

# 지중공기열이용시스템

박 준 택 / 부회장, 미활용에너지기술전문 위원장  
 한국에너지기술연구원 태양열·지열연구센터 (jtpark@kier.re.kr)

## 서론

제주지역은 신생대 제3기말에서 제4기초에 걸쳐 다수의 분출구에서 수십 회에 걸친 화산활동에 의해 생성된 화산섬이므로 위치에 따라 암상구조가 다를 뿐만 아니라 암층의 두께, 종류 등이 다르게 나타난다. 용암분출과 화산재 분출의 반복으로 지층 구조는 매우 복잡하게 나타나고 지층에 대형 공동뿐만 아니라 지층 중간에 용암쇄석 등으로 인해 많은 공동이 형성되어 있는 암층이 존재한다.

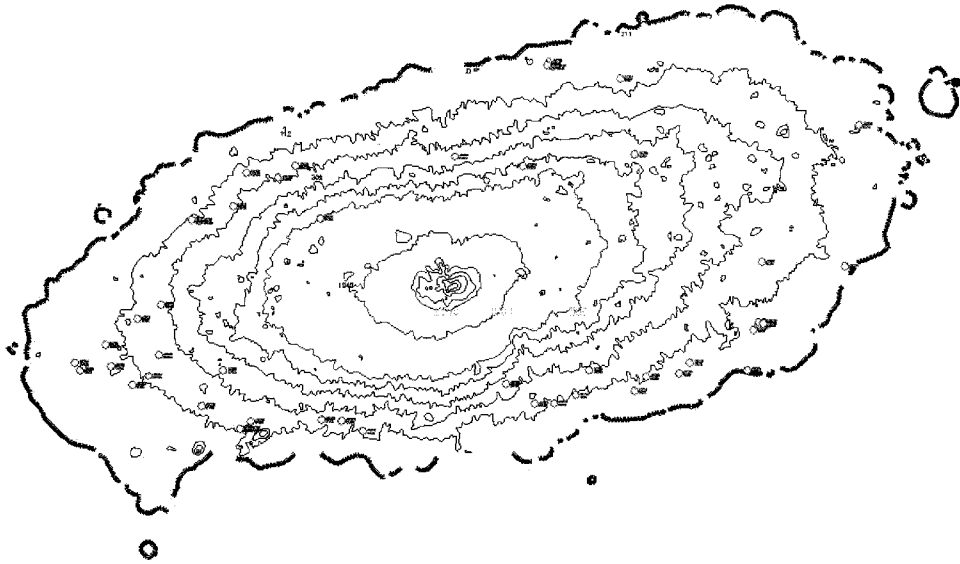
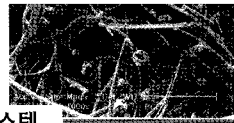
따라서 지하수의 생성과정과 유사하게 대기와 지중 내부공기의 순환작용에 의한 것으로 추정되며 이러한 공기를 열매체로 하여 열에너지를 획득할 수 있다.

