

지열 열펌프시스템의 개념과 기술수준

국내 지열펌프 설계시공기술은 초보 단계로서 지중열교환기(GHEX)설계를 위한 기본적인 입력 자료가 전혀 구축되어 있지 않아 외국자료를 그대로 사용한 결과 과도한 천공 길이 산정으로 인한 공사비 상승이 저온 열펌프 시스템의 국내 보급의 장애 요인이 되고 있다

한 정 상 / 명예회장
(사)한국지하수토양환경학회

지열펌프시스템의 개념

석유 한방울 나지 않는 우리의 경우 급속하게 증가하는 냉난방에너지를 어디서 어떻게 경제적이면서 지속적으로 확보할 것이며, 이들 엄청난 화석연료에너지를 타 대체 에너지로 공급가능한 것인지 여부에 대한 문제들은 우리가 앞으로 지속적으로 풀어나가야 할 과제이다.

1973년에 석유과동 이후, 선진국들은 그 동안 등한시 해왔던 여러가지 에너지자원을 검토한 바 있다. 그 결과 최근 각광을 받게 된 분야가 바로 우리 발 밑에 무진장 부존되어 있으며 연중 거의 일정한 열에너지를 유지하고 있는 지하수와 천부지열(이하 地熱이라 한다)을 비용 경제적이며 친환경적으로 사용할 수 있는 지열 펌프시스템(geothermal heat pump system, GHP) 이용기술이다. 혹자는 지중열교환기를 포함한 지열이용시설을 지중-연결 지열펌프 시스템이라고도 한다.

여기서 지열이라 함은 지표하에 분포되어 있는 토양과 암석이 태양복사열이나 지구 내부의 마그마 열 때문에 보유하고 있는 지중열(地中熱)이나 지하수가 보유하고 있는 열을 의미하며, 대체적으로 지표하 특정심도의 지중열은 연중 비교적 일정한 온도를 유지하고 있다. 따라서 지열펌프는 지하수가 풍부한 곳에서는 지하수의 수온을 이용하고 지하수의 산출성이 빈약한 곳에서는 순수한 토양

과 암석자체가 보유하고 있는 천부 지열을 이용한다. 지열펌프는 현재까지 지구상에서 가용한 에너지 중에서 가장 안전하고, 경제적이고, 효율적이며, 친환경적인 무공해 냉난방에너지를 제공하는 대체 에너지시스템으로서 근본적으로 굴뚝이 없고 매연이 발생하지 않는 일종의 로(furnace)와 같다. 즉 지열펌프시스템은 지구상의 어느곳에서나 개발이용할 수 있는 최신 냉난방 시스템이다.

난방용으로 지열을 이용한다면 쉽게 이해할 수 있으나, 어떻게 지열을 에어컨처럼 냉방용으로 이용할 수 있는지는 잘 납득이 되지 않을 것이다. 그 해답은 지극히 간단하다. 우리의 땅속에는 태양으로부터 매일 천부지중으로 끊임없이 저장 재생되는 태양 복사열과 지구심부의 마그마로부터 유래되는 지구 내부열이 천부지열의 형태로 무진장 저장·부존되어 있다. 이들 지열은 연중 비교적 일정한 온도를 유지하고 있어 언제 어디서나 집 단주거지, 상공업지, 학교, 공공 건물을 위시하여 대규모 빌딩들이 필요로 하는 냉난방용 열에너지와 온수를 저렴하게 공급해 준다. 지열펌프시스템은 화석연료를 연소시켜 열에너지를 얻는 것이 아니라 지구생성 이후부터 우리의 땅속에 무진장 부존되어 있는 청정 천부지열에너지를 사용하기 때문에 전통적인 화석연료를 사용할 때보다 에너지가 50%~70% 이상 적게 소모되는 에너지절약형 냉난방 시설이다.

또한 지열펌프는 태양이나 지하로부터 끊임없이

재생되는 지열을 사용하기 때문에 화석연료를 연소시켜 열에너지를 얻는 시설들에 비해서 사람들이 거주하는 주택이나 건축물 내에서 일산화탄소의 생성을 억제시켜 주고 전세계적으로 Greenhouse 가스방출량을 감소시킬 수 있는 냉난방시설로서 추후 지구환경 개선에 일익을 담당할 수 있는 친환경적인 에너지 생산시설이다.

