 비교·분석과 기존의 측정 장비와 경제성 분석을 하며 열원 시스템 성능예측기술 검증은 Test-Bed를 대상으로 개발 기술적용 및 검증을 실시함.



[인공신경망 기반 지열 및 열원 시스템 성능예측기술 개발 프로세스]

1.1 지열 시스템 성능예측기술 개발

1.1.1 지열 시스템 성능예측기술 입력변수 도출

- 본 연구에서는 지열 시스템 성능예측기술의 입력변수 도출을 위해 지열 시스템 성능과 관련된 수학적 모델 분석 및 기존의 성능 측정방법의 어려움을 해결하기 위해 지열 시스템운영 시 측정 및 모니터링의 용이성을 판단하여 입력변수를 도출함.
- 지열 시스템이 성능을 나타내는 성능계수는 특정 조건에서 공급하는 일에 대해 얻을 수 있는 효과의 비율로 나타낼 수 있으며 냉방 운전 시 성능계수는 식 (1-1)과 같이 구할 수 있으며 난방운전 시 성능계수는 식 (1-2)와 같이 구할 수 있음.

$$COP_c = Q_c / W \quad (1-1)$$

여기서,

COP_c : 냉방 성능계수
 Q_c : 증발기에서 냉매가 흡수한 열량(kcal/h)
 W : 압축기에서 공급한 일의 열량(kcal/h)

$$COP_h = Q_h / W \quad (1-2)$$

여기서,

COP_h : 난방 성능계수
 Q_h : 증발기에서 냉매가 방출한 열량(kcal/h)
 W : 압축기에서 공급한 일의 열량(kcal/h)

- 지열 시스템의 전체 시스템 성능계수 산출 시 압축기, 증발기, 팬에서 소요되는 열량을 활용하여 구할 수 있으며 식 (1-3)과 같음. 증발기에서의 열량은 식 (1-4)를 통해 구할 수 있음.

$$COP_{sys} = Q / W_c + W_p + W_f \quad (1-3)$$

여기서,

COP_{sys} : 지열 히트펌프 전체 시스템 COP(kcal/h)
 Q : 실내기에서 흡수하는 열량(kJ/h)
 W_c : 압축기에서 소요되는 소비전력(kW)
 W_p : 증발기에서 냉매가 방출한 열량(kW)
 W_f : 팬에서 소요되는 소비전력(kW)

$$Q = m_g c (t_{evap,i} - t_{evap,o}) \quad (1-4)$$

여기서,

m_g : 증발기 측 유량(kg/s)
 c : 비열(kJ/kg℃)
 $t_{evap,i}$: 증발기 입구 온도(℃)
 $t_{evap,o}$: 증발기 출구 온도(℃)

- 시스템운영 시 측정의 어려움 또는 진단 센서의 부족으로 인한 성능 파악의 문제점을 해결하기 위해 수학적 모델 분석을 통해 도출된 입력변수 중 운영 시 자료수집이 어려운 변수를 제외하여 성능예측 기술 개발의 입력변수로 도출했으며 설정된 입력변수는 아래 표와 같음.

[성능예측모델 입력변수]

입력변수	열원 측 입구 온도
	열원 측 출구 온도
	부하 측 입구 온도
	부하 측 출구 온도

- 회귀분석, 분산분석(Analysis of variance, ANOVA)과 비표준계수(Unstandardized coefficients) 등 통계적 분석을 이용하여 도출된 입력변수와 출력 변수인 성능 간의 상관관계 분석을 통해 입력변수의 적정성을 검토했으며 분석 결과는 아래 표와 같음.

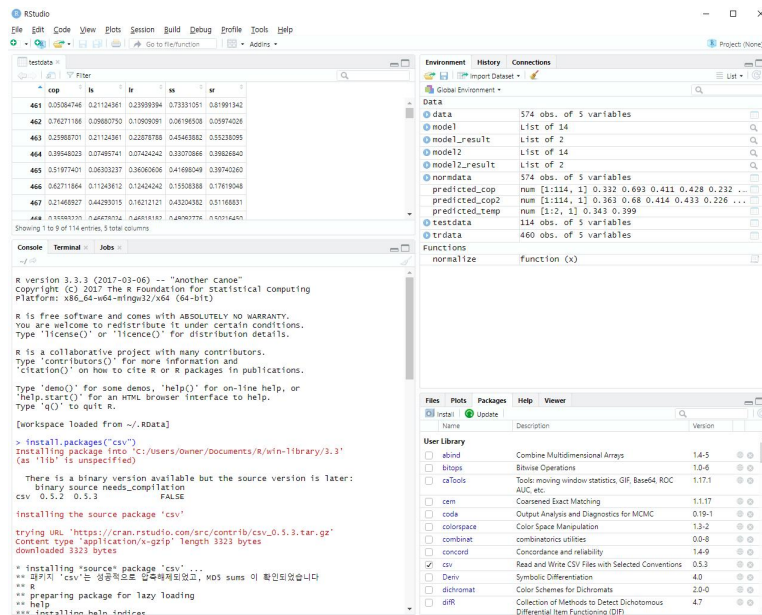
[입력변수와 출력 변수 관계 분석]

입력변수	비표준화계수		P	ANOVA		
	B	Std. Err		R ²	F	Sig.
열원 측 입구 온도	8.34	1.52E-16	<0.05	0.9023	8.44	<0.001
열원 측 출구 온도	8.50	0.0448	<0.05	0.9556	10427.53	<0.001
부하 측 입구 온도	2.96	0.0822	<0.05	0.3316	167.16	<0.001
부하 측 출구 온도	3.62	0.1242	<0.05	0.1661	8.71	<0.001

- R² (결정계수)는 변수의 설명력으로 설명력이 높을수록 추정치가 잘 되었다고 판단하며 P-value 값은 통계적인 유의성을 판단하는 지표로 열원 측 온도가 부하 측 온도 대비 높은 관련성을 나타냈으며 지열 측 입구 온도의 R² 이 가장 높은 수치를 나타내며 종속변수와 연관성이 가장 높은 것으로 확인할 수 있음.
- 4개의 독립변수(열원 측 입·출구 온도, 부하 측 입·출구 온도) P-value 값은 0.05 미만으로 유의한 독립변수로 종속변수와 높은 영향을 나타내며 유의성이 0.001 미만으로 통계적 안정성을 나타냄.

1.1.2 인공지능망 기반 성능예측기술 개발

- 도출된 입력변수와 지열 시스템의 2,000개의 운영 데이터를 R Studio 프로그램을 활용해 인공지능망 기반 성능예측기술을 개발했으며 운영 데이터 중 1,400개의 데이터는 예측 모델을 개발하는 데 활용했으며 600개의 데이터는 개발한 예측 모델을 검증하는 데 활용함.
- 개발된 인공지능망 기반 성능예측기술은 지열 시스템 하이브리드 제어 프로세스에서 하이브리드 지열 시스템운영 여부 결정을 위한 지열 시스템과 하이브리드 지열 시스템의 성능 비교 시 지열 시스템 성능예측에 활용할 수 있으며 지열 시스템의 효율 향상을 위한 운영 기술에 활용하며 실시간 시스템 성능 모니터링 및 효율 향상이 가능함.

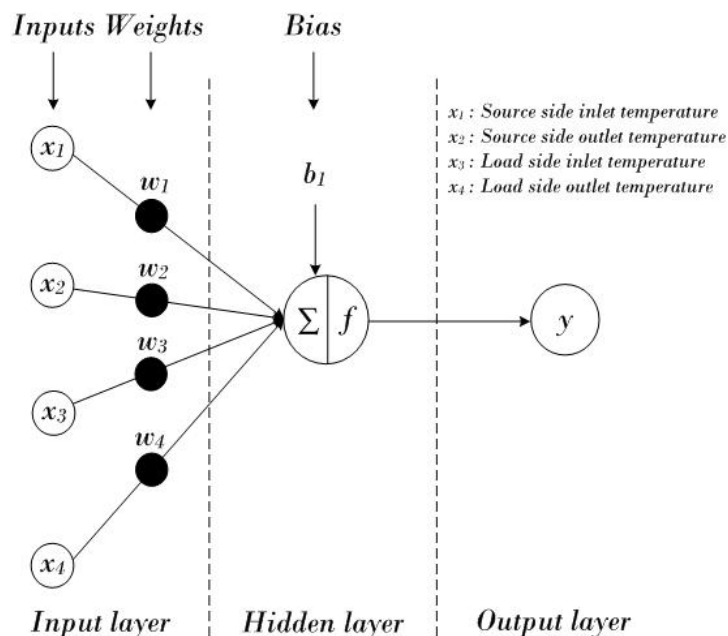


[R studio 프로그램 활용 예시]

- 인공신경망 기반 성능예측모델의 구성은 아래 표와 같으며 히든층의 노드 수 및 뉴런 수는 선행 연구를 바탕으로 선정함.

[인공신경망 기반 성능예측 모델 구성]

구분		내용
Input layer	뉴런 개수	4
	노드 개수	5
Hidden layer	뉴런 개수	1
	노드 개수	1
Output layer	뉴런 개수	1
활성 함수		Sigmoid



[인공신경망 기반 성능예측모델]

1.1.3 인공지능망 기반 성능예측기술 검증

- 개발한 인공지능망 기반 지열 성능예측기술 검증을 위해 지열 시스템 설치 및 운영 중인 건물의 운영 데이터를 통한 성능과 성능예측기술을 통해 예측된 성능의 비교·분석을 통해 개발기술의 신뢰도를 검증함. 개발된 지열 시스템 성능예측기술의 필요성 및 활용 가능성을 검증하기 위해 다중회귀를 통한 수학적 모델을 이용한 성능과 비교·분석하며 기존의 성능 측정 장비와의 경제성을 분석함.

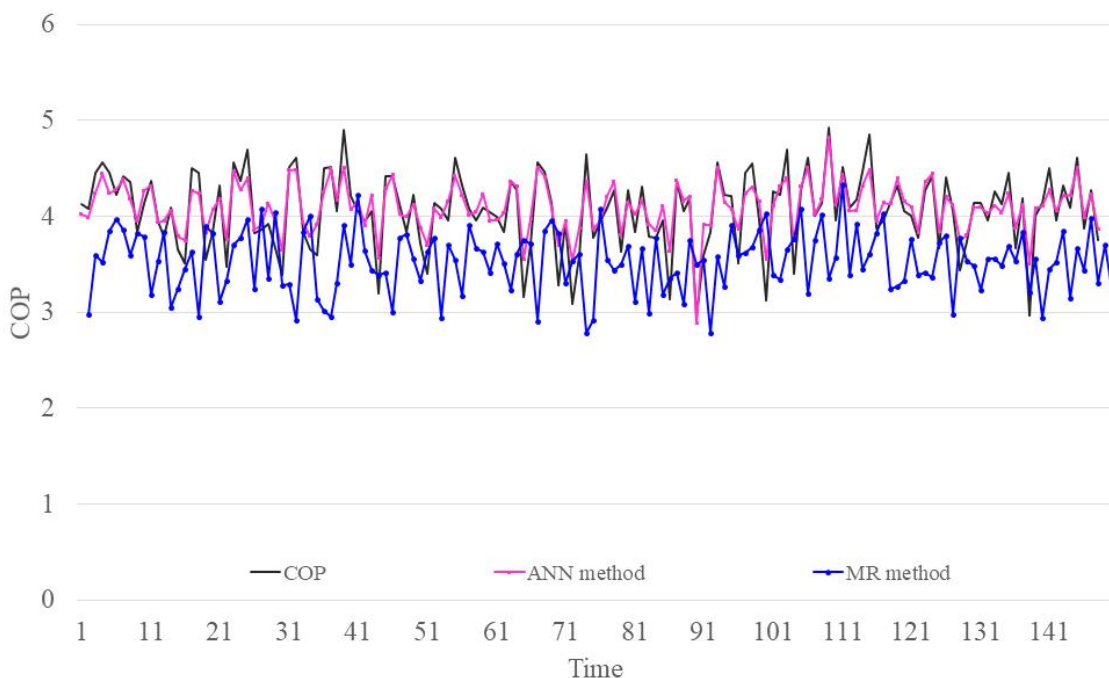
1) 인공지능망 기반 지열 성능예측기술 성능 검증

- 인공지능망 기반 지열 성능예측기술 검증을 위한 대상 건물의 개요는 다음 표와 같으며 대상 건물의 운영 시 측정된 성능과 다중회귀를 통한 수학적 모델을 이용한 성능, 인공지능망을 활용한 성능을 비교·분석함.

[대상 건물 개요]

구분		내용	
건물	용도	업무시설	
	연면적	21,492㎡	
	층수	지하 1층, 지상 9층	
지열 시스템	방식	수직밀폐형	
	용량	냉방	난방
		105.6kW	101.4kW
	대수	7	

- 인공지능망 기반 지열 성능예측기술 검증 결과는 아래 그림과 같으며 성능예측기술을 활용한 성능예측 결과 검증을 위해 절대오차(AE; Absolute Error), 상대오차(RE; Relative Error), 평균 제곱근 오차(RMS; Root Mean Square), 결정계수(R^2 ; Coefficient of Determination) 분석과 같은 통계적 분석을 함.
- 상대오차는 -10~7%로 10% 미만이며 절대오차 및 평균 제곱근 오차는 0.0648로 작은 값을 나타내며 결정계수는 0.9894로 1에 근접한 값으로 통계적으로 유의미한 결과를 나타내어 개발 인공지능망 기반 지열 성능예측기술의 신뢰도를 검증함.

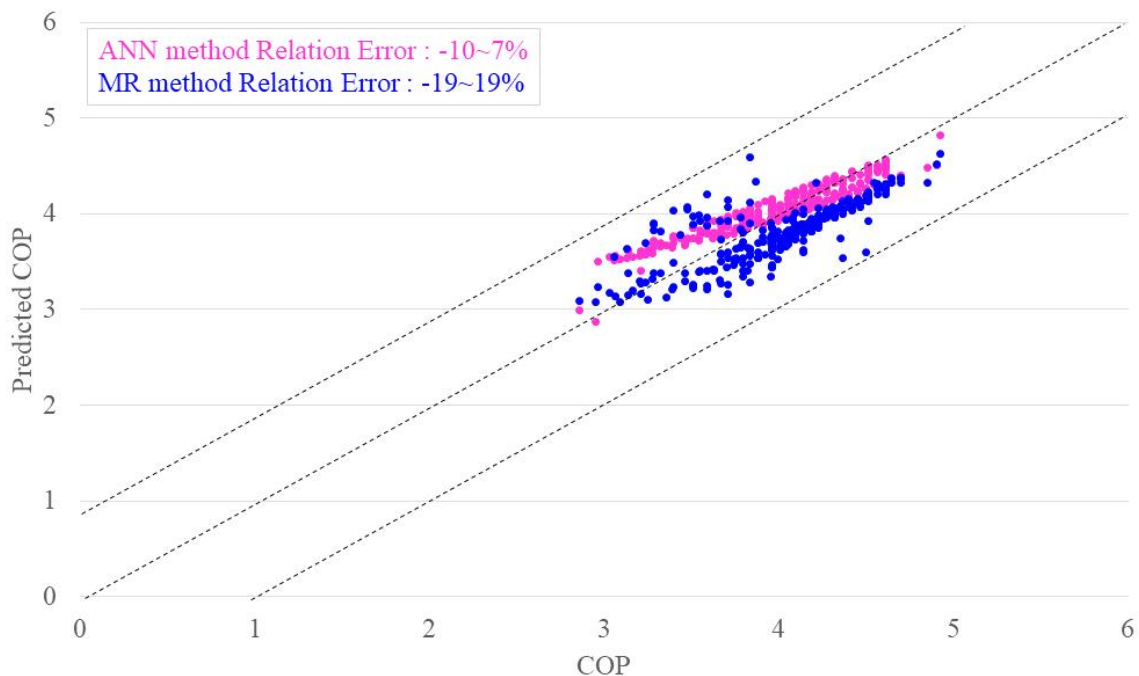


[인공지능망 기반 지열 시스템 성능예측기술 검증]

[성능예측모델의 통계적 분석]

RMS	R ²	AE	RE
0.0648	0.989475	-0.40~0.39	-0.10~0.07

- 다중회귀 분석을 통한 수학적 모델을 통한 성능예측 방법과 개발 인공지능망 기반 성능예측 방법의 결과 비교를 통해 개발기술의 필요성 및 활용 가능성을 검증한 결과는 아래 그림과 같음. 개발기술을 활용한 성능예측 상대오차는 -10~7%로 다중회귀 분석을 통한 성능예측의 경우 상대오차 -19~19% 대비 우수한 성능을 나타내어 지열 시스템운영 시 기존의 수학적 모델을 활용한 성능예측보다 개발 기술의 활용성이 높은 것을 검증함.



[인공지능망 기반 지열 시스템 성능예측기술과 다중회귀 분석 결과 비교]

2) 인공지능망 기반 지열 성능예측기술 경제성 분석

- 기존의 지열 시스템 성능 측정은 COP 계측 장비 또는 열량계와 전력량계 등 COP 산출에 필요한 값을 각각의 장비를 통해 측정하여 계산하는 방법 등이 있음. 기존의 방법의 경우 지열 시스템의 성능 측정을 위해 개별 시스템 개소 별 측정 장치 설치가 필요하며 이에 따라 고가의 비용이 소요되는 문제점이 있음.

[기존 성능 측정방법]

구분	COP 계측 장비 활용 측정	열량계-전력량계 활용 측정
측정 이론	$COP = \frac{Q_r \times \Delta h}{P}$	$COP = \frac{Q_w \times \Delta T}{P}$
측정 장비 비용	약 2,000만 원	약 2,000만 원

- 개발된 지열 시스템 성능예측기술은 열원 측 온도 및 부하 측 온도를 통해 성능을 예측하는 기술이므로 측정 장비로는 온도 센서가 필요하며 이를 통해 자동제어 공사비 절감이 가능함. 아래 표는 지열 시스템이 7대 설치되어 있는 건물을 대상으로 COP 모니터링을 위한 초기투자비를 분석한 내용으로 초

기투자비 분석을 위한 각 항목의 비용은 물가정보지 및 일위대가 등을 활용해 개략적인 금액을 산출함. 기존의 COP 측정 장비 대비 약 75%의 초기투자비의 절감이 가능함.

[초기투자비 분석 예시]

구분	개소	초기투자비					총 금액 (천원)
		재료비 (천원/개소)	직접노무비 (천원/개소)	간접노무비 (천원/개소)	경비 (천원/개소)	합계 (천원/개소)	
기존 COP 측정 방법	7	20,000	10,000	1,500	3,700	35,200	246,400
COP 예측 기술	7	5,000	2,500	375	925	8,800	61,600

1.2 열원 시스템 성능예측기술 개발

- 본 연구에서는 열원 시스템 성능예측기술 개발은 지열 시스템의 성능예측기술과 동일한 프로세스로 진행했으며 공랭식 히트펌프를 대상으로 일반 열원 시스템 성능예측기술을 개발함. 성능산정을 위한 수학적 모델 및 입력변수의 경우 지열 시스템과 동일하게 진행했으며 개발 열원 시스템 성능예측기술은 Test-Bed를 대상으로 적용 및 검증을 실시함.

1) Test-Bed

- 본 연구에서는 하이브리드 지열 히트펌프 시스템의 기술 개발, 성능 예측 및 평가를 위해 지열 히트펌프 시스템뿐만 아니라 기존열원의 성능 예측 기술의 개발 및 검증도 필요함. 따라서 기존 열원 중 공랭식 히트펌프 시스템의 성능 평가 방법에 대하여 적용 및 평가하기 위해 Test-bed를 선정함.
- Test-bed는 공조 실험을 위한 연구 및 실험실로서, HVAC 실험 장비가 구축되어 있음. 공조장치로 단 일덕트 VAV 시스템이 구축되어 있으며, 터미널 유닛 제어를 통해 실내 환경을 제어하며 열원장치로는 냉온수를 생산할 수 있는 공랭식 히트펌프가 설치되어 있음.

[대상건물 HVAC 시스템 개요]

Category		Model Name	Number of Equipment
HVAC System	VAV System	AHU	1
		VAV terminal unit with reheat coil	2
Heat Source System		Air-cooled Heat-pump system	2

[Test-bed 열원 시스템 상세 정보]

Category		Specification			
		Rated capacity of cooling (W)	Rated capacity of heating (W)	Power Consumption (kW)	
				Cooling	Heating
Air-cooled Heat-pump system	Indoor unit	46,400	52,000	0.01	0.01
	Outdoor unit	46,400	51,200	30.5	29.0



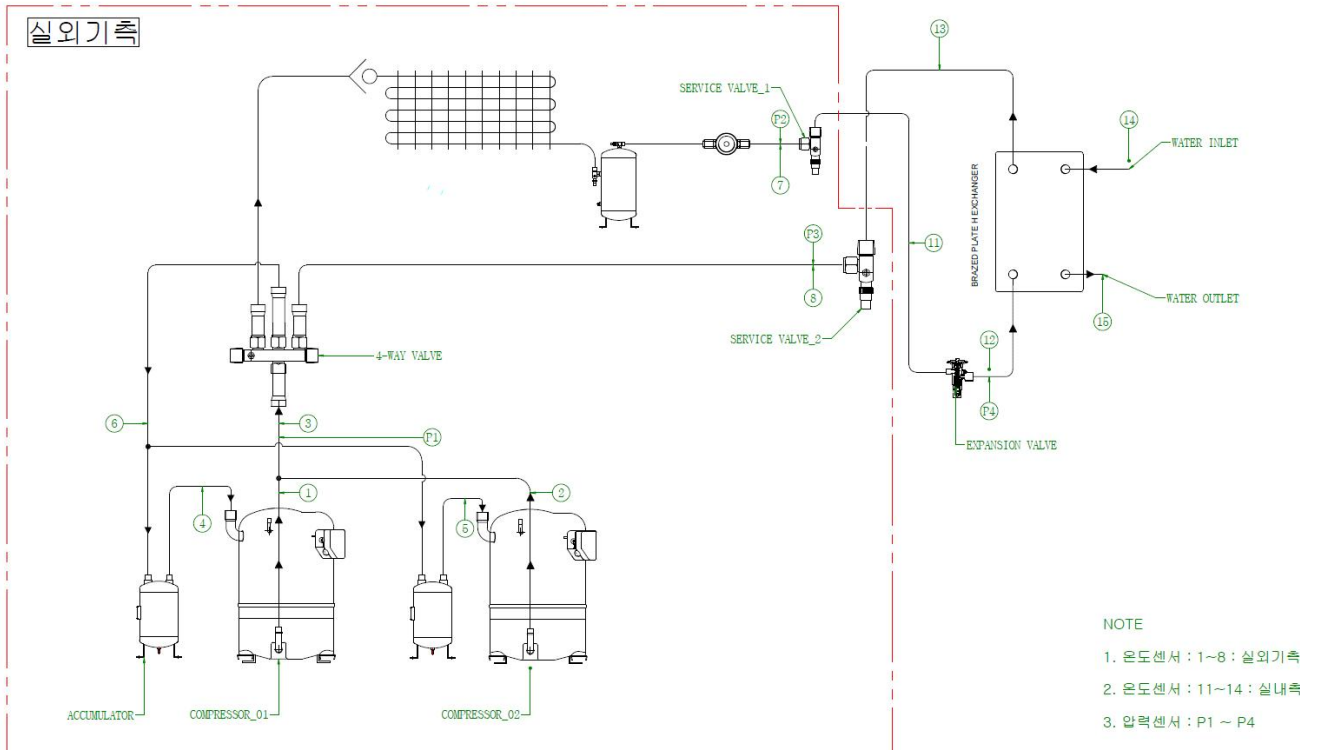
(1) 실내기



(2) 실외기

[Test-bed 공랭식 히트펌프]

- 기존 Test-bed의 열원의 모니터링 지점으로는 개발 기술의 적용 및 검증에 한계가 있어, 열원 시스템의 추가 구축하였고, 상세 모니터링 및 성능 평가를 위하여 센서를 추가 설치하여 모니터링 지점을 추가 확보하였음.



[공랭식 히트펌프 성능 상세 모니터링을 위한 추가 센서 설치 계통도]

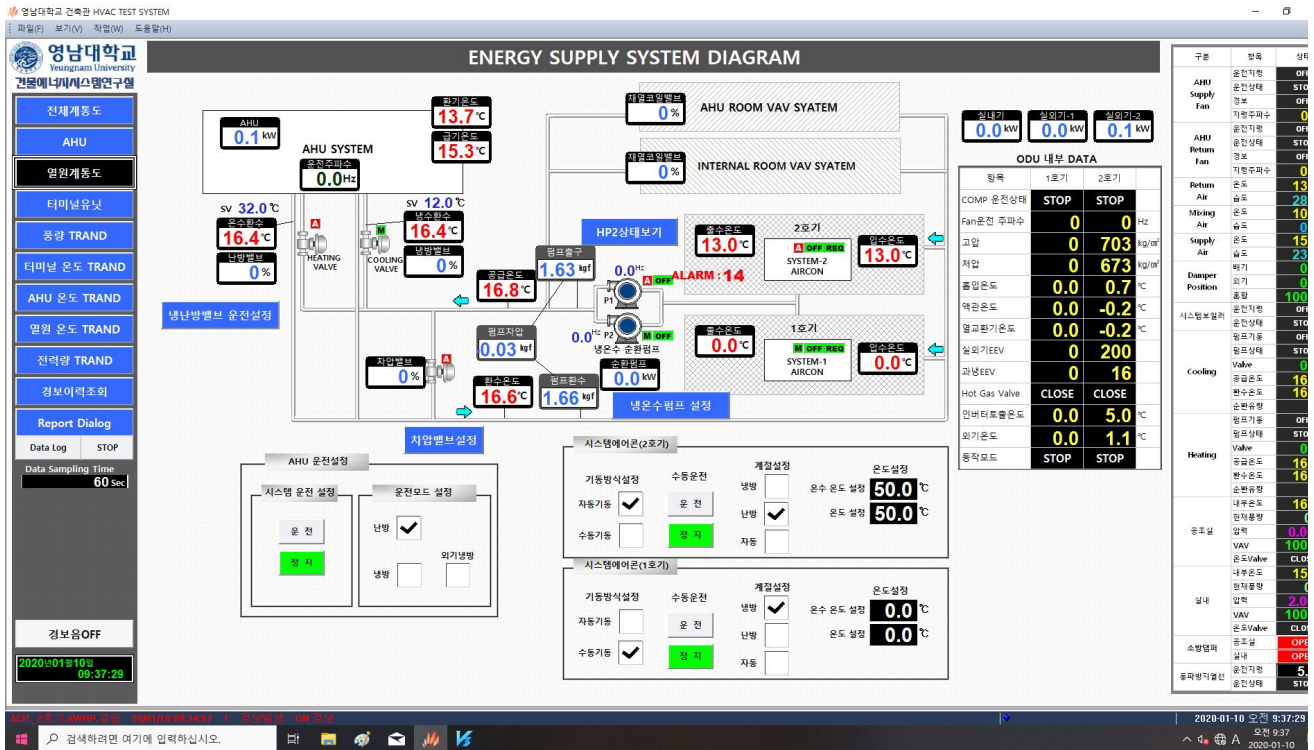


[공랭식 히트펌프 실내기 모니터링 센서 추가설치]

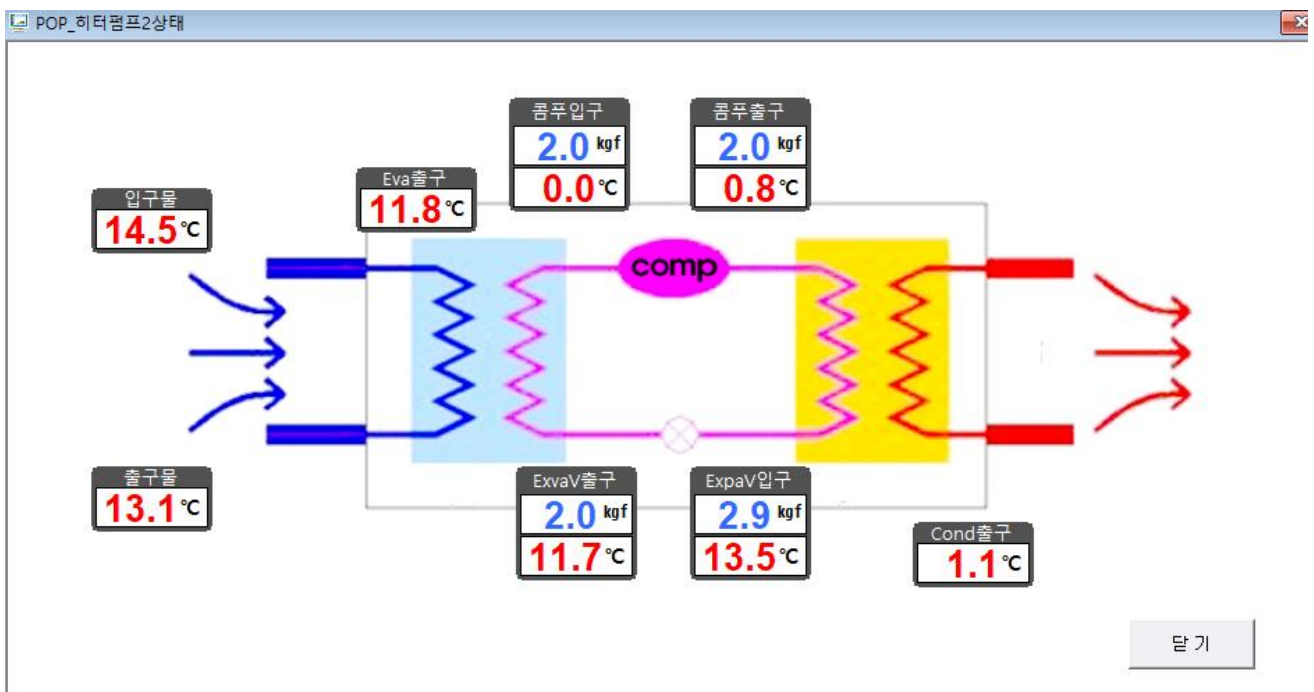


[공랭식 히트펌프 실외기 모니터링 센서 추가설치]

- Test-bed의 HVAC 시스템 제어를 위하여 BAS(Building Automation System)이 구축되어 있으며, 공조기 기 및 열원기기의 자동제어를 통한 시스템별 성능 모니터링, 실내 환경 제어 및 평가 실시 가능함. 또한 BAS에 연결된 모든 모니터링 지점은 실시간 변화를 확인 가능하며, 모든 모니터링 지점은 1s 단위로 로깅 및 csv 파일로 데이터 저장이 가능함.



[Test-bed 열원 시스템 BAS 제어 화면]



[공랭식 히트펌프 상세 모니터링 BAS 화면]

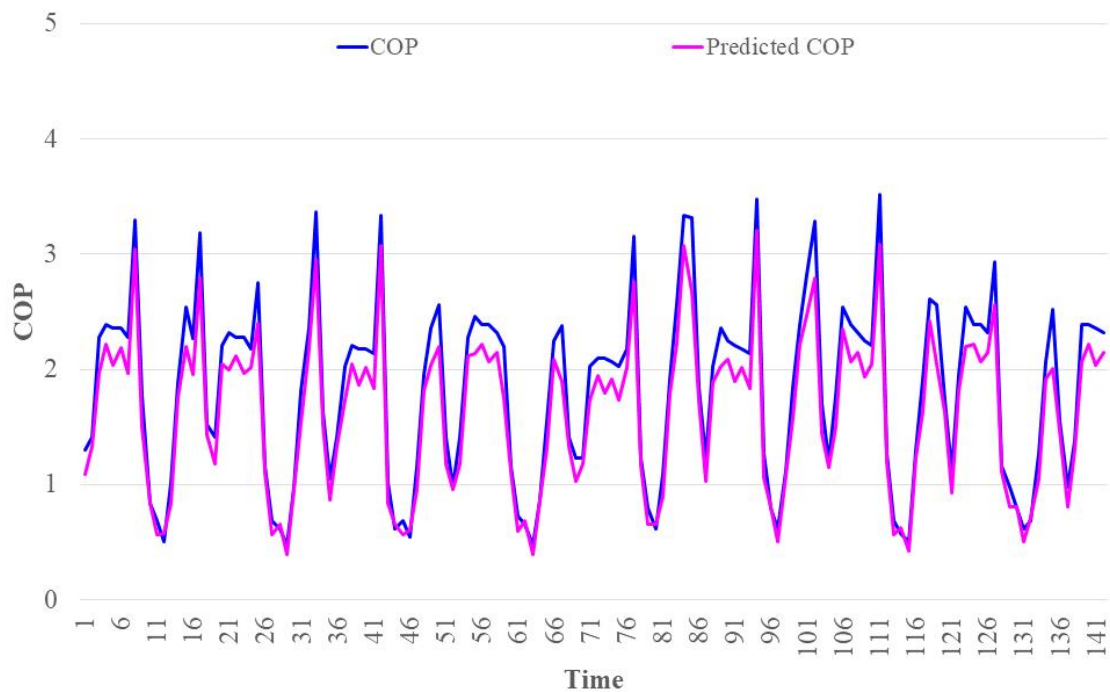
2) 인공지능망 기반 열원 성능예측기술 개발 및 검증

- 열원 시스템의 2,440개의 운영 데이터를 R Studio 프로그램을 활용해 인공지능망 기반 성능예측기술을 개발했으며 운영 데이터 중 1,700개의 데이터는 예측 모델을 개발하는 데 활용했으며 670개의 데이터는 개발한 예측 모델을 검증하는 데 활용함.
- 인공지능망 기반 성능예측모델의 입력변수는 열원 측 입·출구 온도와 부하 측 입·출구 온도를 활용하며 구성은 아래 표와 같으며 히든층의 노드 수 및 뉴런 수는 선행 연구를 바탕으로 선정함.

[인공지능망 기반 성능예측 모델 구성]

구분		내용
Input layer	뉴런 개수	4
Hidden layer	노드 개수	5
	뉴런 개수	2
Output layer	뉴런 개수	1
활성 함수		Sigmoid

- 인공지능망 기반 열원 시스템 인공지능망 기반 지열 성능예측기술 검증 결과는 아래 그림과 같으며 성능예측기술을 활용한 성능예측 결과 검증을 위해 절대오차, 상대오차, 평균 제곱근 오차, 결정계수 분석과 같은 통계적 분석을 함.
- 상대오차는 -10~15%로 나타났으며 절대오차 및 평균 제곱근 오차는 0.0482로 작은 값을 나타내며 결정계수는 0.9144로 1에 근접한 값으로 통계적으로 유의미한 결과를 나타내어 개발 인공지능망 기반 지열 성능예측기술의 신뢰도를 검증함.



[인공지능망 기반 열원 시스템 성능예측기술 검증]

[성능예측모델의 통계적 분석]

RMS	R ²	RE
0.0482	0.9144	-0.10~0.15

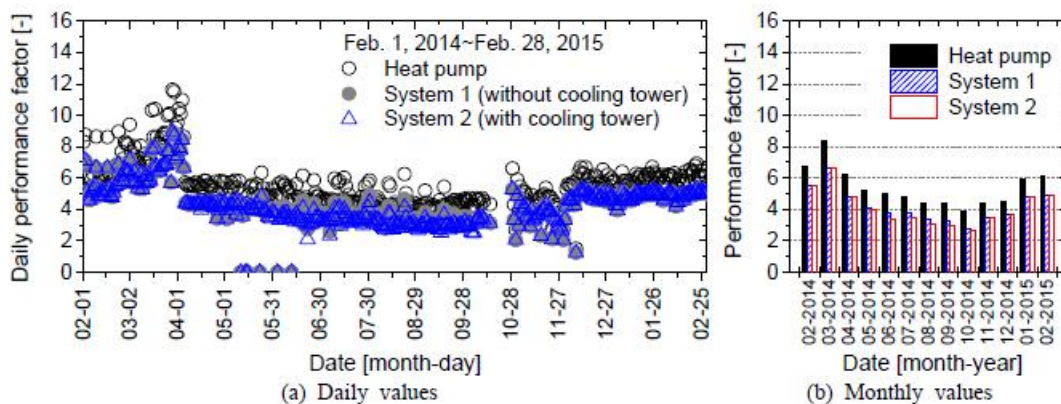
2. 하이브리드 지열 시스템 제어 프로세스 개발

- 국내에 설치 및 운영 중인 지열 시스템은 일반적으로 일반 열원 시스템과 분리 설계되어 지열 시스템을 독립적으로 운영하며 건물의 일부분 부하만을 담당함. 이로 인해 지열 시스템의 활용성 및 부하분담률이 낮으며 지열 시스템 사용으로 인한 에너지 절감 효과가 감소함.
- 지열 시스템운영 시 냉방에너지 사용량이 난방에너지 사용량에 비해 큰 경우 지중 열 축열로 인한 온도 상승으로 열원 측 순환수 온도가 상승하는 것과 같이 냉난방 부하의 불균형으로 인해 열원 측 온도 문제 발생으로 인한 지열 시스템 성능 저하 문제가 발생함.
- 국내의 지열 시스템의 문제점은 열교환기의 용량 증가 또는 열교환기의 보어 홀 간격 증가로 해결 가능하지만, 열교환기 용량 증가로 인한 초기투자비용 증가 및 보어 홀 간격 증가 시 지열 시스템을 설치하기 위한 대지면적 증가가 요구되어 설치공간이 제한적임에 따라 현실적으로 적용이 어려운 해결 방안임. 지열 시스템의 현재 설계 및 운영 기술을 보완하며 경제적인 해결방안인 지열 시스템의 설계 및 운영 기술개발이 필요함.
- 본 연구에서는 이를 위해 하이브리드 지열 시스템 제어 프로세스를 개발함. 하이브리드 지열 시스템 제어 프로세스는 지열 시스템과 난방 시스템 (보일러, 태양열 시스템 등) 또는 냉방 시스템 (냉각탑, 냉동기 등) 간의 하이브리드 설계기술과 지열 시스템과 다른 열원 시스템과 연계하여 운영하는 하이브리드 운영 기술을 의미하며 이를 통해 지열 시스템 성능 향상, 지열 시스템 활용 증가와 부하분담률 개선 및 에너지 절감이 가능함.
- 하이브리드 지열 시스템 제어 프로세스 개발을 위해 국내외 하이브리드 지열 시스템 연구 동향과 적용 사례 및 국내 관련 규정을 분석했으며 국내 지열 시스템의 운영 현황분석을 통해 현재 적용되고 있는 지열 시스템 설계 및 운영 기술의 문제점을 파악함.

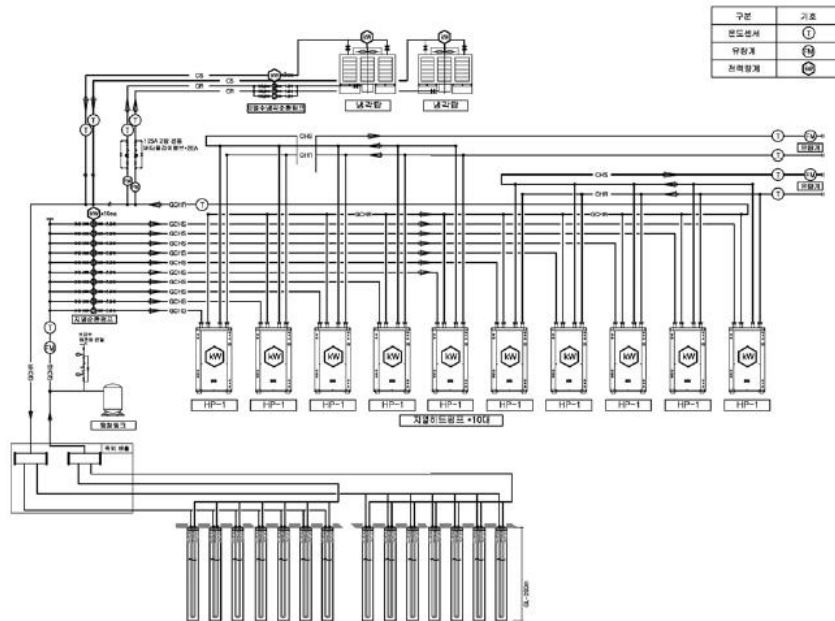
1) 하이브리드 지열 시스템 관련 연구 동향

① 냉각 열원 시스템 연계형 하이브리드 지열 시스템

- 손병후 (2016)는 지열 히트펌프 시스템의 열원을 안정적으로 운전하기 위한 방법 중 하나인 냉각탑 및 지열 하이브리드 시스템의 실측을 통한 성능 분석 실시.
- 밀폐형 냉각탑과 지중열 교환기의 직렬연결을 통하여 지중 순환수 히트펌프 출구 온도가 32℃를 넘으면 1번 냉각탑을 가동하며, 한 대 가동 후 히트펌프 출구 온도가 33℃를 넘으면 2번 냉각탑을 가동.
- 지열 히트펌프의 월평균 성능지수는 3.8에서 8.4의 범위에서 변화하였음. 냉각탑을 제외(System 1)했을 때, 시스템의 월평균 성능지수는 2.8에서 6.6이었으며, 냉각탑을 포함한 하이브리드 지열 시스템(System 2)의 월평균 성능지수는 2.6에서 6.6의 범위에서 운전됨. 냉방 운전 중 건물에서 제거한 열이 지중에 축적되기 때문에 난방 성능지수가 상승하는 것을 볼 수 있음.



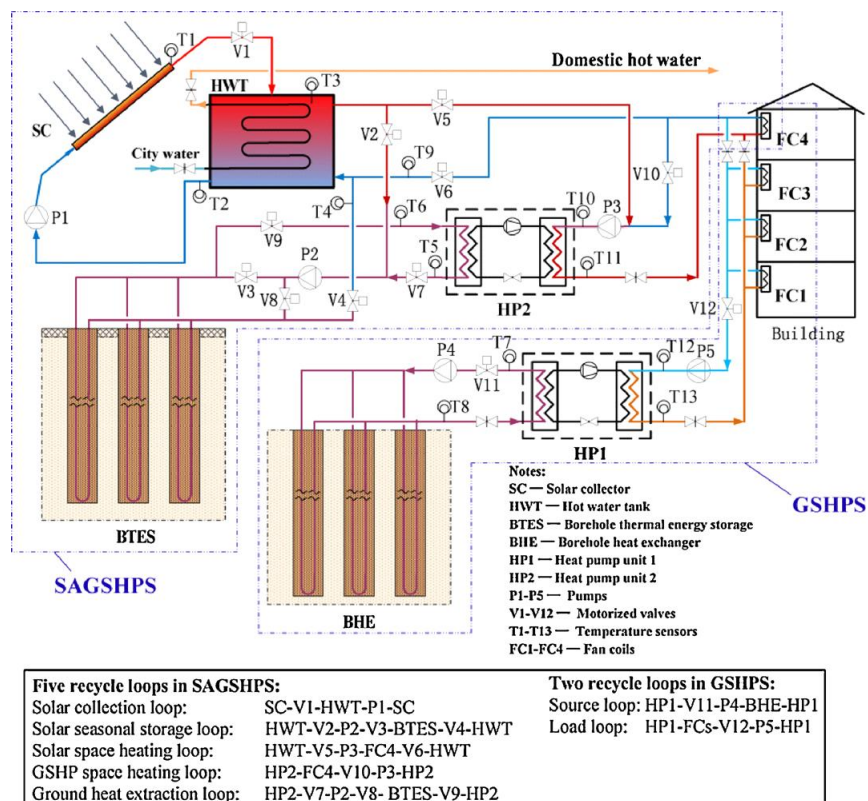
[냉각 열원 시스템 연계형 (냉각탑) 지열 하이브리드 시스템 계통도]



[냉각 열원 시스템 연계형 (냉각탑) 지열 하이브리드 시스템 계통도]

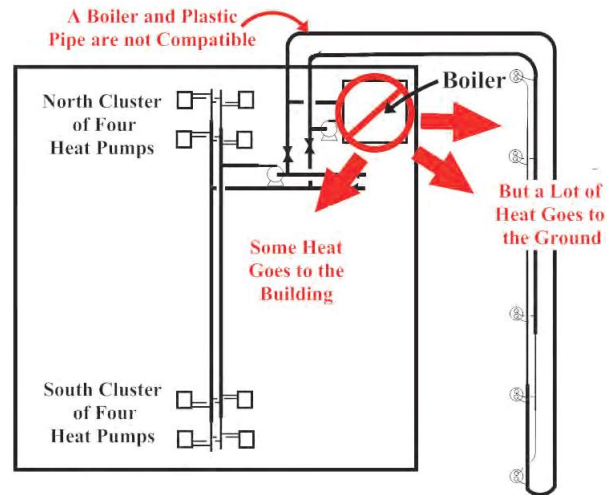
② 난방 열원 시스템 연계형 하이브리드 지열 시스템

- Wang(2012)은 사무실 건물을 대상으로 태양열 시스템과 결합한 하이브리드 지열시스템 제안 및 동적 에너지 시뮬레이션을 통한 시스템 성능 분석 실시.
- 또한 태양열-지열 하이브리드 시스템의 성능계수에 따라 태양열 시스템 작동 제어 방안 제시.
- 태양열 시스템과 히트펌프 시스템의 작동 상한 및 하한 온도를 제시하였음. (SUL(storage upper limit) = 50 °C, SLL(storage lower limit) = 5 °C, CUL(collection upper limit) = 15 °C 및 CLL(collection lower limit) = 2 °C) 이를 바탕으로 태양열 및 지열 하이브리드 시스템의 운전 방법 제안.
- 제안된 태양열-지열 하이브리드 시스템은 난방 부하가 큰 건물에 적합할 것으로 판단되며, 부분 부하 운전 시 약 32%의 전기에너지 절감 가능할 것으로 분석함.



[난방 열원 시스템 연계형 (태양열) 지열 하이브리드 시스템 개략도]

- Hackel (2009)는 난방운전에서 보일러와 지열 하이브리드 시스템에 대하여 분석하였으며, 이는 성능적인 측면에서 열 손실 때문에 권장되지 않는 방식으로 소개함.
- 보일러 등의 난방 보조 열원의 경우 건물에 직접 공급하는 것이 효율적임.



[난방 열원 시스템 연계형 (보일러) 지열 하이브리드 시스템 개략도]

2) 국내외 하이브리드 지열 시스템 적용 현황분석

- 국내외 하이브리드 지열 시스템 설계 적용 사례는 아래 표와 같음.

[국내외 하이브리드 지열 시스템 설계 사례분석]

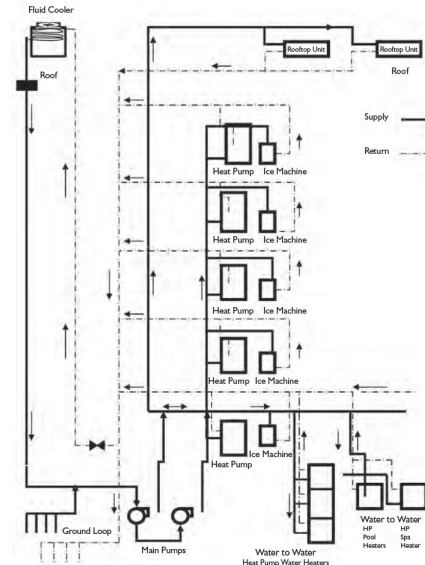
건물 용도	하이브리드 지열 시스템 구성	지열 시스템 용량 (kw)	열원 용량 (kw)	비고
병원	지열 시스템+냉각탑	450RT	200CRT	
업무용	지열 시스템+냉각탑	300Ton	150Ton	
주거용	지열 시스템+태양열 시스템	2.5USRT	-	
병원	지열 시스템+냉각탑	냉방 : 408RT, 난방 : 276RT	200RT	
업무용	지열 시스템+냉각탑	4919.6kW	1082.3kW	
업무용	지열 시스템+냉각탑	1,100RT	300RT	

① 사례 1

- 용도 : 호텔
- 위치 : 플로리다 주, 미국
- 면적 : 7446 m²
- 시스템 : 지열 히트펌프(350kw) + 냉동기(528kw)
- 냉동기는 지열 히트펌프 시스템의 부족한 냉방용량을 분담하기 위하여 1년 중 7개월 동안 운전되며 지열 히트펌프 시스템과 냉동기는 병렬로 설치하여 방열량 조절함.
- 미국 에너지 평균 집약도와 비교 시 약 35%의 에너지 절약 가능하며 해안가에 있는 대상 건물의 지열 시스템은 일부 부품만 대기 염분에 노출되어 시스템의 수명 연장 및 부품 교체에 대한 유지 보수 비용 절감 가능.



