

특집

광명교회비전센터의 지열시스템 설계 및 시공 사례

최선규, 오보영, 이재춘*
 (주)한일엠에이씨 성능개선본부, *(주)한일엠에이씨 TTF

1. 서론

최근 신·재생에너지에 대한 관심이 높아지게 되면서 타 에너지보다 적용성 및 활용성이 우수한 지열 에너지의 적용사례가 점점 늘고 있다. 특히 지중열을 히트펌프의 열원으로 사용하는 지열 히트펌프 시스템의 적용이 주를 이루고 있다. 지열 히트펌프 시스템은 주로 2000년도 초에 보급이 시작되어 아직 도입 기간이 길지 않아 기술력 축적이 많지 않고, 대부분이 지열전문업체에서 지열시스템 부분에 대해서만 시행하고 있어 전반적인 냉난방 설비 구성에 있어서 다양하고 적극적인 시스템의 적용이 이루어지지 못하고 있다. 지열 히트펌프 시스템은 열원을 생산하는 부분으로 열 사용 설비(공조시스템)과의 적절한 설계를 통해 다양한 시스템의 구성이 가능하며 이를 통해

더욱 효율적인 설비를 구성할 수 있다. 본 고에서는 지열 히트펌프 시스템이 적용된 광명교회 비전센터의 설계, 시공 사례를 통하여 지열 시스템의 다양한 적용성과 설계 및 시공 시 고려사항에 대해 소개하고자 한다.

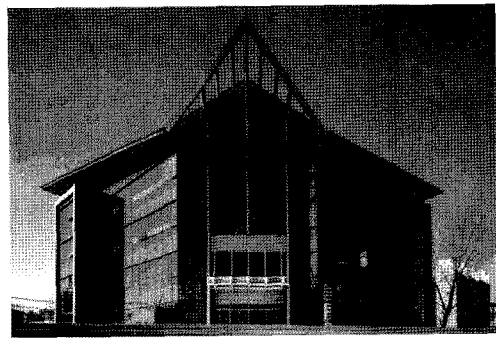
2. 설계 사례 부문

2.1 건축 개요

광명교회 비전센터는 복지시설과 종교시설로 구성된 건물로 중랑천 인근에 위치하고 있어 지형적 특성상 유출 지하수가 풍부한 특성을 가지고 있다. 초기 설계는 흡수식 냉온수기 시스템으로 설계되었으나 지열 활용 조건이 양호한 부지 특성과 열원설비의 운전비 측면을 고려하여 지열 히트펌프 시스템으로 변경되었다.

<표 1> 건축개요

대지위치	경기 의정부시 장암동 44-16번지 외 3필지
건물용도	교육연구/복지시설 - 사회근로복지시설
대지면적	7,267 m ²
건축면적	1,452.71 m ²
연면적	11,987.24 m ² (3,626.14 평)
건폐율	19.99 %
용적율	74.12 %
최고층수	지상 : 4 층, 지하 : 2 층
구 조	철골철근콘크리트조



[그림 1] 광명교회비전센터 전경

1) 1단계 지열 히트펌프(개방형) 시스템

지하 대강당을 담당하는 지열 히트펌프(개방형) 시스템은 35usRT × 6대의 히트펌프에서 생산된 냉·온수를 열 사용설비인 공조기와 바닥 난방코일에 공급하여 냉난방을 담당한다.

2) 수축열식 지열 히트펌프(개방형) 시스템

수축열식 지열 히트펌프 시스템은 심야전력을 이용하는 방식으로 120usRT × 2대의 히트펌프를 이용하여 수축열조에 냉, 온수를 축열하고, 주간에는 방냉 또는 방온펌프를 운전하여 축열해둔 냉·온수를 열사용처에 공급하여 냉난방을 담당한다. 히트펌프는 부하에 따라 주간에도 축열조와 동시 운전하여 부하를 담당하는 부분 축열 방식으로 적용되어 있다.(그림 3)

