

(앞면)

(견고덱 25p)

(견고덱 20p)

<표지-뒷면>

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 건설기술혁신사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 건설기술 혁신사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

제 출 문

국토해양부 장관 귀하

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

2012. 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

보 고 서 요약서

과제고유번호	R&D/10기술 혁신C03	해당단계 연구기간	2010. 12.23 - 2011. 6.22	단계구분	1 / 1
연구사업명		건설기술혁신			
연구과제명	대과제명	첨단 수자원 관리 기술 기획			
	세부과제명	국가 지하수자원 활용 고도화 기술 기획			
연구책임자	윤운상	해당단계 참여 연구원수	총 : 19명 내부 : 19명 외부 : 명	해당단계 연구비	정부 : 200,000천원 기업 : 천원 계 : 200,000천원
		총연구기간 참여 연구원수	총 : 19명 내부 : 19명 외부 : 명	총연구비	정부 : 200,000천원 기업 : 천원 계 : 200,000천원
연구기관명 및 소속부서명	(주)넥스지오		참여기업명	K-water연구원, 서울대학교, (주)팬아시아워터	
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위탁연구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	
○ 연구단 비전 : 수변 지하수자원 활용 고도화를 통한 물 건전성 확보 - 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 - IT 기반 지하수 모니터링 시스템 구축 - 국가 지하수 활용관리 고도화를 위한 기반 기술 확보 ○ 비전과 목표를 달성하기 위한 연구과제 구성 - 지하수 활용가치 극대화 및 기반 기술 - 수변지역 지하수 시스템 복원 기술 - 수변지역 충전 지하수개발 고도화 기술 - 지질지하수 융합에너지 활용 기술 - 하구언 지하수자원 확보 기술					
색인어 (각 5개 이상)	한글	지하수자원 활용 고도화기술, 수변지역 지하수이용, 테스트베드 구축 현장 적용성 평가, 세부 기획, 타당성 조사			
	영어	Advanced technology for groundwater utilization, Groundwater use of riverline area, Assessment of field application by test bed construction, Detailed plan, Feasibility study			

목 차

1장. 연구과제 개요	5
1절. 연구의 개요	5
1. 연구 추진배경	5
2. 연구 필요성	12
2장. 기술개발 전략 수립	2
1절. 기획 필요성	2
1. 기획 배경	23
2. 기획 목적 및 추진방향	4
2절. 국내외 동향 및 환경분석	2
1. 국내외 정책동향 및 분석	2
2. 국내외 경제동향 및 분석	5
3. 국내외 기술개발 동향조사 및 분석	66
4. 기술개발을 위한 인프라 및 기반 역량 분석	4
3절. 기술수요 및 예측	142
1. 기술수요조사 및 결과	142
2. 기술예측조사 및 결과	146
4절. 기술개발 방향 설정	154
1. 분석결과 종합	154
2. 중점추진분야 설정	167
3. 중점추진분야별 기술발전단계	10
5절. 비전 및 목표 수립	171
1. 비전 및 목표	171
2. 기술개발에 따른 미래상	172
6절. 후보과제 도출 및 정의	173
3장. 연구개발과제 추진체계	175
1절. 기획대상과제 선정결과	175
2절. 기획대상과제 조정결과	176
3절. 연구개발과제 추진체계	177

4장. 연구개발과제 주요내용 및 기대효과	17
1절. 연구개발과제 주요내용	17
2절. 연구개발과제 성과활용방안	18
3절. 기대효과	191

5장. 연구개발과제 소요예산	18
-----------------------	----

[첨부] 후보과제 우선순위 도출결과 및 과제카드	19
----------------------------------	----

- (별권1) 수변지역 지하수 활용 고도화 연구단 기획 보고서
- (별권2) 도서지역 지하수 활용 최적 용수원 확보를 위한 평가 시스템
구축 기획 보고서
- (별권3) 도시지역 지하수 함양 및 순환 평가 기술 기획 보고서
- (별권4) 유출지하수 및 지반변형 평가 기술 기획 보고서

제 1 장 연구과제 개요

제 1 절 연구의 개요

1. 연구 추진배경



그림 1.1 국가 지하수자원 활용 고도화 기술 기획 배경

가. 수자원 이용에 관한 국제적 정세 변화

- 20세기 고속성장의 원동력이었던 산업화는 21세기에 기후변화를 불러와 수자원의 양/질 변화를 가져왔고, 물 부족 문제와 도시화에 따른 건천화 문제는 심각한 사회 문제로 대두되고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 극복하고 안정된 수질과 풍부한 수자원을 확보하기 위해 전 세계 국가들이 연구와 개발에 힘쓰고 있으며, 결국 풍부한 수자원 확보는 국가 경쟁력을 의미하는 지표로 통용되고 있다.
- 21세기 주요 선진국들은 자국의 이익을 추구하는 무분별한 산업경제의 활성화를 지양하고, 「기후변화」와 「저탄소 녹색성장」이라는 패러다임 아래 경제와 환경이 조화를 이루는 성장을 위해 노력을 기울이고 있다. 이러한 국제적, 사회적 정세변

화에 능동적으로 대처하기 위해 수자원 분야에서도 기존에 댐, 저수지 건설정책을 탈피하고 기후변화 대응, 하천환경 친수공간의 정비, 유역단위 통합 물 관리, 청정 수자원의 지속적/안정적 공급체계 구축의 정책방향을 내세워 효율적인 수자원 확보와 공급대책을 추진하고 있다.

- 기후변화 및 지하수 이용량 증가에 따라 지하수 관리·보전을 통한 지하수 자원의 확보에는 이미 한계에 도달하고 있는 상황이다. 따라서 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.
- 21세기 청정수자원 개발과 공급의 관점에서 지하수는 그 활용 가치가 매우 뛰어나며, 특히 수변지역에서 간접취수를 활용한 지하수 개발은 지속적이고 안정적인 취수원으로 높이 평가 받고 있다. 이와 함께 지질지하수 융합기술을 접목한 수변지역 지하수의 지열에너지 활용은 그 가치를 한층 더 높이고 있는 실정이다. 따라서 수변지역에서 간접취수와 지열에너지를 접목한 융합기술의 효율적 적용을 위한 지하수 활용 고도화기술 개발이 절실히 요구되고 있다.

나. 기후변화로 인한 지하수자원의 환경 변화

- 기후변화는 수십 년 혹은 그 이상의 평균적인 기후의 변동을 의미하는데, 산업혁명 이후 인위적인 온실가스의 증가는 지구의 온난화를 가속화시켜 평균기후에 변화를 일으켰다. IPCC(국제기후변화위원회)에서는 1750년 이후 지속적으로 지구온난화가 진행되고 있다는 결론을 내린 바 있으며, 특히 1900년대 중반을 넘어서면서 북반구의 대기 온도 상승이 두드러지고 있다고 밝혔다.
- 세계 주요 선진국들은 기후변화 대응을 최우선 의제로 선정하고 대응 전략 마련을 위해 리우 세계환경정상회의 이후 1997년 ‘교토의정서’를 채택하였고, 유엔안보리에서의 기후변화 논의 및 ‘발리로드맵’을 채택하였다. 영국, 캐나다, 호주 등 세계 주요국은 국가차원의 기후변화 적응정책을 수립 추진 중에 있다. 국내의 경우 기후변화 속도에 비해 대응정책 수립 및 집행이 미흡하였다. 그러나 2008년 ‘기후변화종합기본계획’ 및 ‘국가 기후변화 적응 종합계획수립’을 통해 국가차원의 적응정책을 수립하기 시작했다. 국내에서 나타나는 기후 변화의 특징은 무강우 일수의 증가에 따른 가뭄의 발생과 국지성 집중호우에 의한 유출의 증가 등이 있으며, 이에 따라 갈수기에 수자원을 확보하기 위한 지하수 개발이 증가하고 있다.

- 2000년대 평균기온은 1970년대에 비해 겨울(1.4°C), 봄(0.8°C), 가을(0.7°C), 여름(0.2°C)의 순서로 상승하여 증발산이 증가하였으며, 가을철 강수량(258mm)은 1980년대 대비 12%, 1990년대 대비 1%가 감소하였고 겨울철 강수량(90mm)은 1980년대 대비 8%, 1990년대 대비 2%가 감소하였다. 가을철 및 겨울철의 강수량 감소는 봄 가뭄을 초래하고 있으며 이는 곧 기후변화로 인한 가뭄 강도와 빈도의 증가는 용수공급량 부족 및 하천 유지유량 감소를 초래하고 있다. 이는 곧 지하수 등 가뭄에 대응할 수 있는 대체수자원의 확보를 요구하고 있으며 갈수기의 하천 유지유량 확보의 필요성이 대두되고 있다.
- 지난 100년간(1908년~2007년) 가뭄 16회, 2회 연속 대가뭄 7회가 발생하였으며, 주기적인 가뭄은 지역적 물 부족을 심화시키고 있다.
 - 1995년 가뭄 시 제한 급수(49개 시군, 36만 명), 가뭄대책사업비지원(0.5조원)
 - 2001년 가뭄 시 제한급수(86개 시군, 30만 명), 농업용수 부족(50개 시군)
 - 2008년 가뭄 시 제한급수(33개 시군, 3만 세대), 운반급수(22개 시군, 2,818세대)
- 최근 기후변화 등으로 가뭄·홍수 등의 자연재해 발생으로부터 인명과 재산을 보호하고 효율적으로 수자원을 관리하기 위한 ‘4대강살리기 사업’이 「한국형 10대 뉴딜정책」으로 선정되어 국토해양부 주관으로 추진되고 있으며 향후 4대강의 수량 및 수질의 변화가 예상되고, 이로 인한 수변지역 지하수 환경에 큰 변화가 예상된다.

다. 간접취수원 개발사업의 확대

- 최근 들어 청정 대체수자원으로 각광을 받고 있는 간접취수원 개발은 광역상수도화 사업의 새로운 취수원으로 개발되고 있으며, 지자체에서는 지방상수도화의 추진을 가속화 시키고 있다. 따라서 수변지역에서 개발되는 대규모 취수용량의 간접취수는 수변지역 지하수 환경에 변화를 가져 올 것으로 예상된다.
 - 2003년 전국적인 용수 수요량 $337.4\text{억m}^3/\text{년}$ 에서 2011년 $355.0\text{억m}^3/\text{년}$ (기준 수요 시나리오)으로 $17.6\text{억m}^3/\text{년}$ 증가
 - 1990년 이후 가뭄기간에 제한급수를 겪는 지역 62개 시군에 이름
 - 전국 물 부족량 : 2011년 7.97억m^3 , 2016년 9.75억m^3 으로 추정
- 낙동강 폐놀 오염사고와 현재까지 지속적으로 발생하는 각종 오염사고에 지표수는 무방비로 노출되어 있는 실정이다. 지표수의 오염에 대한 취약성은 관리지역이 매

우 넓은 반면, 취약한 한 장소에 오염사고가 발생되면 전 지류에 영향을 미친다는 점이다. 홍수 시 오염물 무단 방류 및 탁수 발생 등은 생활용수로서 낙동강 지표수를 취수하는 것에 대한 국민적 불안감이 크게 자리 잡고 있는 상황이며, 이에 따라 간접취수와 인공함양 방식의 적용에 관심이 고조되고 있다.

- 현재 생활용수 확보를 위해 운영 중인 취수, 정수시설은 막대한 시설 및 운영관리비가 소요되고 있으며, 선진국 수준의 수질기준 강화에 따라 정수처리 비용은 점차 상승할 것으로 예상된다. 이를 효과적이고 경제적으로 해결하기 위한 노력으로 간접취수 방안이 도입되었으며, 자연대수층의 수질정화 능력을 통해 년 중 양질의 원수를 확보할 수 있고, 정수처리 비용을 대폭 절감시킬 수 있다는 강점에 그 활용성이 기대되고 있다.
- 이와 관련하여, 현재 낙동강을 중심으로 함안 칠서, 창원 북면, 창원 대산, 김해 생림, 의령 여의 등의 지역에서는 간접취수 방식을 활용한 상수원 취수시설을 가동 또는 개발 중에 있다. 그러나 수변지역에서 대용량 간접취수원의 개발은 국내 기술 및 경험 부족으로 몇몇 사업에서 큰 문제점과 시행착오를 겪고 있는 실정이다. 따라서 대용량 간접취수시설에 대한 국내 독창적 기술 개발이 필요하다.



(a) 창원시 강변여과수 개발사업 2단계 공사 (b) 김해시 강변여과수 개발사업 공사

그림 1.2 낙동강 수변지역 강변여과수 개발 현장

라. 지하수 고갈에 따른 복원 및 관리기술 개발의 강화

- 지하수는 지표수에 비해 양호한 수질을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 개발에 따른 투자비가 지표수에 비해 경제적이다. 또한 지하수는 대장균 등 세균의 오염이 적고, 다량의 미네랄 등을 함유하고 있을 뿐만 아니라 년 중 일정한 수온 및 수량을

확보할 수 있어서 정수장 건설 및 정수처리 비용이 매우 경제적이다. 이러한 장점을 가지고 있는 지하수는 생활과 산업 전반에 걸쳐 활용할 수 있는 수자원으로 효율적이고 체계적인 개발이 필요하다.

- 우리나라의 경우 2007년 현재 130만여 개소의 지하수 취수시설이 개발되어 사용 중에 있으며, 대부분이 민간 개발에 의해 이루어지고 있다. ‘2009년 지하수조사연보’에 따르면 1,345천여개소의 우물로부터 연간 약 37.84억 톤의 지하수를 채수하는 것으로 나타나고 있다. 우리나라 국토면적으로 나누었을 때, 1km²에 약 13개의 우물이 굴착되어 있으며, 산악지역을 제외한다면 20~30개 정도의 우물이 매우 조밀하게 개발되어 있다는 사실을 알 수 있다.



그림 1.3 지하수자원 개발 이용 현황

- 최근 들어 1990년대에 비해 심부 지하수 관정의 개발이 활발해 지고 있는 실정이다. 이는 전반적인 지하수위 강하가 진행되면서 보다 깊은 지점에서 양질의 지하수를 채수하고자 하는 욕구가 반영된 현상이라 할 수 있다. 심도가 깊은 우물의 개수는 적으나, 공당 취수량은 상대적으로 매우 큰 편이므로 현재 얕은 심도의 우물에만 치우쳐 있는 정책 및 제도 등에 대한 고찰과 관리 강화 방안이 필요한 시점이다.

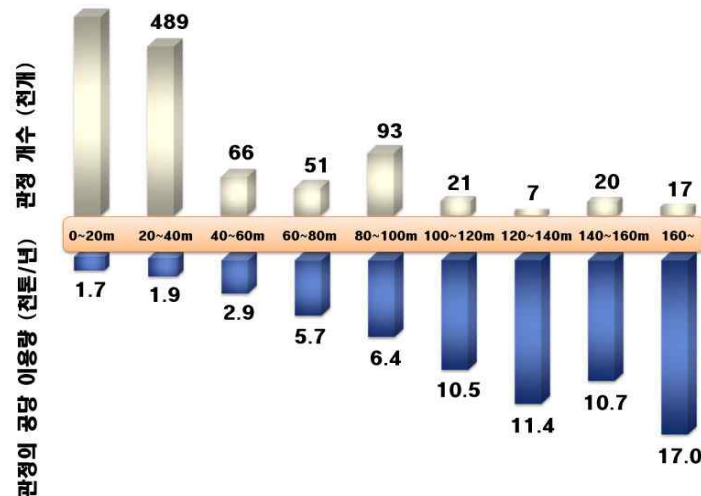


그림 1.4 관정의 굴착 심도별 이용 현황(2009년)

- 지하수 관정은 지하수자원의 용수 사용 목적에 의해 개발된 것이기 때문에 지속적인 취수의 결과로 시간이 지남에 따라 관정 효율이 떨어진다. 이렇게 효율이 떨어진 관정은 대부분 방치되고, 신규 관정을 재 굴착하는 사례가 많다. 이때 자연적으로 오염물질이 방치공 내부로 유입되어 대수층을 통해 확산되고 인근 타 지역까지 오염시키는 결과를 초래할 뿐만 아니라, 한번 오염된 대수층은 원상 복구가 어렵다. 2001년 이후 국토해양부와 한국수자원공사에서는 ‘폐공 찾기 운동’을 통해 전국에 산재해 있는 방치공을 찾아 폐공시키기 위한 노력이 진행 중이며, 2006년까지 총14,453개의 방치공을 찾아 폐공처리 하였다.

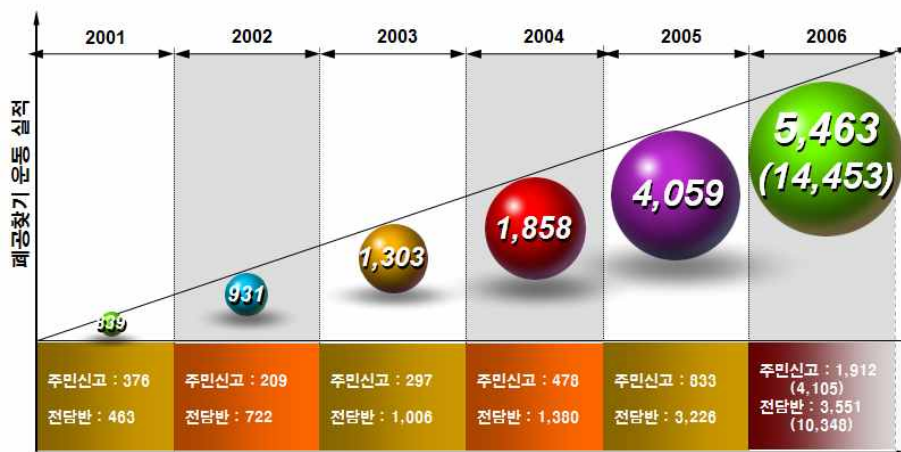


그림 1.5 폐공 찾기 운동실적

- 국토해양부가 전국에 주요 327개 지점에 설치한 국가지하수관측망의 지하수 수위 및 수질 변동 실태를 분석해 발간한 ‘지하수 관측 연보’에 따르면 전국의 지하수는 평균 지표 하 6.19m에 존재하는 것으로 조사되었다. 또한 2010년 현재에는 작

년에 비해 평균 10cm가량 하강하였으며, 특히 대하천 수변지역 평균 지하수위는 낙동강 7.0m, 한강 8.6m, 금강 7.2m로 나타나 손실하천의 특징을 뚜렷이 보여주고 있다. 손실하천이 장기화 될 경우 하천 건천화가 진행되기 때문에 이에 대한 시급한 대책이 요구되고 있는 실정이다.

- 전국적인 지하수위 강하 문제는 도심지역에서 더욱 더 심각하게 나타나고 있다. 도시지역의 경우 상수도 공급으로 인해 지하수 사용량 빈도가 낮기 때문에 지하수위 강하에 의문을 제기할 수 있지만 대형건물 및 지하터널 등 지하공간을 유지관리하기 위한 지하수의 과잉양수로 도심지역 지하수위의 하강이 점차 증가하고 있는 추세이다. 특히 목포 구도심과 신도시, 북항 주변 등과 지하철이 운행되거나 건설 중인 서울의 양재, 강남, 논현, 마곡 등지에서도 지하수위 하강에 따른 지반침하가 나타나 대책마련이 시급한 실정이다.

마. 지질지하수 융합기술을 활용한 지열에너지 활용성의 증대

- 최근 정부는 국가의 저탄소 녹색성장을 위한 정책목표, 추진전략, 중점추진과제 등을 포함하는 국가전략을 수립하고 신재생에너지의 기술개발 및 보급 확대를 통한 국가에너지 체제의 개편을 모색 중이다. 또한 새로운 에너지 기술 시장을 선점하여 산업 경쟁력을 강화하려는 다각적인 노력을 추진 중에 있다.
- 우리나라의 경우 지역난방으로 활용 가능한 심부 지열 수자원이 부존하는 지역은 다수 나타나고 있으며, 냉난방에 활용할 수 있는 천부 지열에너지 자원은 매우 풍부한 상황이다. 현재 신재생에너지 개발 기본계획에서 2011년 총 보급목표 5% 중, 지열에너지가 차지하는 비중은 6.5%에 불과하다. 그러나 지하 열자원 활용 기술에 관해 현재까지는 그 성장잠재력을 간과하고 있고, 신재생에너지로서 지하 열자원의 활용 가치는 매우 높은 것으로 평가되고 있다. 최근 국내에서도 지중 열교환기를 이용한 냉난방 시스템의 보급이 급증하면서 지중열을 이용하는 지중 열교환기에 대한 기술 수요가 증대되고 있는 실정이다. 지열에너지 자원 활용 기술은 순수 국내 자원을 활용하는 기술로써 시설 구축을 위한 초기 투자비를 제외하면 유지비용이 저렴해 반영구적으로 사용이 가능하기 때문에 미래의 신재생에너지로서 활용 가치가 높다.

2. 연구 필요성

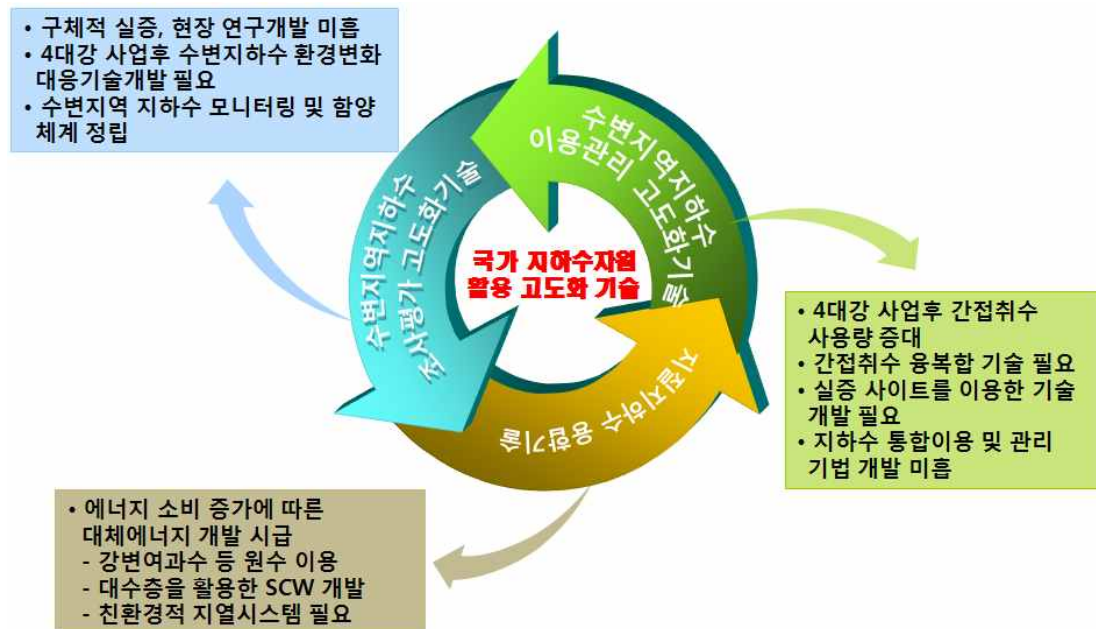


그림 1.6 국가 지하수활용 고도화 기술 기획 연구의 필요성

가. 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 연구 자료에 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 금강 수계 지하수 변동 예측에 대한 한국지질자원연구원의 연구 결과에 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.

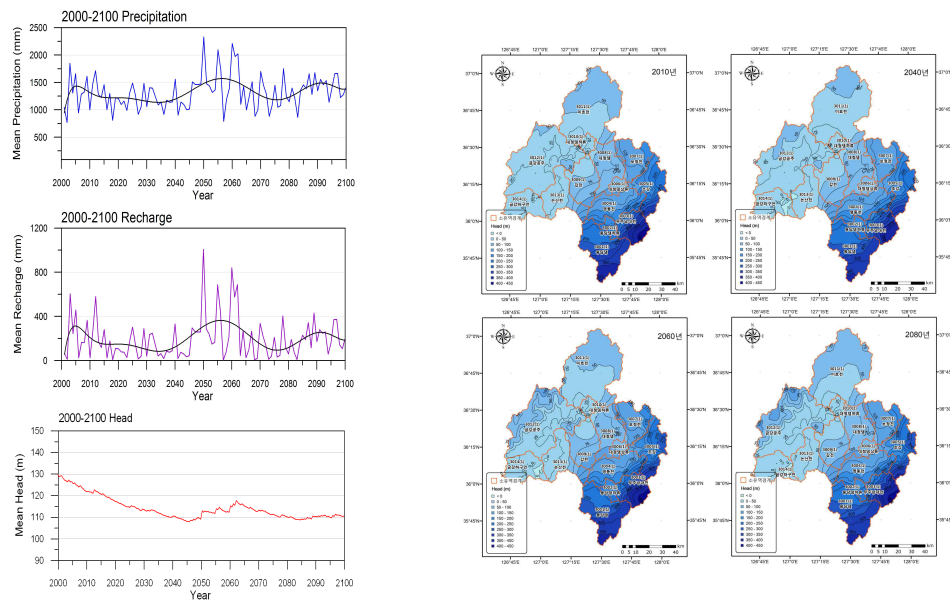


그림 1.7 기후변화에 따른 금강수계의 평균 강수량, 함양량 및 지하수위 감소 예측 모사 결과

- 지난 수십 년간 하천 주변 농경지에는 비닐하우스와 같은 불투수성 시설물의 점유면적이 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 하천 유량 감소의 주요한 요소로 작용한다. 따라서 하천 고갈을 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 위한 노력을 계속 하였고, 결국 최근의 지하수 이용량은 일정 수준에 머무르고 있다. 그러나 지표수의 직접취수 단점을 보완하기 위해 고안된 간접취수 방안이 수변지역을 중심으로 개발이 활성화 되고 있으며, 정부의 4대강살리기 사업 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 연구개

발을 통해 보다 실용적이고, 고도화 된 기술개발을 필요하다.

- 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 환경 분석, 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.

표 1.1 국토해양부 지하수 관련 R&D 투자 현황

(단위 : 억원)

구 분	1차		2차		3차	
	기본계획 (1997~2001)	예산 (1997)	기본계획 (2002~2006)	예산 (2003)	기본계획 (2008~2012)	예산 (2009)
총예산	1,860	39	1,811	92	1,350	108
R&D	135 (7.3%)	0	150 (6.4%)	0	21 (1.6%)	0
비고	과기부 프론티어 연구비 투자(2000~2011년) : 총 284억 원 (연 28억) - 학술분야					

나. 지하수자원 활용 고도화 기술 개발 필요

(1) 현장중심의 연구개발 필요

- 과거 21세기 프론티어 연구개발 사업에서는 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.
- 4대강살리기 사업을 통하여 국내에서의 수자원 수문 환경의 변화가 발생할 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.
- 향후 하천변의 수문환경의 변화는 지하수 이용 기술의 변화를 가져오게 되며, 외국의 경우 북서 유럽(독일, 네덜란드 등)에서는 상승된 지하수위를 활용하는 기술로서 강변여과 등을 통한 용수공급 시스템이 활발히 운영되고 있다. 최근 국내에서는 하천변 과도한 지하수의 이용과 토지이용의 변화는 지하수위 강하를 가져오고 하천의 고갈을 유발하여 건전한 물 순환을 방해하고 있다. 따라서 물 순환 시스템의 건전화 달성에 필요한 제도적, 정책적 요소를 개발하여 제도 개선을 병행함으로써 보다 효율적인 정책 시행이 이루어지도록 하여야 한다.

(2) 수변지역 지하수 관리 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 4대강살리기 사업 시행으로 인한 하천의 영향은 주변 지하수에 직·간접적인 영향을 장·단기적으로 미칠 수 있으며, 이에 대한 지

속적인 모니터링을 통해 하천수와 지하수 사이의 수량 및 수질 변동의 상호 작용을 파악할 필요가 있다.

- 농경지의 비닐하우스는 강수 발생 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.

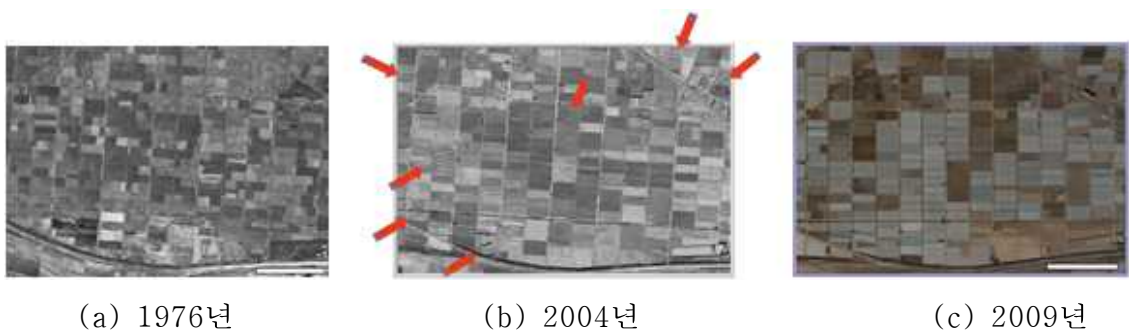


그림 1.8 경상북도 고령군 지역의 비닐하우스 면적 변화

- 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 전문 인력의 양성과 예산 투자를 통한 지하수 관리 패러다임의 변화가 절실한 상황이다.
- 따라서 수변을 포함한 유역전체의 지하수 함양 및 개발가능량을 평가하고 가능최대 지하수 개발 기술을 실용화하여 하천고갈을 방지하고, 지속가능한 물 순환을 담보하는 유용한 수자원의 합리적 이용을 달성하는 일이 시급하다. 이와 더불어 첨단 기술로서, IT 기술을 이용하여 하도 내 수위변화에 따른 지하수위의 변동을 보다 정확히 예측하고, 운영되는 관측 시스템을 검증하는 등 관련 첨단 기술을 개발하고, 예비 농업용수로서의 활용 등과 같은 이수적 측면에서의 지하수의 활용성의 최대화를 도모해야 한다.

(3) 수변지역 지하수자원 환경 변화에 따른 대응 기술 개발

- 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. 따라서 하천변 충적층(대부분 투수성이 좋은 모래질 토양으로 구성)의 지하수를 활용한 용수 공급 등 물 산업 활용 방안을 검토할 필요가 있다.

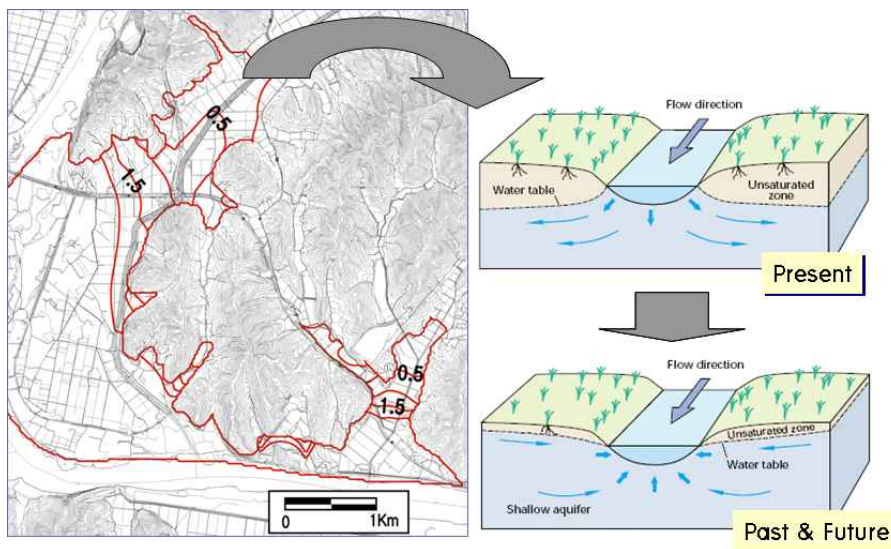


그림 1.9 4대강 살리기 사업으로 인한 하천 및 지하수 환경변화

- 4대강살리기 사업으로 인한 지하수자원의 가장 큰 환경 변화는 4대강 보로 인한 하천 수위 상승으로 인한 수변지역의 지하수위 상승이다. 이로 인해 부수적으로 발생된 지하수자원은 그 활용 방안(강변여과수 등)에 대해 적극 검토할 필요가 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; KIGAM, 2010)에 의하면 하천 주변 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 충적층내 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.
- 기술 개발을 통하여, 하천 환경 개선을 위한 하천 유량 확보를 위하여 하천변 지하수 이용, 관리 기술과 관련된 관측기술 등이 활성화되고, 댐 지역 적지 감소 등 미래 기후변화 등에 대비한 수자원 확보를 위해서는 수질 및 수량 측면에서 안정성을 갖고 있는 하천변 지하수 개발이 국내 독자 기술로 정착될 필요가 있다.
- 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 홍수 대책 마련을 위하여 오랜 기간 갈등을 겪어, 1990년대초 Gabčíkovo - Nagymaros Project를 수립하였다. Gabčíkovo-Nagymaros Project 지역에는 1990년대에 약 1,000개소의 지하수 수위 및 수질 관측소가 운영되어 왔으며, 이전의 과거 자료와 이들 자료를 토대로 분석한 자료에 의하면, 지하수 분야에 있어서 보 건설로 인한 긍정적인 효과들을 보여주고 있다고 한다. Gabčíkovo 상류 지역은 과거 수십 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.

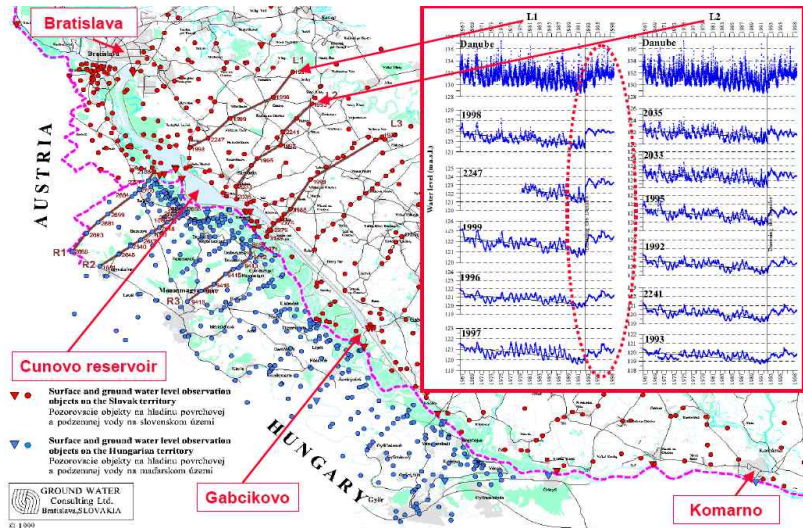


그림 1.10 Slovakia Gabčíkovo-Komárno 지역의 지하수 변화

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

다. 수변지역 간접취수 고도화 기술 개발 필요

- 4대강살리기 사업 이후 하천수위 상승에 따른 수변지역 지하수위 상승효과로 강변 여과수 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 프론티어 사업을 통해 수행되었다. 그러나 간접취수를 위한 표준화된 조사 설계 매뉴얼, 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 국내뿐만 아니라 주변 개발도상국에서 활발히 전개될 전망이다. 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 기술개발의 검증은 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 4대강살리기 사업의 궁극적인 목표를 달성할 수 있을 것으로 전망된다.

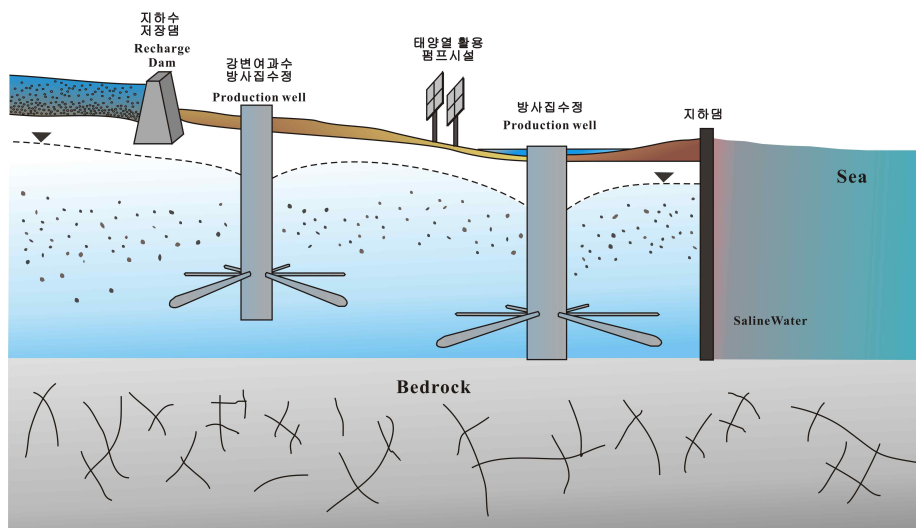


그림 1.11 간접취수 공법을 활용한 용수 공급 시스템

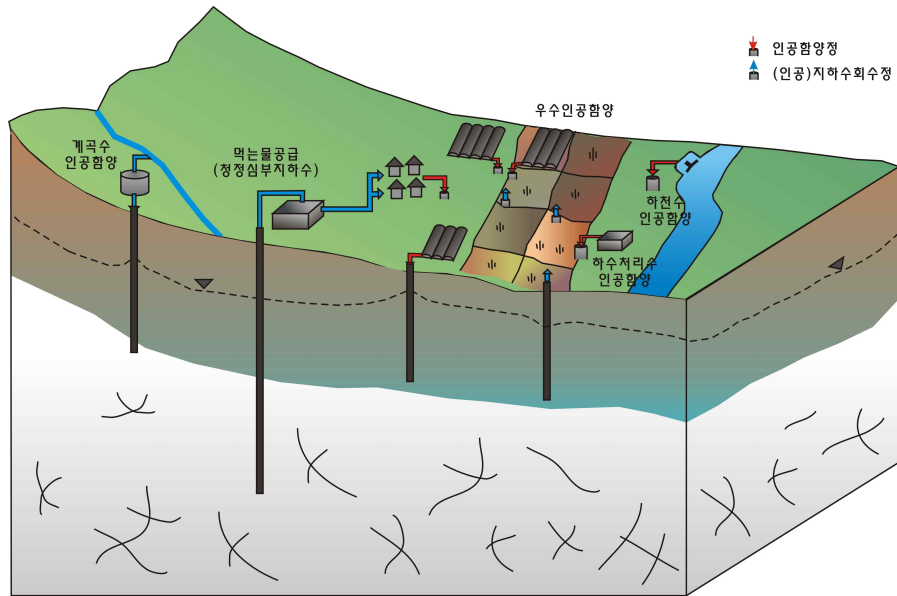


그림 1.12 수변지역 지하수 인공함양 기법 적용 시스템

라. 지질지하수 기반의 지열에너지 융합 기술 개발 필요

- 전 세계적으로 에너지 자원이 점차 고갈되어 가는 시점에서 최근의 시리아 등 아프리카, 중동지역 민주화 사태로 인해 에너지 가격이 급등하고 있는 추세이며, 대체 에너지 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, 해양에너지, 지열에너지 등 대체 에너지 개발의 필요성이 크게 대두되고 있는 실정이다.

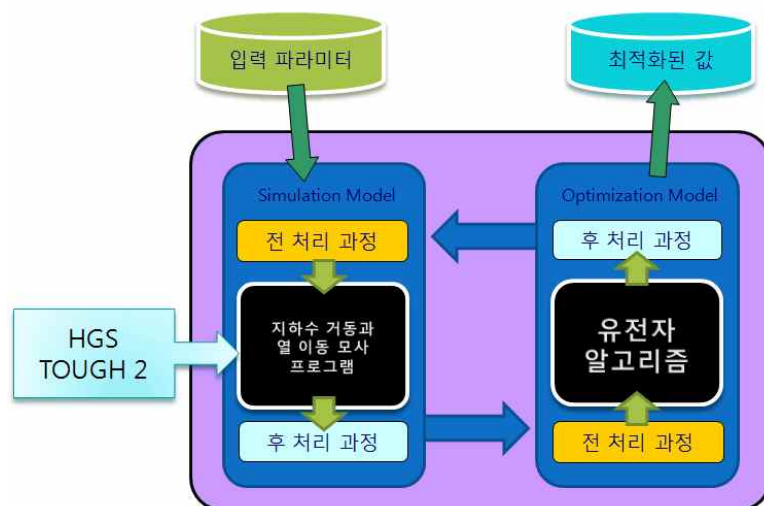


그림 1.13 지열 활용 시스템 최적화 설계를 위한 Simulation-Optimization 모식

- 지하수가 풍부한 수변의 충적층과 강변여과수 등과 같은 상수도 취수 원수의 수온 차를 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.
- 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 방치공에서의 지열에너지를 재활용하는 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). 이는 현재 입법화된 친수법에 의한 하천 주변 개발 시 녹색에너지의 보급을 위하여 필요한 기술로서 상승된 지하수면을 활용한 대용량 지열 시스템의 개발은 수변지역에서의 대체에너지의 확보에 필수적인 요소가 될 것이다. 또한 국내 지형에 적합하고 다변화된 대용량 지열원수 개발이 요구된다.
- 천부 지열 에너지를 이용하게 되는 개방형 지중 열교환기의 경우 지하수의 거동이 활발한 대수층 내의 지하수를 활용하게 되며 이는 지하수의 거동 양상 및 특성, 지하수 및 지질 매체에 의한 열에너지 전도 및 대류에 대한 종합적인 해석 기술이 필요하다. 또한 지열에너지의 범용화를 위해 프로그램을 개발하여 상용화가 이루어진다면 더욱 더 실용적으로 이용될 것이다. 향후 폐쇄형 지중 열교환기보다 저비용 고효율의 개방형 지중 열교환기 개발을 위한 기술개발이 더욱 필요하며 해외 선진국에서도 이와 같은 방향으로의 연구가 좀 더 이루어질 것으로 보인다.

제 2 장 기술개발전략 수립

제 1 절 기획 필요성

1. 기획 배경

- 수변지역을 포함한 지하수 조사평가·이용관리 기술 개발과 지질지하수 융합기술을 접목한 지열에너지 효율적 이용기술 개발을 통한 하천고갈 방지 및 양질의 수자원을 추가 확보하고 국가 지하수 관리에 필요한 필수요소를 개발하며, 녹색성장을 선도하는 국가정책 반영 및 산업 활성화에 기여하는 국가 지하수자원 활용 고도화기술 개발사업의 세부 기획을 하게 되었다.
- 세부목표
 - 핵심 및 세부기술별 가시적 연구성과물 제시가 가능한 구체적이고 실용적인 주요 기술 도출
 - 핵심 및 세부기술의 원천기술 확보가 가능하고 실용화와 상용화를 통한 경제성을 확보할 수 있는 주요 기술 도출
 - 국가 지하수자원 활용 고도화 기술의 선진국 대비 수준의 90% 달성 및 선진국과의 경쟁 우위 확보가 가능하고 개발도상국에 수출이 가능한 주요 기술과제 도출
 - 미래 녹색성장을 선도하고 국가정책 반영 및 산업 활성화가 가능한 국가 지하수자원 활용 방안 도출
 - 다학제, 산학연 및 타분야(IT, BT, NT, ET) 신기술과의 통합(Integration)·융합(Fusion)하고 환경친화적이며 경제성 확보 가능한 수변지역 지하수 자원 조사평가, 이용관리 및 지열에너지 이용 기술 개발과제 도출
 - 국가 지하수자원 활용 고도화기술 개발을 위한 현장 실증부지 설치, 현장 시공 및 통합유역 개념 확대와 실증을 통한 국가정책 적용 및 산업화에 기여가 가능한 핵심요소기술 연계방안 도출
 - Test Bed 구축을 통한 현장 적용성 평가를 연구 수행의 최우선 순위로 두며 산업체의 적극적인 참여를 바탕으로 개발된 연구성과의 실용화를 통한 해외사업 진출과도 연계할 수 있는 연구과제 기획을 추구
- 국가에서 추진해온 연관기술에 대한 진단 및 활용방안
 - 기존 국가추진과제 대비 중복성 및 차별성 평가
 - 기존 국가추진과제와의 연계활용성 평가

- 국가 지하수자원 활용 고도화기술의 신규 사업 추진을 위한 상세 계획 수립
 - 국가 지하수자원 활용 고도화기술과 관련된 신기술 융합의 국내외 기술 동향 분석을 통한 미래기술 예측
 - 신규 사업의 목표, 기대효과, 사업추진체계 및 추진방향, 투자소요재원 파악 등을 통한 가이드라인 작성
 - 신규사업 추진을 위한 상세 계획 수립

2. 기획 목적 및 추진방향

가. 기획목적

- 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 계획을 수립하는데 목적이 있다.
- 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 한다.

나. 추진방향

- 지난 10년간 21세기 프론티어 연구개발 사업을 통해 지표수-지하수 분야에 방대한 양의 현장 데이터와 연구 논문, 기술특허를 만들어 내었고, 지하수분야의 학문적 기술발전과 더불어 많은 전문 인력을 배출하는 성과를 나타내었다. 그러나 현장 중심의 연구개발과 산업체와의 연계를 통한 설계 및 시공 기술 개발은 미흡한 실정이었으며, 이로 인한 이론과 현장의 장벽은 아직도 곳곳에서 문제점을 낳고 있다. 이를 해결하기 위해서는 산업체의 적극적인 참여와 현장중심(Pilot 또는 TEST BED), 실용화 및 사업화 중심의 연구 추진이 필요하며, 본 기획연구를 통해 산업과 연계한 미래지향의 지하수자원 연구개발 방향을 정립하고자 한다.
- 지난 10여 년간 21세기 프론티어 연구개발 사업에 국가 지하수 연구 역량이 편중됨으로써 국가의 효율적인 지하수 관리에 필요한 기술 개발이 거의 수행되지 못하여

1990년대 초에 비하여 지하수 분야의 산업이 활성화되지 못하고 위축되어 있는 실정이며 본 기획을 통하여 향후 지하수 산업을 활성화할 수 있는 연구 정책 방향을 제시하고자 한다.

- 지하수분야의 연구개발 사업내용을 살펴보면 학문적인 조사/분석의 연구가 주를 이루고 있으나, 분석의 결과를 현장에 반영하는 이른바 상용화 및 사업화에는 미흡한 성과를 나타내고 있다. 앞으로의 연구개발 방향은 조사/분석으로 끝나는 것이 아니라 가시적인 성과를 나타낼 수 있는 기술개발이 포함되어야 하며, 이를 통한 상용화 및 사업화를 창출한다면 R&D의 투자가치가 높이 평가될 것이다. 본 기획연구를 통해 성과 위주의 연구개발과 해외사업 진출과도 연계할 수 있는 기술개발을 목표로 기획연구를 추진하고자 한다.
- 과거 연구개발의 특징은 특정분야에 집중투자 방식으로 관련 기술을 극대화 시키는 데 초점을 맞추었다면, 미래핵심기술의 특징은 다학제 연구개발을 통한 융합기술의 개발이다. 따라서 지하수자원의 개발과 효율적 이용에 관한 관련분야의 조화를 이룰 수 있는 융합기술 개발이 절실히 요구되고 있으며, 본 연구를 통해 다학제 연구개발과 융합기술 개발이 체계적이고, 효율적으로 이루어질 수 있도록 하고자 한다.
- 지질지하수 기반의 요소를 고려한 국내 현실에 맞는 한국형 지열지하수열원 시스템의 최적화를 도모하고자 한다. 이를 위하여 지하 조건에 맞는 지열의 최적 설계 및 표준화, 대용량 지열시스템의 개발, 개방형 시스템의 확대기술 개발 등을 도모하고자 한다.
- 향후 본 과제의 성공적 수행을 위해서는 다음과 같은 추진 방향을 근간으로 기획과제가 추진되어야 한다.
 - 단순 조사나 논문 중심의 연구보다는 현장 적용 및 실증 중심의 연구가 가능토록 계획 수립하여 향후 제품 및 장비 등 H/W가 성과로 도출될 수 있도록 기획
 - 체계적인 지하수 관리 선진화를 위한 제도 개선 요인을 고려한 기획
 - 최대한 융합 기술(재료공학, 의학, 화학, IT 등)이 접목될 수 있는 과제를 선정
 - 국제적 검증 및 활용 등을 위하여 해외연구기관이 참여할 수 있도록 연구 기획
 - 연계성을 갖는 연구 주제가 단일 Pilot site에서 수행되어 상호 검증 활용될 수 있도록 연구 기획
 - 잠재적으로 기존 국책 사업 등에 접목할 수 있는 과제를 선정하고 이를 통하여 산업 활성화에 기여할 수 있도록 연구 기획

제 2 절 국내외 동향 및 환경분석

1. 국내외 정책동향 및 분석

가. 국내 정책 동향

(1) 수자원 정책 현황

- 국토종합계획(제4차 계획, 2006년~2020년)은 국토를 이용·개발·보전함에 있어서 미래의 경제적·사회적 변동에 대응하여 국토가 지향하여야 할 장기발전 방향을 제시하는 최상위 계획이다.
- 수자원 장기종합계획('06~'20년)은 국토종합계획(2006년~2020년)의 목표인 균형국토, 개방국토, 복지국토, 녹색국토 및 통일국토 실현을 위한 수자원 이용·개발·보전에 관한 국가사업의 기본전략으로 다음의 중점분야를 선정하였다.

표 2.1 수자원 장기종합계획의 중점사항

중점사항	중점내용
물이용종합계획	○ 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 ○ 홍수위험 극복 지역사회 기반 구축기술개발 ○ 자연형 하천복원 및 관리기술 개발

- 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 “국가 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.
- 2006년 1월에 발표한 물 환경관리 기본계획에서는 “건강하고 안전한 물 관리”에 정책적 지원을 선언하여 2009년에 수도시설에 유해물질 사고를 대비한 정수장의 통합시스템 설비의 증축하며, 2010년에는 하·폐수 처리장까지 배출수 기준을 설정하였다. 또한, “수원 → 관로 → 정수처리 → 관로 → 수용가 → 관로 → 하수처리 → 방류”의 전 과정을 진단 및 계측기기의 통합시스템으로 무인화, 자동화, 비용절감을 절실하게 요구하였다.
- 2006년 2월 건설교통부(현 국토해양부), 산업자원부(현 지식경제부), 환경부가 합동으로 “물산업 육성방안”을 국무회의에 보고한 바에 의하면 용수공급시설의 수출산업화를 통하여 2015년까지 세계적인 물 기업을 육성하고, 수출을 통하여 20조 원의 부가가치를 가진 사업으로 육성하고자 한다. 이는 용수공급 기반시설의 구축과 개선사업의 지속적인 확대를 목적으로 추진하며, 물 산업의 촉진을 위해서 원천기술을 개발하거나 확보하는데 주력하여 지능적 수처리 기술, 유비쿼터스 기반의 수도운영관리 기술 그리고 에너지 완전 순환형 수처리 기술 등을 집중 육성하는 것으로 보여진다. 또한, 동남아, 남미 등의 개도국시장 진출을 위하여 맞춤형 기술개발 사업을 추진한다.
- 또한, 국토해양부와 지식경제부, 환경부가 합동으로 ‘물 산업 육성방안’을 국무회의에 보고한(2006. 2) 바에 의하면 용수공급 시설의 수출산업화를 통해 2015년까지 세계적인 물 기업을 육성하고 플랜트 수출을 통한 20조원 이상의 부가가치를 가진 사업으로 육성할 예정에 있다고 발표하였다.

(2) 지하수 및 지열 정책 현황

- 지하수 관리 기본계획(2007~2011)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 투자계획을 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 ○ 기 완료된 광역 지하수 기초조사는 유역조사에 포함하여 항목별로 5년, 10년 주기로 보완 ○ 정밀 지하수 기초조사는 전국적으로 확대 실시하여 2016년까지 167개 시·군(148개 도읍)에 대해 완료 □ 지하수 관측망을 확대 구축하여 관측자료의 효용성을 제고하고 관측자료 통합관리를 통해 지하수장해 감시 강화 ○ 국가지하수관측망은 199개를 추가 설치하고, 관측주기 조정 및 양이온/음이온 등 수질검사항목 추가 ○ 보조지하수관측망은 전국 10,000개소를 목표로 추가설치하고 설치 및 운영 활성화를 위한 국고 지원방안 검토 □ 지하수 이용·실태조사 및 이용계획량 설정으로 체계적인 지하수 개발·이용을 도모하고, 공공지하수 개발로 농어촌 및 도서지역에 지하수 공급 확대 ○ 지하수 이용·실태조사를 실시하여 지하수 개발·이용 및 관리에 필요한 기초 자료로 활용 ○ 시·도별 이용계획량을 설정해 개발가능한 범위 안에서 체계적으로 이용함으로써 지하수 고갈을 사전에 예방 ○ 지표수 공급이 어렵거나 상수도 보급률이 낮은 농어촌 및 도서지역에 지하수 공급 확대
보전 관리	□ 지하수 개발·이용 시설에 대한 통합관리체계를 구축하여 무분별한 개발을 방지하고 지하수장해를 사전에 예방 ○ 인허가에서 이용종료까지 단계별로 지하수시설을 관리하는 지하수 시설 이력관리시스템 개발 ○ 지하수 시설 사후관리를 강화하기 위해 유형별 사후관리기술 표준화 연구를 실시하고 사후관리 지침 마련 ○ 신규 방치공 발생 억제 및 방치공의 적극적인 발굴·처리 □ 지하수보전구역 제도의 활성화를 위해 국공립공원, 상수원보호구역 등으로 보전구역 대상지역을 확대하고, 보전구역 내 행위제한 강화 및 지속적인 관리실태조사 실시

중점사항	중점내용
	☐ 지하수 오염을 사전에 예방하고 양질의 지하수를 확보하기 위하여 지하수 수질관리를 강화하고 관리기반 구축 ○ 지하수 수질기준 개선, 지하수 관정·오염원 및 수질기준 초과지점 관리 등을 통한 지하수 수질관리 강화 ○ 지하수수질측정망 확대 및 타관측망과의 연계운영을 통해 지하수감시를 강화하고, 지하수 오염방지 및 정화에 대한 기술개발 지속 추진 ☐ ‘먹는샘물 품질평가시스템’ 도입 및 샘물개발허가제도 개선으로 먹는샘물 관리를 강화하고 사전환경성검토 강화로 체계적인 온천개발 추진
관리기반 강화	☐ 지하수관련 법체계 정비, 지하수 전담조직 설치, 지하수이용부담금 및 특별회계를 통한 안정적인 재원 확보 등을 통해 지하수관리 인프라 강화 ☐ 지자체의 실정에 맞는 ‘지역지하수관리계획’을 수립하여 국가 기본계획과 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)

- 최근 지하수 종합관리 방안(2009, 국토해양부 내부자료)에서는 지하수자원에 대한 전반적인 관리 방안을 마련하고자 아래와 같은 정책 수립.

- 공공재, 경제재이자 국가 주요 전략 경영자원인 지하수자원의 역할 제고

- 지하수자원은 60~70년대 농촌근대화 과정에서 식량 자급기반 구축에 기여했고, 광역상수도 기반이 취약했던 70~80년대 산업화시기에 농·공·생활용수 전반에 걸쳐 국가발전의 주요 원동력이 되었음
- 지식산업 시대인 오늘날에 이르러서도 산업 전 분야에서 널리 이용되는 공공재이며 경제재로서의 주요 국가 경영자원임
- 또한, 10년 주기로 발생하는 가뭄, 재해 등 국가 재난 시 유용한 전략자원으로서의 기능을 다함

- 공적(公的)자원으로서의 지하수 관리기반을 강화

- 1993년 최초 지하수법 입법 이래 5차에 걸친 개정을 통하여 자원관리 토대가 마련되었으며 특히, 2005년 법 개정 시 본격적인 공개념 도입으로, 자원의 성격과 관리주체별 책임과 의무 명확화, 재원 확보 등 법적·제도적 기반 확보
- 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 왔음
- 그러나, 국가 지하수관리의 기본 정보 기반인 기초조사사업 재정투자가 계획 대비 40% 수준에 머물고, 재해예방·감시시스템의 기본 인프라인 관측망 운영도 국가 전반적인 정책수요를 총괄적으로 수용하지 못함
- 부처별로 수행된 지하수 조사, 관측망, 정보관리 사업 등을 효율적으로 연계하여 高 부가가치 창출을 위한 상호 협업체계가 부족
- 특히, 지하수법상 지하수관리 행정의 대부분을 전문 기술인력·조직 및 재정 형편을 고려하지 않고 지자체에 위임함

- 기술행정, 통계관리, 인·허가 전반의 적정한 관리행정 수행의 어려움으로 국가 지하수관리 정책비전 및 목표 추진 전반에 차질 우려
- 지하수 현안문제에 적절한 대응체계를 구축하고, 지하수 정책 패러다임 변화에 능동적으로 대처
- 이와 같은 국가 지하수관리 정책전반에 누적된 현안으로 인해, 일반 국민들로부터의 정책 체감, 신뢰도를 저하시키는 원인이 되고 있으며, 정부 내에서조차도 정책의 혼선과 중복으로 투자 우선순위에서 밀리는 상황에 직면
 - 특히, 최근 지하수관련 사회적 이슈로 부각되고 있는 가뭄 등 기후변화, 하천 건천화, 도시개발에 따른 지하수 유출, 각종 수질오염사고, 지반침하 등 당면하고 시급한 지하수 정책현안에 적절한 대응이 시급한 상황
 - 실체와 규모가 불분명한 고질적 현안인 방치공 문제가 수년간 완결되지 않고 반복적으로 언론에 집중 부각됨으로써 국가 지하수 시책 전반의 불신 가중
 - 또한, 선진외국의 최근 지하수관리는 기본적으로 지표수-지하수 연계관리, 수량-수질 연계관리가 핵심적인 근간이 되며 특히 지하수의 생태적 중요성이 부각
 - 물 산업에서 지하수 활용 및 기여도가 높이 인식되는 등 지하수 패러다임의 전환이 이루어지고 있음
- 지하수 종합관리 방안(2009, 국토해양부)을 토대로 검토된 기존 지하수 정책의 문제점과 개선 방향은 다음과 같다.

표 2.3 기존 지하수 정책의 개선 방향

분야	문 제 점	추진대책
기존 사업	○ 기초인프라 구축 지연 ○ 지하수 이용량 등 통계신뢰도 저하	- 기존사업 목표 연도 완료 . 지하수 기초조사 . 지하수 관측망 . 지하수 정보관리 등 - 지하수 이용량 모니터링 사업 확대 시행, 조속완료
개발 이용	○ 국가 재난 시에 대비한 지하수 지원 체계 미비 ○ 개인위주의 소규모 지하수 개발·이용 행위 지속 ○ 지하수 시설물 무단방치 및 노후화 ○ 개발가능량 초과이용 등 지하수 과다개발	- 가뭄 등 국가 재난대비 지하수 지원체계 구축 - 지하댐, 인공함양 등 공공개발 확대 - 노후 공공관정 시설진단 및 종합정비, 공공관리 강화 - 지하수 난개발지역 이용재편 - 지하수 개발이용총량제 도입
자원 관리	○ 지하수 과다이용에 따른 하천건천화 문제 발생 ○ 도시지역 지하수의 난개발에 따른 수위변동/수질오염 등 지하수재해 발생 ○ 기타 지하수를 자원으로 보전관리하기 위한 다양한 시책수립 필요	- 지하수-지표수 연계개념 규명/확립 - 하천 건천화와 수량/수질 문제해결 및 개선방안 수립 - 도시 지하수관리대책 수립 - 지하수개발·이용 양극화 심화 해소 - 관리주체의 관리능력 향상 - 지하수 용도별 수질기준 운영제도 개선
연구 개발	○ 중장기 연구계획 없이 단속적이며 현안위주의 연구개발에 치중 ○ 지하수분야에 한정된 연구개발에서 탈피하여 녹색성장, 효율성이 강조되는 연구 추진	- Water Security를 위한 중장기 연구사업 - 환경 친화적 지열 자원개발 최적모델 개발
법· 제도	○ 고질적 현안인 방치공문제 장기 미해결 ○ 불법 지하수 시설의 양성화 방안 조속 수립·시행 필요 ○ 공적자원 대국민 인식전환 노력	- 방치공 관리 및 불법 지하수시설 양성화 추진 - 시설물 전수조사

- 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.
- 정부는 지속가능한 녹색경제로의 이행을 촉진하고 녹색일자리 창출과 새로운 성장 동력의 확보를 위한 ‘녹색뉴딜’ 정책, ‘신성장동력’ 육성정책 등 부문별 녹색 성장 정책과 정부차원의 녹색성장 중장기 정책목표, 추진전략, 주요 전략별 핵심정책 및 중점 추진과제, 재원과제, 재원투자계획 등을 ‘녹색성장 국가전략 및 5개년 계획’에 포함하였다.
- 최근에는 4대강 살리기 사업 이후의 하천변 지역의 효율적이고 체계적인 이용관리를 위하여 친수구역활용특별법을 제정하여 수변지역의 관리를 강화하는 방향으로 추진되고 있다. 친수구역활용특별법은 수변지역에서 하천으로부터 2km 이내 지역의 일부를 체계적으로 개발하기 위한 규정을 포함하고 있는데, 하천과의 연계성 및 신재생에너지의 활용을 최대화할 것을 기본 방향으로 설정하고 있어 대용량의 지열 에너지의 필요성과 효용성이 대두되고 있다.
- 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.

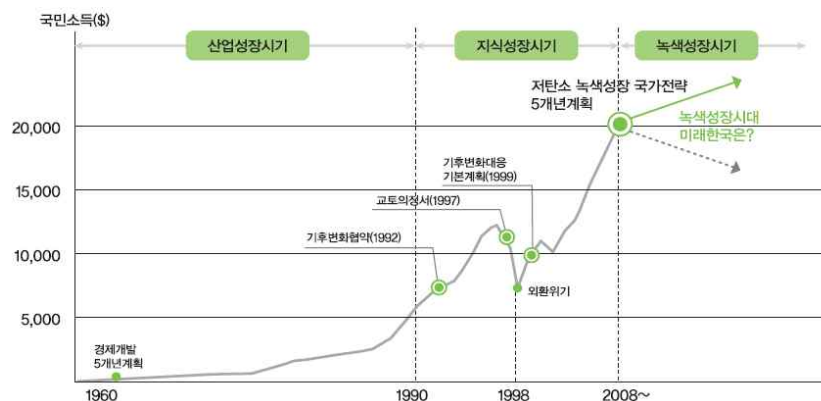


그림 2.1 한국 경제·사회 발전 과정 및 신성장 시대
(출처: 녹색성장 국가전략)



그림 2.2 녹색성장의 개념 (출처: 녹색성장 국가전략)

- 개방형 지중 열교환기가 폐쇄형 지중 열교환기에 비해 높은 효율성을 가지고 있음에도 불구하고 현재까지 폐쇄형 지중 열교환기의 설치 사례가 많았던 것은, 지중에 물질 및 에너지를 인공적으로 주입하는 행위에 대한 관계 법령이 부재했기 때문이다. 개방형 지열시스템에서 지적되는 채반기술을 극복하기 위한 국내 수리지질 여건에 적합한 최적기법을 개발·보급함으로써 지하수자원의 경제적 개발 및 이용을 도모할 필요성이 대두되고 있는 실정이다.

(3) 지하수 제도 현황

- 지하수 법 제도
 - 지하수는 관련법에 따라 5개 중앙부처 및 지자체에서 소관업무별로 관리
 - 국토해양부는 지하수 정책과 지하수 이용 및 보전·관리업무 총괄
 - 환경부는 지하수 수질보전과 먹는샘물 관리업무 관장
 - 농림수산식품부는 농어촌지역 지하수 용수업무 관장
 - 행정안전부는 온천과 민방위 비상급수시설 관리업무 관장
 - 지자체에서는 지하수개발 인·허가 등 실무적인 지하수 관리
 - 국토해양부가 일반법 성격의 지하수법을 관장하나, 관련법에 따라 업무가 분산·위임되고 구속력 미비로 통합 관리 및 주무부처로서의 역할 미흡

	적용 대상 및 범위	소관부처
지하수법	타법의 규제를 받지 않는 모든 지하수	국토해양부
온 천 법	온천 개발을 위한 굴착허가, 온천지구 지정	행정안전부
먹는물관리법	먹는샘물 제조업을 하고자 하는 자는 허가	환 경 부
농업농촌기본법	농업용수개발(인허가관련 규정 없음)	농림수산식품부
민방위기본법	민방위계획에 따라 지하양수시설 설치·정비	행정안전부
국방군사시설 사업에관한법률	군사목적상 필요한 지하수시설	국 방 부
제주특별자치도설치및국제자유 도시조성을 위한 특별법	제주도에서 지하수 개발·이용시 도지사 허가	제주특별자치도

그림 2.3 지하수 관련법 현황

○ 지하수 조직 인력 현황

- 주무부서인 국토해양부는 수자원정책과에서 지하수를 담당하나 전담조직은 없으며, 환경부는 토양지하수과에서 지하수 수질업무 담당
- 지자체별 지하수 전담조직 구성은 4개 광역시도, 31개 군·구로서 전담조직 구성률이 대단히 낮음
- 지하수 지열 분야의 전문인력 및 관련 전문 단체가 미흡하여 정부정책에 대한 다각적인 사전검토 및 수행 전·중·후의 보완/평가 등에 대한 학문적인 지원이 매우 취약하며, 신규사업 발굴 및 정책 지원을 위한 전문인력 확보 등에 큰 어려움이 있는 실정임
- 지난 10년간 프론티어 연구개발 사업을 통하여 강변여과, 해수침투, 인공함양(제주도), 지표수-지하수 통합모형해석 등에 대한 인력 양성이 있어 왔으나 연구성과가 정책에 반영되어 새로운 사업화 등에 기여하는 바가 미흡하여 인력의 효율적 활용이 이루어지지 못하고 있음
- 따라서 지하수 및 천부 지열 분야의 사업을 활성화하고 정책을 안정적으로 유지해 나가기 위한 전문 기술인력 양성과 활용이 요구됨

(4) 유사 분야 연구 현황

- 용수공급시스템 관련 연구개발과제는 여러 부처에서 수행 중이며, 과학기술부(현 지식경제부)는 수자원의 지속적인 확보를, 환경부는 토양·지하수 복원 관리와 만족도 높은 먹는 물, 그리고 하·폐수 처리 고도화를 주요 추진 분야로 설정하였다.

표 2.4 유사분야에 대한 정부 부처별 최근 연구 실적

관련부처	과 제 명	연구기간
건설교통부 (국토해양부)	침전지에서의 부유물질 정감에 관한 연구	1996
	오존을 이용한 유기화합물 오염토양/지하수 통합 복원 기술 개발	1998
	유전자 알고리즘을 이용한 광역상수도 관로노선 선정 기법 개발	1996
	지표수-지하수 연계운영 시스템 개발	1998
	상·하수도 관접합기술에 관한 연구	1999
	물관리 효율성 제고기술 개발	1999
	지하수 보전구역 기준 설정과 관리운영 최적화 기술 개발연구	1999
	자연식생을 이용한 하천 및 하수정화기술 실용화	2000
	환경친화적인 하수처리장 포기조 복개공법의 개발	2000
	콘크리트 하수관 매설용 원격조정 장비개발	2000
	중·소규모 정수장 슬러지 처리 Package System 기술 개발	2000
	대형 시설물 등의 유출 지하수자원 활용방안 연구	2000
	상수도 및 배수시설 최적화 기술개발	2001
	DIPT(Digital Image Processing Technology)를 이용한 상하수도관망의 상태 및 신뢰성 평가기술 개발	2001
	수자원 보호를 위한 폐광 지역 환경 복원 기술 개발	2001
	우리나라 상수원 수질특성에 적합한 용존공기부상공정의 개발	2001
	자연친화적 금속촉매를 이용한 지하수중 유기오염물 및 중금속 지중(In-Situ) 동시제거 기술의 실용화 연구	2001
	상수도 Lifeline의 통합 설계시스템 개발	2002
	건설폐수의 친환경적 처리공법 개발	04~06(3년)
	3D 수치영상기법을 활용한 댐시설물 실시간 영상 모니터링 및 유지관리 시스템 개발	04.7~06.7(2년)
과학기술부 (지식경제부)	우리나라 지역특성에 맞는 최적 지하수 함양량 산정 기법 개발	05.6~07.6(2년)
	하상재료를 이용한 하천제방 축조 기술 연구	05.6~07.6(2년)
과학기술부 (지식경제부)	수자원의 지속적 확보기술(21세기 프론티어사업)	01~10(10년)
환경부	Eco-Star 프로젝트의 수처리 선진화 사업단 (차세대 핵심환경기술개발사업)	01~10

나. 국외 정책동향

(1) 수자원 정책의 최근 동향

- 1972년의 스톡홀름 선언(Stockholm Declaration)을 시발점으로 물과 관련한 세계의 정책적 토대가 그 뿌리를 내리기 시작하였으며, 최근에는 UN이나 WWF(World Water Forum; 세계 물포럼) 등을 중심으로 물에 대한 국가적 인식을 같이하고 국제적인 기준 등을 수립해 나가고 있다. 이와 같은 주요 국제적 정책으로서 EU 회원국간에 협상하여 마련한 EU 물관리기본규정(EU Water Framework Directive)에서는 국가하천유역(National River Basins)뿐만 아니라 국경하천유역 및 지하수 등에 대한 국제적 회원국간 규정을 정하고 있으며 이에 따라 각 회원국이 법률 체계와 관련제도를 정비토록 하고 있다.
- 수질보호와 수질관리를 위한 “EU 물관리기본규정”(EU Water Framework Directive)은 각 하천유역별로 유럽지역의 하천과 그 특징을 파악하고 각 하천별 관리계획과 대책을 채택하는 사안에 대해서 규정하고 있다. 2000년 12월 22일자로 체결된 그 규정은 수질오염의 예방과 개선, 친환경적 물사용의 촉진, 수생환경의 보호, 수중생태계의 개선, 육수(Inland Surface Waters)/지하수/기수(Transitional Waters)/해수(Coastal Waters) 등의 관리를 통한 홍수와 가뭄이 미치는 영향의 최소화 등을 목적으로 하고 있다.
- 물에 대한 정책은 국가 뿐 아니라 다양한 외부적 요인들이 복합적으로 연계되어 결정되어 진다. 이에 따라 선진국 및 유럽에서는 다양한 기관 및 이해집단과의 상호작용을 고려하여 정책을 입안하고 수행하게 된다. 호주는 이와 같은 복잡하게 얽힌 이해 집단을 효과적으로 연계하고 관리하기 위하여 Commonwealth water act(2007년)를 제정하여 운영하고 있다. 국내의 경우에도 보다 복잡해지는 물에 대한 이해관계를 고려한 기술 개발과 정책 입안이 이루어져야 하고 연구개발이 이를 전제로 추진되어야 한다.
- 호주는 생태계의 이용을 포함한 물에 대한 권리를 보장해주기 위하여 제안한 NW(National Water Initiative : 물에 관한 정책 제안)의 범주 내에서 관련 수자원 정책을 추진하고 있다. 이는 곧 기후 변화나 기타 다른 요소로 인해 미래에 가용한 물의 수량에 변화가 발생할 경우 정부와 사용자 간에 관련 리스크를 공유하기 위한 방안을 수립, 제시하는 것이다. 예를 들어, 물의 거래나 물 은행 등과 같은 것이 해당될 것이다. 특히, 지하수는 지표수와 달리 보이지 않는 수자원으로서 이해 집단

간의 이견 충돌이 쉽게 해소되지 못하는 특징을 갖고 있어 호주와 같은 리스크 관리의 제도 개선이 필요할 것이다.