[대상 건물 전경]



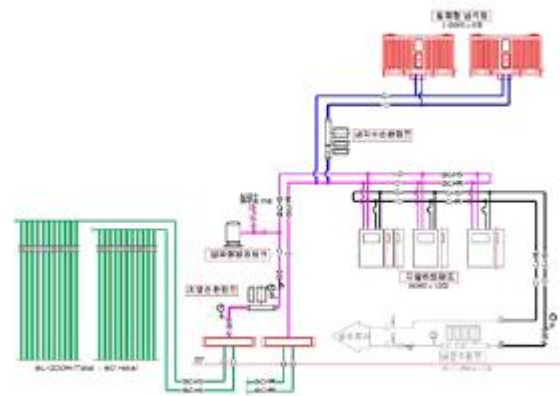
[냉동기 및 하이브리드 지열 시스템 계통도]

② 사례2

- 용도 : 병원
- 위치 : 부산, 대한민국
- 면적 : 165,000 m²
- 시스템 : 지열 히트펌프(1610RT)+냉각탑(200CRT)
- 해당 건물에서 사례분석에 선정된 건물은 냉난방 부하 100%를 지열 시스템이 담당하며, 45RT 지열 히트펌프 10대, 지중 열교환기 60개, 100CRT 냉각탑 2대로 구성됨.
- 하이브리드 지열 시스템을 적용하였을 때, 지열 시스템 단독운전과 비교하여 경제성 분석한 결과는 아래 표와 같음.



[대상 건물 전경]



[냉각탑 및 하이브리드 지열 시스템 계통도]

[하이브리드 지열 히트펌프 시스템의 경제성 분석]

구분	하이브리드 지열시스템	지열시스템	냉온수유니트시스템
투자비(억원)	14.0	18.0	7.3
차액(억원)	6.7	10.7	기준
운전비(억원)	0.72	0.68	2.4
차액(억원)	1.68	1.72	기준
회수(년)	4.0	6.2	

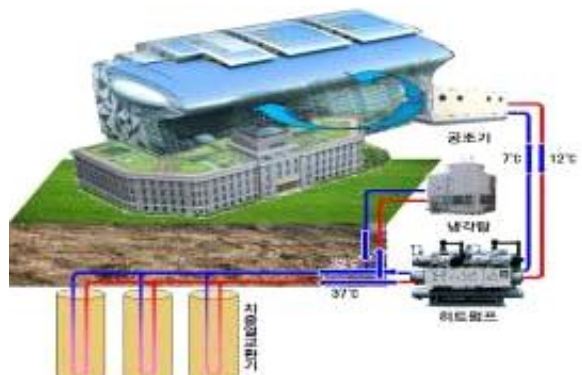
- 하이브리드 지열 시스템은 일반지열 시스템보다 초기투자비는 낮지만, 냉각탑을 구동하므로 운전비 증가. 운전비 증가 대비 초기투자비의 감소가 커 초기투자비 회수 기간이 일반 지열 시스템 보다 약 35% 감소.
- 9월 하순 하이브리드 지열 시스템의 시스템 COP 3.3으로 나타남.

③ 사례3

- 용도 : 공공업무시설
- 위치 : 서울, 대한민국
- 면적 : 90,788 m²
- 시스템 : 지열 히트펌프(1,100RT)+냉각탑(300RT)
- 해당 건물은 건물 바닥을 천공해 지열시스템을 활용하였음. 옥외 65홀 옥내 153홀로 총 218개의 홀이 있으며 지열 시스템은 본관동의 냉난방을 100% 담당함.



[대상 건물 전경]



[냉각탑 및 지열 시스템 하이브리드 개념도]

3) 하이브리드 지열 시스템 관련 국내 규정 분석

- 국내의 하이브리드 지열 시스템과 관련된 규정은 ‘신재생 에너지 설비의 지원 등에 관한 지침(산업통상자원부 고시 제2019-66호)’의 [별표 3] 지열이용검토서 작성 및 평가(제13조제2항 관련)에서 확인할 수 있음.
- 관련 규정에서는 타열원의 백업 여부에 관해 내용을 공지하고 있으며 해당 내용은 아래와 같음.
 - 신·재생에너지 설비의 지원 등에 관한 지침
[별표 3] 지열이용검토서 작성 및 평가 (제13조제2항 관련)
 - 2. 지열이용검토서 작성기준
 - 아. 설계요약서 작성지침
 - 가) 타열원의 백업 여부
지열열펌프 시스템은 타 열원설비의 백업용으로 사용할 수 없으며, 지열열펌프 시스템에 대한 백업설비를 설치하지 않는 것이 원칙
- 지열 시스템과 관련해 기타 열원 시스템을 추가하거나 함께 사용하는 것이 원칙적으로 불가능하며 이로 인해 신재생의무화제도에서 의무화 비율을 산정할 때도 포함되지 않음.
- 지열 시스템운영 시 열원 측 온도의 문제 등으로 성능 저하가 발생하며 하이브리드 지열 시스템 설계 및 운영으로 해결할 수 있는 문제이지만, 국내 규정상 허용되지 않으며 하이브리드 설계 및 운영 시 의무화 비율에 포함되지 않는 문제로 인해 국내에서는 앞서 다른 국내의 하이브리드 지열 시스템 설치 및 운영 사례의 경우 특수한 사례가 아니면 하이브리드 지열 시스템의 설계 및 운영이 잘 이루어지지 않음.

4) 지열 시스템 적용 및 운영 현황분석

- 지열 시스템의 하이브리드 운영 기술을 개발하기에 앞서 현재 국내에서 이용되고 있는 지열 시스템의 운영 현황을 분석하며 국내의 하이브리드 지열 시스템 적용 현황분석을 함.
- 국내의 지열 시스템의 경우 일반적으로 건물의 일부 부하만을 담당하며 지열 시스템을 단독으로 운영 하고 있으며 실제 운영 데이터를 분석함으로 기존 지열 시스템운영 기술의 문제점을 도출함.
- 지열 시스템운영 현황분석은 아래 표와 같이 지열 시스템이 설치되어 운영 중인 다양한 건물을 대상으로 했으며 데이터 분석 결과는 대상 건물 중 가장 많은 지열 시스템운영률을 나타내는 A 건물을 대상으로 나타냄.

[지열 시스템운영 현황 수집 건물 개요]

건물명	건물용도	건물 규모		지열 시스템						수집 기간
		연면적(㎡)	규모	방식	용량 (kW)		대수	천공		
					냉방	난방		개수	간격(m)	
A 건물	업무시설	21,492	B1 / F9	수직밀폐형	105.6	101.4	7	70	5	14.02.05 ~19.08.31
B 건물	업무시설	11,810	B1 / F6	수직밀폐형	133.0	134.3	4	60	6	18.09.01 ~19.08.31
C 건물	교육 시설	5,706	B3 / F4	수직밀폐형	97.8	100.0	2	18	6	17.09.05 ~19.08.31
D 건물	문화· 집회 시설	11,429	B2 / F3	수직밀폐형	105.6	101.4	2	26	5	15.02.04 ~19.08.31
E 건물	업무시설	-	B1 / F10	개방형	155.6	165.0	4	6	-	18.09.01 ~19.08.31
F 건물	업무시설	-	B2 / F1	개방형	174.7	205.6	12	24	15	18.09.01 ~19.08.31
G 건물	업무시설	-	B3 / F7	개방형	174.8	181.2	9	15	-	18.09.01 ~19.08.31
H 건물	문화· 집회 시설	-	B1 / F2	개방형	56.0	65.2	4	20	5	18.09.01 ~19.08.31

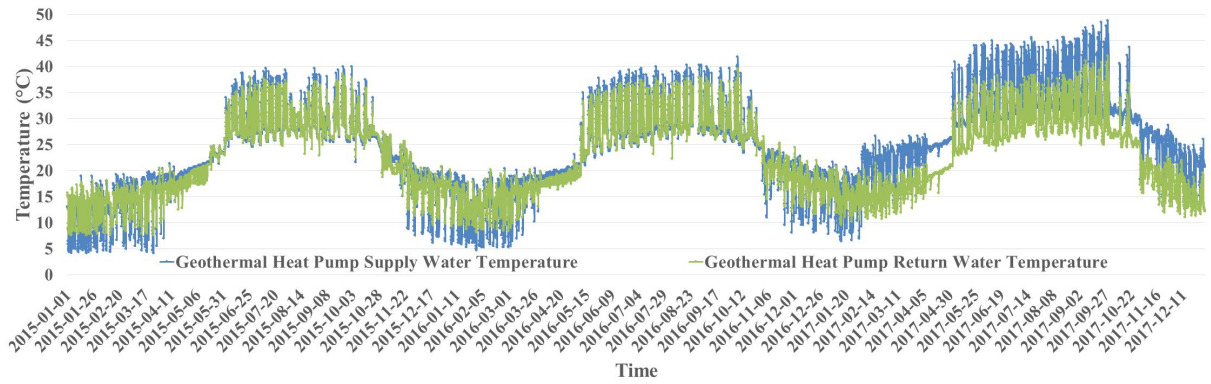
- A 건물 대상으로 수집된 운영 정보 항목은 아래 표와 같으며 3시간 간격으로 운영 정보를 수집함.

[운영 현황 정보 수집 항목]

수집 항목	열원 측 입구 온도
	열원 측 출구 온도
	냉온수 입구 온도
	냉온수 출구 온도
	소비 전력량
	유량
	외기온도

(1) 열원 측 입·출구 온도 분석

- 지열 시스템의 열원 측 입·출구 온도는 시스템 성능에 큰 영향을 미치는 요소로 지열 시스템운영에 따른 열원 측 온도 분석을 통해 성능 분석을 함.
- 지열 운영 자료수집 기간 중 2015년에서 2017년까지의 운영 데이터를 분석한 결과 지열 시스템의 운전 연수가 증가할수록 열원 측 온도가 전체적으로 증가하는 것을 확인할 수 있음. 이는 건물의 냉방부하와 난방 부하의 불균형이 있을 때 지열 시스템의 장시간 운전 시 지중 열 축적으로 인해 열원 측 온도가 상승하는 현상임.



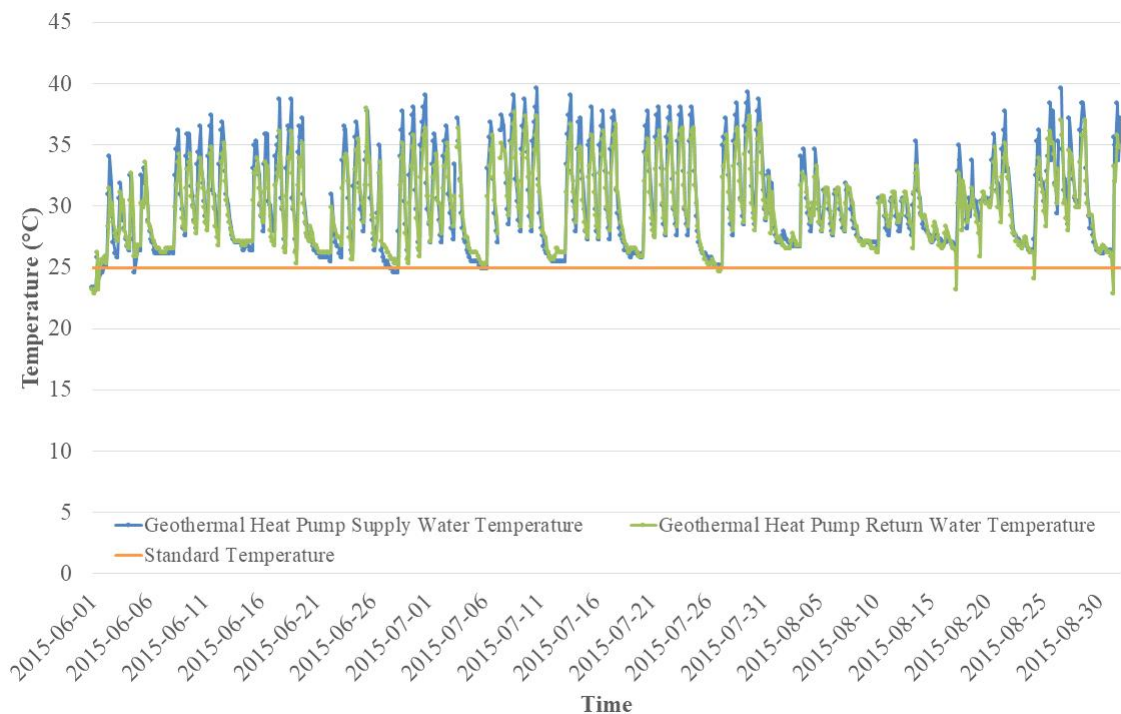
[열원 측 입·출구 온도 분석 (2015~2017년도)]

① 냉방 운전

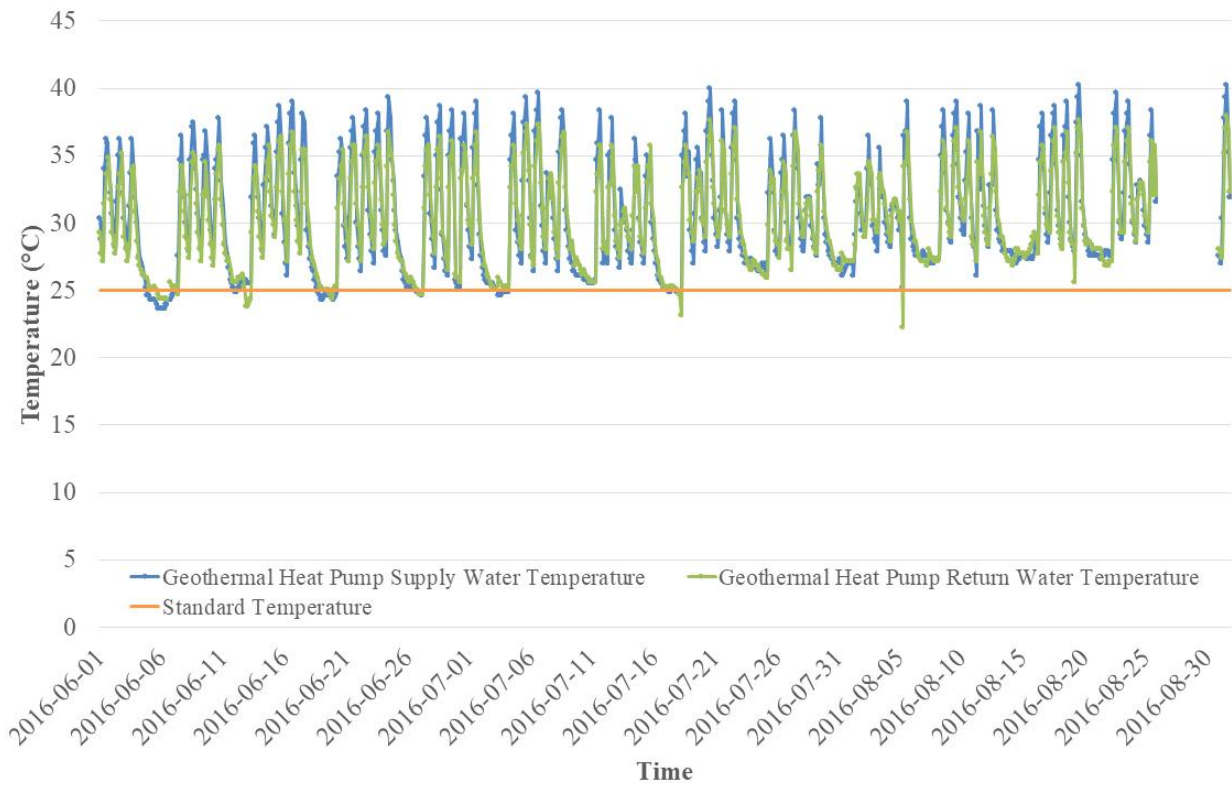
- 냉방 운전 시 열원 측 온도 분석은 2015년에서 2018년에 대해 분석했으며 분석 기간은 6월에서 8월까지이며 KS B 8292의 성능 기준 조건은 냉방 시 25℃ 이상이 온도가 발생하면 지열 시스템의 성능에 문제가 발생한다고 판단함.
- 냉방 운전 시 운영 자료 분석 시 대부분이 기준온도 (25℃) 이상으로 나타나며 평균온도는 최저 27.6℃, 최대 온도는 45.6℃까지 나타나 지열 시스템의 성능 문제 발생 원인이 됨.

[냉방 운전 시 열원 측 입구 온도 분석]

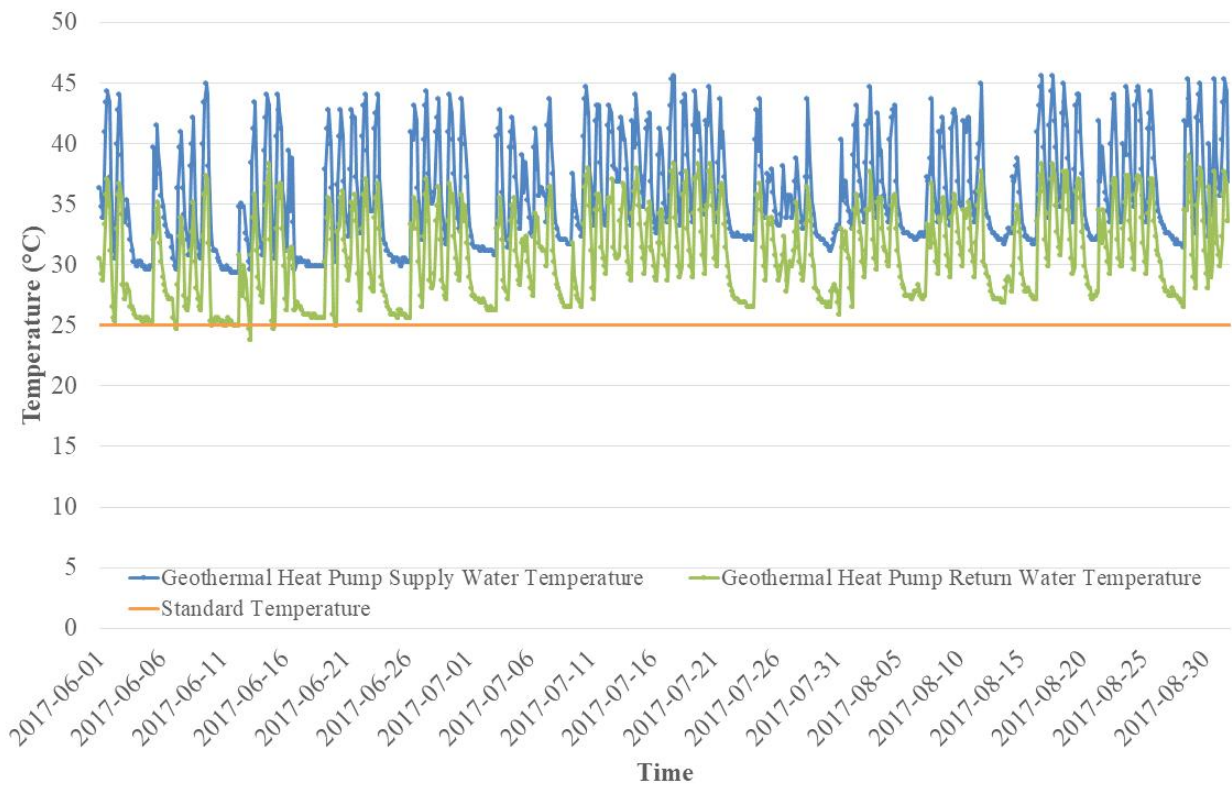
온도(℃)	2015년			2016년			2017년			2018년		
	6월	7월	8월	6월	7월	8월	6월	7월	8월	6월	7월	8월
Max	39.0	39.6	39.6	39.3	39.9	40.2	44.9	45.6	45.6	37.8	43.4	43.8
Min	23.1	24.9	23.7	23.7	24.6	25.2	29.3	30.8	31.4	23.8	26.8	29.2
Average	29.7	31.0	29.8	30.2	30.0	31.0	34.9	36.1	36.9	27.6	32.0	34.7



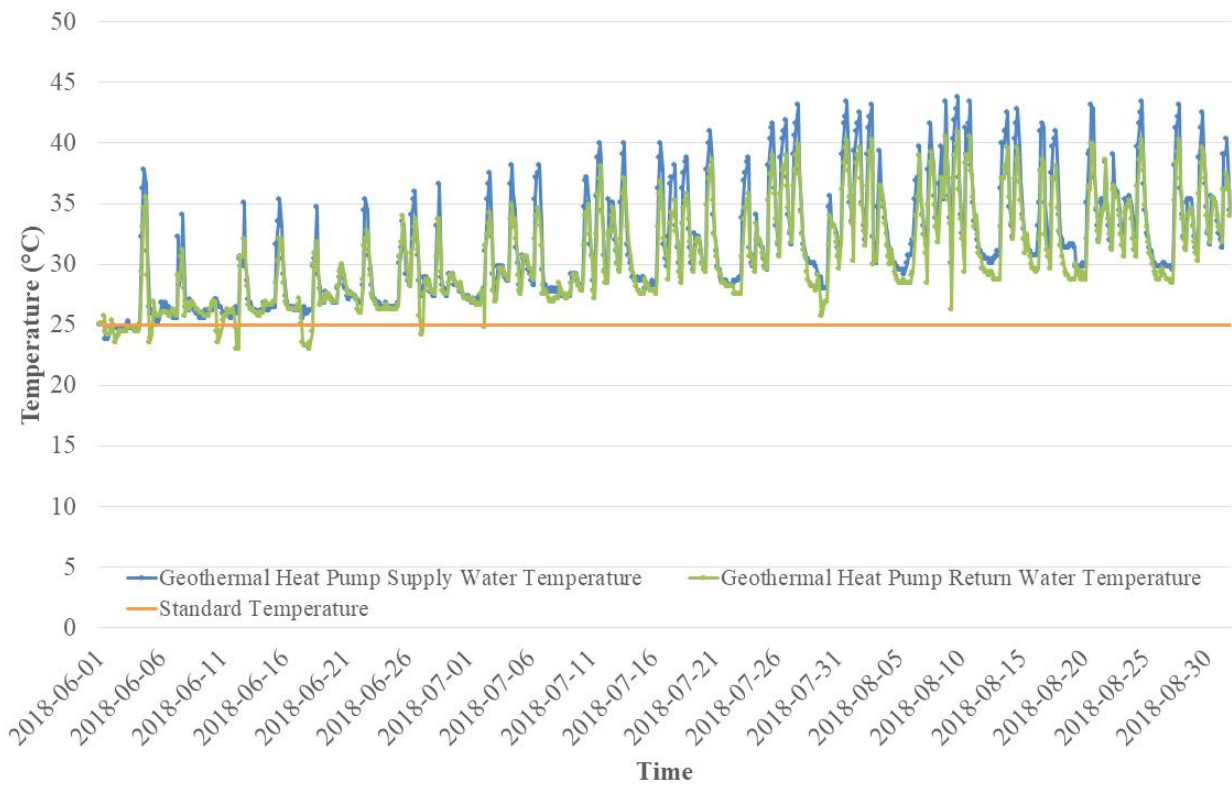
[냉방 운전 시 열원 측 입·출구 온도 분석 (2015년)]



[냉방 운전 시 열원 측 입 · 출구 온도 분석 (2016년)]



[냉방 운전 시 열원 측 입 · 출구 온도 분석 (2017년)]



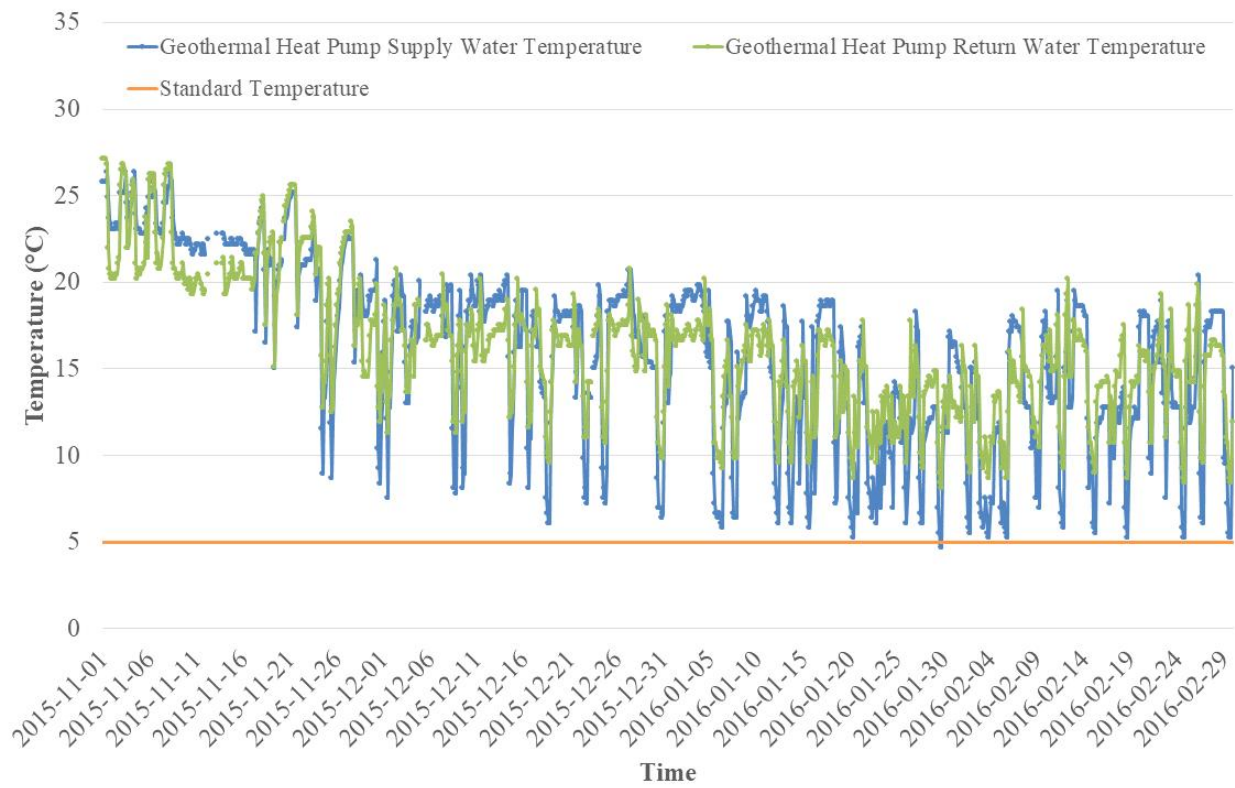
[냉방 운전 시 열원 측 입·출구 온도 분석 (2018년)]

② 난방운전

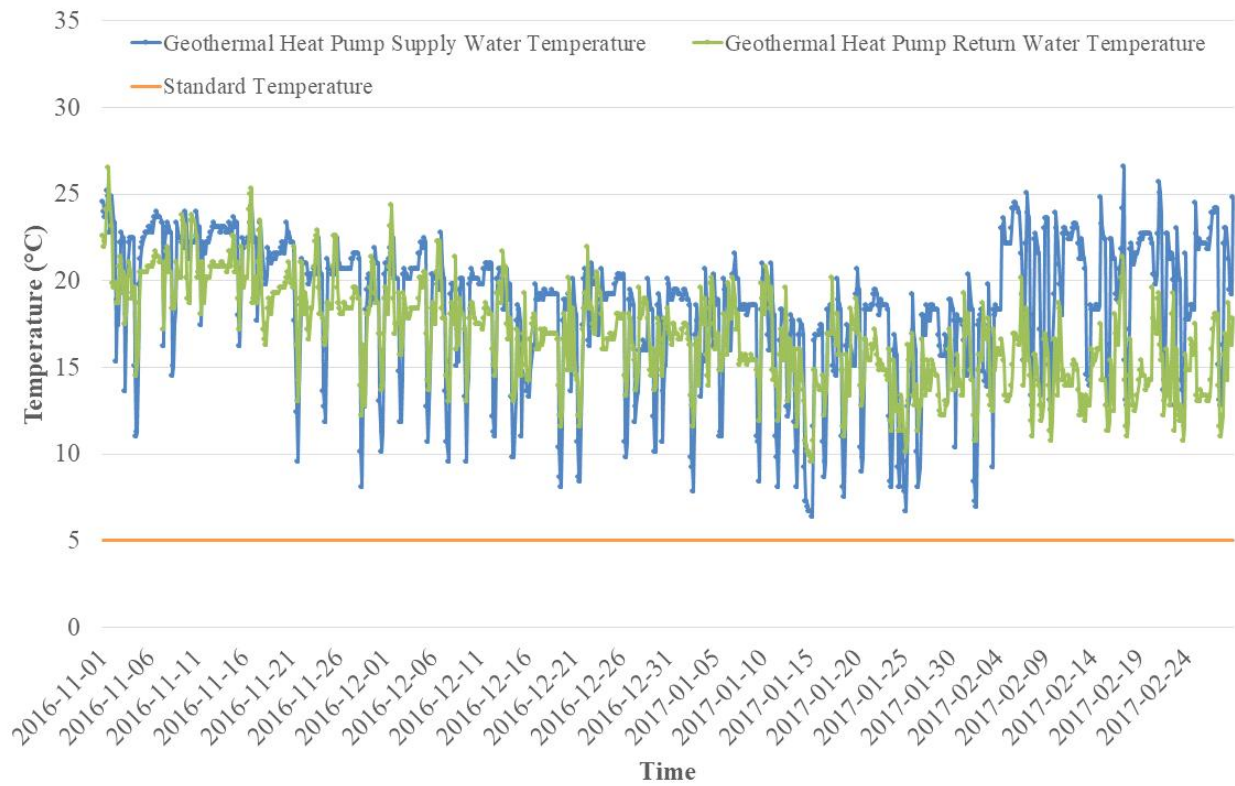
- 난방운전 시 열원 측 온도 분석은 2015년에서 2019년 2월까지를 분석 기간으로 선정했으며 매년 11월에서 2월까지를 난방 기간으로 선정함. KS B 8292의 성능 기준 조건은 난방 시 5℃ 이하 온도가 발생하면 지열 시스템의 성능에 문제가 발생한다고 판단함.
- 난방운전 시 운영 자료 분석 시 대부분이 기준온도 (5℃) 이상으로 나타나며 평균온도 최저는 12.8℃, 최대 온도는 29℃까지 나타나 난방 운전 기간보다 열원 측 온도로 인한 지열 시스템의 성능 문제 발생이 적을 것이라 판단됨.

[난방운전 시 열원 측 입구 온도 분석]

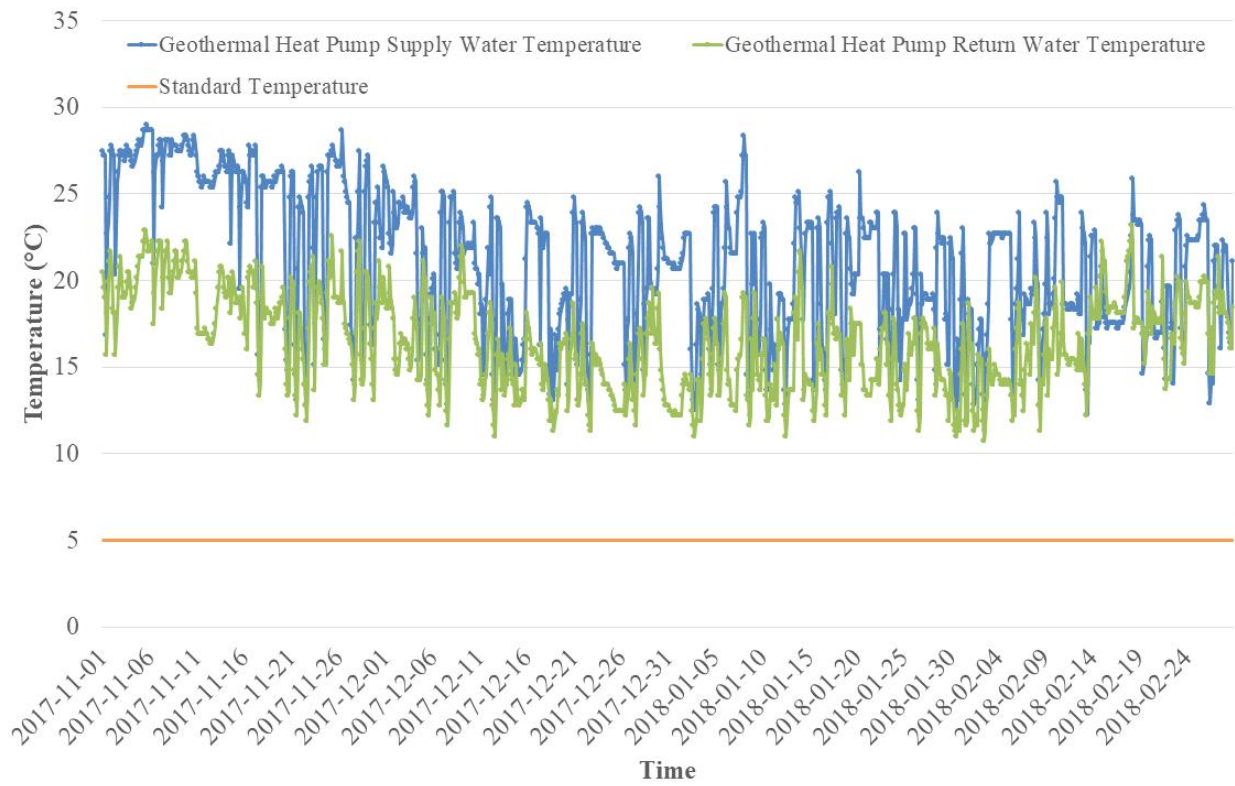
온도(℃)	2015년		2016년				2017년	
	11월	12월	1월	2월	11월	12월	1월	2월
Max	26.4	20.7	19.8	20.4	25.2	22.8	21.6	26.6
Min	8.4	6.1	4.6	5.2	8.1	8.1	6.4	6.9
Average	21.5	16.3	13.4	12.8	20.8	17.8	15.8	19.9
온도(℃)	2017년		2018년				2019년	
	11월	12월	1월	2월	11월	12월	1월	2월
Max	29.0	26.3	28.4	25.9	27.4	25.9	25.0	24.4
Min	12.8	12.5	12.5	12.3	12.0	11.1	10.3	9.7
Average	24.9	20.4	19.7	19.5	24.0	21.4	19.0	18.9



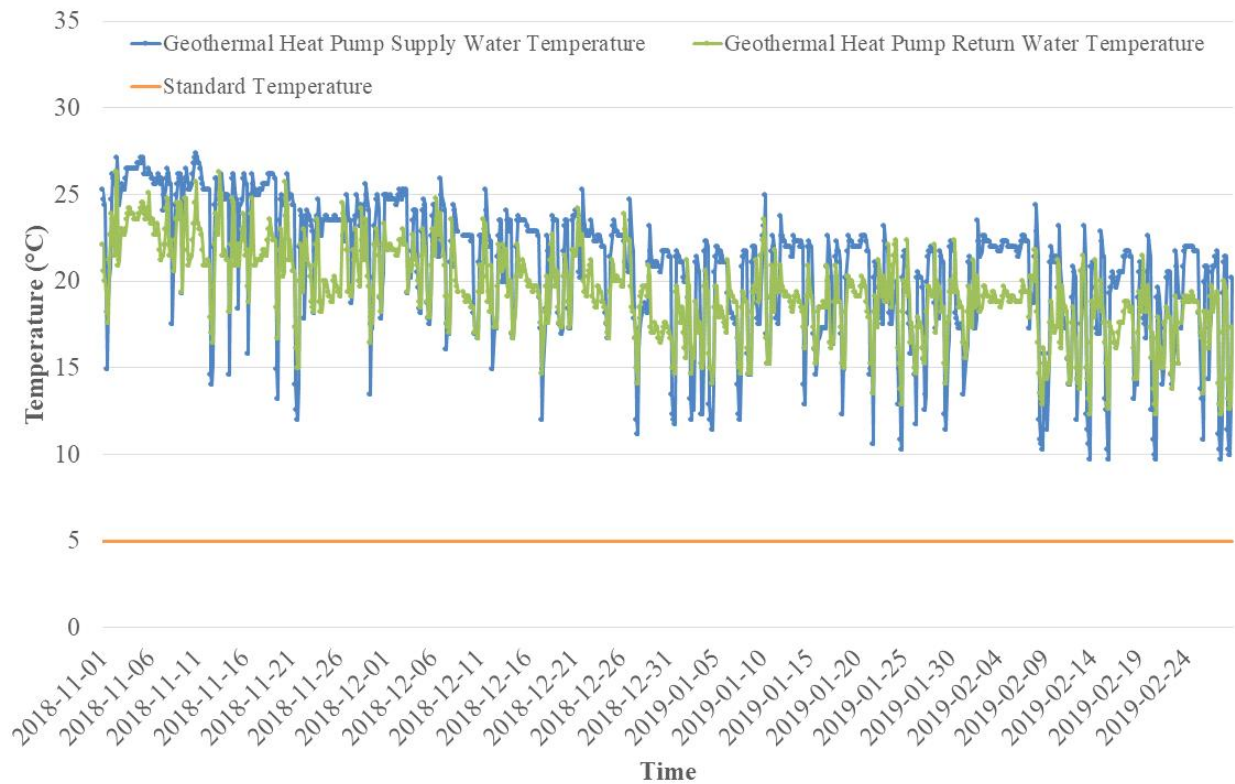
[난방운전 시 열원 측 입·출구 온도 분석 (2015년)]



[난방운전 시 열원 측 입·출구 온도 분석 (2016년)]



[난방운전 시 열원 측 입·출구 온도 분석 (2017년)]



[난방운전 시 열원 측 입·출구 온도 분석 (2018년)]

(2) 지열 시스템 성능 분석

- 열원 측 입구 온도에 따른 지열 시스템 성능 분석을 위해 지열 시스템 제작 업체를 통해 수집한 온도 조건에 따른 성능계수 데이터를 활용하며 시스템 성능 분석에 활용되는 부하 측 입구 온도의 경우 냉

방 시 12℃, 난방 시 40℃를 기준으로 함.

- 냉방 운전 시 23.1℃에서 45.6℃, 난방운전 시 4.6℃에서 29.0℃의 온도 범위가 나타나며 업체에서 제공하지 않는 온도 범위의 시스템 성능은 업체가 제공한 자료를 통해 온도와 성능계수 사이의 관계식 도출을 통해 지열 시스템 성능을 산정함.
- 난방 기간의 경우 최저 성능 4.0, 최고 성능 6.3으로 표준 성능이 4.02에 비해 모든 기간 높은 성능을 나타냄.
- 냉방 기간의 경우 전체 냉방 기간 동안 표준 성능 5.01보다 낮은 성능을 나타내며 2017년 7월과 8월 최고온도 45.6℃인 경우 성능이 2.6으로 표준 성능의 약 51% 정도의 성능 저하가 발생함.

[냉방 운전 시 지열 시스템 성능 분석]

COP	2015년			2016년			2017년			2018년		
	6월	7월	8월	6월	7월	8월	6월	7월	8월	6월	7월	8월
Max	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	2.7	2.6	2.6	3.5	2.9	2.8
Min	5.2	5.0	5.1	5.1	5.0	5.0	4.5	4.3	4.3	5.1	4.8	4.5
Average	4.4	4.3	4.4	4.4	4.4	4.3	3.8	3.7	3.6	4.7	4.2	3.9

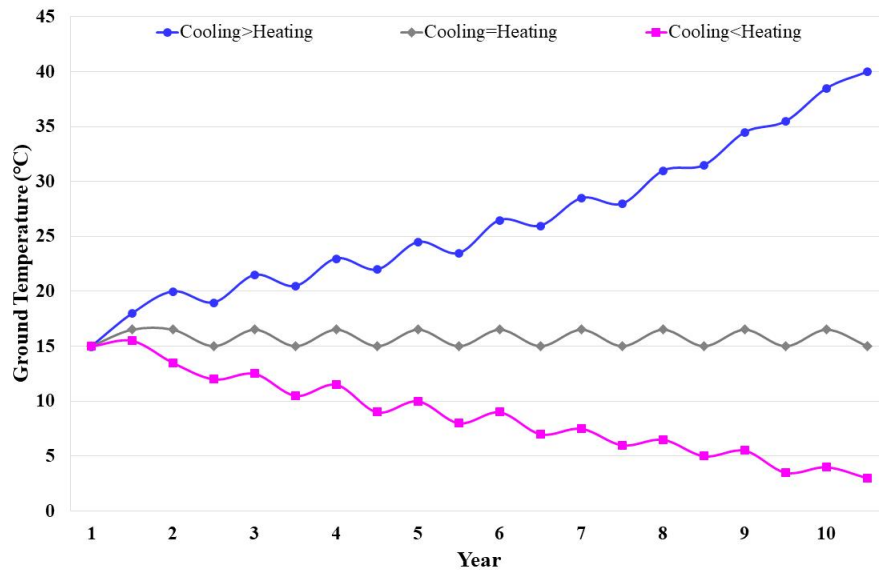
[난방운전 시 지열 시스템 성능 분석]

COP	2015년		2016년				2017년	
	11월	12월	1월	2월	11월	12월	1월	2월
Max	6.1	5.6	5.5	5.5	6.0	5.8	5.6	6.1
Min	4.4	4.1	4.0	4.1	4.3	4.3	4.2	4.2
Average	5.6	5.1	4.9	4.8	5.6	5.3	5.1	5.5
COP	2017년		2018년				2019년	
	11월	12월	1월	2월	11월	12월	1월	2월
Max	6.4	6.1	6.3	6.1	6.2	6.1	6.0	5.9
Min	4.8	4.8	4.8	4.7	4.7	4.6	4.5	4.5
Average	6.0	5.5	5.5	5.4	5.9	5.6	5.4	5.4

- 지열 시스템의 설치 및 운영 중인 건물을 대상으로 열원 측 온도 분석과 성능 분석한 결과 건물의 냉방부하와 난방 부하의 불균형으로 인해 지열 시스템운영 년 수가 증가할수록 열 축적 현상으로 인해 열원 측 온도가 증가하는 것을 확인했으며 이에 따라 지열 시스템의 성능 저하가 발생하는 것을 확인했음.
- 앞서 언급한 데로 이런 문제점은 열교환기 용량 증가 또는 보어 홀 간격 증가로 해결할 수 있지만, 경제적 측면 등의 문제로 인해 현실적으로 적용하는 데는 어려움이 있는 방법으로 본 연구에서는 이런 문제점을 해결할 수 있으며 경제적인 해결방안인 하이브리드 지열 시스템 설계 및 운영 기술을 개발하는 것을 목표로 함.

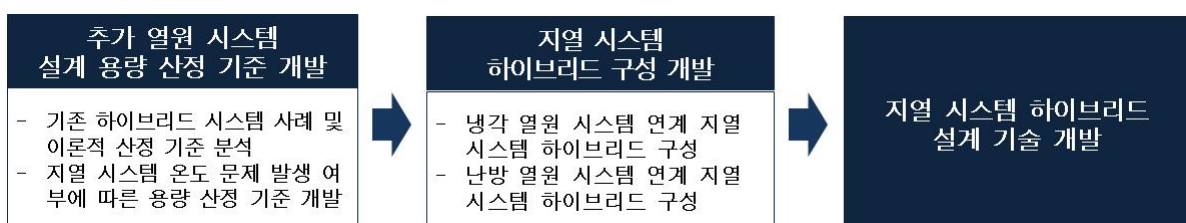
2.1 하이브리드 지열 시스템 설계기술 개발

- 지열 시스템과 다른 열원 시스템과 분리하여 단독으로 설계되는 기존의 일반 지열 시스템의 설계기술로 인한 문제점은 연중 냉방과 난방 사용량이 일정하지 않은 일반적인 건물들의 특성으로 인해 지열 시스템의 사용 경과 년 수가 증가할수록 온도의 상승 또는 하강하는 현상이 발생하며 이로 인해 지열 시스템의 성능 저하가 발생하는 것임.
- 아래 그림과 같이 냉방 사용량이 큰 경우 지열 시스템 사용 경과 년 수가 증가할수록 지중의 열 축열로 인한 온도 상승이 발생하며 난방 사용량이 큰 경우 지중의 온도 저하가 발생하는 것을 확인할 수 있음.



[냉난방 사용량 불균형에 따른 경과 년 수별 지중온도 변화]

- 본 연구에서는 열원 측 온도 문제로 인한 지열 시스템 성능 저하를 해결하기 위해 지열 시스템에 보조 냉난방 열원 시스템을 연계하는 하이브리드 지열 시스템 설계기술을 개발하며 실제 건물을 대상으로 개발 설계기술 적용을 통해 지열 시스템 성능 및 경제성 분석으로 개발기술의 타당성을 검증함.
- 본 연구의 하이브리드 지열 시스템 설계 기술개발 시 하이브리드 지열 시스템은 히트펌프 유닛, 지중 열교환기 및 지중 열원을 보충하는 냉난방 보조 열원(냉각탑, 보일러, 태양열 등)을 활용하는 시스템을 의미함. 보조 열원설비를 지열 시스템과 연계하여 지중온도의 최적 상태를 유지할 수 있으며 이를 통해 열 사용의 불균형으로 인한 지열 시스템 효율 저하 문제를 해결할 수 있음. 열교환기의 개수 또는 사이즈를 감소시킬 수 있으므로 설치비용 및 설치면적이 감소하며 경제적인 이점이 있음.
- 하이브리드 지열 시스템 설계기술 개발은 아래 그림과 같은 프로세스로 진행함. 국내외 하이브리드 지열 시스템 설계사례 및 이론적 열원 시스템 용량 산정기준 분석을 시행함. 지열 시스템과 연계되는 추가 열원 시스템의 설계용량 산정기준은 지열 시스템운영 정보 유무와 열원 측 온도 문제 발생 여부에 따라 용량 산정기준을 구분하여 개발했으며 이를 바탕으로 냉각 열원 시스템 또는 난방 열원 시스템 연계에 따른 하이브리드 지열 시스템을 구성하여 설계기술을 개발함.



[하이브리드 지열 시스템 설계기술 개발 프로세스]

2.1.1 하이브리드 지열 시스템의 추가 열원 시스템 용량 산정기준 개발

- 본 연구에서는 냉각 열원 시스템 및 난방 열원 시스템과 연계한 하이브리드 지열 시스템 설계 기술을 개발했으나 용량 산정기준과 관련해서는 냉방 운전 시 사용된 지중열이 난방운전 시 사용되는 지중열 보다 많아 냉각 열원 시스템과 연계한 하이브리드 지열 시스템을 대상으로 설명하며 난방 열원 시스템 또한 용량 산정 프로세스 및 기준은 동일하게 적용 가능함.

1) 기존 하이브리드 사례분석

- 하이브리드 지열 시스템의 추가 열원 시스템 용량 산정기준 개발을 위해 기존의 국내외 하이브리드 지열 시스템 적용 사례의 추가 열원 시스템 용량 산정기준에 대해 분석함.
- 냉각탑을 추가한 하이브리드 지열 히트펌프 시스템에서 냉각탑의 용량비율 (냉각탑 용량 ÷ 지열 히트펌프 냉방용량)은 22.0% ~ 54.6%로 나타났으며, 그 비율이 54.6%인 대학병원의 사례에서는 지열 시스템이 담당하는 냉방부하 용량이 난방 부하 용량의 147.8%로 이 비율과 거의 차이가 나지 않는 용량으로 계획되어 있는 것으로 판단되나. 공공업무시설의 경우에는 최대 냉방부하가 난방 부하의 216.6%인데 비해 냉각탑 추가용량은 지열 히트펌프 용량의 22.0%에 불과한 것으로 나타나 실제 이러한 조건에서 운전할 경우 지중온도가 상승할 것으로 예상함.