3) 유출지하수를 이용한 히트펌프 시스템

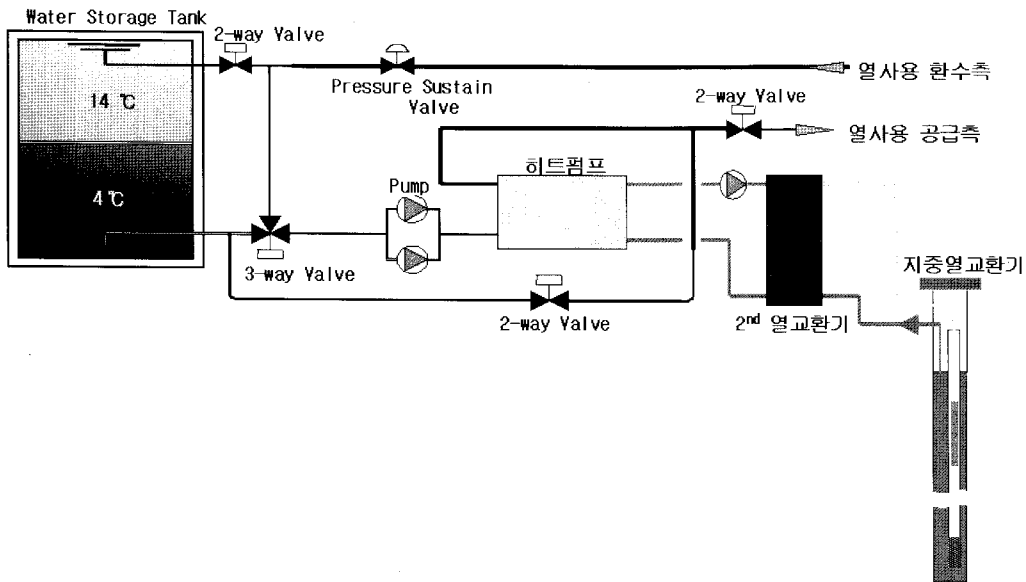
실증연구용역으로 적용되는 유출지하수를 이용한 히트펌프 시스템은 5usRT × 2대를 설치하여 지하2층 연습실의 부하를 담당하고 있다. 유출지하수 히트펌프 시스템은 지하에 발생하는 지하수

를 이용한 방식으로 집수정에 유출지하수를 저장하여 히트펌프와 열교환을 통하여 지하수의 열을 이용하는 방식이다. 유출지하수의 열교환 방식에 따라 두 가지 방식으로 구분된다. 첫 번째 방식은 밀폐형 지열 시스템과 유사한 방식으로 집수정 안에 열교환기를 설치하여 직접 열교환하는 방식이며, 두 번째 방식은 개방형 지열 시스템과 유사한 방식으로 집수정의 지하수를 열교환기에 순환시켜 간접으로 열교환하는 방식이다.(그림 4)

본 방식은 일반적으로 활용하지 않는 건물 지하에 발생하는 유출 지하수를 이용하는 방식으로 미 활용되는 에너지의 이용 측면과 히트펌프의 고효율 운전 측면에서 우수한 방식이라 하겠다.

