

지속가능한 지열 환경보전을 위한 지열공 조사 및 굴착비의 개선 방향

김 규 범*, 김 형 종**

*K-water연구원 수변지하수 연구단장, ** (주)지엔테크 대표이사

1. 서 언

우리나라의 지열이 실제 생활에 본격적으로 체계적으로 활용되기 시작한 것은 1930~1940년대였으며 온천 개발을 위한 지열 조사를 시작으로 온천의 효능에 대한 평가를 위한 조사 및 심부 지열의 활용을 위한 조사 등으로 발전되어 왔다. 본격적인 지열의 활용은 2000년대 이후에 다양한 연구와 기술 개발을 토대로 이루어졌으며, 심부 지열수를 활용한 시설 영농 및 지역 난방에 활용하는 사업과 천부 지열을 활용한 냉난방 사업의 보급 등이 추진되었다. 특히, 천부 지열 활용 기술은 Geothermal heat pump 기술과 함께 2000년대 이후 발전되고 있으며, 100~200 m 사이의 연중 일정한 지온과 대기 온도의 온도차를 이용하여 여름 냉방 및 겨울 난방을 하는 기술로 보급되고 있다. 국내의 지열 이용 시스템은 지중 루프를 통하여 열교환 유체를 순환시켜 열을 회수하거나 교환하는 방식인 밀폐형과 지하수 이용 히트펌프를 사용하는 개방형이 주로 사용되고 있다.

현재까지 천부 지열 분야에서 지하의 지질 굴착에 대한 최적의 설계 기준이 마련되어 있지 않고, 일부 연구자들에 의하여 연구된 바 있다. 예를 들면, 국내 지표온도 분포도 작성(구민호 등,

2006), 지중 열교환기 설계를 위한 지하 열특성 조사(심병완 등, 2005), 지하 열자원 부존 활용 정보 시스템 구축(한국수자원공사, 2008) 등이 시행된 바 있으나, 이와 같은 연구 결과들이 천부 지열공 설계를 위한 최적화 기준을 마련해 주지 못하고 있다. 지열공의 최적 설계를 위한 공통된 설계 기준의 마련은 지중의 지질 특성 및 지하수 유동의 이방성 등으로 인하여 확실히 결정할 수 있는 사항이 아님을 보여주며 어려운 과정임을 의미한다. 이와 같은 최적의 지중설비 설계 및 시공을 위해서는 충분한 조사와 평가가 수행되어야 하고 조사 시공과 관련된 표준화된 규격 범위 등이 마련되어야 한다. 본 고에서는 최근에 지열공의 굴착과 관련한 문제점을 경제비용적 관점에서 접근해 보고 지속가능한 지열 환경 보전을 위해서 필요한 사항이 무엇인지 짚어보고자 한다.

2. 지질과 지열

전세계 평균적으로 지구의 표면상의 온도는 약 13도를 유지하고 있는데 이는 태양의 복사 에너지, 우주 공간으로의 열복사, 지열간의 평형 작용 등에 의하여 결정된다. 일반적으로 지중의 열은 지표로 방출되는 것이 거의 없어 지표의 에너지 평형 조건하에서 지중 열이 기여하는 바는 매우

적다. 그러나, 지층 열교환기와 같이 지층의 열을 지표로 쉽게 전달할 수 있는 도구나 경로가 존재할 경우 열의 배출은 매우 쉽게 이루어진다. 지층에서의 열 전달 능력을 결정하는 것은 암석내 지하수의 수리전도도가 큰 역할을 담당한다. 이와 같은 수리전도도는 얇은 층적층에서는 매질의 구성과 크기, 깊은 암반에서는 지층의 절리나 균열, 층리구조, 엽리구조 등에 의하여 그 방향성과 규모가 결정된다. 즉, 층적층에서의 수리전도도는 입자크기와 입자분포 등 공극성 매질의 전도성에 의존하며, 암석의 경우에는 단열의 폭과 빈도 등에 의하여 일차적으로 결정이 된다. 이와 같은 현상을 일반적인 사항에 해당이 되나, 개발 지점의 특성에 따라서 결정되므로 조사 및 해석이 매우 중요함을 보여준다 (이영민, 2007).

밀폐형 지열공이나 개방형 지열공 공히 암반내의 균열의 발달상태가 열 전달에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 특히, 개방형 지열공의 경우 지열 효율을 결정하는 지하수 산출량과 균열의 발달과는 밀접한 관련이 있다고 본다. 즉, 개방형 지열공에서 수리전도도의 특성은 매질내의 균열의 발달 상태에 의하여 영향을 받고 궁극적으로는 지하수 산출량에 영향을 미친다.

위에서 언급한 바와 같이, 지층내 지하수는 지열의 능력을 결정하는 매우 중요한 역할을 한다. 지열공을 설치함에 있어서 다수의 시추가 이루어지고 그라우팅이 수행된다면 이들 지층 구간을 통하여 흐르는 지하수의 유동이나 유량에 변화를 야기할 수 있다. 이와 같은 논쟁은 지난 10년간 지속되어 왔으나 구체적인 연구와 그 영향 범위가 정량적으로 평가된 바 없어 현재까지 대책이 마련되어 있지 않은 실정이다. 그러나, 지하수에 미치는 영향을 떠나 무엇보다 중요한 것은 지열공을 통한 지열의 확보보다 우선하는 것은 지하수를 이용한 용수 확보라는 것이다. 즉, 지하수가 식수 또는 농업용수 등으로 활발히 사용되는 지역에서의 지열공의 굴착은 물 확보에 대한 절대 권리를 고려할 때 기존 용수 사용자의 권리가 지

열의 사용 권리 보다 당연히 우선되어야 한다. 또한, 1993년 지하수법이 제정된 이후 주요 이슈로 대두된 것 중에는 시추 과정에서 사용되는 이수 (Drilling mud)가 지하수 오염을 야기하는 물질일 수 있다는 것이었으며 1997년경 지하수 오염 물질을 야기하는 재료의 사용을 금지하기도 하였다. 이와 같은 환경적 피해에 대한 부분은 지열공의 굴착에서도 예외일 수는 없으며 친환경적이면서 지하수 수문환경에 영향을 미치지 않는 굴착이 반드시 요구된다.

천부 지열 에너지의 개발을 위하여 지하 지층 구조 및 지하수에 대한 정량적인 접근과 이해가 없다면 에너지 효율 저하, 환경 친화적 에너지로서의 기능 감소 등이 우려된다. 따라서, 본 고에서는 지열 에너지 활용 및 설비에 있어서 지하 굴착을 통한 굴착 비용 및 부대적인 조사 평가 비용에 대한 부분을 언급하고자 한다. 이를 위하여 일반적인 지하수 굴착 비용, 시추 비용과 지열시스템에서 적용되는 지열공의 굴착 비용 등을 일부 시추 업체의 견적 자료 등을 수집하여 비교해 보았다.

3. 지열공 굴착 작업에 대한 비교

3.1 지하수 개발

일반적으로 국가 등 공공기관에서 발주하는 지하수 개발공사에서는 조사와 시공 등의 과정이 모두 포함된다. 국토해양부 (2009)에서 발간한 “지하수 개발 이용 시설 공사 설계실무 요령”의 내용을 중심으로 지하수 개발 과정을 검토하면 다음과 같다.

