

가뭄 대응을 위한 지표수 연계 기반 지하수자원 확보 및 활용 기술 개발 기획

2017 . 05 . 29

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 대전대학교 산학협력단
공동연구기관 / (주)날리지웍스
한국건설기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "가뭄 대응을 위한 지표수 연계 기반 지하수자원 확보 및 활용 기술 개발 기획"의 보고서로 제출합니다.

2017. 5. 29

주관연구기관명 : 대전대학교 산학협력단
주관연구책임자 : 김규범

공동연구기관명 : (주)날리지웍스
공동연구책임자 : 류형근

공동연구기관명 : 한국건설기술연구원
공동연구책임자 : 정일문

보고서 요약서

과제고유번호	2016-연구 기획-	해 당 단 계 연구 기 간	8개월	단 계 구 분	
연구 사업 명	국가연구개발사업				
연구 과 제 명	세부 과제명	가뭄 대응을 위한 지표수 연계 기반 지하수자원 확보 및 활용 기술 개발 기획			
연구 책임 자	김규범	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 17 명 내부 : 14 명 외부 : 3 명	총연구비	정부 : 80,000 천원 계 : 80,000 천원
주관연구기관	대전대학교 산학협력단	공동연구기관	한국건설기술연구원 (주)날리지웍스		
요 약				보고서면수	428
- 본 기획연구는 최근 증가하고 있는 기후변화, 특히 가뭄에 대응하기 위한 지하수 활용 기술개발을 위한 과제로서 국내외 기술수준, 기술동향, 시장분석 등을 기반으로 국가 연구개발 사업으로서의 기술개발 전략과 중점 추진과제를 도출하고 실행 로드맵을 수립하여 RFP를 작성하는데 목표를 두고 있음 - 본 과제의 연구 내용은, 가뭄에 취약한 지류 하천 상류에서의 IT 기술을 기반으로 지표수 연계 지하수 확보를 위한 다양한 인공함양(모래저장형 dam, 선상지 함양 등) 기술 및 기존 관정 시설 연계 기법인 Well Network System을 활용한 지역 맞춤형 가뭄 대응 용수확보 기술 개발에 대한 기획임 - “가뭄 대응을 위한 지표수 연계 기반 지하수 자원 확보 및 활용 기술 개발 기획” 과 관련한 핵심기술을 도출하기 위하여 총 4단계로 기획연구를 수행 및 3차례의 기획타당성 회의를 실시하였음 - 구성 내용 1) 기술개발 동향분석 및 추진동향 2) 기술정의, 분류체계, 기술 내용 등 기술 목표 설정 3) 기술수요 및 수준·예측조사 4) 연구개발과제 구성 및 추진전략 5) 인력투입계획 및 소요예산 산정 6) 사전타당성 검토 7) 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 수립					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	지하수, 가뭄, 인공함양, 지표수, 설계시공			
	영 어	groundwater, drought, artificial recharge, surface water, design and construction			

Contents

1장. 개요

1절. 기획 과제 정의 및 범위	3
1. 기획과제의 정의 및 필요성	3
2. 기획과제의 범위	14
2절. 기술분류 및 내용	16
1. 기술분류체계도	16
2. 기술분류별 기술내용	16

2장. 동향조사 및 환경분석

1절. 국내외 정책동향	21
1. 국외 정책동향	21
2. 국내 정책동향	44
3. 국내외 정책 비교	58
2절. 국내외 시장현황 및 전망	59
1. 국외 시장현황 및 전망	59
2. 국내 시장현황 및 전망	70
3절. 국내외 기술동향	79
1. 국외 기술동향	79
2. 국내 기술동향	99
3. 특허분석	110
4. 논문분석	130
4절. 연구개발 인프라 분석	169
1. 연구인력 인프라	169
2. 실험장비 및 관련 기자재 인프라	173
3. 해외 협력기관 인프라	173
5절. 종합 분석	175
1. 국내외 정책동향분석 시사점	175
2. 국내외 시장동향분석 시사점	176
3. 국내외 기술동향 분석 시사점	177
4. 특허 및 논문 분석 시사점	179

3장. 기술수요 및 수준·예측조사

1절. 기술수요조사	183
1. 개요	183
2. 기술수요조사 분석결과	185
2절. 기술수준 및 예측조사	188
1. 개요	188
2. 기술수준/예측조사 결과	194
3. 기술수준/예측분석 결과	195

4장. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절. 사업추진방향	233
1. Issue-Tree 분석	233
2. SWOT 분석	241
2절. 비전 및 목표	252
1. 비전	252
2. 목표	252
3. 단계별 목표	253
3절. 중점추진분야	255
1. 중점추진분야 1	255
2. 중점추진분야 2	258
3. 중점추진분야 3	260
4. 중점추진분야 4	263
4절. 연구개발과제 구성	265
1. 후보과제 Pool 구성	265
2. 후보과제 우선순위 평가	269
3. 연구개발 추진과제	277
5절. 세부과제별 주요내용 및 추진전략	285
1. 중점추진분야 1	285
2. 중점추진분야 2	295
3. 중점추진분야 3	304
4. 중점추진분야 4	313
6절. 과제간 연계관계(선행, 교류 관계)	322
7절. 과제별·연차별 기술로드맵	325
8절. 성과의 활용 방안	330
9절. 연구수행체계 제안	338

5장. 인력투입계획 및 소요예산 산정

1절. 연구일정에 따른 인력계획	343
1. 전체사업 투입 연구인력	343
2. 중점추진분야별 인력투입계획	344
2절. 소요예산 산정	348
1. 예산산정 방법	348
2. 전체사업 소요예산	349
3. 중점추진분야별 소요예산	351
4. 연구비 검토 결과	355

6장. 사전 타당성 검토

1절. 정책적 타당성	359
1. 국가전략의 중요성	359
2. 상위계획 부합성	360
3. 정책적 추진 의지	361
2절. 기술적 타당성	362
1. 기술개발 계획의 적정성	362
2. 기술수준 및 성공 가능성	363
3. 기존사업과의 중복성	364
3절. 경제적 타당성	366
1. 경제성 분석	366
2. 파급 효과	369

7장. 과제제안요구서 작성 및 평가 기준 설정

1절. 과제 제안요구서	375
1. 연구단	375
2절. 평가기준 설정	384

부록

1. 기술수요조사 결과 요약서	390
2. 과제 요약서	396
3. [참고] 연차별 세부과제 연구내용	402

제 1 장 개 요

1절 기획 과제 정의 및 범위

2절 기술분류 및 내용



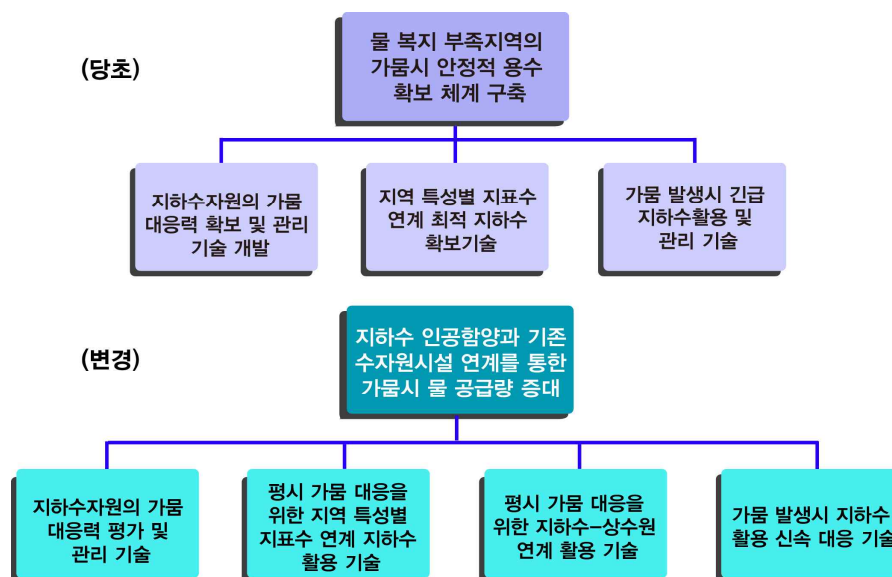
1장. 개 요

1절. 기획과제의 정의 및 범위

1. 기획과제의 정의 및 필요성

가. 기획과제의 정의

- 동 기획연구에서는 가뭄시 지하수 인공함양 시스템을 활용한 대체 수자원 확보 및 기존시설과의 연계방안 마련을 위한 연구과제 기획을 목적으로 함
- ‘15년 충청남도 지역 가뭄 등, 최근 증가하고 있는 가뭄 등 기후변화에 대비해 기존 용수공급 체계의 문제점을 파악하고 가뭄시 지하수 인공함양 시스템을 활용한 안정적인 대체수자원을 확보하여 기존 시설과의 연계 공급 및 갈수기 하천 유량 기여를 위한 관련 핵심 기술 개발 과제를 도출하고자 함
- 이와 관련하여 시장 및 기술 전망 분석을 통해 연구개발의 목표, 필요한 연구개발의 내용, 추진 전략 및 기술로드맵의 수립 등을 실시하여 연구 과제를 제안하고, 궁극적으로는 본 과제 수행을 통한 가뭄 대응력을 제고하고자 함
- 본 기획에서는 “지하수 인공함양과 기존 수자원 시설의 연계를 통한 가뭄시 물공급량 증대”라는 개념적 목표를 설정하였으며, 이를 통하여 “가뭄시 물 공급 취약지역의 지하수량 확보로 하천환경 개선 및 주민 물복지 향상”이라는 잠정 비전을 달성하고자 함. 이 목표 및 비전은 다양한 조사 및 분석을 통하여 최종 확정토록 함



[그림 1] 기획연구의 예상 목표 및 세부 연구

- 본 연구는 가뭄 대책 기술 확보를 위한 것으로서, 기 연구된 바 있는 빗물 기술 등의 연계 활용 방안을 포함하여, 지표수 및 기존 상수도 시설의 연계성을 고려할 수 있는 지하수 함양, 활용 및 운영관리 기술을 확보하는 것으로 연구의 개념을 설정함
- 동 과제의 핵심 키워드인 가뭄(Drought)에 대해서는 현재 국내에서 통일된 정의가 마련되어 있지 않아 가뭄에 대한 상황인식 및 평가가 동일하지 않은 것이 현실임
- 가뭄에 대한 정의는 기상, 수자원, 농업 및 사회경제 각 분야별로 마련되어 있으며, 본 과제에서는 가뭄 발생시 및 가뭄 대비 지하수의 활용성을 제고하기 위한 기술을 확보하고자 함
- 가뭄에 대비할 수 있는 용수원으로서의 역할에 있어서 지하수 및 강변여과수 등이 갖는 장단점은 아래와 같음

<표 1> 상수원으로서의 지하수의 장단점

구분	장 점	단 점
하천표류수	-안정적인 수량과 수질 확보 가능 -대량 취수 및 공급 용이 -정수 기술 기 확보	-가뭄, 홍수 등에 의한 시설 운영관리 어려움 -가뭄시 취수 불가 -오염물질, 유기물 함량에 따른 정수비용 과다
하천복류수	-지표수 대비 수질 양호 -정수공정상 침수지 생략 가능	-자연여과 효과가 낮은 지역은 탁도 증가 발생 -가뭄시 취수량 감소 -철, 망간 등 수처리 비용 요구
강변여과수	-수온 일정 -자연여과 및 미생물에 의한 암모니아 산화 등으로 수질 양호	-초기 시설투자비가 큼 -시설 형태에 따라 양수 전력비 및 유지관리비 과다 소요
지하수	-안정적 수질 확보 -가뭄 등 이상기후에도 수량안정적 -미네랄이 풍부함 -가뭄, 홍수시 시설 운영관리가 용이함 -정수비용이 적은 편임 -소규모 상수원으로 활용	-수질 오염시 회복에 장기간 소요 -저류량 및 부존량의 정확한 추정에 전문성 필요 -자연유래 물질(비소, 라돈 등)의 출현 가능 -천부 지하수 유입시 질산성질소 오염 우려 -시설 형태 및 취수량에 따라 유지관리비 소요
기타 (저수지, 호소수)	-다목적 기능 보유 -수원의 조사 및 평가가 용이함 -일시에 다량의 용수 사용 가능 -유지관리비가 적음 -상류 유역에 따라 오염 확산 적음	-수몰 면적 및 증발산 손실 과다 -상류 조건에 따른 수질오염 가능성이 높음 -구조물 붕괴시 재해 발생 -토사 유입으로 인한 저수지 용적 감소 -부영양화, 조류에 의한 녹조, 냄새, 탁도, 색도 등으로 인한 고도 정수처리 필요 -심층수의 혐기성화로 망간 용출등의 수질문제 발생

자료: 이승원(2016), 수질환경기사·산업기사; 환경부(2010), 상수도시설기준(2010년) 참조

□ 본 과제와 관련된 가용한 키워드는 가뭄, 지하수, 인공함양, 모래저장형댐, 수평정, IoT, Big data, 소하천, 관정, 자동화, 계측, 탐사 등이 해당되며, 이와 같은 키워드를 중심으로 가뭄에 대응할 수 있도록 지표수 및 기존 수원과 연계할 수 있는 지하수 인공함양 기술을 확보함

□ 그 동안 국내 가뭄 발생시 지하수의 대응 및 활용은 비상용 관정 개발에 국한되어 활용되어 왔으나, 다음 가뭄 도래시 효과적 대응에는 미흡하였으며, 이를 근본적으로 해결하기 위하여 가뭄이 빈번한 지역에 대해서는 가뭄시에 도 견딜 수 있도록 용수원을 확보하고 지역 맞춤형 공급 체계가 확보될 필요가 있음

<표 2> 국내 주요 가뭄 발생시 대책 현황(지하수 대책 포함)

기간	주요 지역	피해 영향	가뭄 대책
1994-1995	호남 및 영남, 일부 중부	•농작물 및 가축피해 •생활 및 공업용수 부족 •식수원 오염 •저수지 고갈	•범국민 가뭄 극복대책위원회 •가뭄극복 성금 •착정업체와 양수장비 생산 판매 •폐수재이용과 지하수 개발 •가뭄대책 수립 중장기 대책
1996-1997	호남 및 영남, 일부 중부	•공업용수 부족 •낙동강 수질저하 •농수산물 피해	•제한 급수 시행 •저수지 준설과 관정개발 •농수산부 상황실 설치
1999-2000	호남 및 영남, 수도권	•공업용수 부족 •낙동강 및 한강수질악화 •농수산물 피해	•긴급급수 시행 •가뭄지역 관정개발 •농수산부 상황실 설치
2001	관동 및 호서, 수도권, 경북	•농업용수 부족 •하천수질 악화	•인공강우 실험 •비상용수 공급 시행 •국민성금 모금 •수질오염 특별단속
2008-2009	관동	•식수난 심각 •농작물 및 가축 피해	•제한급수, 사랑의 생명수 지원 •가뭄극복 결의대회 개최
2012	수도권, 관동 및 호서, 경북 일부	•생활 및 농업용수 부족	•특별교부세 및 가뭄대책비 지원 •지하수관정, 비상용수 공급
2015	충청/호남일대	•생활 및 농업용수 부족(보령댐 저수율 평년대비 22.4%)	•제한급수 •관정개발 •보령댐 도수로

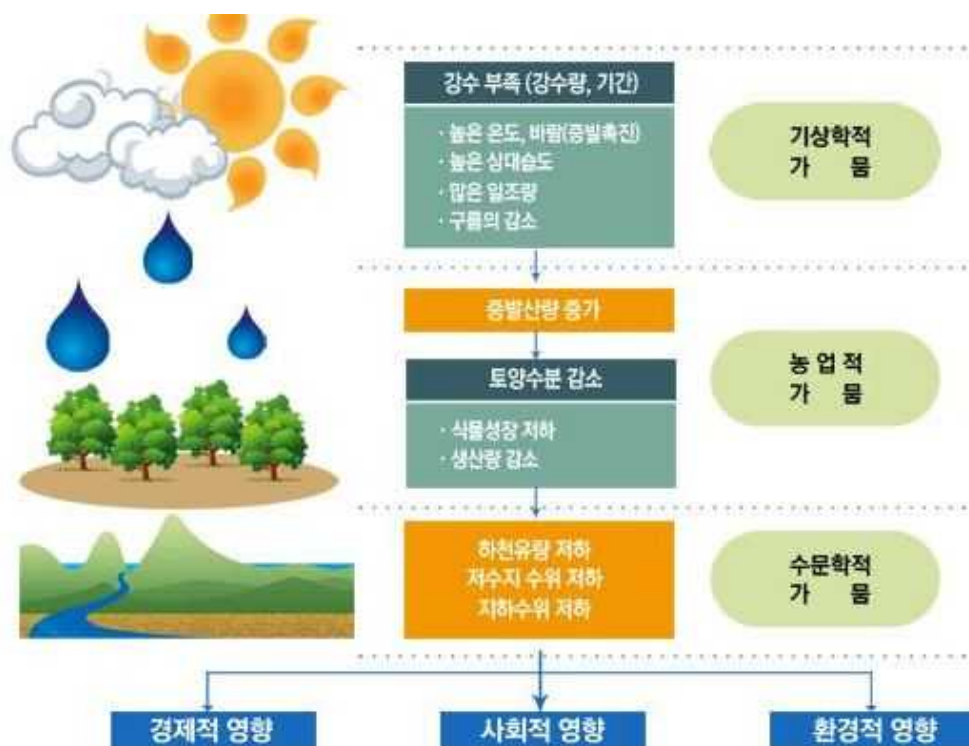
나. 과제 추진의 배경 및 필요성

□ 가뭄은 다른 자연재해와는 달리 진행 속도가 느리고 시공간적으로 정확한 시작과 끝을 판단하는 것이 쉽지 않음. 더욱이 가뭄피해의 영향은 장기적이며 그 파급효과가 사회, 경제, 환경 등에서 복잡한 양상으로 나타나기 때문에 피해 규모도 파악하는 것이 어려움.

○ 가뭄에 대한 정의는 현재까지 분분하며 가뭄이 다루어지는 목적에 따라 각

기 다르기 해석하기 때문에 명확하게 구분할 필요가 있으며 일반적인 가뭄의 정의는 크게 3가지로 나눌 수 있음.

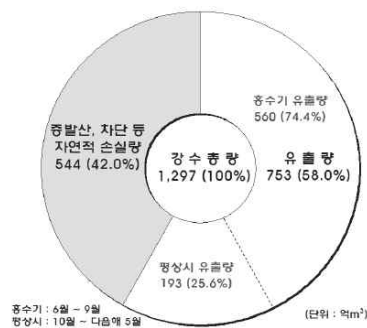
- 농업적 가뭄 : 농업에 영향을 주는 가뭄을 언급한 것으로 농작물 생육에 직접 관계되는 토양수분으로 표시하는 가뭄
- 수문학적 가뭄: 물 공급에 초점을 맞추고 하천유량, 저수지, 지하수 등 가용 수자원의 양으로 정의한 가뭄
- 기상학적 가뭄: 주어진 기간의 강수량이나 무강수 계속일수 등으로 정의되며 기상현상의 영향을 직접적으로 표현하는 가뭄



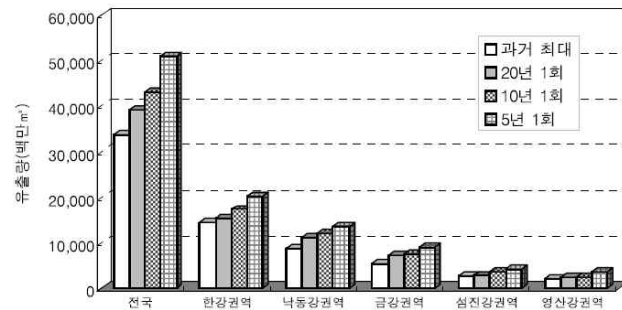
[그림 2] 가뭄의 일반적인 정의

- 이외에 용수공급을 고려한 가뭄지수(WADI), 파머가뭄지수(PDSI), 수문학적 가뭄지수(MSWASI), 토양수분지수(SMI) 등을 이용하여 가뭄을 정의 할 수 있음.
- 우리나라의 물 공급 능력을 보면, 하천수의 경우 연평균 강수량에 국토면적을 고려한 강수 총량과 북한지역 유입량을 포함한 수자원 총량은 연간 1,297억㎥으로 이중 이용 가능한 수자원량은 58%인 753억㎥에 이르고 있음
- 특히, 가뭄시에는 강수량이 줄어들어 과거 최대 가뭄상황에서는 이용 가능한 수자원량이 평년의 45% 수준인 337억㎥으로 대폭 하락함
- 물 이용량의 증가와 함께 가뭄시 이용가능한 수자원량의 부족이 물 부족의 근본 원인으로, 계절별로 편중된 가용 수자원 분포 특성은 물 부족을 더욱

악화시키는 요인임



【 수자원 부존량 】

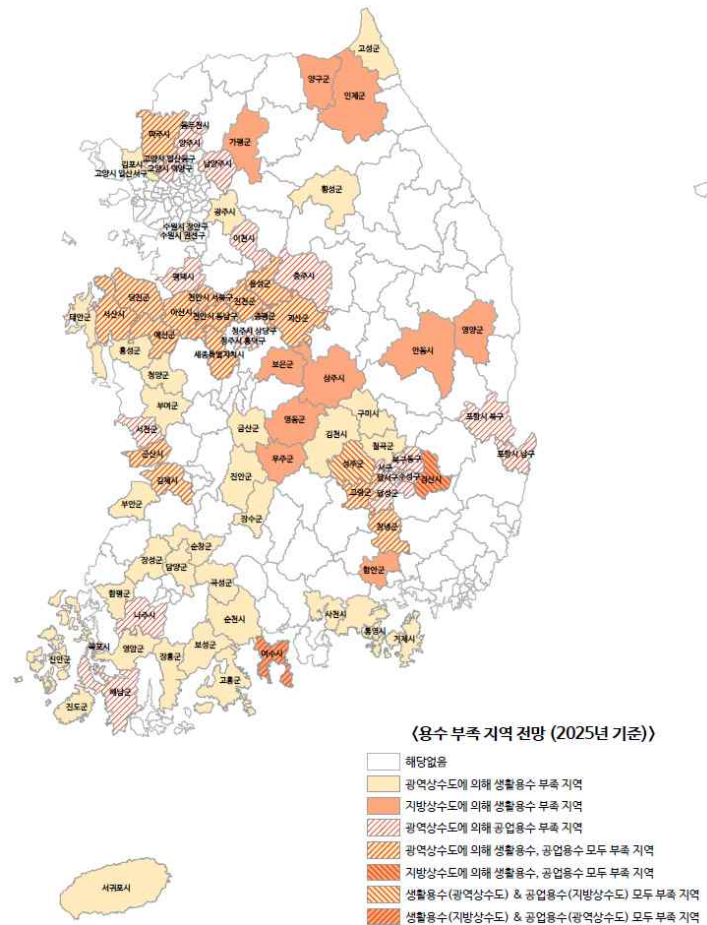


【 발생빈도별 유출량 】

[그림 3] 우리나라 수자원 부존량과 가뭄발생 빈도별 유출량(국토해양부, 2011)

- 기후변화로 인한 물 공급 능력의 변화를 보면, A2 시나리오를 기반으로 기온 및 강수량 영향을 검토한 결과, 과거 30년에 비하여 미래(2061~2090년)에는 연평균 기온이 약 3.6℃, 연강수량은 168 mm(14%) 증가할 것으로 전망됨
- 반면 연강수량의 증가에도 불구하고 홍수기인 6~8월 강수량은 4대강 유역 모두 감소할 것으로 전망되고 있으며, 한강유역은 최대 22% 감소할 것으로 예측됨
- 여름철 6~8월 강수량의 패턴이 7~9월로 이동하여 용수수요량이 가장 큰 6월의 가뭄이 심화되고 연강수량의 편차가 심화될 것으로 전망됨
- 기후영향을 고려한 하천 유출량 산정 결과, 한강 유역을 제외한 4대강 유역의 경우에는 연강수량은 증가하나 증발산에 의한 손실의 증가로 연유출량의 감소가 예상되고 있음
- 최근에도 기후변화로 인하여 극심한 이상 가뭄이 빈번하게 발생되고 있으며 우리나라는 지역에 따라 2~3년 마다 크고 작은 가뭄과 7년 주기의 극한 가뭄이 발생하는 추세임
- 국토부에 따르면 서울, 부산, 강릉, 전주 가뭄 발생 예측 결과 기후변화로 인해 미래(2061~90)에는 과거(1997~2006)에 비해 가뭄 발생기간이 3.4배 증가할 것으로 전망됨
- 지난 100년간 우리나라에서 발생한 재해 중 호우 발생 빈도는 꾸준히 증가하는 경향을 나타내며 가뭄 발생 빈도는 1950년대를 정점으로 감소하다가 최근 10년간 그 빈도가 다시 증가하고 있음
- 매년 반복되는 재난(가뭄, 홍수)으로 인해 상습 가뭄 및 홍수지역이 늘고 있으며, 상수원수 수질악화 및 수량 부족으로 체계적인 대응이 어려움

- 2025년 기준 지역별 용수 여유량은 6,472천 $\text{m}^3/\text{일}$ 인 반면 전국 161개 지자체 중에서 74개 지자체에서 용수수급 불균형으로 인한 총 2,377 $\text{m}^3/\text{일}$ (생활용수 703 $\text{m}^3/\text{일}$, 공업용수 1,534 $\text{m}^3/\text{일}$)의 용수 부족량이 발생함



[그림 4] 용수 부족 지역 전망(2025년 기준, 환경정책평가연구원(2016))

- 특히, 2015년 우리나라 가뭄은 충청남도 등의 지역에 용수 부족을 초래하였는데, 근본적 해소 보다는 가뭄 해소를 위한 긴급 예산이 지속 집행되고 있는 실정임
- 2014년부터 누적 되어온 강수량 부족이 장기간 지속되는 등 현실적으로 가뭄에 대응 가능한 지하수의 활용 기술 개발이 시급함
 - 2015년 충청남도 가뭄시 강우량은 평년대비 53.9%, 보령댐과 예당저수지의 저수율이 각각 2.3%, 22.5%까지 하강하여 주요 지표수원이 고갈 (하천유지용수 87% 감축)
 - 충청남도의 가뭄 극복용 예산 투자 : 총 895억원(국고 755억원, 지방비 270억원)
 - 가뭄이 발생하면, 대용량 수원 확보는 시간적·비용적 문제로 인해 용이하지 못하고 실제로는 공급지 인근에서의 무분별한 암반 지하수 개발이 주를

이루고 있어 체계적인 기술 마련이 시급히 요구됨

□ 지하수 개발 방식을 통한 가뭄 대응 기술의 후진성과 한계점에 대한 근본적 대책 필요

○ 기존의 경우, 가뭄발생시 긴급 지하수 개발은 일반적으로 최소한의 용수 확보를 위하여 수십 m^3 의 취수량 규모로 이루어져 왔으며 가뭄 종료 후 지속 활용되지 못하고 사용 중단되는 등 취수 규모상 체계적인 관리가 되지 못함

○ 따라서, 일정 용량 이상의 지속성을 담보할 수 있는 지하수 개발 기술 확보는 국가 재정 낭비 및 수자원의 안정적 활용 측면에서 시급히 요구됨

- 2015년 충청남도 가뭄시 단기적으로 지하수 대체수원 확보 물량 10천 m^3 /일을 계획한 바 있으며 장기적으로 비상수원 개발 등을 계획하고 있으나, 대용량의 안정적 지하수 개발을 위한 선진화된 기술이 미흡하여 계획의 효율성을 담보할 수 없음

□ 현재까지 국내 가뭄 관련 연구는 원인과 현상에 따라 기상학적 가뭄, 수문학적 가뭄, 농업적 가뭄 등 다양한 관점에서 접근이 이루어져 왔으나 가뭄시 가장 대표적인 대체수원이 되는 지하수를 활용한 가뭄 평가 및 가뭄시 지하수의 체계적 활용 연구는 거의 이루어지지 않은 상태임

현재 국토교통부에서는 “기후변화 대비 수자원 적응기술 개발 연구단 (‘14.9~’ 19.6)”의 2세부에서 가뭄 대응 용수확보에 대한 연구를 수행 중에 있으나, 학술적인 시나리오 연구 중심이며 댐 등 지표수를 활용한 방안을 검토하는 연구로서, 물 복지 취약지구의 소규모 지하수 용수 확보에 대한 본 과제와는 차별성이 있음

○ 기존의 가뭄지수는 강수량, 하천유량, 기온, 풍속, 습도, 용수공급에 따른 하천유량 등의 자료를 활용하고 있음

○ 특히, 하천 유량을 활용하는 가뭄지수는 하천의 건천화가 진행시 유량이 소멸되어 입력인자로서의 가치가 감소되나, 지하수위 자료는 극한 가뭄에도 측정이 지속되고 일관성이 있어 인자가 가뭄 예측 및 평가의 가뭄지수로 활용이 용이함

□ 현재 정부에서는 국가지하수정보센터(GIMS)에 지난 약 30년간의 Big data를 보유하고 있으며 지하수 관측망 등 IT 및 계측 장치가 기 구축되어 운영 중에 있으나, 가뭄시 이들 지하수 Big data 활용한 가뭄 대응 기술이 없음

○ 기존 상수원과 연계한 지하수위, 지하수질 정보, 상수원의 수질, 분지 내 가뭄 대응을 위해 Big data를 활용한 분지 내 가뭄 대응 시스템 개발이 필요한 상황임

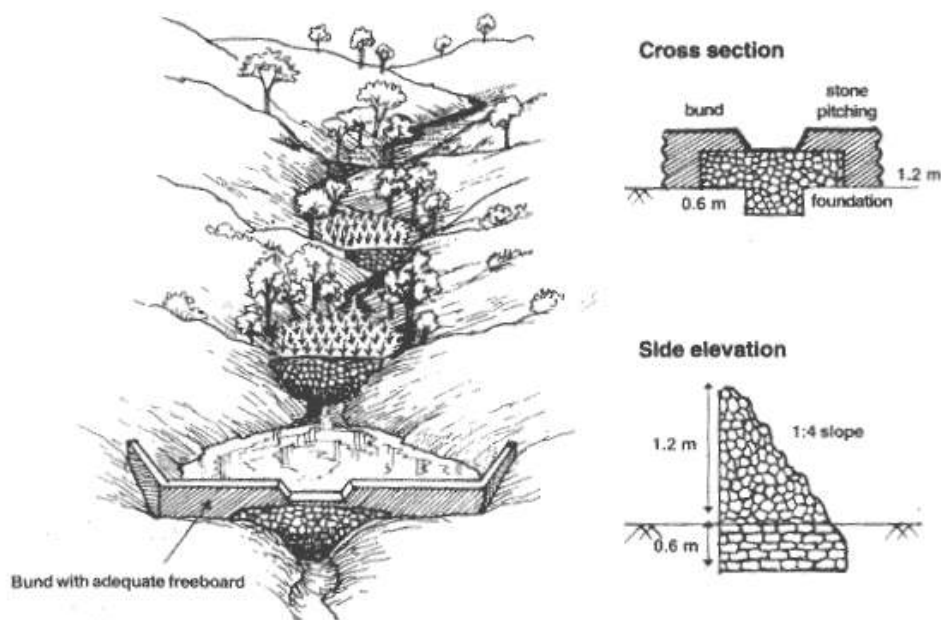
- 가뭄에 선제적 대응을 위해서는 지하수 고갈 발생 지역을 정의하는 지하수 고갈지수, 기존 관정의 가뭄시 취수 능력에 해당하는 가뭄 대응 능력의 평가 방법 개발 등이 요구되나 현재 이에 대한 기술 개발이 전무함
- 3-D 지하수 정보(시추, 착정, 양수시험), Map 정보(수문지질도, 지하수위분포도, 오염취약성 등), 관정현황, 지하수 이용량, 지하수 수질 및 변동 자료 등의 Big data의 통합 연계 활용 기술 미확보
- 가뭄이 심각해지고 장기화 될 경우 신규 지하수자원 확보를 위해 신규 대용량 관정의 개발이 필요하며 관정의 최적 개발 위치 선정에 위한 신뢰성 높은 탐사 기술이 요구됨
- 지하수관리기본계획(2012)에 따라 지하수 관측망은 지속적으로 확대 설치될 예정이나, 가뭄 관측 시설은 전무한 상태임. 지하수관리기본계획에 지하수 관측망 설치 계획은 포함되어 있으나 구체적인 기준, 기술 개발 등이 전무함
- 가뭄 발생시 신속하게 대용량 최적의 지하수 개발을 위한 관련 기술이 확보되지 않아 깊은 심도의 암반관정 개발로 지하수 과다 양수 및 난개발의 요인으로 작용함
- 가뭄시 즉각적 대책으로서 단기간 내 시공할 수 있는 대용량 지하수 시설 개발 기술에 대한 연구는 대용량 시설의 가능성 평가에 해당하는 예비연구(류상훈 외, 2011) 수준에 머무르고 있음
- 기 개발된 대용량 지하수 시설(100톤/일 이상 취수 가능시설: 전국 73,000공)을 효율적으로 활용하는 체계가 마련되어 있지 않아 가뭄시 효율적 대처가 되지 못함
- 기 개발된 공공지하수 시설이나 방치공은 주변 가뭄 시 지하수위 하강으로 인해 관정 내 퇴적물이 누적되어 수량 부족 현상이 발생하거나 시설 파손 등으로 재개발이 필요할 경우 관정 재개발 기술을 확보하여 비상시 활용토록 함
- 지류, 상류 등 대해 기존 소규모 시설의 가뭄 시 고갈문제를 해결 할 수 없는 단기 가뭄에 안정적 연구가 필요하며 인공함양이 수 십 m^3 ~ 수 천 m^3 이하의 시설물에 적합한 인공함양 최적 기술을 개발함으로써 가뭄 시 물 문제를 극복 해결 하는 기대 효과를 가짐.
- 국토교통부에서는 “가뭄 대비 지하수지원체계 구축 사업(2009~2026)”을 추진 중으로, 현재까지 18개 지역 시군을 대상으로 공공 지하수시설 현황 조사 및 보수 등의 사업을 진행하였으며 향후 연구를 통한 가뭄 대응 현장 기술이 확보되면 본 사업과 연계한 현장 적용 사업이 가능할 것임

<표 3> 공공 지하수시설 현황 조사 및 보수 사업 현황 및 계획

구분	계	기 완료	2015 ~ 2016	2016 ~ 2017	2017 ~ 2026
계	62	18	8	6	30
강원	2	-	-	홍천, 횡성	-
충북	8	보은('11), 괴산('15), 단양('15)	영동	-	충주, 음성, 청원, 제천
충남	4	-	-	서천, 예산, 공주, 청양	-
전북	6	-	장수, 진안	-	순창, 임실, 완주, 무주
전남	16	강진('13), 장흥('13), 신안 ('13), 무안('15), 담양('15)	구례, 고흥	-	해남, 완도, 여수, 곡성, 보성, 영암, 함평, 진도, 장성
경북	16	의성('11), 영양('14), 청송 ('14), 안동('15), 상주('15)	봉화, 울진	-	예천, 영천, 칠곡, 성주, 문경, 군위, 경주, 청도, 포항
경남	10	남해('13), 함양('13), 의령 ('13), 하동('14), 고성('14)	거창	-	밀양, 양산, 산청, 합천

- 우리나라 중소하천의 경우 급격한 도시화 및 하천 직강화 정비로 기저유출 감소, 갈수기 과도한 하천수 및 지하수 취수, 하상퇴적에 의한 복류수 증가 및 자정능력 약화로 인해 갈수기에 하천이 마르고 수질이 악화되는 현상을 보임
- 하천의 건천화 방지를 위해서 적정 하천유지유량 확보를 위한 시설 설치에 필요하나 하천의 환경 및 생태계 보전 등의 이유로 지상 댐의 건설이 어려운 실정임
 - 이에 지하차수벽이나 모래저장형댐을 통한 수량 확보 및 건천화 방지 대책이 필요함
 - 우리나라는 지표수-지하수 연계에 대한 연구가 수문학적인 분석적 접근으로 추진되어 왔으나, 실제 현장 시설의 연계 이용에 대한 연구 및 기술 개발 사례가 없음
- 지류 분지 중하류에서의 가뭄 대응을 위해서는 하천 부지 내외에서의 곡류화, 제내/제외지에서의 함양분지 등의 지하수-지표수 연계를 통하여 지하수 부존량 증대 기술이 요구됨
- 지속적 가뭄 발생에 따라 물공급의 사각지대인 유역 상류부 가뭄 대책 마련에 대한 수요가 급증하는 추세이며, 하천 및 상수도와 연계된 시스템 구축이 필요함
 - 지형경사, 수문지질 특성, 대수층 특성에 따라 적용 될 수 있는 지하수 함양

시스템(예: 모래저장댐)을 선정하여 하천유지 유량 증대 및 마을 상수도과 연계하여 용수 확보를 할 수 있는 소규모 용수공급 시스템 구축이 필요함



[그림 5] 모래저장형 지하댐 개요 (www.google.com)

- 지방·광역상수도에 비해 소규모 수도시설은 낮은 수질 안전성과 상대적으로 가뭄에 취약한 특성을 가지기 때문에 이들 시설이 집중된 읍·면·도서지역 등에 지하수를 연계한 안정적 용수관리 체계에 대한 검토가 필요하나, 이에 대한 연구는 거의 없음

[표 4] 취수원별 마을상수도 및 소규모급수시설 급수인구 현황(2010년 기준)

(단위: 명, %)

수원별	계		마을상수도		소규모급수시설	
	급수인구	비율	급수인구	비율	급수인구	비율
계	1,744,442	100	1,186,764	100	557,678	100
지하수	1,461,954	83.8	1,031,316	86.9	430,638	77.2
계곡수	193,135	11.1	101,872	8.6	91,263	16.4
용천수	36,871	2.1	14,985	1.3	21,886	3.9
지표수	25,222	1.5	18,360	1.5	6,862	1.2
복류수	22,754	1.3	16,269	1.4	6,485	1.2
호소수	2,566	0.1	2,429	0.2	137	0.0
기타	1,940	0.1	1,533	0.1	407	0.1

자료: 한국종합기술, 한국환경공단(2012.8), 「급수취약지역 상수도 보급확대 및 관리제도 개선방안 마련을 위한 연구」, p.10

- 농어촌지역의 급수인구는 83.8%가 지하수에 의존하는 실정으로 가뭄 등 비상시 용수 공급능력 제고를 위한 공공 지하수 시설과 지표수 용수 공급원의 연계 활용 및 공급 체계 개선 방안이 필요함
- 마을상수도 및 소규모 급수시설의 수원형태를 보면 지하수 취수시설 수가 전체의 79.4%를 차지하고 있어 가장 많은 비중을 차지하나, 현 시스템에서는 극한 가뭄에 대한 대응능력에 한계를 보이기도 함
- 가뭄시 한정된 수자원의 효율적 활용과 물부족으로 인한 국민피해 예방 및 최소화를 위해서는 물(용수공급)의 공공적 특성을 고려할 때 정부 지원 하에 조속한 기술개발이 요구됨
- 기후변화에 따른 수자원 변동 및 수재해에 유연하게 대응할 수 있는 사전 예방차원의 적응기술 개발 추진이 필요함
- 물관리 사업 중점추진 분야 중 안정적인 수자원 확보는 한정된 수자원을 효율적으로 활용하고 가용수자원의 시·공간적 불균형을 극복함으로써 물 부족으로 인한 국민 피해를 예방 또는 최소화하여 국민 물 복지를 극대화할 수 있는 기술로서 정부 지원하에 조속 시행이 요구됨
- 또한, 본 연구는 지하수 개발 기술이 핵심인 연구이나 하천수와 지하수의 연계적 특성을 고려할 때 하천유지용수 등의 확보에도 기여할 수 있는 지하수 확보 기술을 개발하고자 함
- 인공함양의 효과는 크게 자연 저류의 극대화, 대수층의 물리적 관리, 용수공급 시스템의 관리, 수질 관리 측면에서 차별성을 가지고 있음.

<표 5> 인공함양 효과 및 차별성

구 분	인공함양의 적용 분야 및 차별성	
자연저류의 극대화	- 계절적인 저류 - 장기간의 저류(Banking)	- 비상 저류 - 일상 저류
수질 관리	- 수질의 개선 - 발암성 소독 부산물의 저감	- 영양염류의 감소
대수층의 물리적 관리	- 지하수위의 회복 - 지반침하의 방지 - 오염체의 수리학적인 관리	- 해수침투의 예방 - 우물 취수량의 증대
생태적 장점	- 하천의 취수를 억제 - 지하수위 유지를 통한 보호지역관리	- 작은 환경적 영향 - 토지사용의 최소화
용수공급 시스템의 관리	- 배분시스템의 유량과 압력관리 - 처리수의 저장	
기타	- 수처리 시설의 확정 억제 - 재활용수의 저장 - 염 대수층의 활용 - 빠른 실행성 및 단계적 개발	- 낮은 비용 - 기후변화영향을 완화함 - 증발을 억제함 - 대용량 저장

2. 기획과제의 범위

- ☐ 본 기획연구에서는 관련 시장 및 기술 전망 분석을 통하여 “가뭄 대응을 위한 지표수 연계 기반 지하수자원 확보 및 활용 기술 개발”의 연구 개발 목표, 개발 내용, 추진전략 및 관련 기술로드맵을 제시하고자 함
- ☐ 본 기획연구에서는 아래와 같이 실제 연구개발이 요구되는 기술들을 상세 분석하여 연구개발 전략을 제시하고자 하며, 기획 과정에 다양한 의견을 수렴하여 보다 현실적이면서 도전적인 연구가 될 수 있도록 당초 제시된 RFP 상의 기획과제 범위를 재조정하여 기획함

가. 당초 RFP상 기획과제의 범위

- ☐ 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리 기술 분야 기술
 - Big data 기반의 가뭄 지하수 평가 기법
 - 지하수 토양 관측 기반의 가뭄 예측 기법
 - 저비용 지하수 토양 융합관측 장치 개발
 - 가뭄 대응 지하수 고부존 지역 탐사 기술 개발
- ☐ 지역특성별 지표수 연계 지하수 설계, 시공 기술 개발
 - 가뭄취약 지역인 지류 분지내 상중하 지역별 최적화된 지하수 개발 기술 확보
 - MAR 적용에 따른 하천 및 지하수 융합 유역평가 기술
- ☐ 가뭄 발생시 지하수 활용 및 관리 기술
 - 가뭄시 용수공급 능력 제고를 위한 지하수 개발 기술
 - 지역별(농촌, 해안, 도서 등) 가뭄/비가뭄별 최적 수자원 공급 시나리오 개발

나. 수정된 기획과제의 범위

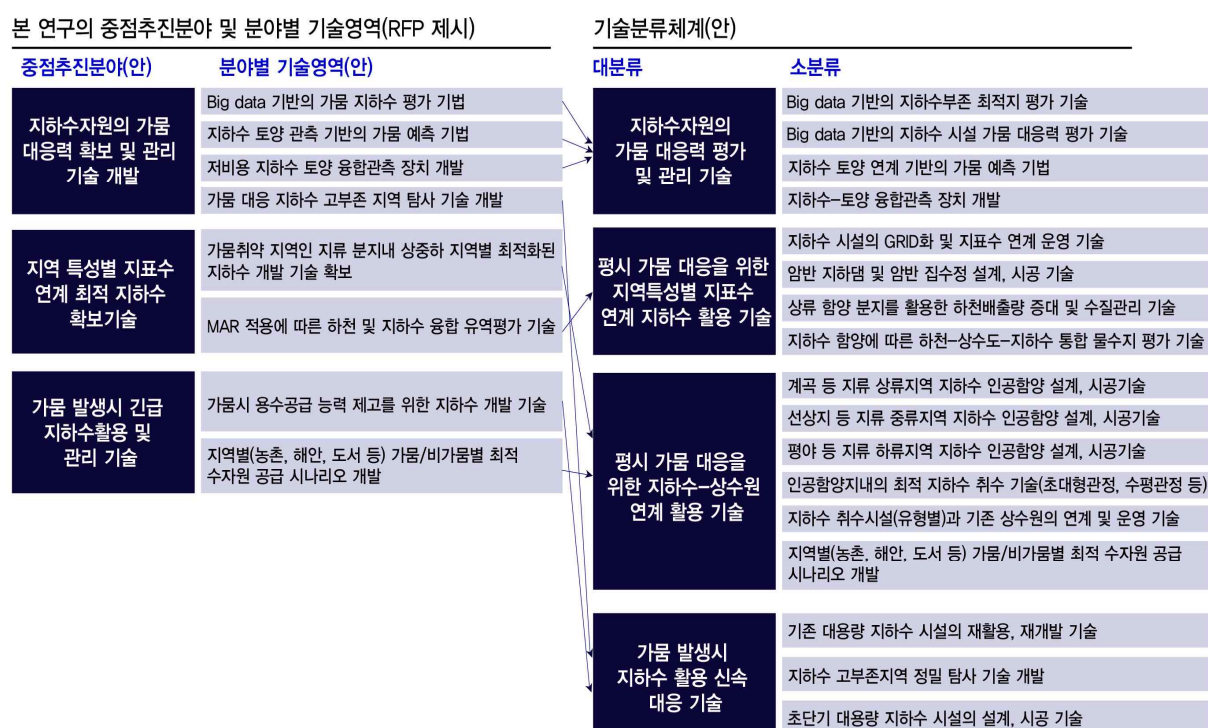
- ☐ 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리 기술
 - Big data 기반의 지하수부존 최적지 평가 기술
 - Big data 기반의 지하수 시설 가뭄 대응력 평가 기술
 - 지하수 토양 연계 기반의 가뭄 예측 기법

- 지하수-토양 융합관측 장치 개발
- 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용 기술
 - 지하수 시설의 network화 및 지표수 연계 운영 기술
 - 암반 지하댐 및 암반 집수정 설계, 시공 기술
 - 상류 함양 분지를 활용한 하천배출량 증대 및 수질관리 기술
 - 지하수 함양에 따른 하천-상수도-지하수 통합 물수지 평가 기술
- 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술
 - 계곡 등 지류 상류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술
 - 선상지 등 지류 중류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술
 - 평야 등 지류 하류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술
 - 인공함양지내의 최적 지하수 취수 기술(초대형관정, 수평관정 등)
 - 지하수 취수시설(유형별)과 기존 상수원의 연계 및 운영 기술
 - 지역별(농촌, 해안, 도서 등) 가뭄/비가뭄별 최적 수자원 공급 시나리오 개발
- 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술
 - 기존 대용량 지하수 시설의 재활용, 재개발 기술
 - 지하수 고부존지역 정밀 탐사 기술 개발
 - 초단기 대용량 지하수 시설의 설계, 시공 기술

2절. 기술분류 및 내용

1. 기술분류 체계도

- 최초 RFP에서 제시되었던 기술 범위를 토대로 기술 분류체계(안)을 아래와 같이 구성함
- 전문가 회의 및 검토를 통하여 4개 대분류, 17개 중분류로 구성
- 당초 중점추진분야에서 지역특성별 지표수 연계 최적 지하수 확보기술 분야가 지나치게 광범위하여 지표수와 지하수의 연계, 상수도와 지하수의 연계의 2개로 구분하였음



2. 기술분류별 기술내용

가. 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리 기술 분야 기술

- 4개의 중분류로 구분하고 각 중분류마다 하위에 1~2개의 소분류가 있음
- 가뭄에 대응하기 위한 지하수 활용 기술의 기반을 확보하는 분야로서, 지하수를 활용한 가뭄의 진단, 예측과 Big data의 지하수 정보 기반의 부존 평가 기술 및 고부존 지역의 탐사 기술을 확보함으로써 가뭄에 대응하는 지하수의 가치를 제고하는 기반을 구축함

- Big data 기반의 지하수 부존 최적지 평가 기술
- Big data 기반의 지하수 시설 가뭄 대응력 평가 기술
- 지하수 토양 연계 기반의 가뭄 예측 기법
- 지하수-토양 융합 관측 장치 개발

<표 6> 기술분류 체계도 1 (지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리 기술 분야)

대분류	중분류	소분류
지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리 기술	Big data 기반의 지하수부존 최적지 평가 기술	• 시추, 대수성, 관정 등의 Big data를 활용하여 가뭄 발생시 지하수 개발 적지의 신속한 결정을 위한 기술 • 가상 현실을 활용한 지하수 부존 서비스
	Big data 기반의 지하수 시설 가뭄 대응력 평가 기술	• 지하수 관정 등의 시설이 가뭄에 대응할 수 있는 지에 대한 정량적 평가 및 관리 기술
	지하수 토양 연계 기반의 가뭄 예측 기법	• 지하수위 및 토양수분 등의 복합적 데이터를 연계한 가뭄 예측 기술(가뭄 지하수 관측시설 설치 기술)
	지하수-토양 융합관측 장치 개발	• 저비용, 고효율을 전제로 한 신개념의 관측 장치의 개발 및 가뭄 관측정의 설치 운영

나. 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술

□ 4개의 중분류로 나뉘고 각 소분류는 다음과 같음.

- 지하수 시설이 network화 및 지표수 연계 운영 기술
- 암반 지하댐 및 암반 집수정 설계, 시공 기술
- 상류 함양 분지를 활용한 하천 배출량 증대 및 수질 관리 기술
- 지하수 함양에 따른 하천-상수도-지하수 통합 물수지 평가 기술

<표 7> 기술분류 체계도 2 (평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용 기술)

대분류	중분류	소분류
평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술	지하수 시설의 network화 및 지표수 연계 운영 기술	• 지역 특성(상류, 중류, 하류, 석회암, 해안, 내륙 등등)에 따라 지하수 시설의 연계 운영이 가능한 지에 대한 기술 개발 및 지표수 시설에 저장 등 연계 운영 기술
	암반 지하댐 및 암반 집수정 설계, 시공 기술	• 지역 특성에 따라서는 암반 지하댐이 가능할 것이며, 관련 취수시설 조사, 설계 및 시공 기술에 대한 제안
	상류 함양 분지를 활용한 하천 배출량 증대 및 수질관리 기술	• 지하수 함양 후 갈수기에 하천유지유량을 증대하는 목적에 활용되는 기술 아이템
	지하수 함양에 따른 하천-상수도-지하수 통합 물수지 평가 기술	• 지하수 함양 시설 운영 후 하천, 상수도 등과 연계한 물수지 평가 기술

다. 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술

□ 6개의 중분류로 나뉘고 각 소분류는 다음과 같음.

- 계곡 등 지류 상류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술
- 선상지 등 지류 중류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술
- 평야 등 지류 하류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술
- 인공함양지내의 최적 지하수 취수 기술(초대형관정, 수평관정 등)
- 지하수 취수시설(유형별)과 기존 상수원의 연계 및 운영 기술
- 지역별(농촌, 해안, 도서 등) 가뭄/비가뭄별 최적 수자원 공급 시나리오 개발

<표 8> 기술분류 체계도 3 (평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술)

대분류	중분류	소분류
평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술	계곡 등 지류 상류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술	• 지류 상류지역에서 가능한 지하수 인공함양 기술 및 관련 연구 아이템
	선상지 등 지류 중류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술	• 지류 중류지역에서 가능한 지하수 인공함양 기술 및 관련 연구 아이템
	평야 등 지류 하류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술	• 지류 하류지역에서 가능한 지하수 인공함양 기술 및 관련 연구 아이템
	인공함양지내의 최적 지하수 취수 기술(초대형관정, 수평관정 등)	• 각각의 인공함양 시설내에서의 지하수 취수 시설 유형별 개발 필요 기술
	지하수 취수시설(유형별)과 기존 상수원의 연계 및 운영 기술	• 지하수취수시설(집수정, 수평정, 암반지하수 등)과 상수원 취수장(정수장) 등과의 연계 및 운영에 필요한 기술
	지역별(농촌, 해안, 도서 등) 가뭄/비가뭄별 최적 수자원 공급 시나리오 개발	• 지역별(농촌, 해안, 도서 등)로 상기 언급된 다양한 기술들의 연계를 통한 최적 수자원 공급 시나리오 개발 대상 기술

라. 가뭄 발생 시 지하수 활용 신속 대응 기술

□ 3개의 중분류로 나뉘고 각 소분류는 다음과 같음.

- 기존 대용량 지하수 시설의 재활용, 재개발 기술
- 지하수 고부존 지역 정밀 탐사 기술 개발
- 초단기 대용량 지하수 시설의 설계, 시공 기술

<표 9> 기술분류 체계도 4 (가뭄 발생 시 지하수 활용 신속 대응 기술)

대분류	중분류	소분류
가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술	기존 대용량 지하수 시설의 재활용, 재개발 기술	• 가뭄 발생시 방치되고 있는 기존 공공시설이나 대용량 시설의 취수용량 증대 등 재활용에 필요한 기술 개발
	지하수 고부존 지역 정밀 탐사 기술 개발	• 가뭄시 신속한 최적지 탐사를 위한 지하수 고부존지역 정밀탐사 기술에 대한 연구
	초단기 대용량 지하수 시설의 설계, 시공 기술	• 기존의 강변여과 집수정 등의 방식과 차별화(장기, 고비용)되는 가뭄시 단기 시공이 가능한 대용량 지하수 개발 기술

제 2 장

동향조사 및 환경분석

1절 국내외 정책동향

2절 국내외 시장현황 및 전망

3절 국내외 기술동향

4절 연구개발 인프라 분석

5절 종합분석



2장. 동향조사 및 환경분석

1절. 국내외 정책동향

1. 국외 정책동향

가. 일본

□ 일본은 가뭄 재해에 따라 체제정비, 종합 갈수 대책 등 다양한 대책방안을 제시, 운영중

○ 1977~1978년의 오사카부 가뭄, 1978년 후쿠오카시의 가뭄 그리고 1993~1994년 일본 대가뭄이 발생하였으며, 1993~1994년 일본 대가뭄은 가뭄으로 인한 극심한 피해와 더불어 우리나라의 특별재난지역 선포에 상응하는 재해에 대한 가뭄격심재해 지정 및 이에 따른 조치 규정(제정 1994. 11. 24), 갈수대책 본부설치 등 체제정비 및 가뭄재난 중·장기 종합적 갈수대책을 제시함

<표 10> 일본의 대표적 가뭄피해와 대책 (소방방재청, 2009)

구분	명칭 및 연도	가뭄의 사례 및 현황	대책 방안
일본	오사카부 가뭄 (1977.7~1978.1)	- 정천의 고갈 - 28개시 7정 1단체 급수제한 - 제한급수로 출수불량 및 단수 발생	- 취수제한 및 제한 급수 - 정천 가뭄대책 연락자 회의 - 정천 가뭄대책회의
	후쿠오카시 가뭄 (1978)	- 강우량은 기상대 시작 이래 100년간 가장 적음 - 10개월간의 제한 급수 - 독립단위 5개 정수장 완전 단수상태	- 후쿠오카 갈수대책 강화 긴급조치요강 제정 - 인공 강우 - 후쿠오카시 절수형 물이용 등의 조치 요강 제정(1979.2.1) - 갈수대책담 건설 - 절수대책 및 절수 캠페인
	일본 대가뭄 (1993~1994)	- 니키다현, 나가노현, 와카야마현, 시로시마현, 사가현, 나가사키현, 쿠마모토현, 오미하현 외 8개 지역 - 1993년 6월 강수량 부족으로 7, 8월 출수기 극심한 가뭄 - 취수제한율 (10~90%) - 제한급수 및 비상용수보급 - 피해현황 및 지원 · 지정된 기간내 농작물(과실수, 야채, 잡곡, 콩류), 비료직물 · 열사병(폭염)으로14명 사망 · 피해면적 629,000ha · 추정피해액 1,409억엔	- 1994년 5월 상순 ~ 10월 중순까지 가뭄격심재해지정 및 이에 따른 조치 규정(제정 1994. 11. 24) - 갈수대책 본부설치 등 체제정비 - 중·장기 종합적 갈수대책 제시

□ 일본의 가뭄발생시 단계별 대응 방안

- 제 1단계는 절수 목표 5%로서 수요자에게 적극적인 절수 홍보를 실시함
- 제 2단계에서는 절수목표 5~10%로서 자율적인 절수 강화를 요청하는 한편 물 낭비형 이용의 중지를 요청함
- 제 3단계에서는 절수목표 10% 이상으로서 모든 수원별 대책과 절수 대책을 강구하고도 대응할 수 없을 때에는 시간급수(야간단수)에 의하여 급수량을 절감함
- 제 4단계에서는 절수목표 20% 이상으로서 시간급수(주간단수)에 의하여 급수량을 결정함

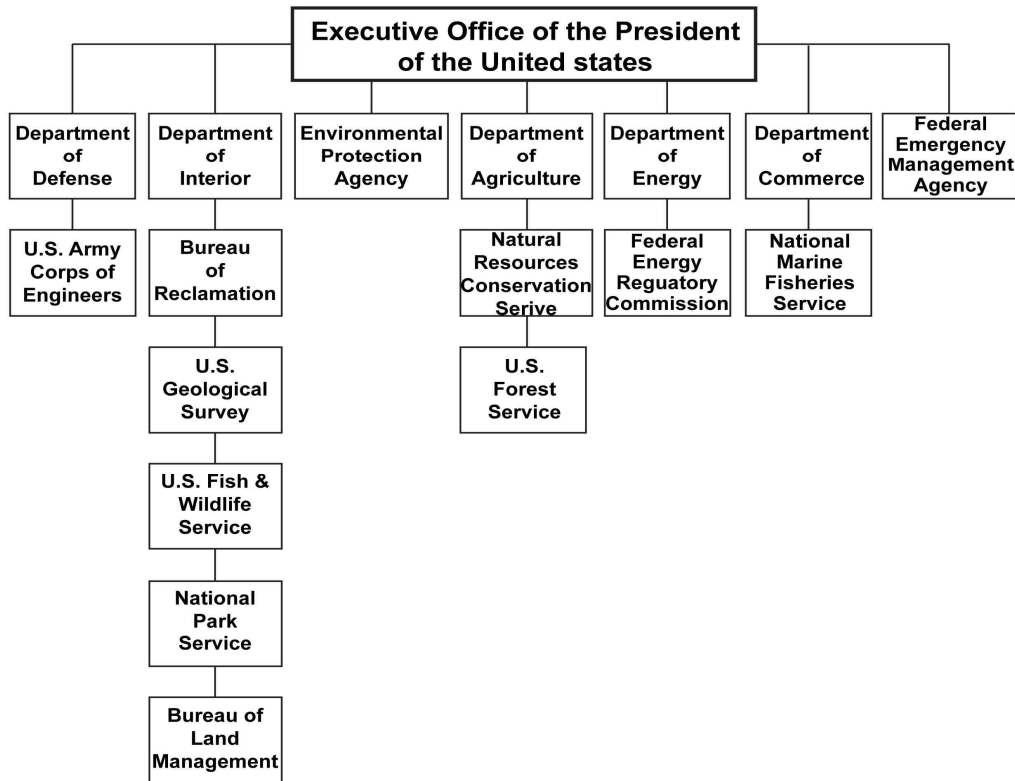
□ 일본의 가뭄에 대한 대책 방안으로서 평상시 가뭄 대책은 저수관리 시스템에 의한 관리임

- 저수 관리는 갈수시의 물 관리에 국한되어 갈수시 피해를 최소화하기 위한 가용 수자원의 적절한 배분 계획하에 수량을 조정, 통제하는 것임
- 공급 측면과 수요 측면에서의 대책방안으로는 안정적인 수자원의 확보, 수자원의 효율화, 물이용의 합리화 및 물공급 정보의 전달방안 등의 공급측면 방안과 절수프로그램의 자율적 참가, 우물 등 복수 수원의 보전 및 이용, 가격체계 도입의 수용, 강제적 제한의 수용 및 필요한 최소량 이용 방안 등과 같은 수요측면의 방안이 해당됨

나. 미국

□ 미국은 가뭄 등 기후변화에 대한 수자원 확보를 위해 연방정부, 주정부, 전문기관이 각각 역할을 수행하고 있음

- 연방정부는 기후변화 대응과 관련하여 안정적인 수자원 확보를 위해 최상위 계획 수립 및 물 배분을 결정함
- 주정부는 정책의 유연한 적용과 가뭄 및 홍수에 대비한 정책을 수립함(안재현, 2007)
- 전문기관인 미국지질조사국(USGS), 미공병단(USACE), 개척국(USBR) 및 미국환경보호청(EPA) 등은 물 부족 진단 및 수원 확보 등에 대한 기술적 지원을 수행함



[그림 6] 미국 연방정부의 수자원 관련 기관 조직도(안재현, 2007)

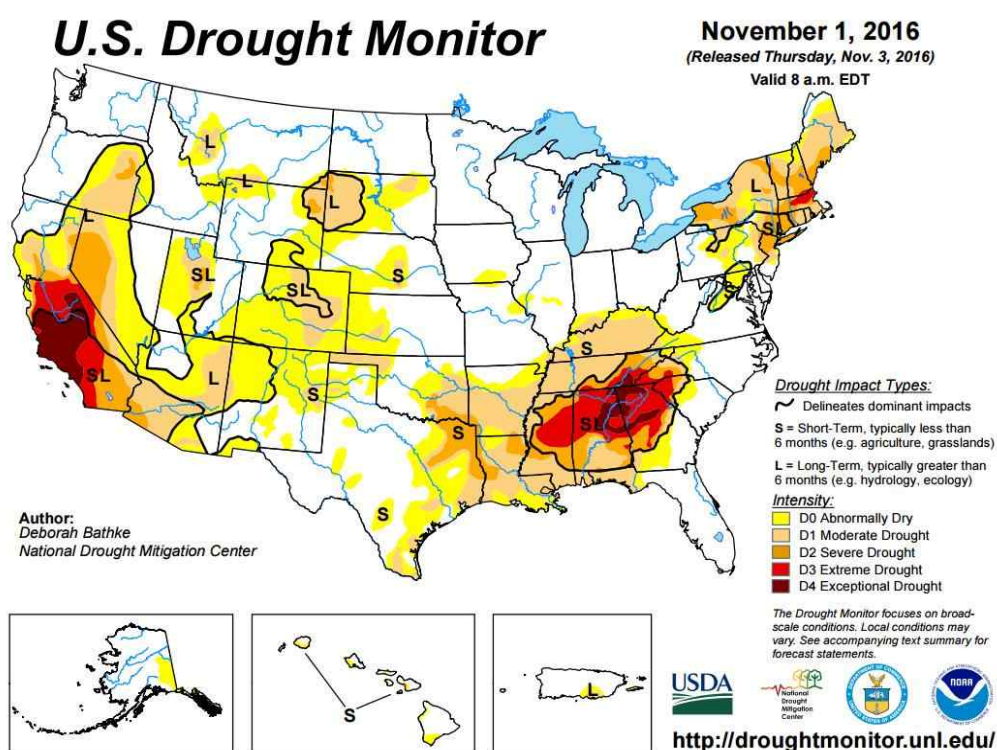
- 미국 의회에서는 1998년 국가가뭄정책법¹⁾과 2006년 국가통합 가뭄정보시스템법²⁾을 제정하고 현재 국가통합 가뭄정보 시스템을 구축·운영하고 있음
- 국가통합 가뭄정보시스템(NIDIS)³⁾의 목적은 가뭄 시 위기관리 능력향상, 잠재적 가뭄영향 평가 및 가뭄영향의 경감임



[그림 7] 미국의 가뭄 통합포털 홈페이지(NIDIS, 2016)

- 1) National Drought Policy Act
- 2) National Integrated Drought Information System Act
- 3) National Integrated Drought Information System

- 연방정부, 주정부, 여러 지역 및 연구단체와 긴밀한 협력하에 지역별 가뭄 조기경보 시스템(Drought Early Warning System)과 가뭄모니터링 시스템(Drought Monitor System)을 구축함
- 정부와 일반인은 미국 가뭄포털 사이트를 통해 미국전역의 가뭄 현황 및 가뭄 조기경보 등의 정보를 이해하기 쉽도록 표준화된 방식으로 제공받음
- 1995년 브라스카-링컨대학과 연방정부의 협력하에 국립가뭄경감센터(NDMC)⁴⁾를 설립하고, 가뭄모니터링 시스템을 운영하고 있음(NDMC, 2016)
 - 설립 목적은 가뭄에 대해 정책 결정자와 국민들의 이해부족, 연방정부와 주정부 간에 연계관리, 재정적 어려움, 미국 전역의 물을 포함한 천연자원 관리에 대한 단일체계 부족, 지역별 가뭄에 대한 다른 시각 등의 문제점의 해결임



[그림 8] 국립가뭄경감센터의 가뭄모니터링시스템(NDMC, 2016)

- 이 센터는 6가지 가뭄지수를 조합 활용하여 미국 전역의 가뭄상황을 보기 쉽게 지도에 나타내는 가뭄모니터링시스템(U.S Drought Monitor, USDM)을 개발하였고 매주 목요일 미국가뭄포털 사이트에서 다양한 정보를 제공하고 있음
- 이 지표들을 분석한 종합적 결과는 각 방송매체 및 농무성 등 수자원 관련 기관에 제공함
- 그 외에 가뭄관련 최근 소식과 10단계 가뭄계획(10 Step Drought Planning), 지역

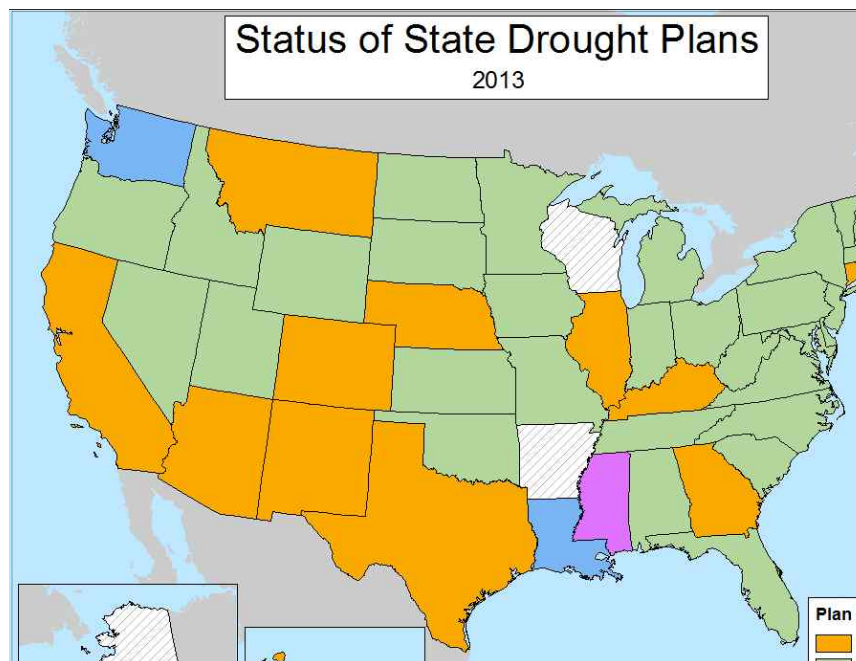
4) National Drought Mitigation Center

가뭄대비가이드(Guide to Community Drought Preparedness) 등을 발간하고 있음

- 가뭄모니터링시스템은 다양한 가뭄지수를 조합 및 활용하여 하나의 지도로 알기 쉽게 표현하고 있음

□ 국립가뭄경감센터에서는 주별 가뭄계획에 대한 기본적인 검토를 실시하고 있음

- 이 검토를 바탕으로 가뭄발생시 직접적인 위험을 줄이기 위한 단기 조치 또는 정책에 중점을 둔 대응계획(Response Plan)과 가뭄발생 전 가뭄의 영향을 줄이기 위한 장단기 조치 및 정책인 경감계획(Mitigation Plan)의 2가지 계획으로 크게 분류됨(NDMC, 2016)
- 이 밖에 현재 계획을 가지고 있지만 계획을 수립하는 과정에 있지 않은 상태인 개발(Under Development), 가뭄계획이 지방자치단체에 위임되어 있는 상태인 지방 당국대표(Delegates to Local), 공식적인 가뭄계획문서를 사용할 수 없거나 존재하지 않는 상태인 계획 없음(No Plan) 등으로 분류됨