[국내외 하이브리드 지열 시스템 설계 사례분석]

건물 용도	지열 시스템 용량 (kw)	냉각탑 용량 (kw)	냉각탑 용량비율 (%)	지열 시스템 부하	비고
대학병원	1,662.0	907.0	54.6	냉방 : 1,434.8kW 난방 : 970.8kW 냉방용량 ÷ : 난방용량 = 147.8%	손병두 외, 냉각탑 병용 하이브리드 지열 히트펌프 시스템의 성능 분석, 대한기계학회 논문집, 2016
호텔	1,055.0	528.0	50.0	-	Albert R. Barfield, Hybrid Geothermal for Hotel, ASHRAE Journal, 2008
공공 업무시설	4,919.6	1,082.3	22.0	최대 냉방부하 4,919.6kW 최대 난방부하 2,270.9kW 냉방용량 ÷ : 난방용량 = 216.6%	손병후 외, 보조 히트싱크 적용 지열 히트펌프 시스템의 성능 예측, 대한설비공학회 하계학술발표대회논문집, 2013
합계	7,636.6	2,517.3	33.0		

2) 이론적 용량 산정기준 분석

- 하이브리드 지열 시스템의 추가 열원 시스템 용량 산정은 이론적으로 냉방과 난방에 사용된 지중열의 차이로 계산할 수 있으며 하이브리드 지열 시스템에서 연중 추가로 필요한 열원 시스템의 능력은 아래 식과 같이 산정할 수 있음.

$$C_{CT} = Q_C - Q_H \quad (1)$$

여기서,

C_{CT} : 하이브리드 지열 시스템에서 연중 필요한 추가 냉각 능력 (kWh/yr)

Q_C : 지열 시스템 냉방 운전 시 연중 사용된 지중열 (kWh/yr)

Q_H : 지열 시스템 난방 운전 시 연중 사용된 지중열 (kWh/yr)

- 지열 시스템 냉난방 운전 시 연중 사용된 지중열의 차로 하이브리드 지열 시스템에서 연중 필요한 추가 냉각 능력을 산정한 후 하이브리드 시스템의 연중 운전시간만 결정되면 아래 식과 같이 추가 냉각 시스템의 용량 산정이 가능함.

$$Q_{CT} = \frac{C_{CT}}{h} \quad (2)$$

여기서,

Q_{CT} : 하이브리드 지열 시스템에서 추가 냉각 시스템 용량 (kWh)

h : 연중 하이브리드 지열 시스템 추가 냉각 운전시간 (h/yr)

- 위 식의 이론적 설계용량 산정 식에 의하면 지열 히트펌프 시스템을 냉방용으로만 운전하고 난방 시에는 전혀 운전하지 않는다고 가정하면 추가 냉각 시스템의 용량은 지열 히트펌프 시스템의 용량과 같도록 선정하면 됨.
- 일반적으로 지열 히트펌프 시스템의 열원 측 입·출구 온도 차는 5℃로 설계하며, 추가 냉각 시스템인 냉각탑의 경우 냉각탑 입·출구 온도 차를 5℃로 설계하는 것이 일반적이기 때문에 열교환기의 효율이 100%라고 가정하면, 추가 냉각 시스템인 냉각탑의 용량은 아래 식과 같이 산정되며 추가 난방 시스템도 동일하게 산정이 가능함.

$$Q_{CT} = m \times \Delta T \quad (3)$$

여기서,

m : 지열 시스템 열원 측 순환수 용량

ΔT : 열원 측 입·출구 온도 차 (5℃)

- 원칙적으로 지열 시스템 설계의 가장 기본이 되는 전제 조건은 지열 냉방 운전 시 사용되는 지중열은 난방 운전 시 사용되는 지중열과 동일하다는 가정 조건에서 시작되어, 냉난방 운전 시 사용 열량의 차이가 일정 비율 이상으로 커지는 경우 지열 시스템 적용으로 인한 성능 저하 문제가 발생하는 반면, 하이브리드 설계기술 적용을 통해 이를 상당 부분 완화 시킬 수 있음.

3) 하이브리드 지열 시스템의 추가 열원 시스템 용량 산정기준 개발

- 하이브리드 지열 시스템의 추가 열원 시스템 용량 산정기준 개발을 위해 국내외 하이브리드 지열 시스템 설계사례의 추가 열원 시스템 용량비율을 분석했으나 일정하지 않은 비율을 나타냈으며 국내의 경우 용량 산정기준이 없음. 국외의 경우 이론적 용량 산정기준과 같은 원론적인 기준만 제안하며 실제 운전 자료 등을 근거한 자료는 없는 실정으로, 추가 냉각 시스템의 용량 산정의 기준은 다음과 같은 이유로 이론적 기준을 활용하는 데는 어려움이 있음.

- 시뮬레이션에 의한 냉난방 운전 시 사용되는 지중 열량은 실제 운전조건을 정확히 반영할 수 없음.
- 기후 조건의 변화에 따라 냉방요구량과 난방요구량이 매년 변화함.
- 하이브리드 시스템의 운전에 제한 (하이브리드 운전 시 오히려 시스템 전체의 성적계수 저하되는 경우)이 되는 경우가 발생할 수 있음.
- 지열 천공 간격에 따라 지중온도의 변화폭이 매우 커질 수도 있음.
- 본 연구에서는 위와 같은 다양한 변수들을 고려하고 기존의 설계사례와 설비 설계 전문가 및 지열 시스템 전문업체의 자문을 통해 추가 열원 시스템 용량 산정기준을 개발함. 추가 열원 시스템 용량 산정기준은 열원 측 온도 문제 발생이 없거나 지열 시스템의 운전 정보가 없는 신축 건물에 적용 가능한 산정기준과 실제 지열 시스템운영 시 냉난방 열 사용량의 차이가 커 온도 문제가 발생하는 건물에 적용 가능한 산정기준으로 구분하여 개발함.

① 신축 지열 시스템

- 신축 건물의 지열 시스템으로 실제 지열 시스템의 운영 정보가 없어 열원 측 온도 발생 여부의 판단이 어려운 경우 추가 냉각 혹은 난방 시스템의 용량은 아래 식으로 산정 가능하며 에너지 연간 냉방 부하 합과 난방 부하 합의 비율에 안전율을 고려하여 110%의 용량으로 결정하는 것을 제안하며 안전율은 위의 다양한 한계 조건을 고려한 값임.

$$Q_{CT} = Q_{hp} \times (Q_C / Q_H) \times \alpha \quad (4)$$

여기서,

Q_{hp} : 일반 지열 시스템 용량 (kW)

α : 안전율 (=1.1)

② 기존 지열 시스템

- 기존 건물에서 지열 히트펌프 시스템에 문제(열원 측 입구 온도의 지나친 상승 혹은 하강)가 있는 경우 열원 측 온도 문제 해결 및 시스템 성능개선을 위한 하이브리드 지열 시스템의 추가 열원 용량 산정의 기본 방식은 신축 건물의 하이브리드 시스템 용량 산정 방법과 동일함. 지중온도 개선을 위한 추가용량 비율을 추가로 고려하여 열원 측 입구 온도조건에 따른 히트펌프 운전정지가 발생하지 않는 조건 이상의 추가 냉방용량의 장비를 설치함. 여기서 지중온도 개선을 위한 추가용량 비율은 해당 건물의 지열 시스템의 열원 측 입구 온도조건을 분석하여 결정할 필요가 있으며, 그 값은 1.0 이상으로 하는 것을 제안함.

$$Q_{CT} = Q_{hp} \times (Q_C / Q_H) \times \alpha \times \beta \quad (4)$$

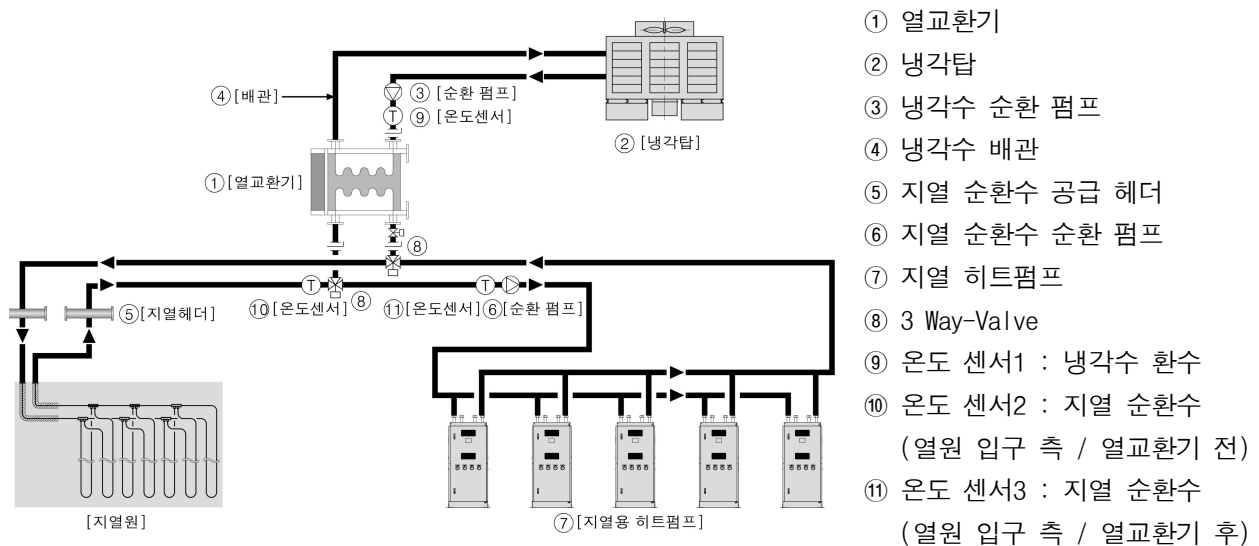
여기서,

β : 추가용량 비율 (1 이상)

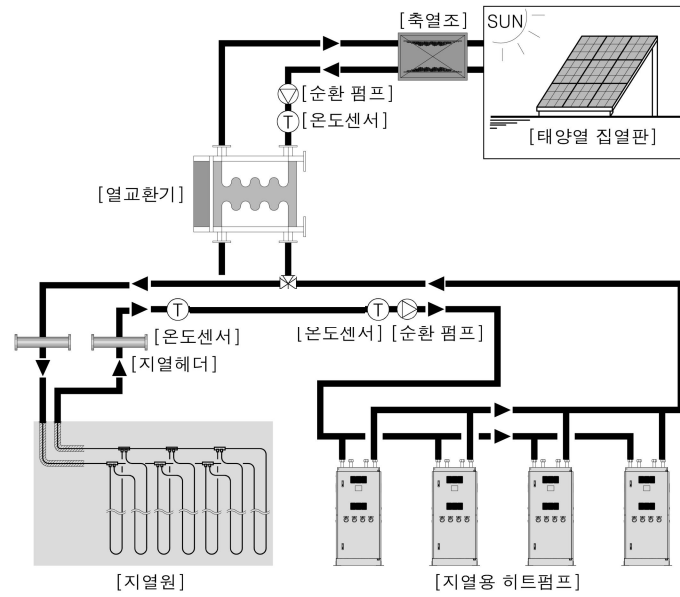
- 본 연구에서는 지중온도 개선을 위한 하이브리드 시스템의 추가 냉난방 용량은 기존 지열 히트펌프 용량의 100% 이상의 추가 냉난방 용량을 설치할 것을 제안하며, 이는 대상 건물의 지열 시스템은 운전 시 냉방 사용 열량과 난방 사용 열량의 연중 차이가 매우 크며, 지중온도의 회복을 위해서는 상당 기간 냉방 혹은 난방운전 시 지중열을 사용하지 않고 하이브리드 방식만으로 운전이 필요하기 때문임.

2.1.2 하이브리드 지열 시스템 구성

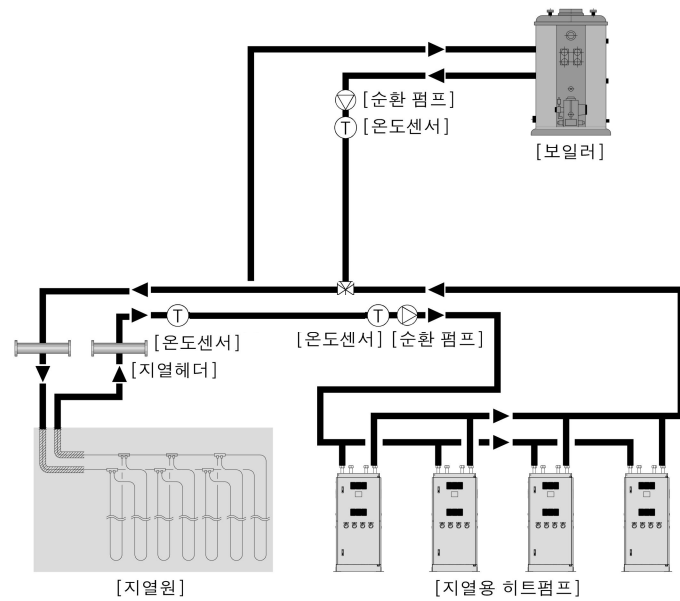
- 하이브리드 지열 히트펌프 시스템은 지열 천공 부분에서 지열 히트펌프로 공급되는 순환수 배관에서 배관을 분기하여 열교환기를 거쳐 추가 냉각 혹은 가열로 온도를 하강 혹은 상승시킨 후 다시 천공 부분으로 환수시키는 방식임.
- 하이브리드 지열 히트펌프 시스템의 기본 구성은 기본적으로 아래 장치들로 구성되며 구성은 기본적으로 동일하며 장비 용량과 배관 관경 등은 추가 냉각 혹은 추가 가열 장치의 용량에 따라 연동하여 변경됨.
 - 열교환기
 - 추가 냉각 장치(냉각탑) 또는 가열 장치(보일러, 태양열 급탕)
 - 추가 장치 순환 펌프
 - 배관
 - 계측 및 제어용 각종 밸브, 센서류와 전선
- 일반적으로 다수의 천공과 다수의 지열 히트펌프가 설치된 경우에도 열원 측 배관은 지열 공급/환수 헤더를 통해 공급되어 지열 공급 헤더에서 히트펌프로 하나의 배관으로 연결 후 분기하는 방식으로 구성되므로 하이브리드 방식인 추가 냉각 혹은 추가 가열을 위한 배관은 하나의 관으로 분기되며, 따라서 추가 냉각 혹은 추가 가열은 하나의 장치만 설치하는 것이 가능함.
- 다음의 그림은 추가 냉각 하이브리드 지열 히트펌프 시스템의 시스템 구성도(열원 흐름도)와 추가난방 방식 중 태양열 급탕 방식과 보일러 연결 방식을 나타냄.



[냉각 열원 추가형 하이브리드 지열 시스템 구성도]



(a) 태양열 추가형



(b) 보일러 추가형

[난방 열원 추가형 하이브리드 지열 시스템 구성도]

2.2 하이브리드 지열 시스템 설계기술 검증

- 개발된 하이브리드 지열 시스템 설계기술의 검증을 위해 기존의 일반 지열 시스템이 설계된 건물에 대해 하이브리드 지열 시스템 설계기술을 적용해 설계를 변경하는 사례 검토를 통해 설계기술의 타당성과 하이브리드 방식의 적용 타당성을 검토함. 하이브리드 지열 시스템 적용 타당성은 시스템 설치를 위한 추가 필요면적과 추가비용에 대해 분석하여 검증함. 하이브리드 지열 시스템 설계기술과 운영 기술의 통합적 적용에 따른 하이브리드 지열 시스템과 일반 지열 시스템의 성능 비교·분석을 통해 성능개선 (냉난방 부하 담당 능력)과 경제성 분석을 추가로 진행하여 개발 설계기술을 검증함.

2.2.1 하이브리드 지열 시스템 설계기술 적용성 검증

- 하이브리드 지열 시스템 설계기술의 적용성은 실제 지열 시스템의 설계에서 적용 가능한지와 개발된 기술을 적용했을 때 타당한지에 대해 검증함. 기존에 일반 지열 시스템이 설계된 건물을 대상으로 개발 설계기술을 적용하여 추가 필요면적 및 추가비용에 대해 분석함.

1) 건물 및 지열 시스템 개요

- 하이브리드 지열 시스템 설계 적용 분석대상이 되는 건물의 개요와 건물 전체의 냉난방 부하와 열원 방식은 다음 표와 같으며 건물 용도는 교육 연구시설로, 지하 4층, 지상 6층의 전체 연면적 18,724㎡의 규모이며 건물의 총 냉방부하는 1,800kW, 총 난방 부하는 2,240kW이며, 기본 공조방식은 FCU (Fan Coil Unit)과 외기조화기와 일부 개별냉난방 시스템 (EHP)로 구성됨. 열원설비는 흡수식 냉온수기가 기본이며 여기에 신재생 에너지로서 지열 히트펌프 시스템 (수직밀폐형)이 설치되어있고, 개별냉난방 용으로 EHP를 설치함.

[대상 건물 개요]

구분	내용
건물명	000 종합 연구 지원동 건립공사
용도	교육 연구시설
위치	서울시 종로구 연건동 28-2
대지면적	67,012㎡
층수	지하 4층, 지상 6층
면적	지하 : 9,371㎡, 지상 : 9,353㎡, 전체 : 18,724㎡

[대상 건물시스템 개요]

구분	내용
냉방부하 (kW)	1,800
난방부하 (kW)	2,240
열원시스템	지열 시스템, 흡수식 냉온수기, EHP, 온수 보일러
공조시스템	FCU, 외기조화기, EHP

- 대상 건물의 기존 지열 시스템의 상세 사양은 다음 표와 같으며 시스템의 천공방식은 수직밀폐형이며, 깊이 200m, 천공 간격 5m로 총 80공을 설치하며 지열 히트펌프 시스템이 담당하는 부하는 냉방부하 792.28kW, 난방 부하 509.64kW로 냉방부하가 난방 부하의 155.5%로 매우 크며, 전체 건물 냉난방

부하의 냉방의 경우 44.0%, 난방의 경우 22.8%를 담당함.

- 대상 건물의 지열 히트펌프 시스템은 냉방용량 177.74kW의 5대, 난방용량 172.41kW의 5대로 이는 담당해야 할 냉방부하의 112.2%, 난방 부하의 169.1%로 냉난방 운전시간을 고려하지 않는다면 냉방 시 사용되어야 할 지열 사용량이 훨씬 클 것으로 예상함.
- 설계상 성능계수는 냉방 시 성능계수는 4.76, 난방 시 성능계수는 3.69임 (열원 측과 부하 측 순환수의 입구 온도조건은 KS 성능 규격 시험 기준과 같이 냉방 시 25℃, 12℃, 난방 시 5℃, 40℃).

[대상 건물 지열 시스템 개요]

구분	내용				비고
지열 시스템 부하 조건	냉방부하	792.28kW (225.3USrt)	냉방시간	10시간	
	난방부하	509.64kW (438.3Mcal/h)	난방시간	10시간	
히트펌프 용량	냉방용량	177.74kW (50.5USrt)	냉방 소비전력	40.66kW (EER:4.76)	1대 기준, 총 5대
	난방용량	172.41kW (148.3Mcal/h)	난방 소비전력	46.78kW (COP:3.69)	
안전율	냉방	112.2%	난방	169.1%	장비 용량/부하
운전온도	냉방 부하 측	12.0℃ - 7.0℃	냉방 열원 측	25.0℃ - 30.0℃	
	난방 부하 측	40.0℃ - 45.0℃	난방 열원 측	5.0℃ - 0.0℃	
유량	부하 측	550.0 LPM	열원 측	550.0 LPM	
기타	형식	스크롤	냉매	R-410A	
지중 열교환기	방식	수직밀폐형	수량	80공	
	지름	Ø150	간격	5m	
	깊이	200 m	PE 수직관	50 A	
지열원 순환 펌프	형식	인라인	대수	5	1대 예비
	용량	590 LPM x 23.7m x 5.5 kW			
소비전력	냉방 시	230.8kW	난방 시	261.4kW	히트펌프+지열 순환 펌프

2) 하이브리드 지열 시스템 설계기술 적용

- 검증 대상으로 선정된 건물의 경우 지열 히트펌프 시스템이 담당하는 냉방부하는 792.28kW, 난방 부하는 509.64kW로 냉방부하가 난방 부하의 155.5%로 매우 큼.
- 연중 에너지 Simulation을 실시하여 상세 분석을 할 필요가 있으나, 냉난방 운전시간이나 부하 비율이 동일하다면 냉방 시 사용되는 지중열이 난방 시 사용되는 지중열에 비해 훨씬 많으며, 이는 결국 연중 열평형의 이루어지지 않아 지중온도는 지열 히트펌프의 운전 년 수가 증가 됨에 따라 지속적으로 상승할 것으로 예상함.
- 따라서 본 연구에서 제안한 하이브리드 지열 시스템 설계기술 적용으로 열원 측 온도 상승 및 이에 따른 지열 시스템 성능 저하 문제를 개선할 수 있을 것이라 예상함.
- 다음의 표는 상기 건물에 냉각 추가형 하이브리드 방식의 시스템 설계를 위한 추가설치 장비 사양을 나타냄.

구분	내용				비고
냉각탑	용량	250CRt	대수	1대	
	형식	직교류형	유량	152m³/h	
	입·출구 온도	30℃ - 35.0℃	소비전력	30.0kW	
	송풍기	Axial Fan	전원	3-380-60	
냉각수 순환 펌프	형식	인라인 펌프	대수	2	1대 예비
	용량	2,533LPM x 22m x 30.0kW			152m³/hr
	전원	3-380-60			
열교환기	형식	판형	교환 열량	250 USrt	
	지중열 측	31.0℃ - 36.0℃	냉각탑 측	35.0℃ - 30.0℃	
	유량	152m³/h	사용압력	10kg/cm²	

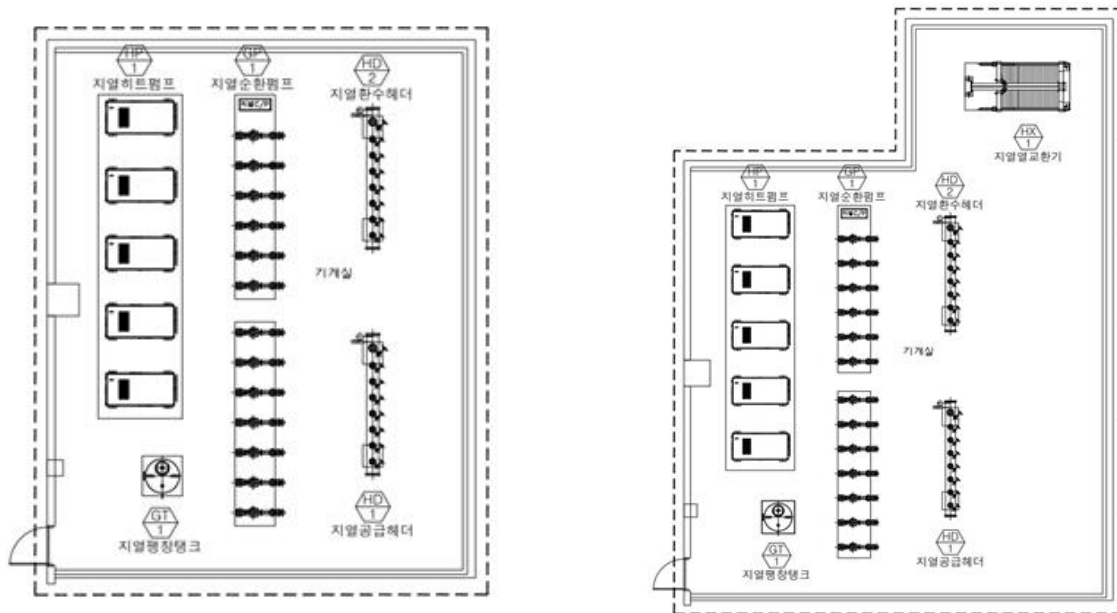
- 추가 냉각 시스템의 기본이 되는 냉각탑은 용량 250CRt, 유량 152m³/h로 기존 지열 히트펌프 시스템 용량과 거의 동일한 용량의 추가 냉각 시스템을 선정함.
- 이는 계산된 냉방부하가 난방 부하의 155.5%로 매우 커서, 지열 히트펌프 운전 시 연중 일정 기간은 하이브리드 시스템으로만 운전이 필요할 수도 있으며, 본 절에서는 적용 타당성 검토를 위해 추가 설치되는 하이브리드 시스템의 최대 용량을 선정하여 검토하기 위함임.

3) 하이브리드 지열 시스템 설계기술 적용성 검증

- 대상 건물에 적용한 하이브리드 지열 시스템 설계기술의 적용성을 검증하기 위해 하이브리드 시스템 설치 시 필요한 추가면적과 추가비용에 대해 분석함.

① 추가설치 면적 분석

- 기존 지열 시스템에 냉각 추가형 하이브리드 지열 시스템을 적용하기 위해서는 기본적으로 열교환기, 냉각탑, 냉각수 순환 펌프가 설치되어야 하며, 이들의 연결 배관과 각종 센서, 밸브류가 설치되어야 함.
- 이중 열교환기, 냉각수 순환 펌프 및 연결 배관 등이 기계실에 설치되며, 냉각탑까지 연결되는 입상 배관 2 Line (공급 배관, 환수 배관)이 수직 샤프트에 설치되며 냉각탑은 일반적으로 옥탑에 설치되게 됨.
- 개발 하이브리드 지열 시스템 설계기술 적용성 검증을 위해 대상 건물에 대해 하이브리드 시스템 설치 전후의 기계실 배관을 작성하고 필요면적을 분석함. 아래 그림은 하이브리드 시스템 설치 전후의 각각의 시스템에 필요한 장비 배치와 필요공간을 분석한 내용임.
- 기존 지열 시스템의 경우 기계실 필요면적이 약 135m²인데 비해 하이브리드 방식은 약 195m²이 필요해 추가로 필요한 면적은 약 60m²로 기존 지열 시스템 기계실 면적의 약 144%가 필요함.
- 그러나 이 추가면적은 건물 전체 연면적으로 비교해 볼 때는 0.32%에 불과하여 건물 전체를 고려할 때 매우 작은 면적으로, 설치공간으로 인해 하이브리드 시스템 도입에 문제가 되지는 않는다고 판단됨.
- 또한, 입상 배관을 위한 샤프트 추가 필요공간은 약 1.0m²면 충분하며, 옥탑에 냉각탑을 추가하는 설계 기본계획 시부터 고려하면 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단됨.



(a) 기존 지열 시스템 (135 m²)

(b) 하이브리드 지열 시스템 (195 m²)

[지열 시스템 기계실 장비 및 배관 설치 필요면적 분석]

② 추가비용 분석

- 기존 지열 히트펌프 시스템의 직접공사비와 하이브리드 방식을 추가한 지열 시스템의 직접공사비를 산정함.
- 아래의 표와 같이 기존 지열 히트펌프 시스템에 250CRt 용량의 냉각 시스템 추가 하이브리드 방식을 추가하기 위한 직접공사비 추가비용은 약 1억5342만 원으로, 기존 일반 지열 시스템의 17.3%가 추가됨.

[기존 지열 시스템과 하이브리드 지열 시스템의 공사비]

품명	일반 지열 시스템	하이브리드 지열 시스템	차액
010101 기계실 장비 설치	196,854,229	252,850,751	55,996,522
010102 기계실 배관 설치	66,931,630	66,931,630	-
010103 지중 열교환용 배관설치	528,308,920	528,308,920	-
010104 옥외 지열 배관설치	63,641,586	63,641,586	-
010105 냉각수 배관설치	-	97,424,464	97,424,464
010106 자동제어 설치	30,702,731	30,702,731	-
합계	886,439,096	1,039,860,082	153,420,986
비율	100.0%	117.3%	17.3%

- 대상 건물 전체의 기계설비 부분의 직접공사비가 약 69억4,000만 원과 비교하면 하이브리드 방식을 위한 추가 공사비는 전체 기계 공사비의 2.21%에 불과하며, 기계설비 공사비를 전체 공사비의 20%로 가정하면 전체 공사비 대비 0.44%로 그 비율이 매우 적어 공사비에 미치는 영향이 크지 않아 시스템 도입에 문제가 되지는 않는다고 판단됨.
- 더욱이 대상 건물의 하이브리드 시스템은 일반적 하이브리드 시스템 적용용량의 최대 비율을 적용한 것으로, 제안된 기준대로 설계할 경우 추가 필요면적이나 추가 공사비도 크게 줄어들어 하이브리드 시스템 도입의 타당성이 더욱 높아질 것으로 예상함.

2.3 하이브리드 지열 시스템 운영 기술개발

- 본 연구에서는 기존의 지열 시스템운영 기술의 낮은 활용성 및 부하분담률을 개선하며 시스템 성능을 향상하기 위한 하이브리드 지열 시스템 운영 기술을 개발하며 효율적인 운영을 위한 지열 시스템 효율 향상 운영 알고리즘을 개발함.
- 국내의 하이브리드 지열 시스템 운영 기술의 경우 열원 입구 측 온도를 기준으로 하이브리드 시스템의 가동 여부를 결정하는 방식¹⁾으로 주로 운영됨. 지열 시스템의 냉방 운전 시 열원 측 입구 온도가 상승하는 경우 성능 저하가 발생하며 하이브리드 시스템 가동으로 이런 문제점을 해결할 수 있다고 이론적으로 예상하나 기존의 방식으로 하이브리드 시스템 가동 여부를 결정했을 때 하이브리드 시스템운영 시 지열 시스템 단독 운전대비 성능이 향상된다는 것을 직접적으로 확인할 수 없음.
- 본 연구에서는 하이브리드 지열 시스템의 운전조건 선정 시 지열 시스템 성능을 활용하기 위해 열원 측 온도를 활용한 지열 시스템 성능 산정기준 및 하이브리드 지열 시스템 운영 시 성능 산정기준을 개발함. 성능을 활용해 하이브리드 지열 시스템 운영 기술을 개발했으며 현장적용 시 현장의 규모 및 시스템의 방식 등 여러 조건에 따라 제어 기준 등이 일부 수정될 수 있으나 기본적인 프로세스 및 알고리즘은 동일함.
- 지열 시스템의 효율 향상 운영 알고리즘의 경우 개발한 인공지능망 기반 성능예측기술을 활용해 운영 시 실시간 성능을 확인하여 지열 시스템의 고장 및 성능 저하에 빠르게 대응해 지열 시스템의 성능 향상 및 에너지 절감이 가능한 운영 알고리즘을 개발함.

2.3.1 하이브리드 지열 시스템 운영 기술개발

- 지열 시스템의 방식 및 운영 조건 등이 적용 시스템별로 상이함에 따라 본 연구에서는 제한된 조건에서 하이브리드 운영 기술을 개발함.

① 하이브리드 시스템(추가 가열 혹은 냉각 시스템)은 On-Off 방식으로 운전함.

- 지열 입구 측 순환수의 온도는 일정 온도를 유지해야 하는 것이 아니고 냉방 시에는 낮을수록, 난방 시에는 높을수록 시스템 효율이 높아지기 때문에 추가 냉각 또는 가열 시스템은 비례제어 운전을 하지 않고 정지 or 100% 운전 방식으로 함.
- 제어 밸브는 비례제어가 가능할 수 있는 삼방 밸브(3-Way Valve)를 설치함.

② 지열 히트펌프 부하 측 입구 온도가 설계 기준온도보다 높은 경우 하이브리드 시스템을 운전함.

- 지열 히트펌프 부하 측 입구 온도가 설계 기준온도(예 12℃)보다 높아진다는 것은 지열 히트펌프 시스템이 건물에서 필요로 하는 냉방부하를 처리하지 못하고 있다는 의미이며, 이는 설계와 시공상 문제가 없다면 지열 입구 측 순환수의 온도가 높아져 시스템 효율이 떨어지고 지열 히트펌프가 충분한 성능을 발휘하지 못하는 것을 의미.
- 이 경우는 비용과 관계없이 하이브리드 시스템으로 추가 냉각이 가능하다면 하이브리드 시스템을 가동해야 함.

③ 하이브리드 시스템은 하이브리드 시스템 운전 시 소비동력이 하이브리드 시스템 미운전 시 소비동력보다 적은 경우에만 운전함.

- 하이브리드 시스템을 운전하기 위해서는 냉각탑 팬과 냉각수 순환 펌프가 가동되어야 하며, 이 동력이 적지 않기에 하이브리드 시스템 운전에 따라 지열 히트펌프의 COP가 향상되어 절감되는 동력이 하이브리드 운전에 따른 동력보다 커야만 경제적으로 유리함.

1) 손병두 외, “냉각탑 병용 하이브리드 지열 히트펌프 시스템의 성능 분석”, 대한기계학회 논문집, 2016.3

1) 지열 시스템 성능 산정기준 개발

- 하이브리드 지열 시스템 운영 기술개발을 위해 지열 시스템 성능 산정기준을 개발함. 지열 시스템 성능 산정기준은 지열 시스템의 제조업체에서 제공하는 성능 데이터를 활용한 방법과 지열 시스템 성능 측정 실험 데이터 분석을 통해 지열 시스템의 열원 측 온도를 통해 성능을 산정하는 산정기준 개발함.
- 지열 시스템 제조업체의 성능 데이터 분석을 통해서 열원 측 입구 온도를 통해 성능산정이 가능함. 제조업체에서 제공하는 온도 범위의 한계로 인해 성능 측정 실험을 진행하여 열원 측 입구 온도 및 출구 온도를 활용한 성능산정 수식을 도출하며 이를 활용해 산출되는 기준온도 대비 성능 비율로 성능을 산정하는 기준을 개발함.

(1) 지열 시스템 제조업체 성능 데이터 분석

- 지열 히트펌프는 KS B 8292 기준에 의해 성능시험을 하며, 이에 따라 제조업체는 용량 산정을 위한 열원 측 입구 온도 기준온도(냉방 시 25℃, 난방 시 5℃)에 대한 제품의 성능을 제시하고 있으나, 실제 운전 시에는 이 온도조건으로 유지되지 않아 열원 측 입구 온도에 따른 COP 산정기준이 정해지고, 이 수식 혹은 값이 자동제어 시스템에 미리 입력되어 있어야 함.
- 국내 지열 히트펌프 제조업체인 L사의 경우 열원 측 입구 온도와 부하 출구 측 온도에 따른 성능계수 자료를 제공하고 있으며, 이를 근거로 아래와 같은 회귀식을 산정하여 열원 측 입구 온도에 따른 성능계수를 산정하는 것이 가능함.

- 냉방 운전 시 성능계수 산정

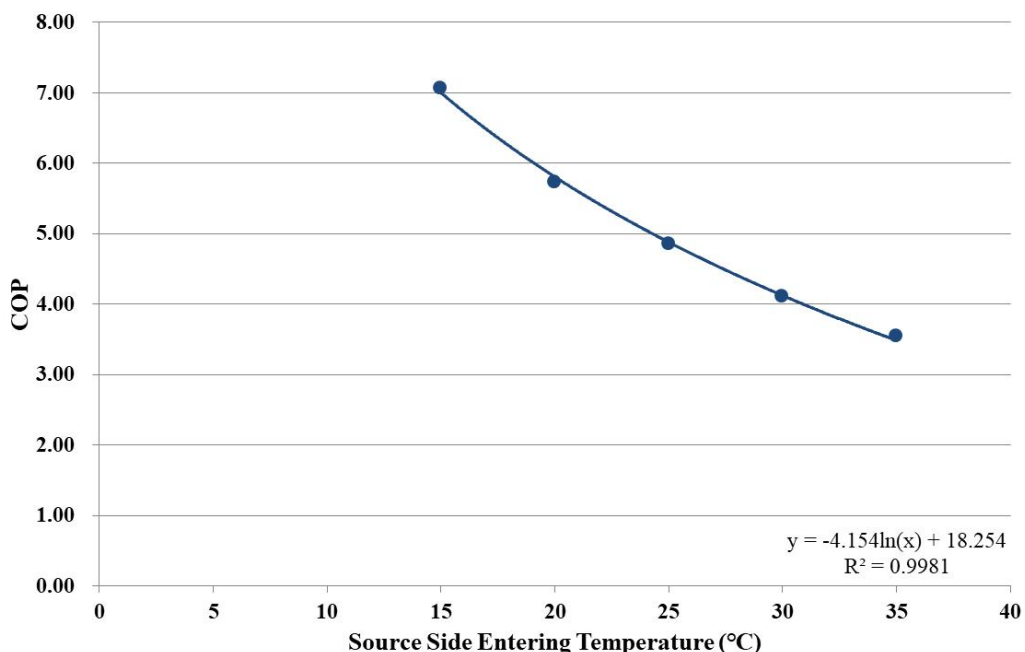
: 지열 히트펌프 제조업체에서 제공하는 열원 측 입구 온도와 성능 사이의 관계를 분석했으며 부하 측 입구 온도의 경우 12℃ 기준 데이터로 분석을 함.

: 냉방 운전 시 열원 측 입구 온도가 증가함에 따라 성능이 저하되는 것을 확인할 수 있으며 아래 식을 통해 열원 측 입구 온도를 통해 냉방 성능계수 산출이 가능함.

$$COP = 4.154 \ln(T_s) + 18.254 \quad (3)$$

여기서,

T_s : 열원 측 입구 온도(℃)

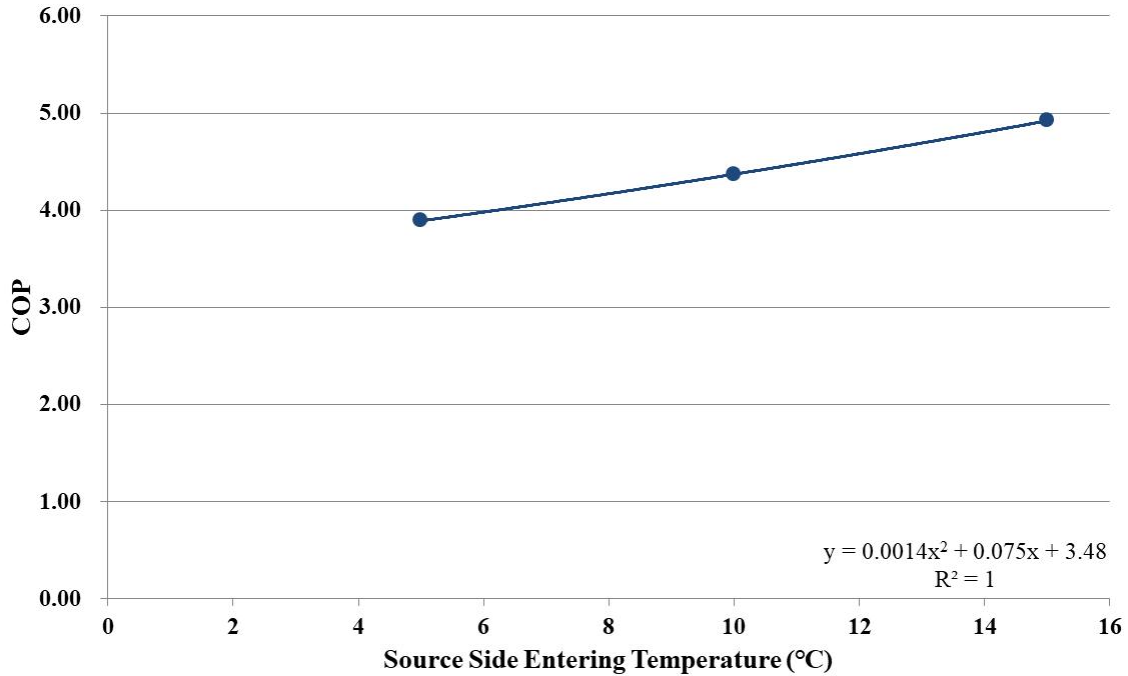


[냉방 운전 시 열원 측 입구 온도에 따른 성능]

- 난방운전 시 성능계수 산정

- : 지열 히트펌프 제조업체에서 제공하는 열원 측 입구 온도와 성능 사이의 관계를 분석했으며 부하 측 입구 온도의 경우 40℃ 기준 데이터로 분석을 함.
- : 난방 운전 시 열원 측 입구 온도가 낮아질수록 따라 성능이 저하되는 것을 확인할 수 있으며 아래 식을 통해 열원 측 입구 온도를 통해 난방 성능계수 산출이 가능함.

$$COP = 0.0015 * (T_s)^2 + 0.075 * T_s + 3.48 \quad (3)$$



[난방운전 시 열원 측 입구 온도에 따른 성능]

- 지열 히트펌프 제조업체에서 히트펌프의 다양한 온도조건에 따른 성능자료를 제공한다면 위와 같은 방법으로 온도에 따라 성능을 산정하는 식을 구해 자동제어 등에 활용할 수 있음.
- 일반적으로 대부분의 제조업체에서 관련 자료를 제공하지 않으며 제공하는 온도조건의 범위가 실제 지열 시스템 운영 시 발생하는 온도 범위에 비해 한정적이기 때문에, 정확도가 저하되거나 구할 수 없는 문제가 발생함.
- 따라서, 본 연구에서는 기준온도 대비 성능계수 비율을 산정하여 제조업체에서 제공하는 기준온도에서의 성능계수 자료에 각 비율을 적용해 여러 온도조건에 따른 성능계수 산정하는 방법을 제안함.
- 일반적으로 제조업체에서 제공하는 표준 성능계수는 KS 지열 히트펌프 용량 산정 기준온도에서의 성능계수이기에 비율 산정 시 이 온도 (냉방 운전 : 25℃, 난방운전 : 5℃)를 기준으로 함.

[열원 측 입구 온도에 따른 성능계수 비율 산정 (냉방 운전)]

열원 측 입구 온도 (℃)	성능계수	열원 측 입구 온도 대비 비율 (%)	비고
15	7.07	146	
20	5.73	118	
25	4.85	100	기준온도
30	4.11	85	
35	3.54	73	
40	2.93	60	
45	2.44	50	

[열원 측 입구 온도에 따른 성능계수 비율 산정 (난방운전)]

열원 측 입구 온도 (℃)	성능계수	열원 측 입구 온도 대비 비율 (%)	비고
5	3.89	100	기준온도
10	4.37	112	
15	4.92	126	
20	5.54	142	
25	6.23	160	
30	6.99	180	

- 산출된 비율 값은 부하 측 입구 온도가 일정하다는 가정으로 구해진 것으로 하이브리드 지열 시스템 운영 시 지열 시스템과 하이브리드 시스템의 효율을 비교하는 데 활용하는 데는 부하 측 입구 온도가 일정하다고 가정해도 문제가 되지 않음.
- 하지만 실제 운영 시 부하 측 온도가 일정하지 않기 때문에 실제 운영 상황에 맞춰 열원 측 온도와 부하 측 온도를 모두 고려한 비율을 산정하고자 함.

(2) 지열 시스템 성능 측정 실험 데이터 분석

- 앞서 지열 시스템 제조업체에서 제공하는 성능 데이터 분석을 통해 개발한 하이브리드 지열 시스템 운영 기술개발을 위한 지열 시스템 성능 산정기준은 열원 측 입구 온도만을 고려한 기준으로 실제 지열 시스템 운영 시 열원 측 입구 온도뿐만 아니라 부하 측 입구 온도 또한 변화하기에 실제 운영 상황에 적용성이 높은 지열 시스템 성능 산정기준을 개발하고자 함.
- 지열 시스템 제조업체에서는 제공하지 않는 열원 측 온도 및 부하 측 온도조건 상황에 따른 성능 분석을 위해 Test-Bed 기반으로 지열 시스템 성능 측정 실험을 시행했으며 성능 측정에 사용한 히트펌프 개요는 아래 표와 같음.

[성능 측정에 사용한 히트펌프 개요]

구분	냉방	난방
용량 (kW)	190.61	178.93
소비동력 (W)	38.03	44.52
유량 (LPM)	600	
성능	5.01	4.02

- 온도의 변화에 따른 성능 실험을 위해 열원 및 부하 측과 열원 측을 모사하기 위해 항온 탱크를 히트펌프에 연결해 사용하며 공랭식 보조 열원을 통해 냉·난방 열원공급 및 온도 유지에 활용하며 실험 시스템 개요는 아래 표와 같음.

[성능 측정을 위한 시스템 개요]

구분	용량	비고
열원 탱크	18.7 Ton	열원 측 순환 유량 : 5~100 Ton
부하 탱크	18.7 Ton	부하 측 순환 유량 : 5~100 Ton
보조 열원	10 HP	공랭식 히트펌프

- 성능 평가를 위해 입·출구 온도 차이와 유량, 소비동력 등 지열 히트펌프 성능에 영향을 미치는 요소와 외기의 온도 등을 1분 간격으로 측정함. 열원 및 부하 측 입·출구 온도는 RTD 온도 센서를 활용하며 데이터 로거로 저장함. 부하 및 열원 측 항온조 시스템과 수 배관라인에 설치된 유량계를 통

해 유량을 측정하며 히트펌프에 전력량계 설치를 통해 소비동력을 측정함. 실험에서 측정된 측정 항목과 측정 장치는 아래 표와 같음.

[측정 항목 및 장치]

측정 항목	측정 장치
열원 측 입 · 출구 온도	PT100
부하 측 입 · 출구 온도	PT100
히트펌프 소비동력	AC 2A-3000A
열원 측 유량	FMAG5000
부하 측 유량	FMAG500
외기 온도	HOB0 U12
외기 습도	HOB0 U12
데이터 저장	MV2000



[성능 측정 Test-Bed]



(a) 열원 및 부하 탱크



(b) 보조 열원

[성능 측정 실험 시스템]



(a) 데이터 측정 장비



(b) 전력량 측정 장비

[성능 측정 실험 측정 장비]

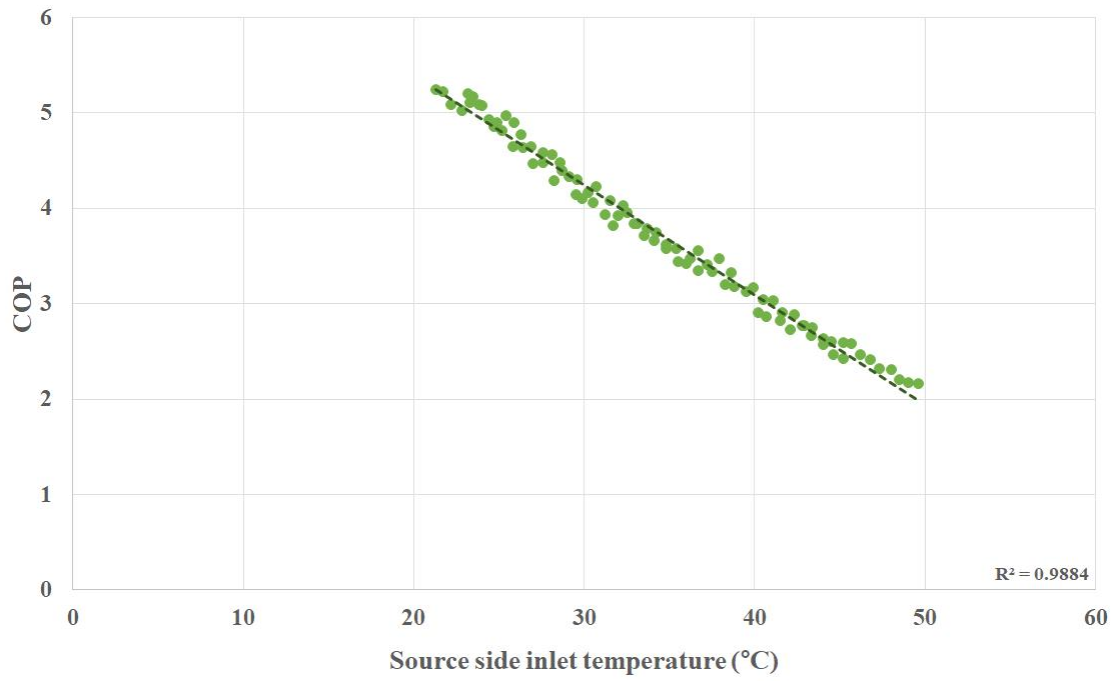
- 실제 운영 상황을 고려한 더 넓은 범위의 열원 측 입구 온도조건에서 성능 평가를 위해 난방운전 시 8.1~26.8℃, 냉방 운전 시 20~49℃ 범위에서 열원 측 입구 온도를 변화시키며 각 항목을 측정했으며 아래 순서대로 실험을 진행함.