## 지중공기열의 특성 및 이용현황

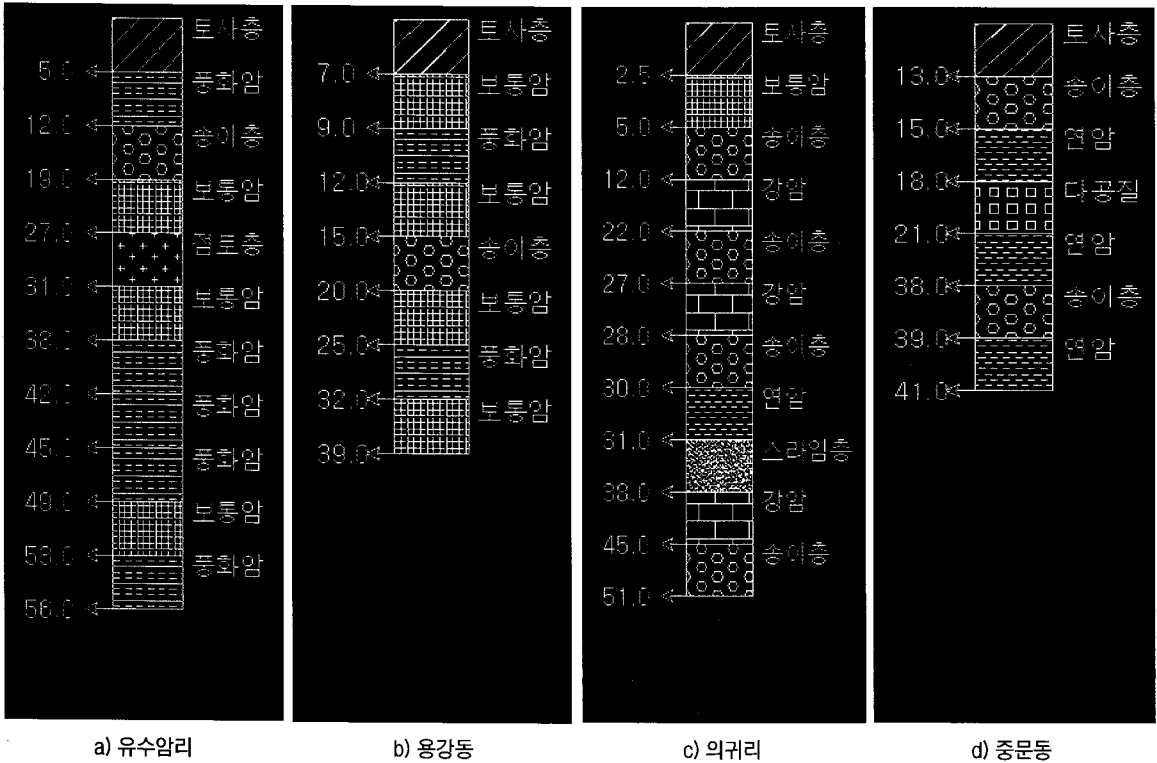
- (1) 지중공기열 이용은 해수 유입 및 지하수원 파괴 등의 우려로 인해 고도 50 m 이상 지역에서 이루어지고 있으며, 천공 심도 또한 표고에 따라 지하수 유입과 해수 유입 등을 고려하여 약 30 ~ 80m 내외로 천공이 이루어지고 있다(그림 1 참조).
- (2) 천공지역의 지질 특성은 암층과 쇄석층이 반복되어 나타나고 있으며, 지역에 따라 암종이

나 암층의 두께가 차이를 보이고 있으나 기본적인 지질 특성은 동일하게 나타나고 있다(그림 2 참조).

- (3) 표 1에 지중공기 이용지역의 기본적인 특성을 나타내었다. 지하공기의 온도는 대략 18℃ 부근으로 나타나며 흡입공기량은 송풍기 용량이 몇몇 지역을 제외하고 1.3 ~ 2.1 m<sup>3</sup>/sec로 나타나고 있으며 지중공기의 습도는 대략 80 ~ 90%로 나타나고 있다.
- (4) 유출되는 지중공기의 환경오염 기여도를 조사하기 위해 유출 공기질을 제주 지역의 동부 지역(가시리)과 서부지역(금릉리)에 대하여 각각 측정하였다. 표 2에 나타낸 바와 같이 주요 환경오염 기여물질의 농도는 도심지 지역보다는 작게 나타나고 있으며 오존의 경우 산림지역보다도 작은 0.003 ppm으로 나타나고 있다. 대기환경학적으로 보았을 때 지하공기 이용에 따른 환경 오염요소는 없다고 볼 수 있다.
- (5) 현재 지중공기열은 농업 시설(하우스 등), 양돈장의 온도 환경제어(냉방, 난방)에 이용되고 있으며, 이용 방법은 송풍기에 의해 흡입된 공기를 직접 이용하고 있다. 또한, 최근 지중공기를 열원으로 하는 히트펌프를 적용하여 건물, 농업시설, 축산 시설 등에 설치 운영할 계획을 갖고 있다.



