

R&D/10
기술혁신
신C03

건설기술
혁신

(별권1)

수변지하수 활용 고도화 기술 기획 보고서

2011

국토해양부
한국건설교통기술평가원

Land Transport and Maritime R&D Report

건설기술혁신사업

R&D/10기술혁신C03

[건설기술혁신] (별권1) 수변지하수 활용 고도화 기술 기획보고서

2011. 6. 22.

주관연구기관 / (주)넥스지오
공동연구기관 / K-water연구원
서울대학교
(주)팬아시아워터

국토해양부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부 장관 귀하

이 보고서를 “첨단 수자원 관리 기술 기획 - 국가 지하수자원 활용
고도화 기술 기획에 관한 연구”과제의 보고서로 제출합니다.

2011. 6.

주관연구기관명 : (주)넥스지오

주관연구책임자 : 윤 운 상

연구원 : 전 재 수

” : 김 영 식

” : 이 태 열

공동연구기관명 : K-water연구원

공동연구책임자 : 김 규 범

공동연구기관명 : 서울대학교

공동연구책임자 : 이 강 근

공동연구기관명 : (주)팬아시아워터

공동연구책임자 : 정 재 훈

목 차

1장. 기술의 정의 및 필요성	1
1절. 기술의 정의	1
2절. 필요성	3
2장. 국내외 동향 및 환경분석	3
1절. 국내외 정책동향	6
2절. 국내외 시장현황 및 전망	2
3절. 기술동향분석	3
4절. 연구개발 인프라 분석	6
5절. 종합분석	4
3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략	74
1절. 비전 및 목표	4
2절. 기술개발에 따른 미래상	8
3절. 연구개발과제 구성	4
4절. 세부과제별 주요내용 및 추진전략	05
1. 총괄과제 개요	5
가. 연구개발 목표	
나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성	
다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안	
라. 연구개발 주요내용	
마. 연구개발과제 TRM	
바. 최종성과물 및 성과지표	
사. 성과물 검증방안	
아. 기술수요처 및 실용화 방안	
2. 1세부과제 개요	4
가. 연구개발 목표	
나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성	
다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안	

라. 연구개발 주요내용	
마. 연구개발과제 TRM	
바. 최종성과물 및 성과지표	
사. 성과물 검증방안	
아. 기술수요처 및 실용화 방안	
3. 2세부과제 개요	9
가. 연구개발 목표	
나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성	
다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안	
라. 연구개발 주요내용	
마. 연구개발과제 TRM	
바. 최종성과물 및 성과지표	
사. 성과물 검증방안	
아. 기술수요처 및 실용화 방안	
4. 3세부과제 개요	6
가. 연구개발 목표	
나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성	
다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안	
라. 연구개발 주요내용	
마. 연구개발과제 TRM	
바. 최종성과물 및 성과지표	
사. 성과물 검증방안	
아. 기술수요처 및 실용화 방안	
5. 4세부과제 개요	2
가. 연구개발 목표	
나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성	
다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안	
라. 연구개발 주요내용	
마. 연구개발과제 TRM	
바. 최종성과물 및 성과지표	
사. 성과물 검증방안	
아. 기술수요처 및 실용화 방안	
5절. 세부과제간 연계관계	8
6절. 연구추진체계 제안	8

4장. 사전타당성 검토	8
1절. 정책적 타당성	8
2절. 기술적 타당성	9
3절. 경제적 타당성	9
5장. 인력투입 계획 및 소요예산 산정	18
1절. 연구일정에 따른 인력투입계획	18
2절. 소요예산 산정	126

제 1 장 기술의 정의 및 필요성

제 1 절 기술의 정의

○ 본 기획 연구에서 중점 추진 기술들은 다음과 같이 정의하였다.

연 번	중점 추진 기술	정 의
1	지하수 허가기준량 평가 기술	지하수 관측지점과 자료의 상관특성 분석을 통한 지하수 허가기준량을 평가하고 기준 정립을 위한 기술
2	국가 지하수자원의 경제적 활용가치 평가	국가 지하수정보의 경제적 효과를 평가하고, 이를 통한 수변지하수 고도화 연구의 경제적 활용가치 평가
3	지하수 활용가치 극대화 및 기반 기술	수변지역 지하수의 활용가치 극대화에 필요한 지하수 정책 연계성 기반 기술 구축
4	지하수 활용 홍수취약성 평가 기술	지하수위 변동 특성 평가를 통한 지하수 홍수 정보 분석 및 지하수 홍수 취약성 평가 기술
5	관정 내장형 원격제어 지하수 계측 기술	광학센서를 활용한 다항목 계측 기술을 통한 관정 내장형 원격제어 시스템 개발에 필요한 기술
6	SMART 기법을 활용한 지하수 관리 기술	AR 및 위치기반 기술을 활용한 지하수 관리 시스템 개발을 통하여 두 시스템의 연동 기술을 통한 관리 기술
8	수변 충적층 지하수위 복원 기술	중소하천 주변의 지하수위 강하로 인한 하천고갈 등 물순환 장애를 복원하기 위한 함양 설비 기술
9	수변 지하수 환경특성 평가 및 지하수위 복원 요소기술	수변 시설재배지역 수문지질 인자 분석을 통한 지하수-지표수 상호 교환량을 평가하고, 지하수 재순환 시설재배 시스템을 개발을 통한 수변지 인공함양 기술
10	수변 지하수위 복원 시스템 구축 기술	시설재배지 빗물 인공함양 시스템 구축 및 지하수 재순환 시설재배 시스템 구축을 통한 수변 시설재배지역 지하수위 복원 통합 시스템 구축 기술
11	인공함양 최적화 프로그램 개발 및 인공함양 영향 예측 기술	수변 시설재배지역의 지하수 유동 및 용질 이동 모의를 통한 인공함양용 관정 배치 최적화 프로그램을 개발하고, 이를 통한 지하수위 복원 인공함양 영향을 장기간 예측 평가하는 기술
12	지하수 계측기반 지하수-지표수 연계 해석 및 인공함양 평가 기술	수변 시설재배지 내 계측자료를 기반으로 한 지하수-지표수 연계 물수지 분석을 통한 인공함양 효과를 평가하는 기술
13	수변지하수 대용량 간접취수 시공기술	하천변 지하수위 강하 방지 및 지속가능한 지하수개발을 위한 수변지 우물 최적화 및 시공 기술 개발

연 번	중점 추진 기술	정 의
14	대용량 취수시설 시공 선진화 기술	수직 우물통에 대한 잠함공법 시공 및 관측 기술 및 수 평정 굴착 시공 및 관측을 통한 공법 개발을 위한 기술
15	수변 지하수 개발 시 조사 설계 신기술 개발 및 표준화 기술	국내 강변여과 조사 시 시료 채취 기술 및 in situ 테스 트 기술 개발 및 국내 실정에 맞는 강변여과수 조사 설 계 표준화를 위한 기술
16	정밀 모델링을 활용한 설계 시공 최적화 평가 기술	현장 자료 기반의 지하수 유동 및 수질 환경 특성화를 통한 수위-수질을 고려한 집수정 시공 모델링을 통한 신공법 효율 평가를 위한 기술
17	간접취수 현장 철망간 처리 기술	현장 규모의 실증 시험을 통한 시스템 구축 및 현장 시 험을 통한 철망간 처리 지침 및 설계 기준을 위한 기술
18	수변지역 지질-지하수 융합에너지 활용 기술	수변지역 충적층 내 지하수 열자원 활용 및 관리 고도 화를 위한 광역적 평가 등에 관한 기반 기술
19	수변 지하수열 추출 최적화 및 지열 영향 저감 사후관리 기술	충적층 지하수열원 활용 시스템의 대수층 열물질 순환 모니터링을 통해 시스템 구조, 운영 방식을 최적화하고, 장/단기 효율 및 환경영향을 진단, 예측하는 기술
20	수변 충적층 지하수열 활용·저장 시스템 개발 기술	충적층 지하수열 활용·저장 실증 시스템 구축을 통해 충적층 지하수열 활용·저장 시스템 설계 및 설비 기 술, 진단 및 제어, 모니터링 기술, 운영 및 성능 평가를 위한 기술
21	수변 충적층 지하수열 활용·저장 시스템 지상설비 최적화 기술	충적층 지하수열을 활용 친환경, 고효율의 지상설비 실 증 시스템을 구축하여 최적 설계 및 운영방식을 개발하 여 지하수열원 냉난방 시스템 설계 시공 및 운영 기준 에 관한 표준안을 도출하기 위한 기술
22	수변 충적층 지하수열 활용·저장 시스템 최적지 분석 기술	수변지역 충적층 지열 부존량 분포도 작성 및 분석을 통한 향후 개발 최적지 및 효율적 활용 방안 제시를 위 한 기술

제 2 절 필요성

1. 녹색성장 패러다임에 적합한 지하수자원 개발 필요

- 기후변화라는 이슈는 수자원의 개발과 정책방향에 변화를 가져왔으며, 이에 따른 저탄소 녹색성장, 신재생에너지 기술 개발을 위해 전 세계 주요국가(미국, 일본 등)에서 연구개발이 활발히 진행 중에 있다. 국내에서 발생한 기후변화의 특징은 국지성 집중호우와 무강우 일수의 증가가 대표적이며, 이에 따른 갈수기 수자원 확보를 위해 지하수 개발의 필요성이 증대되고 있다. 1993년 지하수법 제정 이후 지하수의 효율적 이용 증대를 위한 노력이 지속적으로 이루어지고 있으나, 아직은 기후변화에 능동적으로 대처할 수 있는 지하수자원의 역할이 미흡한 실정이다. 따라서 기후변화와 녹색성장의 패러다임에 맞는 지하수자원의 개발, 이용과 관리에 대한 연구개발이 필요한 실정이다.
- 최근 연구자료에 의하면 한반도의 기후변화로 한강수계는 강수량이 증가하나 금강수계는 유지 또는 소폭 감소, 영산강-섬진강 및 낙동강수계는 상당량의 감소로 인한 물 부족이 심화되는 등 지역적 편차가 증가할 것으로 예상하고 있다. 기후변화 시나리오에 따른 금강수계 지하수 변동 예측 한국지질자원연구원의 연구결과에 의하면, 2100년경에 강수량과 함양량은 소폭 감소하고 지하수위도 하강하는 것으로 나타나 미래 지하수자원의 부족이 현실화되고 있음을 알 수 있다. 따라서 이러한 기후변화에 대응하기 위한 지하수 취약성 평가 등 기술개발이 필요한 시점이다.

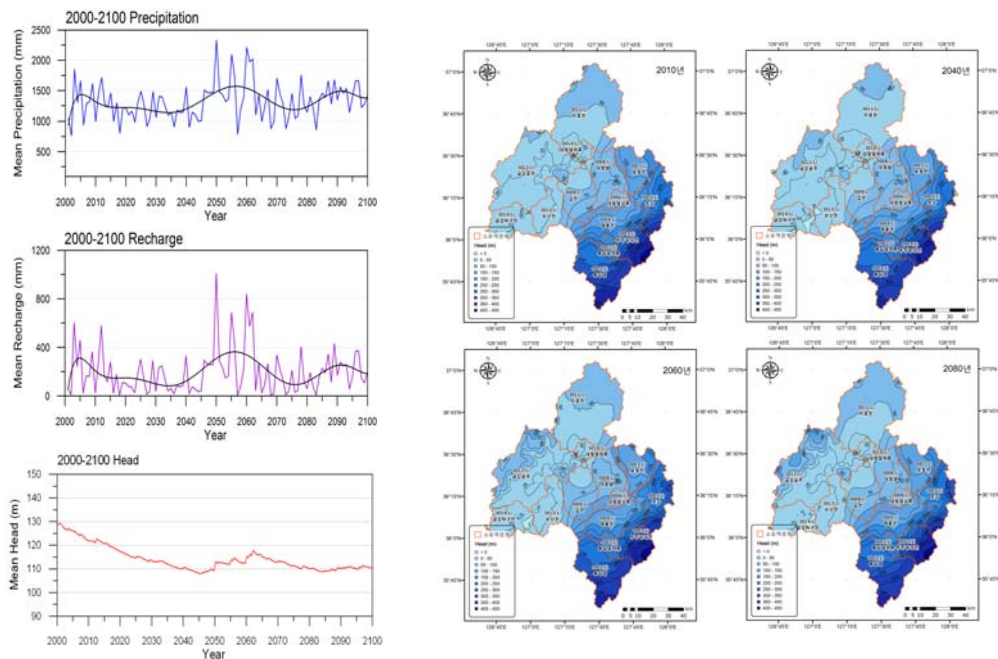


그림 1.1 기후변화에 따른 금강수계의 강수량, 함양량, 지하수위 감소 예측 모사 결과

- 지난 수십 년간 하천 주변 농경지에는 비닐하우스와 같은 불투수성 시설물의 점유 면적이 늘어나면서 지하수의 함양량 자체가 매우 감소되었으며, 도시지역에서는 콘크리트와 아스팔트로 대표되는 불투수성 포장재의 면적이 크게 증가하여 대수층으로 지하수 함양을 막고 있는 실정이다. 이러한 지하수 함양량 감소는 지하수의 수위를 하강시키고, 홍수기 직접 유출을 증가시켜 하천유량 감소의 주요소로 작용한다. 따라서 하천고갈을 방지하기 위해 첨단 IT기술을 접목한 수변지역 지하수 모니터링 및 이용·관리 정책의 수립을 통한 효율적인 지하수 이용량 설정이 필수적이다.
- 국내의 경우 지하수 이용량은 해마다 증가해 오다가 2000년 중반 들어 지하수 활용에 대한 인식이 높아지면서 무분별한 개발과 지하수오염을 방지하기 위해 신규개발이 일정 수준에 머무르고 있다. 그러나 지표수의 직접취수 단점을 보완하기 위해 고안된 간접취수 방안이 수변지역을 중심으로 개발이 활성화 되고 있으며, 정부의 4대강살리기사업 이후에는 간접취수원의 개발이 더욱 더 가속화 될 전망이어서 향후 수변지역 지하수 이용량은 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 과거 간접취수에 관한 기초적인 연구는 많이 수행되었으나, 연구 결과를 현장에 반영하기에는 아직 역부족이다. 따라서 현장중심의 연구개발을 통해 보다 실용적이고, 고도화 된 기술개발을 필요로 하고 있다.
- 지구 온난화의 가속화를 방지하기 위한 세계의 학문적, 기술적 트렌드는 저탄소 신재생에너지 기술이다. 지하수분야에서도 이를 적용하는 연구가 활발하며, 대표적인 것이 지열에너지 활용이다. 지하수를 활용한 지열에너지 개발의 효율성을 극대화하기 위해서는 적절한 수온과 개발량이 뒷받침 되어야 한다. 이런 관점에서 볼 때, 수변지역의 지하수는 지열에너지원으로 그 활용 가치가 매우 높다. 수변지역에서의 간접취수원 개발과 더불어 지열에너지원으로 활용하는 방안은 지질과 지하수의 특성을 동시에 고려한 융합기술 개발을 필요로 하고 있다.
- 상기와 같이 기후변화, 녹색성장의 패러다임에 적합한 수변지역 지하수자원의 개발, 이용에 관한 고도화 기술 개발을 위해서는 관련분야의 기술개발의 동향 및 환경분석, 기술개발전략 수립, 연구개발과제와 범위 설정, 연구개발 타당성 조사 등의 기획연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다. 그러나 교육과학기술부 등 다른 정부부처에 비하여 국토해양부의 지질·지하수 분야의 R&D 투자는 매우 빈약하였으며, 기본계획의 예산책정마저 줄어들고 있는 실정이다.

2. 지하수자원 활용 고도화 기술 개발 필요

가. 현장중심의 연구개발 필요

- 과거 21세기 프론티어연구개발사업에서는 강변여과, 지하댐, 인공함양, 간이상수도 등과 관련된 분야별 기술들이 개발되었으나, 지하수 유역 개념의 통합 이용 관리 기술은 다루지 못하였다. 또한 현재 직면하고 있는 기후변화와 하천 고갈 및 지하수위 강하 등을 해결하기 위한 관련 기술은 일부 개발되었으나, 구체적인 실증을 위한 현장 적용 연구는 선진국에 비해 매우 미흡한 수준이다.
- 지표수-지하수의 연계 평가 기술 분야는 1990년대 이후 선진국에서 집중 연구되어 최근에는 통합수자원 관리 모델의 근간이 되고 있으나, 국내에서는 2000년대 이후 일부 관련 모델링 기술들이 개발되었다. 현재 지표수-지하수 통합해석 모형인 HydroGeosphere나 SWAT-K와 같은 기술 플랫폼이 개발되어 있으나, 현장 적용성 측면에서 많은 단점이 있으며, 실제 소유역과 같은 현장에서 지하수의 이용관리 유형을 고려한 통합 관리 기법을 적용한 사례는 미흡한 실정이다.
- 지하수 관리의 기본이 되는 전국 단위 지하수 함양량과 개발가능량 평가에 있어서 유역 물수지와 지하수위 변동을 고려한 산정기법이 개발되어 있으나, 전국 단위로 확대 적용하는 연구는 미흡한 실정이어서 지하수관리를 위한 기본 수문량의 정확한 산정 방법에 대한 연구가 필요하다.
- 국내에서의 수자원 수문 환경의 변화는 4대강살리기사업을 통하여 발생될 것으로 예상되는 만큼 보다 효율적이고 체계적인 지하수 개발 이용 및 보전관리가 필요하다. 이를 위해서는 지하수 개발 방식의 전환, 내륙에서의 인공함양 기법 개발 등과 같은 수변지역 지하수 관리시스템의 개선이 필요하나, 이에 대한 연구 사례가 전무한 실정이다.

나. 수변지역 지하수모니터링 기술 개발 필요

- 강수는 산, 평지 등에서 지하로 함양된 후 하천으로 배출되는 일련의 수문 과정을 거쳐 바다로 나가게 된다. 따라서 지하수의 고갈은 하천 유량에 영향을 주고 반대로 하천의 고갈은 지하수위의 저하를 초래하게 된다. 즉, 지하수와 지표수는 서로 연결된 단일 자원인 것이다. 따라서 4대강살리기사업 시행으로 인한 하천의 영향은 주변 지하수에 직·간접적인 영향을 장·단기적으로 미칠 수 있으며, 이에 대한 지속적인 모니터링을 통해 하천수와 지하수 사이의 수량 및 수질 변동의 상호작용을 파악할 필요가 있다.

- 하천 주변지역은 예로부터 농경지가 발달되어 논농사가 주를 이루었으나 최근 비닐하우스로 대표되는 시설농사가 많이 보급되어 대부분의 농경지는 비닐하우스로 덮여있는 실정이다. 농경지의 비닐하우스는 강수 시 침투를 차단하는 요소로, 비닐하우스 사이의 고랑과 수로를 거쳐 직접 하천으로 유출되어 지하수 함양이 거의 발생하지 않는다. 또한 각 비닐하우스에는 소구경의 지하수 우물이 설치되어 있어 지하수 취수 시 수위 강하를 가속화시키는 역할을 하게 된다. 결국 강수에 의한 함양을 저해하고, 농업용수의 과다 양수로 궁극적으로는 하천고갈을 초래하여 건강한 물 순환을 방해하는 주요한 요소이다.

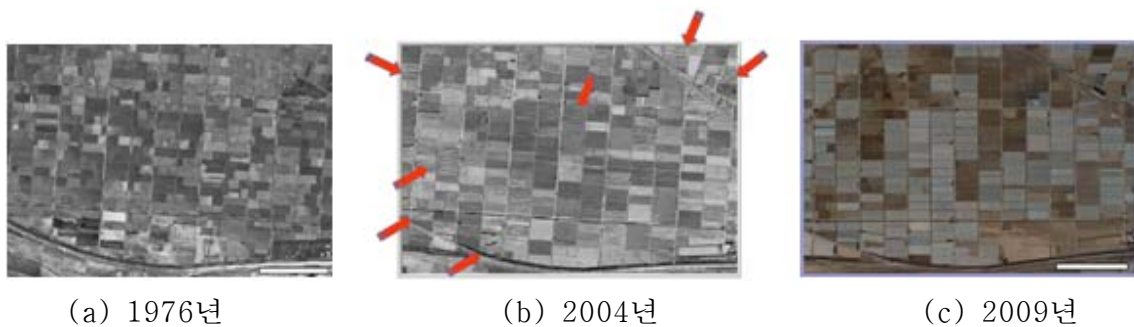


그림 1.2 경상북도 고령군 지역의 비닐하우스 면적 변화

- 국내 지하수 관측망으로는 국토해양부의 국가지하수관측망(327개소)과 환경부의 지하수수질측정망(2,021개소)과 먹는샘물관측망(72개소), 농림수산식품부의 해수침투관측망(97개소)과 농촌지하수관리관측망(60개소), 지자체의 보조지하수관측망(882개소) 등이 있다. 2009년 국토해양부 주관으로 ‘지하수 전담반’을 설치하여 각 기관에서 생성된 자료를 공동으로 이용할 수 있도록 표준화에 대한 연구를 하고 있으나 자료들을 어떻게 활용할 것인가에 대한 연구와 분석은 거의 이루어지지 않은 실정이다. 따라서 이에 대한 인식의 변화, 정책의 전환 및 관련 전문인력의 양성과 예산 투자를 통한 지하수 관리 패러다임의 변화가 절실한 상황이다.

다. 수변지역 지하수자원 환경 변화에 따른 대응 기술 개발

- 최근 기후변화로 인해 가뭄 및 홍수 등 자연재해 발생으로부터 인명과 재산을 보호하고 효율적인 수자원의 관리를 위한 ‘4대강살리기사업’이 국토해양부 주관으로 추진되고 있다. 이러한 ‘4대강살리기사업’은 한강, 낙동강, 금강, 영산강 유역의 홍수와 가뭄 및 수질문제를 개선하고, 생태하천과 친수환경 공간 조성으로 새로운 하천관리의 전략적 구축을 도모하고자 4대강에 16개 신규 보 건설이 추진 중이다.
- 현재 하천 주변 지하수위는 지표면 하부 5~8m에 존재하나 수중보 건설로 인한 하천수위 증가로 지하수위도 2~3m 정도로 상승되어 과거 무분별한 개발 이전의 자연

상태 지하수위로 복원되어 하천 주변 지하수 부존량이 크게 증가 될 것으로 예상된다. 따라서 하천변 충적층(대부분 투수성이 좋은 사질토로 구성)의 지하수를 활용한 용수 공급 등 물 산업 활용 방안을 검토할 필요가 있다.

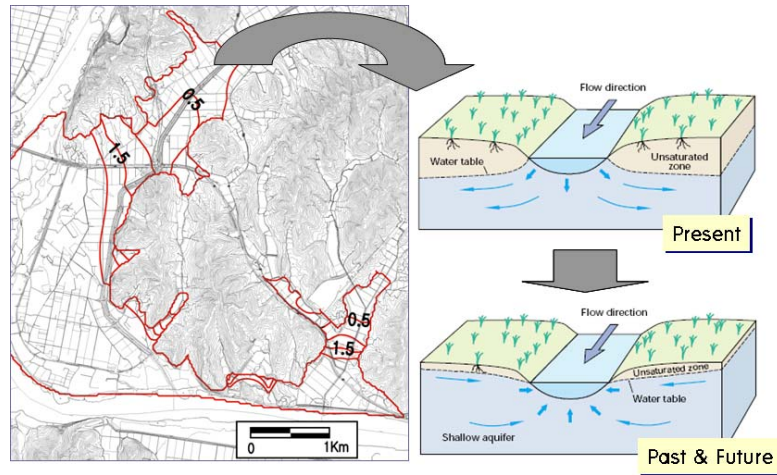


그림 1.3 4대강 살리기 사업으로 인한 하천 및 지하수 환경변화

- 4대강살리기사업으로 인한 지하수자원의 가장 큰 환경 변화는 4대강 보로 인한 하천 수위 상승으로 인해 수변지역의 지하수위를 상승시킨다. 이로 인해 부수적으로 발생된 지하수자원은 그 활용 방안(강변여과수 등)에 대해 적극 검토할 필요성이 있으며, 낙동강의 경우 하천수위 상승으로 주변 충적층에서 약 2~4m의 추가 수위 상승이 가능하다. 즉 간접취수 개발가능량이 추가 확보되는 셈이다. 또한 수변지역을 중심으로 지하수위가 상승하여 확보된 지하수자원은 주변 비닐하우스 경작지의 수막재배 공급용수로 활용이 가능하다.
- 최근 연구자료(김학주 등, 2005; 한국지질자원연구원, 2010)에 의하면 하천주변 비닐하우스 수막재배를 위해 연간 5.4~15.5억 m^3 (지하수 이용량 14.6~41.6%)에 달하는 막대한 양이 사용되는 것으로 추정되며, 이는 대부분 농수로를 통해 하천으로 유출되고 있음을 확인하였다. 따라서 보다 정확한 하천변 농업용수 이용량에 대한 재평가를 통하여 종합적인 대책수립이 필요한 실정이다. 아울러 이러한 지하수의 과다 사용은 갈수기 지하수위 저하와 하천 건천화의 주요인으로 지목되고 있으므로 수막재배 농업용수 재순환 지하주입 인공함양 등 지하수 자원의 적극적 확보 기술 개발이 절실하게 요구되고 있다.
- 그러나 상기와 같이 지하수자원의 환경변화가 장점만을 갖는 것은 아니다. 장마철 집중호우 시 4대강 주변 충적층 내 지체효과가 감소하여 직접 유출에 의한 ‘지하수홍수’ 발생 가능성이 높아지는 등의 다양한 문제 예상된다. 또한 하천준설 및 보 설치로 인하여 하천수위 하강이 발생한 지역은 강 주변 지역의 지하수위 하강

및 지하수량의 감소로 이어져 지하수의 오염 및 지하수 내 오염물질의 하천 유입으로 연결될 가능성이 매우 높다. 그러나 보 설치로 인하여 하천수위가 상승한 지역은 반대로 오염된 하천수가 주변 지역의 대수층으로 유입되어 지하수 오염이 발생할 수 있다. 향후 이러한 문제가 발생할 시 적절히 대응할 수 있는 방안에 대한 연구 개발이 필요하다.

- 유럽의 슬로바키아에는 다뉴브 강 본류에 Gabčíkovo 수력발전용 보가 운영되고 있다. 이 보는 1991년부터 1992년에 걸쳐 구조물 공사를 완료하고, 담수를 개시한 홍수조절 및 발전용이며, 1980년대 다뉴브 강을 중심으로 서로 접하고 있는 헝가리와 슬로바키아는 다뉴브 강의 홍수대책 마련을 위하여 장기간 갈등을 겪어, 90년대 Gabčíkovo-Nagymaros Project를 수립하였다. GaNa Project 지역에는 약 1,000개소의 지하수 수위 및 수질 관측소가 운영되어 왔으며, 이들 자료를 토대로 분석한 결과, 지하수 분야에 있어서 보 건설로 인한 긍정적인 효과들을 보여주고 있다고 한다. Gabčíkovo 상류지역은 과거 수 십 년간 지하수위가 지속적으로 감소하는 지역으로서 1960년대에 비하여 1990년에는 1.5~2.0m 정도의 지하수위 강하가 나타나 농업활동에 영향을 주는 등 수자원 관리에 문제점을 갖고 있었으나, 보 건설 이후 약 3~4년이 경과하면서 1960대 수준으로 지하수위가 회복되었는데, 다뉴브 강 본류에서 약 10km 떨어진 지류 인근에서도 지하수위가 과거 수준으로 회복되어 물 확보가 용이하게 되었으며, 수질 또한 좋아지고 있다고 한다.

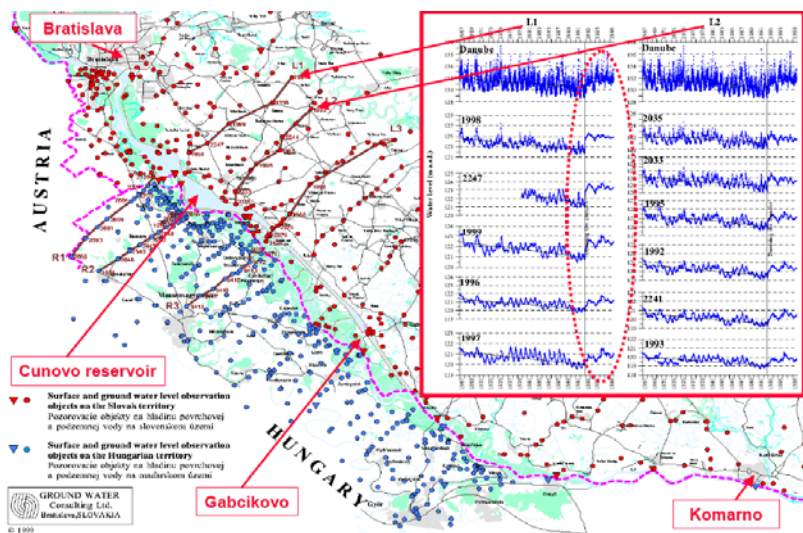


그림 1.4 Slovakia Gabčíkovo-Komarno 지역의 지하수 변화

- 4대강 살리기 사업을 수행하면서 추가로 생성된 지하수자원의 효율적인 활용과 유지관리 기술을 적용하고, 4대강살리기사업 구간에서 양질의 수자원을 확보하기 위한 간접취수 기술과 하천 건천화 방지를 위한 관련 기술의 개발은 필수불가결한 것으로 국가적인 차원에서 조속히 추진되어야 할 연구개발 사업이라고 판단된다.

3. 수변지역 간접취수 고도화 기술 개발 필요

- 4대강살리기사업 이후 하천수위 상승에 따른 수변지역 지하수위 상승효과로 강변여과수 개발가능량이 증가할 것으로 예상되며, 이로 인해 4대강을 중심으로 대용량 강변여과수 및 지하수 취수시설 개발 사업이 점차 확대될 전망이다. 아울러, 지하수는 현재 용수수요의 10% 정도를 차지하고 있으나, 청정 수자원이라는 장점을 바탕으로 간접취수원 개발을 추진한다면 공공급수용 수원으로서 역할이 증대될 것으로 전망된다.
- 수변지역에서 상수 원수로서 간접취수를 활용할 경우, 하천 상류지역의 상수원 보호구역이 축소가 될 전망이다. 그러나 어느 범위까지를 보호구역으로 지정을 해야 한다는 과학적 근거가 아직 마련되지 않고 있다. 따라서 간접취수 지역의 상수원 보호구역 지정 문제를 해결하기 위해서는 TEST BED를 통해 간접취수에 따른 종합적이고, 과학적인 영향범위 검토가 필요하다.
- 수변지역 간접취수는 상수원수로서의 활용가치 뿐만 아니라 년 중 수온이 일정하고, 수량이 안정적인 장점을 이용해 간접취수를 이용한 냉난방시스템의 적용도 가능하다. 따라서 지열에너지 활용 기술과 간접취수 개발기술을 접목한 융합기술의 적용과 평가가 필요하다.
- 간접취수에 관한 기초적인 연구는 과거 21세기 프론티어사업을 통해 수행되었다. 그러나 간접취수를 위한 현장 중심의 시공공법 개발이나 유지관리 기술에 대한 연구개발은 전무한 실정이다. 현재 국내에서 시행중인 몇몇 강변여과수 개발은 시공경험의 부족으로 많은 시행착오를 겪고 있으며, 보다 전문적인 시공기술은 선진국에 의존하고 있는 실정이다. 이러한 현장의 애로사항과 문제점을 산·학·연이 연계한 R&D 사업을 통해 해결 방안을 제시하고, 국내 독창적인 기술개발과 실용화가 절실히 필요하다.
- 미래의 간접취수 활용은 국내와 주변 개발도상국에서 활발히 전개될 전망이며, 국내 독창적인 기술 개발은 신규 사업 창출과 해외 수자원개발 사업 진출에 큰 역할을 담당할 것이다. 이를 선도적으로 이끌기 위한 연구개발은 현장중심의 연구와 TEST BED를 적용한 기술개발 검증을 통해 가시적 성과가 반드시 필요할 것이다.
- ‘간접취수 활용 용수 공급기술’, ‘반응벽체 활용 하천원수 오염물질 제거기술’ 등을 적용한 안정적인 용수공급 기술 개발 및 하천고갈 방지 및 지하수위 회복을 위한 ‘인공함양 기술 개발 등을 통한 수변지역 지하수 회복 및 하천고갈 방지 시스템 구축’을 통하여 4대강살리기사업의 궁극적인 목표를 달성할 수 있을 것으로 전망된다.

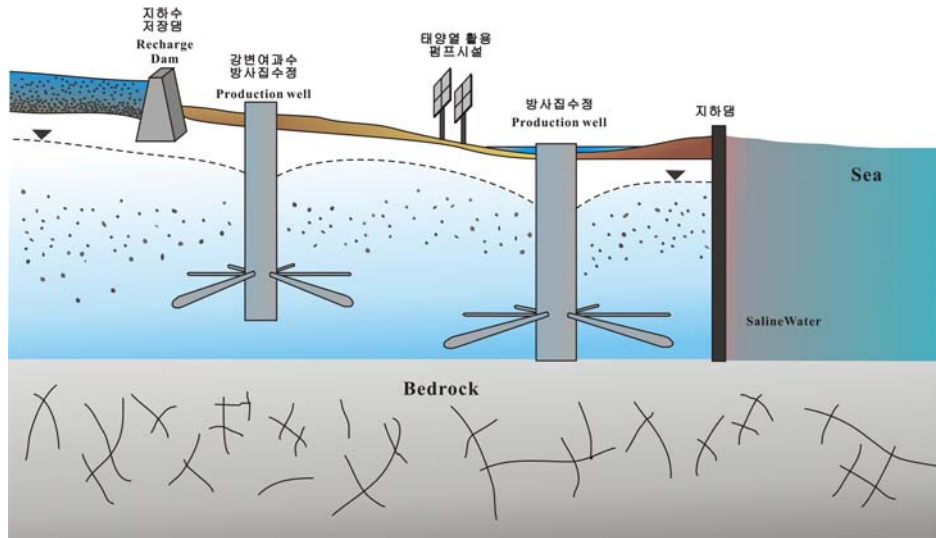


그림 1.5 간접취수 공법을 활용한 용수 공급 시스템

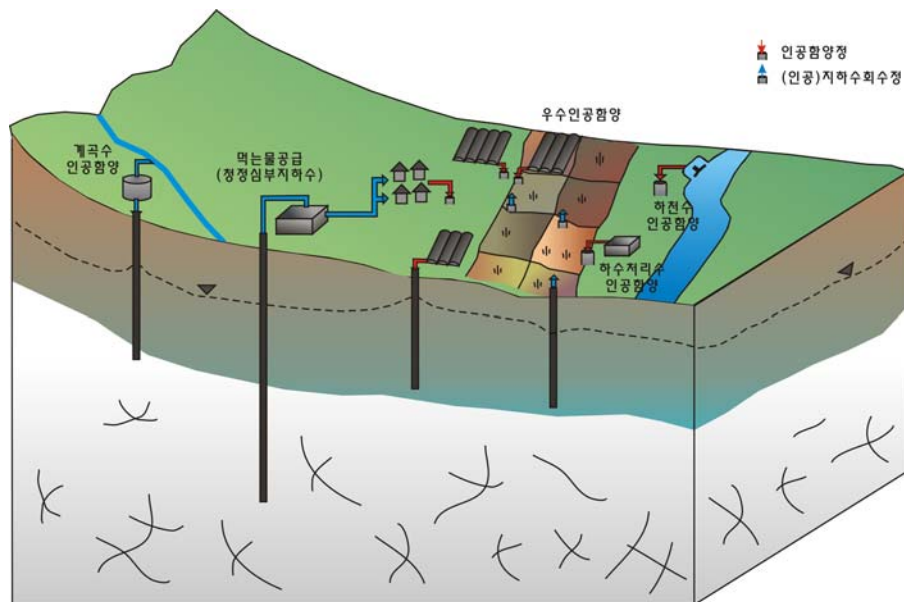


그림 1.6 수변지역 지하수 인공함양 기법 적용 시스템

4. 지질지하수 기반의 지열에너지 융합 기술 개발 필요

- 전 세계적으로 에너지 자원이 점차 고갈되어 가는 시점에서 최근의 이라크 사태로 인해 에너지 가격이 급등하고 있는 추세이며, 대체에너지 개발 및 에너지 재활용은 매우 시급한 과제라 할 수 있다. 특히, 최근 10년간 우리나라의 에너지 소비는 매년 약 10%라는 경이적인 증가율을 보이고 있기 때문에 연료전지, 태양에너지, 해양 에너지, 지열에너지 등 대체에너지 개발의 필요성이 크게 대두되고 있는 실정이다.

- 지하수가 풍부한 수변의 충적층과 강변여과수 등과 같은 상수도 취수 원수의 수온차를 이용한 지열 에너지 자원 활용은 기존에 설치된 시설을 활용할 수 있기 때문에 초기 설치비 및 운용비의 절감이 가능하고, 지열 에너지 활용의 효율을 현격하게 증대시킬 수 있는 장점이 있다. 그럼에도 불구하고 현재까지 국내에서는 이와 관련된 연구개발이 전혀 이루어지지 않는 실정이다.
- 국내 수리지질의 열용량 평가 및 표준화, 지열공 그라우팅 처리 기술 및 원상복구 기술 등의 개발이 필요하며, 또한 일부 무분별하게 개발되어 방치되어 있는 지하수 관정과 무위로 방출 혹은 배출되고 있는 지하수를 친환경적 지열에너지시스템 원수로 사용하여 방치공 재활용 지열에너지 기술 개발이 필요하다.
- 지열시스템의 설계, 시공기술의 해외 의존도를 낮추고, 토지활용도 및 건물밀집도가 높은 지역에 적합한 대용량 지열시스템 개발이 필요하다(초고층 건물, 공동주택 등의 에너지 다소비 건물 등). 또한 국내 지형에 적합하고 다변화된 대용량 지열원수 개발이 요구된다.

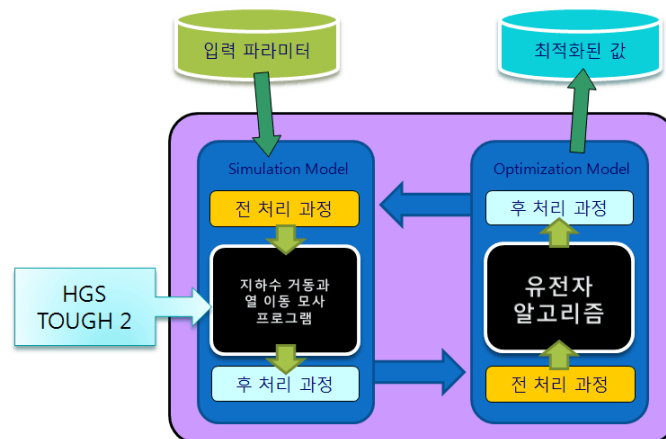


그림 1.7 지열 활용 시스템 최적화 설계를 위한 Simulation-Optimization 모식

제 2 장 국내외 동향 및 환경분석

제 1 절 국내외 정책동향

1. 국내 정책 동향

가. 수자원 정책 현황

- 수자원 장기종합계획(‘06~’20년)은 국토종합계획(2006년~2020년)의 목표인 균형 국토, 개방국토, 복지국토, 녹색국토 및 통일국토 실현을 위한 수자원 이용·개발·보전에 관한 국가사업의 기본전략으로 표 2.1 의 중점분야를 선정하였다.

표 2.1 수자원 장기종합계획의 중점사항

중점사항	중점내용
물이용 종합계획	○ 하천유량 복원을 통한 하천 생태계 및 수질보전 ○ 지역적 물이용 형평성·안정성 확보 ○ 지역특성과 경제효율성에 적합한 수자원 개발 ○ 극한가뭄 대비 위기대처 능력 증대 ○ 지하수의 효율적 활용과 보전
치수종합계획	○ 구조물적 대책의 다양화 및 활성화 ○ 선택적 방어 개념의 도입 ○ 유역 중심의 치수대책 수립 ○ 예방사업 위주의 투자정책 ○ 이상홍수에 대비한 비구조적인 홍수대책 활성화 ○ 홍수터 관리계획 수립
하천환경계획	○ 하천환경 보전 및 복원 강화 ○ 하천환경관리 제도적·행정적 체계 정비 ○ 지역주민과 함께하는 하천문화 및 공간 창출 ○ 하천환경계획 수립방법 개선
수자원 조사·연구계획	○ 수자원 정보의 혁신기술 개발 ○ 홍수 위험 극복 지역사회 기반 구축기술개발 ○ 자연형 하천복원 및 관리기술 개발

- 2006년 2월 건설교통부(현 국토해양부), 산업자원부(현 지식경제부), 환경부가 합동으로 “물 산업 육성방안”을 국무회의에 보고한 바에 의하면 용수공급시설의 수출 산업화를 통하여 2015년까지 세계적인 물 기업을 육성하고, 수출을 통하여 20조원의 부가가치를 가진 사업으로 육성하고자 한다. 이는 용수공급 기반시설의 구축과 개선사업의 지속적인 확대를 목적으로 추진하며, 물 산업의 촉진을 위해서 원천 기술을 개발하거나 확보하는데 주력하여 지능적 수처리 기술, 유비쿼터스 기반의 수도운영관리 기술 그리고 에너지 완전 순환형 수처리 기술 등을 집중 육성하며, 동남아, 남미 등의 개도국시장 진출을 위하여 맞춤형 기술개발 사업을 추진한다.
- 국토해양부와 지식경제부, 환경부가 합동으로 ‘물 산업 육성방안’을 국무회의에 보고한(2006. 2) 바에 의하면 용수공급 시설의 수출 산업화를 통해 2015년까지 세계적인 물 기업을 육성하고 플랜트 수출을 통한 20조원 이상의 부가가치를 가진 사업으로 육성할 예정에 있다고 발표하였다.