- 열원 및 부하 측 수조 내의 물을 순환시키며 초기 설정 온도까지 가열 또는 냉각
- 히트펌프와 열원 측 수조를 연결하는 각종 밸브를 개통해 물을 순환
- 히트펌프 열원 측 입구에서 물의 온도 및 유량을 실험 조건에 맞게 설정
- 히트펌프와 부하 측 수조를 연결하는 각종 밸브를 개통해 물을 순환
- 히트펌프 부하 측 입구에서 물의 온도 및 유량을 실험 조건에 맞게 설정
- 정상상태에 도달 시 측정 주기에 따라 히트펌프 성능 도출에 필요한 각 측정 항목을 측정하여 기록

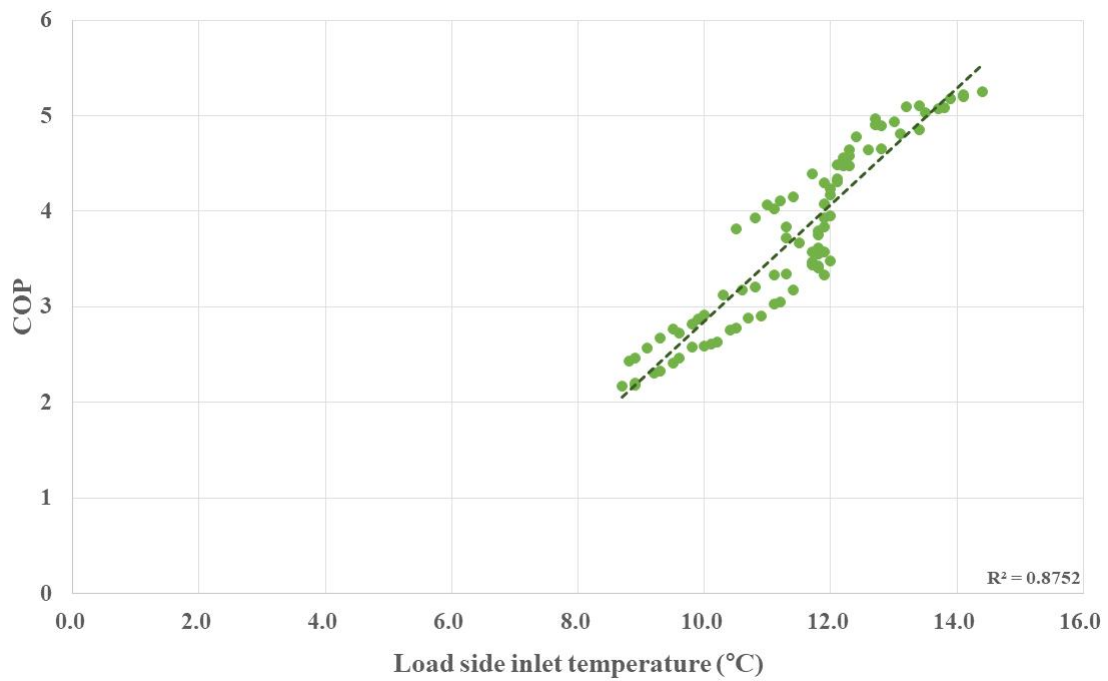
- 성능 측정 실험을 통해 얻은 데이터를 활용한 지열 시스템 성능 산정기준을 개발하는 방법은 이전의 지열 시스템 제조업체 성능 데이터를 활용한 성능 산정기준 개발과 동일하게 진행했으며 열원 측 입구 온도 및 부하 측 입구 온도와 성능계수 사이의 관계 분석을 통해 성능계수를 산출하는 수식을 도출.
- 도출된 식을 통해 여러 온도조건에서의 성능을 산출한 후 열원 측 온도에 따른 기준온도 대비 성능 비율을 산정함. 기준온도는 KS 지열 히트펌프 용량 산정 기준온도 (냉방 운전 : 25℃(열원 측) 12℃(부하 측), 난방운전 : 5℃(열원 측), 40℃(부하 측))로 설정함.

- 냉방 운전 시 성능 산정기준

: 지열 히트펌프 제조업체에서 제공하는 열원 측 입구 온도와 성능 사이의 관계를 분석했으며 열원 측 입구 온도가 증가함에 따라 성능이 저하되며 부하 측 입구 온도와는 반대 현상을 확인할 수 있으며 아래 식을 통해 열원 측 입구 온도를 통해 냉방 성적계수 산출이 가능함.



[냉방 운전 시 열원 측 입구 온도에 따른 성능]



[냉방 운전 시 부하 측 입구 온도에 따른 성능]

$$COP = -9.46 + 3.17 * T_L - 0.13 * (T_L)^2 - 0.29 * T_s + 0.003 * (T_s)^2 \quad (3)$$

여기서,

T_s : 열원 측 입구 온도(°C)

T_L : 부하 측 입구 온도(°C)

: 열원 및 부하 측 입구 온도를 통한 성능 산출 수식을 바탕으로 기준온도에서의 성능계수 자료에 각

비율을 적용해 여러 온도조건에 따른 성능계수 산정하는 방법을 제안하며 온도조건별 비율 값은 아래와 같음.

[열원 및 부하 측 입구 온도에 따른 성적계수 비율 산정 (냉방 운전)]

부하 측 입구 온도 (℃)	열원 측 입구 온도 (℃)	성적계수	기준온도 대비 비율 (%)	비고
10	15	5.57	115	
	20	4.90	101	
	25	4.33	89	
	30	3.83	79	
	35	3.38	70	
	40	2.50	52	
	45	2.26	47	
12	15	7.07	146	
	20	5.73	118	
	25	4.85	100	기준온도
	30	4.11	85	
	35	3.54	73	
	40	3.30	68	
	45	3.06	63	

: 열원 측 온도를 기준으로 성적계수 비율을 구하는 수식은 아래와 같으며 성적계수 비율을 기준온도 (부하 측 입구 온도 12℃ 기준)에서의 성능과의 곱을 통해 열원 입구 온도에 따른 성능산정이 가능함.

$$Ratio_{COP} = -85.66 \ln(T_S) + 376.37 \quad (4)$$

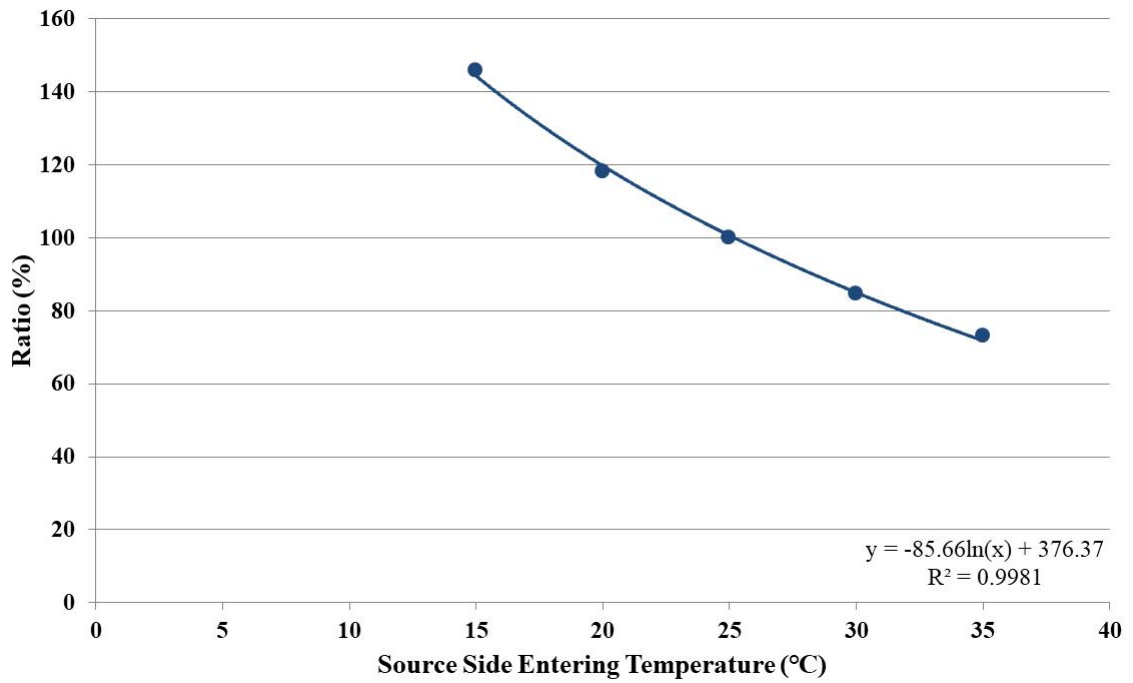
$$COP = COP_{standard} * Ratio_{COP} \quad (5)$$

여기서,

$Ratio_{COP}$: 열원 측 입구 온도에 따른 성적계수 비율

T_S : 열원 측 입구 온도

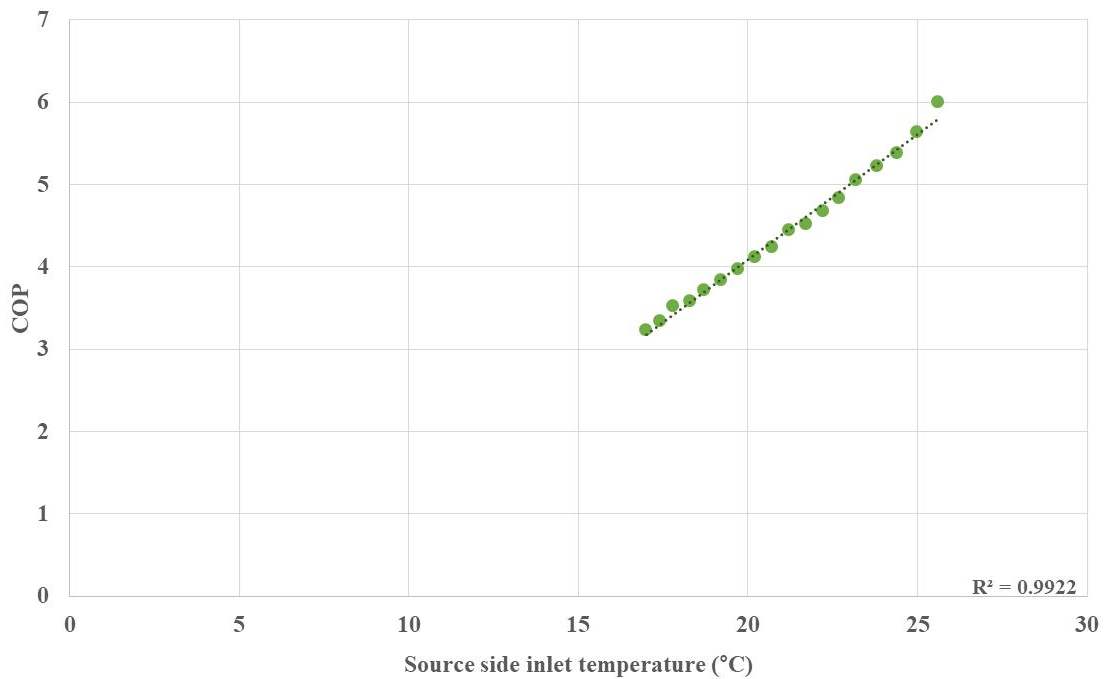
$COP_{standard}$: 기준 성적계수 (기준온도에서의 성적계수)



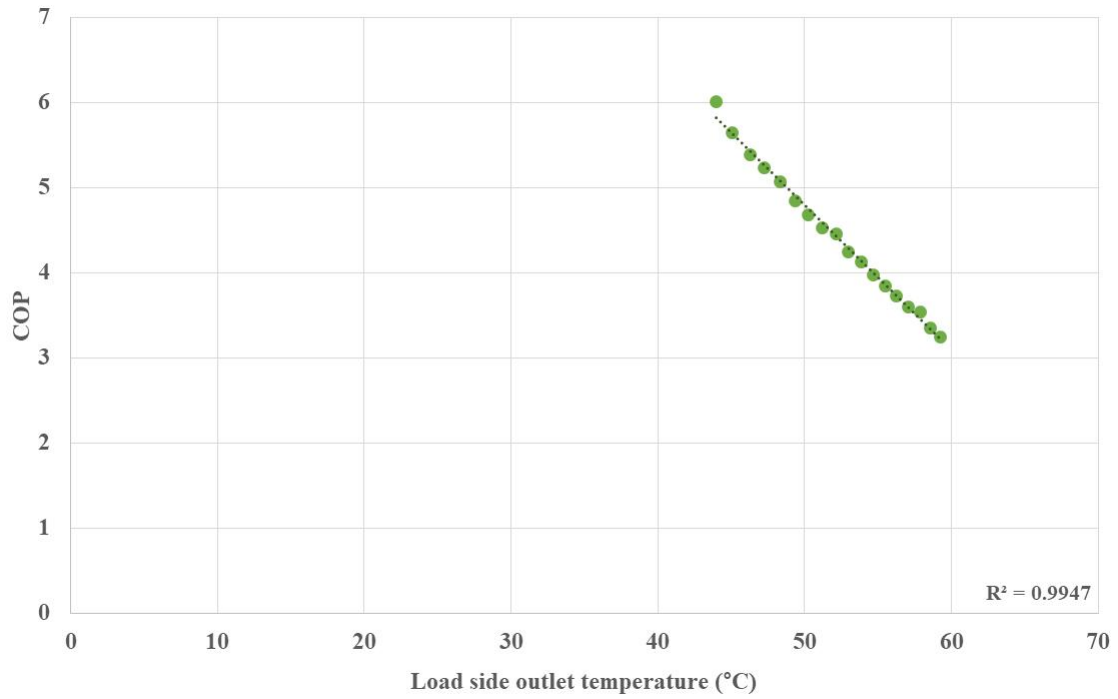
[냉방 운전 시 열원 측 입구 온도에 따른 성능 비율]

- 난방운전 시 성적계수 산정

: 지열 히트펌프 제조업체에서 제공하는 열원 측 입구 온도와 성능 사이의 관계를 분석했으며 열원 측 입구 온도가 증가함에 따라 성능이 향상되며 부하 측 입구 온도와는 반대 현상을 확인할 수 있으며 아래 식을 통해 열원 측 입구 온도를 통해 난방 성적계수 산출이 가능함.



[난방운전 시 열원 측 입구 온도에 따른 성능]



[난방운전 시 부하 측 입구 온도에 따른 성능]

$$COP = 0.56 + 0.26 * T_L - 0.004 * (T_L)^2 - 0.13 * T_s + 0.007 * (T_s)^2 \quad (6)$$

여기서,

T_s : 열원 측 입구 온도(°C)

T_L : 부하 측 입구 온도(°C)

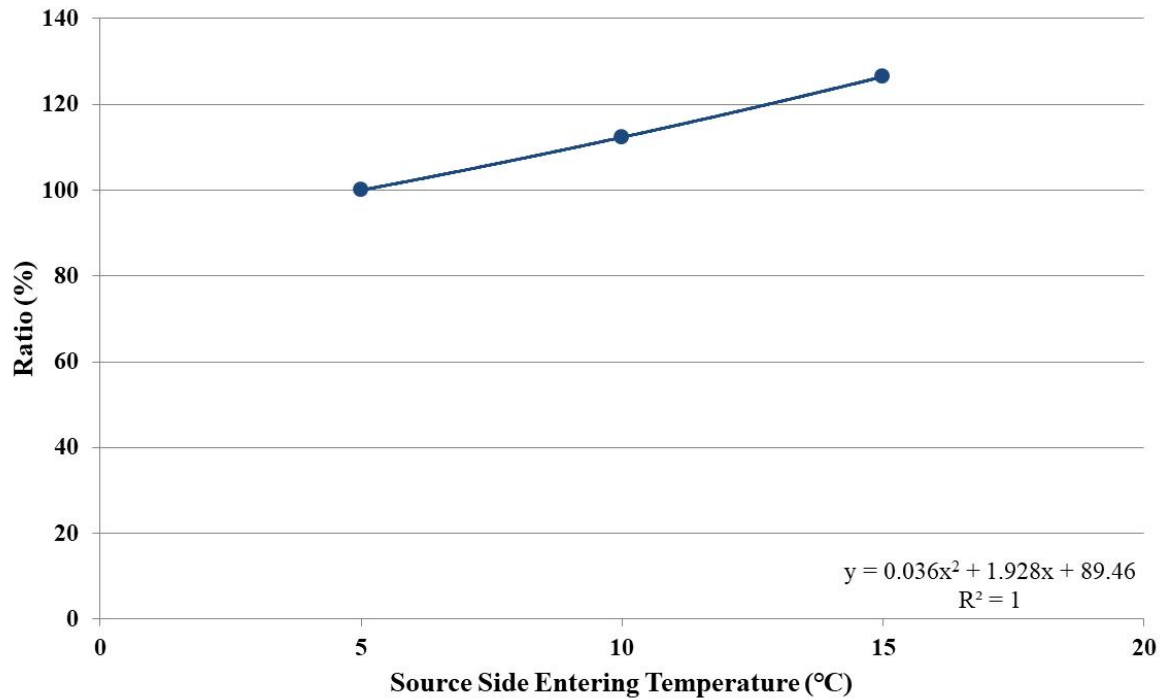
: 열원 및 부하 측 입구 온도를 통한 성능 산출 수식을 바탕으로 기준온도에서의 성능계수 자료에 각 비율을 적용해 여러 온도조건에 따른 성능계수 산정하는 방법을 제안하며 온도조건별 비율 값은 아래와 같음.

[열원 및 부하 측 입구 온도에 따른 성능계수 비율 산정 (난방운전)]

부하 측 입구 온도 (°C)	열원 측 입구 온도 (°C)	성능계수	기준온도 대비 비율 (%)	비고
40	5	3.89	100	기준온도
	10	4.37	112	
	15	4.92	126	
	20	5.00	129	
	25	5.86	151	
	30	7.07	182	
45	5	3.51	90	
	10	3.88	99	
	15	4.28	110	
	20	4.68	120	
	25	5.55	143	
	30	6.75	174	
50	5	3.16	81	
	10	3.45	89	
	15	3.78	97	
	20	4.17	107	
	25	5.04	130	
	30	6.25	161	

: 열원 측 온도를 기준으로 성적계수 비율을 구하는 수식은 아래와 같으며 성적계수 비율을 기준온도 (부하 측 입구 온도 40℃ 기준)에서의 성능과의 곱을 통해 열원 입구 온도에 따른 성능산정이 가능함.

$$Ratio_{COP} = 0.036*(T_s)^2 + 1.928*T_s + 89.46 \quad (7)$$



[난방운전 시 열원 측 입구 온도에 따른 성능 비율]

- 본 연구에서 개발한 열원 및 부하 측 온도에 따른 기준온도 대비 성능계수 비율에 따라 지열 시스템과 하이브리드 시스템의 효율 비교에 활용할 수 있으며 이를 통해 하이브리드 지열 시스템 운영 기술에서 하이브리드 시스템 운전 여부를 판단하는 기준으로 활용 가능함.

2) 하이브리드 지열 시스템 운영 기술개발을 위한 하이브리드 시스템 성능 산정기준 개발

- 지열 시스템 하이브리드 운영 시 하이브리드 시스템의 성능 산정 방법은 하이브리드 시스템을 운전하지 않는 지열 시스템의 성능 산정기준과 같음.
- 하이브리드 시스템운영 시 추가되는 냉방 또는 난방 시스템에 의해 지열 시스템의 열원 측 입구 온도가 변화되기 때문에, 하이브리드 시스템 성능 산정 시 열원 측 입구 온도의 변화 정도를 고려해야 함.
- 본 연구에서는 이를 위해 외기 습구온도에 따른 추가 시스템(냉각탑)의 입·출구 온도 차를 선정하고 이에 따른 지열 시스템 열원 측 입구 온도를 산정하는 방법을 제안함.

(1) 외기 습구온도에 따른 냉각탑 입·출구 온도 차 산정기준

- 냉각탑 입·출구 온도는 외기 습구온도와 냉각탑 제조업체의 성능자료를 이용하여 산정할 수 있음.
- 냉각탑의 경우 표준 조건 냉각수 입구 온도 37℃, 냉각수 출구 온도 32℃로 입·출구 수온 차 5℃, 외기 습구온도 27℃를 기준으로 설계함.

- 냉각탑의 경우에는 어프로치 온도(Approach Temperature : 냉각수 출구 온도와 외기 습구온도 차)가 냉각탑 성능과 입·출구 온도 차에 큰 영향을 주며, 각 냉각탑 생산업체에 따라 이들 성능은 크게 차이가 남.
- 냉각탑의 실제 운전은 외기 습구온도 27℃로 운전하는 경우는 거의 없으며, 대부분 습구온도가 다른 조건에서 운전하게 되며, 이에 따라 냉각탑 생산업체에서는 외기 습구온도에 따른 냉각탑 선정계수를 제공하고 있음.
- 본 연구에서는 국내 K 기업에서 제공하는 개방형 냉각탑 선정계수²⁾를 이용하여 외기 습구온도에 따른 입·출구 온도 차이 (냉각 열량)을 산정함. (이때 입·출구 온도 차 = 5℃, Approach = 5℃를 기준)

[냉각탑 선정계수]

습구온도	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
선정계수	0.556	0.583	0.611	0.640	0.671	0.705	0.740	0.777	0.817	0.859	0.903	0.950	1.000	1.056	1.109
역수	1.799	1.715	1.637	1.563	1.490	1.418	1.351	1.289	1.224	1.164	1.107	1.053	1.000	0.947	0.902

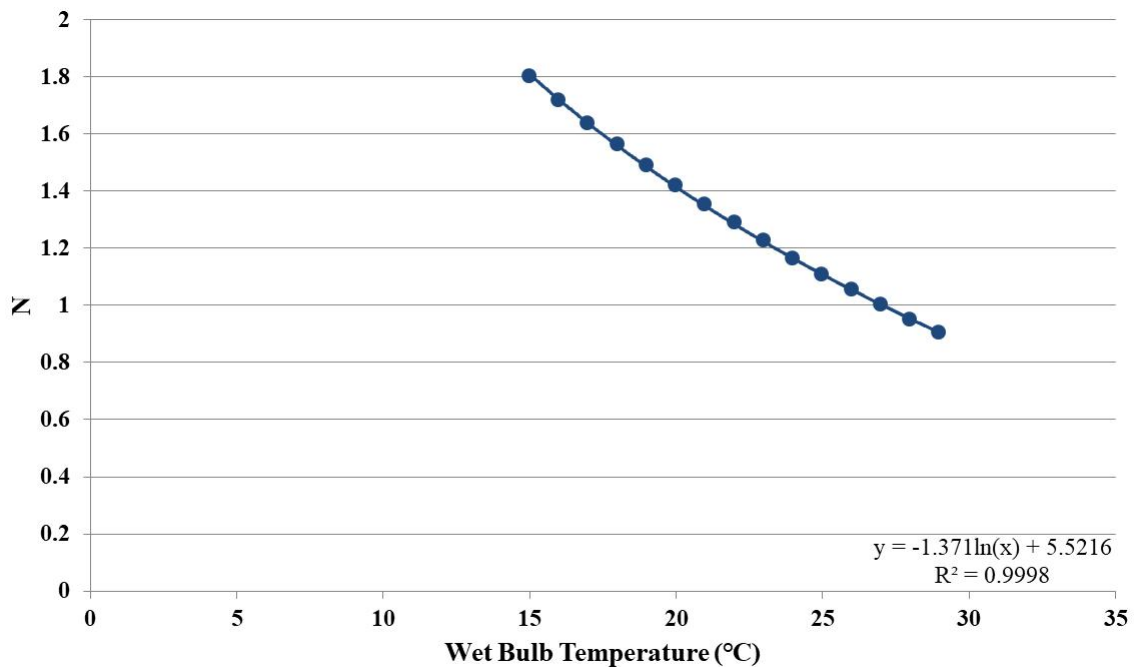
- 선정계수는 습구온도와 역수의 상관관계를 가지며 위 데이터를 통해 역수와 습구온도 사이의 관계 분석을 시행함.

$$N = -1.371 \ln(T_w) + 5.5216 \quad (3)$$

여기서,

N : 역수

T_w : 습구온도



[습구온도와 역수의 관계 분석]

2) (주)경인기계 전자 카탈로그, 냉각탑 선정계수 자료

- 선정계수와 역수의 관계 분석을 통해 냉각탑 입·출구 온도 차를 산출하는 식을 도출함.

$$\Delta T = Range * N = 5^{\circ}\text{C} * -1.371 \ln(T_w) + 5.5216 \quad (3)$$

여기서,

ΔT : 냉각탑 입·출구 온도 차($^{\circ}\text{C}$)

- 냉각탑 입·출구 온도 차 산출 방법은 동일한 유량의 냉각수 순환 시 입·출구 온도 차를 구할 수 있음.
- 지열 시스템 하이브리드 운영 시 항상 동일한 유량이 순환한다고 가정하기 때문에 하이브리드 운영 기술에 적용 가능함.
- 특수한 냉각탑을 선정하거나 정확한 선정을 위해서는 각 냉각탑 제조업체의 선정계수 자료를 통해 동일한 프로세스로 냉각탑 입·출구 온도 차를 선정하는 식을 재도출하여 적용하는 것이 가능함.

(2) 냉각탑 입·출구 온도 차에 따른 열원 측 입구 온도 변화 선정기준

- 하이브리드 지열 시스템 냉방 운영 시 열원 측 입구 순환수와 냉각탑의 냉각수가 열교환 해 순환수 온도를 낮추어 공급함. 하이브리드 지열 시스템 운영 시 시스템 성능을 파악하기 위해서는 열원 측 입구 순환수가 열교환을 한 후의 온도가 어떻게 변화하는지 확인해야 함.
- 열원 측 입구 순환수와 냉각수의 열교환 효율은 100%로 가정해 교환되는 열량이 동일하며 이를 통해 열원 측 입구 순환수와 냉각수의 열교환 후 온도는 다음 식을 통해 산정할 수 있음.
- 냉각수의 입·출구 온도 차는 외기 습구온도에 따른 냉각탑 입·출구 온도 차 선정기준을 통해 계산하여 활용함.

$$(T_{cw,i} - T_{cw,o}) * m_{cw} = (T_{s,i} - T_{s,o}) * m_s \quad (3)$$

여기서,

$T_{cw,i}$: 냉각수 입구 온도($^{\circ}\text{C}$)

$T_{cw,o}$: 냉각수 출구 온도($^{\circ}\text{C}$)

$T_{s,i}$: 열교환 전 열원 측 순환수 온도($^{\circ}\text{C}$)

$T_{s,o}$: 열교환 후 열원 측 순환수 온도($^{\circ}\text{C}$)

m_{cw} : 냉각수 순환 유량(Lit/m)

m_s : 열원 측 순환 유량(Lit/m)

$$T_{s,o} = \frac{T_{s,i} - (T_{cw,i} - T_{cw,o}) * m_{cw}}{m_s} \quad (3)$$

3) 하이브리드 지열 시스템 운영 기술개발 (증빙 4-1)

- 지열 시스템운영 시 시스템 성능을 하이브리드 시스템운영 결정 기준으로 하며 지열 시스템운영에 따라 열원 측 온도 상승으로 인한 성능 저하 발생 시 하이브리드 시스템운영으로 성능개선이 가능하다고 판단되면 하이브리드 지열 시스템 운영을 시행함.
- 지열 시스템 냉방 운영 시작 후 시스템이 안정화가 됐을 때 부하 측 입구 온도가 설정 온도보다 낮거나 같은 경우 지열 시스템이 건물에서 발생한 부하를 담당하기에 충분한 용량이라 판단하며 지열 시스템의 운전을 계속함.
- 건물에서 발생한 부하를 지열 시스템이 담당하기에 부족한 용량이라 판단되거나 지열 시스템을 계속 운영하느 것보다 하이브리드 시스템을 운영하는 것이 성능 향상이 될 것으로 판단되는 경우 하이브리드 시스템 운전을 시작함.
- 하이브리드 시스템 운전 후 일정 시간($dt=10\text{ min}$) 후 하이브리드 시스템의 운전 여부를 재판단하여 필요하면 계속 운전함.
- 개발된 하이브리드 지열 시스템 운영 기술의 알고리즘은 아래와 같으며 상세한 운영 알고리즘은 기술 가이드 (증빙 4-1)에서 확인할 수 있음.

① 지열 시스템 가동

- 하이브리드 시스템을 가동하지 않고 지열 시스템 운전을 개시함.
- 운전개시 후 시스템 안정을 위해 30분 이상 경과 후 다음 단계로 감.

② 부하 측 입구 온도 계측

- 부하 측 입구 온도를 계측

③ 용량 부족 평가 (기준온도 비교)

- 하이브리드 시스템을 가동하지 않고 지열 시스템 운전 시 냉난방 부하를 충분히 담당하는지를 평가하여 하이브리드 시스템의 가동 여부를 판단
- 용량 부족 여부의 평가는 부하 측 입구 온도가 설계기준 온도 대비 어느 정도 벗어나는가를 기준으로 평가하며, 본 연구에서는 오차범위 온도를 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 로 제안함.

④ Hybrid 시스템 운전

- ③의 판단에서 용량 부족(기준온도보다 일정 온도 이상 차이가 나는 경우)으로 판단되는 경우 하이브리드 시스템을 운전함.
- ⑦의 판단에서 하이브리드 방식으로 운전할 경우의 COP가 하이브리드 방식을 운전하지 않을 경우의 COP보다 높아 운전효율이 향상되는 것으로 판단될 경우 하이브리드 시스템을 운전함

⑤ 열원 측 입구 온도 계측 및 하이브리드 시스템 미운전 COP 산정

- 열원 측 입구 순환수 온도(열교환기 이전)를 계측
- 열원 입구 측 온도에 따라 하이브리드 시스템 미운전시의 COP를 산정

⑥ 외기 습구온도 계측 및 하이브리드 시스템 운전 COP 산정

- 외기 습구온도를 계측함. 외기 습구온도의 계측은 외기 습구온도에 따라 냉각탑 입·출구 온도 차가 변하게 되므로 이를 산정하기 위한 것임.
- 외기 습구온도에 따라 냉각수의 냉각탑 입출구 온도차이가 결정되며, 이는 열교환 용량을 결정하는 것으로 결국 열원 측 입구 순환수가 열교환기를 통과하면서 교환되는 열량이 되며, 이에 따라 열원 측 입구 순환수의 열교환 이후 온도를 예측 가능.
- 열원 측 입구 순환수의 열교환 이후 온도를 예측하면 ⑤와 동일한 방법으로 하이브리드 시스템 운전

시의 COP를 산정할 수 있음.

⑦ COP 비교

- ⑤와 ⑥에서 산정된 하이브리드 시스템 운전과 미운전 시의 시스템 COP를 비교

⑧ Hybrid 시스템 미운전

- ⑦의 비교에서 하이브리드 시스템 미운전 시의 COP가 운전 시의 COP 보다 높은 경우에는 하이브리드 시스템을 작동시키지 않음.

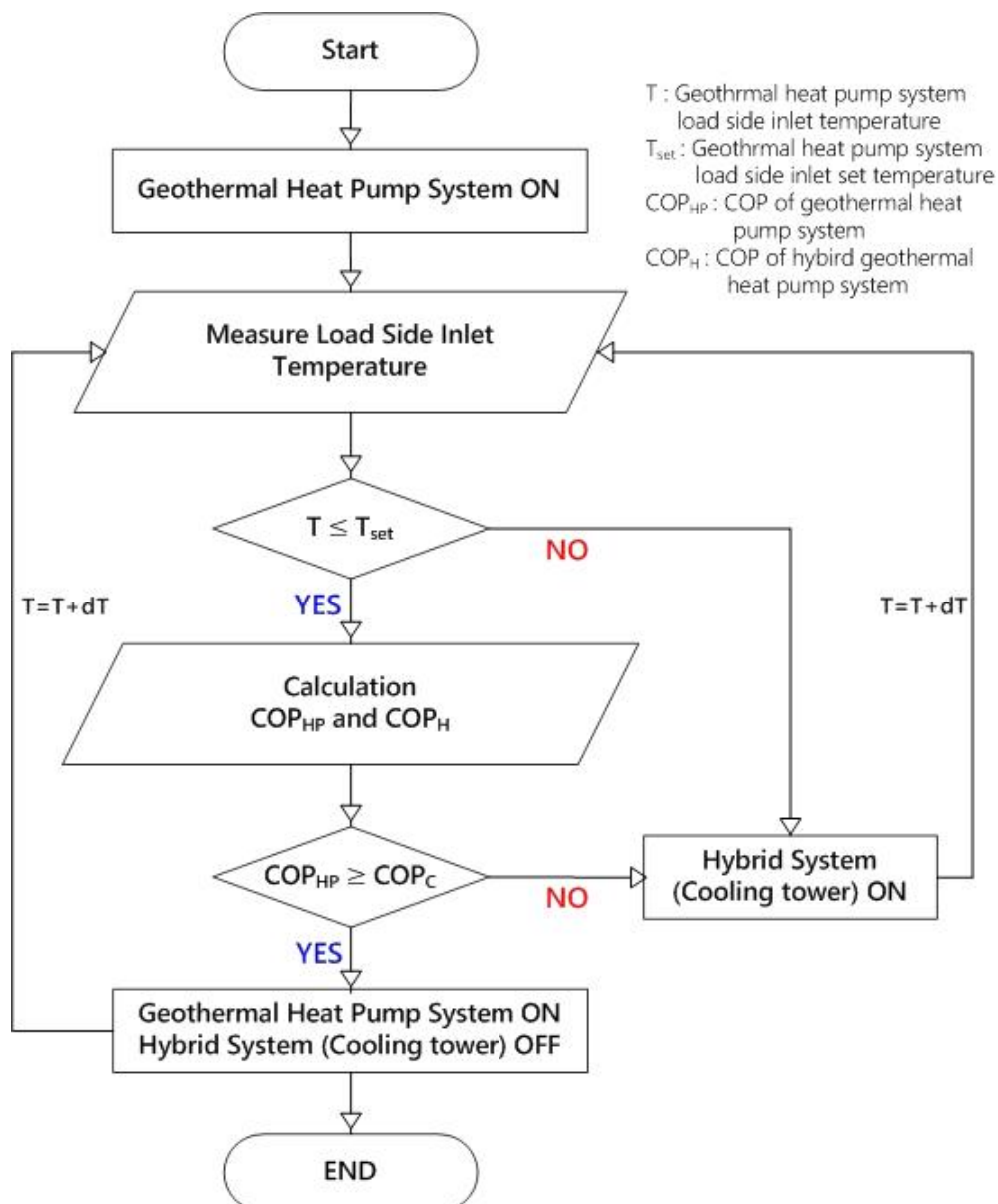
⑨ $T = T + dT$

- 본 연구에서는 $dT = 10\text{min}$ 을 제안

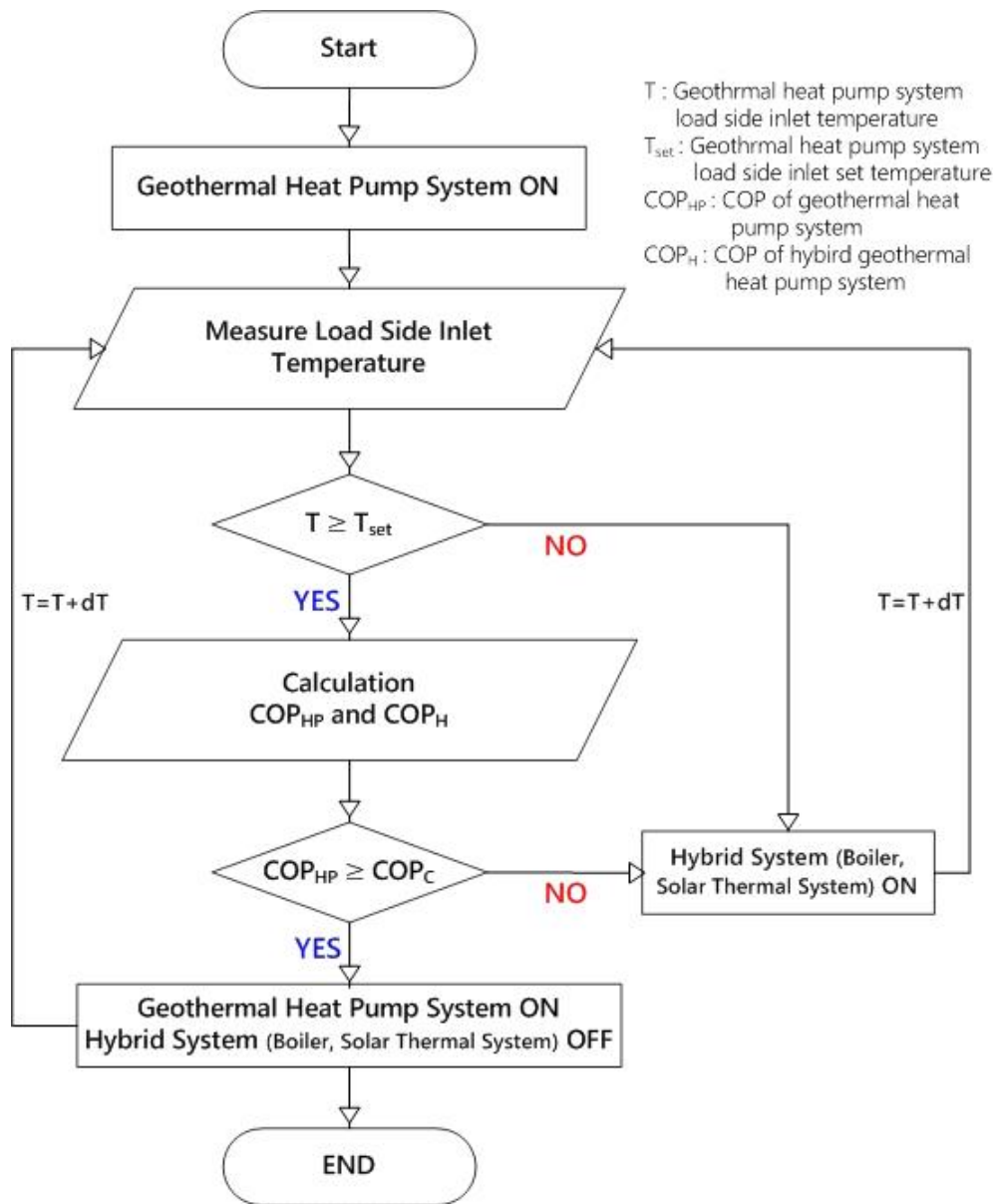
⑩ STOP (지열 시스템 운전정지)

- 건물의 냉난방 운전 스케줄에 따라 지열 시스템의 운전을 정지

- 지열 시스템 운전의 정지는 일간, 계절 간 실시



(a) 냉방 운전



(b) 난방운전

[하이브리드 지열 시스템 운영 알고리즘]

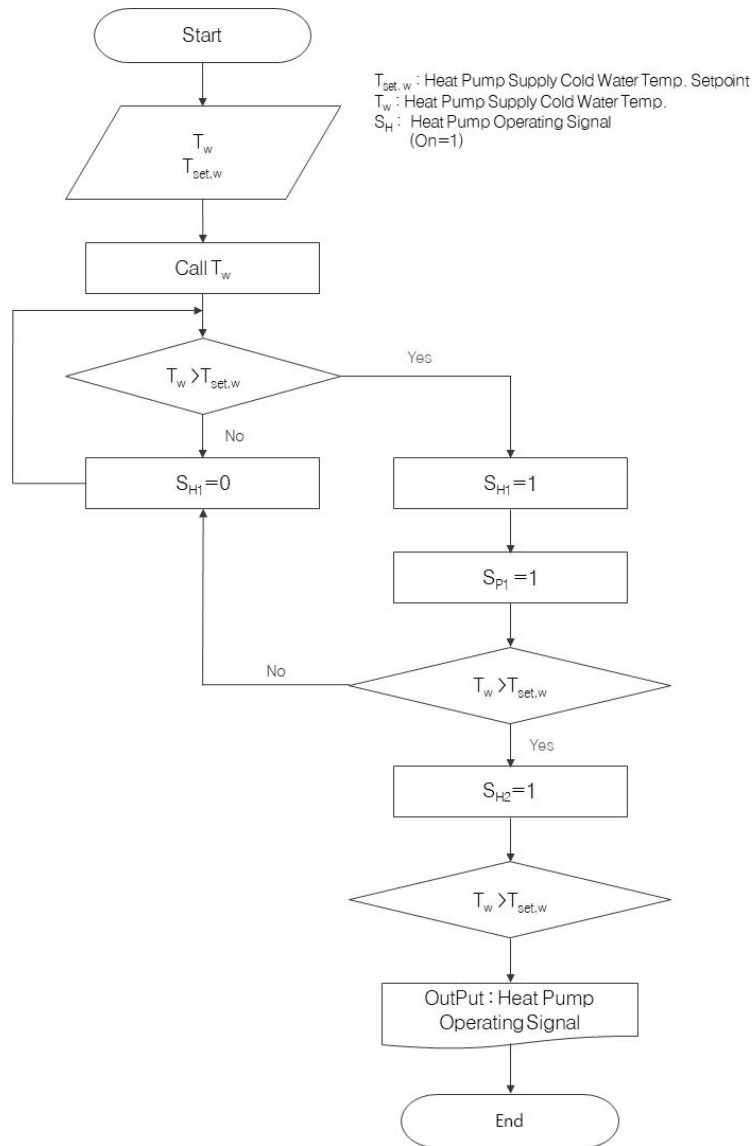
2.3.2 인공지능기반 성능예측기술 활용 지열 시스템 성능 향상 운영 기술 개발

- 지열 시스템의 부하분담률 개선이 가능한 하이브리드 지열 시스템 기술개발과 더불어 지열 시스템의 효율적인 운영을 가능하게 하는 운영 기술개발을 함.
- 국내의 경우 일반적으로 지열 시스템이 한 건물에 여러 대가 설치되어 운영되며 건물의 부하 변화와 관계없이 지중 순환 펌프의 유량을 일정하게 제공하는 정유량 제어를 함.
- 개발된 하이브리드 지열 시스템 운영을 적용하게 되면 지열의 부하분담률이 증가하게 되어 건물의 부하가 큰 상황과 적은 상황에서의 부하 차가 크게 발생하게 되어 지중 순환 펌프의 정유량 제어로 인한 에너지 낭비가 더욱 크게 발생함.
- 본 연구에서는 이와 같은 에너지 낭비를 해결하기 위한 멀티 지열 시스템운영 기술을 개발하여 에너지 절감 및 시스템 성능 향상을 하고자 함.

1) 멀티 지열 시스템운영 기술개발

(1) 기존 멀티 지열 시스템운영 기술 (지중 순환 펌프 정유량 제어)

- 기존의 지열 히트펌프 시스템의 유량제어 방안은 부하의 변화와 상관없이 일정한 지중 순환수를 공급하는 정유량 제어 방식을 활용하며 멀티 지열 시스템운영의 경우 시스템의 설정 온도에 따른 대수 제어를 활용함.
- 기존 멀티 지열 시스템은 냉·온수 설정 온도를 기준으로 설정 상한치가 되면 운전 대수를 늘리고, 설정 온도 하한치에 도달하면 히트펌프의 운전 대수를 줄이는 방식을 사용하며 아래 그림의 알고리즘과 같이 운영함.
 - 지열 히트펌프 시스템이 작동 중이지 않는 경우
 - : 히트펌프의 냉수 출구 온도가 설정 온도보다 높으면 ($T_w \geq T_{set} + d$) 지열 히트펌프 시스템을 작동시킴.
 - : 설정 냉수 출구 온도를 맞추는지 여부에 따라 다음 히트펌프의 운영을 결정함. 히트펌프 냉수 출구 온도가 설정 온도보다 낮으면 ($T_w < T_{set} - d$) 현재 상태를 유지
 - 지열 히트펌프 시스템이 작동 중인 경우
 - : 히트펌프의 냉수 출구 온도가 설정 온도보다 낮으면 ($T_w < T_{set} - d$) 히트펌프의 운영을 중지함.
 - : 히트펌프 냉수 출구 온도가 설정 온도보다 높으면 ($T_w > T_{set} + d$) 설정 온도를 맞추기 위해 추가적으로 히트펌프를 운영시킴.
 - : 히트펌프의 냉수 출구 온도가 설정 온도보다 낮아지면 순차적으로 작동을 중지함.



[기존 멀티 지열 시스템운영 알고리즘]

(2) 개발 멀티 지열 시스템운영 기술 (지중 순환 펌프 변유량 제어)

- 개발된 멀티 지열 시스템운영 기술은 건물의 부하에 따라 지중 순환 펌프의 유량을 변화하는 변유량 제어를 활용한 순차적 운영 기술임.
- 지열 히트펌프 시스템의 높은 성능을 나타내는 최적 유량을 유지하도록 제어하며 유량을 제어하기 위해 최적 유량에 따른 열원 측 입·출구 온도 차를 설정함. 지열 시스템운영 시 열원 측 입·출구 온도 차를 계산하여 최적 온도 차와 비교하여 유량을 비례 제어함.
- 최적의 온도 차보다 높은 경우 지열 히트펌프가 순차적으로 작동되도록 운영하며 인공지능망을 활용한 성능예측기술을 적용해 실시간 성능 확인을 함.

① 지중 순환 펌프 변유량 제어 기술개발

- 지중 순환 펌프 변유량 제어를 활용한 멀티 지열 시스템운영을 위한 유량($m_{variable}$)은 다음 식을 통해 산정함.

$$Q = m_{constant} * C_{p,s} * \Delta t_1 \quad (3)$$

$$m_{constant} = \frac{Q}{C_{p,s} * \Delta t_1} \quad (3)$$

여기서,

Q : 열량

$m_{constant}$: 정유량 제어 시 유량

$C_{p,s}$: 비열(kcal/kg · °C)

Δt_1 : 정유량 제어 시 입 · 출구 온도 차(°C)

$$m_{constant} \Delta t_1 = m_{variable} \Delta t_2 \quad (3)$$

$$m_{variable} = m_{constant} \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \quad (3)$$

여기서,

$m_{variable}$: 변유량 제어 시 유량

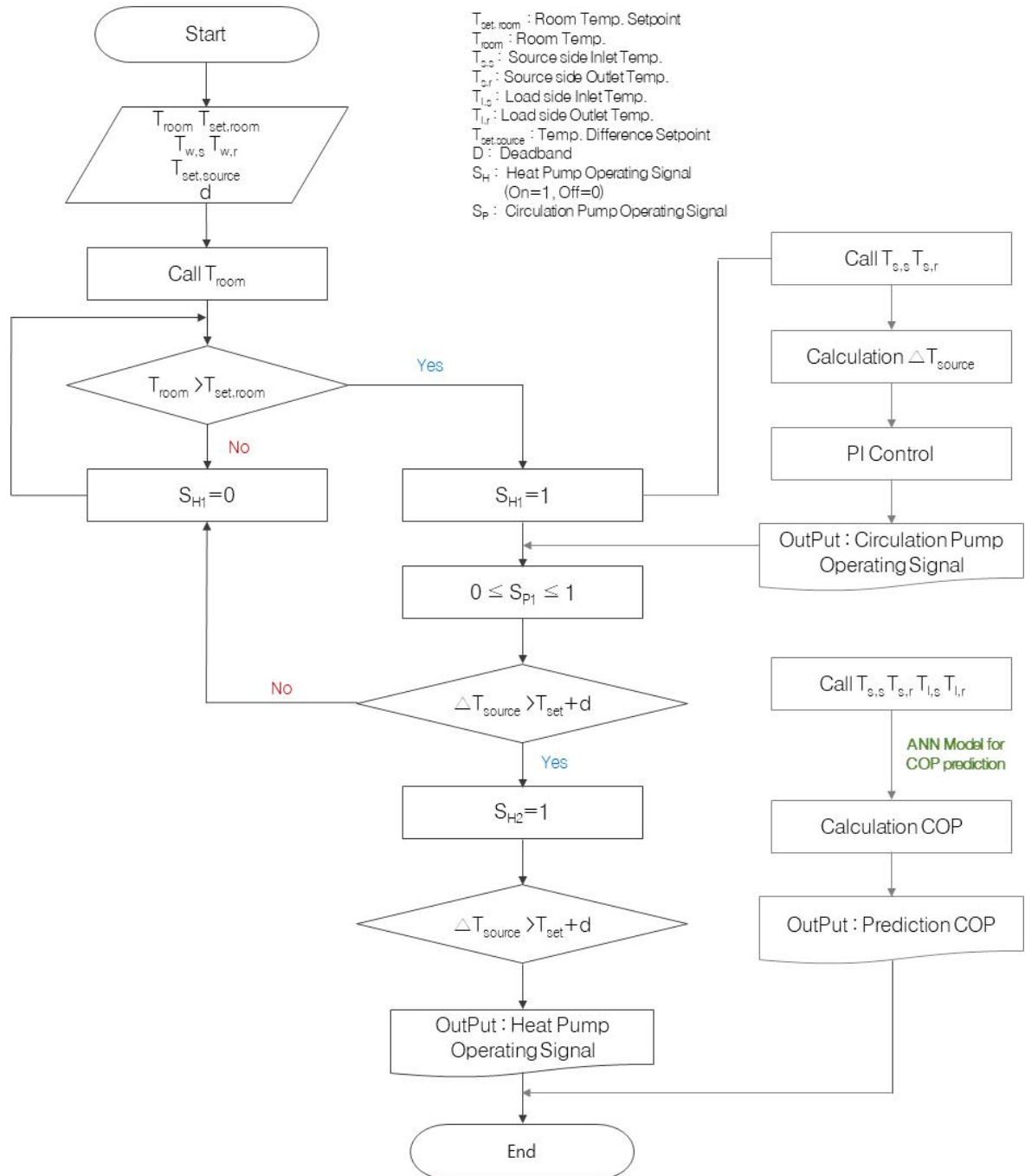
Δt_2 : 변유량 제어 시 입 · 출구 온도 차(°C)

- 유량의 변화와 COP의 상관관계 분석에 따라 유량이 감소하면 성능계수가 향상되지만, 일정한 유량보다 적은 유량으로 운전 시 순환 펌프의 에너지 소비량 감소보다 히트펌프의 에너지 소비량 증가가 더 증가하여 성능이 감소하는 현상이 발생함.
- 선행 연구에서, 유량과 온도 차에 따른 COP 분석 결과에 따라 지열 히트펌프 시스템의 최대 성능을 발휘하기 위한 최적의 유량을 도출했으며 열원 측 온도 차가 5°C일 때 유량이 최대 성능을 발휘하는 유량임.
- 따라서 본 연구에서는 지열 시스템의 효율 향상을 위해 최대 성능을 나타내는 유량을 유지하기 위해 열원 측 온도 차 5°C를 유지하는 유량을 유지할 수 있는 변유량 제어를 활용한 멀티 지열 시스템 운영 방안을 개발함.