지열펌프는 지표하 수십 m 이내의 지각이나 수체(water body)에 저장된 연중 일정한 지열을 추출하여 난방이 필요한 동절기에 난방용으로 이용하고, 반대로 여름철에는 실내 열을 추출하여 실내 냉방을 시킨후 실내에서 추출한 폐열은 주변의 지중에 저장하여 겨울철에 다시 난방용으로 재이용하는 즉 폐열을 100%로 활용하는 냉난방장치이다. 지열펌프는 계절과 장소에 관계없이 사용할 수 있고 건물과 외부공기 사이의 열을 서로 교환해서 사용하는 전통적인 공기원열펌프보다 훨씬 효율적이다.

지열펌프(GHP)는 건물내나 건물주위에 여러가지 형식으로 설치할 수 있다. 그리고 건물하부나 건물부지내에서 지열을 추출·방열하기 위해 지열추출 및 방열용 지중 순환회로(geothermal exchanger, GHEX 혹은 loop)를 설치하고 이들 지열회로와 지열펌프를 서로 연결시켜 지열을 추출하여 냉난방용으로 사용한다. 지열펌프는 순환회로의 형식에 따라 개회로와 폐회로로 구분한다. 이들 지열순환회로를 통해 냉난방용 지열을 추출 및 방열한다. 압축 콤프렛샤로부터 발생하는 폐열을 재활용하기 위해 지열펌프내에 부착되어 있는 일종의 온수기(desuperheater)를 사용하여 각종 온수를 공급할수 있다.

우리나라는 현재 대체에너지개발이용 보급촉진법(제2조)에 의거하여 석유, 석탄, 원자력, 및 천연가스가 아닌 에너지로서 지열을 위시한 11개 분야를 대체에너지로 규정하고 있다. 국내 천부와 심부 지열자원을 아파트나 건물의 냉난방시설을 위시하여 기타 열에너지원(비닐하우스, 양식사업, 도로등)으로 이용할 경우에 기존의 대체에너

지개발보급 이용촉진법과 에너지이용합리화법의 혜택을 받을수 있다. 에너지 합리화법 시행규칙에 의하면 지열 에너지를 개발하여 각종 열에너지로 이용시 자금 지원조건은 5년거치 10년분할 상환으로 연간 약 2%의 저리로 지원하고 있으나 지열에너지의 이용활용을 극대화시키기 위해 지열펌프 시스템설치 이용자에게 선진국처럼 최소 25% 이상의 정부 보조금을 지급하고 사용전력은 심야전기료를 적용하는 등 특단의 조치가 필요하다.

지열펌프시스템은 비록 냉난방에 속하는 설비라고는 해도 지열-지하수라는 특수한 지하의 열에너지원을 이용하기 때문에 일반 냉난방 설비업자들에게는 다소 생소한 분야이다.

우리나라의 연평균 지하수온도는 약 14.2℃로서 구미 선진국에 비해 다소 높다. 특히 겨울철의 지하수온(지중온도)은 연평균 대기온도보다 높고 반대로 여름철의 지중온도는 대기온도보다 낮다. 국토의 75% 이상을 점유하고 있는 결정질암의 열전도성은 비교적 양호하기 때문에 추후 지하수열펌프와 수직회로형 지열펌프(vertical loop heat pump)을 위시한 국내 냉난방용으로 지열펌프시스템의 적용성은 매우 밝다고 할수 있다. 따라서 정부는 이와 같이 양호한 대체에너지열원의 조건을 구비하고 있는 국내 천부 지열자원을 적극적으로 개발하여 연간 370억불 이상 화석 연료수입에 지출하는 국가 에너지 예산을 대폭 절감시켜야 할 것이다. 이 경우 공해 발생물질인 화석연료 중 상당 부분을 청정에너지원인 지열에너지로 대체할수 있어 날로 심각해지고 있는 국내 환경질 개선에 크게 기여 할수 있을 것이다.