[그림 9] 미국 주별 가뭄계획 상태(NDMC, 2016)

- 국립가뭄경감센터는 매년 업데이트 된 가뭄계획 정보를 지도에 표시하고 있음
- 1980년대에 처음 개발된 주 가뭄계획은 대응을 강조하였으나 1990년대 중반 이후 가뭄경감을 강조하는 계획으로 진행되고 있음
- 2013년 미국 주별 가뭄계획 상태에 대한 요약은 아래 표와 같음

<표 11> 미국 주별 가뭄계획 상태 요약 (김연주 외, 2013; NDMC, 2016)

주(state)	가뭄대응계획	계획내용	유형
알래스카	협업적 관리	▶ 서부연합 가뭄대비 재정마련	-
애리조나	취약성 파악	▶ 가뭄에 대한 지역적 취약 파악	M
	가뭄모니터링	▶ 가뭄지수 개발 및 활용증대	
	협업적 관리	▶ Governor's Drought Task Force을 조성 및 전문가들이 가뭄진단과 모니터링	
캘리포니아	취약성 파악	▶ '가뭄 취약성 지도' 작성을 통한 물공급 계획	M
	가뭄모니터링	▶ Cabinet Drought Steering Committee 조성으로 사회 및 경제적 영향을 모니터링 및 회의개최	
	자원보존	▶ 물의 재사용 촉구	
콜로라도	협업적 관리	▶ Drought Mitigation and Response Planning Committee 조성하여 연합가뭄관리 의도	M
	취약성 파악 및 가뭄모니터링	▶ 가뭄 원인과 영향을 토대로 가뭄 취약성 평가 및 미래 가뭄예측	
코네티컷	협업적 관리	▶ 정기적 가뭄회의를 통한 가뭄평가 및 대응책 마련하여 최상위기관인 Interagency Drought Workgroup에 보고서 제출	
	가뭄모니터링	▶ 하천유량에 대한 지속적인 모니터링을 실시	
플로리다	-	▶ 가뭄에 취약한 지역을 우선순위로 물공급	M
	수자원 보존	▶ 수력발전을 위한 유량충족 및 화재방지 등 최소필요 유량 확보	
	교육 및 캠페인	▶ 공공 outreach 캠페인 확대 실시	
조지아	수질	▶ 최소수질요건을 정해 저수지 등을 통한 유량조절	M
	농업보호	▶ 극심한 가뭄상황에서 Flint River Drought Protection Act를 시행하여 법적 보호	
하와이	협업적 관리	▶ Hawaii Drought Council 구성을 하여 현재 가뭄모니터링 및 가뭄피해 경감계획 등 조정	M
	가뭄모니터링	▶ 표준강수지수를 활용한 가뭄모니터링 및 자료관리, 미래 가뭄예측	
	취약성 파악	▶ GIS 맵핑 프로젝트를 활용한 가뭄 위험성 및 취약성 평가 및 종합적 이해·분석	
아이다호	협업적 관리	▶ 여러 기관과 협업하여 기술원조 계획하고 물공급, 에너지 데이터 및 물공급 가능성 예측 수행	R
	교육 및 캠페인	▶ 가뭄에 대한 일반인 환경교육 및 캠페인 실시	
일리노이	취약성 파악	▶ 물공급과 가뭄 취약성을 평가 후 웹사이트에 게시	U
	가뭄모니터링	▶ 일리노이 환경보호기관에서 공공용수 공급과 물부족 단계 진단	
인디애나	교육 및 캠페인	▶ 일반인 물사용에 대한 '보존프로그램' 책 발간	R
캔자스	수자원 관리	▶ 유역모델을 이용한 물공급 및 수요관리 프로그램 시행	R
켄터키	가뭄모니터링	▶ 지표수 모니터링 네트워크 개발을 이용한 가뭄영향 추적	M
	취약성 파악	▶ 농업용수, 환경용수 등으로 분류하여 사용 가능한 물의 수량 및 수질평가	
	교육 및 캠페인	▶ 가뭄모니터링 웹사이트를 통한 가뭄 정보공개	

<표 11> (계속)

주(state)	가뭄대응계획	계획내용	유형
메릴랜드	가뭄모니터링	▶ 주단위로 가뭄상태 평가	R
	수자원 관리	▶ 산업영역에서 물보호 계획수행을 통해 최소 10%까지 절수	
미네소타	수자원 관리	▶ 일반인 물사용에 대한 규제 및 준수 유도	R
	사후 대응	▶ 필수적인 생수 및 위생용수 등 필요시 공급	
미주리	사후 대응	▶ 극심한 가뭄일 때 가뭄실행위원회가 공중보건, 사회경제 및 환경요소를 고려하여 장단기 행동강령 수행	D
네브라스카	수자원 관리	▶ 새로운 수자원 개발 및 수량과 수질관리	M
	갈등 조정	▶ 관계자 간의 협조를 통해 규제를 유연하게 설정	
	교육 및 캠페인	▶ 대중 매체를 통해 가뭄정보 전달 및 가뭄 관련 워크숍 개최	
뉴햄프셔	수자원 관리	▶ 물사용 규제 및 노후화된 상수도 보수 등을 통한 수자원 확보	R
뉴저지	수자원 관리	▶ 관개시스템 재정비를 통한 수자원 확보	R
	교육 및 캠페인	▶ 대중 매체를 통해 수자원 보존기술 전달	
뉴멕시코	가뭄모니터링	▶ 모니터링 그룹을 조성하여 수자원 및 기후 전문가들 참여	M
뉴욕	협업적 관리	▶ Statewide Drought Response Plan을 통해 각 주간의 계획격차 극복	R
	가뭄모니터링	▶ 장기 모니터링 프로젝트팀을 구성하여 실시간 정보 수집 및 분석수행	
노스캐롤라이나	가뭄모니터링	▶ 수자원부에서 지속적인 모니터링을 하여 긴급관리 부서로 자료 전달	R
	사후 대응	▶ 물사용 제한 및 수자원 보존	
오클라호마	협업적 관리	▶ Oklahoma Drought Management Team을 구성하여 효과적으로 가뭄을 대비함	R
	교육 및 캠페인	▶ 수자원 웹사이트 게시판 등 가뭄관련 정보 공개	
오리건	수자원 관리	▶ 유량에 따른 수질모델을 이용한 물관리	R
	취약성 파악	▶ 인구 및 물사용 현황 파악	
펜실베이니아	수질 보존	▶ 지하수 및 지하수 개발 관리	R
테네시	협업적 관리	▶ 연방 및 지역기관과 협업하여 가뭄정보/대응 공유	R
	수질 보존	▶ Tennessee Department of Environment and Conservation에서 폐수 방류, 저수지 관리 등 전반적인 수질관리	
텍사스	교육 및 캠페인	▶ 가뭄경감 프로그램, 가뭄지침서 발간 등을 통한 일반인 가뭄대응 유도	M
유타	교육 및 캠페인	▶ 연방 및 주의 프로그램을 통해 가뭄경감법 제공	R
버지니아	가뭄모니터링	▶ 가뭄모니터링을 이용한 전문가들의 과학적인 행동강령 제시	R
	사후 대응	▶ 물부족 시 불법 관개금지, 포장도로 세척 및 여가활동 등 물사용 규제	
워싱턴	가뭄모니터링	▶ 생태수질 프로그램을 통해 가뭄 모니터링 강화	U
	교육 및 캠페인	▶ 가뭄경감 및 대응대출 프로그램을 통해 피해구제	
와이오밍	협업적 관리	▶ Wyoming Drought Task Force를 구성하여 가뭄대응에 대한 전반적인 행동을 제시	R
	가뭄모니터링	▶ 기상, 기후 및 토양수분을 모니터링하여 구체적인 가뭄계획 유도	

*유형설명: M (Mitigation plan), R (Response plan), D (Delegate to local), U (Under Development), - (none), 가뭄계획이 없는 주는 제외함

- 2015년 캘리포니아의 경우 1,200년 빈도의 극한가뭄이 4년째 지속되고 있으며, NDMC에서 제공하는 가뭄 모니터링 및 가뭄 전망 정보를 바탕으로 다음과 같은 가뭄 대응전략을 수립하고 있음(State of California et al., 2010).
 - 가뭄지수를 통한 가뭄 조기 발견과 모니터링
 - 대중 교육, 캠페인 및 가뭄보고서를 통한 주민 참여 유도
 - 장·단기 수자원 개발 계획을 위한 기관들의 협력 강화 등
- 캘리포니아 주는 가뭄이 가장 심했던 지역으로 가뭄에 따른 대책방안 마련으로 물관리 계통에 많은 개선이 이루어짐
 - 지난 20여 년간 가뭄이 가장 극심했던 캘리포니아 주의 경우 연평균강우량이 약 530 mm로 상당히 적은 편임
 - 강우량의 편차도 심하여 76 mm에서 3,048 mm까지의 넓은 범위를 가짐
 - 캘리포니아에서 발생한 가뭄은 1929-1934년 6년간의 가뭄, 1976-1977년 2년간의 가뭄, 1987-1992년 6년간의 가뭄임
 - 특히 1976-1977년의 가뭄은 그 우심도가 심하여 경제적인 손실이 약 24억 불에 이르렀으며 이를 계기로 캘리포니아 물 관리 계통에 많은 개선이 이루어짐

<표 12> 미국의 대표적 가뭄피해와 대책 (소방방재청, 2009)

구분	명칭 및 연도	가뭄의 사례 및 현황	대책 방안
미국	캘리포니아 (1987-1992/ 6년 가뭄)	- 물공급 프로젝트 구역 내 농업용수 공급 중단 - 도시구역 소요수량 30%공급 - 수력발전 감소로 인한 5억불 주민부담 - 생태교란, 산림고사, 어류산란율감소 - 해수침입 가속화	- 주지사 시행령 W-3-91 - 가뭄극복 실행팀 구성 - 가뭄이 심각한 지역으로 재해지역 비상상태선포 - 재난구호청(연방/주정부 재정지원프로그램 - 가뭄정보센터, 가뭄대책 물은행, 물부족대처계획 등

- 캘리포니아는 2012년부터 가뭄이 계속되고 있어, 지난 1895년 이후 최저 강우량을 경신하고 있는 상황임
- 미국 해양대기관리처는 나무 나이테를 통해 강우 축적자료를 비교 분석한 결과 이번 가뭄이 1200여년 만의 역대 최악의 가뭄이라고 밝혔으며, 미국 우주항공국(NASA)이 공개한 지구중력장 및 기후측정위성(GRACE) 사진 역시 2002년에 비해 캘리포니아주의 심각한 가뭄 상황을 보여주고 있음

- 가뭄상황이 개선될 기미가 보이지 않자 주 정부는 도시 지역 25%에 강제절수 조치와 물절약 홍보 등을 추진하고 있음
- 캘리포니아 수자원관리위원회는 기초 자치단체별 물 사용량에 따라 작게는 8%에서 많게는 35%까지 절수 할당량을 강제 배분하는 정책을 시행함
 - 캘리포니아주 농업의 중요성과 농업에서 물이 차지하는 비중을 고려해 농업용수는 절수대상에서 제외하였으며, 전체 물 사용량의 80%를 차지하는 농업용수를 제외하다 보니 다른 업종에서의 물 절수는 극한 상황까지 도달함
 - 골프장·묘지 등 대규모 잔디밭을 보유한 시설은 의무적으로 절수 대책을 마련하고, 물 사용량이 많은 농장·목장 등은 주 관계기관에 매달 물 사용량을 정기적으로 보고하며, 가정집에서도 잔디밭 465만 m²가 제거되었고, 가정에서도 사용량에 따른 요금 할증 누진제 추진
 - 수자원 인프라 지원 정책으로서 10억 달러 규모의 긴급 법안이 마련되기도 했으며, 이 예산은 주요 농산물 생산지인 센트럴밸리 지역 주민의 물조달을 위한 해수담수화, 물 재활용 시설비로, 또 가뭄피해 커뮤니티에 대한 지원으로 활용됨

<표 13> 미국 캘리포니아의 단계별 가뭄 대응대책

단계	내 용
1단계 (이례적 건조기)	•수자원부에서 중앙대책을 위한 가뭄작전상황실 가동 •가뭄 모니터링 위원회 소집 •주립시설의 수자원 보존을 위한 규제 정책 •지역적 영향과 가뭄정보 수집 •대중매체를 통해 주립시설 물 사용에 대한 정보 제공 •급수시스템을 위한 기금 조성으로 지역 가뭄 대응과 유역시설 관리
2단계 (가뭄 초기 단계)	•1단계 대책에 더하여 긴급 행동 강령 발표 •물 이용을 10%까지 감소 장려 •의무적 물 보존과 절수, 지표수 공급 준비 •다양한 주체자와의 소통과 워크숍, 가뭄 교육 강화, 물 보존 단체 지원 •기술자원과 긴급 인프라 등 제공으로 신속한 수자원 보충 •연방 및 주립 시설에서의 물 절약 강화 •물 절약 캠페인
3단계 (극심한 가뭄 단계)	•1~2단계에 더하여 긴급가뭄선언으로 가뭄대책위원회 발족 •물 이용 20%까지 감소 장려 •협력적 대응을 통해 가뭄경감과 대응 원활화 •지속적으로 가뭄 상황 조사/보고 •미디어 매체를 통한 가뭄 교육 장려
4단계 (극단적 가뭄 단계)	•1~3단계에 더하여 물 공급시설 준비 및 비상전력 공급 •수자원 재이용 시설 활성화 강화 •불필요한 물 사용 감소(물 관련 기관과 야생보호를 위한 수자원 제외)
5단계 (물 공급마저 중단된 이례적 가뭄)	•1~4단계에 더하여 물 공급 비상사태임을 선언 •캘리포니아 국가안보 활성화 •물 사용은 건강 및 안전을 위해서만 사용 가능 •심한 경우 인구 이주

- 미국의 상수도에 대한 지하수 의존성을 분석해 보면, 2010년 미국인구의 약 86%는 상수도에 의존하며 그 외에는 가정용 지하수를 이용함(USGS, 2010)
- 미국은 2010년에 연중 최소 60일 이상, 25명 이상 또는 15개소 이상의 급수 전에 정기적으로 물공급을 하는 공공수도시스템이 159,945개 이며 약 420억 gal/day의 물을 소비함
- 수도시스템은 공급받는 인원 에 따라 규모가 달라지는데 10,001명 이상에게 공급할 수 있는 수도시스템 규모의 경우 4,217개로 전체 8%에 불과하지만 약 2억 4천만 명(82%)에게 물을 공급함

<표 14> 미국의 급수 인구에 따른 상수도 시스템별 현황(USEPA, 2011)

		Water System Population Size Category					
		Very Small 500 or less	small 501~3,300	Medium 3,301~ 10,000	Large 10,001~ 100,000	Very Large >100,000	Totals
C W S	# systems	29,711	14,031	4,914	3,801	416	52,873
	Pop. served	4,905,001	20,085,926	28,625,856	108,506,758	138,079,831	300,203,372
	% of systems	56%	27%	9%	7%	1%	100%
	% of pop	2%	7%	10%	36%	46%	100%
N T N C W S	# systems	16,577	2,669	134	19	1	19,400
	Pop. served	2,283,468	2,765,182	706,618	447,755	203,000	6,406,023
	% of systems	85%	14%	1%	0%	0%	100%
	% of pop	36%	43%	11%	7%	3%	100%
T N C W S	# systems	84,785	2,780	94	12	1	87,672
	Pop. served	7,471,915	2,703,546	518,014	385,072	2,000,000	13,078,547
	% of systems	97%	3%	0%	0%	0%	100%
	% of pop	57%	21%	4%	3%	15%	100%
Total # of systems		131,073	19,480	5,142	3,832	418	159,945

*Number of systems (# Systems)

*Aggregate population served (Pop. Served)

*Proportion of the total number of public water systems (% of Systems)

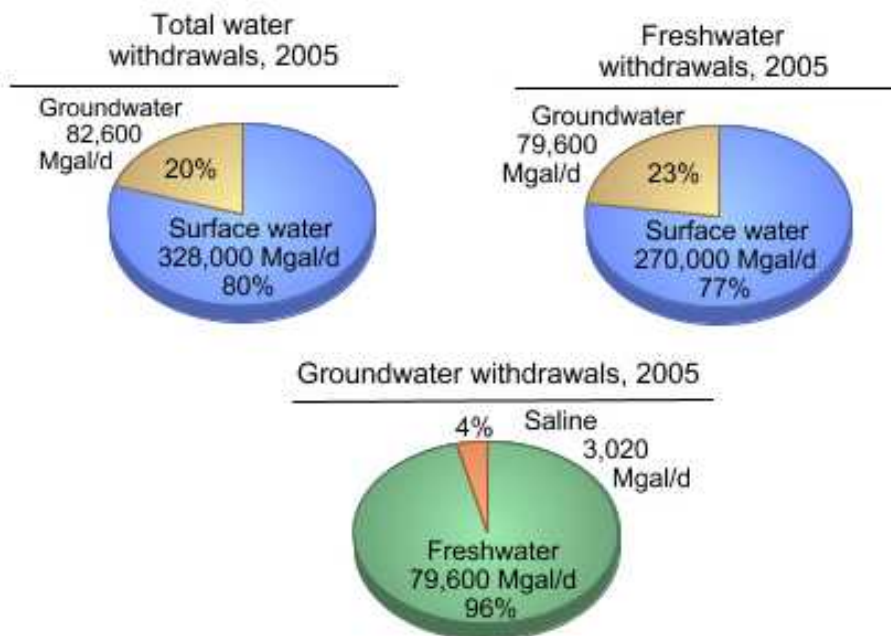
*Proportion of the total population served by all water systems (% of Pop.)

- 미국에서 대부분의 물공급을 담당하는 지역 수도시스템 중 수원별로 살펴보면 지하수 40,813개(77%), 지표수 11,976개(23%)로 지하수 의존율이 지표수 의존율 보다 약 3.5배 많음
- 반면 급수인구는 지표수 70%, 지하수 30%로 나타나 지표수의 물공급량이 지하수에 비해 많다는 것을 확인할 수 있음
- 주유소, 캠프장 등에 물을 공급하는 일시 이용 수도 시스템(TNCWS)에서는 지하수를 이용하는 수도시스템(97%)과 급수인구(80%)가 지표수에 비해 월등히 많음(USEPA, 2011).

<표 15> 상수도 시스템별 지하수 및 지표수 사용현황(USEPA, 2011)

		Groundwater	Surface Water	Totals
CWS	Number of Systems	40,813	11,976	52,789
	Population Served	89,459,821	210,721,362	300,181,183
	% of Systems	77%	23%	100%
	% of Population served	30%	70%	100%
NTNCS	Number of Systems	18,581	776	19,357
	Population Served	5,529,352	869,312	6,398,664
	% of Systems	96%	4%	100%
	% of Population served	86%	14%	100%
TNCWS	Number of Systems	85,303	2,190	87,493
	Population Served	10,490,113	2,575,140	13,065,253
	% of Systems	97%	3%	100%
	% of Population served	80%	20%	100%
	Total # of Systems	144,697	14,942	159,639

- 미국의 2005년도 지하수 이용률을 살펴보면, 전체 취수량 중 약 20% (82,600 million gallons per day)를 지하수를 이용하며 1985년 지하수 사용 수준보다 14 % 증가하였음⁵⁾



[그림 10] 미국 전역의 지하수 이용 비율

5) <http://water.usgs.gov/edu/wugw.html>

□ 미국 전역의 지하수 취수현황은 다음과 같음⁶⁾



[그림 11] 미국 전역의 지하수 취수 현황

□ USGS에서는 지하수자원 프로그램을 통해 지하수 양정과 기저유출의 관계를 통해 하천에 미치는 영향 분석을 수행함

○ 이에 대한 정보를 바탕으로 국가에서의 지하수자원의 이용 가능성을 평가하는 분석도구를 개발하여 수자원 관리에 활용하고 있음

○ 전체적으로 85만개의 측정 지점이 있고 데이터 구축은 약 2만 여개의 관측 지점에서 정보를 실시간으로 제공하고 있음

○ 1900년부터 2008년까지 지하수 누적 감소량을 분석한 결과 전체적으로 지하수의 감소는 약 1,000 km² 에서 나타나며 점점 증가하는 추세임⁷⁾

□ USGS(2010)에 의하면 미국의 지하수 사용량은 과거와 비교하여 증가추세에 있음

○ 공공상수도 공급이 잘 이루어진 도시지역이 아닌 경우 지하수 의존도는 높으며, 특히, 지하수 사용량 증가로 인해 과거와 비교하여 지하수위가 400 ft 이상 감소된 지역도 발생함(USGS, 2008)

○ 지하수 이용량을 용도별로 지표수와 비교해보면 생활용수의 경우 지하수 사용비율이 98%로 대부분을 지하수에 의존하고 있음⁸⁾

6) <http://ga.water.usgs.gov/edu/wugw.html>

7) 강형식 등, 2015. 지하수 의존도에 따른 수생태계 관리를 위한 기저유출지표 개발 및 활용방안 연구. 한국환경정책평가연구원

8) www.epa.gov

<표 16> 미국의 용도별 지하수 사용 비율

구분	공공용수	생활용수	농업용수	축산용수	수경재배용	공업용수	광산용수	발전용수
총사용량	43,300	3,590	137,000	1,760	3,700	19,780	2,010	195,500
지하수(%)	37	98	42	57	29	19	38	0
지표수(%)	63	2	58	43	71	81	62	100

○ 미국의 지역별 지하수 사용량 중 캘리포니아, 텍사스, 네브래스카, 알칸사스 및 플로리다의 경우 50% 이상 지하수에 의존하고 있으며, 캘리포니아의 경우 농업발달의 이유로 지하수가 활발히 이용되고 있음

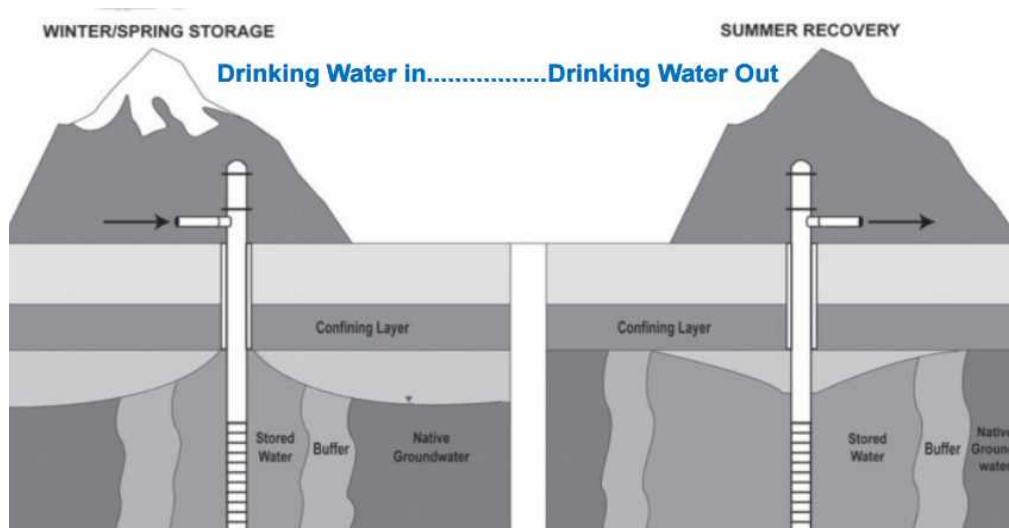
□ 미국은 전세계적으로 인공함양에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있음

○ 시설에 대한 투자와 연구는 꾸준히 이어져 서부와 플로리다의 여러 지역에서 인공함양을 통한 수자원관리가 이루어지고 있음



[그림 12] 미국의 ASR 위치도

○ 아래 그림은 미국 서부의 Oregon주에서 ASR 방식을 이용해 운영 중인 3지점 중에서 Beaverton에서의 ASR정호 및 현무암 대수층의 개념도이고, 운영 결과에 따르면 기존 지표수 취수 및 지표 저류조 저장 방식에 비해 월등히 경제적이고 효율적인 것으로 나타남



[그림 13] 미국 Oregon주 Beaver ton에서의 ASR정호 및 현무암 대수층의 개념도

- 캘리포니아 오렌지 카운티(Orange County) 심장부에 있는 남가주(Southern California) 관목 사막 밑에는 지역 용수시설이 처리수를 지하수 저장(managed underground storage) 방법을 이용하여 지하에 저장하고 있음
- 지하수 고갈에 대한 대처방안으로 캔사스 주의 Intensive Groundwater Use Control Area policy, 위치토(Whichita)의 Aquifers Storage and Recovery Programme 등이 있음⁹⁾
- 캔사스주는 1978년 입법기관에서 기관장에 의한 IGUCAs 지정에 권한을 부여하는 KSA 82a-1036을 제정함
- IGUCAs란 Intensive Groundwater Use Control Area의 약어로서 집중적 지하수 이용 규제 지역을 의미함
- 해당 지역들은 현재 지하수가 감소하고 있는 지역이거나, 지하수를 펴내는 양이 저장된 양보다 많은 경우, 물의 오염이 있는 경우 등에서 지하수 취수를 금하는 실질적 규제를 받게 됨
- 현재 캔사스 주에서 해당 규제 구역으로 선정된 지역은 1979년에 지정된 맥퍼슨(McPherson)지역에서 2001년에 개정된 Wet Walnut 지역까지 총 8개 지역에 이르고 있음
- 위치토 지역에서 실행 중인 Aquifers Storage and Recovery Programme(ASR program)는 지속 가능한 지하수 사용을 실현시키기 위하여 만들어짐
 - 해당 프로그램의 원리는 홍수 시 아칸소(Arkansas) 강으로 부터 불어난 물을 모아서 정화시키고, 정화시킨 물을 다시 지하수 대수층으로 되돌리는 것임

9) 미국통신원, 강영은. 미국 지하수 고갈 관련 이슈 및 대처 방안

- 텍사스 오스틴 주립대 연구진의 결과에서는, 미국 센트럴 밸리(Central Valley)지역의 지하수 고갈 문제 해결을 위하여 ‘recharge’를 통한 지하수 저장량을 늘릴 것을 권고함

다. 영국

- 1973년 영국은 물법 개정을 통해 유역통합수자원관리 개념을 도입하였으며, 이후 1989년의 물법 재개정을 통해 기존의 비효율적인 수자원관리 문제를 개선하고자 유역관리청의 수자원관리 및 수질규제업무를 이관하여 국립하천청(NRA)¹⁰⁾을 신설함
- 국립하천청(NRA)은 1996년 환경청(Environment Agency, EA)으로 전환되면서 종합적 수자원관리 기구로 재탄생하여, 현재에는 영국의 이수, 치수, 하천환경관리 및 수질규제 등의 수자원 관리에 대한 종합적인 업무를 총괄
- 영국 수자원 관리 중 이수, 치수, 하천환경 및 수질규제 등의 종합수자원관리를 총괄하는 시행기관은 환경청임
- 현재 환경청에서는 전반적인 가뭄상황을 판단하기 위해, 하천수위와 유량(생태수문센터, Centre for Ecology and Hydrology), 매월 유역강수량(기상청, Met Office), 지하수위(영국지질협회, British Geological Society) 등 다양한 수자원 관련 데이터를 분석하여 상황에 따라 관련 부서들 간의 유기적 협조를 통해 최종적인 가뭄 유역(Region) 혹은 지역(Area)을 결정함
- 환경청은 다양한 데이터(강우계, 유량계 네트워크, 지하수위 감시 네트워크, 전국적인 생태환경조사 네트워크, 지표수 혹은 지하수질 감시네트워크, 저수량 데이터 등)와 현황을 바탕으로 전문가적 판단을 통하여 지역별 가뭄상황을 판단함
- 현재 영국에서는 가뭄의 발전단계를 5단계로 정의하고 있음

<표 17> 영국 환경청의 가뭄 발전단계에 따른 가뭄 판단 과정

가뭄 발전 단계	내 용
기상학적 가뭄	강수량 부족과 증발산량 저하
수문학적 가뭄	하천수량 감소 및 지하수위 저하
환경적 가뭄	토양 건조화로 야생동식물 서식지 피해
농업적 가뭄	토양 건조화로 관개농업 및 삼림을 위한 비상급수 필요
물공급 제한	저수지 수위저하, 분야별 물수요량 증가, 소비자 불만 증대, 물사용 제한, 가뭄 허가권과 가뭄지침 발효

10) National Rivers Authority

- 각 가뭄상황 변화에 따라 환경청, 상수도 회사, 지방정부 등 관련 국방부 직할부대 및 기관들은 가뭄을 대처하기 위한 총 4가지 단계를 수행하고 있음

<표 18> 영국의 가뭄 대처 단계

가뭄 대처 단계	내 용
정상 (Normal)	정상적 수자원 현황에 따라 가뭄 계획 수립
잠재적 가뭄 (Potential drought)	지속적인 건조한 날씨에 따른 가뭄에 대처하기 위한 대책 이행
가뭄 (Drought)	가뭄발생 시 가뭄이 일반주민, 산업계, 환경에 미치는 영향 분석을 통하여 가뭄관리 정책 및 프로그램 시행
가뭄 사후관리 (Post drought)	수자원 공급의 정상화를 위한 관련 정책 시행 및 상황변화 감시, 가뭄상황 대처 관련 조치결과 분석

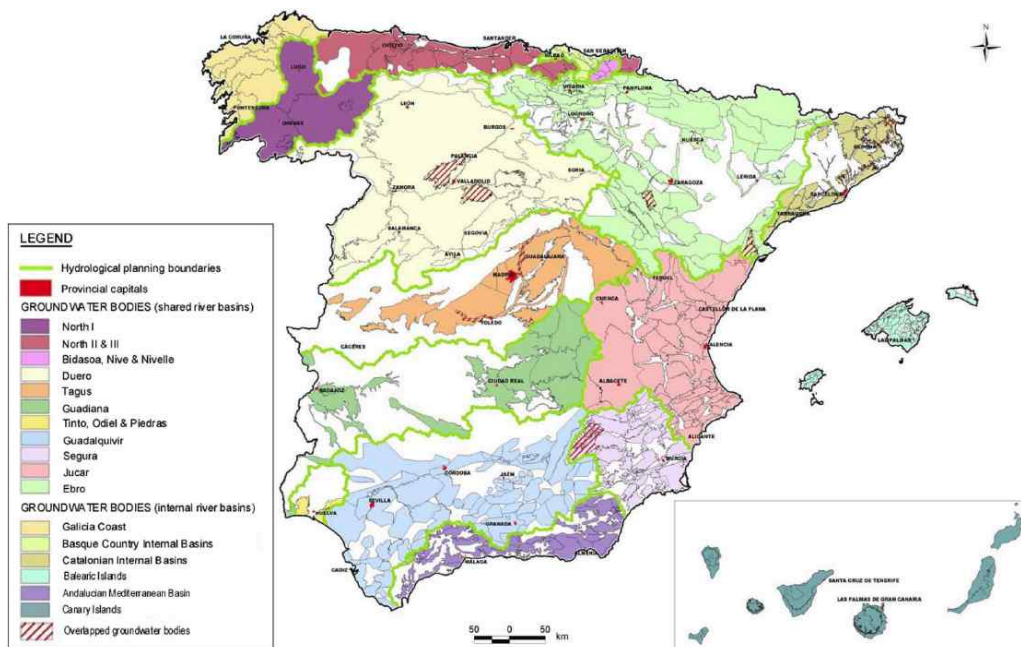
- 영국에서는 가뭄 발생 시 안정적인 물 공급을 유지할 수 있도록 하고자, 효율적인 가뭄 관리를 위해 단기 및 장기적인 가뭄 계획을 수립하며, 세부적인 가뭄관리에 대한 책임기관으로는 상수도 회사, 환경청, 정부, 기타(기관 및 그룹) 등으로 구분됨

<표 19> 영국의 가뭄 발생시 관련 기관의 주요 정책

기관명	주요 정책
중앙정부	- 가뭄발생시 물을 현명하게 쓰기 홍보 캠페인 실시 - 가뭄단계에 부합한 행동 결정 - 가능한 가뭄단계에 대해 지역 탄력성 그룹과 긴급 배치 대응 준비
환경청	- 가뭄 시작, 개선, 회복을 알기 위해서 하천 유량, 지하수위, 저수지 수위, 하천 생태 등의 모니터링 수행 - 가뭄발생시 일반인들, 정부 및 미디어에 수자원 상태 보고 - 가뭄계획에 따른 상수도 회사의 물 관리의 이행여부 감시 - 가뭄발생시 상수도 회사들이 환경에 피해 주지 않는 방향으로 용수확보가 가능하도록 방안 제시 - 가뭄 및 물이용에 대한 관심 촉진 - 물 수위 및 하천 유량이 적을 때 물 모으는 조건을 집행 및 엽면 관수의 제한을 통한 환경보호 실시 - 가뭄 영향을 줄이는 행동 수행 - 환경을 보호하기 위한 가뭄 규칙 지원
상수도 회사	- 소비자를 물을 현명하게 쓰기를 홍보 캠페인 실시 - 물이용을 줄이기 위해 큰 사업들과 협력 - 물 누출을 찾는 업무를 증대하여 물 압력(water pressure)을 감소 - 물 보존 계획을 시행 - 비상대비자원에서 지원하여 물 공급 증가 - 일시적인 물이용 제한 실시 - 물 끌어오기 위해서 가뭄 허용 및 가뭄명령(drought order) 실시 - 비효율적인 물이용을 줄이기 위해서 가뭄명령(drought order) 실시 - 마지막으로 비상가뭄명령(emergency drought order)에 따른 제한적인 물 공급(급수탑, 탱크 등) 실시
지방자치단체	- 상수도 회사와 환경청과 함께 지역 내 물이용 홍보 실시 - 심각한 가뭄 발생시 상수도 회사들에게 비상 가뭄대책(emergency drought measure) 마련 도모

라. 스페인

- 스페인은 유럽에서 가장 건조한 기후에 속하는 국가이며 지하수 이용 빈도가 매우 높으며 최근 수십년간 지하수 이용량은 매년 증가해왔음
- 1960년의 지하수 양수량은 2,000 Mton/year에서 2006년 6,500 Mton/year로 급격히 증가해왔음
- 현재 지하수는 전체 물사용량의 15~20%를 차지하며 전체 인구의 약 26%인 1200만 이상의 사람들이 식수로 지하수를 이용하고 있음
- 지하수의 개발로 인해 많은 문제들이 발생했으며 이에 1985년에 지하수 관리를 위한 법안이 마련되었음
- 스페인의 지하수 대수층은 충적대수층을 비롯하여 투수성이 매우 좋은 석회암 또는 화산암 대수층으로 구성되며 총 면적은 180,000 km²에 이룸(EASAC, 2010a)
- 현재 WFD 기준에 따라 50명 이상에게 하루 10톤 이상의 식수를 생산 가능한 수리지질학적 지하수체는 411개가 존재하는 것으로 평가되고 있음
- 면적은 2.5 km² 이하에서 20,000 km² 이상으로 매우 다양함
- 대수층에 저장된 지하수자원의 총량은 약 150,000 Mton에서 300,000 Mton 사이일 것으로 추정되며 연간 30,000 Mton 가량을 지속적으로 사용가능함
- 지하수 생산량의 75%(5,000 Mton)는 관개에 관련된 농업용수로 사용되며 이는 지표수를 포함한 전체 필요량(24,500 Mton)의 20%임



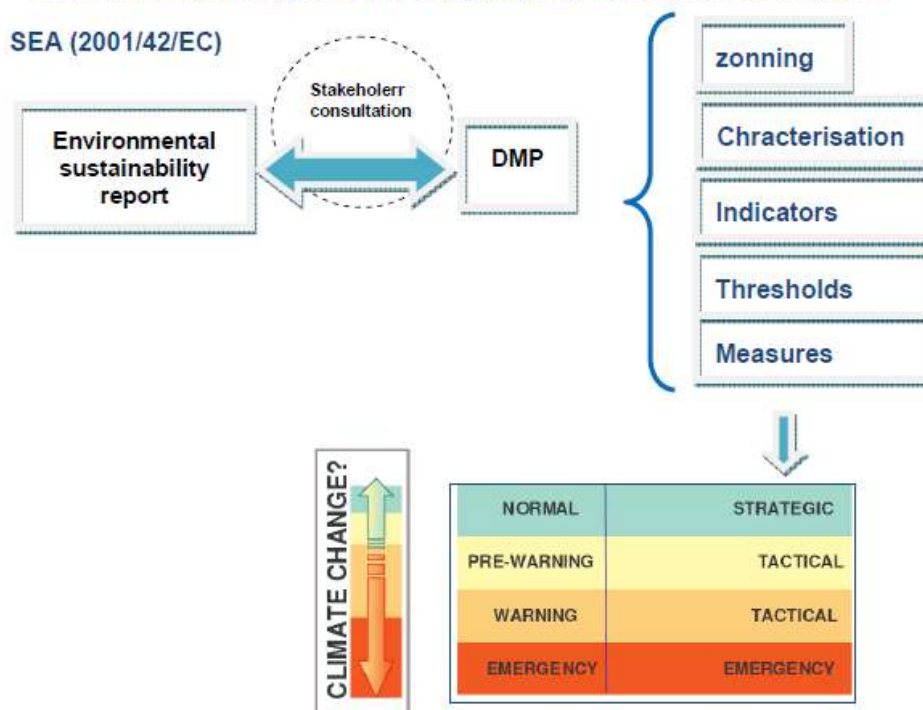
[그림 14] Groundwater bodies in Spain(EASAC, 2010)

- 스페인은 2001년에 WFD의 목표에 부합하도록 가뭄관리계획을 국가물관리계획법률(National Water Plan Act)에 추가함
- 이 계획은 가뭄예측에 따른 대응에 필요한 가뭄 지시자의 선정, 물부족시 활용 가능한 수자원 요소들에 대한 정보제공, 우선순위에 따른 물수요 정보 제공, 가뭄현황에 따라 이를 극복하기 위한 대책 및 대안, 중앙 및 지방정부간 대응체제 등을 제공함
- 하천유역관리 체계와 통합하여 지하수를 포함한 가뭄관리가 2007년에 시작되었으며 지표수와 지하수를 통합하는 전략적 환경평가 후에 관련정보를 웹사이트를 통해 제공하고 있음
- 가뭄관리계획은 도시지역 상수도에 대한 표준안으로 사용되며 이와 관계하여 수자원 공급 관련된 기관들은 가뭄시 유역관리체계의 가뭄경고에 따라 비상대책을 수립하고 적용함
- 스페인의 가뭄관리는 지표수의 대안 또는 보조적으로 사용되는 지하수에 대해 단계적으로 사용량 감소 또는 제한하는 것으로 이루어짐

Drought Management Plans in Spain and their Strategic Environmental Assessment

Aim: to reduce droughts environmental, economic and social impacts

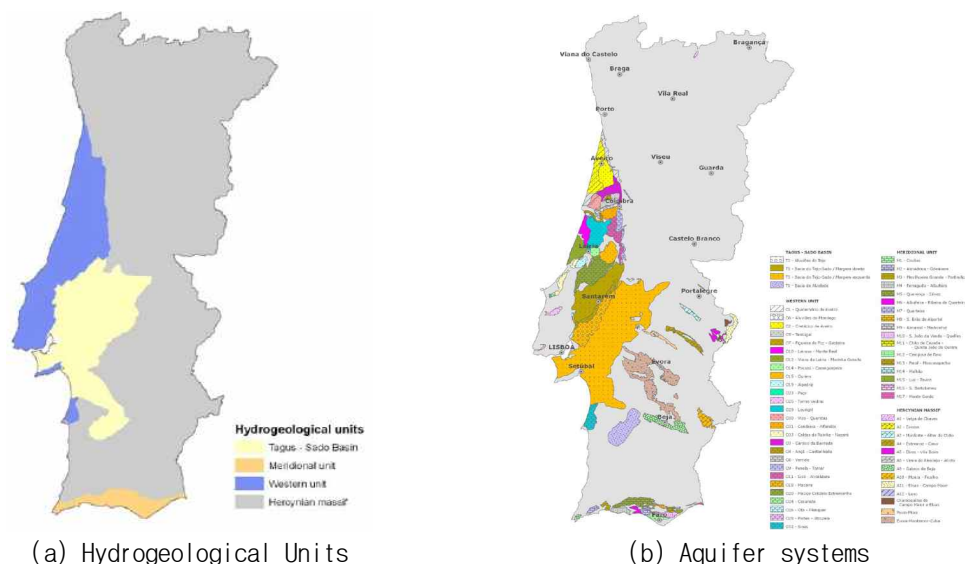
SEA (2001/42/EC)



[그림 15] Drought Management Plan characteristics(Spanish Ministry of Environment)

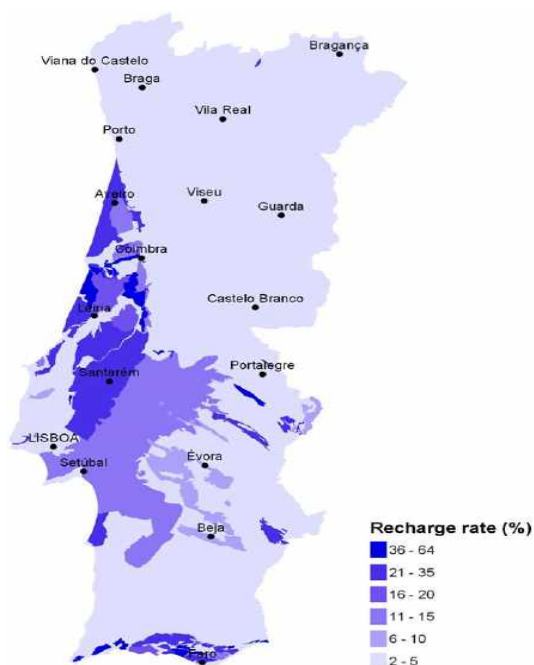
마. 포르투갈

- 포르투갈은 지중해성 기후에 속하는 지역으로 북부는 습하고 남부로 내려오면서 건조한 기후를 가지고 있음
- 남부지역은 수자원의 부족 현상이 증가하고 있으며 농업활동, 공업지역의 매립 및 염수 침입으로 인한 지하수 수질저하 문제가 발생하고 있음
- WFD와 Groundwater Directive의 적용은 현재 포르투갈의 지하수량 및 수질 양쪽 측면 모두 큰 과제가 되고 있음(EASAC, 2010b).
- 수리지질학적 수문단위는 4개로 구분되고 총 62개 대수층이 발달하고 있으며 이중 22개는 다공질 대수층, 21개는 석회암 대수층이며 19개는 다공질과 열극(fissured)의 혼합형 대수층으로 나타나고 있음
- 다공질 대수층은 전체 대수층 면적의 60%(18,000 km²)를 차지하며, 지하수 생산성은 다공질 대수층에서 13.3 l/s로 가장 크게 나타나고 다공질-열극 혼합 대수층에서 2.8 l/s로 가장 작게 나타남
- 포르투갈의 전체 음용수 공급량에서 약 45%는 전적으로 지하수에 의존하고 있으며 공업용수는 50%, 농업용수는 약 65%를 차지함
- 총 수자원요구량에서 37%는 지표수에 의존하고 있으며 나머지 63%는 지하수에 의존하고 있어 포르투갈에서 지하수의 중요성은 매우 큼
- 지하수의 수질은 비료의 집중적 사용으로 인해 전체 지하수체의 40%가 영향을 받고 있으며 관정에서의 양수도 다수의 관정에서 유효함양량의 90% 이상으로 양수하고 있어 수질과 수량 측면에서 위험도가 높은 것으로 나타남

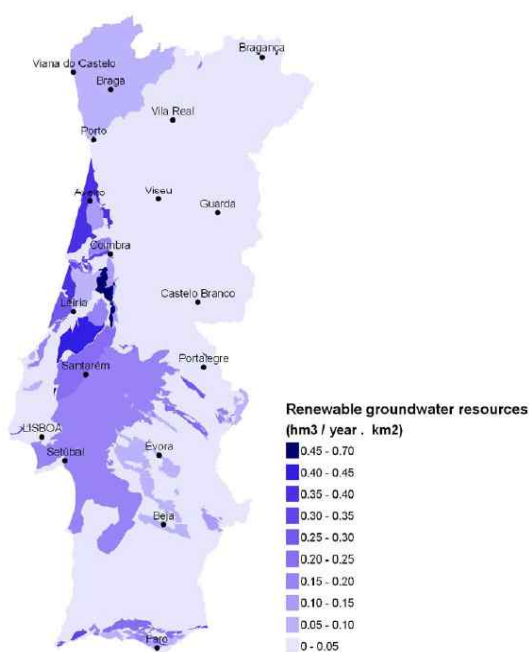


[그림 16] Hydrogeological units and aquifer systems of Portugal

- 2005년에 발생한 극심한 가뭄상황에 대해 포르투갈은 INAG(National water institute in Portugal)을 중심으로 가뭄에 의한 주요 피해를 최소화하며 대응함
- 가뭄 이전 평상시에 Portugese Meteorological Institute와 INAG는 Standardized Precipitation Index, Palmer Drought Severity Index, Regional Drought Distribution Model등을 이용하여 가뭄을 계속 감시함
- 계속되는 무강우 상황이 발생하고 기상학적 가뭄 지시자에 의해 기상학적 가뭄이 발생했을 때 수자원 관리 주체들은 수자원 현황을 파악하고 수요에 측을 실시함
- Drought Commission은 가뭄단계의 파악과 각 단계별 대응책을 제시하고 또한 대책 실행에 관한 법률 및 예산관련 요구 및 필요 사항을 파악하며 가뭄 단계별 대응책이 합리적으로 수행될 수 있도록 함
- 가뭄상황의 종료는 기상학적 가뭄 지시자와 가용 수자원 총량의 회복 등을 고려하여 정부에 의해 선포되었음
- 포르투갈은 2005년의 가뭄 이후 현재 운영중인 가뭄예측 및 관리 시스템을 재점검하고 보완하여 하나의 가뭄관리시스템으로 통합 개선함
- 통합가뭄관리시스템은 기관별 조정, 가뭄관측 및 예측시스템, 가뭄피해저감 계획 등을 포함하도록 계획되었음



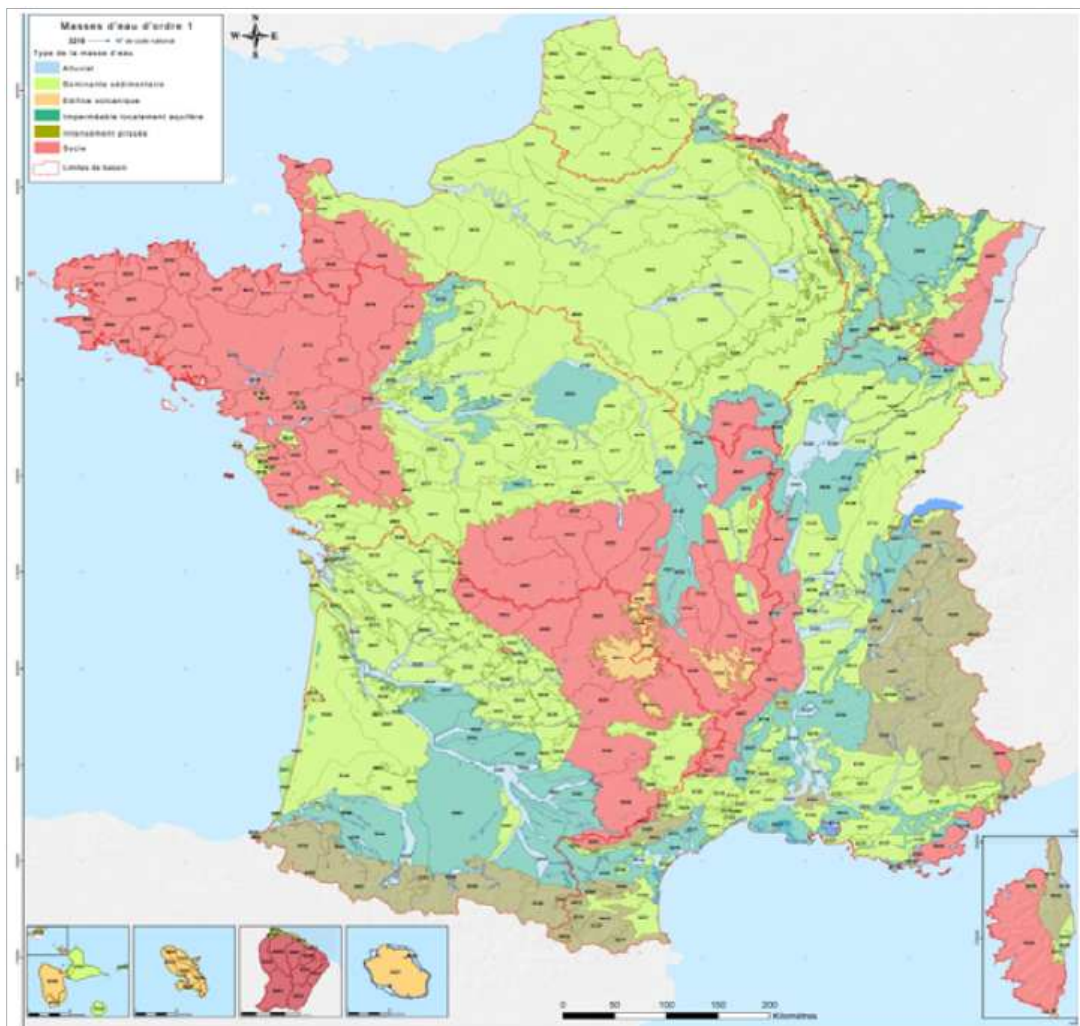
[그림 17] Distribution of Recharge



[그림 18] Renewable groundwater

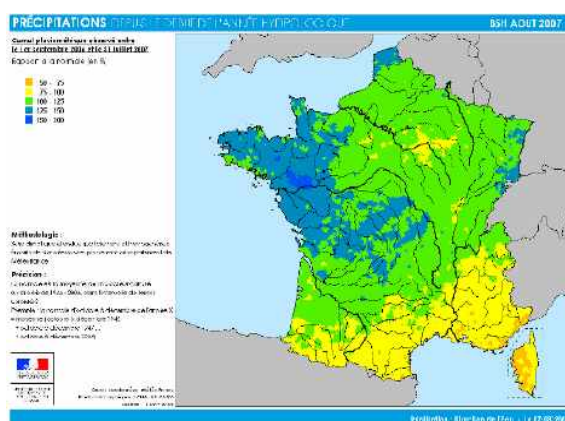
바. 프랑스

- 프랑스는 유럽에서 가장 큰 면적(550,000 km²)을 가지는 나라로 남동부는 산악 지역(알프스, 피레네)이 발달해 있고 북서부는 넓은 평야가 발달해 있음
- 기후는 지역에 따라 해양성, 대륙성, 지중해성, 산악 기후 등 다양하게 나타나며, 인구는 약 6천4백만 명으로 유럽의 다른 나라에 비해 상대적으로 인구밀도가 낮게 나타남
- 프랑스의 지하수 개발은 매우 오랜 역사를 가지고 있는데 10세기경 프랑스 북부에서 최초로 피압대수층에 착정하여 관정을 개발했다는 기록이 있음
- 현재 약 59%의 수자원 공급을 지하수가 담당하고 있으며 지난 20년간 관개 용수로 폭발적인 사용량 증가로 인해 많은 문제가 발생하고 있음
- 프랑스에는 553개의 지하수체가 존재하며 13개는 두 개 이상의 수문단위에 걸쳐있고 15개는 국경 지대에 있음(EASAC, 2010c).

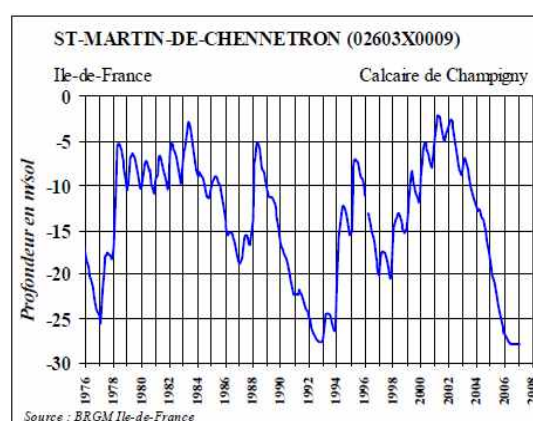


[그림 19] Delineation of 553 groundwater bodies in France(EASAC, 2010c)

- WFD 기준에 의한 조사 결과, 2015년 1차 목표에 미달하여 위험 상황인 지하수체는 216개로 파악되었고 100개는 의심스러운 상황으로 나타났다
- 지하수 함양량은 약 20%로 연간 약 100,000 Mton이 함양되는 것으로 나타났다 이 중 연간 약 6,300 Mton이 양수되어 사용되고 있음
- 프랑스의 가뭄은 약 10년 주기로 나타나며 가뭄시 강수량은 평년의 약 60% 정도로 관측됨
- 프랑스 지표수자원은 에너지 생산에 가장 많이(68%) 사용되고 지하수는 상수도로 가장 많이(59%) 사용되고 있음
- 프랑스에서 발생하는 지하수 관련 문제는 750개 대수층에서 1400개 이상의 수질 샘플을 분석한 결과 농업 활동으로 인한 오염이 주임
- 식수원으로 사용하는 관정 주변의 일정 영역은 보호구역으로 법적 관리되고 있으나 최근에는 일부지역에서 보호구역의 확장이 요구되고 있음
- 2006년에 개정된 물관리법은 수자원의 수질 및 수량의 보호를 위해 무제한적인 환경보호구역의 설정을 포함하고 있음
- 프랑스는 일찍부터 수문학적 자료의 축적과 분석을 통해 가뭄지시자의 보완 및 개선을 수행해왔음
- 기상자료와 지하수 관측자료를 이용하여 각 기후 및 수문학적 요소들의 변화로부터 가뭄을 감시하는 시스템을 구축하고 이를 활용하여 가뭄 상황에 대한 합리적인 대응책을 제시하고 실행에 옮겼음



(a) Cumulative rainfall data



(b) Groundwater monitoring

[그림 20] Drought Indicator Analysis system in France(EASAC, 2010c)

사. 호주

- 1997년에 개발된 가뭄 조기 확인 시스템은 미국의 가뭄감시체계와 같이 가뭄에 관한 단일 정보만을 제공하진 않으며, 농업 생산활동에 도움을 주고자 만들어진 시스템의 일부분으로서 역할을 수행함
- 호주는 기상국의 자료를 제공 받아 가뭄에 관한 정보를 제공하며, 가뭄의 지표로서 강수량만을 사용하고 있음
- 이와 같은 가뭄 정보 제공 시스템과 더불어 가뭄 재난이 심화되는 경우에는 별도의 가뭄 대책을 추진하고 있음
- 가뭄 발생양상이 심화되고 그 기간이 장기화될 것으로 보이면 재난위험관리가 어렵다고 보고 비상가뭄상황(Drought exceptional circumstance, DE)이 선포됨
- 이는 지역의 제안에 의하여 연방당국의 조사, 검토 후 최종 승인 단계를 통하여 결정되며 해당지역 농민들에게 재정적 지원의 근거로 활용됨

2. 국내 정책동향

가. 국가 수자원 정책 현황

- ☐ 수자원장기종합계획(2011~2020)은 1965년 수자원종합개발계획 수립 이후 지난 40여 년간 미래 수자원 목표 및 추진전략 제시로 국가 경제발전과 국민 복지 향상에 기여한 국가의 최상위 수자원 계획임
- ☐ 통합 수자원 관리의 실현을 위한 국민과 함께하는 계획, 수자원 여건 변화를 반영한 수자원의 미래상을 제시하는 계획으로 미래의 수자원 비전 및 전략을 제시하는 정부의 계획임
- ☐ 수자원장기종합계획에서는 안정적 물 공급과 홍수재해의 최소화 실현으로 안전한 국토기반 실현뿐 아니라 다목적 친수공간 저성으로 국민에게 꿈과 기쁨을 주는 계획 및 기후변화 대응과 녹색성장 실현을 위한 계획으로 자리잡고 있음
- ☐ 특히 기후변화 대응과 녹색성장 실현을 위한 계획으로서, 기후변화 불확실성에 대비한 종합 물관리 대응계획과 체계적, 효율적 물관리에 필요한 선진 기술의 개발과 이를 활용한 해외 물시장 진출 등을 통해 저탄소 녹색성장을 활성화하는 계획으로의 의미가 큼
- ☐ 수자원장기종합계획은 1965년 이후 총 6차례의 계획 수정이 있었으며, 시대 흐름과 기후변화 등을 고려한 목표 설정이 이루어져 왔음
- ☐ 2011년 계획 수정의 필요성은, 1) 기후변화로 인한 물관리 여건 변화로 대응정책 수립의 시급성이 대두되었으며, 2) 저탄소 녹색성장 개념에 의한 세계적 물 관리 패러다임의 변화가 나타났고, 3) 하천의 Amenity 창조 및 하천공간 활용에 대한 국민적 수요 증가, 4) 해외 물 관련 시장의 급속한 성장에 대응할 필요가 발생함
- ☐ 동 계획에서는 하천수 및 댐 등을 통한 공급 후에도 물 부족이 발생할 경우, 지하수 및 저수지를 이용한 추가 공급을 시행하는 것으로 계획하고 있음
- ☐ 수자원장기종합계획에 의한 정부의 물 수급 전망을 보면, 전국 6개 권역의 117개 중권역별로 장래 용도별 수요량을 토대로 물 공급 네트워크 기반의 공급 가능량을 검토하고 있음
- ☐ 이는 시공간적인 물 과부족을 평가하는 방식으로, 일차적으로는 생활·공업 및 농업용수 수요량에 대한 공급을 최우선으로 한 후 하천유지용수에 대한 공급을 검토하는 것으로 계획을 전망하고 있음

<표 20> 국가 물 수급 정책의 개요

항 목	물 수급 정책의 주요 사항
분석 단위	6개 권역(섬진강, 영산강 구분)별 117개 중권역에 대한 물 수급 전망 수행
수요량 및 수요처의 구분	생활/공업용수 수요처, 농업용수 수요처, 하천유지유량 지점 뿐 아니라 환경개선용수 추가 고려
물 공급 우선순위	물 공급의 우선순위 설정 - 공급 1순위 : 생활, 공업, 농업 - 공급 2순위 : 하천유지용수
댐 운영	댐별 운영기준을 고려한 계획 수립 본류 물 부족시 공급 및 추가 발전 방류 댐 운영시 조절 방류 고려
농업용 저수지	전국 18,000개 저수지를 모두 고려한 계획 중권역별 물 부족량 산정 후 지역 공급원으로서 고려 농업용수 부족 해소에만 기여하는 것으로 적용
지하수	중권역별 물 부족량 산정 후 지역공급원으로 고려 실제 암반 지하수 이용량 고려 용도별 지하수 이용을 고려하여, 생활/공업용수 이용, 농업용수 이용으로 구분 후 각 용도별 부족 해소에 기여

- 정부의 물 수요 전망을 보면, 목표년도 2020년을 기준으로 과거 최대 가뭄 발생시 전국적으로 약 4.3억㎥의 물이 부족한 것으로 전망되었음
- 6개 권역별로 보면, 한강이 0.4억㎥, 낙동강 0.9억㎥, 금강 0.5억㎥, 영산강 1.5억㎥, 섬진강 1.0억㎥으로서 영산강 권역의 물 부족량이 가장 심각함
- 가뭄 빈도별로도 보면, 10년 빈도 가뭄시에도 약 2.3억㎥의 물 부족량이 발생하는 것으로 전망됨
- 하천유지유량이 고시된 5대강 수계 60개 지점과 6개 하천 환경개선용수를 고려한 하천유지용수 수급 전망을 보면, 2020년 기준으로 과거 최대 가뭄 발생시 5대강 수계 60개 지점의 하천유지유량 공급 가능성은 59개 지점에서는 이상 없이 가능할 것으로 분석되었음
- 반면, 금강 수계는 유지유량 공급이 어려운 지점이 존재할 것으로 전망되었으나, 이는 대하천 및 지류하천의 유량 공급에 대한 부분으로서 실제 지류상류의 소하천에서의 하천유량은 가뭄 발생시 감소가 불가피할 것임
- 장래 물 부족에 대한 정부의 대응 방안은, 4대강 본류 등 대부분 지역에서 보와 댐 등의 시설을 활용한 용수공급으로 최대 가뭄이 재현되더라도 물 부족은 해소될 것으로 전망되고 있음
- 다만, 권역별로 과거 최대 가뭄이 재현될 경우, 이용 가능 수자원이 부족하거나 공급체계가 상대적으로 미흡한 도서, 해안 및 산간지역에서 일부 물 부족이 발생할 것으로 예측되었음

○ 최대 가뭄이 재현될 경우 하천유지용수가 0.3억㎥ 부족할 것으로 전망되어 이에 대한 공급 대책 검토가 필요한 것으로 평가되었음

○ 기후 변화 및 기온 상승에 따른 물 수요 증가, 가뭄 발생기간이 평균 3.4배 증가 등으로 전국적인 물 부족이 1.8~3.5배 정도 증가할 것으로 전망되었음

□ 물 부족에 대한 대책으로서 정부에서는 다양한 정책을 추진하고 있음

○ 기후변화 대응 미래 수자원 분야의 정책으로서 1) 기후변화에 따른 수자원 영향 평가 및 취약성 분석, 2) 기후변화 대응 물관리 관련 법령 제도 및 조직의 개선, 3) 극한 홍수, 극한 가뭄, 하천환경 대응력 강화, 4) 수자원 관리를 위한 저탄소 녹색성장 뿐만 아니라 4) 기후변화에 대응하기 위한 연구과제의 발굴 및 추진을 제시하고 있음

<표 21> 정부의 수자원장기종합계획에서의 물 이용 계획 세부 추진 내용

구 분	세부 내용	지하수 관련
물 부족 대비 신규 수자원의 차질없는 확보	· 물 부족지역의 안정적인 수자원 확보를 위한 기존 댐 재개발, 다목적 저류지, 친환경 중소규모댐, 지하수 및 대체수원 개발 등 다양한 정책 추진 · 지하수의 체계적 개발 및 이용을 위한 관리의 선진화를 통해 맑고 안전한 수자원으로 적극 활용 · 물 부족 지역별 맞춤형 대체수원 개발을 통한 수원 다변화 (해수담수화, 지하댐, 빗물, 인공강우 등)	· 지하수 개발 확대 : 신규 기술 개발 · 수원 다변화 : 기존 상수원과 연계한 지하수
수자원의 공급 안정성 강화 및 효율적 활용	· 기존 물공급 시설(수원, 정수시설, 도송수시설)의 안전한 공급 시스템 구축 · 물 공급 시설간 비상연계 체계 구축으로 비상시 대응체계 마련 · 권역별 상수도 급수체계 조정 및 신규 확충을 통한 수자원 활용도 제고 · 댐-보-저수지 최적 연계운영 및 기존 댐의 다목적화를 통한 기존시설 활용도 제고 · 물 배분과 이용, 수자원의 개발과 관련한 사회적 갈등 조정시스템 구축 · 도시 및 농어촌간 물 공급 형평성 확보를 위한 상수도 보급 확대 · 농산간 및 도서해안 등 상습 가뭄 지역의 물 부족 해소 (지하수 등)	· 하천수-지하수 시설 연계로 공급량 증대 · 물 복지 미흡지역 지하수 확보
건전하고 다면적인 물 이용 체계 확대	· 물 수요관리 강화를 통한 물 절약형 사회기반 구축 · 건전한 물 순환 등을 통한 국토 균형적인 하천유량 확보 · 정확성, 신뢰성 기반의 물 이용 평가 및 수요 추정 체계 구축	· 하천과 연계한 지하수 순환으로 건전성 확보 : 하천유량 확보에 기여
기후 변화에 따른 극한가뭄 대처력 제고	· 기후 변화에 따른 수자원에 대한 영향 평가 및 취약성 분석 · 기후 변화 대응을 위한 신규 시설물의 물 공급 예비율 도입 검토 · 사회적 가뭄 대처능력 제고를 위한 SMART 물관리 체계 구축 및 홍보 강화	· 지하수를 활용한 가뭄 평가 및 취약성 분석 · 지하수의 SMART 기법 적용

○ 정부의 기후변화 대응 연구과제에는, 기후변화가 수자원에 미치는 취약성 평가 및 변동성 예측 기술의 개발, 국가 물 안보 대응 전략 및 지침 개발 등 수자원 일반에 대한 사항과 지하수와 관련된 다음 내용을 포함함

- 가뭄 예정보 및 대응 관리 기술 개발
- 안정적 보조 수자원 확보 기술 개발
- 지하수 활용 기술의 개발
- 수자원 정보의 수집 기술, 체계 첨단화 및 공동 활용체계 구축
- 녹색 성장을 위한 스마트 용수관리 기술
- 수자원 에너지 기반의 물 순환 도시 조성기법 개발 등

나. 지하수 정책 현황

□ 국가의 지하수 정책은 “지하수관리기본계획”에 의하여 10년 단위로 수립되고 5년 단위로 보완을 통하여 추진되고 있음

○ 주요 내용으로는 지하수 조사, 이용 계획, 보전 관리 계획, 수질관리 계획, 조사관측 및 연구개발 계획, 지하수 관리기반 강화 계획 등으로 구성되어 있음

○ 지하수관리 기본계획에서 추구하고 있는 기후변화 및 가뭄 등과 관련된 지하수 활용 및 관리 계획은 아래 표와 같음

<표 22> 지하수 관리 기본계획상의 기후변화 및 가뭄 관련 정책 현황

구 분	사업명	내 용
개발이용계획	가뭄대비 지하수 지원체계 구축	· 가뭄 시 공공관정을 활용하여 생활용수 부족 등 재난에 신속하고 효율적으로 대처하기 위한 지하수 지원체계를 정립, 구축 추진 · 가뭄 피해 등 일반현황 및 공공관정 현장조사 · 가뭄활용 공공관정 진단 보수(현장 시험) · 지하수 지원계획 및 시설운영방안 등 · 시설 개선 및 신규 지하수 개발
	대용량 지하수원 개발	· 도서 해안지역 지하수자원 확보 및 오염지하수 복원방안 수립 · 지하수자원 확보 시설 설치 및 운영
	지하수 인공함양	· 자연재해대책법32조에 기반하여 지하수의 지층을 통한 대수층 인공 함양 사업
	농어촌 지하수 개발	· 한발대비 용수개발 사업: 수리불안전답 및 상습 가뭄지역 등을 대상으로 영농에 필수적인 농업용수를 공급 · 신규개발은 가급적 지양하고 기초 인프라를 최대한 활용한 용수 확보
보전관리계획	지하수 시설관리	· 공공지하수 시설의 관리를 강화하여 지속 활용토록 추진
수질관리계획	수질보전을 위한 이용가치 제고	· 취약지역 지하수 보급 정책: 상수도 보급 취약지역에 대한 먹는물 안심이용 종합대책 추진

- 현재 정부 정책상에서 가뭄 등 기후변화와 관련한 지하수 개발이용 사업이 “가뭄대비 지하수지원체계 구축”이라는 사업으로 추진 중임
- 반면, 해당 사업은 공공관정의 재개발, 보수, 진단 등에 국한되어 있으며, 실질적인 공공관정의 가뭄 대응력에 대한 평가나 가뭄 발생시 활용성에 대한 검증은 미흡한 상태임
 - 즉, 공공관정의 가뭄 대응력 평가나 실질적인 재개발 기술 등에 대한 기술 확보가 미흡한 상태에서 추진되고 있는 실정임
- 또한 지하수 인공함양 사업이 제주도 및 비닐하우스 지역 등 극히 일부 지역에서 추진되었으나, 제주도의 경우는 화산암이라는 특별한 지질 조건에서의 인공함양사업으로서 별도의 기술로 판단됨
- 비닐하우스 지역의 인공함양은 개별 비닐하우스에 적용될 수 있는 소규모 농업용 지열 시설의 에너지 확보 등을 위하여 개발된 기술로서 상수도 취약지역의 가뭄에 대응할 수 있는 규모의 생활용수 확보시설로는 기술이 확보되지 못한 실정임
- 최근, 정부에서는 기후변화시대 지하수의 활용성을 제고하기 위하여 지하수의 용수원으로서의 활용을 확대시키고자 다양한 정책을 추진하고 있음
- 환경부에서는 “급수취약지역 상수도 보급확대 및 관리제도 개선방안 마련을 위한 연구(2012)” 및 “상수원으로서 지하수 이용방안 마련 용역(2016.5 ~ 2017.4)”에 대한 과제를 추진하는 등 향후 지하수의 용수원 활용도 제고를 위한 정책적, 제도적 기반 마련을 계획하고 있음

다. 가뭄에 대한 정부의 정책

- 가뭄은 홍수와 달리 재난으로 관리되지 않아 사전 대비에 어려움이 있으며, 예측 기술도 제한적이며 가뭄의 판단기준이 명확하지 않는 등 정책적 수단을 동원하고 시행하는데 한계가 존재함
- 연대별 가뭄피해는 1930년대까지는 농업용수 부족, 1950년대 발전용수의 부족이 추가되고, 1950년대부터는 생활용수를 포함한 각종 불편함이 제기되어, 하천용수 부족, 저수지 고갈에 따른 음용수 부족 등이 초래됨
 - 특히, 2015년의 가뭄은 농업용수의 부족 뿐 아니라 보령댐의 고갈로 인한 생활용수의 고갈이 재현되는 문제점이 노출됨
- 또한, 가뭄에 대해서는 피해액을 산정하는 명확한 근거가 미흡하여 사후 행정 조치도 부족한 상황이며, 현재 국민안전처의 재난안전기본법상 응급조치는 가능한 시스템으로 구성되어 있음
- 우리나라는 여름철에 강우가 편중되어 발생하는 기상학적 여건과 좁은 반도의

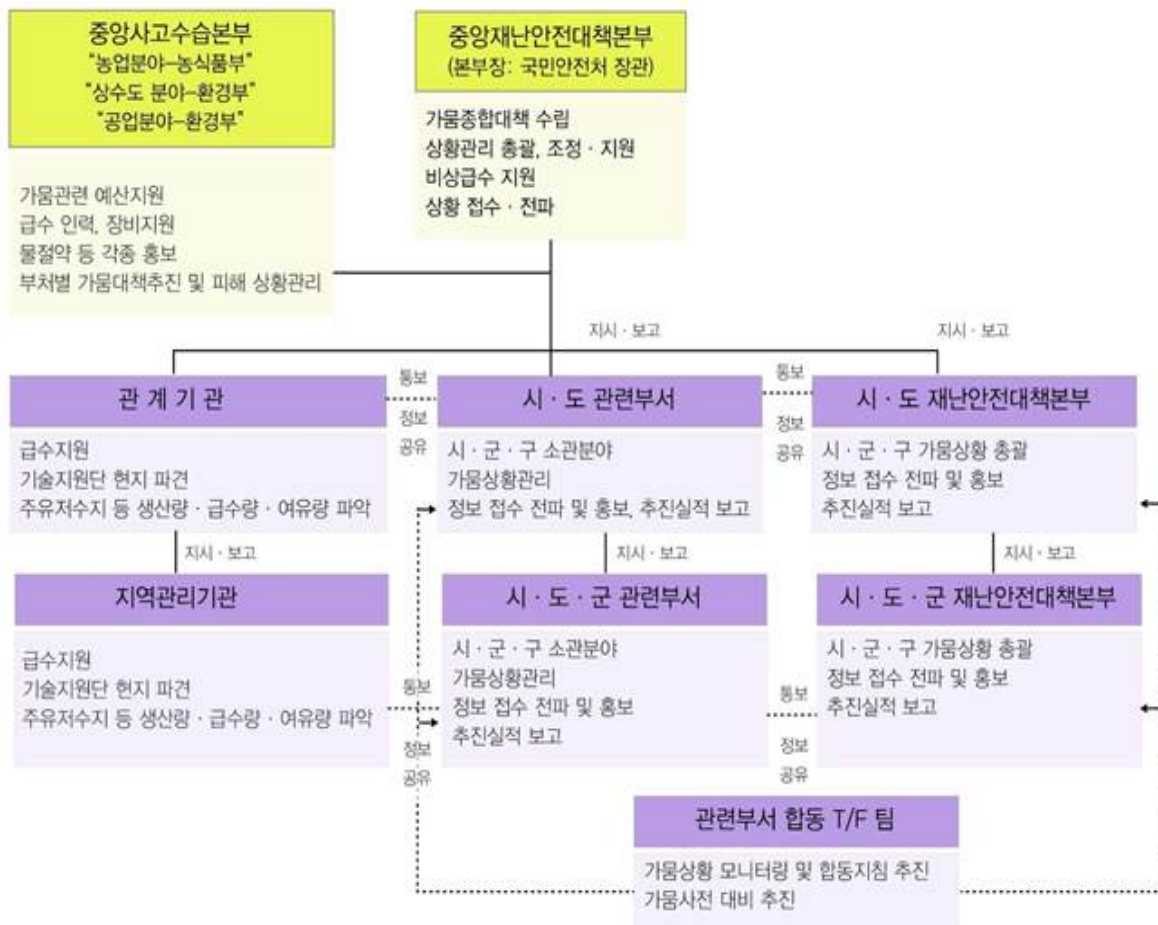
지형으로 대수층이 발달하지 못한 지형학적 여건으로 가뭄에 매우 취약함

- 지금까지 다목적댐 개발과 광역상수도망 확충 등의 지속적인 수자원 개발 사업으로 용수공급능력을 향상시켜 많은 국민들이 가뭄에 대한 심각성을 느끼지 못할 정도로 가뭄에 잘 대응해 왔음
- 반면, 최근 대도시 확대에 의한 용수수요 급증, 용수공급시설의 지역적 편중 등으로 국지적 또는 사회경제적 물부족 발생 위험이 증가되며, 기후변화로 인한 강우량의 감소, 편중 등은 극한가뭄 위험이 증가되고 있음
- 국내에서는 1900년대 이후 관개 기술의 발달과, 댐, 저수지와 같은 시설을 통하여 수자원을 확보해 왔으나 가뭄에 대한 경각심 부족, 지역에 따른 용수공급능력의 차이, 태풍이나 호우로 인한 갑작스런 가뭄해갈, 지속적인 가뭄정책 미흡 등으로 여전히 가뭄에 대한 피해가 발생하고 있음

<표 23> 년대별 가뭄발생현황과 대책 (한국수자원공사, 2016)

년대	가뭄 발생 현황	가뭄 대책(복구)	대표적 가뭄기간
1920년대	- 대부분 농업용수관련 일부 식수부족	- 재해지 세금 면제 - 재해지 토목공사 실시	1927~1928
1930년대	- 주로 농업용수 관련 - 가뭄에 의한 물가불안 발생	- 각 도에 기술자 파견 및 가뭄협의회 - 무강우 대비 선후 대책 강구 - 허드렛물은 우물을 이용 권장	1937~1939
1940년대	- 발전용수 관련 사항 급증 - 단전으로 인한 생산공장의 가동 중지 우려		1942~1944
1950년대	- 주로 농업용수와 관련된 피해 기록되어 있으나 발전용수 관련 사항 많음 - 수력발전소 가동 중단(1958년): 서울지역 극도의 식수난(1958년)	- 항구대책 수행토록 예산안 수정 - 발전시설확장 10개년 계획안 작성 - 시간배수제(제한급수) 실시 - 장병 동원 모내기	1958~1959
1960년대	- 발전용수와 관련된 사항 급감하고 생활용수 관련 급증 - 서울 등 대도시 지역 식수난 심각 - 가뭄에 의한 이농사태 발생(1967년)	- 제한급수 - 한해지에 양수기 동원과 농자금 지원 - 상수도시설 전면개혁 정부계획	1967~1968
1970년대	- 주로 농업용수이고 생활용수 관련사항도 있음 - 발전용수를 식수로 활용 - 가뭄으로 물가 상승 - 종합적인 가뭄대책 필요성 대두	- 양수기 무상대여, 간이 용수원 개발 - 가뭄극복에 중, 고생 동원 - 제한급수, 한해상습지 용수 시설 예산 투입	1973, 1976~1978
1980년대	- 저수지 및 하천 고갈 - 도시용수 부족 - 수세 반발 농민 데모 발생	- 제한 급수 - 저수, 소류지 적극 개발	1981~1982, 1988
1990년대	- 생활용수 관련사항 증대 - 수질 악화를 우려하면서 생태 등 하천유지용수 관련 관심 증대	- 해수담수화 등 대체수자원개발로 다각적인 가뭄 대처 방안 모색	1994~1995
2000년대 이후	- 하천유지용수 부족, 농업용수 부족 - 경기북부, 광동댐 등 물부족 - (2015년 충남)생활용수 부족	- 물절약 홍보, 제한급수, 관정개발 - 관로 누수방지 대책 수립 - 급수체계 조정	2000~2001, 2008~2009, 2015

□ 가뭄에 대응하는 정부 부처의 가뭄 상황 관리 체계는 다음과 같다.