② 인공지능망 기반 성능예측기술 개발을 적용한 개발 멀티 지열 시스템운영 기술 알고리즘

- 지열 히트펌프 시스템이 작동 중이지 않는 경우
 - : 실내온도가 설정 온도보다 높으면 ($T_{room} \geq T_{set,room}$) 히트펌프를 작동함.
 - : 한 대의 히트펌프의 지중 순환수 입 · 출구 온도 차를 계산하고 목표 온도 차와 비교하여 비례제어에 의한 신호 값($0 < Signal \leq 1$)에 의해 펌프의 공급 유량을 결정함.
 - : 한 대의 히트펌프의 입 · 출구 온도 차가 설정 온도 차가 되어도 실의 부하를 담당하지 못하는 경우 다음 히트펌프를 작동함.
 - : 지중 순환수 입 · 출구 온도 차가 설정 온도 차보다 높으면 ($\Delta T_s \geq T_{set} + d$) 현 상태를 유지함.
- 지열 히트펌프 시스템이 작동 중인 경우
 - : 최초 한 대의 히트펌프 작동 시 실내온도가 설정 온도보다 이하고, 실의 부하를 담당하지 못하면 히트펌프 작동을 중지함.
 - : 히트펌프의 온도 차가 설정값보다 낮은 경우 최소 유량을 공급함.

: 한 대의 히트펌프 열원 측 입·출구 온도 차가 설정값보다 높아지면 ($\Delta T_s \geq T_{set} + d$) 다음 히트펌프를 작동함.



[개발 멀티 지열 시스템운영 알고리즘]

2.4 하이브리드 지열 시스템 운영 기술검증

- 시뮬레이션을 통해 개발한 멀티 지열 시스템 운영 기술적용 및 검증을 함. Google SketchUp 프로그램을 이용하여 대상 건물의 모델링을 진행하며, Trnbuild와 Trnsys 17을 사용하여 대상 건물의 설비시스템 및 세부 데이터를 구현하며 이를 통해 시뮬레이션 결과를 도출하고 개발한 기술을 평가함.
- 개발 기술검증을 위한 대상 건물은 개요는 아래와 같으며 대상 건물의 지열 시스템은 다른 열원과 분리되어 전체 냉난방의 약 26%를 담당함.

[대상 건물 개요]

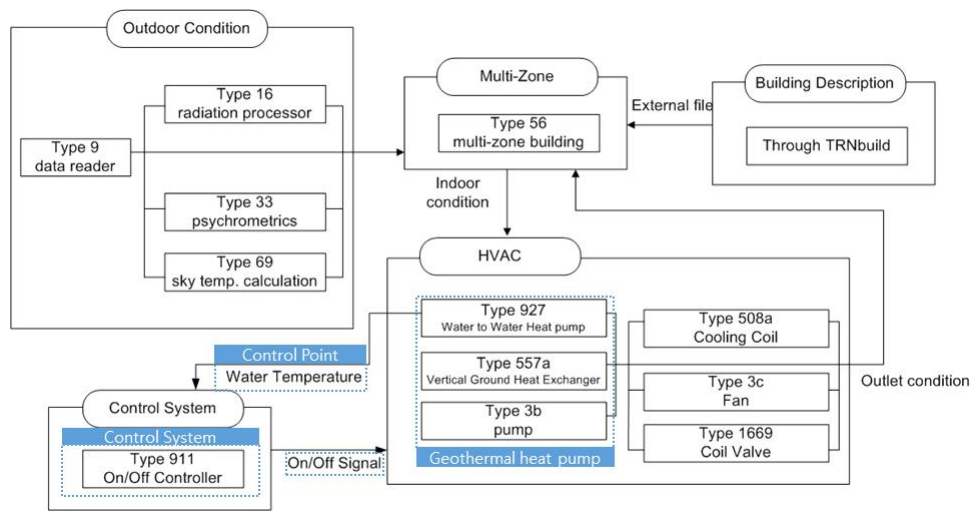
구분	내용
위치	대구
규모	지상 9층, 지하 2층
연면적	49,667m ²
용도	복합용도

- 대상 건물의 지열 히트펌프 시스템의 기존 운영방안은 정류량 제어를 활용해 냉온수 공급온도를 기준으로 대수 운영이 이루어지고 있음. 이를 CASE 1로 선정하였고 에너지를 적게 사용하며 높은 효율을 낼 수 있는 변유량 제어 방안을 이용한 순차적 운영방안을 제안하였고 CASE 2로 선정함.
- 기존의 운영방안과 제안하는 운영방안 비교를 위한 시뮬레이션 시 외기 조건 구현에는 Type 16 (radiation processor), Type 33(psychrometrics), Type 69 (sky temp. calculation)를 공통적으로 사용한다. 히트펌프 및 HVAC 시스템 구현에는 Type 508a (Cooling Coil), Type 3c (Fan), Type 1669 (Coil Valve)를 사용함.

[대상 건물 지열 시스템 개요]

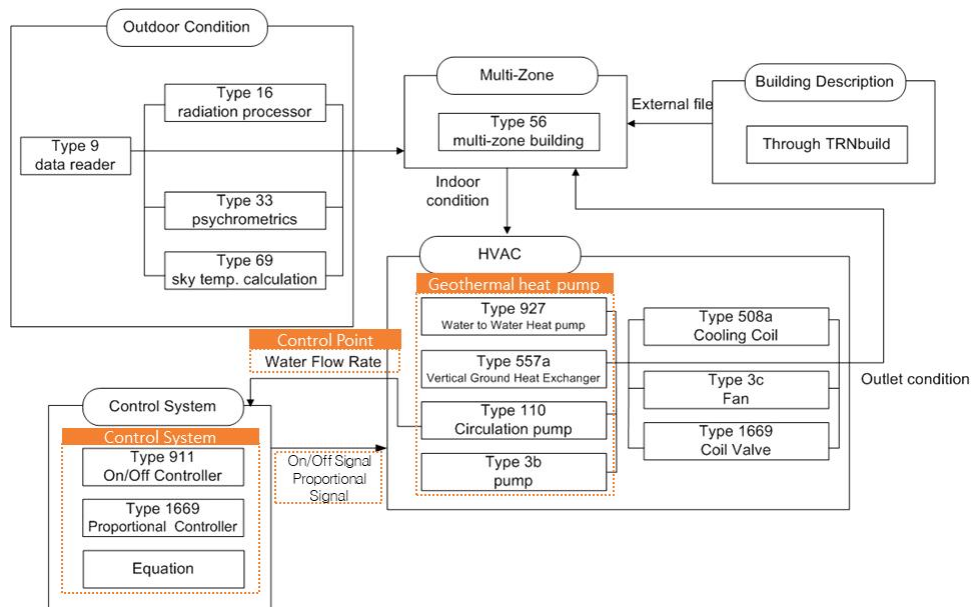
구분		내용	
지열 히트펌프	수량	7	
	용량 (USRT)	냉방	난방
		48.3	44.4
	소비동력 (kW)	46.5	45.6
	순환수 공급온도 (℃)	25	5
	냉온수 공급온도 (℃)	12	40
	유량 (LPM)	600	600
순환 펌프	수량	8 (1대 예비)	
	유량 (LPM)	700	
	양정 (M)	35	
	동력 (kW)	7.5	

- 대상 건물의 기존 운영방식인 정류량 제어를 활용한 설정온도에 따른 대수제어방식의 시뮬레이션 흐름도는 아래 그림과 같으며 지열 히트펌프 시스템 구현을 위해 히트펌프는 물 대 물 방식의 Type927을 사용하고 지중열교환기는 수직형 열교환기 Type557a를 사용함. 지중 순환 펌프 및 냉수 공급 펌프는 정유량 펌프인 Type3b를 사용하며 지열 히트펌프 각각의 설정온도를 제어하기 위해 히트펌프의 설정온도를 Controller 입력값으로 사용하고 Controller는 Type 911 (On/Off Controller)를 사용함.



[기존 운영 기술 시뮬레이션 흐름도]

- 변유량 제어를 활용한 순차적 운영방안을 구현하기 위해 지중 순환 펌프의 입·출구 온도 차를 파악 및 제어에 활용함. 온도 차 산출 및 실내온도 반영을 위해 Equation을 사용하며 열원 측 온도 차에 의한 유량을 제어 위해 Type 1669 (Proportional Controller)를 사용하며 순환 펌프의 경우 변유량 제어가 가능한 Type 110 (Variable Speed Pump)로 구현함.

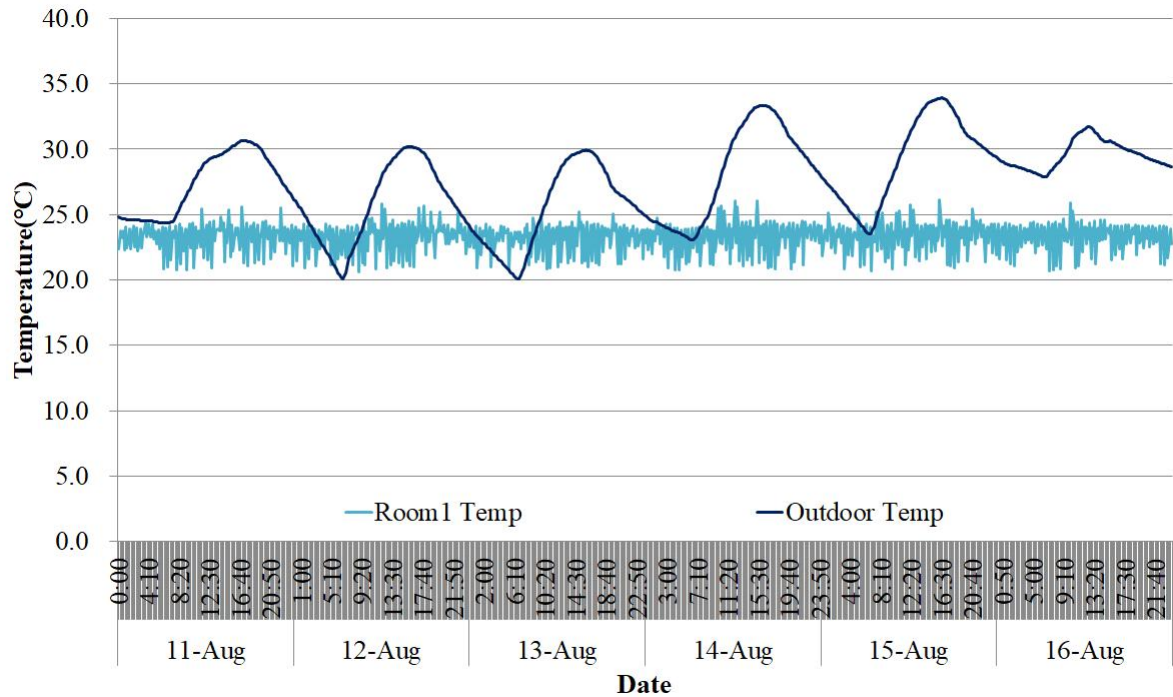


[개발 운영 기술 시뮬레이션 흐름도]

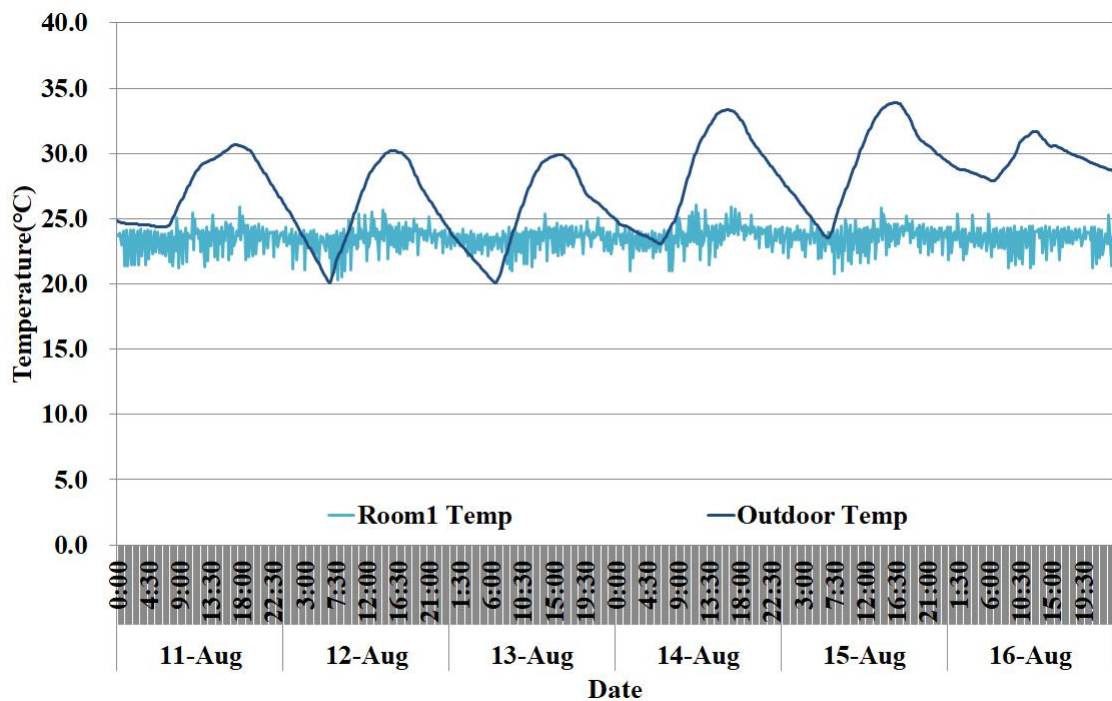
- 개발 운영 기술은 실내 열 환경 분석, 열원 측 입·출구 온도 분석, 순환수 유량 및 에너지 소비량 분석, 지열 시스템 성능 분석으로 검증함.

① 실내 열 환경 분석

- 기존과 개발된 운영 기술적용 시 모두 실내 설정온도($24\pm 5^{\circ}\text{C}$) 편차 내에서 제어 가능하며 기존 운영방안에 비해 제안된 운영방안으로 갈수록 온도 편차가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이에 제안한 운영방안을 통해 실내 열 환경을 안정적으로 제어할 수 있음을 확인할 수 있음.



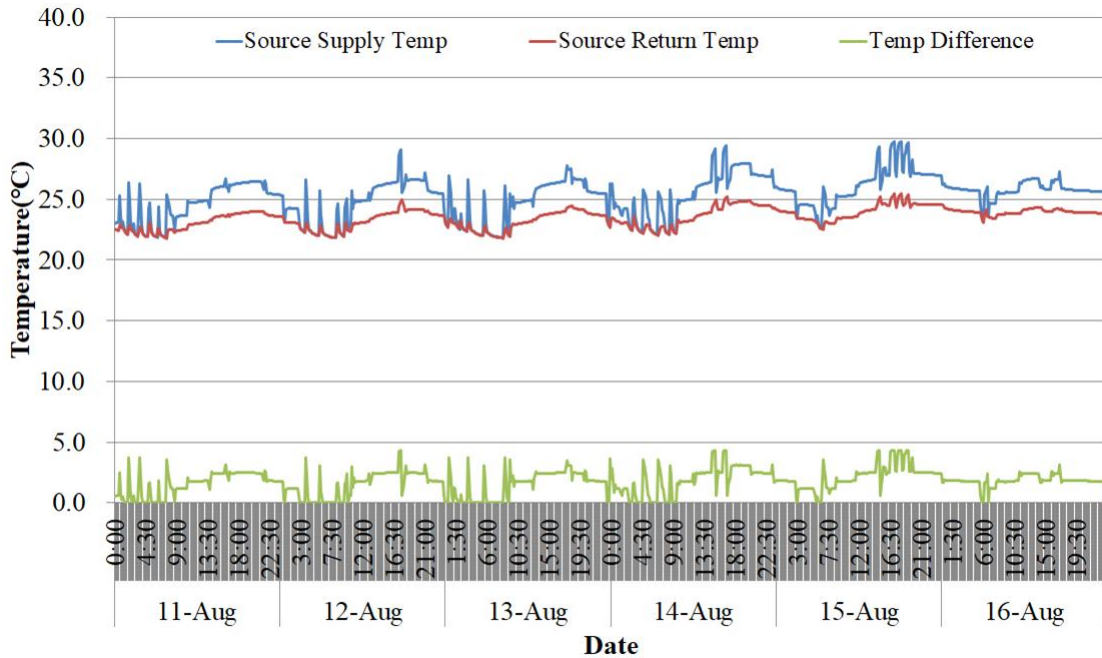
[실내온도 (기존 운영 기술)]



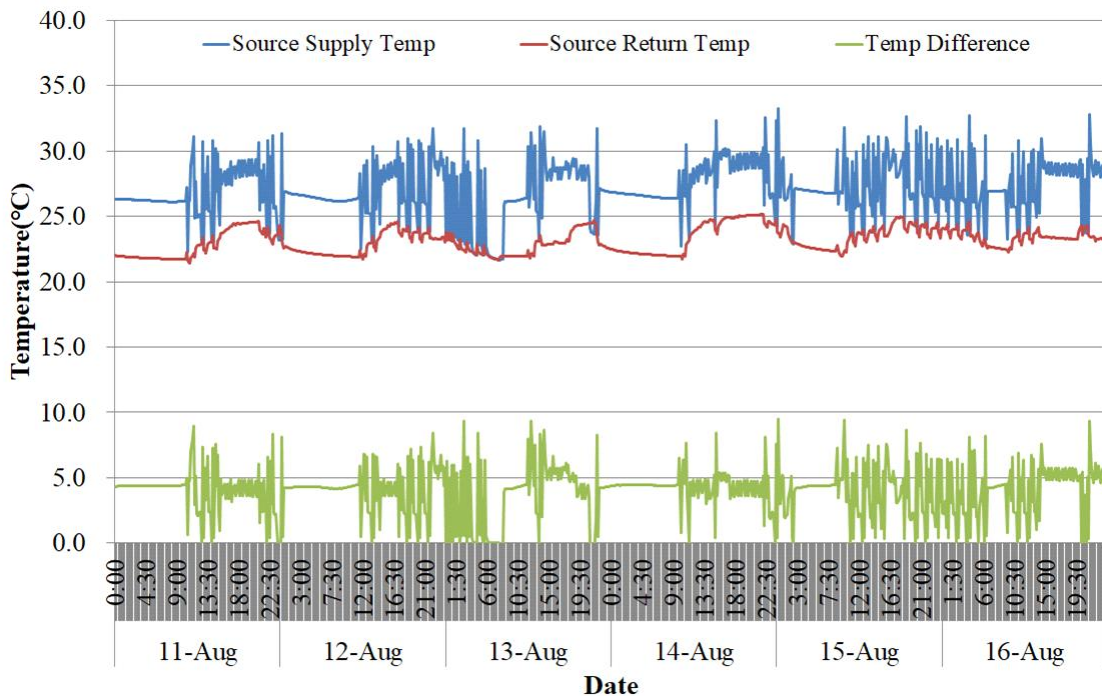
[실내온도 (개발 운영 기술)]

② 열원 측 입·출구 온도 분석

- 열원 측 입·출구 온도의 차는 순환 펌프의 유량과 반비례함. 기존 운영 기술적용 시 부하와 관계없이 일정한 유량을 공급하므로 부하에 따라 온도 차의 변화가 크지 않으며 평균 공급온도는 25.2℃, 평균 환수온도는 23.5℃, 평균 온도차는 1.7℃임.
- 개발 운영 기술적용 시 최고의 효율을 발휘하는 유량에 따라 히트펌프를 운영하기 위해 최적 온도차인 5℃(±0.5℃) 맞춰 유량을 제어하며 평균 공급온도 27.1℃, 평균 환수온도 23.1℃, 평균온도차 4℃로 설정 온도 차에 맞춰 유량이 제어함.



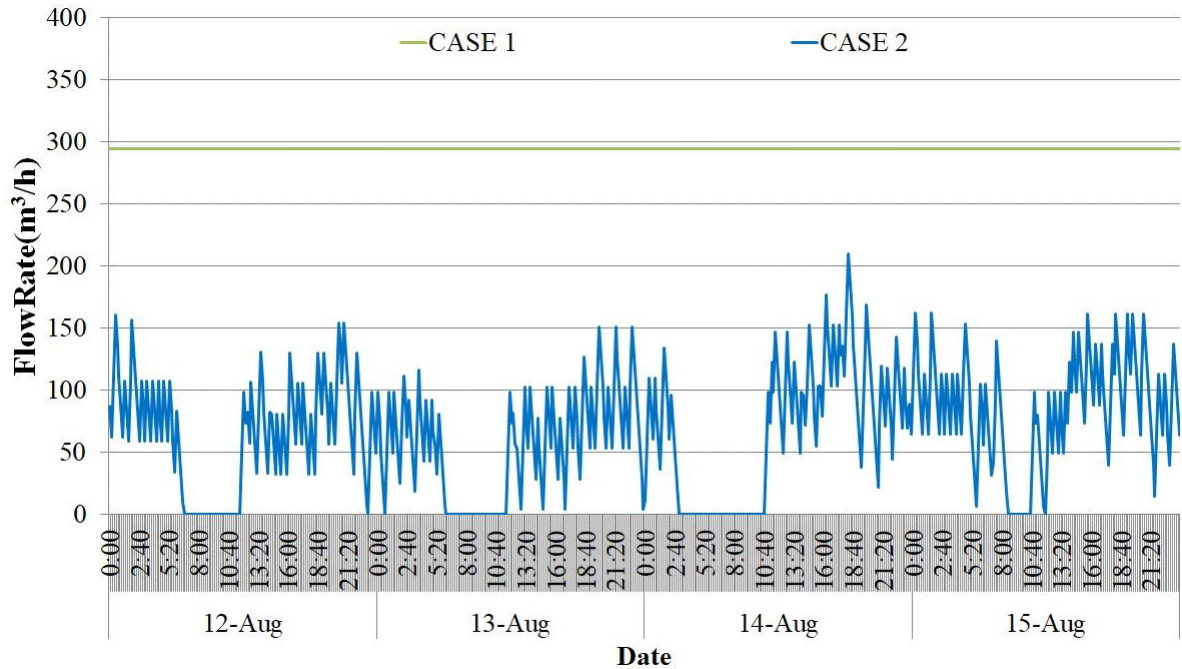
[열원 측 입·출구 온도 (기존 운영 기술)]



[열원 측 입·출구 온도 (개발 운영 기술)]

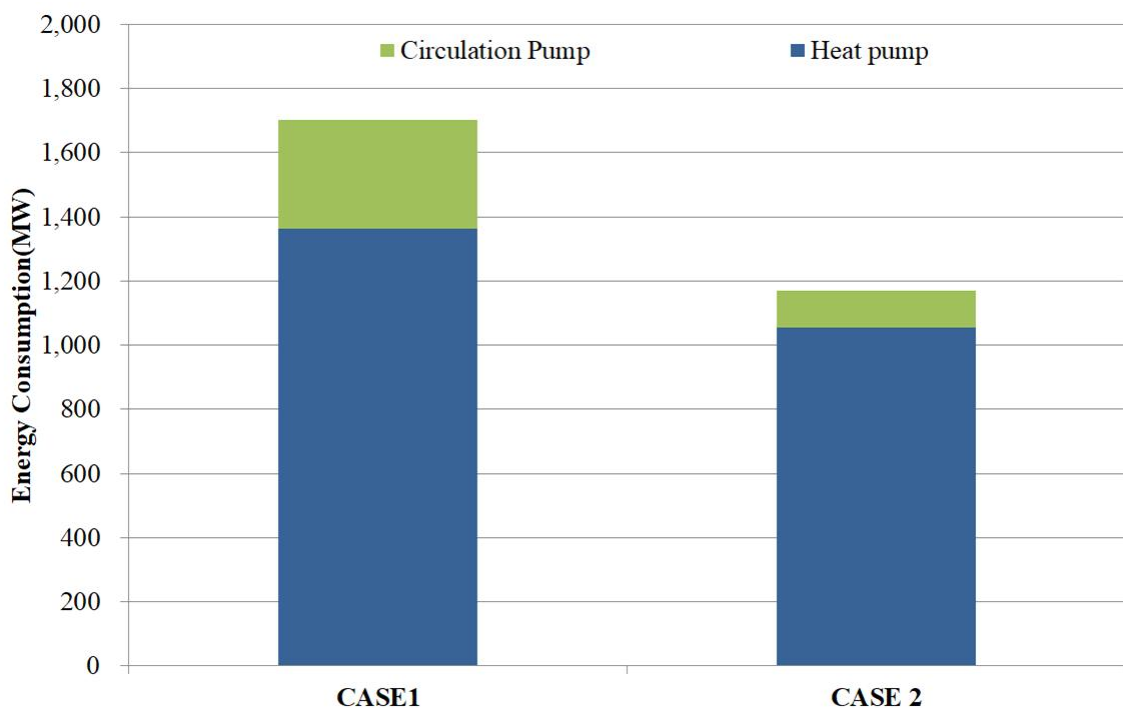
③ 순환수 유량 및 에너지 소비량 분석

- 기존 운영 기술적용 시 부하와 상관없이 일정한 유량을 공급하며 개발 운영 기술적용 시 부하에 따라 유량이 변화함. CASE 2의 최대 지중 순환수 공급 유량은 3,488lpm으로 CASE 1 대비 29% 감소함.



[지중 순환수 유량 분석]

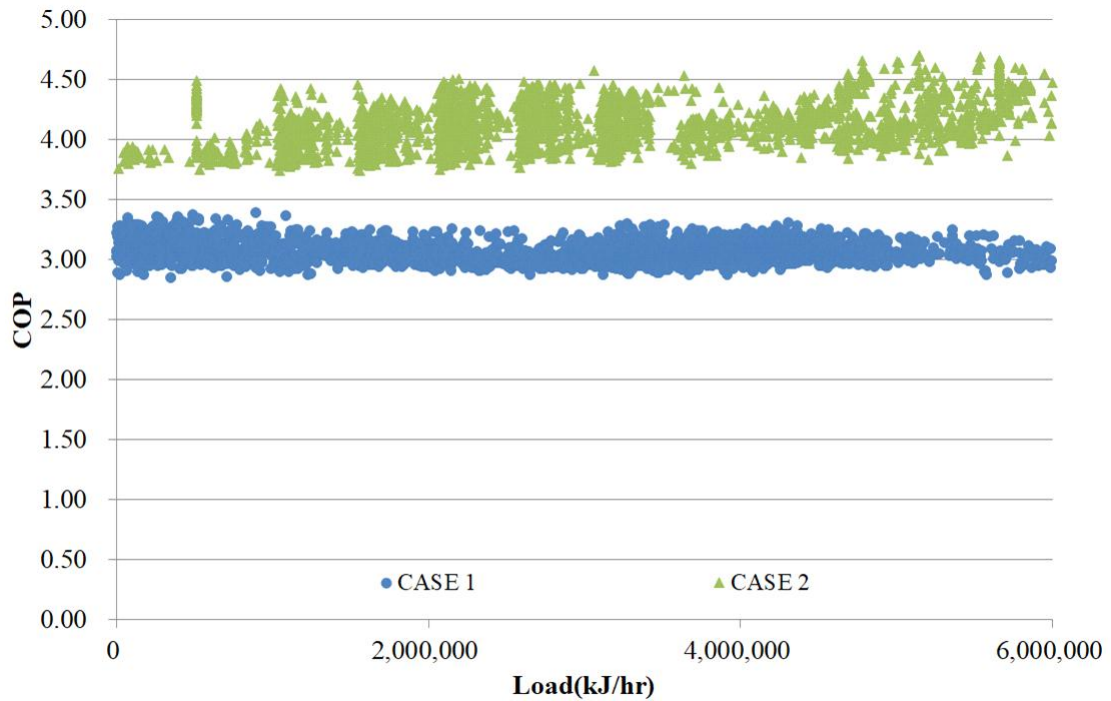
- 기존 운영 기술적용 시 히트펌프 소비동력은 78.6GJ, 순환 펌프 소비동력은 19.6GJ이고 개발 운영 기술적용 시 히트펌프 소비동력은 60.9GJ, 순환 펌프 소비동력은 6.7GJ로 CASE 1 대비 히트펌프는 23%, 순환 펌프는 66%의 에너지 감소량을 보임.
- 지속적으로 정유량의 순환수를 공급하여 불필요한 지열 순환 펌프를 작동시키던 기존 운영 방안에 비해 제한한 멀티 지열 히트펌프 시스템 운영방안을 통해 에너지 절감을 가능하게 하는 것을 확인할 수 있음.



[순환 펌프 에너지 소비량 분석]

④ 지열 시스템 성능 분석

- 같은 부하일 때, 지열 히트펌프 시스템의 성능계수는 기존의 운영방안 적용 시보다 변유량 제어 방안을 적용해 히트펌프 시스템을 운영하는 개발 운영 기술적용 시 히트펌프의 시스템 성능이 더 높게 나타나는 것을 확인할 수 있음.
- CASE 1의 경우 평균 지열 히트펌프 시스템 성능계수가 3.07, 최대 시스템 성능계수가 3.39로 나타나며 CASE 2는 평균 시스템 성능계수가 4.13, 최대 성능계수가 4.71임. 변유량 제어를 활용해 한 대의 히트펌프가 최적의 성능을 발휘한 후 순차적으로 다음 히트펌프가 운영되기 때문에 CASE 2가 더 높은 성능을 발휘함. CASE 2의 경우 CASE 1 대비 최대 시스템 성능계수가 약 1.4 정도 상승하며 평균 성능계수가 약 35% 향상됨.



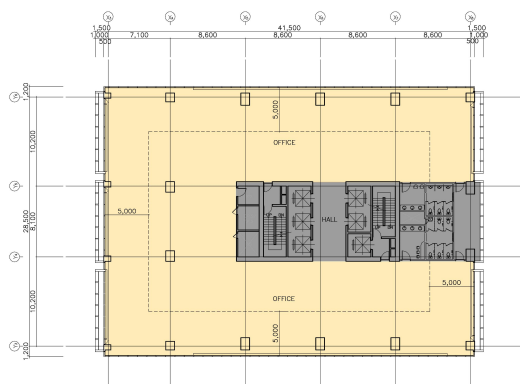
[지열 히트펌프 시스템 성능 분석]

2.5 지열 시스템 하이브리드 제어 프로세스 검증

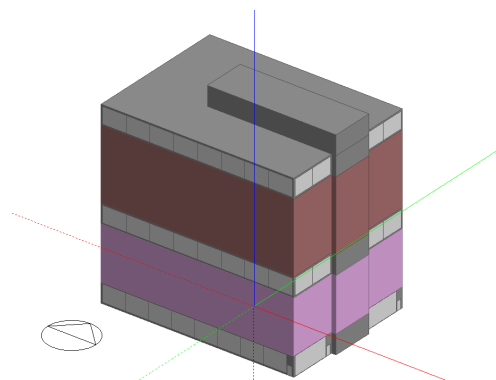
- 개발된 지열 시스템 하이브리드 설계 및 운영 기술검증을 위해 지열 시스템이 계획된 건물을 대상으로 하이브리드 설계기술을 적용해 하이브리드 지열 시스템을 설계하며 하이브리드 운영 기술을 적용, 일반 지열 시스템과 하이브리드 지열 시스템의 성능 비교·분석 및 경제성 분석을 함.
- 본 연구에서 개발한 지열 시스템 하이브리드 제어 프로세스의 성능을 검증하기 위해 일반 지열 시스템과 하이브리드 지열 시스템의 성능을 비교함. 열원 입구 측 온도 문제 발생으로 인한 지열 시스템 성능 저하로 운전정지에 따른 운전정지 시간을 분석하며 담당하지 못하는 부하분담률 분석함. 하이브리드 지열 시스템의 추가 열원 시스템 용량비율에 따른 성능 분석함.
- 지열 시스템 하이브리드 설계기술 및 운영 기술적용에 따라 초기투자비와 운전비를 고려한 경제성 분석함. 성능 분석과 동일하게 하이브리드 지열 시스템의 추가 열원 시스템 용량비율에 따른 성능 분석하며 지열 시스템 하이브리드 제어 프로세스 검증을 위한 프로세스는 아래와 같음.
 - 분석대상 건물 선정 및 연간 냉난방 부하계산 Simulation 실시
 - 일반 지열 시스템 선정 및 하이브리드 지열 히트펌프 시스템 1차 선정
 - 연중 시간별 지열 시스템 운전 Simulation 1차 실시
 - 1차 Simulation 결과 분석
 - 하이브리드 지열 시스템의 추가 냉각용량 변경에 따른 2차 Simulation 실시 및 분석
 - 하이브리드 지열 시스템의 추가 냉각용량 변경에 따른 초기투자비 산정 및 연간 운전동력비 산정
 - 하이브리드 지열 시스템의 추가 냉각용량 변경에 따른 경제성 분석
- 개발된 지열 시스템 하이브리드 제어 프로세스 검증의 경우 실제 건물을 대상으로 설계기술 및 운영 기술적용을 통한 운영 데이터 수집을 통해 검증이 필요하지만, 연구 기간의 한계 및 대상 건물 확보의 어려움, 국내 하이브리드 지열 시스템 적용 및 운영 데이터 자료 부족 등의 문제로 인해 시뮬레이션을 통한 검증함.
- 지열 시스템운영 데이터 분석 시 난방운전 기간보다 냉방 운전 기간에 열원 입구 온도 상승으로 인한 성능 저하 문제가 크게 발생하는 것을 확인했기에 지열 시스템 하이브리드 제어 프로세스 검증은 냉각 열원 연계형에 대해 적용 및 분석함.

2.5.1 대상 건물 개요

- 지열 시스템 하이브리드 제어 프로세스 검증을 위해 선정된 건물의 개요 및 냉난방 부하 산정을 위한 조건은 다음 표와 같음.



[업무시설의 기준층 평면도]



[시뮬레이션 모델링]

[분석대상 건물 개요 및 냉난방 부하 시뮬레이션 조건]

위치 (기후데이터)	서울지역	
연면적	12,421.0㎡	
기준층 면적	1,242.1㎡ (사무실 998.3㎡, 코어 243.8㎡)	
기준층 냉난방면적	998.3㎡	
규 모	10층	
층 고	4.2m	
구 조	철근콘크리트조	
외 장	85% 유리커튼월	
방위	남향	
HVAC 시스템 타입	EnergyPlus 해석 상 CAV 시스템이 설치된 것으로 가정하여 냉난방부하 산정	
침기율 (ACH, N ₅₀)	5 (ASHRAE Standard 62.1)	
인체	재실 밀도 : 0.11인/㎡ 발열량 : 14.37W/㎡ (ASHRAE fundamental Ch.18, 평균 129.5W/인)	
내부 발열	조명 : 30W/㎡, 기기 : 20W/㎡ (설비설계사 기준)	
열관류율 (W/㎡K)	외벽	내단열 0.240
	바닥(외기간접)	내단열 0.290
	바닥(외기직접)	0.200
	지붕	내단열 0.150
창호 성능	열관류율	1.500 W/㎡K
	SHGC	0.743
	Direct solar transmission	0.635
	Light transmission	0.752

2) 냉난방 부하 산정

- 위의 건물 개요를 바탕으로 Energy Plus를 이용하여 냉난방 부하 계산을 실시함. 그 결과를 요약하면, 아래 표와 같이 냉방 최대부하는 137.16W/㎡인데 비해 난방 최대부하는 110.31W/㎡로 냉방부하의 80.4%로 나타났으며, 냉방 기간 (6/1 ~ 9/30) 중 냉방 기간 부하는 94,810.8W/㎡yr인데 비해 난방 기간 (11/16 ~ 3/15)중 난방 기간 부하는 59,370.8W/㎡yr로 난방 기간 부하의 62.6%로 나타나, 연중 냉난방 부하 사용량의 불균형이 나타남을 알 수 있음.

[분석대상 건물 냉난방 부하 계산 결과 요약]

구분		결과	비고
냉방부하	최대 부하	137.16 W/㎡	- 발생일시 : 2017.7.21. 14:00 - 최대 난방 부하의 124.3%
	기간 부하	94,810.8W/㎡yr	- 2017.6.1~2017.9.30 (주말제외) - 난방 기간 부하의 159.7%
난방부하	최대 부하	110.31 W/㎡	- 발생일시 : 2017.1.16. 06:00 - 최대 냉방부하의 80.4%
	기간 부하	59,370.8W/㎡yr	- 2017.1.1~2017.3.15 2017.11.16~2017.12.13 (주말제외) - 냉방 기간 부하의 62.6%

- 부하계산의 결과는 단위면적당 냉난방 부하로 나타나므로, 지열 시스템 성능 분석을 위해 기존에 분석한 지열 시스템 용량에 맞추어 지열 시스템 적용 공간을 역산 할 수 있음.
- 일반적으로 냉방 열원은 안전율을 고려하여 최대부하의 110%로 용량을 산정하며, 사례분석에 적용하는 지열 시스템 용량이 177.74kW이므로, 시스템 적용 공조공간은 다음식에서 산정 가능함.
 - 지열 시스템 냉방용량(W) = 단위면적당 최대 냉방부하(W/㎡) x 대상 공조면적(㎡) x 안전율(110%)

$$888.70W \times 1000W/kW = 137.16W/㎡ \times \text{대상 공조면적}(㎡) \times 110\%$$
 - 따라서, 대상 공조면적(㎡) = $888.70W \times 1000W/kW \div 137.16W/㎡ \div 110\%$

$$= 5,890.27㎡$$

$$\approx 5,890㎡$$
- 이와 같이 지열히트펌프 시스템을 적용하는 공조면적을 5,890㎡로 산정하고, 이후 시뮬레이션에서 단위면적당 냉난방부하에 이 면적을 곱하여 시간별 냉난방 부하를 산정함.

3) 지열 시스템 개요

- 냉난방 부하계산 결과를 바탕으로 선정된 일반 지열 시스템과 하이브리드 지열 시스템의 개요는 다음과 같음. 단, 아래 기준은 하이브리드 방식에 의한 추가 냉각용량은 대상 건물의 부하계산 결과 냉방 운전 기간 부하가 난방운전 기간 부하의 159.7%로 분석되어 추가 냉각용량을 기존 지열 시스템 용량의 60%로 선정한 것이며, 펌프의 경우 선정 제품의 용량이 아닌 펌프 선정계산에 의한 실제 운전동력 값임.

[지열 히트펌프 시스템 사양]

구분		내용				비고
일반 지열 히트펌프 시스템	지열 히트펌프 부하조건	냉방부하	161.8kW	냉방시간	10시간	
		난방부하	130.2kW	난방시간	10시간	
	히트펌프 용량	냉방용량	177.74kW (50.5UUSrt)	냉방 소비전력	40.66kW (EER:4.76)	1대 기준 총 5대
		난방용량	172.41kW (148.3Mcal/h)	난방 소비전력	46.78kW (COP:3.69)	
	안전율	냉방	109.8%	난방	132.5%	장비용량 ÷ 부하
	운전온도	냉방 부하측	12.0℃ - 7.0℃	냉방 열원측	25.0℃ - 30.0℃	
		난방 부하측	40.0℃ - 45.0℃	냉방 열원측	5.0℃ - 0.0℃	
	유량	부하측	550.0 LPM	열원측	550.0 LPM	
	기타	형식	스크롤	냉매	R-410A	
	지중 열교환기	방식	수직밀폐형	수량	80공	
		지름	Ø150	간격	5m	
		깊이	200 m	PE 수직관	50 A	
	지열원 순환펌프	형식	인라인	대수	6	1대 예비
		용량	550 LPM x 23.7m x 5.5 kW (실제 운전 동력 : 3.2 kW)			
	총 소비전력	냉방시	219.3kW	난방시	249.9kW	히트펌프+지열순환 펌프

[하이브리드 지열 시스템 사양]

구분		내용				비고
하이브리드 지열 히트펌프 시스템	냉각탑	용량	150CRt	대수	1대	
		형식	직교류형	유량	91m ³ /h	
		입출구온도	30℃ - 35.0℃	소비전력	18.5kW	
		송풍기	Axial Fan	전원	3-380-60	
	냉각수 순환펌프	형식	인라인펌프	대수	2	1대 예비
		용량	1,517LPM x 22m x 10.0kW (실제 운전 동력 : 10.0kW)			91m ³ /hr
		전원	3-380-60			
	열교환기	형식	판형	교환열량	250 USr t	
		지중열 측	31.0℃ - 36.0℃	냉각탑측	35.0℃ - 30.0℃	
		유량	91m ³ /h	사용압력	10kg/cm ²	
	소비전력 합	냉방시	28.5kW	난방시	0	하이브리드 시스템 추가전력
	총소비전력	냉방시	247.8kW	난방시	249.9kW	전체 소비전력

- 다음은 하이브리드 지열방식의 적정 추가 냉각 혹은 난방용량을 분석하기 위해 분석대상에 대해 추가 냉각용량을 20% 단위로 조정(1차 Simulation 기준 60% 추가)하여 하이브리드 시스템을 선정한 결과표로 아래 용량을 제외한 시스템의 형식 등은 모두 앞의 표와 동일함. 열교환기 용량과 유량은 각각 냉각탑 용량과 유량과 동일하며, 난방 시에는 별도의 추가난방을 고려하지 않으므로 하이브리드 시스템의 추가 소비전력은 0.0kW 임.

[기존 지열 시스템 용량대비 하이브리드 시스템의 추가 냉각용량 비율에 따른 장비 사양 및 동력]

구분	선정 값					비고
추가 냉각용량 비율 (%)	20%	40%	60%	80%	100%	기존 지열 히트펌프 방식 대비
냉각탑 용량 (CRt)	50	100	150	200	250	각각 1대 선정
유량 (m ³ /h)	33	66	99	132	165	
냉각탑 소비전력 (kW)	5.5	11	18.5	22	30.0	
냉각수 순환펌프 소비전력 (kW)	3.4	6.7	10.0	13.3	16.7	각각 2대 선정 (1대 예비) 실제 운전동력 기준
소비전력 합 (kW)	8.9	17.7	28.5	35.3	46.7	냉방 운전 시 추가전력
총 소비전력 (kW)	228.2	237.0	247.8	254.6	266.0	냉방 운전 시 총 운전전력

2.5.2 지열 시스템 하이브리드 제어 프로세스 검증방법

- 본 연구에서는 총 냉방/난방 운전시간 중 각각의 시스템이 냉난방 부하를 처리하지 못하는 시간과 그 비율 및 총 냉방 또는 난방부하량 중 각각의 시스템이 냉난방 부하를 처리하지 부하량 합계와 그 비율을 분석하여 성능을 평가함.
- 지열 히트펌프 시스템의 경제성 평가는 각각의 시스템의 초기투자비와 운전비용을 바탕으로 단순투자비 회수 기간을 기준으로 분석하며, 단순투자비 회수 기간으로 경제성 평가가 어려운 경우보다 상세한 분석을 위해 LCC 분석함.
- 성능 분석에서는 열원 측 입구 순환수 온도조건에 따라 히트펌프의 운전이 자동정지 되어 냉난방이 불가능한 실제 운전조건으로 분석하지만, 경제성 분석 시에는 이렇게 히트펌프의 운전중지 조건에서 분석할 경우 운전지 장시간 중지되는 경우에는 오히려 연간 운전동력이 감소될 수 있기 때문에 경제성 분석 시에는 열원 측 입구 순환수 온도와 상관없이 냉난방 부하 발생 시 히트펌프는 상시 운전되는 것으로 가정하여 운전동력을 산정함. 하이브리드 지열 히트펌프 시스템의 경제성 분석 (단순투자비 회수기간 산정)은 일반 지열 시스템을 기준으로 초기투자비의 증가액과 운전동력비의 증감액을 비교하여 산정함.

1) 시스템 평가를 위한 조건 설정

- 지열 시스템 성능 및 경제성 평가를 위해서는 다양한 데이터가 필요하며, 기상 조건, 연간 시간별 냉난방 부하계산 결과 등은 확정적 자료로 적용이 가능하며, 일부는 제조업체의 장비 성능자료를 사용하고, 일부는 본 연구를 통해 실험적으로 얻은 자료와 이론치를 적용함. 그 외에 조건과 기준의 설정 및 가정을 하고 진행함.
 - ① 기상 조건
 - EnergyPlus에서 사용하는 서울(김포) 표준기상 자료 활용
 - 연중 24시간 에너지해석과 냉각탑 입출구 온도차이 산정에 필요
 - 표준년 기상자료(서울/김포) 적용
 - ② 냉난방 부하계산
 - 분석 대상 건물 개요에 따라 EnergyPlus Software 사용 시뮬레이션 실시
 - ③ 지열 시스템 입구 온도에 따른 시스템 성적계수
 - 본 연구결과에 따른 회귀식 적용
 - ④ 냉각 추가 하이브리드 방식에서 냉각탑에 의한 냉각량 산정
 - 본 연구결과에 따른 회귀식 적용
 - ⑤ 지열 히트펌프 입구 측 온도 예측
 - 지열 히트펌프 열원측 입구 온도는 본 연구에서 획득한 실제 지열히트펌프 운전 데이터를 바탕으로 시행착오법(trial and error method)로 예측식을 도출하여 적용함. 지열 히트펌프 입구측 온도 예측에 사용되는 변수로는 직전 시간 열원 측 입구 온도, 직전 시간 열원 측 출구 온도와 지중 예상 연평균 온도임.
 - ⑥ 지열 히트펌프의 운전정지 조건
 - 냉방 운전시 열원측 입구 온도 40℃ 초과시, 난방 운전시 열원측 입구 온도 5℃ 미만인 경우 히트펌프 운전 정지. 단, 경제성 분석을 위한 동력 산정 시에는 미 적용.
 - ⑦ 하이브리드 시스템(추가냉각) 적용 조건
 - 하이브리드 시스템 즉 여기서는 추가냉각 시스템의 적용여부는 몇 단계를 거쳐 조건을 비교한 후 결정.
 - 첫 번째는 냉방운전 조건하에서 열원측 입구온도와 외기 습구온도를 비교하여 열원측 입구온도가 외기 습구온도 보다 같거나 낮으면 일반 지열방식으로 운전하며, 높을 경우에는 일단 추가냉각 적용으로 진행하여 다음 단계로 진행.