지열펌프의 효율에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 지표하 천부에 분포된 지하수와 지중온도가 연중 거의 일정하다는 지열수문학적인 특성이다. 지열펌프의 효율이 400%이라 함은 전열기를 사용할 때보다 지열펌프를 이용하면 약 1/4 정도의 에너지로도 동일한 양의 열에너지를 얻을수 있다는 뜻이다. 즉 1 kW의 전기에너지를 지열펌프

에 적용하면 3~4 kW의 열에너지를 지하에서 추가로 추출하여 결국 4~5 kW의 열에너지를 사용할 수 있다는 뜻이다.

열원으로서 국내 천부지중온도의 특성

전국적으로 소재한 56 개 기상관측소에서는 1981년부터 일별로 대기온과 지표면온도 및 지표하 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1 m 하부 지점의 지중온도를 주기적으로 측정하고 있으며 이중 17 개소는 지표하 1.5, 3 및 5 m 하부 지점의 지중온도를 주기적으로 측정했거나 현재까지 측정하고 있다. 국내 총 56 개 기상관측소 가운데 지표하 5m지점에서 일별로 측정한 지중온도 자료를 분석한 결과는 표 1과 같다.

표 1과 같이 지표하 5 m 심도의 월평균 최고온도

출현시기(월)는 대기온이나 지표면 온도가 가장 높은 8월이 아니라 그 3~4개월 이후인 10~11월이며, 월평균 최저온도 출현시기는 4~5월이 대종을 이루고 있다. 국내에서 월평균 최고 대기온과 최고 지표면 온도 출현시기가 8월인데 비해 지중 5 m 지점의 최고 지중온도 출현시기와의 차이에 해당하는 위상 지연기간은 약 4개월 정도이다.

그림 1은 국내 주요도시 중 서울 기상관측소에서 대기온도, 지표면온도, 지표하 각심도(0.5 m, 1.0 m, 1.5 m, 3.0 m, 및 5 m)별로 측정한 월별 평균지중온도의 변동곡선이다.

지중온도는 지하수면의 분포심도에 따라 약간 차이가 있긴 하나 심도가 깊어질수록 증가한다. 일반적으로 국내 토양 및 천부 비고결암의 연평균 지중온도는 해당지역의 연평균 대기온도보다 $2.0 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 정도 높다. 국내 천부 지중온도는 일

<표 1> 국내 기상관측소중 지표하 5m심도에서 측정한 월평균 최저, 최고 지중온도와 그 출현월 및 월평균 지중온도

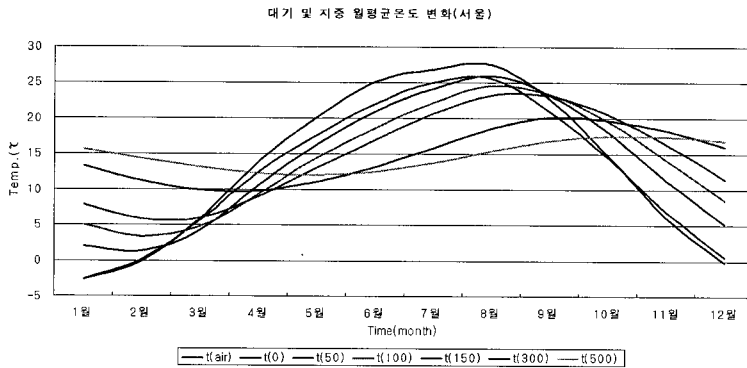
지역	암종	월평균 지중온도와 최저, 최고 온도 및 출현월				연평균 지중온도 (°C)	위상지연기간 (개월)	연평균 지하수온 (°C)
		최저온 출현월	평균최저 온도(°C)	최고온 출현월	평균최고 온도(°C)			
춘천	화강암	5	14.03	11	17.79	15.8	4	16.2 ~ 16.4
강릉	"	5	11.74	11	16.73	14.2	4	12.5 ~ 12.7
서울	"	5	12.01	10	17.46	14.8	3	14.1
인천	"	5	12.53	11	16.84	14.7	4	13.1
울릉도	화산암	6	11.98	12	14.45	13.2	5	
수원	화강암	5	12.15	11	16.12	13.9	4	13.3
울진	"	5	11.82	11	16.3	14.0	4	12.8
청주	"	5	12.74	11	16.98	14.8	4	
대전	"	5	12.66	11	17.24	14.9	4	15.6 ~ 16.5
포항	제3기퇴적암	5	14.59	11	18.28	16.4	4	14.5 ~ 14.8
대구	퇴적암	4	12.92	10	17.64	15.3	3	15.0 ~ 16.1
전주	안산암	5	12.66	11	17.08	14.9	4	13.9
부산	"	5	14.37	11	18.28	16.4	4	14.5
목포	"	4	13.41	10	19.22	16.2	3	15.6
여수	"	4	12.43	10	20.22	16.3	3	
제주	화산암	5	15.08	10	19.73	17.5	3	
진주	화강암	6	13.8	12	16.97	15.4	5	15.2 ~ 16.6