지하수 개발에 있어 가장 먼저 하여야 할 사항은 취수계획량(또는 소요수량)을 결정하는 것이다. 취수계획량은 생활용수(음용수 포함)의 경우 급수인구, 농업용수인 경우 물리 면적, 공업용수인 경우에는 시설용량을 근거로 결정하게 된다. 취수계획량을 결정함에 있어 사전에 적정취수량과 개발가능량을 검토하여 그 수량을 초과하지 않는

범위 내에서 결정하여야 한다. 적정취수량이라 함은 지하수 고갈, 오염물질의 유입, 지반침하 등과 같이 지하수 장해를 일으키지 않으면서 지하수위 강하를 가능한 범위 내에서 최대한 크게 하였을 때 취수 가능한 지하수량을 의미하며, 양수시험을 통해 산정한다. 또한, 개발가능량이라 함은 당해 지하수개발·이용시설이 위치한 구역 내에서 수

문순환체계가 파괴되지 않고 지하수 장해를 일으키지 않는 범위 내에서 지속적으로 대수층으로부터 양수할 수 있는 지하수량으로 정의된다. 취수 계획량이 결정되면 당해지역의 지질분포, 지하수 부존특성 등을 감안하여 굴착방법, 굴착구경 및 심도, 케이 및 스크린 설치심도, 대수층 형성 방법 등에 관한 세부적인 설계를 한다. 설계가 완료되

<표 1> 공공기관 지하수 개발 공사 주요 공종 사례

(1) A 정부투자기관 대형관정 개발

공 종	세부 공종
물리 탐사	원격 탐사
	쌍극자 탐사
	수직 탐사
시추 조사	지층 굴착비
	이동 조립
	케이싱 설치
	에어 써징
	물리 검증
	양수 시험
	펌프 설치 및 인양
	장비 운반
	폐공 처리 비용
	수질 검사 비용
영향 조사	자재비
	지표 지질 조사
	정천 현황 조사
확공 개발	잠재 오염원 조사
	확공 굴착
	착정 장비 운반
	에어 써징
	자재비

(2) B 정부투자기관 대형관정 개발

공 종	세부 공종
지하수 개발 공사	관정 착정
	장비 이동 및 조립
	케이싱 설치
	부지 정리
	우물 설치
	스트레너 설치
	에어 써징
	우물 소독
수질 검사	장비 대운반
	수질 검사비
	수중 TV 검증
	양수 시험
수중모터 설치 공사	양수시험 장비
	수중 모터 펌프 설치
	수도 미터기 설치
맨홀 설치공사	기타 케이블 등 재료비
	구조물 터파기
	되메우기
관급 자재대	콘크리트 타설
	오염방지장치 설치
	오염방지 장치비
	조달 수수료

(3) 군부대 대형관정 개발

공 종	세부 공종
지하수 개발공	지하수 탐사
	착정 천공비
	부대 공사비
	심정 전기 공사
오염방지 시설 공	방치공 처리비
	지하수 오염방지 처리
	CCTV 조사
	운 반 비
	대관 협의비

(4) 지자체(C 군)의 소형관정 개발

공 종	세부 공종
소형관정 개발	기계기구 설치
	천공
모터펌프 설치	수질검사비
	모터펌프 신설
관정 보호설비	전기 내선 공사
	조립식 판넬
부대공	시건 장치
사급자재비	운반비
	자재비용

면 본격적인 지하수개발 공사를 실시하며 일반적으로 조사, 굴착, 대수층형성, 내부케이싱 설치(필요시)의 순으로 진행된다. 이와 같은 공정은 실제 개방형 지열공에서도 유사하게 진행이 되어야 한다. 즉, 개방형 지열공에서의 열원의 확보는 지중 온도 뿐 아니라 지하수량에도 의존하므로 지하수량에 대한 정확한 평가와 주변 영향 정도가 수행되어야 한다.

지하수 개발시 공공기관에서 발주되는 지하수 공사 설계서에서 고려되는 항목을 보면 표 1과 같이 요약할 수 있다. 각 기관별로 표준화된 시방서 및 공종이 존재하는 것은 아니나 대부분 유사한 조사 내용과 공종이 포함되어 있어 지하수 개발과 관련된 필수 사항들이 고려되고 있다.

각 기관별로 지하수 개발 공종을 정리하면, 관정 굴착에 앞서 탐사를 통한 지하수 개발 적지 선정, 관정 굴착, 펌프 및 배관 등 관정 자재 설치, 시설 보호를 위한 오염방지시설 설치, 양수시험, 수질 분석, 폐공 처리, 보고서 작성 등으로 대분할 수 있다.

관정 굴착 이전의 지구물리탐사는 지층내의 지하수 부존지역에 대한 추정, 부존량에 대한 추정 등을 위하여 선행되는 작업으로서, 지하수공 굴착의 실패 확률을 줄이고 지하수공의 적정 심도를 결정하기 위하여 필요한 작업이다. 암반지하수에서 지층내의 지하수 부존은 암석내의 균열 발달 상태, 균열 분포 등에 의하여 결정되므로 이들의 위치와 범위를 파악하는 것이 필수적이다. 또한, 충적층 지하수에서도 지구물리탐사를 통하여 물의 산출량이 높은 지층인 모래와 자갈층의 분포 심도 및 범위 등을 파악하며 상대적으로 산출이 어려운 실트나 점토층의 분포를 파악하기 위한 최적의 방법이 된다.

지하수 관정 굴착 공정은 지층의 특성에 따라서 진행이 된다. 정부 및 공공기관에서 발주되는 지하수 굴착 비용은 점토, 실트, 모래, 자갈, 풍화암, 연암, 경암 등 지층의 분포에 따라서 차등화하고 있는데 세부 설계내역을 검토해 보면 각 지층의

단위 길이를 굴착하는데 소요되는 시간, 인력, 재료 등에 차이가 존재함을 알 수 있다.

펌프, 배관 등 굴착 이후 우물 형성에 필요한 자재 설치는 대부분 유사한 내용과 공종으로 구성되어 있다. 내부 및 외부 케이싱의 설치, 스크린(스트레나)의 설치, 충전력 채움, 수중모터펌프 구매 설치, 지표 배관, 전기장치 설치 등으로 구성된다. 이중에서 충적층과 암반층에 따라 차별화되는 것은 외부 케이싱의 설치 및 스크린의 설치 등이 해당이 된다. 오염방지시설은 지하수법에 의하여 지표의 오염물질이 관정을 따라 흘러들어가는 것을 방지하기 위하여 지표 부근에 설치하는 것으로서 콘크리트 구조물 또는 기성품으로 제작된 설비를 설치하기도 한다.

양수시험 또는 대수성 시험은 지하수 산출량을 결정하기 위하여 반드시 수행되어야 하는 것이다. 본 시험에는 장기 대수성 시험, 단계 대수성 시험 및 회복 시험 등이 해당되는데 수 일 ~ 수 개월에 걸쳐서 실시되기도 한다. 적정 양수량을 결정하는 최종 단계의 시험으로서 지층 매질의 수리적 특성을 파악하고 펌프 규모 등을 결정하기 위한 기본 자료를 제공해 준다. 수질 분석은 관정에서 채취된 지하수 시료에 대한 수질 분석을 의뢰하는 것으로서 각 용도(음용수, 생활, 공업, 농업 등)에 맞는 수질 기준에 충족하는지 검토하고 최종적으로 지하수 사용의 적정성을 파악하게 된다.

이상을 종합해 보면, 지구물리탐사는 지하수 개발 최적지를 찾기 위한 것으로서 지하수 개발공뿐 아니라 개방형 지열 공에서도 반드시 수행되어야 하는 항목이며, 오염방지시설 설치, 양수시험, 수질분석 등도 지하수 열을 이용하는 개방형 지열 공에서는 필요한 항목에 해당한다. 또한, 보고서 작성 비용은 지하수 개발이나 지열 공의 굴착에서 지층과 지하수의 상태를 정리하고 체계적인 자료 축적 및 활용을 위하여 반영될 필요가 있으며 수십년 후 지열공의 사용이 종료되거나 사용 중 주변에 환경적 피해가 발생하였을 때 활용되도록 하여야 한다. 특히, 폐공 처리 비용의 경우

일부 공사에서는 성공 확률을 50%로 고려하여 폐공 발생시 처리 비용을 계상하기도 하는데 개방형 지열 공에서도 동일한 수준의 폐공 처리 비용이 반영될 필요가 있다. 폐공 처리 비용의 반영은 지하수자원의 항구적이고 영속적인 사용을 위하여 오염의 확산을 방지하기 위한 근본적인 처방으로서 요구된다. 이와 같은 공종은 공공기관에서 지하수 개발 발주시 일반적으로 포함되는 항목으로서 다음 절의 지열 개발시의 일반적인 공종과 비교하여 그 문제점이 검토되어야 한다. 이상과 같이 개방형 지열공의 굴착을 위한 과정은 지하수 개발 과정과 유사한 것이 많으므로 관련 공종이 수행되는 것이 지하수 수문 수질 환경 보호와 지열공의 수명 등을 고려할 때 필요하다.