- 두 번째 단계는 하이브리드 적용에 따른 냉각후 열원측 입구온도 산정한 후 인 온도에 따라 히트펌프의 COP를 산정한 후 하이브리드 운전시의 사용전력을 산정. 하이브리드 운전시의 사용전력은 해당시간의 냉방부하량을 COP로 나눈 히트펌프의 운전동력에 지열원 순환펌프 동력과 하이브리드 시스템(냉각수 순환펌프동력 + 냉각탑 동력)을 더해 산정.
- 세 번째 단계로는 일반 지열 시스템 적용 시의 사용전력과 하이브리드 시스템 적용 시의 사용전력을 비교하여 하이브리드 시스템의 사용전력이 일반 지열 시스템의 사용전력보다 낮거나 같은 경우에는 하이브리드 시스템을 적용하고, 그렇지 않을 경우에는 일반 지열시스템을 적용하여 계산을 진행한 후 다음 시간 단계로 이동한다. 기타 내용은 일반 지열히트 펌프 방식과 동일한 기준을 적용함.

(1) 지열 시스템 입구 측 온도 예측

- 열원 측 입구 온도 지열 시스템의 운전기간 및 운전여부, 연간 냉난방부하, 지열히트펌프의 성능, 지중천공 상태(용량, 설치간격, 설치깊이), 지중 조건 등 아주 다양한 조건에 영향을 받게 되어 이를 예측하는 매우 어렵다. 열원측 입구 온도는 운전기간 및 운전여부에 따라 다음과 같은 온도변화가 예측됨.
 - 냉난방 운전기간-1 : 지열히트펌프 가동
 - 냉방운전시 : 지중 순환수는 히트펌프 가동에 따라 온도가 상승된 후 지중에서 열교환하며 온도가 일부 변동된(일반적으로 낮아짐) 후 열원측 입구로 순환된다.
 - 난방운전시 : 지중 순환수는 히트펌프 가동에 따라 온도가 하강된 후 지중에서 열교환하며 온도가 일부 변동된(일반적으로 높아짐) 후 열원측 입구로 순환된다.
 - 냉난방 운전기간-2 : 지열히트펌프 정지
 - 지중 순환수가 정지되어 있는 상태에서 지중에서 계속 열교환하여 온도가 서서히 변동(일반적으로 냉방 운전 기간에는 하강, 난방운전 기간에는 상승) 함
 - 중간기(냉난방 운전 정지기간)
 - 본 분석에서 난방 완료부터 냉방 개시전 까지(3월16일 ~ 5월 31일)와 냉방 완료부터 난방 개시전 까지(10월1일 ~ 11월 15일) 까지의 기간으로 지중 순환수가 정지되어 있는 상태에서 지중에서 계속 열교환하여 온도가 서서히 변동함(일반적으로 춘계에는 상승, 추계에는 상승).
- 위의 온도변화 방식에 따라 본 분석에서는 열원 측 입구 온도(현재시간)에 미치는 영향 인자로 ① 직전 시간 열원 측 입구 온도, ② 직전 시간 열원 측 출구 온도와 ③ 지중 연평균 온도를 이용하여 운전 기간 및 운전 여부에 따라 시행착오법(trial and error method)으로 예측 식을 도출하였으며, 기본 식은 다음과 같음.

열원측 입구 온도(현재시간)

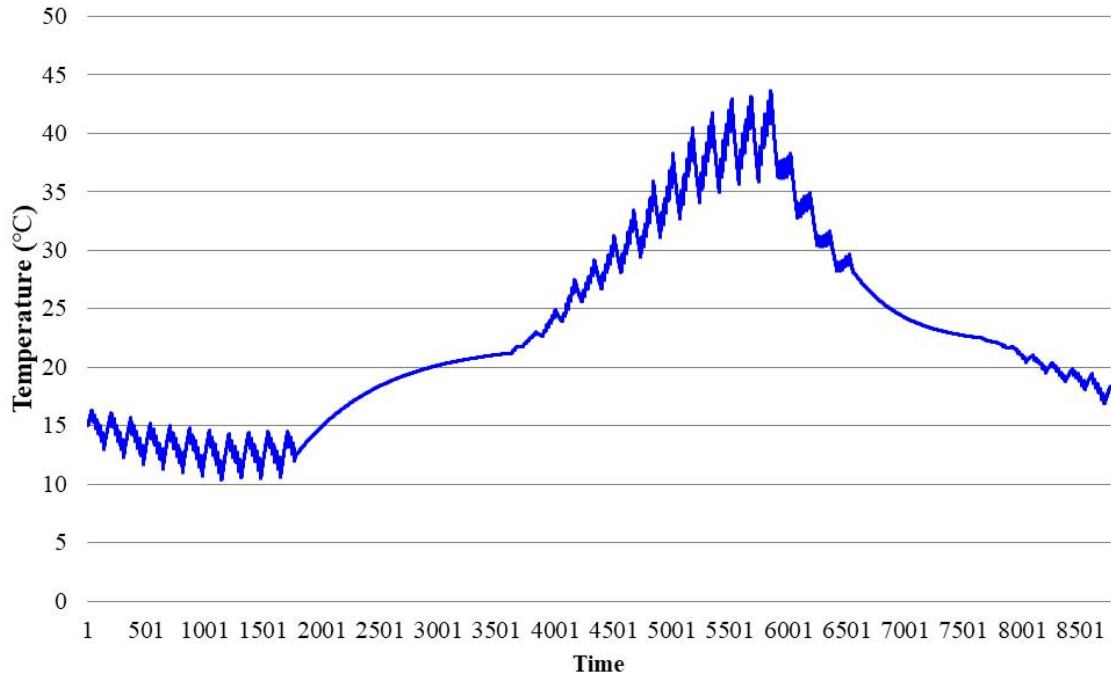
$$= \text{직전시간 열원측 출구온도} + (\text{히트펌프 작동여부에 따른 상수} : 1 \text{ OR } -1) \\ \times (\text{지중 연평균 온도} - \text{직전시간 열원측 출구온도}) \div N(\text{온도변화 속도를 고려한 시험값})$$

여기서

- 히트펌프 작동여부에 따른 상수 : 히트펌프 운전시 = -1 / 히트펌프 정지시 = 1
- 온도변화 속도를 고려한 시험값 N : 냉난방운전기간 중 히트펌프 가동시 = 148
 냉난방운전기간 중 히트펌프 가동시 = 71
 중간기(춘계) = 739.2(중간기(춘계) 기간 총시간의 1/2.5)
 중간기(추계) = 441.6(중간기(추계) 기간 총시간의 1/2.5)
- 지중 연평균 온도 : 22.0℃ (기존 K대상 건물 지열히트펌프 운전 개시 후 3년차 열원측 입구 연평균 온도 : 상대적인 기준으로 모든 분석에 동일한 영향을 미침)

- 열원측 출구온도 = 열원측 입구온도 + 정격운전시 열원 입출구 온도차(일반적 5℃)
 $\times (\text{히트펌프 실제 운전동력} \div \text{정격운전시 운전동력})$

- 다음의 그림은 위의 열원측 입구 온도 예측 모델을 적용한 경우 본 분석에 적용한 일반 지열히트펌프 방식의 연중 열원측 입구 온도 Simulation 결과임.



[일반 지열 히트펌프 방식의 연중 열원 측 입구 온도 시뮬레이션 결과]

(2) 지열 시스템 운전 정지 조건

- 모든 장비는 운전조건에 따른 정격용량과 이에 따른 정격전력이 정해져 있으며, 지열히트펌프 시스템의 경우 열원측 입구 온도의 변화나, 냉난방 부하변동에 따른 부하측 입구온도의 변화가 발생하면 히트펌프의 운전용량과 운전전력이 변하게 되며, 운전시 여러 가지의 표준 조건이 일정 범위를 넘게 되면 기능을 발휘할 수 없으며, 특히 장비의 안정적 운전을 위해 강제로 장비 운전을 정지함.
- 지열히트펌프의 경우 일반적으로 열원측 입구 온도가 냉난방 운전에 따른 적정범위를 넘게되면 COP가 낮아지며 이에 따라 운전전력이 커지게 되어 장비에 무리를 주게 된다. 이에 따라 일반적으로 장비 제조사의 경우 냉방 운전시에는 열원측 입구온도가 40℃ 초과인 경우, 난방 운전시에는 열원측 입구온도가 5℃ 미만인 경우 강제로 지열히트펌프의 운전을 정지시키는 것이 일반적이다. 따라서 본 분석에서도 이 조건을 적용하여 시뮬레이션을 실시함.
- 실제 운전 시에는 열원측 입구온도 뿐 아니라 부하측 입구온도 및 운전전력에 따라서도 히트펌프의 가동을 중지시킬 수 있으나, 본 시뮬레이션의 목적상 이에 대한 고려까지는 필요없다고 보며, 부하측 입구온도나 운전동력도 열원측 입구온도에 가장 큰 영향을 받게 되므로 열원측 입구온도만을 운전여부의 조건으로 적용한다. 따라서 열원측 입구온도에 따른 히트펌프의 강제 운전정지 이외의 경우에는 대상건물의 냉난방부하를 모두 처리하는 것으로 가정함.

(3) 지열 시스템 순환펌프 운전 조건 (지열원 순환펌프 동력 산정기준)

- 지열원 순환펌프는 냉난방 운전시간 중에는 정유량으로 운전되는 것으로 가정한다. 즉 냉난방 운전시 지열원 순환펌프는 계산 운전동력 16.0kW(3.2kW/대 $\times$ 5대) 100%가 사용되는 것으로 계산한다. 실제 운전시에는 5대의 순환펌프가 있으며, 냉난방 부하비율에 따라 지열히트펌프 및 지열순환펌프가 다단 운전되나, 다단 운전의 분석이 용이하지 않으며, 특히 하이브리드 방식에서 열교환후 온도를 계

산할 수 없어 정유량으로 정격 운전되는 것으로 가정한다. 이는 전체 운전동력 중 순환펌프가 차지하는 비중이 크지 않으며, 또한 본 분석은 상대비교 방식으로 모든 방식에 유사한 영향을 미치므로 정유량 운전으로 것에 문제가 없음.

(4) 하이브리드 추가 냉각 운전조건

- 하이브리드 시스템의 운전은 하이브리드 추가 냉각 가동 조건에서는 정유량으로 운전되는 것으로 가정함. 즉 하이브리드 추가 냉각 조건에서는 냉각탑과 냉각수 순환펌프의 운전동력(본 분석 시 28.5kW : 하이브리드 추가 냉각 용량은 기존 지열히트펌프 용량의 60% 경우) 100%가 사용되는 것으로 계산하며 실제 운전 시에는 계측 값에 따라 운전 제어가 가능함.

2) 시스템 평가 프로세스

- 위와 같은 일반 지열 히트펌프 시스템과 하이브리드 지열 히트펌프 시스템의 성능 평가와 경제성 평가를 위한 지열 시스템 운전 동력량 산정을 위한 계산절차와 알고리즘을 정리하면 다음의 표와 같다. 단 여기서 경제성 평가 시에는 상대적 비교를 위해 열원 측 입구온도에 따른 지열 히트펌프 운전 여부를 판단하지 않고 항상 히트펌프가 운전되는 조건으로 분석함.

[일반 지열 히트펌프 시스템의 성능평가 및 운전 동력 산정을 위한 계산절차 및 알고리즘]

항목		단위	Data 획득	계산식	기타
START					
시각	월 / 일 / 시	숫자 **	기정값		
운전여부		0 / 1 / 2	기정값	1(난방) : 1.1~3.15 / 11.16~12.31 08:00~18:00 주말제외 2(냉방) : 6.1~9.30 08:00~18:00 주말제외	0 : 냉난방 운전안함 1 : 난방운전 2 : 냉방운전 * 2017년 기준 주말 적용
외기 조건	건구온도/상대습도	℃ / RH %	기정값	-	* 표준년 기상자료(서울)의 외기건구온도/상대습도 자료를 이용 외기 습구온도 계산(전환 프로그램)
	습구온도	℃	계산	습구온도 계산 프로그램 이용 입력	
① 냉난방 부하량		kW	기정값	별도 사전 계산	- Energy Plus 계산결과(단위면적당 부하) x 공조공간 면적(1,180m²)
① 열원측 입구온도 계산		℃	계산	열원측 입구 온도(현재시간) = 직전시간 열원측 출구온도 + (히트펌프 작동여부에 따른 상수) x (지중 연평균 온도 - 직전시간 열원측 출구온도) ÷ N(온도변화 속도를 고려한 시험값)	- 지열히트펌프 입구측 온도예측 참조
② 지열히트펌프 운전여부 판단		-	비교	* 냉방운전시 if 지열입구온도 < 40℃ 운전 - ③단계 진행 - 처리부하량 = ① 부하량 / 미처리 부하량 = 0 else - 히트펌프 운전 정지 => ⑥ 단계 진행 - 처리부하량 = 0 / 미처리 부하량 = ① 부하량	* 난방운전시 if 지열입구온도 > 5℃ : 운전 else : 히트펌프 운전 정지 나머지는 진행은 냉방운전과 동일
히트펌프 COP (일반방식)	③ COP 비율	-	계산값	독립변수 : 열원입구온도 (냉난방 각각)	* 열원측 입구온도에 따른 COP 비율 회귀식
	④ COP 일반	-	계산값	COP = 장비업체 표준 COP x COP 비율	* 장비업체 표준 COP 사전입력
⑤ 사용전력		kW	계산값	사용전력 = 히트펌프운전전력 + 지열원순환펌프 동력 = 냉난방부하량 ÷ COP일반 + 지열원순환펌프 동력	
⑥ 열원측 출구온도 계산		℃	계산값	열원측출구온도 = 열원측입구온도 + (히트펌프운전전력 ÷ 히트펌프정격전력) x 히트펌프설계온도차(5℃) = 열원측입구온도 + (계산 COP ÷ 표준COP) x 온도차(5℃)	* 정격전력 : 장비 업체 자료 * (H.P.사용전력 ÷ H.P.정격전력) = (계산COP ÷ 표준COP)
⑦ 다음 시간단계로 이동					

[하이브리드 지열 히트펌프 시스템의 성능평가 및 운전 동력 산정을 위한 계산절차 및 알고리즘]

항목		단위	Data 획득	계산식	기타
START -> ① 열원측 입구온도 계산시각				위 일반지열 계산절차 및 알고리즘 적용	
② 하이브리드 운전 여부 1차판단		-	비교	if 운전조건 = 냉방 & 열원측 입구온도 > 습구온도 True 하이브리드 운전고려 => ③ else 하이브리드 적용 안함 => ④	* 냉방운전 조건인 경우만 본 단계 적용함
③ 하이브리드 적용에 따른 냉각후 열원측 입구온도 산정		℃	계산	열교환후 열원측 입구온도 = 열교환전 열원측 입구온도 - 냉각탑유량 x 냉각탑입출구온도차 ÷ 열원측유량 x 열교환효율 => ④	* 냉각탑입출구온도차 : 습구온도와 냉각탑 업체 제공 자료에 따라 회기식으로 산정 * 열교환효율 95% 적용
④ 지열히트펌프 운전여부 판단		-	비교	* 냉방운전시 if 지열입구온도 < 40℃ 운전 - ⑤단계 진행 - 처리부하량 = ① 부하량 / 미처리 부하량 = 0 else - 히트펌프 운전 정지 => ⑥ 단계 진행 - 처리부하량 = 0 / 미처리 부하량 = ① 부하량	* 난방운전시 if 지열입구온도 > 5℃ : 운전 else : 히트펌프 운전 정지 나머지는 진행은 냉방운전과 동일
히트펌프 COP 산정	⑤ COP -일반	-	계산값	COP-일반 = 장비업체 표준 COP x ①온도에 따른 COP 비율	* 열원측 입구온도에 따른 COP 비율 회기식
	⑥ COP -하이브리드	-	계산값	COP-하이브리드 = 장비업체 표준 COP x ③온도에 따른 COP 비율	* 장비업체 표준 COP 사전입력
지열 운전방식별 사용전력 산정	⑦ 사용전력 - 일반	kW	계산값	사용전력-일반 = 냉난방부하량 ÷ ⑤ COP일반 + 지열원순환펌프 동력	* 지열원순환펌프 동력 : 정류량 방식 / 일정
	⑧ 사용전력 -하이브리드	kW	계산값	사용전력-하이브리드 = 냉난방부하량 ÷ ⑥ COP하이브리드 + 지열원순환펌프 동력 + 냉각수 순환펌프동력	* 냉각수순환펌프 동력 : 정류량 방식 / 일정
⑨ 하이브리드 운전 여부 2차판단		-	비교	if ⑦ 사용전력-일반 < ⑧ 사용전력-하이브리드 => 하이브리드 운전안함 : 입구온도 ①값 / COP ⑤ / 사용전력 ⑦값 적용 else 하이브리드 운전 : 입구온도 ③값 / COP ⑥ / 사용전력 ⑧값 적용	
⑩ 열원측 출구온도 계산		℃	계산값	열원측출구온도 = 열원측입구온도(① or ③) + (H.P.사용전력 ÷ H.P.정격전력) x 히트펌프설계온도차 (5℃) = 열원측입구온도 + (계산 COP ÷ 표준COP) x 온도차(5℃)	* 정격전력 : 장비 업체 자료 * (H.P.사용전력 ÷ H.P.정격전력) = (계산COP ÷ 표준COP)
⑪ 다음 시간단계로 이동					

2.5.3 지열 시스템 하이브리드 프로세스 성능 검증

- 일반 지열히트펌프 시스템과 하이브리드 지열히트펌프 시스템(냉각 추가형)의 성능평가는 냉방기간 중 각각의 시스템이 냉방부하를 처리하지 못하는 시간과 그 비율 및 총냉방 부하량 중 각각의 시스템이 냉방부하를 처리하지 부하량 합계와 그 비율을 분석하여 성능을 평가함.

1) 추가 냉각 용량 60% 하이브리드 지열 시스템 적용시 성능 비교 평가

- 일차적으로 사례분석에서 적용한 일반 지열히트펌프 시스템과 냉각추가형 하이브리드 지열히트펌프 시스템(추가냉각용량 60%)의 성능을 종합 분석하면 다음의 표와 같다. 참고로 연중 총 냉방부하량은 난방부하량의 159.7%로 산정됨.

[일반 지열히트펌프 시스템과 하이브리드 지열 히트펌프 시스템의 성능 비교]

구분			일반 지열히트펌프 시스템	하이브리드 지열히트펌프 시스템 (60%용량)	비고 (차이)
운전 시간	냉방 운전	시스템 운전 필요시간	870 hr/yr	870 hr/yr	-
		시스템 정지시간	76 hr/yr	5 hr/yr	71 hr/yr
		시스템 정지비율	8.7%	0.6%	-
	난방 운전	시스템 운전 필요시간	850 hr/yr	850 hr/yr	-
		시스템 정지시간	0 hr/yr	0 hr/yr	-
		시스템 정지비율	0.0%	0.0%	-
	냉난방 합계	시스템 운전 필요시간	1,720 hr/yr	1,720 hr/yr	-
		시스템 정지시간	76 hr/yr	5 hr/yr	-
		시스템 정지비율	4.4%	0.3%	-
처리 부하량	냉방 운전	총 부하량	461,121 kWh/yr	461,121 kWh/yr	-
		미처리부하량	55,030 kWh/yr	4,039 kWh/yr	50,990 kWh/yr
		미처리부하량 비율	11.9%	0.9%	-
	난방 운전	총 부하량	225,145 kWh/yr	225,145 kWh/yr	-
		미처리부하량 비율	0 kWh/yr	0 kWh/yr	-
		미처리부하량 비율	0.0%	0.0%	-
	냉난방 합계	총 부하량	686,265 kWh/yr	686,265 kWh/yr	-
		미처리부하량 비율	55,030 kWh/yr	4,039 kWh/yr	-
		미처리부하량 비율	8.0%	0.6%	-
연평균 지열히트펌프 열원 입구측 온도			22.91℃	21.86℃	1.04℃ 365일 24시간

- 시뮬레이션 결과 일반 지열 히트펌프 시스템의 경우 냉방 운전 기간 열원 입구 측 순환수 온도가 40℃를 초과하여 히트펌프 가동이 중단되는 시간이 총 76시간으로 나타나 전체 냉방 운전시간 중 8.7%에 해당되는 시간 동안 냉방공급이 중단됨. 냉방 기간 중 히트펌프의 중단은 6월 1일 냉방 운전이 시작된 후 열원 입구 측 순환수 온도가 지속적으로 상승하여 8월 4일(금) 18:00에 처음 발생하였으며, 이후 9월 1일에 최종 발생되었음. 8월 18일, 8월 25일, 9월 1일은 1일 냉방 운전 시 히트펌프 가동이

중단되어, 실제 건물에서 이러한 현상이 발생할 경우 건물 운영 자체가 불가해지는 상태가 발생함.

- 반면 냉각 추가용량 60%의 하이브리드 지열 히트펌프 시스템의 경우 냉방기간 중 히트펌프 가동이 중단되는 시간이 총 5시간으로 나타나 전체 냉방 운전시간 중 0.6%에 해당되는 시간 동안 냉방공급이 중단되는 것으로 나타났으며, 냉방 운전 중단은 8월 18일 18시와 8월 31일 15시~18시까지 4시간 동안 발생하여, 일부 시간 냉방에 문제가 발생하는 건물 운영에 문제가 발생하지 않을 수 있음.
- 냉방 시 열원 입구 측 순환수 온도가 40℃를 넘어 히트펌프 가동이 중단되어 처리하지 못하는 냉방부하 연간 총 냉방부하 461,121kWh/yr 중 일반 지열 히트펌프 시스템은 55,030kWh/yr로 전체 냉방부하량의 11.8%로 매우 높게 나타났으나, 하이브리드 지열 히트펌프 시스템은 4,039kWh/yr로 전체 냉방부하량의 0.9%로 미처리 부하량을 크게 낮추는 효과가 있음.
- 참고로 지열 히트펌프 가동이 되지 않는 시간을 포함한 연중 24시간의 지열원 입구 측 순환수의 평균 온도는 일반 지열 히트펌프 시스템은 22.91℃, 하이브리드 지열 히트펌프 시스템은 21.86℃로 하이브리드 시스템이 1.04℃ 낮게 나타남. 이는 본 연구에서 분석한 것과 같이 하이브리드 방식을 적용하지 않을 경우 지중 온도가 지속적으로 높아져 사용년수가 증가할수록 냉방 운전이 불가능한 기간이 지속적으로 증대되어 냉방성능을 발휘하지 못하는 것을 확인 할 수 있음.
- 한편 난방운전의 경우에는 일반 지열 히트펌프 시스템과 하이브리드 지열 히트펌프 시스템 모두 열원 입구측 순환수 온도가 5℃ 미만으로 낮아져 히트펌프의 운전 중단이 발생하지 않음.

2) 추가 냉각 용량별 하이브리드 지열 시스템 적용 시 성능 비교 평가

- 다음은 냉각 추가형 하이브리드 지열 히트펌프 시스템의 일반 지열 히트펌프 시스템 용량대비 추가 냉각용량의 변화에 따른 성능을 평가한 것으로, 앞서 분석시 난방 운전에는 문제가 전혀 발생하지 않으므로 냉방 운전에 대해서만 분석하였음. 참고로 최대 냉방부하는 최대 난방부하의 124.3%이며, 냉방운전 기간 부하의 합은 난방운전 기간 부하 합의 159.7%으로 나타남.
- 하이브리드 지열 히트펌프 시스템의 추가 냉각용량을 기존 일반 지열 히트펌프 용량대비 20%, 40%, 60%, 80%, 100%로 적용할 경우의 성능을 시뮬레이션 한 결과, 냉방시 열원 입구 측 온도가 40℃를 초과하여 히트펌프의 가동이 중단되어 냉방이 불가한 시간은 추가 냉각용량 비율이 증대될수록 줄어들어, 기존 일반 지열 히트펌프 시스템의 경우 연간 총 76시간 히트펌프 운전이 정지되는 것에 비해, 하이브리드 지열 히트펌프 시스템은 추가 냉각 용량을 20%로 할 경우 42시간으로 크게 줄어들었으며, 40%의 경우 19시간, 60%의 경우는 5시간으로 줄어들고 80% 이상의 용량에서는 냉방 시 히트펌프가 중단되는 경우가 나타나지 않음.
- 히트펌프가 중단되지 않는 최소 추가냉각 비율을 구하기 위해 추가냉각 비율을 0.5%씩 증대시키며 분석한 결과(이 경우 하이브리드 시스템의 동력은 60%와 80% 사이의 보간법으로 산정) 73.0%에서 처음으로 히트펌프가 중단시간이 0시간으로 나타났다. 이는 본 분석에서 적용한 대상 건물의 연간 총 냉방부하량이 난방부하량의 159.7%인 점을 고려할 때 냉난방 부하비율의 108.3%(173.0% ÷ 159.7%)로 계산되며, 이는 추후 하이브리드 지열히트펌프 시스템의 추가 냉각 용량 선정 기준의 참고로 사용될 수 있다고 판단됨.
- 한편 추가냉각 비율의 증대에 따라 당연히 냉방 미처리 부하량은 감소되었으며, 지열히트펌프 가동이 되지 않는 시간을 포함한 연중 24시간의 지열원 입구측 순환수의 평균온도도 추가냉각 비율의 증대에 따라 낮아져, 일반 지열히트펌프 시스템의 경우 22.91℃ 였으며, 추가 냉각용량 100%의 경우에는 21.57℃로 일반 지열히트펌프 시스템보다 1.34℃ 낮게 나타났음. 연평균 지중온도를 22.0℃로 가정하여 분석한 결과 일반 지열히트펌프 시스템은 지중 온도의 상승이 예상되는데 비해 하이브리드 지열 히트펌프 시스템은 지중 온도를 낮추거나 유지할 수 있어 이는 기존에 문제가 발생하는 일반 지열히트펌프 시스템 설치 건물에 대해 추가 냉각시스템을 적용할 경우 냉방운전 불가 시간의 단축 뿐 아니라 지중 온도를 지속적으로 낮추어 시스템 성능을 회복할 수도 있음을 알 수 있으며, 이 경우에는 연간 냉난방 부하량 비율보다는 추가 냉각용량을 증대시켜 적용할 필요가 있으며, 이에 대한 추가 연구가 필요하다고 판단됨.
- 또한 아래 표에서와 같이 외기의 습구온도가 낮아 하이브리드 방식을 적용하여 열원측 입구 순환수를 냉각할 수 있는 시간은 연중 최소 788시간(추가 냉각 용량 20% 경우)에서 최대 795시간(추가 냉각 용량 100% 경우)로 분석되었으며, 운전동력까지 고려하여 실제 하이브리드 방식을 적용한 시간은 최소

40시간(추가 냉각 용량 20% 경우)에서 최대 57시간(추가 냉각 용량 40% 경우)로 분석되었음. 이는 외기의 습구온도가 낮아 하이브리드 방식을 적용할 경우 열원 입구측 온도가 낮아져 히트펌프의 COP가 높아져 히트펌프의 운전동력은 감소하나 하이브리드 방식 운전을 위한 전기동력이 증가되어 경제성이 낮은 시간이 대부분으로 실제 하이브리드 시스템의 적용시간이 상대적으로 낮으나, 운전동력이 다소 증가되더라도 하이브리드 방식을 적용할 경우 냉방가동 정지 시간을 줄일 수 있으며 지중 온도를 조금이라도 낮출 수 있는 효과가 있으므로 이를 고려한 하이브리드 운전방식에 대한 상세한 추가 연구가 필요하다고 판단됨.

[일반 지열히트펌프 시스템과 추가냉각 용량비율별 하이브리드 지열 히트펌프 시스템의 성능 비교]

구분		일반 지열 시스템	하이브리드 지열 시스템 (추가 냉각 비율)					
			20%	40%	60%	73%	80%	100%
운전 시간	운전 필요시간 (hr/yr)	870	870	870	870	870	870	870
	시스템 정지시간 (hr/yr)	76	42	20	5	0	0	0
	시스템 정지비율	8.7%	4.8%	2.2%	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%
냉방 부하 처리	총 부하량 (kWh/yr)	461,121	461,121	461,121	461,121	461,121	461,121	461,121
	미처리부하량 (kWh/yr)	55,030	32,741	15,956	4,039	0	0	0
	미처리부하량 비율	11.9%	7.1%	3.5%	0.9%	0.0%	0.0%	0.0%
연평균 지열히트펌프 열원 입구측 온도 (°C)		22.91	22.52	22.18	21.86	21.74	21.66	21.57
하이브리드 적용시 열원측 입구온도 하강시간 누계(hr/yr)		-	788	790	793	794	794	795
하이브리드 운전시간 (hr/yr)		-	46	57	40	51	51	28

2.5.4 지열 시스템 하이브리드 프로세스 경제성 분석

- 본 연구의 경제성 분석은 일반 지열히트펌프 시스템과 하이브리드 지열 히트펌프 시스템을 비교하는 것으로 초기투자비와 운전비용을 바탕으로 단순투자비회수기간을 산정하여 분석함.
- 지열히트펌프 시스템의 경제성 평가는 각각의 시스템의 초기투자비와 운전비용을 바탕으로 단순투자비회수기간을 기준으로 분석하며, 단순투자비 회수기간으로 경제성 평가가 어려운 경우 보다 상세한 분석을 위해 LCC 분석을 실시함. 단 앞의 성능분석에서는 열원측 입구 순환수 온도조건에 따라 히트펌프의 운전이 자동정지 되어 냉난방이 불가능한 실제 운전조건으로 분석하였으나, 경제성 분석시에는 이렇게 히트펌프의 운전중지 조건에서 분석할 경우 장시간 히트펌프 운전이 중지되는 경우에는 연간 운전동력이 낮게 계산되어 경제성 평가를 왜곡할 수 있음. 따라서 경제성 분석시에는 열원측 입구 순환수 온도와 상관없이 냉난방부하 발생시 히트펌프는 상시 운전되는 것으로 가정하여 운전동력을 산정함.

1) 초기투자비 산정

- 냉각 추가형 하이브리드 지열 히트펌프 시스템은 기존 지열 시스템에 냉각탑, 열교환기, 냉각수 순환 펌프 장비를 추가하고, 기존 열원 입구측 배관에서 분기하여 열교환을 거친 후 다시 지열 히트펌프로

보내주는 것으로, 하이브리드 지열 히트펌프는 순 추가 비용만 발생하게 됨.

- 기존 지열히트펌프 시스템 용량대비 추가 냉각용량 비율별 추가 직접공사비는 다음의 표와 같음. 기존 일반 지열히트펌프 시스템의 직접 공사비는 886,439,096원이며, 추가냉각 용량비율별 기존 지열 시스템 대비 공사비 비율도 비교하였음. 앞서 성능평가에서 기본으로 검토한 냉각용량 추가비율 60%인 경우 추가비용은 117,300백만원이며, 기존 시스템 대비 13.2% 공사비가 추가되는 것을 확인할 수 있음. 냉각용량 추가비율 100%인 경우 추가비용은 153,421백만원이며, 기존 시스템 대비 17.3% 공사비가 추가 발생함. 추가냉각 용량별 공사비 세부 산정 근거는 부록1에서 확인 할 수 있음.

[지열 히트펌프 하이브리드 시스템의 추가 냉각 용량 비율에 따른 장비 사양 및 동력]

구분	선정 값					비고
추가 냉각 용량 비율 (%)	20%	40%	60%	80%	100%	기존 지열히트펌프 방식 대비
냉각탑용량 (CRt)	50	100	150	200	250	각각 1대 선정
유량 (m ³ /h)	33	66	99	132	165	
총 직접 공사비	973,942,313	984,912,539	1,003,739,167	1,020,713,633	1,039,860,082	
추가공사비	87,503,217	98,473,497	117,300,071	134,300,071	153,420,986	
추가공사 비율	109.9%	111.1%	113.2%	115.1%	117.3%	

2) 연간운전비 산정

- 앞의 지열히트펌프 성능분석 알고리즘에 따라 실제 운전되는 연간 일반 지열히트펌프 시스템과 하이브리드 지열히트펌프 시스템의 부하처리 성능과 운전동력을 산정할 수 있음. 냉각 추가형 하이브리드 지열히트펌프 시스템의 용량이 증대될수록 열원측 입구온도를 더 낮출 수 있으며, 이에 따라 히트펌프의 COP가 높아지게 되며 따라서 냉각시 운전동력은 절감됨. 성능분석 시에는 열원측 입구온도가 40℃ 이상이면 히트펌프의 운전이 정지되어 히트펌프가 전력을 사용하지 않는 것으로 분석하였으나, 이러한 방식으로 분석하게 되면 운전 중지때 따른 전력 사용량의 영향이 커서 상대적 비교를 위한 경제성 평가를 왜곡할 수 있음. 따라서 경제성 분석시에는 열원측 입구온도 조건과 관계없이 냉난방 부하가 발생할 경우 히트펌프가 가동하여 냉난방 부하를 모두 처리하는 가정으로 분석하였음.
- 연간 운전비용 산정을 위한 전력요금 산정시 다음의 기준에 따라 산정함.
 - 전력요금은 2019년 12월 15일 기준 한국전력의 전력요금 기준을 적용.
 - 전력요금은 일반용전력(을) 요금체계(300kW 이상 수전) 중 고압A(3,300~66,000V), 선택 II 요금체계를 적용.
 - 기본 요금은 하이브리드 시스템 적용을 위한 추가 냉각비율별 추가 동력을 기준으로 산정하며, 연간 12개월을 적용.
 - 기본요금은 하이브리드 방식의 경우 냉각용량별 일반지열 대비 추가 전력량을 기준으로 산정.
 - 부가가치세와 전력산업기반 기금을 반영 전력요금의 13.7%를 추가 반영.
- 다음의 표는 기존 일반 지열 히트펌프 시스템과 하이브리드 방식의 추가 냉각용량 비율별 연간 운전 비용을 산정한 결과임.

[연간 냉난방 운전 동력과 연간 전력 사용 요금 비교]

구분	일반지열 히트펌프 시스템	하이브리드 지열히트펌프 시스템 / 추가 냉각비율 비교				
		20%	40%	60%	80%	100%
냉방운전전력량 (6~8월) (kWh/yr)	118,278	92,621	95,848	104,131	102,196	107,920
냉방운전전력량-2 (9월) (kWh/yr)	30,693	22,218	24,146	25,036	24,136	25,375
연간 냉방운전 전력량 (kWh/yr)	148,972	114,840	119,994	129,167	126,332	133,295
냉방 운전 전력량 사용 비율	기준	77.09%	80.55%	86.71%	84.80%	89.48%
연간 난방운전 전력량 (kWh/yr)	60,948	60,979	61,002	61,012	61,033	61,033
난방 운전 전력량 사용 비율	기준	100.05%	100.09%	100.11%	100.14%	100.14%
연간 운전 전력량 (kWh/yr)	209,919	175,819	180,996	190,179	187,365	194,328
연간 운전 전력량 사용 비율	기준	83.76%	86.22%	90.60%	89.26%	92.57%
냉방전력 사용 요금 (6~8월) (원/yr)	18,363,602	14,380,155	14,881,088	16,167,085	15,866,720	16,755,319
냉방전력 사용 요금 (9월) (원/yr)	3,093,023	2,238,978	2,433,261	2,522,917	2,432,212	2,557,127
연간 냉방전력 사용 요금 (원/yr)	21,456,625	16,619,133	17,314,349	18,690,002	18,298,932	19,312,446
연간 난방전력 사용 요금 (원/yr)	8,841,674	8,846,234	8,849,515	8,851,039	8,854,055	8,854,089
연간 냉난방전력 사용 요금 (원/yr)	30,298,299	25,465,368	26,163,864	27,541,041	27,152,988	28,166,536
연간 냉난방전력 사용 요금 비율	기준	84.05%	86.35%	90.90%	89.62%	92.96%
추가 동력 (kW)		8.9	17.7	28.5	35.3	46.7
추가기본요금 (원/yr)	0	1,010,311	2,009,270	3,235,265	4,007,188	5,301,294
연간 전력요금 (원/yr)	30,298,299	26,475,678	28,173,134	30,776,307	31,160,176	33,467,830
연간 절감액 (원/yr) (하이브리드-일반)	기준	-3,822,621	-2,125,165	478,008	861,877	3,169,531
연간 전력요금 비율	100.00%	87.38%	92.99%	101.58%	102.84%	110.46%

- 연간 냉방운전 전력량은 일반 지열 히트펌프 방식이 148,972kWh/yr인데 비해, 하이브리드 지열 히트펌프 방식의 경우 모두 일반 지열 히트펌프 방식보다 전력사용량이 작았으며, 추가 냉각 비율이 20%인 경우가 일반 지열의 77.1%로 가장 작게 나타났으며, 추가 냉각 비율이 100%인 경우가 일반 지열의 89.5%로 가장 높게 나타남. 추가 냉각 비율이 80%인 경우가 추가 냉각 비율 60%인 경우 보다는 다소 작게 나타남. 냉방 운전시 전력사용량은 6~8월에 비해 9월에 일반 지열히트펌프 방식 보다 하이브리드 지열히트펌프 방식의 절감 비율이 높아 추가 냉각 비율이 20%인 경우 6~8월의 일반 지열 대비 전력사용량이 78.3%인데 비해 9월의 경우에는 72.4% 낮게 나타났으며, 이는 외기의 습구온도 저하에 따라 열원측 입구온도 하강 폭이 커서 히트펌프의 COP가 높아졌기 때문으로 판단됨.
- 연간 난방운전 전력량은 일반 지열히트펌프 방식이 60,648kWh/yr인데 비해 하이브리드 지열히트펌프 방식의 경우 모두 그 차이는 크지 않으나 일반 지열히트펌프 방식보다 전력사용량이 많았으며, 추가

냉각 비율이 증가 될수록 전력사용량이 극히 적기는 하나 증가되어 추가 냉각 비율이 100%인 경우가 일반 지열 히트펌프 방식의 100.14%로 다소 높게 나타남. 이는 추가 냉각에 따라 냉방기간 중 열원측 입구 순환수 온도가 낮아져, 동계 난방 운전시 열원측 입구 순환수 온도를 일정 부분 낮추었기 때문에 발생한 것으로 판단됨.

- 연간 냉난방 운전 전력량은 일반 지열히트펌프 방식이 209,919kWh/yr인데 비해 하이브리드 지열히트펌프 방식의 경우 모두 일반 지열히트펌프 방식보다 전력사용량이 작게 나타나, 추가 냉각 비율이 20%인 경우 연간 전력사용량은 175,819kWh/yr로 일반 지열의 83.76%로 가장 작게 나타났으며, 추가 냉각 비율이 100%인 경우 연간 전력사용량은 194,328kWh/yr로 일반 지열의 92.57%로 나타남.
- 냉난방 운전에 사용된 운전 전력량으로 산정한 냉난방 운전 전력 사용요금은 일반 지열히트펌프 방식이 30,298,299원/yr인데 비해 하이브리드 지열히트펌프 방식의 경우 모두 일반 지열히트펌프 방식보다 전력 사용량 요금이 작게 나타나, 추가 냉각 비율이 20%인 경우 연간 전력사용 요금이 14,465,368원/yr로 일반지열의 84.05%로 가장 적은 것으로 나타났으며, 추가 냉각 비율이 100%인 경우 연간 전력사용 요금은 28,166,536원/yr로 일반 지열의 92.96%로 나타남
- 하이브리드 지열히트펌프 방식을 적용할 경우 냉각수 순환펌프와 냉각탑 동력이 추가되게 되며 이는 추가냉각 비율이 증가됨에 따라 추가 동력도 증가하게 됨. 추가 동력은 수전용량의 증대를 필요로 하며 이는 수전용량에 따라 지불되는 전기 기본요금으로 반영됨. 이와 같이 하이브리드 지열히트펌프 방식의 추가 냉각비율에 따른 기본요금까지 고려한 연간 총 냉난방 전력사용 요금은 일반 지열히트펌프 방식이 30,298,299원/yr인데 비해 하이브리드 지열히트펌프 방식의 경우 추가 냉각 비율이 20%인 경우 연간 전력사용 요금은 26,475,678원/yr로 일반지열의 87.38%로 연간 3,822,621원 절감 되는 것으로 나타났으며, 추가 냉각 비율이 40%인 경우 연간 전력사용 요금은 28,173,134원/yr로 일반지열의 82.99%로 연간 2,125,165원 절감 되는 것으로 나타났으나, 추가 냉각 비율이 60%인 경우 연간 전력사용 요금은 30,776,307원/yr로 일반지열의 101.58%로 연간 478,008원이 오히려 추가되는 것으로 나타났고, 추가 냉각 비율이 100%인 경우 연간 전력사용 요금은 33,467,830원/yr로 일반지열의 110.04%로 연간 3,169,531원이 오히려 추가되는 것으로 나타나 하이브리드 방식의 추가 냉각 비율에 따라 일반 지열히트펌프 방식 보다 연간 운전비가 감소 혹은 증대되는 것을 확인하였음.

3) 경제성 종합 산정

- 초기투자비용과 연간 운전비 증감액을 기준으로 단순투자비 회수기간을 산정한 결과 일반 지열히트펌프 방식에 비해 추가 냉각 비율 20%인 하이브리드 지열히트펌프 방식의 경우 초기투자비는 87,503,217원 증가되는데 비해 연간 운전비는 3,822,621원/yr 절감되어 단순투자비 회수기간이 22.9년으로 나타났으며, 추가 냉각 비율 40%인 하이브리드 지열히트펌프 방식의 경우 초기투자비는 98,473,497원 증가되는데 비해 연간 운전비는 2,125,165원/yr 절감되어 단순투자비 회수기간이 46.3년으로 나타나 경제성은 없는 것으로 분석되었으며, 추가 냉각 비율이 60% 이상인 경우에는 추가 냉각비율이 증가됨에 따라 초기투자비는 증대되는데 반해, 연간 운전비 또한 증대되어 경제성이 전혀 없는 것으로 분석되었음.

[추가냉각 비율별 하이브리드 지열 히트펌프 시스템의 경제성 분석 결과 (단순투자비 회수 기간)]

구분	일반지열 히트펌프 시스템	하이브리드 지열 히트펌프 시스템 / 추가 냉각비율					비고
		20%	40%	60%	80%	100%	
초기투자비 추가비용 (원)	기준	87,503,217	98,473,497	117,300,071	134,274,537	153,420,986	일반지열 대비 추가비용
연간 전력요금 (원/yr)	30,298,299	26,475,678	28,173,134	30,776,307	31,160,176	33,467,830	
연간 전력요금 차액 (원/yr)	기준	-3,822,621	-2,125,165	+478,008	+861,877	+3,169,531	하이브리드- 일반지열
단순투자비회수 기간	기준	22.9년	46.3년	회수 불가	회수 불가	회수 불가	일반지열 대비

- 본 연구를 통해 개발된 하이브리드 지열히트펌프 시스템의 효과를 분석하기 위해 지열히트펌프 시스템이 계획된 사례분석 건물을 대상으로 기존의 일반 지열히트펌프 시스템과 하이브리드 지열히트펌프 시스템의 성능을 비교 분석하였음. 성능의 분석은 일반 지열히트펌프 시스템과 하이브리드 지열히트펌프 시스템의 추가 냉각 비율별로 냉난방 부하 처리 능력(냉난방 부하 처리 불가 시간 및 처리불가 부하량 산정)과 각 방식별 초기 투자비와 연간 운전비 산정과 단순 투자비회수기간 산정에 의한 경제성 분석으로 실시하였으며, 그 내용을 요약하면 다음과 같음.
 - 분석 대상건물은 지상 10층 연면적 12,421.0㎡의 업무시설로 Energy Plus를 이용하여 냉난방 부하계산을 실시하였음. 부하계산 결과 냉방 최대부하는 137.16 W/㎡인데 비해 난방 최대부하는 110.31 W/㎡로 냉방 최대부하는 난방 최대부하의 124.3%로 나타났으며, 냉방 기간(6/1 ~ 9/30)중 냉방기간부하는 94,810.8W/㎡yr인데 비해 난방 기간(11/16 ~ 3/15)중 난방기간부하는 59,370.8W/㎡yr로 냉방기간부하가 난방 기간부하의 159.7%로 나타나, 연중 냉난방부하 사용량의 불균형이 나타남을 확인하였음.
 - 위의 부하계산 결과에 따라 기존 일반 지열 히트펌프 시스템 설계 조건에 근거하여, 히트펌프 용량 대비 20%, 40%, 60%, 80%, 100% 냉각 추가형 하이브리드 방식을 설계하여 장비 사양을 결정하였음.
 - 성능 평가 및 비용 평가(경제성 평가) 기준을 설정한 후 일반 지열히트펌프 시스템과 냉각 추가형 하이브리드 지열 히트펌프 시스템의 성능 평가 시뮬레이션을 실시한 결과, 기존 일반 지열 히트펌프 시스템의 경우 연간 총 76시간 히트펌프 운전이 정지되는 것에 비해, 하이브리드 지열 히트펌프 시스템은 추가냉각 용량을 20%로 할 경우 42시간으로 크게 줄어들었으며, 40%의 경우 19시간, 60%의 경우는 5시간으로 줄어들고 73.0% 이상의 추가 냉각 용량에서는 냉방 시 히트펌프가 중단되는 경우가 나타나지 않음을 할 수 있었음. 추가 냉각용량 73.0%는 본 분석에서 적용한 대상 건물의 연간 총 냉방부하량이 난방부하량의 159.7%인 점을 고려할 때 냉난방 부하비율의 108.3%(173.0% ÷ 159.7%)로 산정됨.
 - 또한 일반 지열 히트펌프 시스템의 경우 열원 입구 측의 온도가 연평균 22.91℃로 계산되었고, 추가 냉각용량 100%의 경우에는 21.57℃로 일반 지열 히트펌프 시스템보다 1.34℃ 낮게 나타나, 연평균 지중온도를 22.0℃로 가정하여 분석한 결과 일반 지열 히트펌프 시스템은 지중 온도의 상승이 예상되는데 비해 하이브리드 지열히트펌프 시스템은 지중 온도를 낮추거나 유지할 수 있음을 확인하였음.
 - 하이브리드 지열히트펌프 시스템의 경제성 평가를 냉각 추가 용량별 추가 공사비를 산정하였으며, 연간 운전비 산정을 위해 냉난방 운전에 사용되는 전력 사용량을 산정하고 이를 바탕으로 연간 전력 사용 요금을 산정하였음. 단, 경제성 분석을 위한 전력사용량 산정은 성능 분석 시와는 달리 열원측 입구온도 조건과 관계없이 냉난방 부하가 발생할 경우 히트펌프가 가동하여 냉난방 부하를 모두 처리하는 가정으로 냉난방 운전에 필요한 전력사용량을 산정하였음.
 - 분석결과 추가 냉각 비율 20%인 하이브리드 지열히트펌프 방식의 경우 초기투자비는 87,503,217원 증가되는데 비해 연간 운전비는 3,822,621원/yr 절감되어 단순투자비 회수기간이 22.9년으로 나타났으며, 추가 냉각 비율 40%인 하이브리드 지열히트펌프 방식의 경우 초기투자비는 98,473,497원 증가되는데 비해 연간 운전비는 2,125,165원/yr 절감되어 단순투자비 회수기간이 46.3년으로 나타나 경제성은 없는 것으로 분석되었으며, 추가 냉각 비율이 60% 이상인 경우에는 추가 냉각비율이 증가됨에 따라 초기투자비는 증대되는데 반해, 연간 운전비 또한 증대되어 경제성이 전혀 없는 것으로 분석되었음.
- 이상의 결과를 종합분석하면 연간 냉난방 사용 부하량이 크게 다른 경우 하이브리드 지열히트펌프 방식은 일반 지열히트펌프 방식에 비해 냉난방 운전의 경제성은 없는 것으로 분석되나, 일반 지열히트펌프 방식에서 발생할 수 있는 냉방기간 중 열원 입구측 순환수의 온도상승에 따른 냉방 운전 중단시간을 크게 감소시키거나 아예 발생하지 않기 때문에 건물에서 냉방 중지에 따른 손해비용을 고려한다면, 하이브리드 지열히트펌프 시스템은 그 효용성이 매우 높다고 판단됨.