및 연 주기단위로 정현함수의 형태로 변동한다. 이는 하절기에 지하로 침투하는 다소 높은 온도를 가진 강수가 지중으로 침투할 때 비포화대 내에서 침투수의 흐름양태와 지중도양의 열전달 특성, 기타 위도, 지질과 고도에 따라 지중온도의 연 주기 변화진폭과 위상지연시간이 서로 다르기 때

문이다.

또한 국내 천부 지중의 경시별 지중온도 변화특성은 비포화대 내에서 침투수의 이류와 확산현상 및 비포화와 포화대 구성물질의 열적특성에 좌우된다.

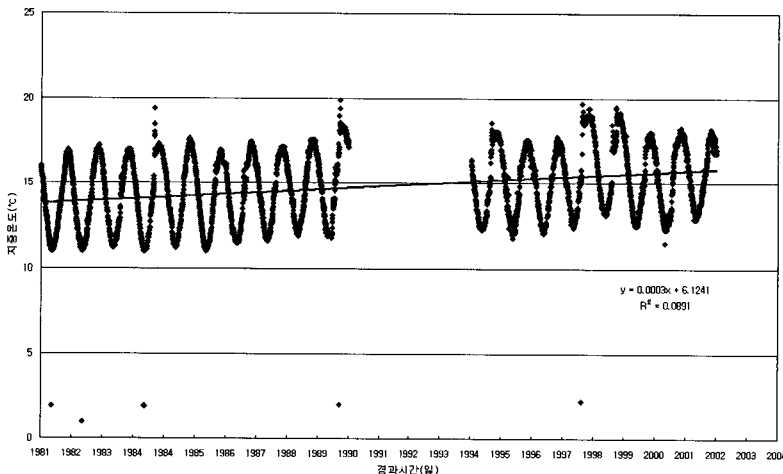
그림 2는 1981년도부터 2002년말까지 서울 관



5m지점의 토양지중온도

지역	암종	최저온출현월	평균최저온도 (°C)	최고온출현월	평균최고온도 (°C)	일평균지중온도 (°C)	위상지연시간 (개월)
서울	화강암	5	12.01	10	17.46	14.8	3
대전	화강암	5	12.7	11	17.2	14.9	4
대구	퇴적암	4	12.92	10	17.64	15.3	3
전주	안산암	5	12.66	11	17.1	14.9	4
제주	화산암	5	15.08	10	19.73	17.3	3

[그림 1] 서울 관측소의 심도별로 측정된 월별 평균 지중온도 변동



[그림 2] 서울관측소의 지하 5 m 심도에서 측정된 월평균 지중온도 변화

측소의 지표하 5 m 지점에서 측정한 월평균 지중 온도의 경시별 변동곡선이다. 이 지역의 연평균 지중온도 증가율은 0.11℃/년으로서 이는 지난 100 년간의 지구대기온도의 연평균 증가율인 0.006℃/년보다 훨씬 높다. 이러한 지역들은 서울 뿐만 아니라 국내 곳곳에 산재해 있어 앞으로 연구 대상 과제이다.

