

동남권유통단지 이주전문상가 “가”블럭 지열시스템 설계 및 시공사례

김수빈*, 최연*, 남임우**, 안양환**
*삼신설계(주), ** (주) 신성엔지니어링

1. 서론

에너지의 효율적 이용, 신재생에너지의 보급은 지구온난화의 주범인 온실가스를 줄임으로써 저탄소/녹색성장을 이룩할 수 있으며, 미래사회는 이러한 에너지 문제와 환경문제를 어떻게 대처하느냐가 중요한 요소가 되었다. 이에 우리 정부에서도 2002년 3월에 “대체에너지 개발 및 이용·보급 촉진법”을 통해 일정규모 이상의 건물에 대하여 건축비의 5% 이상을 신·재생 에너지 사용 시설에 설치하도록 의무화 하고 있다. 최근에는 신재생 에너지 중 특히 지열 냉난방 시스템에 대한 인식이 확산되고 있다.

우리나라 에너지소비의 25% 이상을 차지하는 건물 냉난방부문의 에너지 절약을 위해서 에너지 효율이 높은 것으로 나타난 지열냉난방시스템의

보급이 점점 확대되고 있으며 그 필요성이 강조되고 있다. 이에 지열 냉난방 시스템의 설계/시공 사례를 통해서 밀폐회로형 지열냉난방 시스템을 실제 건물에 적용한 (동남권유통단지 이주전문상가 “가”블럭) (GARDEN 5)에 대해 소개하고자 한다.

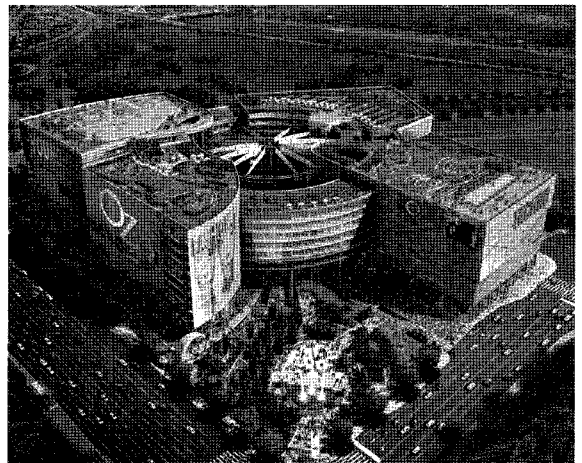
2. 본론

2.1 대상 건물

표 1은 동남권유통단지 “가”블럭의 건축개요를 나타낸 것이다.

<표 1> 대상건물 개요

구분	내용
건물명	동남권유통단지 이주전문상가 “가”블럭
대지위치	서울시 송파구 문정동
대지면적	41,810m ²
건축면적	25,037m ²
연면적	423,842m ²
건물규모	지하 5층,지상 11층



[그림 1] 대상 건물의 전경

2.2 설계 개요

- (1) 부하현황(표 2 참조)
- (2) 설계요약(표 3 참조)

- (3) 지중열교환기 설계(그림 2, 표 4 참조)
- (4) 지열히트펌프 선정(표 5 참조)
- (5) 지열순환펌프 선정(표 6 참조)

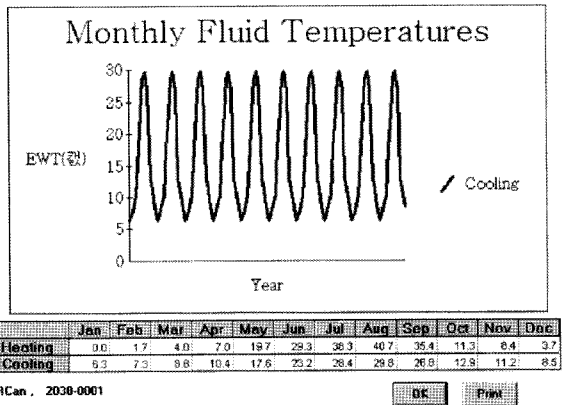
<표 2> 대상건물 부하현황

구분	냉방부하		난방부하		비고
	kcal/h	kW	kcal/h	kW	
지열ZONE	1,143,800	1,330	1,029,420	1,197	냉방기준선정
냉방부하의 90%기준					