나. 지하수 및 지열 정책 현황

- 지하수 관리 기본계획(2007~2011) (표 2.2)은 지하수법 제6조에 의한 법정계획으로 10년 단위 계획수립, 5년 단위 보완을 하고 있다. 주요 내용으로는 지하수 조사·이용 계획, 보전·관리 계획, 지하수 관리기반 강화 계획이며 단계별 추진계획 및 투자 계획을 수립하고 있다.

표 2.2 지하수 관리 기본계획의 중점사항

중점사항	중점내용
조사 이용	☐ 지하수 기초자료 확보를 위한 광역 및 정밀 지하수 기초조사를 지속적으로 실시하여 정책수립 및 관리에 활용 ☐ 지하수 관측망을 확대 구축하여 관측자료의 효용성을 제고하고 관측자료 통합관리를 통해 지하수장해 감시 강화 ☐ 지하수 이용·실태조사 및 이용계획량 설정으로 체계적인 지하수 개발·이용 도모 및 공공지하수 개발로 농어촌, 도서지역에 지하수 공급 확대
보전 관리	☐ 지하수 개발·이용 시설에 대한 통합관리체계를 구축하여 무분별한 개발을 방지하고 지하수장해를 사전에 예방 ☐ 지하수보전구역 제도의 활성화를 위해 국공립공원, 상수원보호구역 등으로 보전구역 대상지역을 확대하고, 보전구역 내 행위제한 강화 및 지속적인 관리실태 조사 실시 ☐ 지하수 오염을 사전에 예방하고 양질의 지하수를 확보하기 위하여 지하수 수질관리를 강화하고 관리기반 구축

중점사항	중점내용
	☐ ‘먹는샘물 품질평가 시스템’ 도입 및 샘물개발 허가제도 개선으로 먹는샘물 관리를 강화하고 사전 환경성 검토 강화로 체계적인 온천 개발 추진
관리기반 강화	☐ 지하수관련 법체계 정비, 지하수 전담조직 설치, 지하수 이용부담금 및 특별회계를 통한 안정적인 재원확보를 통해 지하수관리 인프라 강화 ☐ 지자체의 실정에 맞는 ‘지역지하수관리계획’을 수립하여 국가 기본 계획과 연계한 실질적인 지하수관리 기반 구축 ☐ 표준화 및 공동 활용을 통한 지하수정보 통합관리체계를 구축하고, ‘국가지하수정보지도(IGIS)’ 확대 구축을 통해 지하수관리 의사결정 지원 및 상시 분석서비스 제공 ☐ 지하수 연구·개발에 대한 투자를 지속적으로 확충하고, 지하수 교육 및 홍보를 강화하여 대국민 인식 제고
연구개발	☐ 정책·제도 ○ 지하수 관련법 및 관리제도 개선 방안 ○ 지하수관련 분쟁조정 방안 ☐ 조사·이용 ○ 지하수 함양량 / 개발가능량 산정, 시험유역설정·운영 ○ 유출지하수 저감·활용/대도시 지역 인공함양 ☐ 보전·관리 ○ 오염취약성 평가/기후변화에 의한 지하수자원 영향 ○ 지하수보전구역 지정·관리 방안/오염물질 확산방지 ☐ 정보화 ○ MIS 및 GIS 분석 기술의 지하수 업무 활용 ○ 지하수정보 활용도 제고 ○ 지하수관리 표준모델 서비스/데이터 품질보증(QA/QC)

	적용 대상 및 범위	소관부처
지하수법	타법의 규제를 받지 않는 모든 지하수	국토해양부
온천법	온천 개발을 위한 굴착허가, 온천지구 지정	행정안전부
먹는물관리법	먹는샘물 제조업을 하고자 하는 자는 허가	환경부
농업농촌기본법	농업용수개발(인허가관련 규정 없음)	농림수산식품부
민방위기본법	민방위계획에 따라 지하양수시설 설치·정비	행정안전부
국방군사시설사업에관한법률	군사목적상 필요한 지하수시설	국방부
제주특별자치도설치및국제자유도시조성을위한특별법	제주도에서 지하수 개발·이용 시 도지사 허가	제주특별자치도

그림 2.1 지하수 관련법 현황

- 최근 지하수 종합관리 방안(2009, 국토해양부 내부자료)에서는 지하수자원에 대한 전반적인 관리 방안을 마련하고자 아래와 같은 정책을 수립하였다.
 - － 공공재, 경제재이자 국가 주요 전략 경영자원인 지하수자원의 역할 제고
 - － 공적(公的)자원으로서의 지하수 관리기반을 강화
 - － 지하수 현안문제에 적절한 대응체계를 구축하고, 지하수 정책 패러다임 변화에 능동적으로 대처
- 2004년 4월 “신재생에너지 개발 및 이용 보급촉진법시행령” 확정 등 공공기관의 건축연면적 3,000 m² 이상의 신축건축물에 표준건축비의 5% 이상 사용의무화, 그린홈 100만호 건설, 농림부의 시설원예사업 착수 등을 규정하여 녹색성장 방안의 일환으로 청정에너지 보급 확대, 산업화 촉진 및 수출 전략산업으로의 육성 계획이 수립되어 지열 개발 보급의 기반이 마련되었다.
- 개방형 지열시스템이 폐쇄형 지열시스템에 비해 높은 효율성을 가지고 있음에도 불구하고 현재까지 폐쇄형 지중 열교환기의 설치 사례가 많았던 것(Lee, 2009)은, 지중에 물질 및 에너지를 인공적으로 주입하는 행위에 대한 관계 법령이 부재했기 때문이다. 개방형 지열시스템에서 지적되는 제반기술을 극복하기 위한 국내 수리지질 여건에 적합한 최적기법을 개발, 보급함으로써 지하수자원의 경제적 개발 및 이용을 도모할 필요성이 대두되고 있는 실정이다.

2. 국외 정책·제도 동향

가. 지하수 이용 분야

(1) 미국

- 미국의 지하수 관리는 연방정부와 주정부의 이원화된 체계로 이루어져 있다. 미국에서 관정 시공 시 요구되는 목표는 『관정 시공 시 지층에 대한 교란은 최소한으로 하며 지구화학적 환경에 부합하는 재질을 사용하여야 하며 시료에 질적인 변화를 초래하지 않는 재질을 사용하여 시추공을 적절히 마감하고, 굴착 시 유입된 첨가물을 제거하기 위해 관정을 충분히 개량하여 관정을 통한 유동이 차단되지 않아야 한다』 라고 명시되어 있다.

(2) 일본

- 민법 207조의 『토지소유권을 법령의 규제 내에서 토지의 상하에 미친다』 라는 규정에 의거하여 『지하수는 토지의 구성부분이고 토지소유권의 목적물에 지나지 않

는다』는 사수론적 입장을 견지하고 있어 공적 지하수 개발 이용에 한계를 보이고 있다. 공업용수법과 빙당용수법을 기본으로 하여 ‘특정지역’을 선정하여 자치단체의 조례에 의해 지하수의 채취·이용 규제를 하고 있다. 채취 규제는 허가제, 배출제, 협의 및 승인제, 노력 혹은 조치준수의 준수 등으로 지방자치단체에 따른 다른 방법을 채택하고 있다. ‘특정지역’의 요건으로는, 지하수 채취로 수위가 비상강하하고, 염수나 오염수가 지하수의 수원에 혼입되거나 또는 지반이 침하하는 일정지역에 대해 지하수 수원 보정을 위해 관정의 스크린(유공관) 위치와 양수펌프의 토출단면적을 한정하여 지자체장의 허가를 받게 하고 있다.

(3) 영국

- 1989년에 대처정부는 전격적으로 10개의 유역관리청을 민간사업자로 전환하고 기존의 18개 소규모 상수도 전문회사(현재는 16개로 흡수, 통폐합)의 기득권을 인정해주는 상하수도 서비스 민영화를 시행하였다. 이에 대한 규제기관으로 물서비스감시청(Office of Water Services, OFWAT), 음용수감시과(Drinking Water Inspectorate, DWI) 및 소비자 서비스평의회(Customer Service Council)를 설치하여 민간사업자의 전횡을 견제, 감독하고자 하였다. 물서비스 감시청이 매 5년마다 결정하는 물 값 인상분으로 인한 이익금을 민간사업자들이 상하수도 서비스 개선을 위해 재투자하면서 하천수질이 많이 개선되었고 이는 각 지역하천에 긍정적인 효과를 가져왔다.

(4) 프랑스

- 프랑스 수자원정책의 가장 두드러진 특징은 유역에 기반을 둔 통합수자원관리를 지향하고 있다는 점이다. 프랑스는 1904년 물법에 의해 프랑스 전역을 6개 유역으로 나누고 각 유역마다 유역관리공사 및 유역위원회를 설치, 중앙정부에서는 전국 수자원관리에 대한 조정과 통제기능을 계속 유지하고 지방정부로서는 각 지역 실정에 맞는 수자원개발, 관리 및 상하수도 사업진행에 도움을 받는, 행정 및 정치적 경계를 넘어 유역에 기반을 둔 효율적 수자원관리를 시행하고 있다.

(5) 독일

- 지방자치단체의 수자원정책 실시에 있어 견제 및 보완역할을 하는 일반시민이 주축이 된 단체가 존재한다. 물소비자협회는 20세기 초 처음으로 그 지역 주민들에 수도요금을 부과하여 하천이 오염되지 않도록 주의를 환기시키는 역할을 하기도 하였다. 전문가협회는 기술기준, 관리규칙 및 가이드라인 등을 설정할 때 지방정부에 자문을 하며, 기준설정 시 필요하면 공청회를 열기도 한다. 이러한 각 지역에서 자생한 협회의 구성과 활동은 현재 자주 논의되는 수자원정책 시민참여의 모델로 쓰일 수 있을 만큼 일반시민의 이익을 대변하기도 하면서 정부의 수자원정책 수립 시 견제, 보완하는 역할을 한다고 할 수 있다.

- 독일 수자원정책의 또 하나의 특징은 부분적으로 진행되어 온 상하수도 서비스의 민영화이다. 지방자치단체는 자율적으로 각 지역 실정에 맞는 수자원관련 제도, 행정 및 운영체계를 수립할 수 있는데 작은 규모로 나뉜 수많은 지자체의 상황 때문에 규모의 경제가 실현될 수 없고 그렇기 때문에 수자원관련 시설 및 시스템 운영과 관리상에 있어 운영의 효율성을 높일 수가 없다. 따라서 많은 지자체들이 수자원관리 관련 운영을 민간업자에게 위탁운영하거나 일부 지분을 민간업자에게 양도하는 형태로 부분적인 민영화를 시행하고 있는데 2001년 현재 약 15,000개의 상하수도 서비스 주체가 존재하고 있다.

나. 지하수-지열 융합 에너지 활용 분야

(1) 미국

- 미국의 경우 대부분의 주가 지열시스템 관련 규제를 마련하였으나, 연방 정부의 공식적인 법안이나 규제는 없다. 지열 에너지는 경우에 따라 수자원이나 광물자원으로 분류되고 있으나, 온도에 따라 121℃이하인 경우 수자원, 그 이상인 경우 광물자원으로 분류하기도 한다. 개방형의 경우 물(지하수) 관련법(Water Well regulation, Clean Water Act, Safe Drinking Water Act, UIC(지중주입규제), Water Management Act)에 명시하였다. 미국 환경청은 UIC 프로그램을 통해 지열관정은 환경적 영향이 적을 것으로 예상되는 Class V로 분류하고 있다.

(2) 스위스

- 스위스는 지열에너지에 관한 법률을 가지고 있지 않으나 1998년부터 유효한 Water Protection Order 가 있어서 지하수 온도차 한계를 3℃ 로 제한하고 있다(CH-GSchV). 인접한 property 사이 간격, 설비 간격을 권장 또는 규정하고 있다. 또한 energy pile과 같은 천부 지열에너지 활용 기술에 관한 Swiss engineer and architect association (SIA)의 기준이 마련되어 있다(Sanner et al., 2008).

(3) 스웨덴

- 스웨덴의 천부 지열에너지 설비는 1980년대 초에 급속도로 증가하여 현재는 전세계에서 그 활용률이 가장 높다. 2008년 수정된 Normbrunn 97은 지중열교환기 관정의 품질 기준을 포함하고 있으며, 관정 QNs 아니라 설비와 설비자의 능력에 관한 요구 조건도 명시하고 있다(SGU,2008). 인접 property까지 간격, 인접 설비 간격, 식수용 관정까지의 거리 등 구체적인 사항이 권장되고 있다(Spiccia et al., 2006).

(4) 독일

- 독일 광업법에 따르면 천부 지열에너지는 연방정부에 소속된다(BBergG, 1980). 지하수가 함께 고려되면, 어떠한 화학적, 생물학적, 물리적 유해한 변화도 허용되지 않는 연방 Water Act (2002)가 유효하지만, 유해한 변화가 무엇인지에 대한 명확한 정의는 내려져있지 않다(WHG, 2002). 폐쇄형 설비에 관해서는 16개 주 중 15개 주가 가이드라인을 가지고 있으며, 허가 과정과 수평, 수직 시스템에 관한 규정을 다루고 있다.

표 2.3 외국의 천부 지열에너지 활용에 관한 법률 (Haehnlein et al., 2010)

Country	Laws (publishing date)	Country	Laws (publishing date)
Australia	Energy Resources Act (1967) The Petroleum and Geothermal Rights in Water and Irrigation Act (1914) Water Act (2000)	Indonesia	Geothermal Law (23/10/2003)
Austria	Österreichischer Wasser- und Abfallzweckverband (ÖWAV) Regelblatt 207: Thermal Use of Groundwater and Subsurface – Heating and Cooling (2009)	Lithuania	Underground Law (I-1034, 05/01/1996)
Belgium	Decree on Environmental Permits (28/06/1985)	Mexico	Water Act (1992)
Bulgaria	Constitution (1991) Law on the Renewable and Alternative Sources of Energy and the Biofuels (2007)	Netherlands	Groundwater Law (1981) Mining Law (01/01/2003)
Canada	Water Act (1999)	Norway	Neighbor Law (n.a.)
China	Water Act (1985) Renewable Energy Law (2006)	Philippines	Economic Activity Law (n.a.) Geological and Mining Law (19/11/1999) Renewable Energy Act (2008)
Czech Republic	Building and Planning Act (No 183/2006)	Poland	Water Act (1974)
Denmark	Order on Heat Abstraction and Groundwater Cooling Plants (BEK-1206, 24/11/2006) Order on Groundwater Heating BEK-1203, 20/11/2006)	Portugal	Decree-Law 87/90 (16/03/1990)
Ecuador	Water Act (n.a.)	Romania	Environment Protection Law (No. 265/2006) Mining Law (No. 61/1998) Water Law (No. 310/2004)
Finland	Environmental Protection Act (2000)	Slovakia	Water Law (2004) (Law No. 364/2004)
France	Water Act (1961) Decree 74-498 (24/03/1978) Decree 77-620 (16/06/1977) Decree 78-498 (28/03/1978) Mining Law (16/08/1956)	Slovenia	Mining Law 2004 (Official Gazette, 98/2004) Water Law 2002 (Official Gazette, 67/2002)
Germany	Mining Law (13/08/1980) Federal Water Act (27/07/1957)	Sweden	Normbrunn 97 (2002)/Normbrunn 07 (2008)
Great Britain	Water Environment Regulations (2005)	Switzerland	Water Protection Order (28/10/1998)
Greece	Decision of Minister of Development No. Δ9B, Δ/Φ166/OIK 18508/5552/207 on Installation Permits for Ground Source Heat Pumps (n.a.)		

n.a., not available.

제 2 절 국내외 시장현황 및 전망

1. 세계 시장현황 및 전망

- 세계의 물 산업 규모는 2007년 3,620억 달러에서 2025년에 8,650억 달러로 전망하고 있는데, 물의 직접 확보와 관련된 분야와 연관 분야로 구분될 수 있다. 물의 직접 확보와 관련된 제조 건설 분야는 2025년에 4,850억 달러, 운영관리는 3,800억 달러로 추정하고 있다 (일본 경제산업성(2010), 물 인프라 해외진출 방안)(그림 2.2). 이와 같은 물 산업을 타 산업과 비교해 본다면 규모면에서도 상당한 수준에 이르고 있는데, 반도체 산업이나 조선 산업보다 큰 규모로 나타난다.
- 물 산업 시설의 운영관리 규모의 증가세도 뚜렷할 것으로 전망되고 있는데, 2007년 기준 연간 1,930억 달러 규모(공공부문)에 이르나 2025년에는 연간 3,800억 달러 규모로 증가될 것으로 전망된다. 또한, 전문적인 물 관리 기업의 참여가 증가하고 광역화, 상하수도의 통합 등이 활발해 질 것으로 전망된다.



그림 2.2 세계 물 산업의 규모 (2009년)

(출처: SAM, GE, Global Water Intelligence 등)

- 향후 새로운 개념의 물 산업도 확대될 전망이다. OECD에서는 기반시설 투자의 증가를 예상하고 있는데 도로, 철도, 통신, 전력(송배전) 인프라와 달리 물 인프라 투자가 1조 370억 달러로서 GDP의 1.03%로 급증할 것으로 내다보고 있다(표 2.4). 또한 Booz Allen Hamilton은 2005년부터 2030년까지 물 인프라가 전체 인프라 투자 수요의 55.1%를 차지할 것으로 전망하고 있으며, 노후된 인프라의 정비(상하수도, 하천, 수자원 등), 이수 치수 안정성 확보, 하천 복원 등에 2005년부터 2030년까지 연평균 8,700억 달러가 투자될 것으로 전망하고 있다. 이 금액은 총 9조 달러인 전

력 인프라나 1조 4,400억 달러인 원자력 발전 인프라에 비하여 매우 큰 규모에 해당한다(Booz Allen Hamilton(2007), Lights ! Water ! Motion!).

표 2.4 2030년 OECD 국가의 기반시설 투자 예측 (단위: 억 달러)

Type of infrastructure	2000-10	Approximate % of world GDP	2010-20	Approximate % of world GDP	2020-30	Approximate % of world GDP
Road	220	0.38	245	0.32	292	0.29
Rail	49	0.09	54	0.07	58	0.06
Telecoms ¹	654	1.14	646	0.85	171	0.17
Electricity ²	127	0.22	180	0.24	241	0.24
Water ^{1, 3}	576	1.01	772	1.01	1 037	1.03

1. Estimates apply to the years 2005, 2015 and 2025.

2. Transmission and distribution only.

3. Only OECD countries, Russia, China, India and Brazil are considered here.

- 맥킨지와 컴퍼니(2009)에서는 최근까지 상하수도 중심의 물 산업이 주로 진행되어 왔다면, 향후에는 수자원 확보 관점에서의 물 산업이 활성화 될 것으로 전망하고 있다. 기후변화와 토지이용의 변화 등으로 발생하는 물 부족 상태는 더욱 심화될 것으로 보이기 때문에 추가적인 수자원의 확보를 위한 다각적인 노력이 산업에 반영될 것으로 전망하고 있다. 2007년 기준으로 볼 때 전통적인 상하수도 개발 분야에 비하여 규모가 작으나 연간 700~900억 달러 규모를 형성하고 있어 급성장이 예상되고 있다. 특히, 본 연구와 직접 관련되는 상류 하천과 관련한 지하수 확보, 해수 담수화, 농업 시스템 개선 등의 분야는 400~450억 달러에 이른다.

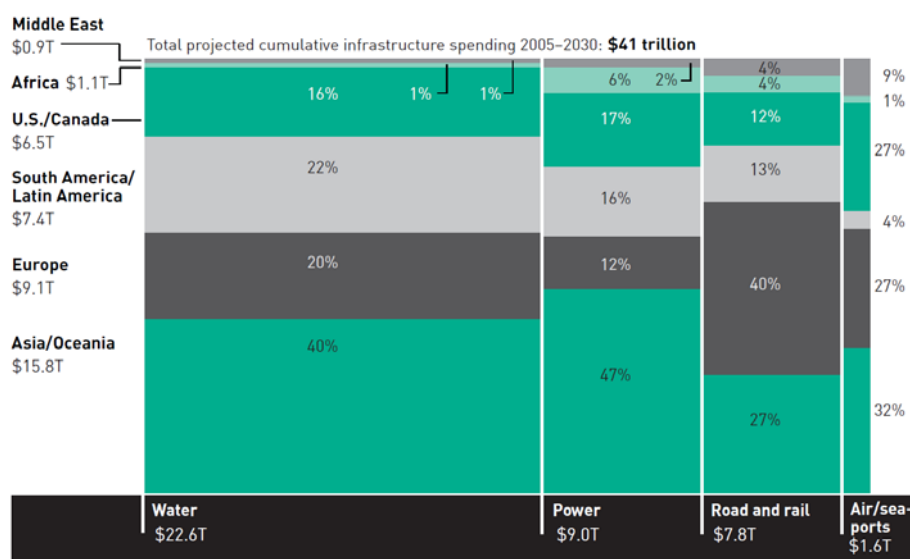


그림 2.3 2005년부터 2030년까지의 세계 물 산업의 전망

2007 expenditures, USD billion

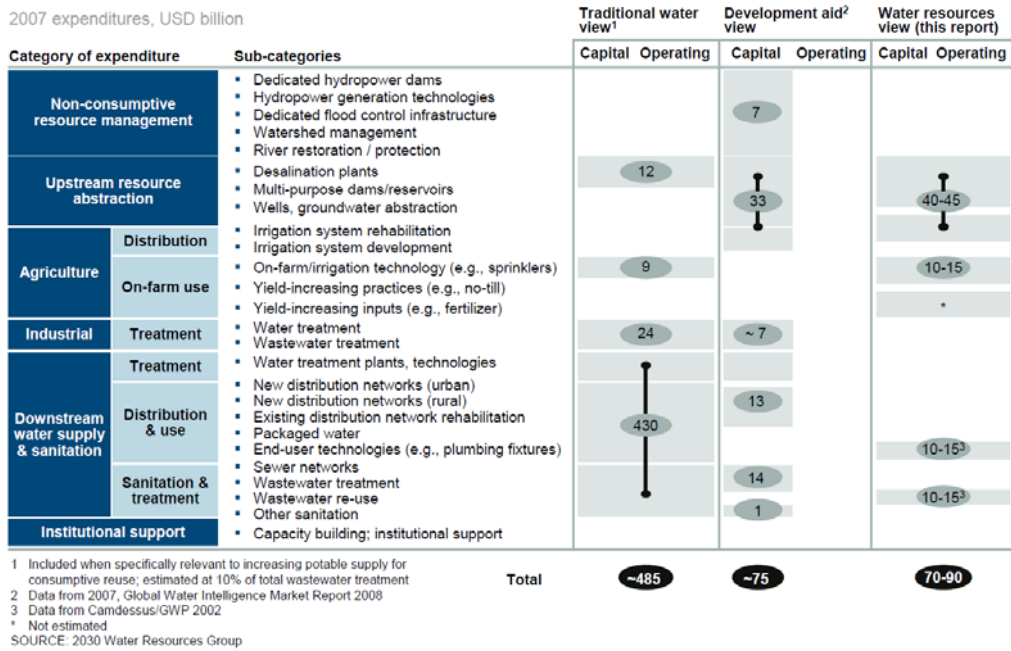


그림 2.4 2007년 상하수도 및 수자원 확보 분야 등의 투자 현황

표 2.5 아시아 지역 대형 수자원 프로젝트 현황

유 형	신규 사업의 형태
수자원 개발 + 광역상수도	- 말레이시아 Pahang-Selangor 광역상수도 사업 - 쿠알라룸푸르 지역 물 부족 해소 - 태국 Mega Project - 수자원 개발, 광역상수도 설치, 물 공급 시스템 확대 및 개선 등 다양한 형태의 물 사업 추진 중(20개)
수량 + 수질 + 친수환경 + 녹색도시 건설 복합 사업	- 필리핀 Laguna 호수 종합개발사업 - 호수 준설, 신도시 건설 및 친수환경 조성
하천 종합개발·관리	- 태국 차오프라강 정비 사업 - 강변정비로 홍수 피해 경감 및 친수환경 조성 - 말레이시아 Pahang 강 종합개발사업 - 홍수 피해 경감, 용수공급시설 확보, 주운개발 등 - 베트남 두옹강 개발사업 - 주운 하도정비, 갑문 및 선착장 설치 등
해수 담수화 + 대수로 건설	- 요르단 해수담수화 및 사해 물 공급 대수로 사업 - 홍해 바닷물을 끌어와 담수화 처리를 통해 생활용수로 사용하고, 배출수를 사해 유지용수로 공급
수자원 확보 + 수력발전	키르기스스탄, 타지키스탄, 중남미 지역

- 아시아 및 오세아니아 지역에서의 물 산업 규모는 전체의 약 40%를 차지할 것으로 전망되어 이들 지역을 대상으로 하는 우리나라의 물 산업 수출 산업 규모도 급격히 증가할 것으로 예상된다(표 2.5). 최근 들어, 동남아시아 지역은 강변여과수나 지하댐 등을 활용한 지하수를 수원으로 하는 대규모 상수원 개발에 많은 관심을 갖고 있어 국내 기술 개발의 선진화가 시급히 요구되고 있다.

2. 국내 물 산업 시장현황 및 전망

- 국내 물 산업의 규모는 2007년 현재 약 12.6조원으로서 세계 8위에 해당한다. 이 중에서 상하수도 시장과 관련된 산업이 전체의 85%를 차지하고 있으며 세계 물 산업에서 우리나라가 차지하는 시장 점유율은 2.1%에 불과한 실정이다. 현재 정부에서는 물 산업 육성을 통하여 2020년에 20조의 산업 규모를 목표로 시장을 전망하고 있다(그림 2.5).

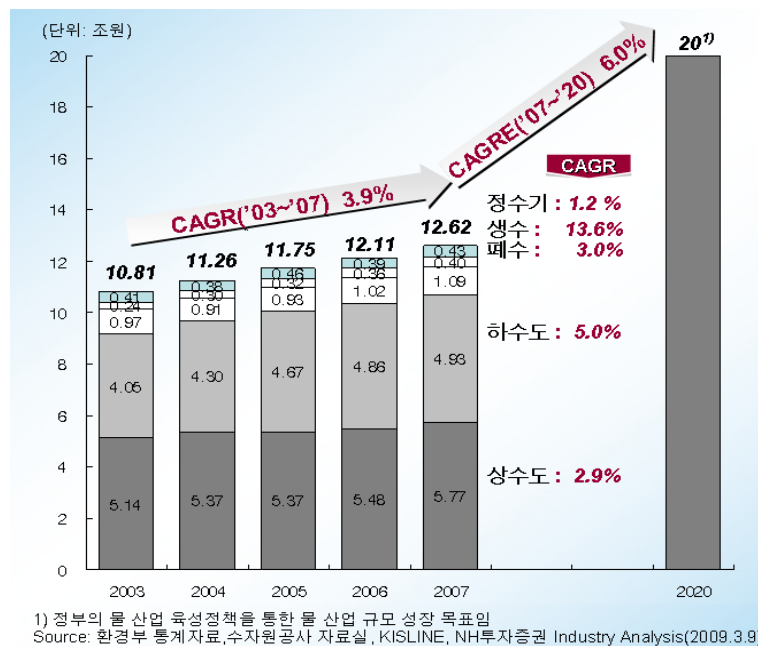


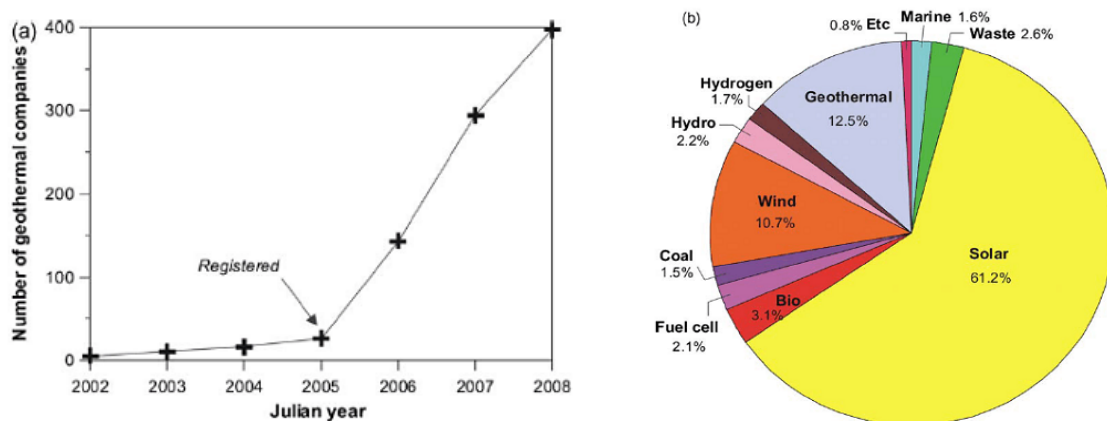
그림 2.5 국내 물 산업 현황 및 전망

3. 국내 지열산업 시장현황 및 전망

- 친환경적이고 고효율적인 지열에너지는 신재생에너지의 큰 부분을 차지하며, 우리나라 또한 지표에서 5km 깊이에 있는 지열 자원의 2%만 활용해도 2006년 기준 국내 연간 에너지 소비량의 200배에 달하는 에너지를 얻을 수 있는 것으로 추정되고 있다(Lee et al., 2010). 이 중 천부 지열자원을 이용하는 한 방법으로 지열히트펌프

시스템(지중열교환기시스템)이 2000년 처음 상업적으로 도입되었으며, 2004년 “신재생에너지 개발·이용·보급 촉진법”을 통해 공공기관에 대한 재생에너지 이용 의무화(제 12조) 이후 설치 및 이용이 확대되고 있는 추세이다.

- 2004년 이후로 우리나라의 지중열교환기 시장은 급격하게 성장하였으며, 초기에는 주로 공공기관 건물에 설치되었으나 정부의 재정 지원 증가와 함께 상업용, 교육용 건물에도 설치가 늘어났다. 총 설치용량 또한 급격히 증가하여 2000년 35.2kW에 불과하였던 수치는 2008년 127.1MW 이상을 기록하였으며 보고되지 않은 내용을 포함해 실제로는 약 200MW에 이를 것으로 추정되고 있다.
- 개방형 지중열교환기는 폐쇄형에 비해 높은 효율성을 가지고 있음에도 불구하고, 최근까지 국내에서는 폐쇄형 지중열교환기에 대한 연구 및 활용에 치우쳐 왔다. 개방형 지중열교환기는 폐쇄형에 비해 고효율이긴 하나 설치 지역의 대수층을 비롯한 지하수 환경에 많은 변화가 수반되므로, 국내 수리지질학적 특성에 기반을 둔 지하수 환경변화 예측을 통해 국내 적용 가능성을 평가한 후 본격적인 도입이 가능하며, 이로 인한 지열에너지 관련 신규 시장의 규모는 막대할 것으로 예상된다.



(a) 연도별 지열업체 현황 및 추이

(b) 지열 관련 업체의 비율

그림 2.6 우리나라의 지열 개발 전문 업체의 수

표 2.6 지열에너지 분야 국내외 시장 규모

(단위 : 백만원)

년도	2009년	2013년	2015년
세계 시장 규모	28,750,000	37,950,000	45,900,000
한국 시장 규모	1,537,550	2,250,000	2,722,500

* 자료 : BSRIA Report 18733/1, 2005, 기준으로 지중열교환기 세계시장 예측 (BSRIA, 2008, 기준으로 국내 히트펌프 시장 예측)

제 3 절 기술동향분석

1. 국외 기술개발 동향

가. 지하수 이용 분야

(1) 미국

- USGS의 2007년도 연구전략 수립 보고서에 따르면, 미국은 수자원 통합 관리를 위한 새로운 패러다임을 제시하고 있다. 과거에는 하천 인근에서의 지하수-지표수의 상호작용 평가, 단기간의 수문 순환 평가 및 지하수 양수에 의한 하천 영향 등이 핵심 관심사항이었으나, 최근에는 하천과 멀리 떨어져 있는 지하수를 포함한 큰 규모의 수문 순환 평가, 장기간의 물 변동 및 생태계를 고려한 통합 수자원 등이 주요 관심사로 대두되고 있다. 또한 기후변화에 따른 지하수 취약성 증대와 지속적인 지하수 수위 하강에 따른 지하수 자원의 부족을 해결하기 위한 방안으로 간접 및 직접 인공함양에 의한 확보방안이 중요한 이슈로 떠오르고 있다.
- 미국의 경우는 간접취수를 위해 대용량 방사형 집수정을 이용하는 사례가 대부분이다. 특히 캔자스주 BPU (Board Public Utilities), 신시내티 볼튼 정수장이 대표적이며, 캔자스 BPU에서 현재 운영 중인 방사형 집수정은 세계에서 가장 큰 규모이며, 각각 7개의 수평정을 2단으로 설치하였고, 취수량은 집수정당 최대 40MGD(약 147,200 m³/day)이다.

표 2.7 미국 지질조사소의 향후 10년 주요 연구 방향

구 분	연구 방향
생태계의 이해와 변화에 대한 연구	○ 국가 공간생태모형(National Geospatial Ecosystem Model)의 개발 ○ 생태계 상태 및 추세에 대한 국가 관측체계 구축 ○ 생태계의 평가, 예측, 복원 및 보호를 위한 관리자용 기법 개발 ○ 생태계에 대하여 지속적으로 미치는 오염 위협에 대한 평가, 시험 및 측정할 수 있는 생태독물학적(生態毒物學的) 방법과 기술 개발 ○ 인간의 건강과 복지에 대한 의사결정에 요구되는 생태계 특성 및 과정에 대한 보다 우수한 평가 기법의 개발
기후의 다양성과 변화에 대한 연구	○ 기후관련 연구 분야 : 기후와 물, 토지, 환경 및 사회 등과의 관련성을 이해하는데 연구의 목적을 두고, 홍수와 가뭄에 대한 강도, 빈도, 지속기간 등의 수문기상학적 연구를 지속하여 수질과의 상관성을 규명하고, 기후의 자연적인 변화 특성을 정의함 ○ 기후 평가 분야 : 토지, 물, 생물 및 생태 자원을 관리하는데 필요한 예측 기법과 시뮬레이션 모델 등을 개발하여 정책에 활용

구 분	연구 방향
미래 에너지와 광물자원에 대한 연구	○ 미래를 위한 자연자원의 보호 및 자원의 흐름과 산출·이용에 대한 장기간의 추세 모니터링 ○ 환경적 건강성을 확보하기 위하여 에너지와 광물 자원의 순환체계에 대한 명확한 이해를 충족시키고 에너지의 소모 및 폐광물의 처리 등이 지형, 수자원, 기후, 생태, 인간 건강 등에 어떻게 영향을 미치는 가를 규명 ○ 국가 경제의 활력소로서 기능 담당 ○ 국유 토지의 관리 시스템을 개선하여 국토내 에너지와 광물자원의 효율적 개발 및 관리를 도모함
자연재해, 위험 및 복원성 평가 프로그램 연구	○ 강력한 관측 체계의 구축 : 26개 지진 위험 지역에 대한 관측체계의 정비 및 최신화, 169개 화산의 조기경보 시스템 구축, 홍수와 관련된 국가하천정보 프로그램(National Streamflow Information Program: NSIP) 운영, 해안 습지 표면 측정망(Marsh Surface Elevation Table Network)의 확장 등 ○ 망 통신에 대한 기술 개발 : 전 세계적인 지진 네트워크 구축 및 최신 IT 기술 접목. ○ 위해의 특성화 및 평가 : 2017년까지 기관간 협의를 통하여 도시 지역 재해 평가 시스템 실용화 ○ 예측 기술 : 재해의 발생, 분포, 시기, 강도, 위험의 정도, 인간 활동에의 영향 등의 예측 기술 ○ 재해 분야에서의 타기관과의 파트너십(Partnership) 강조
인류 건강에 대한 환경과 야생생물의 역할	○ 다기관이 참여하는 환경건강정보시스템(Env. health inf. system)의 구축 ○ 범 국가적인 건강정보 DB 구축 및 인간 건강 영향 평가
물 센서스 연구	○ 자연 지리적 여건과 환경 등 생태계가 필요로 하는 수자원이 무엇 인가에 대한 명확한 정의 ○ 물의 이용량, 가용량, 수질의 상태와 추세 등 시계열 자료의 수집 저장 능력을 배가시키는 작업 ○ 지표피복과 토지이용의 변화에 대한 정의 및 도면화 된 결과의 생산을 지속하고, 수질수량 및 실이용에 어떤 영향을 주는지 규명함 ○ 대수층과 유역의 물 보유능력 및 저류성 변화 등과 관련하여 유역 특성, 지질 및 지구화학적 골격 등에 대하여 보다 명확히 정의함 ○ 기존의 지하수 모델과 유역 모델을 재 정의하고 보다 복잡하고 실제적인 환경 인자를 고려할 수 있는 신 모델을 개발함(물순환 과정 예측 및 의사결정 지원 등) ○ 미국 내 물 센서스의 기획과 실행을 위한 지역, 주 및 연방 기관 등과의 파트너십을 강화함

구 분	연구 방향
기타 신기술 분야의 기술 개발	○ 데이터 통합(Data Integration)과 기술의 개발(Evolving Technology)이 해당 ○ 실시간 무선통신을 이용한 자료 접근 및 대용량의 데이터 처리 등을 추진 ○ 기술 개발로는 나노기술(Nanotechnology)과 물, 생태계 및 인간 건강 등이 연관된 분야를 개발

(2) 유럽

- 유럽에서는 하천변에서의 지하수 개발 기술이 활발하며, 특히 라인강, 도나우강 및 엘베강 등에서 1800년대 말부터 활발히 이루어져 왔다. 강변여과수를 이용하는 대표적인 나라는 독일을 들 수 있으며, 독일 외에도 오스트리아, 스위스, 프랑스, 네덜란드, 헝가리 등이 있다. 1870년 시작된 뒤셀도르프(Düsseldorf)시 정수장은 라인강 오염으로 더욱 많은 강변여과 취수가 이루어지고 있으며, 비텐(Witten)시 정수장은 인공함양(90%)와 강변여과(10%)의 조합을 통하여 100,000명에 물을 공급하고 있다. 드레스덴(Dresden)시의 Hosterwitz 정수장과 같은 경우에도 최초 원수의 취수는 엘베강의 직접취수와 강변여과 방식에 의한 취수가 함께 수행되며, 취수된 물은 응집 침전 및 급속여과를 거쳐서 일차 처리된 후 인공함양지에서 다시 지하로 함양시킨 후 취수하여 사용하고 있다. 오스트리아 비엔나의 다뉴브강변에는 하류의 Freudenu 수력발전소 건설에 따른 상승된 지하수량을 적극적으로 활용하기 위하여 강변여과수 개발용 관정 약 30개소를 설치 운영 중에 있다. 또한, 체계적인 지하수위 및 수질 관리를 위하여 지하수 양수 및 주입정 48개소, 지하수위 관측정 96개소, 수질 관측정 75개소 및 실시간 수질 관측소 4개소 등을 운영하고 있다.

나. 지하수-지열 융합 에너지 활용 분야

(1) 미국

- 미국은 지중열교환기에 대해 가장 많은 특허를 출원한 나라로 전체 출원수 중 62%에 해당하는 410개의 특허를 가지고 있으며, 2000년 이전부터 교육기관, 상업 건물 등에 대하여 개방형 지열시스템의 활용을 적극적으로 지원하여 실제 운용 사례에 있어서의 문제점이나 개선안에 대한 연구를 가장 많이 수행하였다. SCW 방식을 이용한 개방형 시스템에 대해 ASHRAE와 IEA와 연계하여 지속적으로 기술 개발을 수행하고 있어 현재 세계 최대 SCW 적용 개방형 지열시스템 등을 운영하고 있다. 특히, 켄터키주 Louisville에 있는 Galt House 호텔은 전체 냉난방 면적이 158,400m²으로 약 400m 심도의 4개 관정에서 2,650 L/min의 지하수를 취수하여 열교환기에 이용하고 있다.

(2) 중국

- 지중열교환기 관련 연구 논문 수에서 상위 8명 중 4명이 중국인일 정도로 중국에서는 지열시스템에 관한 관심과 지원이 높다. 중국에서 주로 연구하고 있는 내용은 토양과 지하수 특성, 교환기내 유체 종류에 따른 폐쇄형 지중열교환기의 효율 비교에 관한 실험 및 모델링으로, 대도시의 호텔 등 상업 시설에서의 대용량 지열시스템을 중심으로 운용을 하고 있다. 개방형 시스템에 관해서는 최근 전 세계에서 가장 연구 논문이 많이 나오고 있으며, 개방형 시스템의 운용 사례가 전체 지열시스템의 약 45%를 차지하고 있으며 대규모화 되어있다.

(3) 일본

- 일본은 지중열교환기에 대해서는 세계에서 두 번째로 많은 특허를 가지고 있는 나라는 168개로 26%를 차지하고 있으나, 개방형 지열시스템 활용 및 시장 환경은 우리나라와 비슷한 시작 단계이다. 특정 지역에 대한 수변 충전층을 포함한 대수층에서 지열 부존량을 산출하여 지하수를 이용한 지열 냉난방시스템의 최적지 선정에 이용하고 있으며(Nam et al., 2010), 간단한 개방형 시스템을 운용해보고 이를 공기열원과 결합하는 방식을 제안하고 실험하는 수준에 있다(Nam et al., 2010).