[그림 1] 지중공기 이용을 위한 천공지역 분포



[그림 2] 지중공기 이용을 위한 천공지역 지질 주상도

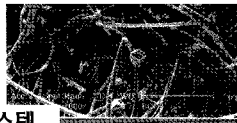
<표 1> 토출되는 지하공기의 특성

지역	위치 GPS(X, Y)	표고 (m)	심도 (m)	지중공기 특성		이용형태
				풍량(m <sup>3</sup> /s)	온도(°C)	
오등동	156177.196 46762.163	117	40	1.90	18.7	감굴
애월읍 상가리	141680.586 44720.176	136	48	1.46	17.9	감굴
애월읍 소길리	141683.698 44722.314	122	62	2.11	16.8	감굴
한림읍 상명리	132209.976 34494.852	144	45	1.96	18.3	감굴
구좌읍 종달리	188801.014 49051.156	53	40	2.12	18.9	야채
한경면 청수리	129909.581 28070.827	86	51	1.32	19.5	감굴
조천읍 와산리	170614.331 50410.687	119	49	1.53	18.5	감굴
구좌읍 김녕리				1.53	19.5	원에
표선면 성읍리	180931.058 38075.028	137	45	0.68	20.2	감굴
표선면 세화리	180929.738 38060.860	99	45	2.32	18.4	감굴
한경면 낙천리	128198.514 29558.395	70	52	1.51	18.2	원에
안덕면 서광리	135520.179 26432.479	155	40	1.91	19.1	감굴
남원읍 의귀리	174209.336 29233.972	85	51	1.85	18.7	감굴
남원읍 한남리	171548.582 28930.263	139	68	1.52	18.5	감굴
상효동	162473.585 26757.843	174	45	2.22	18.0	감굴
용강동	161520.806 45807.495	367	55	1.31	16.0	원에

<표 2> 유출 지중 공기의 공기 조성

단위 : ppm

구 분	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	비 고
환경기준치(국가)	25 이하	0.15 이하	0.15 이하	0.10 이하	
환경기준치(제주도)	15 이하	0.10 이하	0.10 이하	0.10 이하	
제주지역(도심지)	0.400 ~ 0.500	0.002 ~ 0.003	0.009 ~ 0.023	0.020 ~ 0.032	2000.1 ~ 2003.12 자료 중 여름데이터. 이도동 측정소
제주지역(산림지역)	0.100 ~ 0.200	0.001	0.002 ~ 0.003	0.030 ~ 0.040	2001.1 ~ 2003.12 자료 중 여름데이터. 천아 오름
대상지(금릉리)	0.035	0.000	0.002	0.003	1시간 데이터
대상지(가시리)	0.053	0.000	0.002	0.002	1시간 데이터

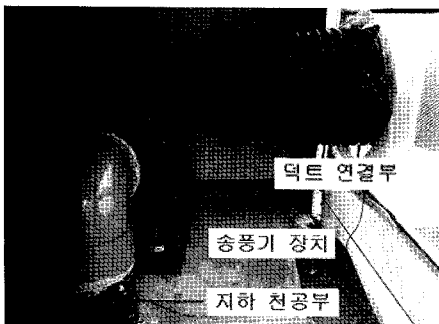
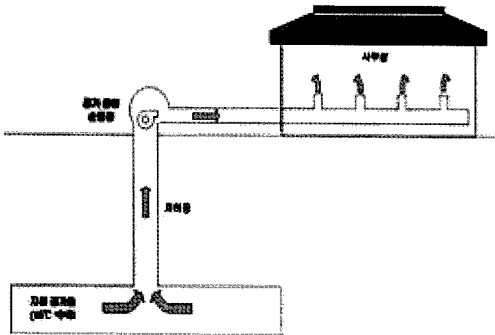


## 지중공기열의 직접이용 시스템

## 직접이용 시스템 운영 특성 해석

### 개요

- (1) 지하 수십 미터(40 ~ 60 m)의 공기(15 ~ 18 ℃)를 흡입하여 시설재배 시설(감귤류, 채소류, 버섯 등) 등에 냉·난방을 기하는 시스템으로 크게 지하 천공부, 송풍기 및 제어장치, 냉·난방 덕트로 구성된다.
- (2) 지하 천공부는 설치 고도, 지질적 특성 등에 따라 40 ~ 80 m의 깊이와 200 ~ 500 mm의 직경(현재 300 mm를 주로 시설함.)을 갖는 수직 지하공이며, 송풍기 및 제어장치에서 송풍기 장치는 지하 천공부의 공기 흡입을 위한 것으로 흡입력(압)이 상대적으로 큰 터보형 팬(fan)과 모터(motor)로 구성되었으며, 제어 장치는 시설의 냉·난방 요구에 따라 시간 제어와 온도제어를 겸하고 있다. 냉·난방 덕트는 흡입된 공기를 시설 전체에 빠르게 분포하도록 하기 위한 것이다(그림 3 참조).