3. 연구개발 성과

3.1 성과 목표

성과지표		성과 목표	최소 성과 목표	달성 건수
SCI(E)급 학술지 게재		1건	1건	1건
일반학술지 게재		2건	1건	2건
특허 출원		1건	1건	1건
기타	Technical 가이드	1건	1건	1건
	설계안	1건	1건	1건

3.2 성과점검기준표

핵심연구성과	단위성과	질적성과지표	목표치	측정방법	양적 성과
지열 시스템 및 열원 시스템 성능예측기술 개발	지열 시스템 성능예측기술 개발	국내외 연구 동향 조사	국내외 연구 동향 조사	분석 내용 확인	- 논문 : 국내 2건
		지열 시스템 성능예측기술 개발	지열 시스템 성능예측기술 개발	개발 여부 확인	
		개발 기술검증	오차율 10% 내외	개발 기술 신뢰도 분석	
	열원 시스템 성능예측기술 개발	국내외 연구 동향 조사	국내외 연구 동향 조사	분석 내용 확인	
		열원 시스템 성능예측기술 개발	열원 시스템 성능예측기술 개발	개발 여부 확인	
		개발 기술검증	오차율 10% 내외	개발 기술 신뢰도 분석	
성능예측기술을 활용한 지열 시스템 하이브리드 제어 프로세스 개발	지열 시스템 하이브리드 운영 기술개발	국내외 현황분석 및 실태조사	국내외 현황분석 및 실태조사 결과	분석 내용 확인	- 논문 : SCI(E)급 1건 - 특허 출원 : 1건 - 기술가이드 : 1건 - 설계안 : 1건
		지열 시스템 최적분담 알고리즘 개발	지열 시스템 최적분담 알고리즘 개발	개발 여부	
		지열 시스템 하이브리드 운영 기술개발	지열 시스템 하이브리드 운영 기술개발	개발 여부	
		개발 기술검증	개발 기술검증	개발 기술검증	
	지열 시스템 하이브리드 설계 기술개발	국내외 현황분석 및 실태조사	국내외 현황분석 및 실태조사 결과	분석 내용 확인	
		지열 시스템 하이브리드 설계 기술개발	지열 시스템 하이브리드 설계 기술개발	개발 여부	

3.3 핵심 연구성과

연번	핵심성과 (CTE)	핵심성과 설명	성과 유형	해당 연차	TRL
1	인공신경망 기반 지열 시스템 및 열원 시스템 성능예측기술 개발	인공신경망 활용 지열 히트펌프 시스템 및 열원 시스템의 성능예측기술 개발	시스템	1	3
2	성능예측기술을 활용한 지열 시스템 하이브리드 제어 프로세스 개발	지열 히트펌프 시스템의 부하분담률 개선 및 효율적 운영을 위한 성능예측기술 활용 기존 열원과의 하이브리드 설계 및 운영 기술개발	시스템	2	4

3.4 핵심 연구성과별 설명

1) 핵심성과 1 : 인공신경망 기반 지열 시스템 및 열원 시스템 성능예측기술 개발

핵심성과 1	인공신경망 기반 지열 시스템 및 열원 시스템 성능예측기술 개발	
정의	인공신경망 기반 지열 시스템 및 열원 시스템의 성능예측기술 개발	
목적	지열 히트펌프 및 열원 시스템 효율 모니터링	
성능 목표	(기존기술 수준) - 지열 히트펌프 시스템의 성능 예측 어려움 (개발기술 수준) - 성능 관련 인자를 활용한 지열 히트펌프 시스템의 성능예측기술 개발	
성과달성 책임자 (소속기관)	조영흠 (영남대학교) 김용인 (나우설비기술(주))	
소요기간	18.04~18.12 (9개월, 1년차)	
성과달성 확인방법	개발 기술검증 결과	
성과달성에 따른 정량적 성과	논문	일반학술지 : 2건

2) 핵심성과 2 : 성능예측기술을 활용한 지열 시스템 하이브리드 제어 프로세스 개발

핵심성과 2	성능예측기술을 활용한 지열 시스템 하이브리드 제어 프로세스 개발	
정의	성능예측기술을 활용 지열 시스템과 기존 열원과의 하이브리드 설계 및 운영 기술개발	
목적	지열 히트펌프의 최대 활용 및 효율적 운영을 위한 성능예측기술을 활용한 기존 열원과의 하이브리드 설계 및 운영 기술개발	
성능 목표	(기존기술 수준) - 국내의 경우 지열 히트펌프 시스템 하이브리드 운영 기술에 관한 연구 미흡 (개발기술 수준) - 시스템 성능 예측 기술 활용 - 지열 히트펌프 시스템 최적 분담 알고리즘 개발 - 지열 히트펌프 시스템 하이브리드 설계기술 개발 - 지열 히트펌프 시스템 하이브리드 운영 기술개발을 통한 지열 히트펌프 시스템 부하분담률 개선 및 효율 향상	
성과달성 책임자 (소속기관)	조영흠 (영남대학교) 김용인 (나우설비기술(주))	
소요기간	19.01~19.12 (12개월, 2년차)	
성과달성 확인방법	개발 기술검증 결과	
성과달성에 따른 정량적 성과	논문	SCI(E) : 1건
	특허 출원/등록	특허 출원 : 1건
	기타	Technical 가이드: 1건, 설계안: 1건

3.5 연구성과

• 국내 · 외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	권(호)	국명	발행기관	SCI 여부	게재일	등록 번호
1	지열시스템 순환펌프 변유량 제어를 활용한 운영 방안 개발	한국건축 친환경설 비학회지	신지현	12(5)	대한민국	한국건축 친환경설 비학회	비SCI	18.10.25	1976 -6483
2	운영현황 분석을 통한 지열 히트펌프 시스템의 경제성 평가	한국건축 친환경설 비학회지	신지현	12(5)	대한민국	한국건축 친환경설 비학회	비SCI	18.10.30	1976 -6483
3	Development of Operating Method of Multi-Geothermal Heat Pump Systems Using Variable Water Flow Rate Control and a COP Prediction Model Based on ANN	Energies	신지현	12(20)	스위스	Energies	SCI(E)	19.10.15	1996 -1073

• 국내 및 국제학술회의 발표

번호	논문명	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	지열 히트펌프 시스템의 운영현황 분석을 통한 경제성 평가	한국건축친환경설비학회 추계학술발표대회	신지현	18.11.16	인하대학교	대한민국
2	지열 히트펌프 시스템의 운영에 따른 지열 공급 온도 분석	한국건축친환경설비학회 추계학술발표대회	신지현	18.11.16	인하대학교	대한민국
3	지열 히트펌프 운영 실태를 고려한 신재생에너지 공급의무화 제도 개선에 관한 연구	한국건축친환경설비학회 추계학술발표대회	김용인	18.11.16	인하대학교	대한민국
4	A Study on a Variable Water Flow Rate Control Method of the Circulation Pump in a Geothermal Heat Pump System	The 13th International Conference on Energy Sustainability	신지현	19.07.16	Hyatt Regency Bellevue	미국
5	Development of Virtual Airflow Sensing Method in VAV Terminal Unit	The 13th International Conference on Energy Sustainability	김효준	19.07.16	Hyatt Regency Bellevue	미국
6	A Study of Developing Economizer Dry-bulb Temperature Control according to Variable Mixed Air Temperature	The 13th International Conference on Energy Sustainability	이진현	19.07.16	Hyatt Regency Bellevue	미국

• 지식재산권

번호	지식재산권 등 명칭	국명	출원				기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록번호	
1	변유량 제어를 활용한 멀티 지열 히트펌프 시스템의 운영방법	대한민국	조영흠, 신지현	19.10.25	10-2019-0133441	10-2019-0133441	100

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

핵심성과		단위성과		최종 성과점검기준		달성 여부
				질적 성과지표	검증방법	
1 차 년 도	인공신경망 기반 지열 시스템 및 열원 시스템 성능예측기술 개발	A-1	지열 시스템 성능예측기술 개발	① 국내외 연구 동향 조사	분석 내용 확인	달성
				② 지열 시스템 성능예측기술 개발	개발 여부	달성
				③ 개발기술 검증	개발기술 신뢰도 분석	달성
		A-2	열원 성능예측기술 개발	① 국내외 연구 동향 조사	분석 내용 확인	달성
				② 열원 시스템 성능예측기술 개발	개발 여부	달성
				③ 개발기술 검증	개발기술 신뢰도 분석	달성
2 차 년 도	성능예측기술을 활용한 지열 시스템 하이브리드 제어 프로세스 개발	B-1	지열 시스템 하이브리드 설계기술 개발	① 국내외 현황분석 및 실태조사	분석 내용 확인	달성
				② 지열 시스템 하이브리드 설계기술 개발	개발 여부 확인	달성
		B-2	지열 시스템 하이브리드 운영 기술개발	① 국내외 현황분석 및 실태조사	분석 내용 확인	달성
				② 지열 시스템 최적 분담 알고리즘 개발	개발 여부 확인	달성
				③ 지열 시스템 하이브리드 운영 기술개발	개발 여부 확인	달성
				④ 개발기술 검증	개발기술 검증	달성

2. 관련 분야 기여도

- 지열 시스템의 성능예측기술 개발로 기존 지열 시스템의 실시간 성능 확인 가능 및 기존 물리 센서와 통합 적용을 통한 시스템 고장진단 및 유지관리에 활용 가능
- 지열 시스템 하이브리드 제어 프로세스 개발로 인한 지열 시스템의 효율적 운영에 있어 설비 설계 회사, 시스템 운영자 등 국내 건설 산업 엔지니어링 역량 강화에 기여
- 개발기술 적용 시 건물시스템의 유지관리 및 에너지 절감이 가능하여 건물 설비 부문에서의 에너지 절감 방안 계획을 위한 기준 제시 가능
- 지열 시스템의 부하분담을 개선 및 효율적 운영을 가능하게 해 지열 시스템의 이용 확대 가능

제5장. 연구개발성과의 활용계획

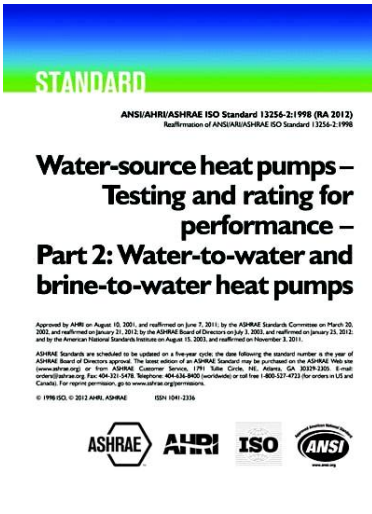
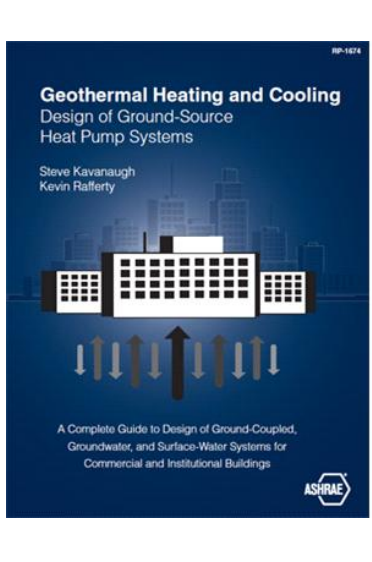
1. 연구개발성과의 활용방안

- 본 연구의 목표는 지열 히트펌프 시스템 부하분담률 개선을 위한 인공지능망 기반 성능예측기술 및 하이브리드 제어 프로세스 개발하는 것임. 비용 효과적이고 설비시스템의 최적제어, 고장감지진단 및 유지관리에 사용할 수 있으며, 저에너지 건물의 실현에 중요한 요소기술이 될 수 있음.
- 지열 히트펌프 시스템의 성능예측을 통한 열원 시스템의 제어 및 운영 기술개발에 효과적으로 활용
- 열원 시스템의 성능 모니터링 기술로 건물 유지관리에 효과적으로 활용 가능함.
- 지열 시스템 및 기존 열원 시스템의 성능예측을 통한 운영 문제점 도출 및 문제점 해결을 통한 효율적 운영 가능함.
- 건물에너지시스템과 연계하여 지열 시스템 및 기존 열원 시스템의 에너지 절감과 시스템 최적화를 위해 활용 가능함.
- 개발된 성능예측기술 및 하이브리드 운영 기술은 국가의 에너지 전략 로드맵의 건축설비 측정 및 제어 시스템 개발과 건축설비 통합 에너지 관리 시스템 개발 부문의 연구에 직, 간접적으로 활용 가능함.
- 지열 시스템 성능예측기술 및 하이브리드 운영 기술개발을 통해 기존에 설치되어있는 지열 히트펌프 시스템의 효율적 운영에 있어 설비 설계/컨설팅 회사, 사용자와 시스템 운영자(히트펌프 시스템 효율적 운영)에 활용되어 국내 건설 산업의 엔지니어링 역량 강화에 기여.

2. 기대성과 및 파급 효과

- 본 연구성과의 활용·보급을 통해 향후 관련 기술적·산업적·학술적 측면에서 아래와 같은 효과가 기대됨.
 - 인공지능망 기반 지열 히트펌프 시스템 성능예측기술의 개발을 통해 실시간 성능예측 기술 개발과 관련된 기초 이론 정립 및 건물시스템에 적용함으로써 지열 시스템의 유지관리 및 고장감지 진단 시스템 구축 관련 실무에 활용 가능함.
 - 개별 시스템 개소 별 물리적 센서 설치를 활용한 측정 데이터를 기반으로 지열 히트펌프 시스템 성능 확인하는 기존의 방법 대비 성능 모니터링을 위한 초기투자비 절감이 가능함.
 - 저에너지·친환경 건축에 대한 국내외 관심 증가에 따른 신재생 에너지 시스템 관련 산업 증가에 따라 인공지능망 기술과 연계한 지열 시스템 성능예측기술과 하이브리드 제어 프로세스 기술은 기업과 연계해 시스템 상용화와 해외 시장 진출을 통한 수익 창출이 가능함.
 - 지열 히트펌프 시스템 부하분담률 개선을 위한 하이브리드 설계 및 운영 기술개발을 통해 신재생 시스템 활용 증대, 효율 향상을 통해 건물에너지 사용량 약 10% 이상 절감 가능.
 - 지열 히트펌프 시스템의 제어 알고리즘 및 기존 열원과 하이브리드 운영 기술개발로 축적된 제어 요소 기술에 대한 기초 데이터 및 실증 데이터는 관련 산업 전반은 물론 이후 다양한 관련 제어 기술 개발 연구에서 활용도가 높은 것으로 예상.
 - 개발된 지열 시스템 하이브리드 제어 프로세스를 통해 기존의 지열 시스템의 단독 설계 및 운영으로 인한 시스템 성능 저하 문제 해결 및 지열 시스템 관련 국내 제도 개선의 기초자료로 활용 가능하며 이를 통해 지열 시스템의 활용 증대 예상.

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">ANSI/ASHRAE Standard 194 : Method of Test for Direct-Expansion Ground-Source Heat Pump</th></tr> <tr> <td>Author</td><td>ANSI, ASHRAE, IES</td></tr> <tr> <td>Keyword</td><td>Ground-Source Heat Pump, Cooling Capacity, Heating Capacity, Coefficients of Performance (COPs), Energy Efficiency Ratios (EERs)</td></tr> <tr> <td colspan="2"> - 주거용, 상업용의 지열 히트펌프 시스템의 냉난방 용량 산정 및 성능평가 방법 기준을 제공함. - 본 연구에서는 지열 히트펌프 시스템의 성능평가 기준 조건 및 평가 이론 수식 등을 참고함. - 제공되는 이론 수식을 인공지능기반 지열 히트펌프 시스템 성능예측기술 개발 시 초기 입력값 도출에 활용함. </td></tr> </table>	ANSI/ASHRAE Standard 194 : Method of Test for Direct-Expansion Ground-Source Heat Pump		Author	ANSI, ASHRAE, IES	Keyword	Ground-Source Heat Pump, Cooling Capacity, Heating Capacity, Coefficients of Performance (COPs), Energy Efficiency Ratios (EERs)	- 주거용, 상업용의 지열 히트펌프 시스템의 냉난방 용량 산정 및 성능평가 방법 기준을 제공함. - 본 연구에서는 지열 히트펌프 시스템의 성능평가 기준 조건 및 평가 이론 수식 등을 참고함. - 제공되는 이론 수식을 인공지능기반 지열 히트펌프 시스템 성능예측기술 개발 시 초기 입력값 도출에 활용함.	
ANSI/ASHRAE Standard 194 : Method of Test for Direct-Expansion Ground-Source Heat Pump									
Author	ANSI, ASHRAE, IES								
Keyword	Ground-Source Heat Pump, Cooling Capacity, Heating Capacity, Coefficients of Performance (COPs), Energy Efficiency Ratios (EERs)								
- 주거용, 상업용의 지열 히트펌프 시스템의 냉난방 용량 산정 및 성능평가 방법 기준을 제공함. - 본 연구에서는 지열 히트펌프 시스템의 성능평가 기준 조건 및 평가 이론 수식 등을 참고함. - 제공되는 이론 수식을 인공지능기반 지열 히트펌프 시스템 성능예측기술 개발 시 초기 입력값 도출에 활용함.									
	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">ANSI/AHRI/ASHRAE ISO Standard 13256 : Water-source heat pumps-Testing and rating for performance</th></tr> <tr> <td>Author</td><td>ANSI, ASHRAE, IES</td></tr> <tr> <td>Keyword</td><td>Water Source Heat Pumps, Heat Pump Efficiency, Heat Pump Rating, Heat Pump Capacity, Cooling Capacity, Heating Capacity</td></tr> <tr> <td colspan="2"> - 수열원 히트펌프의 냉방 및 난방 성능평가 방법 기준을 제공함. - 본 연구에서는 수열원과 지열 히트펌프 시스템의 성능평가 기준 조건, 측정방법 및 평가 이론 수식 등을 참고함. - 제공되는 이론 수식 분석을 통해 지열 시스템 효율 향상 요소 도출 및 이를 하이브리드 운영 알고리즘에 적용함. </td></tr> </table>	ANSI/AHRI/ASHRAE ISO Standard 13256 : Water-source heat pumps-Testing and rating for performance		Author	ANSI, ASHRAE, IES	Keyword	Water Source Heat Pumps, Heat Pump Efficiency, Heat Pump Rating, Heat Pump Capacity, Cooling Capacity, Heating Capacity	- 수열원 히트펌프의 냉방 및 난방 성능평가 방법 기준을 제공함. - 본 연구에서는 수열원과 지열 히트펌프 시스템의 성능평가 기준 조건, 측정방법 및 평가 이론 수식 등을 참고함. - 제공되는 이론 수식 분석을 통해 지열 시스템 효율 향상 요소 도출 및 이를 하이브리드 운영 알고리즘에 적용함.	
ANSI/AHRI/ASHRAE ISO Standard 13256 : Water-source heat pumps-Testing and rating for performance									
Author	ANSI, ASHRAE, IES								
Keyword	Water Source Heat Pumps, Heat Pump Efficiency, Heat Pump Rating, Heat Pump Capacity, Cooling Capacity, Heating Capacity								
- 수열원 히트펌프의 냉방 및 난방 성능평가 방법 기준을 제공함. - 본 연구에서는 수열원과 지열 히트펌프 시스템의 성능평가 기준 조건, 측정방법 및 평가 이론 수식 등을 참고함. - 제공되는 이론 수식 분석을 통해 지열 시스템 효율 향상 요소 도출 및 이를 하이브리드 운영 알고리즘에 적용함.									
	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Geothermal Heating and Cooling Design of Ground-Source Heat Pump Systems</th></tr> <tr> <td>Author</td><td>Steve Kavanaugh, Kevin Rafferty</td></tr> <tr> <td>Keyword</td><td>Ground-source heat pumps</td></tr> <tr> <td colspan="2"> - 비주거 건물 대상 지열 난방 및 냉방 설계 사례 및 지열 시스템 사용 건물 대상 최적 설계와 관련된 측정 데이터를 제공함. - 본 연구에서는 하이브리드 지열 시스템 설계기술 개발 시 실제 사례를 참고함. - 하이브리드 지열 시스템 운영 기술개발 시 실제 지열 시스템 운영 시 측정 데이터를 참고하여 효율 향상 운영방안 개발에 참고함. </td></tr> </table>	Geothermal Heating and Cooling Design of Ground-Source Heat Pump Systems		Author	Steve Kavanaugh, Kevin Rafferty	Keyword	Ground-source heat pumps	- 비주거 건물 대상 지열 난방 및 냉방 설계 사례 및 지열 시스템 사용 건물 대상 최적 설계와 관련된 측정 데이터를 제공함. - 본 연구에서는 하이브리드 지열 시스템 설계기술 개발 시 실제 사례를 참고함. - 하이브리드 지열 시스템 운영 기술개발 시 실제 지열 시스템 운영 시 측정 데이터를 참고하여 효율 향상 운영방안 개발에 참고함.	
Geothermal Heating and Cooling Design of Ground-Source Heat Pump Systems									
Author	Steve Kavanaugh, Kevin Rafferty								
Keyword	Ground-source heat pumps								
- 비주거 건물 대상 지열 난방 및 냉방 설계 사례 및 지열 시스템 사용 건물 대상 최적 설계와 관련된 측정 데이터를 제공함. - 본 연구에서는 하이브리드 지열 시스템 설계기술 개발 시 실제 사례를 참고함. - 하이브리드 지열 시스템 운영 기술개발 시 실제 지열 시스템 운영 시 측정 데이터를 참고하여 효율 향상 운영방안 개발에 참고함.									

Optimization of Hybrid Geothermal Heat Pump Systems	
1 OPTIMIZATION OF HYBRID GEOTHERMAL HEAT PUMP SYSTEMS Scott Hackel, Graduate Research Assistant; Gregory Nellis, Professor; Sanford Klein, Professor; all from the University of Wisconsin-Solar Energy Lab, Madison, WI, United States Abstract: Hybrid ground-coupled heat pump systems (HyGCHPs) couple conventional ground-coupled heat pump (GCHP) equipment with supplemental heat rejection or extraction systems. In vitatulated climates, the use of a supplemental heat rejection/extraction device has been shown to significantly improve the economics of such systems. However, the design and operation of HyGCHPs are more complex than GCHPs, and there is relatively little information available in the literature that might help designers make better design decisions. In the development of a simulation tool that integrates physics-based models of the HyGCHP components using the TRNSYS simulation program, The simulation models used to complete a parametric study of optimal HyGCHP designs over a range of scenarios varying in building heating type and economic and physical assumptions. The results of the parametric study suggest a set of general design guidelines that can be used to select an equipment configuration, size equipment, and control the equipment for a typical HyGCHP system. Key Words: hybrid, geothermal, heat pump, design, simulation, TRNSYS 1 INTRODUCTION AND OBJECTIVE Geothermal heat pump systems have sustained extensive growth due to their energy savings potential; a geothermal heat pump system can save up to 50% of the energy that would be used by conventional heating and cooling systems (EERE 2007a). However, geothermal heat pumps are still a secondary choice in most design scenarios. In order to allow geothermal heat pump technology to capture an even larger portion of the heating and cooling market, innovations are needed to improve the economics of the technology in some markets. One such innovation is the hybrid ground-coupled heat pump (HyGCHP) system. HyGCHPs interface conventional ground-coupled heat pumps (GCHPs) equipped with supplemental heat rejection or extraction systems. In a cooling-dominated climate (e.g., the southern U.S.) for example, a supplemental heat rejection device is operated during the cooling season in order to reduce the cooling load on the ground heat exchanger (GHE). The HyGCHP system results in a smaller, less expensive GHE that experiences a more balanced annual load, leading to more stable ground temperatures and therefore more efficient heat pump operation over time. This paper shows that the savings associated with the lower first cost of the GHE and more efficient heat pump operation can more than offset the cost of buying and operating the supplemental device, allowing hybrid systems to be a more attractive choice than geothermally systems. HyGCHP systems add complexity to the common GSPH system; therefore, the primary objective of this research project is the development of tools that will allow engineers to better design and understand HyGCHP systems. A detailed simulation tool has been developed using the TRNSYS simulation program and integrated with an optimization package to allow design and control parameters to be globally optimized in order to determine the system designs that can. This computer tool has been used to determine the optimal design of HyGCHP systems over a range of climates and building types, resulting in a set of approximate design guidelines that can be applied generally. Specifically, these guidelines show the optimal size and control of cooling-dominated hybrid systems, as well as demonstrating where these systems are most beneficial. General conclusions are also provided for hybrid systems in heating-dominated climates.	Author Scott Hackel, Gregory Nellis, Sanford Klein Hybrid, Geothermal, Heat Pump, Degisn, Simulation, TRNSYS Keyword 기후, 건물 유형, 경제 및 물리적 조건에 따라 최적의 하이브리드 지열 시스템 파라메트릭 연구를 진행함. 하이브리드 지열 시스템의 최적 지열 시스템 용량 산정, 보조 열원(냉각탑)의 용량 산정, 보조열원(냉각탑) 제어 설정값 산정 등 최적 설계 지침을 제공함. 하이브리드 지열 시스템 설계 기술개발 시 보조 열원의 용량 산정 방법 등을 참고함.

 Applied Thermal Engineering Journal homepage: www.elsevier.com/locate/apthermalsci Research paper Case study of performance evaluation of ground source heat pump system based on ANN and ANFIS models Weijuan Sun, Pingfang Hu, Fei Lei, Na Zhu, Zhangning Jiang School of Mechanical Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China HIGHLIGHTS • Case studies of GSHP system based on ANN and ANFIS model were presented. • A total dataset data in five groups were collected to calibrate the model. • The COP of the heat pump and GSHP of the system were predicted with good accuracy. • The impact of the configuration of GSHP and GSHP unit was analyzed. ARTICLE INFO Article history: Received 11 June 2015 Received in revised form 10 July 2015 Accepted 14 July 2015 Keywords: Ground source heat pump Artificial neural network ANFIS ABSTRACT This paper presents case studies with a method to predict the coefficient of performance (COP) of the heat pump and the GSHP of ground source heat pump (GSHP) system with limited parameters. The method was based on an artificial neural network (ANN) model and an adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) model. Two neural networks were developed independently, using the measured and historical data of the GSHP system. The ANN model was trained with the measured data of the GSHP system, and the results could be applied to the hidden layer of the ANFIS model. The ANFIS model was trained by the prediction of COP of the heat pump and the GSHP of the system. ANFIS model with hidden layers could be applied to the next neural network because the ANN model was trained with the data of the heat pump. The general ANFIS was the model with two layers in the number of neurons to predict the COP of the system. It was found that the model provided high accuracy and reliability by calculating performance evaluation of GSHP system. © 2015 Elsevier Inc. All rights reserved. 1. Introduction Ground source heat pump (GSHP) uses the low-grade energy stored in the shallow layer of the earth for space heating and cooling. Due to its relatively advantages of high energy and low pollution, GSHP has been widely used in the world. However, it has been used in residential and commercial buildings throughout the world [1]. Evaluation of the various evaluation methods is important for system evaluation, system optimization and heat distribution of GSHP system. Numerous data systems show that the ANN model is more precise and more efficient than other methods [2]. ANN is an information processing technology based on inspired by the way of biological nervous system, such as the human brain, which is composed of neurons and their connections. It has the advantages of learning ability, strong self-organizing and nonlinear representation [3]. ANN is a model combining neural networks and fuzzy models. ANN is has the	Case Study of Performance evaluation of ground source heat pump system based on ANN and ANFIS models Author Weijuan Sun, Pingfang Hu, Fei Lei, Na Zhu, Zhangning Jiang Keyword Artificial Neural Network, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, Ground Source Heat Pump, COP – 제한된 변수를 활용해 지열 시스템의 COP를 예측하는 사례 연구를 진행함. – 최적의 개발 모델을 개발하기 위해 ANN 모델과 ANFIS 모델을 활용해 지열 시스템 COP를 예측한 결과 비교분석을 진행함. – 인공지능망 기반 지열 시스템 성능예측 모델개발 시 초기 변수 설정 및 모델 구성에 대해 참고함.
--	---

 Available online at www.sciencedirect.com ScienceDirect Energy and Buildings 40 (2008) 1074–1083 and ENERGY Engineering & Technology www.elsevier.com/locate/enbuild Artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy assessments for ground-coupled heat pump system Hikmet Esen^{a,*}, Mustafa Inalli^b, Abdulkadir Sengur^c, Mehmet Esen^d ^aDepartment of Mechanical Engineering, Faculty of Technical Education, Pinar University, 20100 Bingöl, Turkey ^bDepartment of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Düzce University, 81620 Düzce, Turkey ^cDepartment of Electronic and Computer Systems, Faculty of Natural Sciences, Bilecik University, 21100 Bilecik, Turkey ^dBaskültepe Mahallesi, 20100 Bingöl, Turkey Received 16 November 2006; revised received March 20; August 2007; accepted 2 October 2007	Artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy assessments for ground-coupled heat pump system Author Hikmet Esen, Mustafa Inalli, Abdulkadir Sengur, Mehmet Esen
Abstract This study presents a comparison of artificial neural network (ANN) and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) utilized for modeling a ground-coupled heat pump system (GCHP). The aim of this study is predicting system performance related to ground air conditions and water temperature by using the developed. Particular focusing is the possibility for the optimal design and energy saving operation of an conditioning system. Six obtained models will help the system designs to realize this procedure. This work intends algorithm as future studies in the field area are based on modeling Mamdani Fuzzy rule-based systems for ANNs model inference for more suitable modeling function and number of membership functions are tested as Gaussian and sigmoid, for ANFIS model. The root mean square error (RMSE) value and Coefficient of correlation (R^2) values are presented for each ANN model. The absolute fraction of variance (Δ) indicates which model provides better fit. Moreover, this paper shows the approximation of ANFIS to the equations modeling GCHP system. © 2008 Elsevier B.V. All rights reserved. Keywords: Neural network; Adaptive neuro-fuzzy inference system; Prediction; Modeling; Simulation; Ground-coupled heat pump; Coefficient of performance	Neural network, Adaptive neuro-fuzzy inference system, Forecast, Ground-coupled heat pump, Coefficient of performance
1. Introduction GCHP systems are being specified in more and more commercial and residential buildings. A typical GCHP system consists of two pumps located below the building, a geothermal collector (GCH) for collecting heat from the ground, and pipes that circulate a thermal fluid between the heat pump and the GCH [1]. The main reason for using the GCHP system is its low installation costs, the less exchange loss the dimensions, number of wells and layer based on a technical and specific design to accomplish high system performance, energy saving and low cost advantages. This conventional GCHP system has some problems, however, to develop successfully. First, since conventional structures focus exclusively on the development of system structure to make the GCHP more efficient, system evaluation techniques, so while performance (COP), the rate of return, payback period, etc., are taken into account, proposed system can be forwarded to provide a comprehensive comparison or duration and thus improve system design, has not been established. In fact, moreover, performance prediction for a GCHP system requires an extensive equipment evaluation based on empirical data, such as system efficiency, power consumption, underground temperatures, amount of carbon dioxide emissions, running costs and life cycle time. There is another disadvantage of a different process for choosing whether final investment decision is made or not, because of the uncertainty and its change [2]. Proper prediction of COP of an energy storage system is essential for planning and protection of the technology. Genetic Restricted CFSR analysis of the heat pump is now multifaceted. Especially for those systems that use thermal energy storage, understanding CFSR forecasting will be highly important and essential. To reduce uncertainties and save time consuming, artificial neural networks such as ANN or fuzzy logic may be designed to predict new values from already data. They have many advantages over other methods, such as their ability to deal with nonlinearities, self-learning, learning during complicated problems in energy related engineering areas [3].	- ANN과 ANFIS를 활용한 지열 시스템 성능예측 결과 비교분석을 진행함. - 성능예측모델 개발 시 히든 층 개수, 뉴런 수 등의 조건 변경을 통해 여러 모델 선정 후 통계적 분석을 통해 모델의 신뢰도 분석을 진행함. - 지열 시스템 성능예측기술의 신뢰도 향상을 위해 신뢰도를 초기 모델에 반영했으며 신뢰도 분석 방법을 참고함.

제7장. 연구개발성과의 보안등급

- 일반 과제

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

- 해당 없음.

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

9.1 연구실 안전점검 체계

- 연구실 안전 확보 및 연구실 사고로 인한 피해보상 등 연구활동 종사자 보호를 통해 연구자원의 효율적 관리와 연구개발 활동의 활성화 도모를 위해 영남대학교 건축학부에서는 「연구실 안전환경 조성에 관한 법률」 시행과 관련하여 안전한 연구환경 조성에 만전을 기하고 있음.
- 영남대학교에서는 연구 활동을 수행하는 모든 실험·실습·연구실을 대상으로 전기, 기계·소방, 환경 분야에 대해 「연구실안전관리규정 제12조」에 의하여 주기적으로 연구실 정기 안전점검을 실시하고 있음.
- 연구실 안전교육
 - 대학원생 및 상시연구활동종사자 : 대학원생 환경소방안전교육(2회/연)
 - 외국인 연구활동종사자 : 외국인 대상 연구실 안전교육(2회/연)
 - LMO 연구활동종사자 : 시험연구용 LMO 안전교육(1회/연)
 - 기타 : 맞춤형 안전교육 및 간담회 시행
- 연구실 안전점검
 - 일상점검 : 매일 연구 활동 수행 전 자체 점검시행 (1회/일)
 - 정기점검 : 연구실 안전점검 시행 (1회/연)
 - 정밀안전진단 : 외부 전문기관 위탁 점검시행 (1회/2년)

9.2 연구실 안전점검 이행

- 본 연구 수행과 관련해 아래 안전교육 기록부, 실험·실습 기자재 활용 카드와 실험실 안전점검표 등을 작성하여 연구실 안전을 확보함.
- 연구실 안전점검 체계에 아래 안전점검 협조 요청 및 연구 활동 종사자 안전교육 이수 증명서와 같이 연구실 안전교육을 이수하고 안전점검을 수행하였음.

안전교육 기록부				
소속 부서	건축학부	학부, 과 (전공) 명	건축학부	
건물명 및 호실	건축관 116-1호	관리 번호	2019-00	
		연구실명	건물에너지시스템연구실	
교육실시자	조 영 흠 (인)	연 구 실	(정)	조 영 흠 (인)
		안전관리자	(부)	000 (인)
실시 연월일	참가자 명단	교육 내용		
2019. 00.00	조영흠 김효준 신지현 이진현	- 영남대학교 연구실 안전관리규정 공고 - 연구실 안전교육 영상물 시청 (http://www.labs.or.kr/multi/sub01_list.jsp)		
영남대학교 연구실안전관리규정 제11조의 규정에 따라 위 연구실의 연구 활동 종사자에 대하여 안전교육을 시행했음을 확인함				
2019년 00 월 00일				
확 인 자 : 안전관리책임자 성 명 조 영 흠 (인)				

[안전교육 기록부]

기자재 반·출입 현황										
구분	장비명	등록번호	반출 일자	반납 예정일	반납 일자	반출자	반출자 연락처	담당자 서명		비고
								반출	반입	
1	풍속계	00000	19.03.05	19.03.12	19.03.11	이정훈	010-0000-0000	신지현	신지현	

[실험·실습 기자재 활용 카드]

연구실 일상점검표								
기관명	건물층	연구실명	116-1					
점검 분야	점 검 내 용	점검결과					비 고	
		3/8	3/14	3/15	3/16	3/17		
일반	연구실의 정돈 및 청결 상태	✓	✓	✓	✓	✓		
안전	안전수칙, 안전표지, 개인보호구, 구급약품 등 실험장비	✓	✓	✓	✓	✓		
개인	비상탈출로가 막혀있지 않는가	✓	✓	✓	✓	✓		
장비	비상연락망 비치여부	✓	✓	✓	✓	✓		
	불꽃이 있는 난방기구 보유 여부	✓	✓	✓	✓	✓		
	실험실 내에서의 흡연여부	✓	✓	✓	✓	✓		
전기	실험실 최종 퇴실시 전원 OFF확인	✓	✓	✓	✓	✓		
안전	전원 안전 차단기 설치	✓	✓	✓	✓	✓		
	실험장치의 전기 절연체 사용확인	✓	✓	✓	✓	✓		
	대용량 전열 발생장치와 인화성 물질의 격리보관	✓	✓	✓	✓	✓		
	전선의 피복상태확인	✓	✓	✓	✓	✓		
	플러그와 콘센트의 안전한 삽입상태	✓	✓	✓	✓	✓		
	전열기가 포함된 기기 주변의 정화 안전상태 확인	✓	✓	✓	✓	✓		
소방	제자리에 위치하는가	✓	✓	✓	✓	✓		
안전	소화기의 충전 과/부족상태	✓	✓	✓	✓	✓		
	물체의 녹, 부식, 누액, 파손	✓	✓	✓	✓	✓		
	소화기 함에 비치된 경우 팻말 부착	✓	✓	✓	✓	✓		
	소화기 상의 적용 화재 유형 표기	✓	✓	✓	✓	✓		
	소화기 주변 이물질이 없는가	✓	✓	✓	✓	✓		
기계	기계 및 공구의 조임부 또는 연결부 이상여부						해당없음	
기구	위험설비 부위에 방호장치 설치 상태						해당없음	
	기계기구 회전반경, 작동반경 위험지역 출입금지 방호설비 설치 상태						해당없음	
가스	가스 용기의 옥외 지정장소보관, 전도방지 및 환기 상태						해당없음	
안전	가스용기 외관의 부식, 변형, 누출잠금상태						해당없음	
	가스용기 충전기한 초과여부						해당없음	
	배관 표시사항 부착, 가스사용시설 경계/경고표시 부착						해당없음	
[특이사항]								
점검자 : 연구실 안전관리 점검자		: 이 지 현		3/8	3/14	3/15	3/16	3/17
확인자 : 연구실 안전관리 확인자		: 조 영 훈		3/8	3/14	3/15	3/16	3/17

[연구실 일상점검표]



시설관리처

수신자 수신자참조
(경 유)

제 목 2018학년도 연구실 안전점검(정기점검) 실시에 따른 협조 요청

1. 관련 : 「연구실 안전환경 조성에 관한 법률」 제8조(안전점검의 실시) 및 동법 시행령 제7조(안전점검의 실시 등)
2. 연구실 정기점검은 법정점검으로 자격요건을 갖춘 전문기관에 의해 실시되며, 각 실험·실습실에 잠재되어 있는 위험요인을 도출하여 안전사고를 예방하고, 적절한 안전관리 방안을 제시함으로써 연구실 안전 확보 및 연구활동 활성화를 기하고자 함이니 해당 기관 및 점검 대상 실험실에서는 적극 협조하여 주시기 바랍니다.
- 가. 점검 대상 : 경산 및 대명동 캠퍼스 실험·실습실 428개소
(단순 컴퓨터 취급 실험·실습실은 추후 별도 자체 점검 예정)
- 나. 점검 분야 : 화공, 가스, 일반·산업위생, 기계, 소방, 전기, 생물
- 다. 점검 기간 : 2018.04.30.(월) ~ 05.17.(목) 09:00 ~ 17:00
- 라. 점검 기관 : 진영S&C
- 마. 점검 방법 : 해당 실험실 직접 방문 점검(체크리스트)
- 바. 점검 결과 : 과학기술정보통신부 보고 및 학내 연구실안전관리시스템 공지
- 사. 협조 요청
 - 1) 각 실험·안전관리담당자 임회 및 열쇠 협조
 - 2) 각 실험·정리정돈 및 화학물질 관리, 일상점검표 작성
 - 3) 2017학년도 연구실 정밀안전진단 미비사항 조치
 - 4) 기타 점검팀 요청사항 등
- 아. 특기 사항 : 점검 후 안전등급 3등급 이상 연구실은 하반기 특별점검 예정

- 붙임 1. 정기점검 일정표 1부.
 2. 정기점검 점검항목 1부.
 3. 관련법 발췌문 1부. 끝.

시설관리처장

[연구실 정기점검 실시 공문]

안전교육 이수증명서

▶ 교육생 정보

성명	조영흠	학(사)번	21300150	소속	건축학부
----	-----	-------	----------	----	------

▶ 안전교육 이수정보

번호	교육구분	과정명	이수일자	이수시간	이수번호
1	신규/정기	2018학년도 1학기 안전교육	2018.07.04	6 / 6	20180704_753350
				총 이수시간	6

위와 같이 안전교육을 이수하였음을 증명합니다.

2018년 07월 04일

영 남 대 학 교 총



[연구 활동 종사자 안전교육 이수 증명서 1]

안전교육 이수증명서

▶ 교육생 정보

성명	김효준	학(사)번	21300422	소속	건축학부
----	-----	-------	----------	----	------

▶ 안전교육 이수정보

번호	교육구분	과정명	이수일자	이수시간	이수번호
1	신규/정기	2018학년도 1학기 안전교육	2018.07.05	6 / 6	20180705_756270
				총 이수시간	6

위와 같이 안전교육을 이수하였음을 증명합니다.

2018년 07월 05일

영 남 대 학 교 총



[연구 활동 종사자 안전교육 이수 증명서 2]



안전교육 이수증명서

▶ 교육생 정보

성명	신지현	학(사)번	21750108	소속	건축공학전공
----	-----	-------	----------	----	--------

▶ 안전교육 이수정보

번호	교육구분	과정명	이수일자	이수시간	이수번호
1	신규/정기	2018학년도 1학기 안전교육	2018.07.04	6 / 6	20180704_741537
				총 이수시간	6

위와 같이 안전교육을 이수하였음을 증명합니다.

2018년 07월 05일

영 남 대 학 교 총



[연구 활동 종사자 안전교육 이수 증명서 3]



안전교육 이수증명서

▶ 교육생 정보

성명	이진현	학(사)번	21850113	소속	건축공학전공
----	-----	-------	----------	----	--------

▶ 안전교육 이수정보

번호	교육구분	과정명	이수일자	이수시간	이수번호
1	신규/정기	2018학년도 1학기 안전교육	2018.06.15	6 / 6	20180615_733371
				총 이수시간	6

위와 같이 안전교육을 이수하였음을 증명합니다.

2018년 07월 04일

영 남 대 학 교 총



[연구 활동 종사자 안전교육 이수 증명서 4]

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	Development of Operating Method of Multi-Geothermal Heat Pump Systems Using Variable Water Flow Rate Control and a COP Prediction Model Based on ANN	영남대 학교 산학협 력단	교신 저자	Energies/ 스위스	2.707	2019.10.15	단독	SCI(E)
2	논문	지열시스템 순환펌프 변유량 제어를 활용한 운영 방안 개발	영남대 학교 산학협 력단	교신 저자	한국건축 친환경설 비학회/ 대한민국	-	2018.10.25	단독	비SCI
3	논문	운영현황 분석을 통한 지열 히트펌프 시스템의 경제성 평가	영남대 학교 산학협 력단	공동 저자	한국건축 친환경설 비학회/ 대한민국	-	2018.10.30	단독	비SCI
4	특허	지열 순환펌프 변유량제어를 활용한 멀티 지열 히트펌프 시스템의 운영방안	영남대 학교 산학협 력단	발명 자	대한민국	-	2019.10.25	단독	출원

제11장. 기타 사항

- 해당 없음.

제12장. 참고문헌

- ANSI/ARI. 2003. ANSI/ARI Standard 540-1999, positive displacement refrigerant compressors and compressor units, New York: American National Standards Institute/Atlanta, GA: Air-Conditioning and Refrigeration Institute.
- ASHRAE. 1992. ANSI/ASHRAE Standard 52.1-1992, gravimetric and dust-spot procedures for testing air-cleaning devices used in general ventilation for removing particulate matter. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- University of Wisconsin Madison. Trnsys 17 Reference Manual; University of Wisconsin Madison: Madison, WI, USA, 2010.
- Abbassi A. (2005), Application of neural network for the modeling and control of evaporative condenser cooling load, Applied Thermal Engineering, 25.
- Baik, Y. K., Yoon, Y. J. & Moon, J. W. (2015), Input Variable Decision of the Predictive Model for the Optimal Starting Moment of the Cooling System in Accommodations, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 15(4), 105-110.
- Baik, Y. K., Moon, J. W. (2014), Development and Performance Evaluation of Optimal Control logics for the Two-Position and Variable-Heating Systems in Double Skin Facade Buildings, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 14(3), 71-77.
- Hikemet Esen. (2008), Artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy assessments for ground-coupled heat pump system, Energy and Building, 40, 1074-1083.
- Hikemet Esen. (2008), Performance prediction of a ground-coupled heat pump system using artificial neural networks, Expert Systems with Applications, 35, 1940-1948.
- Hikemet Esen. (2008), Forecasting of a ground-coupled heat pump performance using neural networks with statistical data weighting pre-processing, International Journal of Thermal Sciences, 47, 431-441.
- Jun, I. K., Hwang, M. H., Kim, D. H. & Sohn, B. H. (2015), Data Mining-Based Methodology for Performance Prediction of Geothermal Heat Pump System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 557-560.
- Moon, J. W. (2009), ANN-based model-free thermal controls for residential buildings. Ph.D. Dissertation, University of Michigan.
- Nam, Y. J. (2012), Study on the Optimum Design of a Heat Pump System Using Solar and Ground Heat, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 24(6), 509-514.
- Ozgener, O. (2004), Experimental investigation of the performance of a solar-assisted ground-source heat pump system for greenhouse heating. Int. J. Energy Res. 29, 217-231.
- Ozgener, O. Modeling and performance evaluation of ground source (geothermal) heat pump systems. Energy Build. 2007, 39, 66-75.
- Park, D. H., Chung, H. G. & Yang, I. H. (2014). Analysis of Energy Saving Effect of Optimal Start/Stop with ANN on HVAC. Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 839-840.
- Shin, J. H., Cho, Y. H. (2018), Development of a Variable Water Flow Rate Control Method for the Circulation Pump in a Geothermal Heat Pump System, Energies, 11(4), 718.
- Shon, B. H., Kwon, H. S. (2014), Performance Prediction on the Application of a Ground-Source Heat Pump(GSHP) System in an Office Building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 26(9), 409-415.

- Weijuan Sun. (2015), Case study of performance evaluation of ground source heat pump system based on ANN and ANFIS models, *Applied Thermal Engineering*, 87, 586–594.
- Yang, I. H., Kim, K. W. (2000), Development of Artificial Neural Network Model for the Prediction of Descending Time of Room Air Temperature, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 12(11), 1038–1047.
- Yang, I. H., Lee, J. Y. & Kim, K. W. (2000), A study on the Optimal Control of Ondol System Using Artificial Neural Network, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 12(7), 680–687.
- Yang, I. H., Shim, W. S. (1998), A study on the Optimal Preheating Time of Building Using Learning Method, *Architectural Institute of Korea*, 14(7), 151–160.