<표 3> 지열시스템 설계요약

구분	동남권유통단지 이주전문상가 “가”블럭			
지열히트펌프	장비선정	냉방용량 기준 140kW × 10대		TOTAL = 1,400kW
		난방용량 기준 145kW × 10대		
지중열교환기	형식	수직밀폐형		
	열교환기	깊이	50m/RT	GL-200m
		홀수	D150mm기준	100 HOLE
		ZONE	5 ZONE	20 HOLE/ZONE
기타				
공동사항	배관	HDPE PIPE기준		30 mm
	그라우팅	Bentonite 20%		
	천공간격	일렬배치형 4.0m 이격거리 유지		
	부동액	Water 80% + Alcohol 20%		
	유량	11 LPM/RT		

※ 지열히트펌프 형식은 Water to Water 적용



[그림 2] 지중열교환기 설계

특 집

지열 냉난방 시스템의 적용 및 사례

<표 4> 지중열교환기 설계결과

전공깊이 선정	총천공깊이(m) ÷ 냉방용량 / 18,400m ÷ 400 = 46m/RT(총깊이 : 20,000m선정)
천공수량	20,000m = 100 hole × 200m

<표 5> 지열히트펌프 선정

Heating Capacity Data									
Model (RT)	EST (°C)	ELT (°C)	Load		Source		kcak/h	kW	COPc
			LPM	mAq	LPM	mAq			
45	4.4	45	511	3.35	511	3.4	136,856	45.3	3.5

Cooling Capacity Data									
Model (RT)	EST (°C)	ELT (°C)	Load		Source		kcak/h	kW	COPc
			LPM	mAq	LPM	mAq			
40	32.2	12	511	3.35	511	3.4	124,634	39.7	3.7

선정	기준	용량(RT)	수량	합계(RT)	비고
		냉방부하기준으로 선정	40	10	400

※ EST : Entering Source Fluid Temperature to Heat Pump
 ※ COPc : Coefficient of Performance(냉방성적계수)

※ ELT : Entering Load Fluid Temperature to Heat Pump
 ※ COPh : Coefficient of Performance(난방성적계수)

<표 5> 지열히트펌프 선정

1)유량	Source	511	LPM	히트펌프	10	대
		5,110	LPM		306.6	m³/hr
2)펌프수량					6(1대예비)	대
3)펌프유량		1,022	LPM		61.3	m³/hr
4)양정	히트펌프 손실수두(열교환기 압력손실)				3.4	M
	밸런실 VALVE				5.0	M
	배관길이				1,350 M	
	마찰손실				20mmAq	M
	부속류				(배관의 20%)	M
	계				SF 10%	M
	선정				52.0	M
5)전동기	유량	1,022	LPM	양정	52.0	M
	$P(kW) = \frac{\text{유량(LPM)} \times \text{양정(M)}}{6,120 \text{ TIMES 효율}(0.65)} \times 1.1$					
	14.70		kW	18.8		kW
6)선정	형식	안라인				
	수량	6	대	(1대 예비)		
	사양	1,022	LPM	52.0		M
	동력	18.5	kW	구경(A)		125
	전원	380V × 3φ × 60Hz				

2.3 열전도도 테스트

(1) 지열 열전도도 테스트의 개요

지중의 열전도도는 지열 열교환기의 설계 시 가장 중요한 항목이다.

지열 히트펌프 가동시 여름에는 실내의 발열을 지중으로 방열하고 겨울철에는 반대로 지중으로부터 열을 흡열하여야 하므로 지중 열전도도(Soil Thermal Conductivity)에 대한 측정은 지열시스템 설계에서 중요하다 하겠다. 지열 열전도도 테스트 장치는 현장의 열교환기 설치를 위하여 설치한 천공홀을 샘플로 하여 실시하게 되며 일정한 열부하를 보어홀에 주입하면서 지중 열교환기 내부를 순환하는 유체의 온도변화 및 주입된 열량을 기준으로 하여 측정하게 된다.