(4) 유럽

- 심부 지열에너지 활용에 있어서 역사가 긴 유럽 지역에서는 천부 지열에너지와 관련이 있는 지중열교환기에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 지중열교환기 기술에 대한 특허는 유럽 전체를 합해도 우리나라보다 적다. 일부 개방형 시스템의 경우 대수층 축열에 주목한 방식으로 네덜란드에서 적극 활용되고 있으며, 아일랜드에서 도시지역의 열섬현상을 개방형 시스템의 열원으로 활용하는 방식이 제안된 바 있고(Allen et al., 2003), 태양열 에너지를 개방형 시스템과 융합하려는 시도가 있었다(Karagiorgas et al., 2004).

2. 국내 기술경쟁력 분석

- 지하수 관련 분야의 연구는 21C 프론티어 연구개발 사업, 수생태사업단 연구, 심부 지열 에너지 개발사업 등 다양하게 추진되어 지하수 자원의 확보, 강변여과수 분석 기법 개발, 지열 개발 가능성 평가 등에 대한 분야에 비교적 적극적으로 대응하고 있으나, 가뭄위기, 하천 건천화 및 지하수위 저하 등 수변 지역 지하수-지표수 현황 연구에 대한 상호연계가 부족하여 국가차원의 통합적인 대응 능력은 부족한 상황이다.

표 2.8 선진국 대비 국내 기술수준

세부과제	현재 기술수준				기술개발완료시 기술수준			
	기술수준		선진국 대비 기술격차	비고	기술수준		선진국 대비 기술격차	비고
	국내	선진국			국내	선진국		
지하수 활용가치 극대화 기술	80	95	5년	성숙 단계	90	95	1년	경쟁 단계
수변 충적층 지하수위 복원 기술	70	95	7년	도입 단계	90	95	1년	경쟁 단계
수변지하수 대용량 간접취수 시공기술	70	95	7년	도입 단계	90	95	1년	경쟁 단계
수변지역 지질-지하수 융합에너지 기반 기술	50	95	10년	도입 단계	80	95	3년	경쟁 단계

- 그러나 다년간에 걸친 실용화 연구에 따른 요소 기술 개발의 필요성이 고조되고 있고, 4대강 살리기 사업 등에 의한 가용 지하수 자원의 확대와 이에 따른 다양한 간접취수 개발의 필요성 부각 및 온실가스 저감과 탄소 배출권 확보에 따른 신재생 에너지에 대한 수요 증가로 인한 다양한 사회적인 요구가 점차 증가하고 있으며, 이를 바탕으로 한 기술 개발 및 현장 실증이 이루어진다면 동남아시아나 중앙아시아 등 신흥 국가의 기술이전 및 사업 영역 확대를 기대해 볼 수 있다.
- 국내 지하수 관측 설비와 관련하여 센서의 내구성 및 보정에 대한 다각화된 연구가 미흡하며 확보된 데이터에 대한 활용에 대한 R&D도 부족한 실정이다. 따라서 원활한 자료의 수집과 신뢰도 높은 분석 및 활용을 위한 IT기반 지하수 모니터링 기술의 개발이 필요하다.
- 국내 간접취수 공법은 경기도 가평, 함안 이룡, 창원 대산 지역에 시범적용 되고 있으며, 현재 김해 생림, 창원 대산(2단계), 의령 등에 건설이 추진되고 있다. 또한 한국수자원공사에서 ‘부산경남권 광역상수도 사업’에서 간접취수 공법을 적용하고자 한다. 그러나 국내 실정에 맞는 간접취수 공법의 정립이 시급하며, 충분한 사전 조사와 현장 지질특성에 맞는 공법의 적용이 정량화되어야 한다.

표 2.9 지하수 인공함양 분야 연구개발 대상기술의 국내외 기술비교 (단위 : %)

연구개발내용	선진국수준	국내수준	차이
지하수 인공함양 분야			
1. 강변여과 활용 기술			
강변여과수 모니터링 수질 변화 예측 기술	100	80	20
충적 대수층 유실 방지 기술	100	75	25
충적층 정밀조사 기술	100	55	45
취수시 지표수 지하수 연계이동 특성 규명 기술	90	70	20
강변여과수 수처리 최적 기술 개발	90	70	20
강변여과수 시스템 설계 및 구축 기술	100	65	35
2. 직접인공함양 활용 기술			
인공함양 적지 선정 평가 기술	70	55	15
인공함양 대수층 특성변화 예측 기술	50	15	35
인공함양 수질변화 모니터링 기술	50	15	35
직접인공함양 가능 주입수 평가 기술	100	75	25
직접인공함양 주입/회수 기술	80	30	50
인공함양관련 특수 취수 시스템 설계 및 구축 기술	80	15	65
인공함양 막힘 과정 파악 기술	100	55	45
인공함양 운용 및 관리 기술	100	55	45

- 지열의 경우 유가의 급등과 정부의 신재생에너지 지원방침에 따라 그 수요가 늘어나고 있다. 지열은 지하수를 이용하여 지중열에너지를 얻는 개방형지중열교환기 시스템(open loop system)과 열교환 유체(부동액 등)를 이용하는 폐쇄형 지중열교환기 시스템(closed loop system)으로 구분할 수 있다. 국내 지열에너지 설치현황은 2000년 부터 2008년 8월까지 총 551건(2007년 12월까지 정부지원사업 108건 포함)이며, 폐쇄형이 약 70%이고 개방형(SCW ; standing column well)이 약 30%이다. 폐쇄형은 지질 및 지하수 환경에 대한 영향 문제와 다수의 관정을 굴착해야 하는 비경제성이 문제로 대두되고 있으나, 단지 용량과 비용이 정량화되었다는 이유로 많이 쓰이고 있는 실정이다.

표 2.10 국내 지질지하수 융합분야 기술 개발 현황

연도	과 제
2001	○ 중·저온성 지열에너지 개발 기술(3년)
2002	○ 지열냉난방시스템 실증연구(2년) ○ 지열냉난방 시스템 성능 평가 및 엔지니어링 기술 확보(2년) ○ 한국에 적합한 지열냉난방 시스템 기술개발과 적용성 및 신뢰성 평가 연구(2년)
2003	○ 현지용 지중열전도도 예측 기술 개발(2년) ○ 부하추종형 고효율 지열 히트펌프 시스템 개발(3년) ○ 지열 이용 열펌프시스템의 성능평가기법 및 기술기준(안) 구축
2004	○ 지열 이용 하이브리드 히트펌프 시스템 개발(3년) ○ 한국형 지중열교환기 최적 설계 패키지 개발(3년) ○ 지중 열교환기 전열성능 향상을 위한 뒤채움재 조성에 관한 연구(2년) ○ 고성능 저가형 지중열교환기 개발(2년) ○ 복수정을 이용한 지열히트펌프 시스템 실증연구(2년) ○ 스탠딩컬럼웰을 적용한 지열히트펌프 실증연구(2년)
2005	○ 유출지하수를 이용한 건물냉난방 기술 개발(2년) ○ 수직형 지중 열교환기 시공기법 및 고성능 천공기술 개발(2년) ○ 현지 지중열전도도 측정 기술(2년) ○ 시설원예용 수평형 지열히트펌프 시스템 실증연구(2년)
2006	○ 공동주택(아파트)의 지열 냉난방 시스템 적용성에 관한 연구(5년) ○ 용량가변형 지열원 다중공간 냉난방 시스템(2년) ○ 저가, 고효율 지중 열교환기 그라우팅 재료 개발 및 DB 구축(2년)
2007	○ 자연냉매(CO ₂)를 적용한 고효율 지열 냉난방 및 급탕 시스템 개발 ○ 지하수 축열을 고려한 대수층 냉난방 시스템 개발 ○ 단일관정을 활용한 층적대수층 이용 냉난방시스템 개발 ○ 저심도 지열을 활용한 에너지파일 및 환기 병용형 냉난방 시스템 개발
2008	○ 광역부하대응 친환경 대체냉매 적용 지열원 냉난방 유닛 설계 및 최적화에 관한 연구(3년) ○ 에너지 텍스타일의 국내 터널에서의 적용성 연구(2년) ○ 한국형 지열발전 시스템의 기술개발 타당성 연구(1년)
2009	○ 전열 성능 분석을 통한 수평형 지중열교환기 설계 데이터 및 시공기법 구축(2년) ○ 건물 하부 구조물에 설치되는 지중열교환기 및 지열 히트펌프시스템의 실증 평가(2년)
2010	○ 직접순환식(DX) 수직밀폐형 지열원 열펌프 시스템 기술 구축(3년) ○ R410A 원심 압축기를 이용한 지열 히트펌프 시스템(3년) ○ 앵커(anchor)와 로우프를 이용한 고심도 고열량 지중 열교환기 장치 개발(2년) ○ 소규모 분산형 지열시스템 개발(3년)

3. 특허 분석

가. 지하수자원 확보기술 특허 분석 결과

- 전체적인 동향을 살펴보면, 대용량 지하수 개발 및 인공함양 기술은 1980년대 후반까지는 특허출원 활동이 저조하였으나 1990년대 초반부터 점진적인 증가세를 보이고 있으며, 지하수 오염 방지 및 저감 기술은 1970년대 후반까지는 미미한 특허출원 활동이 이루어졌으나 1980년대의 완만한 증가세를 거쳐 1990년대 들어 활발한 특허출원의 증가세를 보이고 있다.

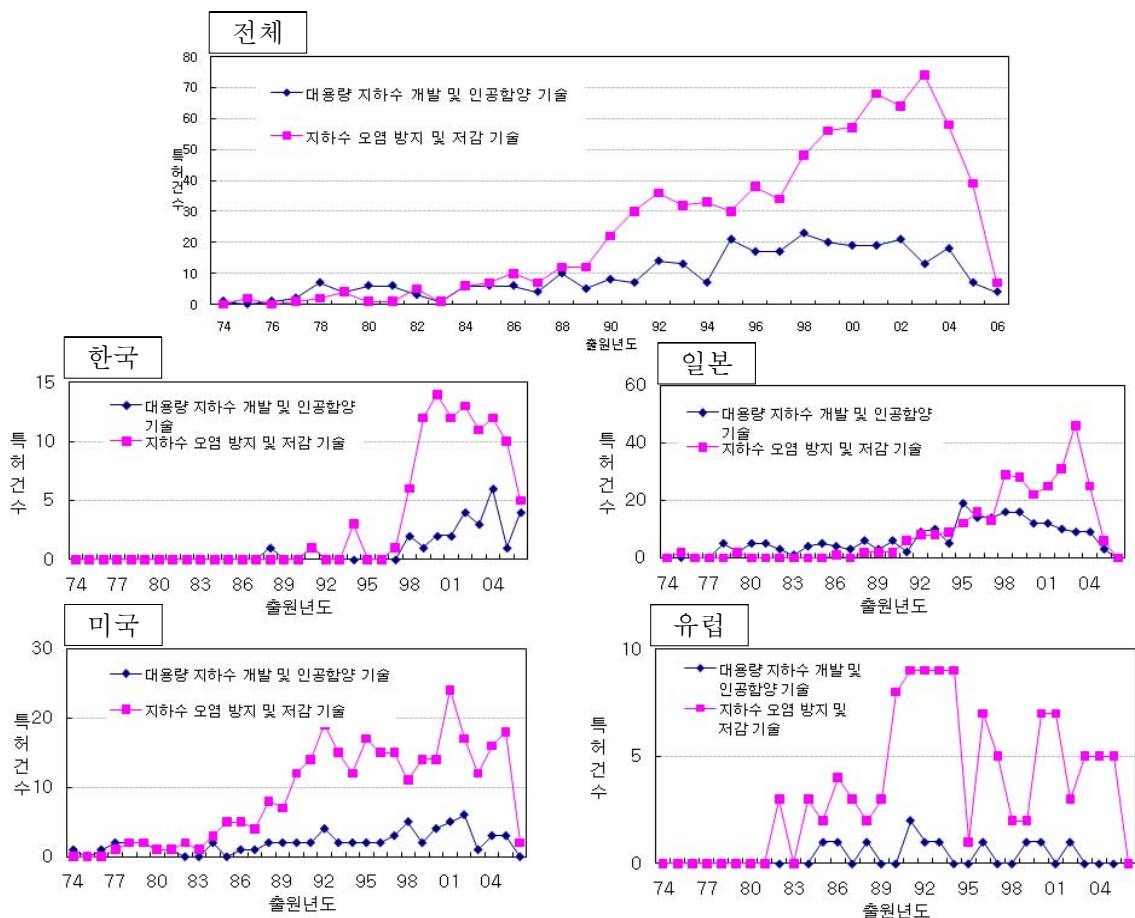


그림 2.7 분류별 연도별 동향

- 분석대상 모든 국가에서 지하수 오염 방지 및 저감 기술의 점유율이 대용량 지하수 개발 및 인공함양 기술에 비해서 상대적으로 높은 점유율을 차지한다. 일본의 경우 대용량 지하수 개발 및 인공함양 기술이 42%로 타 국가에 비하여 상대적으로 높은 점유율을 보이고 있다.

나. 지하수 인공함양 기술 분야 특허분석 결과

- 지하수 인공함양 기술 분야의 분류 기술 분야별 특허분포를 살펴보면, 전체국가를 통합하여 분석할 경우, 정호주입식 함양기술 분야가 전체 84%를 차지하고 있으며, 지표 침투식 함양기술(6%), 강변여과식 함양기술(6%), 지하구조물 활용 함양기술(4%)의 순으로 특허 점유율 분포를 나타내고 있다. 정호주입식 함양기술 분야는 원수 취수기술, 수처리기술, 관정주입기술, 지하수 유동 모니터링기술, 지하수 양수기술의 5개 분류 기술 분야로 구성되며, 이들 5개 분류 기술 분야는 정호주입에 한정되지 않고 다소 넓은 범위의 범용 기술도 관련기술로 포함하기 때문에 정호주입식 함양기술 분야의 점유율이 월등히 높은 것으로 판단된다. 지표 침투식 함양기술, 강변여과식 함양기술, 지하구조물 활용 함양기술의 경우 각 4~6%의 점유율을 나타내며, 이들 3개 분류 분야의 점유율 분포가 비교적 대등한 것으로 분석된다.

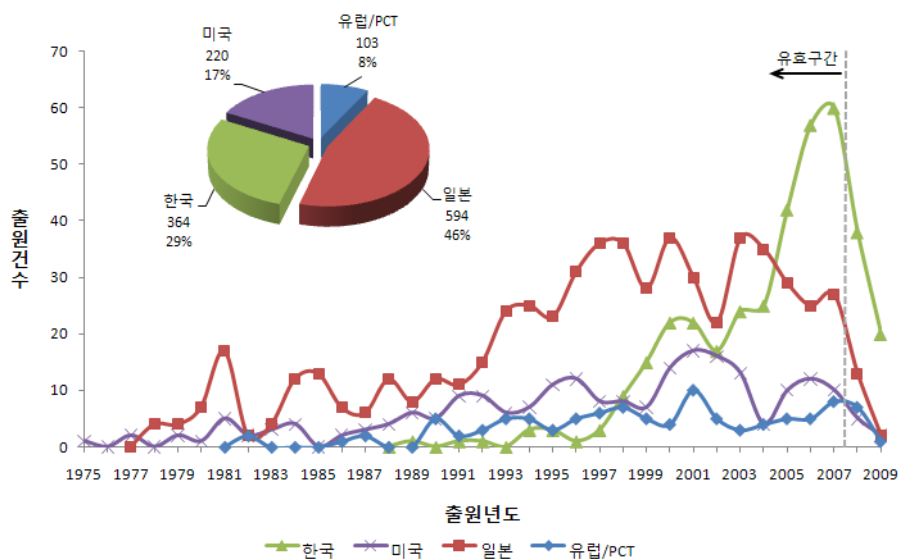


그림 2.8 지하수 인공함양 기술 분야의 연도별 출원동향

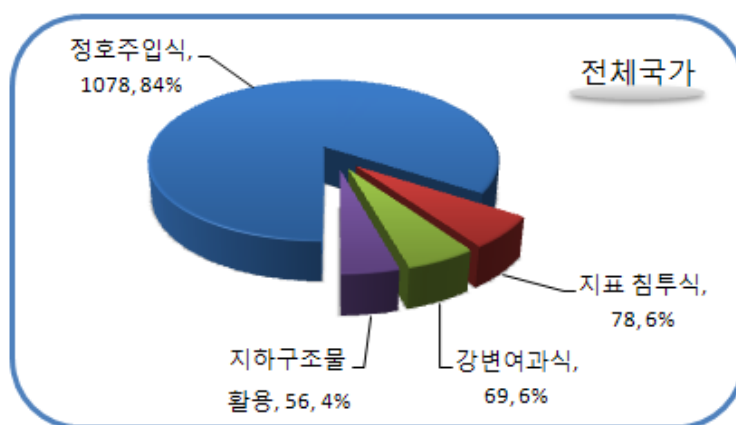


그림 2.9 지하수 인공함양 기술의 분류 기술 분야별 특허분포(전체국가)

- 지하수 인공함양 기술 분야의 각 국가의 분류 기술 분야별 특허분포를 살펴보면, 한국특허의 경우 정호주입식 함양기술 분야(82%), 강변여과식 함양기술 분야(10%), 지표 침투식 함양기술 분야(6%), 지하구조물 활용 함양기술 분야(2%)의 순으로 점유율이 분포하며, 타 국가에 비해 강변여과식 함양기술의 점유율이 높은 것으로 분석된다.

나. 지질지하수 융합기술 분야 특허 분석 결과

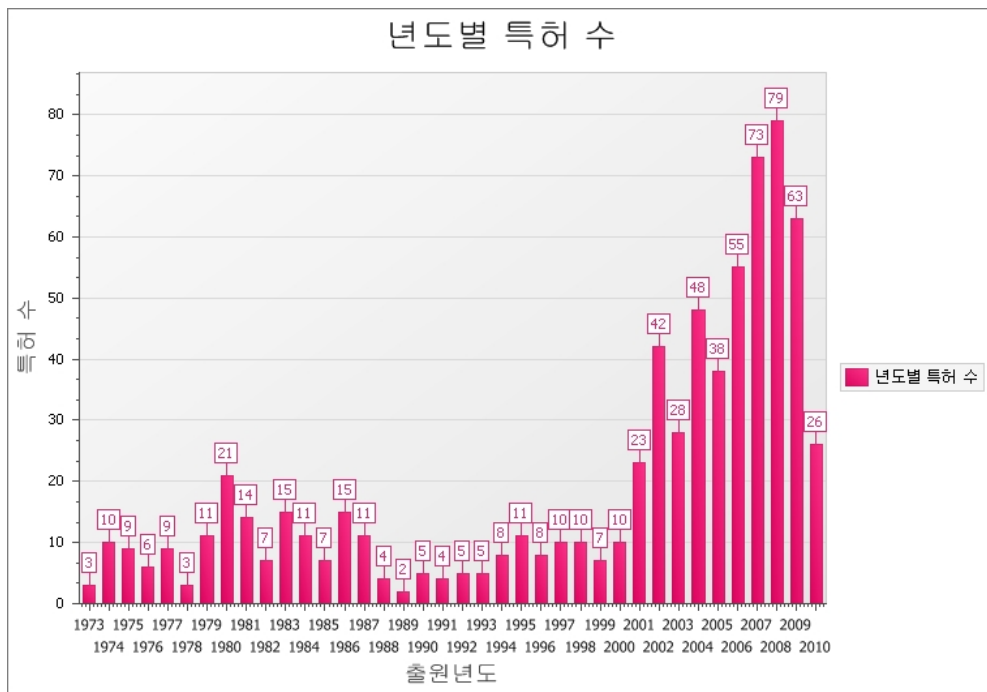


그림 2.10 지중열교환기 관련 전 세계 특허 출원수

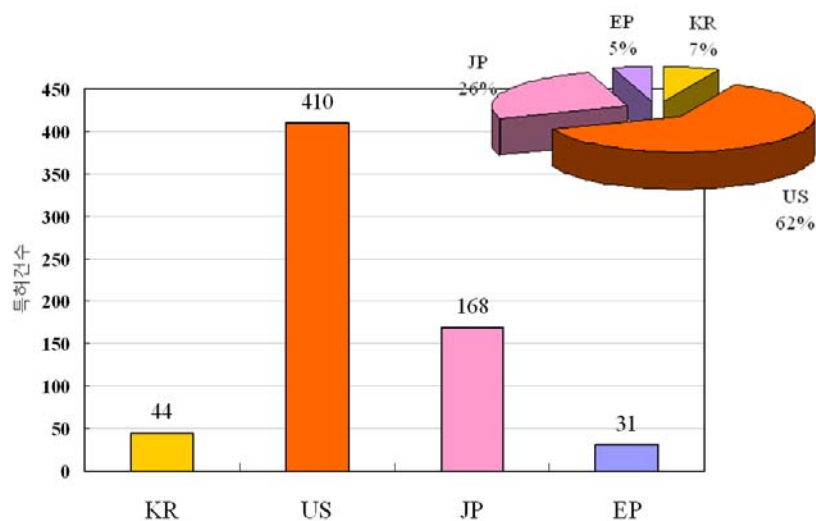


그림 2.11 국가별 지중열교환기 관련 특허 출원수

- 가장 많은 특허를 출원한 나라는 미국으로 전체 출원수 중 62%에 해당하는 410개의 특허를 가지고 있으며 이는 우리나라의 44개와 비교할 때 10배에 가까운 수이다. 두 번째로 많은 특허를 가지고 있는 나라는 168개로 26%를 차지하는 일본이며, 이에 비해 유럽에서 출원한 특허 수는 31개에 불과하여 우리나라보다도 적다.
- 우리나라의 지중열교환기 관련 기술 수준은 미국을 제외하고는 세계 평균적인 수준에 가까이 이르렀다고 볼 수 있으나 선도하는 위치는 전혀 아니며, 우리나라의 실정에 맞고 동남아시아나 유럽 등지의 후발주자들에게 수출할 수 있는 기술을 개발 및 표준화하고 정착시키는 노력이 시급하다고 볼 수 있다.
- 현재까지 추진되거나 특허가 출원된 대부분의 기술은 지중열교환기와 관련된 공조 시스템 등 기계설비 분야에 해당되어 분 연구에서 추진하고자 하는 지층 내 시스템에 대한 기술 특허는 전무하다. 지열 에너지의 확보는 지층 내 지질 및 지하수의 조건에 따라 지속성, 환경영향성, 확보 용량 여부 등에 영향을 미치는 것으로 연구되고 있으나 이와 같은 특성을 극대화하기 위한 국내 특허는 전무한 실정이다.

제 4 절 연구개발 인프라 분석

1. 국내외 연구인력

- 외국의 관련분야 연구의 대표적인 기관은 미국의 지질조사소로서, 1879년 창립되어 120년 이상 운영 중인 세계 최고의 미국 내무성 산하 물·과학지원사무국 소속 조사연구기관으로 자연재해 방지와 물, 생물, 에너지, 지하자원의 관리, 경제 및 자연개발 등의 활동을 수행하고 있다. 본 기관은 자연 재해 관리, 수자원관리, 생물·광물 및 에너지자원 등에 연구 관리를 통하여 신뢰성 높은 과학적 정보를 제공하고 지구를 이해하는데 필요한 자료를 생성하여 국가의 정책 및 인류 발전 도모 등을 목표로 삼고 있다.
- 호주의 CSIRO(호주연방과학산업 연구기구, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation)는 수자원 및 환경분야의 대표적인 연구기관으로서 기술을 선도하고 있는 기관이다. 모두 13개의 연구 Division으로 구성이 되며, 그 중 CSIRO Land & Water (600명 이상 전문가. 9개의 Research Programs 운영.) 내 Surface Water Hydrology, Groundwater Hydrology, Water Reuse and Environmental Process Engineering 3개의 Program에서 지하수-수자원 관련 분야를 연구하고 있다.
- 현재 국내 해당 분야는 21세기 프론티어연구개발사업과 GAIA 사업 등을 통하여 선진국 수준에 도달하기 위한 인적 능력 확보는 어느 정도 이루어졌다고 할 수 있다. 이와 같은 인적 인프라의 확보는 본 연구를 수행하고 목표 달성을 위하여 필요한 기본 바탕을 갖추고 있는 것으로서 인적 자원을 확보하고 있는 주요 기관은 표 2.12와 같다.

표 2.11 국내외 연구 인력 및 기반 수준 비교

분 야	국내 현황	선진국 현황	추정수준
전문가	- 500명/5,000만명	- 4,300명/3억명(미국) - 600명/2,000만명(호주)	약 60%
전문기관	- 국책연구기관 2개소 · 한국지질자원연구원 · 한국건설기술연구원	- 미국: USGS, USBR 등 다수	약 50%
연구 기반	- 지하수 연구용 Test bed 등 국가 Site 전무 - 지하수 R&D 예산 · 20억 미만 (2010년)	- 다양한 연구 Site 및 예산 반영	약 50%

표 2.12 국내외 최고 기술보유 기관 현황

세부 분야	업체/기관명	보유 기술 또는 특허	국적
수변지역 지하수 조사 평가 고도화 기술	한국지질자원연구원	지하수 조사 평가 기술, 오염취약성 평가	한국
	한국건설기술연구원	지표수-지하수 연계 모델링 기술	한국
	부산대학교	지표수-지하수 연계 분석 기술	한국
	동아대학교	지하수 최적관리 및 설계기술	한국
	공주대학교	지하수 조사, 평가 모델링 기술	한국
	경북대학교	지하수 관측 시계열 평가 분석기술	한국
	서울대학교	지표수-지하수 연계 모델링 기술	한국
	한국수자원공사	지표수-지하수 연계 분석, 지하수 관측 평가 기술	한국
	USGS	지하수, 지표수 연구	미국
수변지역 지하수 이용 관리 고도화 기술	한국지질자원연구원	직접인공함양 조사 및 평가 기술	한국
	부산대학교	강변여과 조사 및 모니터링 기술	한국
	서울대학교	강변여과 방사형집수정 수치모델링 기술	한국
	(주)팬아시아워터	강변여과 조사, 설계, 시공, 유지관리 기술	한국
	CWI	방사형집수정 설계, 시공, 유지관리 기술	미국
	GSI	강변여과 조사, 설계, 모델링 기술	미국
	지오그린21	강변여과 현장 철/망간 제어 기술	한국
	한국수자원공사	강변여과 조사 및 평가 기술	한국
지질지하수 융합에너지 이용 기술	한국지질자원연구원	지열 영향 조사 및 평가 모델링 기술	한국
	서울대학교	지열 영향 분석 및 모델링 기술	한국
	공주대학교	지하수 열 유동 분석 기술	한국
	청주대학교	지열 평가 및 설계 기술	한국
	넥스지오	지열 시공 및 분석 기술	한국
	(주)GGK	개방형 지열시스템 시공 기술	한국
	(주)티이엔	지열 냉난방 시스템 시공 기술	한국
	한국지하수지열협회	지열 냉난방 시스템 평가 기술	한국
	RWTH Aachen Univ.	지열 영향 평가 기술	독일
	한국수자원공사	상수원 시설을 이용한 지열 확보기술	한국

2. 국내 기술연구 인프라 분석

가. 수자원 연구 분야

- 수자원의 확보를 위한 21세기 프론티어사업 중 완료단계에 이른 ‘수자원의 지속적 확보기술개발 사업’은 수자원 공급 안정화와 물 부족 해소, 삶의 질 향상을 목표로 2001년부터 10개년 계획으로 추진된 것으로, 30억 톤의 수자원을 확보하는 것을 목표로 하고 있다. 이 연구의 주요 연구영역은 통합 수자원 관리 기술과 지표수 확보기술 그리고 지하수 확보기술 및 대체수자원 확보기술 등으로 주로 수자원 관리를 통한 수자원 확보가 목표이다.
- 지표수와 지하수의 연계 평가 기술 분야는 1990년대 이후 선진국에서 집중 연구되어 최근에는 통합수자원 관리 모델의 근간이 되고 있으나, 국내에서는 2000년대 이후 일부 관련 모델링 기술들이 개발되었으며, 지표수-지하수 통합해석 모형인 SWAT-K와 같은 기술 플랫폼이 개발되어 있으나, 실제 소유역과 같은 지역을 설정하여 지하수의 이용관리 유형을 고려한 통합 관리 기법을 적용한 사례는 미흡한 실정이다.
- 지하수 관리의 기본이 되는 전국 단위 지하수 함양량과 개발가능량에 있어서 유역 물수지와 지하수위 변동을 고려한 산정 기법(건기평 R&D)이 개발되어 있으나, 전국단위로 확대 적용하는 연구는 미흡한 실정이어서 지하수관리를 위한 기본 수문량의 정확한 산정요구가 증대되고 있으며, 지하수 이용률이 높은 지역의 실질적인 지하수 개발가능량 평가가 어려워 관리방안 도입이 시급한 실정이다.

표 2.13 21세기 프론티어 연구사업과 본 기획과제의 차별성

분 야	기존 프론티어 과제	본 연구 과제 (국가 지하수자원 활용 고도화 기술)
지하수-지표수 연계	- 학문적 성격의 지표수-지하수 연계 특성 분석임 . 강변여과수와 낙동강 물의 수리화학적 분석 및 비교 . 강변 지역 지하수-하천수 수위 변동 시계열분석 . 개발 적지 분석을 위한 현장 지질 특성 조사 및 지하수-지표수 연계 해석 등	- 수변지역 지하수 양수로 인한 하천 고갈 현상 분석 및 대책 방안 제시 - 하천고갈 방지를 위한 지하수 사용량 제한 등 정책 및 제도 개선 제안 - 비닐하우스 집중지역 인공함양 기법 적용 및 지하수 활용 시설 구축을 통한 함양 증가 및 하천 고갈 방지 - IT 기반의 지하수 모니터링 시스템 구축 및 지하수 함양량 산정 기준 확립

분 야	기존 프론티어 과제	본 연구 과제 (국가 지하수자원 활용 고도화 기술)
강변여과수 개발	- 기존 시설을 활용한 수리수문학 적 특성 연구 중심임 . 개발 대상지역 수리지질학적 조사 및 수리수문 평가 . 개발가능량 평가를 위한 수치 모델링 수행 . 개발 지역의 생태조사를 통한 지하수 분포 특성 파악 . 개발 지역 지하수위 및 수질 변화 조사 및 분석	- 대규모 지하수 개발 시설의 구축, 관련 설비의 개선 및 운영 관련 기술 현장 적용 - 국내 지질 특성에 맞는 강변여과 기술 개발 - 4대강살리기 사업과 관련되어 변화된 하천특성에 따른 강변여과 개발조건에 따른 최적산출량 확보 기술 개발 - 인공함양 기법을 활용한 강변여과 개발가능량 증대 방안 실증
지열 영향 연구	- 해당사항 없음	- 천부지열 활용 및 개방형 지열 시설 기술의 상용화/국산화 달성 - 지질조건을 고려한 개발 최적지 선정 기술 개발로 무분별한 지하굴착 차단 - 대수층 열저장 능력 평가 및 효율 활용 기술 개발 - 가정용 지열에너지 활용 기술 개발 및 국산화

- 4대강사업을 통하여 국내 수자원 수문환경의 변화가 발생할 것으로 예상되는 만큼 보다 효율적이고 체계적인 지하수 개발 이용 및 보전관리를 위해서는 지하수 개발 방식의 전환, 내륙에서의 인공함양 기법의 개발 등과 같은 수변 지하수 관리 시스템의 개선이 필요하나 이에 대한 연구 사례가 전무한 실정이다. 단, 인공함양 기술, 유역단위 하천-대수층 상호작용 해석 등은 21세기 프론티어연구개발사업을 통하여 제주도 지역(현무암 지역)에서 적용된 사례가 있다.
- 국내의 경우 간접취수원 개발의 기술과 경험은 선진국에 비해 초보적인 단계이며, 국내에서 가장 규모가 큰 간접취수시설은 김해시에서 개발하는 집수정당 20,000 m³/일 규모이다.

나. 지질-지하수 융합 에너지 분야

- 1970년대까지 국내 지열연구는 주로 온천 조사에 관한 것이었으나, 1980년대에 들어서면서 관련 연구소와 학계가 온천 조사뿐만 아니라 지열류량에 대한 연구도 비로소 수행하기 시작하였다. 이후 산발적으로 국내 지열자원에 대한 조사가 행해지

다가 2003년 한국지질자원연구원에서 기존의 온천시추 등의 자료를 수집하고 암석의 열물성을 측정하여 2007년 기준으로 총 359개의 지열류량 시료와 580개의 지온 증가율 자료, 1,560개의 암석 샘플에 대한 열전도도를 측정하여 남한에 대한 지온 증가율 분포도, 지열류량 분포도 그리고 지역별, 지질별 암석의 열전도도 분포를 작성하였다(Lee et al., 2010). 그러나 이는 수 km 깊이 이상의 심부 지열환경에 대한 것으로 수변지역 충적층에 대한 연구는 제외되어 있다.

- 국내 개발된 지열 현황은 개방형이 107개소, 폐쇄형이 232개소로 대부분이며, 폐쇄형의 경우 평균 굴착공수가 32개소에 이르는 등 좁은 지역 내에서의 과다한 굴착이 이루어지고 있는 실정이다. 또한 지하수가 가진 열자원의 이용에 대한 기술 개발은 설비뿐 아니라 최적 지점의 발굴, 고효율 우물 설비의 개발, 천층 지하열원 개발 등 다양한 분야를 대상으로 수행되어야 하나, 국내의 경우 폐쇄형 지중열교환기 개발 및 관련 설비 분야에 국한되어 기술 개발이 이루어지고 있는 실정이다.
- 국내에서는 폐쇄형 지중열교환기 및 열펌프에 의한 지중 열거동과 지화학 반응에 의한 지중 열거동 변화 및 장기적 지중 열거동 변화를 정밀하게 시뮬레이션 할 수 있는 T-H-C 연동 계산 모듈인 Modified TOUGHREACT이 개발되었다. 또한 Single U-tube와 Double U-tube에서의 정밀한 열교환 시뮬레이션을 위한 초정밀 mesh를 간편하게 생성할 수 있는 U-Mesh 프로그램도 개발되었다. 한국지질자원연구원의 폐쇄형 시스템을 대상으로 이들 프로그램에 대한 검증과 평가가 이루어졌다(Kim et al., 2010). 이를 기반으로 개방형 시스템 모델 개발을 위해 지중열교환기와 대수층 사이의 열 및 물질 교환 부분에 관한 항목이 구체화될 필요가 있다.
- 2011년 현재 마무리 단계에 이르고 있는 4대강 사업을 통해 국내 주요 강변 대수층 환경이 급속히 변화하였으며, 수위와 수량에 있어서도 지역별로 증감 폭이 크다. 그러나 이를 에너지 활용 측면에서 효과적으로 이용하기 위한 준비는 전혀 되어있지 않다. 이러한 변화를 친환경, 고효율의 지하수열원 활용 시스템의 정착 기회로 적극 이용해야 한다.
- 수변지역 충적층에는 가용 지하수량이 풍부하므로 지하수를 활용한 지열에너지 개발에 매우 유리하다. 우리나라는 강 주변에 충적층이 잘 발달하고 있을 뿐 아니라, 강변에서 인접한 위치에 인구밀도가 높은 대도시가 발전하는 사례가 많아 충적층에서의 지하수원 및 지하수열원을 잘 활용할 경우 경제적 측면에서 많은 이득을 얻을 수 있다. 일례로 2006년 창원시 대산면 대산정수장에서 강변여과수를 이용한 건물 냉난방 설계가 성공적으로 이루어졌으며, 낙동강 충적층의 지하수 순환과 온도 변화에 대한 민감도 분석 및 예측 모델링(Shin et al., 2010)도 행해진 바 있다(그림 2.13).

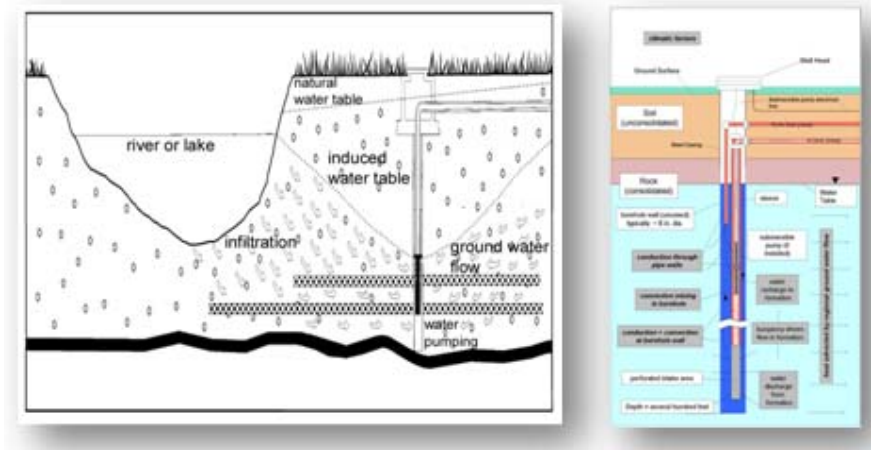


그림 2.13 강변여과수 활용 개방형 지열시스템 및 SCW형 지열시스템
(Kim et al., 2008; Spitler, 2002)

- 한국지질자원연구원, 넥스지오 등에 의해 풍화대와 퇴적층에서의 소규모 축열 시스템 시험 운용이 수행된 바 있다. 개방형 시스템에서 열 순환에 따르는 냉난방 요소들을 줄이고 대수층에 저장하는 열량을 늘리는데 주목하면, 대수층 축열 시스템으로 용도 확장이 가능하다. 또한 수변에서는 열과 물질의 교환이 빠르게 일어나기 때문에 축열 시스템에서의 열저장 능력도 더 개선될 수 있다. 따라서 수변 충적층의 지하수열원을 활용한 지열시스템에 관한 연구가 선행되면, 향후 기존 기술을 접목시켜 대하천 주변 두꺼운 충적층에서 여러 개의 관정을 이용한 대규모의 대수층 축열 시스템으로 개발될 수 있는 가능성이 크다.

제 5 절 종합분석

1. 하천변 시설재배에 의한 수위 강하 문제

- 고유가에 따른 수막재배 농업의 중요성이 커짐에 따라 시설재배 면적이 급격히 증가하고 있으며, 하천주변 비닐하우스 수막재배를 위해 연간 5.4-15.5억 m^3 (지하수 이용량의 14.6-41.6%)에 달하는 막대한 양의 지하수가 사용된 후 농수로로 통해 하천으로 유출되고 있음이 확인되어 지하수위 강하를 야기하고 있다. 이에 따라 자연함양량 감소와 지하수 사용량 증가로 시설재배 지역 지하수 고갈 문제가 심화되고, 이는 갈수기 하천 건천화와 관련이 있는 것으로 추정된다.
- 따라서 하천변 농업용수 이용량에 대한 보다 정확한 재평가와 함께 수막재배 농업용 지하수를 재주입하는 인공함양 기술 및 하우스 빗물을 취수하여 지하에 주입하는 기술의 개발이 절실하게 필요하다.
- 제주특별자치도에서 추진하고 있는 연동구조의 비닐하우스에 화산암지층의 높은 투수성을 이용한 빗물 인공함양 기술을 참고하여, 이를 바탕으로 지층의 투수성이 작고 불포화대가 작은 내륙의 수리지질조건에 적용 가능한 관정 주입기술 개발의 기반을 마련할 수 있다. 또한 한국지질자원연구원(산업기술연구회 연구과제)의 파일럿 규모 지질순환식 인공함양기술의 일부 요소기술을 활용하여 중소하천 수계규모에 적용할 수 있는 대용량 시스템으로 확장할 수 있다.
- 개발된 지하수위 복원 기술 보급 및 관련 지침서 배포를 통해 지하수위 고갈 수변 지역 지하수위 회복 및 갈수기 하천 유량 증가에 활용하고, 에너지 효율적 시설재배 단지를 구축하여 농가 소득 제고에 활용할 수 있다.

2. 저비용·고효율의 취수 기술에 대한 요구 증대

- 국내의 대용량 간접 취수시설을 개발에 대한 요구가 급증하고 있으며 이를 지원하기 위한 관련 사업은 늘어나고 있으나, 현장 적용 기술 수준은 사업을 효율적으로 수행하기 위해서는 역부족이며 많은 시행착오를 낳고 있다. 특히 대용량 집수정 함공법과 수평정호 굴착공법은 선진국 기술 수준과 격차가 심해 국고의 낭비와 비효율적인 사업 진행이 발생하고 있다. 또한 국내의 간접취수 원수는 지질학적 특성으로 인해 철/망간 농도가 높게 나타나는데 이는 실제 정수장에서 간접취수 원수가 처리되는 공정에 몇 가지 문제점을 낳고 있다.
- 따라서 양질의 지하수 활용을 위한 저비용/고효율의 대용량 취수시설(3만 m^3 /일) 시

공기술 개발하고 간접취수 조사 설계 기술 표준 지침서를 마련함으로써, 대용량 간접 취수시설의 장기적인 관점의 유지관리 기술을 개발하여 보다 경제적이고 효율적인 시설로 활용될 수 있도록 뒷받침이 필요하다.