- 국내와 마찬가지로 농업 활동에 있어서 지하수의 개발 이용은 매우 중요한 역할을 하는데, 외국의 경우 농업용 용수의 확보 및 이용에 대하여 분배의 원칙하에 운영되고 있는 특징을 갖는다. 국가가 관개시설을 운영 및 유지관리하기에는 예산상의 문제점을 내포하고 있어 이를 근본적인 차원에서 해결하기 위한 노력이 요구된다. 즉, UN의 FAO 및 국제물관리협회(IWMI) 등 선진 외국에서는 국가가 제공하는 재정적 및 기술적 지원에 대한 명확한 범위를 요구하곤 있으며 재정의 지속 가능성에 대하여 결정하여야 한다고 제안하고 있다. 즉, 농업용수의 확보와 공급은 물 분배에 있어서 투명성과 편의성이 함께 충족되어야 하므로 국가의 기본 수자원 정책으로서 중요성을 갖는다.

(2) 외국의 제도 및 정책 현황

- 외국의 지하수관련 제도를 살펴보면, 물은 사적(私的)인 자산이라기 보다는 공공(公共)의 자원으로 인식되고 있으며, 그러한 경향은 점차 강화되고 있다.
 - － 물은 사용할 권리가 재산권으로 인정되고 있는 여러 나라에서는 그 권리가 법으로 보호되고 있지만, 주변 사람들에게 피해를 줄 정도의 지하수 개발이나 오염(汚染)행위 등은 법으로 제한됨
- 미국
 - － 영국은 토지소유권자가 토지 아래 지하수에 대해 절대적 권리를 갖는데 반해 미국은 토지소유자가 다른 토지소유자에게 피해를 주지 않는 범위내에서 합리적으로 이용하는 경우 이용권을 인정하고 있다.
 - － 이와 같이 수리권은 지표수와 지하수가 수문순환계내에서 서로 연결되어 있다는 사실을 반영하지 못하고 있어 종합적인 유역관리를 위해서는 제도가 취약한 실정이다.
 - － 미국의 경우 1980년대에 이르러 지표수에 의존한 수자원의 수질오염과 공급부족이 나타나면서 지하수를 중요 수자원으로 재고하기 시작하였다(이정호 외, 2005). 1977년 환경보호국에서 급속한 산업화와 인구증가가 전국의 많은 관정을 오염시켜 사용이 불가능하게 되었다고 보고한 이후 지하수 관리의 필요성에 대한 인식이 급증하게 되었다.
 - － 미국의 지하수 관리는 연방정부와 주정부의 이원화된 체계로 이루어져 있다. 연방정부의 조직 중 내무부, 농무부, 에너지국, 국토안전부, 환경보호국의 5개 기

관이 지하수 관리에 관여하는데, 이들은 관련 법령, 지침, 기준 등의 전반적인 사항을 제시하고 주정부의 지하수 관리 정책을 뒷받침 할 인적자원 및 재정등을 지원하는 역할을 담당하고 있다. 주정부에서는 각 주의 대수층 특성과 오염원 분포현황에 맞는 관련 정책 및 제도를 수립하고 지하수 개발·이용 및 수질을 관리, 감독하는 실질적인 권한을 행사한다(이병국 외, 2006).

- 미국에서 관정 시공 시 요구되는 목표는 우선 『관정 시공 시 지층에 대한 교란은 최소한으로 하며 지구화학적 환경에 부합하는 재질을 사용하여야 되며 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 명시한다.

○ 일본

- 소유권에 대한 특별한 언급은 없으나 지하수이용에 대해서는 민법 207조의 『토지소유권을 법령의 규제 내에서 토지의 상하에 미친다』 라는 규정에 의거하여 『지하수는 토지의 구성부분이고 토지소유권의 목적물에 지나지 않는다』 는 사수론적 입장을 견지하고 있어 공적 지하수개발 이용에 한계를 보이고 있다.
- 지하수의 과다 양수로 인한 지반침하와 같은 지하수 장애가 전국적으로 확산된 일본은 적당 양수량의 설정, 인공 지하수 함양, 우수 침투시설 그리고 물 사용의 효율증대 등으로 양적 관리를 시작하였다.
- 공업용수법과 빌딩용수법을 기본으로 하여 ‘특정지역’을 선정하여 자치단체의 조례에 의해 지하수의 채취·이용 규제를 하고 있다. 채취 규제는 허가제, 계출제, 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 양수 펌프의 토출단면적을 한정하여 지자체장의 허가를 받게 하고 있다.

표 2.5 외국의 지하수 소유권 관련 제도

국가	관련법	소유권	내 용
오스 트리아	연방수법	토지소유권 에 포함	민법에는 지하수의 소유권에 대한 특별한 규정이 없으나, 1959년 수자원관리법에 의하여 지하수는 토지소유자에게 속하고 법이 허용하는 한도 내에서 재산으로 사용할 수 있다.
이탈리아	민법· 통일수법	공수와 비공수 분류	민법(1942년)의 규정에 의해 공공의 것이라 명기되어 있는 물은 국가에속하고 공공용 재산을 구성하는 것으로 되어 있으며, 특히 지하수는 공수로 규정
스 페 인	수 법	토지소유권 자에 우선	우선순위(식수, 농업용, 발전용, 공업용, 수산용, 선박용)
스 위 스	민법· 물이용법	공 수	지하수원에서 300L/min 이상으로 취수하는 지하수는 공수이며, 이 이용은 국가의 권력에 속한다고 규정
터 키	연방 물관리법	공수	소유토지내 유익한 이용
독 일	연방 물관리법	공 수(해석상)	일반적으로 지하수는 소유될 수 없으나, Bavaria, Hamburg법에서는 소유권으로 인정하며, 수자원청이 지하수의 이용에 관한 면허 또는 특허를 발급한다. 가정용·농업용으로 지하수를 자유롭게 이용한다.
이스라엘	수자원법	공 수	수자원법에 의하여 공유재산에 속하며, 주에서 관리하고 개인은 이용할 수 있다. 제 4조에 지하수는 토지 소유자의 권리에 속하지 않는다고 분명하게 명시되어 있다.
(구) 소련	(구)연방수 법	공 수	모든 수자원은 국가의 배타적, 독점적 소유에 속한다고 규정(1970)
중 국	헌 법	국가 소유	광맥, 수류, 삼림 등 자연자원은 모두 국가소유이고, 인민의 소유이다.(1982년)
이 란	수자원법	공 수	지표, 지하를 포함하는 모든 물은 국가 재산이며 공공의 소유에 속한다고 규정(1968년)
콜롬비아	수자원법	공 수	모든 수자원(지표수, 지하수, 해수, 하수)을 동등한 적용대상으로 하고 물에 대해서 양두할 수 없는 것으로 되어 사법의 성립을 배제(1974년)
영 국	수자원법	토지소유권 에 포함	잉글랜드 및 웨일즈-토지 소유권자는 토지내 물에 대한 권리를 가졌으나, 1945년 수자원관리법 제6조, 제14조(1947년 수원관리법)에 의해 소유권 및 사용에 대하여 제한을 두었다. 스코틀랜드-1946년 수자원 법 제3조에 의하여 주지사가 지하수 양수에 대한 규정을 정할 수 있다.

국가	관련법	소유권	내 용
미 국	안정음용수법, RCR A, CERCLA 등	공수 사수	주마다 차별적이며, 연안의 토지소유자가 수리권을 갖는 연안권과 먼저 물을 사용한 자에게 우선적 사용권을 주어지는 전용권, 그리고 이것을 병용하여 사용하는 주가 있다.
일 본	민 법	토지소유권 에 포함	민법 제207조에 의해 토지 소유권에 부수하여 생각되고 있는 정도이다. 공업용수법과 건축물용 지하수 채취에 관한 법률에 의하여 정부령으로 정하는 지역내에서 지하수를 채취하고자 할 때에는 시·도·구·군지사의 허가를 받아야 한다.
오스트레일리아	지하수법	공 수	수자원이용과 통제 권리 국왕에게 주어지고, 주수자원 공급위원회가 그 권리를 행사한다.
벨 기 에	민법	토지에 포함	—
덴 마 크	급수시설법	상동	—
스 웨 덴	수법	상동	—
네델란드	지하수법	공수	모든 지하수이용을 규제관리하고, 지하수 함양은 허가제
프 랑 스	민법	토지소유권 에 포함	—

○ 유럽

- 국제연합환경계획(UNEP: United Nations Environment Program)의 조사결과에 따르면, 유럽은 음용수의 75%를 지하수에 의존하고 있어 다른 대륙에 비해 그 비율이 상당히 높은 것으로 나타났다. 또한 지난 40년간 진행되어온 산업 활동의 증가는 이전보다 많은 양의 수자원을 요구하게 되었고, 이에 따라 지표수의 확보가 어렵거나 비용이 많이 드는 지역에서는 지하수에 대한 의존도가 더욱 높아지게 되었다. 그러나 이에 따른 오염원의 증가로 지하수의 수질이 위협받게 되고 지하수의 과다이용으로 대수층 지하수위의 강하와 해안지역 대수층의 해수침투 등의 문제가 발생하게 되면서, 체계적인 지하수 관리의 필요성에 대한 인식이 높아지게 되었다(UNEP, 2006).
- 유럽의 지하수 관리제도는 다양한 변화가 있어왔다. 초기에 지하수가 토지 소유자의 사유재산으로 인식되어 국가나 행정 조직에서 특별한 정책과 조치를 시행하지 않고, 개인이 필요에 따라 관정을 설치하고 지하수를 취수하여 사용하였다. 그러나 1980년대에 이르러서 지하수를 자원의 하나로 인식하여 국가적인 차원에서 관리가 시작되었다. 스페인의 경우 단위면적당 최대 관정수를 정하고 있

는데 1985년에 제정된 수질법 이후 지하수를 사유재산이 아닌 공공재산으로 명하고 지하수의 개발, 이용 및 수질에 관한 조사와 관리에 국가가 적극적으로 개입하기 시작하였다(World Bank, 2006). 이 후 유럽연합이 설립되고 사회, 경제 각 분야들이 유럽연합을 중심으로 통합 관리되기 시작하면서, 국가차원에서 관리하던 지하수도 유럽연합 차원에서 관리하는 방향으로 움직이게 되었다. 유럽연합에서는 실질적인 자료와 효과적인 관리단위를 확보하여 행정적으로나 경제적으로 현실적인 범위에서 지하수를 체계적이고 합리적으로 관리할 수 있는 방안을 만드는데 주력하고 있다(EEA, 2006).

(가) 영 국

- NRA(National river authority)는 지하수, 지표수, 하구 및 해안수와 같은 모든 조절된 물에 대한 관할권을 가지고 있다. 또한 NRA는 1992년에 지하수보호정책과 방법이란 지하수정책서를 발간하였다. 이에 의하면 영국의 지하수정책은 강제규정이 아닌 기부제 정책이긴 하나 이 정책을 수행할 수 있는 규제 조항들이 일부 포함되어 있다.
- 영국 지하수보호정책은 지하수 채수, 대수층과 지하수유동의 물리적인 교란, 지상의 폐기물 처분, 오염토지·지상에 슬러지나 슬러리의 처분, 투수성 lagoon, 하수처리장 및 정화조에서 지하대수층으로의 방류, 비점오염, 지하수공급의 추가적인 위험에 대한 규제조항 등이 포함되어 있다.
- 상하수도분야 민영화
 - 현재 영국 수자원정책 및 관리체계에 또 하나의 특징은 상하수도 서비스 민영화로 인한 민간사업자들이 정책결정에 미치는 영향이다. 이미 언급한대로 1989년에 대처정부는 전격적으로 10개의 유역관리청을 민간사업자로 전환하고 기존의 18개 소규모 상수도 전문회사(현재는 16개로 흡수, 통합)의 기득권을 인정해 주는 상하수도 서비스 민영화를 시행하였다. 이에 대한 규제기관으로 물서비스 감시청(Office of Water Services, OFWAT), 음용수감시과(Drinking Water Inspectorate, DWI) 및 소비자서비스평의회(Customer Service Council)를 설치하여 민간사업자의 전횡을 견제, 감독하고자 하였다.
 - 10개 상하수도 서비스 민간회사는 상수도 공급 및 수질 보전, 그리고 하수처리에 대한 권리를 갖는 영국정부로부터 부여받는 동시에 수자원관리 전반에 대한 책임도 가지고 있다. 물 서비스 감시청이 매 5년마다 결정하는 물 값 인상분으로 인한 이익금을 민간사업자들이 상하수도 서비스 개선을 위해 재투자하면서 하천수질이 많이 개선되었고 이는 각 지역하천에 긍정적인 효과를 가져왔다. 또한 민간사업자들은 기존 유역관리청의 역할 중 지

역에 부합하는 수자원개발계획을 수립하고 하천정비 및 갈수 시 급수계획 등을 환경청과 협의하며, 지속적인 유역관리 및 개발에 대한 책임을 가지고 있다. 비록 상하수도 서비스 민영화가 지역독점 인정, 공공분야 부실경영의 국민에 대한 책임전가, 독점으로 인한 과다 이익 발생 등 많은 문제점이 노출되었지만 신설된 규제기구와 제도, 환경청의 효과적 견제와 협조 등으로 수자원관리에 전반적으로 긍정적 효과를 가져왔다고 할 수 있다.

(나) 프랑스

- 현재 프랑스 수자원관리체계는 1964년 물법 발효로 유역통합수자원관리가 시행된 이래 중앙정부 내에서의 조직개편과 각 유역 환경규제를 담당할 환경과를 신설하는 등 중앙과 지방의 수자원관리체계의 변화가 있었고 중앙과 지방을 연결하는 주요 구심점으로 6개 유역에 설치된 유역위원회와 유역관리공사가 기술 및 재정지원을 하면서 수자원관리체계를 운영하고 있다. 또한 각 지방자치단체(Commune)는 상하수도 서비스를 위해 민간회사와 계약을 맺고 여러 가지 형태로 사업을 진행하고 있으며, 중앙에서는 환경부 및 전국수자원위원회 이외에 내무국내 치안부, 보건가족부, 경제재무산업부, 그리고 농업수산부가 물 관련 업무에 관여하고 있다.

- 유역기반 통합수자원관리

- 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. 이웃 영국의 유역통합수자원관리체계와 비교한다면 영국은 1973년 물법개정으로 유역관리청 설립 및 1989년 상하수도 서비스 민영화 및 환경청 설립 등에서 볼 수 있는 바와 같이 중앙정부의 강력한 통제와 규제 하에 유역통합수자원관리가 실행되었다. 여기에 비하면 프랑스는 비록 1964년, 1992년 물법개정을 통해 유역통합수자원관리체계가 세워졌다고 하나 전통적인 중앙-지방간의 정치, 경제, 사회적 갈등요소를 줄이고 그 차별성을 인정하여 유역위원회와 유역관리공사라는 중간 매개체를 설치, 서로간의 균형을 잘 유지하고 지방특색을 인정, 수자원관리의 지방주도권을 인정하는 형태로 체계를 갖추었다고 할 수 있다.
- 현재 프랑스 수자원정책의 주요 주체는 중앙정부, 6개 유역에 설치된 유역관리공사 및 전국수자원/유역위원회, 지방자치단체 및 상하수도 민간 사업자

를 들 수 있다. 프랑스 유역통합수자원관리체계는 1964년 최초로 주창된 이래 네 주체가 서로 유기적 협조와 견제 하에 중앙정부의 통제와 지방정부의 자율성을 최대한 보장하면서 비교적 성공적으로 운영되어 왔다. 그리고 30여년이 지난 1992년에 유역기반 수자원장기종합계획(the Schemas Directeurs d'Amenagement et de Gestion des Eaux, SDAGE)과 지역기반 수자원관리개선계획(the Schemas d'Amenagement et de Gestion des Eaux, SAGE)을 수립, 수질 및 수량에 대한 관리 및 공급능력 향상을 추구하였다. 현재 프랑스의 유역통합수자원관리 모델은 세계 여러 국가의 유역기반 통합수자원관리 모델 중 가장 성공한 모델 중 하나로 평가받고 있다. 프랑스 정부는 프랑스식 유역통합수자원관리 모델 홍보와 수자원관리의 주요 주체 중 하나인 민간사업자(Veolia, Ondeo 등)의 해외진출을 강화하기 위해 국제 유역네트워크(International Network of Catchment Area RIOB)를 1994년에 결성, 42개 국가 102개 유역관리기관과 협력하고 있다.

(다) 독 일

- 독일 수자원관리체계는 연방정부의 대체적인 가이드라인 제시 속에서 주 단위 별로 각 지방자치단체가 이수, 치수, 수질 및 하천환경 등 모든 수자원관리부문에 있어 실질적 시행을 하고 있다. 연방정부차원에서는 환경자연보호해안전부의 수자원국을 중심으로 하여 소비자보호식품농업부, 교통건설주택부, 경제기술부, 내무부 및 보건부가 수자원관리에 부분적으로 참여를 하고 있으며, 독일연방 전반의 환경보호와 규제, 관리에 관련하여서는 연방환경청이 수자원 및 환경관련 기준을 제시하고 주 정부의 환경관련 부서와 협력하고 있다. 16개의 주 정부에서는 주 합동 물위원회라는 독립자문기구를 통해 수자원관리 및 법제관련 자문을 받고 있고 수자원관리의 실질적 시행주체인 시, 군정부에서는 수자원전반에 대한 관리와 사업실시를 하고 상하수도 공급에 있어서는 수많은 민간기업 혹은 민관합작기업을 통해 서비스를 실시하고 있다.

- 지자체 주도 민관합동 수자원 관리

- 독일 수자원정책의 수립과 집행에 있어서 실질적인 집행기관은 주 정부 하부기관인 지방자치단체이다. 지방자치단체는 각 지역 실정에 맞는 수자원관리계획을 수립하고 시행하는데 주목할 점은 지방자치단체의 수자원정책 실시에 있어 견제 및 보완역할을 하는 일반시민이 주축이 된 단체가 존재한다는 사실이다. 이들은 20세기 초에 생겨난 물소비자협회이며, 과학, 환경, 기술 등에 전문적인 지식을 갖춘 전문가협회 역시 각 지역의 수자원정책 수립에 많은 기여를 하고 있다. 물소비자협회는 지주, 회사, 또는 공사

와 같은 다양한 이익집단에 의해 조직될 수 있으며 그 지역의 수자원을 이용하는 소비자들의 권익을 대표한다. 이 협회는 영국의 물소리위원회(WaterVoice Council)와 같이 중앙정부에서 직접 조직한 것이 아니라 각 지역에서 자연적으로 지역이익 보호를 위해 설립된 것이다.

- 물소비자협회는 20세기 초 처음으로 그 지역 주민들에 수도요금을 부과하여 하천이 오염되지 않도록 주의를 환기시키는 역할을 하기도 하였다. 전문가 협회는 기술기준, 관리규칙 및 가이드라인 등을 설정할 때 지방정부에 자문을 하며, 기준설정 시 필요하면 공청회를 열기도 한다. 결국 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.
- 지역단위의 수자원관리를 중심으로 하는 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. 독일의 수자원관련 민간 기업들은 위와 같은 작은 규모 지방자치단체의 상하수도 서비스 공급을 주로 해 왔기 때문에 영국 및 프랑스 수자원기업들과 달리 큰 기업으로 성장하지 못하고 아직까지는 주로 독일 국내에서 사업에 참여하고 있다.

(라) 기타 국가

- 덴마크와 헝가리는 전체 용수이용량의 81.9%~99.4%를 지하수로 이용하고 있으며, 프랑스, 독일, 벨기에 및 네델란드는 60% 이상, 오스트리아, 이탈리아 및 포르투갈은 50% 이상, 기타 스페인, 스웨덴 및 영국은 20% 이상으로 지하수가 핵심 수원이다.
- 오스트리아의 경우 지하수 관리는 민법에 의하고 있고, 이 민법에는 지하수 소유권에 대한 특별한 규정이 없으나, 1959년 수자원법이 제정된 이후 지하수는 “토지 소유자에 속하고” 법이 허용하는 한도 내에서 재산으로 사용할 수 있다고 명시되어 있다. 특히, 지하수에 대한 재산권 행사는 공공이익에 한 하도록 제한될 수 있다.

○ 지하수 지열 이용에 대한 외국 정책

- 미국의 경우 대부분의 주가 지열시스템 관련 규제를 마련하였으나, 연방 정부의 공식적인 법안이나 규제는 없다. 수직공의 경우 최소 간격을 5-7m 떨어지게 하는 규정이 있다. 지열 에너지는 경우에 따라 수자원이나 광물자원으로 분류되고 있으나, 온도에 따라 121℃이하인 경우 수자원, 그 이상인 경우 Department of Geology and Mineral Industries가 관여하기도 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.
- 스위스는 지열에너지에 관한 법률을 가지고 있지 않으나 1998년부터 유효한 Water Protection Order가 있어서 지하수 온도차 한계를 3℃로 제한하고 있다(CH-GSchV). 인접한 property 사이 간격은 3-4m, 설비 간격은 5-8m로 권장 및 규정되고 있다. 또한 energy pile과 같은 천부 지열에너지 활용 기술에 관한 Swiss engineer and architect association (SIA)의 기준이 마련되어 있다.
- 스웨덴의 천부 지열에너지 설비는 1980년대 초에 급속도로 증가하여 현재는 전 세계에서 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 간격은 10 m, 인접 설비 간격은 20 m, 식수용 관정까지 30 m 이상 떨어지도록 구체적인 사항이 권장되고 있다(Spiccia et al., 2006).
- 아이슬란드는 지열에너지 활용에 적합한 지질 환경을 갖추고 있어서 가정용 난방, 온실, 어업 등 다양한 분야에서 에너지 수요의 88%를 지열로 충당하고 있다. 그러나 천부 지열에너지 활용에 관해서는 어떠한 법률도 없다.
- 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. 두 개의 지중열교환기 간격은 5-10 m, 지중열교환기와 property 간격은 3-5 m로 권장하고 있다(Kubert et al., 2009). 개방형에 관해서는 2009년 처음으로 가이드라인이 제시되었으며 차가운 물 plume의 길이를 계산하는 분석해를 포함하고 있다(Bauer et al., 2009). 기술적인 가이드라인인 VDI 4640은 최대 온도 권장값(개방형의 경우 20℃) 및 온도차(폐쇄형 11-17℃, 개방형 6℃)에 대해 명시하였다.

표 2.6 외국의 천부 지열에너지 활용에 관한 법률 (Haehnlein et al., 2010)

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

표 2.7 폐쇄형시스템의 지중열교환기 냉매에 관한 기술적 온도 한계 (Haehnlein et al., 2010)

Country	Temperature difference [K]	Temperature maximum [°C]	Temperature minimum [°C]
Austria	±15	35	0 ^a /–5 ^b
Denmark	–	25	2
Germany	±11 ^a /±17 ^b	–	–

^a With weekly mean load.

^b With peak load.

표 2.8 개방형 시스템에서 지하수 온도 한계 (Haehnlein et al., 2010)

Country	Temperature difference [±K]	Temperature maximum [°C]	Temperature minimum [°C]
Austria	6 ^a	20 ^a	5 ^a
Denmark	–	25 ^a	2 ^a
France	11 ^a	–	–
Germany	6 ^b	20 ^b	5 ^b
Great Britain	10 ^b	25 ^b	–
Liechtenstein	–3/+1.5 ^a	–	–
Netherlands	–	25 ^a	5 ^a
Switzerland	3 ^a	–	–

^a Legally binding.

^b Recommended.

표 2.9 폐쇄형, 개방형 시스템에서 설비 간 최소 간격에 관한 권장사항 및 규정(Haehnlein et al., 2010)

Country	Closed systems	Open systems	Legal status
Austria	2.5 m to the next property line	-	Recommended
China	3-6 m to the next BHE	-	Recommended
Czech Republic	5 m to the next property line	5 m to next property line	Legally binding
Denmark	300 m to drinking water well	-	Legally binding
Finland	30 m to all wastewaters, 20 m to the onsite wastewater treatment system, 5 m to the sewers and water pipes, 20 m to the dug or energy well, 40 m to the bored well, 3 m to the next building, 10 m to the next property line	-	Recommended
Germany	5 m to the next property line, 10 m to the next installation	-	Recommended and state specific
Greece	-	5 m to the neighboring buildings, 20 m to the next power line	Legally binding, if included in permission
Liechtenstein	3 m to the next property line, 6 m to the next installation	-	Recommended
Sweden	10 m to the next property line, 20 m to the next installation, 30 m to the next drinking water well	10 m to the next property line, 20 m to the next installation, 30 m to the next drinking water well	Recommended
Switzerland	3-4 m to the next property line, 5-8 m to the next installation	-	Recommended/Legally binding

(3) 외국의 연구 정책 현황

- 미국지질조사소(USGS)에서는 향후 연구 전략 변화에 결정적인 원인 제공자는 바로 기후 변화로 보고 있으며, 기후 변화에 대처하는 다양한 연구 방향을 제시하고 있고 다학제 분야의 연구들이 통합적으로 연계하여 시너지 효과를 발휘토록 추진하고 있다. IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 2007년 4차 평가 보고서에 의하면, 1750년 이후 인간의 활동에 의하여 지구 온난화는 명확해지고 있다고 밝히고 있다. 지구 공기와 해양 온도의 상승, 눈과 얼음의 광범위한 해빙, 해수면의 상승, 강우량의 변화, 해수 염도의 변화, 바람의 패턴 변화와 극한 기상의 발생 등이 관측되고 있다고 한다(Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007).
- 미국 본토의 경우에도 지난 50년간 지속적인 온난화가 있어 왔음을 보여준다. 미국 서부 지역의 경우, 강설의 양이 줄고 강우로 바뀌었으며 봄의 해빙 시기가 빨라지고 봄 기간의 눈이 쌓인 평야의 면적이 줄었으며 식생의 신록 현상이 빨라지고 있다(Knowles and others, 2006; Stewart and others, 2005; Mote, 2003; Cayan and others, 2001). 미 북동부 지역에서도 유사한 수문기상학적 특성이 나타나는데, 100년 전에 비하여 눈의 해빙 시기가 1~2주 정도 빨라졌다(Hodgkins and Dudley, 2006; Huntington and others, 2004).
- 2005년 8월 29일 허리케인 카트리나(Katrina)는 자연 재해의 위험성을 보여주었으며, 이는 토지 형태의 변화, 퇴적물의 증가, 운하의 기능 마비, 빌딩의 침수, 교통수단의 악화 등을 발생시켰다. 남부 캘리포니아 지역의 경우 과거 수십년 동안 지진, 홍수, 가뭄, 산사태 등 자연 재해로 30억불의 손실을 보고 있다.

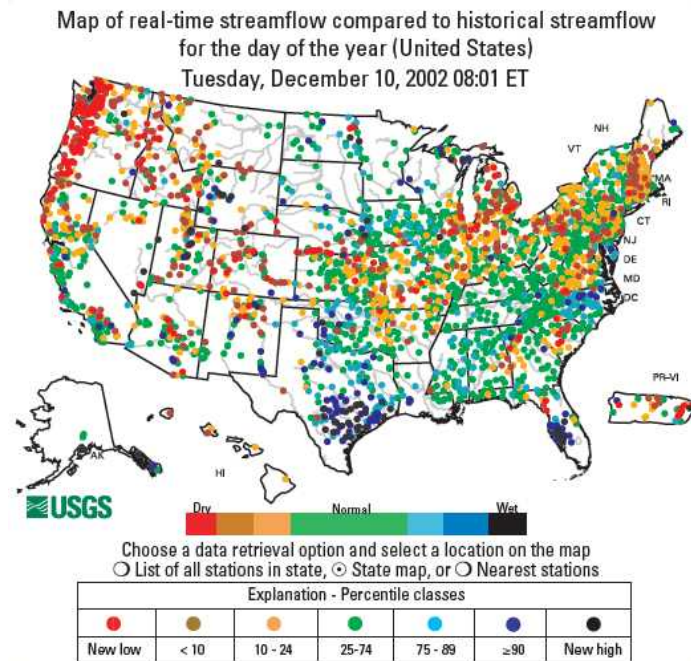


그림 2.4 미국의 Water Watch를 통한 수문자료 제공

- 미국 지질조사소는 현재 및 미래의 물 수요와 가용성을 평가하고 정량화 하기 위하여 새로운 분석 기술을 개발할 것이다. 이를 위하여 주요 수계 및 대수층을 대상으로 체계적인 조사 분석을 통하여 담수의 공급과 수요에 대한 체계적인 자료를 구축하게 된다. 또한, 국가의 주요 대수층과 수계를 대상으로 지질학적 및 지형학적인 구조를 정의하고 도면화하기 위하여 보다 개선된 방법들을 개발 적용하게 된다. 이들 제반 자료를 활용하여 미래의 환경 및 인간이 필요로 하는 물 사용량의 현실성 있는 추정 기법 개발을 이끌어 낼 것이다.
- USGS에서 중점을 두고 있는 물 센서스 연구의 가장 핵심적인 요소는 전국 수계 및 대수층을 대상으로 하는 물수지 모델의 개발로서 대수층 및 수계로 출입하는 물의 변화 상태 및 물 이용 상태를 예측하게 한다. 이와 같은 통합적인 물수지 모델의 개발은 기초 자료의 조사 및 DB 구축과 GIS 등을 활용한 도면화 작업이 선행됨으로써 가능할 것이다. 이 과정을 통하여 수계와 대수층내의 물의 이동에 있어서 환경적 요구량과 토지이용 및 지표피복 특성 사이의 상관성을 보다 잘 규명할 것이다.
- 또한, 특정 용도에 필요한 가용 수자원량은 목표 수질과 직접 연관성이 있다. 수계와 대수층은 음용수로 부적합한 수질을 포함할 수 있으나 관개, 산업용, 전력용, 환경 용수 등과 같은 타 용도로 사용가능한 경우가 있다. 이와 같은 과거에는 무시되었던 물의 재 이용 배분에 대한 사항도 물 센서스에 포함되어 미래의 가용 수자원

량의 확보에 기여할 계획이다.

- 궁극적으로 미국의 물 센서스는 일반인과 의사결정자에게 담수자원의 양, 질 및 이용에 관한 판단을 가능하게 할 것이다. 예를 들면, 대수층 특성 규명은 지하수의 과다 양수에 따른 지반 침하에 노출되는 위험성과 가용한 물 저류량을 정확히 알게 해 줄 것이며, 수계내의 잘 정의된 지형학적 묘사는 강우-유출 모형의 발전을 가져오고 이로부터 함양량, 유출량 및 홍수 등의 예측을 보다 정확하게 할 것이다. 가뭄과 관련된 기후 변화에 대한 연구는 가뭄의 주기, 규모 및 기간 등을 보다 잘 이해하게 되고, 아울러 수질 DB 및 분석 자료를 통하여 일반인의 물에 대한 정보 욕구를 충족시키게 될 것이다. 생태와 관련해서는, 야생종이 필요로 하는 물의 양과 질을 이해함으로써 동물 기원의 질병이 어떤 경로로 전파되는지를 이해하고, 지표상에서의 물의 변화가 야생의 분포에 어떻게 영향을 미치게 되는지를 알게 된다.
- 미국 지질조사소에서는 물센서스를 성공적으로 수행하기 위하여 다음과 같은 연구 방법들을 제시하고 있다.
 - 생태계가 변화하는 환경에 대처하기 위하여 필요로 하는 것(물의 양, 질 및 적절한 시기 등)이 무엇인지 잘 정의하여야 한다. 개별 생태 종, 종의 집단 및 기타 생태계 기능 유지를 위하여 필요한 물리적 서식환경 등에 대한 연구가 수행된다.
 - 인간과 생물종이 필요로 하는 물의 양, 질 및 이용량에 대한 상태를 명확히 규명하고 추세를 파악하기 위한 시계열 자료의 수집능력을 확보한다.
 - 토지이용과 지표피복 특성이 물의 양, 질 및 이용 특성과 어떠한 관련성이 있는지를 규명하기 위하여 전국에 대한 토지이용과 지표피복 특성의 변화를 지속적으로 파악, 공포하고 도면화 하여야 한다.
 - 지구물리적 방법 및 위성영상 기법 등을 이용하여 미국 전역에 대한 물 저장량의 변화, 대수층 및 수역의 물 보유 능력의 변화 뿐 아니라 수역 자체, 지질 및 지구화학적 특성을 보다 잘 정의하여야 한다.
 - 기존의 수역 및 지하수 모델을 재정립하여 각 시스템간의 상호 연관성을 보다 잘 반영하고 불확실성을 보다 잘 묘사하며 수문순환계에 있어서의 변화를 예측할 수 있는 새로운 모델링 기술을 구축하여야 한다.
 - 보다 나은 물 센서스를 기획하고 시행하기 위하여 각 지방 정부, 주 정부, 중앙 정부 및 기타 연방 기구 간의 협조체제를 강화해야 한다.

2. 국내외 경제동향 및 분석

가. 시장환경

- 국제적인 물 시장의 규모는 점차 증가하고 사업 특성도 변화하고 있다. 지구는 지표면의 70.9%가 물로 채워져 있지만 인간이 손쉽게 이용할 수 있는 물은 전체의 0.01%에 불과한 실정이다. 그러나 이중에서 지하수 등은 0.76%로서 하천과 호소에 비하여 매우 많은 양을 차지하고 있다. 물론, 가용한 지하수체의 범위가 깊이에 따라 제한적이긴 하나 지표수 보다 풍부한 양을 갖고 있다. 이와 같이 가용할 수 있는 수자원도 지역이나 시간 등에 따라 편중되어 있어 사용에 제약을 받고 있으며, 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 지난 20세기에 안정적 물이용을 위한 댐이나 광역상수도, 지방상수도 등과 같은 수자원 인프라 구축을 지속적으로 추진해 왔다. 그러나 최근에는 물의 수출입이 산업으로 등장하면서 농산물, 축산물, 공산품 등에 사용되는 국내 및 국제 무역 등을 통한 물의 이동과 분배가 현실이 되고 있다.

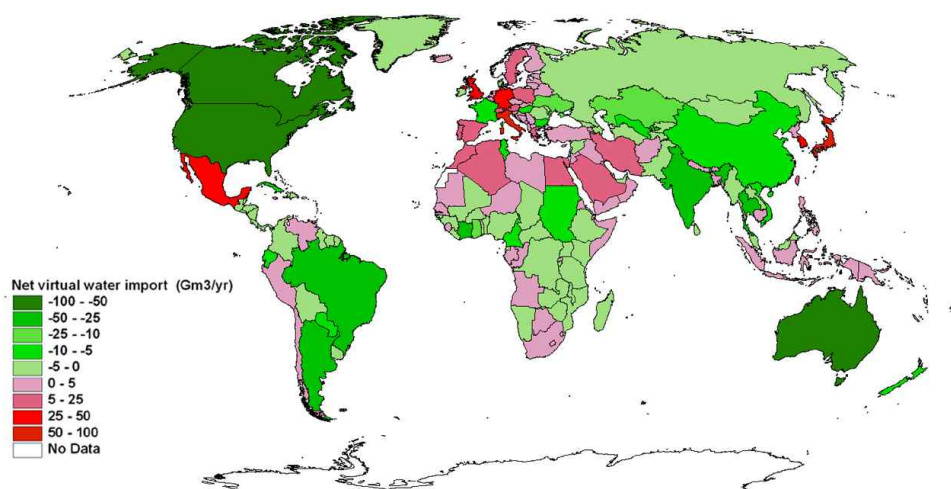


그림 2.5 1997년부터 2001년까지의 전 세계 물의 이동 현황

- 세계는 물 부족, 기후변화 등과 같은 요인으로 지속적인 성장에 필요한 물의 확보가 절실해지고 있다. 최근 국제적인 물 산업 관련 동향은 미래 물 시장을 염두에 둔 새로운 개념의 정립 하에 추진되고 있다. 기존에는 먹는 물을 위한 수처리 등의 국한된 정의에 기반하였으나 기후 변화 등의 요인에 의하여 통합 유역 관리, 수력 에너지 및 친수환경 등이 복합적으로 도입되는 개념이 요구되고 있다.

- 기존의 물 산업 형태 : 상·하수도 + 대체수자원(지하수 등)
- 새로운 물 산업 형태 : 통합유역관리 + 상·하수도 + 물공급 안정성 확보

- 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.



그림 2.6 세계 물 산업의 규모 (2009년)
(출처: SAM, GE, Global Water Intelligence 등)

- 물 산업 시설의 운영관리 규모의 증가세도 뚜렷할 것으로 전망되고 있는데, 2007년 기준 연간 1,930억 달러 규모(공공 부문)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.
- 향후 새로운 개념의 물산업이 보다 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 (OECD(2006), Infrastructure to 2030 Vol. 1).

표 2.10 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.

- 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 전력 인프라나 1조 4,400억 달러인 원자력 발전 인프라에 비하여 매우 큰 규모에 해당한다 (Booz Allen Hamilton(2007), Lights ! Water ! Motion!). 특히, 아시아 및 오세아니아 지역에서의 물 산업 규모는 전체의 약 40%를 차지할 것으로 전망되어 이들 지역을 대상으로 하는 우리나라의 물산업 수출 산업 규모도 급격히 증가할 것으로 예상된다. 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.

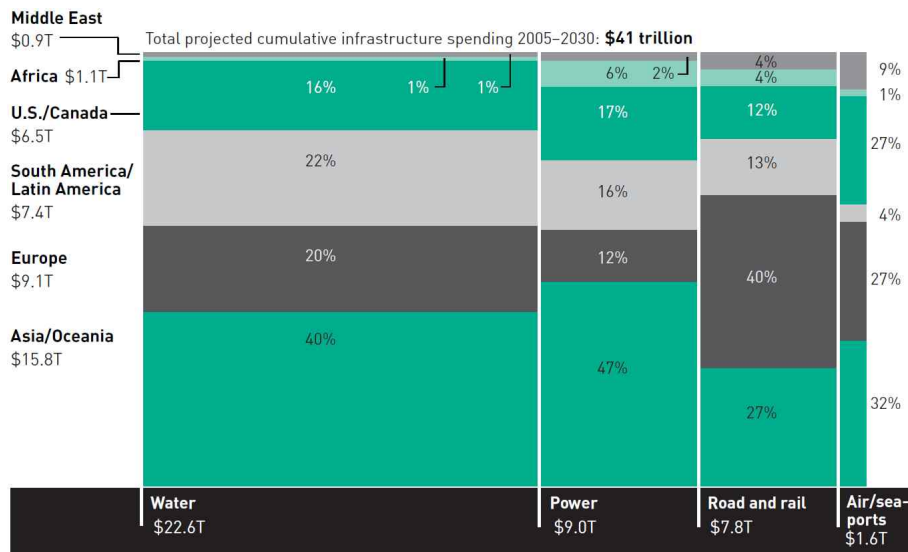


그림 2.7 2005년부터 2030년까지의 세계 물 산업의 전망

- 맥킨지와 컴퍼니(2009)에서는 최근까지 상하수도 중심의 물산업이 주로 진행되어 왔다면, 향후에는 수자원 확보 관점에서의 물 산업이 활성화 될 것으로 전망하고 있다. 기후 변화와 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 이르는 것으로 나타나고 있다.

2007 expenditures, USD billion

Category of expenditure	Sub-categories	Traditional water view ¹		Development aid ² view		Water resources view (this report)	
		Capital	Operating	Capital	Operating	Capital	Operating
Non-consumptive resource management	Dedicated hydropower dams			7			
	Hydropower generation technologies						
Upstream resource abstraction	Dedicated flood control infrastructure						
	Watershed management						
Agriculture	River restoration / protection						
	Desalination plants	12		33		40-45	
On-farm use	Multi-purpose dams/reservoirs						
	Wells, groundwater abstraction						
Industrial	Irrigation system rehabilitation						
	Irrigation system development						
Downstream water supply & sanitation	On-farm/irrigation technology (e.g., sprinklers)	9				10-15	
	Yield-increasing practices (e.g., no-till)						
Institutional support	Yield-increasing inputs (e.g., fertilizer)					*	
	Water treatment	24		~ 7			
Sanitation & treatment	Wastewater treatment						
	Water treatment plants, technologies						
Distribution & use	New distribution networks (urban)						
	New distribution networks (rural)			13			
Sanitation & treatment	Existing distribution network rehabilitation	430					
	Packaged water						
Sanitation & treatment	End-user technologies (e.g., plumbing fixtures)						
	Sewer networks			14		10-15 ³	
Sanitation & treatment	Wastewater treatment						
	Wastewater re-use						
Institutional support	Other sanitation			1			
	Capacity building; institutional support						
Total		~485		~75		70-90	

1 Included when specifically relevant to increasing potable supply for consumptive reuse; estimated at 10% of total wastewater treatment

2 Data from 2007, Global Water Intelligence Market Report 2008

3 Data from Camdessus/GWP 2002

* Not estimated

SOURCE: 2030 Water Resources Group

그림 2.8 2007년 상하수도 및 수자원 확보 분야 등의 투자 현황

- 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.
- 이와 같은 물 산업의 규모의 증가는 현재의 낮은 상수도 보급률의 개선과 관련이 된다. 현재 개발도상국 등 상수도 보급이 되지 않는 지역이 많이 존재하는데 전세계 인구의 84% 만이 상수도 혜택을 받고 있다. 20세기 산업화에 따라 도시화, 토지 피복 변화 및 강우 강도 등의 변화는 홍수에 더욱 취약한 환경을 발생시키고 있고 1950년대 이후에는 전 세계적인 홍수의 발생이 빈번해지고 있는 실정이다. 반면에 하천 생태 환경은 더욱 악화되는데 취수량의 증가와 오염원의 증가는 수자원과 수생태계의 건전성을 크게 훼손하고 있어 오염을 가속화시키고 있다. 오염물질 유입량 증가와 퇴적 등에 따른 하천의 영양염은 증가하고 있으며 유럽의 경우 하천살리기를 통하여 오염을 다소 감소시키고 있는 실정이다. 이와 같이 하천을 살리기 위한 환경용수의 확보는 절실한 상태이며 이를 위한 물 확보 기술의 개발이 시급히 요구되고 있다.

표 2.11 아시아 지역 대형 수자원 프로젝트 현황

유 형	신규 사업의 형태
수자원 개발 + 광역상수도	- 말레이시아 Pahang-Selangor 광역상수도 사업 - 쿠알라룸푸르 지역 물부족 해소 - 태국 Mega Project - 수자원 개발, 광역상수도 설치, 물공급 시스템 확대 및 개선 등 다양한 형태의 물사업 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 홍수피해 경감 및 친수환경 조성 - 말레이시아 Pahang 강 종합개발사업 - 홍수피해 경감, 용수공급시설 확보, 주운개발 등 - 베트남 두옹강 개발사업 - 주운 하도정비, 갑문 및 선착장 설치 등
해수 담수화 + 대수로 건설	- 요르단 해수담수화 및 사해 물공급 대수로 사업 - 홍해 바닷물을 끌어와 담수화 처리를 통해 생활용수로 사용하고, 배출수를 사해 유지용수로 공급
수자원 확보 + 수력발전	키르기스탄, 타지키스탄, 중남미 지역

- 하천의 건천화는 하천주변 지하수위가 낮아져 지속적인 손실하천의 특성을 유지하면서 생성된 것이다. 따라서 하천 건천화 방지 기술 및 저하된 하천변 지하수위 상승 프로그램 구축을 통하여 전국의 하천 건천화 방지 및 지하수-지표수 연계 기술의 실용화를 추진하며, 각 지자체를 중심으로 청계천과 같은 도심지 생태하천 건설 시장 등 다양한 부대효과를 가져와 직·간접적인 경제효과를 기대할 수 있다.
- 하천 복원과 지하수 복원을 위해서는 하천변 지하수 시설에 대한 체계적인 설계 및 시공관리가 수행되어야 하며, 이는 곧 수변에 분포하는 수십만공 이상의 지하수 관정에 대한 전면적인 현황 파악 및 재개발 등을 촉진시켜 지하수 분야 활성화를 가져오고, 직접적인 경제 파급 효과를 얻을 수 있다.
- 국내 물산업의 규모는 2007년 현재 약 12.6조원으로서 세계 8위에 해당한다. 이 중에서 상수도 시장과 관련된 산업이 전체의 85%를 차지하고 있으며 세계 물산업에서 우리나라가 차지하는 시장 점유율은 2.1%에 불과한 실정이다. 현재 정부에서는 물산업 육성을 통하여 2020년에 20조의 산업 규모를 목표로 시장을 전망하고 있다.

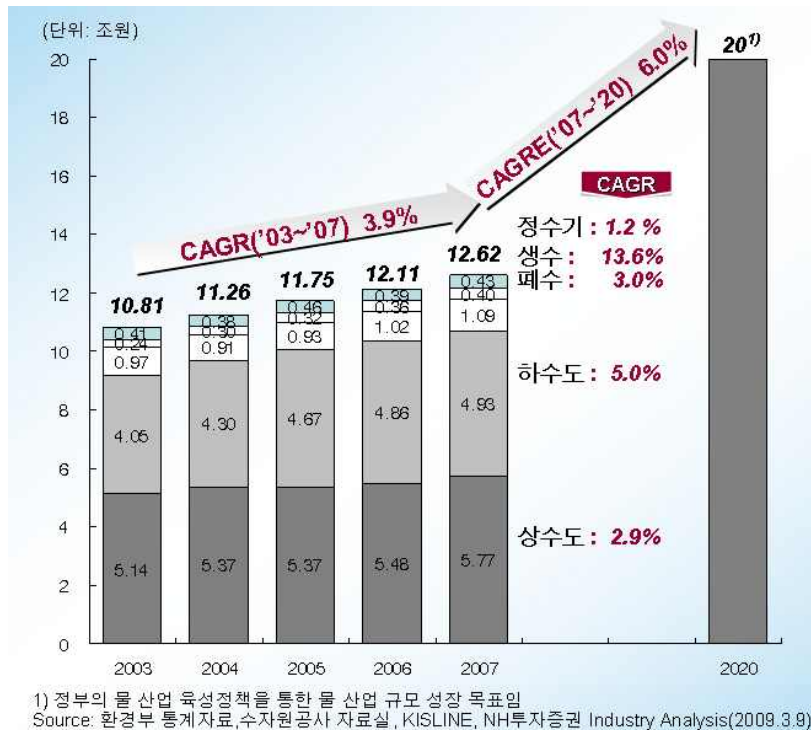


그림 2.9 국내 물산업 현황 및 전망

- 그러나 현재 국내 상하수도 사업 분야는 신규 건설 사업보다는 유지관리 사업 시대로 접어들고 있어 정부에서 목표로 하는 20조원 달성을 위해서는 지속적인 해외시장 개척이 필요하다. 향후 유지관리비용은 일정 수준을 유지하면서 약한 증가세를 보일 수 있으나 신규 건설비는 현저히 줄어드는 것으로 전망되며 산업의 지속적 증가를 위해서는 해외시장 개척과 신규 내수시장의 창출이 요구된다. 특히, 국내 수도 산업은 낮은 물값으로 인하여 영세성을 면치 못하고 있으며 이는 물산업 경쟁력 강화에 저해 요인으로 작용하고 있다. 국내 수도요금은 주요국 평균의 1/3 수준으로 생산원가에 미치지 못하고 있으며 생산원가를 확보할 수 있는 기술 개발과 수원 확보가 필요하다. 즉, 인공함양과 고효율 강변여과 개발 기술과 같은 보다 많은 수량 확보, 수질처리 비용 절감 등의 효과를 얻을 수 있는 추가 기술의 확보가 요구된다.
- 해외 시장 개척을 위하여 꾸준히 증가세가 유지되는 건설 시장과 연계한 물 산업의 진출을 모색하고 있으나 관련 기관간의 협력은 여전히 초보적 단계에 머무르고 있다. 물시장의 특성상 국내 개별 기업의 부문별 강점만으로는 해외 진출에 한계가 있어 수주 경쟁력 저하는 물론 고부가 가치 실현에도 어려움이 따르고 있다. 앞으로의 물 산업 분야 해외진출은 보다 다양한 분야에서 이루어져야 한다. 그 동안 시공 및 건설 분야의 물산업에 집중되어 왔으나 앞으로는 운영관리를 포함하는 Total service 기술의 수출이 필요하다. 2007년부터 2009년까지 물 산업의 대규모 해외사

업 진출 가운데 시설 및 건설 분야는 계약액 기준으로 88.5% 정도이나 운영 관리 분야는 진출 실적이 매우 미미한 상태이다.

- 지표수 수질과 수돗물에 대한 일반 국민들의 인식이 좋지 않은 상황에서 각 지자체가 추진하고 있는 강변여과수 등을 활용한 간접취수 방식이 큰 호응을 받고 있는 실정이며, 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 필요하다.
- 표 2.12는 낙동강 지역에 진행 중이거나 설치가 완료된 강변여과 취수 시공 현황을 나타내었고, 표 2.13은 국내의 강변여과 개발 사업을 나타내었다.

표 2.12 국내 낙동강 유역 강변여과수 취수시설 시공 현황

지역	시설용량	설치연도	사업비
창원시 대산면(1단계)	60,000m ³ /일	2005	725억원
함안군 칠서면	20,000m ³ /일	2004	174억원
김해시 생림면	180,000m ³ /일	시공중	670억원
창원시 대산면(2단계)	60,000m ³ /일	시공중	730억원

표 2.13 국내 강변여과 개발사업

(단위 : 백만원)

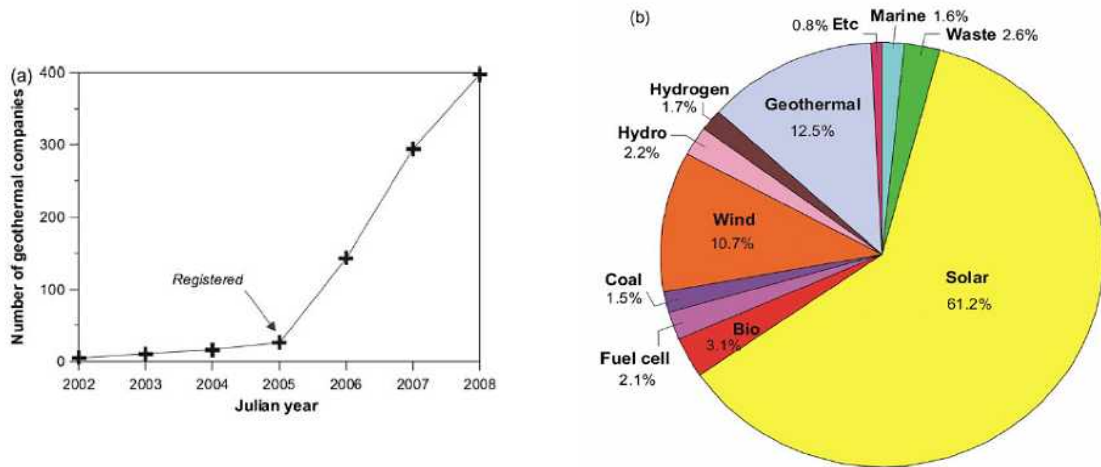
위치	사업명	시설용량 (톤/일)	사업기간		총계	국고	지방비	비고
			착수	완공				
낙동강유역	강변여과수 타당성조사	2,000	—	—	—	—	—	—
충남 연기군 미호천	강변여과수 타당성조사	pilot plant	—	—	—	—	—	—
금강 부여	강변여과수 타당성조사	pilot plant	—	—	—	—	—	—
영산강 중하류	강변여과수 타당성조사	약 94,500	—	—	—	—	—	—
창원시	강변여과수 2단계	60,000	2006	2011	4,000	2,000	1,000	진행중
김해시	강변여과수	180,000	2006	2009	2,000	1,000	1,000	진행중

- 환경부의 환경백서 2009년에 따르면 현재 진행되는 강변여과수 개발 계획은 총 5개소이며, 두 개의 사업으로 나누어져 2,647억원과 1,063억원의 총사업비를 예정하고 있다.

표 2.14 강변여과수 개발 계획(환경부)

개소수	시설용량 (천톤/일)	총사업비	2008년 이전	2009년	2010년 이후
5	336	2,647억원	1,297	200	1,150
		1,063억원	432	100	531

- 강변여과 방식으로 취수할 경우, 정수장 슬러지 발생 감소와 정수용 약품 투입 감소 및 원수 구입비용 절감을 통하여 상당히 큰 경제적 이익이 창출될 수 있다. 일반적인 지표수 취수를 하고 있는 현재 상수도 공급여건을 고려해 볼 때, 강변여과수를 이용한 취수원변경이 전국 지자체 별 수도 생산원가를 낮추는 데에 기여할 것으로 전망된다.
- 지하수가 풍부하고 수위가 연중 일정수준으로 유지되는 하천변의 충적층과 강변여과수 등과 같은 상수 원수의 수온차를 이용한 지열 에너지 자원 활용은 기존에 설치된 시설을 활용할 수 있기 때문에 초기 설치비 및 운용비의 절감이 가능하고, 지열에너지 활용의 효율을 현격하게 증대시킬 수 있다. 그러나 현재까지 국내에서는 이와 관련된 연구가 전무한 실정이다.
- 친환경적이고 비용효율적일 뿐 아니라, 이용하는데 있어서 시간과 장소에 크게 구애받지 않는 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 수 백 m 깊이 미만의 천부 지열자원을 이용하는 한 방법으로 지열히트펌프시스템(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.



(a) 지열업체 현황 및 추이

(b) 지열업체의 비율

그림 2.10 우리나라의 (a) 연도별 지열 개발 전문 업체의 수,
(b) 신재생에너지 분야 중 지열 관련 업체의 수

- 천부 지열을 열원으로 이용하는 지중열교환기 이용기술이 우리나라에 도입된 시기는 최근 6~7년 전으로, 관련 업체도 10여개에 불과하다. 지열 개발에 필요한 지하수 영향 분석 및 관련 방안 제시, 천층 지열 개발의 표준화를 통한 지하수 열자원 보급을 통한 온실가스 저감 및 저탄소 녹색성장에 대한 국내외 시장여건은 충분할 것으로 판단된다. 최근 들어 정부에서도 막대한 예산을 지열개발 분야에 지원(정부 지원 지열개발 건수 108건, 2007년말)하고 있으므로, 이와 같은 지열관련 기술개발은 경제적 파급효과가 상당할 것으로 기대된다.
- 개방형 지중 열교환기는 폐쇄형 지중 열교환기에 비해 높은 효율성을 가지고 있음에도 불구하고, 최근까지 국내에서는 폐쇄형 지중 열교환기에 대한 연구 및 활용에 치우쳐 왔다. 개방형 지중 열교환기는 폐쇄형에 비해 고효율이긴 하나 설치 지역의 대수층을 비롯한 지하수 환경에 많은 변화가 수반되므로, 국내 수리지질학적 특성에 기반을 둔 지하수 환경 변화 예측 연구를 통해 국내 적용 가능성을 평가한 후 본격적인 도입이 가능하며, 이로 인한 지열에너지 관련 신규 시장이 규모는 막대할 것으로 예상된다.

표 2.15 지열에너지 분야 국내외 시장 규모

(단위 : 백만원)

년도	2009년	2013년	2015년
세계 시장 규모 (지중열교환기)	28,750,000	37,950,000	45,900,000
한국 시장 규모 (히트펌프)	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

표 2.16 국내·외 주요 수요처 현황

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

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

나. 산업구조 및 경쟁력

(1) 지하수 개발이용 분야의 산업 구조

- 국내 갑천의 연구 사례(Kim, 2009)에 의하면, 하천변 지하수 양수에 의하여 갈수기 기저유출의 약 18%가 감소하는 것으로 평가된 바 있다. 또한, 이와 같은 지하수 양수에 의한 하천고갈은 하천변 인근에 위치한 지하수 관정으로부터 대부분 발생하고 있는데, 갑천의 경우는 총 1,949개 관정중에서 71%인 1,381개소가 하천으로부터 300m 이내에 위치하고 있다. 특히 용도별로 하천 고갈에 영향을 미치는 영향 정도를 분석하면, 300m 이내에 위치한 생활용 관정은 전체 고갈의 24.8%, 농업용 관정은 65.8%를 차지하고 있어 하천변의 지하수 관리가 매우 중요함을 보여준다. 이는 곧 현재의 하천 유량 감소가 부분적으로는 지속적인 지하수 개발에 의한 영향이 있었음을 보여주는 것으로서 하천변 지하수의 체계적인 관리, 개발의 제한, 효율적인 이용 등에 대한 기준이 정립되어야 한다.

- 따라서 본 연구과제를 통하여 향후 하천변 지하수 관리 정책이 변화를 가져온다면, 하천변 300m 이내에 위치한 전체 관정의 71% 정도에 대한 관리 시스템의 변혁이 요구된다. 본 연구가 완료되어 지하수와 지하수에 대한 명확한 상호규명이 전제된다면 현재 전국에 분포하는 약 1.36백만개의 관정중 약 71%인 97만개소에 대해서는 보다 체계적이고 효율적인 개발 관리가 따라야 할 것이다. 이를 토대로 향후의 산업 방향을 평가해 보면 다음과 같다.
- 총 97만개소의 관정으로부터의 총 양수량 2,703백만톤을 2/3 정도로 축소한다면 그 양은 1,802백만톤 정도가 되어 지하수 개발에 의한 하천 고갈 영향은 매우 미미해질 것이다. 이와 같은 전제로 새로이 생성되는 산업의 규모를 추정해 볼 수 있다.
 - 부적격 관정 원상복구(50% 원상복구)
 - $97\text{만개} \times 1/2 \times 1,000\text{천원} = 485,000\text{백만원}$
 - 공동 사용 관정 개발 (97천개소 신규 개발)
 - $(97\text{만개} \times 1/2) \times 0.2 \times 50,000\text{천원} = 4,850,000\text{백만원}$
- 본 연구에서 개발되는 수변지역 지하수 개발 최적화 기술, 부적격 관정 처리 기술, 지하수 허가기준량 평가 기술, IT 관측 기술 등은 상기 산업의 이행을 위하여 반드시 필요한 기술이며, 이를 통하여 궁극적으로는 중소하천의 유량을 증대시키는 효과를 극대화하고 이상 가뭄 등에 대비한 수자원 확보에 기여하게 된다. 즉, 수자원의 추가 확보 및 하천 고갈 등을 위하여 필수적인 조사, 시공 및 평가 기술에 해당한다.
- 전 세계적으로 하천 고갈 및 편중된 하천 유량 등은 기후 변화와 관련하여 공통적으로 나타나는 현상이나 이에 대한 복원 대책이 부족한 실정이다. 게다가 과도한 지하수 이용은 갈수기의 하천 기저유출을 감소시켜 수자원 부족을 초래하고 있는데 본 연구에서 개발되는 수변지역 지하수 최적화 평가 및 개발 기술은 이들 문제를 해결하는 선도적인 기술로 자리 잡을 것이다.
- 한편, 농경지의 변화는 지속되고 있는데, 농업가구의 소득 증대를 위하여 1990년대부터 비닐하우스와 같은 시설 재배가 급증하고 있으며 2000년대 이후에는 일정 수준을 유지하고 있다. 이와 같은 비닐하우스는 지하수 함양을 감소시키고 직접유출을 증가시키는 요인으로 작용하는 바 호우기의 비닐하우스를 통한 유출량을 감소시키고 지하수 충진을 증대하기 위한 함양 설비를 갖추어야 한다. 이와 같은 함양 설비의 설치에 지하수 분야 산업을 활성화시키고 보다 과학적인 물 관리를 가능하게 한다.

- 그림 2.11에서 보는 바와 같이, 2000년대 중반 이후 약 55,000ha의 면적이 비닐하우스 등에 의한 영농활동을 하고 있으며, 이들 면적중 하천변에 위치할 것으로 추정되는 30%에 대하여 함양시설을 설치할 경우 다음과 같이 산업의 규모를 추정할 수 있다.

- 10ha당 1개소 설치시 : 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
 : $1,830\text{개소} \times 30\text{백만원} = 54,900\text{백만원}$

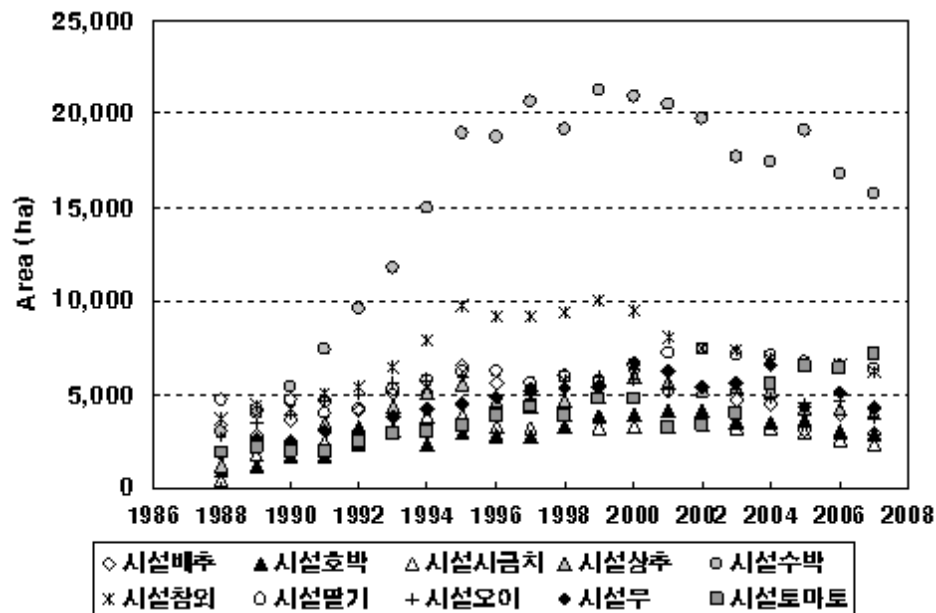


그림 2.11 시설재배 면적 추이

- 이상과 같이 비닐하우스 지역의 함양 증대는 인근 하천의 기저유출 증가에 크게 기여하게 되는데 소규모 함양에 필요한 시공 기술, 평가 기술, 수환경 기술 등은 필수적인 요소로 작용한다. 본 연구를 통하여 이들 기술의 선진화를 달성하고 한국형 지하수 함양 시스템의 구축이 수자원 확보, 하천 고갈 회복 등에 기여할 것이다.
- 세계적으로 인공함양에 대한 기술은 미국 등에서 주로 이루어지고 있으나, 대부분이 대용량 수원 확보나 해수침투 방지를 위한 기술로 활용되고 있다. 그러나 본 연구에서 개발되는 비닐하우스 등 소규모 불투수성 매질 분포지역의 소규모 함양 시설은 우리의 독자적인 기술이 될 것이며 불투수성 매질 분포지역의 지하수 수위 회복에 기여할 것이다.
- 한편, 국내 지하수 개발의 경향을 분석하면, 아래 그림과 같이 지하수 개발 시설,

지하수 영향조사기관, 지하수 시공업체 등의 개수가 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 지하수 개발 시설의 증가세는 2000년대 중반을 지나면서 약간 주춤하고 있는 상태로서 산업의 경쟁력은 더욱 심화되고 있다. 현재 추세를 고려할 경우 2016년의 영향조사기관은 약 613개소, 시공업체는 약 2,764개소 등으로 증가되나 연간 1개 업체에서 영향평가하고 시공하는 관정의 개수는 줄어들어 수자원 확보 관련 개발 산업은 더욱 치열해 질 것이다. 본 연구의 배경이 수변지역 우물 관리를 통한 지표수와 지하수의 수위 복원을 전제로 안정적 수자원 관리 및 확보를 도모하는 것으로서 산업의 안정화가 매우 중요하며, 본 연구는 이들 산업의 안정화에 크게 기여할 것이다.

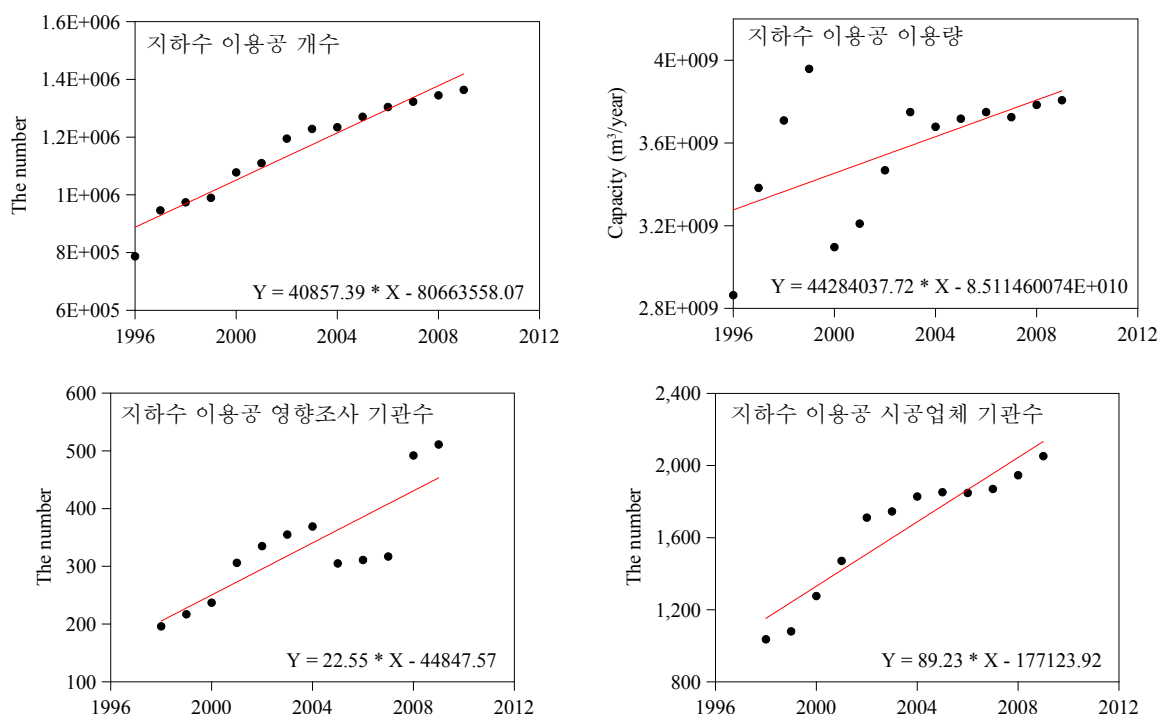


그림 2.12 지하수 산업 현황의 추이

(2) 지질지하수 융합에너지 분야의 산업 구조

- 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.
- 2000년에서 2008년 사이 설치된 지중열교환기의 종류는 폐쇄형이 68.6%, 개방형이

30.5%를 차지하였으며 개방형 중 단일 관정을 사용하는 standing column well(SCW) 방식이 최근 주목을 받고 있다(Lee, 2009). 개방형 시스템이 비중이 적은 것은 양수된 지하수의 재주입에 따른 지하수 수질 관리에 관한 염려 뿐 아니라, 지표 근처 토양이 몇 m 두께밖에 되지 않는 지질환경이 국내에 흔한 이유도 있다.

- 지중열교환기 시스템의 전체 운용 비용 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 306kW, 개방형이 503kW로 개방형이 더 높아서 단일 용량당 비용은 개방형이 더 작게 나타나는 것으로 파악되었다(Lee, 2009). 또한 최근의 기술 발전과 함께 설치 비용은 해마다 감소하여 용량당 비용이 2003년 평균 4,700\$에서 2006년 4,000\$ 정도이다(Lee, 2009).

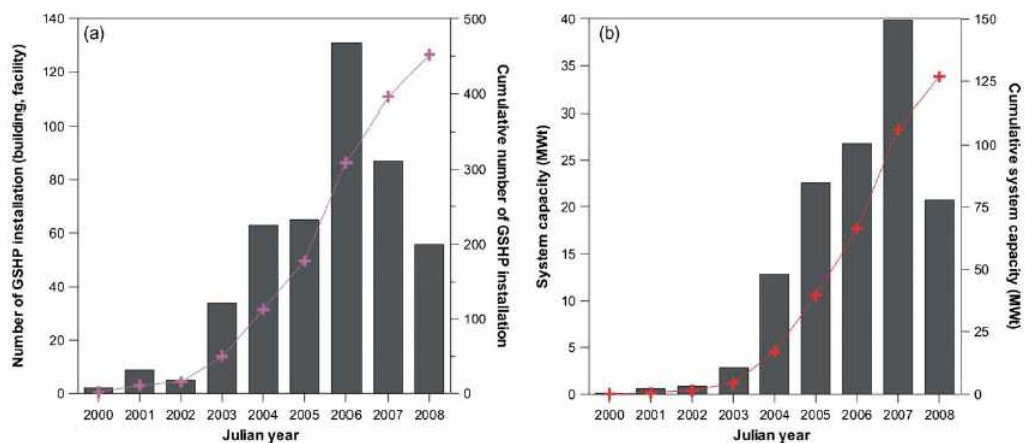


그림 2.13 국내 지중열교환기 시스템의 (a) 시설수, (b) 총 시스템 용량.
(Lee, 2009)

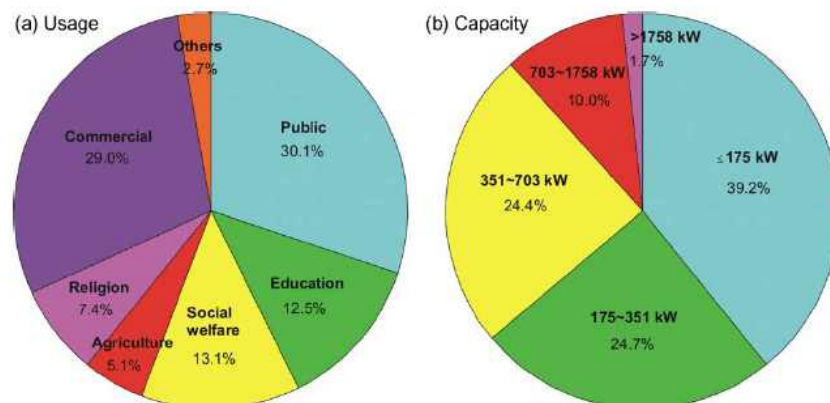


그림 2.14 국내 지중열교환기 시스템의 (a)용도, (b) 설비별 용량 현황
(Lee, 2009)

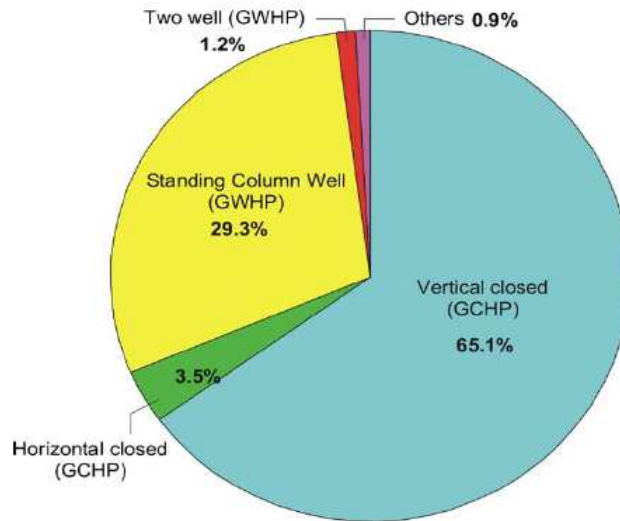


그림 2.15 2000-2008년 우리나라에서 설치된 지중열교환기 시스템의 종류 (Lee, 2009)

표 2.17 우리나라의 지중열교환기 시스템 설치 비용 (Lee, 2009)

GSHP types	Proportion	System capacity (kW)	Total installation cost (\$)
Vertical closed	69.1%	306 ± 208 ^a	370,590 ± 252,220
SCW	30.9%	503 ± 278	582,570 ± 311,270
Total	100%	366 ± 246	434,190 ± 286,200

Source: Ref. [3].