지열 열전도도 테스트의 개념은 그림 3에 나타난 것처럼 일정한 열을 지열 열교환기 내로 주입 또는 추출하는 동안 지열 열교환기를 순환하는 유체의 변화되는 온도를 측정하는 것이다.

(2) 지열 열전도도 계산식

현재 가정 일반적이고 널리 사용하는 방법은 Line-Source 이론에 의하여 계산하는 방법으로 보어홀을 선형적으로 가정하고, 열전달은 보어홀과 지반의 접촉면에서 열원의 수직방향으로만 일어나며, 열원은 항상 일정하게 유지된다는 가정하에 단순화된 선형 방정식을 사용하여 측정할 수 있고 지배공식은 아래와 같다.

$$k = \frac{Q}{4\pi \times L \times slope}$$

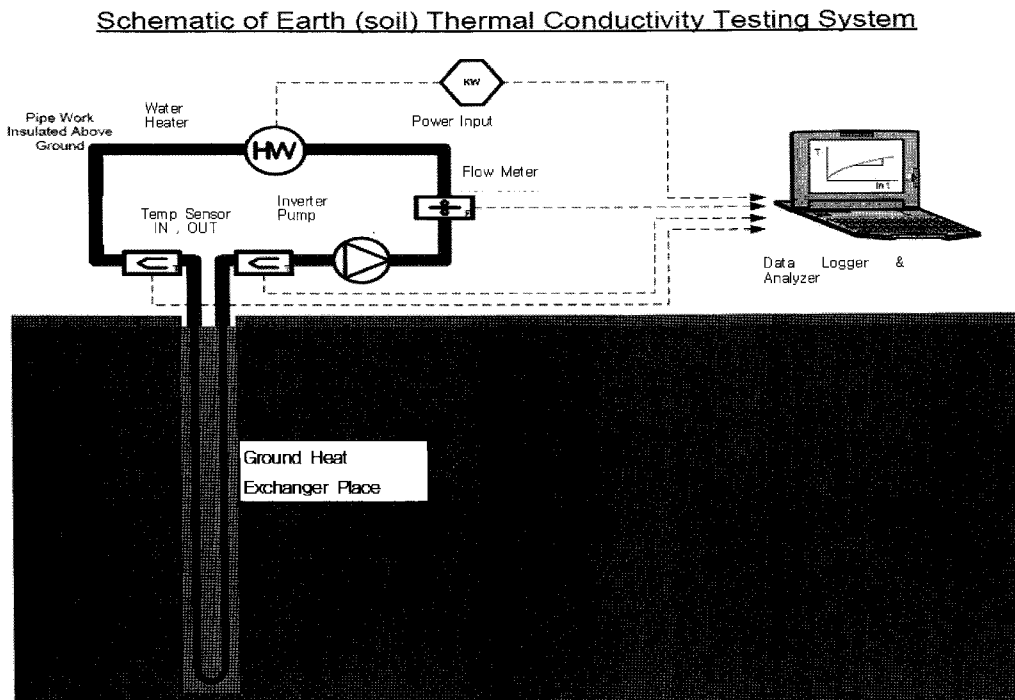
Q = 열주입량

k = 열전도도

$\pi = 3.141592$

L = 천공홀 깊이

slope = 대수시간에 대한 온도곡선의 기울기

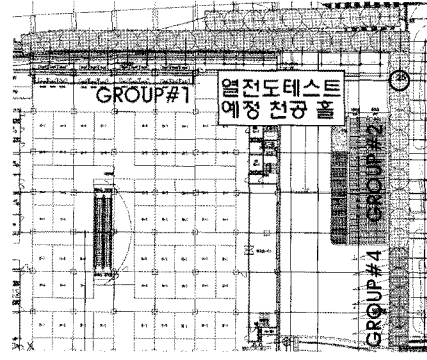


[그림 3] 지열 열전도도 테스트 개념도

측정된 데이터(입출구 온도값)는 측정시간에 대하여 지열 열교환기 입, 출구의 온도변화 곡선으로 나타나게 된다. 이를 측정시간에 대한 대수곡선으로 배열하여 측정값에 대한 기울기를 구하면 열전도도를 측정할 수 있다.