2.1.2 개방형 지열시스템의 특성

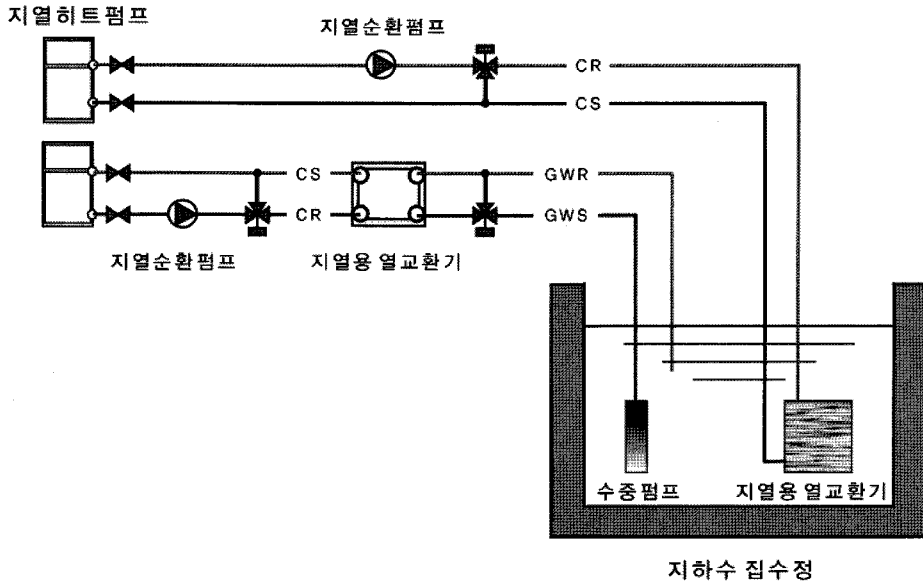
지열 시스템은 이용 매체를 기준으로 하여 크게 토양이용 방식, 지하수 이용방식, 지표수이용 방식으로 구분할 수 있다. 일반적으로 많이 보급되어 있는 수직밀폐형 히트펌프 방식은 토양이용 방식에 해당하며, 본 건물은 지하수를 직접 이용하는 지하수이용 방식의 개방형 시스템이 적용되



[그림 3] 축열식 지열 히트펌프 시스템 개념도

있다. 개방형 시스템에서 지하수 수질과 수량 확보는 성공적인 시스템 구축에 필요한 매우 중요한 인자라 할 수 있다. 비전센터의 경우, 건물 부지 인근에 중량천이 흐르고 있어 풍부한 지하수 확보가 가능하여 안정된 성능확보가 가능하다는 판단 하에 개방형 시스템을 적용하였다.

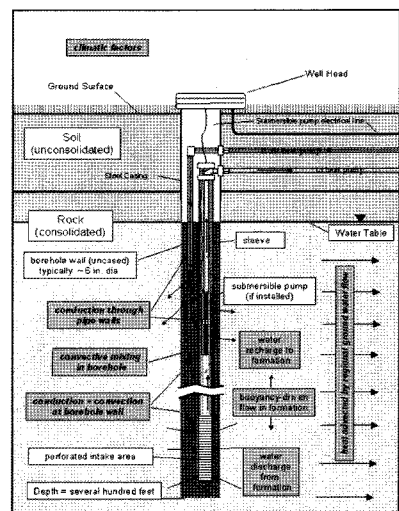
개방형은 지하수 수질 및 수량 확보만 가능하면, 천공당 용량이 수직밀폐형에 비해 커서 천공수를 줄일 수 있어 천공비용 절감, 천공 소요기간 단축, 지중열교환기 설치 면적 축소 등이 가능하여 전체 공사기간 및 공사비를 절감할 수 있는 장점이 있다. (표 3, 그림 5)



[그림 4] 유출지하수를 이용한 히트펌프 시스템 개념도

<표 3> 개방형 지열 시스템의 특성

항목	내용
개요	지중 400m 부근의 17~25℃의 지하수를 히트펌프의 열원으로 직접 이용하는 방식
지중 시공 깊이	약 450 m
천공당 용량	약 25 ~ 40 RT
천공수	약 3 ~ 4공 / 100RT
설치면적	총 8㎡ / 100RT (공당 2㎡)
유입물온도 난방	5 ~ 1℃
유입물온도 냉방	25 ~ 30℃
설계인자 (지중부하 계산 근거)	천공의 길이, 수위의 높이, 암반의 종류, 지하수의 양
COP 냉방/난방 (7/45℃)	4.0/4.0
설치비용	밀폐형 비해 저렴



[그림 5] 지중열교환기 구성도

2.2 장비 구성 및 Zoning 계획

광명교회 비전센터는 종교 및 복지시설로 실의 용도가 다양하고 실별로 사용시간대가 다르며 주중과 주말의 운전 패턴이 다른 건물이다. 특히 지하층 대강당의 경우 주로 주말에 이용되는 간헐운전 특성이 있으며 피크부하가 주말에 형성된다.