[그림 21] 국가 가뭄상황 관리체계

- 중앙재난안전대책본부가 국민안전처에 설치 운영되며 가뭄 종합 대책 수립, 가뭄 상황의 총괄 조정, 상황 전파 등의 업무를 담당함
- 관계부처의 긴밀한 협력 체계를 구성하고 있으며, 관계부처, 시도 및 관련 기관 등과 상황 파악, 급수지원, 가뭄 상황 관리, 홍보 등의 업무를 추진함
- 우리나라의 가뭄관리대책은 안전관리 및 재난관리 측면에서 『재난 및 안전관리 기본법』과 『자연재해대책법』에 따라 수립됨
- 『재난 및 안전관리 기본법』에 따라서 국무총리는 안전관리에 대한 기본계획을 수립하고 기본계획이 수립되면 각 부처 및 공공기관에서는 집행계획을 수립한 후 이를 더 확장시켜 세부집행계획을 수립하게 됨
- 『자연재해 대책법』에 의하면 재난관리책임기관에서는 자연재해 예방을 위한 업무에 해당하는 조치를 하여야 한다고 명시되어 있음
 - 이에 따라 가뭄과 관련해서는 행정자치부, 국토교통부, 농림축산식품부, 환경부, 국민안전처, 기상청 등 정부부처와 지방자치단체는 가뭄방재를 위한 조사·

연구, 가뭄극복을 위한 제한 급수 및 제한 발전, 가뭄 극복을 위한 시설의 유지·관리, 상습가뭄재해지역 해소를 위한 중장기대책 수립 등의 수행해야 함

<표 24> 국가 안전관리의 기본계획의 수립에 관한 법 조항

관련 법령	내 용
재난 및 안전관리 기본법 제22조 (국가 안전관리 기본계획의 수립 등)	① 국무총리는 대통령령으로 정하는 바에 따라 국가의 재난 및 안전관리업 무에 관한 기본계획(이하 “국가안전관리기본계획”이라 한다)의 수립 지침을 작성하여 관계 중앙행정기관의 장에게 시달하여야 한다. <개정 2013.8.6.> ② 제1항에 따른 수립지침에는 부처별로 중점적으로 추진할 안전관리기본 계획의 수립에 관한 사항과 국가재난관리체계의 기본방향이 포함되어야 한다
재난 및 안전관리 기본법 시행령 제26조 (국가안전관리 기본계획 수립)	① 국무총리는 법 제22조제4항에 따른 국가안전관리기본계획(이하 “국가 안전관리기본계획”이라 한다)을 5년마다 수립하여야 한다. <개정 2012.8.23.> ② 국가안전관리기본계획은 총칙과 다음 각 호의 대책으로 구성한다. 1. 재난에 관한 대책 2. 생활안전, 교통안전, 산업안전, 시설안전, 범죄안전, 식품안전, 그 밖 에 이에 준하는 안전관리에 관한 대책

- 현재 우리나라 중앙정부의 물관리 기능은 국토교통부의 수자원 및 하천 관리, 농림축산식품부의 농업용수 관리, 산업통상자원부의 수력발전용수 관리, 환경부의 수질 및 상하수도 관리, 국민안전처의 통합관리 등으로 구성됨
- 예를 들어 수자원 및 하천 관리와 수자원 관련 사업을 시행하고 있는 국토교통부와 한국수자원공사의 경우, 안전관리 세부집행계획의 가뭄대책과 관련하여 댐과 광역상수도로 나누어 가뭄상황을 판단하고 대응계획을 수립하고 있음
- 국민안전처 산하 중앙재난안전대책본부는 가뭄 단계별로 상황실을 운영하며, 가뭄 발생시 관련 기관에 업무를 분담하고 연계체계를 구축하고 있음 (재난 및 안전관리 기본법 제14조)
 - 관련기관은 제한급수 실태, 댐 및 저수지 저수율 현황, 농작물 가뭄 등 가뭄 대책 추진상황을 본부에 통보하도록 되어 있으며, 시군구의 장은 관할구역 내 가뭄 관련 추진 사항을 담당 중앙행정기관의 장에게 보고하고 다시 중앙재난안전대책본부로 보고토록 하여 총괄 관리하고 있음

<표 25> 국내 가뭄 대책과 관련된 “자연재해대책법” 상의 조항들

관련 법	내 용
자연재해대책법 제3조(책무)	② 기본법(재난 및 안전관리 기본법) 제3조제5호에 따른 재난관리책임기관(이하 “재난관리책임기관”이라 한다)의 장은 자연재해 예방을 위하여 다음 각 호의 소관 업무에 해당하는 조치를 하여야 한다. 5. 가뭄대책 가. 상습가뭄재해지역 해소를 위한 중·장기대책 나. 가뭄 극복을 위한 시설 관리·유지 다. 빗물모으기시설을 활용한 가뭄 극복대책 라. 그 밖에 가뭄대책에 필요한 사항
자연재해대책법 제29조 (가뭄 방재를 위한 조사·연구)	① 재난관리책임기관의 장은 가뭄 방재를 위하여 필요한 조사 및 연구를 하여야 한다. ② 재난관리책임기관의 장은 가뭄 방재를 위한 전문적인 조사·연구를 위하여 관계행정 기관의 장이나 기상관측 연구기관의 장에게 가뭄의 현황, 가뭄의 피해상황, 가뭄의 극복 방안 등 필요한 자료를 요청할 수 있다. 이 경우 요청을 받은 관계행정기관의 장 및 기상관측 연구기관의 장은 특별한 사유가 없으면 요청에 따라야 한다.
자연재해대책법 제30조(가뭄 극복을 위한 제한 급수·발전 등)	① 관계 중앙행정기관의 장, 지방자치단체의 장 및 「한국수자원공사법」에 따른 한국수자원공사의 사장 등 수자원을 관리하는 자(이하 “수자원관리자”라 한다)는 가뭄으로 인한 재해를 극복하기 위하여 제한 급수 및 제한 발전(發電) 등의 조치를 할 수 있다. ② 수자원관리자는 제1항에 따른 조치를 하려면 수해자가 제한 급수 및 제한 발전 등에 관한 사실을 알 수 있도록 미리 공지하여야 한다.
자연재해대책법 제31조 (수자원관리자 의 의무)	수자원관리자는 지방자치단체의 장으로부터 가뭄 피해를 줄이기 위하여 수자원 관리와 관련한 협조 요청을 받았을 때에는 특별한 사유가 없으면 요청에 따라야 한다.
자연재해대책법 제32조 (가뭄 극복을 위한 시설의 유지·관리 등)	재난관리책임기관의 장은 댐, 저수지, 지하수자원 등의 수원함양(水源涵養) 및 기능의 유지·향상을 위하여 소관 업무에 대하여 「산림보호법」에 따른 산림보호구역(산림유전자원보호구역은 제외한다)의 지정·관리, 조림(造林), 퇴적토 준설(浚渫), 지하수자원 인공함양 및 순환 등 필요한 조치를 하여야 한다.
자연재해대책법 제33조 (상습가뭄재해 지역 해소를 위한 중장기대책)	① 시장·군수·구청장은 가뭄 재해가 상습적으로 발생하였거나 발생할 우려가 있는 지구(地區)를 상습가뭄재해지역으로 지정·고시하고, 그 결과를 시·도 지사를 거쳐 국민안전처장관과 관계 중앙행정기관의 장에게 보고하여야 한다. ② 시장·군수·구청장은 상습가뭄재해지역에 대하여 빗물모으기시설 설치 등 가뭄 피해를 줄이기 위한 중장기대책을 수립·시행하여야 한다. ③ 관계 중앙행정기관의 장은 시장·군수·구청장이 수립한 중장기대책에 필요한 사업비의 일부를 지원할 수 있다. ④ 제1항에 따른 상습가뭄재해지역의 지정 및 해제의 요건, 절차, 관리 요령과 제2항에 따른 중장기대책의 수립에 관한 세부 사항은 대통령령으로 정한다.

<표 26> 국토해양부의 가뭄 상황별 대응 계획

구 분	단계	가뭄 상황	대응 계획
댐 대응 계획	1단계 (관심)	기 본 계 획 공 급 량 의 80-90% 공급 (생공용수 실수요량, 농업용수, 하천유지용수 공급)	•가뭄극복 현수막 설치 •물부족지역 등 가뭄지역 현황 파악 •방송·캠페인, 홍보물 배포 등을 통한 절수 홍보 •다목적댐 및 용수댐 생공용수 여유량 감량
	2단계 (주의)	기 본 계 획 공 급 량 의 60-80% 공급 (생공용수 실수요량, 농업용수 공급, 하천유지용수 감량 공급)	•가뭄상황실 설치·운영(국토부, K-water) •가뭄지역 파악 및 지원방안 수립, 협조체계 구축 •비상급수차량 운행 및 병물 지원 •댐의 용수공급능력 및 공급방안 검토 •다목적댐 및 용수댐 하천유지용수 감량, 필요시 농업용수 감량
	3단계 (경계)	기 본 계 획 공 급 량 의 50-60% 공급 (생공용수 실수요량 공급) (농업용수, 하천유지용수 감량 공급)	•댐 수혜지역 및 광역상수도 수수지자체 제한급수 •지자체별 대체 수원 확보 요청 •지하수 등 비상취수원 가동 •다목적댐 및 용수전용댐 생공용수 실수요량 공급, 필요시 생공용수 실수요량 감량 •댐 비상용수 공급량 활용방안 검토
	4단계 (심각)	기본계획공급량의 50% 이하 공급 (댐의 사수용량 활용 공급) (생공용수 실수요량, 농업용수, 하천유지용수 감량 공급)	•댐 수혜지역 및 광역상수도 수수지자체 제한급수 •지하수 등 비상취수원 가동 •다목적댐의 비상용수 공급량 활용 공급
광역 상수 도 대응 계획	1단계 (관심)	마을상수도의 제한급수 실시	•가뭄지역에 대한 병물 공급, 물차 지원
	2단계 (주의)	지방상수도의 제한급수 실시	•병물 공급, 물차 지원 •광역-지역간 비상연결 관로 이용 가뭄지역 용수 공급 확대
	3단계 (경계)	광역상수도의 제한 급수 실시	•병물 공급, 물차 지원 확대 •광역상수도 취수지역 가뭄 시 공급대상 지자체의 취수원 여건을 감안 수돗물 증량 생산 유도 및 비상 취수원 가동
	4단계 (심각)	전 지역 제한급수 실시	•광역 간 연계운행을 통한 대체공급 및 추가 운영 가능 취수원 개발

라. 지역별 가뭄 정책 사례

(1) 2001년 가뭄(동두천시)

- ☐ 2001년 전국의 월평균 강수량은 83.6mm로 예년대비 109.1%를 기록하였으나 가뭄이 극심하였던 3~5월에는 강수량은 평년에 비하여 매우 부족하였던 것으로 나타남
- 한탄강 본류의 수량 감소로 인하여 동두천 취수장의 상황은 5월 2일부터 악화되었으며, 이후 취수량이 감소하여 12일 공업용수 공급이 중단되었고 13일 동두천 취수장 가동이 전면 중단됨
- 주민들에게 제한 급수를 통보하고 급수차와 소방차 등을 긴급 동원하여 식수 공급 등 비상급수를 하였으며, 미 2사단에서 15일 이후 자체 수돗물을 1일 200톤씩 11일간 지원함
- 또한 18일부터 동두천시는 지방상수도를 수도권 광역상수도과 비상 연결하여 제한 급수가 해소되는 6월 17일까지 생활용수를 공급하였음
- 동두천 산업단지는 용수공급 중단 이후 차량을 이용하여 비상급수를 실시하였으며 5월 24일 공업용수 공급을 재개하였으나 6월 중순 이후에도 가동률은 30% 수준에 불과함
- 5월 13일 37대 급수차량을 이용하여 373톤의 비상급수를 진행하였으며, 14일에는 74대의 급수차량을 동원하여 고지대를 중심으로 실시하였으며, 동두천 주민들의 최소 필요 용수(3,500여 톤/일)를 공급하는 데는 어려움이 없을 것으로 판단하였지만 평소 수준에는 미치지 못하는 공급량이었음
- 동두천시의 생활용수 부족으로 인하여 동두천시는 생연 배수지에서 양주군 일부 지역에 공급하던 것을 중지하고, 양주군에 공급하던 동두천라인의 송수방향을 역으로 하기 위해 관로 추가 설치 등의 시설을 설치하여 양주군으로부터 5월 18일 팔당댐의 물을 공급받았음

(2) 2008~09년 가뭄(태백시)

- ☐ 기상청은 2008년 7월부터 2009년 2월 초까지 1973년 이후 2번째로 적은 강수량을 보였으며, 강원도 태백·대관령·동해 지역은 평년대비 63% 수준에 불과하였다고 발표하였음
- 2008~09년 전국적인 장기 가뭄으로 인하여 215개 마을 7만 6천여 명이 식수난을 겪었으며, 태백시를 비롯하여 강원 남부 산간지역에서 2008년 9월부터 2009년 3월까지 극심한 가뭄이 발생하였음

- 2008년 9월부터 급격하게 강우량이 줄어들어 2009년 1~4월 태백시 강수량은 전년도의 84%인 159.6mm를 기록하였으며, 2008년 11월 강수량 부족으로 광동댐의 수위가 점차 줄어들기 시작하였으며, 12월 11일 지자체 용수사용 확대 자제와 물 절약 홍보 등의 가뭄 대책을 요청하였음
- 30일 제한 급수 공문을 발송하고, 광동댐의 수위가 665m 수준인 2009년 1월 6일부터 광역상수도 감량 공급을 통보하였으며, 7일부터 상수도 1단계 제한 급수(5% 감축)를 시작으로 삼수동, 절골, 오투리조트 등 일부 지역이 단수되었으며 8일부터 상수도사업소 비상급수 대책반이 구성되어 비상급수를 실시하였음
- 13일부터는 1일 2회 6시간 급수하는 2단계 제한 급수(30% 감축)를 실시하였고, 1단계 단수 지역을 포함하여 고지대로 확대되었으며, 이후 15일 재난안전종합상황실을 설치하고, 3단계 제한 급수 실시가 결정되었을 때 광동댐의 저수율은 26.5% 수준이었음
- 18일부터 시작된 1일 1회 3시간 급수하는 3단계 제한 급수는 3월 25일까지 약 3개월간 지속되었음
- 광동댐 감량공급으로 인하여 2월 말 기준 태백시에는 당초 계약량의 54% 수준만 공급되었고, 이에 따라 태백시 상수도는 59% 공급률을 기록하였음

<표 27> 태백시 가뭄 진행 및 대책 상황

시기		진행상황
2008년	9월	• 광동댐 수위 하락(9월 2일)
	10월	• 광동댐 유입량 감소
	11월	• 광동댐 수위 급격히 저하
2009년	1월	• 1단계 제한 급수(5% 감축) 시행(1월 7일) - 소방급수 지원요청 및 비상급수 실시 - 물 절약 홍보 전개 • 2단계 제한 급수(30% 감축) 시행(1월 13일) - 대체수원 취수 및 비상급수 실시 • 3단계 제한 급수(50% 감축) 시행(1월 18일) - 대체수원 개발 요청 및 비상급수 실시 - 물 아껴쓰기 홍보운동 전개
	2월	• 계속적으로 비상급수 실시 • 소규모 급수시설 수원 확보(2월 5일) • 병물 지원 시작(2월 11일) • 광동댐 비상용수(사수량) 취수시설 설치(2월 21일)
	4월	• 광역상수도 정상공급(4월 3일)

자료: 태백시(2009)를 참고하여 재작성.

- 한국수자원공사에서 관리하는 용수전용 댐 중에 처음으로 사수 취수를 위한 준비가 이루어지기도 하였으며 광동댐의 사수는 약 40일 정도 용수를 공급할 수 있는 수준이었음
- 2월 21일 광동댐 사수 취수시설이 설치되어 26일 시험가동이 있었으나 3단계 제한 급수 이후 광동댐 저수율 상황이 나아져 실제로 사수 취수가 이루어지지 않는 않았음
- 3월 말 예년보다 많은 강수량인 57.6mm의 비가 내려 26일 광역상수도 감량공급을 30%로 완화하여 공급하는 4단계 제한 급수로 공급시간이 확대되었으며 이는 4월 2일까지 실시되었음
- 3일부터 감량공급을 20%로 완화하는 5단계 제한 급수를 시작으로 태백시의 상수도 공급이 정상적으로 이루어지고 5월 9일 제한 급수 시작 이후 87일 만에 제한 급수가 해제되었음
- 태백시에서는 20개소의 관정 개발 및 보수와 하천수 취수 3개소를 실시하였고, 한국수자원공사에서 관정 개발 3개소를 실시하여 총 23개소 5,276㎥/일을 확보하였음
- 또한 삼척시, 영월군, 정선군에 하천수 취수 승인 요청 후 2009년 1월 13일 황지연못 물을 취수하기 시작하여 금강골과 옥동천의 물을 취·정수처리하여 총 37,000여 톤을 생활용수로 공급하였음
- 이 외에 광동댐 수계의 골지천 건천화 대책과 저수조 및 대형 물탱크의 설치, 노후관로 교체, 보조댐 건설, 빗물 이용 시설, 중수도 시설 설치 등의 방안을 모색하였음

(3) 2012년 가뭄(서산시)

- 2012년 1~5월 강수량은 평년과 비슷한 강수량을 기록하였으나, 5월 중순 이후 6월 초까지 무 강우 기간이 지속되었음
- 5월 전국 강수량은 41mm로 평년의 39%에 불과하였으며, 서해안지역은 5월 평균 강수량은 예년대비 20% 수준이었으며, 이는 지난 30년간의 5월 전국 평균 강수량으로 세 번째로 적은 기록임
- 6월 전국 강수량은 80mm로 평년의 47% 수준이었으며 늦은 장마와 강수량 감소로 인하여 가뭄이 확대되었음
- 강수량 부족에 무 강우 기간이 20여일 이상 지속됨에 따른 저수량의 급감으로 6월 말까지 전국 농업용 저수지의 저수율은 39%를 기록하였으며 평년대비 약 22% 감소하였음

3. 국내외 정책 비교

- 미국은 가장 체계적인 가뭄 대비 계획 및 절차를 운영 중에 있으며, 미국가뭄대책센터(NDMC)의 가뭄 모니터링은 1주일 간격으로 전역의 가뭄 진행상황 및 심도를 결정한 후 가뭄 정보를 제공하고 있음
- NDMC는 가뭄의 위험성 및 피해상황 등을 제공함으로써 가뭄 관리자뿐 아니라 일반 국민도 가뭄에 관심을 갖도록 유도하고 있음
- 가뭄 관리의 필요성을 비롯하여 각 주의 가뭄 관리, 정책 및 문제점에 대한 상세한 분석도 진행하고 있음
- 각 주에서 시행하는 다양하고 개별적인 가뭄 관리는 관리차원에서의 혼란을 야기할 수도 있으나, 이는 미국이 광대한 국가적 특성으로 인한 것으로 고려됨
- 호주는 농업이 국가 경제의 중요 부분으로서 농업 관련 가뭄 감시를 수행하고 있으며, 강우 중심의 분석 체계를 갖고 있음
- 일본은 건설성과 그 산하기관에서 가뭄 감시 및 대책을 담당하며, 중앙의 가뭄대책 관련 법령을 토대로 지방 건설국별로 지부 세칙을 마련하여 운영하고 있음
- 영국은 가뭄 재해의 수습에 중점을 두고 정책이 운영중에 있으며, 갈수령 제도에 의하여 NRA를 중심으로 가뭄 대비 계획을 수립하고 가뭄의 정도에 따라 환경보전을 고려한 절수 조치를 실시하고 있음
- 국내의 가뭄 정책은 외국보다는 다양한 관리 체계를 갖고 있는 것이 특징임
 - 다수의 부서가 가뭄 관리의 목적 및 관점이 상이하기 때문에 국민안전처를 중심으로 하되 각 중앙부처별로 목적별 가뭄 관리 체계를 운영중임

<표 28> 국내외 가뭄관리 체계의 장단점 비교 분석

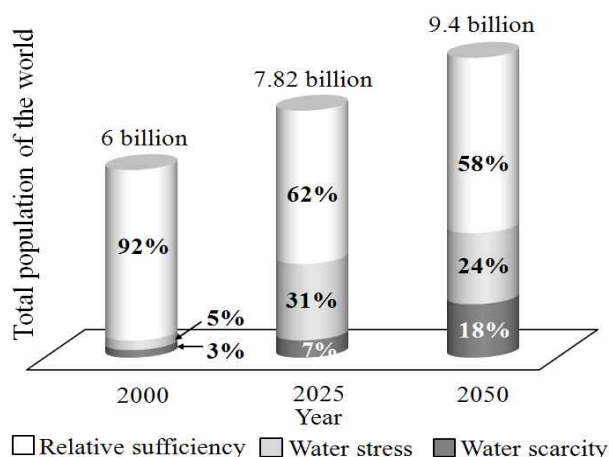
구 분	국 내	국 외
장 점	•여러 부처와 지방자치단체가 고유의 업무에 맞는 가뭄 대책을 수립하여 시행	•가뭄정보의 생성기관이 다원화 되어 있지만 유기적 관계 형성 •공동활용체계 원활 •자료수집체계의 다양화(지역방송, 신문 등)
단 점	•가뭄 정보 생성기관의 다원화 •기관위주의 자료 생성 •공동활용체계 미흡	•자료가 공간적으로 분산 •자료의 공간적 분산으로 정확도 문제의 발생

2절. 국내외 시장현황 및 전망

1. 국외 시장현황 및 전망

가. 물산업 현황 및 전망

- 블랙골드인 석유 시대에 이어, 21세기는 블루골드인 물의 시대로 일컬어지고 있음
- 물 산업은 대표적인 클린테크 분야로, 물을 취수하여 정수 처리한 후 공급하고, 물 사용 이후 오폐수를 이송 처리하는데 관여하는 제조 및 서비스업 일체를 의미함
- 지구상의 물 중에서 담수는 2.5%에 불과하고 그 중에서도 현실적으로 이용 가능한 지하수 및 표층수의 양은 전체 담수의 30.5% 수준에 불과하여 우리 지구는 제한된 수자원을 보유하고 있음(Gleick, 1996; Goldman Sachs, 2008)
- 아울러, 인구 증가와 산업화 등은 물 수요의 급증을 초래하며, 전 세계 인구의 80% 이상을 차지하는 저개발 국가 및 신흥개발국에서 산업화가 빠르게 진행되고 있음
- 세계 인구 증가에 따른 물 스트레스(water stress)와 물 부족(water scarcity) 현상은 2000년부터 2050년까지 각각 5~24%, 3~18%로 크게 증가하는 것으로 예측되고 있고(Gardner-Outlaw and Engelman, 1997; Engelman et al., 2000), 2025년경에는 전 세계의 20% 국가가 심각한 물 부족 위기를 겪을 것으로 전망하고 있음(UN-Water, 2012)



[그림 22] World population in freshwater scarcity, stress and relative sufficiency in 2000, 2025, and 2050

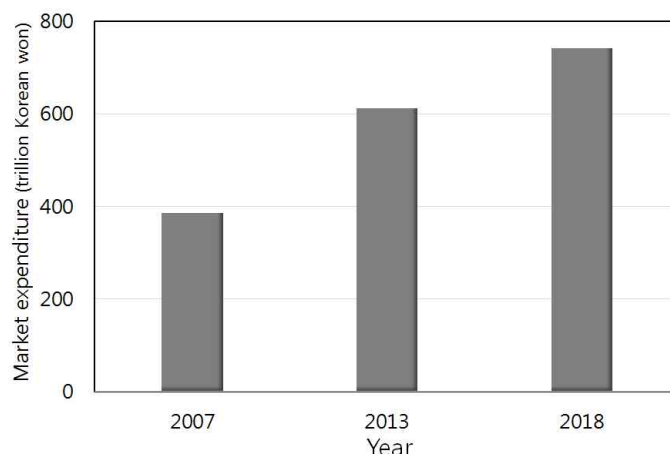
* 자료 : modified from Gardner-Outlaw and Engelman, 1997; Engelman et al., 2000

- 일인당 최소 연평균 2,000 l 를 소비하는 세계의 인구는 매년 8,000만 명씩 증가하고, 2010년에는 69억명, 2030년에는 83억명, 2050년에는 91 ~ 94억명으로 증가할 것으로 예상하고 있어 물 수요는 지속 증가할 것으로 예상됨¹¹⁾
- 인구 증가와 더불어 식생활 변화는 물 소비를 배로 증가시키는데, 예를 들어 곡물 1 kg, 소고기 1 kg 및 커피 한 잔을 생산하는데 각각 물 3,500 l , 15,000 l 및 140 l 가 소요되는 등 간접적인 물 소비의 증가가 지속될 것으로 예상됨¹²⁾
- 이처럼 수요 급증으로 초래될 물 부족은 물의 경제적 가치를 높이고, 물 값의 상승을 초래하여 물 부족을 심화시킬 것으로 예상됨
 - 따라서 원거리로부터의 운송과 유역종합개발이 어려울 경우에는 하수의 재이용 시설 확충이 우선시 되고 있으며, 이와 더불어 Local 단위의 수원 확보 방안이 고려될 수 있음
- 빙하가 녹게 되면 해수면 상승은 네덜란드 및 방글라데시와 같은 저지대 국가, 그리고 바다에 인접한 도시국가에도 영향을 미칠 것으로 예상됨
- 이러한 결과는 해수면 상승으로 인하여 해수와 담수의 경계가 무너져 이용 가능한 담수의 양이 현존하는 0.8% 보다 더 크게 감소하게 되어 예상한 물 부족 현상이 더 빠르게 가속화 될 것으로 판단됨
- 세계 물 시장 규모는 음료시장, 주택용 및 상업용 시장을 제외한 공공 상수도 및 하수도, 산업시설과 담수시장의 자본투자(capex, capital expenditures) 및 운영투자(opex, operating expenditures)의 합계로서, 2007년 약 385조원, 2013년 612조원 및 2018년 742조원으로 지속 상승될 것으로 예측되고 있음¹³⁾
- 이와 같은 증가는 국가 및 지방단체가 주도하였던 물 사업이 민간부문으로 확장되면서 글로벌화의 진행과 개방형 시장으로 바뀌는데 기인하고 있음
- 2013년 세계 물시장 규모는 상수 시장이 약 305조원(48.9%), 하수 시장이 약 243조원(39.6%), 산업용수 및 폐수 분야가 약 65조원(10.6%) 및 해수담수화가 약 7조원(1.1%)으로 추정되고 있음(GWI, 2013)

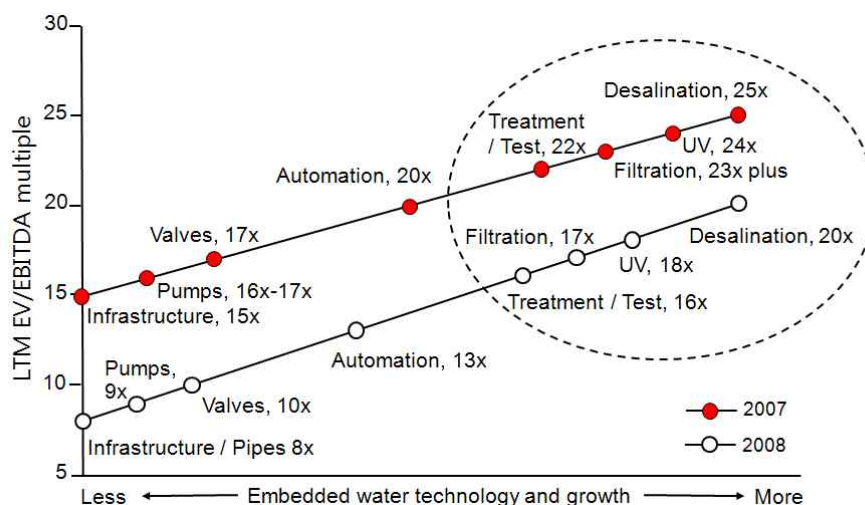
11) Gardner-Outlaw and Engelman, 1997; Engelman et al., 2000; UN-Water, 2012

12) Heekstra and Chapagain, 2008; UN-Water, 2012

13) GWI, 2007, 2010, 2013; Ryu, 2009; Fig. 4



[그림 23] Scale of water industry market(modified from GWI, 2007; 2013)



[그림 24] Water technology valuation continuum, 2007 and 2008(modified from Goldman Sachs, 2008; PWC, 2012)

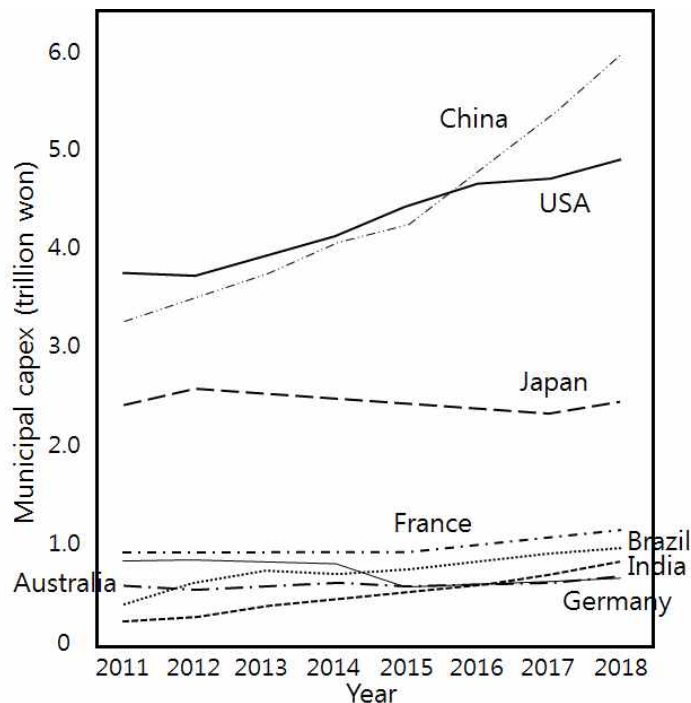
- 이와 같은 물 산업 규모의 지속 성장세와 더불어 기후변화 등에 대비하기 위한 유역 물 개발 및 관리 분야와 상하수도에 대한 대체수자원 시장 등이 대두되고 있음
- 이와 관련한 신기술 패러다임의 확산은 경쟁 우위의 기술력에 기반하여 사업화가 이루어지고 있음
- Goldman Sachs(2008) 및 PWC(2012)에 의하면 12개월 동안의 기업의 시장가치 (EV)¹⁴⁾ 와 세전영업이익(EBITDA)¹⁵⁾의 비를 분석한 결과, 물 관련 범용 제품인 펌프나 밸브 전문 기업보다는 담수 처리시설, 필터 전문기업, UV 수처리 기업 등 전문분야의 기술 역량을 가진 기업의 시장 수익률이 2007년

14) EV : Enterprise value

15) EBITDA : Earnings before interest, tax, depreciation and amortization

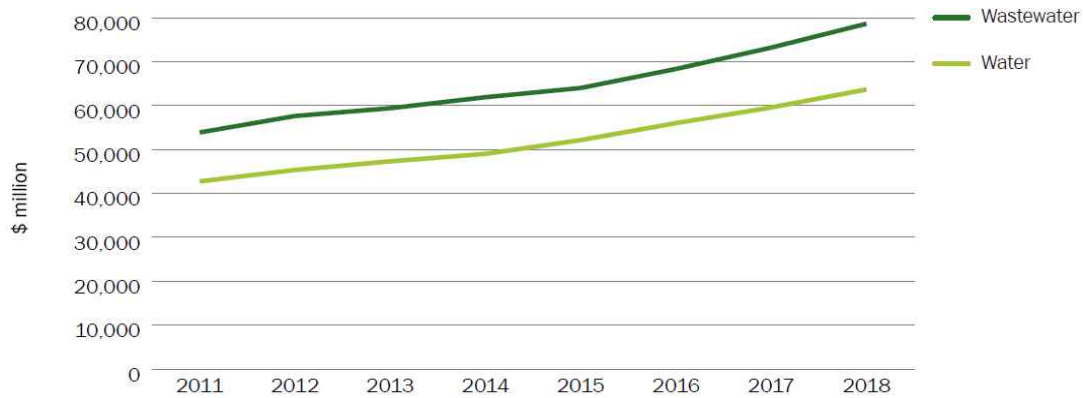
과 2008년에 가파르게 성장하고 있음을 알 수 있음

- 아울러, 댐 건설, 홍수 조절 및 수력발전, 친수 도시개발, 황무지의 경지화 및 관개용수 공급 등 유역의 종합개발 및 관리 분야와 강변여과수 개발, 인공함양 및 빗물 저장 등의 분야는 선진국이 우수한 설계 시공 기술을 바탕으로 시장을 주도하고 있음
- 이러한 세계적 물 산업은 2013년 기준으로 세계 물 산업과 관련된 주요 국가별 물시장 규모는 미국이 120조원으로 가장 크고, 일본이 84조원, 그리고 중국이 64조원 순으로 나타나고 있으며, 한국은 10조원으로 세계 9위를 기록하고 있음(GWI, 2013)
- 물시장 규모의 급격한 증가와 더불어 전세계 물 기업 수는 1999년 73개, 2003년 103개, 2008년 151개 그리고 2011년은 167개로 증가하는 추세를 보이고 있음(Pinsent Masons, 2011)
- 최근 2011~2018년까지의 상위 8개 국가의 물 시장 관련 자본 투자 추세를 보면, 2011년경에는 대부분의 국가에서 완만한 상승 또는 정체되는 경향을 보였으나, 급속한 경제 성장률을 보이는 중국, 인도, 브라질 등의 일부 국가에서는 가속화되는 경향을 보이고 있음(GWI, 2013)
- 이와 같은 BRIC(Brazil, Russia, India and China) 국가는 향후 5년간 (2013~2018년) 강한 성장율을 예상하고 있으며, 특히 중국의 물 관련 자본 투자는 2016년경을 기점으로 미국을 추월할 것으로 전망하고 있음



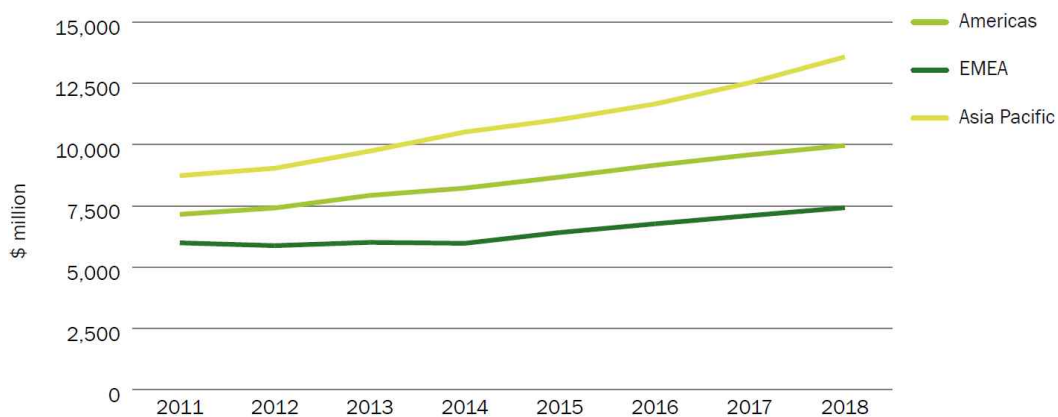
[그림 25] The top eight municipal water capex markets from 2011 to 2018(modified from GWI, 2013)

- 최근 물 순환 시스템을 통합 관리하는 민간기업 중심형으로서 시설물 건설과 운영사업이 동시에 수행되는 사업 방식이 추진되고 있음
 - 물 산업은 민영화의 영향이 반영되고 있는데, 국가 주도형 물 산업 국가에서는 상하수도의 설계, 제조 및 건설은 민간 기업, 운영 및 관리는 국가가 담당하는 형태를 갖고 있음
 - 개발도상국과 신흥개발국의 경우는 민간 기업이 시설물 일체를 제공하고 장기 운영계약을 통하여 투자 회수하는 민영사업 방식을 채택하고 있음
 - 최근 들어, 물이 경제재로 인식되면서 민간 기업에 의한 물 관리 방법으로서는 물 순환 시스템 구축을 일괄적으로 제공하는 토탈 솔루션 사업이 부상하고 있음
 - 이와 같은 신사업의 정착을 위해서는 물 자원에 대한 무한 책임을 도모할 수 있는 제도가 요구되고 있음
- 국내에서도 물 산업이 다양화되면서 관련 첨단 기술의 개발, 물 수요 증대 및 물의 경제재 역할 강화 등으로 민영화, 개방화 및 국제화가 가속화되어 국경 없는 시장이 될 것으로 전망됨
 - 국내의 경우 국제화를 통해 다국적 기업들이 진출하고 있으며, 대표적으로 두산중공업의 2008년에 미국 수처리 엔지니어링 업체인 Carollo와 기술협약을 체결, 삼성 엔지니어링의 세계 최고의 물관리 전문기업인 프랑스 베올리아사와 합작으로 “삼성베올리아 인천환경주식회사”를 설립 등이 있음
- GWI에서 추정된 자료에 의하면, 세계의 상수 및 하수도망 시장 규모는 2013년 1,067억 달러이며, 2018년 1,423억 달러로 연 6%씩 성장할 전망이다
 - 2013년 상수도망 시장 규모는 473억 달러이며, 하수도망 시장 규모는 594억 달러로 하수도망 시장이 수도망 시장의 56%를 차지하고 있으며, 상수도망 시장 473억 달러 중 건설부분이 253억 달러로 53% 차지하고, 하수도망 시장 594억 달러 중 건설부분은 370억 달러로 가장 높은 비중을 차지하고 있음
 - 지역별 상수도망 시장은 아시아 지역이 222억 달러로 가장 큰 비중을 차지하며, 국가별로는 중국 94억 달러, 미국 73억 달러, 일본 72억 달러 순이며, 특히 중국은 경제성장에 따른 상수도망 건설에 많은 투자를 할 예정으로, 2018년 상수도망 시장규모는 147억 달러 규모로 확대될 전망이다

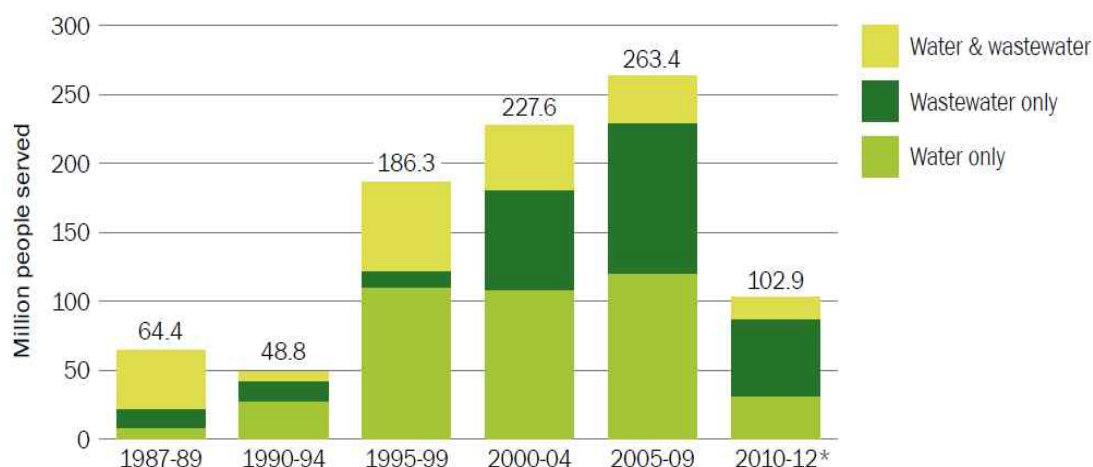


[그림 26] 세계의 상수 및 하수도망 시장 현황 및 전망

- 전 세계의 상수 처리 플랜트 시장 규모는 2013년 237억 달러이며, 2018년에는 300억 달러를 돌파할 전망이다
- 지역별로는 2013년에 아시아 지역이 97.4억 달러로 가장 큰 시장을 형성하고 있으며, 미주지역 79.3억 달러, 유럽지역 60억 달러 순으로 나타남
- 국가별로는 미국이 58억 달러 규모로 가장 큰 시장이며, 중국 50억 달러, 일본 23억 달러, 프랑스 13억 달러에 해당함
- 향후 중국의 경우 2017년까지 313억 달러가 상수 처리시설에 투입될 것이며, 2017년 77억 달러 시장을 형성해 미국을 앞지를 전망이다



[그림 27] 지역별 세계 상수처리 플랜트 시장 현황 및 전망



[그림 28] 운영시장의 민영화로 인하여 기업으로부터 신규로 물 공급 받는 인구 현황

- 세계 상수 및 하수 운영시장 규모는 2013년 3,091억 달러이며, 전체 물시장의 55%를 차지하는 등 운영관리 부분이 높은 비중을 차지하고 있음
- 운영시장 구성은 상수부분 975억 달러, 하수 730억 달러, 고객 서비스 및 간접비용 1,386억 달러로 구성되는데, 상수 운영 시장의 규모가 하수 운영 시장 보다는 크며, 상수 운영시장 규모는 1,875억 달러, 하수 운영시장 규모는 1,216억 달러에 달함
- 운영비용 및 신규 수요 증가는 운영시장의 민영화를 촉진하고 있으며, 물 전문 기업들이 운영시장에 참여 하는 시장 규모가 큰 폭으로 확대되고 있음
 - 특히, 선진국은 물관리에 대하여 공기업 위주의 운영/관리 문제 해결을 위한 전문기업 체제를 도입하고 있으며, 민영화를 통해 노후화된 시설을 개선하기 위해 막대한 자금 조달 문제를 해결하고자 노력하고 있음
 - 후진국은 경제성장에 따라 수자원의 필요성이 증대되고 있으나, 이를 개발하기 위한 자금력이 부족한 상황에 처해있음
- 2013년에 상수 및 하수 운영시장에서 민간 기업들이 참여 가능한 시장 규모는 338억 달러이며, 2016년 452억 달러로 증가할 전망이다
- 물부족 국가는 안보차원에서, 기술보유국은 신산업으로 물산업을 육성하고 있으며, 물산업의 수출산업화와 해외진출 확대를 위한 주요국의 노력이 각축전을 벌이고 있음
- 프랑스는 자국 물산업 육성보다는 자국 기업의 해외진출 지원에 중점을 두고 해외진출지원 전략 수립과 국제표준화를 유도하고 있음
- 일본 역시 2009년부터 물산업의 해외진출을 위한 국가전략 수립(녹색위 외, 2010)하고 있음

- 이스라엘은 국가 소유의 공기업을 활용하여 제조, 부품, 소재 등 물 연관 산업을 육성하고, 싱가포르를 물 산업 클러스터 구축 및 자국 프로젝트에 자국기업을 참여시킴으로써 물산업을 육성 도모하고 있음
- Furtune지는 2000년 5월 특집기사로 21세기 물 산업이 20세기 석유 산업을 능가할 것이라는 전망을 내어 놓고 물산업의 성장성을 높이 평가하고 있음
- 세계은행은 20세기의 전쟁이 석유전쟁이라면 21세기 전쟁의 목적은 물이 될 것이라고 예상한 바 있음
- 석유로 대표되는 블랙골드 시대에서 물로 대표되는 블루골드 시대 도래에 대한 낙관적인 전망들은 물산업에 대한 중요성을 대변하고 있으며, 손쉽게 구할 수 있는 물 자원에 대한 기존의 인식이 변화하고 있고 자원으로써 중요성은 날로 커져갈 것으로 전망됨
- 주요 국가의 물 산업 지원 정책은 다음과 같음

<표 29> 주요 국가의 물산업 지원 정책

국가	정책	목표	참여기관	형태
싱가포르	Hydrohub (2006년)	2015년 17억 싱가포르달러 부가가치 및 11,000명 고용 창출	기업(70여개), 연구기관 (민간14개, 공공 8개)	클러스터 구축
이스라엘	NEWTech (Novel Efficient WaterTechnologies) (2006년)	2006년 대비 2011년 물 기술 관련 수출 2배 증가	산업통상부 및 250개 벤처기업	수출산업화
네덜란드	Wetsus (2004년)	2010년 약 100개 연구프로젝트 수행	기업(80여개), 연구기관 (14개)	연구기술
호주	Water Industry Alliance (1998년)	2010년 7억 5천만 호주달러 규모 수출	대학, 기업, 정부	민간주도의 수출산업화
일본	물산업 해외진출 확대 (2009년)	2025년 해외물시장의 6% (약 1.8조엔) 차지	정부, 금융, 기업	해외진출확대
한국	물산업육성전략 (2010년)	2020년 세계적 물기업 8곳 육성 및 37,000개 일자리 창출	정부, 기업, 지자체, 연구기관	기술개발 및 산업육성

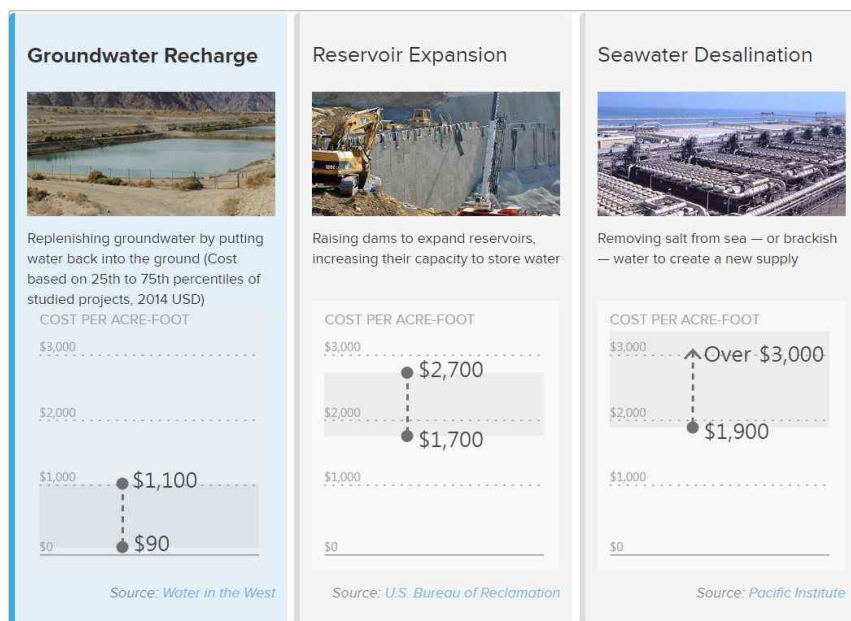
○ 주요 국가별(아시아, 중동, 아프리카 등) 물산업 현황과 전망은 다음과 같음

<표 30> 주요 국가별 물산업 현황 및 전망

국가	물산업 현황	전망
중국	2.6억명(2010년 기준) 물공급 사각지대에 있음 - 도시화, 소득증대 등으로 물 소비 증가 - 가뭄 등의 자연재해로 물공급이 어려움 - 빠른 경제성장과 비례하여 물 부족 문제 이슈화 - 상수 188억달러, 하수 152억달러(2013)	- 상수 272억달러(2018년) 증가 전망 - 폐쇄적 시장정책으로 해외기업 접근이 힘들 - 기술축적에 따른 외국기업 접근을 제한
인도	- 상수 공급 인구 43%, 하수 11%수준 - 물시장 규모는 75억달러 - 상수 23억달러 수준 - 빠른 경제성장과 비례하여 물 부족 문제 이슈화	- 경제성장에 따른 물 수요 증가 예상 2018년까지 연 14%씩 증가 전망 - 상수시장 48억달러(2018년)로 증가 예상 - 지속적인 투자 증가 예상
인도네시아	- 상수 공급 인구 21%, 하수 2%수준 - 안정적 물공급이 어려운 실정 - 물산업 30억달러 수준 - 빠른 경제성장과 비례하여 물 부족 문제 이슈화	- 경제성장에 따른 물 수요 증가 예상 2018년까지 연 14%씩 증가 전망 - 물산업 59억달러(2018년)로 증가 예상 - 지속적인 투자 증가 예상
방글라데시	- 상수 공급 인구 23%, 안정적 상수공급 중요 - 물산업 3억달러 수준 - 빠른 경제성장과 비례하여 물 부족 문제 이슈화	- 경제성장에 따른 물 수요 증가 예상 - 물산업 4억달러(2018년)로 증가 예상 - 지속적인 투자 증가 예상
태국	- 상수 공급 인구 47%, - 물산업 14억달러 수준 - 빠른 경제성장과 비례하여 물 부족 문제 이슈화	- 경제성장에 따른 물 수요 증가 예상 - 물산업 19억달러(2018년)로 증가 예상 - 지속적인 투자 증가 예상
사우디아라비아	- 상수 공급 인구 8%, 하수 58% - 물산업 60억달러, 상수 17억달러 수준 - 빠른 경제성장과 비례하여 물 부족 문제 이슈화	- 경제성장에 따른 물 수요 증가 예상 - 물산업 93달러, 상수 27억달러(2018년)로 증가 예상 - 충분한 재정을 바탕으로 가장 유망한 시장
알제리	- 지역편중 심화, 지속적인 물정책 시행 - 물산업 25억달러 수준 - 빠른 경제성장과 비례하여 물 부족 문제 이슈화	- 경제성장에 따른 물 수요 증가 예상 - 물산업 30억달러(2018년)로 증가 예상 - 지속적인 투자 증가 예상
앙골라	- 물산업 5.4억달러 수준 - 빠른 경제성장과 비례하여 물 부족 문제 이슈화	- 물산업 8.2억달러(2018년)로 증가 예상 - 지속적인 투자 증가 예상

나. 지하수 기술 개발 시장 전망

- 미국환경보호청에서는 주입관정(Underground Injection Control, UIC)을 클래스 I~Ⅶ까지 6개의 그룹으로 나누어 관리함
- 수자원 확보를 위한 인공함양은 클래스 V에 해당하며 물을 인위적으로 주입관정을 통해 대수층에 주입시키거나 강수를 연못과 같은 구덩이를 통해 대수층에 침투시켜 저장함(USEPA, 2016c)
 - 인공함양을 이용한 수자원 확보 방법은 댐 건설 및 해수 담수화와 같은 방법에 비해 상당히 저렴함
 - 인공함양 비용은 에이커 풋(acre-foot) 당 90에서 1,100달러가 소요되며 일반적으로 에이커 풋 당 평균 390달러인 반면 댐 건설 비용은 에이커 풋 당 1,700에서 2,700달러로 인공함양 평균 비용에 비해 최소 4배 이상임
 - 해수 담수화 비용은 이들 보다 더 많은 비용을 요구하며 에이커 풋 당 적게는 1,900달러에서 많게는 3,000달러까지 요구되어(WW, 2014a) 미국에서는 지하수 인공함양이 댐 확장과 해수담수화 사업보다 매우 활발함



[그림 29] 수자원 확보 프로젝트 비용(WW, 2014a)

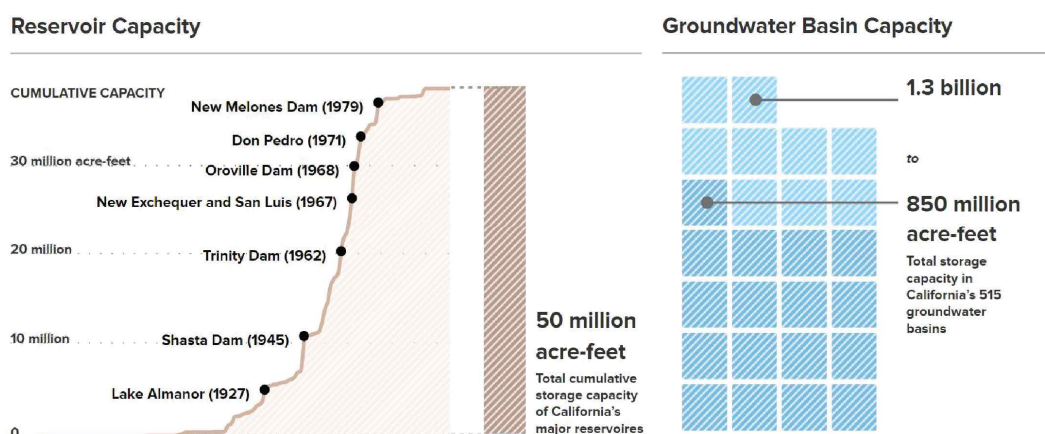
- 인공함양은 비용 효과적일뿐만 아니라 다양한 장점을 가짐
- 인공함양 해당 부지 선정 및 이용에 대한 허가와 설치·운영비용이 저렴함
 - 댐에 가두어진 수자원은 날씨 또는 지역에 따라 증발량이 다르며 손실되는 양이 크지만 인공함양은 이러한 영향을 최소화 할 수 있고 주입 후 에너지

를 더 소모하거나 온실가스를 배출하지 않음

- 또한 지하수와 하천수가 상호작용 함에 따라 인공함양을 이용하여 에코시스템을 복원하는 역할을 함(USEPA, 2016c)

○ 인공함양을 통해 대수층에 수자원을 저장할 수 있는 용량은 댐에서 저수할 수 있는 양보다 월등히 많음

- 캘리포니아 주의 메이저 댐과 보에서 저장할 수 있는 총 저수용량은 알마노호부터 뉴멜론 댐까지 5,000만 에이커 풋인 반면 대수층에 저장할 수 있는 용량은 최소 8억 5천만에서 최대 13억 에이커 풋으로 댐과 보에서 저수할 수 있는 총 저수용량보다 약 17배 이상 많은 것으로 추정됨(WW, 2014a)



[그림 30] 댐 저수 용량과 인공함양 저장용량 비교(WW, 2014a)

□ 일반적으로 수자원이 대수층에 함양되는 방법은 자연함양과 인공함양이 있음

○ 자연함양은 강수, 융설 및 하천 등이 지하로 침투되어 대수층에 저장되지만 도시환경에서는 불투수성 피복(아스팔트 도로, 빌딩, 주차장, 지붕, 배수로 등)으로 덮여 있는 면적이 넓어 자연함양이 어려움

○ 인공함양은 주입관정에 고압 펌프를 이용하여 물을 강제로 대수층에 침투 시키거나 인공연못에서 천천히 대수층에 침투시키는 방법이 있음

- 인공함양시 해당부지의 토양과 지질 특성으로 물의 침투속도가 달라지며 주입관정 또는 인공연못을 운영하기에 적절한지 고려해야 함

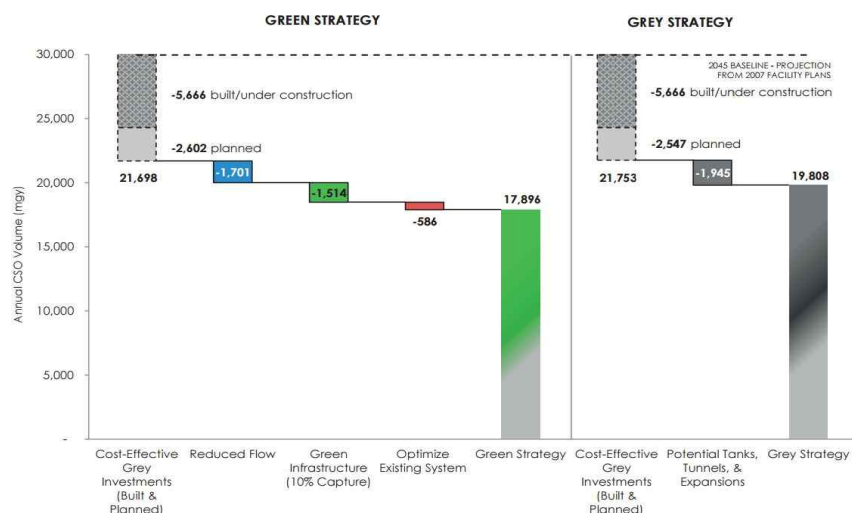
- 또한 주입하는 물이 강, 하천, 폭우에 의한 유출수 또는 처리수인지 파악하고 인공함양 시설까지 이동시켜야 하는지도 고려해야 함(USEPA, 2016c)

□ 미국에서는 인공함양 R&D 프로젝트가 진행됨에 따라 다음과 같은 사항 및 효과가 고려되고 있음

○ 강우시 인공함양을 위해 만들어진 시설 또는 인공연못으로 인해 홍수(재난)

위험을 최소화함

- 지표수를 이용하지 않는 경우 처리수 또는 강우를 이용한 인공함양을 통해 해안 지역에서 과도한 지하수 사용으로 인한 해수침투 발생을 방지
 - 인공함양을 위해 습지 서식지를 제공하면 자연생태계가 유지/보존됨
 - 인공함양을 통해 지하수위가 지속적으로 상승함에 따라 지하수 양수 시 사용되는 에너지의 양이 줄어들어 결과적으로 온실가스 감소효과로 이어짐
 - 대수층에 인공함양을 함으로써 오염농도, 질산성질소, 염도 등의 농도가 낮아져 자연적/인공적으로 지하수 수질이 개선됨
- 그린인프라 계획(Green Infrastructure Plan)은 2010년 뉴욕 시에서 발표되었으며 불투수성(아스팔트, 건물, 주차장, 도로 등) 토지피복을 줄이고 투수성 피복(생태지붕, 빗물정원, 잔디, 화분 등)을 늘림으로 지하수 확보는 물론 자연 물순환 상태를 복원하는 것임(NYCEP, 2016)
- 불투수층 토지피복을 자연 상태로 되돌려 놓음으로 수질을 향상시키고 빗물이 대수층에 쉽게 함양되어 지속사용 가능한 수자원을 확보함
 - 하수관거시설 및 우수처리구조물보다 약 20억 gal/year 더 많은 우수를 처리할 수 있으며 비용 효과적임
 - 인공구조물 밀도가 높은 뉴욕 시에서 강수의 10%를 포집할 수 있음(토지이용 및 시설유형에 따라 다른 목표치 설정)
 - 그레이(Grey)구조물 보다 녹색(Green)식물이 많아짐에 따라 도시의 열섬 현상 감소, 에너지 절감 효과, 도시 가치 증가, 공기정화 효과, 수질 향상 등을 얻음



[그림 31] 그린인프라 계획과 그레이구조물 계획의 CSO (Combined Sewer Overflows) 체적 예상 비교(NYCEP, 2010)