3.2 지열공 굴착

최근 수년간의 지열공 굴착 발주 및 견적 자료를 토대로 지열공 굴착에 소요되는 공종을 파악해 보았다. 표 2-1은 정부투자기관의 개방형 지열공 착정 공사에 대한 내용으로서, 지중의 열전도도를 측정하고 지열공으로 활용성을 파악하기 위한 양수시험 등이 포함되어 있다. 표 2-2은 민간 기업체에서 개방형 지열공을 활용하여 에너지를 확보하기 위하여 지열 시공업체에 견적 요청한 것을 토대로 작성한 것이다. 개방형 지열의 특성상 지하수를 이용하는 시스템이기 때문에 지하수 개발에 필요한 일부 공정인 지하수 영향조사에 대한 내용이 포함되어 있다. 지하수 영향조사는 지하수법에 의하여 수행하여야 하는 것으로서 대용량의 지하수를 개발이용하는 경우에는 주변 지역에 지하수 양수로 인한 영향이 있는 지 등에 대하여 평가를 실시하고 지자체의 허가시 제출되어야 하는 것이다.

표 2-3은 밀폐형 지열 시스템 공사에 대한 공종을 나타낸 것으로서 개방형 지열 공정과는 차이가 존재한다. 본 내용은 백만호 그린홈 사업의 일환으로 추진되는 지열공 설치 지원 사업시 민간

에서 제출한 견적서 내용을 토대로 작성된 것이다. 표에서 보는 바와 같이, 개방형 지열공의 굴착 공종에서는 착공 이후에 양수시험과 수질검사 등 지하수에 대한 조사 평가 분야가 포함되어 있으나 밀폐형 지열 시스템에서는 포함되지 않는다. 100만호 그린홈 사업에서 밀폐형 지열 공사 시스템은 지열장비 설치, 지열 천공공사, 지열 배관 공사, 전기 공사 등으로 구성된다. 이중에서 지열 천공 공사는 천공, 케이싱 설치, 그라우팅 공사 및 열교환기 설치 등으로 간단한 공종으로 구성되어 있다. 현재 밀폐형 지열 공의 굴착시 지층의 균열 상태, 수리적 특성, 적정 심도에 대한 평가, 지층 균열 상태를 고려한 최적 공수의 결정 등은 전혀 이루어지지 않고 관행적으로 밀폐형 1공당 2.7 RT 정도로 설계 운영되고 있는 실정이다.

표 2-4는 민간에서 밀폐형 지열시스템을 시공함에 있어서 밀폐형 지열공의 굴착에 대한 부분만 별도로 의뢰 받고 견적을 제출한 경우로서, 지반의 굴착 및 유지, 지중의 지열 배관 공사 등에 대한 것으로 구성되어 있다. 이와 같은 형태는 실제 지열 시공사에서 지열공의 굴착을 직접 수행하지 않고 천공 전문 기관에 요청하여 시공하는 경우라 할 수 있다. 즉, 지열 공종의 일부인 굴착 공사와 지중 설비에 대한 부분을 시추업체에 의뢰하여 수행하고 기타 기계실, 장치 탱크 등은 지열 시공업체에서 수행하는 경우이다.

3.3 굴착 공종에 대한 종합 검토

개방형 지열공의 경우 지하수를 사용하여 열을 취득하는 방식으로 진행되기 때문에 일반적인 지하수 개발 공종이 대부분 적용되어야 하는 것이 바람직하다. 그러나, 최적의 지하수 물량을 찾기 위한 지구물리탐사, 대수성 시험, 오염방지시설 설치 등이 생략되거나 간략하게 진행되기도 한다. 지하수를 활용한다는 동일한 조건임에도 이와 같이 공종의 단순화 및 생략은 지하수 개발로 인한 2차적인 피해를 야기할 수 있다. 철저한 공종 및

<표 2> 밀폐형 및 개방형 지열공 굴착 공종 사례

(1) A 정부투자기관의 개방형 지열공 굴착(지상설비 제외)

공 종	세부 공종
굴 착	천 공
	이동 및 조립
	케이싱 설치
	차수벽 설치
	에어 써징
	폐공 처리
양수 시험	단계, 회복, 장기 양수시험
	펌프 설치 및 인양
수질 검사	수질 검사
이용시설 설치 공사비	보호공 설치
	배관 설치
	수중모터펌프 설치
	배전반 설치
	한전 협의 등

(3) 밀폐형 지열 시스템(백만호 그린홈 사업)

공 종	세부 공종
지열 히트펌프 공사	지열 히트펌프 구매 설치
	순환펌프 구매 설치
	밀폐형 팽창 탱크 구매 설치
지열 천공 공사 (지중열교환기)	천 공
	케이싱 설치
	그라우팅 공사
	열교환기 설치
지열 배관 공사	수도용 SUS 등 관/이음관
	터파기 및 되메우기
	각종 밸브 설치
	온도계 설치
	감압변/공기변 설치
	부하측 보조탱크 설치 등
전기 공사	전기 공사

(2) 개방형 지열 굴착(민간)

공 종	세부 공종
지열 장비 설치	히트펌프 유닛 설치
	수중 펌프 설치
	축열 순환 펌프 설치
	지열 공급 펌프 설치
	저수조 공급 펌프 설치
	보급수 펌프 설치
	지열수 환수 헤더 설치
	온수 탱크 및 물 탱크
	밀폐형 팽창 탱크
	배관(SS) 설치
기계실 배관	관 보온 장치 설치
	각종 밸브/조인트 설치
	수도 계량기
	압력계, 온도계 등
전기 공사	전기 장치 설치
지중열교환기 공사	지하수 양수 파이프
	각종 파이프 설치
	수중 케이블 등 케이블 설치
	터파기 및 되메우기
	지열공 덮개
지열공 천공	장비 이동
	시추
	케이싱 설치
	지하수 영향 조사
축열 탱크 설치	축열 탱크
	단열/보온재 마감
	원형 디퓨저 설치
건축 공사	보호 건축물 등 건축 공사
시운전	시운전

(4) 밀폐형 지열 굴착(민간)

공 종	세부 공종
굴착 공사	암종별 굴착
	에어 써징
지열 배관 공사	배관 및 이음매 설치
	벤토나이트
	터파기 및 되메우기
	기타 잡비 등

공정의 준수는 지하의 보이지 않는 곳에서 이루어지는 시공에 대한 신뢰성을 높일 수 있고 시공의 지속성을 수십년 이상 보장할 수 있는 근거가 된다. 국내 지하수 개발의 사례를 보면, 지하수 개발의 수명이 일반적으로 수 십년 정도로서 지속적인 시설물 관리 및 관정의 재개발 등이 이루어지지 않는다면 보다 단명할 수 있다. 따라서, 개방형 지열공이 지속성을 갖고 그 효과를 유지하기 위해서는 체계적인 조사 및 시공을 위한 충분한 공중과 공정이 유지될 필요가 있다.

밀폐형 지열공의 경우에도, 일반적인 시추조사 시 부수적으로 수행되는 내용이 거의 이루어지지 않고 굴착과 벤토나이트 처리 등의 단순 공종으로만 이루어져 있다. 밀폐형 지열공에 대해서도 공내 지층의 상태 파악은 매우 중요하다. 공내 지층 상태에 대한 지질검층 자료의 확보는 밀폐형 지열공의 효율성을 높이는데 기여할 수 있다. 전도에 의한 지중 열의 전달은 열전도도와 열확산을 등에 의하여 기술이 되는데 지중 암석의 수리전도도는 대류에 의한 열전도를 결정하는 인자이다. 즉, 밀폐형 지열공에서의 최적 지점 선정과 효율을 극대화하고 무분별한 시공을 방지하기 위해서는 암석의 수리전도도에 대한 체계적인 조사가 요구된다. 즉, 암석 자체 뿐 아니라 암석내 포함되어 있는 액체도 지열 평가의 인자로 고려되어야 한다. 암석의 이방성(층상 구조나 절리 등)이 암석의 열전도도에 영향을 미치는 것으로 알려지고 있는 바 밀폐형 지열공에 대해서는 공내 검층이나 수리시험 등을 통한 추가적인 공중이 필요해진다. 지층이 미고결암이나 고결암으로 구성되어 있는데 수리전도도의 경우에는 공극과 단열의 투수성에 차이에 의하여 결정된다. 미고결층의 수리전도도는 입자 크기와 입자 분포 등에 의하여 결정이 되나, 고결암의 경우에는 기본적으로 단열의 폭과 빈도에 의해 일차적으로 결정이 된다. 고결암에서 단열은 불규칙한 분포를 보이고 있어 방향에 따라 투수율의 차이가 크게 나타날 수 있으므로 철저한 조사를 통하여 최적의 지점을 선정

하는 것이 필요하다. 현재와 같이 무분별한 지열공 굴착을 방지하기 위해서는 검층이나 수리시험 등을 통하여 수치 모델링을 수행한 후 일정 수준 이상이 되는 지층 조건에서만 지열공 굴착 및 개발이 가능하도록 하는 것이 지열 에너지를 보다 효율적으로 사용할 수 있는 방안이 될 것이다.