[그림 3] 지하공기 직접이용 냉난방 시스템

### • 열역학적 모델

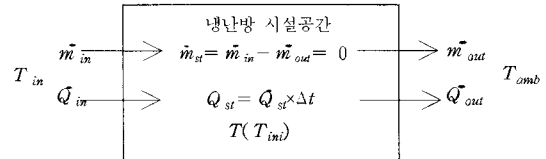
시스템에 대한 운영 특성을 아래의 열유체학적 모델을 적용하였으며, 모델을 간략화하기 위해 시설공간과 외기의 전도, 복사 그리고 식물의 호흡 및 광합성 등에 대한 열발생 및 열전달은 제외하였다. 시설에서의 냉·난방의 경우 외기와의 환기에 의한 열손실이 매우 크게 나타나는 반면 본 시스템인 경우 지하공기의 유입량이 매우 크기 때문에 외기의 유입량이 없다고 가정할 수 있어서 환기에 의한 열손실을 제외할 수 있다. 시설공간에 대한 열유체학적 모델은 다음과 같다.

위의 모델을 바탕으로 시설공간에서 작동시간 ( $\Delta t$ )에 따른 시설 공간의 온도( $T$ )에 대한 식은 다음과 같다. 여기서  $T, \dot{m}, m, \Delta t, T_{in}, T_{amb}, T_{ini}$ 는 각각 시설 공간내의 온도, 유출입 질량유량, 질량, 작동시간, 유입온도, 유출온도 그리고 시설 공간내의 초기온도이다.

$$T = \frac{\dot{m} \times \Delta t \times (T_{in} + T_{amb}) + m T_{ini}}{m + 2 \times \dot{m} \times \Delta t} \quad (1)$$

### • 지하 공기의 특성

현재 설치 운영되고 있는 시스템의 소요 동력은 현재 7.5 kW이며 흡입되는 지하 공기의 풍량, 온도, 습도 및 탄산가스는 표 3과 같다.



[그림 4] 지하공기 직접이용 냉난방 시스템의 열유체학적 모델

### <표 3> 토출되는 지하 공기의 특성

설치 지역 (재배작물)	풍량 (m <sup>3</sup> /sec)	온도 (℃)	습도 (%)	탄산가스 (ppm)
애월읍 낙천(원예)	1.415	18.8	85.5	1840
구좌읍 김녕(원예)	1.598	18.2	85.5	4600

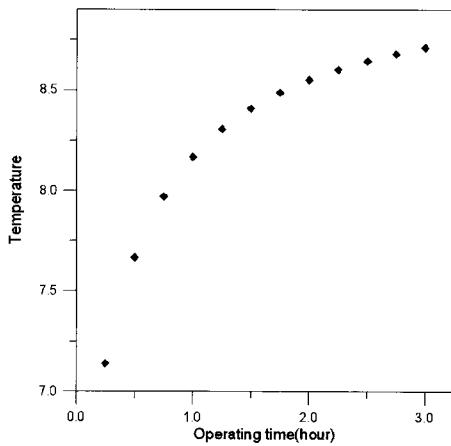
• 시설내 온도 변화(동절기-난방)

동절기 시스템 운영시 시설내 난방온도 변화를 예측하였다. 외기온도 0℃, 가동 시설내 온도 6℃, 시설 면적을 500평(평균 높이 2.5 m)으로 가정하였다. 작동 시간에 따른 시설내의 온도 변화를 각 시설에 대하여 그림 5에 나타내었다. 동절기 시설내 온도변화를 살펴보면 외기와 지하공기의 온도 차이가 큰 경우 시설내 난방이 급격히 이루어지고 있으나, 시간이 지나면서 시설내 공기온도가 증가