열원으로서 국내지하수온의 특성

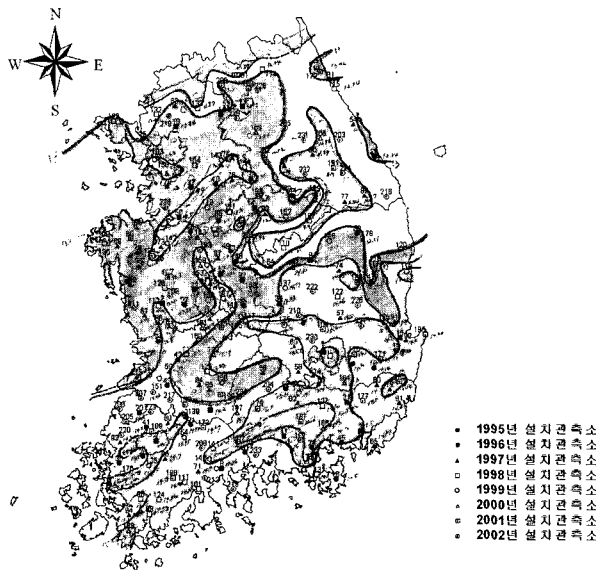
건설교통부는 1995년 현재까지 전국을 대상으로 총 236 개소에 국가지하수 관측소를 설치하여 전국에 부존된 충적층과 암반지하수의 일별, 계절별 지하수의 수위, 수온 및 전기전도도의 변동상태를 자동측정하고 있으며 추후 이를 320 개소로 확장할 예정이다.

국가지하수관측소 가운데 암반지하수관측정과 충적층지하수관측정의 평균심도(중앙값)는 각각 10 m와 70 m이다. 암반지하수의 온도는 지표하 20~50 m 구간에 설치한 자동온도검층기를 이용하여 4회/일의 빈도로 측정한 공내온도이다. 이에

비해 충적층 지하수의 온도는 지표하 5~15 m 하부지점에 설치한 동일한 온도검층기를 이용하여 4회/일의 빈도로 측정한 공내온도이다. 따라서 충적층지하수의 온도는 현재 기상관측소에서 측정하고 있는 지표하 5 m 지점의 지중온도와 유사하며 암반지하수의 온도는 엄격한 의미에서 관측정 내에서 지하수의 수직온도구배에 의한 수직순환의 영향을 받은 포화대의 평균 암반온도이다.

전국적으로 설치된 총 236 개소의 국가 지하수 관측소 가운데 2002년을 말까지 지하수위와 지하수 온도를 연속적으로 측정한 자료가 양호하게 기록되어 있는 암반과 충적층관측정의 갯수는 총 314 개소(암반관측정 : 202 개, 충적층관측정 : 112 개)이다. 이들 관측정에서 측정한 지하수온의 연평균치, 연평균최고 및 최저치와 해발표고, 위도, 지질, 연간수온의 변동폭(진폭), 위상지연 시간 및 변동유형에 대한 상세한 내용은 지열펌프 냉난방시스템 증보판(2005. 4, 한림원, 한정상 외)에 상세히 수록되어 있어 관심있는 독자는 이를 참조하기 바란다

그림 3은 1995년~2002년사이에 전국적으로



[그림 3] 전국 암반지하수의 연평균 온도(지중온도) 분포도(2004, 한정상 외)

설치한 총 236 개 공의 암반지하수 관측정에서 측정한 연평균 지하수온을 이용하여 1 간격으로 작성한 한반도 남단의 암반지하수온도 분포도이다.

지하수온도 분포도에 의하면 태백산맥과 소백산맥을 위시하여 조선계 및 평안계 분포지역의 연평균 지하수온도는 12~13℃ 규모로서 국내에서 가장 낮으며 이에 비해 경상북도의 남부지역과 경상남도의 중부 및 전라남도의 북동부지역의 연평균 지하수온도는 국내에서 가장 높은 15~16℃이다. 이들지역에 분포된 암중은 대체적으로 중생대의 경상계 퇴적층과 화강암이다.

일반적으로 국내 지하수의 연평균 온도는 위도, 지형고도 및 암중에 따라 차이가 있으나 대체적으로 북북동향으로 발달된 옥천계를 중심으로하여 그 이남 지역의 연평균 지하수온은 14℃이상이고, 그 이북 지역은 14℃이하이다.

그림 4와 그림 5는 국내 대표 충적층과 암반관정에서 측정한 경시별 지하수위, 지하수온(지중 온도) 및 대기온도의 변동곡선이다.

국내 암반지하수의 연평균 온도는 14±1℃ 정도이고 고도가 100 m씩 높아짐에 따라 평균 0.64℃ 씩 하강한다. 이에 비해 충적층지하수의 연평균 수온은 14.5±1.5℃가 대중을 이루고 있으며 고도가 100 m씩 높아짐에 따라 지하수온은

0.73℃씩 하강한다.