따라서 대예배실 존은 별도의 존으로 구분하여 필요시 독립적으로 운전될 수 있도록 구성하며, 상시 사용 존은 운전시간이 길기 때문에 축열식 지열시스템을 적용하여 에너지 단가가 저렴한 심야전력을 이용하도록 계획하였다. 각 존별 설치된 장비의 구성과 운전 계획은 표 4, 표 5와 같다.

2.3 설계시 고려 사항

2.3.1 착정공내의 설계시 착안점

지중열교환기내에 내부케이싱을 설치하고 케이싱 안에 수중펌프를 설치하는 방식은 내부케이싱 내 모래 및 이물질이 들어갈 경우 수중펌프를 꺼내기가 어려우므로 유지관리가 어려운 단점이 있다. 따라서 별도의 내부케이싱을 설치하지 않고 수중펌프를 직접 공내에 설치후 지열수 환수관을 심정바닥 부근까지 내려서 설치하는 방법 등과 같은 새로운 공법의 적용이 필요하다.

2.3.2 장비 용량 선정

일반적으로 카탈로그 상에 호칭되는 지열용 히트펌프의 용량은 실제 열사용 설비에서 사용되는 냉온수 온도 조건과 다른 조건에서의 용량인 경우가 많다. 히트펌프의 냉온수 온도를 실제 열사용 설비에서 사용되는 냉온수 온도 조건(7℃/12℃)로 하여 장비 용량을 보정하면 호칭 용량보다

<표 4> 적용 지열시스템 장비 구성

구분	용량	장비 구성	비고
1) 지열히트펌프(개방형) 시스템	200 usRT	- 지열히트펌프 35usRT × 6대 - 펌프 : 11대 (심정용 × 6대, 순환펌프 × 2대, 냉온수펌프 × 3대) - 관정수량 : 7공	
2) 축열식 지열히트펌프(개방형) 시스템	350 usRT	- 지열히트펌프 120usRT × 2EA - 축열조용량 1,010 usRT - 펌프 : 14대 (심정용 × 2대, 순환펌프 × 2대, 방냉 × 2대, 축냉 × 2대, 온수 × 2대) - 관정수량 : 6공 - 관정당 열용량 : 41usRT	
3) 유출지하수를 이용한 히트펌프 시스템	10 usRT	- 지열히트펌프 5usRT × 2대 (스크롤 방식)	

<표 5> 적용 지열 시스템 분류

구분	담당 존	운전계획	용량제어	비고
1) 지열 히트펌프(개방형) 시스템	지하 대강당 및 부속실	주일 운전 또는 이벤트 발생 시 운전	대수제어	
2) 축열식 지열 히트펌프 (개방형) 시스템	기타 종교 및 복지시설	주간	축열조 우선운전, 부하증가 시 히트펌프 운전	밸브 비례제어
		야간	히트펌프 운전, 축열	대수제어
3) 유출지하수를 이용한 히트펌프 시스템	지하2층 연습실	상시 운전	대수제어	

작으며, 운전 효율 또한 감소하게 된다.

또 지하수의 온도조건에 의해서도 장비의 용량은 변하게 되므로 전반적인 외적 조건을 고려하여 장비를 선정하는 것이 바람직하다. 특히 외산 히트펌프를 사용하는 경우, 국내 실정과 상이하므로 냉온수 및 지하수에 대한 입력조건이 다른 경우가 많아 실수 할 수 있는 부분이므로 실제 설치 및 운전 조건을 고려하여 장비를 선정하는 것이 바람직하다. 그림 6은 장비 선정 프로세스로 전반적인 검토를 통하여 장비를 선정해야 한다.