2. 국내 시장현황 및 전망

가. 지하수 시장 현황 및 전망

(1) 지하수 환경 변화

- 국내 물 이용량은 연간 약 255억 m^3 이며, 이중에서 지하수는 15.3%인 39.1억 m^3 을 차지함(MLTM, 2012; MLTM and K-water, 2012)
- 지하수 이용량은 1994년 통계 집계 이후 약 1.5배가 증가하였는데 생활용 및 농업용 지하수 이용량의 증가가 두드러짐(Kim et al., 2012)
- OECD 국가의 경우에도 전체 물 이용량 중에서 지하수가 차지하는 비율이 꾸준히 증가되는데, 지하수 이용 비율이 북미는 약 24%, 유럽은 약 21%으로 OECD 평균은 약 22%임(OECD, 2010)
 - 특히, 음용으로 사용되는 지하수 비율은 유럽 약 75%, 미국 약 51%, 아시아 약 32% 및 중남미 약 29%로 매우 높은 편
- 이상과 같이 우리나라는 외국에 비해 지하수의 활용이 다소 저조한데, 이는 1960년대 이후 급속한 경제개발 과정에서 대량의 용수확보를 위해 지표수 개발 위주의 정책을 추진하였기 때문임
- 그러나 2000년대 이후 오염이 증대되고 양질의 수질에 대한 욕구 등으로 지표수 개발여건은 불리해지고 있으며 이와 같은 경향은 향후 지속될 것으로 예상되어 정부에서도 지하수 정책의 변화를 주어 지금까지 추진해온 보전·관리 위주에서 지속가능한 지하수 활용으로 전환하였음(MLTM, 2012)
- 1994년 지하수법이 시행되어 보전관리 정책이 우선시 되면서 지하수 산업 위축이 지난 십여 년간 지속되었으나, 정부의 정책 전환 및 맑은 물에 대한 국민의 욕구 등은 먹는 물에서의 지하수 역할 증대를 기대하고 있음
- 국내에서 강변여과수 개발은 1990년말부터 생활용수 및 하천유지용수 공급을 위하여 추진되었음
- 낙동강 중류 구미 지역을 대상으로 보 담수 이전과 이후의 강변여과수 개발가능량을 기존의 3개 경험식(Petrovic, Milojevic 및 Kordas 경험식)을 토대로 비교 검토하면, 각각 41.8%, 94.1% 및 96.9%의 추가 개발이 가능한 것으로 평가됨(Kim et al, 2014)
- 이와 같이 보 상류지역의 제내지 지하수위는 과거에 비하여 약 2 ~ 3 m 정도 상승하였으며 이는 강변여과 집수정내 수위강하량을 증가시켜 취수량을 증대시킴

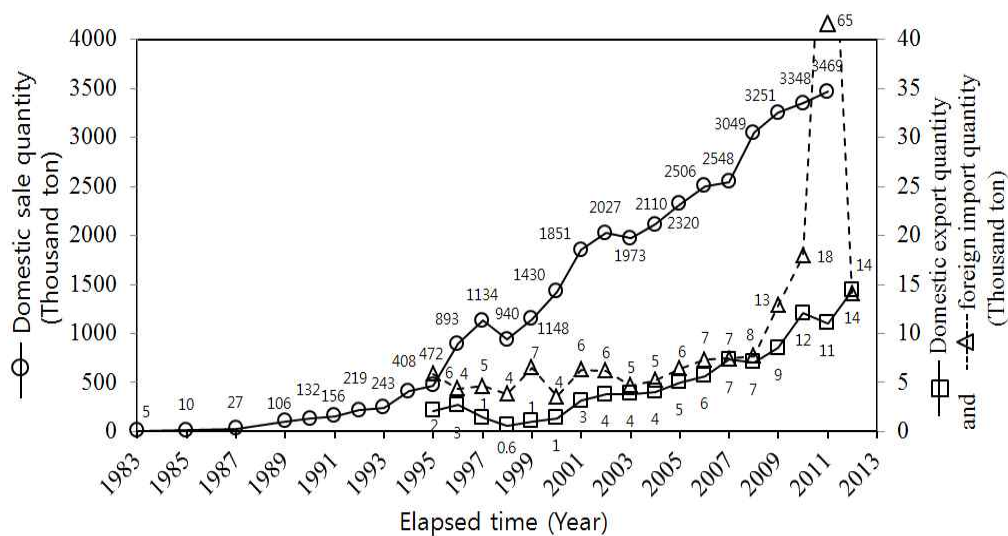
- 기존 자료(ME, 2009; K-water, 1996)에 의하면, 국내 대하천 주변에는 일일 수천 m^3 내지 수만 m^3 의 강변여과수를 개발할 수 있는 지점들이 많이 분포하고 있어 보에 의한 수위 상승 효과로 최대 일 수십만 m^3 의 지하수 개발이 추가로 가능할 것으로 전망됨

(2) 지하수 시장 현황과 방향

- 우리나라 먹는샘물 제조업체는 1995년 「먹는물 관리법」 시행 당시 14개소에서 2011년 12월말 현재 67개소로 증가하였음

- 먹는샘물 시장은 전체 물 산업 규모의 7%를 차지하며, 지구온난화 및 환경 변화, 그리고 사회적 안전불감증으로 인하여 수돗물을 대체하는 시장 특성을 갖고 점차 커지고 있으며, 최근에는 기능성 생수를 생산하는 프리미엄 생수시장도 크게 증가하였음

- 국내 먹는샘물 판매량은 1983년 5천 m^3 에서 2011년 3,479천 m^3 으로 증가하였으며, 1983년 판매금액은 약 3.6억원에서 2011년 3,700억원 규모로 1,000배 이상의 증가를 보여 2001년 이후에는 매년 9%씩 성장하고 있음(ME, 2002; ME, 2012)
- 최근 들어 일반 생수의 시장증가율은 연간 약 9%이나 프리미엄 생수시장은 20% 이상 성장하고 있으며(ME, 2012), 특히 제주삼다수의 경우에는 2010년 기준 당기순이익 205억원에서 2012년 409억원으로 2배 상승함(www.jpdc.co.kr)



[그림 32] Sales tracking of domestic sale, export and imports quantities for bottled water(modified from ME, 2002, 2012; www.customs.go.kr)

- 우리나라는 외국에 비하여 고부가 기능성 지하수가 부존되어 있는 것으로

평가할 수 있는데, 지형·지질학적으로 지하수의 특성을 차별화 하여, 마나둑 및 고미네탈 지하수, 광천수, 용암해수, 그리고 해양심층수 등과 같이 고급화 전략으로 나아가야 함

- 세계적 경쟁력 강화를 위해 고부가 기능성 지하수가 부존되어 있는 지역을 조사 발굴함으로써, 지하수의 차별성과 경제성의 평가 및 물 산업화 방안 등을 마련해야 함
- 따라서, 유럽시장이 선점하고 있는 상하수도 사업 분야보다는 기후변화와 인구증가에 따른 물부족과 관련하여 성장하고 있는 유역종합개발 및 먹는샘물 특성화 개발 분야에 우리나라가 적극 참여할 필요가 있음

<표 31> Annual status of bottled water sales(ME 2002, 2012)

(unit: million won)

Year	1983	1985	1987	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Amount	359	2,031	5,220	15,065	15,086	18,197	30,205	33,636	62,382
Year	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Amount	72,652	137,964	118,373	90,382	127,484	156,189	203,153	217,492	190,315
Year	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
Amount	221,529	245,544	274,261	285,104	307,578	326,830	340,141	375,367	

- 물 산업은 녹색 기술을 비롯하여 ICT 등과 연계한 융합기술로 발달하고 있는데, 물 산업의 경쟁력을 확보하기 위해서는 이들 연계 기술의 통합되는 물 산업 클러스터 구축이 요구됨
- 이스라엘의 Mekerot와 싱가포르 PUB는 각 국의 정부 주도하에 약 300개의 물 산업 기업이 연계된 테스트베드를 구축하여 세계적 수준의 폐수 재활용, 정수, 빗물 활용, 관개, 해수담수화 기술을 개발하여 물 산업을 선도함(Kim, 2010, 2011)
- 물 산업은 기술 집약적 산업으로 성장하고 있어 기존 선진기업과의 차별화 및 신기술 확보를 위해서는 국가 주도의 R&D 활성화 및 기술개발 허브(Hub)인 “물 산업 클러스터” 조성이 시급히 요구됨
- 특히, 위에서 언급한 바와 같이 우리나라의 먹는샘물의 우수성과 차별성을 더욱 부각하고 발전시키기 위한 “지하수 산업 클러스터”의 구축도 병행되어야 함
- 현재 환경부와 함께 부산, 대구, 경기도, 인천, 군산 등 지자체를 중심으로 클러스터 구성을 계획하고 있는데(Cho et al., 2012), 세계 수준의 지하수 관

련 연구 시설, 물 전문기업 유치, 창업보육기관, 전문가 양성 및 국제 마케팅 등의 기능이 포함되어야 함

(3) 지하수 산업 육성

□ 정부는 2010년 10월에 미래산업의 블루오션인 물 산업 육성의 필요성을 강조하여 물 산업 강국으로 도약하기 위하여 “물 산업 육성 전략”으로 발표함

○ 정부는 물 산업 육성 방안으로 “원천기술 개발”, “전문 물기업 육성”, “연관산업의 육성”, “해외진출 활성화” 등 4대 핵심전략, 10개 정책과제 제시하였으며, 2020년까지 3조 4,609억 원의 예산을 투입하여 추진 중 (ME, 2010)

○ 국내 지하수의 차별성과 우수성에 대한 체계적인 검증 평가가 선행되고 제품화하는 방안에 대하여 지속적인 육성 방안이 필요함

- 우리나라도 선진국 수준으로 경제가 발전하면서 단순한 음용이 아닌 치료 목적 등 물의 다양한 용구가 표출됨

- 먹는 샘물의 다양한 효용성에 대한 검증은 오랜 시간이 소요되거나 특별한 환경 하에서 수행되어야 하므로 지하수 산업 클러스터에서 집중적인 연구가 수행되어야 함

- 지하수는 일반 상수도 등에 비하여 풍부하고 다양한 미네랄이 포함되어 있으며, 외국의 경우에는 의학적 임상실험 등을 통하여 신체에 건강한 물 및 치료제로 활용됨

- 따라서, 국내에 지하수 산업의 범위를 한정하기 보다는 선진 해외시장 및 물 스트레스 국가 등을 대상으로 한 다양한 지하수 산업 분야를 개척해 나가야 하며, 이를 통하여 지난 10여년 이상 침체된 국내 지하수 산업의 활로를 개척하고 일자리 창출 등에 기여할 필요가 있음

□ 그 동안 지하수 산업은 먹는 샘물에 대하여 주로 언급되어 왔으나 보다 다양한 지하수 산업의 접근이 필요함

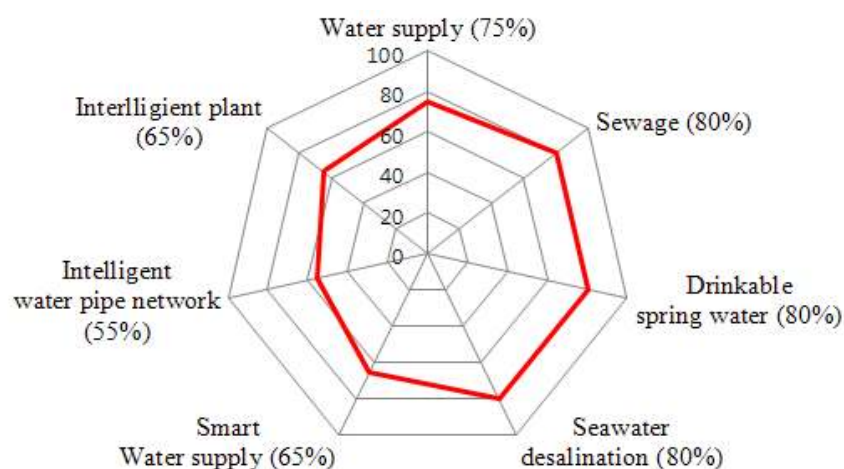
○ 물 산업은 시설 설계, 공장 및 생산 설비, 그리고 소재 산업과 같은 다양한 산업에 파급 효과를 가짐

○ ICT(information and communications technology)와 같은 타 분야의 접목이 활발해지고 있음

- 2006년 기준 상·하수, 먹는 샘물, 해수담수화, 스마트 상수도, 지능형 상수관망 및 플랜트의 선진국 대비 국내 물 산업 기술수준은 약 55~80%의 수준

(PCGG et al., 2010)

- 지하수 분야의 ICT 접목은 강변여과 및 관정 등 지하수 생산시설의 자동화 및 관리 시스템, 먹는 샘물 생산 공정, 지하수의 행정 관리 및 정보 서비스, 지하수 계측 등의 분야에서 적극 추진할 수 있음
- 그 동안 지하수의 개발에는 재래식 방법을 적용하여 첨단 ICT 분야의 접목은 거의 이루어지지 않았으나, 굴착 및 부대 시설물 설치 등에 장비의 원격 조정, 취수 구조물내 계측설비 병행 설치, 굴착 기록의 자동화 등이 가능한 분야임
- 또한, 강변여과수와 같이 대규모 시설의 경우에는 개발 이후의 시설물 및 자료 관리에 SMART 기법인 증강 현실 등을 활용하여 현장 관리를 보다 체계화할 수 있음
- 나아가서 지하수의 행정관리 및 서비스 분야는 SMART 기법을 활용하여 실 소비자에게 신속히 제공하여 지하수의 선택권을 제공하는 것도 필요함



[그림 33] Technology level of domestic water industry in contradistinction to an advanced nation(modified from PCGG et al., 2010).

- 강변여과수의 개발 사업은 지하수가 2차 산업에 기여할 수 있는 부분임
- 4대강 사업 이후 국내 강변여과수의 개발 여건이 개선되고 있다는 점은 양질의 상수원을 추가로 확보하고자 하는 지방자치단체에 희소식
- 그러나 선진국의 경우 일반적으로 집수정당 50,000 ~ 150,000 m³/d의 취수량을 확보하고 있으나 국내는 최대 20,000 m³/d의 규모에 머물고 있어 강변여과 개발 사업의 걸림돌로 작용함
- 이는 국내 지질 여건이 외국과 상이한 점을 고려하더라도 강변여과 개발의

조사, 설계, 시공 및 유지관리 기술이 초보적 수준에 머물고 있음을 의미하며, 연구개발을 통하여 대용량의 양질의 지하수를 채수하는 기술이 확보된다면 국내 지하수 및 상수원 사업에 큰 변화를 가져올 것임

나. 기후변화 대응 관련 연구개발 및 산업 전망

- 정부에서 추진중인 기후변화 위험관리 체계 마련과 관련된 연구개발 계획은 아래와 같이 수립되어 있음
 - 기후변화 감시 및 예보 시스템 분야 : 기상청, 해양조사원, 산림청 등에서 조위관측, 해수면 변동 관측, 미래 해수면 예측, 이상기후 대비 선진 예보 시스템 등을 계획하고 있음
 - 기후변화 취약성 통합평가 및 사회 경제적 리스크 관리 분야 : 기상청, 환경부, 산림청, 국토부, 농식품부, 미래부 등 거의 모든 부서에서 관련 기술 개발을 추진중에 있음
 - 수문학적 기후변화 취약성 평가의 활용 기반 구축
 - 통합적 산림재해 대응체계 강화
 - 전주기 가뭄상황 관리 시스템 구축
 - 재난관리자원 공동활용 시스템 구축 등
- 기후변화를 활용한 산업계 경쟁력 강화를 위하여 산업별 적용 인프라 확대 등의 다양한 정책을 추진중에 있음
 - 기후변화 대응 안정적 용수 이용을 위한 수자원 확보 및 공급체계 마련 분야 : 환경부와 국토부를 중심으로 다양한 인프라 정책을 추진중
 - 전국 가뭄실태 조사 및 맞춤형 가뭄대책 마련
 - 기존 관정을 활용한 비상활용 시스템 구축
 - 상습 가뭄발생지역 등 맞춤형 식수원 확보대책 추진
 - 기후변화를 고려한 물수요관리 기본계획 및 물절약 시민 참여를 위한 홍보 전략
 - 체계적 상수도 정보관리로 물 사용량 예측-관리를 위한 국가수도정보센터 구축 운영
 - 극한 가뭄 대응 적응대책 수립
 - 물 부족 해소와 안정적 용수공급을 위한 상수원 확보 및 공급 시설 확충
 - 농업용수의 안정적 공급 기반 마련 : 농식품부에서는 농업용수 확보를 위한 다양한 정책 추진
 - 농어촌 지역의 효율적 수자원 관리
 - 비점오염원 수계 오염 방지

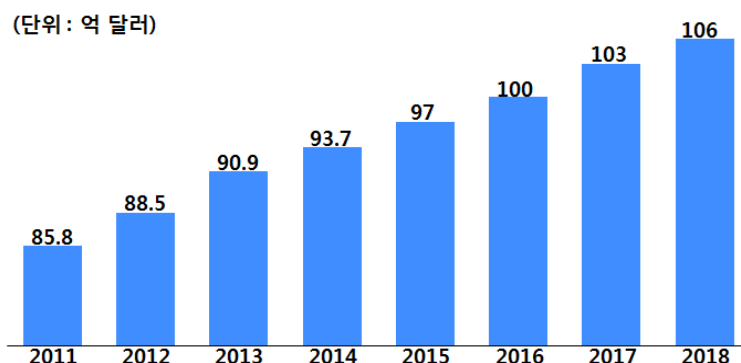
- 가뭄상습지역 다목적 농업용수 개발을 위한 수리시설 설치 및 임진강 수계 양수시설 신설, 보강, 물이 풍부한 곳의 여유 수자원을 부족지역에 배분하고 기존 소규모 시설을 통합 재편하는 농업용수 이용체계 개편 시범사업 추진

□ 우리나라 우선순위 기후변화 리스크 목록

■ 물부문(17개)	
가뭄에 의한 하구역 염도증가	기온상승에 따른 조류로 인한 수질악화
가뭄으로 인한 하천지류 건천화	기온상승에 따른 병원균으로 인한 수질악화
가뭄으로 인한 생활용수(음용수 등) 부족	용수공급시설(댐, 정수시설 등 상수도 시설물) 파괴
가뭄으로 인한 농업용수 부족	상수도시설 가동영향(상수도 역품, 인력 이동 등)
물 부족으로 인한 지하수의 난개발	강우패턴 변화에 의한 수질악화
가뭄으로 인한 지역간/계층간 물공급 격차 심화	홍수로 인한 수리시설물(하천제방 등) 파괴
강우패턴 변화에 의한 수생태 변화	호우 빈도 증가로 댐 안정성 위협
농작물 증발산량 증가로 인한 물수요 증가	강우패턴 변화로 인한 국가 수자원 공급능력 저하
기온상승으로 인한 수생태 변화	

다. 상수도 관련 지하수 수원확보 사업 전망

- 우리나라 상수보급률은 98%이며, 하수 처리율도 91%로 아시아 국가들 중 최고 수준으로, 면 단위 지역 비중이 높은 전남, 강원 등을 제외하면 상수도 보급률은 97~100% 수준으로 프랑스, 영국 등 선진국과 유사함
- 정부는 그동안 164개 지자체들이 개별 운영해왔던 상수도 시설을 29개 광역권으로 통합하는 정책을 추진 중으로 총 3단계에 걸친 광역화 추진에 따라 상수도 시장은 점차 민간기업의 참여가 확대 되는 방향으로 점진적인 변화가 발생할 전망이다
- 2013년 기준 국내 물시장 규모는 91억 달러이며, 2018년 106억 달러 시장을 형성하여 연 3% 성장할 전망이며, 2013년 기준 상수시장 규모는 18억 달러이며, 2018년까지 현재 수준을 유지할 것으로 전망됨



[그림 34] 국내 물시장 현황 및 전망

- 국토교통부는 지하수관리기본계획(2012~2021)에서 가뭄대비 지하수 지원체계 운영 및 대용량 지하수 확보시설 구축을 계획하고 있음
- 가뭄 지하수지원사업의 경우 총 투자비는 766억원이며, 2013~2016년은 199억원, 2017~2021년은 567억원으로 계획
- 도서해안 지하수개발(지하수댐)의 경우 총 투자비는 1,400억원(설계50억, 공사1,350억)이며, 2013~2016년은 425억원(설계20억원, 공사405억원), 2017~2021년은 975억원(설계30억원, 공사 945억원)으로 계획
- 2008년 말 지하수 이용실태자료와 2013년 지하수조사연보에 의하면 전국에 설치되어 있는 관정의 수는 1,474,577개로 나타나 있으며 가뭄시 비상급수에 활용할 수 있는 공공관정은 52,509개로 조사됨
- 그러나 전국적으로 5만공 이상의 공공관정이 개발되어 있으나, 이들 관정에 대한 정비, 점검은 물론 체계적인 관리조차 이루어지지 않는 실정이며 또한 기존 공공관정으로 부족 용수를 공급하는 방안 등에 대한 체계적 평가가 미흡함

<표 32> 가뭄 활용 공공관정 수

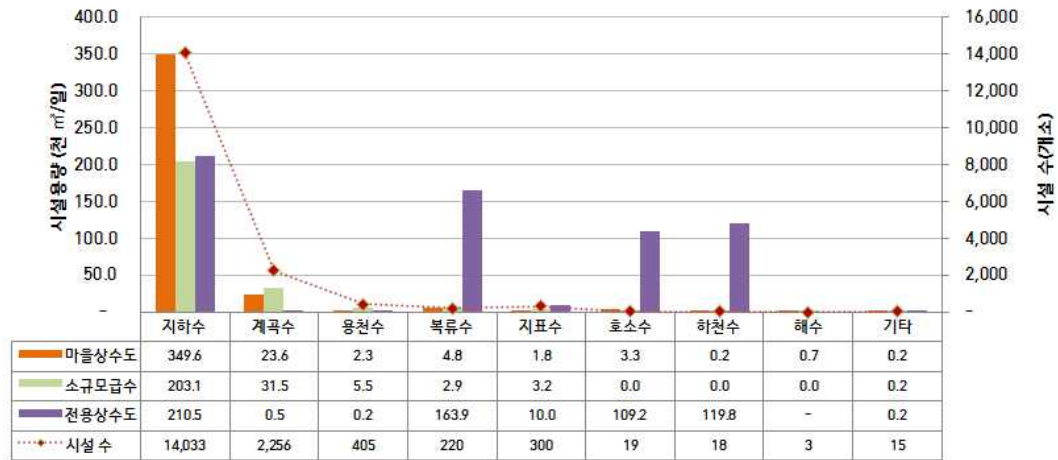
관정수	가뭄 활용 공공관정 수							
	계	생활용 공공관정					농업용 공공관정	지하수 관측시설
		계	학교용	민방위	마을 상수도	상수도		
1,474,577	52,509	28,033	5,564	2,315	18,560	1,594	23,429	1,047

* 가뭄활용 공공관정 : 가뭄시 비상급수에 활용할 수 있는 공공관정

* 마을상수도 : 마을상수도, 소규모 급수시설 중 수원이 지하수인 시설

* 지하수 관측시설 : 국가지하수관측망, 지자체 보조관측망, 해수침투관측망, 농촌지하수 관리 관측공

- 지하수 지원사업의 경우 총 2,166억원(241억원/년)정도가 투자되며, 취약지원 마을상수도 확충 사업비는 연간 3,000억원, 비상급수시설 중장기 수급전망이 최소 연간 2,000억원으로 총 5,241억원의 규모임
- 국내 상수도 실태조사 현황은 다음과 같음.
- 시·도별 취수원의 연간 총 취수량 비교 결과 대도시에는 주로 하천표류수와 댐을 이용하고 있으며 그 외 강원도, 충청북도와 경상북도는 하천복류수를 주로 활용함.
- 시·도별 지하수 취수원 활용 지역을 보면 제주도에서 96.4%이고 그 외 지역 충청남도>경기도>충청북도 순으로 높으며 주로 충청남도 지역에서 지하수 취수원 활용이 높은 편임.



[그림 35] 국내 소규모수도 시설 현황

- 지방상수도로 지하수(강변여과수)취수원을 확보하고 있는 지자체는 경기도 가평군, 충청북도 괴산군, 충청남도 당진시, 청양군, 전라남도 화순군, 경상북도 성주군, 경상남도 창원시, 함안군, 의령군 등 36개 지역임.

3절. 국내외 기술동향

1. 국외 기술동향

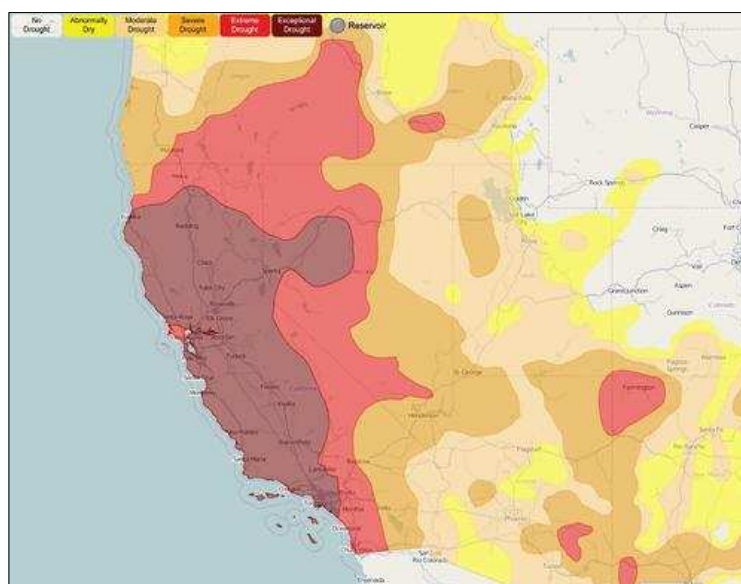
- 주요 선진국에서는 가뭄 대응을 위한 지하수 활용 및 보전에 주력하고 있으며 핵심기술 확보를 위한 연구개발 및 기술개발을 적극 추진 중에 있음
- 지하수를 활용한 가뭄 대응 수원 확보는 기술 선진국의 실질적인 기술 아 이템으로 자리 잡아 가고 있으며, 지하수위를 활용한 가뭄의 진단과 평가 기술이 개발되기 시작하고 있음
- 국내의 경우에는 지하수의 수원으로서의 정책적 활용성이 낮은 관계로 적 극적인 활용이 미흡한 실정임
 - 최근에 정부에서 지하수를 용수원으로 활용하는 다각적인 접근이 이루어지 고 있어 기술 개발을 통한 시장 개척이 적기에 이르렀다고 보임
- 외국의 경우 ‘대수층 지하수 인공함양’에 대해서 일반적으로 ‘지하수 인 공함양’ (Artificial Recharge: AR), ‘관리형 대수층 지하수함양’ (Managed Aquifer Recharge: 이하 “MAR”라 함) 등의 용어를 사용함¹⁶⁾
- 전세계적으로 이미 이러한 (M)AR 기술을 개발하여 활용한 역사와 경험을 비교적 풍부하게 가지고 있는 국가들이 적지 않음
- 현재 지역에 따라서 수자원의 안정적 공급의 강화, 수질개선 등을 위해 (M)AR 기술과 사업이 광범위하게 개발·활용되고 있음
- AR 기술의 발전 단계 역시 안전하고 안정적인 수자원 공급이 가능할 정도 로 진보되어 왔음(Stefano Burchi, 2014)

가. 국외 가뭄 대응 프로젝트

- 미국은 대표적 물 관리 기관인 미 지질 조사국 (USGS) 등 연방 차원의 기관 과 지방정부 수자원 담당 기구와의 협력을 통한 가뭄 대응을 꾸려나가고 있 으며, NASA와 같은 타 분야 연구개발 방식도 적극적으로 가뭄 대응 기술로 받아들이고 있음
- 미국 NASA의 SMAP (Soil Moisture Active Passive) 위성을 통하여 광역적으 로 토양 수분을 모니터링 하는 지상 및 위성 기반의 글로벌 네트워크를 구 축하여 운영함

16) Peter Dillon, 2009; National Academy of Science, 2008; Stefano Burchi, 2014; UK Water Industry Research Limited, 2002; Thomas Wintgens et al., 2009

- 미국 지질연구소(UGSS)은 캘리포니아 가뭄에 대한 정보 제공을 위하여 연방 정부의 물 데이터 공개 계획의 부분으로써 미 지질연구소(USGS)가 캘리포니아 가뭄을 시각화한 지도를 제공하는 웹사이트 (Drought Visualization Webiste) 구축하고, 물부족 정보를 대중에 공개함
 - 캘리포니아는 119년 동안의 기록상으로 가장 극심한 가뭄을 2013년에 겪었는데 이 가뭄으로 인해 하천수량이 감소하고 대수층의 지하수 부족이 초래되었음을 인식하게 됨
- USGS Ground-Water Site- Inventory (GWSI) 시스템은 NWIS (National Water Information System)의 일부인 지하수 관련 저장 및 검색 시스템임
- 기록에 포함된 정보에는 NWIS 웹사이트와 연결된 링크 뿐만 아니라 지역의 관정 식별정보, 위치정보, 표고, 관정 깊이, 우물 스크린이 속해있는 대수층 등을 포함함
- 남부 오레곤과 캘리포니아 북부 지역은 가뭄 대응을 위해 하천수의 사용을 제한하고 지속가능한 지하수 관리 모델을 개발하기 위해 미국 지질 조사국이 Klamath water power agency와 오레곤 수자원국 (Oregon water resources departmnet)과 협력하여 지하수 관리 모델을 개발하여 운영 중임



[그림 36] 캘리포니아의 가뭄맵

* <https://www.usgs.gov/media/images/drought-coverage-california>

- 미국 메릴랜드 주 연안평야에 부존된 140만명의 식수공급원인 지하수의 적절한 이용과 보전정책을 시행하기 위하여 GIS-based Maryland Coastal Plain Aquifer Information System이라는 물관리 시스템을 개발하여 활용됨 (Andreasen, 2016)

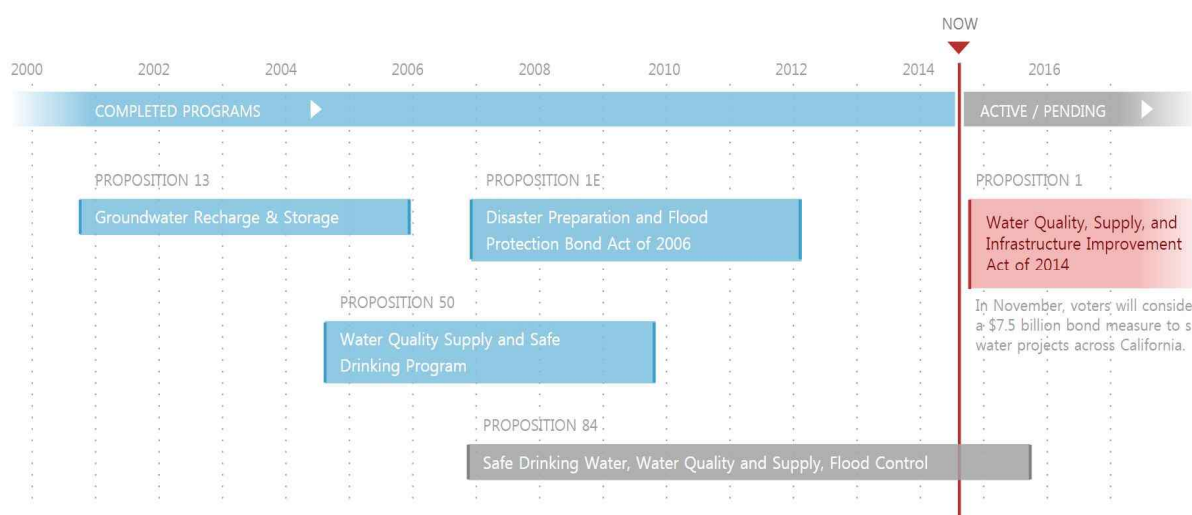
- 미국은 계속되는 가뭄과 강도 높은 지하수 관리를 요구하는 캘리포니아 주에서 지하수 확보를 위한 R&D가 주로 이루어짐
- 캘리포니아 주는 2014년 11월 4일 75억 달러 규모의 수질 개선, 수자원 공급, 사회기반시설 개선 법을 승인함(ACWA, 2016)
 - R&D 투자 내용으로는 수자원 저장(27억 달러), 유역보호(15억 달러), 지하수 관리(9억 달러), 가뭄 대비(8.1억 달러), 물 재사용(7.25억 달러), 음용수 관리(5.2억 달러), 관개(3.95억 달러) 등(WW, 2014a)
 - 특히 가장 많은 R&D 투자를 하고 있는 수자원 저장 R&D는 가뭄에 대비하여 주 전체에 걸쳐 지표수와 지하수의 저장능력 확장과 개선을 중점으로 수행되고 있으며 여기에는 수자원 저장 시스템을 운영하면서 지하수의 수질보호 및 정화내용이 포함됨

2014 Water Bond



[그림 37] 캘리포니아 주의 물 확보 R&D 투자 현황(WW, 2014a)

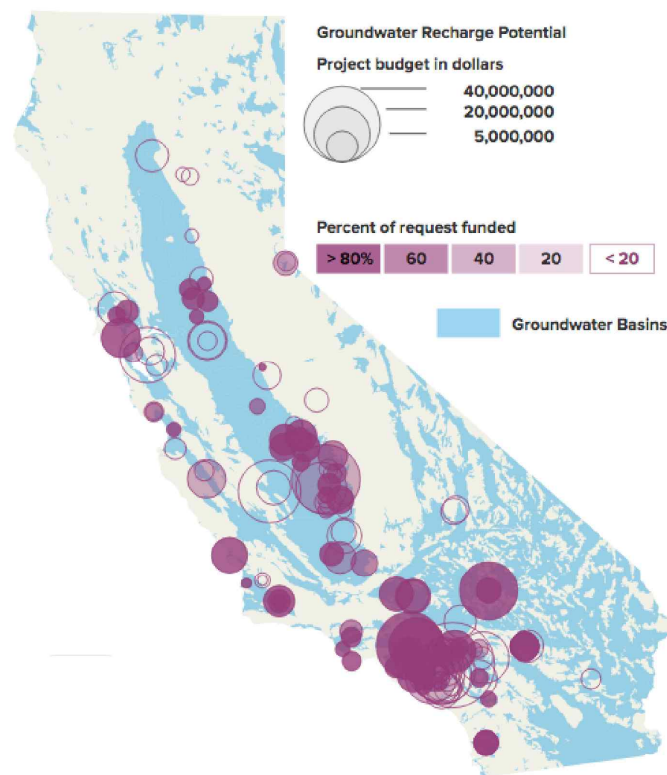
- 캘리포니아 주는 2014년 기준 11.5억 달러를 지하수 관리와 인공함양 R&D에 사용하였고 그 결과 캘리포니아 주에서 심각하게 다루고 있는 지하수 문제를 상당부분 완화함(WW, 2014b)
- 또한 캘리포니아 주는 지하수 함양 및 저장 R&D가 2001년부터 2006년까지 진행되었고 이후 2007년부터 2012년까지 재난 및 홍수 대비 R&D가 진행됨
 - 이 중간에 수질 및 안전한 음용수 공급 프로그램이 진행되었으나 2012년 이후부터 인공함양 및 지하수 관리를 통한 수자원 확보 R&D는 종료되었고 수질 및 기반 시설 개선에 R&D 투자가 이루어지고 있음



[그림 38] 캘리포니아 주의 지하수 수량 및 수질 R&D 프로그램 진행 현황(WW, 2014b)

- 캘리포니아 주 대수층에서 인공함양 R&D를 통해 한 해에 함양을 할 수 있는 양은 약 306,728 에이커 피트(acre-feet)이고 실제로 함양 가능한 양은 이보다 더 많은 약 785,000 에이커 피트임
- 또한 캘리포니아 주에서 인공함양 관련 R&D 프로젝트에 136개 연구지원이 있었고 이 중 78개 연구에 대해 R&D 투자가 진행됨(WW, 2014b)
 - R&D 투자금액은 지하수 사용량이 많고 수자원 공급 문제가 우선 해결되어야 하는 남쪽 캘리포니아에 위치한 센트럴 벨리(Central Valley) 지역에 주로 집중됨
 - R&D 프로젝트 지역은 인공함양에 유리한 수리적 조건을 갖고 있는 대수층 또는 유역에 위치함

Groundwater Recharge Projects Studied



There is unmet demand for groundwater recharge

The 78 awarded projects we studied were awarded at different funding levels. This map shows all grant proposals **sized by their requested budget** and **shaded by granted percentages**, including unfunded applications (0%). The number of unfunded and partially funded applications is evidence of unfulfilled need for recharge across the state.

[그림 39] 캘리포니아 주의 대수층 및 인공함양 R&D 현황(WW, 2014b)

- 대표적인 인공함양으로서 미국 Sonoma county에 일일 35만 톤을 취수하는 강변여과수 시설 배후에 5개의 대형 함양 습지가 운영됨
- Orange county 지역에는 Santa Ana 하천을 따라 25개의 인공함양 시설이 설치 운영중에 있음
- ‘Groundwater Banking’은 지표수, 지하수의 연계 이용 방식(conjunctive use)으로서 가까운 기간 내의 사용을 위해서는 저수지 등의 지표수채임
- 훗날의 이용을 위해서 대수층에 물을 저장하고 할당하는 방식으로 물을 관리하는 것을 말함
 - 이와 같은 방식은 물이용 패턴 및 계절적 영향으로 지하수-지표수 두 수자원의 한쪽도 심하게 고갈되지 않도록 하고자 하는 목적에서 운영됨
 - Groundwater Banking은 단순 물수지 계산 뿐만 아니라 재무 회계 및 법적 요구 사항 등을 요건을 고려한 관리 방식을 필요로 함(Contor, 2009)



[그림 40] Image of groundwater banking

* www.watereducation.org

<표 33> 국외 주요 가뭄 대응 프로젝트

과 업 명	국가
가뭄을 대비할 수 있는 새로운 담수화 기술(New desalination technology could answer state drought woes) (http://www.sciencedaily.com/releases/2015/02/150217144246.htm) - 미 캘리포니아 주는 심각한 가뭄 극복을 위한 담수화 기술	미국
콜로라도 Poudre 하천에서 가뭄의 심도 및 위험도 특성화 Journal of Water Resources Planning and Management, Vol.131, No.5, pp.383- 393, 2005 - 수학적 알고리즘에 기초한 가뭄빈도를 결정	미국
지하수에서의 가뭄-가뭄분포 및 수행지표 Journal of Hydrology, Vol.306, pp.302-317, 2005 - 가뭄이 지하수 시스템에 의해 얼마나 변화하는지 조사하기 위해 그리고 가뭄기간 동안 지하수의 성과를 분석하기 위해 1000년 빈도의 10배 계열인 함양량 및 지하수 유량이 발생하였음 - 10×1000년의 합성 일별자료는 일별 기상학적 자료가 관측된 37년 간 자료에 근거하여 리샘플링한 최근린내삽법(Nearest neighbor)을 이용하여 생성됨	네델란드
지속가능한 지하수 관개: 수자원의 적정 수요 접근방식(Sustainable groundwater irrigation : approaches to reconciling demand with resources) - 출처: World Bank (Working Paper. 59700) - 발행일: 2010년	미국

<표 33> (계속)

과 업 명	국가
지하열저장 기술 적용을 통한 지하수 개량 기간 단축(Faster groundwater remediation with thermal storage) http://www.sciencedaily.com/releases/2015/12/151208094053.htm - 2015년 - 네덜란드 와게닝겐 대학(Wageningen University)의 Zhuobiao Ni가 작성한 박사 연구논문은 열이나 냉기를 저장하고 추출하는 일이 오염된 지하수를 개량하는 시간을 10배 이상 단축할 수 있는 기술	네덜란드
미국 지질조사국, 새로운 지하수-지표수 모델 개발 GSFLOW: coupled groundwater and surface-water flow model - http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/gsflo/gsflo.html. - 미국 지질조사국(US Geological Survey)은 지하수와 지표수의 상호작용을 예측할 수 있는 GSFLOW 모델은 수 km²에서 수천 km²에 이르는 범위에 대하여 몇 달에서 수십 년에 이르는 기간에 걸쳐 해석이 가능함 - GSFLOW(Ground-water and Surface-water FLOW)는 미국 지질조사국에서 개발되어 사용되고 있는 PRMS(Precipitation-Runoff Modeling System)와 MODFLOW-2005(Modular Ground-Water Flow Model)를 바탕으로 만들어짐	미국
도시 지하수시스템에서 지속산출량의 결정 Journal of Hydrologic Engineering, Vol.11, No.1, pp.21-28, 2006 - 중국 베이징 도시지역에서 지속적인 지하수 산출량을 결정하기 위한 연구	캐나다
신개념의 지하수 정화 공법 개발 http://www.business-i.jp/news/ind-page/news/200512240001a.nwc - 중견 종합건설업 20개사로 구성된 연구조직인 일본 자동측량 연구회는 기존 공장 등 건물 아래의 오염된 토양 복원 공사를 종래에 비해 저비용과 단기간으로 실시할 수 있는 신기술 「수평 우물에 의한 순환형 오염 지하수 정화 공법」 개발.	일본

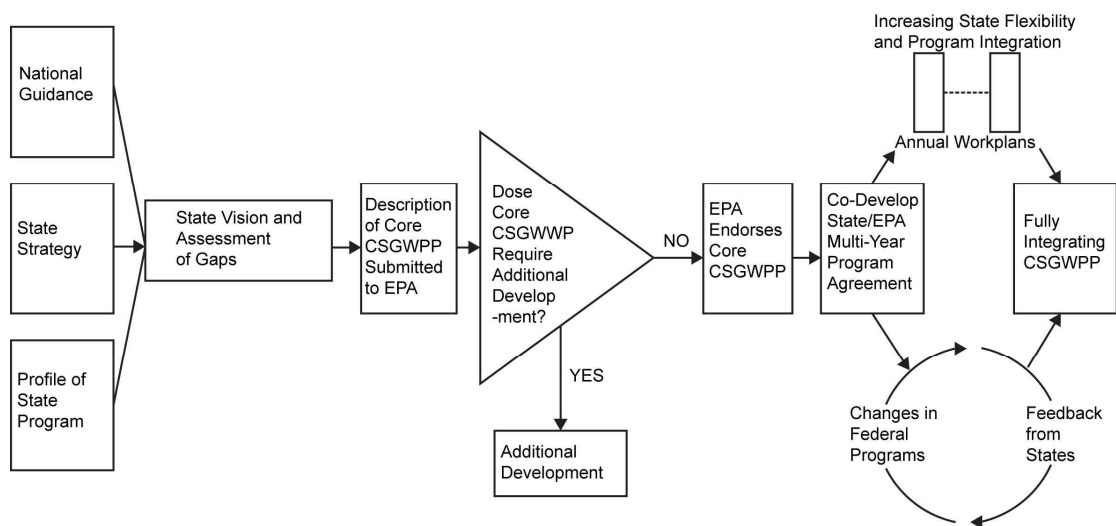
나. 수질 보전 R&D 현황

- 미국환경보호청은 지하수 수질의 기본원칙으로 청정수법(Clean Water Act, CWA)과 안전음용수법(Safe Drinking Water Act, SDWA)을 시행하고 있으며 지하수 규칙(Ground Water Rule, GWR)을 함께 적용하여 미생물에 의한 지하수 오염을 방지함(USEPA, 2008; 현윤정 외, 2012; 김지수·김경민, 2016)
- 지하수 및 식수(OGWDW), 과학기술(OST), 폐수관리(OWM), 습지 및 해양(OWOW) 4개의 부서에서 수자원 관리를 수행함(USEPA, 2016d)
- 또한 미국지질조사국에서는 지하수 수질 평가를 위해 국립수질평가프로그램(National Water Quality Assessment, NWQA)을 도입하여 정부와 국민들에게 지하수 수질의 변화를 고지하고 질산염, 염소화합물, 용존 고형물에 대한 모니터링 및 분석 자료를 제공함(USGS, 2012)

<표 34> 미국환경보호청 수자원관련 부서별 프로그램 및 계획(USEPA, 2016d)

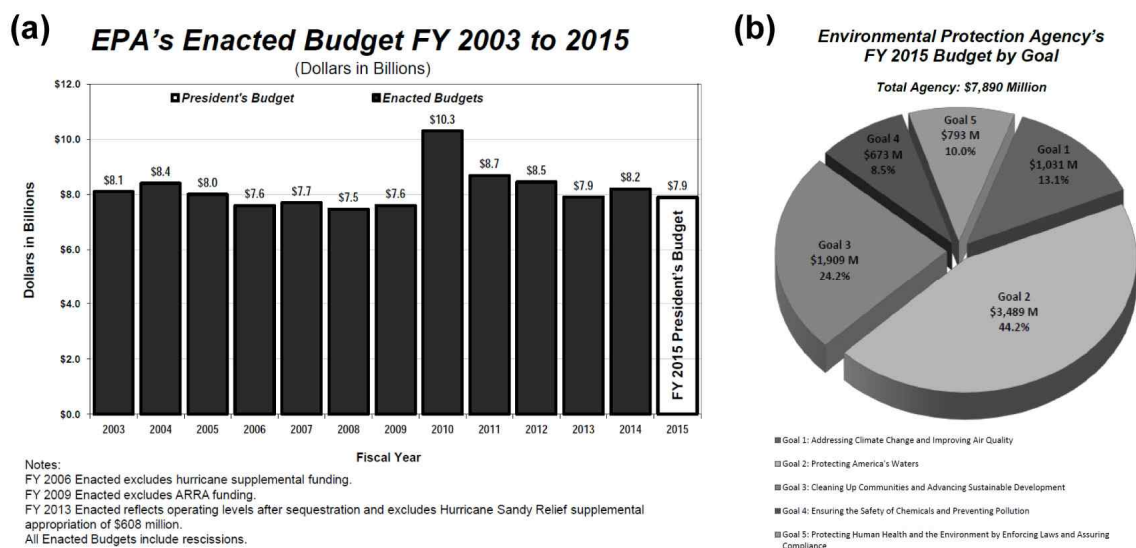
Organization	Program and Project	
Office of Ground Water and Drinking Water (OGWDW)	▶ Drinking Water Contaminants ▶ Drinking Water Basis ▶ Drinking Water Standards ▶ Public Drinking Water Systems	▶ Source Water Protection ▶ Sustainable Infrastructure ▶ Underground Injection control ▶ Water Security ▶ Private Drinking Water Wells
Office of Science and Technology (OST)	▶ Analytical Methods to Assess Wastewater ▶ Beaches ▶ Biosolids ▶ Cooling Water Intakes ▶ Drinking Water Contaminant Human Health Effects Information	▶ Fish and Shellfish Advisories ▶ Industrial Effluent Guideline ▶ Nutrient Pollution Policy and Data ▶ Water Quality Standards ▶ Water Quality Criteria
Office of Wastewater Management (OWM)	▶ Animal Feeding Operations ▶ Asset Management ▶ Clean Water State Revolving Fund ▶ Clean Watersheds Needs Survey ▶ Combined Sewer Overflows and Sanitary Sewer Overflows ▶ Environmental Finance ▶ Green Infrastructure ▶ Permits – National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) ▶ Septic Systems (Onsite/Decentralized)	▶ Small and Rural Wastewater Systems ▶ Stormwater Management ▶ Sustainable Water Infrastructure ▶ U.S./Mexico Border Water Infrastructure ▶ Wastewater in Tribal Communities ▶ Water Infrastructure and Resiliency Finance Center ▶ Water Infrastructure Finance and Innovation Act ▶ Water Pollution Control (Section 106) Grants ▶ Water Sense Program
Office of Wetlands, Oceans and Watersheds (OWOW)	▶ Climate Ready Estuaries ▶ Healthy Watersheds Program ▶ Impaired Waters and Total Maximum Daily Loads (TMDLs) ▶ Lakes ▶ Mississippi River/Gulf of Mexico Hypoxia Task Force ▶ Monitoring Water Quality ▶ National Aquatic Research Surveys (NARS) ▶ National Estuary Program ▶ Nutrient Pollution ▶ Ocean Discharge Criteria	▶ Ocean Dumping Management ▶ Polluted Runoff Nonpoint Source Pollution ▶ Section 404 of the Clean Water Act ▶ Vessels, Marinas and Ports ▶ WATERS (Watershed Assessment, Tracking & Environmental Results System) Database ▶ Watershed Academy ▶ Wetlands Protection and Restoration

- 각 주정부는 청정수법을 준수하기 위해 주정부 지하수 보전 종합프로그램(Comprehensive State Ground Water Protection Programs, CSGWPP)을 1992년에 개발하여 시행 중임(문유리·유은혜, 2006)
- 이 프로그램은 지하수 목표확립, 지역에 따른 우선순위, 관리 전략 실행, 국가 및 지역 프로그램의 역할과 책임, 모니터링 정보 제공, 시민의 참가 및 지원 개선과 같은 사항이 포함될 것을 요구함
- 또한 연방정부 지침과 주정부 전략 및 계획의 차이를 개선하고 미국환경보호청의 평가 및 승인을 거쳐 온전한 프로그램 통합과 계획을 확립함
 - 이 과정에서 주정부, 연방정부, 관련기관과의 긴밀한 협력으로 수질개선을 도모하고 수자원에 대한 국민의 이해와 자발적인 참여를 장려함



[그림 41] 주정부 지하수 보전 종합프로그램의 개발과정(USEPA, 1992)

- 연방정부에 편성된 R&D 예산은 총 1,365억 달러(2015년 기준)로 기관별 계획과 정책에 따라 배정됨(이원홍, 2014)
- 미국환경보호청의 물 관리부의 최근 10년간 평균 예산규모는 82억 달러임
 - 2015년 예산(79억 달러)은 2014년(82억 달러) 예산에 비해 약 3억 달러 감축되었으며 2010년 예산이 103억 달러로 가장 많이 편성되었음
 - 미국환경보호청은 수자원보호(44.2%), 지역사회 미화 및 지속가능한 기술개발(24.2%), 기후변화 대응 및 대기개선(13.1%), 법 집행과 준수보장(10.0%), 화학물질 안전보장 및 오염방지(8.5%)에 예산을 편성하고 있으며 이 중 수자원 보호 예산이 약 35억(44.2%) 달러로 가장 큰 비중을 차지함(USEPA, 2014; USEPA, 2015a)



[그림 42] 미국환경보호청의 (a)연도별 예산 및 (b)분야별 예산계획(USEPA, 2014)

- 미국환경보호청의 수자원 예산 중 수질관련 총예산은 2014년 1.3억 달러, 2015년 1.4억 달러, 2016년 1.6억 달러로 매년 증가하고 있으며 과학기술분야, 환경관리 프로그램, 자연재해 원인 분석 등 다양한 주제를 포함함(USEPA, 2015b)

<표 35> 수질관련 분야별 예산계획(USEPA, 2015b)

	FY 2014 Actuals	FY 2015 Enacted	FY 2016 President Budget
Science & Technology	unit: \$		
Safe and Sustainable Water Resources	120,085,000	107,434,000	111,022,000
Drinking Water Programs	3,751,000	3,519,000	3,766,000
Water Research and Support Grants	2,450,000	4,100,000	
Environmental Program & Management			
Resource Conservation and Recovery Act	103,897,000	104,877,000	111,242,000
Drinking Water Programs	95,283,000	96,492,000	125,018,000
Water Quality Protection	210,757,000	210,417,000	254,299,000
Hazardous Substance Superfund			
Superfund Cleanup: Emergency Response and Removal	190,291,000	181,306,000	190,732,000
Superfund Cleanup: EPA Emergency Preparedness	7,710,000	7,636,000	7,843,000
Superfund Cleanup: Federal Facilities	23,610,000	21,125,000	26,265,000
Superfund Cleanup: Remedial	555,237,000	711,067,000	764,458,000
Total	1,313,071,000	1,447,973,000	1,594,645,000

- 2003년 전후의 유럽의 대규모 가뭄은 각국의 가뭄 대응 기술의 개발 및 에너지 생산, 건강, 임업 및 농업을 포함한 사회부문에 영향을 주었음
- 네덜란드는 Go-Fresh 프로젝트(Geohydrological Opportunities Freshwater Supply)를 통해 국지적 규모의 지하수 저장(Aquifer storage and recovery) 및 공급 체계를 실질적으로 적용 (actually ‘work’ in practice)하고 경제적 타당성을 평가하는 과정을 도입해 남서부 델타 유역에 적용하여 용수를 확보하고 있음
 - 특히 네덜란드는 모래 사구(Sand Dune)를 활용한 인공함양을 적극 활용하고 있는데, 대형 사구 위에 함양 습지나 수로 등을 설치하여 물을 주입함으로써 완속 여과에 의한 정수처리 효과를 얻고 있으며 암스테르담 및 주변 지역의 용수 공급원으로 사용 중임
 - 아울러, 이와 같은 모래 사구의 함양 시스템은 델타 지역에서의 해수 침투 방지에도 활용됨
- 독일의 가뭄 모니터링 시스템은 2014년 온라인 플랫폼으로 설립되어 토양 수분지수를 계산하고 5가지 가뭄 등급으로 시각화하여 보여주는 기술을 적용하고 있음
- 호주의 Broken Hill Managed Aquifer Recharge (BHMAR) 프로젝트는 400백만 달러 규모의 가뭄 대응 지하수의 복합적 이용 프로젝트임
- 밀레니엄 가뭄(Millennium Drought)이라 명명한 1990년대부터 2010년까지의 중장기 가뭄 및 2010년 이후의 라니냐 등의 기후 변화에 대응하기 위하여, 단순한 지하수 함양에 그치지 않고 지하수 함양 기술을 수자원 연계 운영(conjunctive use)에 포함한 복합적이고 실질적인 대응 방침을 모색함
- 호주의 연구기관인 CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) 뿐만 아니라 미국 지질조사소 (USGS)의 외부 자문도 프로젝트의 일환으로 수행되는 초국가적 거대 프로젝트로서 지하수의 함양기술을 활용한 용수확보 체계를 개발중임(<http://www.ga.gov.au>)
 - 아울러, 가뭄 대응을 위한 물재활용 계획의 key issue로서 우수 확보, 지하수 탈염화, 재이용수의 대수층 충전등을 주 실천 내용으로 삼고 있음(Radcliffe, 2003)
- 태국에서는 우기와 건기가 구분되는 계절적 영향을 고려하여 우기 동안 확보하는 여분의 수자원 (flood water harvesting)을 대수층에 충전하여 건기에 농업용수로 이용하는 방식을 검토 한 바 있음(Pavelic et al., 2012)

다. 가뭄의 예측, 평가와 지하수위 및 관측기술에 대한 연구

- ☐ 가뭄시의 토지이용과 식생 특성 등과 지하수위 강하와의 연관성에 대한 연구가 실시된 바 있음
- Elmore 등 (2006)은 미국 캘리포니아 오웬즈 밸리에서 알칼리성 목초지 피복과 지하수위와의 관계 분석을 시도하였음
 - 지하수 양수정 부근에서 가장 큰 변화가 있었고 0.5~5.0m의 수위강하가 발생되었는데 식물 집락이 지하수에 의존하며 가뭄을 완화시키는 역할을 수행한 것으로 평가되었음
- Zheng 등 (2010)은 1953~2009년까지의 토지이용변화(농장과 활엽수 식재)에 따른 지하수위 변화를 분석하고 식생에 따른 지하수 이용 가능량이 감소한다는 것을 규명한 바 있음
- Stromberg 등 (1996)은 미국 아리조나주 산페드로 하천에서 양수에 의한 지하수 하강이 하안생태계에 미치는 영향을 검토하였음
- Xu 등(2005)는 중국 Hebei Plain에서 지하수 이용에 의한 지하수위 강하가 발생함에 따라 장기적인 저감 계획을 세우기 위해 지하수 함양과 비산출률을 추정하고 물수지 분석을 수행하는 등의 연구를 시행한 바 있음
- ☐ 지하수를 활용한 가뭄 예측 기술에 대하여 다양한 지수, 수문모형, 모형들의 연계 모의, 통계적 예측, 예측 플랫폼 등의 개발에 대한 접근이 있었음
- Bidwell (2005) 은 뉴질랜드의 캔터버리 지역을 대상으로 가뭄기간의 지하수 관리를 위해 aquifer dynamics의 고유값들을 사용하여 ARMAX 예측방정식을 개발하고 월별 지하수위를 예측하는 기술을 개발하였음
- Mendicino 등 (2008)은 가뭄의 관측 및 예측을 위해 단순한 분포형 물수지모형 결과를 사용하여 Groundwater Resource Index (GRI)을 개발하여 지중해 지역에 적용한 결과 가뭄지수인 SPI보다 여름철 가뭄 예측에 적절함을 확인하였음
- Weerts 등 (2010) 은 공간정보와 위성자료 및 기후변화 시나리오 자료를 사용한 Delft-FEWS forecasting platform을 개발하여 이를 적용함으로써 가뭄의 예측 가능성을 제시하였음
- Okkonen 와 Kløve (2011)은 북부 핀란드지역을 대상으로 표면유출모의를 위한 유역모의 및 예측시스템(Watershed Simulation and Forecasting System, WSFS)과 침투모의를 위한 열과 물질이동 모델 (CoupModel), 그리고 지하수모의를 위한 모델링 시스템(GMS)과 MODFLOW를 연계 모의함으로써 기후변화에 따른 여름철 가뭄의 취약성을 분석함

- Trambauer 등 (2013)은 기존 연구의 review를 통해 아프리카를 대상으로 16개 수문모형의 수문학적 가뭄 예측능력을 평가한 바 있음
- 지하수를 활용한 가뭄 지수 개발 및 기존 지수의 평가에 대한 연구가 진행되어 왔음
- Peters 등 (2005)은 가뭄이 지하수 시스템에 의해 어떻게 변하는지 그리고 가뭄기간 동안의 지하수 거동을 분석하기 위해 37년간의 관측자료를 바탕으로 1000년 동안의 10개 세트의 인위적 자료를 생성하고 이를 바탕으로 가뭄의 심도와 빈도를 사용한 새로운 지수를 개발하고 적용함
- Murthy 등 (2009)은 인도지역을 대상으로 National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA)의 Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)의 자료를 사용하여 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)를 계산함으로써 가뭄취약성 지역을 검증함
- Bloomfield 와 Marchant (2013)은 가뭄지수인 SPI를 토대로 영국의 14개 지점 103년의 지하수위 자료를 사용하여 지하수 가뭄지수인 Standardised Groundwater level Index (SGI)를 개발 및 적용함
- Ma 등 (2015)은 미국의 텍사스 지역을 대상으로 Palmer 가뭄지수 기반의 통합 가뭄지수인 SPDI-JDI를 개발하고 Palmer 가뭄지수와 미국의 가뭄 모니터링 관측자료 및 지하수위 자료 등과 비교 및 검증함
- Li 와 Rodell (2015)은 충분하지 않은 지하수 관측자료를 보완하기 위해 미국 동북부지역을 대상으로 Catchment Land Surface Model (CLSM)의 결과를 사용하여 groundwater drought index (GWI)를 계산하고 지하수 관측자료를 사용하여 계산한 GWI 지수값과 비교 및 분석하였음
 - 결과 분석시 수문모형의 불확실성에 의한 결과의 불확실성에 유의해야 한다고 언급함
- Rahim 등 (2015)은 파키스탄지역을 대상으로 ordinary Kriging 방법으로 보간한 지하수위 자료를 사용하여 Standardized water level index (SWI)를 계산하고 Standardize precipitation index (SPI)와 함께 사용하여 지하수 가뭄을 평가함
- Kumar 등 (2016)은 지역과 전지구적 스케일의 충분하지 않은 지하수 관측자료로 인해 지하수 가뭄을 예측하기 위한 대체수단으로 일반적으로 Standardized Precipitation Index (SPI)를 사용하고 있으나 충분한 검증이 이루어지지 않았으므로 독일과 네덜란드의 2000개 지하수 관측정 자료를 사용하여 SPI지수의 적절성을 검증함
 - 그 결과 SPI지수는 장기간의 자료에도 적절하지 않았으며 지하수 가뭄 예측에도 신뢰할 수 없음을 밝힘

- Goodarzi 등 (2016)은 지하수 가뭄을 분석하기 위해 30년간의 지하수함양자료를 사용하여 groundwater recharge drought index (GRDI)를 개발하고 적용함
 - 이 지수는 가뭄에 대해 인위적인 행위에 의한 가뭄을 자연적인 가뭄으로부터 분리해 냄으로써 가뭄의 예측과 정보 목적으로 사용될 수 있다고 주장함
- 가뭄 지하수 관측정 효율성에 대한 평가 연구가 수행되었는데, 다수의 지하수 관측정을 활용하여 지하수위 변동성과 가뭄 모니터링의 관계를 평가함
- Li 등 (2015)은 지하수는 가뭄에 영향을 미친다고 주장하고 미국의 중앙 및 동북부 지역에 위치한 181개의 지하수위 관측정자료를 사용하여 지하수위의 시공간적 변동성을 연구함
 - 이 변동성을 Variable Infiltration Capacity (VIC) model을 사용하여 모의할 수 있다고 연구한 바 있음
- Mercau 등 (2016)은 지하수는 가뭄을 완화하는 중요한 자원이며 지하수위는 시공간적 그리고 지형과 기후의 변동성에 영향을 받는다고 주장함
 - 아르헨티나의 서부 Pampas 지역에 16개의 지하수위 관측정을 개설하고 이 자료를 사용하여 기후와 지형 및 식생의 선택이 지하수위의 변동성에 미치는 영향을 분석한 바 있음

라. 지하수 용수 확보 시스템에 대한 선진 기술

- Big data 등을 활용한 물 공급 패러다임 변화에 대한 연구가 수행됨
- Sahin 등 (2016)은 물거버넌스의 변화를 제안하기 위한 시스템 다이내믹 모델을 소개하고 물관련 세금까지 고려한 휴대용 식수의 종합 생애주기 모델링 기법을 개발함
- Big data를 활용한 지하수 활용 기법에 대한 연구로서, Wang 등 (2014)은 급격한 석탄 채취에 의한 지하수 훼손 문제를 해결하기 위해 hydroinformatics, cloud computing과 multi-source data fusion algorithm, 그리고 the mine hydrogeological spatial database 등의 big data를 활용하여 3D geological model 과 groundwater dynamic evolution model을 개발하고 모의함으로써 시공간적인 지하수의 변동성을 모의 및 예측함
- 대용량 수평정 우물의 굴착 효율성 평가를 위하여, Zhan과 Zlonik은 (2002) 수평정 및 경사정 근처의 지반붕괴 평가를 위한 semianalytical solution을 제시함
- Hatijema등은 수평정 모델을 삼차원 수치모델로 모의할 경우의 어려움을 해결하기 위해 2차원 Dupuit-Forchheimer Model을 적용해 그와 유사한 결과

를 얻을 수 있는 접근방식을 제안함

□ 석회암 대수층내 지하수 개발에 대한 기술 개발 연구가 수행됨

- 아프리카와 중동지역을 중심으로 석회암층내 대용량 지하수 개발에 대한 많은 연구가 진행됨
 - Redhaounia 등(2016)은 튀니지 Amdoun 지방의 카르스트 대수층에 대한 지구물리학적 분석 (gravity, wells analysis, seismic reflection, Electrical Resistivity Tomography (ERT))과 지질 및 수리지질학적 특성화를 위한 융합 분석을 수행함
 - Bender 등(1989)은 요르단에 250-300 m 두께의 석회암 대수층에 대한 지하수 모델링을 수행한 바 함양대비 이용량이 초과되는 것을 확인함
 - Mabrook 등 (1981)은 이집트 카이로 남서부 Fayoum area에서 발견된 7개의 분정(springs)으로부터 Bahr Yousel 수로(Canal)에 물공급이 진행됨에 따라 그 수원을 확인하고 상당한 물량이 인근 석회암 지하수로부터 공급되는 것을 확인하고 화학적/동위원소 분석을 통해 이 지역 수자원을 평가함
- 기타 지역에서는, Aldwell 등(1983)은 아일랜드의 풍부한 석회암 대수층의 경우 농업용 양수가 지하수에 미치는 영향이 미미함을 밝힘
- Zhang 등(1996)은 집중형 매개변수 유출모델을 이용한 아이오와 빅스프링에서의 유출해석을 수행(1983~1994)한 바, 석회암대수층으로의 함양은 용설과 강수의 침투로 인해 이루어짐을 확인함
- Cairney 등(1977)은 Skerne강과 그 하부의 Magnesian 석회암 대수층이 분리된 것이 아니라 석회암층의 지하수 채수가 하천수량에 영향을 미치는 것을 확인함

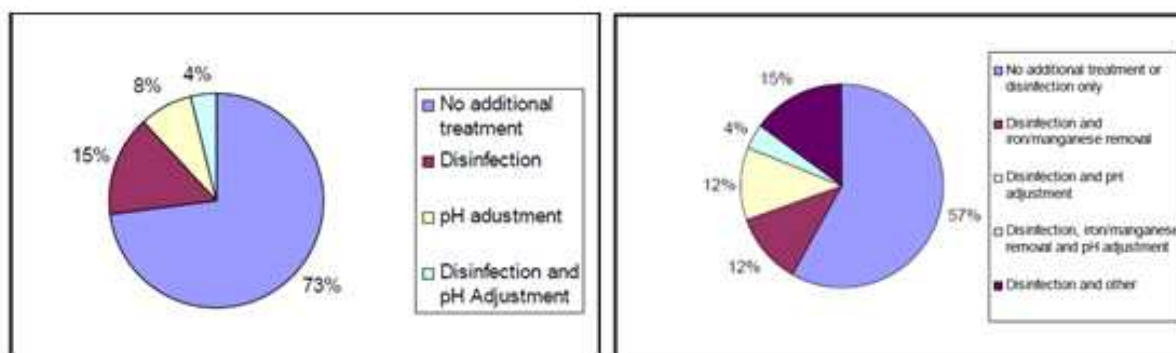
□ 인공함양 기법을 활용한 지하수 확보 기술 개발 연구가 수행됨

- 지하수댐과 모래댐은 주로 아프리카와 중동지역에서 관련 연구가 활발히 이루어지고 있음
 - Jafaar (2014)는 농업용, 생활용 지하수 함양을 위한 댐 개발의 타당성과 우선순위 분석을 위해 81개 지점에 대한 비용, 산출량 등의 분석을 수행함
 - Lasage 등 (2008)은 케냐의 국지적 물 저장시설인 모래댐의 효능과 가뭄 대응에 관한 상관분석을 수행함
 - Hut 등 (2008)은 케냐의 지하댐 유역에 대한 수문학적 과정을 이해하기 위해 지하수 유동 모형을 개발하고 2가지 지하댐 이용 시 그 효과에 관한 연구를 수행함
 - Constantz (2006)는 유역 상류에 위치한 댐과 지하수 이용 유무에 따른 하천

유출량의 변화를 분석함

- Longcang (2011)은 침투 분지의 형상에 따른 함양효과의 영향에 관한 모래 박스 모델 실험을 수행함

- 미국의 경우 인공함양 이용 시 사전 주입 단계와 주입 후 단계에서 수질과 관련하여 소독 및 철/망간 제거, pH 처리를 수행하고 있으며 아래 그림과 같음.