[부록] 일반 지열 시스템 및 하이브리드 지열 시스템 설계 내역서

[부록 1] 일반 지열 내역서

공 종 별 집 계 표 (일반 지열)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
01 일반 지열			1	573,182,873	573,182,873	269,319,601	269,319,601	43,936,622	43,936,622	886,439,096	886,439,096	
0101 지열시스템			1	573,182,873	573,182,873	269,319,601	269,319,601	43,936,622	43,936,622	886,439,096	886,439,096	
010101 기계설장비 설치			1	194,811,288	194,811,288	2,042,941	2,042,941			196,854,229	196,854,229	
010102 기계설배관 설치			1	37,464,013	37,464,013	29,466,483	29,466,483	1,134	1,134	66,931,630	66,931,630	
010103 지중 열교환용 배관 설치			1	300,171,960	300,171,960	184,990,160	184,990,160	43,146,800	43,146,800	528,308,920	528,308,920	
010104 옥외지열배관 설치			1	22,292,744	22,292,744	40,560,154	40,560,154	788,688	788,688	63,641,586	63,641,586	
010105 자동제어 설치			1	18,442,868	18,442,868	12,259,863	12,259,863			30,702,731	30,702,731	
[합 계]					573,182,873		269,319,601		43,936,622		886,439,096	

공 종 별 내 역 서 (일반 지열)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
010101 기계설장비 설치												
지열히트펌프	GSKE-050R2B	대	5	33,000,000	165,000,000					33,000,000	165,000,000	
지열순환펌프	600LPM*28M*7.5KW	대	6	2,500,000	15,000,000					2,500,000	15,000,000	
밀폐형팽창탱크	SS400, 1,000LIT	대	1	2,950,000	2,950,000					2,950,000	2,950,000	
지열공급해더 (STS304)	D250*4,110L	조	1	6,000,000	6,000,000					6,000,000	6,000,000	
지열환수해더 (STS304)	D250*3,860L	조	1	5,800,000	5,800,000					5,800,000	5,800,000	
보통인부	일반공사 직종	인	3			125,427	376,281			125,427	376,281	
기계설비공	일반공사 직종	인	10			166,666	1,666,660			166,666	1,666,660	
공구손료	인력품의 3%	식	1	61,288	61,288					61,288	61,288	
[합 계]					194,811,288		2,042,941				196,854,229	

공 종 별 내 역 서 (일반 지열)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
010102 기계설배관 설치												
이음매없는동및동합금관	이음매없는동및동합금관, 배관용동관, K형, ϕ40mm	M	12	17,450	209,400					17,450	209,400	
이음매없는동및동합금관	이음매없는동및동합금관, 배관용동관, K형, ϕ80mm	M	225	51,250	11,531,250					51,250	11,531,250	
이음매없는동및동합금관	이음매없는동및동합금관, 배관용동관, K형, ϕ100mm	M	6	83,250	499,500					83,250	499,500	
이음매없는동및동합금관	이음매없는동및동합금관, 배관용동관, K형, ϕ125mm	M	6	123,850	743,100					123,850	743,100	
이음매없는동및동합금관	이음매없는동및동합금관, 배관용동관, K형, ϕ150mm	M	16	178,040	2,848,640					178,040	2,848,640	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ40mm, 동엘보	개	2	3,960	7,920					3,960	7,920	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ80mm, 동엘보	개	48	21,910	1,051,680					21,910	1,051,680	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ150mm, 동엘보	개	6	161,050	966,300					161,050	966,300	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ80mm, 동티	개	12	29,680	356,160					29,680	356,160	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ100mm, 동티	개	2	54,100	108,200					54,100	108,200	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ125mm, 동티	개	2	164,720	329,440					164,720	329,440	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ80mm, 동리듀서	개	10	9,210	92,100					9,210	92,100	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ100mm, 동리듀서	개	2	19,340	38,680					19,340	38,680	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ125mm, 동리듀서	개	2	70,120	140,240					70,120	140,240	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ150mm, 동리듀서	개	2	90,880	181,760					90,880	181,760	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ20mm, 황동어댑터, C*M	개	18	1,050	18,900					1,050	18,900	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ40mm, 황동어댑터, C*M	개	1	3,120	3,120					3,120	3,120	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ40mm, 동유니언, C*M	개	1	9,120	9,120					9,120	9,120	
동관용접(Brazing)	D20	개소	18	561	10,098	5,961	107,298			6,522	117,396	
동관용접(Brazing)	D40	개소	5	1,243	6,215	10,531	52,655			11,774	58,870	
동관용접(Brazing)	D80	개소	116	3,037	352,292	20,864	2,420,224			23,901	2,772,516	

공 종 별 내 역 서 (일반 지열)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
동관용접(Brazing)	D100	개소	8	4,811	38,488	27,223	217,784			32,034	256,272	
동관용접(Brazing)	D125	개소	8	6,549	52,392	33,582	268,656			40,131	321,048	
동관용접(Brazing)	D150	개소	28	9,467	265,076	39,940	1,118,320			49,407	1,383,396	
절연행가(전산볼트)	D40	개소	7	1,671	11,697					1,671	11,697	
절연행가(전산볼트)	D80	개소	90	2,511	225,990					2,511	225,990	
절연행가(전산볼트)	D100	개소	2	3,140	6,280					3,140	6,280	
절연행가(전산볼트)	D125	개소	1	3,420	3,420					3,420	3,420	
절연행가(전산볼트)	D150	개소	6	4,620	27,720					4,620	27,720	
관보온(고무발포, 매직테프)	25t*D40	M	11	4,861	53,471	6,093	67,023			10,954	120,494	
관보온(고무발포, 매직테프)	25t*D80	M	225	13,203	2,970,675	18,799	4,229,775			32,002	7,200,450	
관보온(고무발포, 매직테프)	25t*D100	M	3	14,899	44,697	22,713	68,139			37,612	112,836	
관보온(고무발포, 매직테프)	25t*D125	M	3	17,556	52,668	27,556	82,668			45,112	135,336	
관보온(고무발포, 매직테프)	25t*D150	M	16	19,137	306,192	32,559	520,944			51,696	827,136	
자동공기변설치(냉, 온수)	D15	개소	21	24,361	511,581	30,097	632,037			54,458	1,143,618	
볼밸브	볼밸브, ϕ20mm*0.98MPa, 수동식, 황동	개	20	3,760	75,200					3,760	75,200	
볼밸브	볼밸브, ϕ40mm*0.98MPa, 수동식, 황동	개	1	15,600	15,600					15,600	15,600	
버터플라이밸브	버터플라이밸브, ϕ80mm*0.98MPa, 수동식, B/S밸브, 기어	개	41	94,000	3,854,000					94,000	3,854,000	
버터플라이밸브	버터플라이밸브, ϕ150mm*0.98MPa, 수동식, B/S밸브, 기어	개	2	188,800	377,600					188,800	377,600	
섹션디퓨자	플랜지식, 10K, D80	개	6	176,000	1,056,000					176,000	1,056,000	
파이브원체크밸브	10K, D80	개	6	242,000	1,452,000					242,000	1,452,000	
플렉시블조인트	플렉시블조인트, ϕ80mm*0.98MPa, AB형, 플렉시블관	개	6	30,400	182,400					30,400	182,400	
잡재료비	주재료비의 5%	식	1	800,714	800,714					800,714	800,714	

공 종 별 내 역 서 (일반 지열)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
동절연합후렌지접합	D80	개소	90	33,478	3,013,020	41,728	3,755,520			75,206	6,768,540	
밸브보온(슈퍼매직테프)	25t*D80	개소	2	4,555	9,110	96,970	193,940			101,525	203,050	
밸브보온(슈퍼매직테프)	25t*D150	개소	38	7,328	278,464	131,378	4,992,364			138,706	5,270,828	
압력계설치(동관)		조	38	13,635	518,130	13,113	498,294			26,748	1,016,424	
온도계설치(동관)		조	38	34,385	1,306,630	14,403	547,314			48,788	1,853,944	
강관스리브(지수판포함)	D125	개소	14	11,838	165,732	13,938	195,132	81	1,134	25,857	361,998	
보통인부	일반공사 직종	인	21			125,427	2,633,967			125,427	2,633,967	
배관공	일반공사 직종	인	39			176,011	6,864,429			176,011	6,864,429	
공구손료	인력품의 3%	식	1	284,951	284,951					284,951	284,951	
[합 계]					37,464,013		29,466,483		1,134		66,931,630	

공 종 별 내 역 서 (일반 지열)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
010103 지중 열교환용 배관 설치												
지열천공	D150mm*200M	개소	80	1,262,256	100,980,480	2,229,144	178,331,520	525,338	42,027,040	4,016,738	321,339,040	
그라우팅 주입	D150mm*200M	개소	80			83,233	6,658,640	13,997	1,119,760	97,230	7,778,400	
배관용탄소강관	배관용탄소강관, SPP(흑관), ϕ 150mm, 반제품	M	1440	15,412	22,193,280					15,412	22,193,280	
실리카샌드	DK200	TON	220	140,000	30,800,000					140,000	30,800,000	
벤토나이트	Volcanic H, 25kg	포	1760	20,000	35,200,000					20,000	35,200,000	
수도용폴리에틸렌관	신KS, SDR11, PE100, ϕ50mm	M	32000	2,600	83,200,000					2,600	83,200,000	
스페이서	D40	EA	16000	800	12,800,000					800	12,800,000	
부동액	에틸알콜	LIT	7142	2,100	14,998,200					2,100	14,998,200	
[합 계]					300,171,960		184,990,160		43,146,800		528,308,920	

공 종 별 내 역 서 (일반 지열)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
010104 옥외지열배관 설치												
수도용폴리에틸렌관	신KS, SDR11, PE100, Φ50mm	M	228	2,780	633,840					2,780	633,840	
수도용폴리에틸렌관	신KS, SDR11, PE100, Φ63mm	M	210	4,370	917,700					4,370	917,700	
수도용폴리에틸렌관	신KS, SDR11, PE100, Φ75mm	M	262	5,940	1,556,280					5,940	1,556,280	
수도용폴리에틸렌관	신KS, SDR11, PE100, Φ90mm	M	721	8,600	6,200,600					8,600	6,200,600	
잡재료비	주재료비의 5%	식	1	465,421	465,421					465,421	465,421	
수도용폴리에틸렌이음관	신KS, Φ50mm, 90° 엘보	개	160	4,670	747,200					4,670	747,200	
수도용폴리에틸렌이음관	신KS, Φ90mm, 90° 엘보	개	30	12,710	381,300					12,710	381,300	
수도용폴리에틸렌이음관	신KS, Φ63*Φ50mm, 리듀서	개	14	8,840	123,760					8,840	123,760	
수도용폴리에틸렌이음관	신KS, Φ75*Φ63mm, 리듀서	개	14	11,360	159,040					11,360	159,040	
수도용폴리에틸렌이음관	신KS, Φ90*Φ75mm, 리듀서	개	14	18,120	253,680					18,120	253,680	
수도용폴리에틸렌이음관	신KS, Φ50mm, 정티, 융착식	개	42	7,000	294,000					7,000	294,000	
수도용폴리에틸렌이음관	신KS, Φ63*50mm, 이경티, 융착식	개	30	12,140	364,200					12,140	364,200	
수도용폴리에틸렌이음관	신KS, Φ75*50mm, 이경티, 융착식	개	30	12,510	375,300					12,510	375,300	
수도용폴리에틸렌이음관	신KS, Φ90*50mm, 이경티, 융착식	개	30	25,050	751,500					25,050	751,500	
PE관 접합 및 부설(경장비 별도)	D50	개소	286	1,447	413,842	28,956	8,281,416			30,403	8,695,258	
PE관 접합 및 부설(경장비 별도)	D63	개소	208	1,888	392,704	37,779	7,858,032			39,667	8,250,736	
PE관 접합 및 부설(경장비 별도)	D75	개소	208	2,155	448,240	43,108	8,966,464			45,263	9,414,704	
PE관 접합 및 부설(경장비 별도)	D90	개소	264	2,504	661,056	50,095	13,225,080			52,599	13,886,136	
터파기/육상토사	0~1m(기계90%+인력10%)	m³	405			1,733	701,865	708	286,740	2,441	988,605	
뒤메우기/토사	다짐(기계90%+인력10%)	m³	155			4,374	677,970	712	110,360	5,086	788,330	
잔토처리(토사), L=10km	백호0.7m³+덤프24Ton	m³	169	3,789	640,341	2,195	370,955	2,116	357,604	8,100	1,368,900	

공 종 별 내 역 서 (일반 지열)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
모 래	강모래	m³	236	27,000	6,372,000					27,000	6,372,000	
모래부설	기계80%+인력20%	m²	236	215	50,740	2,027	478,372	144	33,984	2,386	563,096	
지중경고 표지시트	0.23*400W	M	450	200	90,000					200	90,000	
[합 계]					22,292,744		40,560,154		788,688		63,641,586	

공 종 별 내 역 서 (일반 지열)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
010105 자동제어 설치												
PANEL 외함	800W*600D*2350H	면	1	850,000	850,000					850,000	850,000	
DDC CONTROLLER	ASIC	EA	1	1,997,500	1,997,500					1,997,500	1,997,500	
PROGRAMING FEE	작화 및 시운전 포함	식	1	2,500,000	2,500,000					2,500,000	2,500,000	
DISPLAY UNIT	7"	EA	1	680,000	680,000					680,000	680,000	
NFB	ABS 32F	EA	1	27,000	27,000					27,000	27,000	
NFB	BKM-32	EA	3	12,700	38,100					12,700	38,100	
PUSH BUTTON	25 Φ 220V	EA	3	6,500	19,500					6,500	19,500	
PILOT LAMP	25 Φ 220V	개	1	3,000	3,000					3,000	3,000	
TRANS	220/24V(차폐)	EA	1	65,000	65,000					65,000	65,000	
NOISE FILTER	6A	EA	1	7,800	7,800					7,800	7,800	
POWER SUPPLY	24VDC	SET	1	185,000	185,000					185,000	185,000	
FUSE & HOLDER	3A 1P	EA	8	1,500	12,000					1,500	12,000	
BUZZER	25 Φ 220V	EA	1	4,500	4,500					4,500	4,500	
BUZZER S/W	25 Φ 220V	EA	1	3,500	3,500					3,500	3,500	
AUX RELAY	220V	EA	28	9,500	266,000					9,500	266,000	
형광등	FL 11W	EA	1	16,000	16,000					16,000	16,000	
배기FAN	EF 110*110	EA	1	16,000	16,000					16,000	16,000	
THERMOSTAT	TH 0~35℃	EA	1	36,000	36,000					36,000	36,000	
LIMITS S/W	LS 5A	개	1	16,000	16,000					16,000	16,000	
전선		식	1	150,000	150,000					150,000	150,000	
전선닥트		식	1	50,000	50,000					50,000	50,000	

공 종 별 내 역 서 (일반 지열)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
명 판		식	1	35,000	35,000					35,000	35,000	
COMPUTER	INTEL i5 2.8GHZ DUALCORE	SET	1	1,555,000	1,555,000					1,555,000	1,555,000	
MONITOR	24" LED	EA	1	297,500	297,500					297,500	297,500	
PRINTER	잉크젯 A4 전용	EA	1	153,000	153,000					153,000	153,000	
MS EXCEL	MS EXCEL	SET	1	425,000	425,000					425,000	425,000	
INTERFACE CARD	I-BUS7520	EA	1	212,500	212,500					212,500	212,500	
INTOUCH	500TAG	EA	1	1,500,000	1,500,000					1,500,000	1,500,000	
책상 및 의자		식	1	382,500	382,500					382,500	382,500	
TEMP. SENSOR	Pipe T	EA	6	102,000	612,000					102,000	612,000	
흐름감지기	HFS 25	EA	8	76,500	612,000					76,500	612,000	
전자식유량계	소켓타입	EA	1	2,380,000	2,380,000					2,380,000	2,380,000	
전력량계	KWH (T.D포함)	EA	1	467,500	467,500					467,500	467,500	
Cable DUCT W/COVER	D-ST 150 * 100	m	21	18,900	396,900					18,900	396,900	
HORIZONTAL ELBOW	D-H 150 * 100	EA	2	30,200	60,400					30,200	60,400	
V/ELow W/COVER	D-E 150 * 100	EA	1	28,400	28,400					28,400	28,400	
joint CONNECTOR	100H	EA	13	1,200	15,600					1,200	15,600	
SHANK BOLT& NUT	3/8	EA	52	750	39,000					750	39,000	
G-JUMPER	22#	EA	7	1,800	12,600					1,800	12,600	
PIPE	ST 54mm	m	30	9,229	276,870					9,229	276,870	
PIPE	ST 28mm	m	20	4,472	89,440					4,472	89,440	
PIPE	ST 22mm	m	10	3,436	34,360					3,436	34,360	
PIPE	ST 16mm	m	50	2,655	132,750					2,655	132,750	

공 종 별 내 역 서 (일반 지열)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
Cable	F-CVV 1.5sq/12C	m	50	4,062	203,100					4,062	203,100	
Cable	F-CVV 1.5sq/25C	m	40	7,465	298,600					7,465	298,600	
Cable	F-CVV 1.5sq/3C	m	60	1,528	91,680					1,528	91,680	
Cable	F-CVVS 1.5sq/4C	m	20	2,078	41,560					2,078	41,560	
Cable	AWG #20/3	M	50	950	47,500					950	47,500	
Cable	AWG #20/2	M	40	700	28,000					700	28,000	
FLEXIBLE TUBE	FLX 54C	M	10	7,380	73,800					7,380	73,800	
FLEXIBLE TUBE	FLX 28C	M	20	2,690	53,800					2,690	53,800	
FLEXIBLE TUBE	FLX 22C	M	5	2,300	11,500					2,300	11,500	
FLEXIBLE TUBE	FLX 16C	M	40	1,770	70,800					1,770	70,800	
전선관부속품비	전선관의 15%	식	1	111,498	111,498					111,498	111,498	
잡재료비	배관배선의 2%	식	1	27,565	27,565					27,565	27,565	
FLEXIBLE CONNECTOR	FLXC 36C	EA	4	3,600	14,400					3,600	14,400	
FLEXIBLE CONNECTOR	FLXC 28C	EA	20	2,640	52,800					2,640	52,800	
FLEXIBLE CONNECTOR	FLXC 22C	EA	5	2,250	11,250					2,250	11,250	
FLEXIBLE CONNECTOR	FLXC 16C	EA	40	1,800	72,000					1,800	72,000	
C CHANNEL	36*36*3M	EA	6	18,000	108,000					18,000	108,000	
전산 볼트	2M	EA	48	2,000	96,000					2,000	96,000	
보통인부	일반공사 직종	인	3			125,427	376,281			125,427	376,281	
배관공	일반공사 직종	인	3			176,011	528,033			176,011	528,033	
내선전공	일반공사 직종	인	28			225,408	6,311,424			225,408	6,311,424	
저압케이블전공	일반공사 직종	인	8			235,560	1,884,480			235,560	1,884,480	

공 종 별 내 역 서 (일반 지열)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
계장공	일반공사 직중	인	15			210,643	3,159,645			210,643	3,159,645	
공구손료	인력품의 3%	식	1	367,795	367,795					367,795	367,795	
[합 계]					18,442,868		12,259,863				30,702,731	

[부록 2] 하이브리드 지열 내역서 (냉각 추가 용량 비율 20%)

공 종 별 집 계 표 (하이브리드 지열-냉각추가 용량 비율 20%)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
01 하이브리드 지열			1	631,851,459	631,851,459	298,152,586	298,152,586	43,938,268	43,938,268	973,942,313	973,942,313	
0101 지열시스템			1	631,851,459	631,851,459	298,152,586	298,152,586	43,938,268	43,938,268	973,942,313	973,942,313	
010101 기계실장비 설치			1	223,401,051	223,401,051	2,501,700	2,501,700			225,902,751	225,902,751	
010102 기계실배관 설치			1	37,464,013	37,464,013	29,466,483	29,466,483	1,134	1,134	66,931,630	66,931,630	
010103 지중 열교환용 배관 설치			1	300,171,960	300,171,960	184,990,160	184,990,160	43,146,800	43,146,800	528,308,920	528,308,920	
010104 옥외지열배관 설치			1	22,292,744	22,292,744	40,560,154	40,560,154	788,688	788,688	63,641,586	63,641,586	
010105 냉각수배관 설치			1	30,078,823	30,078,823	28,374,226	28,374,226	1,646	1,646	58,454,695	58,454,695	
010106 자동제어 설치			1	18,442,868	18,442,868	12,259,863	12,259,863			30,702,731	30,702,731	
[합 계]					631,851,459		298,152,586		43,938,268		973,942,313	

[부록 3] 하이브리드 지열 내역서 (냉각 추가 용량 비율 40%)

공 종 별 집 계 표 (하이브리드 지열-냉각추가 용량 비율 40%)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
01 하이브리드 지열			1	637,487,729	637,487,729	303,486,322	303,486,322	43,938,542	43,938,542	984,912,593	984,912,593	
0101 지열시스템			1	637,487,729	637,487,729	303,486,322	303,486,322	43,938,542	43,938,542	984,912,593	984,912,593	
010101 기계실장비 설치			1	224,629,051	224,629,051	2,501,700	2,501,700			227,130,751	227,130,751	
010102 기계실배관 설치			1	37,464,013	37,464,013	29,466,483	29,466,483	1,134	1,134	66,931,630	66,931,630	
010103 지중 열교환용 배관 설치			1	300,171,960	300,171,960	184,990,160	184,990,160	43,146,800	43,146,800	528,308,920	528,308,920	
010104 옥외지열배관 설치			1	22,292,744	22,292,744	40,560,154	40,560,154	788,688	788,688	63,641,586	63,641,586	
010105 냉각수배관 설치			1	34,487,093	34,487,093	33,707,962	33,707,962	1,920	1,920	68,196,975	68,196,975	
010106 자동제어 설치			1	18,442,868	18,442,868	12,259,863	12,259,863			30,702,731	30,702,731	
[합 계]					637,487,729		303,486,322		43,938,542		984,912,593	

[부록 4] 하이브리드 지열 내역서 (냉각 추가 용량 비율 60%)

공 종 별 집 계 표 (하이브리드 지열-냉각추가 용량 비율 60%)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
01 하이브리드 지열			1	650,601,965	650,601,965	309,198,380	309,198,380	43,938,822	43,938,822	1,003,739,167	1,003,739,167	
0101 지열시스템			1	650,601,965	650,601,965	309,198,380	309,198,380	43,938,822	43,938,822	1,003,739,167	1,003,739,167	
010101 기계실장비 설치			1	233,713,051	233,713,051	2,501,700	2,501,700			236,214,751	236,214,751	
010102 기계실배관 설치			1	37,464,013	37,464,013	29,466,483	29,466,483	1,134	1,134	66,931,630	66,931,630	
010103 지중 열교환용 배관 설치			1	300,171,960	300,171,960	184,990,160	184,990,160	43,146,800	43,146,800	528,308,920	528,308,920	
010104 옥외지열배관 설치			1	22,292,744	22,292,744	40,560,154	40,560,154	788,688	788,688	63,641,586	63,641,586	
010105 냉각수배관 설치			1	38,517,329	38,517,329	39,420,020	39,420,020	2,200	2,200	77,939,549	77,939,549	
010106 자동제어 설치			1	18,442,868	18,442,868	12,259,863	12,259,863			30,702,731	30,702,731	
[합 계]					650,601,965		309,198,380		43,938,822		1,003,739,167	

[부록 5] 하이브리드 지열 내역서 (냉각 추가 용량 비율 80%)

공 종 별 집 계 표 (하이브리드 지열-냉각추가 용량 비율 80%)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
01 하이브리드 지열			1	663,883,506	663,883,506	312,891,035	312,891,035	43,939,092	43,939,092	1,020,713,633	1,020,713,633	
0101 지열시스템			1	663,883,506	663,883,506	312,891,035	312,891,035	43,939,092	43,939,092	1,020,713,633	1,020,713,633	
010101 기계실장비 설치			1	240,945,051	240,945,051	2,501,700	2,501,700			243,446,751	243,446,751	
010102 기계실배관 설치			1	37,464,013	37,464,013	29,466,483	29,466,483	1,134	1,134	66,931,630	66,931,630	
010103 지중 열교환용 배관 설치			1	300,171,960	300,171,960	184,990,160	184,990,160	43,146,800	43,146,800	528,308,920	528,308,920	
010104 옥외지열배관 설치			1	22,292,744	22,292,744	40,560,154	40,560,154	788,688	788,688	63,641,586	63,641,586	
010105 냉각수배관 설치			1	44,566,870	44,566,870	43,112,675	43,112,675	2,470	2,470	87,682,015	87,682,015	
010106 자동제어 설치			1	18,442,868	18,442,868	12,259,863	12,259,863			30,702,731	30,702,731	
[합 계]					663,883,506		312,891,035		43,939,092		1,020,713,633	

[부록 6] 하이브리드 지열 내역서 (냉각 추가 용량 비율 100%)

공 종 별 집 계 표 (하이브리드 지열-냉각추가 용량 비율 100%)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
01 하이브리드 지열			1	677,507,076	677,507,076	318,413,644	318,413,644	43,939,362	43,939,362	1,039,860,082	1,039,860,082	
0101 지열시스템			1	677,507,076	677,507,076	318,413,644	318,413,644	43,939,362	43,939,362	1,039,860,082	1,039,860,082	
010101 기계설장비 설치			1	250,349,051	250,349,051	2,501,700	2,501,700			252,850,751	252,850,751	
010102 기계설배관 설치			1	37,464,013	37,464,013	29,466,483	29,466,483	1,134	1,134	66,931,630	66,931,630	
010103 지중 열교환용 배관 설치			1	300,171,960	300,171,960	184,990,160	184,990,160	43,146,800	43,146,800	528,308,920	528,308,920	
010104 옥외지열배관 설치			1	22,292,744	22,292,744	40,560,154	40,560,154	788,688	788,688	63,641,586	63,641,586	
010105 냉각수배관 설치			1	48,786,440	48,786,440	48,635,284	48,635,284	2,740	2,740	97,424,464	97,424,464	
010106 자동제어 설치			1	18,442,868	18,442,868	12,259,863	12,259,863			30,702,731	30,702,731	
[합 계]					677,507,076		318,413,644		43,939,362		1,039,860,082	

공 종 별 내 역 서 (하이브리드 지열-냉각추가 용량 비율 100%)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
010101 기계설장비 설치												
지열히트펌프	GSKE-050R2B	대	5	33,000,000	165,000,000					33,000,000	165,000,000	
지열순환펌프	600LPM*28M*7.5KW	대	6	2,500,000	15,000,000					2,500,000	15,000,000	
밀폐형평창탱크	SS400, 1,000LIT	대	1	2,950,000	2,950,000					2,950,000	2,950,000	
지열공급해더 (STS304)	D250*4,110L	조	1	6,000,000	6,000,000					6,000,000	6,000,000	
지열환수해더 (STS304)	D250*3,860L	조	1	5,800,000	5,800,000					5,800,000	5,800,000	
냉각탑	250CRT	대	1	22,000,000	22,000,000					22,000,000	22,000,000	
열교환기	250USRT	대	1	23,830,000	23,830,000					23,830,000	23,830,000	
냉각수순환펌프	2,533LPM*22M*30KW	대	2	4,847,000	9,694,000					4,847,000	9,694,000	
보통인부	일반공사 직종	인	4			125,427	501,708			125,427	501,708	
기계설비공	일반공사 직종	인	12			166,666	1,999,992			166,666	1,999,992	
공구손료	인력품의 3%	식	1	75,051	75,051					75,051	75,051	
[합 계]					250,349,051		2,501,700				252,850,751	

공 종 별 내 역 서 (하이브리드 지열-냉각추가 용량 비율 100%)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
010102 기계실배관 설치												
이음매없는동및동합금관	이음매없는동및동합금관, 배관용동관, K형, ϕ40mm	M	12	17,450	209,400					17,450	209,400	
이음매없는동및동합금관	이음매없는동및동합금관, 배관용동관, K형, ϕ80mm	M	225	51,250	11,531,250					51,250	11,531,250	
이음매없는동및동합금관	이음매없는동및동합금관, 배관용동관, K형, ϕ100mm	M	6	83,250	499,500					83,250	499,500	
이음매없는동및동합금관	이음매없는동및동합금관, 배관용동관, K형, ϕ125mm	M	6	123,850	743,100					123,850	743,100	
이음매없는동및동합금관	이음매없는동및동합금관, 배관용동관, K형, ϕ150mm	M	16	178,040	2,848,640					178,040	2,848,640	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ40mm, 동엘보	개	2	3,960	7,920					3,960	7,920	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ80mm, 동엘보	개	48	21,910	1,051,680					21,910	1,051,680	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ150mm, 동엘보	개	6	161,050	966,300					161,050	966,300	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ80mm, 동티	개	12	29,680	356,160					29,680	356,160	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ100mm, 동티	개	2	54,100	108,200					54,100	108,200	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ125mm, 동티	개	2	164,720	329,440					164,720	329,440	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ80mm, 동리듀서	개	10	9,210	92,100					9,210	92,100	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ100mm, 동리듀서	개	2	19,340	38,680					19,340	38,680	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ125mm, 동리듀서	개	2	70,120	140,240					70,120	140,240	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ150mm, 동리듀서	개	2	90,880	181,760					90,880	181,760	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ20mm, 황동어댑터, C×M	개	18	1,050	18,900					1,050	18,900	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ40mm, 황동어댑터, C×M	개	1	3,120	3,120					3,120	3,120	
동관이음쇠	동관이음쇠, ϕ40mm, 동유니언, C×M	개	1	9,120	9,120					9,120	9,120	
동관용접 (Brazing)	D20	개소	18	561	10,098	5,961	107,298			6,522	117,396	
동관용접 (Brazing)	D40	개소	5	1,243	6,215	10,531	52,655			11,774	58,870	
동관용접 (Brazing)	D80	개소	116	3,037	352,292	20,864	2,420,224			23,901	2,772,516	
동관용접 (Brazing)	D100	개소	8	4,811	38,488	27,223	217,784			32,034	256,272	

공 종 별 내 역 서 (하이브리드 지열-냉각추가 용량 비율 100%)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
등관용접 (Brazing)	D125	개소	8	6,549	52,392	33,582	268,656			40,131	321,048	
등관용접 (Brazing)	D150	개소	28	9,467	265,076	39,940	1,118,320			49,407	1,383,396	
절연행가 (전산볼트)	D40	개소	7	1,671	11,697					1,671	11,697	
절연행가 (전산볼트)	D80	개소	90	2,511	225,990					2,511	225,990	
절연행가 (전산볼트)	D100	개소	2	3,140	6,280					3,140	6,280	
절연행가 (전산볼트)	D125	개소	1	3,420	3,420					3,420	3,420	
절연행가 (전산볼트)	D150	개소	6	4,620	27,720					4,620	27,720	
관보온 (고무발포, 매직테프)	25t*D40	M	11	4,861	53,471	6,093	67,023			10,954	120,494	
관보온 (고무발포, 매직테프)	25t*D80	M	225	13,203	2,970,675	18,799	4,229,775			32,002	7,200,450	
관보온 (고무발포, 매직테프)	25t*D100	M	3	14,899	44,697	22,713	68,139			37,612	112,836	
관보온 (고무발포, 매직테프)	25t*D125	M	3	17,556	52,668	27,556	82,668			45,112	135,336	
관보온 (고무발포, 매직테프)	25t*D150	M	16	19,137	306,192	32,559	520,944			51,696	827,136	
자동공기변설치 (냉, 온수)	D15	개소	21	24,361	511,581	30,097	632,037			54,458	1,143,618	
볼밸브	볼밸브, ϕ20mm*0.98MPa, 수동식, 황동	개	20	3,760	75,200					3,760	75,200	
볼밸브	볼밸브, ϕ40mm*0.98MPa, 수동식, 황동	개	1	15,600	15,600					15,600	15,600	
버터플라이밸브	버터플라이밸브, ϕ80mm*0.98MPa, 수동식, B/S밸브, 기어	개	41	94,000	3,854,000					94,000	3,854,000	
버터플라이밸브	버터플라이밸브, ϕ150mm*0.98MPa, 수동식, B/S밸브, 기어	개	2	188,800	377,600					188,800	377,600	
섹션디퓨자	플랜지식, 10K, D80	개	6	176,000	1,056,000					176,000	1,056,000	
파이브원체크밸브	10K, D80	개	6	242,000	1,452,000					242,000	1,452,000	
플렉시블조인트	플렉시블조인트, ϕ80mm*0.98MPa, RB형, 플렉시블관	개	6	30,400	182,400					30,400	182,400	
잡재료비	주재료비의 5%	식	1	800,714	800,714					800,714	800,714	
동절연합후렌지접합	D80	개소	90	33,478	3,013,020	41,728	3,755,520			75,206	6,768,540	
밸브보온 (슈퍼매직테프)	25t*D80	개소	2	4,555	9,110	96,970	193,940			101,525	203,050	

공 종 별 내 역 서 (하이브리드 지열-냉각추가 용량 비율 100%)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
밸브보온 (슈퍼매직테프)	25t*0150	개소	38	7,328	278,464	131,378	4,992,364			138,706	5,270,828	
압력계설치(동관)		조	38	13,635	518,130	13,113	498,294			26,748	1,016,424	
온도계설치(동관)		조	38	34,385	1,306,630	14,403	547,314			48,788	1,853,944	
강관스리브 (지수판포함)	D125	개소	14	11,838	165,732	13,938	195,132	81	1,134	25,857	361,998	
보통인부	일반공사 직종	인	21			125,427	2,633,967			125,427	2,633,967	
배관공	일반공사 직종	인	39			176,011	6,864,429			176,011	6,864,429	
공구손료	인력품의 3%	식	1	284,951	284,951					284,951	284,951	
[합 계]					37,464,013		29,466,483		1,134		66,931,630	

공 종 별 내 역 서 (하이브리드 지열-냉각추가 용량 비율 100%)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
010103 지중 열교환용 배관 설치												
지열천공	D150mm*200M	개소	80	1,262,256	100,980,480	2,229,144	178,331,520	525,338	42,027,040	4,016,738	321,339,040	
그라우팅 주입	D150mm*200M	개소	80			83,233	6,658,640	13,997	1,119,760	97,230	7,778,400	
배관용탄소강관	배관용탄소강관, SPP(흑관), ϕ 150mm, 반제품	M	1440	15,412	22,193,280					15,412	22,193,280	
실리카샌드	DK200	TON	220	140,000	30,800,000					140,000	30,800,000	
벤토나이트	Volcanic H, 25kg	포	1760	20,000	35,200,000					20,000	35,200,000	
수도용폴리에틸렌관	신KS, SDR11, PE100, ϕ50mm	M	32000	2,600	83,200,000					2,600	83,200,000	
스페이서	D40	EA	16000	800	12,800,000					800	12,800,000	
부동액	에틸알콜	LIT	7142	2,100	14,998,200					2,100	14,998,200	
[합 계]					300,171,960		184,990,160		43,146,800		528,308,920	

공 종 별 내 역 서 (하이브리드 지열-냉각추가 용량 비율 100%)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
010104 옥외지열배관 설치												
수도용폴리에틸렌관	신KS, SDR11, PE100, Φ50mm	M	228	2,780	633,840					2,780	633,840	
수도용폴리에틸렌관	신KS, SDR11, PE100, Φ63mm	M	210	4,370	917,700					4,370	917,700	
수도용폴리에틸렌관	신KS, SDR11, PE100, Φ75mm	M	262	5,940	1,556,280					5,940	1,556,280	
수도용폴리에틸렌관	신KS, SDR11, PE100, Φ90mm	M	721	8,600	6,200,600					8,600	6,200,600	
잡재료비	주재료비의 5%	식	1	465,421	465,421					465,421	465,421	
수도용폴리에틸렌이음관	신KS, Φ50mm, 90°엘보	개	160	4,670	747,200					4,670	747,200	
수도용폴리에틸렌이음관	신KS, Φ90mm, 90°엘보	개	30	12,710	381,300					12,710	381,300	
수도용폴리에틸렌이음관	신KS, Φ63*Φ50mm, 리듀서	개	14	8,840	123,760					8,840	123,760	
수도용폴리에틸렌이음관	신KS, Φ75*Φ63mm, 리듀서	개	14	11,360	159,040					11,360	159,040	
수도용폴리에틸렌이음관	신KS, Φ90*Φ75mm, 리듀서	개	14	18,120	253,680					18,120	253,680	
수도용폴리에틸렌이음관	신KS, Φ50mm, 정티, 용착식	개	42	7,000	294,000					7,000	294,000	
수도용폴리에틸렌이음관	신KS, Φ63*50mm, 이경티, 용착식	개	30	12,140	364,200					12,140	364,200	
수도용폴리에틸렌이음관	신KS, Φ75*50mm, 이경티, 용착식	개	30	12,510	375,300					12,510	375,300	
수도용폴리에틸렌이음관	신KS, Φ90*50mm, 이경티, 용착식	개	30	25,050	751,500					25,050	751,500	
PE관 접합 및 부설(경장비 별도)	D50	개 소	286	1,447	413,842	28,956	8,281,416			30,403	8,695,258	
PE관 접합 및 부설(경장비 별도)	D63	개 소	208	1,888	392,704	37,779	7,858,032			39,667	8,250,736	
PE관 접합 및 부설(경장비 별도)	D75	개 소	208	2,155	448,240	43,108	8,966,464			45,263	9,414,704	
PE관 접합 및 부설(경장비 별도)	D90	개 소	264	2,504	661,056	50,095	13,225,080			52,599	13,886,136	
터파기/옥상토사	0~1m(기계90%+인력10%)	m³	405			1,733	701,865	708	286,740	2,441	988,605	
되메우기/토사	다짐(기계90%+인력10%)	m³	155			4,374	677,970	712	110,360	5,086	788,330	
잔토처리(토사), L=10km	백호0.7m³+덤프24Ton	m³	169	3,789	640,341	2,195	370,955	2,116	357,604	8,100	1,368,900	
모래	강모래	m³	236	27,000	6,372,000					27,000	6,372,000	

공 종 별 내 역 서 (하이브리드 지열-냉각추가 용량 비율 100%)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
모래부설	기계80%+인력20%	m²	236	215	50,740	2,027	478,372	144	33,984	2,386	563,096	
지중경고 표지시트	0.23*400W	M	450	200	90,000					200	90,000	
[합 계]					22,292,744		40,560,154		788,688		63,641,586	

공 종 별 내 역 서 (하이브리드 지열-냉각추가 용량 비율 100%)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
010105 냉각수배관 설치												
백강관평면배관	D 25	M	10	3,927	39,270	13,948	139,480	0	0	17,875	178,750	
백강관평면배관	D125	M	19	24,852	472,188	47,884	909,796	0	0	72,736	1,381,984	
백강관평면배관	D200	M	200	46,690	9,338,000	86,109	17,221,800	0	0	132,799	26,559,800	
용접식 관이음쇠	백엘보 (용접) D125	EA	8	16,110	128,880	0		0	0	16,110	128,880	
용접식 관이음쇠	백엘보 (용접) D200	EA	32	47,720	1,527,040	0		0	0	47,720	1,527,040	
용접식 관이음쇠	백티이 (용접) D200	EA	8	53,420	427,360	0		0	0	53,420	427,360	
용접식 관이음쇠	백리듀서 (용접) D200	EA	18	14,880	267,840	0		0	0	14,880	267,840	
나사식 강관제 관이음쇠	백니플 (나사) D25	EA	20	1,120	22,400	0		0	0	1,120	22,400	
강관용접	D125	개소	16	2,332	37,312	38,528	616,448	0	0	40,860	653,760	
강관용접	D200	개소	128	3,560	455,680	58,839	7,531,392	0	0	62,399	7,987,072	
용접합후렌지	D125	개소	20	20,310	406,200	38,528	770,560	0	0	58,838	1,176,760	
용접합후렌지	D150	개소	6	25,222	151,332	45,229	271,374	0	0	70,451	422,706	
용접합후렌지	D200	개소	30	31,616	948,480	58,839	1,765,170	0	0	90,455	2,713,650	
플랜지 (FLANGE)	맹플랜지 (10KG) D200	EA	4	36,690	146,760	0		0	0	36,690	146,760	
청동게이트밸브	D 25 (10KG)	EA	10	21,856	218,560	9,333	93,330	0	0	31,189	311,890	
주철스트레이너	D200 (10KG)	EA	2	622,248	1,244,496	112,408	224,816	0	0	734,656	1,469,312	
섹션디퓨저	D200 (10KG)	EA	3	493,248	1,479,744	112,408	337,224	0	0	605,656	1,816,968	
후렉시블조인트 (BELLOWS)	D125 (10KG)	EA	4	113,593	454,372	129,673	518,692	0	0	243,266	973,064	
후렉시블조인트 (BELLOWS)	D200 (10KG)	EA	12	204,434	2,453,208	221,724	2,660,688	0	0	426,158	5,113,896	
쓰리원체크밸브	D200 (10KG)	EA	3	813,248	2,439,744	112,408	337,224	0	0	925,656	2,776,968	
버터플라이밸브 (기어)	D125 (10KG)	EA	4	427,053	1,708,212	67,654	270,616	0	0	494,707	1,978,828	
버터플라이밸브 (기어)	D200 (10KG)	EA	13	819,548	10,654,124	112,408	1,461,304	0	0	931,956	12,115,428	

공 종 별 내 역 서 (하이브리드 지열-냉각추가 용량 비율 100%)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
압력계설치(백관)	0-35KG/CM2	조	10	14,126	141,260	9,333	93,330	0	0	23,459	234,590	
온도계설치(백관)	L형	조	10	37,116	371,160	9,333	93,330	0	0	46,449	464,490	
자동공기변설치(물용)백	D15	개소	4	99,055	396,220	52,771	211,084	0	0	151,826	607,304	
U자형볼트/너트	비절연, D125	EA	4	1,076	4,304	0		0	0	1,076	4,304	
U자형볼트/너트	비절연, D200	EA	142	1,724	244,808	0		0	0	1,724	244,808	
강관스리브(지수판제외, 벽체)	D200	개소	8	163,773	1,310,184	32,525	260,200	0	0	196,298	1,570,384	
강관스리브(지수판제외, 바닥)	D200	개소	44	163,675	7,201,700	22,735	1,000,340	0	0	186,410	8,202,040	
강관스리브(지수판포함, 벽체)	D200	개소	4	168,608	674,432	50,230	200,920	0	0	218,838	875,352	
내화충전재(강관, 벽체)	D200	개소	8	54,952	439,616	0		0	0	54,952	439,616	
내화충전재(강관, 바닥)	D200	개소	44	37,083	1,631,652	0		0	0	37,083	1,631,652	
= 형강	100×50×5×7.5mm	KG	668	780	521,040	0		0	0	780	521,040	
인서트플레이트	200x200x9T	개소	28	3,664	102,592	19,258	539,224	5	140	22,927	641,956	
유성페인트칠	철재면2회	M2	185	1,202	222,370	8,596	1,590,260	0	0	9,798	1,812,630	
녹막이페인트칠	2회	M2	45	904	40,680	6,447	290,115	0	0	7,351	330,795	
잡철물제작설치	간단	TON	1.581	292,992	463,220	5,835,906	9,226,567	1,645	2,600	6,130,543	9,692,387	
[합 계]					48,786,440		48,635,284		2,740		97,424,464	

공 종 별 내 역 서 (하이브리드 지열-냉각추가 용량 비율 100%)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
010106 자동제어 설치												
PANEL 외함	800W*600D*2350H	면	1	850,000	850,000					850,000	850,000	
DDC CONTROLLER	ASIC	EA	1	1,997,500	1,997,500					1,997,500	1,997,500	
PROGRAMING FEE	작화 및 시운전 포함	식	1	2,500,000	2,500,000					2,500,000	2,500,000	
DISPLAY UNIT	7"	EA	1	680,000	680,000					680,000	680,000	
NFB	ABS 32F	EA	1	27,000	27,000					27,000	27,000	
NFB	BKM-32	EA	3	12,700	38,100					12,700	38,100	
PUSH BUTTON	25 Φ 220V	EA	3	6,500	19,500					6,500	19,500	
PILOT LAMP	25 Φ 220V	개	1	3,000	3,000					3,000	3,000	
TRANS	220/24V(차폐)	EA	1	65,000	65,000					65,000	65,000	
NOISE FILTER	6A	EA	1	7,800	7,800					7,800	7,800	
POWER SUPPLY	24VDC	SET	1	185,000	185,000					185,000	185,000	
FUSE & HOLDER	3A 1P	EA	8	1,500	12,000					1,500	12,000	
BUZZER	25 Φ 220V	EA	1	4,500	4,500					4,500	4,500	
BUZZER S/W	25 Φ 220V	EA	1	3,500	3,500					3,500	3,500	
AUX RELAY	220V	EA	28	9,500	266,000					9,500	266,000	
형광등	FL 11W	EA	1	16,000	16,000					16,000	16,000	
배기FAN	EF 110*110	EA	1	16,000	16,000					16,000	16,000	
THERMOSTAT	TH 0~35℃	EA	1	36,000	36,000					36,000	36,000	
LIMITS S/W	LS 5A	개	1	16,000	16,000					16,000	16,000	
전선		식	1	150,000	150,000					150,000	150,000	
전선락트		식	1	50,000	50,000					50,000	50,000	
명판		식	1	35,000	35,000					35,000	35,000	

공 종 별 내 역 서 (하이브리드 지열-냉각추가 용량 비율 100%)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
COMPUTER	INTEL i5 2.8GHZ DUALCORE	SET	1	1,555,000	1,555,000					1,555,000	1,555,000	
MONITOR	24" LED	EA	1	297,500	297,500					297,500	297,500	
PRINTER	잉크젯 A4 전용	EA	1	153,000	153,000					153,000	153,000	
MS EXCEL	MS EXCEL	SET	1	425,000	425,000					425,000	425,000	
INTERFACE CARD	I-BUS7520	EA	1	212,500	212,500					212,500	212,500	
INTOUCH	500TAG	EA	1	1,500,000	1,500,000					1,500,000	1,500,000	
책상 및 의자		식	1	382,500	382,500					382,500	382,500	
TEMP. SENSOR	Pipe T	EA	6	102,000	612,000					102,000	612,000	
흐름감지기	HFS 25	EA	8	76,500	612,000					76,500	612,000	
전자식 유량계	소켓타입	EA	1	2,380,000	2,380,000					2,380,000	2,380,000	
전력량계	KWH (T.D포함)	EA	1	467,500	467,500					467,500	467,500	
Cable DUCT W/COVER	D-ST 150 * 100	m	21	18,900	396,900					18,900	396,900	
HORIZONTAL ELBOW	D-H 150 * 100	EA	2	30,200	60,400					30,200	60,400	
V/ELOW W/COVER	D-E 150 * 100	EA	1	28,400	28,400					28,400	28,400	
joint CONNECTOR	100H	EA	13	1,200	15,600					1,200	15,600	
SHANK BOLT& NUT	3/8	EA	52	750	39,000					750	39,000	
G-JUMPER	22#	EA	7	1,800	12,600					1,800	12,600	
PIPE	ST 54mm	m	30	9,229	276,870					9,229	276,870	
PIPE	ST 28mm	m	20	4,472	89,440					4,472	89,440	
PIPE	ST 22mm	m	10	3,436	34,360					3,436	34,360	
PIPE	ST 16mm	m	50	2,655	132,750					2,655	132,750	
Cable	F-CVV 1.5sq/12C	m	50	4,062	203,100					4,062	203,100	
Cable	F-CVV 1.5sq/25C	m	40	7,465	298,600					7,465	298,600	

공 종 별 내 역 서 (하이브리드 지열-냉각추가 용량 비율 100%)

품 명	규 격	단위	수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
Cable	F-CVV 1.5sq/3C	m	60	1,528	91,680					1,528	91,680	
Cable	F-CVVS 1.5sq/4C	m	20	2,078	41,560					2,078	41,560	
Cable	AWG #20/3	M	50	950	47,500					950	47,500	
Cable	AWG #20/2	M	40	700	28,000					700	28,000	
FLEXIBLE TUBE	FLX 54C	M	10	7,380	73,800					7,380	73,800	
FLEXIBLE TUBE	FLX 28C	M	20	2,690	53,800					2,690	53,800	
FLEXIBLE TUBE	FLX 22C	M	5	2,300	11,500					2,300	11,500	
FLEXIBLE TUBE	FLX 16C	M	40	1,770	70,800					1,770	70,800	
전선관부속품비	전선관의 15%	식	1	111,498	111,498					111,498	111,498	
잡재료비	배관배선의 2%	식	1	27,565	27,565					27,565	27,565	
FLEXIBLE CONNECTOR	FLXC 36C	EA	4	3,600	14,400					3,600	14,400	
FLEXIBLE CONNECTOR	FLXC 28C	EA	20	2,640	52,800					2,640	52,800	
FLEXIBLE CONNECTOR	FLXC 22C	EA	5	2,250	11,250					2,250	11,250	
FLEXIBLE CONNECTOR	FLXC 16C	EA	40	1,800	72,000					1,800	72,000	
C CHANNEL	36*36*3M	EA	6	18,000	108,000					18,000	108,000	
전산 볼트	2M	EA	48	2,000	96,000					2,000	96,000	
보통인부	일반공사 직종	인	3			125,427	376,281			125,427	376,281	
배관공	일반공사 직종	인	3			176,011	528,033			176,011	528,033	
내선전공	일반공사 직종	인	28			225,408	6,311,424			225,408	6,311,424	
저압케이블전공	일반공사 직종	인	8			235,560	1,884,480			235,560	1,884,480	
계장공	일반공사 직종	인	15			210,643	3,159,645			210,643	3,159,645	
공구손료	인력품의 3%	식	1	367,795	367,795					367,795	367,795	
[합 계]					18,442,868		12,259,863				30,702,731	

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.