- 국내의 경우 주로 자중침하공법을 사용하여 왔으나 경제성이 떨어지고 공사기간이 많이 소요되는 것이 단점이다. 따라서 이를 개선할 수 있는 인공침하공법이나 하중재하공법을 응용/개발하여 공사기간을 단축하고 보다 효율적이고 경제적인 잠함공법을 적용함으로써 공사비 절감 등 경제적 효과를 기대할 수 있다. 또한 선진국 수준의 대구경, 대심도 수평정호 설치를 위해 국내 실정에 맞는 천공장비의 기계적인 기능 개선과 함께 대구경, 대심도 천공 능력을 갖는 굴진공법을 개발함으로써 대용량 간접 취수시설의 현장 적용 기술을 최적화할 수 있을 것으로 판단된다.
- 수변지역 지하수 대용량 간접취수시설 개발의 사업화 및 선진화를 통해 수변지역 청정 간접취수원 추가 확보를 통한 대체수자원 확보할 수 있을 뿐 아니라 국내 지하수 개발 관련기업의 해외 물 산업 진출 경쟁력 강화에 크게 기여할 수 있다.

3. 급변하는 수변 환경에서의 지하수열원 활용 방안 제안

- 우리나라는 강 주변에 가용 지하수가 풍부한 충적층이 잘 발달하고 있을 뿐 아니라, 최근에는 4대강 사업 추진과 더불어 충적층의 두께나 지하수위 등 여러 가지 요소들이 지역별로 크게 증감하고 있는 것으로 보고되고 있으나 이러한 급진적인 변화를 수자원 관리 이외에 에너지 활용 측면에서 효과적으로 이용하기 위한 준비는 전혀 되어있지 않다. 지하수는 축열 능력이 암석의 2배 이상이므로, 지중 열에너지 개발에 있어서 지하수가 풍부한 수변을 적극 활용하는 것이 효율적이다. 급격하게 증가하고 있는 에너지 비용과 환경 친화적인 신재생에너지원에 대한 대내외적 관심에 부응하기 위하여 이러한 변화를 친환경, 고효율의 지하수열원 활용 시스템을 정착시킬 수 있는 기회로 삼아야 한다.
- 2003년 한국지질자원연구원에서 기존의 온천시추 등의 자료를 수집하고 암석의 열물성을 측정하여 2007년 기준으로 총 359개의 지열류량 시료와 580개의 지온증가율 자료, 1,560개의 암석 샘플에 대한 열전도도를 측정하여 남한에 대한 지온증가율 분포도, 지열류량 분포도 그리고 지역별, 지질별 암석의 열전도도 분포를 작성한 바 있다(Lee et al., 2010). 그러나 이는 수 km 깊이 이상의 심부 지열환경에 대한 것으로 수변지역 충적층에 대한 연구는 제외되어 있다.
- 가용 지하수가 풍부한 수변 충적 대수층에서의 지하수열원을 활용하기 위해서는 연중 수위 변화, 수온 변화, 수리적 물성 및 열 물성의 파악이 선행되어야 하며, 이를

통해 지하수열원 부존량이 평가되고 인자별 관련 정도를 파악하여 분포도가 작성된다면 향후 수변에서 개방형 지중열교환기, 대수층 축열 시스템 등 다양한 지중열 활용 방안에 대한 적용 가능성을 진단하고 최적지를 선정하는 중요한 근거가 될 수 있다.

4. 지하수 기반 에너지 활용 시스템 개발 필요성 대두

- 국내의 경우 지열에너지의 개발은 주로 폐쇄형 지중열교환기 시스템에 의한 설비기술 개발에 국한되어 왔으며, 개방형 및 천부지열 확보 기술에 대한 연구개발과 특허 기술은 전무하다. 개방형 지하수 지열 시스템은 시추공의 개수가 적고 공간 활용도가 매우 높으므로 초기 투자비가 매우 적을 뿐만 아니라 수리지질 조건이 양호한 환경에서는 시스템 초기 설치비 회수율이 매우 높은 장점을 가짐에도 불구하고, 우리나라에는 지하수를 활용하는 지열시스템 관련 법규도 전혀 마련되어 있지 않은 상황이다.
- 지하수열원 활용하는 지열시스템 보급을 위해서는 대수층 열용량 설계를 위한 수리지질 특성 분석 및 모델링 기술 정립이 선행되어야 하며, 시스템이 신뢰성을 갖고 효율적으로 운영되기 위해서는 지중 열교환 시스템 설계 기준 수립과 안정적 운영을 위한 성능 기준 마련, 냉난방 시스템과의 종합 설계 및 대용량화를 위한 지중-지상 융합 엔지니어링 기술 정립이 필수적으로 요구된다.
- 국내에서는 폐쇄형 지중열교환기 및 열펌프에 의한 지중 열거동과 지화학 반응에 의한 지중 열거동 변화 및 장기적 지중 열거동 변화를 정밀하게 시뮬레이션 할 수 있는 Modified TOUGHREACT, 초정밀 mesh를 간편하게 생성할 수 있는 U-Mesh 프로그램도 개발되었다. 개방형 시스템 모델은 지중열교환기와 대수층 사이의 열 및 물질 교환 부분에 관한 항목이 구체화되면 폐쇄형 시스템과 구조가 상당 부분 비슷하기 때문에 기존에 만들어진 폐쇄형 시스템 모델을 단계적으로 수정하고 추가하는 방식으로 충분히 발전시킬 수 있다. 이외에도 한국지질자원연구원, 넥스지오 등에 의해 풍화대와 퇴적층에서의 소규모 축열시스템 시험 운용이 수행된 바 있는데, 지하수열원 시스템에서 열 순환에 따르는 냉난방 요소들을 줄이고 대수층에 저장하는 열량을 늘리는데 주목하면, 대수층 축열시스템으로 용도 확장이 가능하다.
- 수변 충적층 내 개방형 지열 시스템의 평가 및 설계 기술 표준화와 대수층 축열 시스템 기술 개발을 통해 천부 지열에너지 설비 효율을 10% 이상 증대시킬 수 있을 것으로 기대된다.

5. 가뭄과 홍수 등 재해 대응을 위한 지하수 활용 극대화 기반 기술 마련

- 외국의 경우 선진국을 중심으로 홍수, 가뭄 등에 대비하는 지하수의 역할에 대한 연구를 통하여 지하수의 활용 가치 극대화를 위한 정책이 수행되어 왔다. 우리나라는 그동안 지표수나 기상 수문량을 중심으로 가뭄이나 홍수를 평가하는 시스템이 개발 활용되어 왔으나, 훨씬 안정적인 수문량인 지하수를 활용한 기술이 비교 검토되어 개발된다면 보다 지하수의 가치를 증대시킬 수 있을 것이다.
- 기후변화로 인한 이상 가뭄과 홍수는 보다 빈번히 발생하고 있으며 이를 예측하고 해결하기 위한 다양한 시도가 있다. 아울러, 홍수에 대한 기술도 지표수 중심의 홍수지도 제작 등 지난 수년간 기술개발이 이루어져 왔으나, 4대강 살리기 이후 상승하는 지하수량에 의한 홍수 패턴의 변화가 발생할 것으로 예상되는 바 이에 대한 연구가 기존 연구를 기반으로 추진되어야 한다. 지하수의 중요성에 대한 가치평가는 “지하수기초조사”를 대상으로 수행된 바 있으나 지하수의 수자원의 가치에 대한 평가는 전혀 이루어지지 않아 경제적 효과에 대한 재정립과 이를 기반으로 한 지하수 산업 발굴, 관리시스템 개선 등이 필요할 것이다.
- 지하수는 지표수와 달리 외부 요인에 민감하지 않고 연속성과 균질성을 갖고 있기 때문에 중요한 지표수로서의 역할을 담당할 수 있다. 따라서 수변지역에서의 지하수의 수자원 정책에서의 기능을 제고하기 위한 가치 극대화 연구가 필요하다. 이를 통해 가뭄, 홍수 시 적절한 수자원 이용 보장 및 지표수 유량 확보에 기여하고, 적정 지하수 허가 이용량을 결정함으로써 지하수자원을 효율적으로 활용하는 기초를 마련하며, 수변지역 지하수자원의 경제적 효과를 평가함으로써 각종 국가 정책 입안 시 기초자료 및 근거 제공하게 될 것이다.

6. 지하수 순환에 대한 정밀 평가가 가능한 모니터링 기술에 대한 요구

- 수변지역의 대수층 시스템은 물 순환을 원활히 하기 위하여 매우 중요한 인자로서 지속적인 계측 및 평가가 이루어져야 한다. 최근 4대강 살리기에 따라 수변지역에서의 지표수와 지하수의 상호작용 환경이 변화되고, 중소하천 살리기가 본격 수행되는 시점에 이에 대한 정확한 계측과 평가는 필수적이다.
- 기존에 개발되어 있는 지하수 원격모니터링 시스템의 기술력을 활용하여 원격제어를 가능하게 하고 운용중인 감시용 PC소프트웨어 개발기술을 활용하여 웹사이트와 스마트폰으로 모니터링 할 수 있다. 아울러, 국내에서 보편화되고 있는 스마트폰, 스마트패드 등을 활용하여 지하수 정보의 현장 조사 기록을 관리할 수 있도록 한다. 특히, 지하수는 시스템적으로 잘 구축되어 있는 분야로서 SMART 기술을 활용

한 첨단 지하수 관리 체계를 개발한다면 국가의 지하수 시설 및 이용 현황에 대한 관리 체계를 고도화할 수 있다.

- 첨단 IT를 연계한 지하수 모니터링 장치 및 SMART 관리 시스템 개발을 통해 계측 자료를 활용한 과학적인 수문 평가 및 정책 지원이 가능할 것이며, 실시간 정보 접근성을 강화하고 활용성 제고함에 따라 기후변화에 대비한 계측 관련 전 세계적인 선도 기술을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략

제 1 절 비전 및 목표

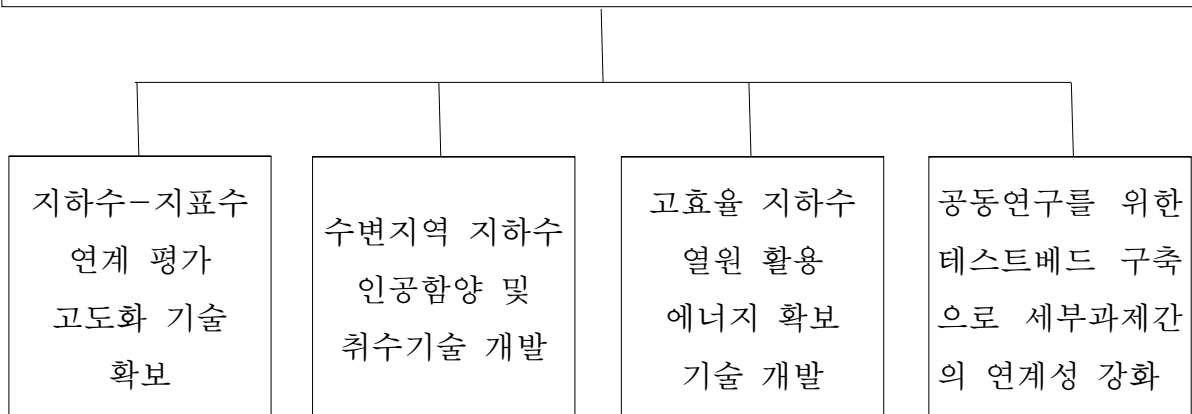
- 수변지하수 활용 고도화 연구의 핵심적인 목표는 지하수 수위 복원 기술 개발로 손실유량 대비 20% 함양을 달성하고 선진국 수준의 간접 취수 기술 확보로 설비당 20% 이상 취수능력 확대 및 천부 지열시설의 에너지 효율을 기존 지열 에너지 효율 대비 10% 이상 증대를 목표로 수변 지하수계 복원과 융합 에너지 활용을 통해 지하수 가치를 극대화하여 최종적으로 건전한 물순환 구축으로 인한 국가 물안보 확보를 비전으로 한다.

비 전

건전한 물순환 구축으로 국가 물안보 확보

목표 (2012-2016)

간접취수 자체 시공기술 확보로 설비당 20% 이상 취수능력 확대
지하수 수위 복원 기술 개발로 손실유량 20% 함양 달성
천부지열 시설의 에너지 효율 10% 이상 증대



제 2 절 기술개발에 따른 미래상

- 지난 수 십 년간 지속적인 지하수위 강하, 비닐하우스 배출 지하수의 갈수기 유출 손실 등으로 인하여 하천 유량이 감소하거나 생태적으로 불안정한 하천이 되어 건천화가 지속되고 있으나, 비닐하우스에서 배출되는 지하수를 재함양시킴으로서 갈수기 하천 유량을 보다 확보하여 자연 하천으로서의 기능을 회복시켜 생태적으로 안정화됨으로써 하천에서 물고기도 잡고 가재도 잡는 아이들이 생기게 된다.

- 또한, 강변여과 시공 기술의 부족으로 공당 개발능력이 외국의 5분의 1 정도에 불과하고 불량 시공으로 유지관리비가 증가되었던 현실에서 벗어나 선진국 수준의 시공 및 관리 기술을 개발함으로써 공당 개발능력을 제고하고 유지관리 최적화를 달성함으로써 강변여과수의 광역상수도 공급 능력을 보장하여 맑고 짙은 물이 많은 지역에 공급하도록 되었다.

- 녹색성장의 기치 아래 지열 개발이 활성화되었으나, 지하수열 보다 효율이 상대적으로 낮은 지중열 활용 기술에 편중되어 녹색성장을 충분히 뒷받침하지 못하고 있었으나, 4대강 살리기 사업이후 하천변 충적층내 안정적 지하수 확보는 지하수열을 이용한 지열 시스템의 개발을 가능하게 하였고 보다 대용량의 친환경적 지하수열 활용 기술을 개발하여 수변지역에서의 공동 시설과 대규모 시설 등에 보급되어 광역적인 친환경 녹색도시 조성이 가능하게 되었다.

제 3 절 연구개발과제 구성

- 본 “국가 지하수자원 활용 고도화 기술 기획” 연구는 지하수 관리 선진화, 기후 변화, 하천 및 지하수 고갈, 수변지역 지하수 이용 및 지하수 지질 융합에너지 활용 등과 같은 국내외의 정책, 경제, 사회 및 환경적 변화 및 필요성에 능동적으로 대처하고 안정적으로 수자원을 확보함과 동시에 국가 정책을 이끌어 갈 수 있는 고도화 기술을 개발하고자 세부 연구 과제를 수립 함.
- 이를 통하여, 보다 실효성 높은 지하수 관리정책 입안, 지하수 복원을 통한 수자원 확보, 효율적인 지하수 개발 및 수자원 확보, 고효율의 지열 개발 등의 분야에 대한 기술을 고도화하고 이를 지하수 이용관리 정책과 산업에 접목하여 보전관리의 바탕 하에 지하수 개발이용을 활성화하고자 함.

표 3.1 과제별 연구내용

연 번	과제명	연구 구분	세부연구 내용
1	총괄과제 현장부지 총괄 관리 및 가치 평가 기술	기초	지하수의 경제적 가치 평가 및 연구단 수행 과제의 경제적 효과를 평가하며, 연구단 부지 선정 및 현장 통합 운영에 관한 관리 총괄
2	1세부과제 지하수 활용가치 극대화 및 기반기술	응용 및 기초	수변지역 지하수의 활용가치 극대화에 필요한 지하수 정책 연계성 기반 기술 구축
3	2세부과제 수변 충적층 지하수위 복원 기술	응용 및 기초	중소하천 주변의 지하수위 강하로 인한 하천 고갈 등 물 순환 장애를 복원하기 위한 지하수위 상승 및 함양 설비 기술 개발
4	3세부과제 수변지하수 대용량 간접취수 시공기술 선진화	실용화	대하천변 충적층 내 실험 시설을 설치하고 다양한 현장 실증을 통하여 대규모 지하수 수원 개발 관련 시공 기술 확보
5	4세부과제 수변지역 지질지하수 융합 에너지 활용 기술	실용화	수변지역 충적층 내 지하수 열자원 활용 및 관리 고도화를 위한 광역적 평가 등 기반 기술 확보 및 지하수의 열자원을 활용한 수변지역에서의 환경 친화적 천부 대용량 지열 기술 개발

제 4 절 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. 총괄과제

가. 연구개발 목표

- 합리적이고 효율적인 연구단 운영을 위하여 연구단 내 연구과제에서 진행되는 실험 계획 수립, 시범적용 부지 선정, 인허가, 현장 관리, 현장 통합 모니터링 계획, 개발된 기술의 경제성 평가 등을 수행함과 동시에 지하수 정보, 관측 등 지하수의 경제적 가치 평가를 실시하여 연구단 수행 과제에 대한 경제적 효과를 평가하는 것을 목표로 한다.
 - － 연구대상 부지선정·운영관리 총괄 및 연계활용 관리
 - － 국가 지하수자원의 경제적 활용가치 평가

나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

- 현재 국내 지하수 이용은 136만 개소에서 이루어지고 있는데 이의 체계적인 활용을 위한 과학적인 평가가 이루어지지 못하고 있다. 특히, 지하수는 가뭄 시 가장 중요한 대체수자원 역할을 하고 있으나 그 가치는 매우 낮게 평가되고 있다. 본 연구를 통하여 지하수가 수원으로서의 역할 뿐 아니라 수자원의 평가(가뭄과 홍수 등)에 기여할 수 있는 인자임을 알리고 향후 그 역할을 담당할 수 있도록 기회를 부여할 필요가 있다.
- 지하수는 우리나라 전체 용수이용량의 약 10%를 담당하고 있으며, 최근에는 무탄소 청정에너지인 지하수열을 활용한 산업활동 등 그 경제적 가치가 점점 더 증가하고 있으나 최근까지 지하수 활용가치에 대한 경제성 분석이 미흡한 상태이다. 그러므로 현재상태의 지하수 개발 및 이용 뿐 아니라 정부에서 시행중인 지하수 조사 및 관측, 보전관리 사업 등에 대한 정확한 경제성 평가가 이루어진다면 지하수의 활용에 대한 보다 체계적인 접근과 관리가 가능할 것이다.
- 특히, 본 연구는 허가기준량 등 국가정책의 기반이 되는 자료를 생성 제공하는 것으로서 민간의 연구개발보다는 국가 주도의 연구개발로 추진하는 것이 바람직하다.

다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

- 그 동안 지하수의 중요성에 대한 가치평가는 “지하수기초조사”를 대상으로 수행된 바 있으나 지하수의 수자원으로서의 가치 평가는 전혀 이루어지지 않아 경제

적 효과에 대한 재정립과 이를 기반으로 한 지하수 산업 발굴, 관리시스템 개선 등이 필요할 것이다. 아울러, 본 과제 완료시 발생할 수 있는 경제성에 대한 분석이 병행될 것이다.

라. 연구개발 주요내용

본 총괄과제의 연구개발 내용은 다음과 같다.

- 연구대상 부지선정·운영관리 총괄 및 연계활용 관리
 - － 연구대상 부지 선정 총괄
 - － 시범부지 내 인허가 및 현장 관리
 - － 현장 통합 모니터링 수립 계획
- 국가 지하수자원의 경제적 활용가치 평가
 - － 국가 지하수 관측망의 경제적 효과 평가 및 지하수 현황 정보 및 조사의 경제적 효과 평가
 - － 연구단에서 개발된 기술에 대한 경제적 효과 평가
 - － 수변지하수 활용 고도화 연구단의 경제적 효과 평가

마. 연구개발과제 TRM

총괄 과제	추진 일정									
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도					
연구대상 부지선정·운영관리 총괄 및 연계활용 관리										
국가 지하수 정보의 경제적 효과 평가										
수변지하수 활용 고도화 연구의 경제적 효과 평가										

바. 최종성과물 및 성과지표

- 최종성과물
 - － 국가 지하수 자원의 경제적 활용가치 평가
 - 국가 지하수 정보 (관측망, 현황정보 및 조사) 경제적 가치 보고서
 - 수변 지하수 활용 고도화 연구의 경제적 가치 보고서

○ 성과지표

성과목표	성과지표		측정 방법	단계별목표치					최종 목표치	가중치 (0~2)	비고
				1	2	3	4	5			
과학기술적 연구 성과 향상	1-1	학술지 게재 - SCI/SCI(E)	건	0	0	0	0	0	0	1.0	
	1-2	학술지 게재 - 일반학술지	건	0	0	0	0	0	0	0.4	
	1-3	국내외 학술회의 발표	건	0	0	0	0	0	0	0.2	
	1-4	지식재산권 - 특허, 소프트웨어	건	0	0	0	0	0	0	2.0	
기술개발 역량향상	2-1	과제당 산학연 협력 활동건수	건	0	0	0	0	0	0	0.2	
	2-2	산학연 기술지원 건수	건	0	0	0	0	0	0	0.2	
	2-3	세부과제 평가보고서 (고유지표)	권	4	4	4	4	4	20	2.0	
	2-4	관련분야 국제협력 네트워크 구축 (고유지표)	건	0	1	1	2	2	6	0.4	
사회·경제적 파급효과 증대	3-1	연구개발 관련 홍보 건수	건	1	1	2	2	2	8	0.4	
	3-2	기술 확산을 위한 상호교류 정도	건	0	0	0	0	0	0	0.6	
	3-3	기술적용 및 기술이전	건	0	0	0	0	0	0	2.0	
	3-4	전문인력양성 (고유지표)	명	0	0	0	0	0	0	0.8	
기술개발 계획 및 추진체계	4-1	법/제도/정책 제안	건	0	0	0	0	0	0	0.6	
	4-2	기술 보고서	권	0	0	0	0	1	1	1.0	
합계				5	6	7	8	9	35	46.6	

사. 성과물 검증방안

- 지하수의 경제적 가치 평가 여부

아. 기술수요처 및 실용화 방안

- 정부 및 지자체
 - 지하수 제도의 실효성 제고에 활용
 - 각종 정책 입안 시 경제성 논리 제공 및 연구성과 홍보

2. 1세부과제 개요

가. 연구개발 목표

- 수변지역 지하수의 활용가치 극대화에 필요한 지하수 정책 연계성 기반 기술 구축
 - － 지하수 활용 홍수취약성 평가 기술 개발
 - － 원격제어 지하수 계측 시스템 개발
 - － SMART 기법을 활용한 지하수 관리 기술 개발
 - － 지하수 허가기준량 평가 기술 개발

나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

- 기후변화로 인한 이상 가뭄과 홍수는 보다 빈번히 발생하고 있으며 이를 예측하고 해결하기 위한 다양한 시도가 있다. 홍수에 대한 평가 기술은 지표수 중심의 홍수 지도 제작 등 지난 수년간 기술개발이 이루어져 왔으나, 4대강 살리기 이후 상승하는 지하수량에 의한 홍수 패턴의 변화가 발생할 것으로 예상된다.
- 지하수는 지표수와 달리 외부 요인에 민감하지 않고 영속성과 균질성을 갖고 있기 때문에 중요한 저수지로서의 역할을 담당할 수 있다. 따라서 수변지역에서의 지하수의 수자원 정책에서의 기능을 제고하기 위한 가치 극대화 연구가 필요하다.
- 수변지역의 지하수 순환 시스템은 물순환을 원활히 하기 위하여 매우 중요한 인자로서 지속적인 계측 및 평가가 이루어져야 한다. 이에 따라 지하수의 순환시스템에 영향을 주는 인자를 계측하여 데이터를 분석하고 지하수 이용에 활용하는 관리체계는 필수적이라 할 것이다. 현재의 시스템은 주기적으로 직접 관측하여 분석하거나 모니터링 된 자료를 인위적으로 분석하여 결론을 내는 방식이므로 인력과 시간의 낭비요소가 발생하는 구조이다. 또한, 이와 같은 계측 시스템은 모든 수자원 데이터의 취득 수단으로서 원천에 가까운 기반 기술의 개발은 관련 분야로의 확산 효과가 매우 크다.
- 또한, 현재 우리나라의 지하수는 국가지하수정보센터를 기반으로 IT를 활용한 정보 관리 체계가 잘 구축되어 있으므로, 최근에 이슈화되고 있는 SMART 기술을 활용한 첨단 지하수 관리 및 서비스 체계를 개발한다면 국가의 지하수 시설 및 이용 현황에 대한 관리 체계를 고도화할 수 있다.
- 본 연구는 국가 지하수 활용 가치의 극대화를 통하여 지하수의 직접, 간접적인 효용성을 높이기 위한 것으로서 연구결과는 다양한 지하수 관련 국책사업 수행 시 필요성과 당위성을 제시할 수 있는 자료로 정부의 지원이 가장 우선되어야 하는 과제이다.

다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

- 기후변화로 인한 이상 가뭄과 홍수는 보다 빈번히 발생하고 있으며 이를 예측하고 해결하기 위한 다양한 시도가 있다. 홍수에 대한 평가 기술은 지표수 중심의 홍수 지도 제작 등 지난 수년간 기술개발이 이루어져 왔으나, 4대강 살리기 이후 상승하는 지하수량에 의한 홍수 패턴의 변화가 발생할 것으로 예상되는 바 이에 대한 연구가 기존 연구를 기반으로 추진, 연계되어야 한다.
- 기존에 개발되어 있는 지하수 원격모니터링 시스템의 기술력을 활용하여 원격제어를 가능하게 하고 운용중인 감시용 PC소프트웨어 개발기술을 활용하여 웹사이트와 스마트폰으로 모니터링 할 수 있다. 아울러, 국내에서 보편화되고 있는 스마트폰, 스마트패드 등을 활용하여 지하수 정보의 현장조사 기록을 관리할 수 있도록 한다.
- 정확도를 높이고 소형이며 다양한 항목 측정이 가능한 센서를 개발하기 위해서는 이화학적 기반기술을 이용하는 것이 필수적이다. ISFET(Ion Sensitive Field Effect Transistor)나 분광기를 이용한 센서기술은 국내에서도 연구결과 논문이 발표 되어 있으며 경북대 센서기술연구소에서는 ISFET 기술을 이용한 연구가 90년대 초반부터 지속되고 있으며 pH, pK, pNa 및 pCa 등에 대한 연구가 상당히 진행되었고, 광주과학기술원 광공학 응용물리학과와 펄토초분광학 연구실에서는 분광기술을 이용한 다양한 연구가 계속되고 있다. 이러한 국내 연구결과를 활용 할 것이다.
- 우리나라 지하수 관리정책은 지하수법에 의한 허가제에 기반을 두고 있으나, 현재 지하수 개발이용시 허가에 대한 명확한 기준이 없어 지자체에서는 지하수 영향조사서를 근거로 거의 100% 허가를 해 주고 있어 지하수 관리에 있어 취약성을 드러내고 있다. 또한 지하수 관리 기본계획에서 산정한 지하수 함양량에 안전율을 적용하여 허가량을 산정하고 있어 명확한 허가기준량 산정에 대한 평가기준이 필요하다.

라. 연구개발 주요내용

본 세부과제의 연구개발 내용은 다음과 같다.

- 지하수 활용 홍수취약성 평가 기술 개발
 - － 홍수 정보 분석 및 관측 특성 평가
 - － 지하수위 변동 특성 평가
 - － 지하수 홍수 평가 알고리즘 개발
 - － 지하수 홍수 평가 알고리즘 현장 적용 및 모델 평가
 - － 지하수 홍수 취약성 평가 GIS 시스템 개발

- 원격 제어 지하수 계측 시스템 개발
 - 관정 내장형 원격제어 시스템 개발
 - 기술 분석/시스템 디자인(설계)/주변장치 설계/제작/테스트
 - 광학센서를 활용한 다항목 계측 기술 개발
 - 기술 분석/시스템 디자인(설계)/주변장치 설계/제작/테스트
 - 원격 제어용 지하수 통합관측 시스템 개발
 - 계측센서와 원격제어 통합한 관측 시스템 개발
 - 장치제작 및 현장실증
- SMART 기법을 활용한 지하수 관리 기술 개발
 - AR(Augmented reality) 기술을 활용한 지하수 관리 시스템 개발
 - H/W 장치 설계 및 개발
 - 구동 프로그램 개발
 - AR 공간정보 서비스 구현 테스트
 - 위치 기반의 지하수 활용 기술 개발
 - 시스템 및 공유 platform 설계
 - 프로토 타입 개발 및 테스트
 - 지하수 SMART 통합 관리 기술
 - AR과 위치기반 시스템의 연동 기술 개발
 - 장치 제작 및 실증 실험
- 지하수 허가기준량 평가 기술 개발
 - 지하수 관측 평가 및 DB 분석
 - 지하수 관측지점 특성과 자료의 상관특성 분석
 - 지하수 허가기준량 평가 기준 개발
 - 지하수 허가기준량 평가 기준 현장 적용 및 모델 평가
 - 지하수 허가기준량 평가 정책 제시

마. 연구개발과제 TRM

지하수 활용 홍수취약성 평가 기술 개발	추진 일정									
	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도	
홍수정보 분석 및 관측 특성 평가	■	■								
지하수위 변동 특성 평가			■	■						
지하수 홍수평가 알고리즘 개발					■	■				
지하수 홍수평가 알고리즘 적용 및 모델 평가							■	■		
지하수 홍수취약성 평가 GIS 시스템 개발									■	■
원격제어 지하수 계측 시스템 개발	추진 일정									
	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도	
관정 내장형 원격제어 시스템 개발	■	■	■	■						
지하수 재순환 광학센서를 활용한 다항목 계측 기술 개발					■	■				
원격 제어용 지하수 통합관측 시스템 개발							■	■	■	■
SMART 기법을 활용한 지하수 관리 기술 개발	추진 일정									
	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도	
AR 기술을 활용한 지하수 관리시스템 개발			■	■						
위치 기반의 지하수 활용 기술 개발					■	■				
지하수 SMART 통합 관리 기술							■	■	■	■
지하수 허가기준량 평가 기술	추진 일정									
	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도	
지하수 관측 평가 및 DB 분석	■	■								
지하수 관측지점 특성과 자료의 상관특성 분석			■	■						
지하수 허가기준량 평가 기준 개발					■	■				
지하수 허가기준량 평가 기준 현장 적용 및 모델 평가							■	■		
지하수 허가기준량 평가 정책 제시									■	■

바. 최종성과물 및 성과지표

○ 최종성과물

- 지하수 활용 홍수취약성 평가 기술 개발

- 지하수 홍수 평가 알고리즘 및 지하수 홍수 취약성 평가 GIS 시스템(프로그램)
- 지하수 홍수 지도 시범 제작
- 원격제어 지하수 계측 시스템 개발
 - 관정 내장형 원격제어 시스템 장비
 - 광학센서를 활용한 다항목 계측 장비
 - 계측센서와 원격제어 통합한 관측 시스템 개발
- SMART 기법을 활용한 지하수 관리 기술 개발
 - AR(Augmented reality) 기술을 활용한 지하수 관리 시스템
 - 위치 기반의 지하수 활용 및 서비스 시스템
 - SMART 연계 시설 관리 시스템
- 지하수 허가기준량 평가 기술 개발 연구
 - 지하수 허가기준량 평가 알고리즘 및 허가 기준 수립

○ 성과지표

성과목표	성과지표		측정 방법	단계별목표치					최종 목표치	가중치 (0~2)	비고
				1	2	3	4	5			
과학기술적 연구 성과 향상	1-1	학술지 게재 - SCI/SCI(E)	건	0	1	2	2	3	8	1.0	
	1-2	학술지 게재 - 일반학술지	건	0	1	1	2	2	6	0.4	
	1-3	국내외 학술회의 발표	건	0	2	2	3	3	10	0.2	
	1-4	지식재산권 - 특허, 소프트웨어	건	0	1	2	2	3	8	2.0	
기술개발 역량향상	2-1	과제당 산학연 협력 활동건수	건	1	1	1	1	1	5	0.2	
	2-2	산학연 기술지원 건수	건	0	1	1	1	1	4	0.2	
	2-3	세부과제 평가보고서 (고유지표)	권	1	1	1	1	1	5	2.0	
	2-4	관련분야 국제협력 네트워크 구축 (고유지표)	건	0	1	1	1	1	4	0.4	
사회·경제적 파급효과 증대	3-1	연구개발 관련 홍보 건수	건	0	1	1	1	1	4	0.4	
	3-2	기술 확산을 위한상호교류 정도	건	1	1	1	2	2	7	0.6	
	3-3	기술적용 및 기술이전	건	0	0	1	1	2	4	2.0	
	3-4	전문인력양성 (고유지표)	명	0	1	1	1	1	4	0.8	
기술개발 계획 및 추진체계	4-1	법/제도/정책 제안	건	0	0	0	1	2	3	0.6	
	4-2	기술 보고서	권	0	0	1	1	2	4	1.0	
합계				3	12	16	20	25	76	64.6	

사. 성과물 검증방안

- 지하수 홍수취약성 지도 작성 여부
- 지하수 종합 관측시스템 개발 여부
- Smart 기술을 활용한 지하수 관리 시스템 개발 여부
- 지하수 허가기준량 정책 제의 여부

아. 기술수요처 및 실용화 방안

- 정부 및 지자체
 - 전국 홍수 대책용 기본 자료로 활용
 - . 기존 홍수지도 등과 결합하여 적용
 - . 4대강 보 운영 관리 시 호우로 인한 침수 평가 및 대비 등에 활용
 - 각종 지하수 관측 시스템 설치 시 활용
 - . 4대강 관측정, 해안지역 관측정, 구제역 매몰지 관측정 등에 본 연구에서 개발된 관측장비 설치
 - 지하수 시설물 및 이용량 관리 등에 SMART 관리 기술을 활용
 - 지하수 제도의 실효성 제고에 활용
 - . 지하수 개발 허가 기준량 평가 기준을 수립하여 정책에 제시
- 민간
 - 원격제어 관측장비 및 SMART 시설물 관리 기술은 타 분야(수자원 분야 등)로의 기준 확산을 통하여 기술 개발을 유도

3. 2세부과제 개요

가. 연구개발 목표

- 수변 지하수위 복원 및 수변관리 매뉴얼 작성
 - 수변지하수 사용량의 20% 이상 재함양을 통한 지하수위 복원 및 갈수기 하천 유량 증대
 - 수변지역의 지하수 시스템 개선을 위한 지하수-지표수가 연계된 수문 및 수질 통합 평가 기술의 개발로 수변관리 매뉴얼 작성

나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

- 고유가에 따른 수막재배 농업의 중요성이 커짐에 따라 시설재배 면적의 증가 현상 불가피한 것으로 파악되는데, 최근 연구자료에 의하면 하천주변 비닐하우스 수막재배를 위해 연간 5.4-15.5억 m^3 (지하수 이용량의 14.6 - 41.6%)에 달하는 막대한 양의 지하수가 사용된 후 농수로로 통해 하천으로 유출되고 있음이 확인되어 지하수위 강하를 야기하고 있음.
- 이에 따라 자연함양량 감소와 지하수 사용량 증가로 시설재배 지역 지하수 고갈 문제 심화되고, 갈수기 하천 건천화와 관련 있는 것으로 추정됨.
- 따라서 보다 정확한 하천변 농업용수 이용량에 대한 재평가와 함께 수막재배 농업용지하수를 재주입하는 인공함양 기술 및 하우스 빗물을 취수하여 지하 주입하는 기술 개발이 절실하게 요구됨.
- 고유가/기후변화 대비 녹색영농법, 시설재배 주변 하천복원 및 농업지역 지속가능한 수자원 확보를 위해 기술개발이 절실하게 요구됨.

다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

- 제주특별자치도에서 추진하고 있는 연동구조의 비닐하우스에 화산암지층의 높은 투수성을 이용한 빗물 인공함양 기술을 참고하여, 단동 비닐하우스 구조와 제주도에 비해 상대적으로 낮은 투수계수를 갖는 충적층과 암반층으로 특징되는 내륙의 시설재배시스템에 적용 가능한 기술을 개발하고, 아울러 초기 우수를 배제하고 수질제어가 가능한 비닐하우스 빗물 인공함양기술이 요구됨
- 수자원 프론티어사업의 일환으로 한국지질자원연구원에서 개발한 하천유출수를 불포화대에 주입하는 것을 특징으로 하는 제주형 지하수 인공함양기술은 투수성이 매

우 큰 화산암 지층에 적용 가능한 기술이지만, 이를 바탕으로 지층의 투수성이 작고 불포화대가 작은 내륙의 수리지질조건에 적용 가능한 관정주입 기술이 요구됨

- 한국지질자원연구원(산업기술연구회 연구과제)의 파일럿 규모 지질순환식 인공함양 기술의 일부 요소기술을 활용하여 중소하천 수계규모에 적용할 수 있는 대용량 시스템을 개발하고자 함

라. 연구개발 주요내용

- 수변 지하수 환경 특성 평가 및 지하수위 복원 요소기술 개발
 - 실증지역 대수층 수리지질 특성화
 - 실증 시설재배지역 선정 및 양해각서 체결(지자체 및 영농단지)
 - 시설재배용 양수시설 현황 분석
 - 실증지역 대수층 특성 분석 및 지하수 수질 특성 평가
 - 지질특성별 인공함양 능력 평가
 - 전국단위 대규모 시설재배단지 지하수위 저하 및 이용량 실태 조사
 - 수변 시설재배지역 수문지질 인자 분석 고도화
 - 증발산량, 함양량, 지표유출량 실측기술 고도화 및 장기관측
 - 시설재배 지하수 이용량 정밀 분석
 - 수문지질 인자 측정/해석기법 표준지침 작성
 - 수변 시설재배지역 지하수-지표수 상호 교환량 평가
 - 지하수-지표수 상호교환량 분석 기법 개발
 - 실증지역 계절적 지하수-지표수 상호작용 변화 분석
 - 실증지역 지하수-지표수 연계 모의를 통한 수문분석
 - 인공함양용 원수 취수/운반 기술 개발
 - 빗물 취수 용이한 시설재배용 하우스 설치 기술 개발
 - 지하수 재순환 시설재배용 양수 시스템 개발
 - 지하수 재순환 시설재배용 수막형성수 공급/회수 시스템 개발
 - 정호주입식 인공함양 기술 개발
 - 인공함양용 주입 관정 설치 기술 개발
 - 관정 내 유량 제어 가능한 주입관 개발
 - 물리·화학적 관정막힘 회피 기술 및 막힌 관정 재개발 기술 개발
 - 인공함양수 수질 기준 선정 및 수질 개선 기술 개발
 - 인공함양수 수질 기준 선정
 - 수막형성용 지하수 내 철/망간 제거 기술 개발
 - 수질연동 초기 인공함양수(우수/수막순환수) 자동 배제 시스템 개발

- 수변 지하수위 복원 통합 시스템 개발
 - 시설재배지 빗물 인공함양 시스템 개발
 - － 시설재배 빗물 인공함양 시스템 기본/실시 설계
 - － 시설재배 빗물 인공함양 시스템 시공
 - 지하수 재순환 시스템을 적용한 시설재배 기술 개발
 - － 지하수 재순환 시설재배 시스템 기본/실시 설계
 - － 지하수 재순환 시설재배 시스템 시공
 - 수변지역 지하수위 복원 통합 시스템 구축
 - － 지하수위 복원 인공함양 자동화 시스템 개발
 - － 수변 지하수위 복원 인공함양 기술 시공/운영/관리 지침서 작성
- 인공함양 최적화 프로그램 개발 및 인공함양 영향 예측 기술 개발
 - 수변 시설재배지역의 지하수 유동 및 용질 이동 모의 기술
 - － 수치모의 입력인자 수집 및 분석
 - － 수변 수막재배지역 지하수 유동 및 용질 이동 모의
 - － 전통적 수막재배 지역의 지하수위 변동 장기 예측
 - 인공함양용 관정 배치 최적화 프로그램 개발
 - － 효율적 인공함양수 회수를 위한 주입정-양수정 배치 최적화 프로그램 개발
 - － 주입정-양수정 배치 최적화 프로그램의 현장 적용 및 검증
 - 지하수위 복원 영향 장기 예측
 - － 지하수복원 인공함양의 기술적/경제적 효과 평가
 - － 수변지역 지하수 인공함양 영향 장기 예측
- 지하수 계측 기반 지하수-지표수 연계 해석 및 인공함양 평가 개발
 - 수변 시설재배지내 계측기반 지하수-지표수 연계 물수지 해석 기술
 - － 연구용 통합 계측 시스템 설치 및 장기 운영
 - － 통합 수문성분(증발산, 기저유출 등) 불확실 인자 개선 및 실증 평가
 - － 셀단위(30m이하) 토지이용 및 토양통 분포에 따른 지하수 함양량 산정 기법
 - － 수변 시설재배지내 관측자료 기반 지하수-지표수 연계 물수지 해석기술 개발
 - － 수변지역의 지하수 시스템 개선을 위한 수변관리 매뉴얼 작성
 - 계측자료 및 물수지 기반의 인공함양 효과 평가
 - － 계측자료 기반 지하수위 복원 기술 적용 전 물수지 분석
 - － 계측자료 기반 지하수위 복원을 위한 인공함양 효과 평가

마. 연구개발과제 TRM

수변 지하수 환경 특성평가 및 지하수위 복원 요소기술 개발	추진 일정									
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도					
실증지역 대수층 수리지질 특성화										
수변 시설지배지역 수문지질 인자 분석 고도화										
수변 시설재배지역 지하수-지표수 상호교환량 평가										
인공함양용 원수 취수/운반 기술 개발										
정호주입식 인공함양 기술 개발										
인공함양수 수질기준 선정 및 수질 개선 기술 개발										
수변 지하수위 복원 통합 시스템 구축	추진 일정									
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도					
시설재배지 빗물 인공함양 시스템 개발										
지하수 재순환 시스템을 적용한 시설재배 기술 개발										
수변지역 지하수위 복원 통합시스템 구축										
인공함양 최적화 프로그램 개발 및 인공함양 영향 예측 기술 개발	추진 일정									
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도					
수변 시설재배지역의 지하수 유동 및 용질 이동 모의										
인공함양용 관정 배치 최적화 프로그램 개발										
지하수위 복원 영향 장기 예측										
지하수 계측기반 지하수-지표수 연계 해석 및 인공함양 평가 기술	추진 일정									
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도					
수변 시설재배지내 계측기반 지하수-지표수 연계 물수지 해석 기술										
계측자료 및 물수지 기반의 인공함양 효과 평가										

