

# 일반개방형(SCW)과 함몰방지개방형 (게오힐)의 열응답 실험결과 및 고효율 장심도 지중열교환기

서운종  
(주) 지케이에너지 기술이사

## 1. 개방형 지중열교환 시스템의 열응답 시험

### 1.1 가용부하 인입에 의한 열전도도 측정

열응답 시험에 대한 이론은 1980년대에 정립되었고 이후에 이동식 장치로 스웨덴, 미국, 네덜란드, 등에서 개발되어 사용하고 있으며 최근 프랑스, 일본등에서도 채택하여 적용하고 있다.

수직밀폐형과는 다르게 개방형 시스템에 관련된 열전도도 측정은 아직도 많은 논란이 되고 있는 것이 사실이다. 현재 개방형 지중열교환기(Standing Coulmn Well)에 대한 이론적 해석은 Z. Deng에 의해서 보정된 열전도도를 제시하고 있으며 국내 「신·재생에너지설비의 지원 등에 관

한 지침」의 측정항목과 기준에 준하여 측정하여야 하고 측정기관으로는 ‘한국냉동공조인증센터, 한국지질자원연구원, 한국에너지기술연구원, 지열인력양성센터, 한국건설기술연구원, 기계공학과 및 설비공학과 운영하는 대학 및 대학원, 기타 센터의 장이 측정장비 및 기술인력 등을 심사하여 열전도도를 측정할 능력이 있다고 인정하는 자’로 명시되어 있다.

열응답 시험의 기본적인 원리는 일정한 열량을 지중열교환 시스템으로 주입 또는 투입하여 순환 유체의 온도 변화를 측정하고 측정시간에 대해서 온도변화 데이터를 분석하고 라인소스(Line Source Theory) 방정식을 적용하여 열전도도를

<표 1>

순번	항 목	기 준	비 고
측정 시간	1	열전도도 측정 개시	천공 완료 후 72시간 이후
	2	제외 시간	시험 시작 후 2시간 데이터 제외
	3	유효데이터의 연속 취득시간	12시간 이상 연속 취득
	4	데이터 취득 간격	10분 이하
측정 조건	5	측정공 투입 열량	200 ~ 500 W/m
	6	Loop 입출구 온도차 (이 온도범위에서 유량조절)	3.5 ~ 7℃
오차	7	측정온도의 오차	±0.3℃ 이하 (평균온도에 대한 표준편차)
	8	보일러 공급 열량의 오차	±3% 이하 (평균열량에 대한 표준편차)
재측정	9	재측정 개시	지중초기 온도의 0.3℃이내 까지 회복 후 재측정

계산할 수 있게 된다.

- k : 열전도도
- Q : 투입열량
- L : 지중열교환 시스템 깊이
- △ : 온도구배

열응답 시험의 측정시간에 관련하여 Skouby와 Sptler 등은 50시간 Smith는 12시간을 제시하고 있으며 열전도도 및 열저항 값을 분석하여 오차를 최소화 하기 위해서는 암반의 열확산계수와 관계 된다.

**1.2 깊이별 암석 시료 채취에 의한 열전도도 측정**

암석의 열물성(열전도도, 열확산율, 비열)은 laser flash 방법을 사용하는 LFA-447 장비를 이용하여 측정며, 측정 원리는 암석 시료 아래 면에 Xenon-flash lamp를 이용해 열을 가한 후 반대 면에 전달되는 온도를 적외선 온도계로 시간 대비 온도를 측정하여 열확산율(thermal diffusivity,  $\alpha$ )을 구하는 것이다. 비열(specific heat, Cp)은 이미 알고 있는 표준 시료를 이용하여 측정하려는 시료의 실제 온도 상승과 비교 분석하는 S/W를 이용하여 산출한다. 최종적으로 암