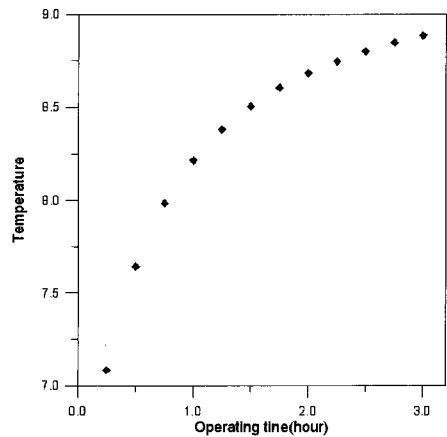
할수록 온도 상승 속도는 느리게 나타나고 있다. 두 지역에서 약 1시간 전후 8℃에 이르고 있는데 8℃는 채소류가 성장할 수 있는 온도이며 냉해 우려를 해소할 수 있어 소기의 목적을 달성할 수 있을 것으로 본다.

• 시설내 온도 변화(하절기-냉방)

하절기 시스템 운영시 시설내 냉방온도 변화를 예측하였다. 외기온도 35℃, 가동 시설내 온도 30

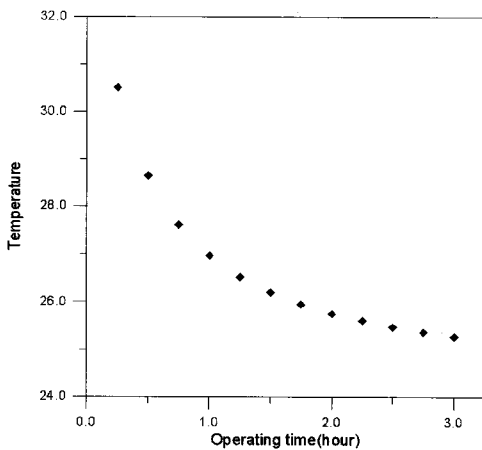


a) 구좌읍 김녕

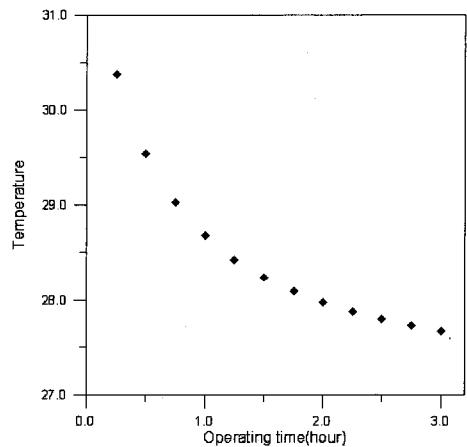


b) 애월읍 낙천

[그림 5] 실내 온도 변화 예측(동절기)



a) 구좌읍 김녕



b) 애월읍 낙천

[그림 6] 실내 온도 변화 예측(하절기)



℃, 시설면적을 500평으로 가정하였으며, 작동 시간에 따른 시설내의 온도 변화를 각 시설에 대하여 그림 6에 나타내었다. 예측된 온도변화는 가동 초기에 급격한 온도 하강으로 냉방 효과가 매우 크며 냉방이 급격히 이루어지고 있다. 두 지역에서 약 1시간 전후 시설 내 온도를 약 3 ~ 4℃ 정도 하강시키고 있다.