바. 최종성과물 및 성과지표

○ 최종성과물

- 수변지역 지하수위 복원을 위한 인공함양 실용화 기술 및 지하수위 복원 인공함양 매뉴얼
- 수변지역 지하수위 복원 통합 시스템: 손실유량 20% 함양
- 인공함양용 관정배치 최적화 프로그램
- 시설재배지역 지하수-지표수 연계 물수지 해석 기술

○ 성과지표

성과목표	성과지표		측정 방법	단계별목표치					최종 목표치	가중치 (0~1)	비고
				1	2	3	4	5			
과학기술적 연구 성과 향상	1-1	학술지 게재 - SCI/SCI(E)	건	0	1	3	3	3	10	1.0	
	1-2	학술지 게재 - 일반학술지	건	0	4	6	6	6	22	0.4	
	1-3	국내외 학술회의 발표	건	1	4	4	4	4	17	0.2	
	1-4	지식재산권 - 특허, 소프트웨어	건	0	1	2	2	2	7	2.0	
기술개발 역량향상	2-1	과제당 산학연 협력 활동건수	건	1	3	3	3	3	13	0.2	
	2-2	산학연 기술지원 건수	건	0	1	2	2	2	7	0.2	
	2-3	세부과제 평가보고서 (고유지표)	권	1	1	1	1	1	5	2.0	
	2-4	관련분야 국제협력 네트워크 구축 (고유지표)	건	0	1	1	1	1	4	0.4	
사회·경제적 파급효과 증대	3-1	연구개발 관련 홍보 건수	건	1	2	3	3	3	12	0.4	
	3-2	기술 확산을 위한 상호교류 정도	건	1	2	2	2	3	10	0.6	
	3-3	기술적용 및 기술이전	건	0	0	0	1	2	3	2.0	
	3-4	전문인력양성 (고유지표)	명	0	3	3	3	3	12	0.8	
기술개발 계획 및 추진체계 확립	4-1	법/제도/정책 제안	건	0	0	0	1	1	2	0.6	
	4-2	기술 보고서	권	0	1	1	1	1	4	1.0	
	4-3	설계 기준 및 시방서 (매뉴얼)	권	0	0	0	0	1	1	0.4	
	4-4	연구지역 협의 및 확보		협	확						
합계				5	24	31	33	36	129	83.8	

* 4-4 연구지역 협의 및 확보는 1차년도 연구지역 협의 및 2차년도 연구지역 확보·연구 시설설치 개시 이행여부를 연구과제 계속 여부 판단 기준으로 활용

사. 성과물 검증방안

- 수변 지하수 사용량의 20% 이상 재함양 기술 확보 여부
- 지하수위 복원 인공함양 기술 실용화 여부
- 지하수위 복원 기술 관련 지식재산권 목표 달성 여부
- SCI 논문 등의 학술활동 목표 달성 여부
- 정호주입식 인공함양 기술 매뉴얼 작성 여부
- 수변관리 매뉴얼 작성 여부
- 전국단위 시설재배 지하수 사용량 통계자료 확보 여부
- 모니터링 자료와 예측·진단 모델링과의 내용 일치 여부
- 수문분석 인자 실측 및 표준 지침서 작성 여부

아. 기술수요처 및 실용화 방안

- 기술 수요처
 - － 시설재배 영농조합
 - － 관련 정부부처 및 지자체
 - － 지하수 고밀도 사용지역(온천/공단)
 - － 해안가 염수침투 피해 지역
 - － 상습 가뭄피해 지역
 - － 지반침하 및 지표유출에 의한 홍수피해 취약 도심지역
- 실용화 방안
 - － 지하수위 고갈에 따른 수막재배 장애 발생 지자체 및 영농단지를 선정하고 실용화 연구 양해각서 체결
 - － 연구팀을 산-학-연-관의 유기적인 체계로 구축하여 추진
 - － 주관기관과 참여업체가 지하수위 복원 인공함양 요소기술과 통합 제어 시스템 및 시설설치를 분담하여 추진
 - － 수막재배시설 관련 정부 및 지자체 기관과 협의를 통해 시설재배 지역에 인공함양 시설을 설치하기 위한 제도적/정책적 뒷받침 방안 마련(정부 및 지자체의 인공함양 시설 농가보조금 지원제도 검토)
 - － 수변 지하수위 복원의 요소기술 중 빗물 인공함양과 정호주입식 인공함양 기술의 타지역 다른 환경으로의 실용화 방안 추진(도심지역, 지하수밀집 사용지역 등)
 - － 대학과 연구소를 중심으로 기반기술 및 관련 프로그램 개발에 중점적으로 투자
 - － 개발 요소기술 및 통합기술의 지식재산권 등록 노력
 - － 지하수위 복원 인공함양 기술 실용화 경험에 기반 한 기술보고서 작성
 - － 실측자료에 기반 한 개발 프로그램의 검증

4. 3세부과제 개요

가. 연구개발 목표

- 수변지역 간접취수 시공 기술 개선을 통하여 취수능력 증대(20% 이상)
 - － 양질의 지하수 활용을 위한 저비용/고효율의 대용량 취수시설(30,000m³/day) 시공 기술 개발
 - － 대용량 간접취수원 개발 공법의 신개념 기술적용 및 평가
 - － 충적층 평가 선진화 기술 개발
 - － 조사 설계 지침 개발
 - － 충적층 조사 굴착기술 및 굴착 결과의 평가 기술 개발
 - － IT를 접목한 관정 유지관리기술 개발
- 철/망간 현장 처리 실증 기술 개발
 - － 강변여과수 관정주변 대수층을 산화환경으로 조성하여 관정으로 지하수의 유입 전 철/망간을 침전함으로써 강변여과수 취수 후 철/망간 처리비용 등을 저감

나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

- 국내의 경우 지하수 이용량은 해마다 증가해 오다가 2000년 중반 들어 지하수 활용에 대한 인식이 높아지면서 무분별한 개발과 지하수오염을 방지하기 위해 신규개발이 일정 수준에 머무르고 있다.
- 지표수의 직접취수의 단점을 보완하기 위해 고안된 간접취수 방안이 수변지역을 중심으로 개발이 활성화 되고 있으며, 정부의 4대강 살리기 사업 이후에는 간접취수원의 개발이 더욱 더 가속화 될 전망이어서 향후 수변지역 지하수 이용량은 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 따라서 수변지역 간접취수원 개발의 체계적이고 효율적인 지하수 활용에 관한 고도화 기술의 연구개발이 필요한 실정이다.
- 수변지역 간접취수원 개발의 체계적이고 효율적인 지하수 활용에 관한 고도화 기술의 연구개발이 필요한 실정으로서 지하수 확보를 위한 다양한 인공함양 기술(정호주입, 지표침투, 강변여과, 지하구조물 활용 등)의 개발이 보다 적극적으로 필요하며, 이를 통해 부족한 지하수자원을 확보하고 활용할 수 있는 기술기반을 마련하는 연구가 선진국에서 활발하게 이루어지고 있다.
- 국내의 경우 간접취수에 관한 기초적인 연구는 많이 수행되었으나, 연구 결과의 현장 적용 기술 수준은 사업을 효율적으로 수행하기 위해 역부족이며 많은 시행착오

를 낳고 있다. 특히 대용량 집수정 잠함공법과 수평정호 굴착공법은 선진국 기술 수준과 격차가 심해 국고의 낭비와 비효율적인 사업 진행이 발생하고 있다. 이를 해결하기 위해서는 선진국 기술의 벤치마킹과 함께 국내 실정에 맞는 기술 도입이 필요하며, 현장 중심의 연구 개발을 통해 고도화 된 한국형 대용량 취수시설 시공 기술 개발이 절실히 요구되고 있다.

- 미래의 간접취수 활용은 국내뿐만 아니라 주변 개발도상국에서 활발히 전개될 전망이다. 국내 수변지역 대용량 간접 취수시설 개발 분야의 독창적인 기술 개발은 신규 사업 창출과 해외 수자원개발 사업 진출에 큰 역할을 담당할 것이다. 이를 선도적으로 이끌기 위한 연구개발은 현장중심의 연구와 TEST BED를 통한 기술개발의 검증은 통해 가시적 성과가 반드시 필요할 것이다. 이를 위해서는 지자체와 참여연구기관의 긴밀한 상호협력을 통해 TEST BED 구축이 필요하다.
- 현재 하천 주변 지하수위는 지표면 하부 5~8m에 존재하나 수중보 건설로 인한 하천수위 증가로 지하수위도 2~3m 정도로 상승되어 과거 무분별한 개발 이전의 자연상태 지하수위로 복원됨으로써 하천 주변 지하수 부존량이 크게 증가 될 것으로 예상된다.
- 하천변 충적층(대부분 투수성이 좋은 모래질 토양으로 구성)의 지하수를 활용한 용수 공급 등 물 산업을 활용하여야 하지만, 국내의 경우 수변지역 충적층 모래지반에서의 지반조사 및 현장실험 기술은 연약지반과 모래층이라는 특수성 때문에 실제로 조사나 평가 결과에 대한 신뢰도가 낮은 수준이다.
- 특히 모래자갈층 지반조사 수행 시 시료의 회수율이 70% 미만이며, 유실된 시료의 대부분이 주대수층 구간 시료이기 때문에 지반 특성을 명확히 판단하는데 한계점을 보이고 있다. 또한 시료의 회수율을 높이기 위해 약품주입을 이용한 지반조사가 이루어지고 있어 현장 대수성 시험 결과에 신뢰성이 떨어진다.
- 선진국의 경우 수변지역 충적층 지반조사를 수행할 때는 일반적인 토양 지반조사와는 달리 장비나 방법적인 차이를 두고 있다. 따라서 국내에서도 수변 지하수 개발을 위한 지반조사의 현장적용 기술을 선진국 수준으로 향상시키고, 신뢰성 높은 조사결과와 평가를 통해 대용량 간접취수 시공기술 확보의 기틀을 마련해야 한다.
- 그리고, 수변지역에서 상수 원수로서 간접취수를 활용할 경우, 하천 상류지역의 상수원 보호구역이 축소가 될 전망이다. 그러나 어느 범위까지를 보호구역으로 지정해야 한다는 과학적 근거가 아직 마련되지 않고 있다. 따라서 간접취수 지역의 상수원 보호구역 지정 문제를 해결하기 위해서는 TEST BED를 통해 간접취수에 따른 종합적이고, 과학적인 영향범위 검토가 필요하다.

- 혐기성 상태의 지하수 내 용존 철 및 망간은 호기성 상태인 관정에서 산화철 및 산화망간형태로 침전하여 관정 효율 감소, 펌프 성능 저하, 여과수 수질문제 등의 원인이 된다.
- 안전한 수질의 용수공급, 관정 효율 및 펌프 성능 유지를 위해 관정 주변을 산화환경으로 조성하여 철/망간을 다량 함유한 지하수가 유입되기 전 산화철 및 산화망간으로 미리 침전시킴으로 관정 및 펌프에서 철/망간 침전물로 인한 문제 최소화 할 필요가 있다.

다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

- 과거 21세기 프론티어 연구개발사업에서는 강변여과, 지하댐, 인공함양, 간이상수도 등과 관련된 분야별 기술들이 개발되었으나, 주로 수리수문학적인 분석 기술을 중심으로 수행되었으며 시공기술 및 현장 수처리 등은 체계적으로 다루지 못하였다.
- 또한, 현재 직면하고 있는 기후변화와 하천 고갈 및 지하수위 강하 등을 해결하기 위한 관련 기술은 일부 개발되었으나 구체적인 실증을 위한 현장 적용 연구는 선진국에 비해 매우 미흡한 수준이며, 4대강 살리기 사업을 통하여 국내에서의 수자원 수문 환경의 변화가 발생될 것으로 예상되는 만큼 보다 효율적이고 체계적인 지하수 개발 이용 및 보전관리가 필요하나, 이에 대한 연구 사례가 전무한 실정이다.
- 대용량 취수시설은 크게 집수정과 수평정호로 구분되며, 현재 국내에서 사용되는 집수정의 잠함공법은 기간이 오래 소요되어 경제성이 떨어지는 실정이다.
- 즉, 자중침하공법의 경우 지중의 마찰력으로 인해 공사기간이 많이 소요되는 것이 단점이다. 따라서 이를 개선할 수 있는 인공침하공법이나 하중재하공법을 응용, 개발하여 공사기간을 단축하고 보다 효율적이고 경제적인 잠함공법으로 현장에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.
- 그리고 현재 국내에 적용되고 있는 수평정호 설치공법은 크게 이수가압식, 회전타격식, 압입식 등으로 분류되고 있으며, 각 공법에 따라 장비의 제원 및 성능이 다르고 굴진 특성이 매우 상이하다. 천공 장비를 수입에만 의존하기 때문에 국내 지질조건에 적합한 최적 굴진공법이 적용되지 못하고 있다.
- 선진국의 경우 대용량 간접 취수시설에 설치된 수평정호의 제원이 일반적으로 구경 $\phi 300\text{mm}$, 연장길이가 60~80m이나, 국내의 경우 대표적인 수평정호 설치 제원이 구경 $\phi 200\text{mm}$, 연장 길이 30m 수준이다. 이와 같은 제한된 시공기술로 인하여 집수정내 취수능력이 선진국 수준을 따라가지 못하고 있다. 따라서 선진국 수준의 대구경, 대심도 수평정호 설치를 위해서는 국내 실정에 맞는 천공장비의 기계적인 기능

개선과 함께 대구경, 대심도 천공 능력을 갖는 굴진공법을 개발함으로써 대용량 간접 취수시설의 현장 적용 기술을 최적화할 수 있을 것으로 판단된다.

- 선진국의 경우 대용량 강변여과 현장 철/망간 처리 시스템이 활성화 되어 있다. 그러나 국내의 경우 강변여과 현장 철/망간 처리에 대한 조사/설계/시공/유지관리 등의 관련 기술이 선진국에 비하여 매우 뒤쳐져 있는 실정이다.
- 현재 강변여과수 원수 내 철/망간 현장 지중처리기술에 대한 연구가 소규모로 진행되고 있으나 대용량 간접취수시설에 대한 적용성 평가를 위해서는 현장규모의 실증연구가 필요하며 이를 통하여 강변여과수가 원거리로 송수되는 광역상수도과 같은 경우에 전처리 기술 또는 정수 기술로 적용이 가능할 것이다.

라. 연구개발 주요내용

- 대용량 취수시설 시공을 위한 신공법 및 신기술 개발
 - － 수직 우물통에 대한 잠함공법 선진화 기술 개발
 - － 잠함공법 시공 및 관측을 통한 공법 개발, 검증
 - － 수평정 굴착 시공 및 관측을 통한 공법 개발, 검증
 - － 대용량 취수원 확보를 위한 대구경 및 대심도($\phi 300\text{mm}$, 60m이상) 수평정호 천공
 - － IT를 접목한 집수정 및 수평정 진단용 실시간 모니터링 기술
 - － 대용량 취수시설의 모니터링 기반 유지관리 기법 개발
- 수변 지하수 개발 시 조사 설계 신기술 개발 및 표준화
 - － 국내 강변여과 조사, 설계 및 시공 자료 집대성 및 평가
 - － 조사 시 시료 채취 기술 및 in-situ test 기술 개발
 - － 층적층 조사 굴착 기술 및 굴착 결과에 대한 평가 기술 개발
 - － 국내 실정에 맞는 강변여과수 조사 설계 지침 작성
- 정밀 모델링을 활용한 설계 시공 최적화 평가 기술
 - － 현장 자료 기반의 지하수 유동 및 수질 환경 특성화
 - － 수위-수질을 고려한 집수정 시공 모델링을 통한 신공법 효율 평가
 - － 수위-수질을 고려한 수평정 시공 모델링을 통한 신공법 효율 평가
 - － 신공법을 활용한 대용량 취수 능력 평가
- 간접취수 현장 철망간 처리 기술 개발 및 실증
 - － 현장규모 실증시험 시스템 구축 및 현장시험
 - － 주입량 및 주입산소 농도 평가 및 모델링
 - － 현장 철망간 처리 지침 및 설계기준 개발

마. 연구개발 과제 TRM

대용량 취수시설 시공을 위한 신공법 및 신기술 개발	추진 일정									
	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도	
수직 우물통에 대한 잠함공법 선진화 기술 개발										
잠함공법 시공 및 관측을 통한 공법 개발, 검증										
수평정 굴착 시공 및 관측을 통한 공법 개발, 검증										
IT를 접목한 집수정 및 수평정 진단용 실시간 모니터링 기술										
대용량 취수시설의 모니터링 기반 유지관리 기법 개발										
수변 지하수 개발시 조사 설계 신기술 개발 및 표준화	추진 일정									
	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도	
국내 강변여과 조사, 설계 및 시공 자료 집대성 및 평가										
조사시의 시료채취 기술 및 in-situ test 기술 개발										
층적층 조사 굴착기술 및 굴착 결과에 대한 평가 기술 개발										
국내 실정에 맞는 강변여과수 조사 설계 지침 작성										
정밀 모델링을 활용한 설계 시공 최적화 평가 기술	추진 일정									
	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도	
현장자료 기반의 지하수 유동 및 수질 환경 특성화										
수위-수질을 고려한 집수정 시공 모델링을 통한 신공법 효율 평가										
친환경, 수위수질을 고려한 수평정 시공모델 링을 통한 신공법 효율평가 운영방식 개발										
신공법을 활용한 대용량 취수 능력 평가										
간접취수 현장 철망간 처리 기술 개발 및 실증	추진 일정									
	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도	
현장규모 실증시험 시스템 구축 및 현장시험										
주입량 및 주입산소 농도 평가 및 모델링										
현장 철망간 처리 지침 및 설계기준 개발										

바. 최종성과물 및 성과지표

○ 최종성과물

- 국내 실정에 맞는 현장 지질 및 대수층 조사 기술
- 수변지역 대용량 취수시설 개발을 위한 선진국 수준의 조사/설계 지침 개발
- 대용량 취수시설의 최적 시공을 위한 신공법 개발 및 신기술 등록을 통한 기술상용화와 사업화
- 신공법의 효율성 평가를 위한 정밀 모델링 기술
- IT 기술을 접목한 대용량 취수시설 계획 및 관리 시스템 구축
- 최적의 효과를 나타내는 간접취수 현장 철/망간 처리기술(시스템) 개발

○ 성과지표

성과목표	성과지표		측정 방법	단계별목표치					최종 목표치	가중치 (0~1)	비고
				1	2	3	4	5			
과학기술적 연구 성과 향상	1-1	학술지 게재 - SCI/SCI(E)	건	0	0	1	2	2	5	1.0	
	1-2	학술지 게재 - 일반학술지	건	0	2	2	3	3	10	0.4	
	1-3	국내외 학술회의 발표	건	0	2	2	2	2	8	0.2	
	1-4	지식재산권 - 특허, 소프트웨어	건	0	2	4	4	3	13	2.0	
기술개발 역량향상	2-1	과제당 산학연 협력 활동건수	건	0	2	2	2	2	8	0.2	
	2-2	산학연 기술지원 건수	건	0	1	1	1	1	4	0.2	
	2-3	세부과제 평가보고서 (고유지표)	권	1	1	1	1	1	5	2.0	
	2-4	관련분야 국제협력 네트워크 구축 (고유지표)	건	0	1	1	1	1	4	0.4	
사회·경제적 파급효과 증대	3-1	연구개발 관련 홍보 건수	건	0	2	3	3	3	11	0.4	
	3-2	기술 확산을 위한 상호교류 정도	건	1	2	2	2	2	9	0.6	
	3-3	기술적용 및 기술이전	건	0	0	1	2	2	5	2.0	
	3-4	전문인력양성 (고유지표)	명	0	2	2	2	2	8	0.8	
기술개발 계획 및 추진체계 확립	4-1	법/제도/정책 제안	건	0	0	1	1	1	3	0.6	
	4-2	기술 보고서	권	0	1	1	1	1	4	1.0	
	4-3	설계 기준 및 시방서 (매뉴얼)	권	0	0	0	1	1	2	0.4	
	4-4	연구지역 협의 및 확보		협	확						
합계				2	18	24	28	27	99	83.4	

* 4-4 연구지역 협의 및 확보는 1차년도 연구지역 협의 및 2차년도 연구지역 확보·연구시설설치 개시 이행여부를 연구과제 계속 여부 판단 기준으로 활용

사. 성과물 검증방안

- TEST BED에서의 지하수 조사/설계 지침을 바탕으로 조사/설계 실시하여 지침서 확인 및 검증
- TEST BED에서의 수변지역 간접취수원 대용량 취수시설 시공과 모델링을 통한 공법 확인(취수량 20% 확인)
- 대용량 취수시설에 적용 가능한 정밀 모델링 기술의 개발 여부
- TEST BED에 시공된 방사형 집수정 설비의 IT 활용 관리 시스템 구축 여부
- 간접취수 원수 내 철/망간 저감 시스템 개발 여부

아. 기술수요처 및 실용화 방안

- 기술 수요처
 - 간접취수 조사 설계 및 시공 예정인 정부, 지자체 및 관련 기업
 - 현재 개발되어 있는 강변여과수 이용 지역
 - 4대강을 중심으로 확대될 전망인 간접취수시설 개발 지역
 - 각종 지하수 관측 시스템 필요 지역
 - 동남아시아 및 몽골 등 간접취수 시설 최근 도입 국가
- 실용화 방안
 - 대용량 취수시설 신공법 개발과 신기술 등록을 통한 4대강 주변 간접취수 시공 시 적용 가능
 - 수변지역 4대강 간접취수 시설 시공에 필요한 조사 및 설계 기술 지침 적용 가능
 - 지하수 물순환 평가에서도 유출 및 함양 평가에 모델링 기술 등 활용 가능
 - 기존 강변여과수 이용 지역과 4대강 중심으로 확대될 전망인 간접취수시설 개발에 대한 철/망간 수처리 기술 활용

5. 4세부과제 개요

가. 연구개발 목표

- 수변지역 대수층의 지하수열원 활용을 통한 천부 지열에너지 에너지 효율 10% 증대
 - － 지중 열추출 최적화 및 지열영향 평가기술을 통한 지하수열 활용·저장 시스템 진단·예측 및 개선
 - － 충적층 지하수열 활용·저장 시스템 개발 및 운영을 통한 성능 및 신뢰성 향상
 - － 수변지역 충적층 지하수열 활용·저장 시스템 개발을 통한 친환경 에너지 확보
 - － 충적층 지열 부존량 분포 분석을 통한 개발 최적지 및 활용 방안 평가
 - － 지열공 성능 개선 및 사후 관리 기술을 통한 환경 영향 저감 및 해소

나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

- 최근 세계는 사용 가능한 화석연료의 고갈로 인한 에너지 위기를 극복하고, 온실가스에 의한 기후 변화 문제를 해결하기 위해 다양한 방안들을 모색하고 있음. 아울러 Post-교토체제의 시행에 따라 선진국을 중심으로 온실가스 감축을 통한 저탄소형 산업구조 전환이 최대 현안 과제로 부각되고 있음. 에너지 안보·원천기술 확보·지구 온난화 등에 대비하고, 화석연료를 사용하지 않는 신·재생에너지의 개발과 보급을 위해서는 정부 주도 하에 여러 가지 보급정책을 마련하고 체계적인 시행방안을 검토하는 일이 반드시 필요함.
- 국가 에너지 사용량의 약 33%가 건물의 냉·난방과 급탕에 드는 비용임을 감안하면, 신재생 에너지이자 에너지 다소비 분야인 건물 공조 시스템에 적용 가능한 현존하는 최고효율의 냉난방 시스템인 지열 활용 시스템을 보급하기 위한 연구 개발에 대한 적극적인 투자가 요구됨. 특히, 건축물의 다양화에 따른 복합 기능 수행 등을 위해 다양한 형태의 지열 활용 시스템 기술 개발과 함께 관련 정책 및 제도를 구축할 경우 국가 에너지 소모량 감소 및 온실가스 저감에 크게 기여할 것임.
- 현재 지열 에너지의 공급 확대 필요성은 강조되고 있지만, 공급 잠재력(에너지절감 잠재량)이 큰 지하수열원 시스템의 안정성과 환경적 측면에서의 신뢰성에 관한 체계적인 정부 지원 하의 기술 개발 성과는 전무한 실정임.
- 정부 지원 하에 국가 신·재생에너지 보급목표 달성 기여도와 온실가스 배출절감 효과 등에 대한 구체적인 근거를 마련하고 적극적인 홍보활동을 통해 지열 시장 확대와 신뢰성 구축을 위한 기반을 마련할 필요가 있음.
- 우리나라는 강 주변에 가용 지하수가 풍부한 충적층이 잘 발달하고 있을 뿐 아니라, 최근에는 4대강 사업 추진과 더불어 충적층의 두께나 지하수위 등 여러 가지 수리지질학

적 요소들이 지역별로 크게 증감하고 있는 것으로 보고되고 있으나 이러한 급진적인 변화를 수자원 관리 이외에 에너지 활용 측면에서 효과적으로 이용하기 위한 준비는 전혀 되어있지 않음.

- 수변 지역을 중심으로 한 충적 대수층의 지열 부존량 분포 분석과 관련 인자간의 상호 관계 분석을 통한 지열 자료의 DB화는 효율적인 지하수-지열 에너지 이용을 극대화 시킬 수 있는 기반을 마련해주므로 국가적인 에너지 관리 차원에서 과제가 수행되어야 함. 이미 유럽과 일본에서는 충적층을 포함한 지열 부존량 분포도를 작성하여 지열 개발에 이용하고 있음.
- 국내에서는 천부 지열을 이용하는 폐쇄형(closed loop)을 중심으로 시스템이 보급되어 있으며 시스템의 대규모화 및 다양성을 통한 효율 증대를 위한 개방형(open loop) 지하수열원 냉난방 시스템 연구는 거의 없는 실정임. 그러나 지하수의 열에너지를 이용하는 개방형 지열 시스템은 천공수를 획기적으로 줄일 수 있을 뿐 아니라 설치 깊이가 폐쇄형보다 얕기 때문에 초기 투자비 절감이 가능할 뿐 아니라 수리적 조건이 적절할 경우 에너지 효율도 더 높은 것으로 알려져 있음.
- 국내 지질 및 지하수 환경은 에너지 활용 효율이 높은 지하수를 활용하는 개방형 시스템 설치에 유리한 곳이 많지만 기술 개발 및 노하우 축적이 매우 미흡하고, 국내 제도적 여건으로 인하여 실질적인 보급이 진행되지 못하고 있음. 그러나 현재 개방형 지열 시스템 기술은 해외에서 상업화 단계로 성숙되어 시스템 보급이 급속하게 이루어지고 있는 추세임.
- 개방형 지열 시스템은 양수한 지하수의 열에너지를 활용한 후에 다시 주입하는 순환식으로 운영되므로 열효율이 유지되면서 경제성이 확보될 수 있도록 수변 충적층 환경을 상세히 조사하고, 순환되는 지하수량을 산정하는 과정 뿐 아니라, 주입을 통해 수질이 악화되지 않도록 관련 설비와 과정을 충분히 재검토 하는 과정이 필요함.
- 지하수가 풍부한 지역에 설치된 대수층 축열 시스템은 우리나라의 경우 농작물 재배가 많은 수변 지역 비닐하우스 등에서의 에너지 활용 효율을 획기적으로 높일 수 있음.
- 국내의 경우 지하수열원 활용 시스템의 기술 수준 및 설계 기반기술이 매우 부족하여 보급도 미약한 실정이나, 폐쇄형 지중열교환기나 충적대수층의 온도 활용 등 관련 분야의 기술력과 연구 기반이 충분하므로 기술 개발 연구 지원이 적극적으로 이루어진다면 발전 속도가 다른 나라와 비교하여 상당히 빠를 것으로 기대됨.
- 향후 친환경 에너지원인 지하수열원을 활용한 지열 시스템 시장을 선도하기 위해서 우리나라의 실정에 맞을 뿐 아니라 동남아시아나 유럽 등지의 후발 주자들에게 수출할 수 있는 기술을 개발 및 표준화하고 정착시키는 노력이 시급함.

다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

- 한국지질자원연구원에서는 전국 규모의 스케일로 2,000여 개의 암석시료를 채취하여 열물성/물성을 측정하여 지열 부존량 분포도와 지중 5 km까지의 온도 분포도를 작성하였으며, 이러한 지열자료를 이용하여 지열자료 DB를 만들었음. 그러나 여기에 수변 충적층을 비롯한 천부 지층은 제외되어있으며, 토양열전도율, 투수계수, 대수층 조건 등 지열설비 도입에 필요한 구체적 열물성 및 시공성과 관련된 정량적 데이터를 제공하지 못함. 한국지질자원연구원에서 수행한 국내의 전국규모 지열 DB 시스템을 수변지역 충적층 내의 열물성/수리지질학적 특성 및 지하수-지열에너지 DB와 연계하여, 보다 정밀하고 실용적인 지열 DB 시스템을 제작할 수 있음.
- 일본에서 대표적 충적층을 대상으로 소규모(5RT) 개방형 지열시스템에 대한 냉난방 실증실험과 수치해석 기법을 통한 운용 최적화에 관한 연구가 수행된 바 있으나 설계 및 운용의 최적화에는 이르지 못했음.
- 천부 지열에너지 활용 분야에 있어서 현재까지 추진된 연구나 특허가 출원된 대부분의 기술은 폐쇄형 시스템과 관련된 것으로, 개방형 시스템의 적용 가능성을 타진하는 실측 조사 및 통계 분석 연구는 있었으나 실제 시스템 적용을 위한 기술 및 노하우 축적 성과는 매우 부족하며, 활용에 관한 연구는 전무함.
- 최근 폐쇄형 지중열교환기 및 열펌프에 의한 지중 열거동과 지화학 반응에 의한 지중 열거동 변화 및 장기적 지중 열거동 변화를 정밀하게 시뮬레이션 할 수 있는 T-H-C 연동 계산 모듈인 Modified TOUGHREACT, Single U-tube와 Double U-tube에서의 정밀한 열교환 시뮬레이션을 위한 초정밀 mesh를 간편하게 생성할 수 있는 U-Mesh가 개발되었고, 계산 속도를 높이기 위한 병렬 컴퓨팅 기반도 마련되어 있으며, 실제 설비에 대해 이들 프로그램에 대한 검증과 평가가 이루어진 바 있음. 지중열교환기와 대수층 사이의 열 및 물질 교환 부분에 관한 항목을 구체화시켜 기존의 폐쇄형 시스템 모델을 단계적으로 수정하고 추가하는 방식으로 발전 가능함.
- 2006년 창원시 대산면 대산정수장에서 강변여과수를 이용한 건물 냉난방 설계가 성공적으로 이루어졌으며, 낙동강 충적층의 지하수 순환과 온도 변화에 대한 민감도 분석 및 예측 모델링도 행해진 바 있음. 수변 충적층에서 지하수의 이동과 온도 변화를 추적하고 이를 활용한다는 점을 공통으로 하고 있으므로, 이러한 점에서 기술 연계가 용이함.
- 풍화대와 퇴적층에서의 소규모 축열 시스템 시험 운용이 수행된 바 있음. 수변에서는 열과 물질의 교환이 빠르게 일어나기 때문에 축열 시스템에서의 열저장 능력도 더 개선될 수 있으므로 향후 대하천 주변 두꺼운 충적층에서 여러 개의 관정을 이용한 대규모의 대수층 축열 시스템을 개발할 수 있는 기반이 될 수 있음.

- 본 연구는 수변 지역 충적 대수층의 지하수나 강변여과수 등을 활용하여, 지하수를 수자원으로 그리고 지열 에너지원으로도 활용하기 위한 융합 기술을 개발하는 것을 목표로 하고 있으므로, 기존의 수행된 연구와는 규모와 성과 측면에서 큰 차이를 가짐. 특히, 최종적으로 수변 충적층에 지하수열원 활용 냉난방 시스템을 적용하기 위한 기반 기술 확보와 더불어 시스템 설계 및 시공 기준(안) 등을 수립하는 종합 엔지니어링 기술 개발을 지향함으로써, 고효율의 지하수열원 시스템 개발 및 보급 활성화를 달성하고, 국가 에너지 절감 및 이용효율 증대에 크게 기여할 것으로 예상됨.

라. 연구개발 주요내용

- 수변 지하수열 추출 최적화 및 지열 영향 저감 사후관리 기술
 - 수변 충적층 지하수열 활용을 위한 대수층 열물질 순환 모니터링 기술
 - 수변 충적층 지하수열 활용 시스템의 장단기 진단 및 예측 기법 개발
 - 수변 지하수열 활용·저장 시스템의 구조 및 운영 최적화 기법 개발
 - 수변 충적층 지하수열 활용·저장 시스템의 수량수질 연계 순환량 분석 및 기준정립
 - 개방형 및 폐쇄형 지열공 환경영향평가 기준 및 환경영향 저감, 해소를 위한 사후 유지 관리 지침 개발
- 수변 충적층 지하수열 활용·저장 시스템 개발
 - 수변 충적층 지하수열 활용·저장 실증 시스템 총괄 구축 및 운영
 - 수변 충적층 지하수열 활용·저장 시스템 구축을 위한 지중 설비 요소기술 개발
 - 실증 시스템 계측을 통한 지중설비 진단 및 제어 기술 개발
 - 수변 충적층 지하수열 활용·저장 시스템 설계, 시공, 운영지침(안) 수립
- 수변 충적층 지하수열 활용·저장 시스템 지상설비 최적화 기술 개발
 - 상기 실증 시스템의 지상 및 부하 요소에 대한 최적 설계 기술 개발
 - 시스템 고효율화를 위한 히트펌프 등 지상설비 개발
 - 시스템 운전 유형에 따른 설비 성능 평가 및 최적화 기술 개발
 - 기존 개방형 시스템과의 효율성 비교 분석
- 수변 충적층 지하수열 활용·저장 시스템 최적지 분석 기술
 - ☞ 연구대상 : 국내 1개 대하천 주변 충적층
 - 수변 충적층의 열물성, 수리적 물성 데이터 수집 및 측정
 - 지질-지하수 조건과 열물성의 상호관계성 파악 및 인자별 DB 구축
 - 수변지역 충적층 지열 부존량 분포도 작성
 - 지열부존량 분석을 통한 개발최적지 및 지하수열 개발 활용방안 제시
 - 장단기 충적층 지열 부존량 변화 예측

마. 연구개발과제 TRM

수변 지하수열 추출 최적화 및 지열 영향 저감 사후관리 기술	추진 일정									
	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도	
대수층 열·물질 순환 모니터링										
활용효율 극대화를 위한 구조, 운영 최적화										
시스템의 장/단기 진단 및 예측										
환경영향 저감·해소를 위한 사후관리 기술 개발										
수량·수질 연계 순환량 분석 및 기준 마련										
수변 충적층 지하수열 활용·저장 시스템 개발	추진 일정									
	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도	
실증 시스템 개발, 구축										
시스템 진단 및 제어, 모니터링 기술 개발										
실증 시스템의 적용과 운영 및 성능 평가										
시스템 설계, 시공 및 운영 지침(안) 수립										
수변 충적층 지하수열 활용·저장 시스템 지상설비 최적화 기술 개발	추진 일정									
	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도	
지상 및 부하 요소에 대한 최적 설계 기술 개발										
시스템 고효율화를 위한 히트펌프 등 지상설비 개발										
시스템 운전 유형에 따른 설비 성능 평가 및 최적화 기술 개발										
기존 시스템과의 효율성 비교 분석										
수변 충적층 지하수열 활용·저장 시스템 최적지 분석 기술	추진 일정									
	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도	
대하천 수변지역 충적층 열물성, 수리적 물성 자료 수집 및 측정										
지질-지하수 조건과 열물성의 상호관계성 파악 및 인자별 DB 구축										
충적층 지열부존량 분포도 작성 및 장단기 예측										
개발 최적지 및 지열 개발 활용 방안 제시										

바. 최종성과물 및 성과지표

- 수변 지하수열 추출 최적화 및 지열영향 저감 사후관리 기술
 - 수변지역 충적층 지하수열 분포 모니터링 설비
 - 대수층 열물질 순환 계측 최적화 및 시스템 진단을 위한 정밀 모델
 - 수변 지하수열 활용·저장 시스템의 진단 및 운영 최적화 기술 매뉴얼
 - 개방형 및 폐쇄형 지열공 환경영향평가 기준 및 사후 유지 관리 지침
- 수변 충적층 지하수열 활용·저장 시스템 개발
 - 수변 충적층 지하수열 활용·저장 실증 시스템 현장 설비: 기존 설비 대비 효율 10% 이상 확보
 - 지중 설비(지중열교환기 등) 요소 기술 (특허 등)
 - 수변 충적층 지하수열 활용·저장 시스템 설계, 시공, 운영지침(안)
- 수변 충적층 지하수열 활용·저장 시스템 지상설비 최적화 기술 개발
 - 지상 및 부하 요소의 설계 매뉴얼
 - 충적층 지하수열 시스템에 최적화된 히트펌프 등 지상 설비(특허 등)
- 수변 충적층 지하수열 활용·저장 시스템 최적지 분석 기술
 - 지질-지하수 특성 및 열물성 등 인자별 DB 시스템
 - 수변지역 충적층 지열 부존량 분포도 (1개 대하천변)
 - 지하수열 개발 활용 방안 및 장단기 충적층 지열 부존량 변화 예측 기술 매뉴얼

○ 성과지표

성과목표	성과지표		측정 방법	단계별목표치					최종 목표치	가중치 (0~1)	비고
				1	2	3	4	5			
과학기술적 연구 성과 향상	1-1	학술지 게재 - SCI/SCI(E)	건	0	1	2	3	3	9	1.0	
	1-2	학술지 게재 - 일반학술지	건	0	1	3	4	4	12	0.4	
	1-3	국내외 학술회의 발표	건	0	3	4	4	4	12	0.2	
	1-4	지식재산권 - 특허, 소프트웨어	건	0	1	2	3	3	9	2.0	
기술개발 역량향상	2-1	과제당 산학연 협력 활동건수	건	0	1	1	2	3	7	0.2	
	2-2	산학연 기술지원 건수	건	0	0	1	1	1	3	0.2	
	2-3	세부과제 평가보고서 (고유지표)	권	1	1	1	1	1	5	2.0	
	2-4	관련분야 국제협력 네트워크 구축 (고유지표)	건	0	1	2	2	2	7	0.4	
사회·경제적 파급효과 증대	3-1	연구개발 관련 홍보 건수	건	0	2	3	3	2	10	0.4	
	3-2	기술 확산을 위한 상호교류 정도	건	0	1	2	2	3	8	0.6	
	3-3	기술적용 및 기술이전	건	0	0	0	1	2	3	2.0	
	3-4	전문인력양성 (고유지표)	명	1	2	3	3	3	12	1.0	
기술개발 계획 및 추진체계 확립	4-1	법/제도/정책 제안	건	0	0	0	0	1	1	0.8	
	4-2	기술 보고서	권	0	1	1	1	1	4	0.8	
	4-3	설계 기준 및 시방서 (매뉴얼)	권	0	0	0	1	1	2	0.4	
	4-4	연구지역 협의 및 확보		협 의	확 보						
합계				3	15	29	33	35	107	81.2	

* 4-4 연구지역 협의 및 확보는 1차년도 연구지역 협의 및 2차년도 연구지역 확보·연구
시설설치 개시 이행여부를 연구과제 계속 여부 판단 기준으로 활용

사. 성과물 검증방안

- 수변 충적층 지하수열 활용·저장 실증 시스템 유무
- 기존 천부 지열 시스템 대비 에너지 효율 10% 이상 달성 유무
- 충적층 내의 지열부존량 분포도의 작성 유무
- 충적층 지열 자료 DB 구축 유무와 지열자료의 공간적 밀도
- 모니터링 자료와 예측·진단 모델링과의 내용 일치 여부
- 수변 충적층 지하수열 활용·저장 실증 시스템의 표준설계(안)의 도출 유무 및 타당성
- 수변 충적층 지하수열 활용·저장 실증 시스템의 시공 기준(안) 도출 유무 및 타당성
- 수변 충적층 지하수열 활용·저장 실증 시스템 최적 제어 및 시스템 구성 기법 관련 특허 출원 유무
- 지하수열원 활용 시스템 성능 평가 지표 및 관련 규격 DB 유무
- 지열공 성능 개선 기술 및 사후관리 기술 관련 특허 출원(등록) 유무

아. 기술수요처 및 실용화 방안

- 충적층 지하수열원 부존량 분포도 시범 작성을 통해 충적층을 대상으로 한 여러 가지 지열에너지 활용 방안의 검토 가능성을 확보하고, 이를 관련 정책 제안의 근거로 사용할 수 있음.
- 수변 개방형 시스템과 대수층 축열 시스템의 최초 실증 사이트는 수변의 건물 냉난방이나 작물 재배를 위한 새로운 에너지 공급원으로서의 가치를 가지고 있을 뿐 아니라 신재생에너지 이용 홍보를 위해서도 활용 가능함.
- 전국 수변 충적층 주변 지역에 고효율, 친환경의 지하수열원 활용 시스템 보급을 활성화시키기 위한 기준 사례로 활용할 수 있음.
- 수변지역 충적대수층의 개방형 시스템의 효율 예측 및 점검을 위한 프로그램 상용화 가능함.
- 이전에 체계화되지 않거나 단순 경험에 의존했던 개방형 시스템의 설계 및 시공, 운영 등과 관련된 각종 기준 자료를 관련 기업과 단체에 공개, 제도화하여 실용화 기반을 마련할 수 있음.