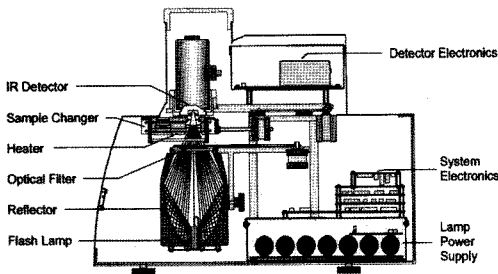
석 시료의 열전도도(thermal conductivity,  $\lambda$ )는 시료의 밀도(bulk density,  $\rho$ ) 측정값을 함께 이용하여 아래의 식으로 계산된다.

$$\lambda = \rho \times \alpha \times C_p$$

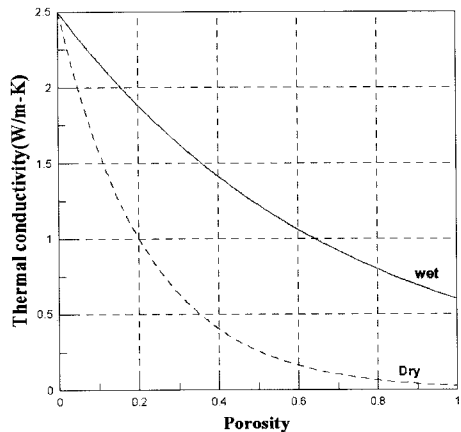
여기서 암석 밀도는 Accupy 1330을 이용하여 측정하였으며, 또한 표준시료인 pyroceram 9606 (25°C에서 4.009 W/m-K)을 이용한 LFA-447의 열전도도 측정오차는 통상 3% 미만이다.(그림 1)

LFA 447을 이용하여 Laser flash 방법으로 획득한 열전도도 값은 건조시료를 대상으로 구하지만 실제로 열전도도는 아래 그래프에 보듯 건조상태와 포화상태에서의 열전도도가 다르게 나타나는데, 자연상태인 포화상태의 열전도도를 산출하기 위해서는 geometric mean model 식을 사용하여 보정을 해주어야 한다.(그림 2)

여기서 Kin-situ는 포화상태의 암석 열전도도, Kwater는 물의 열전도도 (25°C에서 0.62 W/m-K), Kmatrix는 건조상태의 암석 열전도도이며, 그리고  $\phi$ 는 공극율이다. 보정식에서 공극율이 필요한데, 공극율은 시료를 포화시켜 포화시료의 무게와 액상에서의 포화시료 무게를 측정하고,



[그림 1]



[그림 2] Geometric mean model(Woodside and Messmer, 1961)

다시 시료를 강제순환건조기에서 103°C의 일정한 온도로 24시간 건조시켜 건조시료의 무게를 측정하여 다음 식을 이용하여 산출하였다.