2.3.3 심정펌프와 배관의 연결방법

수중모터 펌프와 배관 연결부는 펌프의 진동에 의해 탈락되지 않도록 연결부의 접속방법에 대한 고려가 필요하다. 특히 심정펌프와 연결되는 배관이 PE재질의 배관인 경우는 펌프의 운전시 진동에 의해 탈락 될 우려가 크므로 TFT 어댑터를 적용하여 고정할 수 있도록 설계에 반영하는 것이

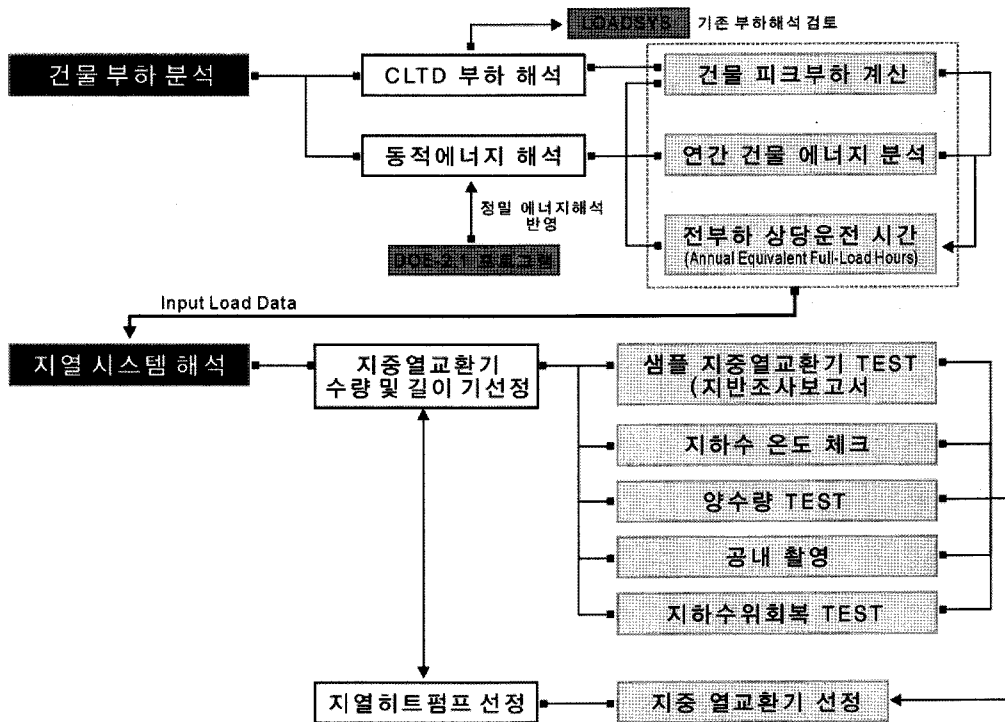
바람직하다.

2.3.4 수축열 순환펌프의 성능 검토

수축열 시스템은 개방계이므로 방냉, 방열 펌프의 양정 계산이 비교적 정확하게 이루어져야 한다. 펌프의 양정이 과다하게 설계될 경우 실제 시공 후 양정이 설계값에 미치지 못해 저양정으로 운전되면 유량이 급격하게 증가되어 모터가 과부하로 인해 타버리는 상황이 발생할 수 있다. 따라서 설계 후 시공단계에서 면밀한 펌프양정의 재검토하여 적절한 용량의 펌프를 선정하는 것이 바람직하다.

2.3.5 지하수량 변화에 대한 주의

지열시스템이 개방형(SCW)인 경우 준공 후 반경 1km 이내에 지하수 사용을 위한 굴착행위로 인하여 지하수량이 변화가 발생할 우려가 있으므로 주의를 하여야 한다.