[그림 43] Pre-injection/ post-injection treatment methods at potable water ASR schemes

- Rauch-Williams (2010)은 하수처리수를 인공함양 기법으로 대수층에 충전할 경우 특정 미생물 군집이 존재하는 경우 높은 효율로 유기물질을 제거할 수 있음을 실내 컬럼 실험으로 증명함
- 관개 지역의 지하수 함양에 관한 연구로는, 지하수 함양 효과 평가와 지하수 함양량 산정 기법 등으로 구분됨
 - Seraphin 등(2016)은 프랑스 Crau 대수층의 물수지를 평가하였고, 특히 동위 원소 분석을 통해서 강수로 인한 대수층의 자연함양량과 관개수의 사용 후 다시 대수층으로 회귀되는 함양량을 분리해내는 연구를 수행함
 - Duncan 등(2016)은 자갈토 지역 2개소와 미사질 양토 지역 1개소에 침투계 (lysimeter)를 설치하여 토양층을 통해 배수되어 지하수로 함양되는 양을 측정하기 위한 실험을 수행하였고, 관개로 인해 함양량이 크게 증가되는 것을 증명함
 - Ebrahimi 등(2016)은 이란 중동부 건조지역에 대해 원격센싱기술(remote sensing technology, RS)과 위성정보를 이용하여 토지피복도를 구축하고, MODFLOW 모델링의 역해석을 통해서 강수로 인한 함양과 관개로 인한 함양량을 정량적으로 추정하고 그 특성을 제시함
- 침투저류지와 강우 침투와 관련해서는, Guo (2001)는 지표토양의 투수성과 지하매질의 투수성의 차이에 따라 침투저류지의 성능이 결정됨에 따라 원

형 침투저류지에서의 침투효과를 분석함

- Appleyard (1993)는 우수침투분지조성을 위해 12개의 주입공을 설치하고 함양에 따른 대수층의 반응을 살피고 주거지역, 산업지역, 도로로부터 유입된 물이 지하수질에 미치는 영향을 분석함
- 우수의 활용 기술과 관련하여, 빗물탱크의 물 이용시 수자원 공급의 절약효과 분석과 빗물 생산시스템 최적화 연구가 수행된 바 있음
- Coombes 등 (2002)은 호주의 뉴사우스웨일즈 지역을 대상으로 빗물 저장탱크의 물을 사용시 수자원공급 절약효과를 분석함
- Palla 등 (2011)은 관측강우량과 물수지 방정식을 사용하여 구축한 빗물 생산시스템에 대해 그 규모의 최적화에 관한 연구를 수행함
- Palla 등 (2012)은 유럽 45개 지역을 대상으로 수자원의 절약을 위한 Domestic Rainwater Harvesting (DRWH) system의 최적설계에 대한 연구를 수행하여 수자원 총량 증대를 위한 시스템적 접근을 실시함
- 물이 귀한 국가에서는 지하에 물을 가둬 이용하는 방법이 오래전부터 연구가 진행됨
- 중동에서는 지하 동굴을 건설하여 지하수를 이용하려는 노력을 하였고, 아프리카 지역에서는 모래담을 축조하여 사용함
- 인도의 경우 Palghat Gap 지역에 1962~1964년에 민간 주도로 건설된 소규모 관개용 담과 1979년 정부 주도로 담이 건설됨
- 에티오피아에는 Gursum지역에 인구 5,000명에 대한 생활용수를 공급하기 위해 설치하였고, 소규모로 주민 500명에 대한 소규모 상수원으로 Bombas 지역의 지하담을 건설함
- 중국의 경우 지형적으로 양쯔강과 황하강으로 동서가 구분되어 있으며, 이들 하천에서 벗어난 지역은 안정적인 용수를 공급받기 어려운 상태임
 - 중국 정부는 이러한 점을 감안하여 다양한 수자원을 개발하고자 우리나라와 비슷한 1980년대 초부터 지하담 개발을 시작하기 시작함
 - 1980년대 후반 들어서는 지하담과 관련하여 유역종합정비시스템을 구축하여 유역의 단계적 개발, 개발과 정비의 병행, 지표수와 지하수의 연계운영관리 등을 도모함
 - 현재 중국은 산둥성 지역의 룡커우시 후양수이허(龍口市黃水河)를 비롯하여 6개의 지하담이 건설 운영되고 있으며, 2010까지 6개의 지하담을 추가로 시공하고자 계획함

- 중국 지하댐의 대부분은 댐 축 일부 구간에 고무보(Rubber weir)를 설치하거나 철근콘크리트구조의 보를 설치하여 지하수 및 지표수를 동시에 저류시켜, 지하수뿐만 아니라 지표수도 일부 담수가 되어 저류량을 늘릴 수 있는 구조임
- 일본에서는 지하수 흐름을 차수하기 위해 지중의 일부를 굴착하고 점토 등으로 치환하여 벽체를 시공하는 것을 오래전부터 실시함
- 가바지마 지하댐은 1977년부터 1980년까지 지하댐에 대한 검토를 실시하여 축조되어 저장용량은 약 $9,340\text{m}^3$ 으로 지하수 함양이 없는 경우에도 1일 200톤의 취수로 약 45일 이상 견딜 수 있는 양으로 평가됨
- 미야코지마의 농업용수 확보를 위해 1974년 조사를 착수하여 1979년 축조된 오끼나와 미나후크 지하댐은 지하댐에 의해 저류되는 지하수량이 약 $700,000\text{m}^3$ 으로 평가되었으며, 댐 축조 이후 지하수 이용이 현저히 증대되었다.
- 본격적인 지하댐 개발은 1979년 오끼나와 미나후크(皆福)지하댐을 축조하면서 부터이며 현재 14개의 지하댐이 완공되어 사용됨
- 현재 일본에서 공사 중인 지하댐으로는 오끼나와 중부 요카쓰반도에 위치한 요카쓰 지하댐으로 1999년에 착공하였으며, 총저수량은 396만 km^3 에 유효저수량은 138만 km^3 이며 1일 최대 1.4만 km^3 을 취수하여 농업용수로 사용할 예정임

마. 가뭄 평가 및 수자원 활용을 위한 지표수-지하수 연계 해석/활용 분야

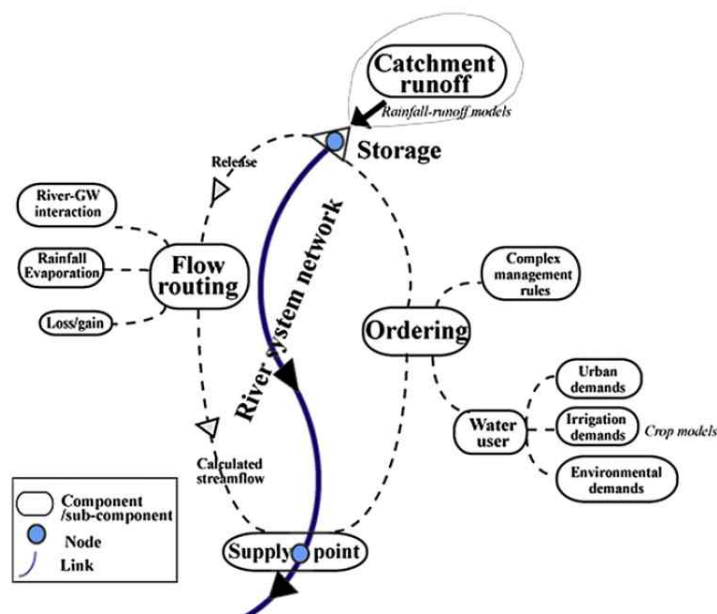
- 유역단위 지표수-지하수 통합수문해석 모형 개발 연구가 수행됨
- Perkins와 Sophocleous (1999)는 유역수문모형 SWAT과 3차원 지하수 유동 해석모형 MODFLOW를 순차적으로 결합한 SWATMOD 모형을 개발함
- 미국 캔자스주 Lower Republican 강에 적용하여 관개용 양수가 하천유량에 미치는 영향을 평가하였음
- Sophocleous 등(1999)은 캔자스주 Rattlesnake Creek 유역에 SWATMOD 모형을 적용하여 가상의 양수량 변화 시나리오에 따른 지하수위 및 하천유량의 변화를 분석하였음
- Werner 등(2006)은 호주 Sandy Creek과 Pioneer Valley 대수층에 MODHMS 모형을 적용하여 지하수 양수에 따른 하천수 감소량을 모의함
- Said 등(2005)은 MODFLOW 모형과 유역수문모형 HSPF이 결합된 FHM(Florida Hydrological Model)을 미국 Big Lost River 유역에 적용하여 지하수 이용량을 고려한 물수지 분석을 실시함

□ 지표수-지하수의 연계운영을 통한 용수 확보에 대한 연구가 수행됨

- Wu 등 (2015)은 하천에서 이득하천과 손실하천이 강우사상에 따라 번갈아가며 나타나는 현상을 확인하였으며, 하천수와 지하수의 상호작용이 하천유량에 매우 중요함을 규명함
- Krause et al. (2007) 독일의 북동부 저지대 하천을 대상으로 지하수가 하천에 기여하는 양을 정량적으로 분석함
 - 지하수-지표수 교환량의 계절적인 변동과 물수지에 있어서 시공간적인 변동요소들을 분석함
- Gilfedder 등 (2012)은 호주 Murraye Darling유역의 Tarcutta Creek 소유역을 대상으로 하천 유량 및 하천-대수층의 물교환량, 가상적인 식재에 따른 하천유출의 변화와 갈수시 감소된 함양량을 모의함
- Hughes et al. (2012)는 강수량, 지하수 저류량, 그리고 유출량의 연계분석을 비정상성을 고려하여 예측함
 - 적용 대상유역은 Southwest Western Australia (SWWA)의 Darling range로서 Perth 지역의 물공급을 담당하는 유역으로 연 강수량이 평균 이상일 경우 (1050-1400 mm) 지하수 저류량이 증가하며 반대로 그 이하일 경우는 감소하는 것을 확인하였음

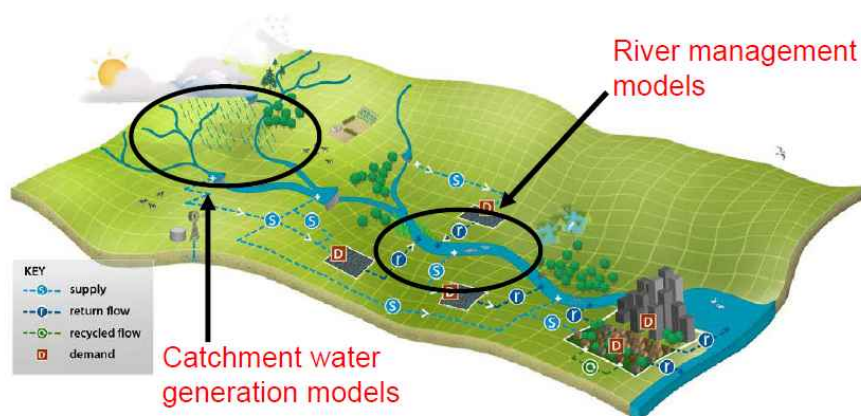
□ 하천의 운영과 연계된 지하수 평가 기술을 개발함

- Rassam(2011)은 하천운영과 계획을 위한 SIMS(Source Integrated Modelling System)에 포함시킬 개념적 지표수-지하수 흐름교환 프레임워크를 개발함
 - 이 모델은 하천수위와 하부 대수층간의 교환되는 플럭스를 단순한 해석해로 계산하여 하도추적과 모델보정 과정에 활용하게 되며, 이 교환량은 갈수때 하천수위의 변화와 지하수 함양, 지하수 양수, 증발산등의 영향을 받는 것으로 나타남
- Welsh et al. (2013)은 유역에서의 개별적 모델링을 통합시킨 IMS(Integrated Modelling System)를 제시하고 각각의 모델이 어떻게 연계되는지 실증함
 - 호주의 eWater CRC(Cooperative Research Centre)에서 개발한 이 시스템은 과정이 투명하고 단순하며 반복적인 과정을 통해 넓은 범위의 수자원 계획과 관리 목적으로 활용됨



[그림 44] Conceptualisation of a river system in the Source IMS(Welsh et al., 2013)

- 또한, Rassam (2013)은 지표수-지하수 상호작용 모델링의 일반적인 절차 및 영역에서 강우유출모형과 하천운영계획 모형과의 연계방안을 제안함
 - 기존의 강우-유출모형은 갈수시 저수량 모의를 위해 만들어지지 않아 갈수량의 정확도가 매우 부족하며 이득하천과 손실하천이 교호적으로 나타나는 실제 하천의 현상을 잘 반영하지 못한 점을 극복함
- Valerio 등 (2010)은 하천관리 모형에 지하수와 지표수의 상호작용을 통합시켜 분석하는 연구를 Middle Rio Grande Basin에 수행함
 - 가뭄이 심한 경우에는 계산값과 관측값의 편차가 크게 나타났는데 원인은 갈수량 관측에 있는 것으로 조사되었음



[그림 45] 지표수-지하수 연계운업을 위한 강우-유출모형과 하천운영모형의 개요(Rassam, 2013)

2. 국내 기술동향

- 국내의 경우, 가뭄에 대응하기 위한 지하수자원 활용 분야의 기술 개발은 매우 미미한 실정임
- 지하수 인공함양에 대한 기술로서, 제주도 화산암 지역에서의 관정을 활용한 빗물 함양 시스템, 비닐하우스 지역에서의 지열 확보를 위한 소규모 함양 시스템, 기타 도시지역에서의 빗물 저장 침투 시스템 등이 개발됨
- 그러나 가뭄 등 비상시 용수원을 확보하기 위한 차원에서의 기술 개발은 거의 이루어지지 않고 있음
- 또한, 지표수와 지하수의 연계적 관점에서의 수리수문학적인 해석에 대한 연구는 다수 존재하고 있으나, 가뭄과 연관된 시기적인 물 이동을 고려한 지표수와 지하수의 상호 작용에 대한 연구는 거의 없는 실정임

가. 국내 가뭄 정보시스템

- 국내 가뭄 정보시스템은 각 정부부처마다 제각기 수립되어 운영됨
- 가뭄을 정의하는 부처별 가뭄지수 정의는 다음과 같으며, 가뭄을 평가하는 가뭄지수일지라도 기관별 산출된 값이 상이한 것으로 검토되었음

<표 36> 부처별 관련 가뭄 정의

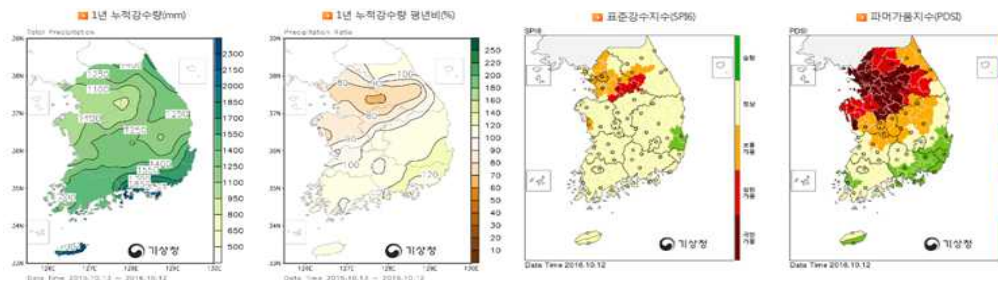
가뭄정의	주 기 관	가뭄지수	내 용
기상학적 가뭄	기상청	팔머가뭄심도지수 (Palmer Drought Severity Index, PDSI)	최소 1개월 이상의 기간에 걸쳐 강수량이 감소하여 발생하는 가뭄
		표준강수지수 (Standardized Precipitation Index, SPI)	
수문학적 가뭄	국토교통부 및 수자원공사	지표수 공급지수 (Surface Water Supply Index, SWSI)	수자원 전체가 계절적 평균치에 모자라서 피해가 생기는 경우의 가뭄
		물공급가뭄지수 (Water Supply Drought Index, WADI)	
농업적 가뭄	한국농어촌 공사	토양수분지수 (Soil Moisture Index, SMI)	작물 생육에 필요한 토양수분이 부족하여 농작물에 피해가 생긴 경우의 가뭄
사회 경제적 가뭄	소방방재청	실시간 가뭄지수 (Real-time Drought Index, RDI)	생활용수, 공업용수, 농업용수의 부족으로 피해가 생긴 경우의 가뭄

자료: 기상청 발표자료 (2013)와 보완

(1) 기상청

□ 기상학적 가뭄지수인 팔머가뭄심도지수(PDSI), 표준강수지수(SPI)와 두 지수를 통합한 가뭄 판단지수를 통하여 가뭄정보를 제공하고 있음

○ 가뭄 단계는 매우가뭄, 가뭄, 정상, 습함 4가지 단계로 구분하여 일별로 가뭄을 평가하고 있음



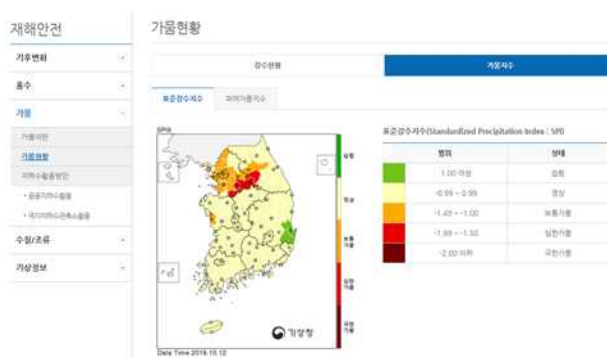
[그림 46] 기상청 가뭄정보 시스템

(2) 수자원공사

□ 기상학적 가뭄지수인 SPI, PDSI에 대하여 표출하고 있으며, 5단계로 구분하여 가뭄의 상태를 표출하고 있음(일반인에게 정보 공개)

○ 수문학적 가뭄지수인 지표수공급지수(SWSI)를 국내 실정에 맞게 보완한 수정지표수공급지수(MSWSI)를 통해 가뭄모니터링을 수행하고 있음(관리자용)

○ 수정지표수공급지수(MSWSI)는 극한습윤, 심한습윤, 보통습윤, 약한습윤, 정상상태, 약한가뭄, 보통가뭄, 심한가뭄, 극한가뭄 등 총 9단계로 구분되며 일별·권역별로 가뭄을 평가하는데 이용되고 있음(관리자용)



(a) 기상학적 가뭄지수



(b) 수문학적 가뭄지수

[그림 47] 수자원공사 가뭄정보 시스템

(3) 한국농어촌공사

- 기상학적 가뭄지수인 표준강수지수(SPI)와 강수량, 저수율 분석결과를 기반으로 가뭄단계를 결정하는 모니터링을 수행하고 있음
- 농어촌공사의 역할에 적합한 토양수분 가뭄지수(SMI), 저수지가뭄지수(Reservoir Drought Index, RDI), 통합농업가뭄지수(Integrated Agricultural Drought Index, IADI)를 통해 가뭄 모니터링을 수행하고 있음
- 가뭄단계는 정상상태, 보통건조, 보통가뭄, 심한가뭄, 매우 심한가뭄, 극심한가뭄 등 6단계로 구분되며 보통건조 단계부터 각각 2년, 5년, 10년, 20년, 50년 빈도의 가뭄에 해당함

(4) 소방방재청

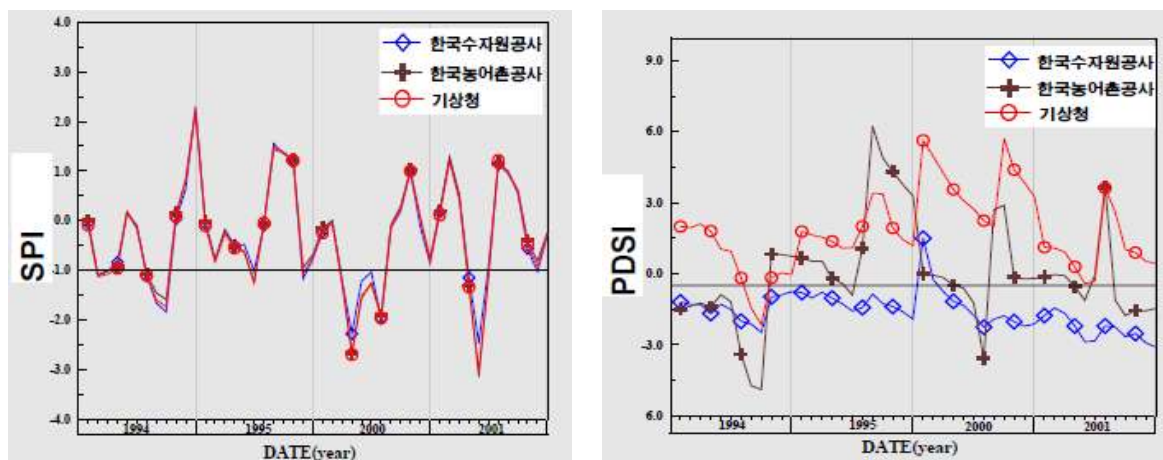
- 수문학적 가뭄지수인 실시간가뭄지수(Real-time Drought Index, RDI)를 기반으로 국가 가뭄재해 상황관리 정보시스템을 개발 중에 있음
- 실시간가뭄지수(RDI)는 행정구역별 용수공급량과 수요량의 불균형을 그림 4와 같이 생활용수, 공업용수, 농업용수별로 가뭄평가가 가능함
- 행정구역별 용수별 공급량은 실시간 하천유량, 저수지 및 댐 저류량에 의해 산정되며 수요량은 수자원장기종합계획에 제시되어 있는 자료를 통해 산정됨



[그림 48] 소방방재청 가뭄정보 시스템

- 가뭄을 평가하는 가뭄지수일지라고 기관별 산출된 값이 상이함
- SPI에 대한 가뭄지수는 기관별 산출된 값이 잘 일치하는 이유는 변수가 강수량 하나이기 때문임
- PDSI의 경우 기관별 산출된 값이 상이한 이유는 강수량, 온도, 일조시간, 유효토양수분량 등 변수가 다양하고 특히 유효토양수분량의 경우 분석자에 의해서 차이가 발생할 수 있기 때문임

○ 기간별 가뭄정보 제공이 다원화되어 있어 이에 대한 국내 표준화가 필요함



[그림 49] 기간별 가뭄지수 비교

* 자료 : 김상욱, 2015. 강원지역 가뭄 현황 및 대책

□ 국가지하수 정보센터(National Groundwater Information Center)에서는 지하수 정보수집, 관리 및 분석을 위해 국가지하수관측망(386개), 지하수기초자료(103개 지역) 등 실시간 지하수 관측자료를 표출함



[그림 50] 국가지하수정보센터(www.gims.go.kr)

<표 37> 국내 가뭄예측/지하수/상수도 관련 과업 수행 현황

구분	과업명	과업기간	기관
가뭄예측	빅데이터를 활용한 기후재해(가뭄, 폭설 및 집중호우) 원인과 현황 상관관계 분석, 인공지능(Machine Learning-인공신경망) 기반 미래 기후재해 예측 및 사회기반시설 영향 분석 기법 개발	2016-2017	국토교통부
	우수저류조 저장기법을 활용한 강원지역 홍수 가뭄피해 최소화 기술개발(강원권)	2011-2013	국토교통부
	지역별 주요 재난 대응 시나리오 및 기준개발(Ⅰ) -도시홍수 및 가뭄 중심으로-	2014	국립재난안전연구원
	기후변화 대응 가뭄정보시스템 활성화	2011	국립방재연구원
	원격탐사자료를 이용한 미계측 유역 풍수해 대응기술 개발	2013	국립재난안전연구원
	인공위성을 활용한 선제적 재난대응기술 개발(Ⅱ) 인공위성정보를 활용한 한반도 전역 가뭄예상지역 분석모듈 개발	2013	국립재난안전연구원
	재난 위험도 평가 및 대응 기반기술 구축(Ⅰ) - 인공위성 기반 가뭄대응 기술 개발 -	2014	국립재난안전연구원
	재난 위험도 평가 및 대응 기반기술 구축(Ⅰ) - 한반도 재난대응 기술 연계 모듈 개발 -	2014	국립재난안전연구원
	국내위성자료를 이용한 재난관리 활용방안 연구	2014	국립재난안전연구원
	재난 위험도 평가 및 예측 기반기술 구축(Ⅱ) -인공위성 기반 가뭄 모니터링 기술 고도화-	2015	국립재난안전연구원
	가뭄 유형별 기후변화 적응정책 연구	2013	한국환경정책평가연구원
	가뭄재난 관리를 위한 용수공급 피해 분석 및 대응연구	2014	한국환경정책평가연구원
지하수	지하수 의존도에 따른 수생태계 관리를 위한 기저유출지표 개발 및 활용방안 연구	2015	한국환경정책평가연구원
	지속가능한 지표수-지하수 혼합대 관리방안	2014	한국환경정책평가연구원
	지속가능한 지하수자원 확보를 위한 지하수보전구역 지정 연구: 외국의 지하수보전구역 사례 분석	2012	한국환경정책평가연구원
	빗물-유출지하수 겸용 Hybrid 물 순환 저류 시스템의 최적화 기술개발	2016-2017	국토교통부
	안전한 지반굴착기술 및 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 개발 기획	2014-2015	국토교통부
	수변지하수 활용 고도화	2011-2014	물관리연구단
	지하수 공공관정 시설 현황조사 및 개량기술 개발	2011-2013	국토교통부
	우리나라 지역특성에 맞는 최적 지하수 함양량 산정기법 개발	2005-2007	국토교통부
상수도	상수도 관리 UFSN 패키지 실용화 기술개발	2012-2014	국토교통부
	U-City 도시시설물의 지능화 체계 구축을 위한 상수도관의 중앙 누수모니터링 시스템 개발	2012-2015	국토교통부

나. 가뭄의 예측, 평가와 지하수위 및 관측기술에 대한 연구

- ☐ 가뭄의 예측을 위해 지표수-지하수 연계이용, SPI 가뭄지수와 지하수위자료의 상관성 분석 또는 이들을 사용한 회귀모형 구축 등이 수행된 바 있으나 지하수 자료를 활용한 가뭄 예측 기술은 이루어진 바 없음
 - 김수민(2004) 등은 가뭄을 예측하고 해결하기 위한 방안으로 지표수-지하수 연계이용이 시행되어야 할 지역의 선정, 가뭄분석을 통한 물 공급 시나리오 도출, 연계이용 결과 얻어지는 추가 수자원확보량 산정 등의 현장 적용성을 검토하는 연구를 수행하였음
 - 김규범 등(2006)은 가뭄을 평가하고 예측하기 위해 SPI 지수와 지하수위 관측자료간의 상관성을 평가하여 지하수위 자료를 활용한 가뭄평가 방법을 제시함
 - 김규범과 이소현(2012)은 가뭄예측을 위해 SPI 가뭄지수에 지하수위를 사용하여 로지스틱 회귀모형을 구축하고 적용 결과 극심한 가뭄일수록 구축된 모형의 적용성이 개선됨을 확인함
- ☐ 국내 자체적인 지하수 정보를 활용한 가뭄지수 개발은 이루어지지 않았으며 주로 기존의 가뭄지수를 사용한 비교 분석이 이루어진 바 있음
 - 권형중 등 (2006)은 수문학적 가뭄평가를 위하여 MSWSI 가뭄지수를 보완한 MSWSI 지수를 개발하고, 지하수 및 강수등이 동질한 지역으로 전국을 분할하여 MSWSI 지수를 계산 및 기상학적 가뭄지수인 PDSI와 비교 분석함
 - 이주현 등 (2006)은 지하수위 등을 사용하여 한국 전역에 대해 PDSI, SPI 및 MSWSI 등의 가뭄지수를 산정하고 과거 가뭄발생 자료를 정량적으로 재현하는지 분석하였음
 - 서형덕 등 (2008)은 지하수위 등의 자료를 가뭄지수인 MSWSI에 사용하여 가뭄지수를 계산하고 이 가뭄지수와 저수지 유입량과의 연계를 통한 가상 가뭄 모의운영을 실시하여 가뭄단계에 따른 댐 운영대안을 제시함
 - 양정석 등 (2012)은 지하수위 등을 포함한 가뭄취약성 지표를 선정하고 경향성 검토에 따른 지수를 산정한 결과 낙동강 유역이 가뭄에 취약함을 제시함
- ☐ 제주도지역에서는 지하수위 관측정 자료를 사용하여 지하수위 변동성을 연구하고 기존 지하수위를 설정하거나 또는 가뭄대비 인공함양지역을 선정하는 정도의 연구가 있음
 - 김지욱 등 (2005)은 제주도 유역에 대해 강우량과 지하수 관측정에서 측정된 지하수위 관측자료간의 관계 분석을 통해 가뭄관련 지하수 관리 제도를 도입하기 위한 기준 지하수위를 설정함

- 서정아 등 (2011)은 GSI 정보와 지하수 관측정 자료 등을 활용하여 가뭄대비 인공함양지역을 선정하고 평가함
- 송성호 등 (2014)은 제주도 유역에 발생한 2013년 가뭄이 지하수위에 미치는 영향을 분석하기 위해 강우량과 지하수관측정의 자료를 사용하여 지하수위의 변동성을 분석함

다. 지하수 용수 확보 시스템에 대한 국내 기술 및 연구 현황

- 강원도 일부 석회암 지역의 대용량 부존 대수층에 관한 연구로서, 한정상 (1983)은 전천유역에 투수성이 매우 양호한 석회암내에 저유된 지하수량은 매우 풍부하며 안전채수량은 1일 126,000m³로 추산된다고 설명함
- 지하수 부존과 관련한 지구물리탐사 기법의 적용성 연구는 매우 풍부하게 실시되었으나, 정확한 지하수 부존량 및 부존지역을 규명하기에는 기존 지구물리탐사 기법이 한계점을 가짐
- 주현태 등(2015)은 천부탄성과탐사와 전기비저항탐사를 수행하여 MASW법과 CMPCC법을 동시에 수행하고 비교함
 - 지하수면이 있는 지층의 경계면을 탄성과검층자료와 비교하여 CMPCC법으로 S파처리한 결과과 검층결과와 더 가까움을 밝힘
- 원병호 등 (2013)은 창원시 대산면에 위치한 인공함양지역의 층적층 평가를 위해 전기비저항탐사를 수직법과 수평법으로 동시에 수행하여 지하수 부존성을 평가함
- 가뭄피해 최소화를 위해 빗물이용시설 활용방안 제시와 빗물사용에 의한 물공급 저감 효과분석 등이 수행됨
- 김기수 등 (2007)은 거주지지역에 위치한 우수저류지시설을 활용하여 확보한 물을 생태공원에 공급함으로써 빗물저류 및 활용에 대한 정량화 및 효과분석에 대한 연구를 수행함
- 정승권 등 (2013)은 강원도지역의 가뭄취약성을 평가하고 저영향 개발 기반의 빗물이용시설 활용을 통한 가뭄피해의 최소화 및 가뭄시 대체용수 활용방안을 제시함
- 지하수의 집수 및 개발을 위한 기술로서 다양한 수치모델링적 및 경험적 방법들이 적용되었으나, 현장 중심의 가뭄 대비용 지하수 개발 기술에는 부족한 점이 많음
- 정지훈 등 (2004)은 방사형 집수정에 의한 강변 여과수를 개발하고자 개략적 산출량 예측을 위한 경험식 (Petrovic식, Milojevic식)의 적용성 및 군우물

을 이용한 방사형 집수정 모델링 가능성에 대해 검토함

- 박재용 (2015) 등은 수변 지하수 취수를 위한 방사형 집수정 성능 및 효율에 대한 수평정 배열(방향, 개수, 사잇각)의 영향을 정량적으로 평가하기 위하여 정밀 수치 모델링 기술을 이용한 일련의 수치 모델링을 수행함
- 대수층 충전 및 저장 기술은 지하수 인공함양의 핵심 기술로서, 그 동안 GIS, 모델링 등의 간접적 분석 기법들이 적용됨
- 이재원 등(2015)은 지형공간자료를 이용하여 지하수의 인공함양 적지 선정 기법을 모색하고자 수리 실험을 수행으로 양수 효율을 산정하고 각종 지형 공간정보를 처리하여 GIS(Geographic informatino system)의 DB를 구축함
- 서정아 등(2011)도 지리정보시스템을 이용하여 우리나라 인공함양 개발 유망지역을 분석함
- 한재국 (2015)은 면적 1 km²이하의 소규모 유인도서 등에서 하천 인근 땅속에 강우 유출수를 저장하는 빗물 지하저류시설을 자연 친화적으로 개발하여 인공적 지하수 제조로 음용수 및 생활용수로의 활용을 제안함
- 김형수 등 (2005)은 경기도 포천군 이동면 총 5개소의 시험정을 선정하여 균열암반의 인공함양 주입시험을 실시하여 주입량과 주입압의 관계를 검토하고 암반 대수층의 저류특성을 평가함
- 박대희 등(2015)은 암반대수층 지하수 인공함양 시험에 대하여 FEFLOW 프로그램으로 열수리 모델링을 수행함
- 박경미는 시설재배지역의 효율적인 인공함양을 위해 지하수 모델링 기법(Visual MODFLOW)을 이용하여 시설재배 지역에서의 지하수위 회복에 유리한 인공 함양 시기 및 위치를 평가하고자 지하수위 변화와 대수층의 물수지 변화를 분석함
- 이현주 등(2015)은 인공함양정 최적위치를 결정하기 위하여 선형 또는 군집형으로 배치된 양수정 배열 조건을 기준으로 최적화기법인 담금질 모사 기법을 적용하여 평가함
- 물 복지와 관련하여 마을상수도 및 지방상수도의 수원 관점에서의 지하수 활용 기술은 수질관리를 중심으로 연구되었으나, 수량 확보적 측면에서의 연구는 매우 미미함
- 소규모 급수 시설에서 나타나는 수질문제를 해결하기 위해 소규모 수도시설의 음용수 수질기준을 초과하는 무기이온 중 불소와 질산성 질소를 제거하고자 전기응집기술을 적용함(한송희 등, 2010)
- 박현건과 김경미 (2012)는 2005년부터 2010년까지 서부 경남지역 마을상수

도 6,569건에 대한 수질현황을 조사하였음

- 계곡수를 취수원으로 사용하는 마을상수도는 일반세균, 탁도가 지하수를 취수원으로 사용하는 마을상수도보다 높게 검출되었으며, 지하수를 취수원으로 사용하는 마을상수도는 질산성질소, 증발잔류물, 경도, 황산이온, 불소, 철 등이 높게 검출되었음을 밝힘

라. 가뭄 평가 및 수자원 활용을 위한 지표수-지하수 연계 해석/활용 분야

□ 지하수를 고려한 하천유지유량의 설정에 대한 연구가 수행됨

- 김규호 등(1996)은 하천의 정상적인 기능 유지에 필요한 갈수량, 수질 보전, 어류 서식처 복원 및 보전, 하천 경관, 수상 이용 등 주요 항목별 필요유량 결정 방법, 구간 및 대표지점에 대한 하천유지유량 및 관리유량 결정방법을 개발함
- 강성규 등(2014)은 국내외 하천유지유량과 환경유량에 대해 고찰하고, 하천수 사용을 고려한 하천유지유량 산정의 개선방법을 제안하였으며, 지하수 전을 위한 하천유지유량 설정방법 개발이 필요함을 강조함
- 양해근 (2004)은 광주천의 수문학적 특성과 수문환경문제를 파악하고 하천 유지수의 확보방안을 구상. 건천화 대비책으로 이용되는 하수처리 방류수외에 우수의 함양역 보호방안을 제시함
- 이주영 등 (2010)은 일본 건천화 해결방안 사례를 분석하여 도시하천의 유량 감소의 원인을 물순환 관점에서 규명하고 하천유지용수 확보 사례를 소개함으로써 삶의 질 향상을 위한 지속가능한 건천화 방지대책을 제시함
- 이길성 등(2006)은 안양천 상류유역에 대하여 SWAT 모형을 이용하여 지하수 취수량에 대한 건기 총유출량 변화를 분석하였고, 지하수 취수량뿐만 아니라 기후 및 토지이용변화까지 복합적으로 고려하여 건기 총유출감소량간의 관계를 유도함
- 국토해양부(2010)에서는 갑천, 남천, 경안천, 왕숙천 시범유역에 대해 SWMM의 지하수 해석 부분이 개선된 SWMM-GE 모형을 적용하여 지하수 이용, 토지이용변화에 대한 하천 건천화에 미치는 기여특성을 분석함
- 후처리 시나리오를 이용하여 하천수 취수, 하수처리, 저수지 운영 등에 대한 기여특성을 분석함

□ 하천수-지하수의 상호 유동 및 영향에 대한 연구를 수행함

- 전종욱 등(2005)은 경안천 주변 비닐하우스 지역에 대해서 하천과 층적 지하수 간의 수리적 연관성과 질산염의 거동을 파악하고, 농업용 대형 관정에

서의 양수에 의하여 충적 지하수계로의 하천수의 인위적인 유입이 가속화 되는 것을 설명함

- 하규철 등 (2006)은 만경강 하천부지에 다심도 관정을 설치하여 하천과 지하수와의 수리적인 상호작용 및 하천과의 이격거리에 따른 하천과 대수층간의 반응시간을 평가함
 - 이봉주 등 (2006)은 하수처리장의 방류수와 처리수가 하천수위의 변동간의 관련성, 하천수위 변동과 지하수위의 변동간의 관련성을 분석함
 - 김구영 등 (2006)은 하상의 공극수와 지표수의 온도를 관측하여 이득하천과 손실하천을 구분하려는 연구를 수행함
 - 김남원 등(2012)은 신둔천 인근 수막시설배배지역에 지하수위와 온도를 계측하기 위한 지하수 관측공을 제내지와 제외지에 설치하여 연속적인 수위변화를 모니터링 하고, 하천바닥층의 시피지미터를 이용한 하천수-지하수 교환량 측정을 수위측정과 병행 실시하여 지하수 양수에 따른 하천-지하수 상호 유동계의 변화를 평가함
 - 이두한 등(2012)은 3차원 동수역학 모형을 이용하여 Reynolds-averaged Navier-Stokes 방정식과 Darcy 방정식을 동시에 해석하여 연속된 여울-소 구조에서 발생하는 지표수의 흐름구조가 혼합대의 흐름에 미치는 영향을 분석하였음
 - 여울-소 구조에서 지표수의 재순환영역 및 정체점은 상승류와 하강류 형성과 직접적 연관을 가지며, 재순환영역의 크기가 감소하면 여울 전면부 하강류 형성 구간의 길이가 감소하고 최대 하강류 발생 지점이 하부로 이동하는 특성을 파악함
- 유역단위의 지표수-지하수 통합수문해석 및 평가에 대한 연구가 수행됨
- 김남원 등 (2013)은 지표수-지하수 통합수문해석 모형인 SWAT-MODFLOW를 이용하여 죽산천 유역에 대해 지하수 양수 및 농업용 저수지가 하천유량에 미치는 영향을 정량적으로 분석함
 - 지하수 양수로 인한 영향이 농업용 저수지에 의한 영향보다 상대적으로 크게 발생하는 것을 확인함
 - 이정우 등(2015)은 죽산천 주변 지역에 대해 지하수 양수에 따른 하천수 감소 영향을 공간적으로 분석함
 - 양수량 대비 하천수 감소율이 20~96%의 범위로 큰 차이를 보였으며, 특히, 하천과 관정간 이격거리가 100 m 이내, 수리확산 계수와 하천바닥층 수리전도성이 큰 경우에 양수량 대비 하천수 감소율이 큰 것으로 분석됨

- Chung et al. (2011)은 SWAT- MODFLOW모형을 제주도 표선 유역에 적용하여 양수량 증가에 따른 대수층 저류량, 하천유출량, 해안으로의 지하수 유출량 등의 변화를 고찰함
- Chung et al. (2015)은 통합수문해석모형 SWAT-MODFLOW를 미호천 유역에 적용하여 지하수 양수 시나리오에 따른 수문성분해석을 수행하고, 대수층 저류량과 하천유량의 변화를 고려한 지하수 개발가능량 산정 방법을 제안함
- 장선우 등(2016)은 충북 청원군 수막재배지역을 대상으로 유역수문모형 SWAT과 3차원 지하수 유동해석모형인 MODFLOW를 연계하여 2012~2014년까지 실증지역 대수층 중심의 물수지분석을 수행함
 - 지하수 인공함양 시나리오에 맞게 모의하여 실증부지 하천변 지하수의 수막 용수활용이 지속가능하도록 적정 인공함양 방식을 제안함
- 이우석 (2008, 2010)은 하천-대수층 상호호름을 모의할 수 있도록 TANK 모형을 개선함
 - 지하수 개발 시나리오에 따른 유역단위 기저유출량 감소 및 유도함양량 증가를 평가하였으며, 지하수의 공급신뢰도를 만족시키기 위한 지하수 개발량 규모를 제시하였으며, 갑천유역에 대하여 TANK-GS 모형을 개발 적용함

3. 특허분석

가. 특허 조사방법

(1) 분석 범위

- ☐ 본 특허 분석은 한국, 미국, 일본, 유럽의 공개 및 등록특허를 분석 대상으로 하여, 각 기술트리에 부합하는 유효 특허를 추출하였고, ~2016년 11월(검색일 기준)까지 출원 공개 또는 특허 등록된 유효특허 총 1,560건을 분석 대상으로 설정함
- ☐ 기술분류체계는 대분류로서 지하수자원 확보 및 활용, 중분류로서 수자원 확보, 수자원 활용이라는 체계 하에 분석을 실시함
- 지하수로서 수자원 확보에 대한 기술은 “지하수, 하천수, 상수도의 확보를 위한 관정, 함양 등의 기술”로 정의하였으며, 지하수로서 수자원 활용에 대한 기술은 “지하수, 하천수, 상수도를 활용한 공급, 측정, 계측, 보수 등의 기술”로 정의함

<표 38> 분석대상 기술분류

대분류	중분류	기술 정의
지하수자원 확보 및 활용 (A)	수자원 확보 (AA)	지하수, 하천수, 상수도의 확보를 위한 관정, 함양 등의 기술
	수자원 활용 (AB)	지하수, 하천수, 상수도를 활용한 공급, 측정, 계측, 보수 등의 기술

<표 39> 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국	WIPS	~ 현재	특허공개 및 등록 전체문서
	일본			특허공개 및 등록 전체문서
	미국			특허공개, 특허공개(공표, 재공표) 전체문서
	유럽			EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서

- 본 분석에서는 넓은 권리의 다양한 특허기술을 검토하기 위해 포괄적인 검색식을 작성하여 사용하였으며, 각각 분류에 따른 검색개요는 아래와 같음

<표 40> 특허 검색 조건식

대분류	중분류	검색식
지하 수자원 확보 및 활용 (A)	수자원 확보 (AA)	(((((underground* or subsurface* or subterranean* or river*) w/1 water*) or aquifer* or (water* w/1 supply*) or (지하수* or 지하물* or 수자원* or 지표수* or 하천수* or 상수도* or 용수*)) and (관정* or 차수* or 댐* or 함양* or 우물* or 배수* or 관개* or 하수구* or 런오프* or infiltrat* or flood* or drain* or ditch* or furrow* or irrigat* or dam* or percolat* or wall* or well* or runoff*))
	수자원 활용 (AB)	(((((underground* or subsurface* or subterranean* or river*) w/1 water*) or aquifer* or (water* w/1 supply*) or (지하수* or 지하물* or 수자원* or 지표수* or 하천수* or 상수도* or 용수*)) and (공급* or 그리드* or 평가* or 측정* or 진단* or 모니터링* or 모니터링* or 계측* or 탐사* or 보수* or 개량* or 시나리오* or 관리* or 계획* or 예측* or grid* or supply* or manag* or repair* or fix* or rehabilitat* or improv* or diagnos* or evaluat* or assess* or monitoring* or explor* or measur* or scenario* or plan* or forecast*))

(2) 특허 검색 결과 요약

- 기술 분류 체계에 따른 특허 검색 결과는 아래 표와 같이 요약됨

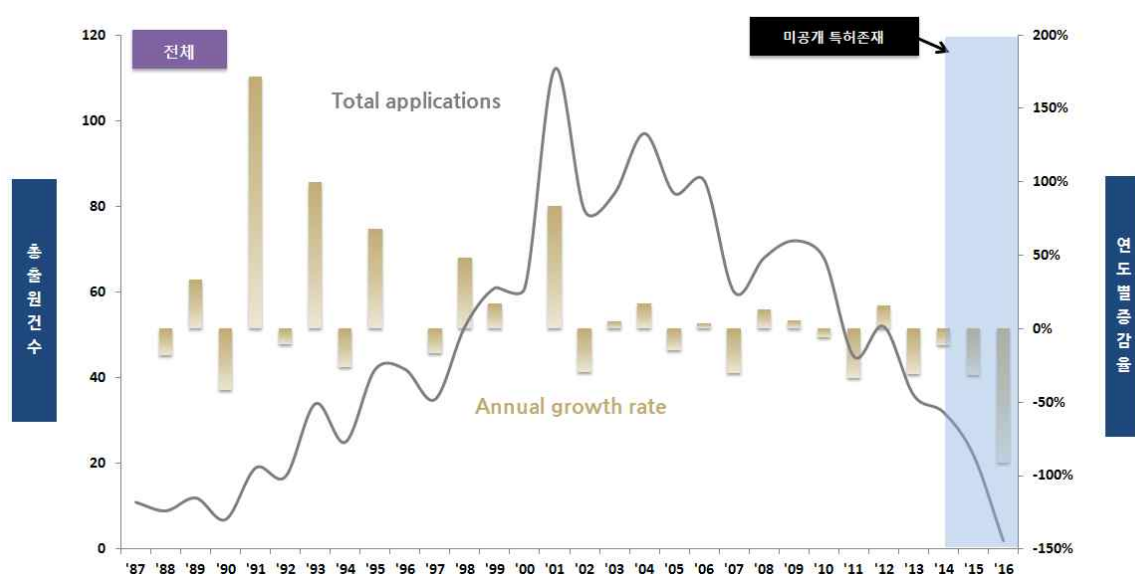
<표 41> 특허 검색 결과

대분류	중분류	한국	미국	일본	유럽	합계
지하 수자원 확보 및 활용 (A)	수자원 확보 (AA)	358	451	221	82	1,112
	수자원 활용 (AB)	291	6	89	62	448
계		649	457	310	144	1,560

나. 특허 정량분석

(1) 주요 시장국 기술개발 활동 현황

- 지하수자원 확보 및 활용 기술 개발 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 1980년대 중후반부터 특허 출원이 시작되었으며, 1990년대 초반부터 급격히 증가하는 추세를 보임
- 급격히 증가하는 추세는 2001년까지 이어졌으나, 2002년부터는 다시 감소하는 추세로 나타남

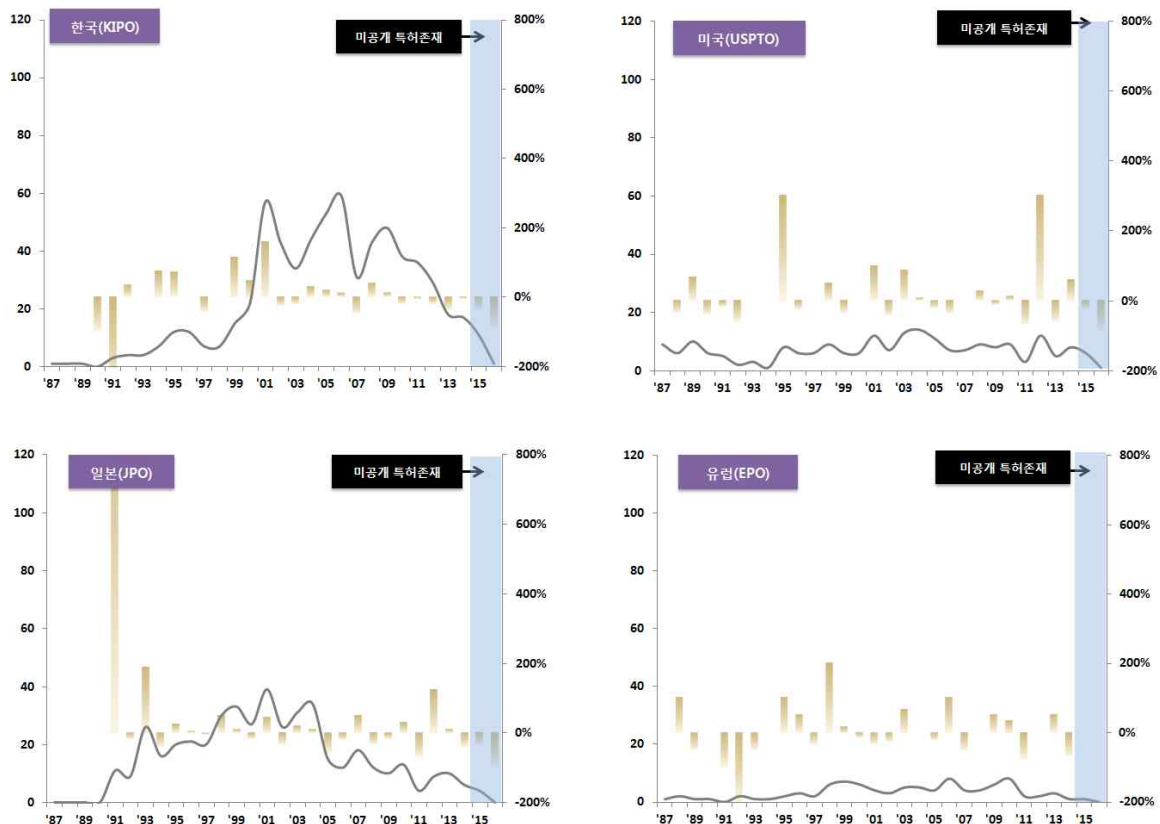


[그림 51] 연도별 전체 특허 출원 현황

- 이와 같은 2000년대 초중반부의 특허 증가는 일본의 특허 증가가 1990년대 이루어지면서 다양한 기술 개발 및 연구가 활발히 이루어졌음을 알 수 있고, 이의 영향으로 우리나라에서도 관련 기술 개발이 활발히 이루어진 것으로 추정됨
- 특허출원의 증감율은 관련 기술 도입이 시작된 1990년대 초반부터 2000년대 초반까지는 진폭이 크고 불안정한 추이를 보이다가 2000년대 중반 이후로 서서히 진폭이 줄어들면서 보다 안정화된 그래프 곡선을 보임
- 한국의 연도별 특허 동향을 살펴보면, 1990년대 후반부터 급격하게 증가하는 추세를 보이다가 2000년대 이후에는 매년 수십건의 특허가 안정적으로 출원되다가 2010년 이후 급격히 감소하는 것으로 나타남
- 일본의 경우에는 1990년대 초반부터 활발한 특허 활동이 이루어지는 것으로 나타났으며, 2001년까지 지속적으로 증가하는 추세를 보였으나 2002년

이후부터는 점차 감소하는 추세를 보임

- 미국과 유럽은 전반적으로 특허 출원이 미미하나 지속적으로 일정한 수준의 특허 출원이 이어지고 있는 경향을 보임
- 미국과 유럽의 경우에는 지하수의 활용이 주요 공공용수원으로 상당부분을 차지하고 있으며 오래전부터 기술의 안정화를 달성한 것이 21세기 상대적으로 적은 특허 출원의 원인으로 고려됨



[그림 52] 국가별 연도별 특허 출원 현황

- 각 국가별 외국인 출원 동향을 살펴보는 취지는, 각 국가별로 외국 기업이 많이 진출해 있는지를 살펴보는 척도가 됨
- 외국인이 그 나라에 많이 출원해 놓았다는 것은, 관련 외국 기업이 많이 진출해 있다는 것을 의미하며, 이는 해당 국가의 시장이 외국의 기술에 의해 지배되고 있다는 것을 의미하거나 시장의 규모가 상당하다는 뜻임
- 반대로, 자국민이 자국에 많이 출원을 한다는 것은, 기술의 자립도가 높다는 의미이며, 이는 자국 기술의 해외 진출을 적극적으로 추진해야하는 과제가 있음을 보여줌
- 한국의 예를 살펴보면, 내국민의 특허출원 비율이 96% 이나 외국인의 비율은 4%에 이르는 바, 시장에서 한국 기업이 활발한 특허 활동을 하고 있는

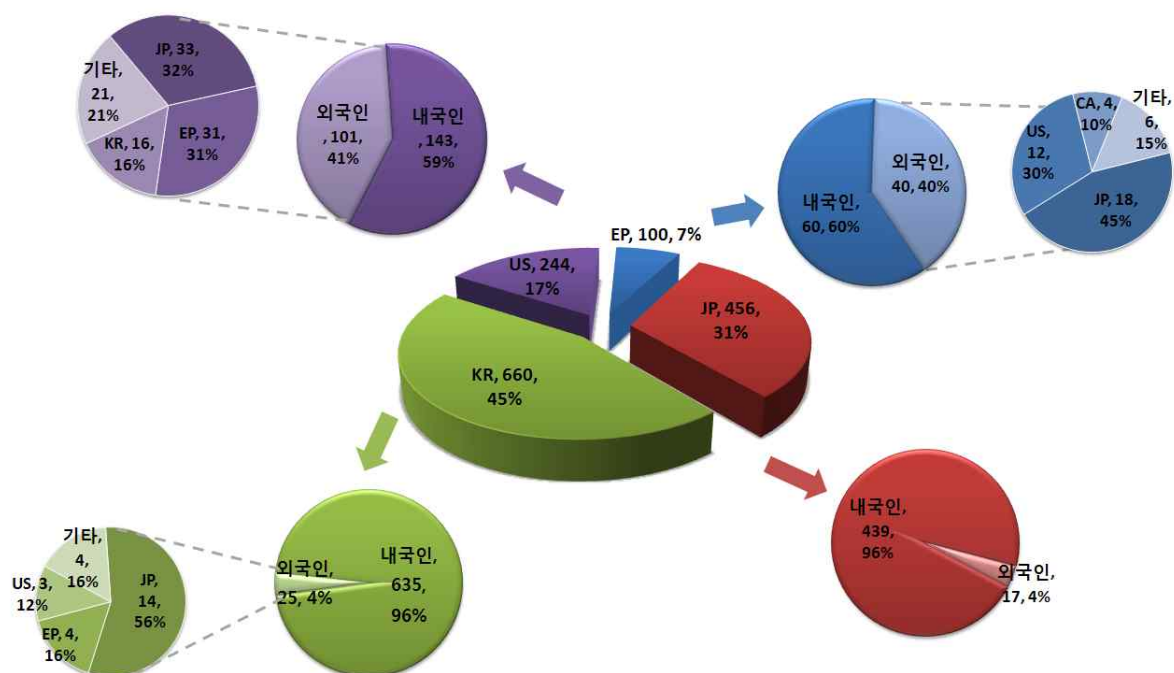
것으로 볼 수 있음

- 또한, 한국내의 특허 현황이 상당 부분에 이르고 있어 자국내의 시장 규모가 일정 수준 존재함을 보여줌

○ 유럽과 미국의 경우, 외국인의 비율이 각각 60%, 41%라는 점을 비추어 볼 때, 관련 외국 기업이 많이 진출하여 국제화되어 있음을 의미하며, 또한, 관련 시장이 외국 기술에 의하여 상당 부분 지배되고 있음을 보여줌

- 다만, 유럽과 미국의 경우에는 상호 교류가 매우 활발한 지역으로서 국제적인 시장 확보를 위한 기술 경쟁이 반영되어 있다는 점도 고려되어야 함

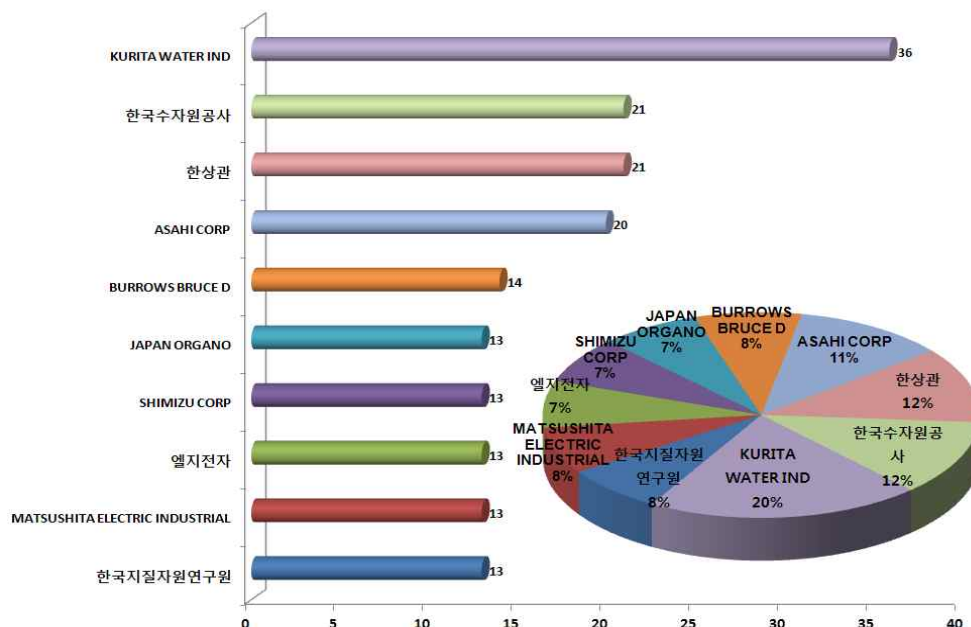
○ 일본의 경우에는 외국인의 비율이 4%로서, 주요국가 가운데 외국인 출원 비율이 가장 낮은 것으로 판단되는바, 일본의 지하수자원 확보 및 활용 기술력이 타 국가에 비해서 우수하여 자국 시장을 잘 방어하고 있음



[그림 53] 주요 시장국의 내외국인 특허 출원 현황

(2) 기술 경쟁자 Landscape

- 기술 경쟁자 Landscape는 해당 분야에 대한 특허 출원을 누가 많이 했는지를 살펴보는 것으로서, 어떤 사람이나 기관이 관련 연구개발을 활발히 진행하고 있는지를 파악하는데 목적이 있음
- 대상 국가들 중에서 특허 출원을 가장 많이 하는 기업은 일본의 KURITA WATER IND 으로서 36건이며, 그 점유율은 20%에 달하고 그 다음은 한국 기업인 한국수자원공사
 - KURITA WATER IND는 수처리, 토양 및 지하수, 세척, 수자원 시설 운영관리, 수질 분석 등 수자원 관련 다양한 분야의 업무를 수행하는 기업으로서 관련 특허를 다량 보유하고 있음
 - 연구개발자들은 BURROWS BRUCE D(미국)을 제외하면, 대부분 한국과 일본의 개인과 기업, 연구소이며 주로 일본의 출원은 기업이고, 한국은 연구소와 개인이 활발한 연구 활동을 벌이고 있는 것으로 볼 수 있음
 - 즉, 한국에 비해 일본은 기업 단위로 많이 연구되고 특허출원이 집중화되어 있는데 반하여 한국은 연구소와 개인이 개별적으로 연구하고 있어서 기술의 밀도나 생산성, 제품으로의 연결성에 있어서는 일본에 비해 한국이 열악함
 - 기타 국가들의 기업의 해외 기술 적용 및 수출 등의 업무가 1990년대 이후 비교적 활발히 이루어지고 있음에도 불구하고 이들 국가들의 기술 경쟁자가 상대적으로 작은 것은, 지하수와 관련된 물 기술의 대부분이 과거에 확보되었거나, 기술을 Open하지 않은 경우가 다수 있을 것으로 추정됨



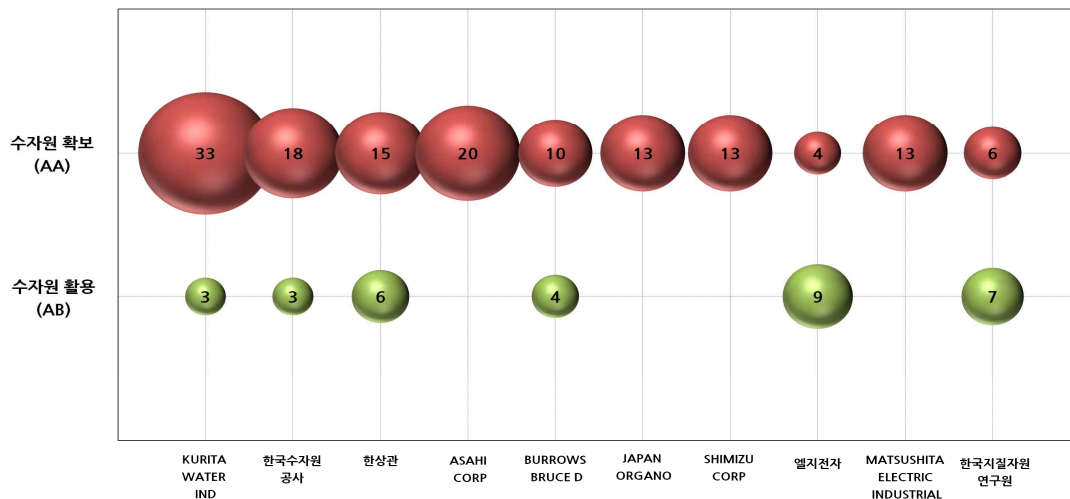
[그림 54] 기술경쟁자들의 특허 출원 현황

<표 42> 출원인별 특허 출원 특성 분석

분석항목 출원인	출원인 국적	주요 IP시장국(건수,%)					특허출원 증가율 (최근 4년)	주력기술분야
		한국	미국	일본	유럽	IP시장국 종합		
		KR	US	JP	EP			
KURITA WATER IND	일본	-	2 (5.6%)	34 (94.4%)		일본	-14.3%	수자원 확보
한국수자원공사	한국	21 (100.0%)	-	-	-	한국	0.0%	수자원 확보
한상관	한국	21 (100.0%)	-	-	-	한국	-100.0%	수자원 확보
ASAHI CORP	일본	-	-	20 (100.0%)	-	일본	-100.0%	수자원 확보
BURROWS BRUCE D	미국	-	12 (85.7%)	-	2 (14.3%)	미국	-300.0%	수자원 확보
JAPAN ORGANO	일본	-	-	13 (100.0%)	-	일본	20.0%	수자원 확보
SHIMIZU CORP	일본	-	-	13 (100.0%)	-	일본	200.0%	수자원 확보
엘지전자	한국	9 (69.2%)	4 (30.8%)	-	-	한국	-100.0%	수자원 활용
MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL	일본	-	1 (7.7%)	12 (92.3%)	-	일본	0.0%	수자원 확보
한국지질자원연구원	한국	12 (92.3%)	-	1 (7.7%)	-	한국	-600.0%	수자원 활용

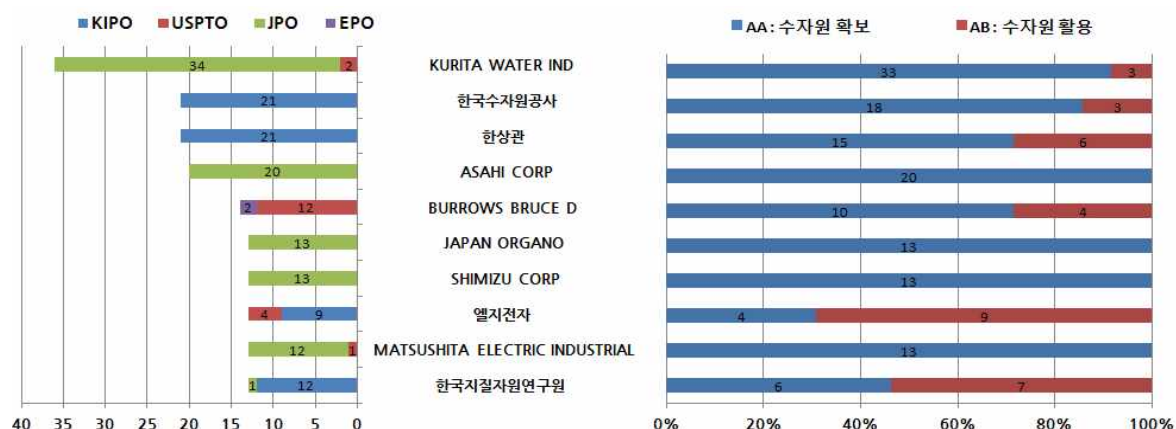
- 상위 출원인별로 세부적인 출원 특성을 살펴보면, 대부분 기존 연구가 집중되어 출원 점유율이 높은 수자원 확보 분야에서 많은 출원을 하는 업체들이 상위권에 포진하고 있음을 알 수 있음
- 즉, 순수 지하수 분야보다는 수자원 확보적 측면에서의 활용성이 높은 특허들이 출원되고 있음
- 대부분의 주요 출원인의 경우에는 자국에 대부분 출원하여 보유하고 있는데, 이는 수출은 많이 하지 않고 자국시장에서 주로 영업활동을 유지하고 있는 것임
- 엘지전자의 경우에는 한국과 함께 미국에서도 비교적 많은 특허를 출원한 것으로 나타남
 - KURATA WATER IND의 경우에는 일본에서 대부분의 특허를 보유하고 있으며, 미국에서 2건을 보유하고 있음
 - 또한 BURROWS BRUCE D는 미국에서 대부분의 특허를 보유하고 있으며, 유럽에서 2건을 보유하고 있음
- 대부분의 주요 출원인의 경우에는 최근 4년간 정체되거나 감소하는 출원증가율을 보이고 있는데, 예외적으로 일본의 JAPAN ORGANO와 SHIMIZU CORP의 경우에는 각각 20% 및 200%의 증가세를 보이는 것으로 나타남

- 즉, 이 두 기업의 경우에는 최근 4년간 수자원 확보기술과 관련된 연구개발이 지속적으로 증가하는 것으로 추정됨
- 그 이외의 국내의 한국수자원공사와 MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL의 경우에는 최근 4년간 연구 개발 동향이 증가하지 않고 정체되고 있는 것으로 파악되어, 기술 개발이 정체된 것을 알 수 있음



[그림 55] 주요 출원인별 특허의 출원분야 분석

- 전체적으로 출원인별 특허의 출원분야를 분석해 보면, 수자원 활용 분야 보다는 수자원 확보 분야의 출원이 월등히 많은 것으로 평가됨
- 주요 출원인의 경우를 기술 분야별로 어느 분야에 집중되어 있는지를 살펴보면, 수자원 확보(AA) 분야의 경우에는 주요 출원인이 연구가 집중되어 있는 레드존이라고 할 수 있으며, 수자원 활용(AB) 분야의 경우에는 향후 연구가 집중될 수 있는 분야라고도 해석됨
- 주요 출원인이 어느 분야에 연구를 집중하고 있는지를 살펴보면, 가장 많은 건을 보유하고 있는 KURATA WATER IND의 경우에는 수자원 확보 분야 (AA) 분야에 편중된 연구를 하고 있는 것으로 파악됨
- 한국 기업인 한국수자원공사와 한국 개인 출원인인 한상관의 경우에는 수자원 확보 (AA) 분야에서 많은 특허를 보유하고 있는 것으로 보이며, 상대적으로 수자원 활용(AB) 분야에서는 연구활동이 미비함
- 그러나 엘지전자와 한국지질자원연구원은 수자원 확보(AA)와 수자원 활용 (AB) 분야에 비교적 고른 연구 활동을 하는 것으로 파악되었으며, 관련 특허를 골고루 보유하는 것으로 평가됨
- 일본과 미국 기업의 경우에는 모든 출원인이 수자원 확보(AA) 분야에 집중되어 있는 것으로 보임



[그림 56] 주요 출원인별 출원 현황 분석

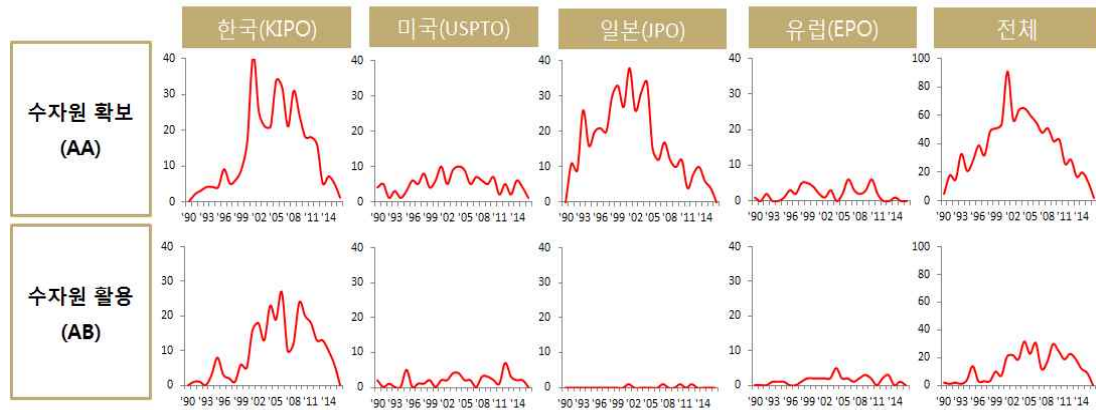
- 이상의 결과를 종합해 보면, 연구가 활발한 Top 10의 주요 출원인의 경우에는 해외 출원은 미비하며, 자국출원에 집중하고 있는 것으로 보아 내수 시장에 주력하는 것을 알 수 있을 뿐만 아니라 수출에 대한 관심은 미비한 것으로 파악됨
- 또한, 연구기술 분야를 살펴보면, 수자원 확보(AA) 분야의 경우는 기술 확보 경쟁이 치열한 레드존이라고 할 수 있으며, 연구개발이 집중되고 있는 것임을 파악할 수 있음