## 2. 각 측정방식에 의한 열전도도 측정값 비교

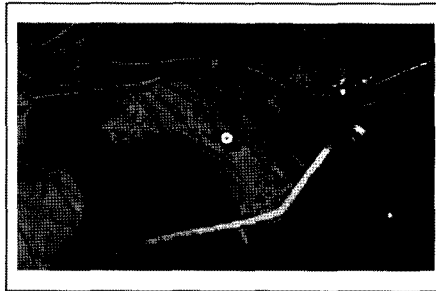
### 1.1 여수 \*\*\* 학교 지질 특성

안산암 및 안산암질 응회암은 유천층군중 안산암질암류 분출과 관련되는 화산암 및 화산쇄설암으로, 밀양소분지 지역에서는 ‘주사산빈암(立

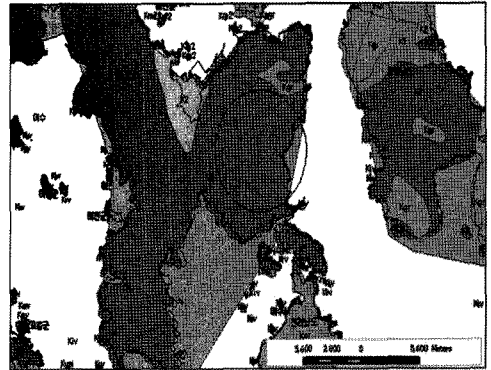
岩,1924)’, 또는 ‘주산안산암류’(김상욱과 박봉순)로 분류되기도 하였다. 여수도폭에 분포하는 안산암은 대개 사장석 반정을 갖는 암록색 내지 암회색의 반상 안산암, 반정이 적은 비현정질 안산암, 행인상 안산암 등으로 나뉜다. 이 암석의 석기는 lath 상의 사장석 미정(microlite)들이 다소 방향성을 보여 주기도 하며 이들 사이에는 간간이 휘석, 녹니석, 녹염석, 철산화물 등이 포함되기도 한다. (그림 3)

내 용	
탐 검 구 역	조 사 계 요
여수시 오현동 587번지	지질시험현금(지반조사)

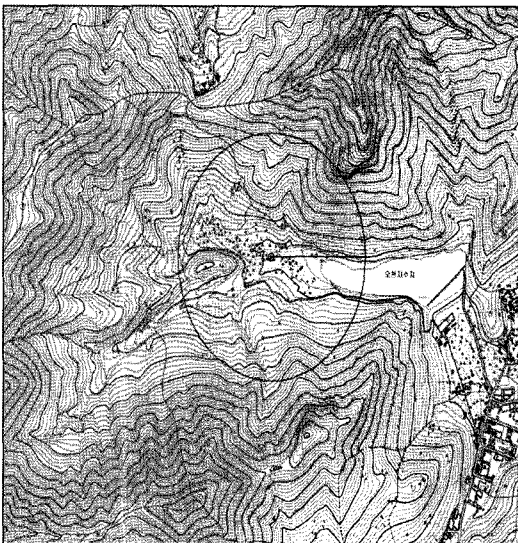
■ 조사지역 3차원 위치도



■ 조사지역의 지형도 (반경5km의 1:50,000 지형도)



■ 조사지역의 지형도 (반경1km, 1:5,000)



지 질 주 상 도				
부 사 호	국립해양지질조사연구소 지질부 587번지 여수시 오현동 탐사현금			
구 조	여수시 오현동 587번지	탐 사 시 점	2008.09	
비 롚	1:5,000	상 수 방	500m/부	
비 롚(수)	부 사 호	지 점	기 표	
5.0	5.0	***	***	***
10.0	6.0	***	***	***
15.0	8.0	***	***	***
42.0	98.0	안산암질 응회암	안산암질 응회암	안산암질 응회암
108.0	108.0	응회암	응회암	응회암
189.0	189.0	안산암	안산암	안산암
267.0	267.0	안산암	안산암	안산암
352.0	352.0	안산암	안산암	안산암

[그림 3]

1.2 동일 지중열교환 시스템의 열전도도 측정 비교

표 2, 그림 4, 그림 5, 그림 6

상기 현장에서 측정된 결과 개방형중에 SCW공법과 함몰방지 개방형의 열전도도도 비교 결과라 할 수 있으며 동일 천공위치, 동일 시기, 동일 측정방식 및 측정장비로 시험결과 30%이상의 열전도도 값이 상승함을 알 수 있다. 이는 충전재의 역

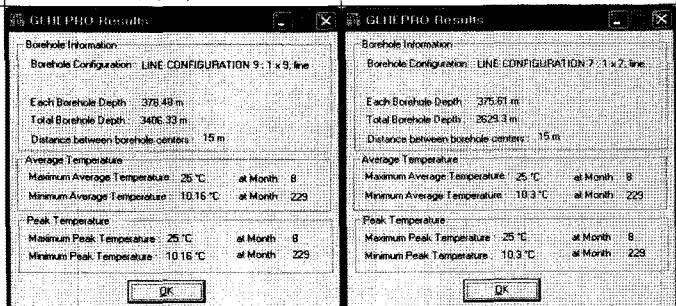
할이 함몰방지 및 열교환기로서의 전열면적 확대로 인한 용량 증가를 확인시켜주는 결과라 할 수 있다.