^a Mean ± standard deviation.

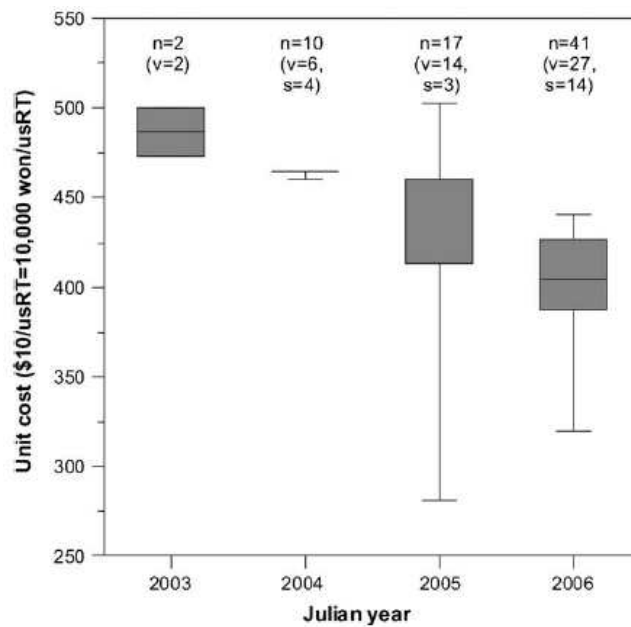


그림 2.16 2003-2006년 지중열교환기 시스템의 단위 용량당 설치 비용 변화.

v: 수직폐쇄형, s:개방형 SCW (Lee, 2009)

3. 국내외 기술개발 동향 및 분석

가. 특허분석

(1) 특허 분석 범위 및 자료 선별기준

- 연구 성과의 파급효과 및 연구의 필요성을 고려하여 3단계로 나누어 특허분석을 수행하였다. 1차로 지하수 자원 확보기술 분야의 기술을 ‘지하수자원 개발 및 인공함양기술과 지하수 오염 방지 및 저감기술’ 분야를 분석하였으며, 2차로 수변지역 지하수의 이용개발에 관련된 인공함양기술 분야, 3차로 지열 기술에 대한 특허 분석하였다.

(가) 지하수자원 확보 기술 분야

- ‘지하수자원 확보 기술’ 분야의 관련기술은 연구 성과의 파급효과 및 연구의 필요성을 고려하여 선택된 2개의 분류 기술 분야를 특허분석 대상으로 하였으며, 2006년 9월까지 출원 공개/등록된 한국, 일본 미국, 유럽(PCT 포함)의 공개특허와 등록특허를 분석 대상으로 함.
- 분석자료 선별기준
 - 지하수 자원 확보 기술에서 지하수 개발과 지하수 오염 방지 및 저감 기술을 위주로 분석데이터를 선별함
 - 청정 대용량 지하수자원 확보 기술에 대한 유효데이터 건수는 1,113건임
 - 한국 : 127건, 일본 : 507건, 미국 : 355건, 유럽 : 124건

표 2.18 지하수자원 확보 기술 분야 특허분석 분류기준

구분	분류	유효자료
지하수 자원 확보기술	지하수 개발 및 인공함양 기술	316
	지하수 오염 방지 및 저감 기술	797

(나) 지하수 인공함양 기술 분야

- ‘지하수 인공함양 기술’의 관련기술은 연구 성과의 파급효과 및 연구의 필요성을 고려하여 선택된 4개 분류 기술 분야를 특허분석대상으로 하였으며, 2009년 12월

까지 출원 공개/등록된 한국, 일본 미국, 유럽(PCT 포함)의 공개특허와 등록특허를 분석 대상으로 함.

표 2.19 지하수 인공함양 분야 특허기술 분류기준

분류기호	분류
A	정호주입식 함양기술
B	지표 침투식 함양기술
C	강변여과식 함양기술
D	지하구조물 활용 함양기술

- 분석대상 특허는 각 분류별 작성된 검색식을 이용하여 WIPS DB에서 총 5,227건을 추출하였으며, 중복특허 제거 후 3,470건에 대한 관련여부 검토를 통하여 최종 유효 분석 대상 특허 1,281건을 선별함.

표 2.20 지하수 인공함양 분야 국가별 분석구간 및 특허건수

자료 구분	국가	전체분석구간	분석대상특허
공개/등록특허 (출원일 기준)	한국	1979 ~ 2009. 12	364건
	일본	1976 ~ 2009. 12	594건
	유럽(PCT 포함)	1978 ~ 2009. 12	103건
	미국	1976 ~ 2009. 12	220건
합계			1,281건

표 2.21 지하수 인공함양 분야 특허분석 분류기준에 따른 기술 내용

분류 기술	기술 내용
정호주입식 함양기술	정호를 통해 수처리된 물을 대수층으로 주입하는 방식으로 정호의 설치 심도에 따른 구분이 가능하고, 지표에 세립질 성분이 우세하여 지표 침투가 곤란한 경우에 활용되며 대수층에 물이 직접 침투하는 관계로 주입수에 대한 엄격한 수질 관리가 요구됨. 주입 정호와 회수 정호를 겸용으로 활용하는 경우 대수층 저장 및 회수 방식(ASR)으로 명명됨. 이에 원수 취수기술 및 수처리기술, 관정주입기술, 지하수 유동 모니터링기술, 지하수 양수기술과 각각 관련된 기술
지표 침투식 함양기술	지표수의 침투가 용이하게 분지, 강제 범람, 도랑 등을 설치하여 지표수 원수 혹은 1차 분리된 물을 지하 대수층으로 인공함양한 후 필요시 취수하여 활용하는 방식의 인공함양 기술
강변여과식 함양기술	하천 인접부에 수직 또는 수평 정호를 설치하여 하천 인접 대수층의 수위강하를 발생시켜 주변의 지하수와 대수층으로 유입된 하천수를 취수하는 방식으로 강변에 분포되어 있는 충적층의 자연저감능을 이용하기 위해 간접적으로 지표수를 취수함. 이에 (방사)집수정 및 철망간처리기술에 관련된 기술
지하구조물 활용 함양기술	지하에 지하수 유동을 인공적으로 차단할 수 있는 시설을 통해 지하수 유출을 억제하고 상대적인 지하수 함양을 증대하여 수자원을 확보하는 방식으로 지하수댐 방식을 이 범주에 포함할 수 있음

(다) 지질지하수 융합 기술 분야

- 우리나라의 경우 지열을 이용하는 지중열교환기 시스템에 실질적인 관심을 갖기 시작한 것은 최근의 일이다. 그것은 공기열원 이외의 대체열원에 대한 관심부족, 지열을 회수하기 위한 열교환 기술의 부족, 초기투자비 문제, 설치를 위한 지상면적이 크게 소요되는 문제 등의 원인에 있었다.
- 국내의 지중열교환기는 물 대 물이나 물 대 공기 방식이 주를 이루고 있으며, 2000년도에 국내에 최초로 도입되었고, 열펌프의 용량은 수 냉동톤(Refrigeration Ton, RT)에서 수 십 냉동톤의 용량에 지나지 않는다. 적용대상도 소규모의 사무실, 모텔 하우스, 레스토랑, 레저시설 등에 한정되어 있으며, 2003년까지 설치·가동 중인 지열원 냉·난방시스템은 약 30개소(미군 부대 설치 시스템 제외)이며, 이 중에서 수평형 방식은 단 1개소이다. 그 외 대부분의 시스템은 수직 폐쇄형 지중 열교환기를 채택하고 있다.
- 또한, 외국의 장비와 설비공법을 그대로 적용함으로써 한국의 지질구조와 기후조건, 시공여건 등이 충분히 고려되지 않아 외국의 기술의존도가 높고, 열펌프 자체는 외

국 업체의 물품을 수입하는 경우가 대부분이며, 수직 폐쇄형 지중 열교환기 및 최적 열교환 시스템의 설계 등과 관련된 기술 수준이 선진 외국에 비해 전반적으로 낮은 편이다.

- 열펌프, 그라우팅 장비 및 그라우팅 재료, 순환펌프, 온도 조절기 등 거의 모든 장비를 수입함으로써 해외 의존도가 여전히 개선되지 않고 있으며, 초기 공사비가 과대하여 지중열교환기 시스템의 보급에 부정적인 요인으로 작용하고 있는 실정이다. 지중열교환기 시스템에 적용되고 있는 열펌프 유닛은 일부 시공업체들에 의해서 국내에 보급되고 있으나, 신뢰성 문제와 정책적인 지원 미비로 인하여 보급이 늦어지고 있는 실정이다.
- 보급 초기단계인 우리의 현실과 앞서 언급한 기술적 또는 제도적 문제점 등을 감안할 때, 현재 지중열교환기 시스템이 전체 냉난방 설비 및 공조시장에서 차지하는 비중은 미약하다. 하지만 정부의 에너지원을 다변화시키려는 노력과 선진국의 대체 에너지 분야에 대한 지속적인 관심 및 기술개발 등을 미루어 볼 때, 건물 냉난방 및 온수공급용 시스템으로 지중열교환기는 유용하게 활용될 것으로 전망된다. 또한 향후 대체에너지 보급 증가를 감안하면 지중열교환기 시스템의 보급률은 지속적으로 상승할 것으로 예측된다.

(2) 지하수자원 확보기술 특허 분석 결과

(가) 국가별 연도별 동향

- 청정 대용량 지하수자원 확보 기술의 전체 동향을 살펴보면, 1974년도 출원을 시작으로 80년대 후반부터 출원건수가 급격하게 증가하기 시작하여 현재까지도 활발한 출원이 이루어지고 있음
- 한국특허의 출원 동향을 살펴보면, 1980년대 중반까지는 출원건수가 미미하였으나 1990년대 후반부터 출원건수가 증가하는 경향을 보이고 있음. 1999년에 들어서야 15건 내외의 출원이 이루어지고 있어 전체적인 특허건수는 타 국가에 비해서 상대적으로 적음
- 일본은 1970년대 후반부터 꾸준히 특허출원을 하고 있으며 완만한 특허건수의 성장을 보이다가 1992년도부터 출원건수가 가파르게 상승하고 있음. 1995년 이후부터 매년 30건 이상의 특허를 출원함으로써 1995년 이전과 비교하여 2배가 넘는 양적 성장을 보임

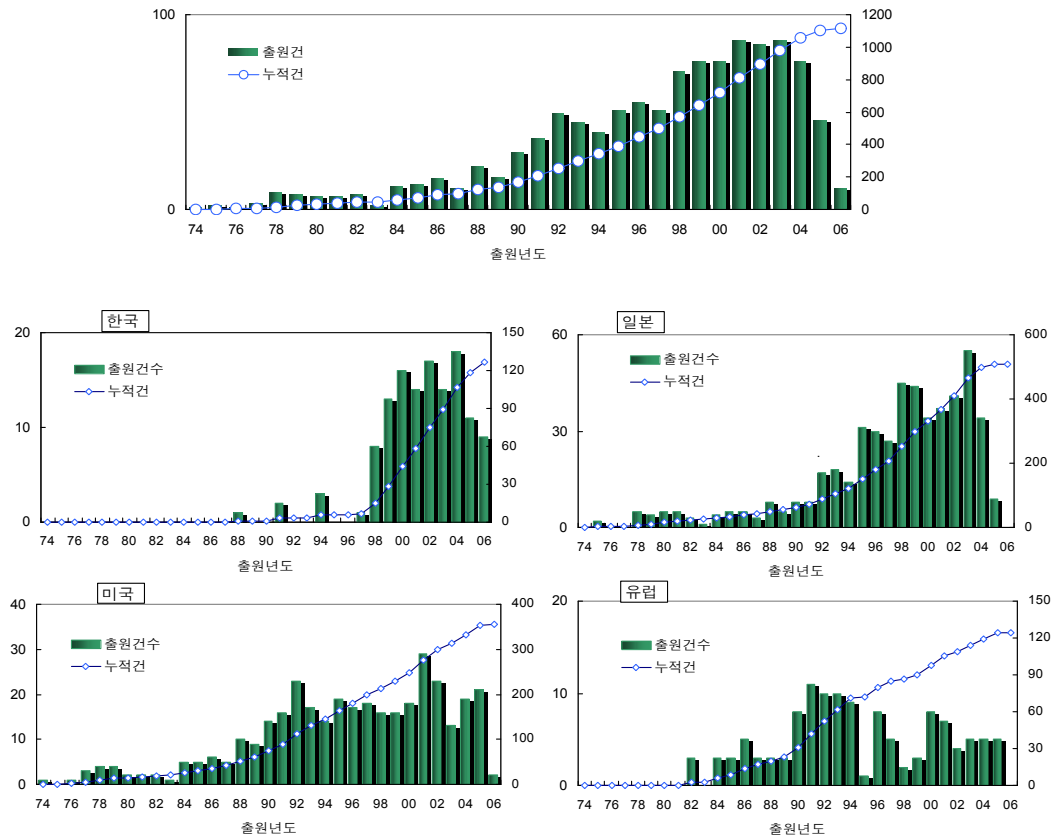


그림 2.17 지하수자원 확보기술 분야 국가별 연도별 특허 동향

- 미국특허의 출원동향을 살펴보면, 1974년 첫 출원을 시작으로 1980년대 후반까지 출원건수가 완만히 상승하는 경향을 보이다 1990년 들어 급격한 상승을 보이며 그 후에도 매년 꾸준한 출원이 이루어지고 있음
- 유럽특허의 출원 동향은 1980년대 초반부터 출원을 시작하여 1990년부터 1990년대 중반까지 급격한 출원건수의 증가를 보이다 이후 출원건수가 다소 완만히 하강하는 경향을 보임
- 특허 출원 후 18개월 이후에 공개되는 특허제도의 특성상, 2004년 이후의 특허에 한해서 미공개 특허가 존재하므로 그래프 상에는 특허가 감소하는 것처럼 보일 수 있으나, 실질적으로 특허가 모두 공개되는 시점에서는 유효 특허건수는 증가 될 수 있음

(나) 국가별 특허건의 규모

- 청정 대용량 지하수자원 확보 기술에 대한 특허건수는 1,113건임

- 일본특허가 507건으로 전체특허의 46%를 차지하며, 미국특허가 355건(32%), 유럽특허가 124건(11%), 한국특허가 127건(11%)으로 나타남

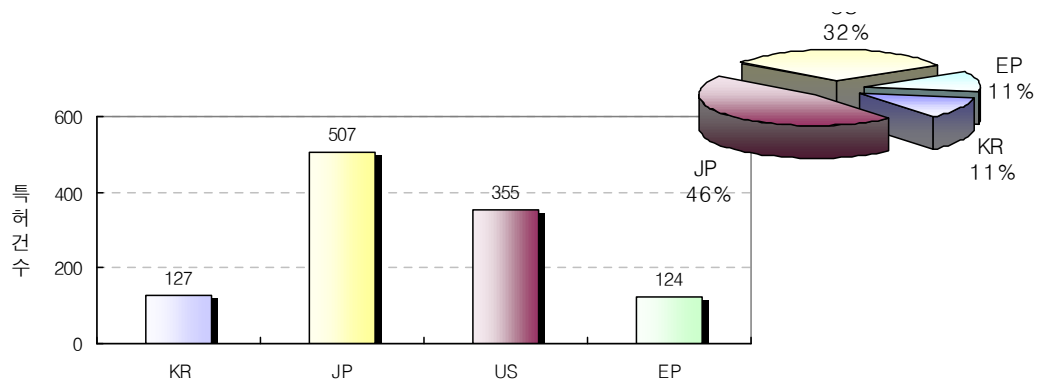


그림 2.18 국가별 특허건의 규모 및 점유율

(다) 국가별 주요 출원인 및 출원인 국적별 동향

- 국가별 특허 중 최다출원인 상위 5위내에 있는 출원인을 그림 2.19에 도시함
- 한국특허의 주요출원인을 살펴보면, 조희남이 21건으로 최다 특허출원을 나타내고 있고, 뒤를 이어 이동현이 5건의 출원을 하였으며 에코솔루션, 한라산업개발, TODA KOGYO CORP이 4건을 출원함으로써 주요출원인으로 나타나고 있음
 - 국내 중소기업이나 개인출원인의 특허 활동이 주로 이루어지고 있음
- 일본특허에서는 SHIMIZU CORP이 42건을 출원하여 최다 출원인이며, 뒤를 이어 KURITA WATER IND, Matsushita Electric Industrial Co가 각각 32건과 19건의 출원 활동을 보이고 있음
 - 자국의 대기업을 중심으로 특허출원이 활발하게 이루어지고 있음
- 미국특허에서는 IEG IND ENG GMBH가 12건으로 출원을 가장 많이 하고 있으며, Kerfoot, William B.와 University of waterloo, US DOE, TODA KOGYO CORPORATION의 순으로 출원건수가 나타나고 있음
 - 한국, 일본과 달리 다양한 국적의 출원인이 미국특허에서 주요 출원인으로 나타나고 있음
- 유럽특허의 경우 독일의 IEG IND ENG GMBH가 15건을 출원하여 최다 출원을 하고 있으며 TODA KOGYO CORPORATION, XEROX CORP이 각각 5건과 4건을 출원하

여 그 뒤를 잇고 있음

- 유럽특허 또한 미국특허와 같이 다양한 국적의 출원인이 주요 출원인으로 나타나고 있음

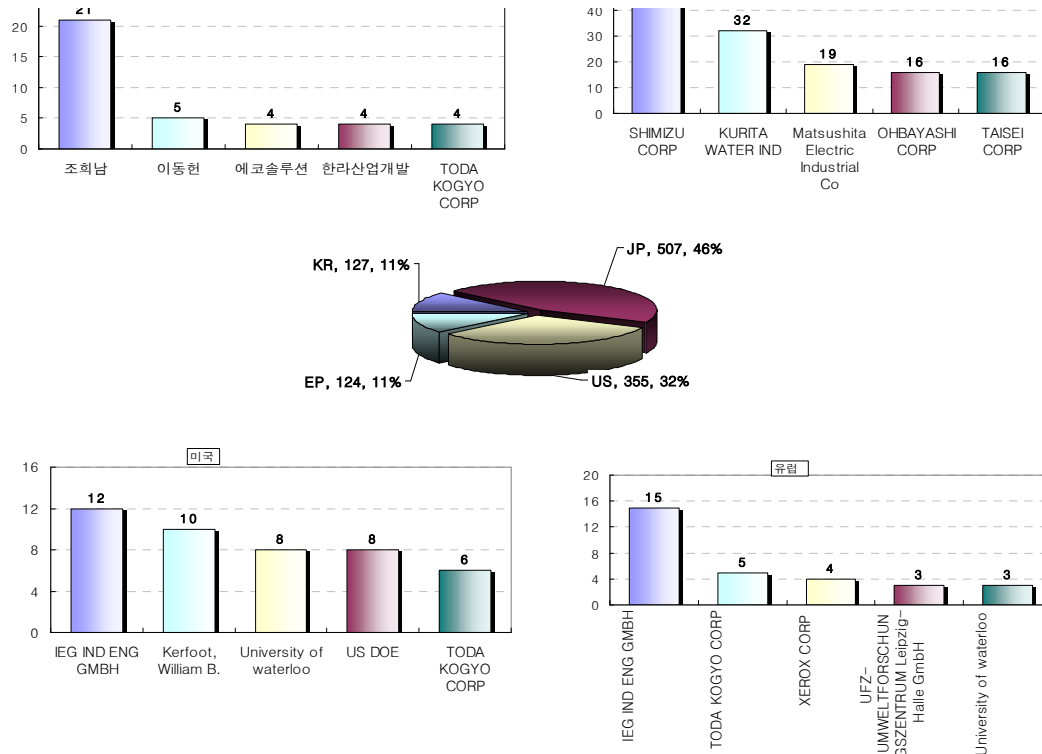


그림 2.19 국가별 주요 출원인

○ 각국의 특허의 출원인 국적별 점유율은 그림 2.20과 같음

- 한국특허의 경우 한국국적의 출원인이 92%(118건)의 점유율을 나타내고 있으며, 일본국적의 출원인이 6%(7건)의 점유율로 두 번째를 차지하고 있음. 일본의 뒤를 이어 미국과 캐나다국적의 출원인이 각 1건을 출원하고 있음
- 일본특허에서는 일본국적의 출원인이 98%(498건)의 점유율로 타국가의 출원인에 비해 월등히 높은 점유율을 보이고 있음. 일본국적의 출원인외에 미국, 독일, 스위스국적의 출원인들이 출원을 하고 있음
- 미국특허에서는 74%(266건)의 점유율로 자국출원인이 가장 높은 점유율을 보이고 있으며, 독일 9%(31건), 캐나다 6%(22건), 일본 5%(18건)의 점유율로 출원인이 나타나고 있음
- 유럽특허에서는 독일 35%(43건)의 점유율로 가장 높게 나타나고 있으며, 미국 32%(40건), 일본 10%(13건), 프랑스 6%(7건)의 순으로 점유율이 나타나고 있음
- 모든 국가에서 자국의 출원이 가장 높게 나타나고 있으며, 미국, 일본의 경우 자국을 포함하여 타 국가에도 활발히 특허출원을 하는 것으로 나타남

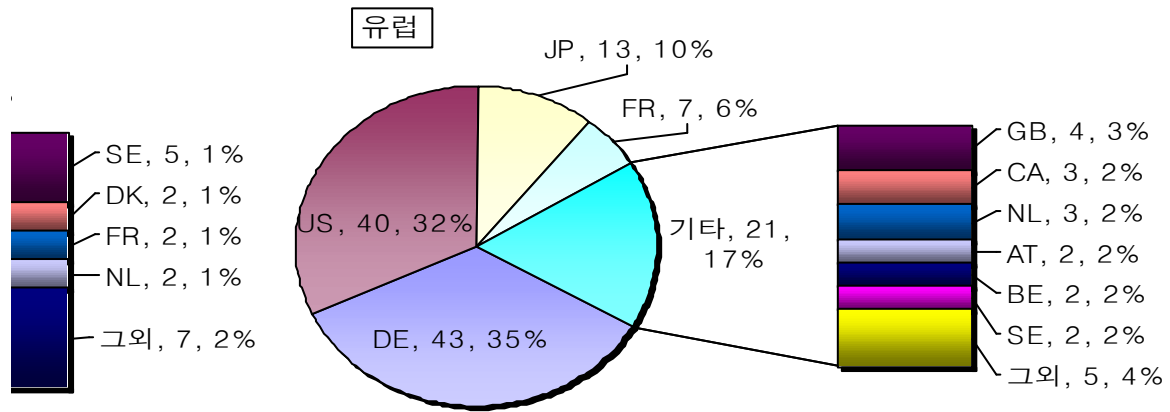


그림 2.20 국가별 출원인 국적별 점유율

* 국가 표시

AT : 오스트리아, BE : 벨기에, CA : 캐나다, CH : 스위스, CN : 중국, DE : 독일, DK : 덴마크, FR : 프랑스, GB : 영국, NL : 네덜란드, NZ : 뉴질랜드, SE : 스웨덴

- 국가별 내외국인 연도별 동향을 그림 2.21에 나타냄
 - 한국 특허에서는 1980년대에 내국인에 의한 출원이 시작되어 1990년 초중반부터 외국인에 대한 출원이 이루어지기 시작하였으며, 2000년 초부터 외국인에 의한 출원이 증가하고 있는 것으로 나타남
 - 일본특허에서는 1970년대 중반 내국인에 의한 출원이 이루어지기 시작하여 1990년 초부터 1990년 말까지 외국인에 의한 출원이 나타나기 시작하고 있으나 1990년 말 이후에는 대부분의 특허출원이 내국인에 의해 이루어지고 있음
 - 미국특허에서는 1970년대 초에 외국인에 의해 출원되기 시작하여 1970년대 후반부터 내국인에 의한 출원이 시작되고 있으며, 1990년대 이후로는 내국인과 외국인에 의한 출원이 모두 증가하고 있는 추세를 보이고 있음
 - 유럽특허에서는 1980년 초반에 내, 외국인에 의해 출원되기 시작하여 1990년대 들어 외국인의 출원이 급격하게 상승하는 추세를 보이고 있으며 점차 외국인의 점유율이 높아지고 있음

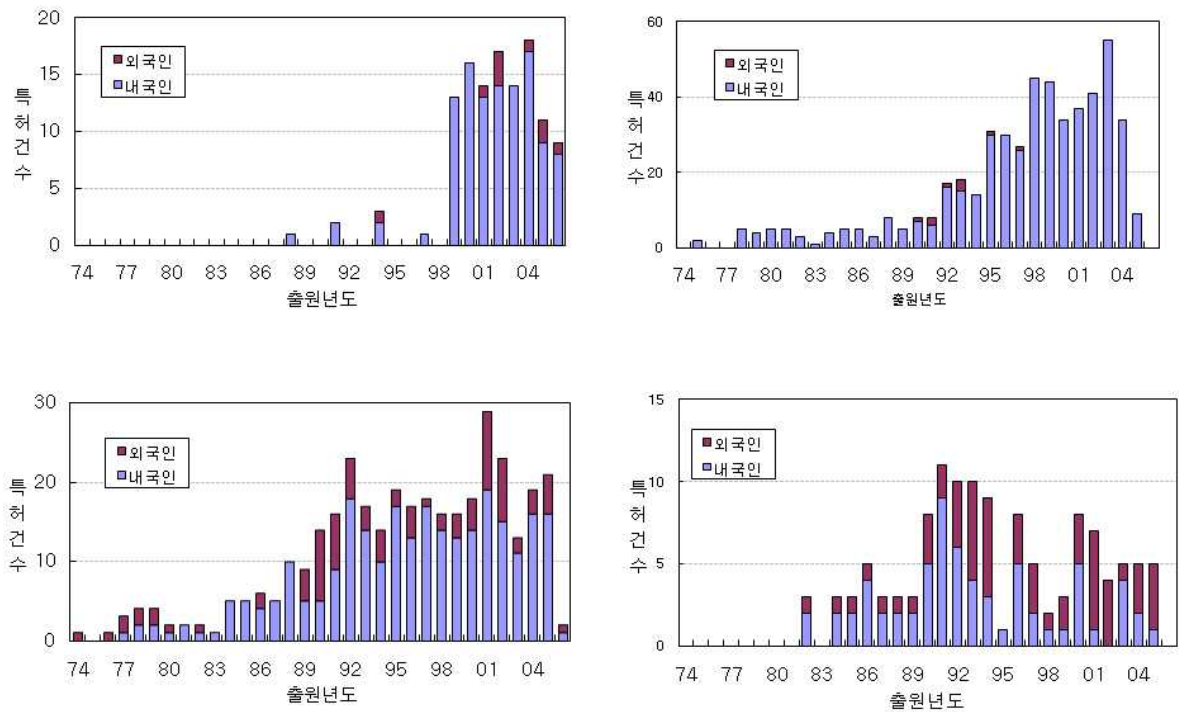


그림 2.21 국가별 내외국인 연도별 동향

(라) 기술별 동향

○ 기술 분포 현황

- 청정 대용량 지하수자원 확보 기술의 분류에 따른 기술 분포 현황을 살펴보면 그림 2.22와 같이 나타남
- 분류별 기술 분포에서는 지하수 오염 방지 및 저감기술이 대용량 지하수 개발 및 인공함양 기술에 비해서 연구개발이 활발히 진행되고 있음

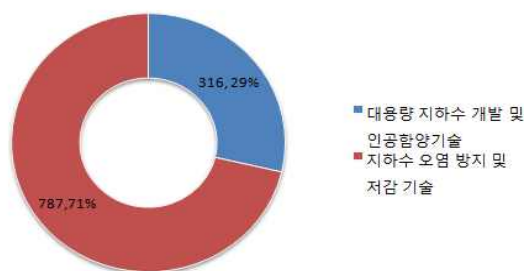


그림 2.22 분류별 기술 분포

○ 분류별 동향

- 청정 대용량 지하수자원 확보 기술의 분류별 연도별 동향을 그림 2.23에 나타냄

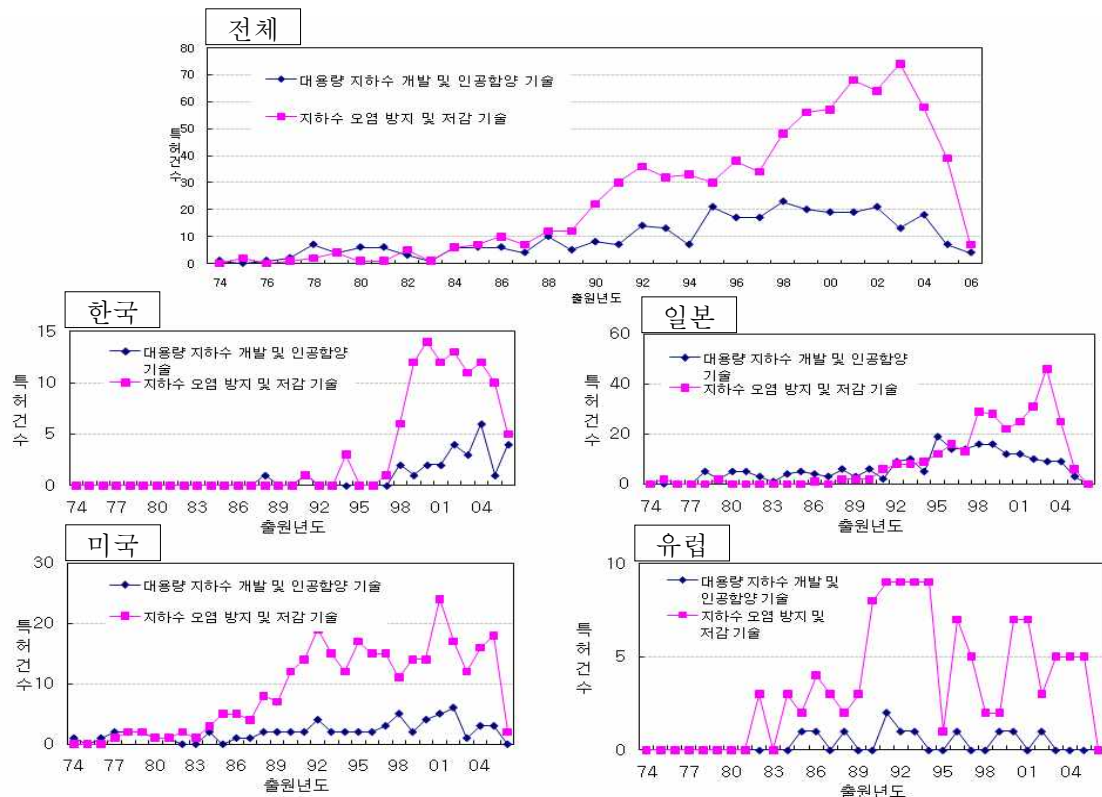


그림 2.23 분류별 연도별 동향

- 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 있음
- 한국특허의 경우 대용량 지하수 개발 및 인공함양 기술과 지하수 오염 방지 및 저감 기술 모두 1998년부터 급격한 증가세를 보이고 있음
- 일본특허는 대용량 지하수 개발 및 인공함양 기술은 1990년까지 미미한 특허출원을 보이다가 1990년 이후 소폭의 증가세를 보이며, 지하수 오염 방지 및 저감 기술의 경우 1980년대 후반까지는 특허출원이 미미 하였으나, 1990년 초반부터 가파른 상승세를 보이며 특허출원의 증가세를 보이고 있음
- 미국특허에서는 대용량 지하수 개발 및 인공함양 기술은 1980년대 중반부터 완만한 상승세를 보이고 있으며, 지하수 오염 방지 및 저감 기술의 경우엔 1980년대 초중반부터 급격한 특허출원 활동을 보이고 있음
- 유럽특허의 경우 대용량 지하수 개발 및 인공함양 기술과 지하수 오염 방지 및 저감 기술 모두 1980년대 중반이후 특허출원을 보이고 있으며, 1990년대 이후 지하수 오염 방지 및 저감 기술을 중심으로 소량의 특허출원활동을 벌이

고 있음

- 청정 대용량 지하수 자원 확보기술의 분류별 특허건의 규모 및 점유율을 그림 2.24에 나타냄

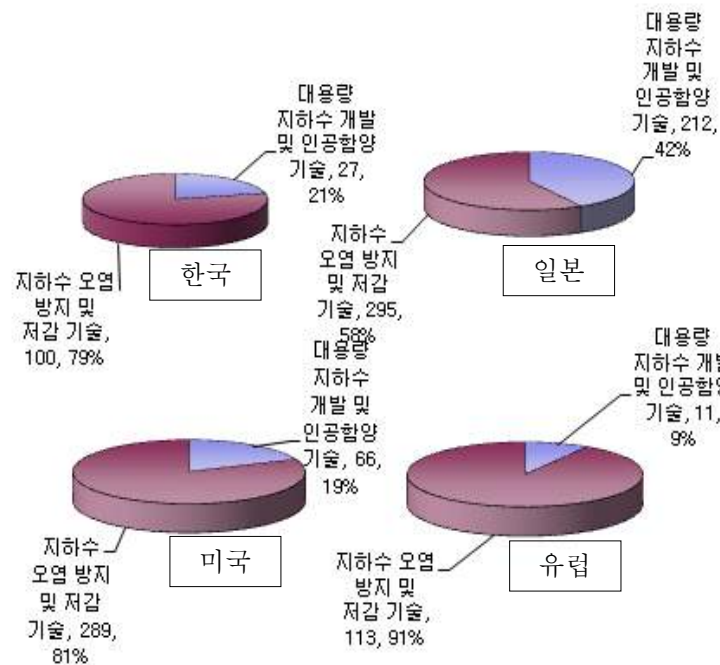


그림 2.24 분류별 특허건의 규모 및 점유율

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

(3) 지하수 인공함양 기술분야 특허분석 결과

(가) 전체 특허 동향

○ 국가 기술별 특허건수

- 지하수 인공함양 기술 분야와 관련하여 선별된 국가 및 기술별 특허건수는 표 2.22와 같음.

표 2.22 지하수 인공함양 기술 분야의 국가·기술별 특허건수

분류	한국	미국	일본	유럽	합계
정호주입식 함양기술	94	24	114	12	244
	94	75	191	51	411
	4	60	8	21	93
	18	21	85	3	127
	87	22	83	11	203
	297	202	481	98	1,078
지표 침투식 함양기술	21	8	45	4	78
강변여과식 함양기술	26	0	20	1	47
	12	1	9	0	22
	38	1	29	1	69
지하구조물 활용 함양기술	8	9	39	0	56
전체 합계	364	220	594	103	1,281

○ 연도별 특허 동향

- 지하수 인공함양 기술 분야의 연도별 출원동향을 살펴보면, 한국특허의 경우 1989년부터 관련기술의 출원이 시작되었으며, 2000년부터 2004년까지 증가가 주춤한 구간이 있었으나 1990년 후반부터 2007년까지 출원이 전반적으로 급격히 증가한 추세임.
- 일본특허의 출원동향은 1978년부터 출원이 시작되어 1998년까지 지속적으로 증가한 추세였으나, 이후 출원의 증가가 주춤하다가 2004년 이후부터 2007년까지는 출원이 다소 감소한 추세임.
- 1981년 나타난 일시적인 출원 증가는 일본 Taisei Kiso Sekkei 社 가 지하수 유량 측정 장치 관련 특허 10건을 집중 출원함에 의한 영향임.
- 미국특허의 출원동향은 1975년 출원이 시작되어 2001년까지 증가·감소를 반복하면서 출원이 지속적으로 증가한 추세였으나, 이후 2007년까지는 출원이 다소 감소한 추세임.
- 유럽특허의 경우 타 국가와 비교할 때 전반적으로 출원 건수가 미약한 편으로 출원동향을 살펴보면, 1982년 관련 출원이 시작되어 2001년까지 지속적으로 증가하다가 이후 2003년까지 감소하였으며, 2003년 이후부터 최근까지는 미약하게 증가하고 있는 추세임.
- 국가별 점유율을 살펴보면, 일본이 전체건수의 47%인 594건을 출원하여 최다 출원국으로 나타났으며, 이어 한국 28%(364건), 미국 17%(220건), 유럽/PCT 8%(103건)의 순으로 점유율 분포를 나타냄.
- 한국의 관련기술에 대한 최초 출원은 타 국가에 비해 뒤쳐졌으나, 1990년대 후반 이후 집중 출원의 영향으로 점유율 2위의 연구 성과를 나타냄.

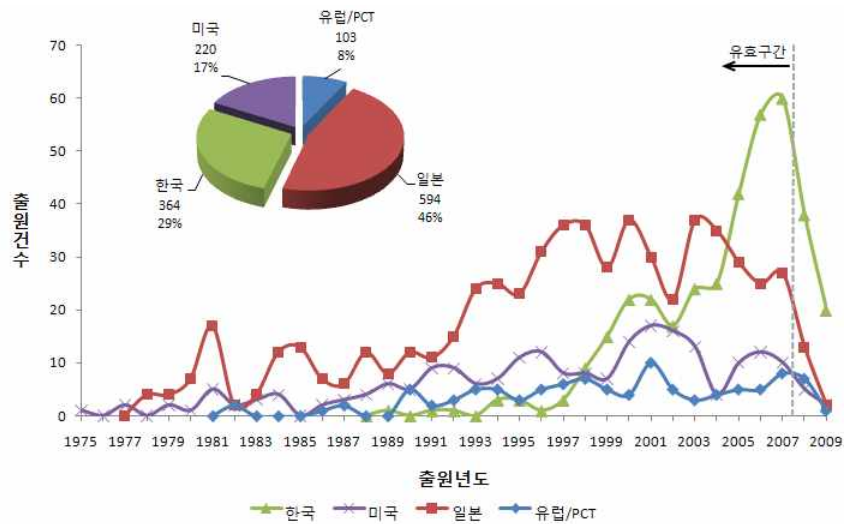


그림 2.25 지하수 인공함양 기술 분야의 연도별 출원동향

○ 포트폴리오로 본 지하수 인공함양 기술 분야의 위치

- 특허건수와 출원인(특허권자)수 변화의 상관관계를 통해 기술의 발전 위치를 살펴보는 포트폴리오 기본 모델에서, 지하수 인공함양 기술 분야의 국가별 위치를 비교 분석함.
- 한국특허는 기술혁신 주체인 출원인수(특허권자수)와 기술혁신의 결과인 출원건수(등록건수)가 동시에 꾸준히 증가하고 있는 것으로 파악되어 발전기 단계에 있는 것으로 분석됨.
 - 특히, 5구간(1993~1997년) 이전의 활동은 미약하였으나 6구간(1998~2002년)과 7구간(2003~2007년)의 최근 활동이 급격히 증가한 것으로 나타남.
- 미국특허의 경우 6구간(1998~2002년)까지는 발전기 동향을 나타내었으나 최근 7구간(2003~2007년)에서는 출원인수는 다소 증가한 반면 출원건수는 감소한 것으로 나타나 이후 퇴조기로 접어들 가능성이 있는 것으로 분석됨.
 - 7구간에서의 출원건수 감소는 미국특허의 약 14%(14.4%, 31건)를 점유하고 있는 상위 주요출원인 Baker Hughes Incorporated(21건), Schlumberger Technology Corp.(6건), Shell Oil Company(4건)의 출원활동이 6구간이후 7구간에서 감소한 영향으로 판단됨.
- 일본특허는 6구간(1998~2002년)까지 발전기 동향을 나타내었으나 최근 7구간에서는 출원인수는 증가한 반면 출원건수의 증가는 주춤하여 발전기 동향이 둔화되고 있는 것으로 분석되며, 수처리기술, 지표 침투식 함양기술, 지하구조물 활용 함양기술 분야의 출원이 7구간에서 감소하였기 때문으로 판단됨.
- 유럽특허의 경우 6구간(1998~2002년)까지 발전기 동향을 나타내었으나, 최근 7구간에서는 출원건수와 출원인수 모두 감소하여 퇴조기 동향을 나타냄.

- 유럽특허의 경우 상대적인 출원활동이 미약하여 분석 결과에 큰 의미를 두기는 어려움.

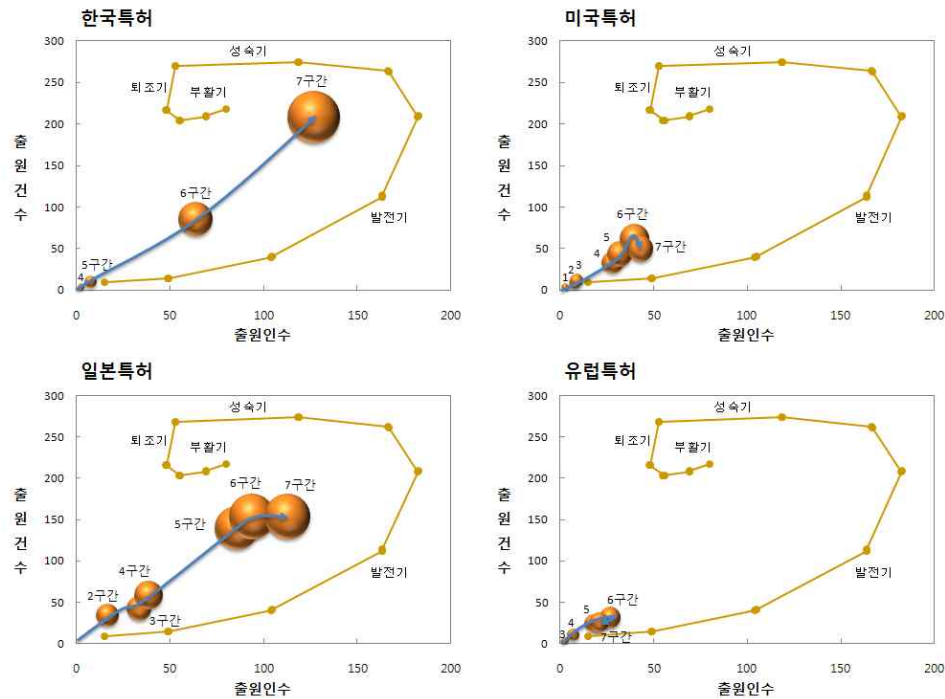


그림 2.26 포트폴리오로 본 지하수 인공함양 기술 분야의 위치

※구간(출원년도) : 1구간(1974~1977년), 2구간(1978~1982년), 3구간(1983~1987년), 4구간(1988~1992년), 5구간(1993~1997년), 6구간(1998~2002년), 7구간(2003~2007년)

○ 국가별 특허동향

- 지하수 인공함양 기술 분야의 각국 특허에서 내·외국인 국적에 따른 연도별 출원동향을 분석함.
- 한국 특허에서의 국가별 특허동향
 - 한국특허에서는 내국인(한국인)에 의한 출원이 약 99.5%로서 절대다수를 차지하고 있으며, 외국인에 의한 출원은 전체 0.5%에 불과함.
 - 외국인에 의한 출원은 2001년과 2005년 각 1건이며, 2001년에는 일본국적인 Kurita Water, 2005년에는 미국국적인 EnviroScrub Technologies Corp.에 의해 출원됨.



그림 2.27 내·외국인 연도별 특허 출원동향(한국특허)

- 미국 특허에서의 국가별 특허동향

- 미국특허의 출원인 국적별 동향을 살펴보면, 내국인(미국인)에 의한 출원은 2001년까지 증가하였다가 이후 다소 감소한 반면, 외국인에 의한 출원은 2006년까지 지속적으로 증가한 추세를 나타냄.
- 내외국인 출원 비율은 내국인에 의한 출원이 72%를 차지하고 있으며, 일본인, 캐나다인, 독일인 순으로 각각 9%, 5%, 4%의 출원비율을 나타내고 있음.
- 한국인은 미국특허에서 1건으로 1%의 점유율을 나타내고 있어, 미국특허에서의 활동이 미흡한 것으로 나타남.

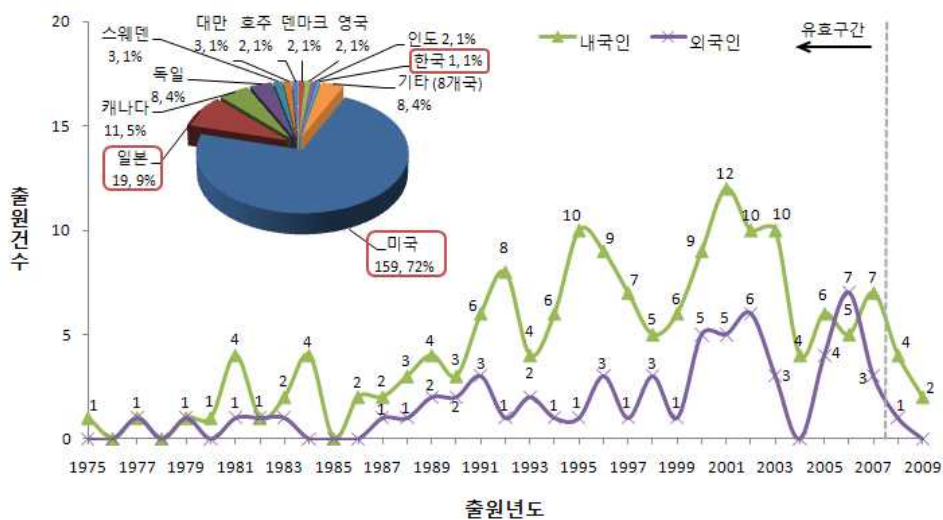


그림 2.28 내·외국인 연도별 특허 출원동향(미국특허)

- 일본특허에서의 국가별 특허동향

- 일본특허의 출원인 국적별 동향을 살펴보면, 내국인(일본인)에 의한 출원이 약 99%(586건)의 점유율로 절대다수를 차지하고 있으며, 외국인에 의한 출원은 전체 약 1%에 불과함.
- 외국인에 의한 출원은 미국인, 한국인(2건), 중국인, 독일인, 이탈리아인, 스웨덴인(1건)에 의해 이루어졌으며, 일본특허에서 외국인에 의한 특허활동은 미약한 것으로 나타남.

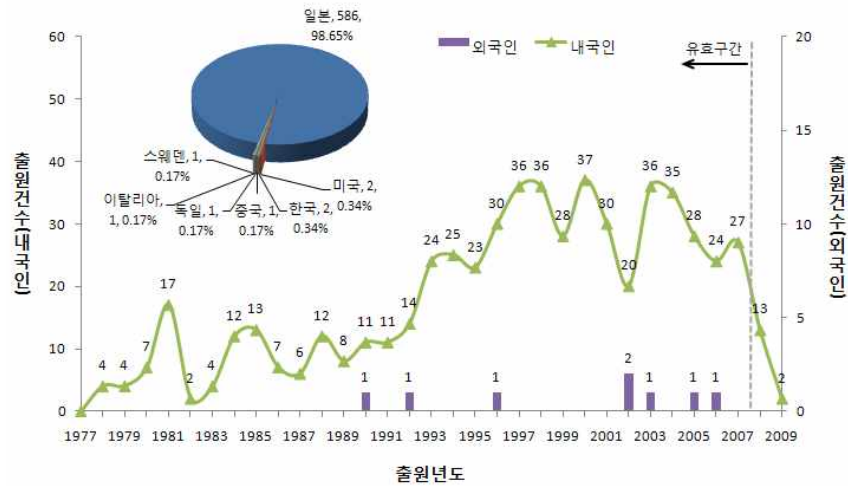


그림 2.29 내·외국인 연도별 특허 출원동향(일본특허)

- 유럽특허에서의 국가별 특허동향

- 유럽특허의 출원인 국적별 동향을 살펴보면, 유럽인에 의한 출원은 1982년부터 시작되어 1990년부터 2007년까지 증가·감소를 반복하면서 연평균 2.2건의 출원이 이루어짐.
- 비유럽인에 의한 출원은 1990년부터 지속적으로 증가하여 1999년 이후에는 비유럽인에 의한 출원이 유럽인에 의한 출원을 앞지른 것으로 나타남.
- 유럽·비유럽인 출원 비율은 미국(36%), 일본(5%), 한국(4%)을 중심으로 한 비유럽인의 점유율(54.4%)이 독일인(20%), 영국인(6%), 프랑스인(4%)을 중심으로 한 유럽인의 점유율(45.6%)보다 높은 것으로 나타남. 이는 유럽특허에 국제출원(PCT)특허를 포함하여 분석한 결과로 판단됨.

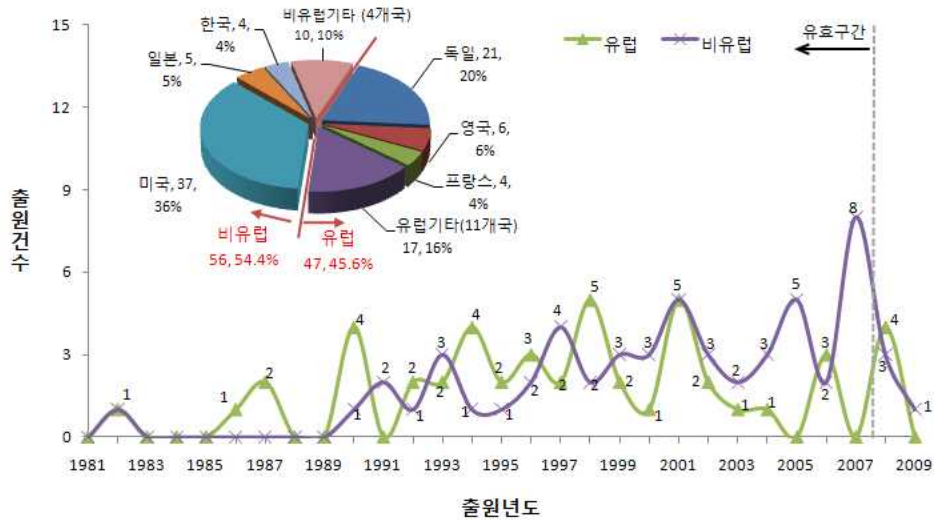


그림 2.30 내·외국인 연도별 특허 출원동향(유럽특허)

○ 국가별 주요 출원인

- 각국의 주요 연구주체 상위순위를 살펴본 결과, 조희남(지엔지테크놀로지), Baker Hughes Incorporated, Shimizu Corp 가 각각 한국, 미국, 일본특허에서 최상위 출원인으로 나타났으며, Baker Hughes Incorporated는 미국특허뿐만 아니라 유럽특허에서도 최상위 출원인으로 나타남.
- 한국특허에서는 조희남(25건), 범한엔지니어링(10건), 한국수자원공사(9건), 두안수자원개발(8건), 포항산업과학연구원(8건) 등이 주요출원인으로 나타남.
 - 조희남을 제외한 기타 주요출원인의 건수는 10건 이하이며, 주요출원인 모두 한국국적인 것으로 나타남.

표 2.23 지하수 인공함양 기술 분야의 국가별 상위 주요출원인

한국		미국		일본		유럽	
출원인 (국적)	건수 (점유율)	출원인 (국적)	건수 (점유율)	출원인 (국적)	건수 (점유율)	출원인 (국적)	건수 (점유율)
조희남 (지엔지테크놀로지) (KR)	25 (6.87%)	Baker Hughes Incorporated (US)	21 (9.55%)	Shimizu Corp (JP)	44 (7.41%)	Baker Hughes Incorporated (US)	8 (7.77%)
범한에너지어링 (KR)	10 (2.75%)	Schlumberger Technology (US)	6 (2.73%)	Taisei Kiso Sekkei (JP)	17 (2.86%)	VoV Enterprises (US)	2 (1.94%)
한국수자원공사 (KR)	9 (2.47%)	Baski Water Instrument (US)	6 (2.73%)	Ohbayashi Corp. (JP)	16 (2.69%)	Xu, Shengheng (CN)	2 (1.94%)
두안수자원개발 (KR)	8 (2.20%)	Shell Oil (US)	4 (1.82%)	Kurita Water (JP)	14 (2.36%)	IEG Industri-Eng. (DE)	2 (1.94%)
포항산업과학 연구원 (KR)	8 (2.20%)	QED Environmental Systems (US)	4 (1.82%)	Kajima Corp. (JP)	11 (1.85%)	UFZ-Umwelt (DE)	2 (1.94%)
이동현 (KR)	7 (1.92%)	VoV Enterprises (US)	3 (1.36%)	Toho Chisui (JP)	10 (1.68%)	Applied Process Technology (US)	2 (1.94%)
지지케이 (KR)	6 (1.65%)	Sharp Corp. (JP)	3 (1.36%)	Hitachi Zosen (JP)	9 (1.52%)	Merck & Co. (US)	2 (1.94%)
농촌진흥청 (KR)	5 (1.37%)	The Upjohn Company (US)	3 (1.36%)	Taisei Corp. (JP)	9 (1.52%)	Osterreichisch es (AT)	2 (1.94%)
한국건설기술 연구원 (KR)	5 (1.37%)	Univ. of Waterloo (CA)	3 (1.36%)	Kubota Corp (JP)	8 (1.35%)	Welldynamics (US)	2 (1.94%)
				Nippon Chikasui Kaihatsu (JP)	8 (1.35%)		

- 미국특허는 Baker Hughes Incorporated(21건), Schlumberger Technology(6건), Baski Water Instrument(6건), Shell Oil(4건), QED Environmental Systems(4건) 등이 주요출원인으로 나타남.

- Baker Hughes Incorporated는 미국특허에서 약 10%의 점유율을 나타내고 있는 반면, 기타 주요출원인은 각 3% 이하의 점유율을 나타내어 최상위 출원인과 기타 주요출원인의 출원 규모 격차가 있는 것으로 분석됨.
- 일본특허에서는 Shimizu Corp(44건), Taisei Kiso Sekkei(17건), Ohbayashi Corp(16건), Kurita Water(14건), Kajima Corp(11건) 등이 주요출원인으로 나타났으며, 모두 일본 국적의 출원인임.
- 유럽특허에서는 최상위 출원인인 Baker Hughes Incorporated(8건) 외에 VoV Enterprises, Xu-Shengheng, IEG Industri-Eng., UFZ-Umwelt 등이 주요출원인으로 나타났으나, 출원 건수는 각 2건으로 미약함.
- 국가별 주요출원인 분석을 종합하면 최상위 출원인의 활동이 기타 주요출원인에 비해 상대적으로 활발하여 출원 규모의 격차가 있는 것으로 분석됨.

(나) 분류 기술 분야별 특허동향

○ 국가별 분류 기술 분야의 특허분포

- 지하수 인공함양 기술 분야의 분류 기술 분야별 특허분포를 살펴보면, 전체국을 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 있음.
- 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 범용기술도 관련기술로 포함하기 때문에 정호주입식 함양기술 분야의 점유율이 월등히 높은 것으로 판단됨.
- 지표 침투식 함양기술, 강변여과식 함양기술, 지하구조물 활용 함양기술의 경우 각 4~6%의 점유율을 나타내며, 이들 3개 분류 분야의 점유율 분포가 비교적 대등한 것으로 분석됨.
- 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 분석됨.

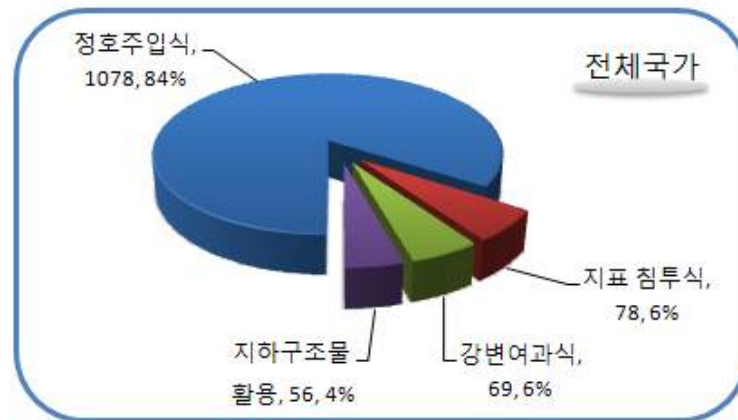


그림 2.31 지하수 인공함양 기술의 분류 기술 분야별 특허분포(전체국가)

- 일본특허의 경우 정호주입식 함양기술 분야의 점유율은 81%로 한국특허에서의 점유율과 유사하며, 지표 침투식 함양기술(8%)과 지하구조물 활용 함양기술(6%)의 점유율이 타 국가에 비해 높게 나타남.
- 미국특허와 유럽특허의 경우 정호주입식 함양기술이 각각 92%, 95%로 대다수를 차지하며, 강변여과식 함양기술은 각 1건으로 활동이 미약함. 특히, 유럽특허에서 지하구조물 활용 함양기술의 출원은 없는 것으로 나타남.

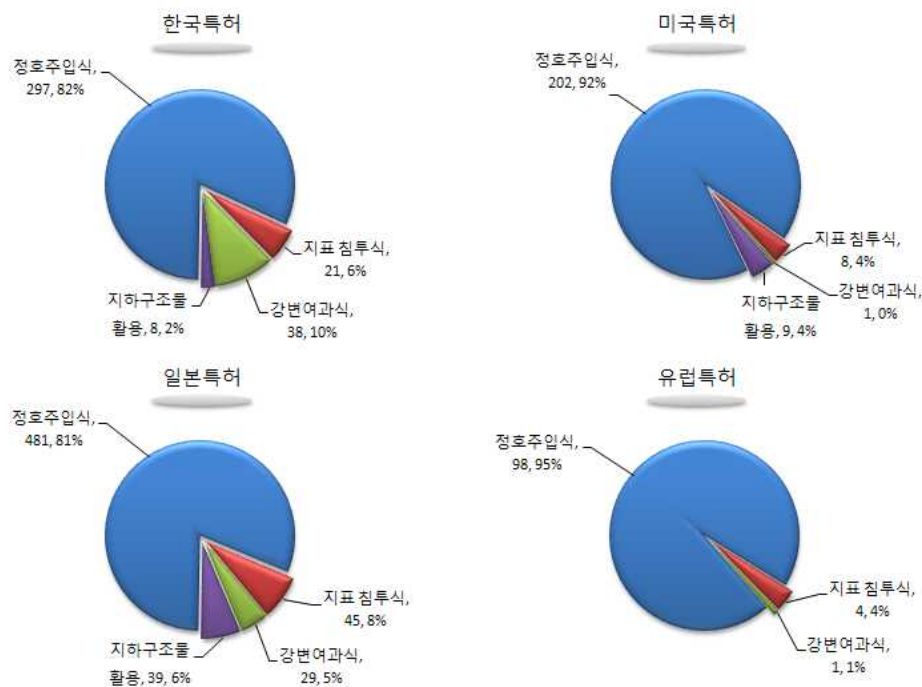


그림 2.32 지하수 인공함양 기술의 분류 기술 분야별 특허분포(국가별)

○ 분류 기술 분야별 연도별 특허동향

- 정호주입식 함양기술 분야의 연도별 특허동향

- 정호주입식 함양기술 분야의 국가·연도별 출원동향을 살펴보면, 한국특허의 경우 1989년부터 출원이 시작된 이후 2000년부터 2004년 동안 증가가 주춤한 구간이 있었으나, 1997년부터 최근까지 급격히 출원이 증가하고 있는 추세임.
- 일본특허의 경우 1978년부터 출원이 시작되어 2000년까지 지속적으로 출원이 증가하였으나, 2000년부터 최근까지는 증가가 둔화된 것으로 나타남.
- 1981년 일본 Taisei Kiso Sekkei 社 가 지하수 유향 측정 장치 관련 특허 10건을 집중 출원함에 의해 일시적으로 출원이 증가함.
- 미국특허의 경우 1977년부터 출원이 시작되어 2001년까지 지속적으로 출원이 증가하였으나, 이후 최근까지는 감소하고 있는 것으로 나타남.

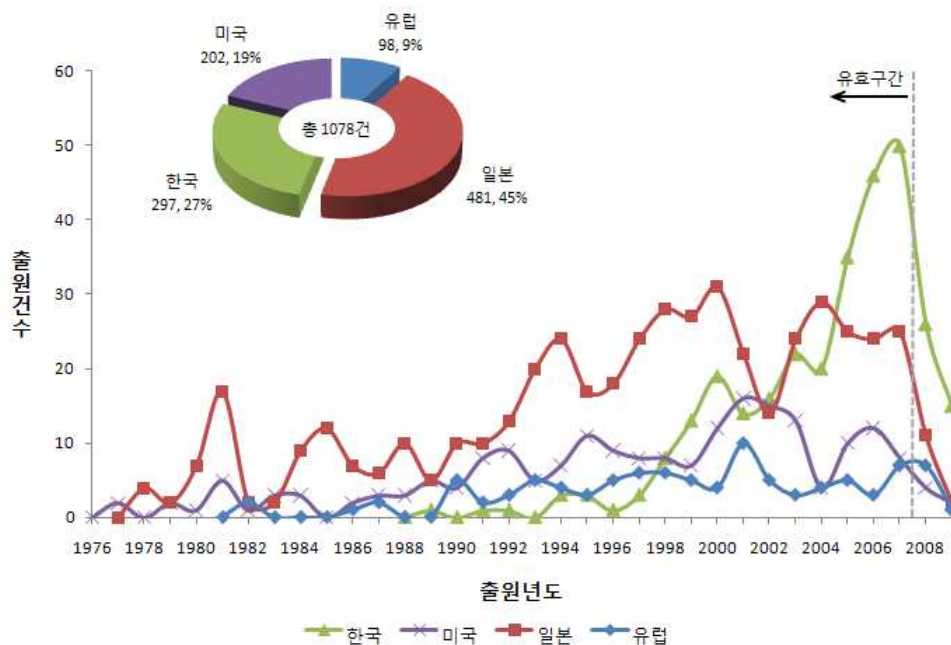


그림 2.33 정호주입식 함양기술 분야의 연도별 특허동향

- 유럽특허의 경우 출원의 규모는 타 국가와 비교할 때 미약하나, 1982년부터 최근까지 지속적인 출원이 이루어짐.
- 국가별 점유율은 일본이 482건으로 45%를 차지하며, 한국이 297건으로 28%, 미국이 202건으로 19%, 유럽이 98건으로 9%의 점유율 분포를 나타냄.
- 한국의 경우 출원이 시작된 시점(1989년)은 타 국가와 비교할 때 10년 이상 뒤쳐졌으나, 최근 10년 동안의 활발한 출원활동으로 점유율 규모에서는 전체 2위를 기록함.
- 지표 침투식 함양기술 분야의 연도별 특허동향
 - 지표 침투식 함양기술 분야의 국가·연도별 출원동향을 살펴보면, 한국특허의 경우 1999년부터 출원이 시작되어 2001년까지 증가하다가 2002년 일

시적으로 출원이 없었으며, 이후 최근까지 출원이 증가하고 있는 추세임.

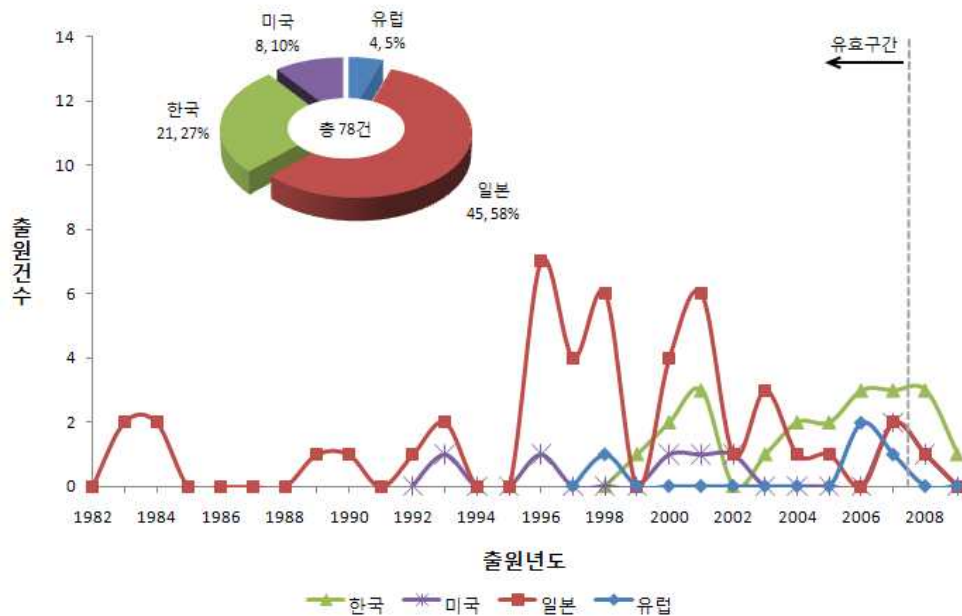


그림 2.34 지표 침투식 함양기술 분야의 연도별 특허동향

- 일본특허의 경우 1983년부터 출원이 시작되었으나 지속적인 출원동향은 나타나지 않으며, 1996년 ~ 2003년 구간에 관련 출원이 집중된 것으로 나타남.
- 2003년 이후 최근의 출원활동은 1~2건으로 미약함.
 - 미국특허의 경우 1993년 1건으로 출원이 시작되어 1996년과 2000년 ~ 2002년 구간 동안 매년 1건의 출원이 이루어졌으며, 최근인 2007년에는 2건의 출원이 이루어짐.
 - 유럽특허의 경우 1998년 1건, 2006년 2건, 2007년 1건의 출원이 이루어짐.
 - 지표 침투식 함양기술의 전체 특허건 규모는 총 78건으로 미약하며, 일본이 45건(58%)으로 절반 이상을 점유하고 있음. 이어서 한국 21건(27%), 미국 8건(10%), 유럽 4건(5%)의 점유율 분포를 나타냄.
- 강변여과식 함양기술 분야의 연도별 특허동향
 - 강변여과식 함양기술 분야의 국가·연도별 출원동향을 살펴보면, 한국특허의 경우 1998년부터 출원이 시작되어 2002년에는 출원이 없었으나 이후 최근까지 출원이 증가한 추세임.
 - 일본특허의 경우 1994년부터 출원이 시작되었고, 2002년 ~ 2005년에 출원이 집중되었으나, 최근 출원은 감소한 것으로 나타남.
 - 미국특허의 경우 1984년에 1건, 유럽특허의 경우 1994년에 1건이 출원되었

으며, 관련 특허 활동이 거의 이루어지지 않는 것으로 분석됨.

- 강변여과식 함양기술의 전체 특허건 규모는 총 69건이며, 한국이 38건 (56%)으로 일본(28건, 41%)과 함께 대다수를 점유하고 있음. 미국과 유럽은 각 1건으로 특허 활동이 미약함.

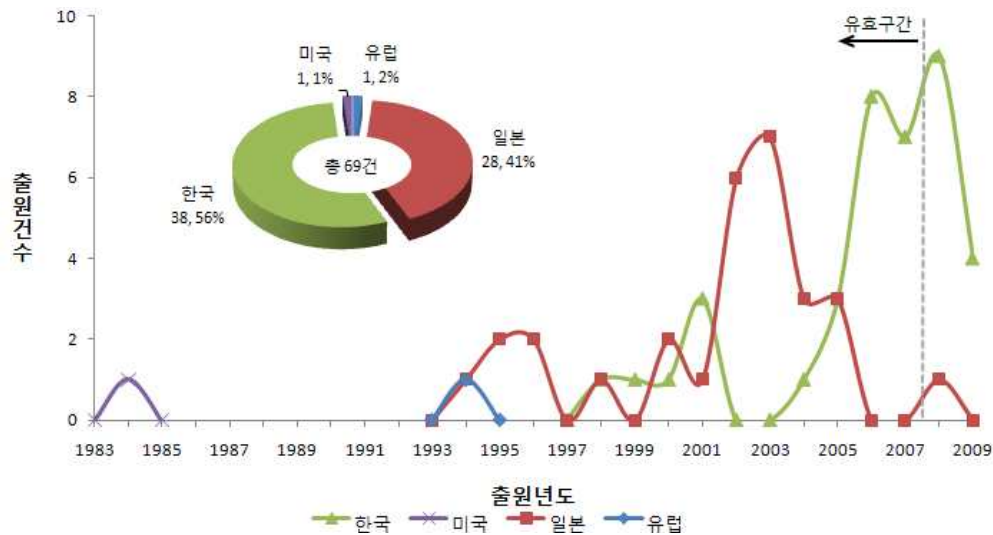


그림 2.35 강변여과식 함양기술 분야의 연도별 특허동향

- 지하구조물 활용 함양기술 분야의 연도별 특허동향

- 지하구조물 활용 함양기술 분야의 국가·연도별 출원동향을 살펴보면, 한국 특허의 경우 2001년 ~ 2005년 동안 매년 1~2건의 출원이 이루어짐.