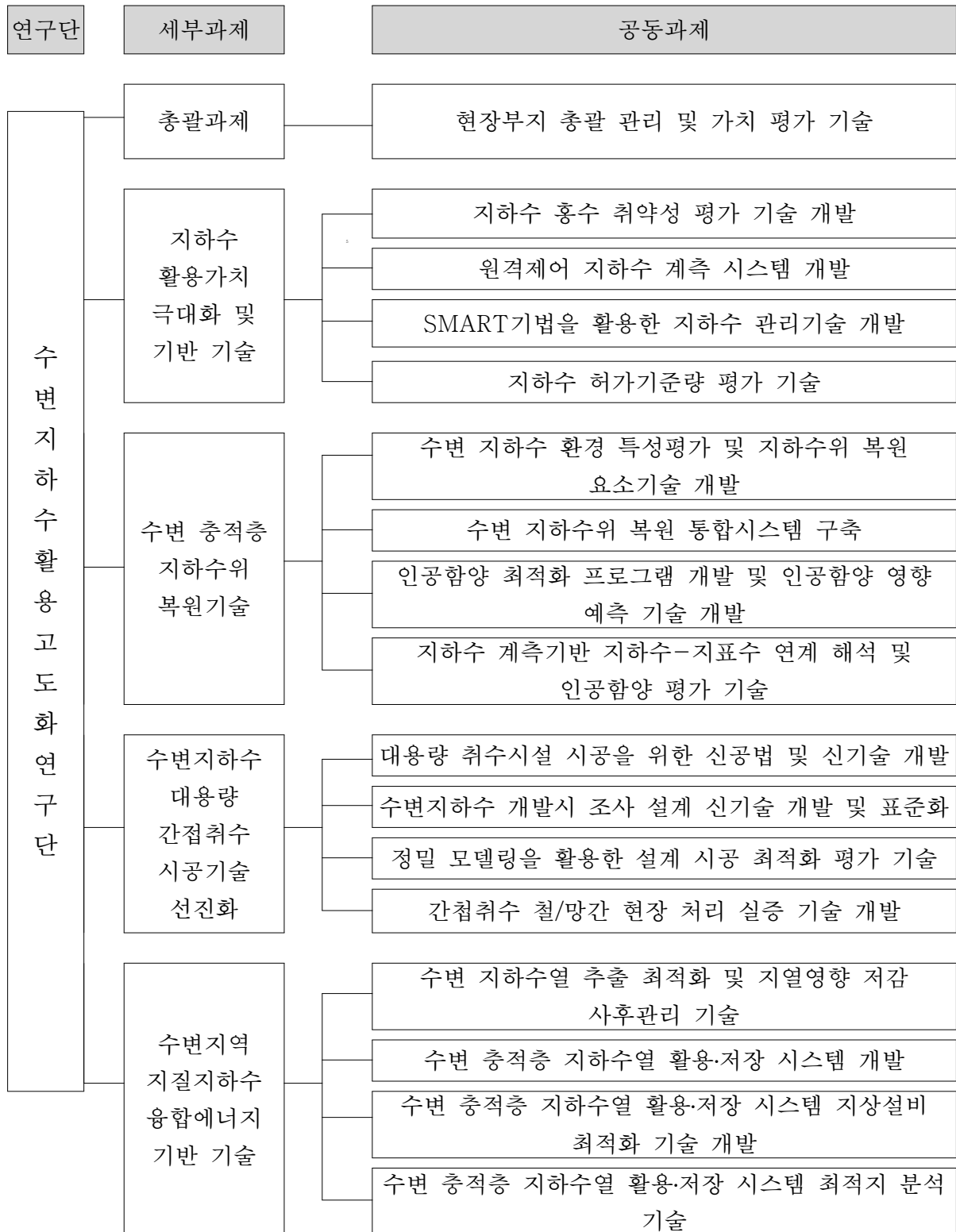
- 실증을 거쳐 설계와 운영에 관한 표준 매뉴얼이 확정된 지하수열원 활용 시스템에 대한 적극적인 홍보를 통해 건축 부문에서는 건축 설계 회사, 건축 시행사, 설비회사, 도시계획 등, 산업 부문에서는 대규모 에너지 공급시설, 공장, 플랜트 등, 농업 부문에서는 원예시설, 비닐하우스 냉난방 등에 이용 가능함.
- 개발된 기술과 연구 결과는 전 세계적 기준으로도 희소한 가치를 가지는 신기술이자 주목받는 주제이므로 관련 설비와 연구 인력을 해외에 수출할 수 있음.

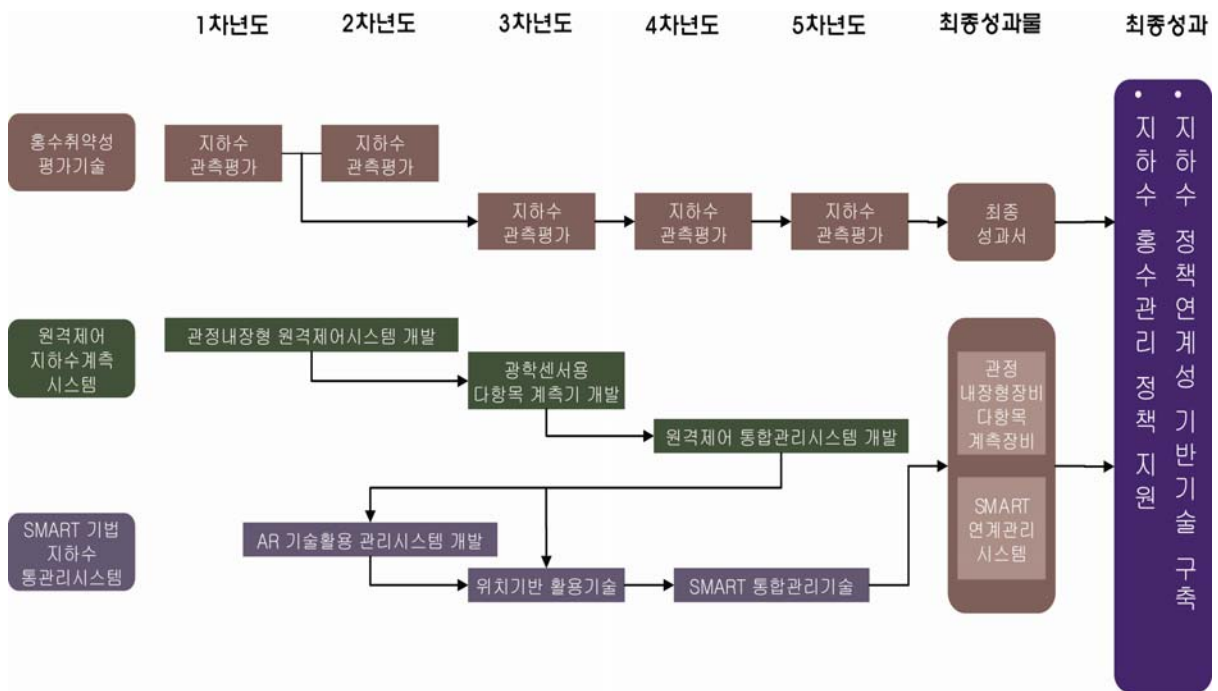
표 3.2 국내 주요 수요처의 지열시스템 수요량 현황

수요처	수요량 ¹⁾
공공시설	6,234kW
교육시설	2,944kW
사회복지시설	3,136kW
상업시설	2,391kW
기 타	5,828kW

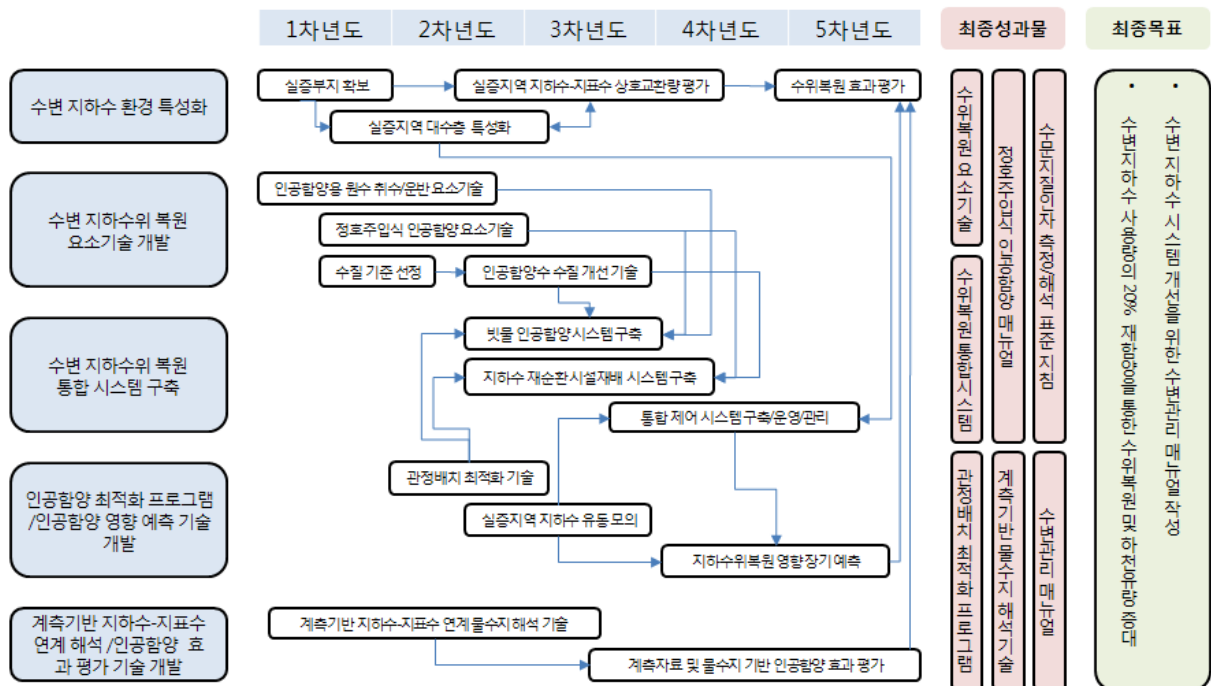
¹⁾ 2007년 신·재생에너지통계(2008년판), 에너지관리공단 신·재생에너지센터

제 5 절 세부과제간 연계 관계

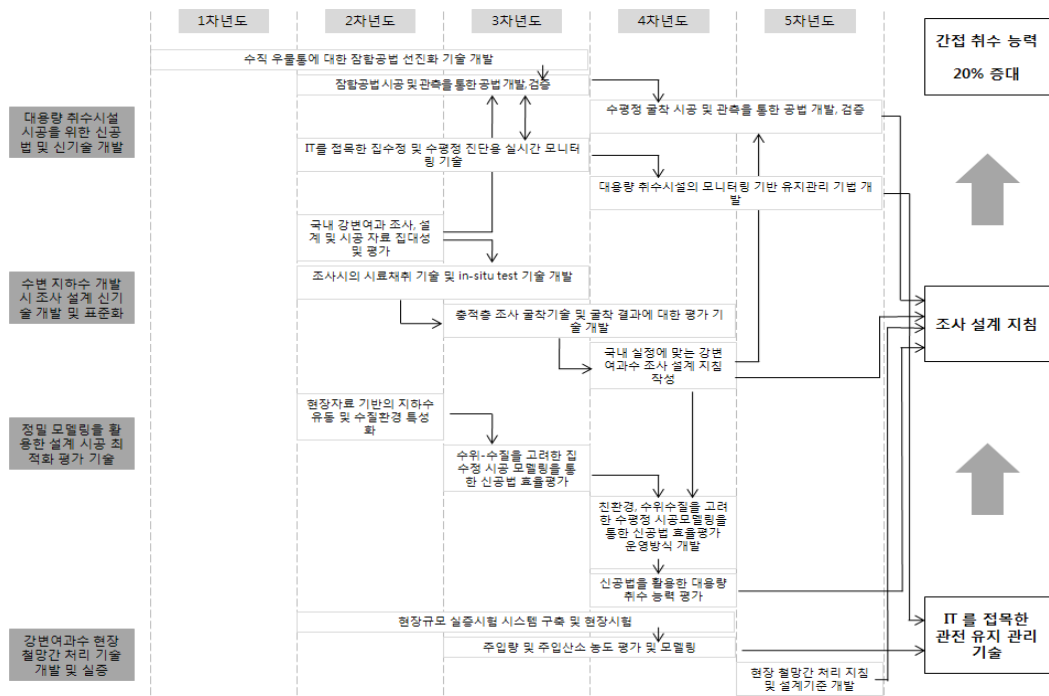




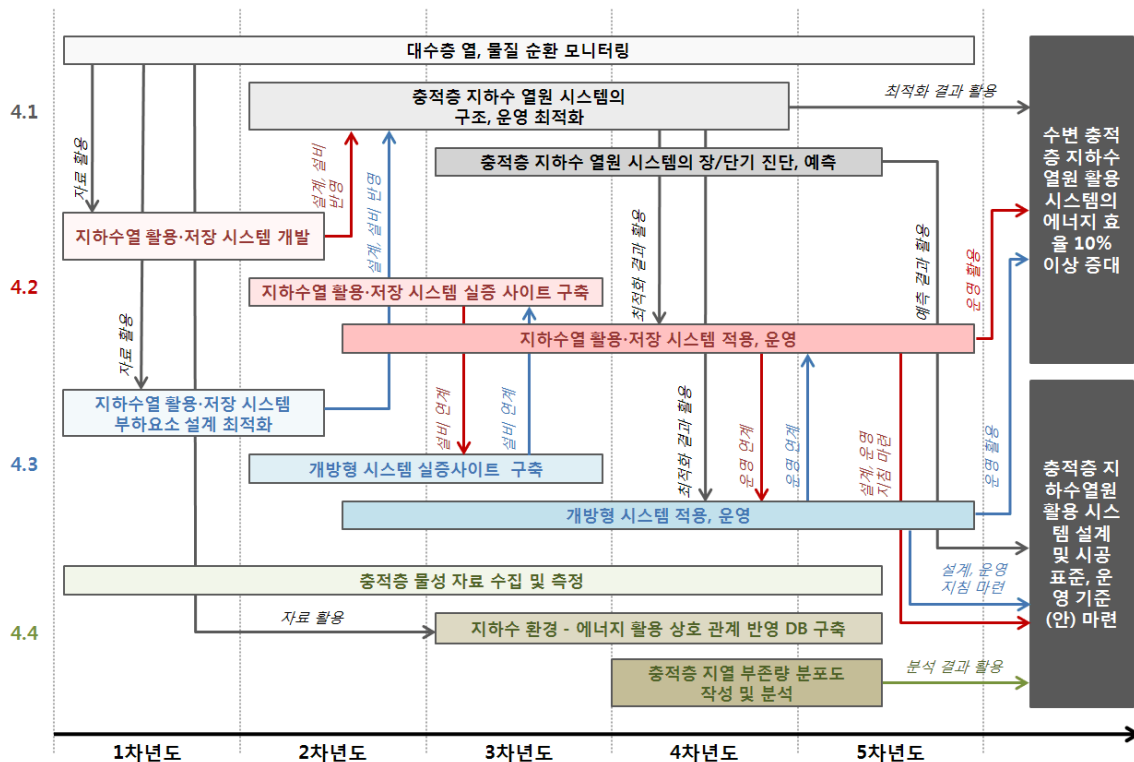
1세부과제 연계 모식도



2세부과제 연계 모식도



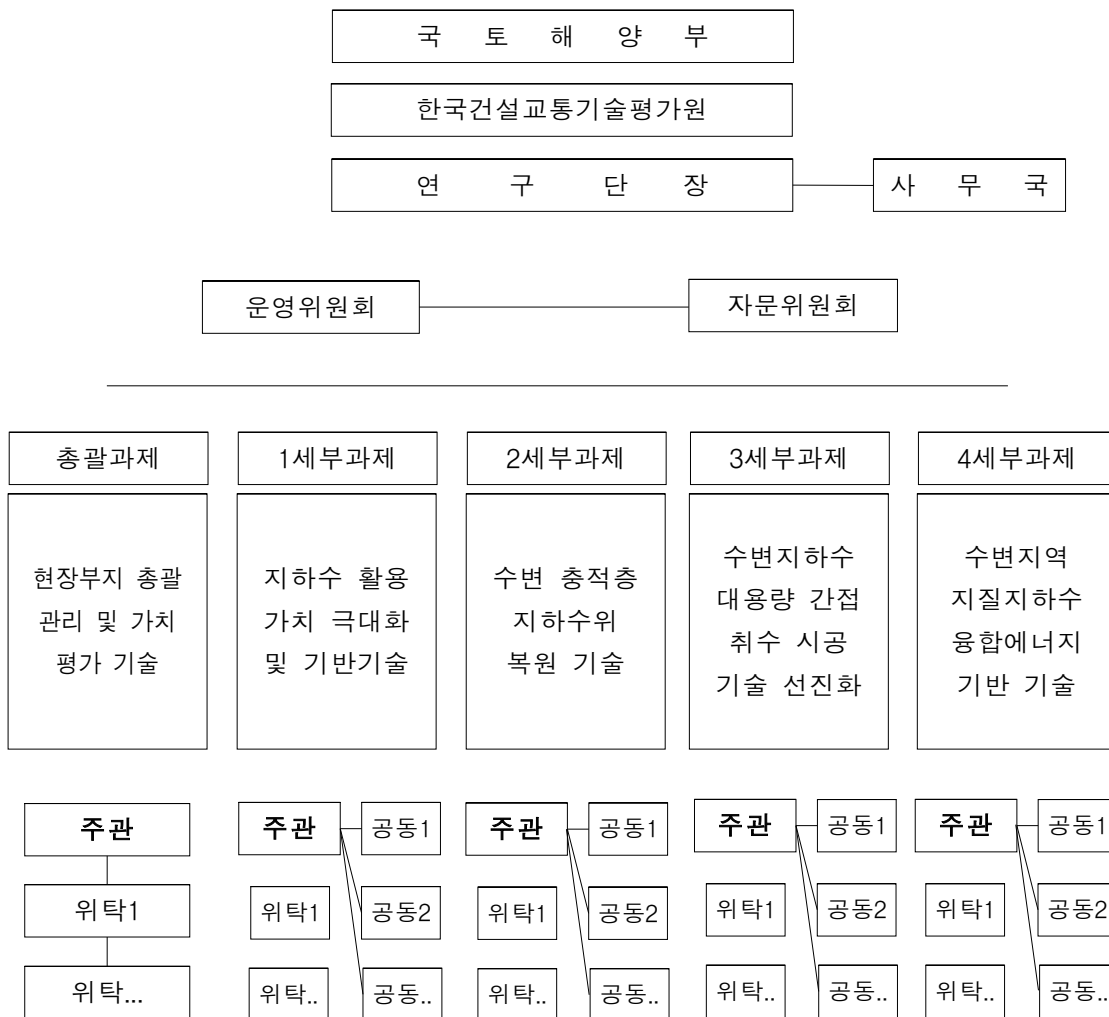
3세부과제 연계 모식도



4세부과제 연계 모식도

제 6 절 연구추진체계 제안

수변지하수 활용 고도화 연구의 비전인 “건전한 물순환 구축으로 국가 물안보 확보”를 달성하기 위한 세부기술인 “지하수 활용가치 극대화 및 기반 기술”, “수변 층적층 지하수위 복원 기술”, “수변지하수 대용량 간접취수 시공기술 선진화”, “수변지역 지질지하수 융합에너지 기반 기술”을 효과적으로 추진하기 위하여 연구단 과제로 추진함.



- 연구단은 연구단사가 연구단이 되며, 연구단사는 연구단의 단장을 선임해야 함.
- 연구단장은 지하수 분야 실무경력 또는 연구경력 15년 이상인 박사학위 소지자
- 연구의 완성도를 높이고 산·학·연 각 분야별 전문가의 효율적 활용을 위하여 세부과제별 최적의 참여연구기관을 구성·운영

- 산업계는 개발기술의 표준화 및 실용화에 중점을 두어 연구추진체계 구성
- 학계는 국내외 연구개발 네트워크를 구축하여 활발한 학제간 통섭을 통해 실용적인 융합기술의 개발 추진
- 연구소는 국내외 연구개발 네트워크를 구축하여 공동연구체계 활성화 및 기술의 융합 추진
- 정부는 개발기술의 활성화를 위해 필요한 제도의 개선 등 실용화를 위해 필요한 제반 여건조성
- 연구추진 체계의 구성에 있어서는 국내외 전문인력을 적극 활용하고 국외 선진 연구기관과의 국제 협력체계를 구축하여 선진 기술의 도입 및 해외 진출의 인프라로 활용
- 연구를 효율적으로 추진하여 성과를 극대화하고 실용화를 효율적으로 추진하기 위하여 세부과제간 정기적 진도 점검 세미나를 개최하여 연계 기능 강화
- 연구단 산하에 국내외 산·학·연·관 전문가로 자문위원회를 구성하여 연구방향 및 연구성과의 기술적 평가 수행
- 연계성을 갖는 연구 주체가 단일 Pilot site에서 수행되어 상호 검증 활용할 수 있도록 구성

제 4 장 사전타당성 검토

제 1 절 정책적 타당성

1. 사업 추진의 중요성 및 시급성

- 지하수자원은 60~70년대 농촌근대화 과정에서 식량 자급기반 구축에 기여했고, 광역상수도 기반이 취약했던 70~80년대 산업화시기에 농·공·생활용수 전반에 걸쳐 국가발전의 주요 원동력이 되었을 뿐 아니라 오늘날에 이르러서도 산업 전 분야에서 널리 이용되는 공공재이며 경제재로서의 주요 국가 경영자원이다.
- 세계의 물 산업 규모는 2007년 3,620억 달러에서 2025년에 8,650억 달러로 전망하고 있는데, 물의 직접 확보와 관련된 분야와 연관 분야로 구분될 수 있다. 물의 직접 확보와 관련된 제조 건설 분야는 2025년에 4,850억 달러, 운영관리는 3,800억 달러로 추정하고 있다 (일본 경제산업성(2010), 물 인프라 해외진출 방안). 이와 같은 물 산업을 타 산업과 비교해 본다면 규모면에서도 상당한 수준에 이르고 있는데, 반도체 산업이나 조선 산업보다 큰 규모로 나타난다.
- 선진외국의 최근 지하수관리는 기본적으로 지표수-지하수 연계관리, 수량-수질 연계관리가 핵심적인 근간이 되며 특히 지하수의 생태적 중요성이 부각되고 있다. 또한 물 산업에서 지하수 활용 및 기여도가 높이 인식되고 있을 뿐 아니라 관련 기술과 연구를 중요한 수출자원으로 삼는 등 지하수 전반의 패러다임에 있어서 급격한 전환이 이루어지고 있는 추세이다.
- 그간 정부는 지하수법상 기본책무인 지하수의 적정 이용과 효율적 보전·관리를 위하여 기초조사, 관측망 운영, 통계관리, 국가 지하수정보센터 운영 등 지하수관리 인프라 확충에 지속적인 노력을 기울여 왔으나, 국가 지하수관리의 기본 정보 기반인 기초조사사업 재정투자가 계획대비 40% 수준에 머물고, 재해예방·감시시스템의 기본 인프라인 관측망 운영도 국가 전반적인 정책수요를 총괄적으로 수용하지 못한 것이 사실이다. 특히 부처별로 수행된 지하수 조사, 관측망, 정보관리 사업 등을 효율적으로 연계하여 高 부가가치 창출을 위한 상호 협업체계가 부족하였으며, 지하수법상 지하수관리 행정의 대부분을 전문 기술인력·조직 및 재정 형편을 고려하지 않고 지자체에 위임하여 경우에 따라 대수층 환경을 크게 오염·낭비한 사례가 적지 않았다.
- 이와 같은 국가 지하수관리 정책전반에 누적된 현안으로 인해, 일반 국민들로부터의 정책 체감, 신뢰도를 저하시키는 원인이 되고 있으며, 정부 내에서조차도 정책

의 혼선과 중복으로 투자 우선순위에서 밀리는 상황에 직면하였다. 최근 지하수 관련 사회적 이슈로 부각되고 있는 가뭄 등 기후변화, 하천 건천화, 도시개발에 따른 지하수 유출, 각종 수질오염사고, 지반침하 등 당면하고 시급한 지하수 정책현안에 적절한 대응이 시급한 상황이며, 실체와 규모가 불분명한 고질적 현안인 방치공 문제, 최근 들어 이슈가 된 과잉 양수에 의한 지반 침하 등의 문제가 완결되지 않고 반복적으로 언론에 집중 부각됨으로써 국가 지하수 시책 전반의 불신 가중되고 있는 상황이다.

- 지표수 수질과 수돗물에 대한 일반 국민들의 인식이 좋지 않은 상황에서 각 지자체가 추진하고 있는 강변여과수 등을 활용한 간접취수 방식이 큰 호응을 받고 있는 실정이며, 국내에서도 지속적으로 관련 시장이 확대될 전망이다. 특히, 광역상수도, 지방상수도의 활용을 위해서는 대용량 취수시설에 대한 경제적이고 안정적인 특수 우물 굴착 등의 신기술 접목 가능성에 대한 다양한 시도가 필요한 시점이다.
- 최근에는 4대강 살리기 사업 이후의 하천변 지역의 효율적이고 체계적인 이용관리를 위하여 친수구역활용특별법을 제정하여 수변지역의 관리 강화가 추진되고 있다. 수변은 취수 및 시설 재배가 활발하게 이루어지는 지역이며, 동시에 지표수와 지하수가 서로 순환하는 경계에 있기 때문에 지속적이고 정밀한 수질·수량 모니터링이 절실하게 필요한 지역이다.
- 또한 친수구역활용특별법은 수변지역에서 하천으로부터 2km 이내 지역의 일부를 체계적으로 개발하기 위한 규정을 포함하고 있는데, 하천과의 연계성 및 신재생에너지의 활용을 최대화할 것을 기본 방향으로 설정하고 있어 수변지역을 활용한 친환경, 고효율, 대용량의 지열에너지 개발의 필요성과 효용성이 대두되고 있다.
- 현재 지열 에너지의 공급 확대 필요성은 강조되고 있지만, 공급 잠재력(에너지절감 잠재량)이 큰 지하수 지열 시스템의 안정성과 환경적 측면에서의 신뢰성에 관한 체계적인 정부 지원 하의 기술 개발 성과는 전무한 실정이다. 국가 에너지 사용량의 약 33%가 건물의 냉·난방과 급탕에 드는 비용임을 감안하면, 고효율의 개방형 지하수 지열원 시스템을 보급하기 위한 정책과 제도를 구축할 필요가 있다. 특히, 대용량화에 대응하기 위한 정부의 시범 사이트 구축 및 적극적 홍보가 이루어져야하다.

2. 상위 계획과의 부합성

- 수자원 장기종합계획의 기술수요 조사결과 이수분야에서 “물이용의 안정성 향상” 및 “이상 가뭄에 대한 비상요수의 확보”에 관한 연구의 중요도가 높았고, 수자원 조사 및 연구개발 분야에서는 “물이용의 안정성, 형평성 및 효율성 향상”과 “국

가 물 안보의 확보”가 중요 방향으로 설정되었다.

- 환경부는 생활 공감을 주제로 고품격 환경·기상 서비스 제공을 위한 일환으로 깨끗하고 안전한 수돗물 공급을 위하여 낙동강수계에 대한 강변여과수 취수가능지역 조사 등을 통해 취수원 다변화 및 먹는 물 수질관리 강화를 추진하겠다고 하였다.
- 또한, 국토해양부와 지식경제부, 환경부가 합동으로 ‘물 산업 육성방안’을 국무회의에 보고한(2006. 2) 바에 의하면 용수공급 시설의 수출 산업화를 통해 2015년까지 세계적인 물 기업을 육성하고 플랜트 수출을 통한 20조원 이상의 부가가치를 가진 사업으로 육성할 예정에 있다고 발표하였다.
- 한편 정부는 저탄소녹색성장기본법(안) 제9조를 법적 근거로, 국가의 저탄소 녹색성장을 위한 정책목표, 추진전략, 중점추진과제 등을 포함하는 녹색성장 국가전략 5개년 계획을 2009년 7월 6일 수립, 시행 중이다.
- 따라서 정부는 지속가능한 녹색경제로의 이행을 촉진하고 녹색일자리 창출과 새로운 성장동력의 확보를 위한 ‘녹색뉴딜’ 정책, ‘신성장동력’ 육성정책 등 부문별 녹색성장 정책과 정부차원의 녹색성장 중장기 정책목표, 추진전략, 주요 전략별 핵심정책 및 중점 추진과제, 재원과제, 재원투자계획 등을 ‘녹색성장 국가전략 및 5개년 계획’에 포함하였다.
- 2004년 4월 “신재생에너지 개발 및 이용 보급촉진법시행령” 확정 등 공공기관의 건축연면적 3,000 m² 이상의 신축건축물에 표준건축비의 5%이상 사용의무화, 그린홈 100만호 건설, 농림부의 시설원예사업 착수 등을 규정하여 녹색성장 방안의 일환으로 청정에너지 보급 확대, 산업화 촉진 및 수출전략산업으로의 육성 계획이 수립되어 지열 개발 보급의 기반이 마련되었다.

3. 정부 지원의 타당성

- 지하수는 미래의 청정수자원으로서 고부가 시설재배 영농 및 하천수량 유지, 지하수열원 활용을 위한 중요한 공공재이므로 지자체 및 정부의 지원으로 달성해야 할 과제이다. 전 세계적으로 재난대비 물 안보 확보의 중요성이 증대되고 있으므로 지하수 활용 고도화를 위한 요소기술 및 응용기술개발 등은 국가주도의 연구개발로 추진하는 것이 필요하다.
- 본 연구는 국가 지하수 활용 가치의 극대화를 통하여 지하수의 직접, 간접적인 효용성을 높이고 연구결과를 통하여 보급과 응용 등 부수적인 국가사업이 기대될 수 있는 내용을 담고 있다. 또한 연구의 결과물은 여러 설비·설계 기준안과 활용 표준

지침을 포함하여 국가 정책의 기반이 되는 자료와 다양한 기후변화 대응책을 많이 제공하게 될 것이다.

- 이 외에도 본 연구수행에 있어 산·학·연 관련 분야 연구진간 특성에 맞는 역할 분담 및 연계 체계가 이루어짐으로써 효율적인 사업추진을 위한 업무협조체계가 구축되어 있다. 그러나 원활하고 효율적인 사업추진을 위해 환경부, 행정안전부 등 관련 부처와 지자체간의 업무 협조 체계의 구축이 필요하며, 데이터 교류 및 융합형 R&D 창출을 위한 인프라 구축을 고려하는 것이 필요하다.
- 특히 수변지역 대용량 간접 취수시설이나, 인공 함양 시설, 지하수열원 활용 시스템 등의 분야에서 개발된 국내의 독창적인 기술은 신규 사업 창출과 해외 수자원개발 사업 진출에 큰 역할을 담당할 것이다. 이를 선도적으로 이끌기 위한 연구개발은 현장중심의 연구와 TEST BED를 통한 기술개발의 검증을 통해 가시적 성과가 반드시 필요할 것이다. 이를 위해서는 지자체와 참여연구기관의 긴밀한 상호협력이 필요하다.

제 2 절 기술적 타당성

1. 기존 연구·기술 개발 사업과의 중복성 및 차별성

- 수자원의 확보를 위한 21세기 프론티어 사업 중 완료단계에 이른 ‘수자원의 지속적 확보기술개발 사업’은 수자원 공급 안정화와 물 부족 해소, 삶의 질 향상을 목표로 2001년부터 10개년 계획으로 추진된 것으로, 30억 톤의 수자원을 확보하는 것을 목표로 하고 있다. 이 연구의 주요 연구영역은 통합 수자원 관리 기술과 지표수 확보기술 그리고 지하수 확보기술 및 대체수자원 확보기술 등으로 주로 수자원 관리를 통한 수자원 확보가 목표인데, 기존 21세기 프론티어 사업내의 지하수 연구와 본 기획 연구의 차별화는 다음으로 대표된다.
- 기존 프론티어 연구의 경우 기초 R&D 성격으로서 Test bed 등을 활용한 현장 실증 중심의 연구가 아님.
- 연구 분야에 있어서도 하천고갈, 인공함양을 통한 지하수 수위회복, 지하수 정책-제도개선 및 지질지하수 융합 에너지 활용 기술개발 등에 대한 연구가 전무함.

표 5.1 21세기 프론티어 연구사업과 본 기획과제의 차별성

분 야	기존 프론티어 과제	본 연구 과제 (국가지하수자원 활용 고도화 기술)
지하수-지표수 연계	- 학문적 성격의 지표수-지하수 연계 특성 분석임 . 강변여과수와 낙동강 물의 수리화학적 분석 및 비교 . 강변 지역 지하수-하천수 수위 변동 시계열분석 . 개발 적지 분석을 위한 현장 지질 특성 조사 및 지하수-지표수 연계 해석 등	- 수변지역 지하수 양수로 인한 하천 고갈 현상 분석 및 대책 방안 제시 - 하천고갈 방지를 위한 지하수 사용량 제한 등 정책 및 제도 개선 제안 - 비닐하우스 집중지역 인공함양 기법 적용 및 지하수 활용 시설 구축을 통한 함양 증가 및 하천 고갈 방지 - IT 기반의 지하수 모니터링 시스템 구축 및 지하수 함양량 산정 기준 확립
강변여과수 개발	- 기존 시설을 활용한 수리수문학적 특성 연구 중심임 . 개발 대상지역 수리지질학적 조사 및 수리수문 평가 . 개발가능량 평가를 위한 수치모델링 수행 . 개발 지역의 생태조사를 통한 지하수 분포 특성 파악	- 대규모 지하수 개발 시설의 구축, 관련 설비의 개선 및 운영 관련 기술 현장 적용 - 국내 지질 특성에 맞는 강변여과 시공 기술 개발 - 4대강살리기 사업과 관련되어 변화된 하천특성에 따른 강변여과 개발조건에 따른 최적산출량 확보 기술 개발

분 야	기존 프론티어 과제	본 연구 과제 (국가지하수자원 활용 고도화 기술)
	· 개발 지역 지하수위 및 수질 변화 조사 및 분석	- 인공함양 ASR 기법을 활용한 충적 지 하수 개발가능량 증대 방안 실증
지열 영향 연구	- 해당사항 없음	- 지하수 열 활용 및 개방형 지열 시설 기술의 상용화 및 국산화 달성 - 지질조건을 고려한 개발 최적지 선정 기술 개발로 무분별한 지하 굴착 차단 - 대수층 열저장 능력 평가 및 효율 활 용 기술 개발 - 가정용 지열에너지 활용 기술 개발 및 국산화

가. 지하수 활용 분야

- 지하수 관리의 기본이 되는 전국 단위 지하수 함양량과 개발가능량에 있어서 유역 물수지와 지하수위 변동을 고려한 산정 기법(건기평 R&D)이 개발되어 있으나, 전국단위로 확대 적용하는 연구는 미흡한 실정이어서 지하수관리를 위한 기본 수문량의 정확한 산정요구가 증대되고 있으며, 지하수 이용률이 높은 지역의 실질적인 지하수 개발가능량 평가가 어려워 관리방안 도입이 시급한 실정이다.
- 한국 지질자원연구원은 제주특별자치도에서 추진하고 있는 연동구조의 비닐하우스에 화산암지층의 높은 투수성을 이용한 빗물 인공함양 기술을 개발하였으나, 이는 하천 유출수를 불포화대에 주입하는 것을 특징으로 하는 제주형 지하수 인공함양기술은 투수성이 매우 큰 화산암 지층에만 적용 가능한 기술이다. 이를 바탕으로 단동 비닐 하우스나 제주도에 비해 상대적으로 낮은 투수계수를 갖는 충적층과 암반층으로 특징되는 내륙의 시설재배시스템에 적용 가능한 기술을 개발하고, 아울러 초기 우수를 배제하고 수질제어가 가능한 비닐하우스 빗물 인공함양기술로 발전시킬 수 있다.
- 대용량 취수시설은 크게 집수정과 수평정호로 구분되며, 국내의 경우 주로 자중 침하공법을 사용하여 왔으나 경제성이 떨어지고 공사기간이 많이 소요되는 것이 단점으로, 이를 극복할 수 있고 우리 지질환경에 맞으면서 비용 효율을 증대시키고 공사 시간을 단축할 수 있는 신공법이 절실한 상황이다. 또한 현재 국내에 적용되고 있는 수평정호 설치공법은 크게 이수가압식, 회전타격식, 압입식 등으로 분류되고 있는데, 각 공법에 따라 장비의 제원 및 성능이 다르고 굴진 특성이 매우 상이함에도 불구하고 천공장비를 수입에만 의존하기 때문에 국내 지질조건에 적합한 최적 굴진공법이 적용되지 못하고 있다.

- 이 외에 ASTR(Aquifer Storage and Transfer, Recovery) 연구에 활용할 수 있는 지하수 최적 주입·양수의 전산 설계기술, 염수침투 관측장비 등은 21세기 프론티어 수자원 사업단에서 개발한 지하수 적정 개발 및 관리 기술을 통해 준비되어 있으나 실제로 이를 현장에 적용한 사례는 없다.
- 첨단 IT 기술을 활용한 지하수 순환 모니터링 및 SMART 관리 기술에 관한 선행 연구는 전무하다.

나. 지하수-지열 융합 에너지 분야

- 국내의 경우 지열에너지의 개발은 주로 폐쇄형 지중열교환기 시스템에 의한 설비기술 개발에 국한되어 왔으며, 지하수를 활용하는 개방형 및 대수층 지하수 지열 확보 기술에 대한 연구개발과 특허 기술은 전무하다.
- 2003년 한국지질자원연구원에서 기존의 온천시추 등의 자료를 수집하고 암석의 열물성을 측정하여 2007년 기준으로 총 359개의 지열류량 시료와 580개의 지온증가율 자료, 1,560개의 암석 샘플에 대한 열전도도를 측정하여 남한에 대한 지온증가율 분포도, 지열류량 분포도 그리고 지역별, 지질별 암석의 열전도도 분포를 작성한 바 있다(Lee et al., 2010). 그러나 이는 수 km 깊이 이상의 심부 지열환경에 대한 것으로 수변지역 충적층에 대한 연구는 제외되어 있다.
- 2006년 창원시 대산면 대산정수장에서 강변여과수를 이용한 건물 냉난방 설계가 성공적으로 이루어졌으며, 낙동강 충적층의 지하수 순환과 온도 변화에 대한 민감도 분석 및 예측 모델링(Shin et al., 2010)도 행해진 바 있다. 대산정수장의 강변여과 시스템은 도시의 수도 공급을 위해 강과 주변 대수층에서 물을 양수만 하고 그 일부를 냉난방을 위해 사용했다는 점에서 주입과 양수를 동시에 행하며 그 과정에서 지하수의 온도만을 활용하는 개방형 지열시스템과는 목적과 방식이 다르지만, 수변 충적층에서 지하수의 이동과 온도 변화를 추적하고 이를 활용한다는 점을 공통으로 하고 있으므로 개방형 시스템과의 기술 융합이 용이할 것이다.

2. 보유 기술 수준 및 기술 격차

각 분야별 보유 기술과 선진국 대비 기술격차는 표 5.2와 같다.

표 5.2 선진국 대비 국내 기술수준

세부과제	현재 기술수준				기술개발완료시 기술수준			
	기술수준		선진국 대비 기술격차(년)	비고	기술수준		선진국 대비 기술격차(년)	비고
	국내	선진국			국내	선진국		
수변지역 지하수 조사평가 고도화 기술	80	95	5년	성숙 단계	90	95	1년	경쟁 단계
수변지역 지하수 이용관리 고도화 기술	70	95	7년	도입 단계	90	95	1년	경쟁 단계
지하수시스템 복원기술 개발	70	95	7년	도입 단계	90	95	1년	경쟁 단계
지질지하수 융합 이용기술 개발	50	95	10년	도입 단계	80	95	3년	경쟁 단계
해안지하수 이용관리기술	70	95	7년	도입 단계	90	95	1년	경쟁 단계

- 우리나라는 인공함양 분야에서 특허 출원수가 일본(594건)의 뒤를 이어 364건이며 미국(220건), 유럽(103건)보다 앞서있다. 한국특허는 기술혁신 주체인 출원인수(특허권자수)와 기술혁신의 결과인 출원건수(등록건수)가 동시에 꾸준히 증가하고 있는 것으로 파악되어 발전기 단계에 있는 것으로 분석되며, 정호주입식이 대부분을 차지하고 있다. 강변여과식에 대해서는 세계에서 가장 특허가 많아 기반 기술이 잘 잡혀있는 것으로 파악된다.
- 폐쇄형 지중열교환기 분야에서 가장 많은 특허를 출원한 나라는 미국으로 전체 출원수 중 62%에 해당하는 410개의 특허를 가지고 있으며 이는 우리나라의 44개와 비교할 때 10배에 가까운 수이다. 두 번째로 많은 특허를 가지고 있는 나라는 168개로 26%를 차지하는 일본이며, 이에 비해 유럽 나라들에서 출원한 특허수는 31개에 불과하여 우리나라보다도 적다. 따라서 우리나라의 지중열교환기 관련 기술 수준은 미국을 제외하고는 세계 평균적인 수준에 가까이 이르렀다고 볼 수 있으나 선도하는 위치는 전혀 아니며, 우리나라의 실정에 맞고 동남아시아나 유럽 등지의 후발주자들에게 수출할 수 있는 기술을 개발 및 표준화하고 정착시키는 노력이 시급하다고 볼 수 있다.
- 지하수열원을 활용하는 개방형 시스템에 관해 지금까지 가장 많이 인용이 된 논문은 우리나라의 이진용 교수가 작성한 것으로 한국의 지하수 관측망을 통해 개방형 시스템의 적용 가능성을 평가한 내용이다(Lee, 2006). 구체적인 실험이나 수치모델

링 없이 개괄적인 현황을 조사한 논문의 인용이 가장 많다는 것은, 우리나라 뿐 아니라 전 세계적으로 개방형 시스템에 대한 관심이 높으며 이 분야에서의 기술 개발 및 연구가 이제 막 시작한 단계에 해당한다는 것을 시사한다.