또한, 열전도도 값은 상승은 설계 깊이를 대폭 줄이고 효율을 향상 시킬 수 있는 요소로 동일 용량의 히트펌프를 적용하여 투자회수 기간의 단축을 획기적으로 이룰 수 있다.

<표 2>

	수직밀폐형(일반)	일반개방형(SCW)	함몰방지개방형(Geohil)	비고
개념도 (단면)				
내용			환수관 : 유공관 충전재 : 여과사리	
측정 시기		2010.12.20~21 한국냉동공조인증센터	2010.12.25 ~ 26 한국냉동공조인증센터	
천공깊이	150 M	500 M	500 M	
열전도도	2.5~3.5	4.07	5.49	
설계 깊이	50 M/RT 14.3 M/kW	21.29 M/RT 6.18 M/kW	16.43 M/RT 4.7 M/kW	GLHEPro
열교환	3RT	23.95 RT (84 kW)	31.05 RT (109 kW)	

1차 일반개방형 측정 → 지중안정화 확인 →  
환수관/충전재 총지 → 2차 함몰방지개방형 측정



시험성적서 TEST REPORT			
시험서번호 Test No.	KRAAC-C-10-103		
페이지 (1)1/총4 (1)1/총4page			
1. 의뢰인 (Client)			
기업명 (주)지케이에너지	대표자 황 상 우		
시험지용계약번호 220-67-33881	E-mail usao@ghenergy.co.kr		
대표 전화번호 031-776-0545	담당 전화번호 031-776-0546		
주소 경기도 성남시 분당구 일자동 2로19번길 1922호			
2. 시험성적서의 용도 (Purpose of test) : 에너지관리공단(지열이용검토서 제출)			
3. 시료 (Test Sample) : 지열열전도도 측정공(geohill) Thermal Conductivity Test Hole			
시험방법	진남 여수시	측정깊이	5 m
측정시간	720 min	사용장체	Water
총 길이	500.0 m	지열열도측기 모델	SCW형-250 mm
4. 시험기간 (Period of test) : 2010년 10월 20일 - 2010년 10월 20일			
5. 시험방법 (Test method used) : 지식경제부 고시 제2009-332호(09.12.29) '신재생에너지설비의 지열 용어 관한 기준'			
6. 시험환경 (Testing Environment) : 온도 (13 ~ 20) °C, 상대습도 (60 ~ 70) %R.H.			
7. 시험결과 (Test Results) : 별첨 참조			
* 이 시험성적서는 용도 이외의 사용을 금함. This report should only be used for the purpose of use above. * 이 시험성적서의 사본은 무효임. The copy of this test reports is invalid for use.			
작성	작성자 (Tested by) 성명 : 김만준 (서명)	승인자 (Technical Manager) 직위 : 기술책임자 성명 : 최승현 (서명)	
2010년 10월 27일 한국냉동공조인증센터 에너지평가부 KOREA REFRIGERATION & AIR-CONDITIONING ASSESSMENT CENTER 경기도 전주시 상옥구 사동 1271-11 경기도에너지연구소 113호 TEL:031-500-3820 FAX:031-500-3825 www.kraac.or.kr			