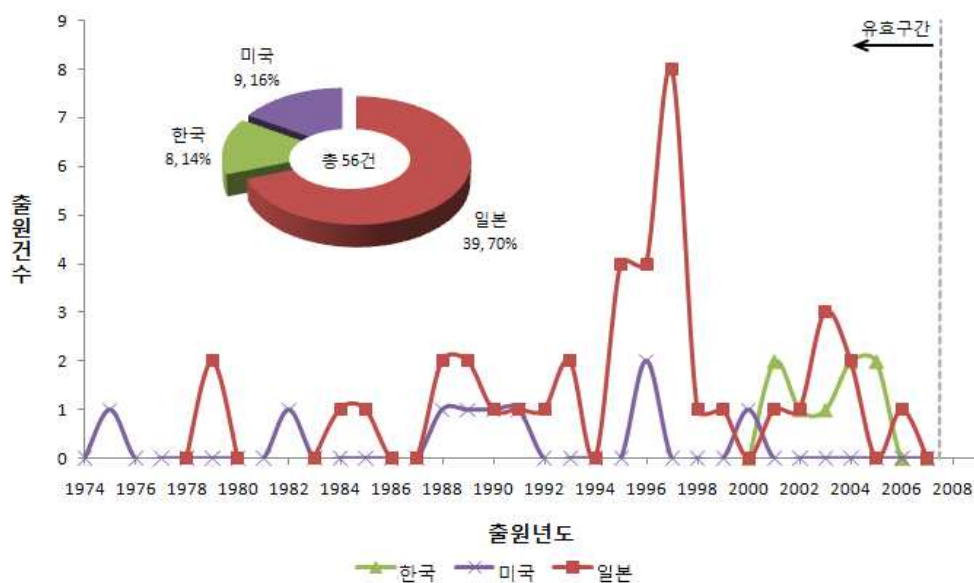


그림 2.36 지하구조물 활용 함양기술 분야의 연도별 특허동향

- 일본특허의 경우 1995년 ~ 1997년 동안의 출원활동이 두드러지며, 미국특허의 경우 1975년부터 간헐적으로 1~2건의 출원이 이루어졌으며, 유럽특허의 활동은 나타나지 않음.
- 지하구조물 활용 함양기술의 국가별 점유율은 총 56건 중 일본이 39건으로 약 70%를 점유하고 있으며, 이어서 미국이 9건으로 16%, 한국이 8건으로 14%를 점유하고 있음.

○ 분류 기술분야별 주요 출원인 분석

- 정호주입식 함양기술 분야의 상위 주요출원인

- 정호주입식 함양기술 분야의 국가별 상위 주요출원인을 살펴보면, 한국특허의 경우 조희남(지엔지테크놀러지), 미국 및 유럽 특허의 경우 Baker Hughes Incorporated, 일본특허의 경우 Shimizu Corp이 최상위 주요출원인으로 분석됨.
- 각국 특허의 최상위 출원인은 기타 주요출원인과 비교할 때 출원 건수의 격차가 두드러지게 나타나며, 관련 기술 분야에 대한 투자 또는 연구가 기타 주요출원인에 비하여 활발한 것으로 분석됨.

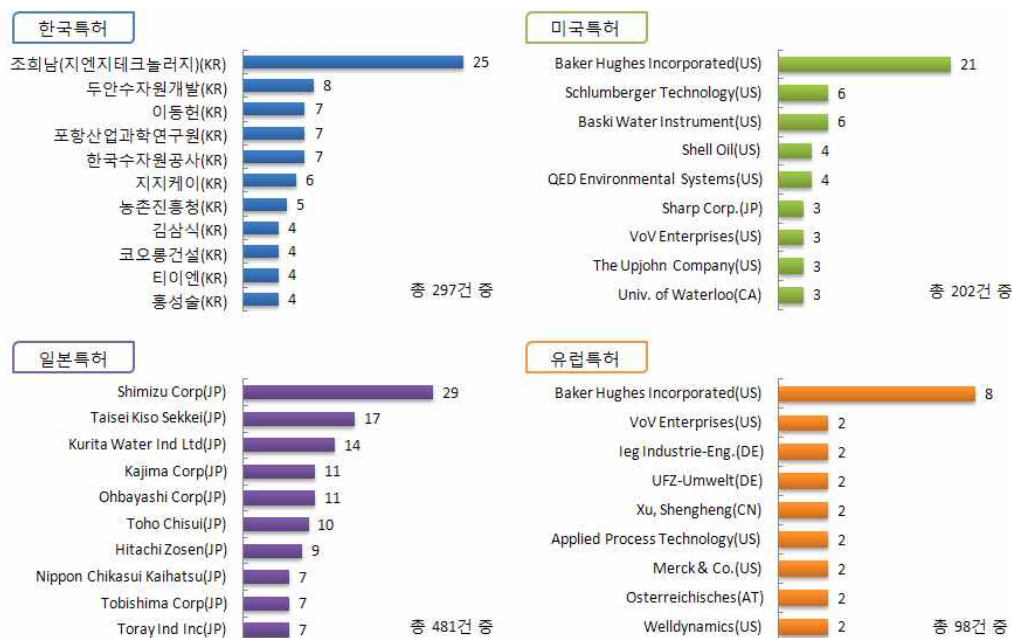


그림 2.37 정호주입식 함양기술 분야의 국가별 상위 주요출원인

- 지표 침투식 함양기술 분야의 상위 주요출원인

- 지표 침투식 함양기술 분야의 국가별 상위 주요출원인은 한국특허의 경우 에코빅, 삼성에버랜드, 한국건설기술연구원으로 분석되었으나 총 21건 중 각 3건 이하의 출원을 한 것으로 나타남.

- 일본특허의 경우 총 45건중 Takiron이 4건을 출원하였고, 기타 출원인들이 2건 이하의 출원을 함.
- 미국특허의 경우 총 8건을 8개 출원인이 1건씩 출원하였으며, 유럽특허의 경우 총 4건을 3개 출원인이 나누어 출원하고 있어, 주요출원인으로 분석하기는 무리가 있음.
- 강변여과식 함양기술 분야의 상위 주요출원인
 - 강변여과식 함양기술 분야의 국가별 상위 주요출원인은 한국특허의 경우 범한엔지니어링이 총 38건 중 9건을 출원하여 관련 기술을 주도하고 있는 것으로 판단되며, 기타 출원인들은 4건 이하의 출원을 나타냄.
 - 일본특허의 경우 총 29건 중 8건을 출원한 Shimizu Corp가 주요출원인으로 분석되며, 미국특허와 유럽특허의 경우 총 출원 건이 각 1건으로 Culligan International Company와 Wetterberg, Hans가 1건씩 출원함.

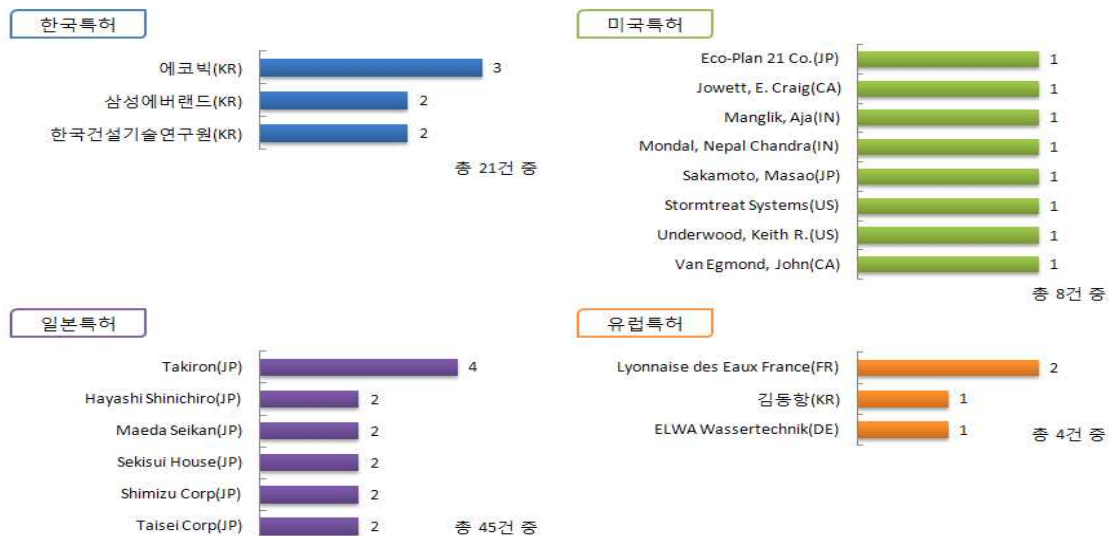


그림 2.38 지표 침투식 함양기술 분야의 국가별 상위 주요출원인



그림 2.39 강변여과식 함양기술 분야의 국가별 상위 주요출원인

- 지하구조물 활용 함양기술 분야의 상위 주요출원인

- 지하구조물 활용 함양기술 분야의 국가별 상위 주요출원인을 살펴보면, 한국특허의 경우 총 8건을 박재현(2건)외 6개 출원인(각 1건)이, 미국특허의 경우 총 9건을 Westinghouse Electric(2건)외 7개 출원인(각 1건)이 출원하고 있음.
- 일본특허의 경우 총 39건 중 Shimizu Corp.(5건), Ohbayashi Corp.(4건), Taisei Corp.(4건) 등이 출원하고 있는 것으로 나타남.



그림 2.40 지하구조물 활용 함양기술 분야의 국가별 상위 주요출원인

(4) 지질지하수 융합기술 분야 특허 분석 결과

(가) 분석 방향

- 지질지하수 융합기술 분야는 최근에 태동하는 분야로서 국내외적으로 특허가 다양하게 분포하지 않고 있어 주로 지중열교환기에 관한 특허에 대한 간단한 통계적 분석과 더불어 일부 국내 특허에 대한 세부 내용을 중심으로 정리하였다.

(나) 분석 방법

- NSDL의 데이터베이스에서 아래와 같은 키워드로 검색.

표 2.24 특허 동향 분석 키워드

분 야	keywords
지하수와 인공함양	geothermal AND (groundwater OR riverbank OR aquifer OR "heat pump" OR "heat exchanger")

(다) 국내외 기술개발 및 특허 동향

- 지중열교환기 관련 특허는 1973년부터 2010년까지 716개로 검색되었으며, 전세계적으로 지중열교환기에 관한 특허 수는 1980년대에 일부 증가하였다가 1990년대 들어서 크게 감소하여 침체기를 맞았다. 그러나 2000년대 이후로 그 수가 폭발적으로 증가하여 2008년에는 79편의 특허가 출원되었다.
- 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.

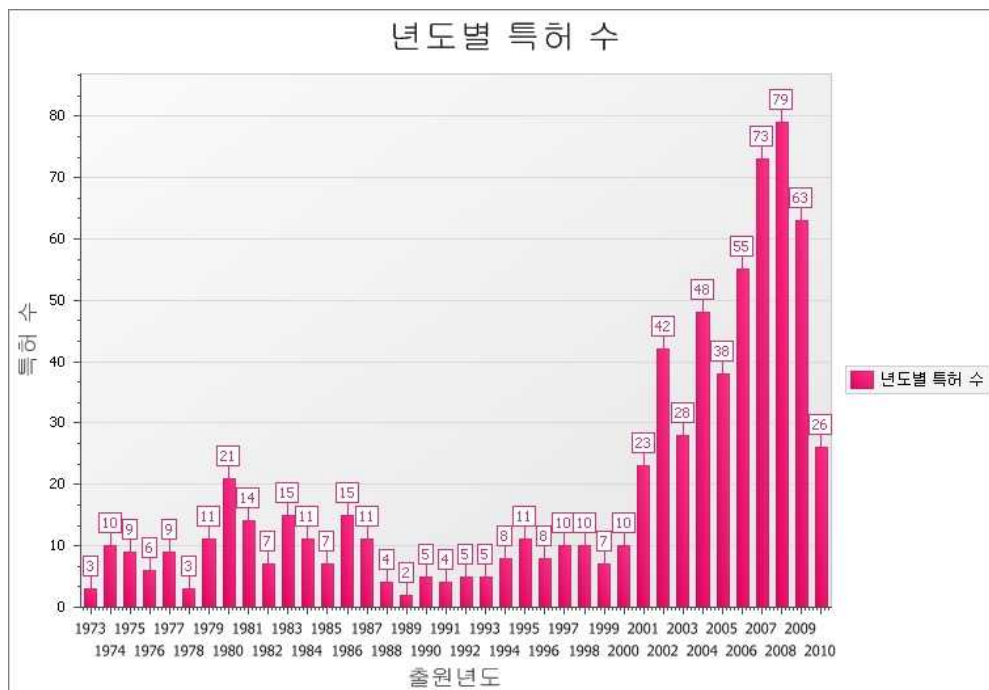


그림 2.41 지중열교환기 관련 전세계 특허 출원수

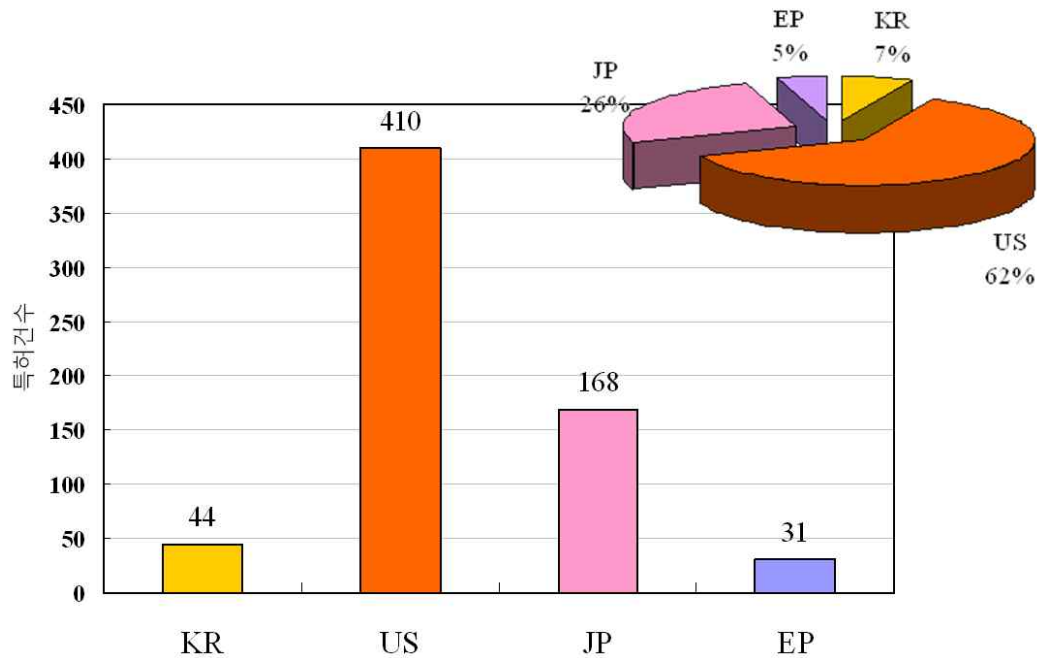


그림 2.42 국가별 지중열교환기 관련 특허 출원수

(라) 국내 기술개발 및 특허 동향

- 국내 특허는 2000년초에 중저온 지열 에너지 개발 기술을 시작으로 기술개발이 시작되었으나 현재까지 고효율의 실용화된 기술 개발이 완성되지 못하고 있으며, 정부의 녹색에너지 기술 정책에 의하여 다양한 연구개발과 기술 축적이 추진되고 있는 실정이다.
- 현재까지 추진되거나 특허가 출원된 대부분의 기술은 지중열교환기와 관련된 공조 시스템 등 기계설비 분야에 해당되어 분 연구에서 추진하고자 하는 지층내 시스템에 대한 기술, 특허는 거의 전무한 실정이다. 지열 에너지의 확보는 지층내 지질 및 지하수의 조건에 따라 지속성, 환경영향성, 확보 용량 여부 등에 영향을 미치는 것으로 연구되고 있으나 이와 같은 특성을 극대화하기 위한 국내 특허는 거의 전무한 실정이다.
- 특히, 국내의 경우 지열의 개발은 주로 폐쇄형 지중열교환기 시스템에 의한 기술 개발이 이루어져 왔으며 개방형 및 초천층 지열 확보 기술에 대한 연구개발과 특허 기술은 거의 전무한 상태이다. 중심부 지열의 폐쇄형 확보와 달리 개방형은 지하수를 활용하는 시스템으로서 지열의 전도성과 효율을 증대할 수 있는 기술임에도 불구하고 관련 예산 투자의 부족 등으로 기술 개발에 한계를 보이고 있는 실정이다. 또한, 일본의 경우 초천층 지열 확보를 통하여 시공성과 경제성을 확보하고 환경에 피해를 최소화하는 기술들이 개발되어 있으나 국내에서는 이에 대한 시도가 전혀 없고 특허 또한 확보되어 있지 않은 상태이다.

- 국내 특허는 1998년 김기봉의 지하수를 이용한 냉풍 시스템을 시작으로 매년 수건의 특허 및 실용신안 등이 있으며, 특허 건수가 많지 않기 때문에 특허권자(실용신안)의 소속과 기관이 다양하게 나타나고 있는 것이 특징이다. 이는 아직까지 이 분야에 대한 특허 출원이 다양하게 시도되고 있음을 보여주는 것이며, 유사한 특허들이 시도되고 있는 특징을 갖는다. 그러나, 대부분의 특허는 기계 장치에 대한 것으로서 실제 지하의 지열을 효과적으로 얻어내는 기술에 대한 특허는 미미하다.

표 2.25 국내 지질지하수 융합분야 기술 개발 현황

연도	과 제	총연구비 (백만원) (정부/민간)
2001	○ 중·저온성 지열에너지 개발 기술(3년)	1,100/1,071
2002	○ 지열냉난방시스템 실증연구(2년) ○ 지열냉난방 시스템 성능 평가 및 엔지니어링 기술 확보(2년) ○ 한국에 적합한 지열냉난방 시스템 기술개발과 적용성 및 신뢰성 평가연구(2년)	279/500 231/48 273/154
2003	○ 현지용 지중열전도도 예측 기술 개발(2년) ○ 부하추종형 고효율 지열 히트펌프 시스템 개발(3년) ○ 지열 이용 열펌프시스템의 성능평가기법 및 기술기준(안) 구축	195/0 2,031/750 (2년)256/0
2004	○ 지열 이용 하이브리드 히트펌프 시스템 개발(3년) ○ 한국형 지중열교환기 최적 설계 패키지 개발(3년) ○ 지중 열교환기 전열성능 향상을 위한 뒤통재 조성에 관한 연구(2년) ○ 고성능 저가형 지중열교환기 개발(2년) ○ 복수정을 이용한 지열히트펌프 시스템 실증연구(2년) ○ 스탠딩컬럼웰을 적용한 지열히트펌프 실증연구(2년)	685/305 250/93 192/0 100/100 440/194 624/238
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)	324/119 221/76 400/143 450/150
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)	6,450/2,150 592/218 483/0
2007	○ 자연냉매(CO2)를 적용한 고효율 지열 냉난방 및 급탕 시스템 개발 ○ 지하수 축열을 고려한 대수층 냉난방 시스템 개발 ○ 단일관정을 활용한 증적대수층 이용 냉난방시스템 개발 ○ 저심도 지열을 활용한 에너지 파이프 및 환기 병용형 냉난방 시스템 개발	3,900/2,580 1,100/820 886/660 1,200/850

표 2.26 최근 국내 특허 현황

번 호	특허명	특허권자(논문저자)	출원일
한국공개특허 1998-0082018	지하수를 이용한 냉풍 시스템	김기봉	1998.08.14.
한국공개특허 2000-0063299	지열을 이용한 냉난방 열교환 시스템	김성근, 허원, 최기성, 이상춘, 한승덕	2000.06.23.
한국공개특허 2005-0027203	지열이용 냉난방 공조시스템	럭키엔지니어링	2004.12.23.
한국등록특허 2004-0060467	지하수와 지중열을 이용한 냉난방시스템	코오롱건설	2002.12.30.
한국공개특허 2006-0116607	외부열원에 의한 멀티형 냉난방시스템	김경균	2006.11.15.
한국공개특허 2007-0042068	지하수열교환시스템의 누수측정장치	임철호	2007.04.20.
한국공개특허 2005-0121156	지열을 이용한 온실열 공급장치	김영국	2004.06.21.
등록실용신안 2005-0009802	냉온열교환기	김주섭	2005.04.11.
한국등록특허 2005-0045410	농업용 열교환 합성수지	최영규	2005.05.30.
한국공개특허 2005-0009432	수막 난방용 용수공급장치	박진섭	2005.02.02.
등록실용신안 2001-0036120	수막형 비닐하우스용 열 교환기	이양우	2001.11.23.
등록실용신안 2004-0019779	수 열교환식 히트펌프 냉난방 시스템	권영현	2004.07.12.
등록실용신안 2004-0028881	암반지하수 및 비열을 이용하는 열교환구조	김진상	2004.10.12.
한국공개특허 2004-0032744	온실용 열 교환장치	주식회사 지엔	2004.05.10.
한국등록특허 2005-0015707	지열 및 빙축 열조를 혼합 이용한 냉난방 동시 시스템	주식회사 씨엔이	2005.02.25.
한국등록특허 2004-0057068	지열히트펌프시스템	농촌진흥청, 티이엔	2004.07.22.
등록실용신안 2004-0011562	지열을 이용한 냉난방장치	에치피시스템테크 최병윤	2004.04.26.
등록실용신안 2003-0034689	지열을 이용한 축열식 히트펌프 시스템	에치피시스템테크 최병윤	2003.11.05.
한국등록특허 2005-0013943	지열을 이용한 히트펌프시스템 및 그 제어장치	가진기업,노콘트롤, 선우콘트롤	2005.02.21.

나. 논문분석

(1) 지하수 조사평가 고도화 분야 논문 동향

(가) 논문 조사 방법론

- 분석 방법
 - Elsevier社의 Scopus의 데이터베이스를 검색.
- 분석 범위
 - 검색 기간: 1990. 1. 1~2010. 12. 31 (21년간).
 - 검색 범위: Article Title, Abstract, Keywords.
 - 검색 분야: Physical Sciences
 - 문서형태: Article
 - 지하수 조사평가 기술 관련 논문 동향 분석에 사용된 키워드는 다음과 같다

표 2.27 논문 동향 분석 키워드

분 야	keywords
수변 지역 지하수 조사 평가 고도화 기술	groundwater, surface water, interaction, riverine area, monitoring, assessment

- 상기 키워드를 대상으로 AND와 OR 연산자를 사용하여 검색한 후 논문의 Abstract를 확인하여 노이즈를 제거하였음

(나) 논문 동향

- 상기 조사 대상 Keyword를 활용하여 최종 검색된 대상 논문 수는 총 408편에 해당함
- 1990년 이후 수변지역 지하수 조사 평가 고도화 기술 관련 논문이 연도별로 발표된 추이를 살펴보면, 1990년대에는 5편 이내의 수준에 머무르다가 2000년대 들어서 급증하는 추세로 가고 있음.
- 최근까지 세계적인 관심이 크게 증대하고 있는 추세로 2010년에는 한 해 동안 73편의 논문이 발표되었음.

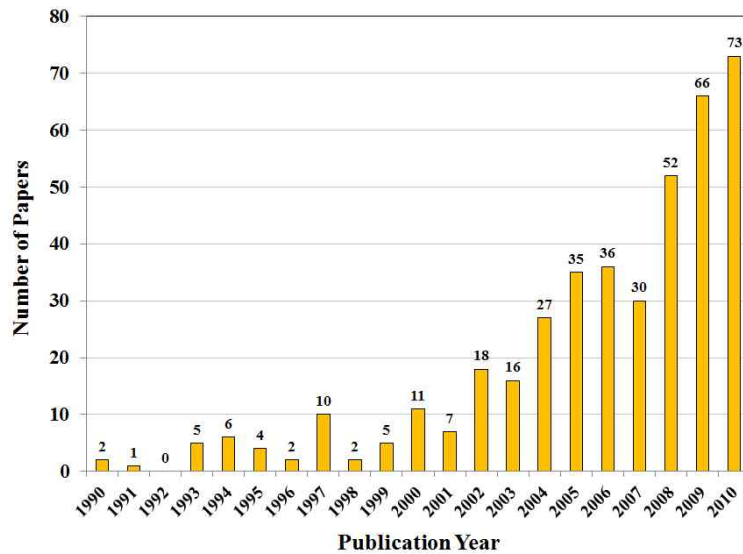


그림 2.43 수변지역 지하수 조사 평가 기술 관련 논문 연도별 발표 건수

- 1990년대 통틀어서 37편의 논문이 발표된 것으로 볼 때, 최근 3년간 50편 이상의 논문이 발표되는 추세로 세계적으로 수변지역 지하수 조사 평가 기술에 대한 관심이 크게 증가하고 있는 것으로 볼 수 있음.

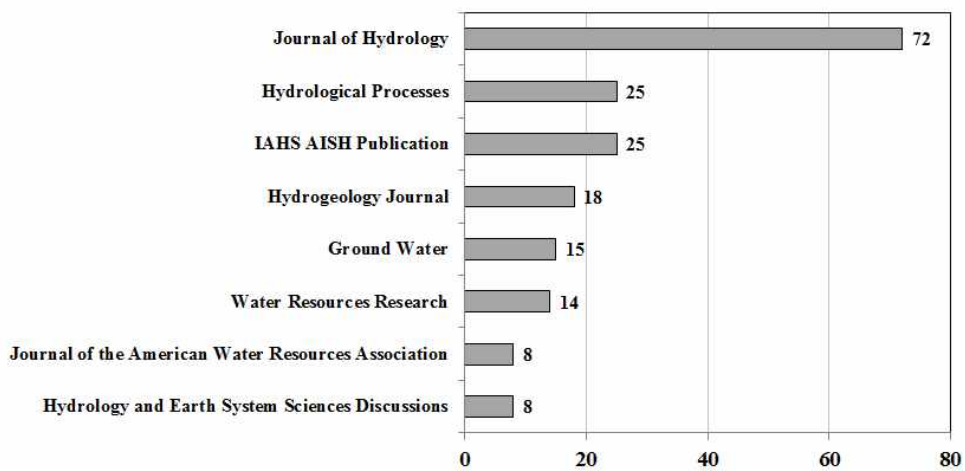


그림 2.44 수변지역 지하수 조사 평가 기술 관련 논문 최다 게재 저널

- 수변지역 지하수 조사 평가 기술 관련 논문은 Journal of Hydrology에서 압도적으로 많이 게재되고 있음.
- 이 외에 Hydrological Processes와IAHS AISH Publication, Hydrogeology Journal 순으로 나타나고 있음.

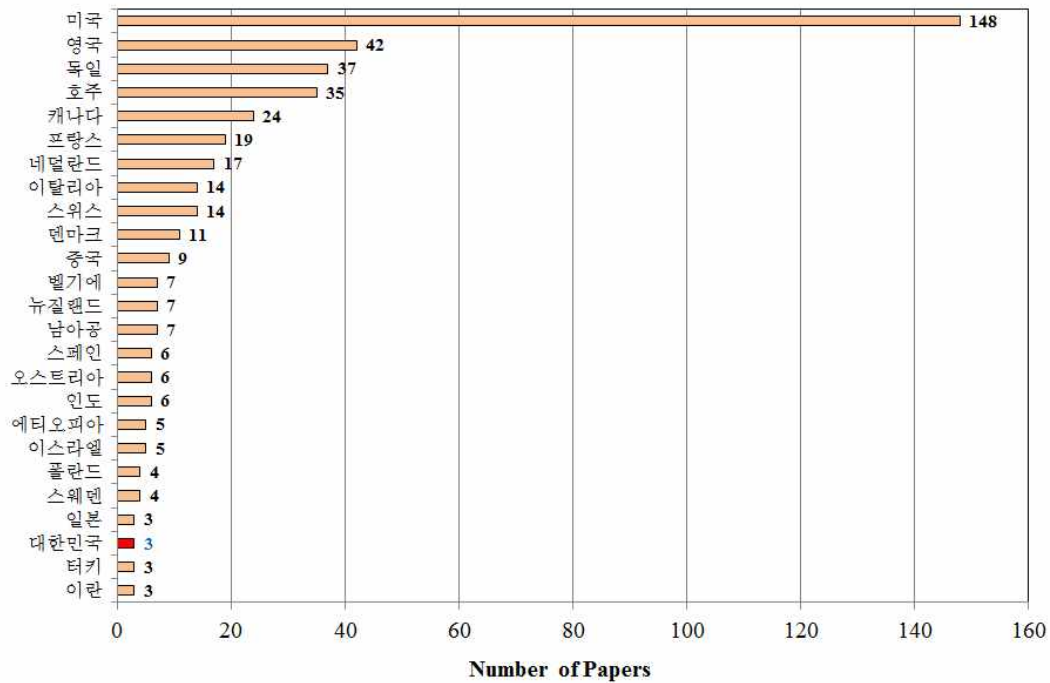


그림 2.45 수변지역 지하수 조사 평가 기술관련 국가별 발표 논문 수

- 국가별로 발표된 논문의 수는 미국에서 압도적으로 많은 연구가 이루어졌음을 알 수 있음.
- 미국 이 외에는 영국, 독일, 호주가 두각을 나타내고 있음. 영국과 독일의 경우 다른 나라와 공동 연구가 많이 진행되는 경향이 강한 반면, 호주에서는 독자적인 연구가 많이 진행되고 있음.
- 아시아권에서는 연구 진척이 매우 더딤. 현재 중국이 9편으로 가장 많은 논문을 발표하였으나, 세계 11위 수준에 불과.
- 일본에서 이 분야에서의 연구가 거의 이루어지지 않고 있음.
- 우리나라는 3편의 논문으로 22~25위 수준에 불과함.
- 이 분야에서 서구권 국가들의 수준에 비해 연구 수준이 많이 뒤쳐지고 있어 연구가 시급함

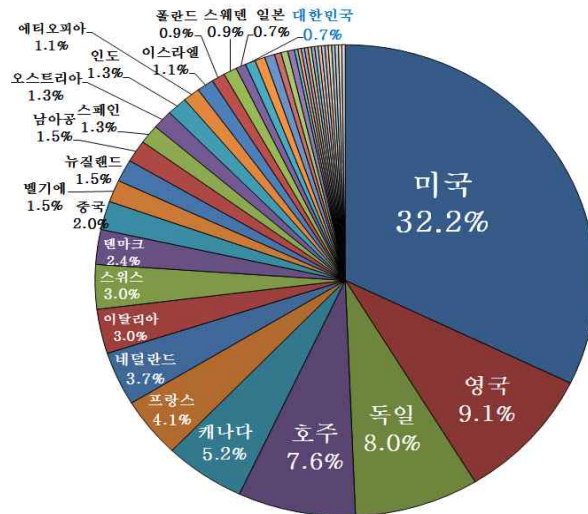


그림 2.46 수변지역 지하수 조사 평가 기술관련 국가별 발표 논문 비율

- 발표 논문 수의 비율로 살펴보면 미국이 전 세계의 32.2%로 압도적인 연구 성과를 내고 있음.
- 영국, 독일, 호주, 캐나다, 프랑스, 네덜란드, 이탈리아, 스위스가 3% 이상의 연구 성과를 내었으며 상위 순위에 있는 국가들이 모두 서구권 국가들임.
- 아시아 내 최다 논문을 발표한 중국은 세계 2%, 일본과 한국은 나란히 0.7%를 기록하여 이 분야에서의 연구 수준이 세계 수준에 많이 뒤지고 있음.

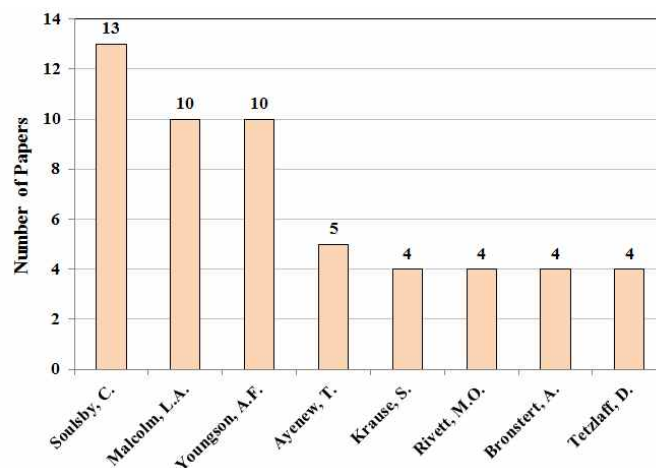


그림 2.47 수변지역 지하수 조사 평가 기술관련 논문 주요 저자

- 수변지역 지하수 조사 평가 기술 관련 논문의 최다 저자는 Soulsby, C.로 13편의 논문을 발표하였으며, 10편의 논문을 발표한 Malcolm, L.A., Youngson, A.F. 모두 영국 Aberdeen 대학교에서 연구 중임.

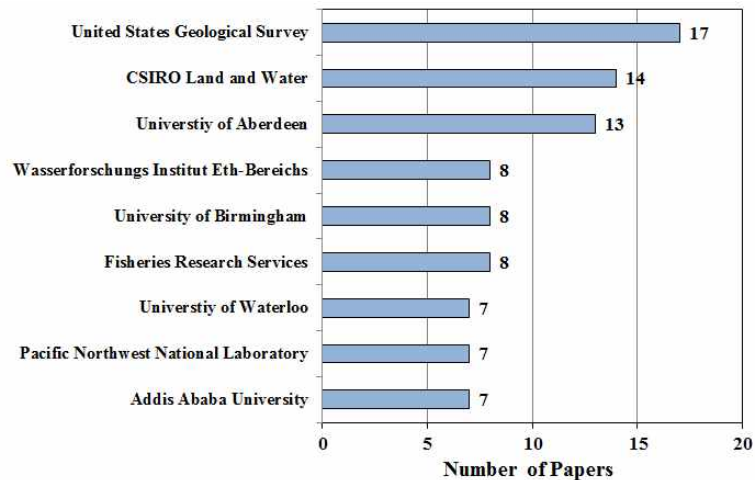


그림 2.48 수변지역 지하수 조사 평가 기술관련 논문 저자 소속 기관별 발표 논문 수

- 수변지역 지하수 조사 평가 기술관련 논문의 저자 소속 기관 중 최다 논문을 발표한 기관은 미국 United States Geological Survey이며, 모두 17편의 논문을 발표함.
- 호주의 CSIRO Land and Water에서 연구가 활발하며 모두 14편의 논문을 발표한 바 있으며, 영국 Aberdeen 대학교에서 13편의 논문을 발표하였음.

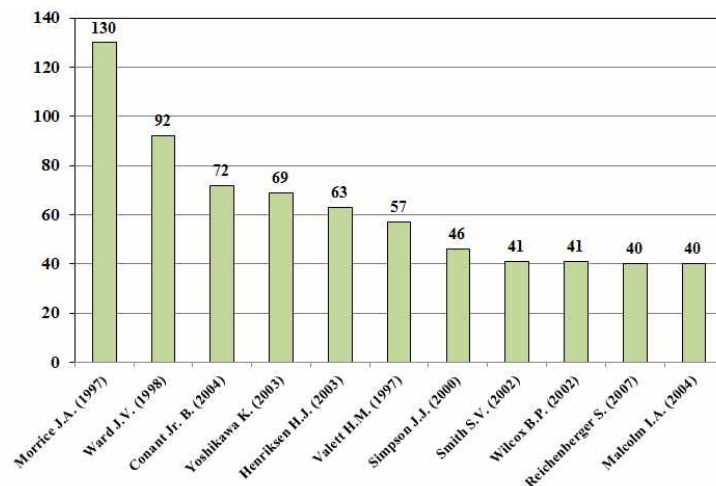


그림 2.49 수변지역 지하수 조사 평가 기술 관련 최다 인용 논문

- 수변지역 지하수 조사 평가 기술과 관련된 논문 중 최다 인용된 논문은 모두 130회 인용된 Morrice J.A. (1997)의 Alluvial characteristics, groundwater-surface water exchange and hydrological retention in headwater streams 으로 나타났음.
- 다음으로 92회 인용된 Ward J.V (1998)의 The boundaries of river systems: The metazoan perspective와 72회 인용된 Conant Jr. B.(2004)의 Delineating and Quantifying Ground Water Discharge Zones Using Streambed Temperatures로 나타났음.

(2) 지하수 개발이용 고도화 분야 논문 동향

(가) 논문 조사 방법론

○ 분석 방법

- Elsevier社의 Scopus의 데이터베이스를 검색.

○ 분석 범위

- 상기와 동일한 방법으로 논문을 검색하여 분석하였음
- 본 분석에 사용된 키워드는 다음과 같음.

표 2.28 논문 동향 분석 키워드

분 야	keywords
지하수와 인공함양	(groundwater OR aquifer) AND "artificial recharge"
강변여과 기술	"riverbank filtrat*" OR "bank filtrate*"

(나) 분석 결과

○ (groundwater OR aquifer) AND "artificial recharge"에 의한 결과

- 1991년부터 2010년까지 검색된 논문은 총 345편임
- 2004년 이후에는 꾸준한 증가세를 보이고 있으며 매년 30여건의 논문이 배출되고 있음



그림 2.50 수변지역 지하수 개발이용 기술(인공함양) 관련 연도별 논문 현황

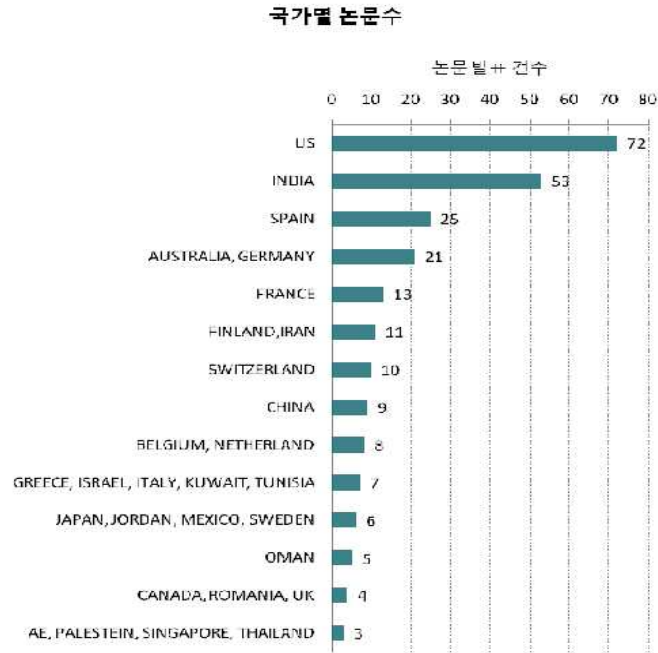


그림 2.51 수변지역 지하수 개발이용 기술(인공함양) 관련 국가별 논문 현황

- 국가별로는 물 부족 문제가 있는 인도, 중동 및 아프리카 지역에서 연구가 활발히 이루어졌음.



그림 2.52 수변지역 지하수 개발이용 기술(인공함양) 관련 저자별 현황

- 국가별 논문수는 차이가 있으나 주요 저자의 분포는 국가별로 고른 편이며, 어느 한 연구자가 연구를 선도하고 있다고 보기에는 어려움.
- 가장 많은 논문을 발표한 Pavelic, P. 는 오스트레일리아에서 오랫동안 연구하였으며 논문수가 그 다음으로 많은 Dillon, P. 와 함께 소속되었던 CSIRO Land and Water는 인공함양 분야에서 가장 많은 연구성과를 내고 있음.

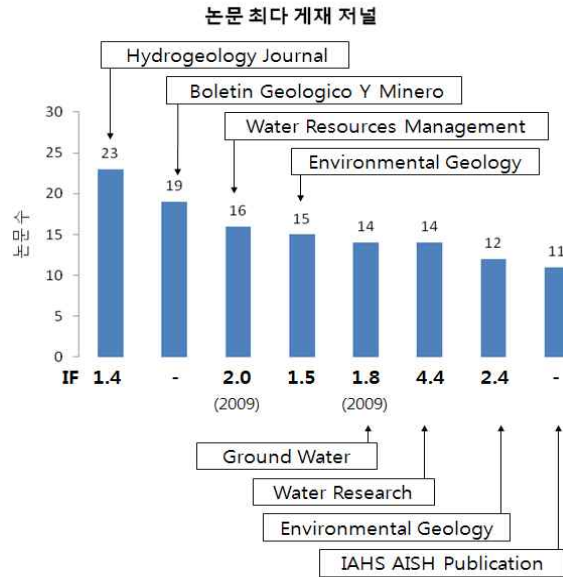


그림 2.53 수변지역 지하수 개발이용 기술(인공함양) 관련 저널 현황

- 수리지질학 관련 저널에서의 논문 게재가 가장 많음.
- SCI 논문 외 국가별 연구 보고서나 국내 학술 잡지에 실리는 내용이 상당함.

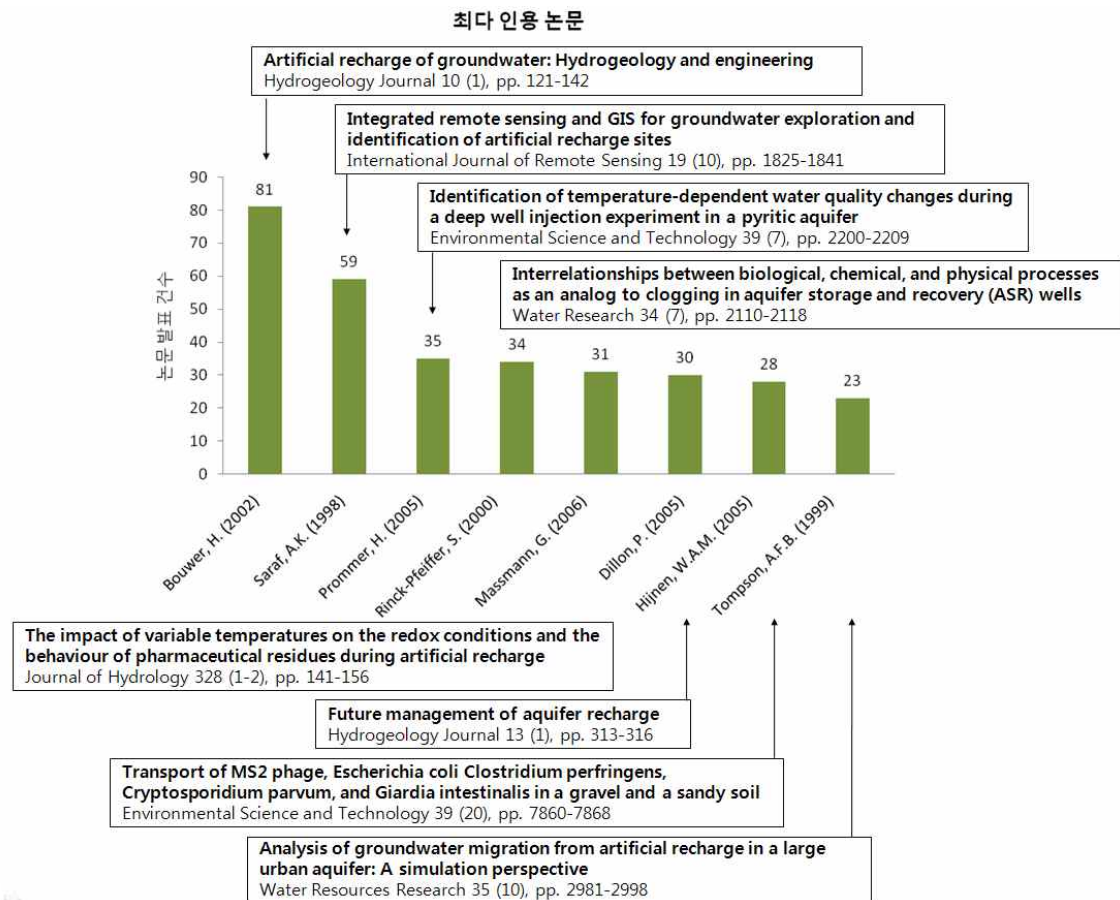


그림 2.54 수변지역 지하수 개발이용 기술(인공함양) 관련 논문 인용 현황

- 2002년 이전 논문으로는 인공함양의 다양한 적용성을 전망한 개괄적 내용의 논문들이 많이 인용되었음.
- 2005년 이후로는 주로 산화-환원 환경 및 용질의 이동을 다룬 수질에 관한 연구들이 많이 인용되었음.

○ 핵심 연구의 연도별 변화 특성 분석

- 인공함양 분야의 연구 추세 변화를 파악하기 위해 발표 논문수가 상위 4위 안에 드는 CSIRO Land and Water (12편), National Geophysical Research Institute India (11편), United States Geological Survey (10편), Lawrence Livermore National Laboratory (7편), Freie Universität Berlin (7편), Indian Institute of Technology Roorkee (7편), Kuwait Institute for Scientific Research (7편)의 7개 기관에서 발표한 논문을 상세 조사하였다.

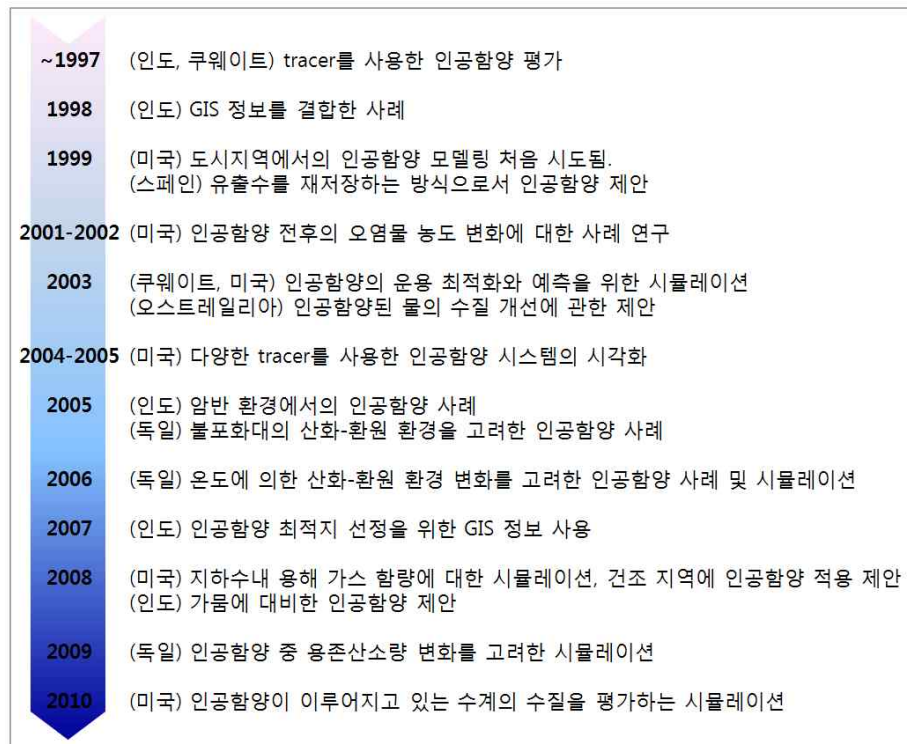


그림 2.55 수변지역 지하수 개발이용 기술(인공함양) 관련 핵심 논문의 변화 특성

- 1999년부터 수자원 확보 및 수질 개선을 위해 유출수를 재주입하는 형식의 인공함양이 주목받기 시작하였다. 2005년 이전까지 인공함양 분야의 주된 연구 주제는 tracer를 주입하여 유동 경로를 시각화하거나, 수질 변화에 대한 것이었다. 이후 2005년부터 불포화대나 암반 대수층 등 다양한 환경에서 인공함양 시도 연구가 이루어졌으며, 2008년에는 건조 지역이나 기후변화 이슈와 더불어 가뭄이 증가하는 환경에서의 인공함양이 제안되었다.

- 인도에서는 GIS 기술과 인공함양을 결합하는 기술이 계속 연구 중에 있다.
 - 독일에서는 인공함양이 일어나고 있는 지중에서의 산화-환경 변화에 주목하고 있다.
 - 미국에서는 인공함양 시스템에서의 수질 평가 및 환경 변화 예측을 위해 주로 시뮬레이션 연구를 수행하고 있다.
- "riverbank filtrat*" OR "bank filtrate*"에 의한 분석 결과
- 위 검색 키워드로 도출된 논문 현황은 총 199편에 해당함.
 - 매년 20편 내외의 논문이 꾸준히 출판되고 있음. 2010년에는 관련 논문수가 28편으로 사상 최고를 기록하였음.



그림 2.56 수변지역 지하수 개발이용 기술(강변여과) 관련 핵심 논문의 변화 특성

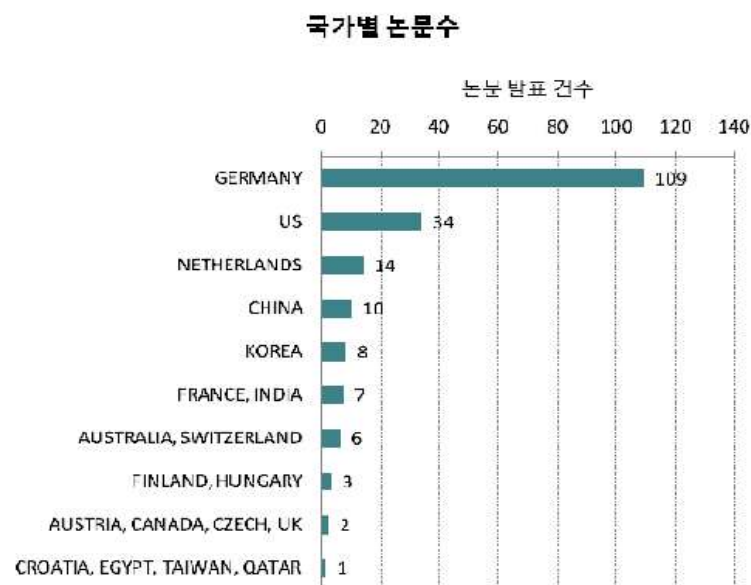


그림 2.57 수변지역 지하수 개발이용 기술(강변여과) 관련 국가별 논문 현황

- 독일에서 발표된 논문이 전체의 절반을 넘으며, 2번째로 많은 미국의 세 배에 이르러 독일이 강변여과 분야에서 독보적인 위치를 차지한다.
- 우리나라는 논문이 총 8편으로, 최적지 선정 조사, 오염물 저감, 강변여과수 온도 이용 등 상대적으로 다양한 주제를 다루었음.

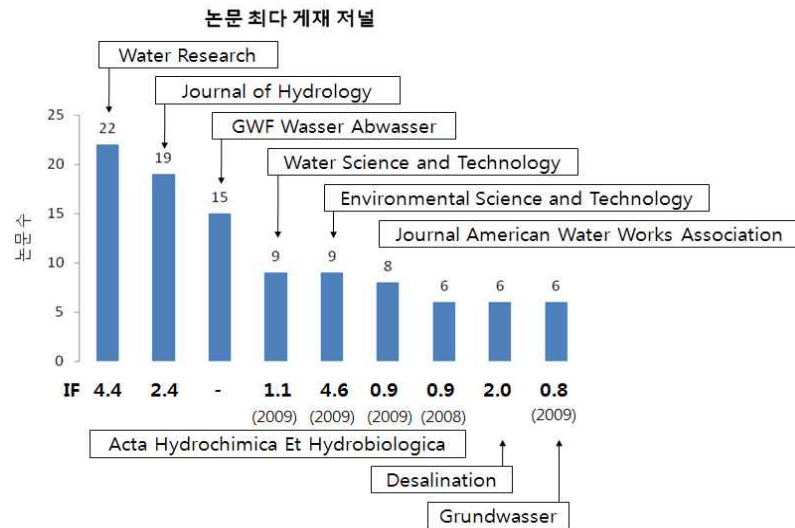


그림 2.58 수변지역 지하수 개발이용 기술(강변여과) 관련 저널 현황

- 가장 많은 논문이 실린 Water Research는 수자원 관련 학술지 중 impact factor가 4.4로 부동의 1위인 저널임. 이 저널에 가장 논문이 많이 실렸다는 것은 강변여과 연구에 대한 관심이 매우 큼을 의미하며, 수자원 연구 분야에서 이 연구의 질적 수준이 세계적으로 높다는 사실을 추정할 수 있음.
- GWF Wasser Abwasser, Grundwasser 등 독일 국내 학술지의 게재가 많은 점은 독일이 이 분야에서 선두적인 위치에 있다는 점을 시사함.



그림 2.59 수변지역 지하수 개발이용 기술(강변여과) 저자별 논문 현황

- 발표 논문수 상위 5위에 해당하는 8명의 연구자가 모두 독일 대학 및 연구소에 소속되어있음. 이 분야에서 독일의 연구자들이 가장 활발한 연구를 수행하고 있을 뿐 아니라 다른 나라와는 비교할 수 없을 정도로 많은 연구 결과물을 내고 있다는 것을 알 수 있음.
- 가장 많은 논문을 발표한 Massmann, G.는 베를린을 비롯한 대도시에서의 강변여과 활용과 오염물질 저감을 주로 연구하였으며, 지하수와 지표수의 교환에 관심을 가지고 있음. 다음은 Pekdeger, A.로서 이들은 강변여과 외에도 인공함양 분야에서도 논문을 많이 쓴 주요 저자로 파악되었으며, 이를 통해 두 분야가 밀접하게 연관되어 있음을 파악할 수 있음.
- 핵심 연구 주제의 특성 분석
 - 인용이 많이 된 논문은 대부분 강변여과를 통한 지하수, 지표수의 수질 및 토양환경 변화 문제를 다루고 있으며 거의 독일에서 행해진 실제 사례 또는 실험을 바탕으로 하고 있음.

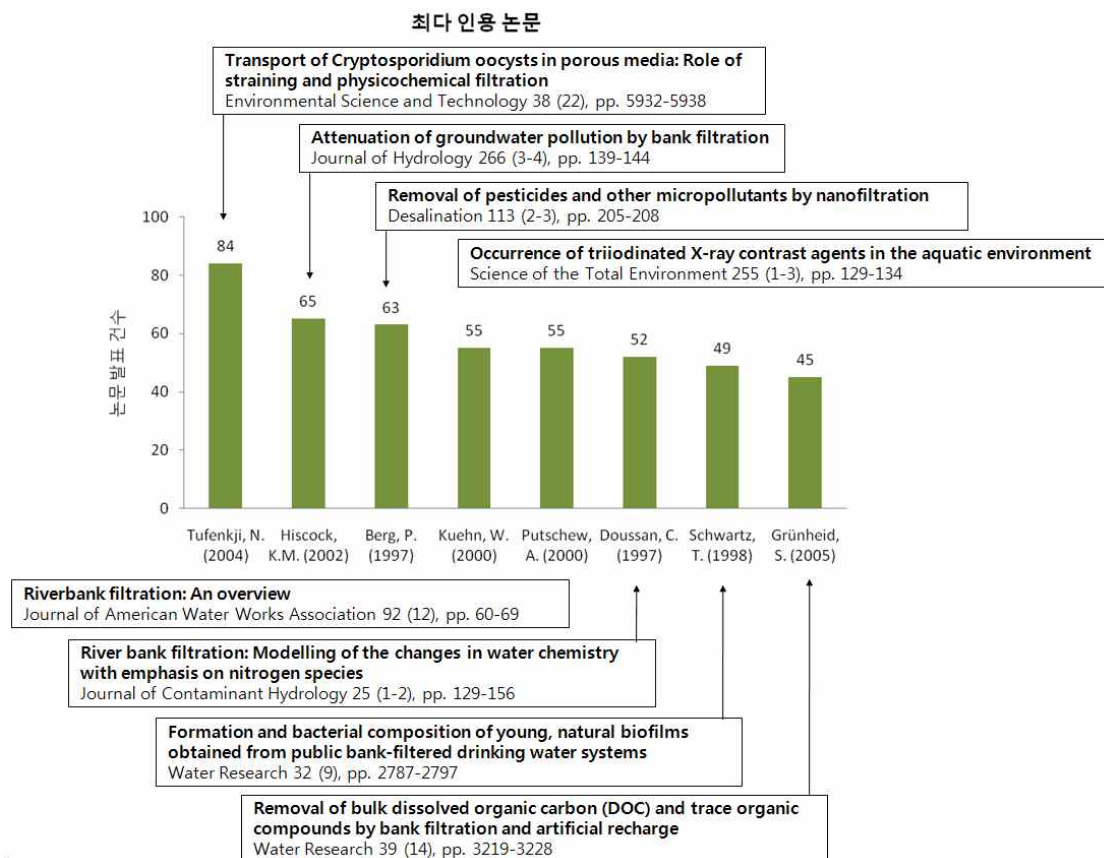


그림 2.60 수변지역 지하수 개발이용 기술(강변여과) 관련 논문 인용 현황

- 현재까지 강변여과 분야에 발표된 모든 논문들은 여러 물질의 농도 저감 및 이동 경로, 시간 추정과 이를 위한 시뮬레이션을 다루고 있다. 강변여과의 오염 농도 저감율을 증가시키기 위한 첨가제나 추가 시설에 관한 기술적인 부분을 다룬 연구도 일부 있으나 많지 않으며, 전체 연구내용에 있어서 시간에 따른 큰 추세는 특별히 확인되지 않았음.
- 강변여과 등 수변의 지하수 개발이용과 관련된 논문 트리는 아래와 같음.

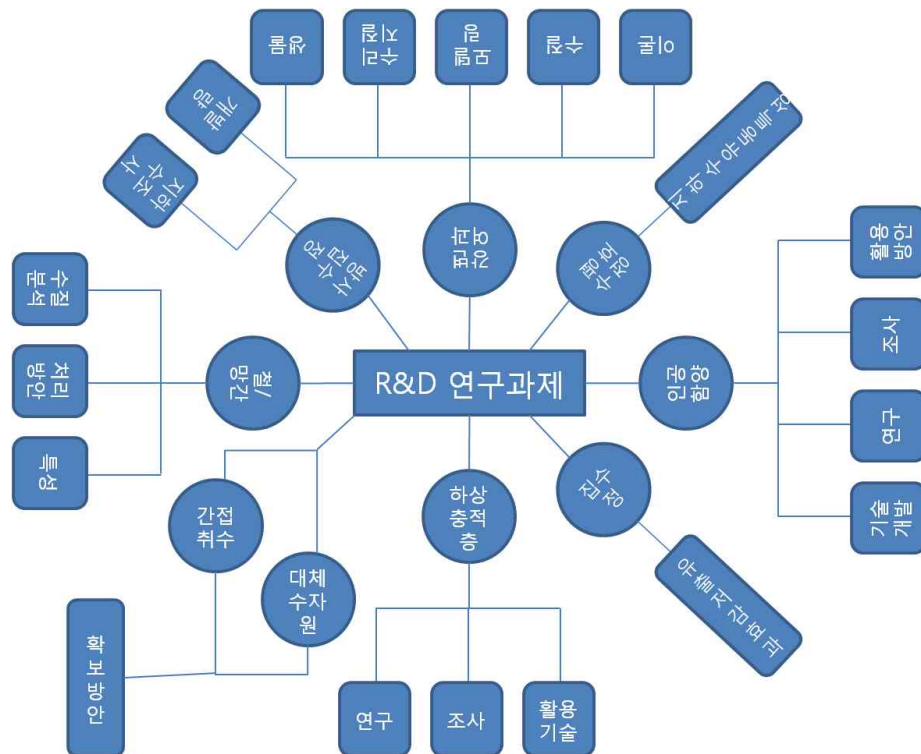


그림 2.61 수변지역 지하수 개발이용 기술(강변여과)관련 주제어 논문 트리

(3) 신개념적 지하수 분야 논문 동향

(가) 논문 조사 방법론

○ 분석 방법

- Elsevier社의 Scopus의 데이터베이스를 검색

○ 분석 범위

- 검색 기간: 1991. 1. 1~2010. 12. 31 (20년간).
- 검색 범위: Article Title, Abstract, Keywords.
- 검색 분야: Physical Sciences

- 문서형태: Article
- 본 기획이 연구개발 과제를 전제로 하는 점을 고려하여 새로운 접근론, 다학제, 융합과 같은 신개념적 지하수 관련 논문 동향을 분석하였으며 사용된 키워드는 다음과 같음.

표 2.29 논문 동향 분석 키워드

분야	keywords
간척지 및 간척지 인근의 지하수 환경 변화	reclamation, land reclamation, reclaimed land, groundwater, groundwater system, groundwater environment, aquifer, change, impact, management, recharge, coastal groundwater

- 상기 키워드를 대상으로 AND와 OR 연산자를 사용하여 검색한 후 논문의 Abstract를 확인하여 노이즈를 제거하였음

(나) 논문 동향

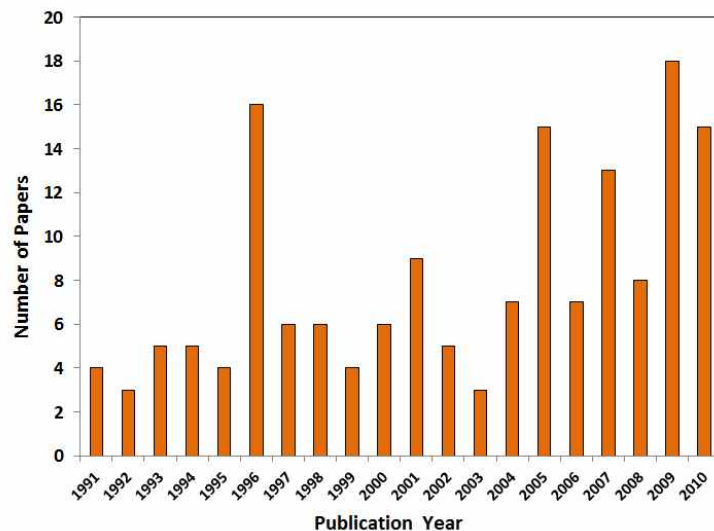


그림 2.62 신개념적 지하수 관련 논문 연도별 발표 건수

- 1991년 이후 간척지 및 간척지 인근의 지하수 환경 변화 관련 논문이 연도별로 발표된 추이를 살펴보면, 1990년대에는 5편 이내의 수준에 머무르다가 2000년대 후반 들어서 10편 이상으로 증가하는 추세로 가고 있음.
- 최근까지 세계적인 관심이 서서히 증대하고 있는 추세로 2009년이 가장 많은 논문이 발표되었으며 2009년에는 한 해 동안 18편의 논문이 발표되었음.
- 2005년 이후 평균 10편 이상의 논문 발표된 것으로 볼 때, 세계적으로 간척지 및 간척지 인근의 지하수 환경 변화에 대한 관심이 서서히 증가하고 있는 것으로 볼 수 있음.

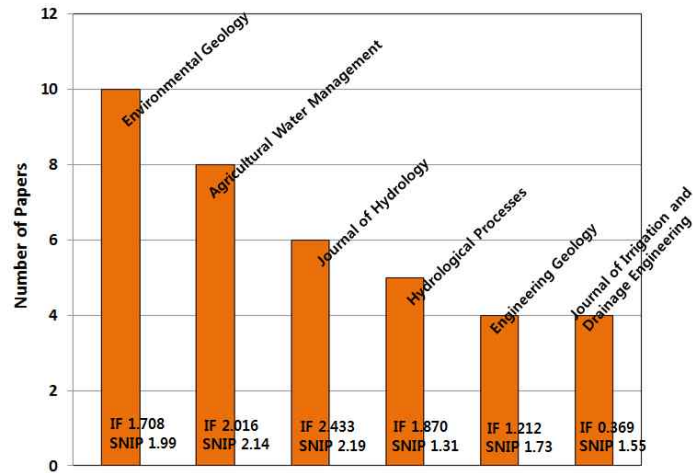


그림 2.63 신개념적 지하수 관련 논문 최다 게재 저널.

* IF: impact factor, SNIP: Source Normalized Impact per paper

(corrections for differences in the frequency of citation across research fields).

- 간척지 및 간척지 인근의 지하수 환경 관련 논문은 Environmental Geology에서 가장 많이 게재된 바 있으며, 기타로는 Agricultural Water Management와 Journal of Hydrology, Hydrological Processes 순으로 나타나고 있어 특정 학술지에 관련 논문이 몰리는 경향은 없음.

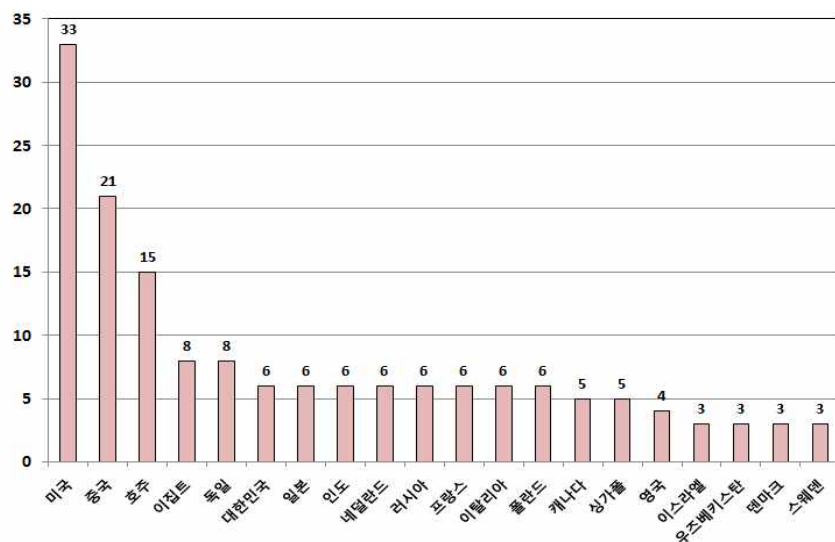


그림 2.64 신개념적 지하수 관련 국가별 발표 논문 수

- 국가별로 발표된 논문의 수는 미국이 가장 많은 연구가 이루어졌음을 알 수 있음.
- 미국 이 외에는 중국과 호주가 두각을 나타내고 있음. 중국에서는 홍콩과 선전지구에서 많은 연구가 진행되고 있음.

- 아시아권에서는 연구 진척이 매우 더딤. 현재 중국이 21편으로 가장 많은 논문을 발표하였으며 미국과 함께 관련 연구를 주도하고 있음. 특히 홍콩에서 많은 논문이 나오고 있음.
- 간척지에 관심이 많을 수밖에 없는 인구밀도가 높거나 국토에 사막이 많은 국가에서 연구가 대체로 활발한 경향이 나타남. 홍콩, 이집트, 네덜란드, 싱가포르, 이스라엘, 덴마크 등에서 연구가 활발한 편.
- 우리나라는 6편의 논문으로 6~13위권 수준에 있음.
- 우리나라의 이 분야에서의 연구 수준은 세계에서 많이 뒤처지는 수준은 아니나 영토가 좁고 인구밀도가 세계 3위인 우리나라의 특성상 더 많은 연구가 필요한 실정.

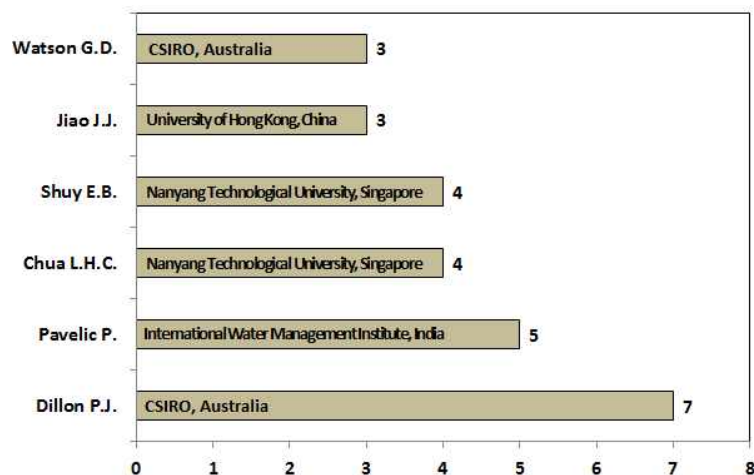


그림 2.65 신개념적 지하수 관련 논문 주요 저자

- 간척지 및 간척지 인근의 지하수 환경 변화 관련 논문의 최다 저자는 Dillon P.J.로 7편의 논문을 발표하였으며, 호주 CSIRO에서 연구중임.
- 인도의 Pavelic P., 싱가포르의 Chua L.H.C, Shuy E.B., 중국 홍콩의 Jiao J.J. 등이 두각을 나타내고 있음.

(4) 지하수 지질 융합 분야 논문 동향

(가) 논문 조사 방법론

○ 분석 방법

- Elsevier社의 Scopus의 데이터베이스를 검색
- 지하수와 지질의 융합 분야로서 지열, 지하수, 지질 분야의 검색어를 중복하여 조사를 수행하였음

표 2.30 분석에 사용된 Keyword

구 분	Keyword의 조합
지열과 지하수	geothermal AND (groundwater OR riverbank OR aquifer)
지열 히트 펌프	geothermal AND energy AND "heat pump" OR "borehole heat exchanger" OR "standing column"
폐쇄형과 개방형의 비교	1)geothermal AND energy AND ("heat pump" OR "borehole heat exchanger" OR "standing column") AND ("borehole heat exchanger" OR "ground source heat pump" OR "standing column well" OR "geothermal heat pump" OR "closed loop") 2)geothermal AND energy AND ("heat pump" OR "borehole heat exchanger" OR "standing column") AND ("groundwater heat pump" OR "open loop")
개방형 지열	"groundwater heat pump" OR "open loop heat pump" OR "groundwater heat exchanger" OR "open loop heat exchanger"
지중열 저장	aquifer thermal energy storage

(나) 분석 결과

- geothermal AND (groundwater OR riverbank OR aquifer)에 의한 결과
 - 검색된 논문수는 총 932편에 이릅니다
 - 본 검색은 지하수 지질의 융합에너지 분야의 개괄적인 논문 특성을 파악하기 위한 것으로서 전체적 동향을 파악하기 위함.

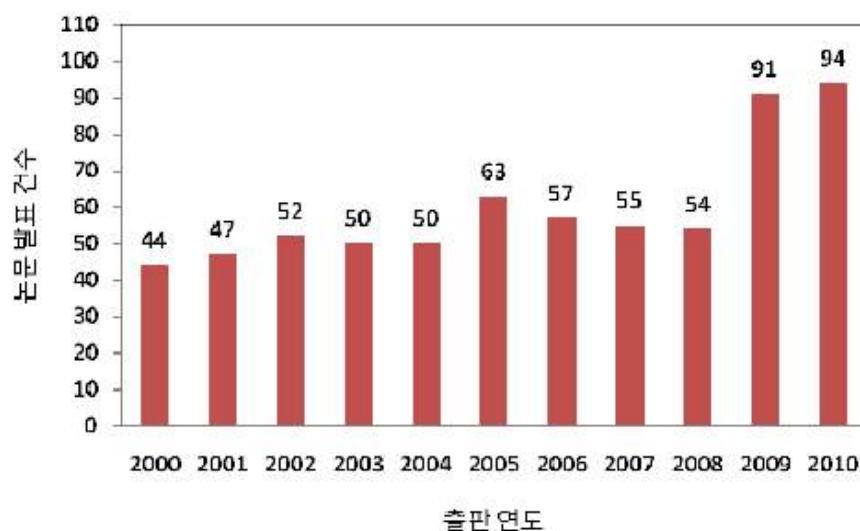


그림 2.66 지질 지하수 융합분야(총괄) 관련 논문 연도별 발표 건수

- 2005년 이전에는 50편 이하 논문이 발표되었으며, 2005~2008년 사이에는 50편 이상의 논문이 발표되었고, 2009~2010년에는 90편 이상으로 급증하고 있어 최근 들어 관심과 연구가 증가하고 있음.