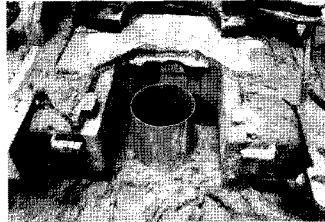
[그림 6] 지열 히트펌프 시스템 장비 선정 프로세스

3. 시공 사례

3.1 지중열교환기 시공 절차



1. 굴착작업



2. 외부 케이싱 설치작업



3. 그라우팅 작업



4. 내부 케이싱 설치작업



5. 터파기 작업



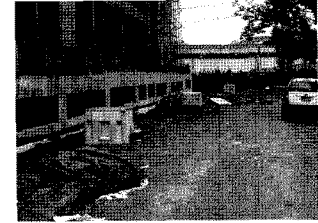
6. 트렌치 배관 작업



7. 트렌치 매립 작업



8. 수중펌프 설치

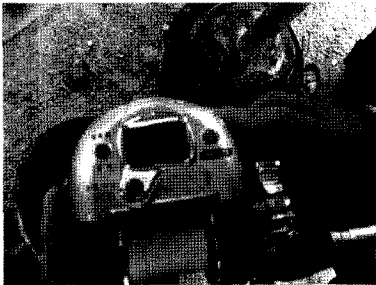


9. 맨홀 설치

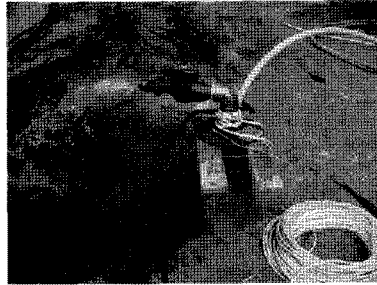
[그림 7] 지열시스템 시공 흐름

- (1) 굴착작업 : 굴착장비(MINY T4)를 이용한 지중열교환기 천공($\phi 300 \times 450M$)
- (2) 외부케이싱 설치작업 : 천공 작업중 지표면 토사층의 붕괴를 방지하기 위하여 외부 케이싱 삽입
- (3) 그라우팅 작업 : 지표로부터 오염물질이 유입되는 것을 방지하기 위한 그라우팅 작업
- (4) 내부케이싱 설치작업 : 지중열교환기 내 내부케이싱 PVC(VG2) 설치작업
 - G.L ~ 40M : PVC(VG2) $\phi 250$ 설치
 - 41M ~ 360M : PVC(VG2) $\phi 150$ 설치
- (5) 터파기 작업 : 트렌치배관 매설을 위한 터파기 작업(동결심도인 1.5M 이상 터파기)
- (6) 트렌치 배관 작업 : 트렌치배관 설치, 배관의 이탈 및 처짐을 방지하기 위하여 지지대 및 모래주머니를 이용한 고정작업
- (7) 트렌치 매립 작업 : 매립작업 중 G.L에서 450mm 지점에 매설 경고 테이프 설치
- (8) 수중펌프 설치 : 수중펌프 설치후 트렌치 배관과 연결
- (9) 맨홀 설치 : 지중열교환기 보호를 위하여 상부에 맨홀 설치

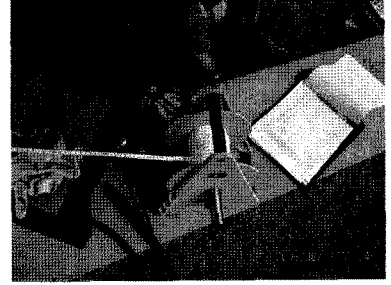
3.2 측정 및 검사



1. 심도측정



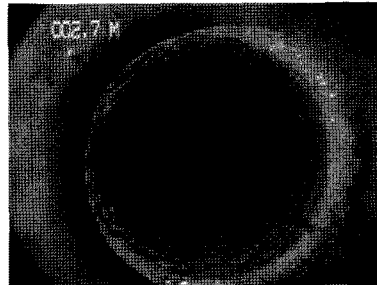
2. 양수량 테스트



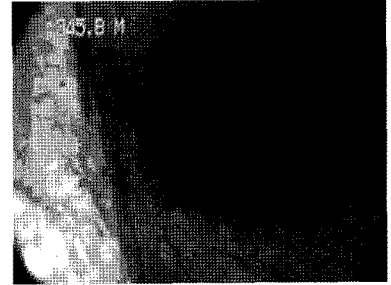
3. 수위 측정



4. 공내 촬영장비



5. 공내촬영-심도 3m



6. 공내촬영-심도(345.8m)