4. 굴착 비용

4.1 지하수 개발 비용

최근에 지하수 개발이나 지열공 굴착시 소요되는 설비가 또는 견적 자료를 수집하여 표 3에 정리해 보았다. 표 3-1은 국가에서 발주하는 지하수 개발 설계의 예를 소개한 것으로서, 구경 200mm에 150m 굴착으로 우물을 개발할 경우의 개략적인 공사비는 약 57,200천원으로서 m 당 약 457천원에 이른다. 이 중에서 우물 굴착에 직접 소요되는 비용은 약 23,000천원이며 양수 및 전기 설비에 약 5,000천원 등이 소요된다.

지하수를 개발하는 중소기업의 지난 5년간 지하수 개발에 대한 견적서 약 50건을 토대로 개략적인 굴착 비용을 파악한 후 국가에서 발주하는 가격과 비교해 보았다. 민간이 발주하는 견적에서는 200mm 구경에 125m 굴착시 총 17,667천원 정도 공사비가 제시되었는데, 이 공사비에 포함되지 않은 지하수영향조사비(10,000천원)와 전기탑사비(10,000천원) 등을 포함할 경우 약 37,667천원으로서 1m 당 금액은 약 301천원에 해당한다. 이 금액은 국가에서 발주하는 m 당 단가인 457천원의 약 66% 수준에 해당되어 지하수 개발에 있어서 국가 설계에 비하여 민간에서의 견적이 약 66% 수준으로 파악된다.

한편, 200mm 구경과 150mm 구경별 민간 견적 자료를 심도와 비교해 보면 그림 1과 같은 비례관계를 보이고 있다. 이를 보면, 구경에 따른 큰 차이 없이 심도와 공사비가 거의 1:100의 관계를 유지하고 있음을 알 수 있는데, 이와 같은 것은 심

<표 3> 지하수 및 지열공 굴착 개략 공사비 비교

(1) 지하수 개발 비용(A 정부투자기관 설계 기준: 200 mm, 125 m)

공 종	세부 공종	개략 비용 (천원)
계	-	57,200
전기비저항탐사	수직법	13,000
우물 굴착공사	장비 설치, 배관 및 운전	1,000
	착정	17,000
	케이싱 및 자재 설치	4,000
	그라우팅 및 공보호공	1,000
대수성 시험(영향조사)	단계, 장기, 회복시험	8,000
오염방지시설	-	5,000
펌프등 전기설비 설치	-	5,000
수질 분석	-	200
공내 카메라	-	3,000

(3) 개방형 지열공 굴착비 견적 사례(민간 견적 기준)

공 종	규격	단위	수량	금액(천원)
지열천공 공사	Ø=6.5~8", D=450m	공	6	121,851
굴착행위 신고	450m * 6공	식	1	1,200
지하수 영향조사	450m * 6공	식	1	6,170
굴착토 처리	450m * 6공	식	1	3,222
PVC관 설치	Ø=4~5", D=450m	공	6	24,894
일반관리비 및 제경비	3% 이내	식	1	4,663
총 계				162,000

(5) 밀폐형 지열 시스템 설치 견적 사례 (민간 견적, 150mm 200m 적용시)

공 종	규격	단위	수량	금액(천원)
지열 장비 설치	지상 장치설치		-	162,000
기계실 배관			-	85,000
팬코일 배관			-	109,000
자동제어 설치			-	29,000
지중열교환기	지중 장치 및 덮개		-	40,000
지열 천공	1600m (400m)	개	4	125,000
일반관리비			-	2,000
총 계				552,000

(2) 시추 비용(A 정부투자기관 설계 기준: 125m 심도 NX 기준)

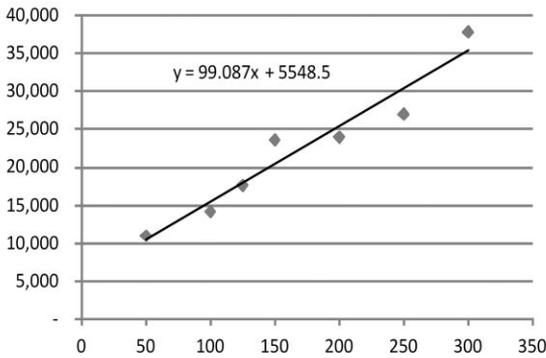
공 종	세부 공종	개략 비용 (천원)
계	-	32,300
용지사용 교섭 및 기초작업		1,300
굴 착	지층이 구성에 따라서 비용에 차이가 있으나, 총적층 약 25m, 암반 100m를 기준으로 한 것임	30,000
코아 상자 등 부속재료	-	1,000

(4) 밀폐형 지열공 굴착비 견적 사례 (민간 견적, 150mm 200m 적용시)

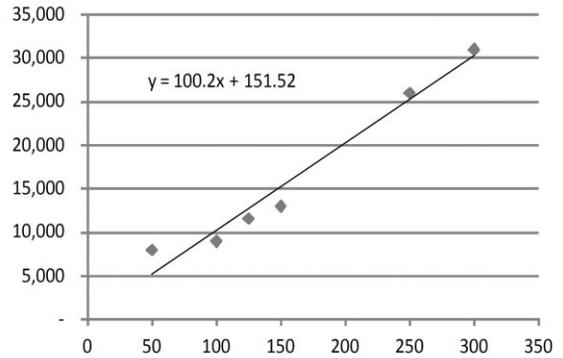
공 종	규격	단위	수량	금액(천원)
천공비	φ150* 200m	공	9	36,000
루핑작업		m	3600	2,160
PE 파이프	30A	m	3600	7,200
그라우팅작업	밀크 그라우팅	m	1800	10,800
벤토나이트		톤	7	2,800
유동화재		통	3	150
일반관리비	5%이내	식	1	886
총 계				59,996

(6) 100만호 그린홈 사업 견적 기준 사례 (밀폐형)

공 종	규격	단위	수량	금액(천원)
지열장비 설치공사	히트펌프 등		-	7,300
지열 천공 공사	150mm, 150m	개소	2	10,200
열교환기 설치공사	각종 배관 등		-	4,100
지열 자동제어 공사			-	1,320
총 계				22,920



(1) 민간의 굴착 심도별 공사비 개략 변화 (200mm 구경)



(2) 민간의 굴착 심도별 공사비 개략 변화 (150mm 구경)

[그림 1] 민간의 지하수 개발 공사비 견적 통계

도가 50 m 증가할 때 약 5,000천원의 공사비가 증액되고 있음을 보여준다.

지하수 개발과 달리 시추(NX 또는 BX 등) 작업은 보다 단순한 공정으로 이루어진다. 표 3-2는 정부투자기관에서 발주 설계시 작성되는 NX 구경에 대한 시추 비용을 나타낸 것이다. 시추 작업은 지하수 개발에 비하여 매우 단순한데, 지하수 영향조사, 펌프 등 양수 자재 및 전기 설치, 수질 분석, 오염방지시설, 지구물리탐사 등이 포함되지 않는다. 즉, 부지의 정리와 교섭, 시추작업, 코아 상자 등 부속작업 등으로 구성이 된다. 지하수 개발이나 지열공 굴착 등과 비교하기 위하여, NX 구경으로 125 m 심도를 굴착할 때의 시추 비용이 약 32,300천원 정도로 설계되었는데, 1 m 당 시추 비용은 약 258천원에 해당한다.