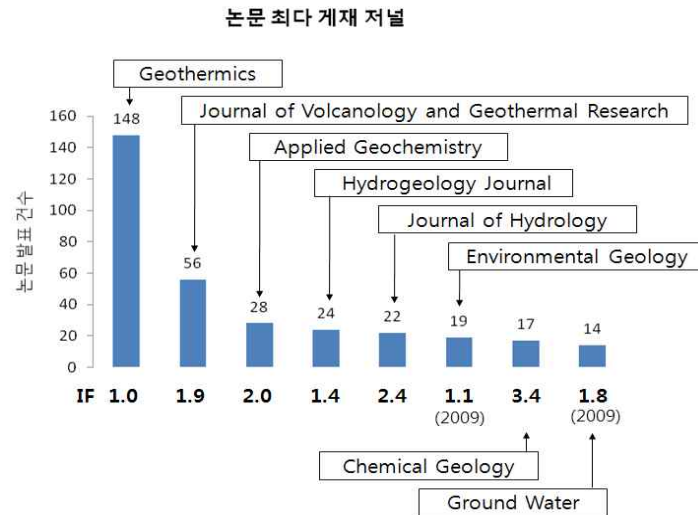


그림 2.67 지질 지하수 융합분야(총괄) 관련 저널 현황

- Impact Factor는 별도의 표시가 없는 한 2010년 기준.
 - IF가 비교적 낮은 SCI-expanded 저널인 Geothermics에 가장 많은 논문이 게재되었음. 지열에너지만 다루는 SCI 저널이 없다는 반증.
 - 이외에는 심부 지열개발 지열수 성분 분석과 관련하여 J. of Volcanology and Geothermal Research, geochemistry 관련 저널에 많은 논문이 실림. Hydrogeology 관련 저널은 그 다음 순위.
- geothermal AND energy AND "heat pump" OR "borehole heat exchanger" OR "standing column"에 의한 분석 결과
 - 본 검색 결과 총 315편의 논문이 발표된 바 있음
 - 지질 지하수 융합 분야 중에서도 지중열교환기에 대한 연구 동향을 살펴보기 위하여 수행하였음.

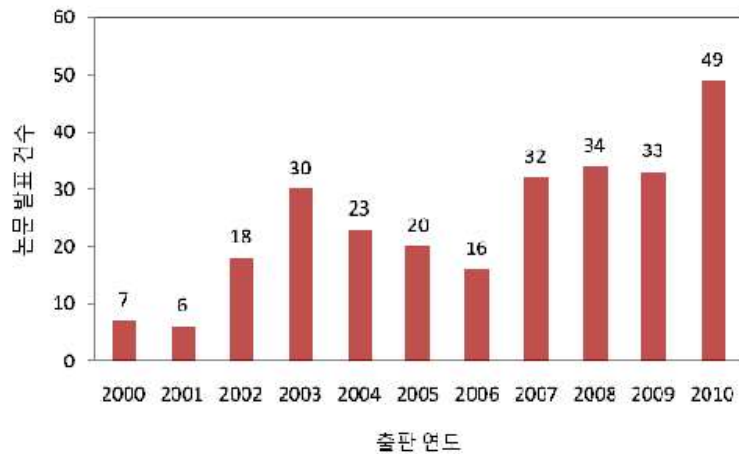


그림 2.68 지열 지하수 융합분야(히트펌프) 논문 연도별 발표 건수

- 본 분야는 천부 지열 개발에 대한 것으로서 심부 지열 개발 연구에 비해 그 수가 적은 편이나, 마찬가지로 최근 논문 발표 건수가 급증하고 있음.

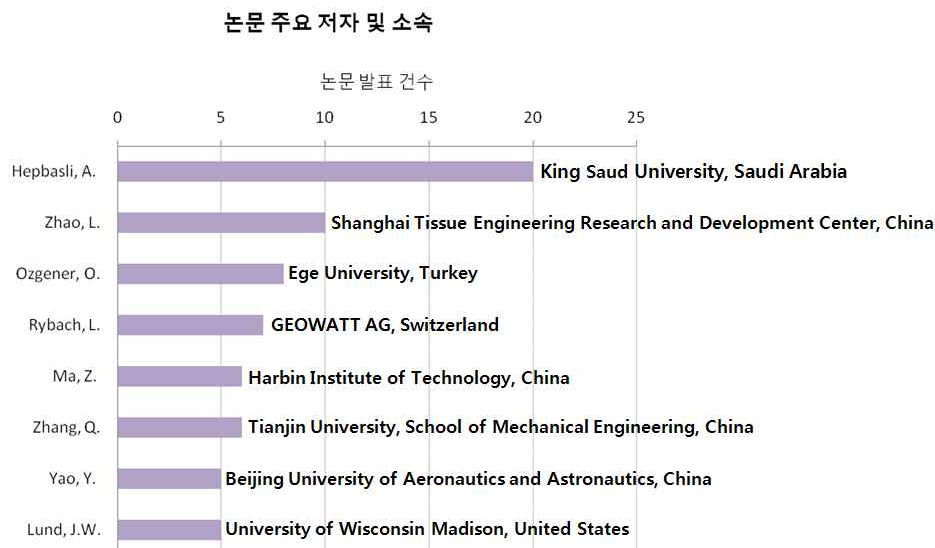


그림 2.69 지열 지하수 융합분야(지중열교환기) 관련 논문 저자 현황

- 지중열교환기 분야에서 가장 논문을 많이 쓴 사람은 현재 King Saud University 에서 연구 중인 있는 Hepbasli, A. 로 본래 터키 출신이며 캐나다를 거쳐 사우디아라비아로 소속을 옮겼음. 연구 내용은 주로 폐쇄형 지중열교환기에 관한 것으로 실험 및 운용 사례를 자료와 함께 소개하는 형식이 대부분임.
- 상위 8명 중 4명이 중국인으로 중국 대학 및 연구소에서 발표한 논문이 많음. 중국에서 주로 연구하고 있는 내용은 토양과 지하수 특성, 교환기내 유체 종류에 따른 폐쇄형 지중열교환기의 효율 비교에 관한 실험 및 모델링.
- 심부 지열에너지 활용에 있어서 역사가 긴 유럽 지역에서는 천부 지열에너지와

관련이 있는 지중열교환기에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 것으로 파악됨. 스위스의 지열에너지 개발 회사 소속 연구자가 발표한 논문 7편임.

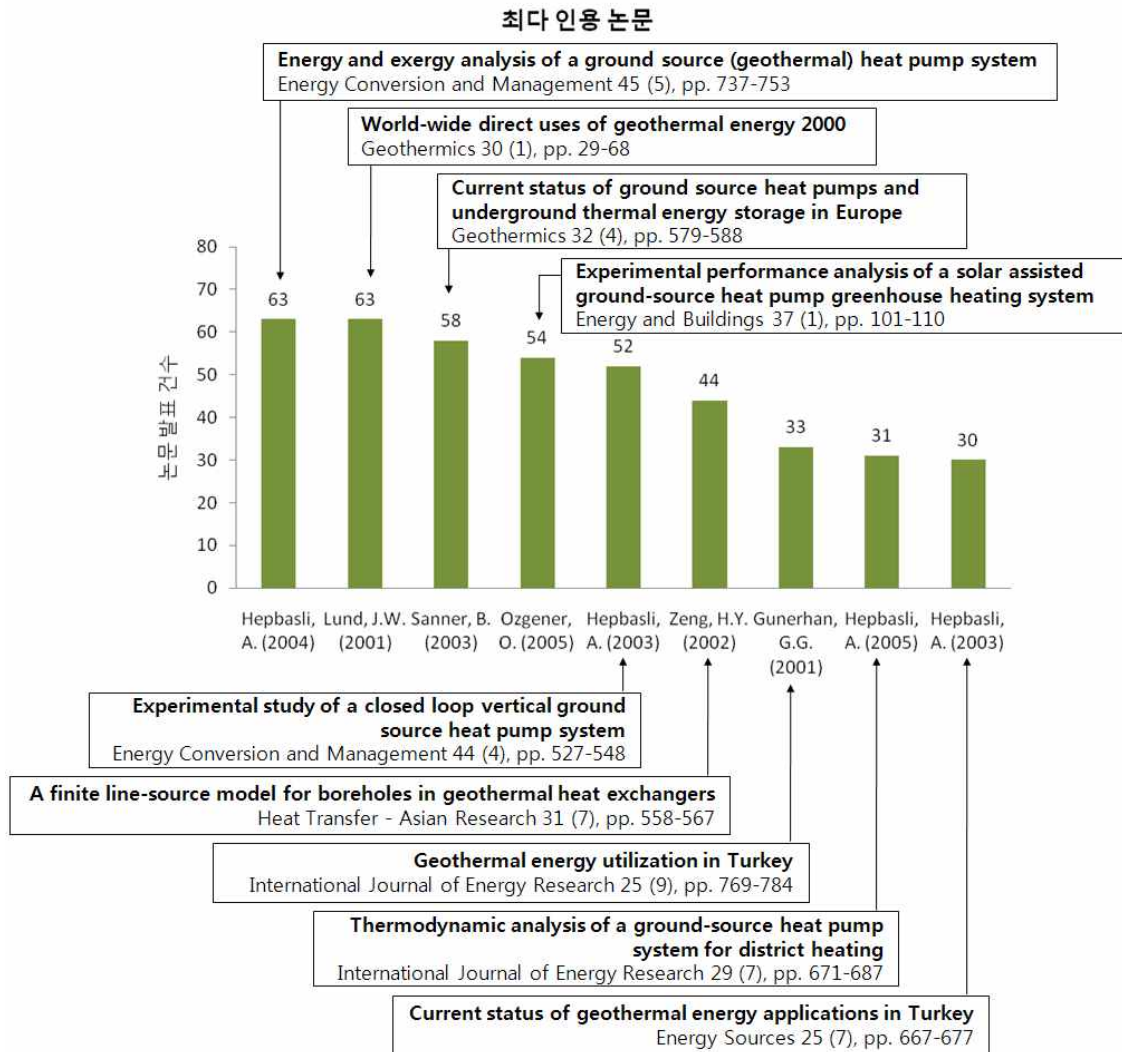


그림 2.70 지질 지하수 융합분야(히트펌프) 관련 핵심 논문의 인용 현황

- 2000-2005년 발표된 논문에서 인용수가 제일 많음. 최근 관심을 끌게 된 분야라는 점을 반영.
- 인용수가 많은 논문은 각국의 지열에너지 활용 상황을 보고하거나 폐쇄형 지중열교환기 운용사례를 소개하는 내용임. 2000년대 초, 천부 지열에너지 활용이 주로 폐쇄형 지중열교환기를 이용하는 방식에 집중하여 이루어져왔음을 보여줌.

○ 폐쇄형과 개방형에 대한 비교 분석

- 지중열교환기에 해당하는 총 315편의 논문중에서 폐쇄형과 개방형을 비교하고자 추가 분석을 수행하였음.

－ 분석에 사용된 검색어는 다음과 같으며 폐쇄형에 대한 논문 190편, 개방형에 대한 논문 17편이 분석되었음.

- geothermal AND energy AND ("heat pump" OR "borehole heat exchanger" OR "standing column") AND ("borehole heat exchanger" OR "ground source heat pump" OR "standing column well" OR "geothermal heat pump" OR "closed loop")
- geothermal AND energy AND ("heat pump" OR "borehole heat exchanger" OR "standing column") AND ("groundwater heat pump" OR "open loop")

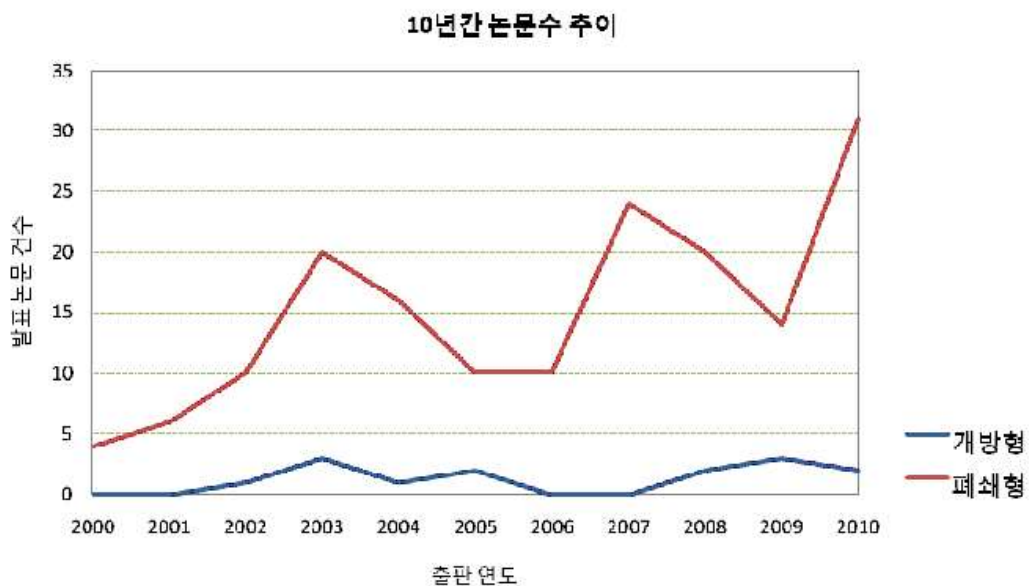


그림 2.71 지질 지하수 융합분야(유형비교) 논문의 추이 비교

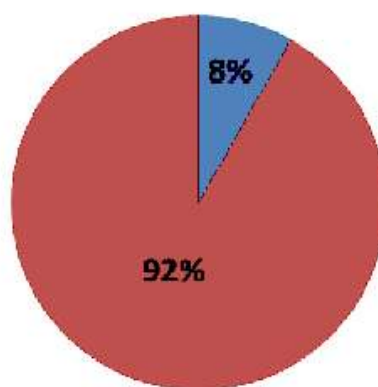


그림 2.72 지질 지하수 융합분야(유형비교) 논문의 비율

－ 지중 열교환기 연구 중 폐쇄형이 차지하는 비율이 92%. 폐쇄형 열교환기에 대한 연구는 기복이 있으나 대체로 증가 추세에 있다고 볼 수 있음.

- 반면 개방형 열교환기에 대한 연구는 그 수도 적고 크게 증감하고 있지도 않음.

○ 개방형 지중열교환기 상세 분석

- "groundwater heat pump" OR "open loop heat pump" OR "groundwater heat exchanger" OR "open loop heat exchanger"의 검색어를 활용하여 분석한 결과 총 65편의 논문이 파악되었음

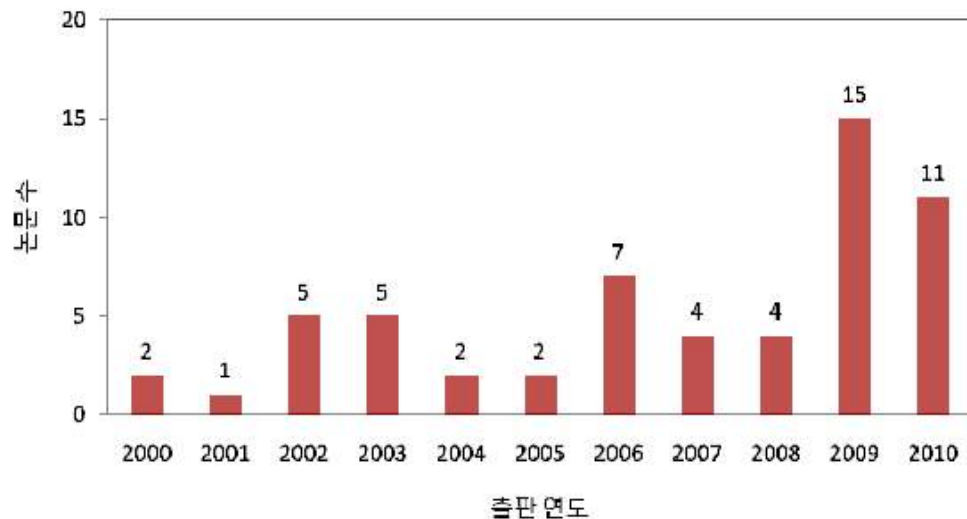


그림 2.73 지질 지하수 융합분야(개방형) 관련 논문 연도별 발표 건수

- 2008년 이전까지 개방형 시스템을 다룬 연구가 5편 내외였으나, 2009년 이후로 두 배 이상 증가하였음.

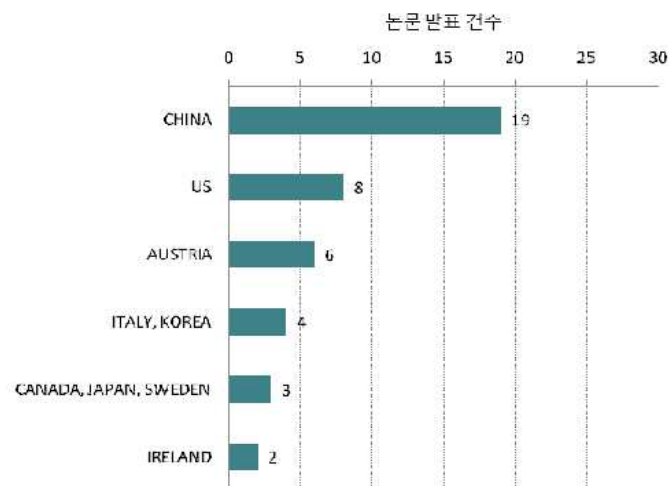


그림 2.74 지질 지하수 융합분야(지중열교환기) 관련 국가별 논문 현황

- 폐쇄형 지중열교환기 시스템에 관한 연구가 활발한 나라들 중, 터키는 개방형에 관한 연구를 거의 하고 있지 않으나 중국은 개방형에 대해서도 발표 논문수

가 1위로 가장 많다. 심부 지열 발전이 발달한 유럽 국가들 중 이탈리아를 제외한 독일과 프랑스 등 도 폐쇄형 지열히트펌프 시스템에 관한 연구는 현재까지 미미한 것으로 판단됨.

- 우리나라는 개방형 지중열교환기 시스템을 다룬 논문이 4편이지만, 구체적 사례나 실험이 아닌 일반 사용현황 및 적용성을 정리한 것이어서 신기술 개발이나 효율 분석과 같은 실질적 내용 연구는 이루어지지 않고 있음.

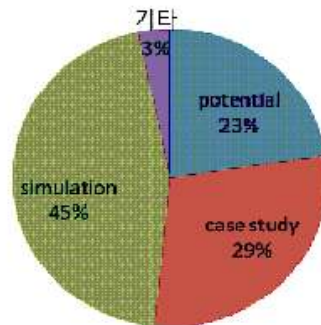


그림 2.75 지질 지하수 융합분야 관련 논문 내용 분포

- 개방형만 다룬 논문 31편 중 수치모델링 (simulation)과 실제사례 연구 (case study)가 차지하는 비율이 각각 14편, 10편으로, 절반 정도가 수치모델링을 중심으로 이루어지고 있음.

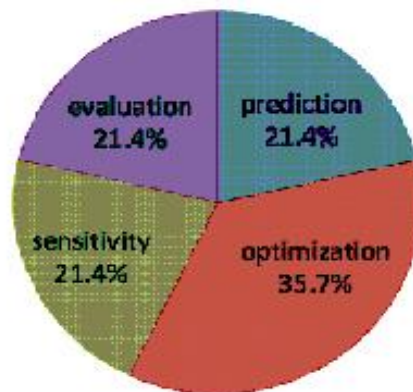


그림 2.76 지질 지하수 융합분야 관련 논문의 수치모델링 적 분야

- 수치모델링 목적은 주어진 환경에서 효율을 최대화 하거나 비용 최소화를 위한 최적화 연구가 가장 많았고, 운용 결과나 장기적 변화를 예측하기 위한 것, 현재 상황을 평가하기 위한 것, 시스템 운용에 영향을 미치는 인자들에 관한 민감도 분석을 위한 것, 세 가지 목적이 차지하는 비중은 서로 같음.

최다 인용 논문

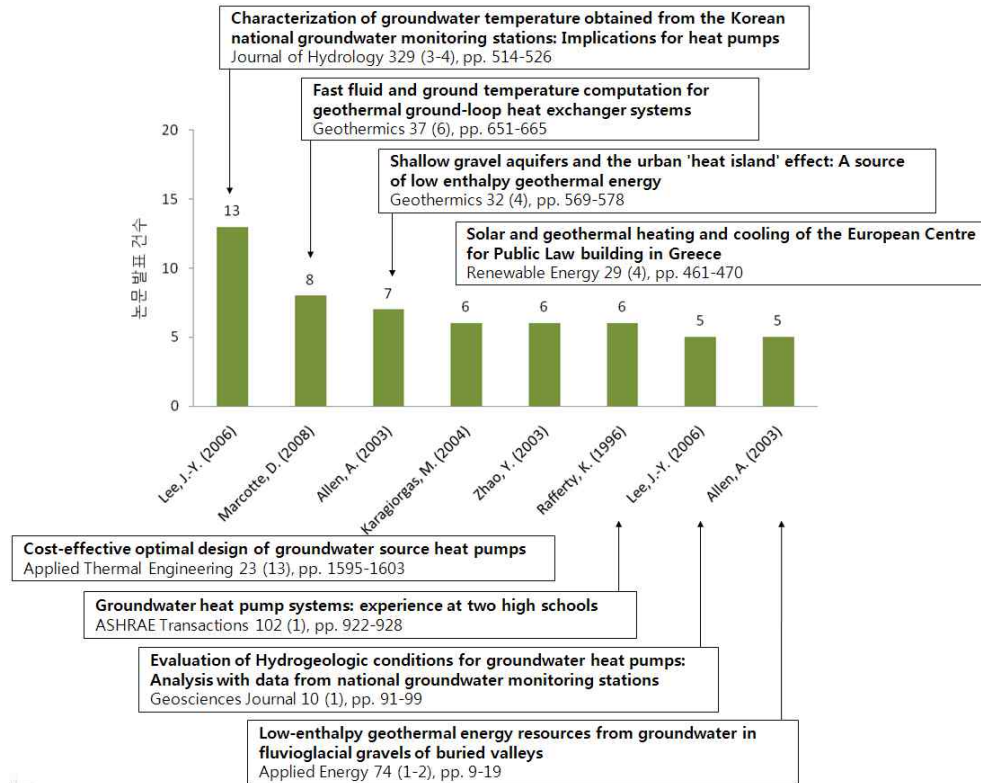


그림 2.77 지질 지하수 융합분야(개방형) 관련 핵심 논문의 인용 현황

- 가장 많이 인용이 된 논문은 우리나라의 이진용 교수가 작성한 것으로 한국의 지하수 관측망을 통해 개방형 지열히트펌프의 적용 가능성을 평가한 내용으로 인용수 통계 5위 내에 비슷한 논문이 두 편 있음. 구체적인 실험이나 수치모델링 없이 개괄적인 현황을 조사한 논문의 인용이 가장 많다는 것은, 우리나라 뿐 아니라 전 세계적으로 개방형 지열히트펌프에 대한 관심이 많으며 이제 막 시작한 연구에 해당한다는 것을 시사함.
- 이와 더불어 개방형 지열히트펌프를 도시지역에서의 열섬 현상과 결합하여 효율을 증대시킬 뿐 아니라 환경문제를 동시에 해결하는 방안을 제안한 Allen, A.의 논문도 인용이 많이 되었음.
- 이외에는 사례 소개, 현장을 모사하는 시뮬레이션 등 다양한 방식으로 연구의 방향을 잡아가고 있는 단계로 파악됨.

~2000	(미국) 학교, 상업건물에 설치한 개방형 지중열교환기에 대한 사례 및 scale 문제 제시
2002-2003	(중국) 시스템 운용 최적화 시뮬레이션
2003	(아일랜드) 도시지역 열섬현상을 개방형 지중열교환기의 열원으로 제안
2004	(그리스) 태양열에너지와 개방형 지중열교환기를 결합하는 사례 연구
2005	(중국) 대수층 축열시스템과 개방형 지중열교환기를 결합하는 사례 연구
2006	(중국) 민감도 분석, 예측, 최적화를 위한 시뮬레이션 (한국) 개방형 지중열교환기 적용성 평가를 위한 지하수 환경 조사
2007	(미국, 슬로바키아) 새로운 디자인의 개방형 지중열교환기 시스템 사례 연구
2009	(중국, 이탈리아, 오스트리아) 이전보다 구체화한 시뮬레이션 방식 다양하게 발표
2010	(일본) 시스템 평가를 위한 시뮬레이션, 공기 열원 결합한 방식 제안 및 실험 (중국) 민감도 분석, 최적화를 위한 시뮬레이션

그림 2.78 지질 지하수 융합분야(개방형) 관련 핵심 논문의 변화 특성

- 2000년 이전에는 주로 미국에서 실제 운용사례와 운용 상 문제점을 소개하는 논문이 많았음.
- 2000년 이후로는 시스템을 모사하는 모델링과 태양열에너지, ATES, 공기 열원 등을 응용한 다른 기술과 융합한 운용 방식 사례를 소개하는 두 갈래로 논문이 발표되었으며, 모델링 분야에 있어서는 중국의 논문이 가장 많음.
- 우리나라는 2006년, 개방형 지중열교환기의 적용성을 평가하기 위한 지하수 및 토양 환경에 관한 전반적인 조사 및 현황에 관한 발표만 있고 구체적 연구 사례나 기술개발 사례는 전무함.

○ 대수층 축열시스템에 대한 논문

- aquifer thermal energy storage의 키워드를 활용하여 논문을 검색하고 분석하였음. 1991년부터 2010년까지 검색된 총 논문은 44편으로서 타 세부분야에 비하여 적은 편임.

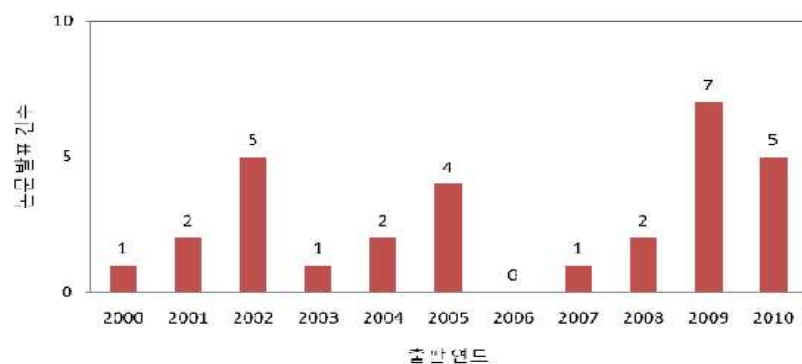


그림 2.79 지질 지하수 융합분야(대수층 축열 시스템) 논문 연도별 발표 건수

- 지중열교환기에 비해 논문수가 매우 적고 연도에 따른 특별한 추세가 나타나지 않음.

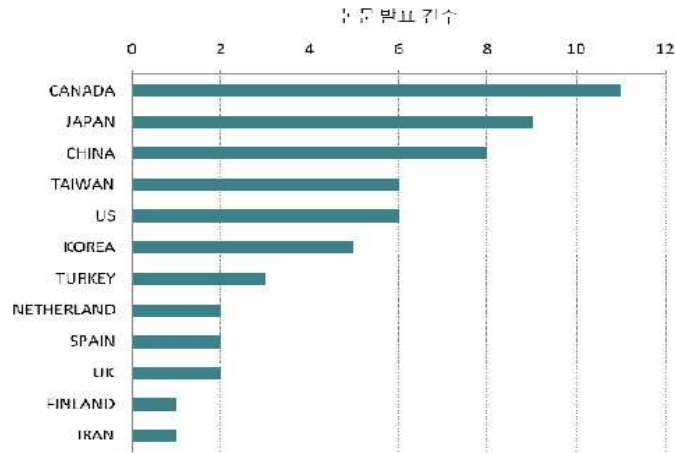


그림 2.80 지질 지하수 융합분야(열저장) 관련 국가별 논문 현황

- 캐나다에서 가장 연구가 많이 이루어지고 있으며, 아시아 지역에서도 상대적으로 연구가 많이 된 편. 우리나라에도 최근 연구가 진행중인 ATEs 실험 사이트 있음.

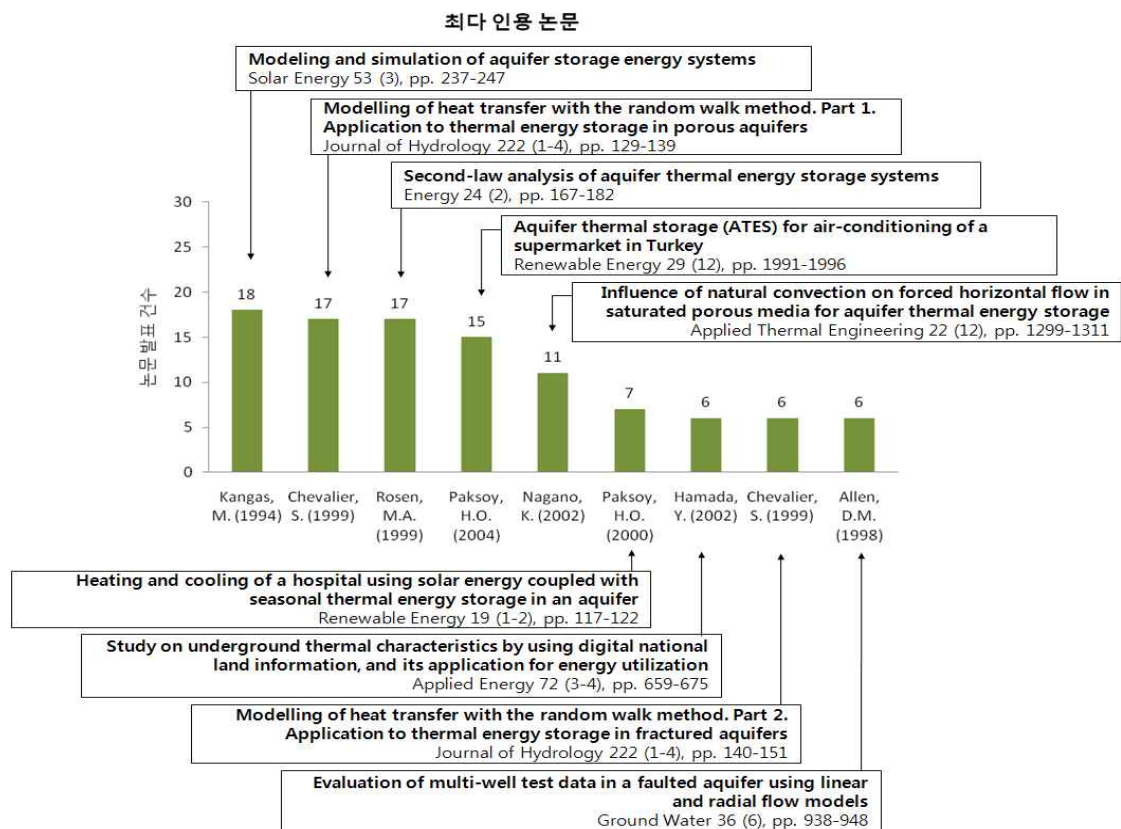


그림 2.81 지질 지하수 융합분야(열저장) 관련 핵심 논문의 인용 현황

- 2000년 이전 발표된 논문에서의 인용수가 제일 많이 분포함.
- ATEs 개념이 생긴지는 오래 되었으나 연구 및 적용은 느린 상태로서 새로운 영역으로 간주될 수 있음.

다. 기술경쟁력 분석

○ 국내외 기술개발 수준

- 지하수 관련 분야의 연구는 21C 프론티어 연구개발 사업, 수생태사업단 연구, 심부 지열 에너지 개발사업 등 다양하게 추진되어 지하수 자원의 확보, 강변 여과수 분석기법 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.
- 그러나 다년간에 걸친 실용화 연구에 따른 요소 기술 개발의 필요성이 고조되고 있고, 4대강살리기 사업 등에 의한 가용 지하수 자원의 확대와 이에 따른 다양한 간접취수 개발의 필요성 부각 및 온실가스 저감과 탄소 배출권 확보에 따른 신재생에너지에 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.
- 표 2.31은 국내외의 기술을 비교하여 정리해 놓았고, 표 2.32는 국내외 인공함양 분야의 관련 기술을 비교하여 정리해 놓았다.

표 2.31 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 조사 평가 고도화 기술	80	95	5년	성숙 단계	90	95	1년	경쟁 단계
수변지역 지하수 이용 관리 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

표 2.32 지하수 인공함양 분야 연구개발 대상기술의 국내외 기술비교

(단위 : %) (K-water, 2007)

연구개발내용 지하수 인공함양 분야	선진국수준	국내 수준	차이
1. 강변여과와 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

- 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 이릉, 창원 대산 지역에 시범적용되고 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.
- 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.

- 지하수자원 및 오염 분야 연구논문 동향을 보면 수치해석과 모델링이 주를 이루고 있으며, 오염분야에서는 유기오염에 대한 연구가 가장 활발하다. 그러나 지표수-지하수 연계에 대한 관심이 급증하면서 최근 들어 수변지역에 대한 연구가 증가하는 추세로 생태수리지질학 분야에 대한 학술지 발간 및 연구발표가 급증하고 있다.

4. 기술개발을 위한 인프라 및 기반역량 분석

가. 국내 기술 인프라 분석

표 2.33 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
수변지역 지하수 이용 관리 고도화 기술	USGS	지하수, 지표수 연구	미국
	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
	CSI	강변여과 조사, 설계, 모델링 기술	미국
	지오그란21	강변여과 현장 철/망간 제어 기술	한국
지질지하수 융합 이용 기술	한국수자원공사	강변여과 조사 및 평가 기술	한국
	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)GCK	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

- 현재 국내 해당 분야는 21세기 프론티어 연구개발사업과 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 상기 표와 같다.
- 국내 대표적인 지하수 분야 국책 연구기관인 한국지질자원연구원은 모두 5개의 연구 본부로 구성이 되며, 지구환경연구본부 내 지하수연구실이 지하수-수자원 관련 분야를 연구하고 있다.
 - 한국지질자원연구원 지하수연구실은 총 17명의 연구원으로 구성되어 있다.

표 2.34 한국지질자원연구원 지하수연구실의 주요 연구 분야

주요 연구 분야
지하수자원 조사 및 확보에 관한 연구
지하수 순환시스템 연구
지하수토양관련 법안 및 기초 조사 연구
지하수토양환경 보전 및 개선 연구
지하수토양환경 평가 및 생태 관련 연구
먹는 샘물 관련 법안 및 관리 사업

- 기타 전문인력을 보유하고 관련 연구 및 기술 개발을 수행하고 있는 국내 기관 중 학교는 대부분 국립대학교 지질학과와 일부 토목환경공학과 등이 해당되며, 한국수자원공사, 농어촌공사 등의 공기업과 일부 민간기업이 여기에 포함된다. 민간기업 중 설계 능력을 보유하고 있는 기업은 강변여과수의 설계 및 개발에 참여하고 있으며 지하수 관정 개발은 소규모 시공업체 등에서 담당하고 있다.
- 대표적인 수자원 전문기업인 한국수자원공사는 관련 분야(지질, 강변여과, 지열 등) 전문가가 약 50명 정도로서, 연구 및 사업 현황은 다음과 같다.
 - 국가 지하수 관리 사업 : 지하수관리 기본계획 수립, 지하수 기초조사, 지하수 시설 전수조사, 국가 지하수 관측망 설치 및 운영, 국가지하수정보센터 운영 및 지하수 정보관리, 방치공 원상복구 추진 기본계획 수립 및 시범사업, 대규모 지하수 저장·활용을 위한 지하수 수원 개발 기본계획, 지하수 관측망의 효율적 관리체계 구축방안 수립, 지하수 홍보 및 교육 등
 - 지하수 연구개발 : 지속가능한 지하수개발 시스템 및 상용화 연구, 군사지역내 토양 지하수 오염과 상수원 수질에 미치는 영향 연구, 경인 아라뱃길 주변 지

하수 변동 평가 연구

- 또한, 본 연구 및 유사 분야의 국내 전문가는 연구원, 학계, 업계, 관계 등의 인적 현황을 토대로 추정한 결과 약 50~100명(한국지하수토양환경학회 총회원은 약 1,100명으로 전문가 수준은 이의 약 50% 이내인 최대 약 500명 정도로 추정) 정도로 파악되며 대표적인 전문가 현황은 아래 표와 같다.

표 2.35 주요 분야별 국내외 전문가 현황

세부과제	전문가	소속기관	기술개발현황	국적
수변지역 지하수 조사 평가 고도화 기술	고경석	지질자원연구원	지하수 조사 평가 기술, 오염취약성 평가	한국
	하규철	지질자원연구원	지표수-지하수 연계 모델링 기술	한국
	이강근	서울대학교	지표수-지하수 연계 모델링 기술	한국
	함세영	부산대학교	지표수-지하수 연계 분석 기술	한국
	이진용	강원대학교	지하수 조사 평가 및 오염정화	한국
	이제중	Missouri-Kansas Uni	지하수 및 지질 조사 분석	미국
	고동찬	지질자원연구원	지하수 및 지질 조사 분석	한국
	노 열	전남대학교	지하수 생태 조사 및 분석	한국
	윤성택	고려대학교	지하수 및 지질 조사 분석	한국
	원종현	GSM솔루션	IT 기반의 지하수 조사 및 예측	한국
	이상옥	한국수자원공사	수변지역 지표수-지하수 연계분석	한국
	정일문	건설기술연구원	수변지역 지표수-지하수 연계분석	한국
	여인옥	전남대학교	지하수 및 지질 조사 분석	한국
	이상선	한국농어촌공사	지하수 조사 평가 및 오염정화	한국
	박은규	경북대학교	지표수-지하수 연계 모델링 기술	한국
	전병훈	연세대학교	지하수 조사 및 오염정화	한국
	조석희	육군본부	지하수 및 토양 오염 조사	한국
	허나운	국토해양부	지하수 정책	한국
	원경식	지오택컨설턴트	지하수 시공	한국
	김 영	고려대학교	생태 환경 조사 및 분석	한국
	임승태	지오콘	지하수 설계 및 시공	한국
	최보규	농어촌공사	지하수 시공 및 관리	한국
	김강주	군산대학교	지하수 및 지질 조사 분석	한국
	Edward Sudicky	Waterloo university	지표수-지하수 연계 모델링 기술	캐나다
	Howard Reeves	USGS	지하수 오염 조사 및 평가	미국
	Walid Labaky	Schlumberger	IT 기반의 지하수 조사 및 예측	네델란드
	Olaf Kolditz	Dresden university	지하수 조사 평가 기술	독일
	원용천	C&H	IT 기반의 지하수 조사 및 예측	한국
	박준기	하이드로넷	IT 기반의 지하수 조사 및 예측	한국
	천정용	지오그린21	지하수 조사 및 평가, 오염정화	한국
	박남식	동아대학교	해안지역 지하수 평가	한국
	정상용	부경대학교	지하수 모델링	한국
	우남칠	연세대학교	지하수 오염조사 및 평가	한국
	김 승	건설기술연구원	수자원 정책 및 관리	한국
	황세호	지질자원연구원	지하수 조사	한국
	김규범	한국수자원공사	지표수-지하수 연계 분석 기술	한국

표 2.35 (계속)

세부과제	전문가	소속기관	기술개발현황	국적
수변지역 지하수 이용 관리 고도화 기술	고경석	지질자원연구원	강변여과 철/망간 유출 기작 연구	한국
	김용제	지질자원연구원	직접인공함양 조사 및 설계	한국
	김용철	지질자원연구원	직접인공함양 조사 및 설계	한국
	이강근	서울대학교	강변여과 방사형집수정 수치모델링 기술	한국
	신흥섭	한중Eng.	강변여과 시설 설계	한국
	이명재	지오그린21	강변여과 현장 철/망간 제어 기술	한국
	임재림	한국수자원공사	강변여과 철/망간 수처리 기술	한국
	김성수	한국수자원공사	강변여과 철/망간 수처리 기술	한국
	송성호	한국농어촌공사	수변지역 지하수 관리	한국
	김성현	한국종합기술	강변여과 설계 및 시공	한국
	김철규	한밭대학교	수처리 기술	한국
	백영만	한국수도연구소	상수도 개발 및 관리	한국
	R. David. G. Pyne	ASI System	강변여과 시공	미국
	Abirmid Ayurzana	몽골 자연환경부	지하수 관리	몽골
	Joao Paulo Lobo-Ferreira	Porutugal LNEC	지하수 관리	포르투갈
	정재훈	(주)팬아시아워터	강변여과 조사, 설계, 시공, 유지관리 기술	한국
	Howard Revees	USGS	지하수 모델링 및 분석 기술	미국
	William Alley	USGS	지표수-지하수 연계 분석	미국
	Samuel M. Stowe	CWI	방사형집수정 시공 및 유지관리 기술	미국
	Jeff Barry	GSI	강변여과 조사 및 평가 기술	미국
	성익환	지질자원연구원	강변여과 조사 및 평가 기술	한국
	김혁진	RS엔지니어링	강변여과 조사 및 시공	한국
	김규범	한국수자원공사	강변여과 조사 및 평가 대형 특수 정호 설계 및 시공	한국
지질지하수 융합 이용 기술	이영민	지질자원연구원	지열 영향 평가 및 분석	한국
	구민호	공주대학교	지열 유동 모델링	한국
	이강근	서울대학교	지하수 내 지열 영향 평가 모델링	한국
	김준모	서울대학교	이산화탄소 지중저장 수치모델링	한국
	Christopher Clauser	RWTH Aachen Univeristy	지열 영향 평가 및 분석	독일
	윤운상	넥스지오	지열 시공 및 평가	한국
	한정상	넥스지오	지열 시공 및 평가	한국
	전 운	한국지하수지열협회	지열 시공 및 평가	한국
	최종민	한밭대학교	지열 시공 및 평가	한국
	조 용	한국수자원공사	지열 시공 및 평가	한국
	남유진	청주대학교	지열 평가	한국
	안근목	(주)GCK	지열 시공 및 평가 기술	한국
	황기섭	(주)GCK	개방형 지열시스템 시공 기술	한국
	MasayukiHamada	일본 지열협회	지열 설계 및 시공	일본
	김규범	한국수자원공사	상수원 시설을 이용한 지열 확보기술 강변여과수 취수시설을 이용한 지열이용기술	한국

나. 국외 기술 인프라 분석

- 외국의 관련분야 연구의 대표적인 기관은 미국의 지질조사소(US. Geological Survey)로서, 1879년 창립되어 120년 이상 운영중인 세계 최고의 미국 내무성 산하 물·과학지원사무국 소속 조사연구기관으로 자연재해 방지와 물, 생물, 에너지, 지하 자원의 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.
 - USGS의 조직은 본부(National Center)와 3개 지역본부 산하에 400개 정도의 현장 조직을 갖고 있으며 총 10,000명의 과학자, 기술자로 구성되는데 이중에서 수자원분야는 총 4,300명에 이른다.
 - 수자원 분야 주요 연구 및 기능으로는 수량·수질 관련 지표수 및 지하수 기초 자료의 수집, 검증, 저장 및 제공, 수자원(지하수) 이용도, 수질, 용수사용, 재해 지역 등에 대한 평가, 물관리 활동의 잠재적 결과를 판단하기 위한 분석 연구 및 예측모델 개발, 수자원(지하수) 현안에 대한 이해 도모 및 해결방안 모색을 위해 주정부 및 연방정부 등에 관련 지식 및 전문 인력 지원, 수자원(지하수) 정보 획득을 위한 신기술 개발(자료수집, 관리, 실험, 분석, 시뮬레이션 모델 등 포함) 등이 해당된다.
 - 최근의 지하수 분야 주요 연구로는, 지표수-지하수 연계 및 지하수관측 네트워크 분야가 활성화되어 있다.
- 호주의 CSIRO(호주연방과학산업 연구기구, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation)는 수자원 및 환경분야의 대표적인 연구기관으로서 기술을 선도하고 있는 기관이다.
- CSIRO(Chief Executive: Megan Clark)는 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.
- CSIRO Land & Water의 지하수-수자원 관련 분야를 연구하는 3개의 Program에서의 주요 연구 분야는 아래 표와 같다.

표 2.36 CSIRO Land & Water의 지하수-수자원 관련 Program에서의 주 연구 분야

Program	주요 연구 분야
Surface Water Hydrology (Leader: Francis Chiew)	기후, 토지의 이용과 개발이 물에 미치는 영향의 모델링 및 예측 수자원의 관리 및 계획을 위한 하천유출량 예측 및 하천계 모델링 농경지의 오염물질과 물의 거동 측정 및 모델링
Groundwater Hydrology (Leader: Andrew Herczeg)	지하수-지표수 간의 연계성 측정 및 모델링 식물-토양-지하수 간의 상호 관계 연구 습지 생태계와 지하수-지표수 거동 간의 관계 연구 대수층 간의 함양률, 유출률, 상호 혼합비율의 측정 및 모델링 오염원 및 지하수 거동 시간 탐지를 위한 친환경적 추적자의 범위 개발
Water Reuse and Environmental Process Engineering (Leader: Peter Franzmann)	지하수 환경 내에서의 오염물질 자연 저감에서 생물학적, 화학적, 물리적 통합 기술 연구 지하수 재사용 과정에서 병균의 이송 및 생존, 병균의 위험성 평가 multiphase fluid dynamics와 NAPL 연구 현장 규모에서의 정화 및 회복 실험

다. 국내의 기술 인프라 및 기반 수준

- 국내 기술 인프라는 21세기 프론티어 사업 등을 통하여 연구개발이 활성화되면서 기초가 잘 정착되어 있는 것으로 파악된다. 또한, 1990년대 이후 해외 유학을 통한 관련분야 석학을 많이 배출하면서 기술 개발의 능력도 많이 향상되어 있다. 지난 10여년간 지속적인 국제 교류 활성화와 인적 네트워크의 형성은 기술 기반을 다지는 데 기여하여 왔다.
- 국내의 기술 인프라 수준과 기반 수준을 외국과 비교해 보면 다음과 같다.

표 2.37 국내외 기술 인프라 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, 건설기술연구원)	- 미국: USGS, USBR 등 다수	약 50%
연구 기반	- 지하수 연구용 Test bed 등 국가 Site 전무 - 지하수 R&D 예산 . 20억 미만(20110년)	- 다양한 연구 Site 및 예산 반영	약 50%

라. 연구개발 현황 및 기술동향

(1) 국내 지하수 분야 연구개발 현황과 기술 동향

- 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 목표이다.
- 아래 표에서 보는 바와 같이 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 지하수 지질 융합 에너지 활용 기술개발 등에 대한 연구 전무
- 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.

표 2.38 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 - 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	- 초천부 지열 활용 및 개방형 지열 시설 기술의 상용화/국산화 달성 - 지질조건을 고려한 개발 최적지 선정 기술 개발로 무분별한 지하 굴착 차단 - 대수층 열저장 능력 평가 및 효율 활용 기술 개발 - 가정용 지열에너지 활용 기술 개발 및 국산화

○ 지하수 관리의 기본이 되는 전국 단위 지하수 함양량과 개발가능량에 있어서 유역 물수지와 지하수위 변동을 고려한 산정기법(건기평 R&D)이 개발되어 있으나, 전국 단위로 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.

○ 4대강 사업을 통하여 국내 수자원 수문환경의 변화가 발생할 것으로 예상되는 만

큼, 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 프론티어 연구개발 사업을 통하여 제주도 지역(현무암 지역)에서 적용된 사례가 있다.

- 1993년 지하수법 제정 이후 지하수 이용은 지속적으로 증가되어 오다가 2000년 중반이후 신규 지하수 개발은 일정 수준에 머무르고 있다. 그러나 용수 수요는 증가하고 지하수위는 하강하여 보다 깊은 심도의 대용량 지하수 개발이 요구되고 있다. 향후 하천변 지하수 관리를 통하여 하천 수량 유지 기술이 확보될 경우 하천변 지하수 개발에 대한 전면적인 재검토를 통하여 지하수 재개발, 재배치 및 공동 사용 등 다양한 방안이 제시되고 이에 따른 지하수 개발이 활성화될 것으로 기대된다.
- 국내의 경우 간접취수원 개발의 기술과 경험은 선진국에 비해 초보적인 단계이며, 국내에서 가장 규모가 큰 간접취수시설은 김해시에서 개발하는 집수정당 2만톤/일 규모이다. 유럽의 경우 1870년대 라인강, 도나우강, 엘베강을 중심으로 개발되었고 독일, 오스트리아, 스위스, 프랑스, 네덜란드 등이 간접취수원을 개발하여 상수원수로 활용 중에 있다. 유럽의 간접취수원 개발의 특징은 다수의 수직정호를 수변지역에 분포시키는 형태이다. 그러나 미국의 경우는 대용량 방사형집수정을 이용한 간접취수 시설이 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.

(2) 미국의 연구개발 현황과 기술동향

- 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. 이와 같이 선진국에서는 지표수와 지하수의 연계 통합 관리는 기후변화 시대에 대비한 달성해야 할 목표로 존재하며, 지속적으로 연구가 추진되고 있다.



그림 2.82 캔사스 BPU 방사형집수정 시설

- 기후변화에 따른 지하수 취약성이 증대되면서 최근 연구결과는 지속적인 지하수 수위 하강이 예상되고 있으며 이에 따른 지하수 자원의 부족을 해결하기 위한 방안으로 간접 및 직접 인공함양에 의한 확보방안이 중요한 이슈로 떠오르고 있다. 특히 수변지역의 경우 지하수 고갈은 주변의 농업용 시설재배에 따른 과도한 지하수 이용이 주요한 원인이며 이는 하천의 건천화와 밀접한 상관성을 가지고 있다는 연구 사례가 많이 보고되고 있다. 따라서 수변지역 지하수 자원 고갈을 방지하기 위한 농업용 지하수의 재순환 인공함양기술 개발에 대한 연구가 진행되고 있다.
- 미국 지질조사소는 향후 10년간 다음과 같은 핵심 연구 분야를 추진중에 있다.

표 2.39 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 기술의 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
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. ○ 위험의 특성화 및 평가 : 2017년까지 기관간 협의를 통하여 도시지역 재해 평가 시스템 실용화 ○ 예측 기술 : 재해의 발생, 분포, 시기, 강도, 위험의 정도, 인간 활동에의 영향 등의 예측 기술 ○ 재해 분야에서의 타기관과의 파트너쉽(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 무엇인가에 대한 명확한 정의 ○ 물의 이용량, 가용량, 수질의 상태와 추세 등 시계열 자료의 수집 저장 능력을 배가시키는 작업 ○ 지표 피복과 토지이용의 변화에 대한 정의 및 도면화된 결과의 생산을 지속하고, 수질과 수량 및 실제 이용에 어떤 영향을 주는지 규명함 ○ 대수층과 유역의 물 보유 능력 및 저류성의 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) ○ 미국내 물 센서스의 기획과 실행을 위한 지역, 주 및 연방 기관 등과의 파트너쉽을 강화함
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

○ 미국 지질조사소의 수변지역 지하수 연구의 최근 현황

- 지표수와 하천수사이에서의 수문학적, 화학적 상호작용 연구

- 흐르는 물에서 수문학적, 생태학적, 생지화화학적인 과정에 대한 연구를 수행함
- 연구의 목적은, 흐르는 지표수내에서 생태학적인 구성성분과의 상호작용, 생지화화학적인 변형, 수문학적인 유출량을 정량하고 인지하기 위한 새로운 개념과 도구를 개발하며, 지표수와 지하수와 함께 수생태학적인 과정을 분석하기 위한 수치적 모델링 코드의 사용을 개선하고, airborne과 위성 remote sensing으로부터 얻은 데이터 뿐만 아니라 자연적인 추적자들을 사용하여 더 큰 규모(stream-reach and drainage basin)에서 이들 과정의 영향을 추정하는 것임
- 최근 연구 내용으로는, Everglades(플로리다에 있는 습지 또는 소택지)에서 용질과 세립질의 분산을 정량하기 위한 추적자 실험을 통하여 습지와 지하수의 상호작용을 파악하는 사계가 있음. 용질 농축에 대한 하천과 지하수관리를 위한 ion-specific electrode의 자동기록 옵션을 개발하고 하천과 지하수와의 상호작용이 발생하는 낮은 수로에서 물의 흐름에 대한 향상된 모델을 개발하고, 하천에서 지표수와 하천수의 상호작용을 정량하기 위한 추적자를 개발하는 연구가 진행되었음.

○ 지표수와 지하수의 상호작용을 밝히기 위한 추적자 이용 연구

- 호수나 하천과 같은 지표수와 지하수사이의 물과 화학적인 교환에 대한 포괄적인 이해는 국가의 수자원의 향상된 관리를 위해 필수적이다. 지표수의 증가와 지하수 양수는 지표수와 지하수는 분리되어 있다기보다는 하나의 수자원이라는 것을 명백히 보여주었다. 이러한 사실은 하나의 연결된 시스템으로서의 지표수와 지하수의 과학적인 조사를 요구한다. 과거에는 지표수와 지하수를 분리된 방법으로 조사하고 모니터링하였다. 하지만 현재는 하나의 연속체로서 지표수와 지하수를 조사하기 위한 과학적인 방법을 개발할 필요가 대두되고 있다. 환경적인 추적자는 지표수와 지하수사이의 상호교환을 조사하는데 있어서 큰 잠재력이 있다. 추적자는 지표수와 지하수의 경계면을 자유롭게 이동하고 지표수와 지하수체 모두에서 쉽게 모니터링 될 수 있기 때문이다. 자연적이거나 인위적인 추적자는 수자원의 이동을 추적하기 위한 연구방법으로서 조사되고 있다. 또한 지하수 이동의 추적자로서 열의 사용을 평가하고, 현재 강물의 교환을 측정함에 있어서 온도 접근 방식을 활용하는 방안이 연구중이다.

○ 지하수와 관련한 수문학적 시스템내에서의 호수의 역할에 대한 연구(Shingobee Headwaters Aquatic Ecosystems Project (SHAEP))

- 호수와 습지와 관련된 수문학적, 지화학적 과정에 대한 이해는 매우 부족하다. 지표수체로부터 또는 지표수체로의 유출에 대한 수리지질학적인 부분에서 이론적으로 충분히 연구되지 않았다.
- 추진중인 연구는 3개의 Topic을 갖고 있는데, 호수에서 탄소 함량과 관련된 과정, Little Shingobee River에서 물리적, 화학적, 생물학적 과정, Shingobee River를 따라서 물리적, 화학적, 생물학적 과정 등이다.

(3) 유럽의 연구개발 현황과 기술동향

- 오스트리아 비엔나의 다뉴브강변에는 하류의 Freudenu 수력발전소 건설에 따른 하천수위 상승 요인으로 인근지역 지하수위가 상승하게 되었는데, 이와 같은 상승된 지하수량은 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. 과학적인 지하수위 및 수질 관리를 통하여 지하수 홍수 문제를 근본적으로 차단하고 우려를 불식시키고 있는 사례이다.



그림 2.83 오스트리아 비엔나 다뉴브강변에 설치된 지하수 양수정 및 관측정

- 유럽에서는 하천변에서의 지하수 개발 기술이 활발하며, 특히 라인강, 도나우강 및 엘베강 등에서 1800년대 말부터 활발히 이루어져 왔다. 이와 같이 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.

표 2.40 베를린시 강변여과 및 인공함양 시설 현황

정수장명	시설용량(m ³ /일)	취수정 수	상수원
계	1,140,000	수직정 700개	
Beelitzhof 정수장	180,000	수직정 75개	Havel강, Grunewald지역호수
Kladow 정수장	30,000	수직정 14개	
Tiefwerder 정수장	100,000	수직정 55개	
Spandau 정수장	160,000	수직정 44개	
Tegel 정수장	260,000	수직정 130개	Tegel호, Havel강
Stolpe 정수장	120,000	수직정 98개	Havel강
Friedrichshagen 정수장	220,000	수직정 170개	Müggel호
Wuhlheide 정수장	40,000	수직정 98개	Spree강
Kaulsdorf 정수장	30,000	수직정 16개	

- 선진국의 대용량 방사형집수정의 개발 기술은 수변지역 뿐만 아니라, 해안대수층에서도 적용하여 해수담수화 시설의 해수의 간접취수와 발전소의 냉각용수 공급시설로 그 활용범위를 확대해 나가고 있다.

- 영국 지질조사소(BGS)의 수변 지하수 관련 연구 최근 현황

- 지표수와 지하수에 대한 기본 연구

- 지하수의 흐름, 함양과 유출 과정의 모든 관점에서 연구를 수행하고, 국부적인 대수층의 연구를 통해서 지하수 자원에 대한 이해를 발전시켜왔다. 지하수연구는 수치모델링과 보유하고 있는 상당한 지하수 데이터와 정보를 기반으로 하였다.
- 템즈강에 대해 BGS에서 중점을 두고 있는 부분 중 하나로 BGS연구자들은 템즈강의 지표수와 지하수의 상호작용에 대한 수리지질학적인 컨트롤을 연구하고 있다.
- BGS는 North Downs, South Downs, Yorkshire, Lincolnshire, Wessex와 같은 지역의 백악대수층을 포함하고, 지역적인 대수층의 수리지질학적 평가를 발표하였다.

- 지하수 수질과 보호에 대한 연구

- BGS는 기본적인 화학적 성질과 관련된 지하수 수질 연구에서 국제적으로

인정받은 실적을 가지고 있다. 질산염 오염으로 인한 위협을 인식하고 오염물 확산과 이 문제에 대한 연구에 초점을 맞추고 있다. 또한 오염원 특히 LNAPLs와 DNAPLs와 같은 유기적 오염물질과 관련된 연구를 수행하고 있다.

- 저수지와 지하수의 상호 과정에 대한 연구

- 이 연구는 환경적인 프로세스의 이해를 위해 저수지를 기반으로 한 것이다. 저수지 연구의 일부로서 BGS는 수많은 관측소를 유지하도록 하고 있으며, 하천 및 저수지로 지하수의 이동과 관련된 물리적이고 화학적인 프로세스를 상세하게 연구하고 있다.

- 지하수와 기후 등 환경 변화에 대한 연구

- 영국내 지하수에 대한 기후변화를 포함하여 환경적인 변화의 효과를 연구하고 있다. 연구는 과거 지하수위를 정리하고, 지하수 자원과 수질에 기후변화가 미치는 영향을 모델링하는 것을 포함한다. 또한 기후변화와 아프리카에 초점을 맞추고 있다.
- 지하수에 대한 기후변화가 미치는 영향을 이해하기 위해서는 장기간의 자료를 필요로 한다. 조사된 100년 동안의 기후 변화의 효과를 알기 위해 과거 지하수위 자료를 재통합하는 기술을 개발하였다.
- 아프리카에서 지하수에 대한 기후변화의 효과를 분석하기 위하여, 지하수 자원에 대한 기후변화의 대륙규모 평가에서 첫 번째 단계로서 아프리카에 대한 지하수 함양map을 개발하였다.

- 지하수 범람(Groundwater flooding)에 대한 연구

- 엄청난 폭우가 내리는 기간은 지하수 범람과 지하수로 인한 침수로 시설물과 농작물등에 피해가 발생할 수 있다. BGS의 Ground flooding에 대한 연구는 지하수 범람 메카니즘과 모델링, 지하수 범람에 취약한 지역을 지도화하는 것을 포함한다.

- 지하수와 건강의 상관성에 대한 연구

- BGS에서 지하수와 건강에 대한 연구는 농업의 영향, 개발도상국에서 지하수질에 미치는 도시화의 영향과 중금속과 병원체와 같은 수질 문제를 다루고 있다.
- 건강에 미치는 위협요소로는 비소와 다른 미량원소, 플루오르화물, 폴리브덴, 생물학적 병원체 등이 포함된다.

- 국제적인 지하수 연구

- BGS는 오랜 역사기간 동안 지속적으로 지하수의 개발과 관리를 통한 국제적인 개발활동을 해왔다. BGS의 프로젝트는 그들의 전문적인 기술을 반영할 많은 지역들과 세계의 많은 사람들이 직면하고 있는 문제들을 파악한

다.

- 이를 통하여 지하수 자원의 지도화, 지하수자원을 개발하는데 필요한 기술과 도구를 제공하며, 불소화합물이나 비소와 같은 성분에 의한 지하수 수질문제의 이해와 평가 작업을 수행하고, 지하수 오염을 모니터링하고 지하수 자원을 보호하는 방법을 마련하도록 도와줄 뿐 아니라, 어떻게 지하수 자원이 가뭄, 토지이용과 기후변화에 의하여 영향을 받는지 연구하고 있다.
- 지하수 시스템의 모델링 기술 개발
 - 넓은 범위의 환경관련 사안을 해결하기 위하여 다음의 지하수 모델링 연구를 수행하고 있다.
- 지하수자원에 영향을 미치는 기후변화의 효과
- 지하수 범람과 고갈 발생의 변화
- 이산화탄소 주입과 지중저장이 수자원에 미치는 효과
- 농업오염이 수질에 미치는 영향
- 지하수계를 통한 오염물의 이동
- 새로운 지하수 공급원 개발
- 홍수저감계획의 효과
- 강에 대한 지하수 분리 효과
- 지중 냉난방 계획의 효과
- 환경적인 추적자와 지하수 연령측정(groundwater dating)에 대한 연구
 - 최근 수행한 연구로는, 백악질의 집수구역에서 체류시간 분포 조사, 물공급 운용계획을 조성하기 위한 연령 지시자(age indicator) 사용, 도심지의 대수층에서 발생하는 누수의 범위 평가, 분지 규모의 지하수 수질 경향의 확인, 황무지 집수구역에서 질소의 운명 결정, 지하수 유동에 큰 규모의 채석이 미치는 영향평가, 영국에서 초기 빙하시대 지하수의 발생 모사 등을 수행하고 있다.

(4) 국내외 지질 지하수 융합에너지 분야 연구개발 현황과 기술동향

- 지질지하수 융합기술로서 지하열자원 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.
- 국내 개발된 지열 현황은 개방형이 107개소, 폐쇄형이 232개소로 폐쇄형이 대부분이며, 폐쇄형의 경우 평균 굴착공수가 32개소에 이르는 등 좁은 지역 내에서의 과

다한 굴착이 이루어지고 있는 실정이다. 특히, 외국에서는 개방형 지열 시설의 이용도 활성화되어 있는데, 미국 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.

- 국내 지반은 활용 가능한 충적 대수층과 결정질 암반 대수층 등이 발달되어 있으므로 수변지역 충적층에서 개발되는 강변여과수를 활용한 개방형 시스템이나 반개방형인 (semi-open) SCW가 실용적인 측면에서 매우 적합한 시스템으로 판단되나 아직 국내에서 제도적인 지원이 되지 않아 보급이 어려운 실정이다.

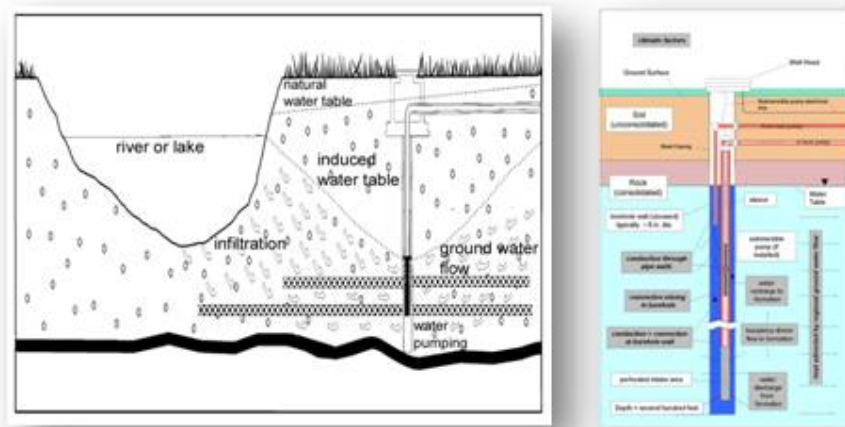


그림 2.84 강변여과수 활용 개방형 지열시스템 및 SCW형 지열시스템
(Kim et al., 2008; Spitler, 2002)

- 국내에서는 폐쇄형 지중 열교환기 및 열펌프에 의한 지중 열거동과 지화학 반응에 의한 지중 열거동 변화 및 장기적 지중 열거동 변화를 정밀하게 시뮬레이션 할 수 있는 T-H-C 계산 모듈인 Modified TOUGHREACT이 개발되었다. 또한 Single U-tube, Double U-tube 정밀 열교환 시뮬레이션을 위한 초정밀 mesh를 간편하게 생성할 수 있는 U-Mesh 프로그램도 개발되었다. 이와 같이 폐쇄형 지중 열교환기 운용 최적화 모델 및 프로그램이 개발되었으며, 대수층 지질 구조를 반영한 지하 열거동 계산 모듈이 개발되었으나, 개방형 지중 열교환기에 대한 모델 개발은 이루어지지 않고 있는 실정이다.

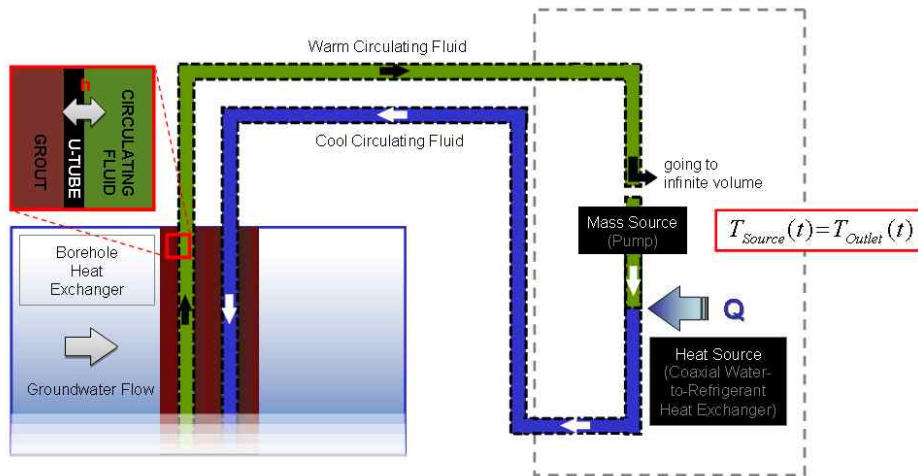


그림 2.85 폐쇄형 지열펌프 시스템의 모델화 개념도

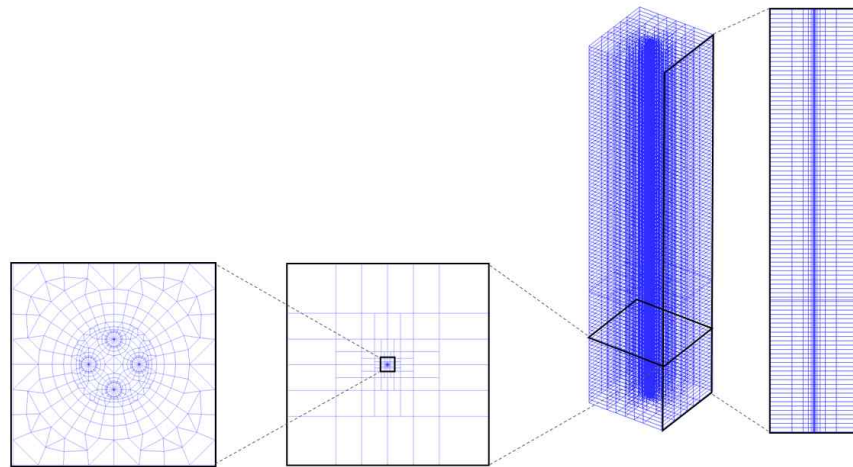


그림 2.86 U-Mesh 프로그램을 이용한 Double U-tube 메쉬 생성

- 1970년대까지 국내 지열연구는 주로 온천조사였으며, 1980년대 들어서면서 관련 연구소와 학계가 온천조사뿐만 아니라 지열류량에 대한 연구도 비로소 수행하기 시작하였다. 이후 산발적으로 국내 지열자원에 대한 조사가 행해지다가 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 분포가 작성하였다.

제 3 절 기술 수요 및 예측

1. 기술수요조사 및 결과

가. 기술수요조사

- “지하수자원 활용 고도화” 기술 개발을 위한 기술수요조사를 2차에 걸쳐 지하수 관련 학회 및 국가지하수정보센터 회원으로 등록된 관련 전문가를 대상으로 실시하고 그 결과를 기술하였다.

표 3.1 사전기획에 의해 도출된 중점추진분야 및 대상기술

추진분야	정의 및 개념	현재 도출 대상기술
수변지역 지하수 조사평가 고도화 기술	지표수-지하수의 연계 평가 기술 등 통합수자원 관리 모델 구현 및 지하수 함양량 및 개발가능량 산정 등 지하수 이용관리, 개발의 토대가 되는 원천기술 개발	1. 수변지역 IT 접목한 모니터링 및 분석, 평가 기술
		2. 수변지역 지표수-지하수 연계 평가 분석 기술
		3. 지하수를 통한 하천 건천화 방지 기술
		4. 유역별 함양량 정밀산정 및 개발가능량 실증 기술
수변지역 지하수 이용관리 고도화 기술	수변지역 지하수 이용 및 개발에 따른 환경적 영향(지반침하, 수질오염 등)을 최소화할 수 있는 기술개발 및 지속가능하고 환경친화적인 수자원 확보를 위한 지하수 활용성을 극대화 기술 및 제도개선	1. 하천 주변의 지하수 복원 및 활용 프로그램을 개발 실증하는 기술
		2. 지역별 지하수 개발허가량 산정 기술
		3. 지하수 시설 최적화 및 친환경 개발 및 폐공 재이용 기술 개발
		4. 지하수 인공함양기술 개발 (재순환 인공함양, 강변여과 간접취수)
		5. 지하수 이용관리 선진화를 위한 제도 개선
지질지하수 지열 융합 이용 기술	지질지하수 기반의 요소를 고려한 국내 현실에 맞는 한국형 지열지하수열시스템의 기반 구축과 최적화를 통해 국내 보급 활성화 가능 통합 기술	1. 지하지질 특성을 고려한 천부 및 심부 지열의 활용으로 지열 에너지 효율 극대화 기술 개발
		2. 최적 지열 개발 지점 선정 및 지열 이용 관련 영향평가 기술
		3. 지층 내 처리 기술을 통한 효율성 제고 기술

- 기술수요 조사 내용은 사전기획에서 도출된 3가지 중점추진분야 (조사평가, 이용관리, 지열융합)에 대한 정의 및 개념, 현재 도출대상기술을 제시하고 각 분야에 대한 추가 또는 수정제안 또는 새로운 중점추진분야 등에 대해 의견을 제시하도록 하였다.
- 기술수요조사 개요
 - 조사대상 : 지하수 관련 전문가 (지하수토양환경학회, 대한지질공학회, 국가지하수 정보센터(GIMS) 회원 대상)
 - 조사기간 : 2011. 2.7~13(1차), 2.10~16 (2차)
 - 조사항목 : 목표, 기술정의, 국내외동향 및 기술수준, 필요성 및 기대효과, 연구개발 규모 (사업비, 기간 등)

표 3.2 기술수요조사 양식

추가제안 대상기술	기술에 대한 설명	국내외 동향 및 기술수준	필요성 및 기대효과	연구개발 규모 (사업비, 기간 등)

나. 기술수요조사 결과

- 수요조사 결과 본 기획연구에서 제시한 수변지역 지하수에 대한 조사평가, 개발이용 및 관리, 지하수열을 활용한 지열 융합기술 등에 대한 다양한 수요가 확인되었다.
- 특히 수변지역(하천변) 지하수위 상승과 관련된 대규모 개발이용 기술 및 천변 지하수열을 활용한 융합기술, 수막재배로 인한 하천건천화 방지 등 지표수-지하수 연계 연구 등에 대한 기술수요가 많았다.
- 향후 하천변의 수문환경의 변화는 지하수 이용 기술의 변화를 가져오게 되며, 외국의 경우 북서 유럽(독일, 네덜란드 등)에서는 상승된 지하수위를 활용하는 기술로서 강변여과 등을 통한 용수공급 시스템이 활발히 운영되고 있다. 최근 국내에서는 하천변 과도한 지하수의 이용과 토지이용의 변화는 지하수위 강하를 가져오고 하천의 고갈을 유발하여 건전한 물순환을 방해하고 있다.
- 지하수 함양 및 개발가능량을 평가하고 함양 기술을 실용화하여 하천고갈을 방지하고, 지속가능한 물순환을 담보하는 유용한 수자원의 합리적 이용을 달성토록 해야 한다. 이와 더불어 첨단 기술로서, IT 기술을 이용하여 하도 내 수위변화에 따른 지

하수위의 변동을 보다 정확히 예측하고, 운영되는 관측 시스템을 검증하는 등 관련 첨단 기술을 개발하고, 예비 농업용수로서의 활용 등과 같은 이수적 측면에서의 지하수의 활용성의 최대화를 도모해야 한다.