국내 지하수의 온도는 크게 A, B, C형의 3가지 유형으로 분류할 수 있다.

표 2와 같이 A형은 지하수온의 연중변동폭(진폭)이 3℃ 이하이거나 연중수온이 거의 변하지 않는 즉 연중 어느 정도 일정한 수온을 유지하는 형태이고, B형은 연중 수온 변동폭이 3℃ 이상인 형태이며, C형은 연중 지하수온의 변동폭이 불규칙하게 변하면서 최저, 최고 지하수온의 출현시기가 주기적으로 반복 재현되지 않은 형태이다.

A형은 다시 연중 최고, 최저 수온의 출현시기가 주기적으로 반복-재현되지 않으며 연간수온의 변동진폭이 소규모인 A-1형과 연중 최고, 최저 수온의 출현시기가 주기적으로 반복재현되는 A-2형으로 구분된다. B형 지하수는 연중 최고, 최저 수온의 출현시기가 주기적으로 정현 함수형으로 뚜렷히 반복재현되는 B-2형과 그렇지 않은 B-1형으로 구분 할 수 있다. 국내 암반지하수는 연중 온도 변동진폭이 3℃ 이하이거나 연중온도 변동이 아주 미미한 A-1형이 전체 암반지하수의 47.5%에 이른다.

연중 지하수온도 변동진폭이 3℃ 이하인 A유형(A-1유형과 A-2유형)은 국내 암반지하수 가운데 약 56.9%(47.5℃+9.4)에 이르고, 이에 비해

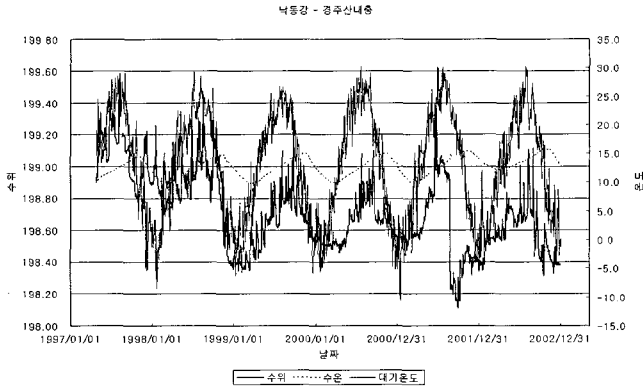
<표 2> 국내 지하수의 온도변동 유형

대분류	소분류	변동 특성		형태	대표 암중
		연간온도 변동폭(진폭)	변동주기의 반복성		
A	A-1	연중 지하수온의 변동폭(진폭)이 3℃ 이내 이거나 거의 일정한 온도를 유지하는 지하수	연중 최고·최저온도 출현시기가 주기적으로 반복 재현되지 않는 형태		암반 지하수
	A-2	上同	연중 최고·최저 온도 출현 시기가 주기적으로 반복 재현되는 형태		
B	B-1	연중 지하수온의 변동폭(진폭)이 3℃ 이상인 지하수	연중 최고·최저온도 출현시기가 주기적으로 반복재현되지 않는 형태		
	B-2	上同	연중 최고·최저온도 출현시기가 주기적으로 뚜렷히반복 재현되는 형태		충적층 지하수
C	C	연중 지하수온의 변동폭(진폭)이 불규칙하게 변하는 지하수	최저·최고온도 플현시기가 나타나지 않거나 불규칙한 형태		

지하수온의 변동폭이 주기적으로 뚜렷하게 반복재현되는 A-2유형과 B-2유형은 전체 암반지하수의 18.3%에 해당한다. 잔여 24.8%는 C유형으로서 국내 암반지하수의 연중수온은 대체적으

로 13~16°C 규모이다.