표 3-3은 민간 기업에서 개방형 지열에 대한 견적의 사례를 보여준다. 150 mm 이상 구경으로 450 m의 개방형 지열공을 굴착하는 사례로서, 6 개의 지열공과 그 부대공사의 총비용은 162,000천원으로서 개소당으로 개략 계산하면 27,000천원에 불과하다. 본 견적에는 지하수 영향조사가 포함되어 있으며 이를 포함한 m 당 비용은 약 60천원에 불과하다. 지하수 개발 공중(공공기관 설계)에서 수중모터펌프 등 전기 설비, 전기비저항 탐사 및 수질검사 비용 등을 제외하고 m 당 단가

를 산정해 보면 약 297천원이다. 한편, 민간 견적에 대해서 공공과 민간의 비율 66%를 적용하면 약 196천원이 개략적인 m 당 단가에 해당된다. 따라서, 개방형 지열 개발 공사비중 굴착 및 지하수 영향조사 등 지질지반 분야에서 중점적으로 수행하는 과업에 대한 민간 견적 금액은 유사한 공종을 갖는 지하수 개발 단가에 비하여 공공기관 설계 기준 대비 20%, 민간 견적 대비 31%에 불과한 실정이다. 본 검토는 국가의 설계 및 민간의 견적을 중심으로 비교 검토한 것으로서, 실제 시공 현장에서는 이 보다 낮은 금액으로의 시공이 관행적으로 이루어지고 있는 실정이다.

표 3-4는 밀폐형 굴착시의 천공과 부대 공사를 포함한 것으로서 개략적인 1개 공당 공사비는 약 4백만원에 해당되며 m 당으로 환산하면 약 20천원에 불과한 실정이다. 이와 같은 금액은 공공기관 설계 기준으로 볼 때 NX 구경의 m 당 시추비인 258천원의 1/10에 불과한 매우 낮은 금액이다. NX 시추에서 순수한 굴착을 제외한 부대 작업과 표준관입시험 등을 제외한 굴착 비용은 m 당 약 200천원으로서, 이와 비교하더라도 약 1/10에 불과한 실정이다. 오히려 밀폐형 지열공 천공에서 벤토나이트 등의 비용이 천공 비용의 10% 정도 추가된다는 점을 고려할 때 1/10 이하의 견적이라고 볼 수 있다.

표 3-5는 비교적 고비용으로 설계된 밀폐형 지열 시스템의 민간 견적 사례로서, 지상의 지열 장치 설치, 기계실과 팬코일 배관, 자동 제어장치 설치, 지중 열교환기 설치, 지반 굴착 등이 포함된 견적이다. 이 중에서 순수하게 지반 굴착에 해당하는 부분을 검토해 보면, 1개소당 약 31,000천원이며 m당으로 환산하면 약 77천원에 불과하다. 본 사례는 상기 표 3-4에 비하여 약 4배 정도의 높은 단가의 견적임에도 불구하고 공공기관 설계 기준(NX 구경)의 m 당 시추비인 258천원의 30%에 불과한 실정이다. 이와 같이 민간이 견적에 의하여 제시하는 밀폐형 지열공 굴착 비용은 일반적인 시추 비용과 비교해도 10%~30%의 수준에 머무르고 있으며, 이와 같은 수준은 일반적인 시추 공사의 낙찰율 88%를 고려하여 227천원으로 도급한 것을 하도급하는 경우(60% 고려시)의 136천원에도 미치지 못하는 수준으로 매우 낮은 금액이다.

한편, 표 3-6은 정부에서 지원하는 100만호 그린홈 사업에서의 밀폐형의 지열공 굴착비로서, 구경 150 mm, 심도 150 m의 지열 천공에 소요되는 공사비는 1개소에 약 5,000천원으로서 m 당 굴착 비용은 33천원에 불과하다. 본 사례는 위의 민간의 견적 사례인 m 당 20천원과 77천원의 중간 금액으로서 매우 낮다 할 수 있다. 국가에서 지원하는 지열 확산 사업에서도 m 당 단가는 일반적인 시추 단가(NX 구경)의 m 당 비용인 258천원의 12.8%에 불과한 실정이다. 국가에서 지원하는 지열 사업 조차도 기존의 시추 굴착 금액에 비하여 매우 낮아 지열 보급에 앞서 굴착업에 종사하는 기업의 영업 이익을 보장하지 못할 뿐 아니라 추가적인 기술 개발 투자와 환경 보전 등은 전혀 기대하기 어려운 실정이다.

4.3 굴착 비용의 비교

이상에서 검토한 지하수 개발, 시추 및 지열 굴착에 있어서 m 당 굴착 비용을 종합적으로 비교

해 보았다. 표 4에서 보는 바와 같이, 150~200 mm 구경의 지하수 개발시에는 민간의 비용이 국가의 약 53%에 불과하며 그동안 통상적인 하도급 비율(약 60~70%)에 근접하고 있다. 그러나, 개방형 지열공의 굴착에 소요되는 비용은 민간의 경우 m 당 약 67천원으로서 국가 등 공공기관에서 지하수를 개발하는 경우의 비용의 약 25.2%에 불과하고 민간이 지하수를 개발하는 견적 비용의 약 47.5%에 불과하다. 이와 같은 것은 지하수 개발과 개방형 지열 굴착시의 지하수를 활용하기 위한 굴착과 부대시설 공사는 거의 유사한 공종임에도 불구하고 50% 미만의 가격으로 거래가 되고 있는 실정임을 보여준다.

밀폐형 지열공 굴착은 개방형 지열공 굴착보다 훨씬 저가로 수행되고 있는데, 표에서 보는 바와 같이, 국가에서 지원하는 밀폐형 지열 개발 사업에서 조차도 공공기관에서 발주하는 시추 비용의 12.8%, 지하수 개발 비용의 12.4%에 불과한 실정이다. 이와 같은 공사비는 지하수 개발이 단순한 밀폐형 지열공 굴착 보다 복잡한 공종이 있는 점을 고려하더라도 지나치게 낮은 금액이라 할 수 있다. 민간에서 발주하는 밀폐형 지열공의 경우에는 더욱 낮은 견적으로 굴착 수행되고 있는데, 민간 지하수 개발비의 약 14.1%, 공공기관 지하수 개발비의 약 7.5%에 불과하다.

이와 같은 지나치게 낮은 단가는 지반굴착 분야의 경제활동을 하는 업체의 도산과 어려움을 야기하게 되며, 궁극적으로는 지열 시설의 부실 시공과 불량 자재의 사용 등이 초래될 수 있다. 이는 눈에 보이지 않는 시설물을 지중에 설치함에 있어서 냉매의 누수, 지하수맥의 차단 등 추가적인 환경 피해 가능성과 수 십년 이후 지열공의 사후 처리시 문제 발생 가능성을 갖고 있다.

5. 굴착 비용 설계 제안

5.1 개방형 지열공 굴착

위에서 언급한 바와 같이 개방형 지열공은 지하

<표 4> 지하수 개발 및 지열 굴착 비용의 비교(단위: 천원)

구 분		국가 등 공공기관	민 간	비 고
지하수 개발	총비용	33,200 (125 m)	17,667 (125 m)	
	m 당	266	141	53.0%
시추(NX)	총비용	32,300 (125 m)	-	
	m 당	258	-	
개방형 지열 굴착	총비용	-	27,000 (400 m)	
	m 당	-	67	25.2% (국가지하수) 47.5%(민간지하수)
밀폐형 지열 굴착	총비용	5,000 (150 m)	4,000 (200 m)	
	m 당	331	20	12.8% (국가간 비교:시추) 14.1 (민간간 비교:지하수)

수를 취수하는 시스템이기 때문에 지하수법 등 관련 법에 의한 평가가 선행되어야 한다. 기존의 개방형 지열공은 일반적으로 굴착 심도 150 m 이상의 암반을 대상으로 굴착하므로 환경적인 영향이나 피해에 대한 정확한 평가가 필요하다.