- 물 순환 시스템의 건전화 달성에 필요한 제도적, 정책적 요소를 개발, 검증함으로써 국가 물 정책 선진화를 유도하고, 물관리 시스템 전환에 대한 합리성을 담보한다.
- 기술 개발을 통하여, 하천 환경 개선을 위한 하천 유량 확보를 위하여 하천변 지하수 이용, 관리 기술과 관련된 관측기술 등이 활성화되고, 댐 지역 적지 감소 등 미래 기후변화 등에 대비한 수자원 확보를 위해서는 수질 및 수량 측면에서 안정성을 갖고 있는 하천변 지하수 개발이 국내 독자 기술로 정착될 것이다.
- 개방형 지중 열교환기의 경우 지하수의 거동이 활발한 대수층 내의 지하수를 활용하게 되며 이는 지하수의 거동 양상 및 특성, 지하수 및 지질 매체에 의한 열에너지 전도 및 대류에 대한 종합적인 해석 기술이 필요하다. 심부 지열을 이용하는 기존의 폐쇄형 지중 열교환기보다 경제적인 기법이므로 기술 개발이 이루어졌을 때 이를 활용할 수요는 풍부할 것으로 보인다. 또한 지열에너지의 범용화를 위해 프로그램을 개발하여 상용화가 이루어진다면 더욱 더 실용적으로 이용될 것이다. 향후 폐쇄형 지중 열교환기보다 저비용 고효율의 개방형 지중 열교환기 개발을 위한 기술개발이 더욱 필요하며 해외 선진국에서도 이와 같은 방향으로의 연구가 이루어질 것으로 보인다.

표 3.3 기술수요조사 결과 도출된 주요 연구대상 기술

구분	제안 대상 기술
조사평가	추적자를 활용한 지표수-지하수 interaction 분석
	전국 지하수 Isotope 분석 및 map 작성
	riparian zone에서의 지하수에 의한 하천수 수질개선 효과 연구
	지하수위 상승(4대강)으로 인한 개발가능량 증가량 산정 및 주변 환경영향평가 연구
	광학적 방식을 이용한 수질측정 센서 개발
개발이용	하천변 지하수 인공함양 기술 개발
	하천변 지하수자원의 조사/설계 평가 기술 개발
	대용량 취수시설의 실용화 공법 및 유지관리 기술 개발
	하천변 지하수자원의 열원 활용 기술 개발
	하천 주변의 지하수 복원 및 활용 프로그램을 개발 실증하는 기술
	지역별 지하수 개발허가량 산정 기술

구분	제안 대상 기술	
	지하수 시설 최적화 및 친환경 개발 및 폐공 재이용 기술 개발	
	지하수 인공함양기술 개발(재순환 인공함양, 강변여과 간접취수)	
	지하수 이용관리 선진화를 위한 제도 개선	
시스템 복원	수막재배 문제해결	수막재배시 지하수 사용에 따른 비용 절감 기술
		지하수 이용 비용에 대한 경제적 평가
		지하수 양적인 면과 수질 복원기술도 동시에 고려할 수 있는 연구
		인공함양수 수질 기준, 농경법과 관련한 지하수 사용지침 등, 양과 질에 대한 프로토콜(지침서) 제시할 수 있는 연구
		인공함양수의 전반적인 프로세스(집수방법, 주입방법, 관정설계, 최적 관리 등)에 대한 기술들을 발굴
	도심지역 지하수 복원기술	지하수 유출을 저감하는 공법, 터널, 지하철 등의 유출수의 활용방안
		유출지하수의 정책적 연구 및 제안
		도심지역 지하수 수위저하지역 site의 시범 연구
		지표면 투수성 재질 사용, 인공함양 효과 검증 연구
		하수 누수에 따른 지하수 수질 회복
		도심지 기반안정성과 관련한 지하수 관리문제
		이용목적(식수, 생활용수, 공공용수 등)별 지하수 활용방안
지열	지질조건을 고려한 지하열자원 개발 최적지 선정기술 개발	
	지열 개발에 따른 지하수 영향평가 기법 개발	
	지열공 원상복구 기술 개발 및 표준화	
	지하수자원을 활용한 지열 냉난방 개발 표준화 시스템 구축	
	지열지하수 융합기술을 활용한 수변 지하수 최적 설계기술 개발	
	수변 대수층을 활용한 지하열원 개발 표준 설계 기술	
	지열수자원 관리 및 장애 모니터링 시스템 구축 기술	
기타	하구에 발달한 충적대수층을 활용한 대규모 청정저수지 확보	
	지하지질 특성별 개발가능성 확인을 위한 시추 및 logging, facies해석 및 지하수 산출 특성 분석	
	간접취수방식 지하수열원을 활용한 집단에너지시설 구축	
	지하수 열원 활용 냉난방 시스템 연구	
	지속가능한 친환경 지하수원 지중열교환 시스템 개발 기술	
	생태독성 방법을 이용한 지하수 온라인 독성평가 기술	
	지하수내 질산성 질소 처리 기술 등	
	하천환경 변화에 따른 최적 지하수 모니터링 네트워크 설계/분석, 지하수위 변동 예측 기술 등	
	수자원 확보 및 환경보전을 위한 천연물질 기반 지하수환경오염 복원 친환경 기술 개발	
	지하수 관리프로그램, 그라우팅공법 개발 등	
	광물-물 반응원리를 이용한 수질 관리 및 제어 기술	
	광물의 열전도성을 이용한 효과적 지열 개발 기술	
	광물-물 반응원리를 이용한 수질 제어기술과 수질 상품화	

2. 기술예측조사 및 결과

- 기술수요예측조사는 정부출연기관에 소속되어 있는 전문가와 대학교수 등 국내 해당 기술 전문가들 대상으로 기술예측조사를 실시하고 그 결과를 정리하였다. 기술예측조사를 실시한 세부기술은 지하수 조사평가 및 시스템 복원기술 36개와 지질 지하수 융합 기술 13개이며, 그 항목은 표 3.4와 같다.

표 3.4 기술예측조사를 위한 세부기술

대항목	세부기술
지하수 조사 평가 및 시스템 복원 기술	광물-물 반응원리를 이용한 수질 관리 및 제어 기술
	광물-물 반응원리를 이용한 수질 제어기술과 수질 상품화
	광학적 방식을 이용한 수질측정 센서 개발
	대용량 취수시설의 실용화 공법 및 유지관리 기술 개발
	지하수 가뭄 및 홍수 취약성 평가 예측 기술
	도심지 지반안정성과 관련한 지하수 관리문제
	도심지역 지하수 수위저하지역 site의 시범 연구
	생태독성 방법을 이용한 지하수 온라인 독성평가 기술(지하수내 질산성 질소 처리 기술 등)
	수막재배시 지하수 사용에 따른 비용 절감 기술
	수자원 확보 및 환경보전을 위한 천연물질 기반 지하수환경오염 복원 친환경 기술 개발
	유출지하수의 정책적 연구 및 제안
	이용목적(식수, 생활용수, 공공용수 등)별 지하수 활용방안
	인공함양수 수질 기준, 농경법과 관련한 지하수 사용 표준화 연구
	인공함양의 프로세스(집수방법, 주입방법, 관정설계, 최적관리 등)에 대한 기술들을 발굴
	전국 지하수 Isotope 분석 및 map 작성
	지역별 지하수 개발허가량 산정 기술
	지표면 투수성 재질 사용, 인공함양 효과 검증 연구
	지하수 관리프로그램, 그라우팅공법 개발 등
	지하수 시설 최적화 및 친환경 개발 및 폐공 재이용 기술 개발
	지하수 양적인 면과 수질 복원기술도 동시에 고려할 수 있는 연구
	지하수 유출을 저감하는 공법, 터널, 지하철 등의 유출수의 활용방안
	지하수 이용 비용에 대한 경제적 평가
	지하수 이용관리 선진화를 위한 제도 개선

대항목	세부기술
	지하수 인공함양기술 개발(재순환 인공함양, 강변여과 간접취수)
	지하수위 상승(4대강)으로 인한 개발가능량 증가량 산정 및 주변 환경영향평가 연구
	지질 특성별 시추 및 logging, facies 해석 및 지하수 산출 특성 분석
	저비용 지하수내 철망간 처리 기술
	추적자를 활용한 지표수-지하수 interaction 분석
	하구에 발달한 충적대수층을 활용한 ASR, ASTR 기술의 대규모 청정저수지 확보
	하수 누수에 따른 지하수 수질 회복
	하천 주변의 지하수 복원 및 활용 프로그램을 개발 실증하는 기술
	하천변 지하수 인공함양 기술 개발
	하천변 지하수자원의 조사/설계 평가 기술 개발
	하천환경 변화에 따른 최적 지하수 모니터링 설계/분석, 지하수위 변동 예측 기술 등
	간척지 지하수 환경 변화 및 지하수자원 이용기술 연구
	riparian zone에서의 지하수에 의한 하천수 수질개선 효과 연구
지질 지하수 융합 기술	하천변 대수층 축열 시스템을 활용한 대용량 에너지 시설 구축
	광물의 열전도성을 이용한 효과적 지열 개발 기술
	수변 대수층을 활용한 지하열원 개발 표준 설계 기술
	개방형 및 수평형 지하열원 개발 표준설계 기술
	지열수 개발에 따른 환경영향평가 기법 개발
	지열공 원상복구 기술 개발 및 표준화
	지열수자원 관리 및 장애 모니터링 시스템 구축 기술
	고효율 열전도 재질 및 지중설비 기술 개발
	지질조건을 고려한 지하열자원 개발 최적지 선정기술 개발
	지열공의 원상복구 및 표준화 기술
	IT를 활용한 지열공내 SMART 모니터링 기술
	지하수자원을 활용한 지열 냉난방 개발 표준화 시스템 구축
	하천변 지하수자원의 열원 활용 기술 개발

가. 응답자의 전문도

- 응답자의 전문수준을 살펴본 결과 주전공분야로서 연구경험이 풍부하며 기술개발 동향에 대해 잘 파악하고 있는 응답자가 주를 이루고 있으며, 주전공분야는 아니나

관련 기술분야에 대한 동향을 파악하고 있는 응답자가 33%, 관련 기술분야의 전문 지식이 조금 있는 경우가 5% 정도 되었다.

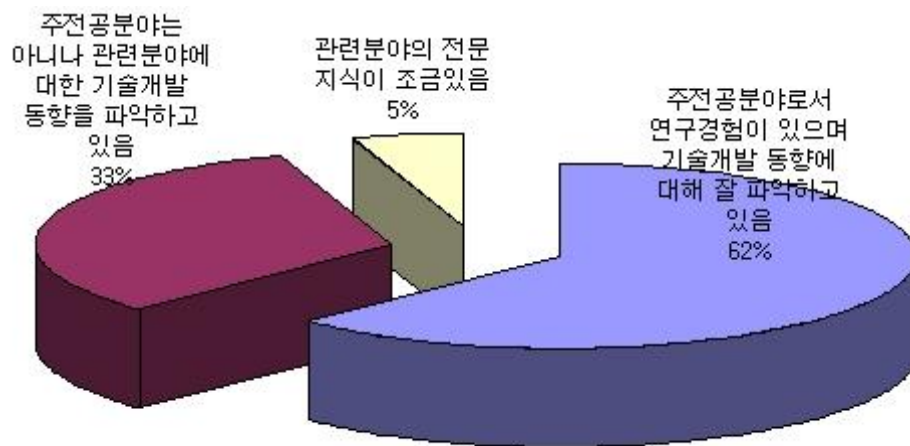


그림 3.1 응답자의 전문도

나. 관련 기술의 실현 및 적용 시기

- 기술 예측 대상 기술들에 대하여 한국 내에서의 기술적 실현시기와 사회적 적용시기를 구분하여 설문조사를 하였으며, 관련 기술이 세계적으로 실현될 시기와 사회적 적용 시기도 설문조사를 통하여 그 결과를 정리하였다. 응답자의 대부분이 관련 기술들이 2015년 이전에 한국 내에서 기술적으로 실현 가능하다는 의견을 보였으며, 사회적으로도 대부분 2015년 이전에 적용되어져야 한다고 보았다.
- 세계적으로도 대부분은 2015년에 기술적으로 실현될 것이라고 보았으나 소수의 기술은 2025년에 실현될 것이라고 설문에 응답을 하여 몇 가지 기술들은 한국이 강점을 나타내었다.

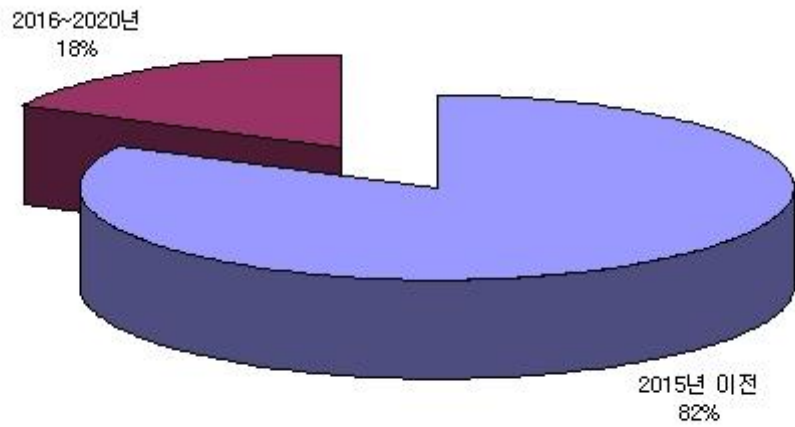


그림 3.2 한국 내 기술적 실현 시기

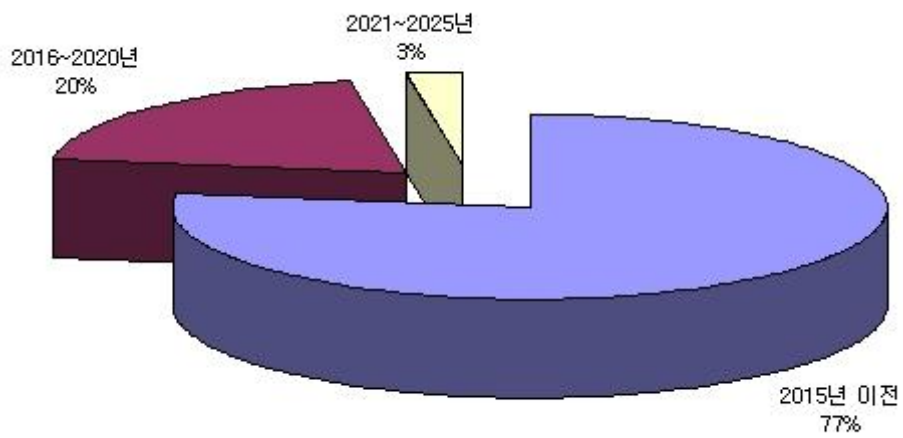


그림 3.3 한국 내 사회적 적용 시기

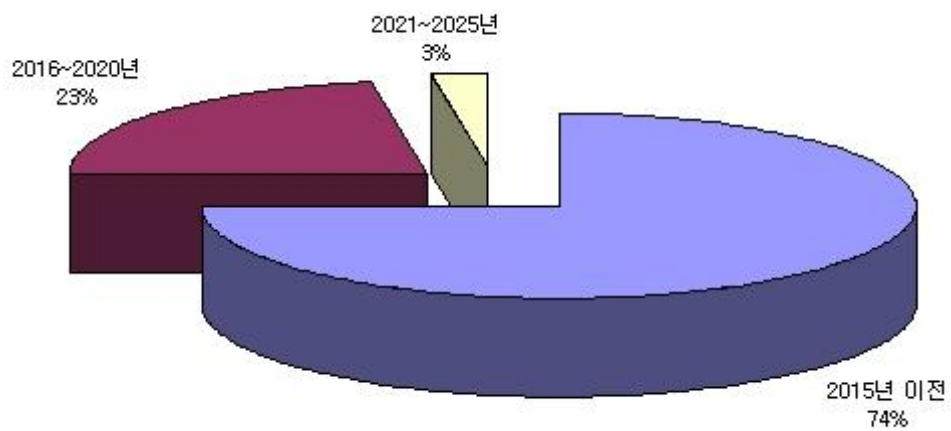


그림 3.4 세계적인 기술적 실현 시기

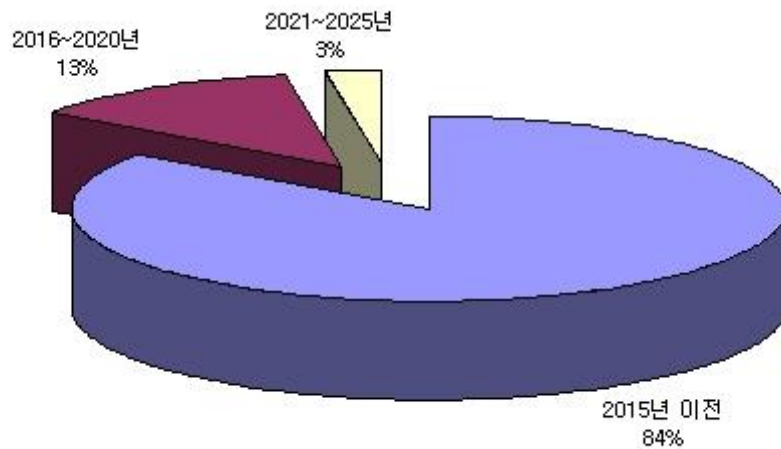


그림 3.5 세계적인 사회적 적용 시기

다. 관련 기술의 중요도

- 기술 예측 대상 기술들에 대하여 경제산업적 중요도와 과학기술적 중요도, 공익적 중요도에 대하여 각각 설문조사를 하여 그 결과를 정리하였다. 각각에 대하여 살펴보면, 경제·산업적 부가가치 창출 측면에서 볼 때, 관련 기술이 중요하다는 의견이 88%, 과학기술적 혁신이나 새로운 지식의 창출면에서 볼 때는 80%, 사회문제의 해결 및 공익을 위해 해당 기술 개발이 필요하다는 의견이 85% 등 대부분의 세부 기술들을 높게 평가하였다.

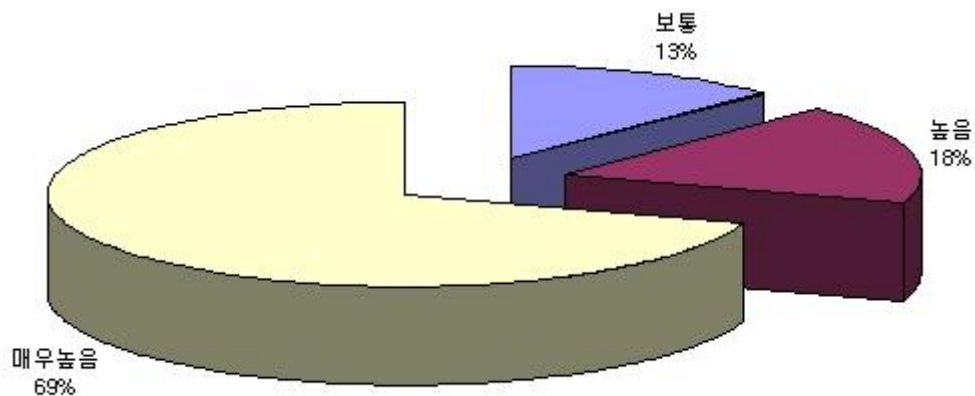


그림 3.6 경제·산업적 중요도

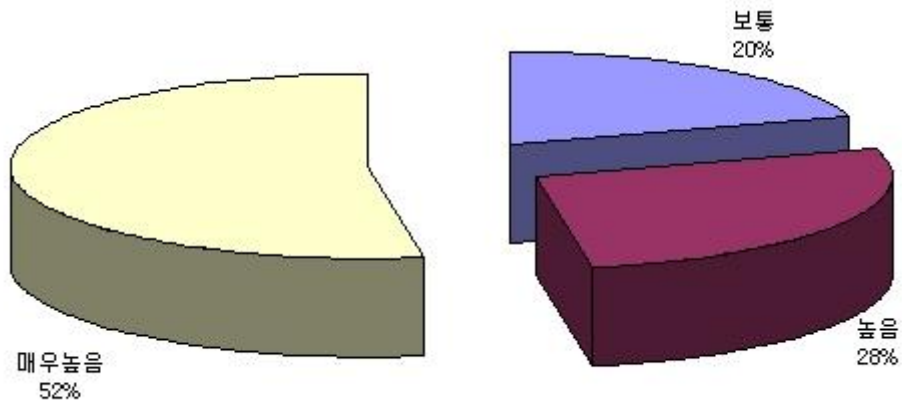


그림 3.7 과학기술적 중요도

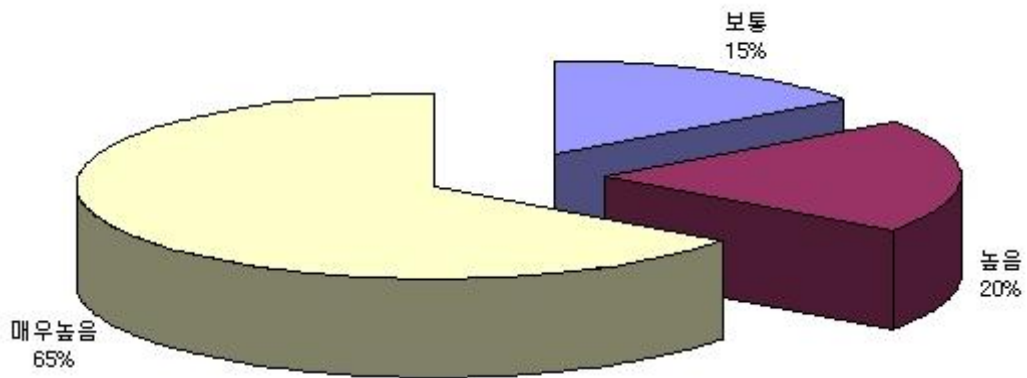


그림 3.8 공익적 중요도

라. 최고 기술 보유국

- 기술 예측 대상 세부기술들에 대한 최고 기술 보유국 분포를 살펴보면, 미국이 55%, 유럽이 30%, 일본이 15%의 순서로 최고 기술보유가 많은 것으로 나타났으며, 한국은 최고기술보유가 현저하게 적었다.

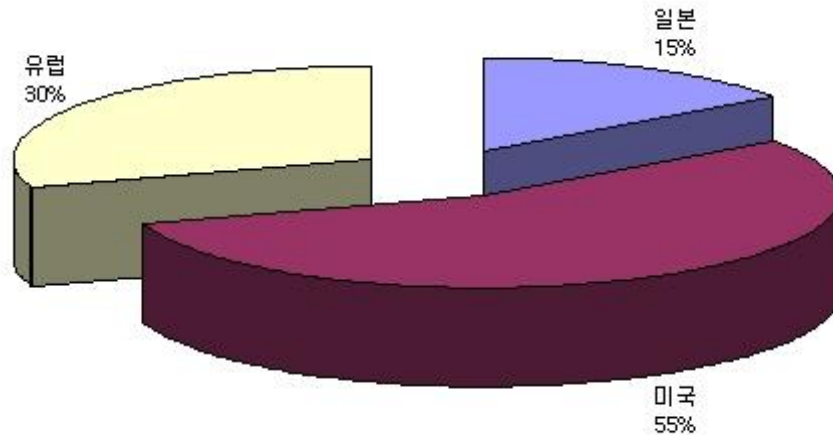


그림 3.9 최고 기술 보유국 현황

- 관련 기술의 세계 최고수준대비 국내 연구개발 수준에 대한 평가 조사 결과 대부분이 21-60% 사이에 존재하였으며, 몇몇 기술은 20% 이하 또는 60% 이상도 있었다.

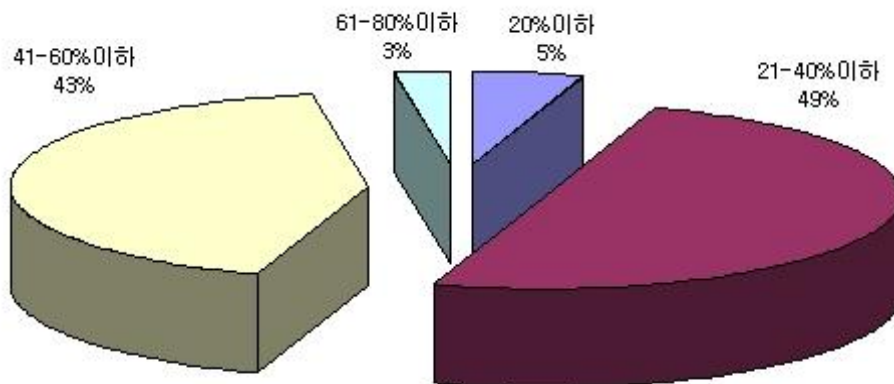


그림 3.10 세계 최고수준 대비 국내 연구개발 수준

마. 정부 개입의 필요성

- 기술 예측 대상 세부기술에 대하여 정부가 기술개발에 주도적으로 개입해야 한다는 의견이 44%로 매우 높았으며, 기술 개발에 정부의 지원이 필요하다는 의견이 38%의 분포를 보였으며, 정부가 전적으로 개입해야 한다는 의견도 18%나 되었다.

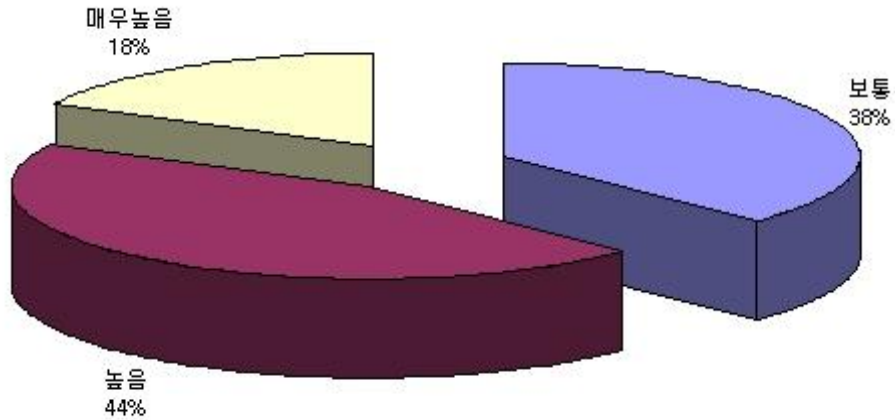


그림 3.11 정부 개입의 필요성

바. 기술 실현을 위해 우선적으로 시행되어야 할 정책

- 기술 예측 대상 세부기술들이 실현되기 위해서는 연구비 부족으로 인한 연구개발 활동이 저해되지 않도록 연구비를 확대해야 된다는 의견이 39%로 제일 높았으며, 연구개발 활동을 촉진하기 위한 제도 수립 및 개선이 필요하다는 의견이 26%, 기술 실현을 위한 설비 투자 등의 인프라 구축이 정책적으로 필요하다는 의견도 19%나 되었다. 상대적으로 연구인력이 부족하여 정책적으로 인력 양성에 대해 지원해야 한다는 의견은 8%로 매우 적어 인력 인프라는 풍부한 것으로 조사되었다.

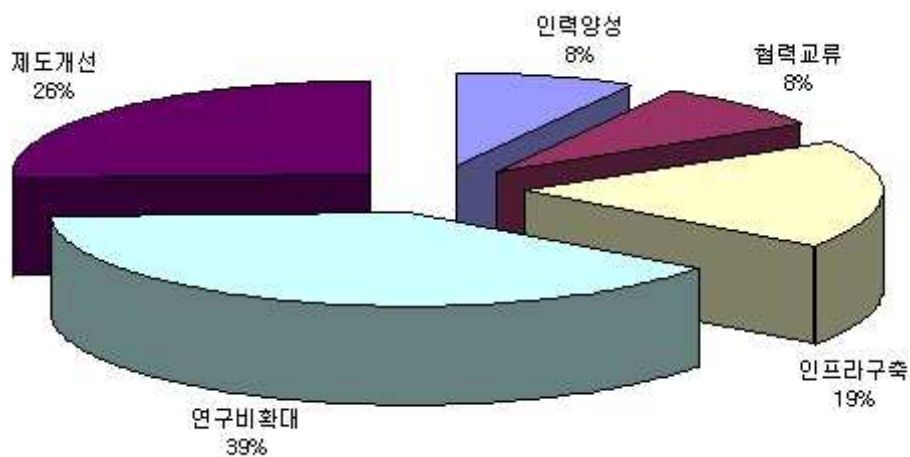


그림 3.12 기술 실현을 위해 우선적으로 시행되어야 할 정책

제 4 절 기술개발 방향 설정

1. 분석결과 종합

가. STEEP 분석에 따른 시사점

(1) 사회적/문화적 (Social) 환경

- 사회가 발전하고 환경에 대한 인식이 높아짐에 따라 최근에는 하천수 및 지하수 오염 문제가 점점 주요 쟁점이 되어가고 있다. 또한 기후변화(가뭄, 홍수 등)로 인한 수자원의 취약성이 증가되고 있으며, 효율적인 수자원의 관리를 위한 ‘4대강살리기 사업’이 정부의 적극적인 의지로 추진되고 있으며 이와 관련하여 지하수에 대한 국민적 관심이 고조되고 있다.
- 4대강 주변은 농업 및 공업 등 지하수 활용에 밀접한 토지 이용특성을 가지고 있으며 대도시와 인접한 지역이 많으므로, 신규 보 건설지 주변 지하수 수위, 수질 등 지역주민에게 유익한 지하수 정보를 제공함은 물론, 궁극적으로 4대강살리기 사업의 긍정적 효과를 가져 올 수 있다.
- 기후변화에 따른 가뭄 발생 등으로 대체수자원을 확보하고자 하는 노력이 경주되고 있으며, 이중 가장 효과적이고 적절한 방안으로 지하수 이용에 대한 관심이 증가하고 있다. 취수원 다변화를 위하여 강변여과와 같은 간접취수 방식 도입 증가하고 있다.
- 소하천 등의 건천화를 유발하는 지하수 과다 이용 등을 방지하기 위한 정부 및 지자체의 노력이 증가하고 있다. 또한 깨끗한 물에 대한 국민들의 니즈도 요청되며 이에 대해 지하수의 적극적 활용 방안이 대두되고 있다. 그럼에도 불구하고 지하수에 대한 인식 부족으로 지질·지하수 전문가가 배제된 관련 국책사업이 증가하고 있으며 이에 따른 사회적 및 경제적 손실이 발생하고 있는 실정이다.
- 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, 해양에너지, 지열(geothermal)에너지 등 대체 에너지 개발의 필요성이 크게 대두되고 있

는 실정이다.

- 지하수는 화석연료 대체를 위한 신재생에너지인 지열자원으로 활용될 수 있으며 이에 대한 수요도 증가하고 있다. 따라서 지열지하수는 이산화탄소 저감과 맞물려 친환경 녹색기술로 인식되고 있다.

(2) 기술적 (Technical) 환경

- 기후변화 및 지하수 이용량 증가에 따라 지하수 관리·보전을 통한 지하수 자원의 확보에는 이미 한계에 도달하고 있는 상황이다. 따라서 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.
- 국내에서는 아직 수변지역의 지하수 개발을 위한 인공함양 기술 수준이 선진국에 비해 낮은 수준이며 향후 기후변화 등에 따른 수자원 부족을 해결하기 위해서는 이에 대한 기술 개발이 필요한 실정이다. 하천건천화의 주요인으로 인식되는 비닐하우스 수막재배 지역 지하수시스템 복원을 위한 직접 인공함양 및 강변여과 수리지질특성 평가와 정호개발 기술 등은 지하수자원 확보를 위해 시급히 기술 개발이 요구되고 있다.
- 따라서 수변을 포함한 유역전체의 지하수 함양 및 개발가능량을 평가하고 가능최대 지하수 개발 기술을 실용화하여 하천고갈을 방지하고, 지속가능한 물순환을 담보하는 유용한 수자원의 합리적 이용을 달성토록 하여야 한다.
- 이와 더불어 첨단 기술로서, IT 기술을 이용하여 하도 내 수위변화에 따른 지하수위의 변동을 보다 정확히 예측하고, 운영되는 관측 시스템을 검증하는 등 관련 첨단 기술을 개발하고, 예비 농업용수로서의 활용 등과 같은 이수적 측면에서의 지하수의 활용성의 최대화를 도모해야 한다.
- 4대강살리기 사업 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 것으

로 전망된다.

- 그동안 국내에서 정부 차원의 지하수 분야 R&D는 수자원프론티어 사업등에서 일부 다루어져왔으나 지하수 지열자원에 대한 정부차원의 지원 부족에 따른 연구 및 신규사업이 부재한 실정이다. 이에 따라 지하수 지열분야 전문연구인력의 양성 등이 충족되지 못하는 등 관련 인프라 부족으로 정부 정책 수립 및 수행이 곤란한 실정이다. 아울러 지하수 지열 개발 업체의 영세화에 따른 고급 인력 확보 및 고부가가치 사업화의 어려움이 있다.
- 간접취수에 관한 기초적인 연구는 과거 21세기 프론티어 사업을 통해 수행되었다. 그러나 간접취수를 위한 현장 중심의 시공공법 개발이나 유지관리 기술에 대한 연구개발은 전무한 실정이다. 현재 국내에서 시행중인 몇몇 강변여과수 개발은 시공 경험의 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.
- 수변지역 대수층의 수리적/열적 자료의 부족과 지하수 영향 범위에 대한 고려없이 무분별하게 진행되는 지하수 및 지열에너지 개발, 그리고 검증되지 않은 외국 간접취수 및 지열 관련 기술의 무분별한 도입이 문제를 발생시키고 있다. 따라서 국내 수리지질환경에 적합한 체계적인 기술 개발이 요구되고 있다.
- 21세기 청정수자원 개발과 공급의 관점에서 지하수는 그 활용 가치가 매우 뛰어나며, 특히 수변지역에서 간접취수를 활용한 지하수 개발은 지속적이고 안정적인 취수원으로 높이 평가 받고 있다. 이와 함께 지질지하수 융합기술을 접목한 수변지역 지하수의 지열에너지 활용은 그 가치를 한층 더 높이고 있는 실정이다. 따라서 수변지역에서 간접취수와 지열에너지를 접목한 융합기술의 효율적 적용을 위한 지하수 활용 고도화기술 개발이 절실히 요구되고 있다.

(3) 생태학적 (Ecological) 환경

- 최근 국내에서는 하천변 과도한 지하수의 이용과 토지이용의 변화는 지속적인 지하수위 강하를 가져오고 하천의 고갈을 유발하여 건전한 물순환을 방해하고 있다. 또한 각종 오염 및 폐공 방치로 인한 지하수 오염 증가 추세에 있으며, 지표수 오염도 가중되어 깨끗한 식수 보급을 위한 간접취수 개발에 대한 관심이 증가하고 있

다.

- 현재 대하천 주변의 지하수위가 하천수위보다 수m 이상 낮게 형성된 지역이 많고, 4대강살리기 사업에 따라 신규 보 건설 후 담수시 직상류 주변지역의 지하수위는 현재보다 수m 이상 상승할 것으로 예상되며, 직하류는 수위가 다소 강하할 것으로 예상되고 있다.
- 지하수위 상승으로 보 상류지역 침수지역이 발생 또는 지하수위 상승현상의 장기화로 인한 습지화 가능성 및 수질 변화 등 보 건설 전후 지하수 관측의 필요성이 대두되고 있다. 보 지역 주변에 농경지 및 공단 등 경제 활동 지역에서 지하수 상승에 의한 침수 등의 피해 사전 예방은 물론, 수온 및 수질 변화에 민감한 수막재배 등 토지이용도에 따른 안정적 지하수 관리가 필요하다.
- 기후변화 시나리오에 따르면 강수량은 증가하나 강우일수 감소로 인하여 지하수 함양이 감소함으로써 지하수 자원의 취약성이 증가할 것으로 예측되고 있다. 따라서 미래 수자원부족에 대처하기 위한 지하수 보전 및 관리 기술 개발이 요구되고 있다.
- 녹색 청정 신재생에너지인 다양한 지열지하수를 이용한 지열 개발이 증가 추세에 있으나 과도한 지열지하수의 사용으로 인한 지하수 장애 초래되고 있다. 따라서 효율적이고 안정적이며 지속가능한 지열지하수의 활용을 위한 기술 개발 필요성이 증가하고 있다.

(4) 경제적 (Economic) 환경

- 사회가 발전하고 환경에 대한 인식이 높아짐에 따라 최근에는 하천수 및 지하수 오염 문제가 점점 주요 쟁점이 되어가고 있다. 물은 인간의 삶에 공기와 함께 필수불가결한 요소로써 이를 안전하게 유지 관리하는 것은 아주 중요한 일이며, 안전하고 지속가능한 취수원을 이용할 수 있도록 연구개발을 통해 사회전반에 커다란 경제적인 이익을 가져다 줄 것으로 기대된다.
- 하천의 건천화는 하천주변 지하수위가 낮아져 지속적인 손실하천의 특성을 유지하면서 생성된 것이다. 따라서 하천 건천화 방지 기술 및 저하된 하천변 지하수위 상승 프로그램 구축을 통하여 전국의 하천 건천화 방지 및 지하수-지표수 연계 기술의 실용화를 추진하며, 각 지자체를 중심으로 청계천과 같은 도심지 생태하천 건설

시장 등 다양한 부대효과를 가져와 직·간접적인 경제효과를 기대할 수 있다.

- 하천 복원과 지하수 복원을 위해서는 하천변 지하수 시설에 대한 체계적인 설계 및 시공관리가 수행되어야 하며, 이는 곧 수변에 분포하는 수십만공 이상의 지하수 관정에 대한 전면적인 현황 파악 및 재개발 등을 촉진시켜 지하수 분야 활성화를 가져오고, 직접적인 경제 파급 효과를 얻을 수 있다.
- 지표수 수질과 수돗물에 대한 일반 국민들의 인식이 좋지 않은 상황에서 각 지자체가 추진하고 있는 강변여과수 등을 활용한 간접취수 방식이 큰 호응을 받고 있는 실정이며, 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 필요하다.
- 천부 지열 에너지를 이용하게 되는 개방형 지중 열교환기의 경우 지하수의 거동이 활발한 대수층 내의 지하수를 활용하게 되며 이는 지하수의 거동 양상 및 특성, 지하수 및 지질 매체에 의한 열에너지 전도 및 대류에 대한 종합적인 해석 기술이 필요하다. 심부 지열을 이용하는 기존의 폐쇄형 지중 열교환기보다 경제적인 기법이므로 기술 개발이 이루어졌을 때 이를 활용할 수요는 풍부할 것으로 보인다. 또한 지열에너지의 범용화를 위해 프로그램을 개발하여 상용화가 이루어진다면 더욱 더 실용적으로 이용될 것이다. 향후 폐쇄형 지중 열교환기보다 저비용 고효율의 개방형 지중 열교환기 개발을 위한 기술개발이 더욱 필요하며 해외 선진국에서도 이와 같은 방향으로의 연구가 좀 더 이루어질 것으로 보인다.
- 수변지역 지하수 고도화기술 개발을 통하여 동남아, 중앙아시아 및 몽골 등의 지역의 물산업 시장 발달로 인한 기술이전 및 해외시장 개척 기회 확대될 것으로 예상되고 있다.

(5) 정치적/법적 (Political) 환경

- 세계 주요 선진국들은 기후변화 대응을 최우선 의제로 선정하고 대응 전략 마련을 위해 리우 세계환경정상회의 이후 1997년 ‘교토의정서’를 채택하였고, 유엔안보리에서의 기후변화 논의 및 ‘발리로드맵’을 채택하였다. 영국, 캐나다, 호주 등 세계 주요국은 국가차원의 기후변화 적응정책을 수립 추진 중에 있으며, 국내의 경우 기후변화 속도에 비해 대응정책 수립 및 집행이 미흡하였다. 그러나 2008년 ‘기후변화종합기본계획’ 및 ‘국가 기후변화 적응 종합계획수립’을 통해 국가차

원의 적응정책을 수립하기 시작했다. 국내에서 나타나는 기후 변화의 특징은 무강우 일수의 증가에 따른 가뭄의 발생과 국지성 집중호우에 의한 유출의 증가 등이 있으며, 이에 따라 갈수기에 수자원확보를 위한 지하수 개발이 증가하고 있다.

- 정부의 ‘저탄소 녹색성장’ 계획과 맞물려 향후 지열 에너지의 이용 수요는 크게 늘어날 것으로 보인다. 폐쇄형 지중 열교환기보다 보다 경제성이 높은 개방형 지중 열교환기를 이용할 수 있도록 환경영향평가 항목이 구체적으로 정해지고 이에 필요한 지질-지하수 융합 이용 기술이 확보된다면 자원 빈국인 국내에는 거대한 시장이 확보될 것이다. 향후 지질-지하수 융합 기술을 접목한 개방형 지중 열교환기 설치 지점 및 운용 최적화 기법을 개발하고 관련 소프트웨어가 상용화된다면 국내뿐만 아니라 해외에도 기술을 수출할 수 있을 것으로 기대된다.
- 최근 기후변화 등으로 가뭄·홍수 등 자연재해 발생으로 인명과 재산을 보호하고 효율적인 수자원의 관리를 위한 ‘4대강살리기 사업’이 「한국형 10대 뉴딜정책」으로 선정되어 국토해양부 주관으로 추진되고 있다. ‘4대강살리기 사업’은 한강, 낙동강, 금강, 영산강 유역의 홍수와 가뭄 및 수질문제를 개선하고, 생태하천과 친수환경 공간 조성이라는 새로운 하천관리의 전략적 구축을 도모하고자 4대강에 16개 신규 보 건설을 추진 중이며, 하천 준설을 통해 물그릇 확보를 추진하고 있다. 향후 4대강의 수량 및 수질의 변화가 예상되고, 이로 인한 수변지역 지하수 환경에 큰 변화가 예상된다.

나. 5 Forces 분석

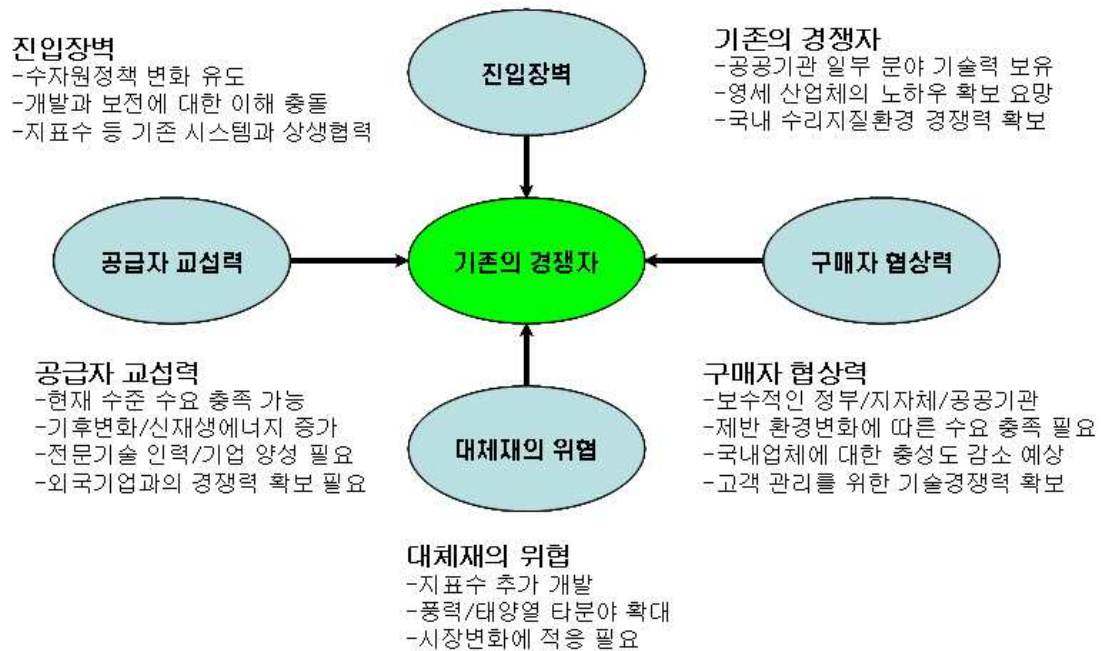


그림 4.1 마이클 포터의 5 Force 분석

(1) 기존의 경쟁자와의 경쟁 정도(rivalry)

- 현재 우리나라에는 수변지역 지하수 조사평가, 이용관리 및 지질지하수 융합기술 분야에 대한 기술력을 보유하고 있는 기관은 서울대, 부산대, 강원대, 공주대 등 대학의 교수진과 한국지질자원연구원, 한국건설기술연구원 등 연구기관, 한국수자원공사, 한국농촌공사 등 대형 사업체와 연구와 설비 등을 담당하는 중소기업체인 지오그린 21, 팬아시아워커, 넥스지오, GGK 등이 있다. 국외 기업으로는 GSI, CWI 등 강변여과 개발업체와 일본 지열협회 등이 있으며 현재 이들은 일부 국내기업과 함께 사업을 공동 수행하고 있다.
- 지하수 활용 고도화기술 개발 분야에서 기존의 기관들은 선진 외국에 비해 기술경쟁력이 상대적으로 낮지만 연구개발 완료후에는 이들과 거의 동일한 수준의 기술력을 확보할 수 있을 것으로 보인다. 특히 외국기관에 비해 국내 수리지질 환경에 대한 노하우와 정보를 많이 확보하고 있기 때문에 강변여과 개발 및 지열지하수 융합기술의 기술개발을 통한 기술력의 확보로 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 공급자의 교섭력 (Power of suppliers)

- 국내 수자원 이용 총량에서 지하수가 10% 이상을 차지하고 있고 이에 대한 전문지식을 가진 기관 및 기업체가 비교적 적기 때문에 현재 수준의 수요를 충족시킬 수 있는 것으로 보이나 기후변화 등에 따른 지표수 취약성이 증가하고 이를 대체할 수자원 확보가 필요한 시점에서 기술개발을 통한 전문인력과 기업의 양성이 요구된다.
- 지하수 조사평가, 개발이용, 시스템 복원 및 지열 융합기술을 보유한 대학 및 연구기관의 기술 수준은 선진국에 비해 비교적 높은 수준이지만 산업화를 위한 실용성의 확보가 부족하다. 반면 기업의 경우 각각의 기술력의 차별성이 부각되지 않고 있어 고부가가치를 창출할 수 있는 기술적 기반이 마련되지 못하고 있다. 또한 시장이 매년 성장하고 있지만 규모가 비교적 작고 영세업체들의 가격 경쟁에 의한 치열한 경합이 문제가 되고 있다.
- 외국기업의 진출이 증가하고 있는 현 상황에서 그들과 경쟁력을 확보하기 위해서는 영세한 국내기업의 기술개발을 통한 하이텍의 기술력 확보와 연구기관들의 실용화 전략 수립을 통하여 공급자의 교섭력을 증대시킬 수 있도록 할 필요가 있다.

(3) 구매자들의 협상력 (Power of buyers)

- 지하수 이용개발 및 지열에 대한 시장의 증가가 지속적으로 예상되고 있기 때문에 기술개발을 통한 차별성을 부각시키는 것이 필요하다. 지하수 분야 구매자들은 대부분 정부와 지자체 또는 공공기업인 수자원공사가 대표적이므로 폭발적인 시장의 증가의 확대는 어렵다. 그러나 기후변화와 녹색성장 등 국내 제반 환경의 변화에 따른 강변여과수에 의한 간접취수, 인공함양에 의한 지하수시스템 복원, 지열에너지 활용 등 다양한 구매자들의 수요를 충족시킬 수 있는 기술 확보가 시급하다.
- 일부 지하수 조사평가, 이용개발 및 지열지하수 분야에서는 영세업체들이 많기 때문에 기술보다는 가격 경쟁에 의해 좌우되는 경우가 아직 많은 실정이다. 구매자들은 낮은 가격을 원하고 특히 정부의 입찰 방식에 따라 많은 이윤을 창출할 수 없는 경우가 발생하고 있다.
- 기술경쟁력을 확보한 외국기업의 진출이 가시화되고 있지만 아직까지는 국내시장 보호 및 국내 지하수 환경에 대한 노하우 등을 이유로 구매자(정부, 지자체, 공공기업 등)의 국내기업에 대한 충성도가 낮지는 않지만, 일부 분야에서는 사업 진행 및 성과

부족으로 점점 이러한 충성도가 낮아질 것으로 보인다. 따라서 현재에는 기술경쟁력의 부족에도 구매자들의 협상력은 매우 낮은 편이라 할 수 있겠다. 다만 이러한 국내 업체 및 기업의 약점을 침투하는 외국기업 등 경쟁사에게 이탈되는 고객(정부, 지자체, 공공기업 등)을 관리하는 것은 매우 중요한 문제라고 할 수 있겠다.

(4) 잠재적 진입자의 위협 (Threat of potential entrants)

- 수변지역 지하수 조사평가, 이용개발 및 지열에너지 기술개발은 향후 대체수자원 확보와 에너지 문제 해결을 위한 대안으로 제시될 수 있는 주요 방안이 될 수 있을 것이다. 그러나 이를 위해서는 수자원 정책에 대한 전반적인 변화가 뒷받침이 되어야 하는 것이 과제로 남아있으며 이를 이끌어내기 위한 전략 수립이 필요하다.
- 지하수를 대체수자원이나 신재생에너지 분야의 중요한 역할을 하기 위해서는 기존의 수자원시스템과의 경쟁보다는 협력 관계를 통하여 상호 보완토록 하는 것이 필요하다. 4대강살리기 사업을 통한 지하수 확보와 이에 대한 개발은 하나의 기회가 될 수도 있지만 개발에 반대하는 환경보존과의 충돌이 잠재적 위협인자가 될 수 있다.
- 현재의 지하수에 대한 관점이 보존 및 관리에 정책적 초점이 맞추어져 있는데 개발과 이용이 보존과 관리에 반대되는 개념이 아니라 지속가능하고 친환경적인 측면에서 접근하고 보완 역할이 된다는 점이 강조될 필요가 있다.

(5) 대체재의 위협 (Threat of substitute products or service)

- 지표수의 추가 개발이나 지열에너지가 아닌 풍력, 태양열 등 타 신재생에너지로 대체될 개연성이 있으며 이는 위협요소가 될 수 있다. 그러나 지하수의 청정 이미지와 기후변화, 녹색성장 등 정책 및 기술적인 요인을 부각시키고 지표수의 취약성을 보완할 수 있는 전략을 수립한다면 위협 요인을 제거할 수 있을 것이다.
- 지하수 분야가 시장의 성장세와 증가가 빠르지는 않으나 국내외 환경 변화 및 시장의 변화에 대해서는 보다 더 민감하고 유연하게 반응하는 모습을 보여야 할 것이다. 이를 위해서는 기술 개발을 통하여 구매자의 니즈와 외부환경에 대한 변화를 인식하고 새로운 기법으로 전략을 수립하여야만 무한경쟁시대인 오늘날의 시장에서 살아남을 수 있을 것이다.

다. SWOT 분석

(1) SWOT 분석



그림 4.2 SWOT 분석

표 4.1 SWOT 분석 결과

내부환경 요인	강점 (Strength)	1. 4대강살리기 사업 추진을 통한 다양한 지하수-지표수 연계 수변지역 형성 및 지하수 자원 추가 확보 가능 2. 온실가스 저감 및 탄소배출권 도입 등으로 인한 정부차원의 신재생에너지 보급 지원 3. 취수원 다변화 등 지표수 오염으로 인한 간접취수 방식 도입 증가 및 대체수자원 확보 필요 4. 하천 건천화 방지를 위한 정부 및 지자체의 노력 증가 5. 지하수 분야에 대한 관련 정부부처의 관심 고조 6. 21세기 프론티어 등을 통한 핵심분야 연구인력의 보유 7. 지열지하수 환경영향평가 기술 확보 유리
	약점 (Weakness)	1. 융합 분야의 연계연구 경험 부족으로 인한 다학제 연구 수행의 초기 시행착오 우려 2. 지하수 지열자원에 대한 정부차원의 지원 부족에 따른 연구 및 신규 사업 부재 3. 무분별한 지하수·지열자원 개발에 따른 지하수 환경 악화 4. 지하수 지열 개발 업체의 영세화에 따른 고급 인력 확보 및 고부가가치 사업화의 어려움 5. 지하수에 대한 인식 부족 및 지질·지하수 전문가가 배제된 관련 국책사업 증가 6. 4대강살리기 사업에 의한 하천수-지하수 환경 변화에 따른 지하수 수질 및 수위 변화로 인한 오염확산 및 지하수 홍수 피해 가능성 증가 7. 대수층의 수리적/열적 자료의 부족
외부환경 요인	기회 (Opportunity)	1. 4대강살리기 사업과 관련 지하수에 대한 국민적 관심 고조 2. 친환경적 하천 살리기 사업의 적극적 발굴 추진 의지 3. 기후변화에 따른 가뭄 발생으로 대체수자원 확보 필요 4. 화석연료 대체를 위한 지열 등 신재생에너지 수요 증가 5. 지표수 오염 가중으로 인한 간접취수 개발 관심 증가 6. 동남아 및 중앙아시아지역의 물산업 시장 발달로 인한 기술이전 및 해외시장 개척 기회 확대 7. 국내 지하 열에너지의 막대한 부존량 사용 8. 다양한 지열지하수를 이용한 지열 개발 유도
	위기 (Treat)	1. 각종 오염 및 폐공 방치로 인한 지하수 오염 증가 2. 지하수 및 중소 하천 수위의 지속적인 하강 및 수질 악화 3. 지하수 영향 범위에 대한 고려없이 무분별하게 진행되는 지열에너지 개발 4. 지하수 양수 및 함양감소에 의한 하천 고갈 5. 검증되지 않은 외국 간접취수 및 지열 기술의 무분별한 도입 6. 과도한 지열지하수의 사용으로 인한 지하수 장애 초래

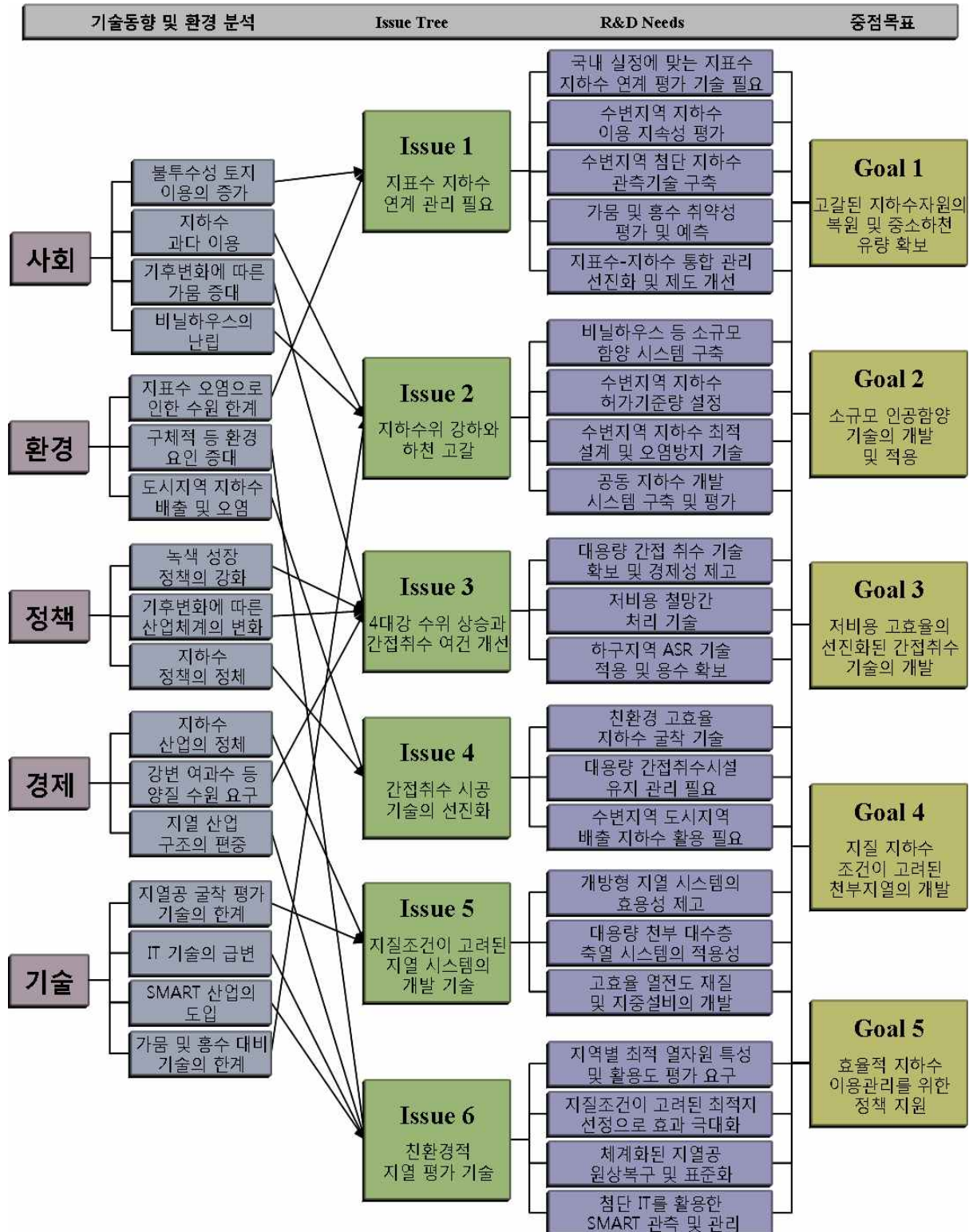
(2) SWOT 전략

구 분	강점 (S)	약점 (W)
	▪ 수변지역 지하수자원 확보가능 ▪ 간접취수 도입 증가 ▪ 하천건천화 방지 관심 고조 ▪ 신재생 지열에너지 보급 지원	▪ 지하수지열분야 인프라 부족으로 정 부정책수립 부재 ▪ 다학제 경험의 미흡 ▪ 수변환경 변화 및 오염가능성
기회 (O) ▪ 가뭄으로 대체수자원 필요 ▪ 신재생 지열에너지 관심 고조 ▪ 지표수오염으로 간접취수 증가 ▪ 물산업 발달로 기회 확대	SO전략 (시너지 창출전략) ▪ 다학제 및 IT 분야 연계를 통한 정책 발굴 ▪ 수변지역 지하수자원 추가 확보 및 개발 전략 수립 ▪ 기후변화대응 대체수자원 확보 방안 ▪ 설비 중심에서 탈피한 지열 기술 개발로 효율 극대화 ▪ 지하수시스템 복원 녹색 기술로 하천건천화 방지 ▪ 4대강 이후의 물관리에 기여하는 지하수 이용기술 개발	WO전략 (보완 전략) ▪ R&D 사업을 통한 전문인력 확보 및 인프라 형성 ▪ 수변지역 지하수 관리를 위한 제도 개선(안) 제시 ▪ 수변환경 변화에 대한 보전 대응기술 개발 ▪ 수변지하수 정부 정책 제시 ▪ 국내외 선도기업 및 석학과의 협력 연구 체계 구축 ▪ 국내외 연구 site 확보 및 공동 활용을 통한 통합 연계 연구의 극대화
위협 (T) ▪ 오염·폐공으로 인한 지하수 오염 증가 ▪ 지하수위의 지속적 하강 ▪ 지하수 이용으로 하천 고갈 ▪ 과도한 지열이용 등으로 지하수 장애 초래	ST전략 (위협 최소화 전략) ▪ 신규 산업 발굴 및 활성화를 위한 산학연 연계 연구 추진 ▪ 국내외 연구 Site에서 성과 검증 ▪ 특허, 신기술 등의 지적재산권 우선 확보로 해외시장 개척에 기여 ▪ 논문과 제품 개발을 균형있게 추진하여 R&D 성과 극대화 ▪ 선진 외국의 기술 도입을 병행함으로써 초기 연구 효과 극대화 ▪ 효율적 천부 지열 이용기술 개발과 현장 실증 ▪ 지하수 오염방지 기술 개발로 체계적 지하수 관리 도모	WT전략 (위협 극복 전략) ▪ 적극적인 지하수지열 분야 정책 수립 및 사업 발굴 제안 ▪ 국가 지자체 등 사업 혜택 주체와의 긴밀한 협조를 통한 성과극대화 ▪ 강변여과 등 대용량 개발 기술의 수출을 위한 지원 제도 도입 ▪ 국내 IT 기술과 외국 기술 조합을 통한 기술 개발 성공률 제고 ▪ 환경친화적 지열 활용 방안 수립 ▪ 필요시 전문 학회의 설립 등을 통한 연구 자원 확대 및 전문가 활용 ▪ 지하수복원을 통한 하천 건천화 방지 및 수량 확보

라. Keyword 도출

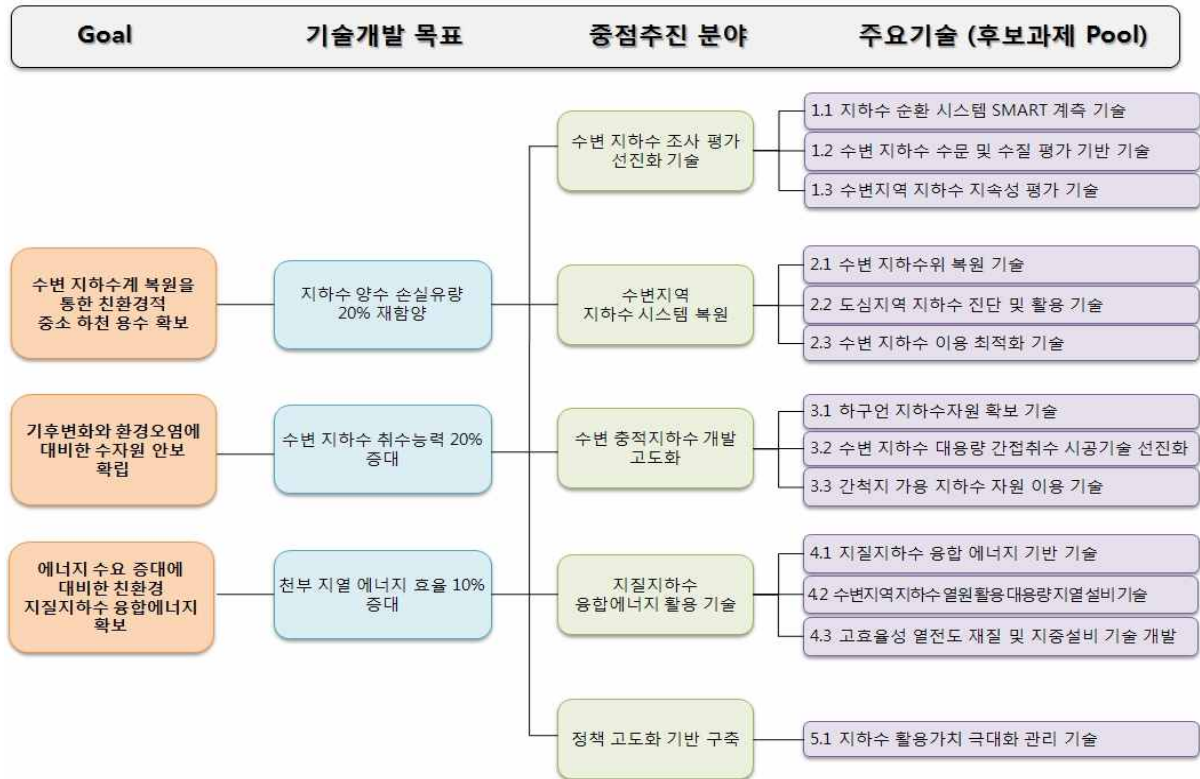
분 야	키 워 드
지하수 분야	- 지하수 조사평가 · 기후변화, 지표수지하수 연계, 하천고갈, 지하수고갈, 수변지역, 개발허가량, 관측장비, 가뭄취약성, 지하수 홍수, Riparian, - 지하수 개발이용 · 비닐하우스, 인공함양, ASR, ASTR, 강변여과수, 하천유지용수, 지하수 복원, 유출지하수, 수평정 굴착, 방치공, 지하저수지
지질지하수 융합 분야	- 천부지열, 수변지하수열, 지열공, 개방형, 대용량 천부지열, 방치공, 지열영향 평가, 원상복구, 지열최적지 평가, 대수층 축열시스템,

마. Issue Tree 작성



2. 중점추진분야 설정

가. 중점추진분야 설정



나. 중점추진분야 1 : 수변 지하수 조사평가 선진화 기술

배경	· 효율적인 지표수-지하수 연계 평가 기법은 향후 지속적인 하천살리기 사업 및 4대강 관리시 반드시 필요 · 특히, Riparian zone의 수문 및 수질 측면의 효과는 국내에서는 본격적으로 연구된 바가 없으며, 향후 하천의 수질 관리를 위하여 반드시 규명되어야 할 대상으로 본다. 또한, 대하천 주변에서의 강변여과의 개발은 지속 증가하고 있으며, 강변여과 수량·수질의 평가 및 예측을 위한 고도화된 기술은 이들 산업을 더욱 촉진시키는 역할을 할 것임 · 지하수 순환(물순환) 평가를 위한 모니터링 및 데이터의 수집 분석 등을 연계한 SMART 계측 시스템은 개발되어 있지 못한 실정
목표	· 수변지역의 지하수 시스템 개선을 위한 지표수-지하수가 연계된 수문 및 수질 통합 평가 기술의 개발로 수변관리 매뉴얼 작성 및 정책 반영 · 수변지역 지하수 순환 평가를 위한 첨단 IT를 연계한 지하수 모니터링 장치 및 SMART 관리 시스템 개발
주요 내용	· 소유역내 지표수-지하수 연계 및 수문·수질 통합 모델링 시스템 개발 · 국내 하천변 지표수-지하수 상호작용 특성 분석 · 국내 하천변 지하수 함양량 산정 · Riparian zone에서의 수질 생태 변화 및 개선 효과 평가 · 초소형 원격 지하수 관측 시스템 개발 및 적용 · SMART 연계 기술 개발 및 적용

다. 중점추진분야 2 : 수변지역 지하수 시스템 복원

배경	· 중소하천 주변 비닐하우스 시설재배로 인한 지하수 이용량 평가 · 지질순환식 인공함양기술의 파일럿시험규모 기술 개발을 통한 직접인공함양기술 일부 적용 · 지열을 이용한 시설재배에서 수막재배시스템의 장애 · 수변지역 수막재배 면적 증가
목표	· 수변 지하수 사용량의 20% 이상 재함양을 통한 지하수위 복원 및 갈수기 하천 유량 증대
주요 내용	· 시설재배지역 수리수문 특성 평가 · 지하수위 복원 인공함양기술 개발 · 인공함양 평가기술 개발 · 수변지하수위 복원기술 확대

라. 중점추진분야 3 : 수변 충전지하수개발 고도화

배경	· 지난 10여 년간 수변지역 지하수에 대한 학문적인 연구와 기초적인 현장적용 연구를 실시하였으며, 학문적인 분야는 선진국 수준까지 도달할 수 있었다. 그러나 현장중심의 연구는 미흡했으며, 현재 현장에서는 수변 지하수 개발을 사업화 및 상용화의 노력을 꾀하고 있으나, 관련 분야의 현장기술 개발이 미흡하여 많은 시행착오를 거듭하면서 국고의 낭비와 끊임없는 민원문제가 발생하고 있음 · 선진국의 경우 수변 지하수 개발을 저비용, 고효율인 대용량 취수시설 규모가 5만~15만톤/일로 평균 10만톤/일로 개발하여 양질의 상수 원수를 소비자에게 공급하고 있으나, 국내의 경우 대용량 취수시설이 평균 1만 5천톤/일 규모로서 선진국 수준의 15% 미치지 못하고 있으며, 이 또한 고비용, 저효율의 취수시설로 선진국에 비해 관련 기술 및 경험이 매우 뒤쳐져 있는 실정
목표	· 수변지역 간접취수 시공 기술 개선을 통한 취수능력 증대 (20% 이상) - 대용량 간접취수원 개발 공법의 신개념 기술 적용 및 평가 · IT 기술을 접목한 시설물 유지관리 기술
주요 내용	· 대용량 취수시설의 시공 기술 선진화 · 대용량 수변 지하수의 지열원수 융합기술 개발 · 수변 지하수 개발의 조사/설계 기술 개발 · 대용량 취수시설 시공을 위한 신기술 및 공법 개발 · 대용량 취수시설의 유지관리 기술 개발

마. 중점추진분야 4 : 지질지하수 융합에너지 활용 기술

배경	· 국내에서는 주로 밀폐형 지열원 냉난방 시스템에 대한 기술 개발이 진행되었으며, 복수정 등 일부 개방형 시스템에 대한 연구 및 기술 개발이 진행되었으나, SCW나 대수층 등이 적용가능한 수변지역 지하수 열원을 활용한 연구 개발 성과는 매우 부족함. 특히, 지하수 열원 활용이 용이한 수변지역의 대용량 지하수 적용 개방형 지열원 냉난방 시스템에 대한 종합적인 기술 개발 성과는 전무한 실정임. · 세계적으로 개방형 시스템은 약 20% 가량 보급된 것으로 추정되며, 경제성과 열원의 안정성과 대용량 시스템 적용이 가능한 수변 지역 등 지하수가 풍부한 지역의 지하수 열원을 적용한 고효율의 지열원 시스템 보급이 지속적으로 확대되고 있음. 특히, 중국은 지하수를 활용한 개방형 시스템이 전체 지열원 시스템의 약 45%를 차지하고 있으며, 개방형 시스템을 대규모화하고 있음. · 국내뿐 아니라 전세계적으로 에너지 및 환경적 측면에서 지열원 냉난방 시스템은 지속적으로 증가했으며, 지열 분야 선진국인 미국과 유럽뿐만 아니라 한국과 중국 등에서 급속히 보급량이 증가됨에 따라 향후 시장은 매우 크게 증가할 것으로 예상됨.
목표	· 수변지역 천부 지열에너지 설비 효율 10% 이상 증대·
주요 내용	· 수변 충적층 내 개방형 지열 시스템의 평가 및 설계 기술 표준화 · 대용량 개방형(SCW) 지열 냉난방 시스템 기술 개발 · 충적 대수층 축열 시스템(ATES) 기술 개발

바. 중점추진분야 5 : 정책고도화 기반 구축

배경	· 국내의 경우 지하수 가치 극대화를 위한 연구개발은 전혀 이루어지지 않았으나, 외국의 경우에는 일부 선진국을 중심으로 홍수, 가뭄 등에 대비하는 지하수의 역할에 대한 연구를 통하여 지하수의 활용 가치 극대화를 위한 정책이 수행되어 왔다. 본 연구를 통하여 지하수 활용가치를 극대화하기 위한 관리기반 기술을 확보함으로써 국가 수자원 정책의 변방이 아닌 핵심으로서 자리잡을 수 있도록 추진 · 특히, 그동안 지표수나 기상 수문량을 중심으로 가뭄이나 홍수를 평가하는 시스템이 개발 활용되고 있으나, 훨씬 안정적인 수문량인 지하수를 활용한 기술이 비교 검토되어 개발된다면 보다 지하수의 가치를 증대시킬 수 있음
목표	· 수변지역 지하수의 활용가치 극대화에 필요한 지하수 정책 연계성 기반 기술 구축 및 경제적 가치 확보 기
주요 내용	· 지하수를 활용한 홍수품 평가 시스템 개발 · 수변지역 지하수 홍수(Groundwater Flood) 취약성 평가 기술 · 지하수 허가기준량 평가 시스템 구축 · 수변지역 지하수의 활용 가치 평가

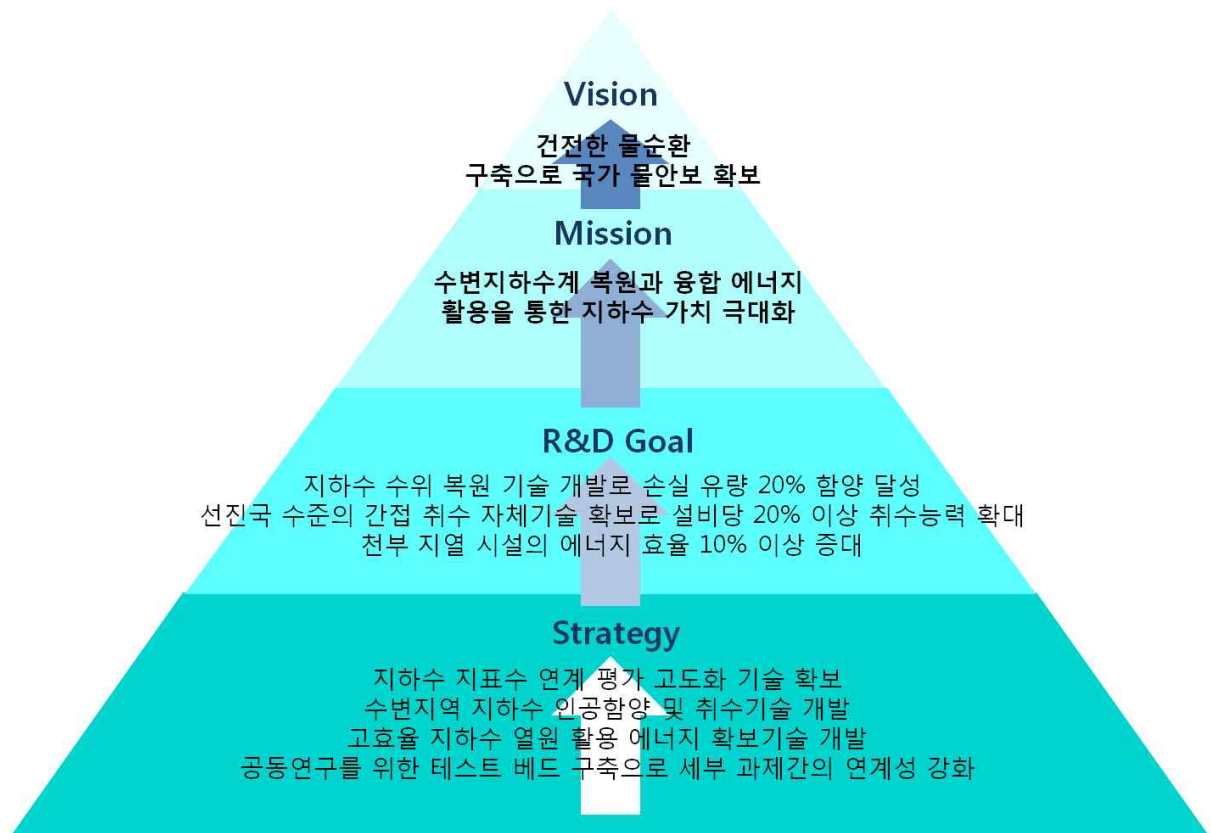
3. 중점추진분야별 기술발전단계

구 분	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2011(현재)
수문 / 수질 조사 평가 고도화	● 수동계측기		● 유선자동계측기		● 무선자동계측기	● 원격자동계측기	
				● 지하수 관측망 도입		● 지하수 관측망 평가 관리	
			● 수문지질도 제작			● 웹기반 지하수 분석	
		● 지하수 평가모델 도입				● 지표수 지하수 연계 평가 모델 개발	
수변지역 지하수 시스템 복원				지하수 방치공 관리 기반	●	● 방치공 재활용 개념 도입	
				빗물 함양 기술 개발	●		● 현무암 지역 지하수 인공함양
수변총적층 지하수 개발 고도화	● 민간 총적층 우물 개발			집수정 기술 도입	●	● 강변여과 조사평가 기술 개발	
지질지하수 융합에너지를 활용				폐쇄형 지열시스템 도입	●	● 지열발전 가능성 연구	
정책고도화 기반구축			지하수법 제정	●	● 지하수 관리기본 계획 최초 수립		
					● 지하수 개발 허가제 도입		
						● 국가지하수정보센터 설립	

제 5 절 비전 및 목표 수립

1. 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.