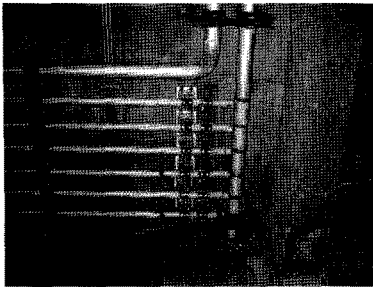
[그림 8] 지중열교환기 측정 및 검사

- (1) 심도측정 : 심도측정기를 이용하여 지중열 교환기의 굴착심도를 측정하여 설계된 심도깊이만큼 굴착이 되었는지 측정
- (2) 양수량 테스트 : 굴착이 완료된 지중열교환기 내 양수량을 테스트 및 측정 후 수위 회복 시간을 체크하여 공내 지하수 회복 성능을 시험
- (3) 수위 테스트 : 수위감지기를 이용하여 지하수의 자연수위를 측정하여, 측정데이터를 근거로 하여 공내 심정펌프 및 수위감지기의 설치 심도를 결정
갈수기 때 공내 자연수위가 낮아지는 경우가 있으므로, 심정펌프의 설치 심도를 신중히 결정.
- (4) 공내 촬영 : 굴착완료 후 공내촬영 장비를 이용하여 공내 지하수 수질상태, 굴착상태, 자

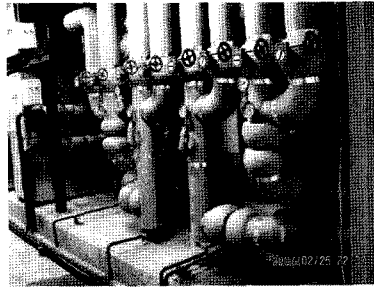
연수위, 굴착깊이 등을 직접 육안으로 확인

- 2) 지중열교환기의 측정 및 상태확인 중요성
수직밀폐형과는 달리 개방형 방식은 지중열교환기 내 지하수를 직접적으로 이용하므로 무엇보다도 지하수의 확보가 가장 중요하다. 각 지역 및 지반의 특성에 따라 지하수의 보유량 및 자연수위가 다르므로, 개방형 지열 시스템을 적용하고 할 경우 지중열교환기를 설치하기전 반드시 시험천공을 통한 측정 및 TEST를 거쳐 적합성을 검증받아야 한다.
또한, 시공단계에서 지중열교환기 굴착 후에도 심도측정, 자연수위 측정, 양수량 테스트 및 공내 촬영 등을 통하여 전반적인 지열시스템의 안정을 도모할 수 있도록 지중열교환기의 상태에 신중을 기해야 할 것이다.

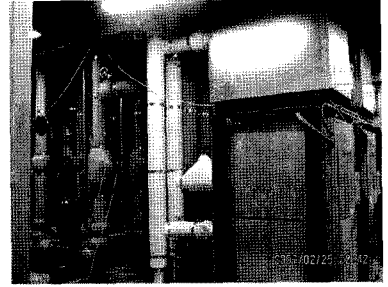
3.3 주요장비 및 배관의 설치현황



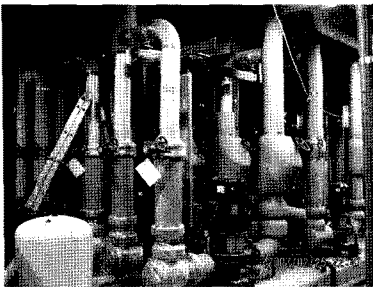
옥내배관 설치



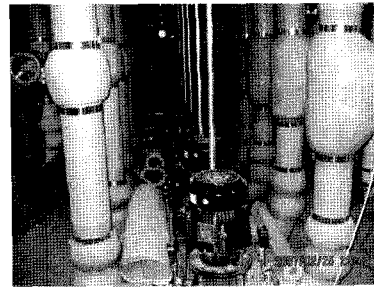
히트펌프(120RT)



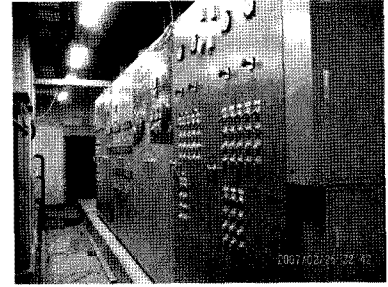
히트펌프(35RT)