표 5는 국토해양부(2009)에서 제시한 심도 150 m, 구경 200 mm 굴착시의 지하수 표준 개발 비용을 제시한 사례이다. 본 표에서는 지하수 개발을 전제로 설계 기준을 제시하고 있으나, 이는 개방형 지열공에서도 동일하게 굴착에 소요되는 비용으로 간주된다. 본 표에서 보는 바와 같이, 지하수 개발(개방형 지열공 굴착)에 포함되는 공종은 사전 준비 및 전기비저항 탐사, 지반 굴착 및 상부 그라우팅, 대수층 형성, 이용시설 설치 공사, 상부 계기 등 설치 공사, 상부 보호시설, 수질 검사 등으로 구성되는데 지하수 개발에 있어서 가장 기본적인 사항들을 포함하고 있다. 심도 150 m, 구경 200 mm의 제원에 대한 지하수 개발 비용은 m 당 185천원에 해당한다. 국토해양부(2009)에서 제시한 비용은 민간간의 거래시 적용되는 설계 기준을 제시한 것으로서, 현재 민간에서 견적으로 제시하는 비용 자체가 다소 낮은 점을 고려할 때 국토해양부(2009)에서 제시한 지하수 개발비용(개방형 지열공 굴착 비용)은 비교적 적절한 수준으로 보인다.

상기 설계(안)에 포함되지 않은 내역으로는 대용량 시설인 경우에 추가되는 지하수 영향조사, 공내 상태 확인을 위한 검증, 인허가 등 행정 처리 비용, 상부 오염방지 시설, 우물 형성(Well development), 방치공 처리비 계상 등이 있다. 지하수 영향조사는 대용량 지하수 양수에서는 지하수법에 의하여 수행해야하는 항목으로서 약 10,000 천원 이상의 비용이 소요된다. 공내 검증은 최적의 지하수 양수를 위하여 지하의 지층 상태를 확인하는 과정으로서 균열대를 찾아내는 작업이 요구된다. 이는 곧 지하수 양수량을 확보하기 위한 스크린 설치 구간을 결정하는 수단이 된다. 우물 형성은 국내의 경우 거의 이루어지지 않고 있는데, 비교적 장기간의 지속적인 양수 과정을 통하여 향후 실제 관정 양수시와 유사한 조건으로 양수함으로써 관정의 운영 지속성을 담보할 수 있는 방법이다. 즉, 우물 형성을 거치지 않은 관정의 수명이 10년 정도일 경우 우물 형성을 거친 관정은 이보다 훨씬 긴 기간 동안 운영될 수 있도록 하는 과정이다. 방치공 처리비 계상은 일부 공공기관에서 설계에 반영하여 시행하기도 하는데 국내의 경우 거의 반영되지 않고 있는 항목이다. 지하수 개발의 성공률이 약 50%로 알려져 있는 만큼 2개공 굴착시 1개 공의 실패공이 발생할 수 있으며 이는 곧 폐공 대상이 1개 공 발생하였음을 의

<표 5> 암반 지하수 개발(개방형 지열공 굴착) 설계(안)(국토해양부, 2009)

가) 설계내용

항 목	설 계 내 용
용 도	- 생활용수 (비음용)
착정내용	- 굴착심도 150m, 굴착구경 300?200mm, 취수계획량 100m ³ /일 초과
이용시설	- 수중모터펌프 7.5 마력, 설치심도 120m, 토출관 안쪽지름 50mm
특기사항	- DTH공법으로 굴착하여 지하수공 형성 - 공내소독, 내부케이싱은 필요시 별도 계상

나) 산출내역서

항 목	규 격	수 량	단 위	단 가	금 액
합 계					27,718,676
1) 지하수개발공사					20,193,508
가) 준비작업					5,461,013
① 부지선정		1	식	732,995	732,995
② 장비대운반		2	회	200,000	200,000
③ 부지조성 및 장비설치		1	식	237,091	237,091
④ 전기비저항탐사(수평법)		1	측선	3,503,187	3,503,187
⑤ 전기비저항탐사(수직법)		3	점	262,580	787,740
나) 굴착공사 및 오염방지시설					13,426,145
① 토사층 굴착	Ø 300 mm	5	m	116,271	581,355
② 모래층 굴착	Ø 300 mm	5	m	151,970	759,850
③ 풍화암 굴착	Ø 300 mm	4	m	116,271	465,084
④ 연암 굴착	Ø 300 mm	1	m	116,271	116,271
⑤ 연암 굴착	Ø 200 mm	105	m	55,522	5,829,810
⑥ 보통암 굴착	Ø 200 mm	20	m	93,459	1,869,180
⑦ 경암 굴착	Ø 200 mm	10	m	184,348	1,843,480
⑧ 외부케이싱 설치	Ø 200 mm	15	m	99,901	1,498,515
⑨ 그라우팅	300/200	15	m	30,840	462,600
다) 대수층형성					1,306,350
① 에어써징		150	m	8,709	1,306,350
2) 이용시설공사					7,525,168
가) 양수시설					6,164,132
① 수중모터펌프 설치	7.5 마력	1	식	831,262	831,262
② 수중모터펌프	7.5 마력	1	대	2,550,000	2,550,000
③ 토출관 (강관)	Ø 50 mm	150	m	6,653	997,950
④ 토출관 이음매 (플랜지)	Ø 50 mm	50	개	9,606	480,300
④ 수위측정관 (PE관)	Ø 25 mm	150	m	1,380	207,000
⑤ 수중전선	3상, 6 mm ²	180	m	2,700	486,000
⑥ 수위조절선	3상, 2.5 mm ²	180	m	1,658	298,440
⑦ 수위감지봉		3	개	2,000	6,000
⑧ 절연테이프		5	개	1,530	7,650
⑨ 케이블타이		2	봉	3,000	6,000
⑩ 잡자재	재료비의 5%	1	식		293,530
나) 상부시설					792,487
① 유량계	Ø 50 mm	1	개	223,600	223,600
② 출수장치	Ø 50 mm	1	개	15,000	15,000
③ 압력계	Ø 50 mm	1	개	4,000	4,000
④ 역지변	Ø 50 mm	1	개	29,820	29,820
⑤ 제수변	Ø 50 mm	1	개	27,330	27,330
⑥ 케이싱 덮개		1	개	85,000	85,000
⑦ 고정밴드		1	개	20,000	20,000
⑧ 수중모터펌프 제어판		1	개	350,000	350,000
⑨ 잡재료	재료비의 5%	1	식	37,737	37,737
다) 상부보호시설					370,000
① 상부보호공	일반식	1	개	350,000	350,000
② 지하수이용시설 안내문		1	개	20,000	20,000
라) 부대조사 및 시험1)					198,549
① 수질검사	생활용수	1	회	198,549	198,549

주) 양수시험은 지하수영향조사시 대수성 시험으로 실시

미한다. 폐공에 소요되는 비용이 공당 약 100~300만원에 이르는 등 적지 않은 비용이므로 개방형 지열공의 굴착시에는 50% 성공을 고려한 폐공 비용을 반영하는 것이 필요하다.

국토해양부에서 제시한 개방형 지열공(지하수 개발)의 굴착 비용과 상기 본인이 제안하는 추가적인 비용(영향조사: 10,000천원, 검증: 5,000천원, 우물형성: 5,000천원, 방치공 복구비: 2,000천원, 상부 오염방지시설 설치: 3,000천원) 등을 고려할 때, m당 지열공 굴착비는 최대 351천원이 될 수 있다. 이는 국가 및 공공기관에서의 설계 금액(266천원)보다 많은데 이는 국가 및 공공기관에서도 반영되어 있지 않은 설계 항목인 검증, 우물 형성, 방치공 복구비 등이 추가로 포함되어 있기 때문이며, 이와 같은 항목들이 필요시 설계에 반영되어야 개방형 지열공이 수 십 년 이상 사용될 수 있는 안정적 환경이 유지될 수 있을 것이다.