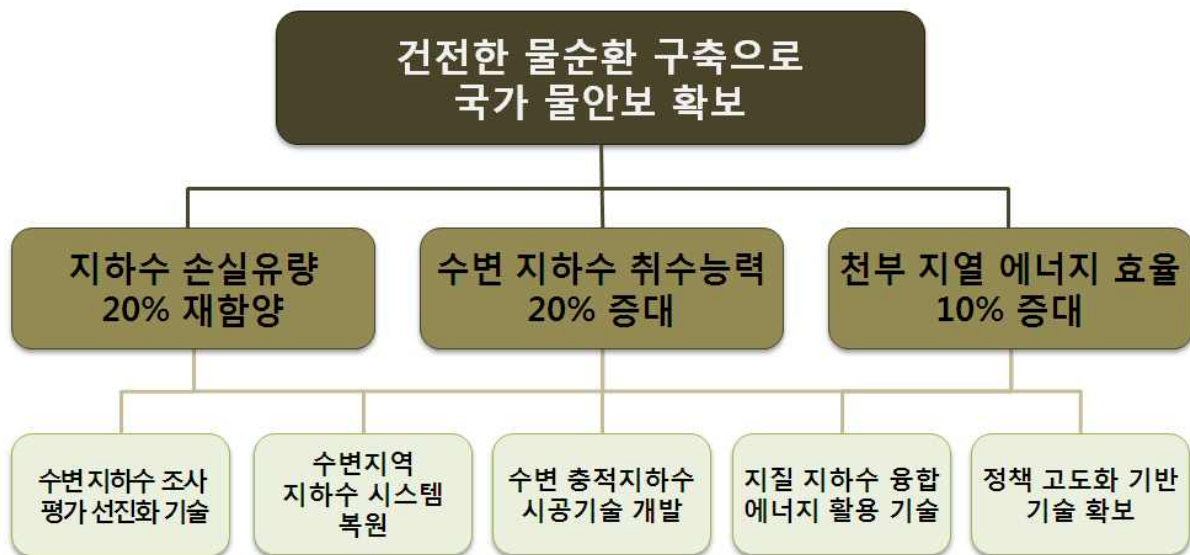
2. 기술개발에 따른 미래상

- 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 6 절 후보과제 도출 및 정의

1. 기술개발전략 재설정

가. 1안



나. 2안



2. 후보과제 도출 및 정의

연 번	후보과제명	후보과제 정의
1	지하수 순환 시스템 SMART 계측 기술	수변지역 지하수순환 평가를 위한 첨단 IT 기반 지하수 모니터링 시스템 개발
2	수변 지하수 수문 및 수질 평가 기반 기술	수변지역의 물순환 및 지하수 시스템 개선을 위한 수문 및 수질 평가 기반기술의 개발
3	수변지역 지하수 지 속성 평가 지수 개발	수리지질환경 및 지하수 이용 특성 등을 기반으로 하는 수변지역에서의 지하수 지속성 평가 기술 개발
4	수변 지하수위 복원 기술	중소하천 주변의 지하수위 강하로 인한 하천 고갈 등 물순환 장애를 복원하기 위한 지하수위 상승 및 함양 설비 기술 개발
5	도심지역 지하수 진 단 및 활용기술	도심지역 중소하천 주변의 유출지하수 장해 진단, 저감 및 활용 기술 개발
6	수변 지하수 개발 최 적화 및 시공 기술	하천변 지하수위 강하 방지 및 지속가능한 지하수개발을 위한 수변지 우물 최적화 및 시공 기술 개발
7	하구연 지하수자원 확보 기술	하구지역 대규모 충적층내 직접 인공함양 효과 평가 및 설계 기술 개발로 대규모 청정 지하 저수지 확보
8	수변지하수 개발 기 술 고도화 기술	대하천변 충적층내 실험 시설을 설치하고 다양한 현장 실증을 통하여 대규모 지하수 수원 개발 관련 시공 기술 확보
9	간척지 가용 지하수 자원 이용 기술 개발	간척지 주변의 지하수계 환경 평가 및 지하 수원 활용 기술 확보
10	지질지하수 융합 에 너지 기반 기술	수변지역 충적층내 지하수 열자원 활용 및 관리 고도화를 위한 광역적 평가 등 기반 기술 확보
11	수변지역 지하수 열 원 활용 대용량 지열 설비 기술	지하수의 열자원을 활용한 수변지역에서의 환경 친화적 천부 대용량 지열 기술 개발
12	고효율성 열전도 재 질 및 지중설비 기술 개발	지중열 에너지이용 효율 극대화를 위한 열전도성이 우수한 신소재 및 지중설비 기술 개발
13	지하수 활용가치 극 대화 관리 기술	수변지역 지하수의 활용가치 극대화에 필요한 지하수 정책 연계성 기반 기술 구축 및 경제적 가치 확보 기술

제 3 장 연구개발과제 추진체계

제 1 절 기획대상과제 선정결과

연번	과제명	비고
1	수변지하수 대용량 간접취수 시공기술 선진화	-
2 ^{주1)}	도심지역 지하수 진단 및 활용기술	-
3	수변 지하수위 복원 기술	-
4	지하수 순환 시스템 SMART 계측 기술	-
5	하구연 지하수자원 확보 기술	-
6	지하수 활용가치 극대화 관리 기술	-
7	수변 지하수 수문 및 수질 평가 기반 기술	-
8 ^{주2)}	수변지역 지하수 열원 활용 대용량 지열 설비 기술 지질지하수 융합 에너지 기반 기술 고효율성 열전도 재질 및 지중설비 기술 개발	과제 통합

주1) '기술개발 또는 정책제도 개선'에 대한 선택 필요

주2) 과제 통합하여 추진

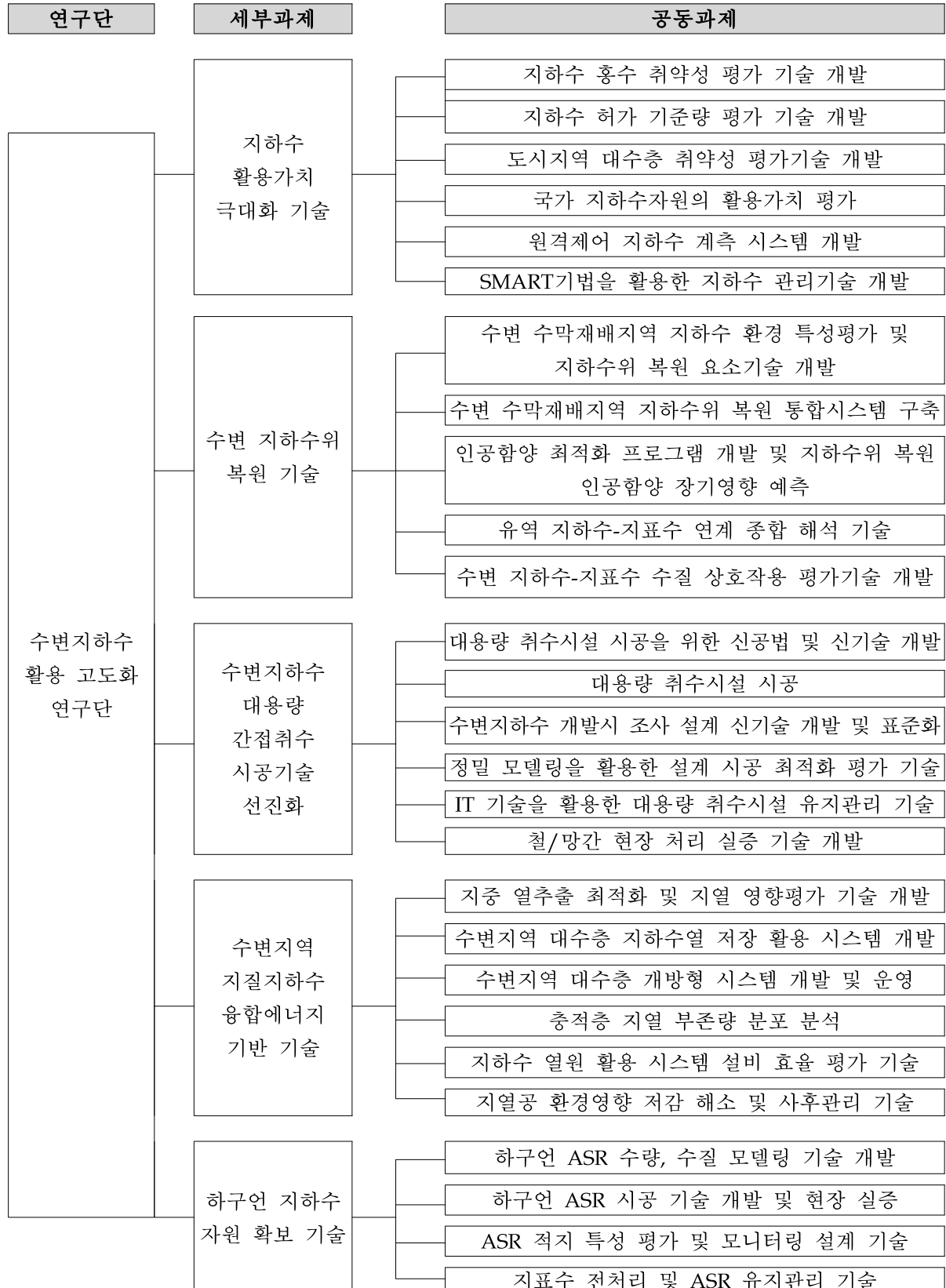
제 2 절 기획대상과제 조정결과

연 번	기존과제		조정결과			조정사유
	과제명	예산 (백만원)	과제명	과제 성격	예산 (백만원)	
1	수변지하수 대용량 간접취수 시공기술 선진화	3,850	지하수 활용가치 극대화 기술	응용	5,600	#4번 과제는 타 세부과제의 기반 기술이 되는 과제로 “지하수 활용고도화 과제”에 포함하여 추진하는 것이 바람직
2	도심지역 지하수 진단 및 활용기술	3,750				
3	수변 지하수위 복원 기술	4,650	수변 지하수위 복원 기술	실용화	7,000	#7번 과제는 “수변 지하수위 복원 기술” 과제와 연계가능성이 크므로 통합하여 추진
4	지하수 순환 시스템 SMART 계측 기술	3,350				
5	하구연 지하수자원 확보 기술	2,950	수변지하수 대용량 간접취수 시공기술 선진화	실용화	7,600	-
6	지하수 활용가치 극대화 관리 기술	3,000				
7	수변 지하수 수문 및 수질 평가 기반 기술	2,950	수변지역 지질지하수 융합에너지 기반 기술	실용화	10,000	#8번의 3개 과제는 통합하여 추진
8	수변지역 지하수 열원 활용 대용량 지열 설비 기술 지질지하수 융합 에너지 기반 기술 고효율성 열전도 재질 및 지중설비 기술 개발	4,750 2,750				
			하구연 지하수 자원 확보 기술	응용	4,800	-

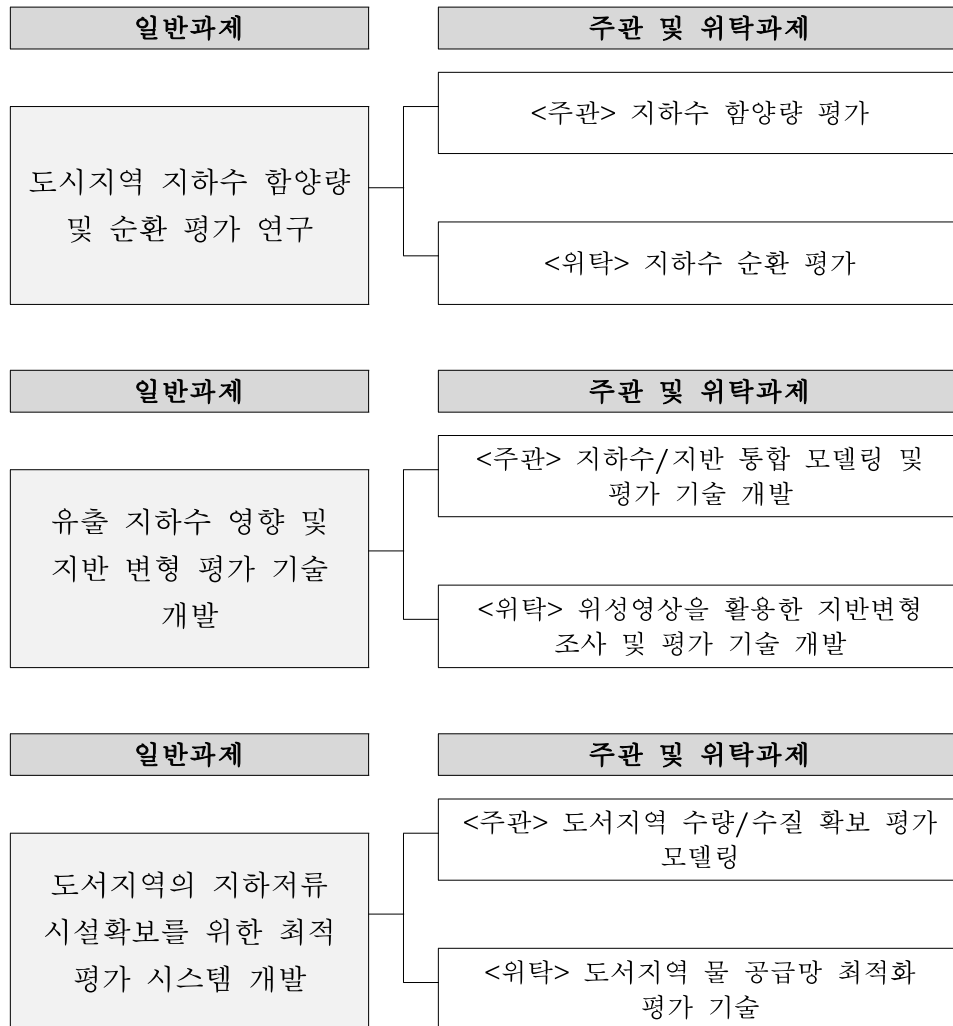
※ “도심지역 지하수 진단 및 활용기술”은 일반과제로 분리

제 3 절 연구개발과제 추진체계

□ 연구개발과제 도출결과



□ 일반과제 도출결과



제 4 장 연구개발과제 주요내용 및 기대효과

제 1 절 연구개발과제 주요내용

1. 수변지역지하수 활용 고도화 연구단 과제

구분	과제명	주요내용	최종 성과물
연구단 총괄	수변지하수 활용 고도화 연구단		
1.세부과제	지하수 활용가치 극대화 및 기반 기술		
1-1 (주관)	지하수 활용 홍수취약성 평가 기 술 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	• 지하수 홍수 평가 알고리즘 • 지하수 홍수 취약성 평가 GIS 시스템(프로그램) • 지하수 홍수 지도 시범 제작 • 지하수 허가기준량 평가 기준 개발 • 오염취약성 평가 알고리즘 • 오염 취약성 평가 GIS 시스템(프로그램) • 주요 시범 도시 오염취약성도 • 관정 내장형 원격제어 시스템 장비 • 광학 센서를 활용한 다항목 계측 장비 • 계측센서와 원격제어 통합한 관측 시스템 개발 • AR 기술을 활용한 지하수 관리 시스템 • 위치 기반의 지하수 활용 및 서비스 시스템 • SMART 연계 시설 관리 시스템 • 국가 지하수 정보 (관측망, 현황정보 및 조사) 경제적 가치 • 수변 지하수 고도화 연구 (지하수 복원, 개발 및 지하수열 활용 등) 경제적 가치
1-2 (공동)	지하수 허가기준량 평가 기준 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	
1-3 (공동)	도심 유출지하수 배 출지역 오염취약성 평가 기술 개발	• 도심지역 특성 평가 및 관측체계 구축 • 수리수문 및 수질변화 진단 • 도시 맞춤형 오염취약성 평가 기술 개발 및 시범 적용 • 주요 시범 도시지역 오염취약성 진단	
1-4 (공동)	원격제어 지하수 계 측 시스템 개발	• 관정 내장형 원격제어 시스템 개발 • 광학센서를 활용한 다항목 계측 기술 개발 • 원격 제어용 지하수 통합관측 시스템 개발	
1-5 (공동)	SMART 기법을 활용 한 지하수 관리 기술 개발	• AR(Augmented reality) 기술을 활용한 지하수 관리 시스템 개발 • 위치 기반의 지하수 활용 기술 개발 • 지하수 SMART 통합 관리 기술	
1-6 (공동)	국가 지하수 자원의 활용가치 평가	• 국가 지하수 정보의 경제적 효과 평가 • 수변지하수 고도화 연구의 경제적 효과 평가	

2세부과제		수변 지하수위 복원 기술		- 수변지역 지하수 복원 인공함양 실용화 기술 개발 및 정호주입식 인공함양 매뉴얼 - 수변지역 지하수 복원 기술 통합 제어 시스템 - 인공함양용 관정배치 최적화 프로그램 - 지하수-지표수 연계 수문·수질 통합 해석 프로그램 - 수변지역의 지하수 시스템 개선을 위한 수변 관리 매뉴얼
2-1 (주관)	수변 수막재배지역 지하수 환경 특성 평가 및 지하수위 복원 요소기술 개발	- 수변 수막재배지역 지하수 환경 특성 평가 - 실증지역 대수층 수리지질 특성화 - 수변 수막재배지역 수문지질 인자 분석 고도화 - 수변 수막재배지역 지하수-지표수 상호작용 분석 - 수변 수막재배지역 지하수위 복원 요소기술 개발 - 인공함양용 원수 취수/운반 기술 개발 - 정호주입식 인공함양 기술 개발 - 인공함양수 수질 개선 기술 개발		
2-2 (공동)	수변 수막재배지역 지하수위 복원 통합 시스템 구축	- 시설재배지 빗물 인공함양 시스템 구축 - 지하수 재순환 수막재배 시스템 구축 - 수변 수막재배지역 지하수위 복원 통합 시스템 구축		
2-3 (공동)	인공함양 최적화 프로그램 개발 및 지하수위 복원 인공함양 장기영향 예측	- 수변 수막재배지역의 지하수 유동 및 용질 이동 모의 - 인공함양용 관정 배치 최적화 프로그램 개발 - 지하수위 복원 인공함양 장기 영향 예측		
2-4 (공동)	유역 지하수-지표수 연계 종합 해석기술 개발	- 수계 위치별 특성에 최적화된 지하수-하천 상호작용 해석기술 - 소유역내 지하수-지표수 연계 및 수문·수질 통합 해석 기술 개발		
2-5 (공동)	수변 지하수-지표수 수질 상호작용 평가 기술 개발	- 수변 위치별/계절별 수질 상호작용 평가 기술 개발 - 상호작용 해석 및 모델링에 기반한 수변 지하수 수질 관리 방안 마련		
3세부과제		수변지하수 대용량 간접취수 시공 기술 선진화		- 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 평가
3-1 (주관)	대용량 취수시설 시공을 위한 신공법 및 신기술 개발	- 수직 우물통에 대한 잠함공법 선진화 기술 개발 - 잠함 공법 시공 및 관측을 통한 공법 개발, 검증 - 수평정 굴착 시공 및 관측을 통한 공법 개발, 검증		
3-2 (공동)	대용량 취수시설 시공	- 대용량 취수시설의 최적 시공 - 대용량 취수원 확보를 위한 대구경 및 대심도($\phi 300\text{mm}$, 60m이상) 수평정호 천공		

	3-3 (공동)	수변지하수 개발시 조사 설계 신기술 개발 및 표준화	• 국내 강변여과 조사, 설계 및 시공 자료 집대성 및 평가 • 조사시의 시료 채취 기술 및 in-situ test 기술 개발 • 충적층 조사 굴착 기술 및 굴착 결과에 대한 평가 기술 개발 • 국내 실정에 맞는 강변여과수 조사 설계 지침 작성	가를 위한 정밀 모델링 기술 • IT 기술을 접목한 대용량 취수시설 계획 및 관리 시스템 구축 • 최적의 효과를 나타내는 강변여과 현장 철/망간 처리기술(시스템) 개발
	3-4 (공동)	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	
	3-5 (공동)	IT 기술을 활용한 대용량 취수시설 유지관리 기술	• IT를 접목한 집수정 및 수평정 진단용 실시간 모니터링 기술 • 대용량 취수시설의 모니터링 기반 유지관리 기법 개발	
	3-6 (공동)	강변여과수 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	
4세부과제	지질-지하수 융합 에너지활용 기술 개발			• 고효율, 친환경, 대용량의 수변 지역 개방형 시스템이 설치된 실증 시범 사이트 • 고효율, 친환경, 대용량의 수변 지역 대수층 지하수열 저장 활용 시스템이 설치된 실증 시범 사이트 • 수변지역의 지하수-지열 인자 DB • 수변 지역 충적층의 지열 부존량 분포도 • 수변 지역 충적층 개방형 시스템 모니터링 설비와 자료 • 개방형 시스템의 성능과 효율 예측 계산 및 최적화를 위한 정밀 모델 • 지하수열원 냉난방 시스템의 표준설계(안) • 지하수열원 냉난방
	4-1 (주관)	지중 열추출 최적화 및 지열 영향 평가 기술 개발	• 충적층 지하수열원 활용 시스템의 대수층 열·물질 순환 모니터링 • 충적층 지하수열원 활용 시스템의 효과적 활용을 위한 장/단기 진단 및 예측 • 지하수열원 활용 시스템의 활용 효율 극대화를 위한 구조, 운영 최적화 • 지하수열원 활용 시스템의 수량·수질 연계 순환량 분석 및 기준 마련	
	4-2 (공동)	수변 지역 충적대수층 지하수열 저장 활용 시스템 개발	• 대용량 충적층 지하수 축열 시스템 설계 및 설비 기술 개발 • 대수층 축열 시스템의 적용과 운영 및 성능 평가 기술 개발	
	4-3 (공동)	수변 지역 대수층 개방형 시스템 개발 및 운영	• 지하수열원 냉난방 시스템의 지상 및 부하 측 구성요소에 대한 최적 설계 기술 개발 • 지하수열원 냉난방 시스템 시공 및 실증 시스템 구축	

			- 수변 충적대수층을 활용하는 친환경, 고효율의 개방형 시스템 운영방식 개발 - 지하수열원 냉난방 시스템 설계·시공 및 운영 기준(안) 도출	시스템 구성도 - 지하수열원 냉난방 시스템 최적 제어 및 시스템 구성 기법 등 관련 특허 - 우리나라 실정에 맞는 대용량 대수층 축열 시스템의 설계·운영·성능 평가 기준 - 지하수열원 활용 시스템 성능 평가 지표 및 관련 규격 DB - 지하수열원 활용 시스템의 설치 및 운영에 따른 지열공 성능 개선 기술 및 사후관리 기술
4-4 (공동)	충적층 지열 부존량 분포 분석	- 수변 지역 충적층의 열 물성, 수리적 물성 data 수집 및 측정 - 지질-지하수 조건과 열물성의 상호관계성 파악 및 인자별 DB 구축 - 지하수-지열 data를 바탕으로 수변 지역 충적층 지열부존량 분포도 작성 - 지열부존량 분포 분석을 통한 개발 최적지 및 지열 개발 활용 방안 제시		
4-5 (공동)	지하수열원 활용 시스템 설비 효율 평가 기술	- 계절별 운전모드에 따른 시스템 성능 평가 및 관련 규격 DB화 - 개방형 시스템 성능 평가 기법 도출 및 신뢰성 향상 기술 개발 - 개방형 시스템과 기존 시스템의 효율성 비교 분석		
4-6 (공동)	지열공 환경 영향 저감·해소 및 사후관리 기술	- 지하수열원 활용 시스템의 지열공 구조·설계 개선을 통한 성능 향상 - 지열공의 환경 영향 저감·해소를 위한 사후 유지·관리 기술 개발		
5세부과제		하구언 지하수자원 확보기술		- 최적 ASR(ASR) 시스템 조사 및 모니터링 매뉴얼 - 하구언 최적 지하수 통합관리 시스템 (HW, SW) - ASR(ASR) 시스템 상세 설계, 시공 시방서 및 도면 - ASR(ASR) 실증규모 plant (3,000m³/day) - ASR(ASR) 시스템 운영관리 매뉴얼 - 지표수 전처리 처리 기술 - 관정 폐색 방지 및 처리 기술 - 운영 중 수질 유지 관리 매뉴얼 - 도서지역의 지하댐 활용 수원 확보 개발 가능성 평가 확보
5-1 (주관)	하구언 ASR 수량, 수질 모델링 기술 개발	- 예비시설 규모 ASR 시공방안 및 성능 예측 모델링 - 예비시설 규모 ASR 시공방안 및 성능 평가 모델링 - pilot 규모 ASR 시공방안 및 성능 예측 모델링 - pilot 규모 ASR 시공방안 및 성능 평가 모델링		
5-2 (공동)	하구언 ASR 시공 기술 개발 및 현장 실증	- 예비시설 설치 및 운영 - 예비시설 ASR 성능 테스트 - Pilot 실증 시스템 설치 및 운영 - Pilot 실증 시스템 운영 및 성능 테스트 - ASR 시공 및 운영 지침(안) 수립		
5-3 (공동)	ASR 적지 특성 평가 및 모니터링 설계 기술	- 하구지역 대수층 특성 조사 및 평가 - ASR지역 지하수 수위 및 수질 관측 최적화 기법개발		
5-4 (공동)	지표수 전처리 및 ASR 유지관리 기술	- 지표수 등 주입수의 전처리 기술 - 장기 운영에 따른 관정의 폐색 특성 및 처리 기술 개발		

2. 도서지역의 지하저류 시설확보를 위한 최적 평가 시스템 개발 과제

구분	과제명	주요내용	최종 성과물
일반과제	도서지역 지하수 활용 최적 용수원 확보 평가 시스템 개발	- 지하댐 적지 조사 및 적지 평가 기술 - 현장 조사에 기반한 적지 평가 기술 - 전국 10개 이상의 대규모 도서를 대상으로 수행	- 도서지역 지하저류지 선정을 위한 최적지 평가 기준 보고서 - 도서지역 물공급망 적정성 평가 기준 보고서
주관	도서지역 수량/수질 확보 평가 모델링	- 지하 저류지 수량 및 수질 확보 모델링 평가 기술 - 대표 도서에 대한 지하저류지의 수량/수질 연계 평가 기술 개발 - 수량과 수질을 고려한 최적지 평가 기술	
위탁	도서지역 물 공급망 최적화 평가 기술	- 물 공급망 최적화 평가 기술 - 기존 도서지역의 용수공급망 특성 평가 - 도서지역 특성이 고려된 최적 용수 공급 체계 평가 기술	

3. 도서지역 지하수 함양량 및 순환평가 연구 과제

구분	과제명	주요내용	최종 성과물
일반과제	도서지역 지하수 함양량 및 순환 평가 연구	- 도시지역 Test Bed의 구축 - 연구지역의 현장 조사 및 계측을 통한 수리지질학적 특성 평가 - 핵심 수문 인자의 평가 : 증발산, 지표유출 등	- 지하수 함양량 평가 및 지하수 순환시스템 개발 - 국내 도시지역에 적합한 지하수 함양량 산정 기법 - 도시지역 지하수 순환시스템 평가 보고서
주관	지하수 함양량 평가	- 도시지역에 최적화된 지하수 함양량 평가 관리 기술 제안 - 계측 및 실측(지하수위, 수질, 이용량 등)을 통한 지하수 함양량 평가 기술 개발	
위탁	지하수 순환 평가	토지 이용현황 및 유출지하수가 고려된 도심지역에 적합한 지하수 순환 시스템 평가 기법 개발	

4. 유출지하수 영향 및 지반변형 평가 기술 개발 과제

구분		과제명	주요내용	최종 성과물
일반과제		유출지하수 영향 및 지반변형 평가 기술 개발	• 도심지역 연구 환경 구축 및 지하수 시스템 환경 특성화 - 계측 시스템 구축 - 지하수위 및 수질 조사 분석 - 지질매체 특성 조사 분석 - 지반 변형 평가(위성 분석 등)	• 통합 모델링 기술 및 지하수 관리 시스템 구축 • 위성 영상을 활용한 지반 변형 평가 기술 • 도심 지역 지하수 시스템 환경의 지하수 유출 대응 및 적응 방안(지침서)
	주관	지하수/지반 통합 모델링 및 평가 기술 개발	• 지하수 유출에 의한 도심 지역 지하수 수량, 수질 변화 및 지반 - 분야별 모델링 수행 - 통합 모델링 구축 - 위성 분석과 모델링의 비교 평가변형 의 통합적 삼차원 수치 모델링 및 현장 실증	
	위탁	위성영상을 활용한 지반변형 조사 및 평가 기술 개발	• 도심 지역 지하수 시스템 환경의 지하수 운영 최적화 방안 도출 및 통합 모델 기반의 도심 지역 지하수 시스템 환경 관리 시스템(HW+SW) 구축 - 위성 분석에 의한 지반변형 평가 기 법 개발 - 도심지역 지하수 지반 환경 변화의 평가 - 지하수 환경 관리 시스템 구축	

제 2 절 연구개발과제 활용방안

1. 수변지역지하수 활용 고도화 연구단 과제

구분	과제명	최종 성과물	최종 수요처	활용방안
연구단 총괄	수변지역 지하수 활용 고도화	• •	• •	• •
1.세부과제	지하수 활용가치 극대화 및 기반기술			
1-1 (공동)	지하수 활용 홍수취약성 평가 기술 개발	• 홍수 평가 알고리즘 • 지하수 홍수 취약성 평가 GIS 시스템(프로그램) • 지하수 홍수 지도 시범 제작	• 정부 - 지하수법 집행 부서 - 홍수 관리 부서 • 지자체 - 지하수 관리 부서 - 홍수 관리 부서 • 민간 - 유사 분야 계측기 개발 업체 등	• 전국 홍수대책용 기본 자료로 활용 • 기존 홍수 지도 등에 추가적인 의사결정 시스템으로서의 기능 수행 • 지하수 허가기준 설정 등 지하수 정책 수립 결정에 활용 • 새로이 개발되는 계측장비는 각종 지하수 관측 체계 구축시 활용 (4대강 관측정, 해안지역 관측정, 구제역 매몰지 관측정 등) • SMART 기술은 지하수 시설물 및 이용량 관리 등에 활용 • 각종 정책 입안시 경제성 논리 제공 • 유출지하수 적정관리로 도심 지하수 장애의 사전 예방에 활용
1-2 (공동)	지하수 허가기준량 평가 기술 개발	• 지하수 허가기준량 평가 기준 개발		
1-3 (공동)	도심 유출지하수 배출지역 대수층 취약성 평가 기술 개발	• 오염취약성 평가 알고리즘 • 오염 취약성 평가 GIS 시스템 (프로그램) • 주요 시범 도시 오염취약성도		
1-4 (공동)	원격제어 지하수 계측 시스템 개발	• 관정 내장형 원격제어 시스템 장비 • 광학센서를 활용한 다항목 계측 장비 • 계측 센서와 원격제어 통합한 관측 시스템 개발		
1-5 (공동)	SMART 기법을 활용한 지하수 관리 기술 개발	• AR 기술을 활용한 지하수 관리 시스템 • 위치 기반의 지하수 활용 및 서비스 시스템 • SMART 연계 시설 관리 시스템		
1-6 (공동)	국가 지하수 자원의 활용가치 평가	• 국가 지하수 정보 (관측망, 현황정보 및 조사) 경제적 가치 • 수변 지하수 고도화 연구 (지하수 복원, 개발 및 지하수열 활용 등) 경제적 가치		

2세부과제		수변 지하수위 복원 기술			
	2-1 (공동)	수변 수막재배지역 지하수 환경 특성평가 및 지하수위 복원 요소기술 개발	• 수변지역 지하수 복원 요소 기술 • 정호주입식 인공함양 매뉴얼 • 수문지질 인자 측정/해석기법 표준지침		
	2-2 (공동)	수변 수막재배지역 지하수위 복원 통합 시스템 구축	• 수변지역 지하수 복원 기술 통합 제어 시스템	• 시설재배 단지 • 관련 정부부처 및 지자체 • 지하수 고밀도 사용지역(온천/공단) • 해안가 염수침투 피해 지역 • 상습 가뭄피해 지역 • 지반침하 및 지표유출에 의한 홍수 피해 취약 도심지역	• 에너지 효율적 시설재배 단지를 구축 및 농가소득 제고 • 지하수위 고갈 수변 지역 지하수위 회복 • 중소하천 살리기를 위한 유량 확보 기술에 적용 • 수변지역 개발 및 관리를 위한 지침에 적용 • 소유역의 통합 물수지 평가로 국가 정책 수립시 활용 • 기타 정호주입식 인공함양 적용 가능지역에 기술 적용을 통해 수자원확보, 수질개선, 해수침투방지, 지반침하 방지에 활용
	2-3 (공동)	인공함양 최적화 프로그램 개발 및 지하수위 복원 인공함양 장기영향 예측	• 인공함양용 관정배치 최적화 프로그램		
	2-4 (공동)	유역 지하수-지표수 연계 종합 해석기술 개발	• 지하수-지표수 연계 수문·수질 통합 해석 프로그램 • 수변지역의 지하수 시스템 개선을 위한 수변관리 매뉴얼		
	2-5 (공동)	하천변 지하수-지표수 수질 상호작용 평가 기술 개발	• 수변지역의 지하수 시스템 개선을 위한 수변관리 매뉴얼		

3세부과제	수변지역 대용량 간접취수 시공 기술 선진화				
	3-1 (공동)	대용량 취수시설 시공을 위한 신공법 및 신기술 개발	• 대용량 취수시설의 최적 시공을 위한 신공법 개발 • 신기술 등록을 통한 기술 상용화 및 사업화	• 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	• 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
	3-2 (공동)	대용량 취수시설 시공	• 대용량 취수시설의 최적 시공		
	3-3 (공동)	수변지하수 개발시 조사 설계 신기술 개발 및 표준화	• 지하수 개발에 대한 조사/설계 지침사업화		
	3-4 (공동)	정밀 모델링을 활용한 설계 시공 최적화 평가 기술	• 신공법의 효율성 평가를 위한 정밀 모델링 기술		
	3-5 (공동)	IT 기술을 활용한 대용량 취수시설 유지관리 기술	• IT 기술을 접목한 대용량 취수시설 계측 및 관리 시스템 구축		
	3-6 (공동)	강변여과수 현장 철망간 처리 기술 개발 및 실증	• 현장 철/망간 처리기술 개발		

4세부과제		지질-지하수 융합 에너지활용 기술 개발			
	4-1 (주관)	지중 열추출 최적화 및 지열 영향 평가 기술 개발	• 수변 지역 충적층 개방형 시스템 모니터링 설비와 자료 • 개방형 시스템의 성능과 효율 예측 계산 및 최적화를 위한 정밀 모델	• 건축 부문 : 건축설계회사, 건축시행사, 설비회사, 도시계획 • 산업 부문 : 대규모 에너지 공급시설, 공장, 플랜트 • 농업 부문 : 원예시설, 비닐하우스 냉난방 • 지하수열원 냉난방 시스템 설계 데이터, 지중열용량 산정 데이터, 표준 설계기준과 시공기준 등을 지열 전문 기업 등에 제공 가능	• 충적층 지하수열원 부존량 분포도 시범 작성을 통해 충적층을 대상으로 한 여러가지 지열에너지 활용 방안의 검토 가능성을 확보하고, 이를 관련 정책 제안의 근거로 사용 • 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 • 전국 수변 충적층 주변 지역에 고효율, 친환경의 지하수열원 활용 시스템 보급을 활성화시키기 위한 기준 사례로 활용 • 수변 충적층의 개방형 시스템의 효율 예측 및 점검을 위한 프로그램 상용화 가능 • 개방형 시스템의 설계 및 시공, 운영 등과 관련된 각종 기준 자료를 기업과 단체에 공개, 제도화하여 실용화 기반을 마련 • 실증을 거쳐 설계와 운영에 관한 표준 매뉴얼이 확정된 지하수열원 활용 시스템에 대한 홍보를 통해 설치 및 보급 확대를 위한 규정 및 지침에 활용 • 개발된 기술과 연구 결과는 전 세계적 기준으로도 희소한 가치를 가지는 신기술이자 주목받는 주제이므로 관련 설비와 연구 인력을 해외에 수출 가능
	4-2 (공동)	수변 지역 충적대수층 지하수열 저장 활용 시스템 개발	• 고효율, 친환경, 대용량의 수변 지역 개방형 시스템이 설치된 실증 시범 사이트 • 우리나라 실정에 맞는 대용량 대수층 축열 시스템의 설계·운영·성능 평가 기준		
	4-3 (공동)	수변 지역 대수층 개방형 시스템 개발 및 운영	• 고효율, 친환경, 대용량의 수변 지역 대수층 지하수열 저장 활용 시스템이 설치된 실증 시범 사이트 • 지하수열원 냉난방 시스템의 표준설계(안) • 지하수열원 냉난방 시스템 구성도 • 지하수열원 냉난방 시스템 최적 제어 및 시스템 구성 기법 등 관련 특허		
	4-4 (공동)	충적층 지열 부존량 분포 분석	• 수변지역의 지하수-지열 인자 DB • 수변 지역 충적층의 지열 부존량 분포도		
	4-5 (공동)	지하수열원 활용 시스템 설비 효율 평가 기술	• 지하수열원 활용 시스템 성능 평가 지표 및 관련 규격 DB		
	4-6 (공동)	지열공 환경 영향 저감·해소 및 사후관리 기술	• 지하수열원 활용 시스템의 설치 및 운영에 따른 지열공 성능 개선 기술 및 사후관리 기술		

5세부과제		하구언 지하수자원 확보기술		- 정부 - 해안 도시 지역 - 간척지(새만금, 김제, 영광 등) - 해안 특수 지역(원자력발전소, 방사성폐기물처분장, 석유·가스지하비축기지 등) - 임해 공업 지역(포항(제철), 울산(자동차), 여수(석유화학) 등) - 설계 및 시공업체 : •	- 정부 : 광역상수도 공급, 대규모 비상용수원 확보에 활용 - 해안 도시 지역 (부산, 목포, 인천 등) 및 간척지 : 토지이용계획 및 용수공급시 활용 - 설계 및 시공업체 : ASR (ASTR) 최적 설계도면, 시공 및 운영기술
	5-1(공동)	하구언 ASR 수량, 수질 모델링 기술 개발	하구언 최적 지하수 통합관리 시스템 (HW, SW)		
	5-2(공동)	하구언 ASR 시공 기술 개발 및 현장 실증	- ASR(ASTR) 시스템 상세 설계, 시공 시방서 및 도면 - ASR(ASTR) 실증규모 plant (2,000m³/day)		
	5-3(공동)	ASR 적지 특성 평가 및 모니터링 설계 기술	- ASR(ASTR) 시스템 운영관리 매뉴얼 - 최적 ASR(ASTR) 시스템 조사 및 모니터링 매뉴얼		
	5-4(공동)	지표수 전처리 및 ASR 유지관리 기술	- 지표수 전처리 처리 기술 - 관정 폐색 방지 및 처리 기술 - 운영 중 수질 유지관리 매뉴얼		

2. 도서지역의 지하저류 시설확보를 위한 최적 평가 시스템 개발 과제

구분		과제명	최종 성과물	최종 수요처	활용방안
일반과제		도서지역의 지하저류 시설 확보를 위한 최적 평가 시스템 개발	도서지역 지하수 활용 최적 용수원 확보를 위한 평가 시스템 구축	- 정부 및 지자체 - 민간	- 도서지역의 추가 용수공급원 개발시 사전에 적지를 평가하기 위한 도구로서 활용함으로써 예비조사에 소요되는 비용을 절감할 수 있음 - 용수공급 부족지역 해소를 위한 도서지역 수원개발시 정책수립 자료로 활용 - 용수공급시설 자체 조사 평가시 제시된 방법론을 활용하여 관련 소요비용을 절감할 수 있음
	주관	도서지역 수량/수질 확보 평가 모델링	도서지역 지하저류지 선정에 위한 최적지 평가 기준 보고서		
	위탁	도서지역 물 공급망 최적화 평가 기술	도서지역 물공급망 적정성 평가 기준 보고서		

3. 도시지역 지하수 함양량 및 순환평가 연구 과제

구분		과제명	최종 성과물	최종 수요처	활용방안
일반과제		도시지역 지하수 함양량 및 순환 평가 연구	• 지하수 함양량 평가 및 지하수 순환시스템 개발	• 국토부, 지자체, 지하수 전문조사기관(KOWACO, KIGAM, KARICO, KICT 등), 대학, 지하수 컨설팅회사 • 민간	• 도시지역 지하수 순환 평가 기술을 바탕으로 정부 및 지자체의 도시지역 지하수 관리 방안에 적용
	주관	지하수 함양량 평가	• 국내 도시지역에 적합한 지하수 함양량 산정 기법		
	위탁	지하수 순환 평가	• 도시지역 지하수 순환시스템 평가 보고서		

4. 유출지하수 영향 및 지반변형 평가 기술 개발 과제

구분		과제명	최종 성과물	최종 수요처	활용방안
일반과제		유출지하수 영향 및 지반변형 평가 기술 개발	• 도심 지역 지하수 시스템 환경의 지하수 유출 대응 및 적응 방안(지침서)	• 도시 지역 : 서울, 인천, 대구, 대전, 부산, 광주 등 (지하철, 전력구 터널, 통신구 터널, 도로 터널 등) • 공업 지역 : 포항(제철), 울산(자동차), 여수(석유화학) 등 • 특수 지역 : 원자력발전소, 방사성폐기물처분장, 석유·가스지하비축기지 등	• 대도시 지역의 대규모 건축물 설계 시공시 지반 변형 요인을 고려하여 추진할 수 있도록 기술 전파
	주관	지하수/지반 통합 모델링 및 평가 기술 개발	• 통합 모델링 기술 및 지하수 관리 시스템 구축		
	위탁	위성영상을 활용한 지반변형 조사 및 평가 기술 개발	• 위성 영상을 활용한 지반 변형 평가 기술		

제 3 절 기대효과

1. 수변지역 지하수 활용 고도화 연구단 과제 기대효과

- 수변 지하수위 복원을 통한 건전한 물순환 회복 및 하천 문화 복원
- 시설재배 지하수 재이용 및 빗물 인공함양 관련 원천기술 확보를 통한 농가소득 제고
- 저탄소 녹색영농 기술 확보
- 수변지역 청정지하수의 개발 활성화
- 양질의 상수원수 확보 및 정수처리공정 비용절감
- 국내 관련기업의 해외 물산업 진출에 경쟁력 강화
- 지하수 홍수 및 가뭄의 예측으로 적절한 수자원 이용 보장 및 지표수 유량 확보에 기여
- 홍수 및 가뭄 발생시 평가 시스템을 활용한 평가로 수원확보, 수위강하 등 신속한 대응 가능
- 적정 지하수 허가 이용량을 결정함으로써 지하수자원의 효율적 활용에 기여
- 수변지역 지하수자원의 경제적 효과를 평가함으로써 각종 국가 정책 입안시 기초자료 및 근거 제공
- 소규모 계측 시스템 개발로 계측 시스템 설치 및 활용성 증대
- 타 분야에서 개발된 센서링 기술을 접목함으로써 융합 산업의 발달 기대
- 계측자료를 활용한 과학적인 수문 평가 및 정책 지원
- SMART 기술을 접목한 실시간 정보 접근성 강화 및 활용성 제고
- 지하수 분야 Isotope 계측 시스템 구축으로 기후변화 연구 활성화 기대
- 기후변화에 대비한 계측 관련 전세계적 선도 기술 확보
- 소유역의 물수지 기법 및 결과는 국가 물정책 수립시 기초자료로 활용
- 지하수와 지표수의 수문·수질 상호작용 규명으로 하천 정책 수립시 활용
- 지표수보다 복잡한 지하수 기반의 물수지를 수행함으로써 보다 현실성 높은 분석기술과 정책 기반 제공

- 충적층의 열물성, 물성, 수리지질학적 성질에 대한 자료 확보 및 지열 DB 구축을 통해 지열이용 시스템의 설계 자료 확보
- 충적층에서의 지중열교환기 및 대수층 축열 시스템의 보급 활성화에 기여
- Kyoto 협약에 따른 탄소배출권 대처 가능

2. 도서지역의 지하저류 시설확보를 위한 최적 평가 시스템 개발 과제 기대효과

- 유출지하수 활용(터널세척수, 생활용수, 공업용수 등)으로 물사용료 절감
- 6대 도시의 시설물별 유출지하수 현황 파악 가능

3. 도시지역 지하수 함양량 및 순환평가 연구 과제 기대효과

- 지하수 장애(지하수 고갈, 지반침하, 지하수 오염 등) 발생 예방
- 6대 도시의 중소하천 건전화 가능
- 유출지하수의 저감 및 활용 극대화

4. 유출지하수 영향 및 지반변형 평가 기술 개발 과제 기대효과

- 유출지하수의 저감으로 배관시설 규모가 축소되어 터널 유지관리비 경감
- 유출지하수의 하천유지용수로의 활용으로 6대 도시 중소하천 고갈 방지

5장 연구개발과제 소요예산

1절 수변지역 지하수 활용 고도화 과제 소요예산

(단위 : 천원)

과제명	1차년		2차년		3차년		4차년		5차년(max)		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
연구단 총괄	800,000	150,000	7,550,000	1,600,000	7,650,000	1,600,000	7,250,000	1,500,000	5,750,000	1,150,000	29,000,000	6,000,000
1. 지하수 활용가치 극대화 및 기반기술	170,000	30,000	1,150,000	220,000	1,100,000	210,000	1,200,000	230,000	1,080,000	210,000	4,700,000	900,000
1.1(공동) 지하수 활용 가뭄 예측 및 홍수취약성 평가 기술 개발	100,000	20,000	300,000	58,000	250,000	49,000	300,000	57,000	300,000	57,000	1,250,000	240,000
1.2(공동) 지하수 허가기준량 평가 시스템 구축	-	-	150,000	29,000	150,000	29,000	150,000	30,000	50,000	30,000	600,000	116,000
1.3(공동) 도심 유출지하수 배출지역 오염취약성 평가 기술 개발	-	-	150,000	29,000	150,000	29,000	150,000	30,000	150,000	30,000	600,000	116,000
1.4(공동) 원격제어 지하수 계측 시스템 개발	70,000	10,000	150,000	29,000	150,000	29,000	200,000	38,000	200,000	40,000	700,000	135,000
1.5(공동) SMART 기법을 활용한 지하수 관리 기술 개발	-	-	200,000	38,000	200,000	38,000	200,000	38,000	130,000	25,000	800,000	154,000
1.6(공동) 국가 지하수 자원의 활용가치 평가	-	-	200,000	38,000	200,000	38,000	200,000	38,000	150,000	30,000	750,000	144,000
2. 수변 지하수위 복원 기술	170,000	10,000	1,650,000	130,000	1,700,000	130,000	1,600,000	120,000	1,380,000	110,000	6,500,000	500,000
2-1(공동) 수변 수막재배지역 지하수 환경 특성평가 및 지하수위 복원 요소기술 개발	120,000	7,000	800,000	62,000	600,000	46,000	600,000	44,000	580,000	46,000	2,700,000	205,000
2-1(공동) 수변 수막재배지역 지하수위 복원 통합 시스템 구축	-	-	300,000	24,000	500,000	40,000	500,000	40,000	300,000	24,000	1,600,000	128,000
2-1(공동) 지하수위 복원 인공함양 효과 평가 및 장기 예측	-	-	150,000	12,000	150,000	10,000	150,000	10,000	150,000	12,000	600,000	44,000
2-1(공동) 유역 지하수-지표수 연계 종합 해석 기술	50,000	3,000	250,000	20,000	300,000	24,000	200,000	16,000	200,000	16,000	1,000,000	79,000
2-5(공동) 하천변 지하수-지표수 수질 상호작용 평가 기술 개발	-	-	150,000	12,000	150,000	10,000	150,000	10,000	150,000	12,000	600,000	44,000

3.수변지역 대용량 간접취수 시공기술 선진화	130,000	40,000	1,800,000	560,000	1,600,000	500,000	1,400,000	350,000	870,000	225,000	5,800,000	1,800,000
3-1(공동) 대용량 취수시설 시공을 위한 신공법 및 신기술 개발	130,000	40,000	650,000	204,000	500,000	157,000	400,000	126,000	200,000	63,000	1,880,000	577,000
3-2(공동) 대용량 취수시설 시공	-	-	650,000	204,000	500,000	157,000	400,000	126,000	170,000	50,000	1,720,000	537,000
3-3(공동) 수변지하수 개발시 조사 설계 신기술 개발 및 표준화	-	-	150,000	42,000	150,000	45,000	150,000	42,000	150,000	47,000	600,000	176,000
3-4(공동) 정밀 모델링을 활용한 설계 시공 최적화 평가 기술	-	-	150,000	47,000	150,000	47,000	150,000	42,000	150,000	47,000	600,000	183,000
3-5(공동) IT 기술을 활용한 대용량 취수시설 유지관리 기술	-	-	100,000	31,000	100,000	31,000	100,000	31,000	100,000	31,000	400,000	126,000
3-6(공동) 강변여과수 현장 철망간 처리 기술 개발 및 실증	-	-	100,000	31,000	200,000	63,000	200,000	63,000	100,000	31,000	600,000	188,000
4.지질-지하수 융합 에너지 활 용 기술 개발	230,000	50,000	1,900,000	480,000	2,150,000	540,000	2,100,000	530,000	1,620,000	400,000	8,000,000	2,000,000
4-1(공동) 지중 열추출 최적화 및 지열영향 평가 기술	120,000	30,000	500,000	130,000	500,000	130,000	500,000	130,000	470,000	110,000	2,090,000	530,000
4-2(공동) 수변지역 총적대수층 지하 수열 저장 활용 시스템 개발	110,000	20,000	400,000	100,000	600,000	150,000	600,000	150,000	400,000	110,000	2,110,000	530,000
4-3(공동) 수변지역 대수층 개방 형 시스템 개발 및 운영			300,000	75,000	350,000	85,000	300,000	75,000	200,000	50,000	1,150,000	285,000
4-4(공동) 총적층 지열 부존량 분포 분석			300,000	75,000	300,000	75,000	300,000	75,000	300,000	75,000	1,200,000	300,000
4-5(공동) 지하수 열원 활용시 스템 설비 효율 평가			200,000	50,000	200,000	50,000	200,000	50,000	150,000	35,000	750,000	185,000
4-6(공동) 지열공 환경영향 저감 /해소 및 사후관리 기술			200,000	50,000	200,000	50,000	200,000	50,000	100,000	20,000	700,000	170,000
5. 하구언 지하수자원 확보기술	100,000	20,000	1,050,000	210,000	1,100,000	220,000	950,000	190,000	800,000	160,000	4,000,000	800,000
5-1(공동) 하구언 ASR 수량, 수질 모델링 기술 개발	100,000	20,000	200,000	40,000	200,000	40,000	200,000	40,000	200,000	40,000	900,000	180,000
5-2(공동) 하구언 ASR 시공 기술 개발 및 현장 실증			400,000	80,000	400,000	80,000	500,000	100,000	400,000	80,000	1,700,000	360,000
5-3(공동) ASR 적지 특성 평가 및 모니터링 설계 기술			250,000	50,000	250,000	50,000	100,000	20,000	100,000	20,000	700,000	140,000
5-4(공동) 지표수 전처리 및 ASR 유지관리 기술			200,000	40,000	250,000	50,000	150,000	30,000	100,000	20,000	700,000	140,000

2절 도서지역의 지하저류 시설확보를 위한 최적 평가 시스템 개발 과제 소요예산

(단위 : 천원)

과제명	1차년		2차년		3차년(max)		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
도서지역의 지하저류 시설확보를 위한 최적 평가 시스템 개발	400,000	-	400,000	-	200,000	-	1,000,000	-
주관) 도서지역 수량/수질 확보 평가 모델링	300,000	-	300,000	-	150,000	-	750,000	-
위탁) 도서지역 물 공급망 최적화 평가 기술	100,000	-	100,000	-	50,000	-	250,000	-

3절 도서지역 지하수 함양량 및 순환평가 연구 과제 소요예산

(단위 : 천원)

과제명	1차년		2차년		3차년(max)		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
도시지역 지하수 함양량 및 순환 평가 연구	400,000	-	400,000	-	200,000	-	1,000,000	-
주관) 지하수 함양량 평가	300,000	-	300,000	-	150,000	-	750,000	-
위탁) 지하수 순환 평가	100,000	-	100,000	-	50,000	-	250,000	-

4절 유출지하수 영향 및 지반변형 평가 기술 개발 과제 소요예산

(단위 : 천원)

과제명	1차년		2차년		3차년(max)		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
유출지하수 영향 및 지반변형 평가 기술 개발	400,000	-	400,000	-	200,000	-	1,000,000	-
주관) 지하수/지반 통합 모델링 및 평가 기술 개발	300,000	-	300,000	-	150,000	-	750,000	-
위탁) 위성영상을 활용한 지반변형 조사 및 평가 기술 개발	100,000	-	100,000	-	50,000	-	250,000	-

[첨부] 후보과제 우선순위 도출결과 및 과제카드

1. 후보과제 우선순위 도출

1.1 기술개발환경 Needs 평가

1.1.1 기술개발환경 Needs 도출

1단계 보고서 (4장. 기술개발 방향 설정) 내용 중 STEEP, SWOT 분석 결과 등을 분석하여 기술개발환경 Needs를 아래와 같이 기술측면, 산업경제측면 및 정책사회 측면 등 17개 항목을 도출하였다.

구분	기술개발환경 Needs
기술측면	기후변화(가뭄, 홍수) 대응 기술 확보
	수변 물순환시스템 복원기술 확보
	천부 지열시스템 효율 제고기술 개발
	SMART 기술 활용 및 계측 선진화
	선진국 수준 간접취수 기술 확보
	지열개발 환경 유해성 최소화
산업경제측면	지하수 시장 확대 및 산업 활성화
	수변지역 지하수-지열 융합 산업 발굴
	간접취수를 통한 물산업 시장 확대
	물산업 국제경쟁력 강화
	일자리 창출 및 고급인력 양성
	녹색영농을 위한 안정적 용수 확보
정책사회 측면	기후변화 및 재난대비 대체수자원 확보
	중소하천 살리기
	지하수 제도 및 정책 실효성 제고
	환경친화적 수자원 활용 확대
	지하수 가치 증대 및 인식 제고

1.1.2 기술개발환경 Needs에 대한 평가항목 및 가중치 설정

기술개발 환경 Needs를 평가할 수 있는 평가항목은 아래와 같으며 가중치는 최대 5점까지 설정하였다.

평가 항목	기술의 시급성	기술 성공/ 실현가능성	정부지원 필요성	시장 확대가능성	경제적 파급효과	물안보 기여도
가중치	5	4	4	3	4	5

1.1.3 기술개발환경 Needs 평가

기술개발환경 Needs별로 평가항목에 따라 평가(5점 척도)하여 우선순위를 다음과 같이 도출하였다.