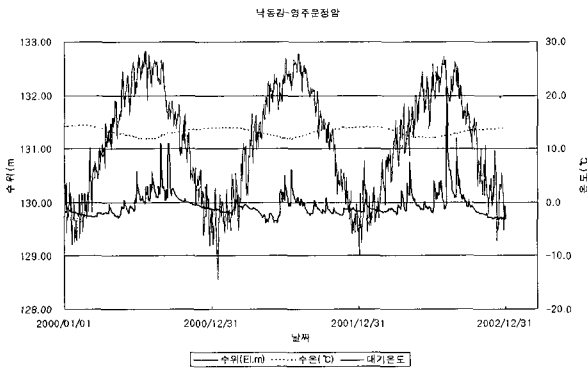
암반지하수온도 가운데 15%분포 빈도에 해당하는 연평균 지하수온도는 13°C 정도이고 85%분포 빈도에 해당하는 연평균 지하수온도는 15.3°C이



국내천부지하수(6-30m)의 최저, 최고 평균지하수온과 위상지연시간

위치	심도 (m)	수위 (m)	Q(CMD)	암종	지하수온도(°C)				지연시간(개월)		
					최저	최고	연평균	진폭	최저온도출현월	최고온도출현월	지연 개월
춘천우두	12	7.51	1,339	층적층	13.9	17.93	16.4	2.1	7월	12월	5.5
경주산내	6.8	0.86	6	층적층	9.58	15.78	12.53	5	4월	11월	3.74

[그림 4] 국내 천부지하수의 경시별 지하수위와 지하수온 및 대기온의 변동



국내 암반 지하수(평균심도 70m) 최저, 최고 평균지하수온과 위상지연 시간(월)

위치	심도 (m)	수위 (m)	Q(CMD)	암종	지하수온도(°C)				지연시간(개월)		
					최저	최고	연평균	진폭	최저온도출현월	최고온도출현월	지연 개월
구미원평	70	3.99	123	화강암	14.25	16.65	15.39	1.6	5월	12월	5.5
영주분령	69	4.01	360	편마암	11.73	14.3	13.14	2.0	7월	2월	6

[그림 5] 국내 암반지하수의 경시별 지하수위, 지하수온 및 대기온의 변동

며 그 중앙값과 연평균 온도는 각각 14.3℃와 14.2℃이다.

이에 비해 총적층 지하수의 온도는 해당지역의 대기온도 변화에 직접적인 영향을 받는다. 총적층 지하수의 연중온도진폭은 대체적으로 3℃를 상회하며 최고, 최저 지하수온의 변동이 주기적으로 반복 재현되는 B-2형이 전체 총적층지하수의 50.9%에 이른다. 총적층지하수의 연평균 온도범위는 11~17℃이고 15%분포 빈도에 해당하는 연평균지하수온도는 12.8℃이며, 85%분포 빈도에 해당하는 지하수온도는 15.5℃이고 중앙값과 연평균 지하수온도는 각각 14.2℃와 14.3℃이다. 국내 암반지하수 가운데 수온 변동이 경시별로 반복 재현되는 지하수 가운데 연평균 최고 지하수온과 최고 대기온 출현시기와의 위상지연차가 약 2~3개월 정도되는 지하수(최고 지하수온 출현달이 10월인 경우)는 전체 분석 대상 개수의 27.5%였다. 특히 위상 지연차가 3~5개월 정도되는 지하수(최고 지하수온 출현시기가 11월과 12월인 경우)는 41.1%였고 위상지연차가 5~6월 정도되는 지하수(최고 지하수온 출현월이 1월경인 경우)는 약 15.7%였다. 환언하면 국내 지하수의 온도는 겨울철에 가장 높고 봄철에 가장 낮으며, 여름철에 비교적 낮게 나타났다. 국내에서 연간 이용 가능한 지하수 개발 가능량은 약 130

억 m³을 상회하며 2003년말 현재 전국적으로 이용하고 있는 지하수량은 약 35억 m³에 이른다. 국내에서 사용하고 있는 지하수의 연평균수온은 전술한 바와 같이 14.3℃이다. 개발한 지하수는 원래의 목적대로 이용하되 14.3℃ 가운데 5℃의 열만 추출해서 열에너지로 이용하는 경우 추가로 이용 가능한 천부지하수 열에너지는 최소 22,300 MWh에 이르며 이는 우리나라 원전 2~3기에 해당하는 막대한 청정 열에너지이다.

총적층 지하수의 경우에 위상지연차가 2~4개월 정도인 지하수(최고 지하수온 출현 달이 10월 내지 11월인 경우)는 32.9% 정도였으며 이에 비해 위상 지연차가 4~6개월인 지하수(최고 수온 출현달이 12월과 1월경)는 전체 분석대상 지하수 가운데 51.8%였다. 총적층과 암반지하수 공히 위상지연차가 1個月 정도로 짧은 경우는 약 15% 규모였다.