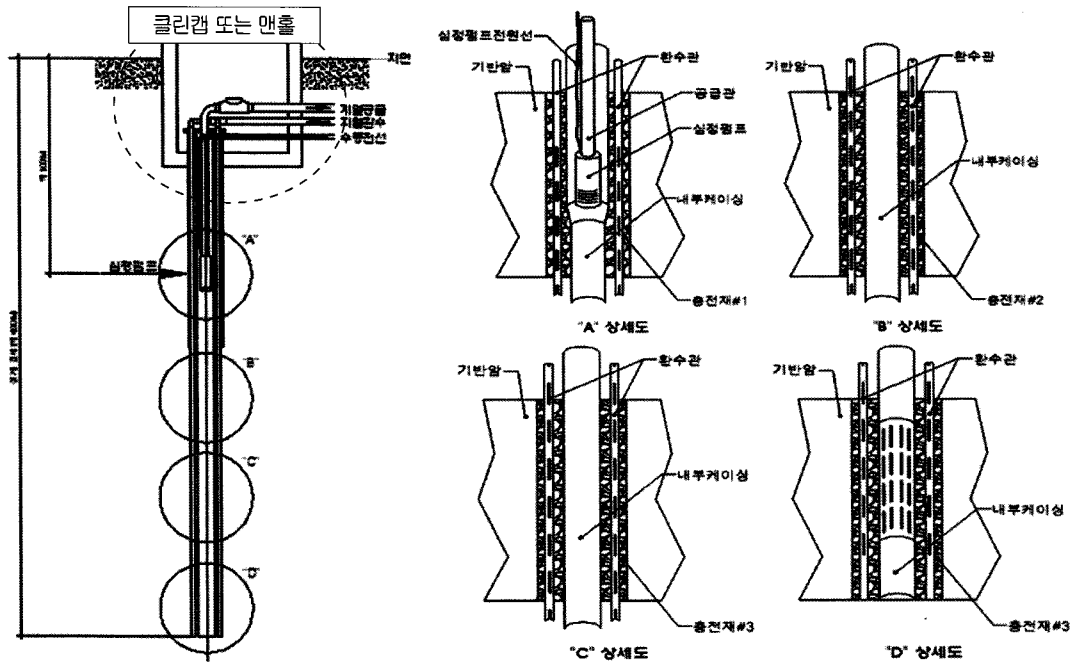
시험결과 TEST RESULT				
시험서번호 Test No.	KRAAC-C-10-103			
페이지 (2)1/총4 (2)1/총4page				
1. 일반사항 : 지식경제부 고시 제2009-332호(09.12.29) '신재생에너지설비의 지열 용어 관한 기준'에 따라 시험함.				
표 1. 일반사항				
속성명	Simplified Line Source Equation			
산출치	$I = \text{Conductivity Value}$ $I = Q/(4 \cdot \pi \cdot \text{Depth} \cdot \text{Slope})$ $Q : \text{Heat Transfer Rate}$ $\pi : \pi$ $\text{Depth} : \text{Loop Length}$ $\text{Slope} : \text{Avg. Loop Temperature vs Time (linear best squared)}$ $\text{Avg. Loop Temperature (In \& Out Mean Value)}$ $\text{Time (N-Log Scale)}$			
	2. 시험 결과			
	표 2. 시험결과			
	시험항목	단위	시험결과	규격
	지층열전도도	°C	19.25	지식경제부 고시 제2009-332호 (09.12.29)
	투입전력	W	104 779	
Slope	-	4.10		
열전도도	W/mK	4.07		

[그림 4] 일반개방형 열전도도 측정 시험성적서

시험성적서 TEST REPORT			
시험서번호 Test No.	KRAAC-C-10-104		
페이지 (1)1/총4 (1)1/총4page			
1. 의뢰인 (Client)			
기업명 (주)지케이에너지	대표자 황 상 우		
시험지용계약번호 220-67-33881	E-mail usao@ghenergy.co.kr		
대표 전화번호 031-776-0545	담당 전화번호 031-776-0546		
주소 경기도 성남시 분당구 일자동 2로19번길 1922호			
2. 시험성적서의 용도 (Purpose of test) : 설계검토용			
3. 시료 (Test Sample) : 지열열전도도 측정공(geohill) Thermal Conductivity Test Hole			
시험방법	진남 여수시	측정깊이	5 m
측정시간	720 min	사용장체	Water
총 길이	500.0 m	지열열도측기 모델	게오힐-250 mm
4. 시험기간 (Period of test) : 2010년 10월 25일 - 2010년 10월 25일			
5. 시험방법 (Test method used) : 지식경제부 고시 제2009-332호(09.12.29) '신재생에너지설비의 지열 용어 관한 기준'			
6. 시험환경 (Testing Environment) : 온도 (13 ~ 20) °C, 상대습도 (60 ~ 60) %R.H.			
7. 시험결과 (Test Results) : 별첨 참조			
* 이 시험성적서는 용도 이외의 사용을 금함. This report should only be used for the purpose of use above. * 이 시험성적서의 사본은 무효임. The copy of this test reports is invalid for use.			
작성	작성자 (Tested by) 성명 : 김만준 (서명)	승인자 (Technical Manager) 직위 : 기술책임자 성명 : 최승현 (서명)	
2010년 10월 27일 한국냉동공조인증센터 에너지평가부 KOREA REFRIGERATION & AIR-CONDITIONING ASSESSMENT CENTER 경기도 전주시 상옥구 사동 1271-11 경기도에너지연구소 113호 TEL:031-500-3820 FAX:031-500-3825 www.kraac.or.kr			