2.4 시공과정

<표 6>

시험공	GROUP #2의 25번홀
시험시간	72시간
해석방법	Line Source Method에 의해 해석 (시험 시작 후 12시간의 데이터 제외)
전력편지	AVR 사용
히터용량	50 ~ 80W/m ⇒ (50 ~ 80) × 200m ≈ 10 ~ 16 kW 12kW 사용
순환유량	열전도 테스터기의 일정유량 공급
측정시기	그라우팅 완료 후 3일 이후
시험공 위치	

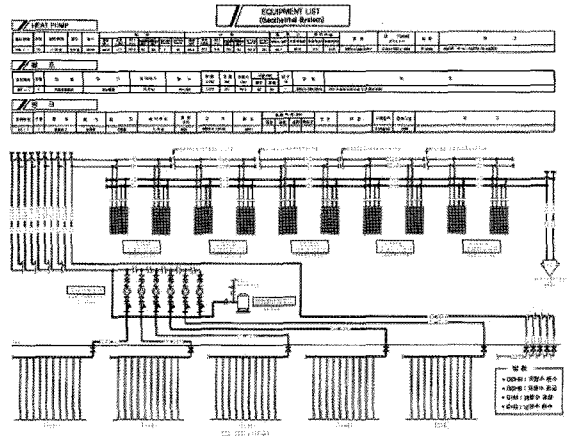
<표 7> 결과값

	Cooling	Heating
Total Length(m)	17,150	17,790
Borehole Number	100	100
Borehole Length(m)	171.5	177.9
Ground Temperature	16℃	
Thermal Conductivity	3.1 W/m.K	
Pipe Type	1 1/4" - SDR11	
Borehole Diameter	150mm	

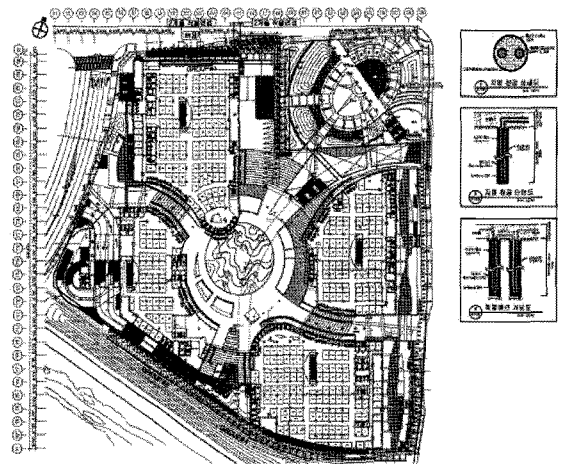
(1) 설계

지열열교환기, 지열순환펌프, 지열히트펌프의 연동제어 및 5그룹으로 나누고 건물부하가 20%, 40%, 60%, 80%, 100% 발생시 순차적으로 부하대응을 할 수 있도록 부하추종형 제어방식을 채택하였다. 부하추종형(냉온수펌프)은 인버터펌프를 적용하여 반송계통의 소비전력 절감을 꾀하였다(그림 4 ~ 7).