결론적으로 국내 지하수의 최고 수온출현시기와 최고 대기온출현시기 사이의 위상 차이는 약 3~6개월이다. 따라서 난방기인 겨울철의 지하수온은 연중 가장 높은 상태를 유지하고 반대로 냉방기인 여름철의 지하수온은 비교적 낮은 온도를 유지하고 있기 때문에 지하수열펌프나 회로형 지열펌프의 냉온열원으로 지하수열원(지중열원포함)을 적극적으로 이용할 시 지열펌프의 COP와 EER을 극대화시킬 수 있음은 물론 국내 에너지

<표 3> 최고 지하수온 출현달과 최고 대기온 출현달과의 위상차(개월)

최고수온출현월(月)	암반지하수(개/%)	위상차개월(평균)	총적층지하수(개/%)	위상차개월(평균)
2~9	8 / 15.7	-	13 / 15.3	-
10	14 / 27.5	2~3(2.5)	15 / 17.6	2~3(2.5)
11	10 / 19.6	3~4(3.5)	13 / 15.3	3~4(3.5)
12	11 / 21.5	4~5(4.5)	24 / 28.3	4~5(4.5)
1	8 / 15.7	5~6(5.5)	20 / 23.5	5~6(5.5)
소계	51(100)	-	85(100)	-

절약과 친환경적인 에너지 이용정책에 크게 기여할 수 있음을 미루어 알 수 있을 것이다.

국내 기술수준과 현안

국내 지열펌프 설계시공기술은 현재 극히 초보 단계라 할 수 있다. 현재 지중열교환기(GHEX)설계를 위한 기본적인 입력자료가 전혀 구축되어 있지 않은 상태이기 때문에 GHEX 소요 길이 산정에 절대적인 영향을 미치는 부지고유(site specific)의 열적특성인자와 지하수 유동상태를 고려치 않고 외국의 기본입력자료(default)를 지중열교환기 설계시 그대로 사용하고 있다. 그 결과 과도한 천공길이 산정으로 인한 공사비 상승이 지열열펌프 시스템의 국내 보급의 장애 요인이 되고 있다.

따라서 추후 다음과 같은 조사연구가 선행되어야만 풍부한 국내 지열자원을 가장 비용경제적이고 합리적으로 개발 이용할 수 있을 것이다.

- 1) 방대한 기존의 국내 지역별, 경시별, 심도별 지열자료를 체계적으로 수집분석하여 국내 지중열교환기 설계 기초자료를 구축하고 DB화 해야 한다. 이를 위해
 - 가) 국내 56개 기상 관측소(1981년~현재)에서 측정해둔 천부토양의 지역별, 심도별, 계절별 최고, 최저, 평균지중온도와 지연시간을 규명하고 지역별 BIN온도와

BIN시간을 확정하고,

- 나) 건교부의 국가 지하수 관측망(266 개소, 1985~), 농림부의 해수관측망(47 개소), 지자체의 보조지하수관리망(제주도 76 개소 및 서울시 119 개소) 등 500여 개 지하수관측소에서 장기간 측정해둔 지하수온, 수위 및 수질 자료를 체계적으로 분석하여 국내 천부 및 암반 지하수의 지역별, 경시별 최고, 최저, 평균지하수온(지중온도)의 변동특성과 지연시간을 규명해야 한다.

- 2) 지층조건별 현장 열전도도 시험방법과 해석 기술개발이 필요하다. 광역지하수류가 없는 수문지열계(hydro-thermal system)내에서 순수 열전도(heat conduction)에 의한 지중열 이동해석법과 현장조사법은 물론 광역지하수류가 있는 곳에서 열전도와 열순환(heat convection)이 동시에 발생하는 경우의 지중열 이동해석법과 현장조사법을 정립해야 한다.
- 3) 지중열교환기를 장기적으로 운영 시 지중온도변화에 따른 기존의 국내 지하수관련법령과의 상충성에 관한 연구검토가 필요하다.
- 4) 국내 지형 지질(수문지질계)별 GHEX규격 결정용 표준 설계치가 정립 제시되어야 할 것이다.