### 지중공기 열원을 이용한 히트펌프 시스템

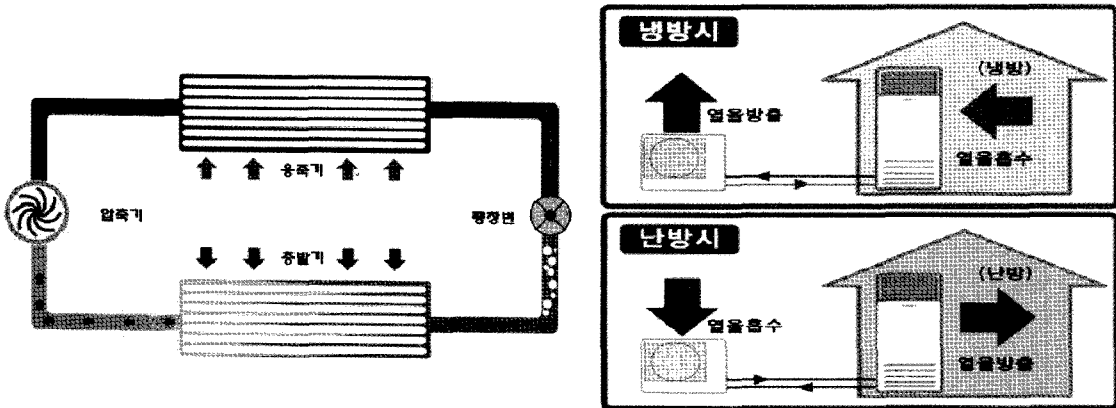
#### 개요

공기 열원식 히트펌프는 외부온도가 난방시 실외기온도를 5℃ 이하, 냉방시 35℃ 이상이 되면

성능이 매우 떨어지고 기계적 손상도 발생하여 작동에 원활치 않는 단점이 있어 18℃ 내외의 지하공기를 실외기에 송풍하여 단점을 보완하여 냉난방효율을 높일 수 있다.

#### 지중공기 열원을 이용한 히트펌프 시스템의 경제성 평가

기존의 냉난방 시스템과의 비교를 위해 서귀포시 표선면 토산리, 망고 가온 PE 하우스, 2,310 m<sup>2</sup> 시설에서의 운영 시험을 한 결과이다. 시설은 지중공기 열원을 이용한 히트펌프를 사용하였으며 지중공기의 특성 및 기본적 시스템 구성은 표 4와 같다. 보조가온으로 열풍기를 사용하였으며 총 가



[그림 7] 지중공기 열원을 이용한 히트펌프 시스템

<표 4> 지중공기 특성 및 시스템 구성

작목	면적 (m <sup>2</sup> )	지하공		지하공기 현황			송풍기 (kW)	지열히트펌프 (RT)	
		심도 (m)	구경 (mm)	풍량 (m <sup>3</sup> /min)	CO <sub>2</sub> (ppm)	습도 (%)			토출온도 (℃)
망고	2,310 (약 700평)	47	300	120	2,800	65	16 ~ 18, 45	7.5	26

<표 5> 지중공기 열원을 이용한 히트펌프 시스템의 난방비

가온일자 (중간평가)	하우스 설정온도(℃)	난방비			중유소비량 (ℓ)	절감율
		공기열펌프(원)	열풍기(원)	합계(원)		
2007. 12. ~ 2008. 1. 5	18 ~ 21	713,000	1,969,200	2,409,200	2,570	60% (면세유)

<표 6> 비닐하우스 330 m<sup>2</sup> 22℃ 설정시 필요한 연료량

구 분	42,000 kcal/h (100평 냉·난방 열에너지를 생산하는데 필요한 연료량)		연료단가 (원)	시간당난방 연료비 (원)	원건연료비 (25일 × 10시간)	대비
	발열량 + 효율	연료량				
방카C유 (면세유)	9,900 + 0.78	5.44 l	660원/l	3,590	897,500	6.7
경유 (면세유)	9,200 + 0.78	5.85 l	660원/l	4,680	1,170,000	8.0
전기히터 (농사용 병)	860 + 1.0	48.6 kW	36원/kW	1,757	439,250	3.0
공기지열 펌프	860 + 3.0	16.3 kW	36원/kW	587	146,750	1

온 비용은 2,409천원(표 5)이다. 이를 바탕으로 비닐하우스 330 m<sup>2</sup>를 기준으로 에너지절감 효과에 대해 다른 연료사용과의 비교를 표 6에 나타내었다. 지중공기 열원을 이용한 시스템은 연료비 절감효과가 매우 우수한 것을 알 수 있다.

### 결 언

제주지역의 화산활동의 결과로 구성된 지질 특성으로 나타나는 지중공기열은 이용편의성뿐만 아니라 직접이용과 히트펌프를 적용한 간접이용이 모두 가능하며 직접이용인 경우 안정성과 경제

성이 확인되어 농업시설(온실, 하우스)이나 양돈장, 버섯 농장 등에 적용되고 있다. 또한 최근 지중공기열을 이용한 히트펌프 시스템이 개발되어 농축업 시설뿐만 아니라 건물에 적용을 위한 노력이 지속되고 있다.

### 참고문헌

1. 박준택외, 지하수열을 이용한 난방에너지등 미활용에너지 자원조사, 제주특별자치도, 2008.2