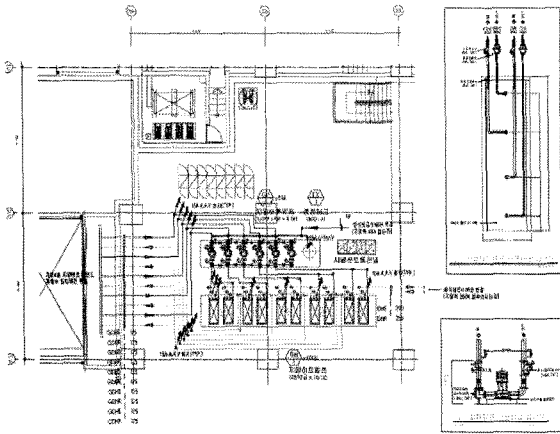
(2) 시공사진(그림 8 ~ 11 참조)



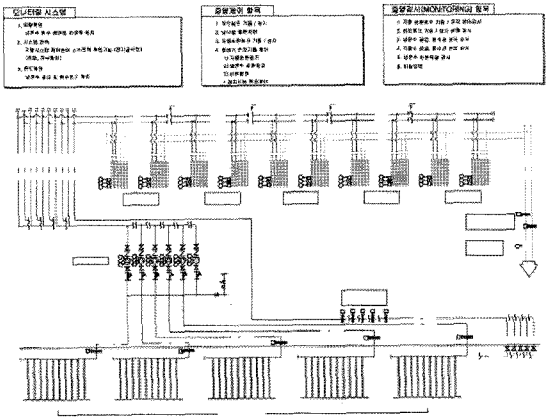
[그림 4] 지열시스템 장비일람표 및 흐름도



[그림 5] 지열열교환기 배치도



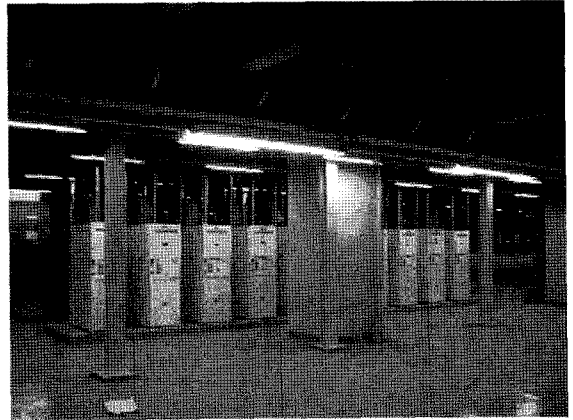
[그림 6] 지열기계실 평면도



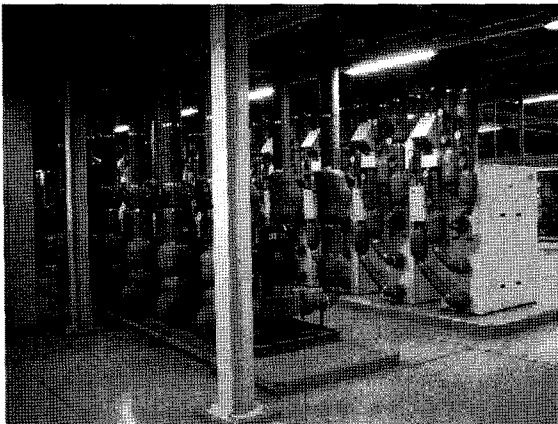
[그림 7] 지열자동제어 계통도



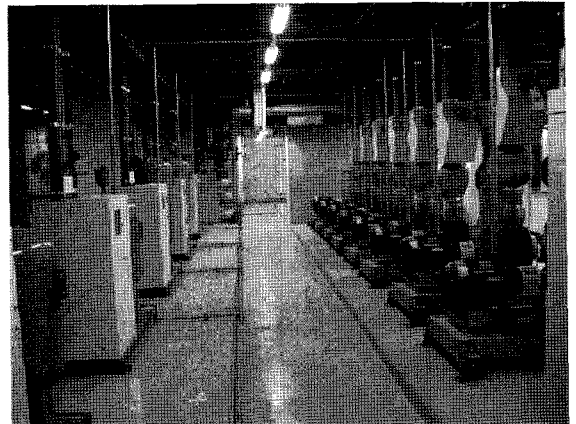
[그림 8] 건물전경



[그림 9] 지열히트펌프



[그림 10] 지열순환펌프



[그림 11] 부하측펌프

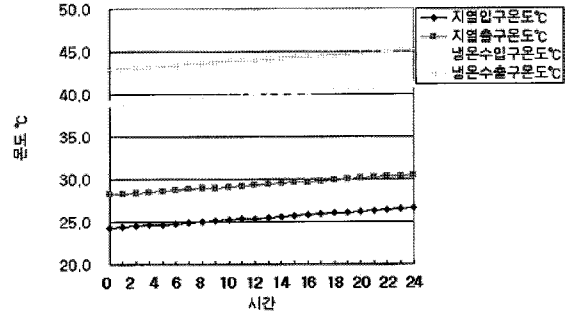
2.5 시운전 및 T.A.B

(1) 시운전

지열냉난방시스템에 대하여 설계 의도대로 시공되었는지를 확인하고 장비의 성능과 기능을 시험하여 설계자의 의도에 부합되는 열원 시스템이 구축되었는지를 검증함과 동시에 장비 상호간의 불균형으로 인하여 발생하는 문제점을 T.A.B를 통해서 조정하여 최적의 조건으로 시스템이 운영될 수 있도록 한다.

시운전 및 T.A.B를 통해 얻어지는 DATA를 검토, 분석하여 모니터링함으로써 향후 지열냉난방 설비를 유지.관리하는데 지침이 될 수 있도록 한다.

난방 모드로 시운전을 실시하였으며, 지열히트펌프의 지열측 입출구 온도, 냉온수 측 입출구 온



[그림 12] 시간에 따른 지열히트펌프 입출구 온도

<표 8> 시운전 데이터

유 량 (LPM)	생산열량 (kcal/h)	소비전력 (kW)	성적계수 (COP)
4,895.0	1,174,800.0	346.1	3.95
4,896.0	1,175,040.0	346.1	3.95
4,900.0	1,176,000.0	346.2	3.95
4,895.0	1,145,430.0	346.2	3.85
4,896.0	1,175,040.0	346.3	3.95