축냉, 축온펌프



냉온수 순환 펌프



MCC 판넬

[그림 9] 지열시스템 주요 장비 및 배관의 설치현황

3.4 시공 시 고려사항

3.4.1 타 공종과의 인터페이스

하나의 건축물을 완성시키기 위해서는 건축공사, 토목공사, 구조공사, 기계설비공사, 전기설비공사, 소방공사 등 많은 공종이 필요하다. 지열 공사는 기계설비공사의 일부로 기계설비공사업체는 물론 타 공종과도 긴밀한 협조가 필요하다. 예를 들어 천공작업이나 배관 매설작업 등은 건축 및 토목과 공사시기, 천공위치 등에 대한 업무 협조가 필요하기 때문에 사전에 긴밀한 협조가 필요하다.

본 건물의 경우 건축과 토목공사가 일부 진행된 후 설계변경에 의해 지열 공사가 이루어지게 된 경우로 타 공종과의 간섭이 불가피하게 되었다. 다행스럽게도 타 공종의 협조로 인하여 큰 문제 없이 공사가 이루어질 수 있었다. 따라서 지열 공

사는 공정을 사전에 검토하여 타 공종과 충분한 협의의를 통하여 간섭사항은 사전에 해결하는 것 바람직하다.

3.4.2 굴착시 지하 유출수 처리 계획

지중열교환기 설치를 위한 착정 공사 시 기반 암층에서 다량의 지하수가 유출되게 된다. 따라서 착정공사 전 유출되는 지하수의 배수에 대한 처리 계획이 필요하다. 배수가 원활하지 않을 경우 주위 건물의 수해를 유발할 수 있으므로 배수 경로 확보, 배수 유도 작업, 옥외 배수관 확인 등 충분한 사전 준비를 통하여 대비하도록 한다.

3.4.3 착정 및 유지관리시 고려사항

착정이 완료 후 또는 맨홀안 상부보호공을 관리하는 과정에서 공 내에 모래가 인입되지 않도록

주의하여야 한다. 공 내로 인입된 모래는 수중모터 펌프의 손상을 유발할 수 있으며, 수중에 함유된 일부 모래는 히트펌프의 코일에 인입되어 열교환 성능 및 내구성 저하를 유발 시키므로 주의하여야 한다.

3.4.4 지중 열교환기간의 유량 불균형

개방형 지열시스템에서는 지중열교환기간의 유량 불균형을 위해 설계 시 지중열교환기의 수위를 제어할 수 있는 시스템을 구축한 경우가 있다. 즉 수위감지기를 통하여 수중모터 펌프를 기동/정지하여 수위를 유지하는 것이다. 수위감지기 위치(고수위와 저수위의 거리)가 부적절한 경우 수중모터 펌프의 빈번한 기동/정지가 이루어져 장비의 내구성을 저하시키게 되므로 자연수위를 고려하여 적정간격을 유지하도록 한다.

3.4.5 매립배관의 설치

지하수 측 매립배관은 일반적으로 PE 배관 계통

을 사용한다. PE배관은 대부분 열융착에 의해 접합된다. 겨울철 외기온이 극히 낮은 경우, 배관의 융착이 제대로 이루어지지 않을 가능성이 있으므로 주의가 필요하다.

4. 결론

지금까지 광명교회 비전센터 지열 시스템의 사례를 통하여 적용된 지열 시스템의 소개와 설계 및 시공 시 고려사항에 대하여 살펴보았다.

본 건물은 냉난방 설비의 일부분만 적용되는 일반 건축물과 달리 전체 열원설비를 지열 히트펌프 시스템으로 적용되었으며, 또한 다양한 지열 시스템이 구축된 사례로 남다른 의미가 있는 건물이라 할 수 있다. 본 고를 광명교회 비전센터의 지열 시스템을 소개 할 수 있어 기쁘게 생각하며 추후 지열 시스템을 설계, 시공하는 데에 있어 조금이나마 도움이 되길 바란다.