3. 기술 활용 방안

- 최근 수 년 동안 아시아 몬순 기후지역을 중심으로 기후변화 등에 대응하기 위한 신개념의 대규모 수자원 프로젝트 시장이 열리고 있다. 유형별로는 수자원개발과 광역상수도의 조합 사업, 수량 수질 및 친수환경 및 녹색도시 건설 사업, 하천 종합 개발 관리 사업, 해수담수화 및 대수로의 건설 사업, 수자원 확보와 수력 발전 등과 같은 융합 산업 분야가 활발해지고 있는 실정이다. 이러한 시장 상황에 대응하여 청정 수자원 확보 및 관리, 신재생에너지 활용을 위주로 한 우리의 기술과 인력을 수출할 수 있을 것이다.
- 시설재배의 급증으로 수위가 저하되고 있는 수변지역에서의 지하수위 복원 기술 보급 및 관련 지침서 배포를 통해 지하수위 고갈 수변 지역 지하수위 회복 및 갈수기 하천 유량 증가에 활용하고, 에너지 효율적 시설재배 단지를 구축하여 농가 소득 제고에 활용할 수 있음.
- 양질의 지하수 활용을 위한 저비용/고효율의 대용량 취수시설의 시공기술을 개발하고 간접취수 조사 설계 기술 표준 지침서를 마련함으로써, 대용량 간접 취수시설을 보다 장기적인 관점에서 유지·관리하는 기술을 확보하고, 주로 미국 등에서 대용량 수원 확보나 해수침투 방지를 위한 기술로 활용되었던 것과는 독자적으로 구분되는 우리만의 선도적인 기술로 자리 잡을 수 있음.
- 해수침투 등의 수질 문제로 인하여 용수 확보가 어려운 하구언에서 수원을 확보하기 위하여 ASTR(Aquifer Storage, Transfer and Recovery) 기술을 국내 최초로 적용하고 이를 우리 지질환경에 맞는 하구 충적층에 적용할 수 있도록 개선함으로써, 청정 지하수원을 확보하고 하천수 오염 대응력을 높일 수 있음.
- 가용 지하수가 풍부한 수변 충적 대수층에서의 지하수열원을 활용하기 위해서 지하수열원 부존량 분포도가 작성된다면 향후 수변에서 개방형 지중열교환기, 대수층 축열 시스템 등 다양한 지중열 활용 방안에 대한 적용 가능성을 진단하고 최적지를 선정하는 중요한 근거가 될 수 있을 뿐 아니라, 여러 친환경 에너지 정책 마련의 기틀 역할을 할 것임.
- 수변지역 대수층 열용량 설계를 위한 수리지질 특성 분석 및 모델링 기술 정립, 지하수열원 지중 열교환 시스템 설계 기준 수립과 안정적 운영을 위한 성능 기준 마

런 등을 통해 친환경, 고효율의 지하수열원을 활용하는 지열시스템 보급이 활성화 될 수 있음.

- 첨단 IT를 연계한 지하수 모니터링 장치 및 SMART 관리 시스템 개발을 통해 수변 지역 대수층의 순환을 보다 명확히 가시화함에 의해 계측자료를 활용한 과학적인 수문평가 및 정책지원이 가능하며, 실시간 정보 접근성 강화 및 활용성을 제고함에 따라 기후변화에 대비한 전 세계적 선도 기술을 확보 기대.

제 3 절 경제적 타당성¹⁾

1. 경제성 평가의 기본 틀

가. 분석의 개요

- 경제성 평가는 사업에 소요되는 비용과 편익을 비교하여 해당 사업의 경제적 가치 수준을 사회적 관점 또는 국가 전체적인 관점에서 파악하는 비용편익분석(Cost Benefit Analysis)을 적용함.
- 해당 사업에 소요되는 비용은 실제 지출된 비용 외에 외부비용까지 포함한 기회비용(opportunity costs)의 관점에서 총비용을 산정함.
- 본 사업으로 인해 발생 가능한 모든 편익을 산정하고자 하며, 수자원 개발 및 확보라는 공공적 성격이 강한 기술개발사업이라는 특수성을 고려하여 여러 가지 직접적 및 간접적 편익을 산정함
- 추정된 비용과 편익을 이용하여 비용편익분석을 적용하여 경제성 분석을 실시하며, 비용편익분석의 대표적 방법인 순현재가치(NPV:Net Present Value), 편익/비용비율(benefit/cost ratio), 내부수익률(IRR:Internal Rate of Return)의 3가지 방법 중 본 사업은 편익/비용비율을 활용하여 본 사업의 경제성 여부를 판단함
 - 편익/비용비율(benefit/cost ratio) : 현 시점으로 할인된 총 편익 대 총 비용의 비율로서, 장래에 발생될 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 값을 의미하며, 편익/비용비율이 1보다 크면 경제성이 있다고 판단하며, 여러 개의 사업이 있을 때에는 편익/비용 비율이 클수록 선호되는 사업임.
- 경제성 분석에 사용된 각종 추정치의 오차를 보완하기 위하여 할인율²⁾ 변화를 산출하여 그 변화가 미치는 영향에 대한 민감도 분석을 수행함

나. 기본가정

- 경제성 분석의 대상기간은 본 ‘지하수자원 활용 고도화 기술 개발사업’의 수행으로 개발된 기술로 인해 운영 가능한 기간을 의미하며, 본 조사에 있어서는 향후 지속적

1) 한국개발연구원의 지침에 따라 분석함. 한국개발연구원 공공투자관리센터, 수자원(댐) 부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 연구(개정판), 2001. 12. 아울러 지하수자원의 경제성 분석모델은 미국 EPA의 모델을 원용하여 적용함. EPA, "A Framework for measuring the Economic Benefits of Ground Water," EPA 230-B

2) 할인율(discount rate)은 미래 가치를 현재가치로 환산하기 위해 사용되는 비율을 의미함

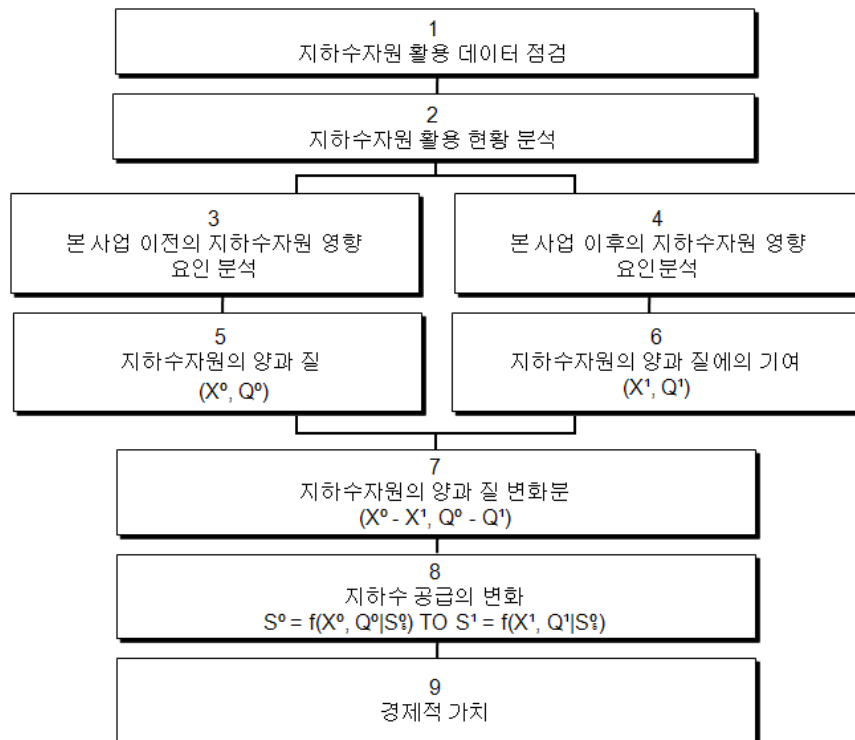
인 관련 분야 기술개발에 따라 본 사업이 미치는 범위를 개발에 필요한 기간 (2011년~2015년) 및 공사 완료 후인 50년(2016년~2065년) 동안으로 설정함

- 「수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(이하 표준지침)」³⁾ 및 여타 댐 건설사업의 타당성조사보고서 등에서는 완공 후 50년간 편익이 발생하는 것으로 가정하고 있어, 본 지하수자원 사업 역시 유사한 성격의 사업으로 댐 건설 사업과 동일한 기간을 적용함.
- 비용과 편익의 할인율은 5.0%와 7.5% 두 가지 단위로 산정하였으며, 이중 5.0%를 비용과 편익 산정의 기준 값으로 설정함
- KDI 표준지침에 따르면 일반적인 공공투자사업의 실질 할인율로써 7.5%를 제시하고 있으나, 현저하게 장기적으로 편익이 발생하는 수자원부문 사업의 경우보다 낮은 할인율을 적용할 것을 제안하여 본 연구에서는 이를 수용하여 할인율 5.0%를 적용

다. 분석의 절차

- 비용편익 분석의 틀 (미국 EPA 모델)
- 미국 EPA의 비용편익 모델을 원용해 보면, 지하수 관련 사업의 이전과 이후 지하수자원의 양과 질에 미치는 영향을 비교 추출하여 지하수자원 공급의 차이를 비용과 분석하고 있음.

3) 한국개발연구원, 「수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 연구」 제3판, 2003



주: EPA, The Economic Value of Groundwater, 2007

그림 5.1 지하수자원 개발 및 활용의 편익 분석의 틀 (미국 EPA)

2. 사업의 경제적 영향 요인 도출

가. 사업의 성격분석

○ 공공재와 경제재의 양면적 성격

- 공공재란 수요의 비경합성과 비배제성을 전제로 하고 있음. 먼저 비경합성이란, 소비자들 간 소비활동이 경쟁적으로 이루어지지 않는 것을 말함.
- 즉, 한 개인의 소비활동으로 인해 재화나 서비스가 줄어들어 다른 사람의 소비 가능량이 줄어드는 것이 아니라는 것임. 사과를 어느 일개인이 시장의 사과 모두를 구매할 경우 다른 사람들은 더 이상 소비할 수 없지만, 공원의 맑은 공기와 경관은 한 사람 뿐 아니라 다수가 각자의 소비량에 무관하게 다 같이 나뉘는대로의 만족을 얻을 수 있음.
- 또한, 정부 사업에 대한 혜택의 비배타성을 들 수 있다. 예를 들어, 국방이나 방범 서비스 등은 세금(가격)을 지불하지 않은 국민들도 동일한 혜택을 누릴 수 있다는 특징이 있음.

- 그러나 지하수자원 사업은 지하수 공급과 지하열 활용 등 사업성이 있는 사업도 포함되어 혼재되어 있는 상황임.

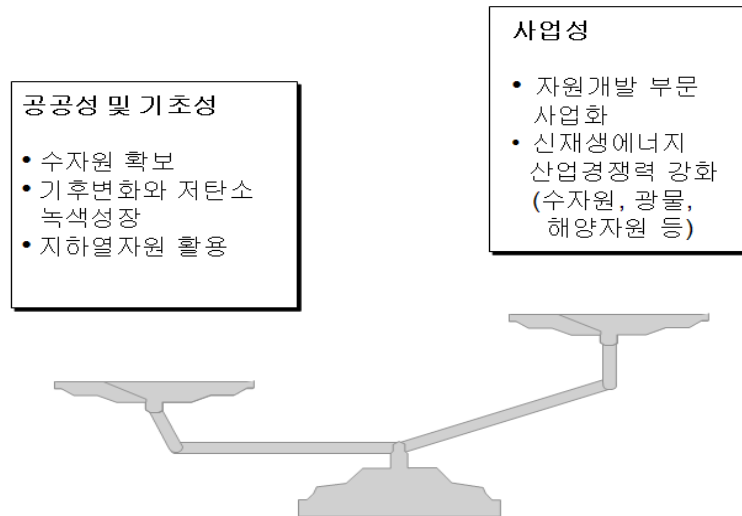


그림 5.2 지하수자원 사업의 양면성

나. 비용편익분석 방법론 및 절차

○ 비용분석

사업추진을 위한 비용항목을 도출하고, 그 논리적 타당성 및 측정가능성, 그리고 최종적으로 비용항목을 도출하고 분류하며, 기회비용과 외부적 비용을 포함하여 추정함.

○ 편익분석

사업에 따른 1차 편익항목을 도출하고, 그 논리적 타당성 및 측정가능성을 검토하며 최종 편익항목을 도출함. 직접편익 항목 뿐 아니라 간접 편익항목을 포함한 총 편익을 계상함. 본 사업에서는 직접편익이란 지하수자원의 공급 지열의 활용 등이며, 간접편익이란 수자원관리, 건설, 지역개발에 미치는 영향 등을 들 수 있음.

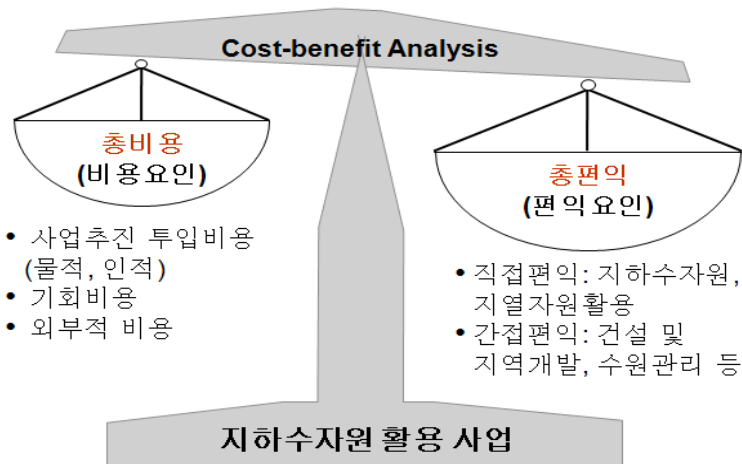


그림 5.3 지하수자원 활용사업의 총비용 및 총편익

○ 비용편익의 비교분석 및 민감도 분석

- 상기 비용과 편익을 할인율에 따른 현재가치로 비교분석하며 여러 방법 중 내부 수익률을 적용하여 계산함.
- 아울러 편익과 비용의 실제 오차를 가정하여 비용과 수익을 요인에 따라 $\pm 5\%$ ~ 10% 의 할인율 변동에 따른 민감도 분석을 수행함.

3. 사업의 편익분석

가. 편익의 기본개념

- 본 지하수자원 사업은 수자원의 공급을 확대하기 위한 것으로 계획된 공급량을 확보할 경우 그 편익은 이론적으로 다음과 같이 정의할 수 있음.
- 지하수자원 사업으로 수자원 공급량이 증가하고 가격이 하락하여 소비자 후생이 증대됨.
- 그림 5.4에서 보듯 수자원 공급곡선이 하향하여 수요곡선과의 균형점이 B점에서 A점으로 이동하면 가격이 P_0 에서 P_1 으로 하락함. 따라서 수자원 공급량은 Q_0 에서 Q_1 으로 증가하여 소비자 후생은 빗금 친 P_0P_1AB 의 사각형만큼 증가함.

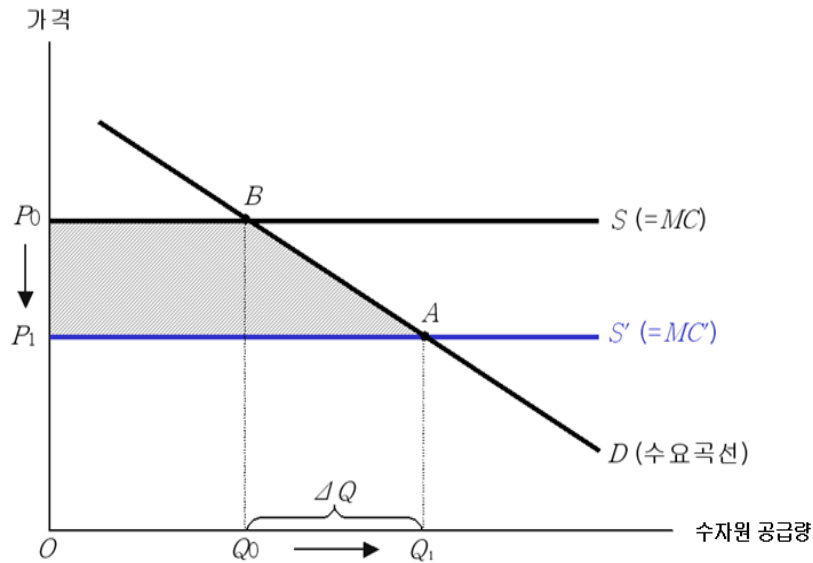


그림 5.4 지하수자원 사업의 소비자 후생증가

나. 편익 분석의 기본 틀

- 본 지하수자원 사업의 편익분석을 위한 기본 틀을 설정하기 위해 World Bank의 지하수자원 BC 분석의 기본 틀을 보면 표 5.3과 같음.
- World Bank는 지하수자원 사업의 편익을 크게 3가지로 나누어 첫째, 활용가치로 음용수 및 농공용수의 공급, 둘째 비활용 가치로 잠재활용 대비 미래를 위한 부존, 셋째 간접가치로 생태계, 즉 하천 및 호수에 공급하는 것으로 나누고 있음.

표 5.3 지하수자원의 가치 및 편익

구분	활용부문
활용가치 (Use Value)	음용수 및 농공용수 공급
비활용가치 (Non-Use Value)	잠재활용 대비 미래를 위한 부존
간접가치 (Indirect (Ecosystem) Value)	생태계에 공급, 하천 및 호수에 공급

* Source : The world Bank(2007), Sustainable Groundwater Management

- 본 지하수자원 사업의 편익분석을 위한 기본 틀을 설정하기 위해 World Bank의 지하수자원 BC 분석의 가치 및 편익의 세부항목을 보면 표 5.4와 같음.

표 5.4 지하수자원의 가치 및 편익

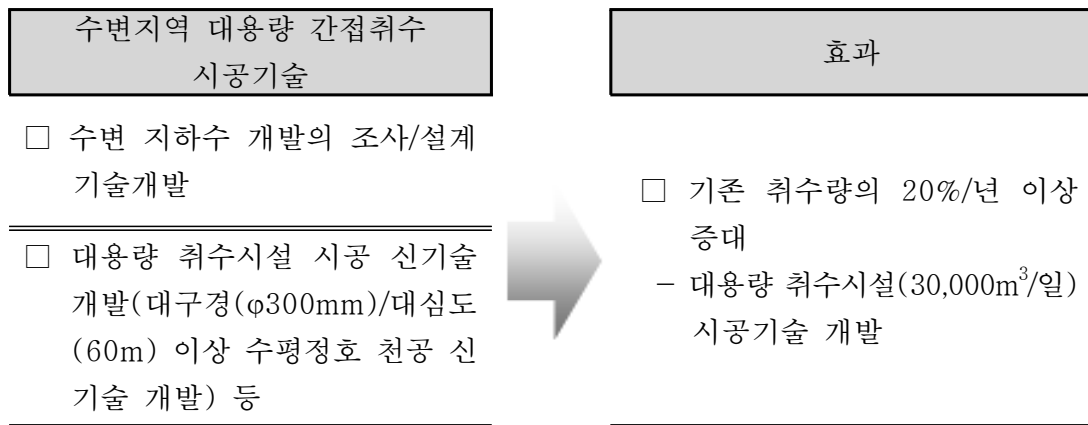
용도		효과
1	음용수 공급	음용수 공급량 변동에 따른 후생 변화
2	농업용수 공급	농작물 생산가치 및 생산비용의 변화
3	축산용수 공급	가축가격 및 축산(육류) 비용의 변화
4	공업용수 공급	공산품 가격 및 생산비용의 변화
5	지반침하 방지를 위한 지하수 공급	토지자산 유지비용의 변화 자반침하 방지 비용 등 산정
6	지표수 흡수를 통한 홍수 및 가뭄 통제	홍수 및 가뭄 피해액 및 방지비용
7	기타 경제활동에의 활용	지하수 수질변화에 의한 건강위험도 변화 지하수 수질변화에 의한 가축 건강위험도 변화 폐수 저장 효과의 경제적 가치 변화
8	레크리에이션 제공	레크리에이션 시설의 사회 경제적 가치 (건강기여도)
9	국가수자원 유지 및 유산 상속	개인효용의 변화

* Source : The world Bank(2007), Sustainable Groundwater Management

다. 편익항목의 도출 및 편익 추정

(1) 수변 지하수 간접 취수능력 20% 증대

- 양질의 지하수 활용을 위한 저비용/고효율의 대용량 취수시설(30,000 m³/일) 시공기술 개발로 수변지역 간접취수 시공 기술 개선을 통한 취수능력을 20% 이상 증대함.
- IT 기술을 접목한 특수정호의 시설물 평가 기술 개발 및 대용량 취수시설의 유지관리 모니터링 기술을 개발하여 저비용/ 고효율 취수능력을 구축함.
- 현재 창원시 하루 60,000 m³/일, 함안군 20,000 m³/일, 김해시 180,000 m³/일 규모의 강변여과 시설이 설치됨.



- 연간 지하수 이용량 38.07억 m³(2009년 기준) 중 기존의 강변여과 취수량은 260,000 m³/일이므로 이의 20%를 적용할 경우 52,000 m³/일의 추가적 지하수 용수공급 증가를 가져올 것으로 추정됨. 이는 연간 1,898만 m³의 용수공급을 증가시키게 됨.

표 5.5 용도별 지하수 이용현황 (2009년)

(단위 : 공, 백만m³/년)

구분		계	생활용수	공업용수	농·어업용수	기타
시설현황	개소	1,363,738	773,826	13,103	572,552	4,257
	비율(%)	100	56.7	1.0	42.0	0.3
이용현황	연이용량	3,807	1,786	179	1,816	26
	비율(%)	100	46.9	4.7	47.7	0.7

주) 출처 : 지하수관리기본계획, 국토해양부, 2009

- 이는 지하수 개발가능량 대비 35.08%로 현재의 비율에서 1%를 제고하는 수준이고 허용되는 수준임.

표 5.6 지하수 개발가능량 대비 이용량

시도	개발가능량 (억m ³ /년)	이용량 (억m ³ /년)	이용량/개발가능량 (%)
전 국	108.52	38.07	35.08

- 추가 취수되는 지하수 18,980,000 m³/년을 현재와 같이, 상기 용도별로 활용된다
고 가정할 경우 다음과 같이 편익을 추정할 수 있음.

표 5.7 간접취수 능력 20% 증가의 편익추정액 (단위 : 백만원, 백만m³/년)

구분		계	생활용수	공업용수	농·어업용수	기타
공급증가	연이용량 증가분	18.98	8.90	0.89	8.99	
	비율(%)	100.0	46.9	4.7	47.4	0.7
용도별 편익/년	가격		609.0	4.58	10.6	
	편익	5,520.6	5,421.1	4.1	95.4	

* 용수가격은 업종별 평균 가격을 적용하였으며 2010년 불변가격임.

* 농어업 용수가격은 10a 면적당 부과하고 지자체별 차이가 커 농업용수 공급원가에
농업용수량을 나누어 산출한 값을 적용함.

주) 김용택, 농업용수 이용료의 부과기준 설정과 공급원가 분석, 농촌경제, 1999

- 지하수 18,980,000 m³/년을 추가 취수하나 본 사업 기술개발에 따라 대구경 취수가
가능할 경우 시공비 절감을 가져오며 그 절감액은 표 5.8과 같이 추정됨.

표 5.8 대용량 강변여과 취수량 증가에 따른 시공비 절감 편익

	규모/집수정 당	1기 시공비 (백만원)	소요 집수정 갯수	총시공비 (백만원)
기존	16,000 m ³ /일	3,500	1,186	4,151,000
계획	30,000 m ³ /일	4,500	633	2,848,500
시공비 절감액	—	—	—	1,302,500

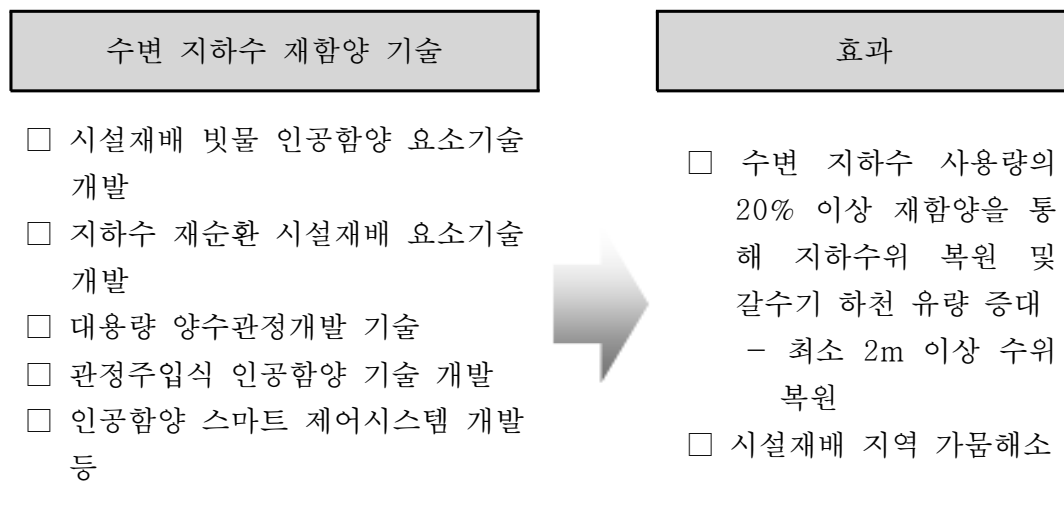
- 상기 지하수 취수능력 20% 증대에 따른 편익으로, 지하수 공급량의 증가와 시공비
절감을 들 수 있으며 이를 향후 50년간 편익을 현재 가치로 변환할 경우 표 5.9와
같음.

표 5.9 수변 지하수 간접 취수능력 20% 증대의 총 편익 추정 값 (단위 : 백만원)

지하수 공급증가	시공비 절감	현재가치화 (50년)
5,520.6 (연간)	1,302,500	1,403,283.7 (5% 할인율) 1,374,128.7 (7.5% 할인율)

(2) 수변 지하수 사용량의 20% 이상 재함양으로 지하수위 복원

- 수변지하수 사용량의 20% 이상 재함양을 통한 지하수위 복원 및 갈수기 하천 유량 증대
 - 중소하천 주변 비닐하우스 시설재배로 인한 지하수 이용량을 평가하고, 지질순환식 인공함양기술의 파일럿 시험규모 기술 개발을 통한 직접 인공 함양기술 일부를 적용함.
 - 90년대 이후 시설재배 면적이 꾸준히 증가했으며, 단위 시설재배 1개(면적 약 1000m²)당 최소 한 개의 지하수 관정이 분포하는데, 지하수위 저하로 신규 지하수 공의 심도가 깊어지고 있음이 조사됨. 비닐하우스 시설재배로 인한 지하수 이용량을 평가한 결과 총지하수 이용량의 14.6%인 5.4억m³에 이르는 것으로 파악되었음 (한국지질자원연구원).
 - 지열을 이용한 시설재배에서 수막재배 시스템의 장애를 해소하여 수변지역 수막재배 면적의 증가 및 가뭄 해소에 기여함.



- 수변 지하수 사용량의 20%를 재함양하여 향후 수막재배 등 농업용수로 활용할 경우 표 5.10과 같이 편익을 추정할 수 있음.
- 현재 수막재배 면적과 재배 일수를 기반으로 볼 때, 1 ha당 사용량은 실제 420 m³으로 조사되며 현재 -20%의 용수제약이 있는 것으로 평가됨(한국지질자원연구원 자료).

표 5.10 수막재배 지하수 이용량 및 경제성 평가 관련 기존연구

구분	김학주 외(2007)	고경석(1)	고경석(2)
1ha당 사용량(m ³ /day)	1,200	420	420
수막재배일수(day)	120	120	150
수막재배면적(ha)	10,746	10,746	10,746
수막재배용 지하수 사용량 (억m ³ /year)	15.47	5.42	6.77
농업용 지하수 이용량 점유율(%)	92	32	40
전체 지하수 이용량 대비 점유율(%)	41.6	14.6	18.2
경제적 손실 비용(원)			
-20% 용수 제약 (431원/톤)	4,687	1,642	2,048

* 고경석, 지구환경변화 대응 지하수 확보 통합 솔루션 개발, 지식경제부, 2010

* 김학주(2007)의 연구는 1ha당 사용량 산정에 있어 연간 최대 사용일수를 적용한 것이고, 고경석(2010)의 연구는 실제 수막재배 농가의 현장 사용일수를 실측한 것임.

- 지하수 사용량의 20%를 재함양하여 용수로 활용할 경우 현재 수막재배 등 농업용수 부족분인 -20% 용수 제약을 해결할 것으로 기대됨.
- 농업용수 제약의 비율변화에 따른 농업이윤의 변화를 박두호(2007)의 연구⁴⁾에서 볼 때, -20%의 제약과 0%의 제약을 비교할 때 총 농업이윤은 1,045,075백만 원 증가하는 것으로 분석됨.

4) 박두호, 물의 가치와 물 공급의 사회적 기여도, 한국수자원공사, 2007

표 5.11 불확실성을 반영한 농업용수의 가치

용수 제약의 변화	농업 이윤 (원)	농업용수의 가치 (원/m ³)
+50 %	26,206,522,306,898	117
+40 %	26,169,709,811,755	139
+30 %	26,085,319,137,964	162
+20 %	25,953,216,928,814	188
+10 %	25,791,682,937,263	243
0 %	25,497,810,549,058	
-10 %	25,130,646,853,313	303
-20 %	24,452,735,933,275	431
-30 %	23,752,586,692,403	480
-40 %	22,864,189,938,020	544
-50 %	21,499,102,209,334	660

* 박두호, 물의 가치와 물 공급의 사회적 기여도, 한국수자원공사, 2007

- 농업용 지하수 이용량 점유율이 32%를 적용할 경우, 재함양에 따른 농업이윤의 증대는 상기 총 농업이윤은 표 5.12와 같이 추정됨.

표 5.12 재함양 20%의 편익추정액

(단위 : 백만원)

농업용수 제약비율	지하수 이용량 점유율	총편익 (농업이윤 증대/연간)
-20%	32%	334,424

- 상기 지하수 취수능력 20% 증대에 따른 편익으로, 지하수 공급량의 증가와 시공비 절감을 들 수 있으며 이를 향후 50년간 편익을 현재가치로 변환할 경우 표 5.13과 같음.

표 5.13 수변 지하수 사용량의 20% 이상 재함양으로 지하수위 복원의 총편익 추정값

용수제약 해소로 농업이윤 증대	현재가치화 (50년)
334,424 백만원 / 연간	6,105,219.6 백만원 (5% 할인율) 4,339,088.4 백만원 (7.5% 할인율)

(3) 천부 지하수열 에너지 설비 효율 10% 이상 증대

- 2000-2008년까지의 통계자료를 보면 국내에서 지하수의 열에너지를 이용한 지열냉난방 시스템이 약 30%를 차지하고 있음(국가 에너지 사용량의 약 33%가 건물의 냉·난방과 급탕에 드는 비용임). 수 백 미터 깊이의 지중에 있는 매질의 열을 활용하는 폐쇄형 지열 시스템은 기존 시설의 약 70%를 차지하고 있으나, 시설물의 냉난방에 요구되는 에너지를 얻기 위해 수 십 개에서 수 백 개의 천공을 하는 경우가 발생하여 초기 설비비용이 높은 편임.
- 국내에서는 주로 밀폐형 지열원 냉난방 시스템에 대한 기술 개발이 진행되었으며, 대용량 개방형이나 대수층 등이 적용 가능한 수변지역 지하수 열원을 활용한 연구 개발을 수행함. 특히, 지하수 열원 활용이 용이한 수변지역의 대용량 지하수 적용 개방형 지열원 냉난방 시스템에 대한 종합적인 기술 개발을 추진함.
 - 수변 충적층 내 개방형 지열 시스템의 평가 및 설계 기술 표준화
 - 대용량 개방형 지열 냉난방 시스템 기술 개발
 - 충적 대수층 지하수열 저장 기술 개발

수변 지열원 냉난방 기술	효과
□ 수변 충적층 내 개방형 지열 시스템의 평가 및 설계 기술 개발 □ 대용량 개방형 지열 냉난방 시스템 최적화 기술 개발 □ 충적 대수층 지하수열 저장 기술 개발 등	□ 지열원 에너지 활용 시스템의 고효율화 - 설비 효율 최소 10% 이상 증대 (국가 에너지 사용량의 약 33%가 냉난방 및 급탕에 소요되나 이의 효율화에 기여) □ Kyoto 협약에 따른 탄소배출권 대체 가능 - CO₂ 배출량 절감 효과

- 대체에너지 개발 및 이용·보급 촉진법 제11조 2항 및 동법 시행령 제16조에 의거 2002년 2월부터 대체 에너지 이용 의무화가 시행되었고, 연면적 3,000m² 이상의 신축 공공기관의 5%를 대체에너지 설비 구축 의무화함. 동법에 따라 2011년까지 신재생에너지 점유율 5%를 정책목표로 추진함.
- Kyoto 의정서에 따라 우리나라는 2013년부터 온실가스 배출규제가 적용되나 CO₂ 배출에 의한 우리나라의 영향은 시나리오별로 다음과 같이 추정됨.

- CO₂ 배출에 대한 적응정책이 없이 최대배출을 하는 A2 시나리오에 의할 경우 우리나라 경제에의 부정적 영향은 2040년까지 현재가치로 3,794 백만달러(약 3조 5천억원), 2100년에 57,900백만달러(약 53조 3천억원)에 달할 것으로 계상됨.

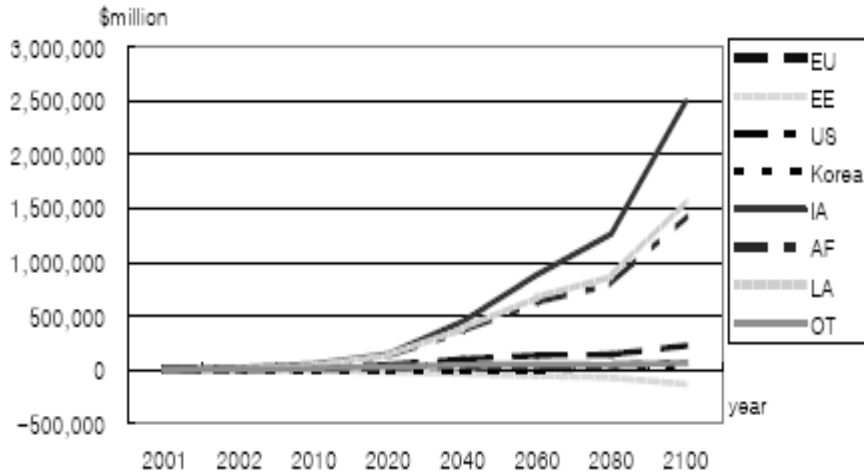


그림 5.5 A2 시나리오에 의할 경우 우리나라에의 경제적 영향

자료: Yeora Chae et al, Estimating Climate Change Damage Using PAGE Model, Korea Environment Institute, 2006.

- CO₂ 배출감소 편익 추정

우리나라 2011년 정책 목표인 신재생 에너지 비중이 전체 에너지의 5%를 대체할 경우 이 중 지열의 비중이 동일하다고 가정하면 지열 에너지가 차지하는 비중이 현재 0.9%에서 1.8%로 확대됨. 이에 따른 CO₂ 배출감소로 인한 피해액 감소는 표 5.14와 같이 추정됨.

표 5.14 지하수 지열 에너지의 편익추정액의 현재 가치

CO ₂ 배출 피해액 (2040년 까지)	신재생에너지 비중	지열에너지 비중	편익 (피해액 감소분)
4,116,490 백만원	5% 목표 (현재 2.5%)	1.8% 목표 (현재 0.9%)	37,048 백만원

- 현재 우리나라 신재생 에너지 공급량은 2009년 총 6,086천 TOE로 전체 에너지 공급의 2.5%, 이 중 지열은 22.1 TOE로 0.36%를 차지하는 것으로 나타남(지식경제부, 에너지 이용통계). 따라서 현재 지열이 국가 에너지 공급에서 차지하는 비중이 0.9%임.

○ 시설효율 10% 상승에 따른 에너지 절감 편익

- 지열 활용량이 22.1 TOE (256,977 kWh)로 이들 시설의 열효율이 상승함으로 시설비의 10% 절감으로 편익을 추정함.⁵⁾
- 지중열교환기 시스템의 전체 운용비용 중 가장 큰 비중(25-40%)을 차지하는 초기 설치비는 국내를 기준으로 폐쇄형 약 370,590 \$, 개방형은 582,570 \$로 나타나 개방형이 1.5배 정도 비싸지만, 용량은 폐쇄형이 306 kW, 개방형이 503 kW로 개방형이 더 높아서 단일 용량 당 비용은 개방형이 더 작게 나타나는 것으로 파악됨 (Lee, 2009). 또한 최근의 기술 발전과 함께 설치비용은 해마다 감소하여 용량 당 비용이 2003년 평균 4,700 \$에서 2006년 4,000 \$ 정도임(Lee, 2009).

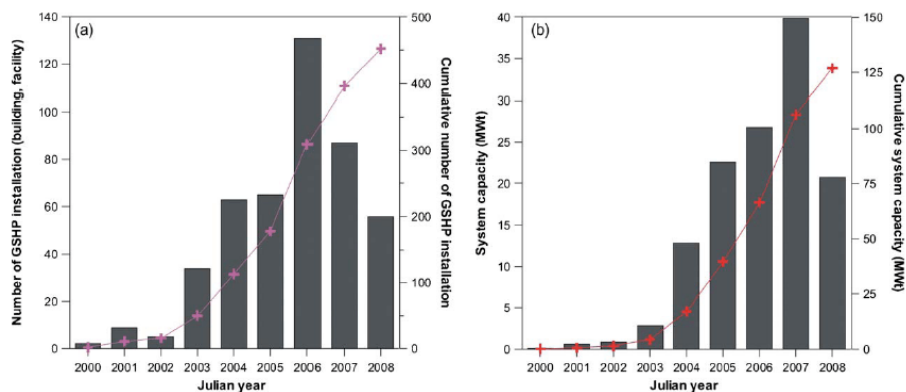


그림 5.6 국내 지중열교환기 시스템의 시설수와 총 시스템 용량

- 지중열교환기 시스템의 시설 수는 2003년을 기점으로 증가하여 2006년 130여 시설에 설치되었고 증가추세에 있음. 시스템 용량 역시 증가하여 2007년 40 MW를 기록함.
- 지중열교환기의 단위용량 당 설치비용은, 지식경제부 공식단가를 적용하여 폐쇄형은 RT(3.5kWh)당 437만원, 개방형은 402만원을 기준으로 계산함. 즉 폐쇄형과 개방형의 비율이 현재의 비율 70%:30%로 고정된 것으로 가정하여 현재 우리나라 지열 활용량이 22.1 TOE (256,977 kWh)이므로 우리나라 총 지중열교환기 설치비용은 폐쇄형과 개방형을 비율에 따라 계산할 때 폐쇄형은 총 224,598백만 원, 개방형은 총 88,547 백만 원으로 전체 설치비용은 313,145 백만 원임. 따라서 지열원 펌프시스템의 10% 효율 증대는 설치비용의 절감, 즉 31,315 백만 원의 편익을 가져오는 것으로 추정함.

5) 1TOE=1,000만 kcal = 11,628 kWh

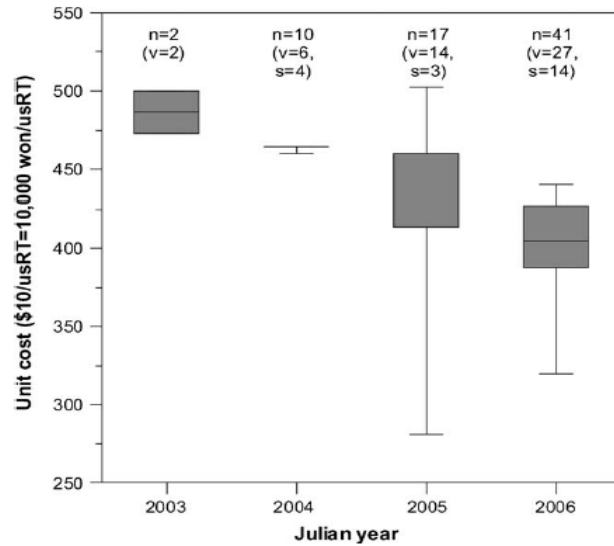


그림 5.7 2003-2006년 지중열교환기 시스템의 단위용량 당 설치비용 변화

○ 지열원 활용에 따른 국가 에너지 비용 절감 편익

- 우리나라 총에너지의 약 33%가 냉난방 및 급탕용 에너지 사용이며, 에너지원별 가격을 볼 때, 지열원을 활용할 경우 비용은 도시가스의 62.6%, 등유의 79.1%, 경유의 85.1%에 불과함.