4,900.0	1,176,000.0	346.3	3.95
4,895.0	1,204,170.0	346.3	4.04
4,896.0	1,175,040.0	346.4	3.94
4,900.0	1,176,000.0	346.4	3.95
4,895.0	1,204,170.0	346.5	4.04
4,896.0	1,175,040.0	346.5	3.94
4,900.0	1,176,000.0	346.5	3.95
4,895.0	1,174,800.0	346.6	3.94
4,896.0	1,175,040.0	346.6	3.94
4,900.0	1,205,400.0	346.7	4.04
4,895.0	1,174,800.0	346.7	3.94
4,896.0	1,175,040.0	346.7	3.94
4,900.0	1,176,000.0	346.8	3.94
4,895.0	1,174,800.0	346.8	3.94
4,896.0	1,204,416.0	346.9	4.04
4,900.0	1,176,000.0	346.9	3.94
4,895.0	1,174,800.0	346.9	3.94
4,896.0	1,175,040.0	347.0	3.94
4,900.0	1,176,000.0	347.0	3.94

도, 유량 및 소비전력을 시간에 따라 측정하였다. 그림 12는 시간에 따른 지열히트펌프의 입출구 온도를 나타낸다. 지열히트펌프를 통해 약 4 ~ 5의 온도차를 만들고 난방운전이 진행됨을 알 수 있다.

표 8은 시운전 온도 데이터를 통해 얻은 생산열량 및 성적계수를 나타내었다. 지열시스템의 성적계수가 COPh=3.5에서 COPh=3.9의 상승된 결

과값이 나타난 것은 설계시 지열순환펌프의 양정값을 52m로 여유율을 두어서 설계되었으나 실제 운전되는 양정값은 49m로 측정되어 반송계통의 소비전력이 줄었고, EST(지열입구온도) ELT(부하입구온도)가 설계치의 온도조건보다 호조건에서 운전됨으로 인해서 성적계수가 향상되었고, 이는 설계치의 에너지절감보다 실제 운전되는 에너지절감이 큼을 알 수 있다. 