(3) IP 부상도 분석

- 추세선을 통한 출원 증가율을 살펴보면, 수자원 확보(AA) 분야에 대한 전체 동향을 보면, 1990년대 후반부터 급격히 특허출원이 증가하였으며, 2000년대 초반까지 연구개발이 가장 활발한 것으로 나타남
- 이는 한국과 일본의 특허출원 추세의 영향에 의한 것으로 보이며, 한국의 경우에는 1990년대 후반에 급격히 증가하는 추세를 보였으며, 일본의 경우에는 1990년대부터 2000년대 초반까지 지속적으로 특허출원이 증가하는 추세를 보임
 - 그러나 한국과 일본이 2000년대 중반부터 감소하는 추세를 보이며 전체적으로 연구동향이 감소하는 경향을 나타냄
 - 수자원 활용(AB)분야는 2000년대 초반에 증가하는 추세를 보였으나 2000년대 중반부터는 정체되기 시작하며 최근까지 연구동향이 감소하는 추세임
 - 이는 한국의 특허출원 추세의 영향에 의한 것으로 보이며, 수자원 활용(AB) 분야에서는 한국을 제외한 미국, 일본, 유럽은 연구 활동이 미미한 것으로 나타남

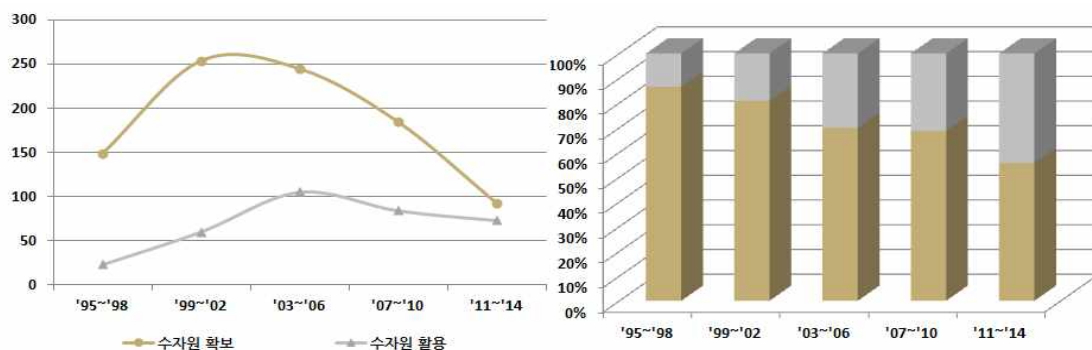
□ 전반적으로 보면, 전 기술 분야에서 한국의 특허출원이 활발하게 이루어지고 있으며, 한국의 특허출원이 전체 추세에 큰 영향을 미치고 있는 것으로 보임

○ 일본은 수자원 확보(AA) 분야에서는 활발한 연구개발 활동을 보이고 있으나 수자원 활용(AB) 분야에서는 저조한 연구개발 활동이 이루어지고 있음



[그림 57] 중분류별 추세선 분석

□ 추세를 통한 부상기술을 파악하기 위해서 아래의 그래프를 통해 중분류별로 연도 구간별 특허기술의 출원 경향을 알 수 있음



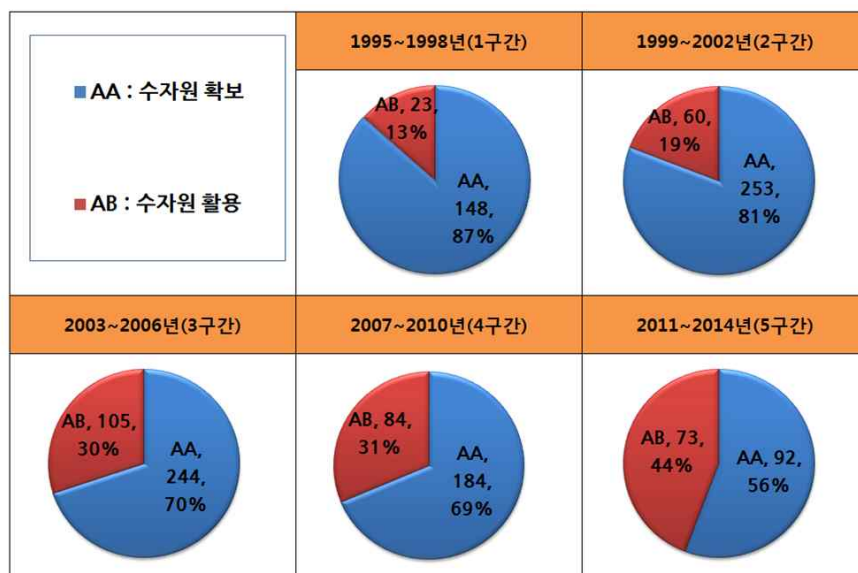
[그림 58] 세부기술별 점유율 분석

○ 지하 수자원 확보 및 활용 기술 개발(A) 분야 중에서는 수자원 확보(AA) 분야의 출원 건수가 가장 많은 것으로 분석됨

- 수자원 확보(AA) 분야가 전체 지하 수자원 확보 및 활용(A) 분야 중에서 50% 이상 정도에 이르는 등 상당한 비중을 차지함
- 수자원 활용(AB) 분야의 경우에는 최근 꾸준히 상승하고 있는 바, 이는 시장에서 각광을 받고 있는 등 블루오션 분야가 될 확률이 높다고 보임
- 특히 기존 연구 분야에서 비중이 높았던 수자원 확보(AA) 분야의 점유율은 최근 떨어지고 있는 경향을 보이는데 반하여, 그 빈 곳을 수자원 활용(AB) 분야가 메꾸어 가고 있는 것으로 파악됨

(4) 세부기술별 특허의 Landscape

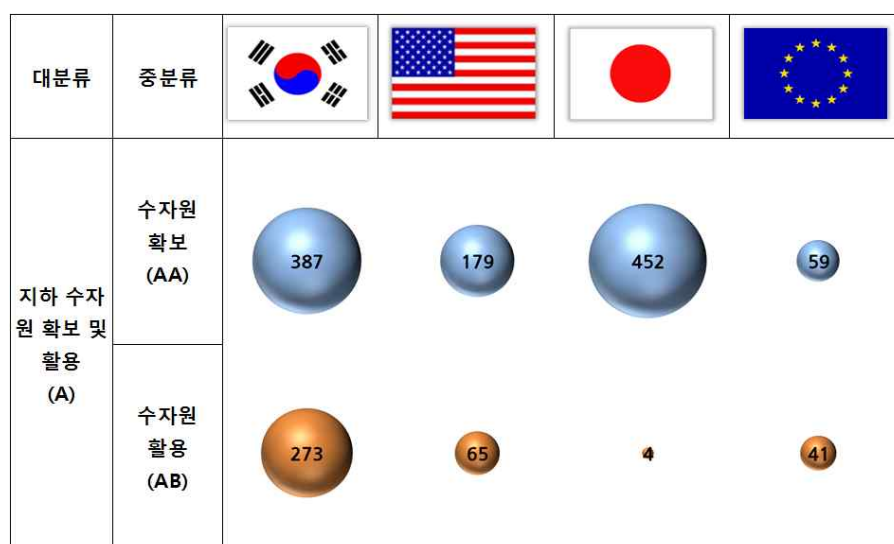
□ 세부 기술별로 구체적으로 특허 현황을 살펴보면 아래와 같음



[그림 59] 연도별 점유율의 파이 다이어그램

□ 연도별 점유율을 파이 그래프로 표현하면 보다 시각적으로 쉽게 확인할 수 있는데, 이를 살펴보면, 수자원 확보(AA) 분야는 꾸준히 연구가 지속됨을 확인할 수 있으나, 특허 점유율이 감소하는 경향을 확인할 수 있음

○ 수자원 활용(AB) 분야는 꾸준히 연구개발이 진행되고 있으며, 특허 점유율이 지속적으로 증가하는 경향을 보임



[그림 60] 국가별 특허 분야

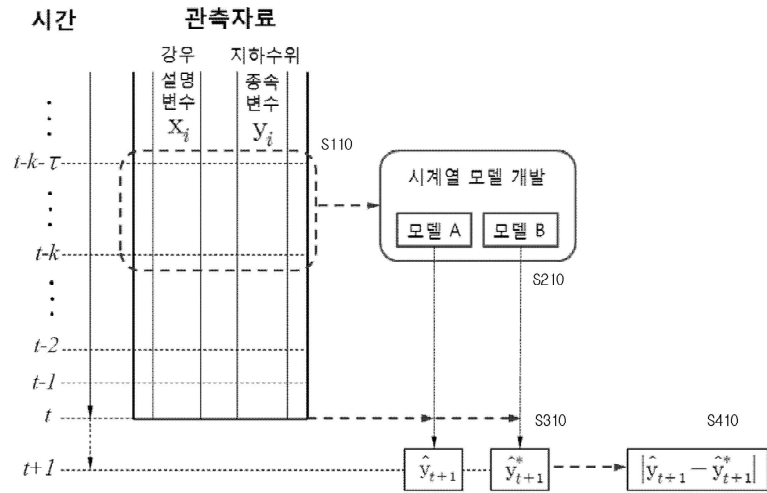
- 국가별로 어느 연구분야에 연구를 집중하고 있는지에 대한 검토를 수행해보면, 위 그래프로 설명가능한데, 전체적으로는 한국과 일본이 메이저 연구가 수행되는 국가임을 확인할 수 있음
- 전반적으로는 일본보다는 한국의 특허 출원이 많은데, 그 예로 수자원 활용 분야(AB)이며, 가장 연구개발의 양적 차이가 큰 분야인 것을 알 수 있음
 - 수자원 확보(AA) 분야에서는 일본이 한국보다 많은 출원을 하고 있는 분야로 판단됨
 - 미국의 경우에는 수자원 확보(AA) 분야에서 활발한 특허출원이 이루어진 것으로 나타났으며, 유럽의 경우에는 수자원 확보(AA), 수자원 활용(AB) 분야에서 비교적 대등한 특허출원이 이루어진 것으로 나타남

다. 국내외 핵심특허

(1) 등록번호 1463425호

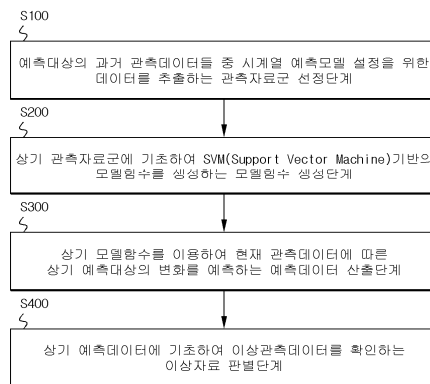
공개번호	2014-0068436	출원일	2012.11.28	법적상태	등록
출원인	한국지질자원연구원			발명자	윤희성, 하규철 등
발명의 명칭	시계열 예측모델을 이용한 이상관측자료 탐지방법 및 지하수위의 이상관측 탐지방법				
대표청구항	예측대상인 지하수위 및 상기 지하수위에 영향을 미치는 강우량을 포함하는 영향인자의 과거 관측데이터들 중 이상관측이 발생하지 않은 자료군을 추출하는 관측자료군 선정단계; 상기 관측자료군에 기초하여 SVM(Support Vector Machine)기반으로, 과거의 관측데이터를 이용하여 예측을 수행하는 실측기반 모델함수 및 과거의 예측데이터를 이용하여 예측을 수행하는 예측기반모델함수를 생성하는 모델함수 생성단계; 상기 실측기반모델함수 및 예측기반모델함수 각각에 대하여, 현재 관측데이터에 따른 상기 지하수위의 변화를 예측하는 예측데이터 산출단계; 및 상기 실측기반모델함수의 예측데이터 및 상기 예측기반모델함수의 예측데이터를 비교하고, 두 예측데이터의 차이값이 이상판단기준값보다 큰 경우, 해당 데이터를 이상관측데이터로 결정하는 이상자료 판별단계를 포함하고, 상기 모델함수 생성단계는, SVM기반의 시계열 예측을 위한 모델의 구조를 설정하는 구조설정단계; 및 SMO(Sequential Minimal Optimization)알고리즘으로 예측함수를 설정하고 최적화하는 최적화예측함수 생성단계;를 포함하여 상기 최적화예측함수에 의해 상기 모델함수를 생성하며, 상기 구조설정단계는, 상기 현재 관측데이터에 따른 입력벡터(Input vector); 상기 관측자료군에서 추출되는 지지벡터(SV, Support vector); 상기 입력벡터 및 지지벡터를 커널트릭(Kernel trick)으로 고차원 변환하는 커널함수(Kernel function); 및 상기 커널함수를 이용하여 예측데이터를 산출하는 출력함수(Output)를 포함하여, 상기 모델의 구조를 설정하고, 상기 최적화예측함수 생성단계는, 상기 SVM기반의 예측함수를 상기 SMO알고리즘으로 설정하는 단계; 상기 예측함수를 계산하기 위한 목적함수를 설정하는 단계; 및 상기 목적함수에 최적화 조건을 설정하여 상기 최적화예측함수로 변환하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터가 수행하는 지하수위의 이상관측자료 탐지 방법.				

도 3

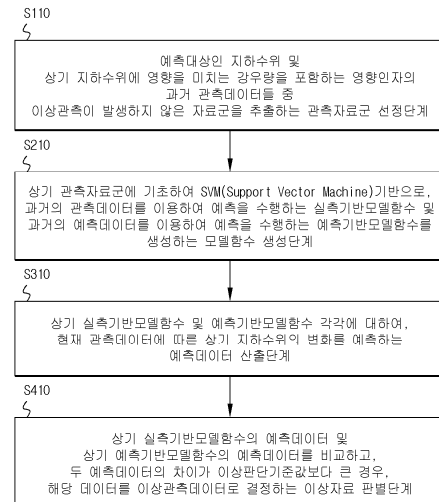


도면

도 1



도 2

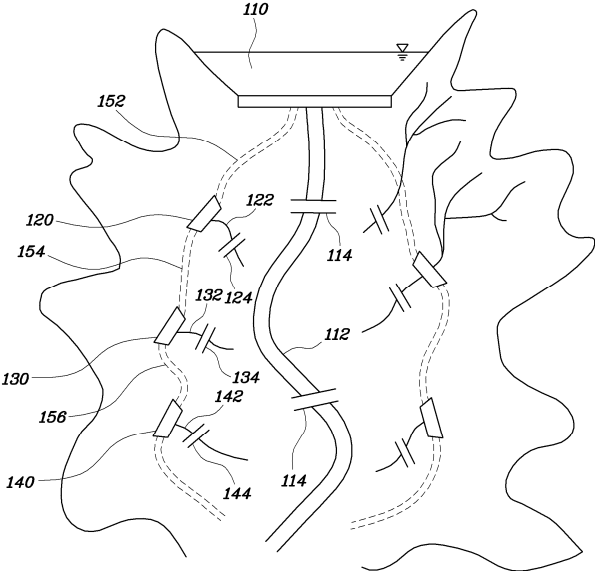


코멘트

본 특허는 과거의 관측자료들을 이용하여 예측된 결과에 기초하여 이상 관측 자료를 판별할 수 있도록 한 것으로서, 지하수 관리분야에서 예측 시계열 모델을 만들고 이용하여 이상 관측자료를 탐지하는 능력을 향상시킬 수 있음. 이를 토대로 지하수의 함양, 관리 기술을 이루는 핵심 토대기술이 될 수 있음.

본 특허는 현재 등록된 상태로, 존속기간은 2032년 11월까지로 침해 등에 유의할 필요가 있으며, 지질연구원에서 “대수층 인공함양 지하수 확보 융복합 핵심기술개발” 사업의 일환으로 생산된 특허임.

(2) 등록번호 1266799호

공개번호	2012-0106215	출원일	2011.03.18	법적상태	등록
출원인	부경대학교			발명자	변희룡
발명의 명칭	지하수 충전 및 운용시스템				
대표청구항	산간계곡의 상류 고지대에 건설된 댐 또는 저수지; 상기 댐 또는 상기 저수지의 주변에 건설된 제1충전용저수지; 상기 댐 또는 상기 저수지와 상기 제1충전용저수지를 연결하는 제1수로; 상기 댐 또는 상기 저수지의 방류로 상에 설치된 충전용보; 상기 제1충전용저수지의 주변에 건설된 제2충전용저수지; 상기 제1충전용저수지와 상기 제2충전용저수지를 연결하는 제2수로; 상기 제1충전용저수지의 방류로 상에 설치된 충전용보; 및 상기 제2충전용저수지의 방류로 상에 설치된 충전용보를 포함하고, 상기 댐 또는 상기 저수지에서 방류된 물의 일부가 상기 제1수로를 통해 상기 제1충전용저수지에 공급 및 저장되도록 하여 상기 제1충전용저수지의 주변 지층에 지하수를 충전하며, 상기 제1충전용저수지에서 방류된 물의 일부가 상기 제2수로를 통해 상기 제2충전용저수지에 공급 및 저장되도록 하여 상기 제2충전용저수지의 주변 지층에 지하수를 충전하는 것을 특징으로 하는 지하수 충전 및 운용시스템.				
도면					
코멘트	본 특허는 지하수가 지층에 충분히 충전되도록 함으로써 평상시에는 수자원을 풍요롭게 사용할 수 있고, 갈수기나 가뭄 발생시 수자원 부족으로 인한 피해를 줄일 수 있는 기술에 관한 발명임. 즉, 잉여 지표수를 버리지 않고 따로 저장하는 구조를 만들어 홍수대비기능을 높이고, 지표수자원을 지하로 투입시키는 시간과 공간을 확장하여 지하 충전량을 늘고, 충전용 저수지가 댐이나 저수지보다 고지대에 위치한 경우에는 양수기 등을 이용하여 물을 끌어올려 충전할 경우 평소에는 지하수의 저장이 불가능하던 지하공간을 수자원 저장의 창고로 이용함. 본 특허는 기상청의 “가뭄특성에 관한 연구”에 대한 결과물로서, 등록되어 있는 상태로 특허의 존속기간은 2031년 3월까지임.				

(3) 등록번호 923402호

공개번호	2009-0090949	출원일	2008.02.22	법적상태	등록
출원인	서울대학교			발명자	김영오, 음형일
발명의 명칭	가뭄관리를 위한 최적의 운영률 시스템 및 이를 적용하는 방법				
대표청구항	확률론적 유량을 예측하는 앙상블 유량예측(ESP)과 미래 유입량의 불확실성을 고려한 추계학적 최적화 기법인 표본 추계학적 동적 프로그래밍(SSDP)이 결합된 정상운영률 모델; 가뭄에 대비하기 위한 헤징 룰(hedging rule)과 상기 표본 추계학적 동적 프로그래밍이 결합된 비상운영률 모델; 통합가뭄지수를 근거로 하여 가뭄의 존재여부와 심도를 구분하는 지표의 경계값인 ADI 트리거; 및 운영기간단위에 따른 신뢰도 평가에 따라 설정된 기준수위인 저수량 트리거를 포함하며, 상기 ADI 트리거 및 저수량 트리거의 작동에 따라 선택적으로 정상운영률 모델 또는 비상운영률 모델이 적용되는 것을 특징으로 하는 가뭄관리를 위한 최적의 운영률 시스템.				
도면	130 정상운영률 모델 110 ADI 트리거 140 비상운영률 모델 120 저수량 트리거 100 도 1 시작 모니터링 S210 현재 ADI < ADI 트리거 현재수위 < 저수량 트리거 S220 아니오 S230 SSDP (다중목적함수) 예 S250 SSDP (단일목적함수) 정상운영률 S240 비상운영률 S260 t=t+1 S270 도 2				
코멘트	본 특허는 가뭄과 같은 비정상적인 상황에서 용수부족과 취약도를 고려하여 정상운영률 및 비상운영률을 선택적으로 적용함으로써, 가뭄으로 인한 피해를 최소화할 수 있는 것임. 최적의 운영률 시스템은 앙상블 유량예측(ESP)을 바탕으로 ADI 트리거를 적용하여, 정상운영률 모델과 비상운영률 모델을 선택적으로 사용하므로, 가뭄 상황에 대해 효과적으로 대처하고자 함. 본 특허는 2028년까지 유효한 특허로서, 가뭄에 대비하기 위한 헤징 룰(hedging rule)과 표본 추계학적 동적 프로그래밍(SSDP) 모델을 결합한 비상운영률 모델이 도입하고자 할 때는 필수적으로 침해 체크를 해야하는 권리임.				

(4) 공개번호 특2003-30410호

출원번호	2001-62541	출원일	2001.10.11	법적상태	심사 中
출원인	박재현			발명자	박재현
발명의 명칭	다중 반응벽 지하댐을 이용한 지하수 확보 및 정화시스템				
대표청구항	불투수 벽체로 이루어진 차수벽(11,11',11'')과 상기 차수벽(11,11',11'')에 형성된 복수 개의 유수구(12,12',12'')와 상기 유수구(12,12',12'')에 설치되어 유수구(12,12',12'')를 통하여 유출되는 지하수를 접촉에 의하여 여과 및 정화시키는 복수 개의 정화모듈(20,20',20'')을 구비한 복수 개의 반응벽 지하댐(10,10',10'')을 다단계로 설치하여 지하수를 저류시킴으로써 상기 각 지하댐(10,10',10'')의 상류 측에 지하수를 일시 저장하여 지하수 자원을 확보하도록 함과 아울러, 상기 저류된 지하수를 상기 각 지하댐(10,10',10'')의 유수구(12,12',12'')에 설치된 정화모듈(20,20',20'')을 통하여 다단계로 여과 및 정화시켜 유하시키는 것을 특징으로 하는 복수 개의 반응벽 지하댐을 이용한 지하수 확보 및 정화 시스템.				
도면					
코멘트	본 특허는 복수의 반응벽체로 구성된 지하댐을 다단계로 연속 설치함으로써 지하수 저류량을 증대시켜 지하수자원을 확보하고, 이를 농업 및 산업용수, 하천유지용수 또는 각종 생활용수로 활용할 수 있도록 함으로써 자원효율성을 높일 수 있게 됨과 아울러, 각 지하댐에 필터부재를 구비한 복수의 정화모듈을 설치한 구조를 제공함으로써 오염된 지하수의 수질을 개선할 수 있도록 함. 본 특허는 현재 심사중인 특허로서, 정화와 저수가 동시에 가능한 다중반응벽을 가진 지하댐에 관한 것이며, 본 공개특허의 존재를 인식하고 등록여부 등에 대해 모니터링이 필요하다고 봄.				

(5) 등록번호 1520439호

출원번호	2014-86075	출원일	2004.07.09	법적상태	등록
출원인	이메트릭스			발명자	차희원, 윤준재 등
발명의 명칭	농업용수 활용을 위한 지하수 판정 통합운영관리시스템 및 방법				
대표청구항	농가에 농업용수를 공급하는 적어도 하나의 개별 저수조, 대규모 저수조 및 우수 저류조의 수위 및 유량을 측정하는 적어도 하나의 모니터링 단말기; 상기 모니터링 단말기에서 측정된 상기 개별 저수조, 대규모 저수조 및 우수 저류조의 수위 및 유량을 저장하고, 농가의 정보를 저장하는 데이터베이스부; 상기 모니터링 단말기로부터 수신되는 측정정보를 상기 데이터베이스부에 저장하고, 상기 측정정보를 참조하여 농업용수의 부족을 판단하고, 농업용수가 부족하다고 판단되면 농가 또는 운영자에게 알람을 전송하는 서버를 포함하고, 상기 데이터베이스부는, 상기 모니터링 단말기에서 측정된 상기 개별 저수조, 대규모 저수조 및 우수 저류조의 수위 및 유량을 저장하는 수집정보 DB, 상기 수집정보와 관망정보를 활용하여 관정감시, 전/답관리, 누수관리 및 관망해석을 수행하기 위한 데이터를 축적저장하는 분석정보 DB(122), 농가의 정보를 저장하는 데이터베이스부(120)를 포함하고, 상기 서버는, 상기 모니터링 단말기로부터 수신되는 측정정보를 상기 데이터베이스부에 저장하는 정보 수집부, 상기 측정정보를 참조하여 농업용수의 부족을 판단하고, 농업용수가 부족하다고 판단되면 농가 또는 운영자에게 알람을 전송하도록 제어하는 판단부, 상기 판단부의 제어에 따라 농가 또는 운영자에게 알람을 전송하는 알람부(113)를 포함하고, 상기 판단부는 상기 개별 저수조의 관정수위가 임계 수위보다 낮은 경우, 데이터 계층분석을 통하여 농촌용수공급량을 산정하여 상위 시스템의 농업용수를 공급하는 것을 특징으로 하고, 상기 개별 저수조의 관정수위가 임계 수위보다 높은 경우 상기 판단부는 농가별 로 관개가 필요한 경우에 농촌 용수 공급량을 산정하여 상위 시스템의 농업용수를 공급하는 것을 특징으로 하고, 상기 판단부는 상기 데이터 계층분석 시에, 평균기온, 일조시간, 강수량 및 사용량을 이용하여 축적 데이터를 생성하고, 상기 데이터 계층분석 적용을 위해서는 1년 이상의 데이터 축적을 이용하며, 상기 축적된 데이터가 부족할 시에는 아래 표에 따라 답과 전의 필요수량을 계산하는 것을 특징으로 하고, 상기 판단부는, 상기 농촌용수 공급량을 산정하여 상위 시스템의 농업용수를 공급할 때에, 공급이 필요한 수요처 농가를 포함한 하위시스템과 공급량을 산정하고, 우수 저류조를 상위 시스템으로 정하고, 상기 우수저류조의 수위를 계측하여 보유하고 있는 수량이 공급량을 충당할 수 있고 공급이 필요한 모든 하위시스템에 공급이 가능한지 판단하고, 상기 우수저류조의 수위를 계측하여 보유하고 있는 수량이 공급량을 충당할 수 있고 공급이 필요한 모든 하위시스템에 공급이 가능하면, 상기 우수 저류조의 물을 우선 공급하고, 상기 우수 저류조가 공급 불가한 경우, 다른 상위시스템인 군정 및 저수조를 포함한 상기 대규모 저수조를 검토하여 물을 공급하는 과정을 수행하며, 상기 판단부는, 다음 수식에 따라 관개용수 사용시간과 펌프의 양수시간이 동일한 경우, 농업용수가 부족한 시점을 사전 예측하는 것을 특징으로 하는 농업용수 활용을 위한 지하수 관정 통합관리시스템.				

도면	
코멘트	본 특허는 지하수의 관리체계를 개별적으로 운영되는 농업용 지하수 관정의 감시/제어 수준을 넘어 파이프라인을 이용하여 통합관리 함으로써 지역적/계절적 물 부족현상을 예방하고 안정적인 공급관리체계를 갖추는 것임. 본 특허는 운영관리 소프트웨어의 기능을 통해 농업용수의 공급량 관리, 손실을 저감 및 최적의 운영관리를 달성하여, 궁극적으로는 부족한 수자원을 확보하는 것으로서, 현재 등록중이며 최근 등록된 건으로서 20년 가까이 권리유효기간이 남아 있으므로 유의가 필요함.

(6) 등록번호 1013182호

출원번호	2010-77000	출원일	2010.08.10	법적상태	등록
출원인	한국지질자원연구원			발명자	석희준, 고경석
발명의 명칭	지하수의 수위변화를 이용한 지하수 양수량 산출방법, 수위측정센서 및 양수량 산출방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체				
대표청구항	일정 기간 동안에 양수펌프를 이용하여 퍼 올린 지하수의 총 양수량을 산출하기 위한 것으로서, (a) 일정 기간 동안 변동하는 지하수위를 시간 간격을 두고 계속적으로 측정하여 각 측정시각별 지하수위 데이터를 획득하는 단계; (b) 상기 양수펌프를 가동하여 지하수를 퍼 올리기를 시작하면서 지하수위가 하강하는 양수 초기와, 시간에 따른 지하수위의 하강량이 상기 양수 초기에 비하여 작아지는 준평형기와, 상기 양수펌프의 가동을 중단시킴으로써 지하수위가 상승하는 회복기를 거치는 전체 양수과정에서 나타나는 지하수위의 전형패턴과 상기 (a)단계에서 획득된 지하수위 데이터를 비교하여, 상기 지하수위 데이터로부터 상기 지하수위의 전형패턴과 대응되는 패턴을 형성하는 데이터들을 선별하는 단계; (c) 상기 (b)단계에서 선별된 데이터의 측정시각을 이용하여, 양수가 이루어진 총 시간을 산출하는 단계; 및 (d) 산출된 총 양수시간을 이용하여 총 양수량을 산출하는 단계;를 구비하는 것을 특징으로 하는 지하수의 수위변화를 이용한 지하수 양수량 산출방법.				
도면	<pre> graph TD Start([시작]) --> Load[데이터베이스에 저장된 센서의 위치정보를 불러옴] Load --> Exist{DB에 저장된 센서의 위치정보가 존재하는가?} Exist -- 예 --> Apply[양수량 산출 알고리즘 적용] Exist -- 아니오 --> AddLoc[DB에 저장된 센서의 위치정보 추가] AddLoc --> Exist Apply --> Correct{DB에 저장된 센서의 위치정보가 올바른가?} Correct -- 예 --> Finished{양수량 산출 알고리즘이 종료되었는가?} Correct -- 아니오 --> AddLoc Finished -- 예 --> Output([산출된 양수량]) Finished -- 아니오 --> Apply </pre> Legend: DB: 지반 정보 데이터베이스 Loc: 센서 위치 정보 Time: 측정 시간 Discharge: 양수량 Algorithm: 양수량 산출 알고리즘				
코멘트	본 특허는 생활용수, 농업용수 등으로 지하수를 양수한 양을 산출하기 위한 것으로서, 특히 지하수의 수위변화를 이용하여 지하수 양수량을 산출하기 위한 방법에 관한 것으로서, 지하수위를 측정함으로써 일정 기간 동안의 지하수 양수량을 신뢰성 있게 산출할 수 있는 지하수의 수위 변화를 이용한 지하수 양수량 산출방법과, 수위측정센서 및 양수량 산출방법을 제시하고 있음. 본 특허는 지경부의 “지구환경변화 대응 지하수 확보 통합솔루션 개발”의 결과물로서 나온 것으로서, 존속기간이 2030년 8월까지이므로, 수위변화의 모니터링 개발 시 참고 및 유의할만한 특허임.				

4. 논문분석

가. 논문의 조사 방법

(1) 분석 대상 선정

☐ 과제 참여자 및 자문위원을 대상으로 논문 검색을 위한 Keyword에 대한 의견을 수렴한 후 관련 Keyword를 대상으로 논문 조사를 수행함

○ 이 때, 다수의 Keyword를 단순화하기 위하여 유사한 것은 서로 그룹화하여 중 분류 규모의 Keyword를 재산정한 후 분석 대상을 결정하였음

<표 43> 논문 조사를 위한 Keyword 현황

순서	키워드	검색식
1	Drought	“Groundwater” AND “Drought”
2	Groundwater & Surface water & Irrigation	“Groundwater” AND “Surface Water” AND “Irrigation”
3	Groundwater and Surface water interactions	“Groundwater” AND “Surface Water” AND “Interaction”
4	Groundwater depletion and climate change	“Groundwater” AND “Depletion” AND “Climate Change”
5	Conjunctive use of groundwater and surface water	“Groundwater” AND “Surface Water” AND “Conjunctive Use”
6	aquifer recharge	“Groundwater” AND “Aquifer Recharge”
7	drinking water supply and management from aquifer	“groundwater” AND “drinking water” AND “supply” AND “management”

(2) 활용 프로그램

☐ 논문 정량 분석은 학술정보 솔루션이자 고급 연구 플랫폼인 WEB OF SCIENCE를 이용, SCI(E)등의 해외 학술 저널에서 발생한 연구 성과를 취합하여 연구트렌드를 파악하였음

- 이는 Web of Science에서 제공하는 핵심 컬렉션의 분석 수량이 통계적으로 유의미한 결과를 도출하기에 충분하고, 결과 분석 서비스 및 인용 보고서 작성 서비스가 본 연구에서 추구하는 논문의 정량적 분석 방식에 적합한 것으로 간주함
- 특히 Web of Science의 연구 도구 중 Web of Science 핵심 컬렉션의 데이터를 기반으로 양질의 문헌에 대한 통합적인 액세스로 원하는 방식의 분석을 시행하였음
- 다양한 필드에서 데이터값을 추출하여 검색결과 세터의 레코드를 그룹화하고 순위를 지정토록 함
- 이 기능을 사용하여 검색 쿼리에 따른 레코드 수를 기준으로 목록을 생성토록 함
- 국내외 핵심논문 리스트는 NDSL (National Digital Science Library)에서 검색되는 논문을 주로 선정하고 확장이 필요한 논문은 web of science 의 검색 쿼리를 포함하여 선정함

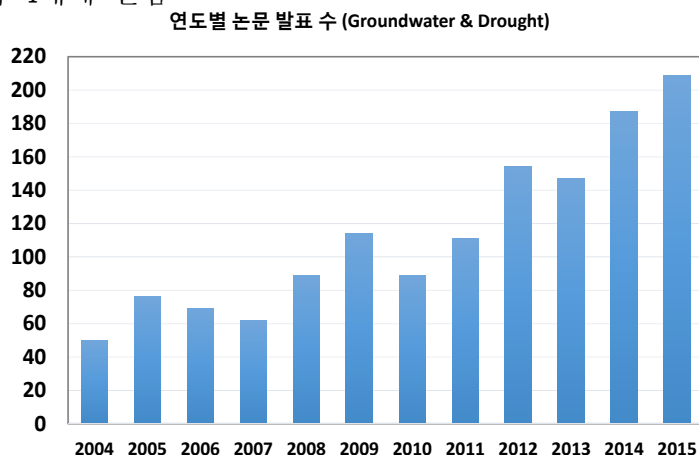
(3) 분석 절차

- “주제”를 선정해 검색하였으며, 검색 연산자를 사용하여 검색 범위를 넓히거나 좁히는데 본 연구의 경우 부울 연산자 중 “AND” 기능을 이용하여 키워드 용어가 모두 포함된 레코드를 찾는 과정에서 검색 범위를 좁혀 나가는 방식을 채택함
- Surface water와 같이 두 음절로 구성된 주제는 따옴표 “ ” 안에 넣고 검색하였으며, 검색한 주제로 발굴한 연구논문을 정량 분석 시행 및 주요 논문 목록 작성함
- 한편, 주제어를 조합하여 검색된 결과가 백여건 이하인 경우 정량적 분석을 수행하지 않음

나. 논문 정량분석

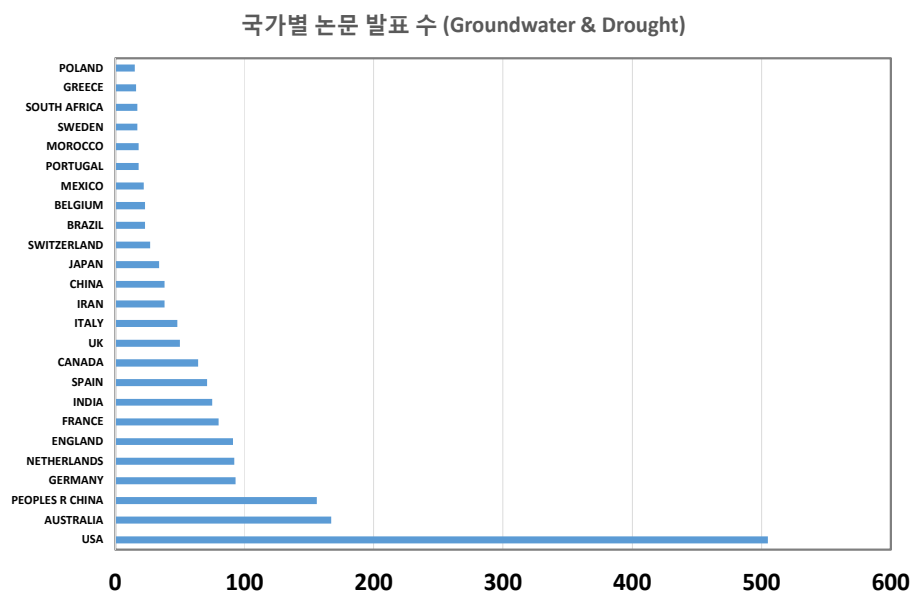
(1) “Drought”

- 가뭄에 대한 논문은 최근 지속적으로 증가되고 있는 것으로 나타남
- 2004년부터 2015년 동안 1538개의 논문을 대상으로 분석한 결과, 연도별 논문 발표는 꾸준히 증가 추세에 있으며 2015년 발표 논문 수는 2004년에 비해 약 4배에 달함



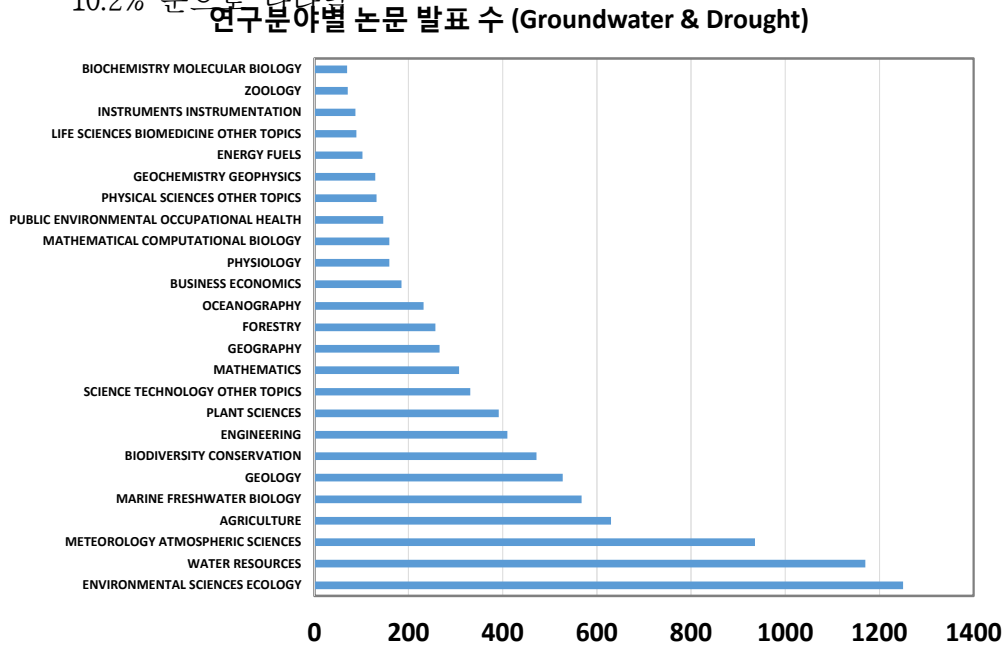
[그림 61] “Drought”에 대한 연도별 논문 발표수

- 국가별로 보면, 지하수 가뭄과 관련한 국가별 논문 발표수를 분석하였을 때, 미국이 500여 편을 발표하여 전체 발표의 28%를 차지함
- 그 뒤를 호주, 중국 순으로 각각 9.2%, 8.7%의 논문을 발표하였으며 한국은 해당 순위안에 존재하지 않음



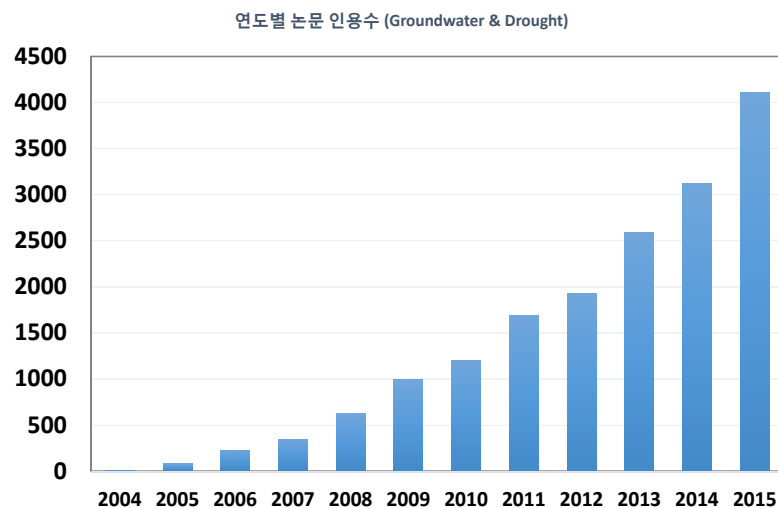
[그림 62] “Drought”에 대한 국가별 논문 발표 수

- “Drought” 와 관련하여 관련 분야별로 구분한 결과, 환경 생태 분야의 논문이 1250개로 전체의 14%를 차지하며, 수자원, 기후변화 등의 분야가 12.8%, 10.2% 순으로 나타났다



[그림 63] “Drought” 의 관련 분야별 논문 발표 수

- 가뭄에 관한 주제는 논문의 인용이 현재까지 가파르게 증가하고 있고, 인용 비율은 논문 발표수의 100배가 넘음
- 영향력 있는 인용 상위 10개 논문 중 3개의 논문이 2010년 이후에 발생하였고, 인용 비율의 증가 속도를 관찰했을 때 현재 빠른 속도로 발전을 지속하고 있는 분야임
- 또한 상위 10개 논문의 인용지수를 살펴보면 모두 100회 이상의 총인용 횟수를 보이며 연평균 인용횟수도 모두 10회를 상회함



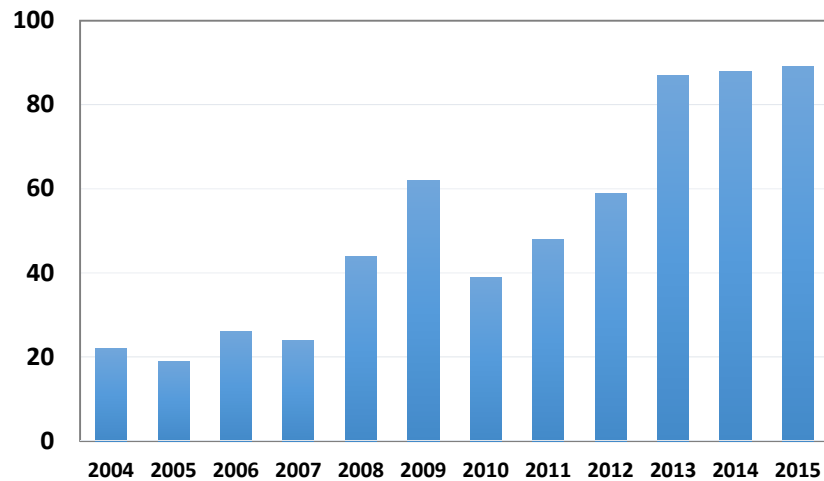
[그림 64] “Drought” 관련 논문의 연도별 인용수

제목	저자	학술지명	출판 연도	총 인용	연평균
A review of drought concepts	Mishra, Ashok K.; Singh, Vijay P.	JOURNAL OF HYDROLOGY	2010	522	74.6
Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions	Scanlon, Bridget R.; Keese, Kelley E.; Flint, Alan L.; Flint, Lorraine E.; Gaye, Cheikh B.; Edmunds, W. Michael;	HYDROLOGICAL PROCESSES	2006	278	25.3
Evidence for soil water control on carbon and water dynamics in European forests during the extremely dry year: 2003	Granier, A.; Reichstein, M.; Breda, N.; Janssens, I. A.; Falge, E.; Ciais, P.; Gruenwald, T.; Aubinet, M.; Berbigier, P.;	AGRICULTURAL AND FOREST METEOROLOGY	2007	273	27.3
Rice and water	Bouman, B. A. M.; Humphreys, E.; Tuong, T. P.; Barker, R.	ADVANCES IN AGRONOMY	2007	163	16.3
A review of the consequences of decreased flow for instream habitat and macroinvertebrates	Dewson, Zooe S.; James, Alexander B. W.; Death, Russell G.	JOURNAL OF THE NORTH AMERICAN BENTHOLOGICAL SOCIETY	2007	160	16.0
Ground water and climate change	Taylor, Richard G.; Scanlon, Bridget; Doell, Petra; Rodell, Matt; van Beek, Rens; Wada, Yoshihide; Longuevergne,	NATURE CLIMATE CHANGE	2013	152	38.0
Anthropogenic nutrient enrichment of seagrass and coral reef communities in the Lower Florida Keys: discrimination of local versus regional nitrogen sources	Lapointe, BE; Barile, PJ; Matzie, WR	JOURNAL OF EXPERIMENTAL MARINE BIOLOGY AND ECOLOGY	2004	147	11.3
Phreatophytic vegetation and groundwater fluctuations: A review of current research and application of ecosystem response modeling with an emphasis on Great Basin vegetation	Naumburg, E; Mata-Gonzalez, R; Hunter, RG; Mclendon, T; Martin, DW	ENVIRONMENTAL MANAGEMENT	2005	141	11.8
Interdependence of groundwater dynamics and land-energy feedbacks under climate change	Maxwell, Reed M.; Kollet, Stefan J.	NATURE GEOSCIENCE	2008	139	15.4
Groundwater depletion and sustainability of irrigation in the US High Plains and Central Valley	Scanlon, Bridget R.; Faunt, Claudia C.; Longuevergne, Laurent; Reedy, Robert C.; Alley, William M.; McGuire,	PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF	2012	131	26.2

(2) “Groundwater & Surface water & Irrigation”

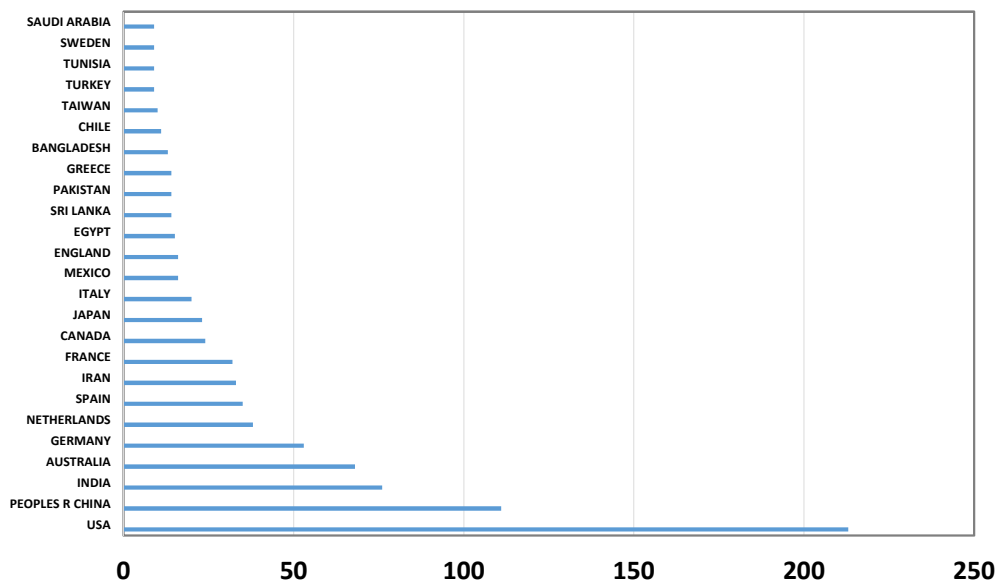
□ 2004년부터 2015년 동안 700개의 논문을 대상으로 분석한 결과, 연도별 논문 발표는 꾸준히 증가 추세에 있으며 2013년 이후로는 매년 90여건의 논문이 발표되고 있음

○ 2015년 발표 논문 수는 2004년에 비해 최근 약 4배에 달함
연도별 논문 발표 수 (Groundwater & Surface water & Irrigation)



[그림 65] “Groundwater & Surface water & Irrigation” 관련 연도별 논문 수

○ 국가별로 보면, 미국이 213여 편을 발표하여 전체 발표의 24%를 차지하고 그 뒤를 중국, 인도 순으로 각각 12.5%, 9.6%가 차지함
연구기관별 논문 발표 수 (Groundwater & Surfacewater & Irrigation)

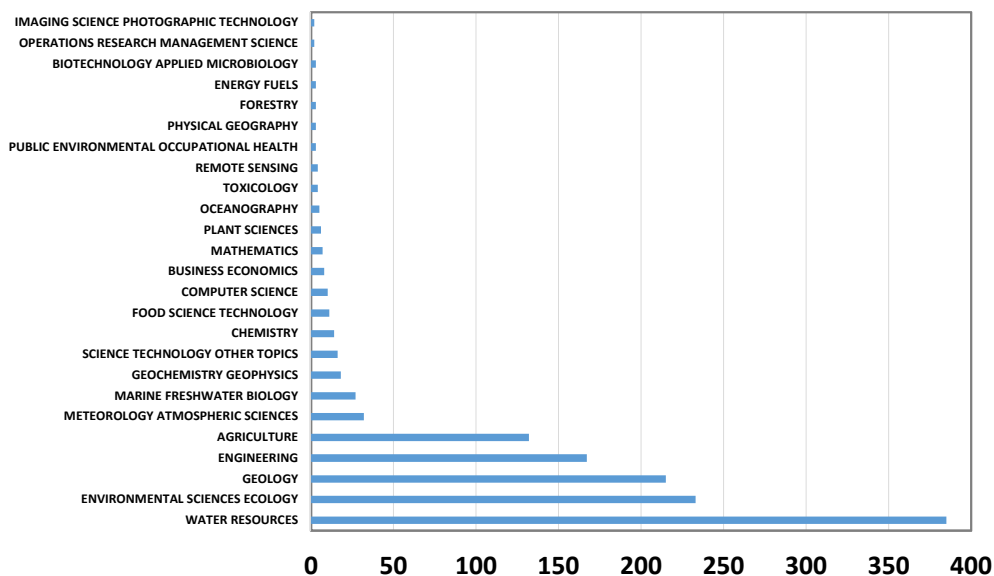


[그림 66] “Groundwater & Surface water & Irrigation” 관련 국가별 논문 수

□ 25개의 연구 분야 중에 수자원 분야의 논문 출판이 385개로 전체 29%를 차

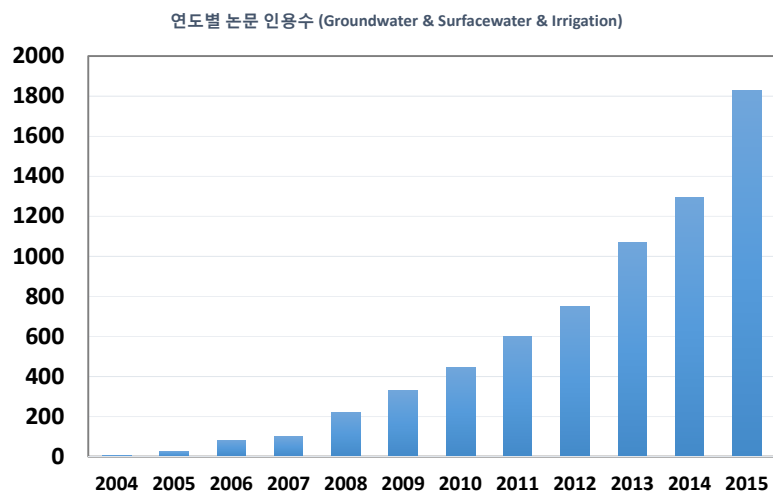
지하였으며 생태환경, 지질학 분야가 17.7, 16.3%의 순으로 나타남

- 수자원, 생태환경, 지질학, 공학, 농업 분야가 전체 출판의 86.2%에 해당함



[그림 67] “Groundwater & Surface water & Irrigation” 관련 연구분야별 논문 수

- 본 분야에 대한 논문의 인용이 가파르게 증가하고 있고, 인용 비율은 논문 발표수의 100배가 넘음
- 인용 비율의 증가 속도를 관찰했을 때 현재 빠른 속도로 발전을 지속하고 있는 분야임
- 또한 상위 10개 논문의 인용지수를 살펴보면 모두 100회 이상의 총인용 횟수를 보이며 연평균 인용횟수도 모두 10회를 넘고 있음



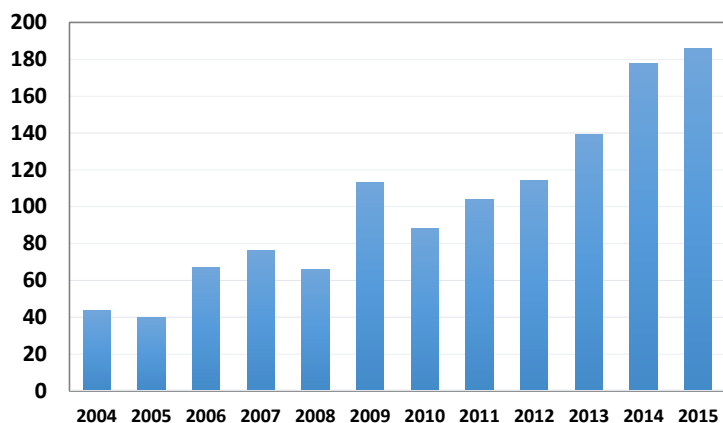
[그림 68] “Groundwater & Surface water & Irrigation” 관련 논문의 연도별 피인용지수

제목	저자	학술지명	출판 연도	총 인용	연평균
Satellite-based estimates of groundwater depletion in India	Rodell, Matthew; Velicogna, Isabella; Famiglietti, James S.	NATURE	2009	516	64.5
Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions	Scanlon, Bridget R.; Keese, Kelley E.; Flint, Alan L.; Flint, Lorraine E.; Gaye, Cheikh B.; Edmunds, W. Michael;	HYDROLOGICAL PROCESSES	2006	263	23.9
Global impacts of conversions from natural to agricultural ecosystems on water resources: Quantity versus quality	Scanlon, Bridget R.; Jolly, Ian; Sophocleous, Marios; Zhang, Lu	WATER RESOURCES RESEARCH	2007	199	19.9
Groundwater use for irrigation - a global inventory	Siebert, S.; Burke, J.; Faures, J. M.; Frenken, K.; Hoogeveen, J.; Doell, P.; Portmann, F. T.	HYDROLOGY AND EARTH SYSTEM SCIENCES	2010	163	23.3
Ground water and climate change	Taylor, Richard G.; Scanlon, Bridget; Doell, Petra; Rodell, Matt; van Beek, Rens; Wada, Yoshihide; Longuevergne,	NATURE CLIMATE CHANGE	2013	150	37.5
Arsenic in shallow, reducing groundwaters in southern Asia: An environmental health disaster	Charlet, L; Polya, DA	ELEMENTS	2006	134	12.2
Irrigation water as source of foodborne pathogens on fruit and vegetables	Steele, M; Odumeru, J	JOURNAL OF FOOD PROTECTION	2004	130	10.0
Groundwater depletion and sustainability of irrigation in the US High Plains and Central Valley	Scanlon, Bridget R.; Faunt, Claudia C.; Longuevergne, Laurent; Reedy, Robert C.; Alley, William M.; McGuire,	PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF	2012	129	25.8
Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP	van Dam, Jos C.; Groenendijk, Piet; Hendriks, Rob F. A.; Kroes, Joop G.	VADOSE ZONE JOURNAL	2008	108	12.0
Basin-scale, integrated observations of the early 21st century multiyear drought in southeast Australia	Leblanc, Marc J.; Tregoning, Paul; Ramillien, Guillaume; Tweed, Sarah O.; Fakes, Adam	WATER RESOURCES RESEARCH	2009	107	13.4

(3) “Groundwater and Surface water interaction”

- 2004년부터 2015년 동안 1360 개의 논문을 대상으로 분석을 시행한 결과, 연도별 논문 발표는 꾸준히 증가 추세에 있으며 2011년 이후로는 100여개 이상의 논문이 계속 발표되고 있음

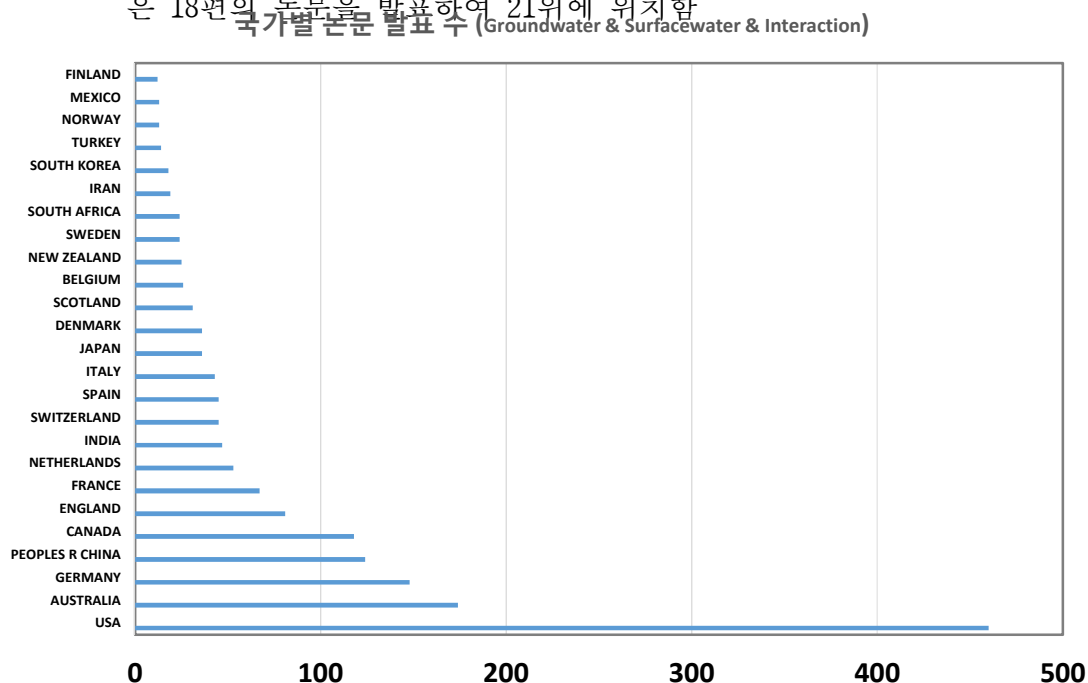
- 2015년 발표 논문 수는 2004년에 비해 최근 약 3배 이상에 달함
연도별 논문 발표 수 (Groundwater & Surface water & Interaction)



[그림 69] “Groundwater and Surface water interaction” 관련 연도별 논문 수

- 국가별 논문 발표수를 분석하였을 때, 미국이 460여 편을 발표하여 전체 발표의 27%를 차지함

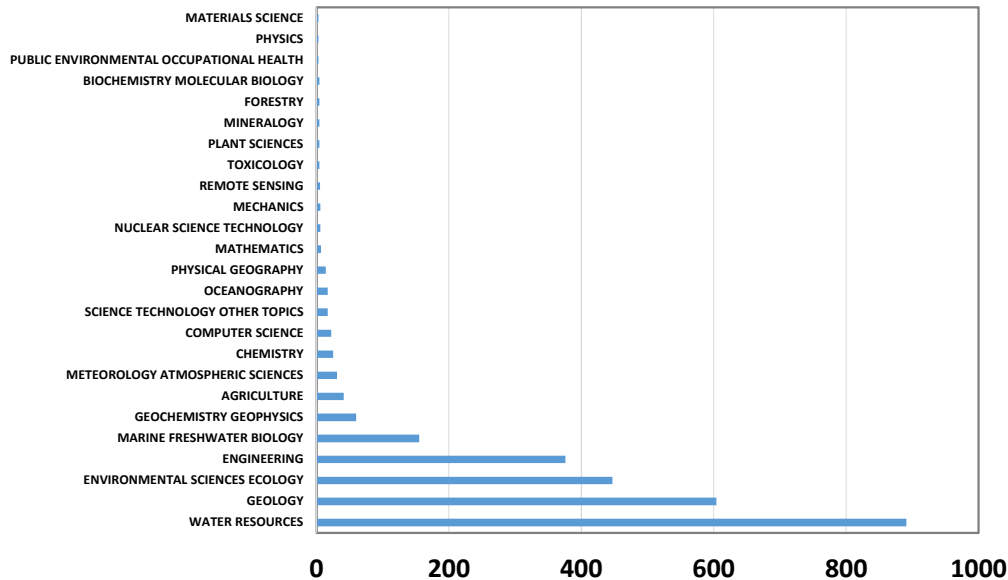
- 그 뒤를 호주, 독일 순으로 각각 10.3%, 8.7%의 논문을 발표하였으며 한국은 18편의 논문을 발표하여 21위에 위치함



[그림 70] “Groundwater and Surface water interaction” 관련 국가별 논문수

□ 25개의 연구분야 중에 수자원 분야의 논문 출판이 891개로 전체 32%를 차지하였으며 지질학, 생태환경 분야가 21.9, 16.3 %의 순임

○ 공학, 해양 분야를 포함해 상위 5개 분야가 전체 출판의 90%를 담당함
연구분야별 발표 수 (Groundwater & Surface water & Interaction)



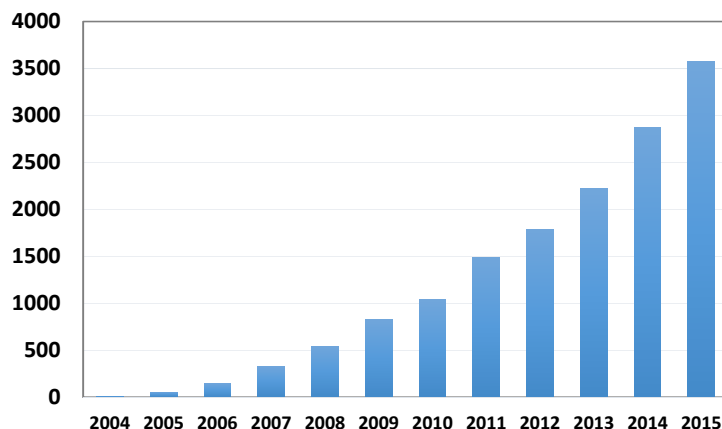
[그림 71] “Groundwater and Surface water interaction” 관련 분야별 논문 수

□ 본 분야에 대한 논문의 인용도 2010년 이후 가파르게 증가하고 있고, 인용 비율은 논문 발표수의 200배에 달함

○ 인용 비율의 증가 속도를 관찰했을 때 현재 빠른 속도로 발전을 지속하고 있는 분야이며 상위 10개 논문의 인용지수를 살펴보면 모두 100회 이상의 총인용 횟수를 보이며 연평균 인용횟수도 모두 10회를 상회함

○ 이상에서 보듯이 지표수와 지하수의 연계 분야는 지속적으로 관심을 갖고 물 문제 해결의 Keyword로 작용하고 있음

연도별 논문 인용수 (Groundwater & Surfacewater & Interaction)

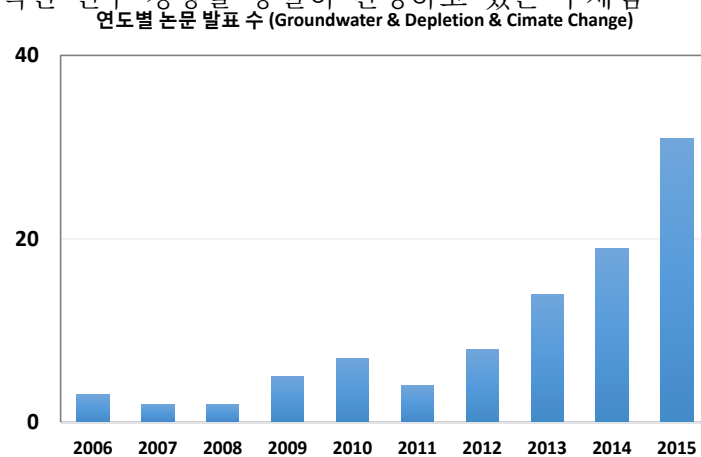


[그림 72] “Groundwater and Surface water interaction” 관련 연도별 논문 인용수

제목	저자	학술지명	출판 연도	총 인용	연평균
Subsurface water and clay mineral formation during the early history of Mars	Ehlmann, Bethany L.; Mustard, John F.; Murchie, Scott L.; Bibring, Jean-Pierre; Meunier, Alain; Fraeman, Abigail	NATURE	2011	215	35.8
Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; A review	Reichenberger, Stefan; Bach, Martin; Skitschak, Adrian; Frede, Hans-Georg	SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT	2007	190	19.0
Measuring methods for groundwater - surface water interactions: a review	Kalbus, E.; Reinstorf, F.; Schirmer, M.	HYDROLOGY AND EARTH SYSTEM SCIENCES	2006	190	17.3
Quantifying surface water-groundwater interactions using time series analysis of streambed thermal records: Method development	Hatch, Christine E.; Fisher, Andrew T.; Revenaugh, Justin S.; Constantz, Jim; Ruehl, Chris	WATER RESOURCES RESEARCH	2006	179	16.3
Temporal and spatial variability of groundwater-surface water fluxes: Development and application of an analytical method using temperature time series	Keery, John; Binley, Andrew; Crook, Nigel; Smith, Jonathan W. N.	JOURNAL OF HYDROLOGY	2007	166	16.6
Increased groundwater to stream discharge from permafrost thawing in the Yukon River basin: Potential impacts on lateral export of carbon and nitrogen	Walvoord, Michelle A.; Striegl, Robert G.	GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS	2007	159	15.9
Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges	Werner, Adrian D.; Bakker, Mark; Post, Vincent E. A.; Vandenbohede, Alexander; Lu, Chunhui	ADVANCES IN WATER RESOURCES	2013	151	37.8
Resilience and vulnerability of permafrost to climate change	Jorgenson, M. Torre; Romanovsky, Vladimir; Harden, Jennifer; Shur, Yuri; O'Donnell, Jonathan; Schuur, Edward A. G.	CANADIAN JOURNAL OF FOREST RESEARCH-REVUE CANADIENNE DE RECHERCHE	2010	124	17.7
A framework for broad-scale classification of hydrologic response units on the Boreal Plain: is topography the last thing to consider?	Devito, K; Creed, I; Gan, T; Mendoza, C; Petrone, R; Silins, U; Smerdon, B	HYDROLOGICAL PROCESSES	2005	119	9.9
Ecology and management of the hyporheic zone: stream-groundwater interactions of running waters and their floodplains	Boulton, Andrew J.; Datry, Thibault; Kasahara, Tamao; Mutz, Michael; Stanford, Jack A.	JOURNAL OF THE NORTH AMERICAN BENTHOLOGICAL SOCIETY	2010	117	16.7