5.2 밀폐형 지열공 굴착

국토해양부(2009)에서는 민간간의 거래시의 밀폐형 지열공의 굴착시의 설계 기준(안)을 제시하고 있다(표 6). 굴착심도 150 m, 굴착구경 150 mm로 굴착할 경우의 설계(안)을 제시하고 있는데, 지열공 굴착을 위한 사전 정비 작업, 지열공 굴착, 지열공의 상부 오염방지시설, 공내 청소 등이 반영되어 있으며, 제시하는 공사비는 m 당 79천원 정도 해당된다. 이 금액은 100만호 그린홈 사업시 민간에서 견적하는 m당 금액인 33천원의 2배 이상으로서, 그동안 100만호 그린홈 사업에서의 견적조차도 지나치게 낮은 금액으로 반영되어 있음을 보여준다. 이와 같이 민간 견적에서의 m 당 79천원은 국가 및 공공기관 설계서의 지하수개발 및 NX 시추시의 m당 금액인 266천원 및 258천원의 약 30% 수준에 불과하다.

지열 공중 편에서 언급한 바와 같이, 밀폐형 지열공의 경우 1개 건물에서 수십공 이상의 굴착이 이루어지는 만큼 굴착의 개수를 줄이기 위한 노

력이 필요하며 주변에 미치는 영향에 대한 검토가 수반되어야 한다. 이를 위하여 굴착이 진행된 이후에는 반드시 수압시험 또는 구간별 양수시험 등을 통하여 지층의 수직적인 수리성의 분포를 파악하는 것이 필요하며, 아울러 지질 검층을 통하여 지열 효율성을 제고하기 위한 최적 설계가 검토될 필요가 있다. 또한, 주변 지역에 미치는 영향 및 최적 설계를 위해서는 선진화된 기술 도입이 적용되어야 한다. 즉, 굴착과정에서 얻어진 현장 정보를 바탕으로 수치 모델링을 실시하여 최적의 효율 평가 및 열량 산정이 이루어져야 한다. 이는 곧 지열공의 효율을 극대화하고 지속성을 보장하는 방안이 될 수 있으며, 무분별하게 매우 많은 시추공이 굴착되는 것을 방지하기 위한 수단이 된다. 현재 밀폐형 지열공은 공당 열량을 기준으로 획일적으로 설계가 이루어지고 있는데 이에 대한 제도적 보완이 필요하다.

표 6에서 제시된 밀폐형 지열공 굴착 비용에 추가하여 현장 수압시험(양수시험), 지질검층, 수치 모델링 등을 추가로 포함할 경우에는 약 20,000천원이 필요한 것으로 파악되며 이 때 m 당 단가는 약 133천원이 된다(표 7). 이는 지하수개발 및 NX 시추시의 m당 금액인 266천원 및 258천원의 약 50% 수준으로서, 대형 공사의 하도급 또는 재하도급의 지반 굴착비 수준은 유지하는 정도가 된다.

위에서 민간간의 거래시의 개략적인 개방형 지열공 굴착 비용과 밀폐형 지열공 굴착 비용에 대하여 검토, 제시하였으나, 업체간 경쟁체제하에서는 견적 기준이 무의미하기도 한다. 현재 민간에서의 지열공 굴착 비용인 m 당 20~30천원은 장비를 보유한 업체의 일당 확보 수준에 머무르는 비용이라 할 수 있으며, 기술의 저하 및 부실 시공을 초래하는 악영향을 가져올 수 있다. 현재 천부 지열 개발 사업이 확대된 지 채 10년에 불과한 점을 고려할 때 최적의 조사 설계가 없는 수 많은 지열공의 무분별한 개발은 머지않아 환경적 문제를 야기할 가능성이 높으며, 지금부터라도 체계적이

<표 6> 밀폐형 지열공 굴착 설계(안)(국토해양부, 2009)

가. 설계내용

항 목	설 계 내 용
용 도	지열지하수공
착정내용	굴착심도 150m, 굴착구경 150mm, 취수계획량 없음
이용시설	없음
특기사항	- 밀폐형 지하수공에 적용 ? 개방형은 암반층 대형 지하수공 설계내역을 참조 - 지열설비 및 이용시설 설치는 별도계상 - 지표지질조사 실시

나. 산출내역서

항 목	규 격	수량	단위	단 가	금 액
합 계					11,968,966
1) 지하수개발공사					11,968,966
가) 준비작업					1,370,086
① 문헌조사 및 지표지질조사		1	식	732,995	732,995
② 장비대운반		2	회	200,000	400,000
③ 부지조성 및 장비설치		1	식	237,091	237,091
나) 굴착공사 및 오염방지시설					9,292,530
① 토사층 굴착	Ø 250mm	5	m	81,112	405,560
② 모래층 굴착	Ø 250mm	5	m	107,752	538,760
⑤ 풍화암 굴착	Ø 250mm	4	m	81,112	324,448
⑥ 연암 굴착	Ø250mm	1	m	81,112	81,112
⑦ 연암 굴착	Ø150mm	125	m	41,333	5,166,625
⑧ 보통암 굴착	Ø150mm	5	m	82,258	411,290
⑨ 경암 굴착	Ø150mm	5	m	124,416	622,080
⑩ 외부케이싱 설치	Ø150mm	15	m	87,337	1,310,055
⑪ 그라우팅	250/150	15	m	28,840	432,600
다) 대수층형성					1,306,350
① 공내청소	에어써징	150	m	8.709	1,306.350

고 과학적인 접근을 통하여 선진화된 시스템을 적용하여야 한다.

5.3 국가 및 공공기관의 지열공 굴착 설계 방향

국가에서 시행하거나 지원해주는 지열 개발 사

업에서는 최소한 충분한 조사 및 시공 비용이 설계에 반영될 수 있도록 추진되어야 한다. 국가에서 대체에너지의 확대 보급 사업을 적극 추진하는 점과 지열의 경제성이 타 대체에너지에 비하여 높은 점을 고려할 때 적절한 시공 단가가 반영되어야 함은 당연하다. 낮은 굴착비로 인한 사회

<표 7> 민간 거래시 밀폐형 지열공 굴착 설계(안) 제시(150m, 150mm)

공 종	내 용	금액(천원)
1.준비 및 사전조사	-부지선정 및 협의 -지질조사	1,370
2.굴착 및 오염방지 시설	-관정 굴착 및 공내 자재 설치 -상부 오염방지 시설	9,293
3.공내 청소	-공내 에어써징	1,306
4.현장 실험	-수압시험 또는 양수시험	3,000
5.수치 모델링 평가	-수치 모델링 평가	5,000
총 계		19,969

경제적 문제점은 분명해 보인다. RT당 천공 개수를 지하 지층의 특성을 고려하지 않고 획일적으로 시공하고 있는 것이 현실이며, 이와 같은 현상은 불필요한 천공을 야기하거나 효율을 저하시키고 시설의 수명을 단축시키는 요인이 된다. 천공 과정에서는 1개 지역에서 수 십 공씩 천공함으로써 천공 이후 상부를 자연상태에 노출시켜 빗물의 유입, 지표 오염물질의 유입 등이 발생하기도 하며 이는 오염물질이 지하 깊은 곳으로 빠르게 이동하도록 하여 지하수를 오염시키는 역할을 하기도 한다. 저비용으로 굴착 시공된 지열공은 내부 자재의 연결부 또는 저가 자재의 사용 등으로 인한 부식 등으로 내부의 열교환 유체가 누출될 가능성도 배제할 수 없다. 지중열교환기와 지층과의 열교환을 용이하게 하고 지상오염물질이 공내로 유입되는 것을 차단하는 그라우팅 시공이 매우 중요한데, 저가의 굴착비는 그라우팅의 완벽한 시공을 어렵게 하며 지열공 주변에 공간이 생기거나 지층내 대규모 균열대를 완전하게 밀폐함으로써 지하수의 원활한 흐름을 차단하는 등 주변 지하수 수문 환경에 악영향을 초래할 수 있다. 또한, 낮은 시공비는 그라우팅에 소요되는 시간과 인력에 제약을 가져와 부실시공의 요인이 된다. 아직까지 지열 시스템이 사용 완료되어 사용 종료된 경우는 거의 없지만, 종료된 지열공에 대한 과학적이고 친환경적인 처리 방안에 대한 연구도

필요한 시점이다.