시험결과 TEST RESULT				
시험서번호 Test No.	KRAAC-C-10-104			
페이지 (2)1/총4 (2)1/총4page				
1. 일반사항 : 지식경제부 고시 제2009-332호(09.12.29) '신재생에너지설비의 지열 용어 관한 기준'에 따라 시험함.				
표 1. 일반사항				
속성명	Simplified Line Source Equation			
산출치	$I = \text{Conductivity Value}$ $I = Q/(4 \cdot \pi \cdot \text{Depth} \cdot \text{Slope})$ $Q : \text{Heat Transfer Rate}$ $\pi : \pi$ $\text{Depth} : \text{Loop Length}$ $\text{Slope} : \text{Avg. Loop Temperature vs Time (linear best squared)}$ $\text{Avg. Loop Temperature (In \& Out Mean Value)}$ $\text{Time (N-Log Scale)}$			
	2. 시험 결과			
	표 2. 시험결과			
	시험항목	단위	시험결과	규격
	지층열전도도	°C	19.45	지식경제부 고시 제2009-332호 (09.12.29)
	투입전력	W	109 380	
Slope	-	3.08		
열전도도	W/mK	3.49		

[그림 5] 함몰방지개방형(Geohill) 열전도도 측정 시험성적서



[그림 6] 함몰방지개방형(Geohill) 지중 상세도

#### 4. 결론

국내 신재생에너지 관련 법들 속에 지열원의 종류가 두세가지로만 한정하고 있어 다양한 지열 공법들의 보급과 확산이 지연되고 있음이 안타깝고 지열시스템의 국내 초기 도입시에 발생한 문제들로 인하여 재생에너지로서의 지열시스템 전체에 영향이 있으면 안될 것이다.. 또한 신재생에너지 선진국들에서의 신뢰성과 효율성을 인증 받은 많은 기술과 공법들도 국내에서는 여러 가지 행정적, 인지도... 등의 문제로 인하여 보급 확산에 늦어지고 있다. 지열에는 다양한 공법이 있으며 이를 인정하고 철저한 시공 관리 감독이 이루어 진다면 지금까지 야기된 문제점들을 일소 할

것으로 보이며 재생에너지의 범위를 확대시킬 필요가 있다

지금까지 개방형으로만 인식되면서 받았던 기술적 취약점들 수질오염, 수위저하, 함몰현상에 따른 위험성은 전혀 과학적 근거가 밝히는 바이며, 지중열원 히트펌프 냉난방 시스템의 기술적 난점들을 극복하고 한 단계 업그레이드 된 지열 세계를 선보인 게오힐 시스템은 국내 지열시장에서 일반적인 소형 지중열교환기의 적용이 불가능한 공동주택, 에너지 다소비 업종에 실질적인 에너지 절약 및 국내 지열산업의 활성화와 저탄소 녹색성장이라는 정부 정책에 기여하는 크나 큰 밑거름이 될 것이라 확신한다. 🌱