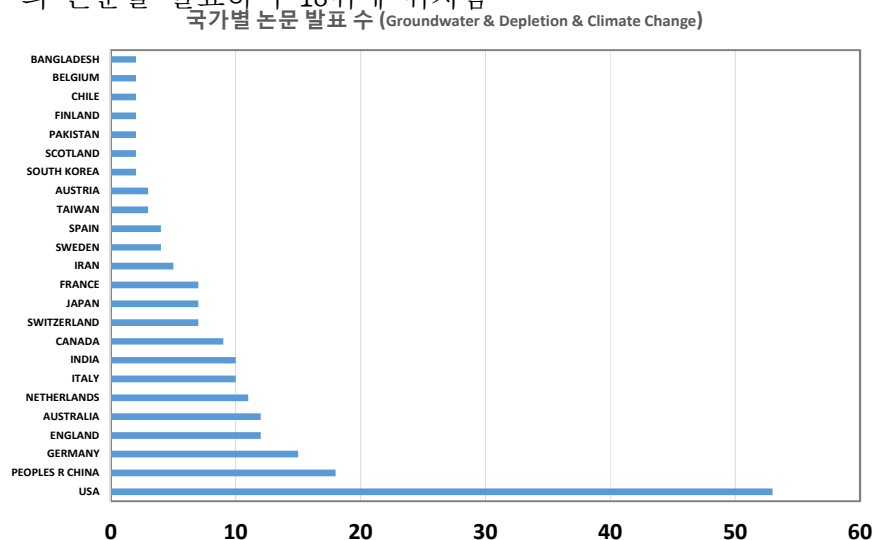
(4) “Groundwater depletion and climate change”

- 2004년부터 2015년 동안 95개의 논문을 대상으로 분석을 시행하였으며, 전체 논문 발표수는 상대적으로 적으나 최근 주목받고 있는 주제임
- 2011년까지 10개 이하의 적은 발표 수를 보이고 있었으나 최근 증가 추세에 있으며 2015년 논문 수는 2004년에 비해 최근 약 10배 이상에 달함
- 이와 같은 경향을 고려해 볼 때, 기후 변화에 대한 지하수의 접근은 최근 국제적인 연구 경향을 충실히 반영하고 있는 주제임



[그림 73] “Groundwater depletion and climate change” 관련 연도별 논문수

- 지하수 가뭄과 관련한 국가별 논문 발표수를 분석해보면, 미국이 53편을 발표하여 전체 발표의 26%를 차지함
- 그 뒤를 중국, 독일 순으로 8.8%, 7.4%의 논문을 발표하였으며 한국은 2편의 논문을 발표하여 18위에 위치함



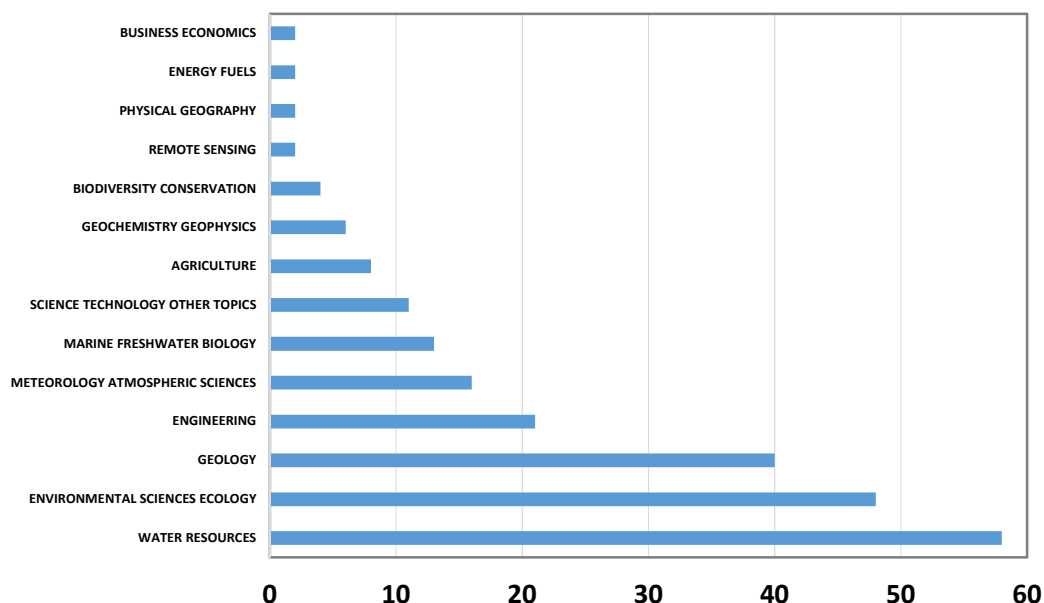
[그림 74] “Groundwater depletion and climate change” 관련 국가별 논문수

□ 해당 연구분야는 14개로서 한정된 영역에 집중됨

○ 수자원 분야의 논문 출판이 58개로 전체 25%, 생태환경, 지질학 분야가

20.6, 17.1%의 순인

연구분야별 논문 발표 수 (Groundwater & Depletion & Climate Change)

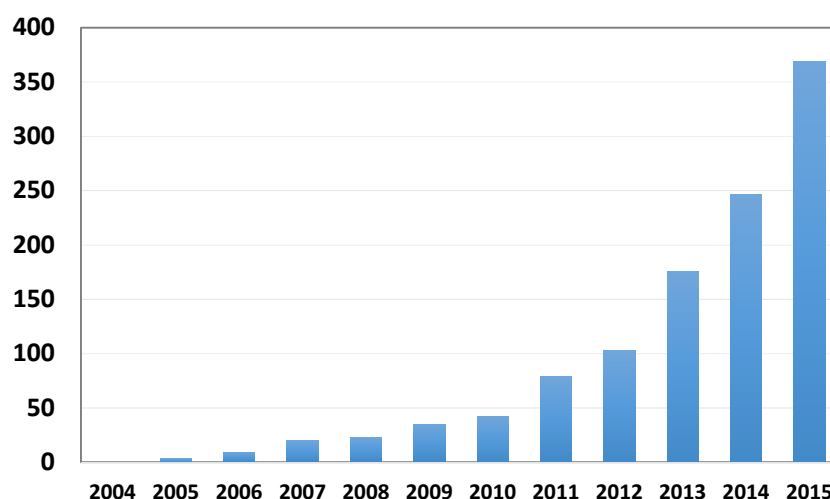


[그림 75] “Groundwater depletion and climate change” 관련 연구분야별 논문수

□ 최근에 연구가 본격적으로 이루어지고 있는 분야로서, 피인용수는 타 분야에 비하여 높지 않은 편이나, 2010년 이후 급증하고 있는 경향

○ 본 분야는 최근에 연구가 활발히 이루어지기 시작하는 분야로서 기후변화와 지표수 중심의 연구에서 기후변화와 지하수에 대한 연구로 영역이 확장되고 있음

연도별 논문 인용수 (Groundwater & Depletion & Climate Change)

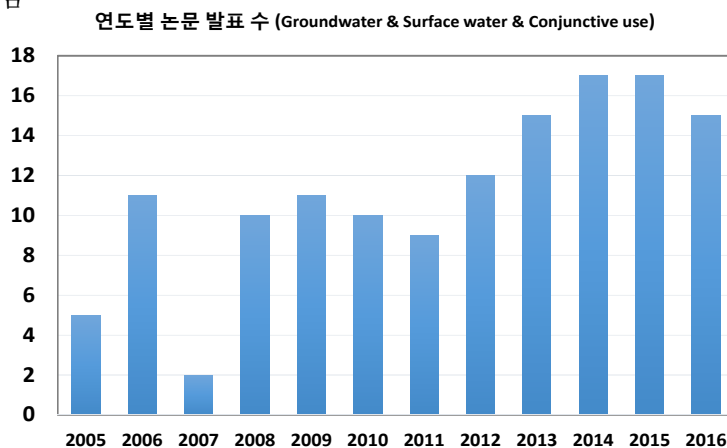


[그림 76] “Groundwater depletion and climate change” 관련 연도별 논문 인용수

제목	저자	학술지명	출판 연도	총 인용	연평균
Mediterranean water resources in a global change scenario	Garcia-Ruiz, Jose M.; Ignacio Lopez-Moreno, J.; Vicente-Serrano, Sergio M.; Lasanta-Martinez, Teodoro; Bequeria,	EARTH-SCIENCE REVIEWS	2011	179	29.8
Stable isotope variations in modern tropical speleothems: Evaluating equilibrium vs. kinetic isotope effects	Mickler, PJ; Banner, JL; Stern, L; Asmerom, Y; Edwards, RL; Ito, E	GEOCHIMICA ET COSMOCHIMICA ACTA	2004	126	9.7
Early Cretaceous life, climate and anoxia	Foellmi, K. B.	CRETACEOUS RESEARCH	2012	94	18.8
Water for Agriculture: Maintaining Food Security under Growing Scarcity	Rosegrant, Mark W.; Ringler, Claudia; Zhu, Tingju	ANNUAL REVIEW OF ENVIRONMENT AND RESOURCES	2009	90	11.3
Twentieth-Century Global-Mean Sea Level Rise: Is the Whole Greater than the Sum of the Parts?	Gregory, J. M.; White, N. J.; Church, J. A.; Bierkens, M. F. P.; Box, J. E.; van den Broeke, M. R.; Cogley, J. G.; Fettweis, X;	JOURNAL OF CLIMATE	2013	61	15.3
Regional strategies for the accelerating global problem of groundwater depletion	Aeschbach-Hertig, Werner; Gleeson, Tom	NATURE GEOSCIENCE	2012	56	11.2
Optimizing irrigation management for wheat to reduce groundwater depletion in the piedmont region of the Taihang Mountains in the North China Plain	Yang, YH; Watanabe, M; Zhang, XY; Zhang, JQ; Wang, QX; Hayashi, S	AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT	2006	51	4.6
Use of flow modeling to assess sustainability of groundwater resources in the North China Plain	Cao, Guoliang; Zheng, Chunmiao; Scanlon, Bridget R.; Liu, Jie; Li, Wenpeng	WATER RESOURCES RESEARCH	2013	46	11.5
Integrated irrigated crop-livestock systems in dry climates	Allen, V. G.; Baker, M. T.; Segarra, E.; Brown, C. P.	AGRONOMY JOURNAL	2007	43	4.3
The hydromagnesite playas of Atlin, British Columbia, Canada: A biogeochemical model for CO2 sequestration	Power, Ian M.; Wilson, Siobhan A.; Thom, James M.; Dipple, Gregory M.; Gabites, Janet E.; Southam, Gordon	CHEMICAL GEOLOGY	2009	42	5.3

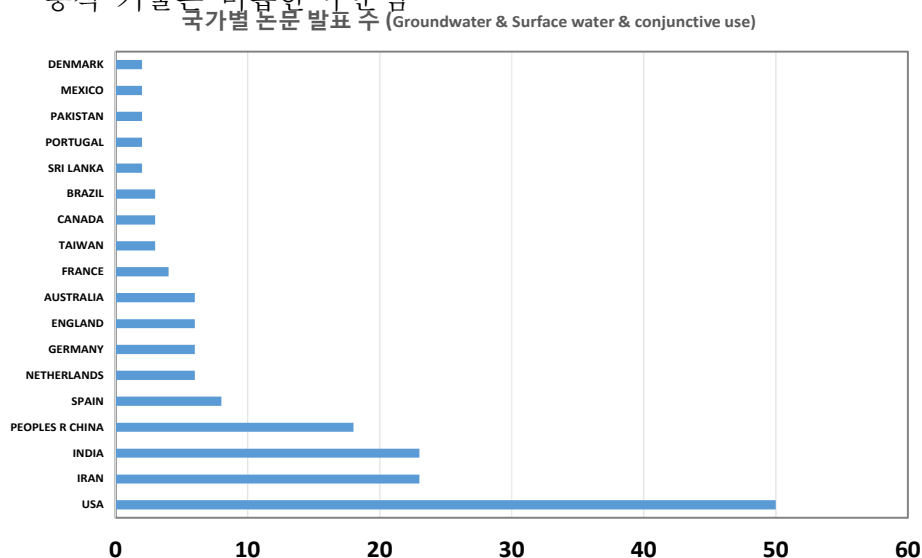
(5) “Conjunctive use of groundwater and surface water”

- 2004년부터 2015년 동안 134개의 논문을 대상으로 분석을 시행하였으며, 2005년 및 2007년을 제외하고 꾸준히 매년 10여개 이상의 논문이 발표되는 분야임



[그림 77] “Conjunctive use of groundwater and surface water” 관련 분야 논문수

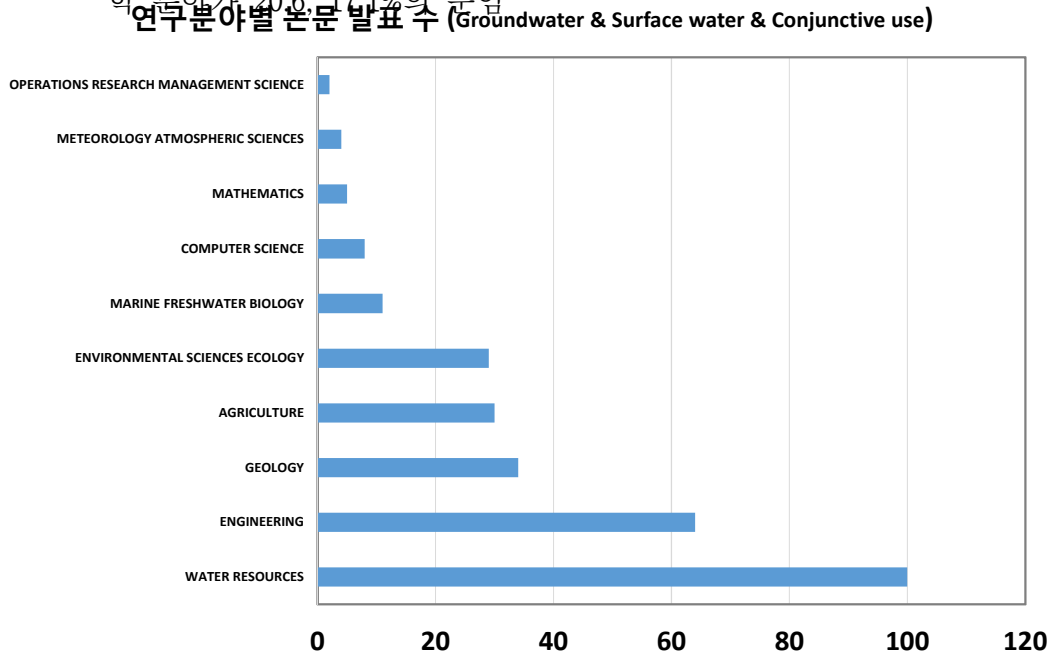
- 국가별 논문 발표수를 분석하였을 때, 미국이 50편을 발표하여 전체 발표의 30%를 차지함
- 그 뒤를 이란, 인도, 중국이 주요 논문 발표 국가로서 각각 13.6%, 13.6%, 10.6%의 논문을 발표하였는데, 상위 4개국 차지하는 비율이 전체 발표의 67.5% 규모임
- 한국은 순위에 존재하지 않는 점을 보면, 아직까지 지표수 지하수 연계 활용 기술은 미흡한 수준임



[그림 78] “Conjunctive use of groundwater and surface water” 관련 국가별 논문수

□ 해당 연구분야는 10개 정도로서 기술분야가 일부 영역에 집중됨

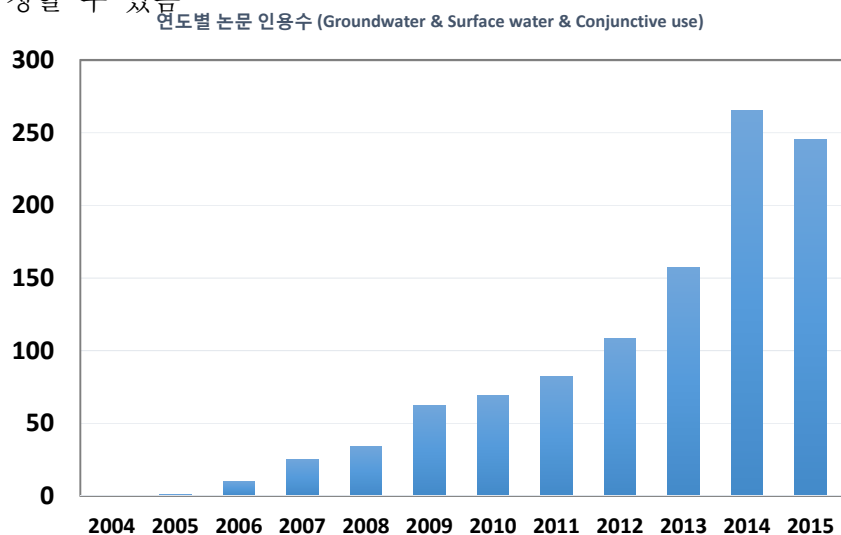
○ 수자원 분야의 논문 출판이 100개로 전체 35%를 차지하였으며, 공학, 지질학 분야가 20.6, 17.1%의 순임



[그림 79] “Conjunctive use of groundwater and surface water” 관련 분야별 논문 수

□ 지표수-지하수 연계 이용 분야는 실제 현장에서의 활용 및 적용 기술에 대한 부분이 상당수를 차지하고 있어 피인용수는 타 분야에 비하여 낮은 편임

○ 2000년대 초에는 거의 인용이 되지 않다가 2010년대 이후에 인용이 급증한 점을 고려한다면, 최근에 실질적인 현장 적용과 활용이 확대되고 있음을 추정할 수 있음

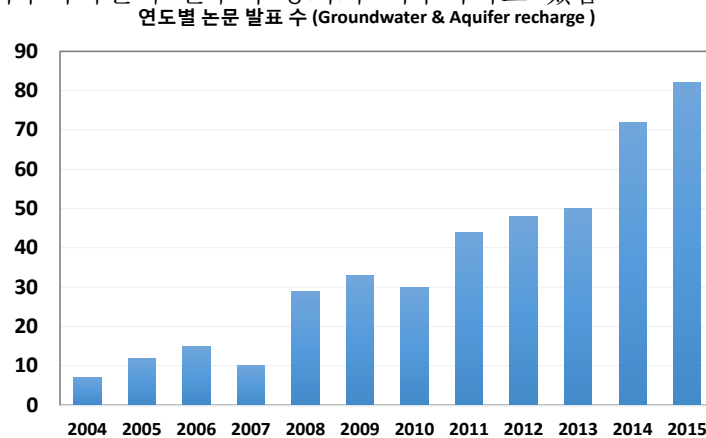


[그림 80] “Conjunctive use of groundwater and surface water” 관련 논문의 연도별 인용지수

제목	저자	학술지명	출판 연도	총 인용	연평균
River-aquifer interactions, geologic heterogeneity, and low-flow management	Fleckenstein, Jan H.; Niswonger, Richard G.; Fogg, Graham E.	GROUND WATER	2006	101	9.2
Groundwater level forecasting in a shallow aquifer using artificial neural network approach	Nayak, PC; Rao, YRS; Sudheer, KP	WATER RESOURCES MANAGEMENT	2006	75	6.8
Economic optimization of conjunctive use of surface water and groundwater at the basin scale	Pulido-Velazquez, Manuel; Andreu, Joaquin; Sahuquillo, Andres	JOURNAL OF WATER RESOURCES PLANNING AND MANAGEMENT-ASCE	2006	57	5.2
Conjunctive use of surface and groundwater for coastal and deltaic systems	Rao, SVN; Bhallamudi, SM; Thandaveswara, BS; Mishra, GC	JOURNAL OF WATER RESOURCES PLANNING AND MANAGEMENT-ASCE	2004	48	3.7
Optimal crop planning and water resources allocation in a coastal groundwater basin, Orissa, India	Sethi, LN; Panda, SN; Nayak, MK	AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT	2006	47	4.3
Conjunctive use modeling for multicrop irrigation	Vedula, S; Mujumdar, PP; Sekhar, GC	AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT	2005	47	3.9
Investigating patterns and controls of groundwater up-welling in a lowland river by combining Fibre-optic Distributed Temperature Sensing with observations of vertical hydraulic gradients	Krause, S.; Blume, T.; Cassidy, N. J.	HYDROLOGY AND EARTH SYSTEM SCIENCES	2012	38	7.6
Fuzzy multiobjective and linear programming based management models for optimal land-water-crop system planning	Sahoo, Bhabagrahi; Lohani, Anil K.; Sahu, Rohit K.	WATER RESOURCES MANAGEMENT	2006	38	3.5
Optimal design of measures to correct seawater intrusion	Abarca, Elena; Vazquez-Sune, Enric; Carrera, Jesus; Capino, Bernardo; Gamez, Desire; Battle, Francisco	WATER RESOURCES RESEARCH	2006	38	3.5
Ending groundwater overdraft in hydrologic-economic systems	Harou, Julien J.; Lund, Jay R.	HYDROGEOLOGY JOURNAL	2008	37	4.1

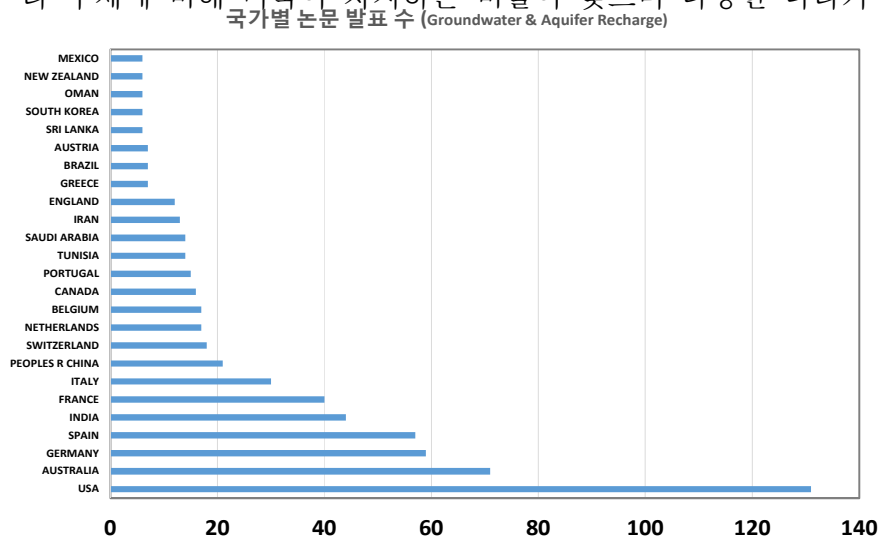
(6) “Aquifer recharge”

- 2004년부터 2015년 동안 432개의 논문을 대상으로 분석을 시행하였으며 지하수 함양 분야는 최근 주목받고 있는 주제임을 확인할 수 있음
- 2008년 이후로 꾸준히 증가 추세에 있으며 2015년 발표 논문 수는 82편으로 2004년에 비해 최근 약 10배 이상에 달함
- 가뭄 등 기후변화가 심해지면서 용수 확보의 수단으로서 인공함양이 활발히 이루어지면서 연구의 증가가 이루어지고 있음



[그림 81] “Aquifer recharge” 관련 연도별 논문 수

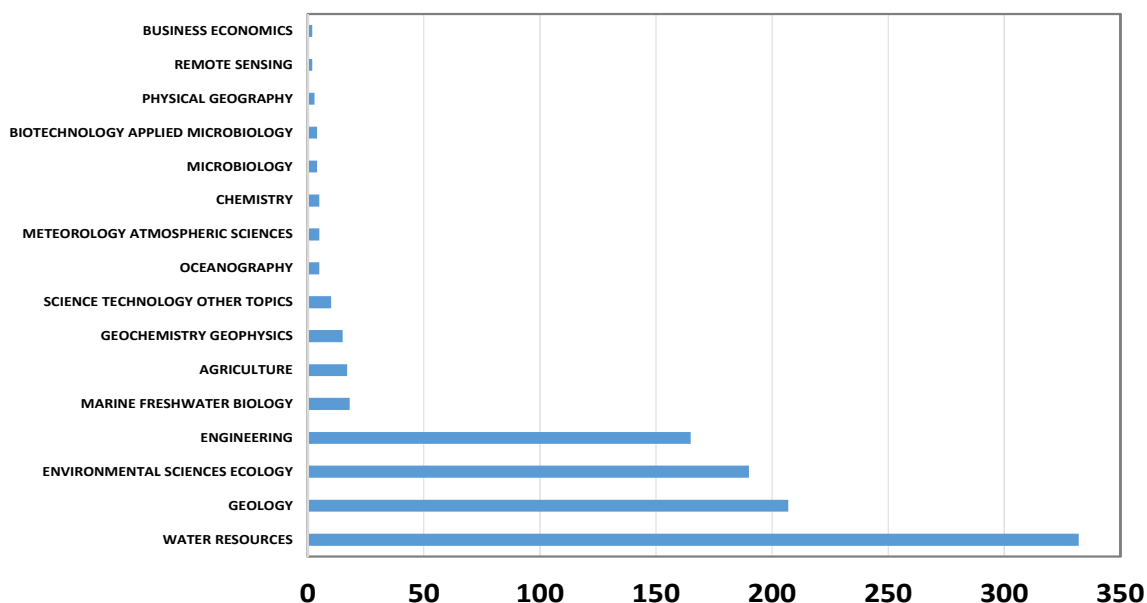
- 지하수 함양과 관련한 국가별 논문 수를 분석하였을 때, 미국이 131편을 발표하여 전체 발표의 20%를 차지함
 - 그 뒤를 호주, 독일 순으로 각각 11.1%, 9.2%의 논문을 발표하였으며 한국은 6편의 논문으로 22위에 위치함
 - 타 주제에 비해 미국이 차지하는 비율이 낮으며 다양한 나라가 관심을 가짐



[그림 82] “Aquifer recharge” 관련 국가별 논문 수

- 지하수 함양과 관련된 16개의 관련 연구분야 중에 수자원 분야의 논문 출판이 332개로 전체 34%를 차지하였으며 지질학, 생태환경 분야, 공학 분야가 21.0, 19.3, 16.7%의 순임

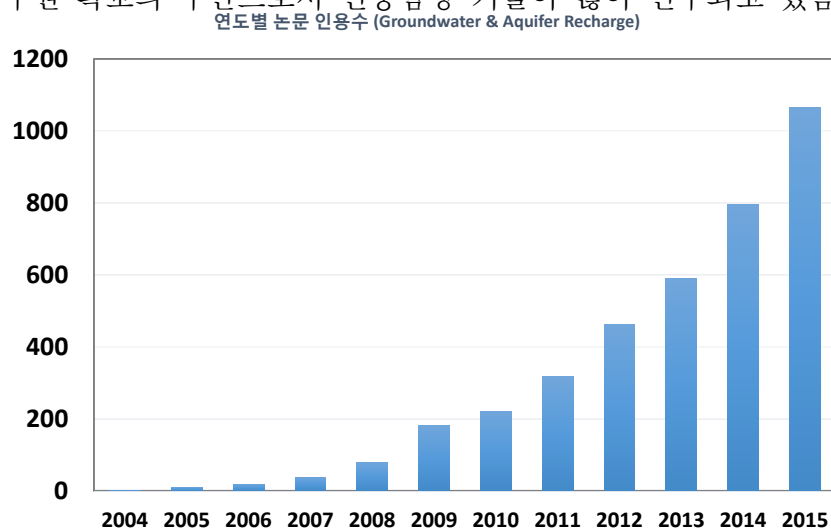
- 상위 16개 분야가 전체 출판의 91%를 차지함
연구분야별 논문 발표 수 (Groundwater & Aquifer Recharge)



[그림 83] “Aquifer recharge” 관련 연구 분야별 논문수

- 지하수 함양 분야는 실제 논문의 발표수보다 피인용수가 100배 정도 많은 분야로서 지하수 함양에 대한 관심을 보여줌

- 지하수라는 한정된 연구 분야임에도 불구하고 높은 인용도를 보이고 있어 수원 확보의 수단으로서 인공함양 기술이 많이 연구되고 있음



[그림 84] “Aquifer recharge” 관련 연도별 논문 인용수

제목	저자	학술지명	출판 연도	총 인용	연평균
Future management of aquifer recharge	Dillon, P	HYDROGEOLOGY JOURNAL	2005	131	10.9
Groundwater depletion and sustainability of irrigation in the US High Plains and Central Valley	Scanlon, Bridget R.; Faunt, Claudia C.; Longuevergne, Laurent; Reedy, Robert C.; Alley, William M.; McGuire,	PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF	2012	129	25.8
Estimation of freshwater availability in the West African sub-continent using the SWAT hydrologic model	Schuol, Juergen; Abbaspour, Karim C.; Srinivasan, Raghavan; Yang, Hong	JOURNAL OF HYDROLOGY	2008	97	10.8
Mexico City subsidence observed with persistent scatterer InSAR	Osmanoglu, Batuhan; Dixon, Timothy H.; Wdowinski, Shimon; Cabral-Cano, Enrique; Jiang, Yan	INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED EARTH OBSERVATION AND GEOINFORMATION	2011	74	12.3
Dynamics and interaction of organic carbon, turbidity and bacteria in a karst aquifer system	Pronk, M; Goldscheider, N; Zopfi, J	HYDROGEOLOGY JOURNAL	2006	73	6.6
Land clearing, climate variability, and water resources increase in semiarid southwest Niger: A review	Favreau, G.; Cappelaere, B.; Massuel, S.; Leblanc, M.; Boucher, M.; Boulain, N.; Leduc, C.	WATER RESOURCES RESEARCH	2009	68	8.5
Groundwater and lake evolution in the Badain Jaran desert ecosystem, Inner Mongolia	Ma, Jinzhu; Edmunds, W. Michael	HYDROGEOLOGY JOURNAL	2006	68	6.2
Saltwater intrusion in the unconfined coastal aquifer of Ravenna (Italy): A numerical model	Giambastiani, Beatrice M. S.; Antonellini, Marco; Essink, Gualbert H. P. Oude; Stuurman, Roelof J.	JOURNAL OF HYDROLOGY	2007	67	6.7
The role of organic matter in the removal of emerging trace organic chemicals during managed aquifer recharge	Rauch-Williams, T.; Hoppe-Jones, C.; Drewes, J. E.	WATER RESEARCH	2010	64	9.1
Occurrence and fate of bulk organic matter and pharmaceutically active compounds in managed aquifer recharge: A review	Maeng, Sung Kyu; Sharma, Saroj K.; Lekkerkerker-Teunissen, Karin; Amy, Gary L.	WATER RESEARCH	2011	58	9.7

(7) “Drinking water supply and management from aquifer”

□ 2004년부터 2015년 동안 174개의 논문을 대상으로 분석을 시행하였으며 본 기획과제의 주제인 상수도과 관련한 지하수 공급 및 관리 분야는 연구 논문은 상대적으로 적은 편임

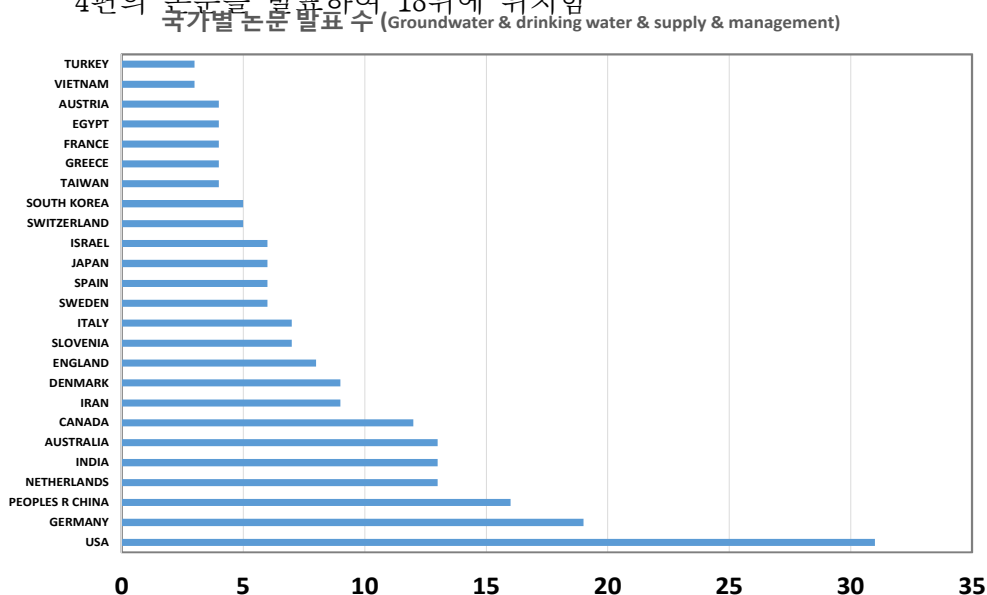
○ 2007년까지 10개 이하의 적은 발표 빈도를 보이고 있었으나 2008년 이후로 증가 추세에 있으며 2015년 발표 논문 수는 29편임



[그림 85] “Drinking water supply and management from aquifer” 관련 연도별 논문수

○ 지하수의 상수도 공급 및 관리와 관련한 국가별 논문 수를 보면, 미국이 31편으로서 전체의 14%를 차지함

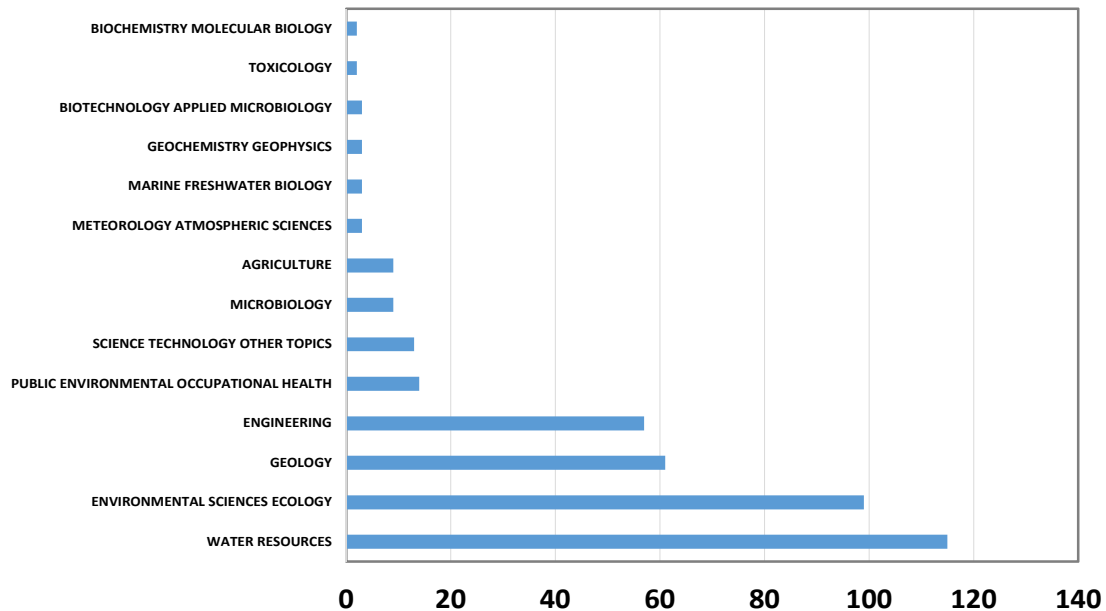
- 그 뒤를 중국, 독일 순으로 각각 8.8%, 7.4%의 논문을 발표하였으며 한국은 4편의 논문을 발표하여 18위에 위치함



[그림 86] “Drinking water supply and management from aquifer” 관련 국가별 논문수

- 본 주제 관련 14개의 연구분야 중에 수자원 분야의 논문 출판이 115개로 전체 29%를 차지하였으며, 생태환경, 지질학 분야, 공학 분야가 25.1, 15.5, 14.5%의 순임

○ 상위 네 분야가 전체 출판의 84.5%를 담당함
연구분야별 논문 발표 수 (Groundwater & drinking water & supply & management)

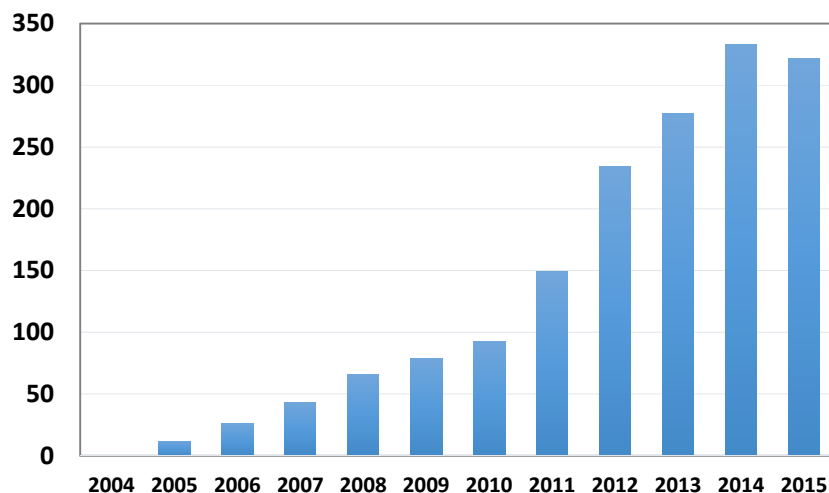


[그림 87] “Drinking water supply and management from aquifer” 관련 연구분야별 논문 수

- 상수원으로서 지하수 공급 분야는 현장 중심의 연구에 해당되는 것으로서, 실제 인용수는 크지 않음

○ 그러나, 기후변화가 일상화되는 2010년대 이후에는 지속 증가세를 보임

연도별 논문 인용수 (Groundwater & drinking water & supply & management)



[그림 88] “Drinking water supply and management from aquifer” 관련 연도별 논문 인용수

제목	저자	학술지명	출판 연도	총 인용	연평균
Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations	Asano, T; Cotruvo, JA	WATER RESEARCH	2004	133	10.2
Nitrates leaching from agricultural land in Hamadan, western Iran	Jalali, M	AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT	2005	93	7.8
Arsenic contamination and its risk management in complex environmental settings	Mahimairaja, S; Bolan, NS; Adriano, DC; Robinson, B	ADVANCES IN AGRONOMY, VOLUME 86	2005	80	6.7
The Current State of Water Quality and Technology Development for Water Pollution Control in China	Qu, Jiuhui; Fan, Maohong	CRITICAL REVIEWS IN ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY	2010	62	8.9
The impacts of nitrogen fertilisation and increased stocking rate on pasture yield, soil physical condition and nutrient losses in drainage from a cattle-grazed pasture	Monaghan, RM; Paton, RJ; Smith, LC; Drewry, JJ; Littlejohn, RP	NEW ZEALAND JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH	2005	57	4.8
Evaluation of the sustainability of deep groundwater as an arsenic-safe resource in the Bengal Basin	Michael, Holly A.; Voss, Clifford I.	PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF HYDROLOGICAL SCIENCES JOURNAL-	2008	55	6.1
Will groundwater ease freshwater stress under climate change?	Kundzewicz, Zbigniew W.; Doell, Petra	JOURNAL DES SCIENCES HYDROLOGIQUES	2009	54	6.8
Hydrogeological mapping as a basis for establishing site-specific groundwater protection zones in Denmark	Thomsen, R; Sondergaard, VH; Sorensen, KI	HYDROGEOLOGY JOURNAL	2004	46	3.5
Effects of liquid swine manure applications on NO ₃ -N leaching losses to subsurface drainage water from loamy soils in Iowa	Bakhsh, A; Kanwar, RS; Karlen, DL	AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT	2005	45	3.8
Life cycle assessment of soil and groundwater remediation technologies: literature review	Lemming, Gitte; Hauschild, Michael Z.; Bjerg, Poul L.	INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT	2010	40	5.7

다. 국내외 핵심논문

(1) 국외 핵심 논문 요약

논문제목	저자	주요내용	발표논문집
Decline in alkali meadow vegetation cover in California: the effects of groundwater extraction and drought	ELMORE, ANDREW J. ; MANNING, SARA J. ; MUSTARD, JOHN F. ; CRAINE, JOSEPH M.	미국 캘리포니아 오웬즈 밸리에서 알칼리성 목초지 피복과 지하수위와의 관계 분석 시도. 지하수 양수정 부근에서 가장 큰 변화가 있었고 0.5~5.0m의 수위강하 발생. 식물집락이 지하수에 의존하며 가뭄을 완화시키는 역할을 수행함	The Journal of applied ecology v.43 no.4, pp.770 - 779, 2006
Effects of land use changes on the groundwater table and the decline of <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> plantations in southern Horqin Sandy Land, Northeast China	Zheng, X. ; Zhu, J.J. ; Yan, Q.L. ; Song, L.N.	1953~2009년까지의 토지이용변화(농장과 활엽수 식재)에 따른 지하수위 변화를 분석. 이에 따라 사용가능한 지하수량이 감소	Agricultural water management / v.109, 2012년, pp.94-10
Effects of Groundwater Decline on Riparian Vegetation of Semiarid Regions: The San Pedro, Arizona	Stromberg, J. C. ; Tiller, R. ; Richter, B.	미국 아리조나주 산페드로 하천에서 양수에 의한 지하수 하강이 하안생태계에 미치는 영향 검토	Ecological applications: a publication of the Ecological Society of America v.6 no.1, pp.113 - 131, 1996
Analysis on groundwater table drawdown by land use and the quest for sustainable water use in the Hebei Plain in China	Xu, Yueqing ; Mo, Xingguo ; Cai, Yunlong ; Li, Xiubin	중국 Hebei Plain에서 지하수 이용에 의한 지하수위강하 발생. 장기적인 계획이 필요함. 지하수 함양과 비산출률을 추정하기 위한 회귀분석과 물수지 분석 수행	Agricultural water management v.75 no.1, pp.38 - 53, 2005
Groundwater variability across temporal and spatial scales in the central and northeastern US	Li, B.; Rodell, M.; Famiglietti, J. S.	지하수는 가뭄에 영향을 미치므로 미국의 중앙 및 동북부지역에 위치한 181개의 지하수위 관측정자료를 사용하여 지하수위의 시공간적 변동성을 연구하였으며 이 변동성을 Variable Infiltration Capacity (VIC) model을 사용하여 모의	Journal of Hydrology, v.525, pp.769-780, 2015

논문제목	저자	주요내용	발표논문집
Shallow groundwater dynamics in the Pampas: Climate, landscape and crop choice effects	Mercau, J. L.; Nasetto, M. D.; Bert, F.; Giménez, R.; Jobbágy, E. G.	지하수는 가뭄을 완화하는 중요한 자원이며 지하수위는 시공간적 그리고 지형과 기후의 변동성에 영향을 받으므로 아르헨티나의 서부 Pampas 지역에 16개의 지하수위 관측정을 개설하고 이 자료를 사용하여 기후와 지형 및 식생의 선택이 지하수위의 변동성에 미치는 영향을 분석한 연구	Agricultural Water Management, v.163, pp.159-168, 2016
Analysis of groundwater drought building on the standardised precipitation index approach	Bloomfield, J. P.; Marchant, B. P.	가뭄지수인 SPI를 토대로 영국의 14개 지점 103년의 지하수위자료를 사용하여 지하수 가뭄지수인 Standardised Groundwater level Index (SGI)를 개발 및 적용한 연구	Hydrology and Earth System Sciences, v.17, pp.4769-4787, 2013
Development of a New Drought Index for Groundwater and Its Application in Sustainable Groundwater Extraction	Goodarzi, M.; Abedi-Koupai, J.; Heidarpour, M.; Safavi, H. R.	지하수가뭄을 분석하기 위해 30년간의 지하수 함양자료를 사용하여 groundwater recharge drought index (GRDI)를 개발하고 적용한 연구이며, 가뭄에 대해 인위적인 행위에 의한 가뭄을 자연적인 가뭄으로부터 분리해냄으로써 가뭄의 예측과 경보목적으로 사용될 수 있다고 주장함	Journal of Water Resources Planning and Management, 04016032, 2016
Drought in groundwater-drought distribution and performance indicators	Peters, E.; Van Lanen, H. A. J.; Torfs, P. J. J. F.; Bier, G.	가뭄이 지하수시스템에 의해 어떻게 변하는지 그리고 가뭄기간동안의 지하수거동을 분석하기 위해 37년간의 관측자료를 바탕으로 1000년동안의 10개 세트의 인위적 자료를 생성하고 이를 바탕으로 가뭄의 심도와 빈도를 사용한 새로운 지수를 개발 및 적용한 연구	Journal of Hydrology, v.306, no.1, pp.302-317, 2005
Evaluation and application of the SPDI-JDI for droughts in Texas, USA	Ma, M.; Ren, L.; Singh, V. P.; Tu, X.; Jiang, S.; Liu, Y.	미국의 텍사스지역을 대상으로 Palmer 가뭄지수 기반의 통합 가뭄지수인 SPDI-JDI를 개발하고 Palmer 가뭄지수와 미국의 가뭄 모니터링 관측자료 및 지하수위자료 등과 비교 검증한 연구	Journal of Hydrology, v.521, pp.34-45, 2015
Evaluation of a model-based groundwater drought indicator in the conterminous U.S.	Li, B.; Rodell, M.	충분하지 않은 지하수 관측자료를 보완하기 위해 미국 동북부지역을 대상으로 Catchment Land Surface Model (CLSM)의 결과를 사용하여 groundwater drought index (GWI)를 계산하고 지하수 관측자료를 사용하여 계산한 GWI 지수값과 비교 분석한 연구	Journal of Hydrology, v.526, pp.78-88, 2015

논문제목	저자	주요내용	발표논문집
Multiscale evaluation of the Standardized Precipitation Index as a groundwater drought indicator	Kumar, R.; Musuuza, J. L.; Van Loon, A. F.; Teuling, A. J.; Barthel, R.; Ten Broek, J.; Mai, J.; Samaniego, L.; Attinger, S.	지역과 전지구적 스케일의 충분하지 않은 지하수 관측자료로 인해 지하수가뭄을 예측하기 위한 대체수단으로 일반적으로 Standardized Precipitation Index (SPI)를 사용하고 있으나 충분한 검증이 이루어지지 않았으므로 독일과 네덜란드의 2000개 지하수 관측정 자료를 사용하여 SPI지수의 적절성을 검증한 연구, SPI지수는 장기간의 자료에도 적절하지 않았으며 지하수 가뭄 예측에도 신뢰할 수 없음을 확인함	Hydrology and Earth System Sciences, v.20, no.3, 1117, 2016
Spatial and temporal responses of different crop-growing environments to agricultural drought: a study in Haryana state, India using NOAA AVHRR data	Murthy, C. S.; Sesha Sai, M. V. R.; Chandrasekar, K.; Roy, P. S.	인도지역을 대상으로 National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA) Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)의 자료를 사용하여 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)를 계산함으로써 가뭄 취약성지역을 검증한 연구	International Journal of Remote Sensing, v.30, no.11, pp.2897-2914, 2009
The Geostatistical approach to assess the groundwater drought by using SWI and SPI in the Peshawar regime of Pakistan	Rahim, A.; Khan, K.; Akif, A.; Jamal, R.	파키스탄지역을 대상으로 ordinary Kriging 방법으로 보간한 지하수위 자료를 사용하여 Standardized water level index (SWI)를 계산하고 Standardize precipitation index (SPI)와 함께 사용하여 지하수가뭄을 평가한 연구	Sci.Int.(Lahore), v.27, no.5, pp.4111-4117, 2015
A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a mediterranean climate	Mendicino, G.; Senatore, A.; Versace, P.	가뭄의 관측 및 예측을 위해 단순한 분포형 물수지모형결과를 사용하여 Groundwater Resource Index (GRI)을 개발하고 지중해 지역에 적용한 결과 가뭄지수인 SPI보다 여름철 가뭄예측에 적절함을 확인한 연구	Journal of Hydrology, v.357, no.3, pp.282-302, 2008
A review of continental scale hydrological models and their suitability for drought forecasting in (sub-Saharan) Africa	Trambauer, P.; Maskey, S.; Winsemius, H.; Werner, M.; Uhlenbrook, S.	아프리카를 대상으로 16개의 수문모형을 사용하여 수문학적 가뭄의 예측능력을 평가한 review 논문	Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, v.66, pp.16-26, 2013

논문제목	저자	주요내용	발표논문집
A sequential modelling approach to assess groundwater-surface water resources in a snow dominated region of Finland	Okkonen, J.; Kløve, B.	북부 핀란드지역을 대상으로 표면유출모의를 위한 Watershed Simulation and Forecasting System (WSFS) model과 침투모의를 위한 Coupled Heat and Mass Transfer model (CoupModel), 지하수 모의를 위한 Groundwater Modelling System (GMS)과 MODFLOW를 연계모의함으로써 기후변화에 따른 여름철 가뭄의 취약성을 분석한 연구	Journal of Hydrology, v.411, no.1, pp.91-107, 2011
Realistic forecasting of groundwater level, based on the eigenstructure of aquifer dynamics	Bidwell, V. J.	뉴질랜드의 캔터버리지역을 대상으로 가뭄기간의 지하수 관리를 위해 aquifer dynamics의 고유값들을 사용하여 ARMAX 예측방정식을 개발하고 월별 지하수위를 예측	Mathematics and Computers in Simulation, v.69, no.1, pp.12-20, 2005
Real-time geospatial data handling and forecasting: examples from DELFT-FEWS forecasting platform/system	Weerts, A. H.; Schellekens, J.; Weiland, F. S.	공간정보와 위성자료 및 기후변화시나리오 자료를 사용한 Delft-FEWS forecasting platform을 개발하여 이를 적용함으로써 가뭄의 예측 가능성을 제시한 연구	IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing, v.3, no.3, pp.386-394, 2010
A new dynamic regulation UIPO model of groundwater based on cloud computing and hydroinformatics	Wang, W.; Hui-Feng, X.; Feng, Z.	급격한 석탄채취에 의한 지하수훼손 문제를 해결하기 위해 hydroinformatics, cloud computing과 multi-source data fusion algorithm, 그리고 the mine hydrogeological spatial database 등의 big data를 활용하여 3D geological model과 groundwater dynamic evolution model을 개발하고 모의함으로써 시공간적인 지하수의 변동성을 모의 및 예측한 연구	Computer Modelling and New Technologies, v.18, no.11, pp.344-351, 2014
Hydro-geophysical characterization for groundwater resources potential of fractured limestone reservoirs in Amdoun Monts (North-western Tunisia)	Redhaounia, B. ; Bedir, M. ; Gabtni, H. ; Batobo, O.I. ; Dhaoui, M. ; Chabaane, A. ; Khomsi, S	튀니지 Amdoun 지방의 카르스트 대수층에 대한 지구물리학적 분석 (gravity, wells analysis, seismic reflection, Electrical Resistivity Tomography (ERT)). 지질 및 수리지질학적 특성화를 위한 융합분석이 수행됨.	Journal of applied geophysics v.128, pp.150 - 162, 2016, 0926-9851

논문제목	저자	주요내용	발표논문집
Investigations of Groundwater Resources in Central Jordan	Bender, H. ; Hobler, M. ; Klinge, H. ; Schelkes, K.	요르단에 250-300 m 두께의 석회암 대수층에 대한 지하수 모델링 수행. 현재 함양대비 이용량이 초과됨.	Desalination v.72 no.1/2, pp.161 - 170, 1989
Ground water resources in fayoum area, Egypt	Mabrook, B. ; Sweilm, F. ; El Sheikh Shoheib, R.	카이로 남서부 Fayoum area에서 발견된 7개의 분정(springs)으로 Bahr Yousef 수로(Canal)에 물공급을 수행. 상당한 물량은 인근 석회암 지하수로부터 공급됨. 화학적/동위원소 분석을 통해 이 지역 수자원을 평가. 대부분의 지하수는 나일강으로부터 함양되나 일부는 Bahr Yousef수로로 유입됨.	Desalination v.39, pp.295 - 295, 1981
Impact of agriculture on groundwater in Ireland	Aldwell, C. R. ; Burdon, D. J. ; Sherwood, M.	아일랜드에서는 강수량의 61%가 11~2월 사이에 침투되고 10%가 농번기인 여름철에 침투됨. 풍부한 석회암 대수층의 경우 농업용 양수가 지하수에 미치는 영향은 미미함.	Environmental geology v.5 no.1, pp.39 - 48, 1983
Simulation Of Spring Discharge From A Limestone Aquifer In Iowa, USA	Zhang, You-Kuan ; Bai, Er-Wei ; Libra, Robert ; Rowden, Robert ; Liu, Huaibai	집중형 매개변수 유출모델을 이용한 아이오와 빅스프링에서의 유출해석 수행(1983~1994). 석회암대수층으로의 함양은 융설과 강수의 침투로 인해 이루어짐.	Hydrogeology journal v.4 no.4, pp.41 - 54, 1996
Interconnection of surface and underground water resources in southeast Durham	Cairney, T. ; Hamill, L.	Skerne강과 그 하부의 Magnesian 석회암 대수층은 분리된 것으로 인식되었으나 석회암층의 지하수 채수가 하천수량에 영향을 미치는 것을 확인함.	Journal of hydrology v.33 no.1/2, pp.73 - 86, 1977,
Paradigm shift to enhanced water supply planning through augmented grids, scarcity pricing and adaptive factory water: A system dynamics approach	Sahin, O. ; Siems, R.S. ; Stewart, R.A. ; Porter, M.G.	물거버넌스의 변화를 제안하기 위한 시스템 다이내믹 모델의 소개. 물관련 세금까지 고려한 휴대용 식수의 종합 생애주기 모델링	Environmental modelling & software : with environment data news v.75, pp.348 - 361, 2016,
Well Rehabilitation: A Forensic Approach	Butts, E.	우물 재개발을 위한 포렌식 접근방식의 소개	Water well journal v.58 no.3, pp.28 - 30, 2004

논문제목	저자	주요내용	발표논문집
Surge block method for controlling well clogging and sampling sediment during bioremediation	Wu, W.M. ; Watson, D.B. ; Luo, J. ; Carley, J. ; Mehlhorn, T. ; Kitanidis, P.K. ; Jardine, P.M. ; Criddle, C.S.	바이오매스로 클로킹된 관정재개발을 위한 surge block treatment 방법(in situ bioremediation tests for U(VI) immobilization at a the U.S. Department of Energy site in Oak Ridge, TN.)	Water research v.47 no.17, pp.6566 - 6573, 2013
Managed aquifer recharge in South India: What to expect from small percolation tanks in hard rock?	S. Massuela, J. Perrinb, d, C. Mascreb, W. Mohamedc, A. Boissonb, S. Ahmedc	인도에서 대수층 인공함양을 위한 침투탱크의 효율 분석(평균 침투율 61%)	Journal of Hydrology 512(6), pp.157-167, 2014
Feasibility of groundwater recharge dam projects in arid environments	H.H. Jaafar	농업용, 생활용 지하수 함양을 위한 댐 개발의 타당성과 우선순위 분석을 위해 81개 지점에 대한 비용, 산출량 등의 분석 수행	Journal of Hydrology 512(6), pp.16-26, 2014
Influence of groundwater pumping on streamflow restoration following upstream dam removal	Constantz, Jim ; Essaid, Hedef	상류댐/지하수 이용 유무에 따른 하천유출량의 변화를 분석	Hydrological processes v.21 no.21, pp.2823 - 2834, 2006
Potential for community based adaptation to droughts: Sand dams in Kitui, Kenya	Lasage, R. ; Aerts, J. ; Mutiso, G.C.M. ; de Vries, A.	케냐의 국지적 물 저장시설인 모래댐의 효능과 가뭄대응에 관한 연구	Physics and chemistry of the earth v.33 no.1/2, pp.67 - 73, 2008,
Effects of sand storage dams on groundwater levels with examples from Kenya	Hut, R. ; Ertsen, M.; Joeman, N.; Vergeer, N.; Winsemius, H.; van de Giesen, N.	케냐의 지하댐 주변의 수문학적 프로세스를 이해하기 위한 지하수 유동 모형 개발 및 2가지 지하댐 이용 효과에 관한 연구	Physics and Chemistry of the Earth 33 (2008) 56-66
Laboratory study on the recharge efficiency of infiltration basin	Longcang Shu ; Xiaohui Wang ; Chaoqun Ma ; Chengpeng Lu ; Wei Li ; Lihong Liu ; Jian Zhang ; Yan Xing	침투 분지의 형상에 따른 함양효과의 영향에 관한 모래박스 모델 실험	Water Resource and Environmental Protection (ISWREP), 2011 International Symposium on / v.1, 2011년, pp.165-168

논문제목	저자	주요내용	발표논문집
Design of circular infiltration basin under mounding effects	Guo, James C.Y.	지표토양의 투수성과 지하매질의 투수성의 차이에 따라 침투저류지의 성능이 결정되는데 원형 침투저류지에서의 침투효과를 분석	Journal of water resources planning and management v.127 no.1, pp.58 - 65, 2001
Impact of storm water infiltration basins on groundwater quality, Perth metropolitan region, Western Australia	Appleyard, S. J.	우수침투분지조성을 위해 12개의 주입공을 설치하고 함양에 따른 대수층의 반응을 살피고 주거지역, 산업지역, 도로로부터 유입된 물이 지하수질에 미치는 영향을 분석	Environmental geology v.21 no.4, pp.227 - 236, 1993
Stream depletion rate and volume from groundwater pumping in wedge - shape aquifers	Yeh, H.D. ; Chang, Y.C. ; Zlotnik, V.A.	양수에 의해 유도되는 하천건천화율과 하천건천화량은 합류부로부터 상류로 분포되어 있는데 그 합류각도에 따라 영향권이 달라지는 것을 분석	Journal of hydrology v.349 no.3/4, pp.501 - 511, 2008
Pumping induced depletion from two streams	Dongmin Sun, Hongbin Zhan	Hantush모델을 이용한 평행하천과 대수층간의 상호관계 분석	Advances in Water Resources v.30 pp.1016-1026, 2007
Stream depletion predictions using pumping test data from a heterogeneous stream-aquifer system	Stefan J. Kollet, Vitaly A. Zlotnik	선형/균일한 2차원 모델을 이용한 하천건천화의 예측 타당성을 조사. 입력자료는 대수층 및 하천-대수층의 수리상수이고 이는 양수시험에 의해 획득가능함.	Journal of Hydrology v.281 pp.96-114, 2003
Stream Depletion Potential Index (SDPI) Structurized by Coupled Water Cycle System using Structural Equation Model (SEM)	Seohye Choi, Jin Won Park, Seung Oh Lee	구조방정식을 이용한 물순환의 하천 잠재고갈지수의 평가	Procedia Engineering v.154, pp.Pages 745-748, 2016
An evaluation of the benefits of source control measures at the regional scale	Coombes, P. J.; Kuczera, G.; Kalma, J. D.; Argue, J. R.	호주의 뉴사우스웨일즈 지역을 대상으로 빗물저장탱크의 물을 사용시 수자원공급 절약효과를 분석한 연구	Urban water, v.4, no.4, pp.307-320, 2002

논문제목	저자	주요내용	발표논문집
Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems	Palla, A.; Gnecco, I.; Lanza, L. G.	관측강우량과 물수지방정식을 사용하여 구축한 빗물생산시스템에 대해 그 규모의 최적화에 관한 연구	Journal of Hydrology, v.401, no.1, pp.65-76, 2011
Performance analysis of domestic rainwater harvesting systems under various European climate zones	Palla, A.; Gnecco, I.; Lanza, L. G.; La Barbera, P.	유럽 45개 지역을 대상으로 수자원의 절약을 위한 Domestic Rainwater Harvesting (DRWH) system 의 최적 설계에 대한 연구	Resources, Conservation and Recycling, v.62, pp.71-80, 2012
The Maryland Coastal Plain Aquifer Information System: A GIS-based tool for assessing groundwater resources	Andreasen, DavidC.; Nardi, MarkR.; Staley, AndrewW.; Achmad, Grufron; Grace, JohnW.	미국 메릴랜드 주 연안평야의 140만명의 식수공급원인 지하수의 적절한 이용과 보전정책을 시행하기 위해 GIS-based Maryland Coastal Plain Aquifer Information System이라는 물관리 시스템을 개발함	Geological Society of America / v.520 no.0, 2016년, pp.159-170
Balancing-out floods and droughts: Opportunities to utilize floodwater harvesting and groundwater storage for agricultural development in Thailand	Pavelic, P.; Srisuk, K.; Saraphirom, P.; Nadee, S.; Pholkern, K.; Chusanathas, S.; Munyou, S.; Tangsutthinon, T.; Intarasut, T.; Smakhtin, V	태국의 우기 흐름에서 확보하는 수자원을 대수층 충전에 적용하고자 가용 수자원을 계산하고 경제적 효용성을 파악하였다.	Journal of hydrology / v.470/471, 2012년, pp.55-64
Evolution of water recycling in Australian cities since 2003.	Radcliffe, J C	2002년 이래 시작된 장기간의 가뭄 이후로 지하수를 포함한 호주의 물 재활용 계획이 수립되고 실천하는 내용을 담고 있음. key issue로서 우수 확보, 지하수 탈염화, 재이용수의 대수층 충전등을 내용으로 담고 있음.	Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research / v.62 no.4, 2010년, pp.792-802
Groundwater flow to a horizontal or slanted well in an unconfined aquifer	Zhan, H. and Z.otnik. V.A	수평 및 경사정 근처의 붕괴평가를 위한 semianalytical 솔루션 제시.	Water Resources Research, 38(7), 2002

논문제목	저자	주요내용	발표논문집
Modeling Flow into Horizontal Wells in a Dupuit-Forchheimer Model	Henk Haitjema, Sergey Kuzin, Vic Kelson, and Daniel Abrams	수평정 모델을 Cauchy 경계 조건 기반으로 이차원 모델의 Dupui-Forchheimer Model을 적용해 3차원 수치모의의 결과와 같은 효과를 낼 수 있음을 증명함.	Groundwater, 48(6), 878-883, 2010
The role of organic matter in the removal of emerging trace organic chemicals during managed aquifer recharge	T.Rauch-Williams, C. Hoppe-Jones, J.E. Drewes	하수를 대수층에 함양할 때 유기화합물질의 존재가 미량 유기화합물질의 확산에 미치는 영향을 실내실험으로 관찰하고 낮은 용존산소 농도에서도 특수 미생물 군집이 높은 효율로 유기물질을 제거할 수 있음을 밝혔음	Water Research, 44(2), 2010, 449-460.
Groundwater Exploration for Water Well Site Locations Using Geophysical Survey Methods	Haile Arefayne Shishaye and Semir Abdi	에티오피아 하라마야 대학에서 물공급을 위해 두 개의 우물위치를 정하기 위해 수직전기탐사(VES)를 수행하여 대수층의 두께를 파악함	Hydrology Current Research v.7 no.1, 2016
Application of the integrated NMR-TDEM method in groundwater exploration in Israel	M. Goldman, B. Rabinovich, M. Rabinovich, D. Gilad, I. Gev and M. Schirov	1992년 이스라엘 지중해연안주변으로 지하대수층의 담수와 염수의 부존상태를 확인하기 위해 The Russian Hydroscope and Geonics PROTEM-IV instruments의 장비를 사용하여 핵자기공명탐사법과 시간영역전자탐사법을 사용하여 담수와 염수의 경계를 확인함	Journal of Applied Geophysics, v.31, pp.27-52, 1994
Partitioning groundwater recharge between rainfall infiltration and irrigation return flow using stable isotopes: The Crau aquifer	Seraphin, P., Vallet-Coulomb, C., Goncalves, J.	Duncan(2016) 등은 프랑스 Crau 대수층의 물수지를 평가하였고, 특히 동위원소 분석을 통해서 강수로 인한 대수층의 자연함양량과 관개수의 사용후 다시 대수층으로 회귀되는 함양량을 분리해내는 연구를 수행함	Journal of hydrology, v.542, pp.241-253, 2016
Field measurement of groundwater recharge under irrigation in Canterbury, New Zealand, using drainage lysimeters	M.J. Duncan, M.S. Srinivasan, H. McMillan	Duncan(2016) 등은 자갈토 지역 2개소와 미사질 양토 지역 1개소에 침루계(lysimeter)를 설치하여 토양층을 통해 배수되어 지하수로 함양되는 양을 측정하기 위한 실험을 수행하였고, 관개로 인해 함양량이 크게 증가되는 것을 보여 줌	Agricultural Water Management, v.166, no.1, pp.17-32, 2016

논문제목	저자	주요내용	발표논문집
Estimation of Groundwater Recharge from the Rainfall and Irrigation in an Arid Environment Using Inverse Modeling Approach and RS	Ebrahimi, H., Ghazavi, R., Karimi, H.	이란 중동부 건조지역에 대해 원격 센싱기술(remote sensing technology, RS)과 위성정보를 이용하여 토지피복도를 구축하고, MODFLOW 모델링의 역해석을 통해서 강수로 인한 함양과 관개에 의한 함양량을 정량적으로 추정하고 그 특성을 제시함	Water resources management v.30 no.6, pp.1939-1951, 2016
Development of a comprehensive watershed model applied to study stream yield under drought conditions	Perkins, S.P., and Sophocleous, M.	유역수문모형 SWAT과 3차원 지하수 유동해석모형 MODFLOW를 순차적으로 결합한 SWATMOD 모형을 개발하고, 미국 캔자스주 Lower Republican 강에 적용하여 관개용 양수가 하천유량에 미치는 영향을 평가함	Ground Water, v37, n3, pp. 418-426, 1999
Integrated numerical modeling for basin-wide water management: The case of the Rattlesnake Creek basin in south-central Kansas	Sophocleous, M.A., Koelliker, J. K., Govindaraju, R.S., Birdie, T., Ramireddygar, S.R., and Perkins, S.P.	캔자스주 Rattlesnake Creek 유역에 SWATMOD 모형을 적용하여 가상의 양수량 변화 시나리오에 따른 지하수 위 및 하천유량의 변화를 분석함	Journal of Hydrology, v. 214, pp.179-196, 1999
Development and application of the integrated SWAT-MODFLOW model	Kim, N.W., Chung, I.M., Won, Y.S., and Arnold, J.G.	SWAT 모형과 MODFLOW 모형을 완전연동형으로 결합한 완전연동형으로 결합한 SWAT-MODFLOW 통합모형을 개발하고, 이를 무심천 유역에 적용하여 유역단위 지하수 양수 영향 분석 등 지표수-지하수 연계해석을 수행함	Journal of Hydrology, v.356, pp.1-16, 2008
Regional-scale, fully coupled modelling of stream-aquifer interaction in a tropical catchment	Werner, A.D., Gallagher, M.R., and Weeks, S.W.	호주 Sandy Creek과 Pioneer Valley 대수층에 MODHMS 모형을 적용하여 지하수 양수에 따른 하천수 감소량을 모의함	Journal of Hydrology, v.328, pp. 497-510, 2006
Estimating water budget in a regional aquifer using HSPF/MODFLOW integrated model	Said, A., Stevens, D.K., and Sehlke, G	MODFLOW 모형과 유역수문모형 HSPF이 결합된 FHM(Florida Hydrological Model)을 미국 Big Lost River 유역에 적용하여 지하수 이용량을 고려한 물수지 분석을 실시함	Journal of the American Water Resources Association, v.41, n.1, pp.55-66, 2005