개방형 지열공 굴착에서 낮은 조사 및 시공 비용은 적정 지하수 취수량 평가에 악영향을 미친다. 일반적으로 개방형 지열 시스템은 지하수를 양수하여 하천 등으로 방류하거나 재주입 하는 방식으로 이루어지는데 동일 규모의 시설에서 보다 안정적인 지하수열 획득이 가능함에도 불구하고 과학적인 평가 없이 일반적인 기준에 의하여 지하수 취수량을 결정하는 방법은 지하수위 강하를 가져오는 원인이 된다.

지열 사업은 2008년 8월부터 정부의 100만호 그린홈 사업과 농어업에너지이용 효율화 사업 등 국가적 차원에서 지원이 강화되면서 사업이 급격히 증가되고 있다. 이에 따라 지열공의 설치 개수가 꾸준히 증가되고 있는 실정이다. 이진용(2012)에 의하면, 2011년 지열공은 약 965개소로서 최근 들어 급격한 증가세를 보이고 있다. 지열공의 심도별 분포 비율을 토대로 개략적인 굴착공 현황을 파악하면 다음과 같다. 표에서 보는 바와 같이, 지점당 천공 개수는 10공 미만이 15.2%, 10~30공이 21.2%, 30~50공이 21.2%, 50~70공이 9.1%, 70공 초과는 33.3%로 분석된 바 있다(이진용, 2012). 총 965개 지역을 대상으로 이들 공수의 분포를 비율별로 분배하면, 10공 미만이 147개소, 10~30공이 205개소, 30~50공이 205개소, 50~70공이 88개소, 70공 초과는

321개소로 나타나며 공 수의 중간값 근거로 전체 공수를 계산하면 총 44,718공 이상이 굴착되어 있음을 예상할 수 있다. 이와 같은 수치는 지하수 조사연보에서 파악되고 있는 지하수 개발 공수 총 1,300천공의 약 3.4%에 해당된다. 한편, 2011년에 추가로 설치된 지열 시설은 약 270개소로서 심도별 동일한 비율을 적용하여 굴착공을 추정해 보면 약 12,511공으로서 2011년의 전국의 지하수 개발 공수 약 29,000공의 40% 이상을 차지하고 있다. 아울러 굴착 심도를 고려한다면, 지하수 개발은 일반적으로 약 50~100 m 이나 지열공은 수백 m 이상 굴착하여 환경 문제에 대한 영향이 훨씬 클 것을 짐작하게 한다.

현재 지하수 개발은 지하수법 및 관련 지침 등에 의하여 매년 지하수 공의 신고 허가를 득하도록 법제화하여 관리되고 있으며, 시설이나 수질 등에 대한 철저한 규정을 준수하도록 제도화하고 있다. 그러나, 최근 1년에 굴착되는 지열공의 개수가 신규 관정의 거의 절반에 해당함에도 세부 조사 요령, 합리적인 설계 기준, 적정한 시공비 등이 현실화되어 있지 않고 과거보다 훨씬 낮은 수준의 단가가 적용된다는 점은 경제적, 환경적으로 큰 문제가 아닐 수 없다. 지질조사 및 굴착에 대한 설계 기준은 1970년대에 마련된 지질표준품셈, 한국농어촌공사의 자체 품셈, 한국수자원공사의 자체 품셈, 원자력연구소 등의 품셈, 정부의 건설공사 표준품셈 등 공공기관별로 나름대로의 품셈을 갖

고 지난 수십년간 운영해 왔다. 지열공에 대한 굴착도 기존의 지질조사 및 굴착에 대한 품셈과 공종이 유사하고 동일 업종에서 수행한다는 점을 고려할 때 지열공의 굴착 설계 기준은 이들을 준하여 따라야 할 것이다.

2011년에는 중소기업청에서 업체의 의견을 수렴하여 시추 등 굴착업무에 대해서는 공공기관에서 대기업 설계에 포함되지 않고 중소기업간 경쟁을 위한 분리발주 개념을 적용하도록 유도한 바 있다. 이는 곧 중소기업의 경영난에 어려움을 겪고 있음을 의미하며 하도급에 재하도급 등으로 인한 공사비의 감액이 당초 설계에 비하여 20~40% 수준에 불과함을 단적으로 설명해 주는 것이다. 이와 같은 공사비 감액은 곧 현장 시공 불량을 초래하여 미래의 문제점을 야기하는 잠재 요인으로 상존하게 된다.

또한, 2011년 6월에 중소기업청에서는 “지질조사 및 탐사업” 분야 기업의 어려움을 해소하고자 “중소기업자간 경쟁제도를 통한 공공구매제도 이행” 요청 공문을 시행한 바 있다. 본 공문에 의하면, 중소기업의 판로 증대를 위하여 “중소기업제품 구매 촉진 및 판로지원에 관한 법률”에 의거하여 대기업의 참여를 차단하고 중소기업체간의 경쟁에 의한 구매 제품을 “중소기업자간 경쟁 제품”으로 정하고 이 경우에는 최저 낙찰제를 배제하고 낙찰하한율 85%를 준수하도록 법제화되어 있다. 이 중소기업자간 경쟁 제품에 “지질조사 및

<표 8> 지열 개발을 위한 굴착 공 현황 (이진용, 2012)

구분	지점당 지열공수	10공 미만	10~30공	30~50공	50~70공	70공 이상	계
전체	비율	15.2	21.2	21.2	9.1	33.3	-
	지열 시설수	147	205	205	88	321	965
	지열공수	1,467	4,091	8,183	5,269	25,707	44,718
2011년	비율	15.2	21.2	21.2	9.1	33.3	-
	지열 시설수 (추정)	41	57	57	25	90	270
	지열공수	410	1,145	2,289	1,474	7,193	12,511

탐사업”을 포함함으로써 설계에 포함된 일괄 발주를 금지하는 공문을 시행한 바 있다. 지열 분야의 지열공 굴착은 “지질조사 및 탐사업”의 업역에 해당하는 것으로 판단되므로 지열공 굴착에 대한 중소기업간 경쟁이 이루어지도록 관련 규정을 준수할 필요가 있겠다.

6. 결론

국내의 경우 밀폐형은 120~150m, 개방형은 400~500m의 심도로 시공되고 있어 용수원으로 개발되는 지하수 굴착에 비하여 깊은 심도를 갖는 특징이 있다. 깊어지는 지열 굴착 심도에 의한 기존 지하수 이용에 미치는 영향을 최소화 하기 위해서는 지열공의 조사 설계가 철저히 이루어져야 하며 지하수에 미치는 영향에 대한 평가가 수행되어야 하고 이를 위해서는 합리적인 가격에 의한 시공이 정착될 필요가 있다.

지열공 굴착 비용이 국가 및 공공기관의 유사 업무의 설계 비용에 비하여 지나치게 낮고 민간의 경우 m 당 2~3만원 수준으로 머물고 있다는 것은 머지 않은 장래에 지열 에너지 보급사업의 부실 시공이 한계를 드러낼 가능성이 있다. 지금부

터라도 보다 과학적이고 합리적인 접근을 통하여 지속 개발 가능한 지열에너지 보급 사업으로 정착되길 기대해 본다.

참고 자료

1. 구민호, 송윤호, 이준학 (2006) 국내 지면온도의 시공간적 변화 분석, 자원환경지질, 39, 255-268.
2. 국토해양부, 한국수자원공사 (2009) 지하수 개발 이용시설 공사 설계 실무요령.
3. 심병완, 송윤호, 김형찬, 조병욱, 박덕원, 임도형, 이영민 (2005) 지중 열교환기 성능 분석을 위한 지반 열물성 조사, 한국신재생에너지학회 제17회 워크샵 및 추계학술대회, 587-590.
4. 이영민 (2007) 우리나라 지질 조건에 적합한 지중열 교환기 설계/시공 지침서 시안 개발, 한국지질자원연구원.
5. 이진용 (2012) 우리나라 지열시스템 이용현황 업데이트(2008-2011), 지질학회지, 48(2), 193-199.
6. 한국수자원공사 (2008) 지하 열자원 부존 활용 정보시스템 구축, 지식경제부.