표 5.15 에너지원별 에너지 사용 대비 지열원 펌프시스템 절감률

지열원펌프 COP=4 기준		도시가스	등 유	경 유
1000kcal 당 가격	20.46 원	54.67 원	97.59 원	137.54 원
기존난방시설 대비 에너지 비용 절감(%)		62.6%	79.1%	85.1%
단위단가		574.08원/m ³	812원/L	1176원/L
단위열량		10,500kcal/m ³	8320kcal/L (10,400kcal/kg)	8,550kcal/L (10,300kcal/kg)
열량단가		54.67원/Mcal	97.59원/Mcal	137.54원/Mcal

주: (주)넥스지오, 지하수 축열을 고려한 대수층 냉난방 시스템 개발, 지식경제부, 2010 참조.

- 우리나라 지하수열 활용량이 22.1 TOE(256,977 kWh)이므로 상대적으로 저렴한 지열원이 여타 도시가스, 등유, 경유를 대체한 것이므로 국가 에너지 비용의 절

감효과를 가져옴.

- 상기 지열 활용량 256,977 kWh는 전력요금으로 환산할 때(연평균 전력요금 74.8 원/kWh 적용) 총 전력요금은 19,221,879원/일이고, 연간 168,383 백만원으로 계산됨. 따라서 지열을 활용함에 따라 전력요금을 1/4 절감할 수 있으므로 연간 총 42,096 백만원 절감할 수 있음.⁶⁾

표 5.16 지하수열 활용에 따른 에너지 비용 절감액 (연간)

구분	지열 활용량	전력량 요금 (1,000kcal당)	지열요금 (1,000kcal당)	전력요금 절감액(원/년)
단가	22.1TOE	81.82원	20.46원	42,096 백만원

- 상기 매년 전력요금 절감액을 현재가치로 계산하면 5% 할인율의 경우 768,501 백만원, 7.5%의 할인율의 경우 546,188 백만원임.

표 5.17 지하수열 활용에 따른 총 편익 추정 값 (단위 : 백만원)

CO ₂ 배출 피해액 감소 (2040년 까지)	시설비용 절감	에너지 비용 절감(연간)	현재가치화 (50년)
37,048	31,315	42,096	836,864 (5% 할인율) 614,551 (7.5% 할인율)

라. 총 편익 추정값

- 사업의 총 편익은 할인율 5% 적용 시, 간접취수 능력 증대 1,403,283백만 원, 지하수위 복원 6,105,219백만 원, 지하수열 사업 836,864백만 원으로 구성되며, 총 8,345,366백만 원으로 추정됨.

6) 전력량 요금은 연평균 약 1000kcal 당 81.82원인데 반해, 지열원 펌프의 경우 COP=4일 때 1,000kcal 당 20.46원으로 훨씬 경제적이다. (주)넥스지오 보고서(2010) 참조.

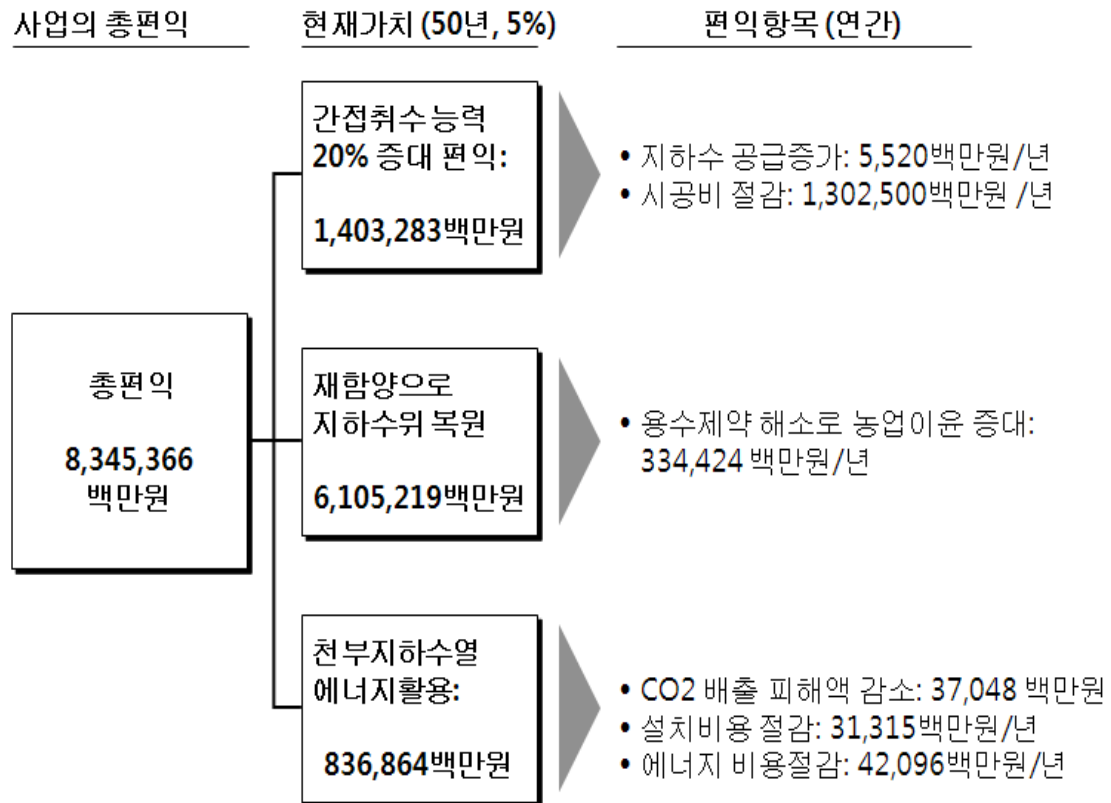


그림 5.8 총 편익 추정 값

- 할인율 7.5% 적용 시 사업의 총 편익은, 간접취수 능력 증대 1,374,128백만 원, 지하수위 복원 4,339,088백만 원, 지하수열 사업 614,551백만 원으로 구성되며, 총 6,327,767백만 원으로 추정됨.

마. 간접적 경제효과 -고용증대효과, 생산유발효과, 부가가치 증대효과

- R&D 투자의 경제사회적 파급효과 중 생산유발효과, 고용증대효과, 부가가치 유발효과 등은 한국은행의 2009년 산업연관표를 활용하여 분석함.
- 본 조사에서 활용한 산업연관표는 국내 산업에 미치는 영향만을 구분하기 위해 수입을 제외한 순수 국내 산업간 거래관계를 나타내는 국산 거래표를 활용함.

(1) 고용유발효과

- 고용유발효과 분석결과 2011~2015년 기간 동안 R&D 투자 약 36,310백만원의 투입으로 538,578천원의 고용 유발 효과가 있는 것으로 나타남.

표 5.18 고용유발효과 산출 값

(단위 : 천원)

산업분류	고용유발 계수	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
농림수산물	0.0283	26.89	290.64	275.64	231.49	202.91	1,027
광산물	0.0551	52.35	565.88	536.67	450.72	395.07	2,000
음식료품	0.0217	20.62	222.86	211.36	177.51	155.59	787
섬유 및 가죽제품	0.0413	39.24	424.15	402.26	337.83	296.12	1,499
목재 및 종이제품	0.1070	101.65	1,098.89	1,042.18	875.26	767.19	3,885
인쇄 및 복제	0.0226	21.47	232.10	220.12	184.87	162.04	820
석유 및 석탄제품	0.0091	8.65	93.46	88.63	74.44	65.25	330
화학제품	0.1967	186.87	2,020.11	1,915.86	1,609.01	1,410.34	7,142
비금속광물제품	0.3843	365.09	3,946.76	3,743.08	3,143.57	2,755.43	13,953
제1차금속제품	0.1742	165.49	1,789.03	1,696.71	1,424.96	1,249.01	6,325
금속제품	0.5866	557.27	6,024.38	5,713.48	4,798.39	4,205.92	21,299
일반기계	0.2204	209.38	2,263.51	2,146.70	1,802.87	1,580.27	8,002
전기 및 전자기기	0.1954	185.63	2,006.76	1,903.20	1,598.37	1,401.02	7,094
정밀기기	0.0228	21.66	234.16	222.07	186.50	163.48	827
수송장비	0.0229	21.76	235.18	223.05	187.32	164.19	831
기타 제조업제품	0.0557	52.92	572.04	542.52	455.63	399.37	2,022
전력, 가스 및 수도	0.0354	33.63	363.56	344.80	289.57	253.82	1,285
건설	10.426	9,904	107,075	101,549	85,284	74,754	378,568
도소매	0.6116	581.02	6,281.13	5,956.98	5,002.89	4,385.17	22,207
음식점 및 숙박	0.1452	137.94	1,491.20	1,414.25	1,187.74	1,041.08	5,272
운수	0.3164	300.58	3,249.43	3,081.74	2,588.15	2,268.59	11,488
통신 및 방송	0.0443	42.09	454.96	431.48	362.37	317.63	1,608
금융 및 보험	0.2418	229.71	2,483.29	2,355.13	1,977.92	1,733.71	8,779
부동산 사업서비스	0.6553	622.54	6,729.93	6,382.62	5,360.35	4,698.50	23,793
공공행정 및 국방	0.0056	5.32	57.51	54.54	45.81	40.15	203
교육 및 보건	0.0958	91.01	983.87	933.09	783.64	686.89	3,478
사회 및 기타서비스	0.1116	106.02	1,146.13	1,086.98	912.89	800.17	4,052
계	14.8328	14,091	152,332	144,471	121,332	106,351	538,578

자료: [2007년 한국은행 산업연관표]

(2) 생산유발효과

- 또한, 한국은행 생산유발계수로 생산유발효과를 분석한 결과 약 1,016,680천원의 생산유발효과가 있는 것으로 분석됨.

표 5.19 생산유발효과

(단위 : 천원)

산업분류	생산유발 계수	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
농림수산물	0.958895	910.95	9,847.86	9,339.64	7,843.77	6,875.28	34,817
광산품	0.885524	841.25	9,094.33	8,625.00	7,243.58	6,349.21	32,153
음식료품	1.088747	1,034.31	11,181.44	10,604.40	8,905.95	7,806.32	39,532
섬유 및 가죽제품	1.048279	995.87	10,765.83	10,210.24	8,574.92	7,516.16	38,063
목재 및 종이제품	1.021666	970.58	10,492.51	9,951.03	8,357.23	7,325.35	37,096
인쇄 및 복제	1.062850	1,009.71	10,915.47	10,352.16	8,694.11	7,620.63	38,592
석유 및 석탄제품	0.598603	568.67	6,147.66	5,830.40	4,896.58	4,291.99	21,735
화학제품	1.043004	990.85	10,711.65	10,158.86	8,531.77	7,478.34	37,871
비금속광물제품	0.985241	935.98	10,118.42	9,596.25	8,059.27	7,064.18	35,774
제1차금속제품	1.203694	1,143.51	12,361.94	11,723.98	9,846.22	8,630.49	43,706
금속제품	1.257014	1,194.16	12,909.54	12,243.32	10,282.38	9,012.79	45,642
일반기계	1.214229	1,153.52	12,470.13	11,826.59	9,932.39	8,706.02	44,088
전기 및 전자기기	0.983595	934.42	10,101.52	9,580.21	8,045.81	7,052.38	35,714
정밀기기	1.076317	1,022.50	11,053.78	10,483.33	8,804.27	7,717.19	39,081
수송장비	1.173572	1,114.89	12,052.58	11,430.59	9,599.82	8,414.51	42,612
기타제조업제품	1.146954	1,089.61	11,779.22	11,171.34	9,382.09	8,223.66	41,645
전력,가스및수도	0.758461	720.54	7,789.39	7,387.41	6,204.21	5,438.16	27,539
건설	1.089192	1,034.73	11,186.00	10,608.73	8,909.59	7,809.51	39,548
도소매	0.858219	815.31	8,813.91	8,359.05	7,020.23	6,153.43	31,161
음식점 및 숙박	1.056582	1,003.75	10,851.10	10,291.11	8,642.84	7,575.69	38,364
운수	0.815017	774.27	8,370.23	7,938.27	6,666.84	5,843.67	29,593
통신 및 방송	0.955131	907.37	9,809.19	9,302.97	7,812.97	6,848.29	34,680
금융 및 보험	0.887091	842.74	9,110.43	8,640.27	7,256.40	6,360.44	32,210
부동산 및 사업서비스	0.797315	757.45	8,188.43	7,765.85	6,522.04	5,716.75	28,950
공공행정 및 국방	0.798551	758.62	8,201.12	7,777.89	6,532.15	5,725.61	28,995
교육 및 보건	0.812694	772.06	8,346.37	7,915.64	6,647.84	5,827.02	29,508
사회 및 기타서비스	0.975986	927.19	10,023.38	9,506.11	7,983.57	6,997.82	35,438
기타	1.447575	1,375.20	14,866.59	14,099.38	11,841.16	10,379.11	52,561
계	28.00000	26,600	287,560	272,720	229,040	200,760	1,016,680

자료: 2009년 한국은행 산업연관표

(3) 부가가치 유발효과

- 또한, 부가가치 유발효과를 분석한 결과 698,161 천원의 부가가치 유발효과가 있는 것으로 분석됨.

표 5.20 부가가치 유발효과

(단위: 천 원)

산업분류	부가가치 유발계수	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
농림수산물	0.817281	776.42	8,393.48	7,960.32	6,685.36	5,859.91	29,675
광산물	0.816343	775.53	8,383.84	7,951.18	6,677.69	5,853.18	29,641
음식료품	0.702648	667.52	7,216.19	6,843.79	5,747.66	5,037.98	25,513
섬유 및 가죽제품	0.651105	618.55	6,686.85	6,341.77	5,326.04	4,668.43	23,641
목재 및 종이제품	0.598711	568.78	6,148.76	5,831.45	4,897.46	4,292.76	21,739
인쇄 및 복제	0.765752	727.46	7,864.27	7,458.42	6,263.85	5,490.44	27,804
석유 및 석탄제품	0.258501	245.58	2,654.80	2,517.80	2,114.54	1,853.45	9,386
화학제품	0.499478	474.50	5,129.64	4,864.92	4,085.73	3,581.26	18,136
비금속광물제품	0.630803	599.26	6,478.35	6,144.02	5,159.97	4,522.86	22,904
제1차 금속제품	0.460973	437.92	4,734.19	4,489.88	3,770.76	3,305.17	16,737
금속제품	0.637228	605.37	6,544.33	6,206.60	5,212.53	4,568.93	23,137
일반기계	0.651389	618.82	6,689.76	6,344.53	5,328.36	4,670.46	23,651
전기 및 전자기기	0.501214	476.15	5,147.47	4,881.83	4,099.93	3,593.71	18,199
정밀기기	0.623903	592.71	6,407.48	6,076.82	5,103.53	4,473.39	22,653
수송장비	0.602647	572.52	6,189.19	5,869.79	4,929.66	4,320.98	21,882
기타 제조업제품	0.663072	629.92	6,809.75	6,458.32	5,423.93	4,754.22	24,076
전력,가스및수도	0.451988	429.39	4,641.91	4,402.36	3,697.26	3,240.75	16,411
건설	0.749429	711.96	7,696.63	7,299.43	6,130.33	5,373.40	27,211
도소매	0.865268	822.00	8,886.30	8,427.71	7,077.89	6,203.97	31,417
음식점 및 숙박	0.778890	739.95	7,999.20	7,586.39	6,371.32	5,584.64	28,281
운수	0.576449	547.63	5,920.13	5,614.62	4,715.35	4,133.14	20,930
통신 및 방송	0.836371	794.55	8,589.53	8,146.25	6,841.51	5,996.78	30,368
금융 및 보험	0.912792	867.15	9,374.37	8,890.59	7,466.64	6,544.72	33,143
부동산 및 사업서비스	0.906938	861.59	9,314.25	8,833.58	7,418.75	6,502.75	32,930
공공행정 및 국방	0.870733	827.20	8,942.43	8,480.94	7,122.59	6,243.15	31,616
교육 및 보건	0.868311	824.89	8,917.55	8,457.34	7,102.78	6,225.79	31,528
사회 및 기타서비스	0.841863	799.77	8,645.93	8,199.74	6,886.44	6,036.16	30,568
기타	0.687711	653.33	7,062.79	6,698.30	5,625.47	4,930.89	24,970
계	19.227790	18,266.40	197,469.40	187,278.67	157,283.32	137,863.25	698,161

자료: 2009년 한국은행 산업연관표

4. 사업의 비용분석

가. 비용분석의 기본 틀

- 세계은행의 지하수 공급에 따른 비용은 사업부문과 사업자 부담부문에 있어 수자원 공급비용, 기회비용, 외부적 비용 등으로 구성됨. 본 연구에서는 사용자부담 부문은 공적자금의 부담으로 하되 총비용에 계산함.



그림 5.9 세계은행의 지하수 사업 비용분석의 틀

나. 연구비 소요예산

- 본 연구의 목표는 지하수 손실유량 재함양, 수변 지하수 취수증대, 그리고 대수층 지하수열 활용으로 크게 나눌 수 있으며, 다음의 4개 주요 분야로 나눌 수 있음.
 - 강변여과 시공 기술개발
 - 지하수 가뭄 및 홍수평가 시스템 개발
 - 수막재배 지역 지하수위 복원 기술 개발
 - 대수층 지하수열 활용 시스템 개발
- 본 연구의 소요예산은 2011년 ~ 2015년까지 정부지원금 29,000백만원, 민간부담금 6,000백만원으로 총 35,000백만원 임.
- 이에 대한 연차별 총 소요예산을 2011년을 기준으로 5.0% ~ 7.5%까지 할인율을 적용하여 R&D 비용을 분석함.

- 본 연구에서 기준으로 정한 5.0% 할인율인 경우의 연구비용은 약 29,839 백만원으로 산출되고, 7.5%의 경우 27,659 백만원이 됨.

표 5.21 연도별 세부과제별 연구비

(단위: 천원)

과제	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계
1세부과제	234,000	1,774,000	1,445,000	1,130,000	1,017,000	5,600,000
정부	170,000	1,470,000	1,204,000	933,000	923,000	4,700,000
민간	64,000	304,000	241,000	197,000	94,000	900,000
2세부과제	175,000	1,755,000	1,850,000	1,750,000	1,470,000	7,000,000
정부	170,000	1,650,000	1,700,000	1,600,000	1,380,000	6,500,000
민간	5,000	105,000	150,000	150,000	90,000	500,000
3세부과제	224,000	1,845,000	3,676,000	1,195,000	660,000	7,600,000
정부	130,000	1,393,000	2,951,000	860,000	466,000	5,800,000
민간	94,000	452,000	725,000	335,000	194,000	1,800,000
4세부과제	260,000	2,367,000	2,664,000	2,730,000	1,979,000	10,000,000
정부	230,000	1,900,000	2,150,000	2,100,000	1,620,000	8,000,000
민간	30,000	467,000	514,000	630,000	359,000	2,000,000
5세부과제	116,000	1,117,000	1,430,000	1,453,000	684,000	4,800,000
정부	100,000	950,000	1,110,000	1,240,000	600,000	4,000,000
민간	16,000	167,000	320,000	213,000	84,000	800,000
합계	1,009,000	8,858,000	11,065,000	8,258,000	5,810,000	35,000,000
정부	800,000	7,363,000	9,115,000	6,733,000	4,989,000	29,000,000
민간	209,000	1,495,000	1,950,000	1,525,000	821,000	6,000,000

표 5.22 할인율에 따른 R&D 비용

(단위 : 백만원)

총 연구비	할인율			
	2.5%	5.0%	7.5%	10.0%
35,000	32,273	29,839	27,659	25,699

다. 시공 및 운영비용

(1) 강변 대용량 취수시설 건설비용

- 기존의 시설과 본 사업의 기술개발로 설치되는 대구경 시설의 시공비 차이를 연간 추가 취수되는 지하수 18,980,000 m³/년을 기준으로 시설비 차이를 추정함.
- － 선진국의 경우 대용량 간접 취수시설에 설치된 수평정호의 제원이 일반적으로 구경 $\phi 300$ mm, 연장길이가 60~80 m 이나, 국내의 경우 대표적인 수평정호 설치 제원이 구경 $\phi 200$ mm, 연장길이 30 m 수준임. 선진국 수준의 대구경, 대심도 수평정호 설치 기술을 적용한 저비용 고효율 강변여과 시설을 설치할 경우의 건설비용을 추정함.
- 강변 대용량 취수시설로 창원시 대산정수장 사례
 - － 집수정 당 시공비: 3,500백만 원 (수평정, 펌프시설 포함)
 - － 총규모: 16,000 m³/일/집수정 당 (1단계), 5개 집수정
 - － 연간 운영비: 1,000 백만 원/년
 - － 창원시 신촌리, 대산면 1단계 확장공사(2000년~2005년)에 수직형 취수공 36개공, 방사형 집수정 1개공으로 일 60,000 m³ 공급
 - － 2단계 확장공사(2006~2010년)에 총 10,000 m³을 확장함.
 - － 3단계 확장공사(2011~2016년)는 대산면에 일 60,000 m³을 추가로 개발하여 총 개발량은 일 240,000 m³이 될 것임.

표 5.23 대용량 강변여과 취수량 증가에 따른 시공비

	규모/집수정당	1기 시공비 (백만원)	운영비(년간, 백만원)	소요 집수정 갯수	총시공비
기존	16,000 m ³ /일	3,500	1,000	1,186	4,151,000
계획	30,000 m ³ /일	4,500	1,000	633	2,848,500

(2) 수변 지하수 사용량의 20% 이상 재 함양으로 지하수위 복원

- 수막재배 지하수 이용량 5.42억 톤의 20%인 1,08억톤을 재 함양하기 위한 건설비용을 추정함.
- － 2000년대 중반 이후 비닐하우스 영농지역은 약 55,000ha의 면적에 달하고 있으며, 이들 중 하천변에 위치할 것으로 추정되는 30%(수막재배 지역)에 대하여 함양시설을 설치할 경우 다음과 같이 비용 규모를 추정할 수 있음.

- 10ha당 1개소 설치 시 : 총 549억원
- : $55,000\text{ha} \times 1/3 = 18,300\text{ha}$
- : $18,300\text{ha} / 10\text{ha} = 1,830\text{개소}$ 설치
- : $1,830\text{개소} \times 30\text{백만원} = 54,900\text{백만원}$

표 5.24 함양시설 설치에 따른 시공비

비닐하우스영농지역	수확재배 지역	시설지역	시공비/ 개소	총시공비
55,000ha	18,300ha	1,830개소	30백만원	54,900백만원

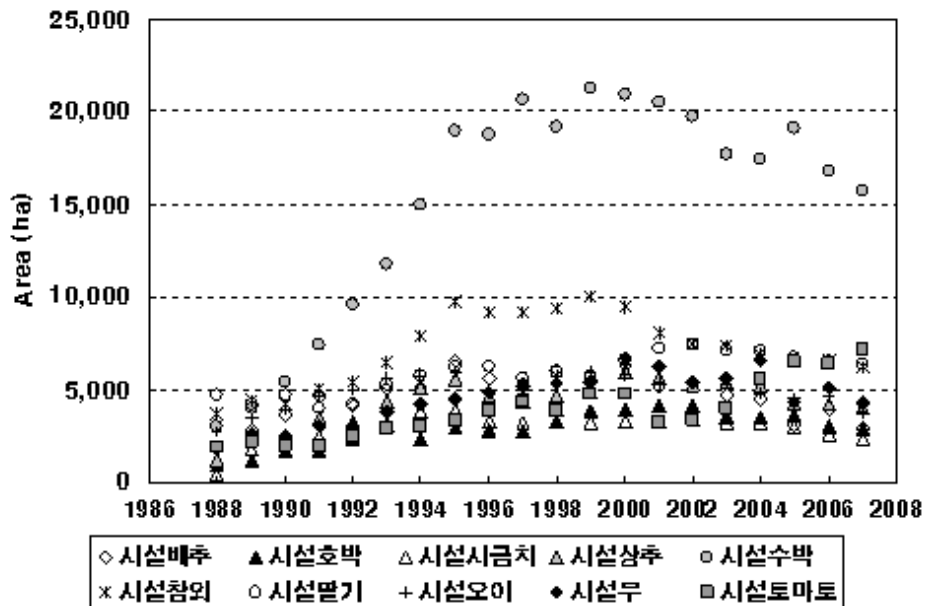


그림 5.10 시설재배 면적 연도별 추이

(3) 지하수 지열 에너지 사업의 시공 및 운영비용

- 지하수 지열 에너지 사업의 시공 및 운영비용은 전체 지열이용량 256,977KWh의 10%의 RT당 개방형 단가 402만원을 적용하여 총 비용을 29,500백만원으로 계상함.

라. 총비용의 추정 값

- 본 사업의 비용 구성은 현재가치로, 총연구비 29,839백만 원, 강변 취수 대용량 시설 시공비 및 운영비 2,866,756백만 원, 재함양 시공비 및 운영비 62,584백만 원, 지하수지열 시공 및 운영비 29,500백만원 등 총비용은 2,988,679백만 원으로 산정됨.

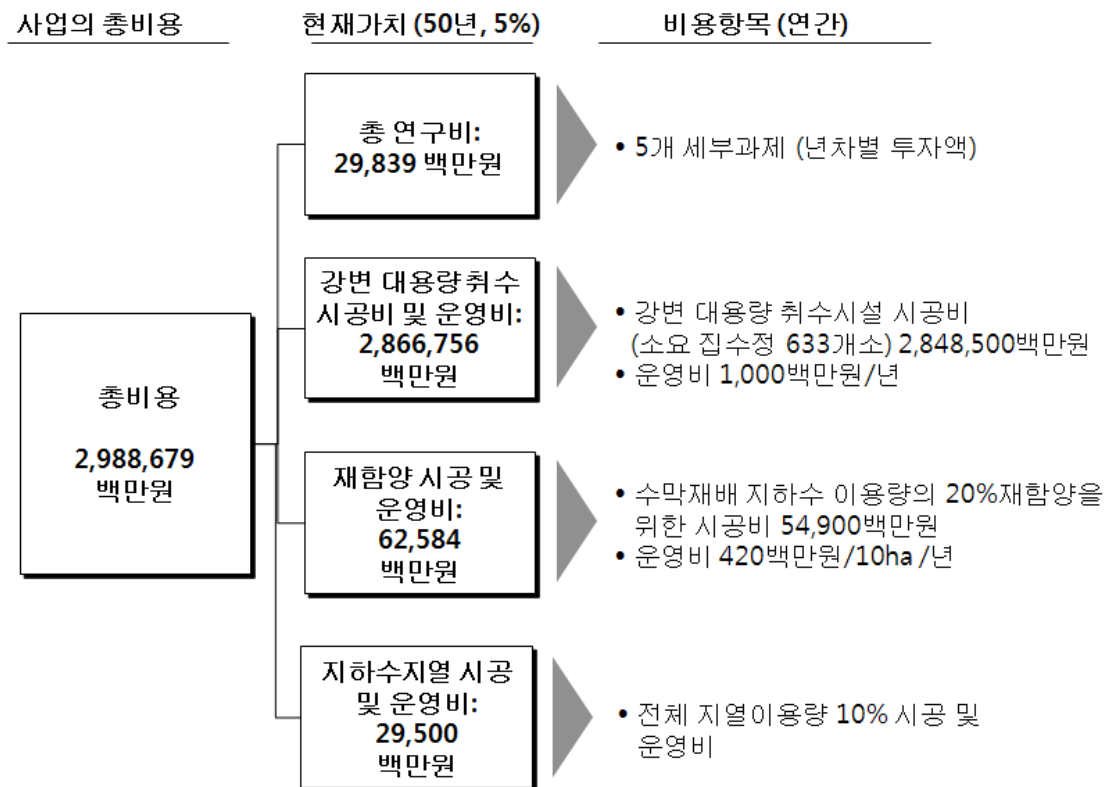
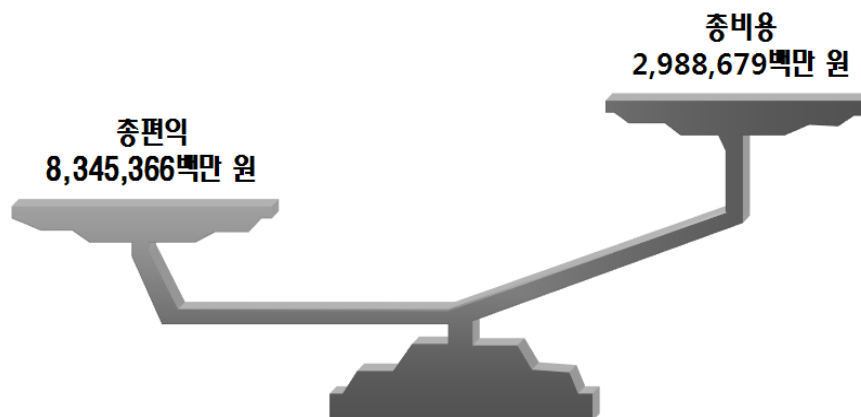


그림 5.11 총비용 추정 값

5. 편익 및 비용의 대비 (BC Ratio)

- 상기에서 도출된 비용분석 자료와 추정된 편익 값을 통해 비용-편익분석(B/C 비율)을 비교한 결과 다음과 같은 결과가 도출됨.



$$BC \text{ Raio} = \text{총편익} / \text{총비용} = 2.79 \text{ (할인율 5\% 적용 시)}$$

그림 5.12 총편익과 총비용의 비율 (5.0% 할인율 적용 시)

- 또한, 시나리오별 편익을 이용해 B/C 비율을 분석을 수행하였으며 본 경제성 분석에서 할인율(KDI 권고치)은 5%와 7.5%를 적용함.
- 본 사업의 총비용과 총편익을 산출하여 B/C Ratio 분석을 한 결과, 5% 할인율 적용 시 2.79, 7.5%의 할인율 적용 시 B/C 비율은 2.12로 추정됨.

표 5.25 할인율 별 B/C 비율

(단위 : 백만원)

시나리오	총비용	총편익	B/C
할인율 (5.0%)	2,988,679	8,345,366	2.79
할인율 (7.5%)	2,978,995	6,327,767	2.12

- 본 사업의 BC Ratio는 "4대강 사업"의 BC ratio 2.3, "차세대 용수공급 시스템 사업"의 비율 2.72 ~ 10.01과 비교할 때 수자원 관련 사업의 특성 상 적절한 범위의 값이라 평가됨.

제 5 장 인력투입 계획 및 소요예산 산정

제 1 절 연구일정에 따른 인력투입계획

과제명		1차	2차	3차	4차	5차	합계
	총괄: 현장부지 총괄 관리 및 가치 평가 기술	5	7	7	7	7	33
1	지하수 활용가치 극대화 및 기반 기술	10	25	23	23	21	102
1-1	지하수 홍수 취약성 평가 기술 개발	4	10	10	10	10	44
1-2	원격제어 지하수 계측 시스템 개발	2	5	4	4	3	18
1-3	SMART기법을 활용한 지하수 관리기술 개발	2	5	4	4	3	18
1-4	지하수 허가기준량 평가 기술	2	5	5	5	5	22
2	수변 총적층 지하수위 복원 기술	11	28	43	37	37	156
2-1	수변 지하수 환경 특성평가 및 지하수위 복원 요소기술 개발	4	12	18	15	15	64
2-2	수변 지하수위 복원 통합시스템 개발	3	6	9	8	8	34
2-3	인공함양 최적화 프로그램 개발 및 인공함양 영향 예측 기법 개발	2	5	8	7	7	29
2-4	지하수 계측기반 지하수-지표수 연계 해석 기술 및 인공함양 평가 기술	2	5	8	7	7	29
3	수변지하수 대용량 간접취수 기술 선진화	13	20	29	29	20	111
3-1	대용량 취수시설 시공 신공법 및 신기술 개발	6	10	15	15	7	53
3-2	수변 지하수개발 조사설계 신기술 개발 및 표준화	2	3	4	4	3	16
3-3	정밀 모델링을 활용한 설계 시공 최적화 평가기술	2	3	4	4	4	17
3-4	간접취수 현장 철망간 처리기술 개발 및 실증	3	4	6	6	6	25
4	수변지역 지질지하수 융합에너지 활용 기술	9	21	24	21	18	93
4-1	수변 지하수열 추출 최적화 및 지열영향 저감 사후관 리 기술	3	6	7	6	6	28
4-2	수변지역 대수층 지하수열 저장 활용 시스템 개발	2	5	6	5	4	22
4-3	수변지역 대수층 개방형 시스템 개발 및 운영	2	5	6	5	4	22
4-4	총적층 지열 부존량 분포 분석	2	5	5	5	4	21
합 계		48	101	126	117	103	495

제 2 절 소요예산 산정

1. 총괄과제

(단위 : 천원)

비 목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비(%)	비 고	
인건비	내/외부 인건비	42,570	119,196	119,196	119,196	148,995	549,153	58%		
직접비	연구장비 재료비	연구기자재 및 시설비	-	-	-	-	-	0%		
			시작품 제작비	-	-	-	-	-		0%
				재료비	8,082	6,603	6,603	6,603		16,434
	연구 활동비	여비	5,108	11,919	11,919	11,919	14,899	55,764		6%
			수용비 및 수수료	5,108	10,727	10,727	10,727	13,409		50,698
	기술정보활동비	6,385	15,495	15,495	15,495	19,369	72,239	8%		
		연구수당	6,385	17,879	17,879	17,879	22,349	82,371		9%
	간접비		7,362	18,181	18,181	18,181	23,545	85,450		9%
합 계		81,000	200,000	200,000	200,000	259,000	940,000	100%		

2. 1 세 부 과 제

(단위 : 천원)

비 목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비(%)	비 고
인건비	내/외부 인건비	85,140	425,700	391,644	391,644	446,985	1,741,113	44%	
직접비	연구장비 재료비	-	130,000	185,000	75,000	-	400,000	10%	
			40,000	-	80,000	150,000	270,000	7%	
			70,384	139,429	169,429	96,951	516,898	13%	
	연구 활동비	10,216	34,056	31,331	31,331	35,758	142,692	4%	
			25,542	23,498	23,498	26,819	109,573	3%	
			46,827	43,080	43,080	49,168	194,926	5%	
간접비	연구수당	12,771	63,855	58,746	58,746	67,047	261,165	7%	
	간접비	18,181	83,636	87,272	87,272	87,272	363,633	9%	
	합 계	200,000	920,000	960,000	960,000	960,000	4,000,000	100%	

3. 2세 부과제

(단위 : 천원)

비 목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비(%)	비 고
인건비	내/외부 인건비	93,654	476,784	732,204	630,036	787,545	2,720,223	43%	
직접비	연구장비 재료비	연구기자재및시설비	60,000	225,000	698,000	525,000	1,658,000	26%	
		시작품제작비	-	40,000	80,000	-	120,000	2%	
		재료비	58,834	58,749	120,780	124,479	576,964	9%	
	연구 활동비	여비	11,238	38,142	50,000	50,000	199,380	3%	
		수용비및수수료	11,238	28,607	43,932	37,802	168,831	3%	
		기술정보활동비	14,048	50,000	50,000	50,000	214,048	3%	
간접비	연구수당		14,048	71,517	109,830	94,505	408,031	6%	
			16,940	51,201	115,254	88,178	334,523	5%	
	합계		280,000	1,040,000	2,000,000	1,600,000	6,400,000	100%	

4. 3세 부과제

(단위 : 천원)

비 목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비(%)	비 고
인건비	내/외부 인건비	110,682	340,560	493,812	493,812	425,700	1,864,566	27%	
직접비	연구장비 재료비	-	53,000	93,000	53,000	53,000	252,000	4%	
			430,000	1,915,000	600,000	-	2,945,000	43%	
			22,037	214,076	114,531	75,101	443,756	6%	
	연구 활동비	11,068	27,244	39,504	39,504	34,056	151,376	2%	
		11,068	20,433	29,628	29,628	25,542	116,299	2%	
		14,388	37,461	50,000	50,000	46,827	198,676	3%	
	연구수당	16,602	51,084	74,071	74,071	67,047	282,875	4%	
	간접비	18,181	98,181	290,909	145,454	72,727	625,452	9%	
	합계	200,000	1,080,000	3,200,000	1,600,000	800,000	6,880,000	100%	

5. 4세 부과제

(단위 : 천원)

비 목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비(%)	비 고	
인건비	내/외부 인건비	90,816	420,024	476,784	420,024	454,080	1,861,728	29%		
직접비	연구장비 재료비	연구기자재및시설비	70,000	220,000	855,000	632,000	1,777,000	28%		
		시작품제작비	—	—	—	130,000	—	130,000	2%	
		재료비	8,328	64,697	661,769	468,151	92,628	1,295,573	20%	
	연구 활동비	여비	10,897	33,601	38,142	33,601	36,326	152,567	2%	
		수용비및수수료	10,897	25,201	28,607	25,201	27,244	117,150	2%	
		기술정보활동비	13,622	46,202	50,000	46,202	49,948	205,974	3%	
	연구수당	13,622	63,003	71,517	63,003	67,047	278,192	4%		
간접비		21,818	87,272	218,181	181,818	72,727	581,816	9%		
합계		240,000	960,000	2,400,000	2,000,000	800,000	6,400,000	100%		

6. 연구단 총괄 연구비

(단위 : 천원)

과제명	1차년		2차년		3차년		4차년		5차년		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
연구단 전체	771,000	230,000	3,200,000	1,000,000	6,620,000	2,140,000	4,820,000	1,540,000	3,289,000	1,010,000	18,700,000	5,920,000
총괄: 현장부지 총괄 관리 및 가치 평가 기술	81,000	-	200,000	-	200,000	-	200,000	-	259,000	-	940,000	
1. 지하수 활용가치 극대화 및 기반기술	150,000	50,000	690,000	230,000	720,000	240,000	720,000	240,000	720,000	240,000	3,000,000	1,000,000
1.1 지하수 활용 홍수취약성 평가 기술 개발	60,000	20,000	270,000	90,000	270,000	90,000	270,000	90,000	330,000	110,000	1,200,000	400,000
1.2 원격 제어 지하수 계측시스템 개발	30,000	10,000	180,000	60,000	150,000	50,000	120,000	40,000	120,000	40,000	600,000	200,000
1.3 SMART 기법을 활용한 지하수 관리 기술 개발	30,000	10,000	120,000	40,000	150,000	50,000	180,000	60,000	120,000	40,000	600,000	200,000
1.4 지하수 허가기준량 평가 기술	30,000	10,000	120,000	40,000	150,000	50,000	150,000	50,000	150,000	50,000	600,000	200,000
2. 수변 총적층 지하수위 복원 기술	210,000	70,000	780,000	260,000	1,500,000	500,000	1,200,000	400,000	1,110,000	370,000	4,800,000	1,600,000
2.1 수변지하수 환경 특성평가 및 지하수위 복원 요소기술 개발	90,000	30,000	390,000	130,000	810,000	270,000	600,000	200,000	510,000	170,000	2,400,000	800,000
2.2 수변 지하수위 복원 통합시스템 개발	60,000	20,000	150,000	50,000	390,000	130,000	300,000	100,000	300,000	100,000	1,200,000	400,000
2.3 인공함양 최적화 프로그램 개발 및 인공함양 영향 예측기법 개발	30,000	10,000	120,000	40,000	150,000	50,000	150,000	50,000	150,000	50,000	600,000	200,000
2.4 지하수 계측기반 지하수-지표수 연계 해석기술 및 인공함양 평가 기술	30,000	10,000	120,000	40,000	150,000	50,000	150,000	50,000	150,000	50,000	600,000	200,000
3. 수변지하수 대용량 간접취수 시공기술 선진화	150,000	50,000	810,000	270,000	2,400,000	800,000	1,200,000	400,000	600,000	200,000	5,160,000	1,720,000
3.1 대용량 취수시설 시공 신공법 및 신기술 개발	60,000	20,000	330,000	110,000	1,830,000	610,000	630,000	210,000	210,000	70,000	3,060,000	1,020,000
3.2 수변지하수 개발 조사설계 신기술 개발 및 표준화	30,000	10,000	150,000	50,000	150,000	50,000	150,000	50,000	120,000	40,000	600,000	200,000
3.3 정밀모델링을 활용한 설계 시공 최적화 평가 기술	30,000	10,000	150,000	50,000	150,000	50,000	150,000	50,000	120,000	40,000	600,000	200,000
3.4 간접취수 현장 철방간 처리기술 개발 및 실증	30,000	10,000	180,000	60,000	270,000	90,000	270,000	90,000	150,000	50,000	900,000	300,000
4. 수변지역 지질-지하수 융합에너지 활용 기술 개발	180,000	60,000	720,000	240,000	1,800,000	600,000	1,500,000	500,000	600,000	200,000	4,800,000	1,600,000
4.1 수변 지하수열 추출 최적화 및 지열 영향저감 사후관리 기술	90,000	30,000	210,000	70,000	600,000	200,000	420,000	140,000	180,000	60,000	1,500,000	500,000
4.2수변 총적층 지하수열 활용,저장 시스템 개발	30,000	10,000	180,000	60,000	450,000	150,000	390,000	130,000	150,000	50,000	1,200,000	400,000
4.3수변 총적층 지하수열 활용,저장 시스템 지상설비 최적화 기술개발	30,000	10,000	180,000	60,000	450,000	150,000	390,000	130,000	150,000	50,000	1,200,000	400,000
4.4 수변 총적층 지하수열 활용,저장 시스템 최적지 분석 기술	30,000	10,000	150,000	50,000	300,000	100,000	300,000	100,000	120,000	40,000	900,000	300,000