구 분		기술개발환경 Needs 평가항목 (5점 척도)						점수	순위
		기술의 시급성	기술 성공/실행 가능성	정부 지원 필요성	시장 확대 가능성	경제적 파급 효과	물안보 기여도		
가중치		5	4	4	3	4	5		
기술 측면	기후변화(가뭄, 홍수) 대응 기술 확보	5	4	5	3	4	5	111	3
	수변 물순환시스템 복원기술 확보	5	4	5	4	4	5	114	2
	천부 지열시스템 효율 제고기술 개발	4	5	3	4	4	4	100	13
	SMART 기술 활용 및 계측 선진화	4	4	4	4	5	3	99	15
	선진국 수준 간접취수 기술 확보	4	5	4	4	5	3	103	12
	지열개발 환경 유해성 최소화	4	5	3	4	4	3	95	16
산업 경제 측면	지하수 시장 확대 및 산업 활성화	4	4	4	4	5	4	104	10
	수변지역 지하수-지열 융합 산업 발굴	5	4	4	4	4	4	105	8
	간접취수를 통한 물산업 시장 확대	5	5	4	4	5	3	108	7
	물산업 국제경쟁력 강화	3	4	3	4	4	4	91	17
	일자리 창출 및 고급인력 양성	4	5	5	3	4	5	110	4
	녹색영농을 위한 안정적 용수 확보	4	4	5	4	4	5	109	5
정책 사회 측면	기후변화 및 재난대비 대체수자원 확보	5	5	5	4	4	5	118	1
	중소하천 살리기	5	4	5	4	4	4	109	5
	지하수 제도 및 정책 실효성 제고	4	4	4	4	4	5	105	8
	환경친화적 수자원 활용 확대	4	4	4	4	4	4	100	13
	지하수 가치 증대 및 인식 제고	4	4	5	4	4	4	104	10

1.2 후보과제 설정

1.2.1 후보과제 설정 및 기술개발 단계설정

연번	후보과제명	기술개발 단계	후보과제 정의
1	지하수 순환 시스템 SMART 계측 기술	상용화	수변지역 지하수순환 평가를 위한 첨단 IT 기반 지하수 모니터링 시스템 개발
2	수변 지하수 수문 및 수질 평가 기반 기술	응용개발	수변지역의 지하수 시스템 개선을 위한 수문 및 수질평가 기반기술의 개발
3	수변지역 지하수 지속성 평가 지수 개발	기초원천	수리지질환경 및 지하수 이용부문별 항목 선정 및 정량화를 통한 지하수 지속성 평가 기술 개발
4	수변 지하수위 복원 기술	응용개발	중소하천 주변의 지하수위 강하로 인한 하천 고갈 등 물순환 장애를 복원하기 위한 지하수위 상승 및 함양 설비 기술 개발
5	도심지역 지하수 진단 및 활용기술	응용개발	도심지역 중소하천 주변의 물순환 시스템 복원을 위한 지하수 진단 및 활용 기술 개발
6	수변 지하수 이용 최적화 기술	응용개발	하천변 지하수위 강하 방지 및 지속가능한 지하수개발을 위한 수변지 우물 최적화 및 시공 기술 개발
7	하구언 지하수자원 확보 기술	응용개발	하구지역 대규모 총적층내 직접 인공함양 효과 평가 및 설계 기술 개발로 대규모 청정 지하 저수지 확보
8	수변 지하수 대용량 간접취수 시공 기술 선진화	상용화	대하천변 총적층내 실험 시설을 설치하고 다양한 현장 실증을 통하여 대규모 지하수 수원 개발 관련 시공 기술을 확보
9	간척지 가용 지하수자원 이용 기술 개발	응용개발	간척지 주변의 지하수계 환경 평가 및 지하 수원 활용 기술 확보
10	지질지하수 융합 에너지 기반 기술	응용개발	수변지역 총적층내 지하수 열자원 활용 및 관리를 위한 광역적 평가 등 기반 기술 확보
11	수변지역 지하수 열원 활용 대용량 지열 설비 기술	상용화	지하수의 열자원을 활용한 수변지역에서의 환경 친화적 천부 대용량 지열 개발 기술
12	고효율성 열전도 재질 및 지중설비 기술 개발	응용개발	지중열 에너지이용 효율 극대화를 위한 열전도성이 우수한 신소재 및 지중설비 기술 개발
13	지하수 활용가치 극대화 관리 기술	기초원천	수변지역 지하수 활용 고도화 기술의 가치 극대화에 필요한 정책 및 제도 기반 구축 기술

1.2.2 후보과제별 기술수준 분석

구 분		기술 수준		
		현재 최고기술 보유국가	최고 기술수준 대비 현재기술수준(%)	기술개발완료후 추정수준(%)
1	지하수 순환 시스템 SMART 계측 기술	미국	50	80
2	수변 지하수 수문 및 수질 평가 기반 기술	미국	80	90
3	수변지역 지하수 지속성 평가 지수 개발	미국/유럽	70	80
4	수변 지하수위 복원 기술	유럽/미국	70	90
5	도심지역 지하수 진단 및 활용기술	미국/일본	60	80
6	수변 지하수 이용 최적화 기술	유럽	60	80
7	하구언 지하수자원 확보 기술	미국	60	80
8	수변 지하수 대용량 간접취수 시공 기술 선진화	유럽	70	90
9	간척지 가용 지하수자원 이용 기술 개발	유럽/미국	50	70
10	지질지하수 융합 에너지 기반 기술	미국/유럽	60	80
11	수변지역 지하수 열원 활용 대용량 지열 설비 기술	미국/유럽	60	90
12	고효율성 열전도 재질 및 지중설비 기술 개발	미국	60	80
13	지하수 활용가치 극대화 관리 기술	미국	80	90

1.2.3 후보과제별 기술개발 목표 및 최종성과물 설정

구 분		기술개발 목표	기술개발 최종성과물
1	지하수 순환 시스템 SMART 계측 기술	SMART 계측기술 개발	Smart 기술 적용 모니터링 시스템
2	수변 지하수 수문 및 수질 평가 기반 기술	수문/수질평가 기술개발	지하수-지표수 통합모델
3	수변지역 지하수 지속성 평가 지수 개발	수변 지하수 지속성 유지	지표수-지하수 연계평가기술
4	수변 지하수위 복원 기술	손실유량 20% 재함량	지하수위 상승 및 함양설비 기술
5	도심지역 지하수 진단 및 활용기술	도심 지하수장해 예방	유출지하수 저감/활용 기술
6	수변 지하수 이용 최적화 기술	지하수위 강하 방지	최적 우물배치 및 시공기술
7	하구연 지하수자원 확보 기술	대규모 청정수원 확보	염수방지 인공함양 기술
8	수변 지하수 대용량 간접취수 시공 기술 선진화	취수능력 20% 증대	대규모개발 시공기술
9	간척지 가용 지하수자원 이용 기술 개발	간척지 지하수활용증대	염수배제 기술
10	지질지하수 융합 에너지 기반 기술	에너지효율 10% 증대	지열평가기술
11	수변지역 지하수 열원 활용 대용량 지열 설비 기술	설비당 에너지 효율 10% 증대	천부지열 활용 설비기술
12	고효율성 열전도 재질 및 지중설비 기술 개발	지중열 에너지 효율 증대	신소재개발
13	지하수 활용가치 극대화 관리 기술	제도/정책 반영	가뭄/홍수평가 모델, 허가기준량평가 모델

1.3 후보과제 평가 및 우선순위 도출

구 분		점 수	순 위
1	지하수 순환 시스템 SMART 계측 기술	4222	5
2	수변 지하수 수문 및 수질 평가 기반 기술	3893	8
3	수변지역 지하수 지속성 평가 지수 개발	3360	10
4	수변 지하수위 복원 기술	4597	1
5	도심지역 지하수 진단 및 활용기술	4005	6
6	수변 지하수 이용 최적화 기술	3338	11
7	하구연 지하수자원 확보 기술	3988	7
8	수변 지하수 대용량 간접취수 시공 기술 선진화	4403	2
9	간척지 가용 지하수자원 이용 기술 개발	3210	12
10	지질지하수 융합 에너지 기반 기술	3624	9
11	수변지역 지하수 열원 활용 대용량 지열 설비 기술	4381	3
12	고효율성 열전도 재질 및 지중설비 기술 개발	3185	13
13	지하수 활용가치 극대화 관리 기술	4314	4

1.4 후보과제 검토

1.4.1 후보과제와 기술개발전략과의 부합성 검토

구 분		지하수 손실유량 20% 재함양	수변 지하수 취수능력 20% 증대	천부 지열에너지 효율 10% 증대
1	지하수 순환 시스템 SMART 계측 기술		√	√
2	수변 지하수 수문 및 수질 평가 기반 기술	√	√	√
3	수변지역 지하수 지속성 평가 지수 개발	√		√
4	수변 지하수위 복원 기술	√		√
5	도심지역 지하수 진단 및 활용기술	√		
6	수변 지하수 이용 최적화 기술	√	√	
7	하구연 지하수자원 확보 기술	√	√	
8	수변 지하수 대용량 간접취수 시공 기술 선진화		√	
9	간척지 가용 지하수자원 이용 기술 개발	√		
10	지질지하수 융합 에너지 기반 기술			√
11	수변지역 지하수 열원 활용 대용량 지열 설비 기술			√
12	고효율성 열전도 재질 및 지중설비 기술 개발			√
13	지하수 활용가치 극대화 관리 기술	√	√	

1.4.2 후보과제간 연계성(중복) 검토

구 분		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		지하수 순환 시스템 스마트 계측 기술	수변 지하수 수문 및 수질 평가 기반 기술	수변지역 지하수 지속성 평가 지수 개발	수변 지하수위 복원 기술	도심지역 지하수 진단 및 활용기술	수변 지하수 이용 최적화 기술	하구연 지하수자원 확보 기술	수변지하수 대용량 간접취수 시공 선진화	간척지 가용 지하수자원 이용 기술 개발	지질지하수 융합 에너지 기반 기술	수변지역 지하수 열원활용 대용량 지열설비 기술	고효율성 열전도 재질 및 지중설비 기술 개발	지하수 활용가치 극대화 관리 기술
1	지하수 순환 시스템 SMART 계측 기술		○											
2	수변 지하수 수문 및 수질 평가 기반 기술													
3	수변지역 지하수 지속성 평가 지수 개발													
4	수변 지하수위 복원 기술													●
5	도심지역 지하수 진단 및 활용기술													
6	수변 지하수 이용 최적화 기술													
7	하구연 지하수자원 확보 기술									○				
8	수변지하수 대용량 간접취수 시공 선진화													●
9	간척지 가용 지하수자원 이용 기술 개발													
10	지질지하수 융합 에너지 기반 기술													
11	수변지역 지하수 열원활용 대용량 지열설비 기술										○			●
12	고효율성 열전도 재질 및 지중설비 기술 개발												●	
13	지하수 활용가치 극대화 관리 기술													

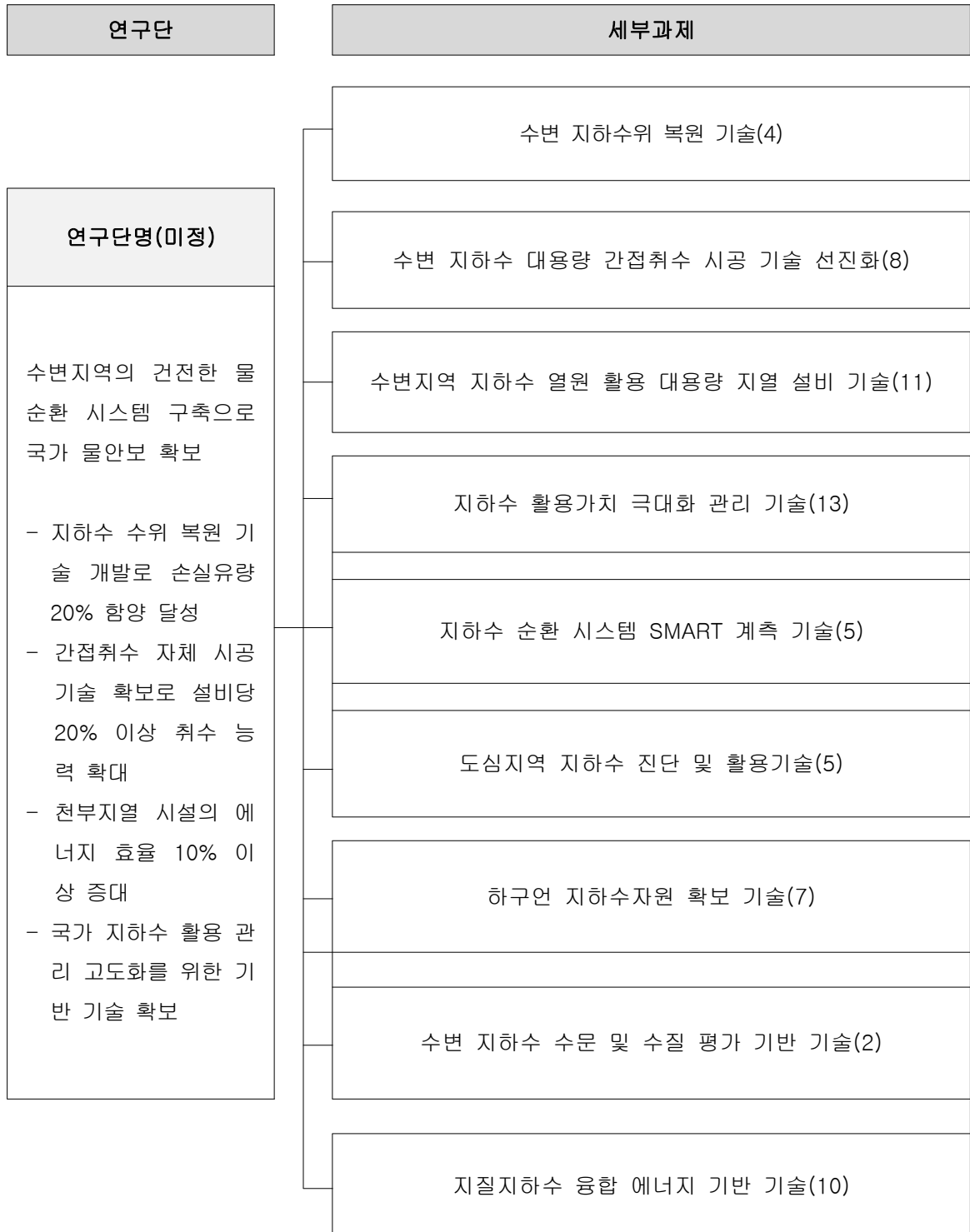
1.5 후보과제 우선순위 도출결과표

		1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3	5.1	기술개발환경 Needs 평가항목 (5점 척도)						점수	순위
		SMART	수문수질	지속성	수위복원	도심지역	이용최적	하구언	간접취수	간척지	지열융합	지열설비	열전도	활용가치	기술의 시급성	기술 성공/ 실행가능성	정부지원 필요성	시장 확대가능성	경제적 파급효과	물안보 기여도		
기술개발환경 Needs		상용화	응용개발	기초원천	응용개발	응용개발	응용개발	응용개발	상용화	응용개발	응용개발	상용화	응용개발	기초원천	5	4	4	3	4	5		
기술측면	기후변화(가뭄, 홍수) 대응 기술 확보	4	4	4	5	4	4	4	4	4		3		3	5	4	5	3	4	5	111	3
	수변 물순환시스템 복원기술 확보		3	3	5	4	4	5		3				4	5	4	5	4	4	5	114	2
	천부 지열시스템 효율 제고기술 개발	4			3						5	5	4		4	5	3	4	4	4	100	13
	SMART 기술 활용 및 계속 선진화	5	3		3	4	3		4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	3	99	15
	선진국 수준 간접취수 기술 확보	4	2					3	5						4	5	4	4	5	3	103	12
	지열개발 환경 유해성 최소화				3						4	4	3	3	4	5	3	4	4	3	95	16
산업경제 측면	지하수 시장 확대 및 산업 활성화	4		3	3	4	3	3	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	5	4	104	10
	수변지역 지하수-지열 융합 산업 발굴	3	3	3	2						4	5	4	3	5	4	4	4	4	4	105	8
	간접취수를 통한 물산업 시장 확대	4	3				3		5						5	5	4	4	5	3	108	7
	물산업 국제경쟁력 강화								4					3	3	4	3	4	4	4	91	17
	일자리 창출 및 고급인력 양성		3	3		4		4	4	3	3	4	4	3	4	5	5	3	4	5	110	4
정책사회 측면	녹색영농을 위한 안정적 용수 확보		3		5		4							3	4	4	5	4	4	5	109	5
	기후변화 및 재난대비 대체수자원 확보	3	3	4	4	4	3	4	4	3	3	3		3	5	5	5	4	4	5	118	1
	증소하천 살리기	3	3	2	4	5					3	3	4	3	4	4	5	4	4	4	109	5
	지하수 제도 및 정책 실효성 제고	3	3	3	3	4	3	5		3	3	4	3	4	4	4	4	4	4	5	105	8
	환경친화적 수자원 활용 확대			3	3		4	5	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	100	13
기술개발 전략	지하수 가치 증대 및 인식 제고	3	3	3		4		4	4	4	3	4	3	3	4	4	5	4	4	4	104	10
	점수	4222	3893	3360	4597	4005	3338	3988	4403	3210	3624	4381	3185	4314								
	순위	5	8	10	1	6	11	7	2	12	9	3	13	4								
	결정순위	5	8	10	1	6	11	7	2	12	9	3	13	4								
	기술 수준	현재 최고기술 보유국가	미국	미국	미국/유럽	유럽/미국	미국/일본	유럽	미국	유럽	유럽/미국	미국/유럽	미국	미국								
후보 과제별	최고 기술수준 대비 현재기술수준(%)	50	80	70	70	60	60	60	70	50	60	60	60	80								
	기술개발완료후 추정수준(%)	80	90	80	90	80	80	80	90	70	80	90	80	90								
	기술개발 목표	SMART 저중기술 개발	수문/수질 평가 기술 개발	수변지하수 지속성 유지	승실융합 20% 재활용	토심지하수 장해 예방	지하수위 장해 방지	대규모 정정수질 확보	취수능력 20% 증대	간접지 지하수 활용증대	에너지 효율 10% 증대	설비당 에 너지 효율 10% 증대	지열열 에너지 효율 증대	정책자료 제공								
	기술개발 최종성과물	Smart 기술 적용 모니터링 시스템	지하수 지표수 통합모델	지하수 연 계열가치	지하수위 상승 및 하강설비기 술	유출지하수 저감/활용 기술	최전 유출 배치 및 시공기술	염수방지 인공함양 기술	대규모 개발 시공기술	염수배제 기술	지열열가 기술	천부지열 활용 설비 기술	신소재 개발	가용/중수 평가시스템								
	기술 개발 전략	목표1. 지하수 승실융합 20% 재활용	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√								
기술 개발 전략	목표2. 수변 지하수 취수능력 20% 증대	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√								
	목표3. 천부 지열에너지 효율 10% 증대	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√								

2. 과제추진 체계 및 후보과제 과제카드

2.1 과제추진 체계도

2.1.0 연구단 유형



2.2 후보과제별 과제카드

1. 연구단명	국가 지하수자원 활용 고도화 기술개발 연구
2. 연구개발목표	수변지역의 건전한 물순환 시스템 구축으로 국가 물안보 확보 - 지하수 수위 복원 기술 개발로 손실유량 20% 함양 달성 - 간접취수 자체 시공기술 확보로 설비당 20% 이상 취수능력 확대 - 천부지열 시설의 에너지 효율 10% 이상 증대 - 국가 지하수 활용관리 고도화를 위한 기반 기술 확보
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	“수자원장기종합계획(06~20년)”을 통해 수자원 이용·개발·보전에 관한 국가 사업의 기본전력으로 물이용종합, 치수종합, 하천환경, 수자원조사연구 계획이 수립되고, 국토해양부와 지식경제부, 환경부가 합동으로 국무회의에 해외용수 공급시설 수출 사업화 인 “물 산업 육성방안”을 제안하는 등 물과 관련한 산업이 급속히 증가하고 있을 뿐 아니라, “신재생에너지 개발 및 이용 보급촉진 법시행령”으로 공공기관 신축 시 신재생에너지 사용 의무화가 시행되면서 지열개발 보급이 2000년 중반이후 급속히 증가하고 있다. 전 세계적인 물산업의 활성화 및 대규모화가 전망되는데 2007년 3,620달러에서 2025년에 8,650억 달러로 산업 규모가 증가할 것으로 기대되며, 국내 물산업 규모는 2007년 약 12.6조원에서 2020년 20조원 규모로 될 것으로 예상됨. 이와 함께, 지자체를 중심으로 한 간접취수방식의 강변여과수 개발사업이 지속적으로 추진 중으로서 자체 시공 기술력의 선진화가 시급히 요구된다. 친환경에너지 개념의 지중 지열에너지 개발 시장규모는 2009년 1.5조원에서 2015년 2.7조원으로 급속히 증가될 것으로 기대되어 보다 고효율의 지열 시스템 개발이 필요하다. 아울러, 지하수 조사·시공업체 수의 증가추세 대비 1개 업체 당 신규 조사·개발 물량 축소로 인한 국내지하수관련 사업의 침체가 예상되므로, 관련산업의 활성화 방안으로서, 하천변 지하수 수위 복원 및 평가를 위한 신규 산업의 육성이 시급하다.
4. 기존기술 활용방안	물에 대한 연구는 21세기 프론티어, 에코리버21, 수생태복원사업단 등에서 지표수를 중심으로 집중 연구되어 왔으나, 지하수 기반의 종합적인 고도화 연구는 수행되지 못하였다. 지표수와 연계한 지하수 연구로서 하천고갈과 관련된 지하수 연구는 전혀 이루어진 바가 없으며, 강변여과에 대한 기술적 연구로서 수문수질 평가 연구는 비교적 다양하게 수행된 바 있다. 그러나, 이들 연구에서도 시공기술에 대한 연구는 전무하였으며 시공기술 개발 연구시 기존 연구 방법론은 최대한 활용할 수 있다. 지열은 설비 중심으로 광범위하게 연구 및 시공이 이루어지고 있으나, 하천변의 안정적인 지하수 열원을 활용한 대용량 천부 개방형 지열 시스템은 전혀 연구된 바가 없다. 마찬가지로 연구 방법론과 기존 연구성과가 본 연구의 질 보장 및 비교 평가 등을 위하여 충분히 활용할 수 있다.
5. 기술개발 필요성	지난 10여년간 전국 50% 지역에서 과도한 지하수 사용 등으로 인한 지하수위의 강하가 발생하고 있으며 특히 수변지역에서는 갈수기 하천유량 감소 등 하천 건천화가 진행되고 있다. 이에 대한 해결책은 수변지역 지표수-지하수 연계 기술

	개발을 지하수 수위를 복원하고 손실되는 강우 등을 지하수로 함양하는 지하수 복원 기술 개발로써 해결할 수 있다. 또한, 4대강 사업 이후 수변지역을 대상으로 간접취수를 활용한 용수개발 여건 및 천부 지하수열을 활용 가능성이 증대됨으로써 현장실증 연구를 통한 최적 시공 기술 개발로 취수원 확대 및 녹색에너지 확보 등으로 국가 지하수 자원 활용을 고도화에 대한 기술개발은 매우 필요하다.							
6. 주요연구 개발내용	○ 수변 지하수위 복원 기술 ○ 수변 지하수 대용량 간접취수 시공 기술 선진화 ○ 수변지역 지하수 열원 활용 대용량 지열 설비 기술 ○ 지하수 활용가치 극대화 관리 기술 ○ 지하수 순환 시스템 SMART 계측 기술 ○ 도심지역 지하수 진단 및 활용기술 ○ 하구연 지하수자원 확보 기술 ○ 수변 지하수 수문 및 수질 평가 기반 기술 ○ 지질지하수 융합 에너지 기반 기술 ○ 수변지역 지하수 지속성 평가 지수 개발							
7. 정부지원의 타당성	본 연구는 국가 지하수 활용 가치의 극대화를 통하여 지하수의 직접, 간접적인 효용성을 높이고 연구결과를 통하여 부수적인 국가 사업이 기대될 수 있는 것으로서 정부의 지원이 바람직하다. 특히, 지하수는 미래의 청정지하수로서 재난대비 물안보 확보 차원에서의 중요성이 증대되고 있고 지하수 활용 고도화를 위한 요소기술 및 응용기술개발 등은국가주도의 연구개발로 추진하는 것이 필요하다.							
8. 기술확보 전략	○ 지하수 지표수 연계 평가 고도화 기술 확보 ○ 수변지역 지하수 인공함양 및 취수기술 개발 ○ 고효율 지하수 열원 활용 에너지 확보기술 개발 ○ 공동연구를 위한 테스트 베드 구축으로 세부 과제간의 연계성 강화							
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		○ 수변지역 지하수 복원 기반기술 ○ 간접취수 효율성 증대 시공기술 ○ 천부 지하수열 에너지 효율 증대 설비 기술					
	활용방안		○ 수변지역 지하수 복원 및 하천건천화 방지 ○ 간접취수를 통한 취수원 개발 및 용수 공급 ○ 천부 지하수열 에너지 개발 및 수변지역 에너지 자족					
10. 연구개발 과제의 규모	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	
	연차별 연구비 (백만원)	정부	7,000	7,700	6,100	5,750	5,450	
		민간 (추정)	650	900	550	450	450	
	합 계		7,650	8,600	6,650	6,200	5,900	
	총 연구비 (백만원)	정부	32,000			총 연구기간	5 년	
		민간	3,000					
총합계		35,000			연도별 평균소요인력	150 명		
11. 기대효과 및 파급효과	○ 수변지역 지하수 수위복원으로 하천건천화 방지 및 수변환경 개선 ○ 간접취수 시공기술 개발로 지속적이고 안정적인 저비용 취수원 확대로 재난대비 국가 물안보 확보 ○ 천부지열 에너지 사용 확대를 통한 온실가스 배출량 억제 및 녹색성장 신 성장동력 창출							

1. 과제명	수변 지하수위 복원기술 개발
2. 연구개발목표	수변 지하수 사용량의 20% 이상 재함양을 통한 지하수위 복원 및 갈수기 하천 유량 증대
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	▪ 중소하천 주변 비닐하우스 시설재배로 인한 지하수 이용량 평가 ▪ 지질순환식 인공함양기술의 파일럿시험규모 기술 개발을 통한 직접인공함양기술 일부 적용 ▪ 지열을 이용한 시설재배에서 수막재배시스템의 장애 ▪ 수변지역 수막재배 면적 증가
4. 기존기술 활용방안	▪ 제주특별자치도 추진 비닐하우스 빗물 취수기술 활용 ▪ 수자원프론티어사업의 제주형 인공함양기술 중 하천유출수 관정주입기술 활용 ▪ 한국지질자원연구원(산업기술연구회 연구과제)의 순환형 인공함양기술 활용
5. 기술개발 필요성	▪ 고유가에 따른 수막재배 농업의 중요성이 커짐에 따라 시설재배 면적의 증가 현상 불가피 ▪ 이에 따라 자연함양량 감소와 지하수 사용량 증가로 시설재배 지역 지하수 고갈 문제 심화 ▪ 수막재배로 지하수 이용량의 14.6~41.6%의 양이 갈수기에 하천으로 유출되어 지하수위 저하가 심각하며 지속적인 하천 건천화의 주요인으로 판단됨 ▪ 고유가/기후변화 대비 녹색영농기술 및 농업지역 지속가능한 수자원 확보 필요
6. 주요연구 개발내용	○ 시설재배지역 수리수문 특성 평가 ▪ 수변 시설재배 지역 지하수위 저하 및 이용량 평가 ▪ 지하수-지표수 연계 시설재배 지역 물수지 평가 기술 개발 ○ 지하수위 복원 인공함양기술 개발 ▪ 시설재배 빗물 인공함양 요소기술 개발 ▪ 지하수 재순환 시설재배 요소기술 개발 ▪ 대용량 양수관정개발 기술 ▪ 관정주입식 인공함양 기술 개발 ▪ 인공함양 스마트 제어 시스템 개발 ○ 인공함양 평가기술 개발 ▪ 인공함양에 따른 수질영향 평가 ▪ 인공함양 평가 모델 개발 ○ 수변지하수위 복원기술 확대 ▪ 인공함양 경제성 평가 ▪ 인공함양 시공/운영/관리 지침서 작성
7. 정부지원의 타당성	▪ 수변지하수는 고부가 시설재배 영농 및 하천수량 유지를 위한 중요한 공공재이므로 이러한 지하수위 복원은 지자체 및 정부의 지원으로 달성해야 할 과제임 ▪ 하천고갈을 방지하는 기술로 활용. 농업용 지하수를 이용하는 주체인 농민에 대한 기술 개발의 책임 전가가 어려움 ▪ 녹색영농 및 농업지역 수자원 확보를 위한 기술 개발 필요
8. 기술확보 전략	▪ 시설재배 밀집 수변지역을 선정하여, 관련 지자체와 기술개발 및 실용화를 위한 양해각서체결 ▪ 산/학/연/관이 함께 참여하는 다학제간 융합연구 추진

9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		▪ 수변지역 지하수 복원 실용화 기술 개발 및 지침서 마련					
	활용방안		▪ 개발된 지하수위 복원기술 및 관련 지침서 배포를 통해 지하수위 고갈 수변 지역 지하수위 회복 및 갈수기 하천 유량 증가에 활용하고, 에너지 효율적 시설재배 단지를 구축하여 농가소득 제고에 활용					
10. 연구개발 과제의 규모 (50억원 이내) (연구기간 5년 이내)	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	
	연차별 연구비 (백만원)	정부	850	1,050	1,050	850	850	
		민간 (추정)	50	100	100	50	50	
	합 계		900	1,150	1,150	900	900	
	총 연구비 (백만원)	정부	4,650			총 연구기간	5 년	
		민간	350					
			총합계	5,000			연도별 평균소요인력	20 명
11. 기대효과 및 파급효과	▪ 수변 지하수위 복원을 통한 건전한 물순환 회복 및 하천 문화 복원 ▪ 시설재배 지하수 재이용 및 빗물 인공함양 관련 원천기술 확보를 통한 농가소득 제고 ▪ 저탄소 녹색영농 기술 확보							

1. 과제명	수변지역 대용량 간접취수 시공 기술 선진화
2. 연구개발목표	○ 수변지역 간접취수 시공 기술 개선을 통한 취수능력 증대 (20% 이상) - 양질의 지하수 활용을 위한 저비용/고효율의 대용량 취수시설(3만m³/일) 시공기술 개발 - 대용량 간접취수원 개발 공법의 신개념 기술 적용 및 평가 ○ IT 기술을 접목한 시설물 유지관리 기술 - IT 기술을 접목한 특수정호의 시설물 평가 기술 개발 - 대용량 취수시설의 유지관리 모니터링 기술 개발
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	○ 수변지역의 지하수 개발은 지표수의 오염에 대한 취약성을 극복하고 대처할 수 있는 방안으로 선진국에서는 오래전부터 지표수를 대체할 수 있는 수자원으로 개발이 활발히 이루어져 지속적으로 사용되어 왔으며, 최근 들어 국내에서도 강변여과수 개발과 같이 수변지역 지하수에 국민적 관심과 상수원수로서의 가치가 높아지고 있는 실정 ○ 지난 10여 년간 수변지역 지하수에 대한 학문적인 연구와 기초적인 현장적용 연구를 실시하였으며, 학문적인 분야는 선진국 수준까지 도달할 수 있었다. 그러나 현장중심의 연구는 미흡했으며, 현재 현장에서는 수변 지하수 개발을 사업화 및 상용화의 노력을 꾀하고 있으나, 관련 분야의 현장기술 개발이 미흡하여 많은 시행착오를 거듭하면서 국고의 낭비와 끊임없는 민원문제가 발생하고 있음 ○ 현장의 기술적인 문제점을 해결하고 보다 효율적인 기술 적용을 위해 앞으로의 연구 방향은 수변지하수 개발에 대한 현장중심의 기술 개발과 사업화 및 융복합 기술개발이 절실히 요구되고 있는 실정 ○ 선진국의 경우 수변 지하수 개발을 저비용, 고효율인 대용량 취수시설 규모가 5만~15만톤/일로 평균 10만톤/일로 개발하여 양질의 상수 원수를 소비자에게 공급하고 있으나, 국내의 경우 대용량 취수시설이 평균 1만 5천톤/일 규모로서 선진국 수준의 15% 미치지 못하고 있으며, 이 또한 고비용, 저효율의 취수시설로 선진국에 비해 관련 기술 및 경험이 매우 뒤쳐져 있는 실정
4. 기존기술 활용방안	○ 21세기 프론티어 연구개발사업을 통해 강변여과수 개발에 관한 학문적인 연구와 기초적인 현장적용 연구가 선행 - 현장중심의 기술적응에 관한 미흡 분야에 대한 검토 - 현장중심의 적용 기술에 대한 연구개발에 중점 ○ 대용량 취수정호의 조사/설계/시공/유지관리 분야에 대한 국내 기술 수준 평가 - 선진국 대비 국내 기술의 검토 및 평가 ○ 타 분야 기술과 접목시킬 수 있는 응용기술 발굴 - 연중 일정한 수온 특성을 이용한 지열활용 연계 기술 모색
5. 기술개발 필요성	○ 대용량 취수시설의 시공 기술 선진화 ○ 대용량 수변 지하수의 지열원수 융합기술 개발

6. 주요연구 개발내용	○ 수변 지하수 개발의 조사/설계 기술 개발 - 수변지역 총적층의 지반조사 기술의 선진화 - 대용량 취수시설의 최적 설계기술 개발 ○ 대용량 취수시설 시공을 위한 신기술 및 공법 개발 - 대구경/대심도 집수정의 잠함공법 개발 - 적정취수량 확보를 위한 수직/수평정호 굴착 기술 개발 ○ 대용량 취수시설의 유지관리 기술 개발 - 취수정호 우물개발/재개발 기술 개발							
7. 정부지원의 타당성	○ Test Bed 구축에 필요한 지자체와 참여연구기관의 상호협력 구축 ○ 대용량 취수시설의 실증설비 구축을 통한 선진기술 개발 및 실용화 연구 수행 ○ 실증설비를 통해 검증된 기술의 사업화 추진							
8. 기술확보 전략	○ 선진국 기술관련 전문기관 공동참여 연구 ○ 국내 관련분야 기업체의 적극적인 참여로 사업화 전략 마련							
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		○ 수변지역 대용량 취수시설 개발을 위한 제반업무수행지침 마련 ○ 대용량 취수시설의 최적화 시공기술 및 신공법 개발					
	활용방안		○ 대용량 취수시설 시공기술 및 신공법의 기술상용화와 사업화 ○ 국내 기업의 해외 물산업 시장 진출을 위한 현장기술지원					
10. 연구개발 과제의 규모 (50억원 이내) (연구기간 5년 이내)	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	
	연차별 연구비 (백만원)	정부	1,200	1,500	450	400	300	
		민간 (추정)	300	500	150	100	100	
	합 계		1,500	2,000	600	500	400	
	총 연구비 (백만원)	정부	3,850			총 연구기간	5 년	
		민간	1,150					
		총합계	5,000			연도별 평균소요인력	15 명	
11. 기대효과 및 파급효과	○ 수변지역 청정지하수의 개발 활성화 ○ 양질의 상수원수 확보 및 정수처리공정 비용절감 ○ 국내 관련기업의 해외 물산업 진출에 경쟁력 강화							

1. 과제명	수변지역 지하수 열원 활용 대용량 지열 설비 기술
2. 연구개발목표	○ 수변지역 천부 지열에너지 설비 효율 10% 이상 증대 - 수변 충적층 내 개방형 지열 시스템의 평가 및 설계 기술 표준화 - 대용량 개방형(SCW) 지열 냉난방 시스템 기술 개발 - 충적 대수층 축열 시스템(ATES) 기술 개발
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	○ 미국은 SCW 방식 개방형 시스템에 대해 ASHRAE와 IEA과 연계하여 지속적으로 기술 개발을 수행하고 있으며, 세계 최대 SCW 적용 시스템을 적용한 개방형 지열원 시스템 등을 운영하고 있음. ○ 유럽 연합은 국가별 지반 특성에 따라 개방형 지열원 냉난방 시스템 보급 및 기술 개발에 지속적인 노력을 기울이고 있음 ○ 유럽에서는 지역별 수리지질 특성 파악 및 모델링에 관한 기술 개발 등을 수행하고, 수리지질 특성에 따라 지역에 적합한 개방형 지열원 냉난방 시스템 기술 개발 및 플랜트를 시공 적용하고 있음. 특히, 수변지역 등에는 대수층 등을 적용한 대용량 개방형 지열원 냉난방 시스템 엔지니어링 기술 개발에 지속적인 투자를 수행하고 있음. ○ 국내에서는 주로 밀폐형 지열원 냉난방 시스템에 대한 기술 개발이 진행되었으며, 복수정 등 일부 개방형 시스템에 대한 연구 및 기술 개발이 진행되었으나, SCW나 대수층 등이 적용가능한 수변지역 지하수 열원을 활용한 연구 개발 성과는 매우 부족함. 특히, 지하수 열원 활용이 용이한 수변지역의 대용량 지하수 적용 개방형 지열원 냉난방 시스템에 대한 종합적인 기술 개발 성과는 전무한 실정임. ○ 세계적으로 개방형 시스템은 약 20% 가량 보급된 것으로 추정되며, 경제성과 열원의 안정성과 대용량 시스템 적용이 가능한 수변 지역 등 지하수가 풍부한 지역의 지하수 열원을 적용한 고효율의 지열원 시스템 보급이 지속적으로 확대되고 있음. 특히, 중국은 지하수를 활용한 개방형 시스템이 전체 지열원 시스템의 약 45%를 차지하고 있으며, 개방형 시스템을 대규모화하고 있음. ○ 국내뿐 아니라 전세계적으로 에너지 및 환경적 측면에서 지열원 냉난방 시스템은 지속적으로 증가했으며, 지열 분야 선진국인 미국과 유럽뿐만 아니라 한국과 중국 등에서 급속히 보급량이 증가됨에 따라 향후 시장은 매우 크게 증가할 것으로 예상됨. ○ 최근에 세계적으로는 지하수열원을 이용한 지열 이용이 매우 활발함. 예를 들면 네덜란드의 경우 지하수열원을 이용한 대수층 축열 시스템(Aquifer Thermal Storage System, ATES)가 현재 1,000 여 곳에서 운영되고 있음
4. 기존기술 활용방안	○ 한국지질자원연구원에 의해 수행된 지하수열원을 이용한 대수층 축열 시스템(ATES) 기술을 발전시켜 수변지역 충적층에서의 다수정을 이용한 대규모의 대수층 축열 시스템을 개발하여 시설물(건물, 비닐하우스 등)에 적용 할 수 있음 ○ 기존 개방형 기술을 응용하여 소규모 개방형 Hybrid geothermal system 기술을 개발하여 소규모로 적용할 수 있음
5. 기술개발 필요성	○ 에너지 및 환경의 중요성이 증대됨에 따라 고효율의 친환경 지열원 시스템의 수요가 공동주택, 호텔, 공공기관 등으로 대형화로 이어지고 있으나, 현재까지

	밀폐형 시스템이 주로 적용됨에 따라 부지 문제로 설치 및 보급에 많은 제약이 따르고 있음. ○ 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 가짐 ○ 국외와 달리 국내에서 지하수 활용 지열원 시스템 기술 수준 및 설계 기반 기술이 매우 부족하여 보급 실정이 매우 미약하므로, 국가 에너지 절감 및 국제 환경 규제에 대응을 위해서는 천부지열을 활용한 지하수 활용 지열원 시스템 기술 개발 필요성이 시급한 실정임. ○ 지하수 열원 활용 개방형 지열시스템 보급을 위해서는 개방형 지하수 열용량 설계를 위한 수리지질 특성 분석 및 모델링 기술 정립이 선행되어야함. ○ 고효율 대용량의 지하수 적용 개방형 시스템이 신뢰성을 갖고 효율적으로 운영되기 위해서는 지중열교환 시스템 설계 기준 수립과 냉난방 시스템과의 종합 설계 및 대용량화를 위한 융합 엔지니어링 기술 정립이 필수적으로 요구됨.
6. 주요연구 개발내용	○ 수변 충적층 내 지하수 지열원 시스템 평가 및 설계 기술 정립 - 수변지역 대용량 개방형 지열지하수 시스템 개념 정립 - 수변지역 지중열원 열효율성 평가 기법 개발 ○ 대용량 개방형 지하수 지열원 냉난방 시스템 최적설계 및 융합 기술 개발 - 고효율, 대용량 지중열교환 설비 기술 개발 - 고효율화를 위한 시스템 설계 기술 개발 - 지상 설비 구성 및 성능 진단과 평가 기법 구축 - 다양한 냉난방 시스템과의 융합 기술 개발 ○ 지질지하수 지열원 냉난방 시스템 성능 평가 기술 개발 ○ 지열공 내 smart 모니터링 기술 개발 및 제어프로그램 개발 ○ 지하수 열원을 이용한 대용량 대수층 축열 시스템 개발 - 대용량 충적층 지하수 축열 시스템 설계 기술 개발 - 대수층 축열 시스템의 계절별 운영에 따른 성능 평가
7. 정부지원의 타당성	○ 에너지 안보·원천기술 확보·지구 온난화 등에 대비하고, 화석연료를 사용하지 않는 산·재생에너지의 개발과 보급을 위해서는 정부주도하에 여러 가지 보급정책을 마련하고 체계적인 시행방안을 검토하는 일은 반드시 필요함. ○ 국가 에너지 사용량의 약 33%가 건물의 냉·난방과 급탕에 드는 비용임을 감안하면, 고효율의 개방형 지하수 지열원 시스템을 보급하기 위한 정책과 제도를 구축할 필요가 있음. 특히, 대용량화에 대응하기 위한 정부의 시범 사이트 구축 및 홍보가 이루어져야함. ○ 현재 지열 에너지의 공급 확대 필요성은 강조되고 있지만, 공급 잠재력(에너지 절감 잠재량)이 큰 지하수 지열 시스템의 안정성과 환경적 측면에서의 신뢰성에 관한 체계적인 정부 지원 하의 기술 개발 성과는 전무한 실정임. ○ 따라서 정부 지원 하에 본 연구 개발을 통해 개방형 지하수 지열 시스템의 설계 및 엔지니어링 기술 확보와 환경 영향 저감 기술을 확보하고, 국가 산·재생에너지 보급목표 달성 기여도와 온실가스 배출절감 효과 등에 대한 구체적인 근거를 마련하고 적극적인 홍보활동을 통해 지열 시장 확대와 신뢰성 구축을 위한 기반을 마련할 필요가 있다.

8. 기술확보 전략	○ 핵심 요소기술 개발 - 현장 조사 및 모델링을 통한 체계적인 수리지질 평가 및 모델링 기술 개발 - 개방형 지하수 적용 지열 시스템의 공조 설비 및 요소기기 설계 표준화 ○ 핵심 요소기술 통합 - 요소기술을 적용하여 산·학·연 연계 실증용 시스템 구축 - 장기간 냉난방 시스템 성능 측정 및 분석 - 시스템 최적화 및 융합 엔지니어링 기술 정립 ○ 개방형 지하수 지열원 시스템 기술 표준화 - 개방형 지하수 시스템 수리지질 평가 및 환경 영향 평가 기법 표준화 - 지중열용량과 공조설비 및 최적화 설계 표준화 - 개방형 시스템 보급 활성화를 위한 기반 조성 및 제도(안) 도출							
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		○ 개방형 지하수 시스템 수리지질 평가 및 열용량 산정 표준화 ○ 개방형 지하수 시스템 환경 영향 평가 기준 ○ 실증용 표준 개방형 지하수 지열원 시스템 ○ 개방형 지하수 시스템 보급 활성화를 위한 제도					
	활용방안		○ 실증사이트는 개방형 지하수 지열시스템의 홍보 및 시범 사이트로 활용 ○ 개방형 지하수 지열시스템 설계 데이터, 지중열용량 산정 데이터, 시스템 설계 및 시공 기준과 관련된 각종 자료를 관련 기업에게 제공 ○ 개방형 지열원 시스템 보급 활성화를 위한 기준과 제도로 활용					
10. 연구개발 과제의 규모 (50억원 이내) (연구기간 5년 이내)	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	
	연차별 연구비 (백만원)	정부	1,050	1,050	950	850	850	
		민간 (추정)	50	50	50	50	50	
	합 계		1,100	1,100	1,000	900	900	
	총 연구비 (백만원)	정부	4,750			총 연구기간	5 년	
		민간	250					
총합계		5,000			연도별 평균소요인력	20 명		
11. 기대효과 및 파급효과	○ 2020년까지 86만톤 TOE 에너지 절감 효과 예상 ○ 2020년까지 26만톤 TOC CO₂ 배출량 절감 효과 예상 ○ 2020년까지 9289억원의 시장 매출 효과 예상 ○ 개방형 지하수 지열시스템 고효율화 및 설치와 보급 활성화에 기여 ○ 개방형시스템의 설치 및 보급의 주요 걸림돌인 환경영향 저감을 통한 보급 활성화에 기여 ○ 지열전문기업, 지하수영향조사기관, 지하수정화업, 건축설비 분야의 고용창출을 유발할 것으로 예상							

1. 과제명	지하수 활용가치 극대화 관리 기술
2. 연구개발목표	수변지역 지하수의 활용가치 극대화에 필요한 지하수 정책 연계성 기반 기술 구축 및 경제적 가치 확보 기술을 통한 핵심 수자원으로 자리매김 - 지하수 가뭄 및 홍수 평가 시스템 구축 - 지하수 허가기준량 평가 시스템 구축 - 지하수 활용가치 평가 시스템 개발
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	국내의 경우 지하수 가치 극대화를 위한 연구개발은 전혀 이루어지지 않았으나, 외국의 경우에는 일부 선진국을 중심으로 홍수, 가뭄 등에 대비하는 지하수의 역할에 대한 연구를 통하여 지하수의 활용 가치 극대화를 위한 정책이 수행되어 왔다. 본 연구를 통하여 지하수 활용가치를 극대화하기 위한 관리기반 기술을 확보함으로써 국가 수자원 정책의 변방이 아닌 핵심으로서 자리잡을 수 있도록 추진한다. 특히, 그동안 지표수나 기상 수문량을 중심으로 가뭄이나 홍수를 평가하는 시스템이 개발 활용되고 있으나, 훨씬 안정적인 수문량인 지하수를 활용한 기술이 비교 검토되어 개발된다면 보다 지하수의 가치를 증대시킬 수 있을 것이다.
4. 기존기술 활용방안	기후변화로 인한 이상 가뭄과 홍수는 보다 빈번히 발생하고 있으며 이를 예측하고 해결하기 위한 다양한 시도가 있다. 가뭄예측은 기상학적 가뭄 평가기법을 중심으로 국내 가뭄 현황에 대한 평가가 있었으나 실질적인 가뭄의 예측은 매우 어렵다. 본 연구에서는 기존의 가뭄 평가 기술과 지하수 수문과의 연관성을 활용하여 가뭄 예측이 가능한 기술로 발전시켜 나갈 것이다. 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.
5. 기술개발 필요성	현재 국내 지하수 이용은 136만개소에서 이루어지고 있는데 이의 체계적인 활용을 위한 과학적인 평가가 이루어지지 못하고 있다. 특히, 지하수는 가뭄시 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. 특히, 지하수는 지표수와 달리 외부 요인에 민감하지 않고 연속성과 균질성을 갖고 있기 때문에 중요한 지수로서의 역할을 담당할 수 있다. 따라서, 수변지역에서의 지하수의 수자원 정책에서의 기능을 제고하기 위한 가치 극대화 연구가 필요하다.
6. 주요연구 개발내용	○ 지하수를 활용한 가뭄 평가 시스템 개발 - 지하수 가뭄 예측 알고리즘 개발

	- 지하수 가뭄 예측 및 평가 GIS 시스템 구축 - 가뭄 발생시 수원 확보 최적화 기술 ○ 수변지역 지하수 홍수(Groundwater Flood) 취약성 평가 기술 - 수변지역 지하수위 변동 계측 및 평가 - 지하수 홍수 취약성 평가 알고리즘 개발 - 지하수 홍수지도 제작 및 예측 GIS 시스템 구축 ○ 지하수 허가기준량 평가 시스템 구축 - 지하수 허가기준량 산정 기준 수립 및 현장 실증 - 지하수 허가기준량 평가 시스템 구축 ○ 수변지역 지하수의 활용 가치 평가 - 수변지역 지하수의 수원으로서의 경제적 가치 - 수변지역 지하수의 비수원으로서의 경제적 가치 등						
7. 정부지원의 타당성	본 연구는 국가 지하수 활용 가치의 극대화를 통하여 지하수의 직접, 간접적인 효용성을 높이고 연구결과를 통하여 부수적인 국가 사업이 기대될 수 있는 것으로서 정부의 지원이 바람직하다. 특히, 본 연구는 국가 정책의 기반이 되는 자료를 생성 제공하는 것으로서 민간의 연구개발보다는 국가 주도의 연구개발로 추진하는 것이 바람직하다.						
8. 기술확보 전략	가뭄과 홍수에 대한 연구는 지표수 및 기상학을 중심으로 오랫동안 연구되어 왔으나 지하수 기반의 접근은 전무하였다. 따라서 이들 기존의 체계적으로 정립된 연구성과를 활용하여 본 연구를 수행하여야 한다. 아울러, 지하수 허가기준량은 지하수 정책의 근간이 되는 것으로서 유럽, 북미 및 호주의 전문가(BGS, USGS, CSIRO등)의 유사 연구결과를 활용하여 국내 실정에 맞도록 추진되어야 한다.						
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		○ 지하수를 활용한 가뭄 평가 GIS 시스템 ○ 수변지역 지하수 홍수 취약성 평가 GIS 시스템 ○ 대하천변 지하수 홍수 지도 ○ 지하수 허가기준량 평가 시스템 ○ 수변지역 지하수 활용가치 평가 보고서 등				
	활용방안		○ 가뭄 및 홍수의 예측 및 관리 ○ 지하수 시설물 및 이용량 관리에 활용 ○ 각종 정책 입안시 경제성 논리 제공				
10. 연구개발 과제의 규모 (50억원 이내) (연구기간 5년 이내)	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도
	연차별 연구비 (백만원)	정부	600	600	600	600	600
		민간 (추정)	-	-	-	-	-
합 계		600	600	600	600	600	

	총 연구비 (백만원)	정부	3,000	총 연구기간	5 년
		민간	-		
		총합계	3,000	연도별 평균소요인력	15 명
11. 기대효과 및 파급효과	○ 지하수 홍수 및 가뭄의 예측으로 적절한 수자원 이용 보장 및 지표수 유량 확보에 기여 ○ 홍수 및 가뭄 발생시 평가 시스템을 활용한 평가로 수원확보, 수위강하 등 신속한 대응 가능 ○ 적정 지하수 허가 이용량을 결정함으로써 지하수자원의 효율적 활용에 기여 ○ 수변지역 지하수자원의 경제적 효과를 평가함으로써 각종 국가 정책 입안 시 기초자료 및 근거 제공				

1. 과제명	지하수 순환 시스템 SMART 계측 기술
2. 연구개발목표	수변지역 지하수 순환 평가를 위한 첨단 IT를 연계한 지하수 모니터링 장치 및 SMART 관리 시스템 개발
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	지하수를 대상으로 하는 원격 모니터링 기술은 상용화되어 있으나, 지하수 순환(물 순환) 평가를 위한 모니터링 및 데이터의 수집 분석 등을 연계한 SMART 계측 시스템은 개발되어 있지 못한 실정으로서 본 연구에서 모바일 매핑 시스템을 이용한 SMART 지하수 시스템 기술 개발시 국내 뿐 아니라 국외 진출도 가능할 것이다.
4. 기존기술 활용방안	○ 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. ○ 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 펄초분광학연구실에서는 분광기술을 이용한 다양한 연구가 계속되고 있다. 이러한 국내 연구결과를 활용할 것이다. ○ 계측 분야에서는 Nathan과 McMahon(1990)에 의해 제시된 전자신호해석 및 처리에 사용되는 Recursive Digital Filter 기법은 지하수 유출과 지표수 유출을 각각 저주파와 고주파신호로 간주하여 전진, 후진, 전진의 여과과정을 거쳐 정보를 산출하게 되는데 이를 분석함으로써 알고리즘을 파악할 수 있고 또한 Rutledge(1993)에 의해 제시된 PART모형에서는 전통적인수문곡선분리방법을 통한 전산화과정의 알고리즘과 N-day 법을 이용하여 지표유출이 종료되는 시점이 결정되는 과정을 알고리즘화 할 수 있다. 이러한 분석기법을 적용함으로써 원격 수집된 자료에 대한 분석 소프트웨어를 개발해 낼 수 있을 것이다.
5. 기술개발 필요성	○ 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. ○ 4대강 살리기에 따라 수변지역에서의 지표수와 지하수의 상호작용 환경이 변화되고, 중소하천 살리기가 본격 수행되는 시점에 물순환의 정확한 계측과 평가는 필수적이다. ○ 또한, 지하수는 시스템적으로 잘 구축되어 있는 분야로서 SMART 기술을 활용한 첨단 지하수 관리 체계를 개발한다면 국가의 지하수 시설 및 이용 현황에 대한 관리 체계를 고도화할 수 있다.

6. 주요연구 개발내용	○ 초소형 원격 지하수 관측 시스템 개발 및 적용 - 관정내부에 장착용 초소형 원격모니터링 장치 개발 - 원격모니터링 장치의 원격 제어 기술 및 스마트폰 연계 시스템 개발 - 계측자료를 활용한 수문량(유출 및 함양량 등) 분석 기술 개발 ○ 화학 및 광학센서를 활용한 관측 시스템의 개발 - 광학적 방법을 이용한 계측 기술 - 분광기술 및 스펙트럼의 CCD 영상처리 기술 - 영상인식 및 자동해석 처리 기술 등 ○ 수변지역 지하수 Isotope 관측 시스템 개발 및 적용 - 지하수 Isotope 관측 시스템 개발 및 설계기준 수립 - Isotope 계측자료를 활용한 물순환 평가 기술 개발 및 적용 - 전국 Isotope map 작성 ○ SMART 연계 기술 개발 및 적용 - SMART AR 기술 개발 : 스마트 기기를 활용한 현장 조사 평가 기술 개발 - SMART GeoSNS 기술 개발 : 지하수 관측 위치기반 시스템 구축 - SMART 기술의 지하수 관리 현장 적용 및 평가
7. 정부지원의 타당성	○ 우리나라의 지하수는 수문환경의 변화로 인하여 스트레스를 받고 있는 상황이며 당면한 과제로서 관정, 굴착심도, 수질, 이용량, 개발가능량 등에 대한 과거 정보와 미래예측으로 이용 및 관리에 효율성을 기해야 할 상황이다. ○ 무분별한 개발에 대한 통제와 이용의 효율성을 기하는 것은 지하수자원을 활용하는 측면에서 여러 용도로 활용되는 지하수자원에 중요한 요소가 된다. 그러나 이러한 지하수자원에 대한 복잡한 데이터들의 상관관계 파악과 분석은 지하수자원 관리와 이용에 대한 방향성을 제시하는 것이므로 미래예측과 함께 국가적인 차원에서 다루어야 할 거시적 목표이기도 하다. ○ 현재 우리나라의 지하수 이용량은 136만공에 38.1억m³이며 이는 전체 물이용량의 11%를 차지한다는 정부의 통계이다. 국민들의 깨끗한 물에 대한 욕구증대로 인하여 물수요가 지하수이용량의 증가로 이어지고 있다는 것이다. 또한 지구의 기후변화와 온난화 현상으로 인한 지하수의 변화는 양적인면 뿐만 아니라 질적인면에 있어서도 많은 변화가 예상된다 연구결과들이 나오고 있다. ○ 지하에 존재하는 지하수자원의 특성상 정부가 인력으로 지속적인 관리를 한다는 것은 불가능한 일이다. 적은 비용으로 가능한 많은 장소에 관측장비를 설치하고 원격모니터링 및 원격제어로 측정 자료를 받고 데이터베이스화 하여 각종 통계자료를 자동 산출하여 관리의 기본으로 활용할 정보를 추출한다면 완전한 시스템이 될 수 있을 것이다. ○ 하천 주변의 지하수 변동은 지표수에 직접적으로 영향을 미치게 되므로 지하수계의 정확한 계측과 평가는 하천 관리에 효율적인 자료를 제공하게 된다. 현재 하천은 국가가 관리토록 규정하고 있으며 하천 관리의 효율성 제고를 위하여 물순환 계측 시스템의 국가 지원은 타당하다고 본다. ○ 또한, 기후변화에 대비한 지하수 및 지표수에 대한 Isotope의 계측 기술 개발은 국가적으로 추진되어야 할 사항으로서, 생태 보전, 기후변화 대응, 건강위해성 감소 등의 확보를 위하여 정부의 예산지원이 반드시 필요한 분야이다. 특히, 본 분야는 IAEA 등에서도 중점 추진하는 것으로서 국내 관측시스템 구축이 요구되는 분야이다.

8. 기술확보 전략	○ 국내 국가지하수관측망 350여개소에서 지하수 계측이 이루어지고 있어 그 동안의 운영 경험 및 계측기 경험을 토대로 원격으로 제어되는 시스템 개발이 가능할 것임 ○ SMART 기술은 국내 보편화되고 있는 기술로서 지하수 분야의 전산, 네트워킹 및 관리 시스템이 안정적으로 운영되고 있어 IT 전공과의 연계 활용 가능성이 매우 높음 ○ IAEA 및 미국 USGS 등에서는 Isotope 모니터링이 확대 운영되고 있어 이들 선진 기관과의 연계 연구를 통하여 독자적인 추가 기술 개발이 가능할 것임							
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		○ 초소형 원격 모니터링 장치 및 관리 시스템 개발 ○ 광학(화학) 수질 계측 시스템 개발 ○ Isotope 계측 시스템 개발 ○ Isotope map 작성 및 계측 설치운영 기준 수립 ○ SMART 연계 시설 관리 시스템 개발 ○ 계측자료를 활용한 수문량 평가 시스템 개발					
	활용방안		○ 각종 지하수 관측 시스템 설치시 활용 - 수변지역 4대강 관측정 - 해안지역 관측정 - 구제역 매몰지 관측정 등 ○ 지하수 물순환 평가에 활용 - 유출 및 함양 평가 ○ 지하수 시설물 관리 등에 활용 - SMART를 활용한 지하수 시설물 관리 및 평가 등					
10. 연구개발 과제의 규모 (50억원 이내) (연구기간 5년 이내)	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	
	연차별 연구비 (백만원)	정부	550	750	750	750	550	
		민간 (추정)	50	50	50	50	50	
	합 계		600	800	800	800	600	
	총 연구비 (백만원)	정부	3,350			총 연구기간	5 년	
		민간	250					
		총합계	3,600			연도별 평균소요인력	15 명	
11. 기대효과 및 파급효과	○ 소규모 계측 시스템 개발로 계측 시스템 설치 및 활용성 증대 ○ 타 분야에서 개발된 센서링 기술을 접목함으로써 융합 산업의 발달 기대 ○ 계측자료를 활용한 과학적인 수문 평가 및 정책 지원 ○ SMART 기술을 접목한 실시간 정보 접근성 강화 및 활용성 제고 ○ 지하수 분야 Isotope 계측 시스템 구축으로 기후변화 연구 활성화 기대 ○ 기후변화에 대비한 계측 관련 전세계적 선도 기술 확보							

1. 과제명	도심지역 지하수 진단 및 활용 기술
2. 연구개발목표	지하터널에서 발생하는 유출지하수(약 5,600만 $\text{m}^3/\text{년}$)에 의한 지하수 장애에 대한 진단과 활용 기술 개발 - 유출지하수의 20% 재활용 및 관리 매뉴얼 수립
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	미국, 일본 등 선진국에서 지하터널에서 발생하는 유출지하수를 감소시키기 위하여 쉴드공법에 의한 선진갱도 굴착, 선진갱도에서 발생하는 유출수의 차수를 위한 그라우팅공법 등의 기술은 이미 개발하였으나, 지하 터널에서 지하수 유출에 의한 지하수 고갈, 지반침하, 수질 악화 등의 지하수 장애에 관한 연구는 거의 없다. 또한 유출지하수 활용 방안이나 하천건전화 등에 관한 연구도 부족한 실정이다. 국내에서도 터널에서 발생하는 유출지하수를 최소화하기 위하여 터널 공사기법을 선진화하고 있다. 그러나 유출지하수에 의한 지하수 장애와 인근 하천의 건전화 기술에 대하여는 아직 이해가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서 개발되는 기술은 국내뿐만 아니라, 국외에서도 활용 가능성이 매우 크다.
4. 기존기술 활용방안	2008년에 국토해양부·한국수자원공사에서 수행된 “유출지하수 저감 및 활용방안 연구”에서는 부산시 수영구와 해운대구 지역을 대상으로 시범 조사와 관측을 수행하여 유출지하수 저감 및 활용방안과 제도개선 등을 제시한 바 있다. 그러나, 보다 광범위하게 발생하고 있는 6대 도시의 지하수 장애 문제를 유출지하수의 관점에서 보다 심도있게 검토하고자 본 연구에서는 이를 참고로 하여 6대 도심지역 전반에 걸친 지하수 문제를 심도 있게 진단하고, 국내 현실에 적합한 유출지하수 저감 및 활용 기술을 개발하고 세부 방안을 제안할 것이다. 또한 유출지하수를 활용한 대도시 중소하천의 시스템을 복원하는 데도 연구 결과를 활용할 것이다.
5. 기술개발 필요성	서울을 비롯한 부산, 대구, 대전, 인천, 광주 등 우리나라 6대 도시에는 지하철터널을 비롯한 통신구 터널, 전력구 터널, 도로 터널 등 많은 지하터널이 건설되어 있다. 또한 고층 아파트 등의 대규모 건축물들은 건설시 많은 지하굴착을 필요로 하며, 건설후에도 여러층의 지하실을 운영하고 있다. 이들 시설물에서 발생되고 있는 유출지하수의 양은 대도시 지역의 지하수 개발가능량을 초과하고 있는 실정이다. 특히 지하철은 많은 역사를 운영하고 있기 때문에, 도시에 위치한 주요하천과 그 지천들의 하천수가 유출된 지하수를 보충하기 위하여 지하철 터널로 유입되어 하천수 수량이 감소하고 있는 실정이다. 부산과 같이 해안에 위치한 도시에서는 하천수의 유입뿐만 아니라, 해수도 유입되고 있어서 지하수의 수질이 크게 악화되어 있다. 아울러, 유출지하수는 일부 재활용되고 있으나 보다 다양한 활용 방안을 검토하여 제시함으로써 수자원의 효율성을 높여나가야 한다. 따라서 도심지역 지하 터널은 지하수 고갈뿐만 아니라 하천수의 수량에도 영향을 주기 때문에, 지하 터널에서 발생하는 유출지하수 현황을 정확히 진단하여 도심지역 지하수의 양과 질을 보전하고, 동시에 인근 하천의 건전화를 이루는 것이 필요하다.

6. 주요연구 개발내용	○ 6대 도시의 지질, 수문 및 수리지질 특성 조사 ○ 6대 도시에서 발생하는 유출지하수의 수량과 수질 현황 파악 - 지하철 터널, 전력구 터널, 통신구 터널, 도로터널, 대형 건축물 등 ○ 각 도시의 터널 유형별로 Test Bed를 설정하여 시설물에서 발생하는 유출지하수 수량 및 수질 계측 및 평가 ○ 유출지하수로 발생될 수 있는 지하수 장애 평가 - 지하수 고갈 - 하천 고갈 - 수질 오염 - 지반 침하 등 ○ 유출지하수의 배출에 따른 주변 수문환경 영향 평가 ○ 유출지하수 활용 및 저감 기술 개발 ○ 대도시 중소하천의 물시스템 복원을 위한 유출지하수 연계 기술 개발	
7. 정부지원의 타당성	현재 6대 도시의 지하터널에서 과도한 유출지하수의 발생으로 양질의 지하수가 남용되고 있으며, 또한 지하수 고갈, 수질오염, 지반침하 등의 지하수 장애 발생 가능성은 물론 터널 주변 중소하천 고갈의 위험성이 있다, 본 연구를 통하여 유출지하수의 저감 및 활용을 극대화하고, 지하수 장애 발생과 중소하천 고갈의 가능성을 미연에 방지할 수 있다. 따라서 단순히 버려지는 연간 약 5,600만 m^3의 유출지하수를 저감 및 활용할 경우 경제 산업적인 측면에서 많은 도움이 되고, 유출지하수로 발생하는 지하수 장애를 예방할 수 있다. 또한 중소하천의 시스템 복원을 통하여 하천의 건전화에도 기여하게 된다. 그러므로 본 연구의 성공적인 수행을 위하여 정부는 예산과 행정적인 지원을 적극적으로 해주는 것이 필요하다.	
8. 기술확보 전략	지하수 수위 및 수질 모니터링 기술과 장비를 보유하고 있는 한국지질자원연구원, 한국수자원연구원 및 한국농어촌연구원과 기술협력, 지하수 모니터링공의 효과적인 설치를 위하여 한국지하수지열협회와 기술협력, 하천수 순환 시스템 복원 기술 확보와 터널 유출지하수 저감을 위한 차수공법 기술 확보를 위하여 한국건설기술연구원과 기술협력, 암반대수층 인공함양을 위하여 미국 지질조사소와 기술협력 등을 수행할 수 있다.	
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물	○ 지하수 장애 발생 및 도시지역 물순환 평가 기술 ○ 유출지하수 저감 기술 ○ 유출지하수 활용 기술 ○ 중소하천 물순환 시스템 복원 및 관리 기술
	활용방안	○ 도시 중소하천 유량 확보에 유출지하수 활용 기술 적용 ○ 각종 도시지역 대규모 공사시 유출지하수 평가 기술 적용으로 장애 사전 방지 및 예측 ○ 도시지역 유출지하수의 가용성 증대

10. 연구개발 과제의 규모 (50억원 이내) (연구기간 5년 이내)	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	
	연차별 연구비 (백만원)	정부	650	850	750	750	750	
		민간 (추정)	50	50	50	50	50	
	합 계		700	900	800	800	800	
	총 연구비 (백만원)	정부	3,750			총 연구기간	5 년	
		민간	250					
총합계		4,000			연도별 평균소요인력	15 명		
11. 기대효과 및 파급효과	○ 6대 도시의 시설물별 유출지하수 현황 파악 가능							
	○ 유출지하수의 저감 및 활용 극대화							
	○ 유출지하수의 저감으로 배관시설 규모가 축소되어 터널 유지관리비 경감							
	○ 유출지하수 활용(터널세척수, 생활용수, 공업용수 등)으로 물사용료 절감							
	○ 지하수 장애(지하수 고갈, 지반침하, 지하수 오염 등) 발생 예방							
	○ 유출지하수의 하천유지용수로의 활용으로 6대 도시 중소하천 고갈 방지							
	○ 6대 도시의 중소하천 건전화 가능							

1. 과제명	수변지역 지하수 수문 및 수질 평가 기반 기술
2. 연구개발목표	수변지역의 지하수 시스템 개선을 위한 지표수-지하수가 연계된 수문 및 수질 통합 평가 기술의 개발로 수변관리 매뉴얼 작성 및 정책 반영 - 소유역내 지표수-지하수 연계 및 수문·수질 통합 모델링 시스템 개발 - 국내 하천변 지표수-지하수 상호작용 특성 분석 - 국내 하천변 지하수 함양량 산정 - Riparian zone에서의 수질 생태 변화 및 개선 효과 평가
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	국내 지표수와 지하수의 연계에 대한 연구는 21세기 프론티어 사업을 통하여 수문학적인 평가가 많이 이루어져 왔으며 주로 지표수 중심의 현상 평가 및 분석이 수행되어 왔다. 그동안 HydroGeosphere나 SWAT-K와 같은 모델링 프로그램들이 개발되어 일부 적용되었으나 4대강 살리기 사업 및 예상되는 중소하천 살리기 사업 등에 보다 효율적이고 정책 기반으로 사용될 수 있는 플랫폼은 부족한 실정이다. 효율적인 지표수-지하수 연계 평가 기법은 향후 지속적인 하천살리기 사업 및 4대강 관리시 반드시 필요할 것으로 본다. 특히, Riparian zone의 수문 및 수질 측면의 효과는 국내에서는 본격적으로 연구된 바가 없으며, 향후 하천의 수질 관리를 위하여 반드시 규명되어야 할 대상으로 본다. 또한, 대하천 주변에서의 강변여과의 개발은 지속 증가하고 있으며, 강변여과 수량·수질의 평가 및 예측을 위한 고도화된 기술은 이들 산업을 더욱 촉진시키는 역할을 할 것이다.
4. 기존기술 활용방안	기후변화 시나리오에 따른 금강 수계 지하수 변동 예측에 대하여 한국지질자원연구원에서 연구를 수행한 바가 있으며, 2100년경에 강수량과 함양량은 소폭 감소하고 지하수위도 하강할 것으로 평가되는 등 물수지 전반에 대한 부분적인 연구 자료와 방법론을 활용하여 지표수-지하수 특성을 분석한다. 지표수의 직접취수 단점을 보완하기 위해 고안된 간접취수 방안이 수변지역을 중심으로 개발이 활성화 되고 있으며, 향후 간접취수원의 개발이 더욱 가속화 될 전망이다. 과거 21세기 프론티어 및 수생태복원 사업단 등에서 수행된 간접취수에 관한 기초적인 연구를 바탕으로 실제 현장 실증을 통한 수문수질 통합 모델링과 함양량 평가 등의 연구가 이루어져야 한다. 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 이를 보완하고 실제 소유역과 같은 현장에서 지하수의 이용관리 유형을 고려한 통합 관리 기법을 적용하여 효율적인 시스템의 구축이 필요하다. 국내에는 국토해양부의 국가지하수관측망(327개소)과 환경부의 지하수수

	질측정망(2,021개소)과 먹는샘물관측망(72개소), 농림수산식품부의 해수침투관측망(97개소)과 농촌지하수관리관측망(60개소), 지자체의 보조지하수관측망(882개소) 등이 있으며 이들 자료를 연계 활용함으로써 전국적인 지표수-지하수 연계 특성을 규명할 필요가 있다.
5. 기술개발 필요성	범 국가적인 하천 살리기의 효율 극대화를 위해서는 소유역 단위의 지하수-지표수의 수문과 수질 분야에 대한 상호작용의 종합적이고 구체적인 평가가 수행되어야 한다.

6. 주요연구 개발내용	○ 소유역 지하수-지표수 통합 모델링 개발 - 연구용 통합 계측 시스템의 설치 및 장기 운영 - 편의성과 효율성을 갖춘 통합 모델링 개발 - 증발산 등 불확실 인자 개선 및 통합물수지 평가 ○ 하천변 지하수-지표수의 수문 상호작용 특성 분석 - 지하수 강하와 상승의 지표수에 미치는 시공간적 영향 평가 - 지하수 변동과 지표수 총량 연구 ○ 하천변 지하수-지표수의 수질 상호작용 특성 분석 - Riparian zone에서의 수질·생태 측정 및 장기 운영 - Riparian zone에서의 수질·생태 개선 효과 평가 ○ 하천변 지하수 함양량 평가 및 산정							
7. 정부지원의 타당성	지하수와 지표수는 수문 및 수질적으로 직접 연계되는 시스템으로서 두 인자간의 상호작용의 정량적 및 정성적 평가는 국가 물관리의 기반이 된다. 대하천 및 지천의 극심한 유량 감소에 의한 건천화는 수생태계의 파괴와 수질 환경의 악화를 초래할 수 있으므로 적절한 수량 유지는 국가 물관리를 위하여 필요한 조치이다. 본 연구내용은 물순환의 가장 기초가 되는 연구로서 소유역에 대한 계측과 평가를 병행함으로써 기초 자료와 방법론을 수립하여 국가에 제공하는 것이므로 정부의 지원이 절실하다.							
8. 기술확보 전략	그동안 21세기 프론티어를 통하여 지표수에 대한 기초 요소기술은 확보되어 있으나 소유역을 대상으로 지하수-지표수가 연계된 통합 분석은 이루어지지 못하였으므로 기존의 기술을 최대한 활용토록 함 Riparian zone에서의 연구는 미국 USGS 및 EPA를 중심으로 활발히 이루어지고 있어 관련분야 전문가를 활용토록 함							
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		○ 소유역 지하수-지표수 통합 모델링 개발 ○ 통합 물수지 불확실 인자 개선 ○ 수변지역 지하수-지표수 연계 관리 매뉴얼 ○ Riparian zone의 관리 매뉴얼 ○ 수변지역 지하수 함양량 산정 매뉴얼					
	활용방안		○ 중소하천 살리기를 위한 유량 확보 기술에 적용 ○ 수변지역 개발 및 관리를 위한 지침에 적용 ○ 소유역의 통합 물수지 평가로 국가 정책 수립시 활용					
10. 연구개발 과제의 규모 (50억원 이내) (연구기간 5년 이내)	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	
	연차별 연구비 (백만원)	정부	750	550	550	550	550	
		민간 (추정)	50	50	50	50	50	
	합 계		800	600	600	600	600	
	총 연구비 (백만원)	정부	2,950			총 연구기간	5 년	
		민간	250					
총합계		3,200			연도별 평균소요인력	12 명		
11. 기대효과 및 파급효과	○ 소유역의 물수지 기법 및 결과는 국가 물정책 수립시 기초자료로 활용 ○ 지하수와 지표수의 수문·수질 상호작용 규명으로 하천 정책 수립시 활용 ○ 지표수보다 복잡한 지하수 기반의 물수지를 수행함으로써 보다 현실성 높은 분석기술과 정책 기반 제공							

1. 과제명	지질지하수 융합 에너지 기반 기술
2. 연구개발목표	○ 수변지역 총적층 지하수 열자원 활용/관리를 위한 지열부존량 평가 및 이용관리 표준화 - 총적층 지하수 열에너지 부존량 추정 및 개발최적지 선정 - 지열 개발 영향 평가 및 지열공 원상 복구 표준 매뉴얼 제시
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	○ 한국지질자원연구원에서 지열 DB 시스템을 구축하였고 전국 규모의 지열 부존량 분포도를 작성하였으나 이는 수 킬로미터 깊이 이상의 심부 지열환경에 대한 것으로 수변지역 총적층에 대한 연구는 제외되었음. ○ 일본에서는 특정지역에 대한 수변 총적층을 포함한 지열 부존량을 산출하여 지하수를 이용한 지열냉난방시스템의 최적지 선정에 이용하고 있음. ○ 일본과 유럽에서는 지반 내 열물성과 지하수 특성에 따른 축열 방법 등에 대한 기술 개발 및 냉난방과 도로 융설 등에 관한 기술 개발을 진행하고 있음. ○ 2000-2008년까지의 통계자료를 보면 국내에서 지하수의 열에너지를 이용한 지열냉난방 시스템이 약 30%를 차지하고 있음. ○ 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. ○ 지하수의 뛰어난 축열 능력 활용 및 좁은 설치 면적 등의 장점이 있는 지중열교환기의 이용에 대한 관심이 증대되고 있음.
4. 기존기술 활용방안	○ 한국지질자원연구원에서 수행한 국내의 전국규모 지열 DB 시스템 및 우리나라 전반 기반암에 관해 작성된 지열 에너지 분포도를 수변지역 총적층 내의 열물성/수리지질학적 특성 및 지열 에너지 분포도와 연계하여, 보다 정밀한 지열 DB 시스템과 총적층 지하수 열에너지 부존량 분포도를 제작할 수 있음 ○ 기 수행된 소용량의 대수층 지중열에너지 모델링 결과 중 일부를 활용, 수변지역에서의 지하수 열에너지를 활용한 대용량 지열 시스템의 지중 열용량 평가 및 예측 기술 확보
5. 기술개발 필요성	○ 지하수는 축열 능력이 암석의 2배 이상이므로, 지중 열에너지 개발에 있어서 지하수를 적극 활용하는 것이 효율적임. ○ 지하수의 열에너지를 이용하는 개방형 지열시스템은 천공수를 획기적으로 줄일 수 있을 뿐 아니라 설치 깊이가 폐쇄형보다 얕기 때문에 초기 투자비 절감 가능. ○ 수변지역 총적층에는 가용 지하수량이 풍부하므로 지하수를 활용한 지열에너지 개발에 매우 유리함. ○ 우리나라는 강 주변에 총적층이 잘 발달하고 있을 뿐 아니라 최근의 여러 사업들을 통해 강변 환경이 개선, 개발 되고 있는 상황이지만 이를 에너지 활용 측면에서 효과적으로 이용하기 위한 준비가 전혀 되어있지 않은 상황임.
6. 주요연구 개발내용	○ 국내 총적층의 열물성 특성 규명 - 총적층의 열물성(온도, 열전도도, 비열, 열확산률 등), 물성(밀도, 공극률, 함수율 등), 수리지질학적 성질(지하수위, 수리전도도, 이방성 등) 파악

	- 국내 수변지역 충적층내의 지열 부존량 분포도 작성 ○ 지열공 원상복구 기술 개발 및 표준화 ○ 충적층 지질-지하수 융합 에너지 DB구축 및 활용 ○ 충적층 내 개방형 지열 시스템 및 대수층 축열시스템 개발에 따른 보호 기술 - 수변지역 충적층 지하수 영향 평가 기준 수립 - 수질 평가 및 관리 기술							
7. 정부지원의 타당성	○ 화석연료의 사용으로 인한 환경오염, 지구 온난화를 줄이고 화석연료 의존도를 경감하기 위해 청정, 재생 가능한 신재생에너지인 지열을 적극 보급하고 이용하여야 함 ○ 수변 지역 충적층의 지하수가 가진 열에너지는 그 부존량이 매우 큼에도 불구하고 국내에서 거의 개발이 되지 않은 상태이므로 적극적인 개발이 필요함							
8. 기술확보 전략	○ 충적층 지열 부존량 -충적층에 대한 열물성, 물성, 수리지질학적 특성 측정 기술 개발 -충적층에 대한 지열 부존량 산출 기술 개발 -기술적, 사회적, 경제적 요인을 고려한 충적층 지열 부존량 산출 기술 개발 -지열개발의 최적지 선정 기술 개발 ○ 하천변 지중열교환기 및 대용량 대수층 축열 시스템 적용 가능성 평가 -최적화 설계 기술 개발 -환경 영향 평가 기술 개발 -장기 운영에 따른 성능 변화 예측							
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		○ 국내의 충적층내의 지열부존량 분포도 제시 ○ 충적층 지열 부존량을 기반으로 지열활용 방안 제시 ○ 하천변 지중열교환기 및 대용량 대수층 축열 시스템의 설계 표준화, 환경영향 평가 기준 제시					
	활용방안		○ 충적층 지열 부존량 분포도는 관련 기업에서 지열개발에 중요한 자료로 사용될 것임. ○ 충적층의 지하수 열자원을 이용하는 지열냉난방시스템은 성능 및 효율 예측을 통한 적용 타당성 평가 이후 대형건물, 비닐하우스 등에 활용될 수 있음.					
10. 연구개발 과제의 규모 (50억원 이내) (연구기간 5년 이내)	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	
	연차별 연구비 (백만원)	정부	700	700	450	450	450	
		민간 (추정)	50	50	50	50	50	
	합 계		750	750	500	500	500	
	총 연구비 (백만원)	정부	2,750			총 연구기간	5 년	
		민간	250				연도별 평균소요인력	15 명
총합계		3,000						
11. 기대효과 및 파급효과	○ 충적층의 열물성, 물성, 수리지질학적 성질에 대한 자료 확보 및 지열 DB 구축을 통해 지열이용 시스템의 설계 자료 확보 ○ 충적층에서의 지중열교환기 및 대수층 축열 시스템의 보급 활성화에 기여 ○ Kyoto 협약에 따른 탄소배출권 대처 가능							