(2) 국내 핵심 논문 요약

논문제목	저자	주요내용	발표논문집
전천 석회암 대수층에 관한 연구	한정상	전천유역에 투수성이 매우 양호한 석회암내에 저유된 지하수량은 매우 풍부하며 안전채수량은 1일 126,000 m ³ 로 추산됨.	Journal of Korean Association of Hydrological Sciences v.16 no.3, pp.171 - 179, 1983,
제주도 지하수 관리 수위 설정에 관한 연구	김지옥; 고기원; 원종호; 한찬	제주도 유역에 대해 강우량과 지하수 관측정에서 측정한 지하수위 관측자료간의 관계분석을 통해 가뭄관련 지하수 관리제도를 도입하기 위한 기준 지하수위 설정 연구	한국지하수토양환경학회지, v.10, no.2, pp.12-19, 2005
지리정보시스템을 이용한 우리나라 인공함양 개발 유망지역 분석	서정아; 김용철; 김진삼; 김용제	GIS 정보와 지하수관측정자료 등을 활용한 가뭄대비 인공함양지역 선정 및 평가에 관한 연구	지하수토양환경. v.16, no.6, pp.66-78, 2011
지하수위 자료를 이용한 제주도 지하수계의 가뭄 영향 평가	송성호; 이병선; 최광준; 김전성; 김기표	제주도 유역에 발생한 2013년 가뭄이 지하수위에 미치는 영향을 분석하기 위해 강우량과 지하수관측정의 자료를 사용하여 지하수위의 변동성을 분석한 연구	Journal of Environmental Science International, v.23, no.4, pp.637-647, 2014
SWSI 가뭄지수를 보완한 준분포형 수문학적 가뭄평가 연구	권형중; 박현진; 홍대의; 김성준	수문학적 가뭄평가를 위하여 SWSI 가뭄지수를 보완한 MSWSI 개발 및 적용, 지하수 및 강수등이 동질한 지역으로 전국을 분할하여 MSWSI 계산 및 기상학적 가뭄지수인 PDSI와 비교 분석한 연구	한국수자원학회논문집, v.39, no.8, pp.645-658, 2006
경향성 분석을 통한 가뭄취약성 지수의 개발	양정석; 박진혁; 김남기	지하수위 등을 포함한 가뭄취약성 지표를 선정하고 경향성 검정에 따른 지수를 산정한 결과 낙동강 유역이 가뭄에 취약함을 제시한 연구	대한토목학회논문집, v.32, no.3B, pp.185-192, 2012
가뭄모니터링 시스템 구축 I. 정량적 가뭄모니터링을 위한 가뭄지수의 적용성 분석	이주현; 정상만; 김성준; 이명호	지하수위 등을 사용하여 한국 전역에 대해 PDSI, SPI 및 MSWSI 등의 가뭄지수를 산정하고 과거 가뭄발생 자료를 정량적으로 재현하는지 분석한 연구	한국수자원학회논문집, v.39, no.9, pp.787-800, 2006
수문학적 가뭄지수와 가상가뭄훈련에 의한 저수지의 최적 물 공급 방안 연구	서형덕; 정상만; 김성준; 이주현	지하수위 등의 자료를 가뭄지수인 MSWSI에 사용하여 가뭄지수를 계산하고 이 가뭄지수와 저수지 유입량과의 연계를 통한 가상가뭄모의운행을 실시하여 가뭄단계에 따른 댐 운영대안을 제시	한국수자원학회논문집, v.41, no.10, pp.1045-1058, 2008

논문제목	저자	주요내용	발표논문집
지표수-지하수를 연계한 수자원의 효율적 이용 - (Ⅱ) 적용	김수민; 이상일; 김병찬	가뭄을 예측하고 해결하기 위한 방안으로 지표수-지하수 연계이용이 시행되어야 할 지역의 선정, 가뭄분석을 통한 물 공급 시나리오 도출, 연계이용 결과 얻어지는 추가 수자원확보량 산정 등	한국수자원학회논문집, v.37, no.10, pp.799-812, 2004
지하수위 자료의 로지스틱 회귀 모형을 이용한 가뭄 예측 적용성 고찰	김규범; 이소현	가뭄예측을 위해 SPI 가뭄지수에 지하수위를 사용하여 로지스틱 회귀모형을 구축하고 적용결과 극심한 가뭄일수록 구축된 모형의 적용성이 개선됨을 확인	지질학회지, v.48, no.3, pp.275-284, 2012
표준강수지수와 지하수위의 상관성 평가 및 가뭄관측점 설치 방안 고찰	김규범; 윤한흠; 김대호	가뭄을 평가하고 예측하기 위해 SPI 지수와 지하수위 관측자료간의 상관성을 평가하여 지하수위 자료를 활용한 가뭄평가방법 제시	한국지하수토양환경학회지, v.11, no.3, pp.31-42, 2006
고압충격 관정세척법을 적용한 강변여과수의 수량과 수질 개선 연구	한석중	강변여과수 관정의 막힘 현상에 의한 수리적 특성 변화 및 막힘현상 제거 후 관정의 효율성 변화를 규명	부산대학교 박사학위논문 2014
도시하천에서 하수처리수의 유지용수 이용에 따른 영향 평가 연구	방천희, 박재로, 권혁	하수처리수를 이용한 안양천 유지용수 공급방안. 수생태계를 고려한 수질 유지시 필요유량을 산정	Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers (농공학회지) v.47 no.5, 2005년, pp.75-86
광주천의 건천화와 수문환경문제	양해근	광주천의 수문학적 특성과 수문환경문제를 파악하고 하천유지수의 확보 방안을 구상. 건천화 대비책으로 이용되는 하수처리 방류수외에 우수의 함양역 보호방안 제시	Journal of The Korean Association of Regional Geographers (한국지역지리학회지)10(3), 2004.9, 568-578
도시하천 건천화 방지를 위한 하천 유지용수 확보방안에 관한 사례연구	이주영, 김동근, 兪都正博, 한무영	일본 건천화 해결방안 사례를 분석하여 도시하천의 유량감소의 원인을 물순환 관점에서 규명하고 하천유지용수 확보 사례를 소개함으로써 삶의 질 향상을 위한 지속가능한 하천의 건천화 방지대책을 제시	GRI 연구논총 2010년 제12권 제1호
강원도 지역의 가뭄피해 최소화를 위한 우수저류조 저장기법의 적용성 검토	정승권; 전계원; 전병희; 정창덕	강원도지역의 가뭄취약성을 평가하고 저영향개발 기반의 빗물이용시설 활용을 통한 가뭄피해의 최소화 및 가뭄시 대체용수 활용방안을 제시한 연구	한국위기관리논집, v.9, no.2, pp.95-104, 2013

논문제목	저자	주요내용	발표논문집
모의실험에 의한 청주S(3)택지개발지구 원흥이생태공원일대 우수저류시설의 빗물 저류효과 분석 연구	김기수; 이태구; 황희연	거주지지역에 위치한 우수저류시설을 활용하여 확보한 물을 생태공원에 공급함으로써 빗물저류 및 활용에 대한 정량화 및 효과분석에 대한 연구	한국생태환경건축학회논문집, v.7, no.2, pp.25-30, 2007
서부경남지역 소규모 급수시설의 정수 수질특성 조사에 관한 연구	박현건, 김경미	2005년부터 2010년까지 서부 경남지역 마을상수도 6,569건에 대한 수질현황을 조사한 결과 계곡수를 취수원으로 사용하는 마을상수도는 일반세균, 탁도가 지하수를 취수원으로 사용하는 마을상수도보다 높게 검출되었으며, 지하수를 취수원으로 사용하는 마을상수도는 질산성질소, 증발잔류물, 경도, 황산이온, 불소, 철 등이 높게 검출되었다.	대한환경공학회지, 34(7), 454-458. 2012년
도서지역 식수원 확보를 위한 지하저류 시설 개발	한재국	면적 1 km ² 이하의 소규모 유인도서 등에서 하천 인근 땅속에 강우 유출수를 저장하는 빗물 지하저류시설을 자연 친화적으로 개발하여 인공적 지하수 제조로 음용수 및 생활용수로의 활용을 제안하였음.	전남대학교 석사학위논문 2015
방사형 집수정에 의한 강변여과수 산출량 산정에 관한 연구	정지훈, 박재현, 박창근, 양정석, 김대근, 정교철, 최용선, 부성안	방사형 집수정에 의한 강변여과수 개발시 개략적 산출량 예측을 위한 방법으로 사용하는 경험식의 적용성 및 군우물을 이용한 방사형 집수정 모델링 가능성에 대해 검토하였음.	지질공학, 14(4), 417-427. 2004년
정밀 수치 모델링 기술을 이용한 방사형 집수정 성능 및 효율에 대한 수평정 배열의 영향 평가	박재용, 최소망, 김준모, 김규범	수변 지하수 취수를 위한 방사형 집수정 성능 및 효율에 대한 수평정 배열(방향, 개수, 사잇각)의 영향을 정량적으로 평가하기 위하여 정밀 수치 모델링 기술을 이용한 일련의 수치 모델링을 수행하였음.	지질학회지, 51(1), 81-92. 2015년

논문제목	저자	주요내용	발표논문집
지형공간자료를 이용한 지하수 인공함양 적지 선정 방안 원문	이재원, 서민호, 한찬	연구는 건기에 1일 50ton 규모의 지하수 양수를 목적으로 하는 소규모 인공함양(Artificial Recharge) 지하저수지 설치를 위한 적지선정 기법을 모색한다. 먼저 수리모델 실험 결과 다양한 인자에 부응하는 적지 후보지 형상을 정의하고, 주입과 양수모델링 실험을 수행하여 적합한 양수효율을 산정하였다. 다음으로는 최적 후보지 선정을 위하여 각종 지형공간정보를 처리하여 GIS (Geographic Information System) DB를 구축하였다.	한국측량학회지, 33(5), 427-436. 2015
인공함양 주입방식에 의한 암반대수층 저류특성 평가	김형수 ; 김만일 ; 석희준	경기도 포천군 이동면 총 5개소의 시험정을 선정하여 균열암반의 인공함양 주입시험을 실시하여 주입량과 주입압의 관계를 검토하였다.	지질학회지 v.41 no.3 = no.164, 2005년, pp.415-426
지리정보시스템을 이용한 우리나라 인공함양 개발 유망지역 분석	서정아, 김용철, 김진삼, 김용제	인공함양 필요지역으로 상수도 공급이 원활하지 않는 지역 및 재해에 상습적으로 영향을 받는 지역 등으로 선정하고 지리정보시스템을 이용하여 우리나라 인공함양 개발 유망지역을 분석함.	지하수토양환경, v.16 no.6, 2011년, pp.66-78
시설재배 지역의 효율적인 인공함양을 위한 수치해석적 고찰	박경미	지하수 모델링 기법(Visual MODFLOW)을 이용하여 시설재배 지역에서의 지하수위 회복에 유리한 인공함양 시기 및 위치를 평가하기 위해 지하수위 변화와 대수층의 물수지 변화를 분석하였음.	공주대학교 석사논문
담금질모사기법을 이용한 인공함양정 최적 위치 결정	이현주, 구민호, 김용철	인공함양정 최적위치를 결정하기 위하여 선형 또는 군집형으로 배치된 양수정 배열 조건을 기준으로 최적화기법인 담금질 모사 기법을 적용하여 평가하였음.	지질공학, v.25 no.1, 2015년, pp.67-81
전기응집을 이용한 소규모 수도시설의 불소 및 질산성질소 이온의 제거	한송희, 장인성, 백순옥, 정선용, 이철구	소규모 급수시설 등에서 나타나는 수질 문제를 해결하기 위해서 전기응집기술을 이용하여 음용수 수질기준을 초과하는 무기이온 중 불소와 질산성 질소를 제거하고자 연구를 수행함.	한국산학기술학회 2010년도 추계학술발표논문집 1부 / 2010 Nov. 12, 2010년, pp.115-116

논문제목	저자	주요내용	발표논문집
소규모수도시설의 현황 및 운영관리에 관한 실태조사 연구 : 농촌 일부 지역을 중심으로	박병철	일반상수도가 공급되지 않는 농촌 일부 지역의 2개 시·군 지역을 대상으로 소규모수도 시설의 현황 및 실태에 관하여 소규모수도시설의 설비적인 측면과 운영관리상의 문제점 등을 검토, 둘째, 1차 수질검사에서 불합격한 시설을 대상으로 저수탱크의 재질 및 유지관리 상태와 소규모수도시설의 실태, 운영관리상의 문제점에 대한 불합격 요인을 파악함.	한밭대학교 석사논문 2008
하천유지유량 결정 방법의 개발 및 적용: 1. 산정 방법	김규호, 이진원, 홍일표, 우효섭	하천의 정상적인 기능 유지에 필요한 갈수량, 수질 보전, 어류 서식처 복원 및 보전, 하천 경관, 수상 이용 등 주요 항목별 필요유량 결정 방법, 구간 및 대표지점에 대한 하천유지유량 및 관리유량 결정방법을 개발함	한국수자원학회논문집, v.29, no.4, pp.161-176, 1996
하천유지유량 산정방법의 개선과 적용	강성규, 유철상, 이동률, 최시중	국내외 하천유지유량과 환경유량에 대해 고찰하고, 하천수 사용을 고려한 하천유지유량 산정의 개선방법을 제안하였으며, 지하수 보전을 위한 하천유지유량 설정방법 개발이 필요함을 강조함	한국방재학회논문집, v.16, no.1, pp.295-304, 2014
기후, 지하수 취수 및 토지이용 변화의 건기 총유출량에 대한 영향	이길성, 정은성, 신문주	안양천 상류유역에 대하여 SWAT 모형을 이용하여 지하수 취수량에 대한 건기 총유출량 변화를 분석하였고, 지하수 취수량뿐만 아니라 기후 및 토지이용변화까지 복합적으로 고려하여 건기 총유출감소량간의 관계를 유도	한국수자원학회논문집, v.39, no.11, pp.923-934, 2006
하천건천화 평가 및 개선방안 연구	국토해양부	갑천, 남천, 경안천, 왕숙천 시범유역에 대해 개선된 SWMM-GE 모형을 적용하여 지하수 이용, 토지이용변화에 대한 하천 건천화 영향을 분석하였고, 후처리 시나리오를 이용하여 하천수 취수, 하수처리, 저수지 운영 등에 대한 기여특성 분석	국토해양부 보고서, pp.5-47-5-111, 2010
충적층 지하수면 및 그 하부의 풍화암/연암의 경계면 파악을 위한 복합 지구물리 탐사	주현태, 이철희, 김지수	천부탄성파탐사와 전기비저항탐사를 수행하여 MASW법과 CMPCC법을 동시에 수행하고 비교함. 지하수면이 있는 지층의 경계면을 탄성파검층자료와 비교하여 CMPCC법으로 S파처리한 결과와 검층결과와 더 가까움을 밝힘	The Journal of Engineering Geology, Vol.25, No.3, September, 2015, pp. 349-356

논문제목	저자	주요내용	발표논문집
지하수 인공함양지역 충적층특성 평가를 위한 전기비저항탐사	원병호, 신제현, 황세호, 함세영	창원시 대산면에 위치한 인공함양지 역의 충적층 평가를 위해 전기비저 항탐사를 수직법과 수평법으로 동시 에 수행함	지구물리와 물리탐사, Vol. 16, No.3, 2013, p.154~162.
하천-대수층 상호흐 름을 고려한 지속가 능 지하수 개발량 추 정	이우석	하천-대수층 상호흐름을 모의할 수 있도록 TANK 모형을 개선하고, 지하 수 개발 시나리오에 따른 유역단위 기저유출량 감소 및 유도함양량 증 가를 평가하였으며, 지하수의 공급 신뢰도를 만족시키기 위한 지하수 개발량 규모를 제시함	서울대학교 토목공학과, 2006
지표수-지하수 상호 흐름을 고려한 TANK_GS 모형의 개발	이우석, 정은성, 김상욱, 이길성	토양저류구조 표준3단 탱크모형을 하천과 대수층의 상호흐름을 모의할 수 있도록 개선한 TANK-GS 모형을 개발하고, 이를 갑천 유역에 적용하 여 성능을 검증함.	한국수자원학회논 문집, v43, n.10, pp.893-909, 2010
경안천변 충적지하수 의 수리지구화학 연 구: 하천변에서의 양 수에 수반된 지하수 유동 및 수질 변화	전종욱, 윤성택, 권장순, 윤성문, 강정욱, 한찬	경안천 주변 비닐하우스 지역에 대 해서 하천과 충적 지하수 간의 수리 적 연관성과 질산염의 거동을 파악 하고, 농업용 대형 관정에서의 양수 에 의하여 충적 지하수계로의 하천 수의 인위적인 유입이 가속화 현상 을 보여줌	한국지하수토양환 경학회 춘계학술발표회 논문집, 한국지하수토양환 경학회, pp.332-335, 2005
시계열 분석을 이용 한 하천수위에 따른 다심도 관정의 지하 수위 변동해석	하규철, 고경석, 고동찬, 염병우, 이강근	만경강 하천부지에 다심도 관정을 설치하여 하천과 지하수와의 수리적 인 상호작용 및 하천과의 이격거리 에 따른 하천과 대수층간의 반응시 간을 평가함	자원환경지질, 제39권, 제3호, pp. 269-284, 2006
비닐하우스 지역의 지하수 양수에 따른 지하수-하천수 상호 유동 변화 분석	김남원, 이정우, 정일문, 김창환	신문천 인근 수막시설재배지역에 지 하수위와 온도를 계측하기 위한 지 하수 관측공을 제내지와 제외지에 설치하여 연속적인 수위변화를 모니 터링 하고, 하천바닥층의 시피지미 터를 이용한 하천수-지하수 교환량 측정을 수위측정과 병행 실시하여 지하수 양수에 따른 하천-지하수 상 호 유동계의 변화를 평가함	한국수자원학회논 문집, v.45, no.10, pp.1051-1067, 2012
열추적자를 이용한 지하수-하천수 혼합 대 연구	김구영, 전철민, 김태희, 오준호, 정재훈, 박승기	하상의 공극수와 지표수의 온도를 관측하여 이득하천과 손실하천을 구 분하려는 연구를 수행함	자원환경지질, v.39, no.5, pp. 525-535, 2006
하수처리장 방류수와 하천-지하수 상호작 용	이봉주, 하규철, 구민호, 문상호, 조민조, 조성현	하수처리장의 방류수와 처리수가 하 천수위의 변동간의 관련성, 하천수 위 변동과 지하수위의 변동간의 관 련성을 분석함	지질학회지, 지질학회, v.42, no.4, pp.625-633, 2006

4절. 연구개발 인프라 분석

1. 연구인력 인프라

- 동 연구는 지하수, 지표수, 상수도, IT 등의 다양한 분야의 물전문가가 참여하여하는 과제로서 현재 국내에서는 수백명 정도의 박사·기술사급 전문가가 활동하고 있음
- 현재 국내 지하수, 지표수 및 상수도 분야의 박사급 전문가를 4개 학회 (수자원학회, 지하수토양환경학회, 대한지질공학회, 상하수도학회 등)를 대상으로 파악한 결과, 각 753명, 493명, 244명, 599명 등으로서 중복되는 부분을 고려하더라도 수백명 이상의 전문가가 활동 중임
- 또한, 각 분야별 기술사급 전문가를 동일하게 조사한 결과, 수자원학회 회원 중 기술사 보유 전문가는 450명, 지하수토양환경학회는 110명, 대한지질공학회는 150명, 상하수도학회는 112명 등으로서 기술사급 전문인력도 풍부한 것으로 조사되었음
- 현재 국내 해당 분야는 21세기 프론티어 연구개발사업과 GAIA 사업 등을 통하여 선진국 수준에 도달하기 위한 인적 능력 확보는 어느 정도 이루어졌다고 할 수 있음
- 이와 같은 인적 인프라의 확보는 본 연구를 수행하고 목표 달성을 위하여 필요한 기본 바탕을 갖추고 있는 것으로서 인적 자원을 확보하고 있는 주요 기관은 다음 표와 같음

<표 51> 국내외 최고 기술보유 기관 현황

세부분야	업체/기관명	보유기술 또는 특허	국적
지하수-지표수 연계 이용 및 평가 기술	한국지질자원연구원	지하수 조사 평가 기술, 오염취약성 평가	한국
	부산대학교	지표수-지하수 연계 분석 기술	한국
	지애펙	지하수 개발 조사 및 탐사 기술	한국
	공주대학교	지하수 개발가능량 평가 기술	한국
	경북대학교	지하수 관측 시계열 평가 분석기술	한국
	서울대학교	지표수-지하수 연계 모델링 기술	한국
	USGS	지하수, 지표수 연구 및 가뭄 평가 기술	미국
지하수 인공함양 기술	인텔리지오	지표수-지하수 연계 인공함양 기술	한국
	CWI	방사형집수정 설계, 시공, 유지관리 기술	미국
	GSI	강변여과 조사, 설계, 모델링 기술	미국
	지오그린21	인공함양시 현장 철/망간 제어 기술	한국
	한국수자원공사	강변 여과 조사 및 평가 기술	한국
	UPC	Basin 등 인공함양 평가 기술	스페인

(표 계속)

세부분야	업체/기관명	보유기술 또는 특허	국적
수원간 연계 및 활용 기술	한국지질자원연구원	농업용 인공함양 및 모델링 기술	한국
	대전대학교	지표수-지하수 연계 분석, 가뭄 평가 기술	한국
	한국건설기술연구원	지표수-지하수 연계 모델링 기술	한국
	삼화건설환경	인공함양시 수원간 연계 공급 시나리오 개발	한국
	공주대학교	수원간 연계에 따른 시뮬레이션 기술	한국
	한국수자원공사	상수원 활용 및 관리 기술	한국
	넥스지오	현장 지질-수자원 조사 및 분석 기술	한국
	인시티	수원간 연계에 대한 정밀 모델링 기술	한국
	지오택건설턴트	수원간 연계를 위한 시공 기술	한국
	한국지하수지열협회	관정 현황에 대한 조사 및 평가 기술	한국
	한국농어촌공사	지하수와 농업용수원의 연계 관리 기술	한국
	IHE-Unesco	인공함양과 다중 수원 연계 기술	네덜란드

- 국내 대표 지하수 분야 국책 연구기관인 한국지질자원연구원은 모두 5개의 연구 본부로 구성이 되며, 지하수연구실이 지하수-수자원 관련 분야를 연구하고 있음

[표 52] 한국지질자원연구원 지하수 연구실의 주요 연구 분야

구 분	주요 연구 분야
한국지질자원 연구원	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 지질과학과와 일부 토목환경공학과 등이 해당되며, 한국수자원공사, 농어촌공사 등의 공기업과 일부 민간기업이 여기에 포함됨
 - 민간기업 중 설계 능력을 보유하고 있는 기업은 강변여과수의 설계 및 개발에 참여하고 있으며 지하수 관정 개발은 소규모 시공업체 등에서 담당하고 있음
- 대표적인 수자원 전문기업인 한국수자원공사는 관련 분야(지질, 강변여과, 지열 등) 전문가가 약 40명 정도로서, 연구 및 사업 현황은 다음과 같음

- 국가 지하수 관리 사업 : 지하수관리 기본계획 수립, 지하수 기초조사, 지하수시설 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, 군사지역 내 토양 지하수 오염과 상수원 수질에 미치는 영향 연구, 경인 아라뱃길 주변 지하수 변동 평가 연구, 4대강 관련 지하수 변동 연구 등

[표 53] 주요 분야별 국내외 전문가 현황

세부과제	전문가	소속기관	기술개발현황	국적
지하수-지표수 연계 이용 및 평가 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
	김병우	한국수자원공사	지표수-지하수 연계 조사	한국
	구민호	공주대학교	지하수 개발가능량 평가	한국
	정일문	건설기술연구원	수변지역 지표수-지하수 연계분석	한국
	여인옥	전남대학교	지하수 및 지질 조사 분석	한국
	박은규	경북대학교	지표수-지하수 연계 모델링 기술	한국
	원경식	지오텍컨설턴트	지하수 시공	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
	원용천	C&H	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
	김규범	대전대학교	지표수-지하수 연계 분석 기술	한국

(표 계속)

세부과제	전문가	소속기관	기술개발현황	국적
지하수 인공함양 기술	홍정표	x GEO	지하수 함양지역 조사 및 탐사	한국
	김용제	지질자원연구원	직접인공함양 조사 및 설계	한국
	김용철	지질자원연구원	직접인공함양 조사 및 설계	한국
	이강근	서울대학교	함양 효과 수치모델링 기술	한국
	김형종	지애펀크	지하수 관측 및 시공	한국
	이명재	지오그린21	지하수내 현장 철/망간 제어 기술	한국
	임재림	한국수자원공사	철/망간 수처리 기술	한국
	김성수	한국수자원공사	철/망간 수처리 기술	한국
	송성호	한국농어촌공사	하천변 지하수 관리	한국
	임우석	아이자랩	함양지역 지하수 관측	한국
	홍승원	충남도청	지하수 활용 및 관리	한국
	한일영	삼화건설환경	인공함양 수원 확보 기술	한국
	R. David. G. Pyne	ASI System	하천변 인공함양 지하수 개발 시공	미국
	Joao Paulo Lobo-Ferre ira	Porutugal LNEC	가뭄시 지하수 관리 기술	포르투갈
	Howard Revees	USGS	지하수 모델링 및 분석 기술	미국
	William Alley	USGS	지표수-지하수 연계 분석	미국
	Samuel M. Stowe	CWI	집수정 시공 및 유지관리 기술	미국
	Jeff Barry	GSI	강변여과 조사 및 평가 기술	미국
	김혁진	RS엔지니어링	하천변 지하수 개발 시공	한국
	김규범	대전대학교	대형 특수 정호 설계 및 시공	한국
수원간 연계 및 활용 기술	김태원	지티이	지하수 용수공급 방안	한국
	양정석	국민대학교	가뭄 시나리오 지하수 공급	한국
	이상일	동국대학교	시나리오 기반의 용수공급 방안	한국
	Andrea Brookfiel d	BGS	지표수-지하수 연계 활용 기술	영국
	Mazdak Arabi	Colorado State University	지표수-지하수 연계 활용 기술	미국
	윤운상	넥스지오	지질 및 지하수 상관관계	한국
	현윤정	KEI	상수원으로서 지하수 활용	한국
	한정상	넥스지오	지하수 부존 특성	한국
	김만일	산림조합	계곡수와 지하수의 상호 연계 기술	한국

2. 실험장비 및 관련 기자재 인프라

- 본 연구는 현장 중심의 실증시설 구축 및 인공함양의 효과를 평가하는 연구로서, 실내 실험과 현장 기자재의 활용이 필요한 과제임
- 실내실험 분야는 수리 및 수처리 효과에 대한 pilot 장치를 활용하는 연구로서, 일반적인 대학 실험실에서 갖추고 있는 수준에 해당함
 - 실내 수리 모형실험을 위한 장치는 한국수자원공사, 건설기술연구원 등에서 보유하고 있어, 현장 실험의 사전 단계로서 실내 축소 실험이 가능함
 - 수질 모형 실험은 축소된 모형에 의한 실험과 수치모델에 의한 시뮬레이션이 병행 실시되는데 대부분의 대학 환경공학 실험실 및 연구기관(한국지질자원연구원, 건설기술연구원 등) 실험실에서 보유하고 있는 수준임
- 현장실험을 위해서는 대표적으로 수평정 굴착, 시추, 착정, 우물기자재 설치, 인공함양 시설 구축, 보 수문 장치 등을 필요로 하는데, 국내 지하수 조사 및 시공 업체에서 충분히 보유하고 있는 장치로서, 현장 실증 연구를 위한 기반을 갖추고 있음
 - 현재 국내 등록되어 있는 지하수 개발이용 시공업체는 총 3,184개, 지하수 영향조사기관은 총 643개소로서 관련 연구 개발을 위한 기반은 확보되어 있음

3. 해외 협력기관 인프라

- 외국의 대표적인 기관은 미국 지질조사소(US. Geological Survey)로서, 1879년 창립되어 120년 이상 운영 중인 세계 최고의 미국 내무성 산하 조사연구기관으로 자연재해 방지와 물, 생물, 에너지, 지하자원의 관리, 경제 및 자연개발 등의 활동을 수행함
- 동 기관은 자연 재해 관리, 수자원관리, 생물·광물 및 에너지자원 등에 연구관리를 통하여 신뢰성 높은 과학 정보를 제공하고 지구를 이해하는데 필요한 자료를 생성하여 국가의 정책 및 인류 발전 도모 등을 목표로 삼고 있음
 - USGS의 조직은 본부(National Center)와 3개 지역본부 산하에 400개 정도의 현장 조직을 갖고 있으며 총 10,000명의 과학자, 기술자로 구성되는데 이 중에서 수자원분야는 총 4,300명에 이룸
 - 수자원 분야 주요 연구 및 기능으로는 수량·수질 관련 지표수 및 지하수 기초자료의 수집, 검증, 저장 및 제공, 수자원(지하수) 이용도, 수질, 용수사용, 재해지역 등에 대한 평가, 물관리 활동의 잠재적 결과를 판단하기 위한 분석 연구 및 예측모델 개발, 수자원(지하수) 현안에 대한 이해 도모 및 해결

방안 모색 등을 수행함

- 최근의 지하수 분야 주요 연구로는, 지표수-지하수 연계, 가뭄 대비 지하수 인공함양 및 지하수관측 네트워크 분야가 활성화되어 있음
- 호주의 CSIRO(호주연방과학산업 연구기구, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation)는 수자원 및 환경분야의 대표적인 연구기관으로서 기술을 선도하고 있는 기관임

[표 54] CSIRO Land & Water의 지하수-수자원 관련 Program에서의 주 연구 분야

Program	주요 연구 분야
Surface Water Hydrology	- 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	- 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 친환경 추적자 개발
Water Reuse and Environmental Process Engineering	- 지하수 환경 내에서의 오염물질 자연 저감을 위한 통합 기술 연구 - 지하수 재사용 과정에서 병균의 이송 및 생존, 병균의 위험성 평가 - multiphase fluid dynamics와 NAPL 연구 - 현장 규모에서의 정화 및 회복 실험

□ 국내의 기술 인프라 및 기반 수준 평가

- 국내 기술 인프라는 21세기 프론티어 연구사업, 수변지하수활용고도화 연구단 등을 통하여 연구개발이 활성화되면서 기초가 정착되어 있으며, 1990년대 이후 해외 유학을 통한 관련분야 석학을 많이 배출하면서 기술 개발의 능력도 많이 향상되어 있음
- 국내의 기술 인프라 수준과 기반 수준을 외국과 비교해 보면 다음과 같음

[표 55] 국내외 기술 인프라 및 기반 수준 비교

분 야	국내 현황	선진국 현황	추정 수준
전문가	• 500명/5,000만명	• 4,300명/3억명(미국) • 600명/2,000만명(호주)	약 60%
전문 기관	• 국책연구기관 2개소 (한국지질자원연구원, 건설기술연구원)	• 미국: USGS, USBR 등 다수 기관 및 인적자원	약 60%
연구 기반	• 지하수 연구용 Test bed 등 국가 Site 전무 • 지하수 R&D 예산 (최근 3년 평균 약 50억)	• 다양한 연구 Site 및 예산 반영	약 50%

5절. 종합분석

1. 국내외 정책동향 분석 시사점

- 미국의 경우, 가뭄 유형별 수자원 정책 및 주(State)별 가뭄계획은 전반적으로 가뭄에 대한 완화 및 대응, 가뭄모니터링 개발 및 정보제공, 가뭄 조기경보, 가뭄영향 및 위해성 평가 등 가뭄 대비를 위해 다양한 정책을 시행하고 있음
- 캘리포니아의 경우 지하수 의존도가 높은 지역으로 지하수의 사용에 따른 갈등 및 분쟁이 지속적으로 발생함
- 유럽연합의 가뭄대비관련 정책은 가장 상위의 WFD(Water Framework Directive)와 차상위의 GD(Groundwater Directive)의 기초를 어긋나지 않게 따르며 각 나라별로 DMP(Drought Management Plan)을 마련하여 적용함
- WFD는 지표수와 지하수를 별개가 아닌 하나의 수자원으로 간주하고 관리 및 감시를 기본으로 하며 각 회원국이 준수해야할 가이드라인을 제시하고 이를 의무화하여 여러 나라의 이해관계가 중복되는 유역단위 지하수 관리에 있어서 보다 유기적인 관리를 가능하게 함
- 이상과 같이 기술한 유럽 연합의 가뭄관련 지하수정책에 비추어 볼 때 지표수-지하수 연계 관리는 필수적이며 행정구역 또는 수자원 관리 주체별 관리가 아닌 최소 하천유역단위의 포괄적 관리가 요구됨
- 반면 우리나라는 지난 수십 년 동안 2~3년에 한번 크고 작은 가뭄을 겪었고 최근 들어서는 예전과 다르게 기후변화에 따른 가뭄의 형태와 기간이 달라지고 있음
- 이에 따라 우리나라는 지하수 개발 및 하천수 양수 등의 임시방편과 제한 급수에 초점을 맞춘 단기 대책으로 가뭄을 해결하는 실정임
- 또한 우리나라는 반복되는 가뭄을 겪고 중장기 가뭄대책과 R&D 투자 예산을 세우지만 막상 큰 비가 와서 해결되면 중장기 대책은 지속성이 떨어지고 있음
- 기후변화에 의한 강수량 감소 및 극한 기후 발생에 따른 수자원 변동성과 지표환경 변화에 따른 수질 및 수량 변화가 관련 정책 수립시 반영되어야 함을 시사함
- 평시-가뭄시-가뭄후로 구분되어 각 상황에 따른 대응책과 적용이 시스템으로 결합되어 있어 이를 활용한 지하수자원의 잠재적 가용성을 확보할 필요가 있음

- 기후변화에 따른 지역별 가뭄 취약성을 고려한 정책이 미흡한 실정임. 특히 지자체 단위의 기후변화 가뭄 취약성 분석이 이루어지지 않고 있어 지역별 가뭄 취약 특성을 고려한 정책발굴이 미흡하며 지자체간 정책의 차별성이 부족한 실정임
- 국내 가뭄정책은 하천, 저수지, 댐 등 구조물적 대책에 치중되어 있는 실정임. 지역별 토지이용과의 연계를 통한 물순환 체계를 구축하여 이를 정책에 반영하는 방안이 필요함
- 그 동안 지하수의 활용은 소극적 측면에서 추진되어 왔으나, 기후변화 등 가뭄에 대비하기 위해서는 적극적으로 활용하는 정책이 요구됨
- 수자원총량은 1,297억톤 중에서 이용되고 있는 수자원은 26%인 333억톤이며, 하천수는 8%인 108억톤과 비교하여 지하수는 3%인 37억톤으로 지하수와 지표수를 연계한 가뭄대비 방안에 대한 정책이 부족한 실정임
- 현재 환경부 및 국토교통부 등에서는 지하수를 상수원으로 활용하는 방안에 대한 연구 및 지하댐 등 관련 조사를 수행하는 등 다각적인 지하수 활용 정책을 시도하고 있음. 이의 원활한 추진을 위해서는 안정적 수량 수질 확보가 가능한 지하수 인공함양 기술을 확보할 필요가 있음

2. 국내외 시장동향 분석 시사점

- 지하수의 인공함양을 통한 용수확보 시장은 댐 건설 및 해수 담수화 등에 비해 상당히 저렴한 기술로서, 세계적으로 확장되고 있는 기술 시장 분야임
- 미국의 경우 인공함양 비용은 에이커 풋(acre-foot) 당 90에서 1,100달러가 소요되며 일반적으로 에이커 풋 당 평균 390달러로서 지하수 인공함양이 댐 확장과 해수담수화 사업보다 매우 활발함
- 인공함양 해당 부지 선정 및 이용에 대한 허가와 설치·운영비용이 저렴하여 선진국 뿐 아니라 물 부족이 심각한 아프리카 등에서도 활발한 기술로 자리잡고 있어 향후 해외 시장 진출 가능성이 매우 높음
- 국내외 지하수 시장은 물산업의 민영화와 관련되어 물 순환 시스템을 통합 관리하는 체계로의 전환을 시도하고 있음
- 이를 위하여 민간 기업 중심의 시설물 건설과 운영사업 등이 과거에 비하여 활발히 추진되므로 기후변화 가뭄과 같은 극한 조건의 물 공급 시스템의 구축이 요구되고 있음
- 정부는 “물 산업 육성 전략”의 일환으로 물 관련 산업의 체계적인 육성 정책을 추진하고 있음. 이의 효율적 추진을 위하여 지하수를 활용한 용수확

보 기술이 개발될 필요가 있음

- 우리나라도 선진국 수준으로 경제가 발전하면서 지하수를 단순한 음용이 아닌 치료 목적 등으로 활용될 수 있도록 다양한 욕구가 표출되기 시작하였음
- 지하수는 일반 상수도 등에 비하여 풍부하고 다양한 미네랄이 포함되어 있으며, 외국의 경우 의학적 임상실험 등을 통하여 신체에 건강한 물 및 치료제로 활용되고 있어 국내에서도 관련 기술 확보가 미래 시장 개척을 위하여 요구되고 있음
- 현재 환경부 및 국토교통부 등의 정책에서 지하수를 상수원으로 활용하는 다양한 접근이 추진되고 있으나, 체계적인 연구개발을 통한 풍부하고 안정적인 지하수 확보 기술이 마련되어 있지 않아, 기술의 현장 적용의 한계점으로 노출되어 있음
- 그 동안 지하수 개발은 채래식 소형 수직정 굴착 방식으로 이루어져 왔으나, 가뭄 대응을 위한 자원으로서의 가치를 제고하기 위하여 첨단 ICT 분야가 접목된 인공함양 및 대용량 수원 확보 기술이 요구됨

3. 국내외 기술동향 분석 시사점

- 현재 가뭄을 예측 진단하는 가뭄정보시스템과 관련된 기술 중에서 지하수를 활용한 기술 분야는 국내에서 거의 이루어진 바가 없음
- 가뭄을 평가하는 가뭄지수가 기관별로 다양한 방법으로 산정되어 서로 상이하므로 가뭄지수의 신뢰성을 검토하여 일관성을 유지할 필요가 있음
 - 이를 위하여 지하수를 활용한 가뭄 지수의 개발 및 적용을 통하여 보다 신뢰성 높은 지수의 확보가 필요함
- 기상학적 가뭄지수는 가뭄의 전망에는 유용하나 실질적인 가뭄상황을 진단하는데 현실성이 떨어진다는 문제점이 지속적으로 제기됨
 - 실제 수문량을 대변할 수 있는 지하수위 자료의 활용이 필요함
- 지하수위와 토양수분함량의 연계를 통한 가뭄 진단 및 예측 기술 확보가 필요함
- 가뭄 대응 지하수 활용 상수도 및 대체수자원 활용 기술의 경우, 일부 도서 지역이나 해안지역 등에서 필요에 의하여 추진되기도 하였으나 체계적인 기술 확보가 되지 않아 수명이 단축되거나 목표 수량이 확보되지 않는 등의 문제점이 발생함

- 수자원 관리가 여러 기관에 분산되어 있고, 통합적인 가뭄대응보다는 부처별로 수자원 시설의 용수 공급을 제한하거나 물차 및 병물 지원 등 국지적이고 제한적인 대응이 이루어지고 있는 실정임
- 극한가뭄이 발생할 경우, 지역 수자원의 특성을 고려하여 유역 또는 지역 기반의 통합 가뭄대응계획을 수립하여 제한된 용수의 효율적 활용과 배분에 초점을 두는 대책 수립이 필요함. 이를 위한 우선적인 확보 방안은 기 활용 지하수나 신규 지하수 양을 확보하는 것이 필요함
- 선진국에서 추진중인 지하수 인공함양 기술의 국내 도입을 통하여 가뭄 및 비가뭄시에 효율적으로 유기적인 활용이 가능한 용수확보 기술의 개발이 시급함
- 기후변화 뿐 아니라 비상시 수원 확보 방안은 오염으로부터 가장 안전한 지하수를 확보하여 비상시 뿐 아니라 평상시에도 안정적으로 보조수단으로서 활용할 수 있는 시스템이 마련될 필요가 있음
- 해외 인공함양 검토 결과 미국은 인공함양기술 적용 수가 225,000에 달하며 네덜란드는 86ha에 달하는 40개의 인공함양지가 분포하며 호주의 경우 2002년 기준으로 인공함양 기술을 이용한 함양지를 25개소 운영 중에 있음.
- 또한 독일의 경우 식수의 15%가 인공함양을 통해 사용되고 있으며 아프리카의 경우 7지점에서 인공함양을 운영하고 있으며 5 ~ 20년 이상의 운영을 통해 기술을 확보 하고 있음.
- 해외 성공 사례 검토 결과를 토대로 기존 기술을 보유한 해외전문기관의 참여를 적극 추진해야 할 필요성이 있음.
- 지하수 인공함양 기술의 확보 및 현장 적용을 통한 가뭄 대응력을 제고할 필요가 있음
- 국내의 경우 basin이나 ditch 등 다양한 현장 조건에 부합하는 최적 인공함양 기술이 시도된 바 없어, 본 연구를 통하여 국내 실정이 맞는 인공함양 기술을 확보하고 가뭄 시 비상용수를 공급할 수 있는 체계 마련이 필요함
- 상류 가뭄이 발생할 경우, 우선적인 용수확보는 지하수에 의존되어야 하나 현재 국내의 경우 지하수 관정 개발이 유일한 기술로서 자리 잡고 있어, 충분한 양의 지하수 확보에 어려움이 있음
- 이를 해결하기 위해서는, 여분의 잉여 수자원을 지하로 충전시키는 기술에 대한 체계적인 접근 및 기존 수원 시설과의 연계(양적 및 질적 연계)에 대한 기술 개발이 필요하며 지하수의 확보와 병행하여 기존 상수원, 하천, 저수지 등과의 원활한 연계 체계를 갖추기 위해서는 관로, 펌프 등에 대한 체계적인 검토 및 기술 확보가 요구됨

4. 특허 및 논문 분석 시사점

□ 특허 동향

- 가뭄 대응을 위한 지하수 수자원 확보 및 활용 분야에서 전세계적인 특허 활동은 1990년대 후반 활발한 활동이 이루어지면서 2000년 이후에는 출원 현황이 여러 나라에서 정체 또는 안정화되고 있으며 한국의 특허 출원이 전체 추세에 큰 영향을 미치고 있음
- 한국은 내국인의 특허 출원 비율이 96%에 달해 자국 기술의 자립도가 높다고 해석할 수 있음. 일본은 기업 단위로 많이 연구되고 특허 출원이 집중화되어 있는데 반하여 한국은 연구소와 개인이 개별적으로 연구하고 있어서 기술의 밀도나 생산성, 제품으로의 연결성이 열악함.
- 수자원 확보 분야의 국내 특허 출원 점유율이 최근 떨어지면서 수자원 활용 분야의 점유율이 높아지고 있음. 최근의 주목할 만한 특허들의 출원 내역을 살펴보면, 국가연구개발사업에서 수자원의 통합운영 관리, 수자원 확보를 위한 첨단 기술 적용 및 최신 계산 모델들의 채택 등과 같이 수준 높은 특허를 양산하고 있으며 특허 출원의 질적 상승을 견인하고 있음을 시사함.
- 국내 특허의 경우 실제 시설물을 기반으로 한 기술관련 특허가 매우 부족한 상황으로 “가뭄 대응을 위한 지표수 연계 기반 지하수자원 확보 및 활용기술 개발” 연구가 진행될 경우 테스트 베드를 통해 확보된 다양한 기술(시공기술, 운영기술 등)이 특허로 출원될 수 있을 것으로 판단됨.

□ 논문 동향

- 지하수와 관련한 가뭄에 대한 국가별 관심이 증가하고 있음을 논문 분석을 통해 확인할 수 있음 국가별 논문 발표수를 분석한 결과 가뭄에 관한 주제로 한 논문의 인용은 가파르게 증가하고 있으나 아직 한국은 주요 가뭄 연구의 생산 순위 안에 들지 않음.
- 미국, 중국, 인도가 주요 가뭄 연구개발 해당국이며 특히 미국이 압도적인 생산성을 보이고 있음. 최근 들어서는 지하수와 지표수의 연계 연구, 기후 변화로 인한 지하수 고갈, 인공함양 등이 집중적으로 관심을 받는 분야임.
- 피인용 지수가 타 분야보다 상대적으로 낮은 지표수-지하수 연계 이용에 대한 연구가 2010년 이후 실제 현장을 대상으로 한 case study 형식으로 출판되고 있으며 최근의 급증한 인용지수는 실질적인 현장 적용이 전세계적인 추세임을 보여주고 있음.

- 국내 논문 출판물을 살펴보면 다수의 연구개발 인력들이 그동안 여러 부처의 국가연구개발사업을 통하여 가뭄, 지하수 및 상수원에 대한 연구를 진행하였고 그 성과물을 논문으로 출판한 것을 보여줌. 이는 향후 통합운영 방식의 가뭄 대응 연구개발을 추진할 경우 참여할 수 있는 연구 인력이 있음을 보여주는 동시에 다양한 분야에서의 다학제간 연구가 가능함을 시사함.
- 기존 논문은 주로 학술적 성격의 가뭄 대응, 지표수-지하수 연계의 모델링 중심으로 출간되었으나 실제 시설물과 연계된 실용화 기술의 논문화는 매우 부족한 상황이므로 본 사업이 진행될 경우 테스트 베드를 통해 확보된 다양한 논문이 출간될 가능성이 높고 이에 따라 세계적으로 기술력을 인정받을 수 있는 기회라고 판단됨.

제 3 장

기술수요 및 수준 · 예측조사

1절 기술수요조사

2절 기술수준 및 예측조사



3장. 기술수요 및 수준 · 예측조사

1절. 기술수요조사

1. 개요

가. 기술수요조사의 목적

- 동 기술수요조사는 가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술 개발을 위해 기술개발이 필요한 기술아이템 도출을 목적으로 함
- 산·학·연 전문가를 대상으로 세계적 수준의 가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술 개발을 위해 기술개발이 필요한 기술아이템에 대한 기술수요를 조사함
- 기술수요조사는 기술개발 우선순위를 파악하고 기술개발 과제간의 효율적인 자원배분 방안을 마련하기 위한 사전 조사에 해당됨
 - 가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술의 분류체계를 제시하고 수요조사를 실시하였으며, 기술분류체계 상 연구개발 아이템이 많이 제안된 기술분야는 기술개발 니즈가 높은 기술분야로 볼 수 있음
 - 연구개발 아이템이 제안되지 않은 기술분야는 기술개발 니즈가 없는 기술분야로 볼 수 있음

나. 기술수요조사의 절차

- 기술수요조사는 기술수요조사 설계, 기술수요조사 수행, 기술수요조사 결과 분석, 기술수요조사 결과 활용 순으로 추진함
- 기술수요조사 설계단계에서는 기술수요조사서 항목을 결정하고 기술수요조사 대상자를 설정함
- 기술수요조사 수행단계에서는 기술수요조사 대상자에게 조사서를 발송하고 회신함
- 기술수요조사 결과분석단계에선 기술분류체계와 회신된 기술아이템을 매칭하고, 응답현황 및 기술분류체계별 기술수요를 분석함
- 기술수요조사 결과활용단계에서는 회신 조사서 내용으로 동향 및 환경분석 내용을 보완하고, 기술아이템은 중점분야별 후보과제 구성에 활용함

조사 절차



[그림 89] 기술수요조사 프로세스

다. 기술수요조사 발송 및 응답개요

- 기술수요조사는 내부 기획연구진 및 외부전문가를 대상으로 E-mail을 통해 조사함
- 조사는 향후 Test bed 대상으로 예정하고 있는 충청남도, 지하수관련 산업을 영위하는 주요 기업, 학계 및 주요 연구원 전문가 약 150명을 대상으로 조사를 수행함

<표 56> 기술수요조사 발송 및 응답개요

구분	내용
조사기간	- 2016년 11월 15일 ~ 12월 16일 (4주간)
조사대상	- 내부 기획연구진, 외부 전문가 (약 150명)
조사방법	- E-mail을 통한 설문조사

2. 기술수요조사 분석결과

□ 동 기술수요조사에는 산, 학, 연 전문가 36명이 참여함

○ 전문가 36명이 총 44건의 기술아이템을 제안함

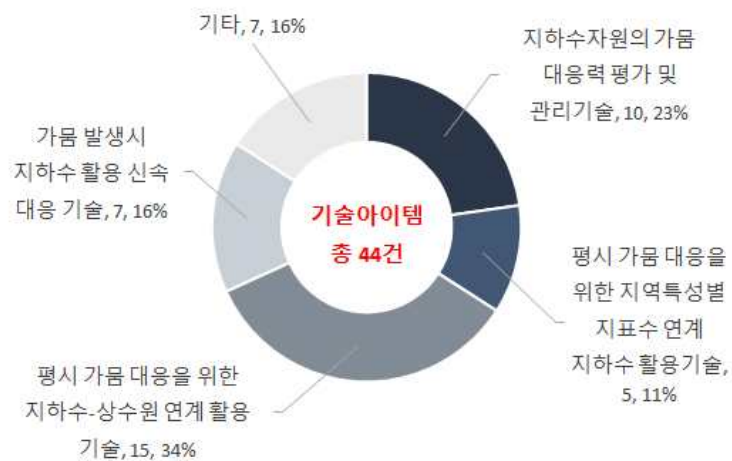
- 참여자 36명은 기술아이템 제안 대표 전문가로서 실제 기술아이템 제안에 참여인원은 그 이상임



[그림 90] 기술수요조사 참여현황

□ 제안 받은 기술아이템은 총 44건임

○ 기술분야별로 ‘지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리 기술’ 10건, ‘평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용 기술’ 5건, ‘평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술’ 15건, ‘가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술’ 7건, 기타 기술분류체계 매칭이 곤란한 기술아이템이 7건임



[그림 91] 기술 대분별 기술아이템 제안 현황

* 기술아이템 주요내용은 별첨 ‘기술수요조사결과’ 참조

<표 57> 기술 아이템 현황

대분류	제안기술명
1. 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리 기술	IOT와 융합된 저비용 고효율 지하수와 토양수분 관측장치 개발 및 웹서버 구축 (기술명 미제시)
	가뭄 대응을 위한 토양 수분 평가 및 예측 프로그램 개발
	기후변화와 지하수-토양환경 모니터링 자료 기반의 가뭄예측시스템
	기상변화 및 토양수분 변화에 따른 함양량 산정기법 개발
	지하수자원 확보시설 설치를 위한 빅데이터 구축
	실생활 가뭄지수 판단을 위한 토양상태 및 일사량, 일사강도 통합계측시스템 구축
	RS를 이용한 토양수분 예측 기술
	시추공 big data 기반 3D-수리지질 대수층 모델을 통한 대용량 지하수부존 최적지 평가 기술
	습윤지수(wetness index) 기반의 토양 습윤도 계측을 통한 가뭄 예측 기법 개발
2. 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용 기술	지표수-상수도-지하수 통합 물수지 평가 모델링 기법 개발
	한반도 유역 및 기후 특성과 지표환경 변화를 고려한 지표수-토양-지하수 연계 분포형 통합 물수지 분석 기술
	지표수-지하수 연계 지하수 개발가능량 평가 기법 개발
	지속가능한 지표수 연계 지하수자원 개발 및 가뭄 대비 효율적 이용방안
	산지 계류 사방댐을 활용한 지표수 연계 지하수 증대 기술 개발
3. 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술	강원 산간 미급수지역 모래저장형 지하수댐 개발
	산간계곡 가뭄대비 지하수은행(Groundwater Bank) 적용기술 개발
	소규모 미급수 지역 가뭄 해결을 위한 지하수 확보 방안 연구
	농업용저수지와 지하수의 연계를 통한 가뭄대응력 제고 기술
	선상지 및 인공함양지에서의 대용량 취수를 위한 수평취수정 설계 및 시공기술
	지표수-지하수 통합 모델링을 이용한 수자원 수요-공급 최적화 프로그램 개발
	지하수 취수시설과 기존 상수원 연계를 위한 지하수 수질 전처리 기술
	지하수자원의 자정작용 정량화를 통한 기존 상수원과의 연계 처리 최적화 기술
	지표수-지하수 통합관리를 위한 최적 수자원 배분 및 운영기술 개발
	지역 맞춤형 지하수자원 및 지표수자원 최적연계 운영 및 관리 기술 개발
	가뭄대응에 따른 지하수 수량 및 수질 개선을 위한 다단 지하댐 설계
	해안 도서 지방 상수원으로서의 염지하수의 최적 공급 기술
	지하수댐 저장능력 확대 및 가뭄 대응능력 확보 기술
	수리지질학적 특성을 고려한 상습 가뭄지역 인공함양 설계, 시공기술
	가뭄대비 지하수자원 지속가능 개발을 위한 유무인 원격탐사 및 공간모델 기반 인공함양 개발 최적지 및 지하수 개발가능지역 모니터링 기술

대분류	제안기술명
4. 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술	지하 대수층 탐지를 위한 융복합 물리탐사 기술 개발
	친환경 압축가스를 이용한 공공관정 정비 및 효율성 증대 기술
	방치된 대용량 지하수시설 활용을 위한 방사형집수정 재개발 및 재시공에 의한 취수량 증대기술 연구
	대용량 지하수 취수시설의 취수량 증대를 위한 재개발 기술 국산화 연구 및 적용
	가뭄 대응 관정 재활용 및 정비 기술
	Chain-saw cutting 방식을 통한 일반 및 강변여과 집수정의 단기 고성능 우물통 제작 시공 장비 및 시공방법 개발
	3차원 전기비저항 영상화 기반의 지하수 고부존 지역 정밀탐사 기법 개발
5. 기타	계곡 등 지류 상류지역의 지표수 연계 지하수 인공함양 설계, 시공, 유지관리 기술
	가뭄 우심지역 지하수 비상 네트워크 구축 및 활용 체계 개발
	실제증발산 모형구축과 이에 기초한 가뭄예측기술 및 지하수 활용연계 방안
	지표수와 심부지하수의 연계 활용 및 관리기술 (Conjunctiveuseandmanagementofsurfacewateranddeepgroundwater)
	IT 기반의 배후지 영향을 최소화하는 취수시설 운영 시스템 개발
	지하수자원을 연계한 다취수원 최적연계 용수공급 시스템 개발
	유역단위의 비상 가뭄 대응 자금운용 프로그램 기술 개발

2절. 기술수준 및 예측조사

1. 개요

가. 기술수준/예측조사의 목적

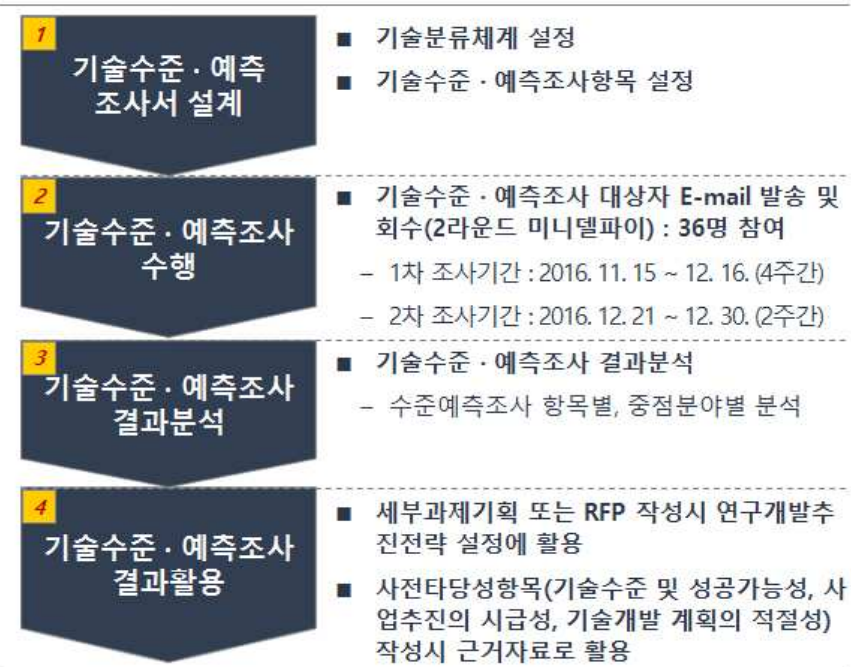
- ‘가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술 개발 기획’ 연구의 기술수준/예측조사는 관련 기술수준, 중요도 등 기술혁신 동향을 정량적으로 평가하여 과제우선순위평가를 위한 기초자료로 활용하는 것을 목적으로 함
- 산·학·연 전문가를 대상으로 가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수 자원 확보 및 활용기술의 기술수준, TRL단계, 중요도 등을 조사함
- 연구개발 사업 계획과 전략 수립에 활용하기 위해 적합한 자료와 다양한 예측방법을 사용하여 미래의 기술변화 파악에 필요한 정보를 수집함
- 현재 기술의 수준을 살펴봄으로써 기술변화를 예측하고, 이를 기반으로 기술개발의 방향을 설정함

나. 기술수준/예측조사의 절차

- 기술수준/예측조사는 기술수준/예측조사 설계, 기술수준/예측조사 수행, 기술수준/예측조사 결과분석, 기술수준/예측조사 결과 활용 순으로 추진함
- 기술수준/예측조사 설계단계에서는 기술수준/예측조사서 항목을 결정하고 기술수준/예측조사 대상자를 설정함
 - 조사항목은 기술수준/예측조사를 수행한 선행연구의 기술수준/예측조사항목을 검토하여 기술개발 추진방향 설정에 시사점을 줄 수 있는 항목으로 구성함
 - 세부 기술분야별 최고기술 보유국과 최고기술 보유국 대비 국내 기술수준, 기술격차, 격차년도, TRL, 인프라 성숙도, 기술적 중요도, 기술획득 방식, 정부 우선 시행방안 등을 조사항목으로 설정함
- 기술수준/예측조사 수행단계에서는 기술수준/예측조사 대상자에게 조사서를 발송하고 회신함
 - 기술수준/예측조사 단계에서는 사전 분석된 논문/특허 분석 결과를 첨부하여 조사대상자가 해당 기술의 트렌드를 충분히 숙지하고 참고할 수 있도록 하여 조사의 신뢰성을 높임

- 기술수준/예측조사 결과분석단계에선 기술분류체계별 조사 결과에 대한 통계분석과 기술수준-중요도, 기술격차-격차추세, 기술기반 성숙도-중요도의 포트폴리오 분석을 수행함
- 기술수준/예측조사 결과활용단계에서는 분석결과를 기반으로 세부과제기획 또는 RFP 작성 시 연구개발추진전략 설정에 활용하고 사전타당성(기술수준 및 성공가능성, 사업추진의 시급성, 기술개발 계획의 적절성) 작성 시 근거자료로 활용함

조사 절차



[그림 92] 기술수준/예측조사 프로세스

다. 기술수준/예측조사 발송 및 응답개요

- 기술수준/예측조사는 내부 기획연구진 및 외부 산학연전문가들을 대상으로 E-mail을 발송하여 조사함

<표 58> 기술수준/예측조사 발송 및 응답개요

구분	내용
조사기간	- 1차 조사기간 : 2016. 11. 15 ~ 12. 16. (4주간) - 2차 조사기간 : 2016. 12. 21 ~ 12. 30. (2주간)
조사대상	- 내부 기획연구진 및 외부 산학연전문가
조사방법	- E-mail을 통한 설문조사

라. 기술수준/예측조사 항목 설정

(1) 국내 기술수준 및 기술격차

☐ 아래의 ‘국내 기술수준’ 항목은 ‘16년 현재 시점에서 해당기술의 최고기술 보유국 대비 국내 기술수준을 의미함

○ 기술수준의 평가 기준은 다음과 같음

<표 59> 기술수준 평가 기준

기술수준	내용
100%	- 독보적 세계 최고
81% ~ 99%	- 기술 분야를 선도
61% ~ 80%	- 선진기술의 모방개량이 가능
41% ~ 60%	- 선진기술의 도입적용이 가능
1% ~ 40%	- 연구개발능력이 취약
0%	- 우리나라에서 관련 연구가 전혀 진행되고 있지 않음

☐ ‘기술격차’는 국내 기술수준이 세계최고기술에 도달하기까지 소요되는 시간(단위:년)임

☐ ‘기술격차추세’는 세계 최고기술과 국내 기술수준 격차가 어떻게 변화하고 있는지를 나타내는 지표로 5점 척도로 평가함

○ 기술격차추세의 평가 기준은 다음과 같음

<표 60> 기술격차추세 평가 기준

구분	내용
5	- 최고기술과 기술격차가 “빠르게 확대 중”
4	- 최고기술과 기술격차가 “확대 중”
3	- 최고기술과 기술격차가 “유지되고 있음”
2	- 최고기술과 기술격차가 “축소 중”
1	- 최고기술과 기술격차가 “빠르게 축소 중”

(2) 최고기술 보유국

☐ ‘최고기술 보유국’은 ‘16년 현재 시점에서 해당기술의 최고기술을 보유한 국가임

(3) 기술성숙도(TRL)

□ ‘기술성숙도(TRL)’는 해당기술의 국내외 기술성숙도를 나타내는 지표임

○ 기술성숙도(TRL)의 평가 기준은 다음과 같음

<표 61> 기술성숙도(TRL) 평가 기준

기술성숙도 단계	내용
1단계	- 기초이론/실험 등 기초연구가 시작되고 응용연구로 전환되기 시작하는 단계
2단계	- 실용목적의 아이디어, 특허 등 개념이 정립되는 단계
3단계	- 실험실 규모의 기본성능평가가 수행되는 단계
4단계	- 실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되는 단계
5단계	- 확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계
6단계	- 파일럿 규모의 시작품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계
7단계	- 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이뤄지는 단계
8단계	- 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계
9단계	- 사업화가 완료된 단계

(4) 기술기반 성숙도

□ ‘기술기반 성숙도’는 ‘16년 현재 시점에서 해당 기술과 관련된 국내 산업/기술 연구인력, 장비 등 인프라 수준을 나타내는 지표로 5점 척도로 제시함

○ 기술기반 성숙도의 평가 기준은 다음과 같음

<표 62> 기술기반 성숙도 평가 기준

구분	내용
5	- 세계선도 연구인력 및 장비 등 확보
4	- 최고기술보유국과 동등한 수준
3	- 최고기술보유국보다 낮지만 자체연구개발 수행가능 인력 장비 확보
2	- 국내 관련 연구인력, 장비가 매우적어 해외협력연구가 필요한 수준
1	- 국내 관련 연구인력, 장비 인프라 전무

(5) 기술적 중요도

- ☐ ‘기술 핵심성’은 해당기술이 ‘가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수 자원 확보 및 활용기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도를 나타내는 지표로 5점 척도로 제시함

○ 기술 핵심성의 평가 기준은 다음과 같음

<표 63> 기술 핵심성 평가 기준

구분	내용
5	해당기술이 ‘가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 매우 높음
4	해당기술이 ‘가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 높음
3	해당기술이 ‘가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 보통임
2	해당기술이 ‘가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 낮음
1	해당기술이 ‘가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 매우 낮음

- ☐ ‘시급성’은 해당 기술이 적정 수준을 구현해야 하는 시기를 고려하여 기술개발이 시급한 정도를 나타내는 지표로 5점 척도로 제시함

○ 시급성의 평가 기준은 다음과 같음

<표 64> 시급성 평가 기준

구분	내용
5	- 적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 매우 시급함
4	- 적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 시급함
3	- 적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 시급한 정도가 보통임
2	- 적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 시급하지 않음
1	- 적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 전혀 시급하지 않음

- ☐ ‘과학기술적 파급효과’는 해당 기술이 타 요소기술 개발에 미치는 영향력을 나타내는 지표로 5점 척도로 제시함

○ 과학기술적 파급효과의 평가 기준은 다음과 같음

<표 65> 과학기술적 파급효과 평가 기준

구분	내용
5	- 타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 매우 높음
4	- 타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 높음
3	- 타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 보통임
2	- 타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 낮음
1	- 타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 매우 낮음

(6) 기술획득방식

☐ ‘기술획득방식’은 해당 기술의 기술개발을 위해 적합한 연구 주체를 나타냄

○ 기술획득방식은 아래 4개 항목 중 하나를 선택하여 조사함

<표 66> 기술획득방식 조사 항목

구분	내용
자체 개발	민간 - 기술이 사업에 직접 적용될 수 있거나 민간의 역량이 우수하여 민간이 주도하는 것이 바람직함
	정부 - 기술의 공공성이 강하거나 민간의 역량이 부족하고 기초 단계 연구개발이 필요하여 정부출연연구소 또는 기관을 중심으로 정부가 주도하는 것이 바람직함
	공동 - 정부와 민간이 매칭펀드 또는 역할분담을 통하여 공동으로 개발을 추진하는 것이 바람직함
기술도입 및 국제공동연구	- 국내 개발 역량이 미흡하거나 해외 우수 기술의 도입을 통하여 비용을 크게 절감할 수 있어 독자적 개발보다는 국제공동개발 또는 해외 기술을 도입하는 것이 바람직함

(7) 정부우선시행방안

☐ ‘정부우선시행방안’은 해당 기술의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 정책을 의미함

○ 정부우선시행방안은 아래 5개 항목의 중요도 비중을 조사함

<표 67> 정부우선시행방안 조사 항목

구분	내용
인력양성	- 해당기술에 인력이 절실히 부족하여 인력양성을 위한 정책적 지원 필요
협력교류 활성화	- 기술의 성격상 다학제적 연구 또는 산학연 및 국제공동연구가 필요하며 협력교류 활성화를 위한 정책적 지원 필요
인프라구축	- 기술 개발을 위해 설비투자 등의 인프라구축이 필요
연구비확대	- 기술 개발을 위해 연구개발비 확대 및 신규 투자가 필요
제도개선	- 규제 완화/정책 수립/법규 제정/표준화 지원 등 연구개발을 촉진하기 위한 제도의 수립 또는 개선이 필요

2. 기술수준/예측조사 결과

□ 기술수준/예측조사의 4개 분야별 종합 결과는 아래와 같음

<표 68> 기술수준/예측조사 결과

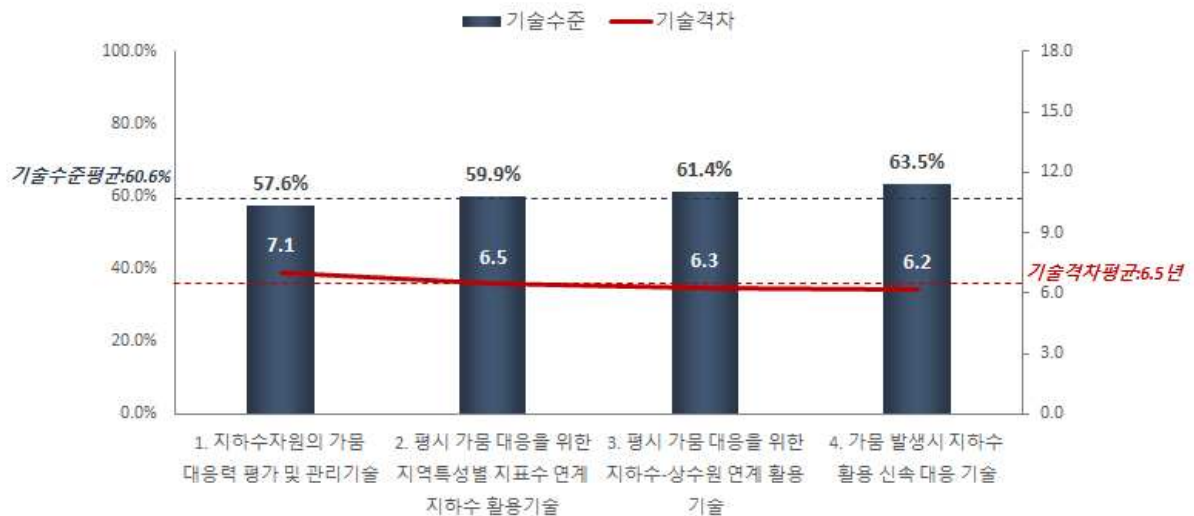
구분		가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술			
		1. 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술	2. 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술	3. 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술	4. 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술
기술수준(%)		57.6%	59.9%	61.4%	63.5%
기술격차(년)		7.1	6.5	6.3	6.2
기술격차추세 (5점척도)		2.97	3.02	2.96	2.95
기술적중요도 (5점척도)		3.6	3.7	3.7	3.6
시급성(5점척도)		3.7	3.7	3.7	3.6
파급효과(5점척도)		3.6	3.7	3.6	3.8
기술획득 방식(%)	민간	6.9%	3.3%	7.7%	19.1%
	정부	42.8%	41.1%	26.7%	20.0%
	정부/민간 공동	43.8%	47.7%	57.9%	52.2%
	기술도입 및 국제공동 연구	6.6%	7.9%	7.7%	8.7%
정부우선 시행방안 (%)	인력양성	13.2%	10.0%	7.1%	11.1%
	협력교류 활성화	21.3%	23.5%	25.5%	21.7%
	인프라 구축	21.3%	22.5%	23.4%	24.0%
	연구비 확대	38.2%	33.2%	34.0%	34.6%
	제도개선	6.1%	10.7%	9.9%	8.8%

3. 기술수준/예측분석 결과

가. 기술수준 및 기술격차

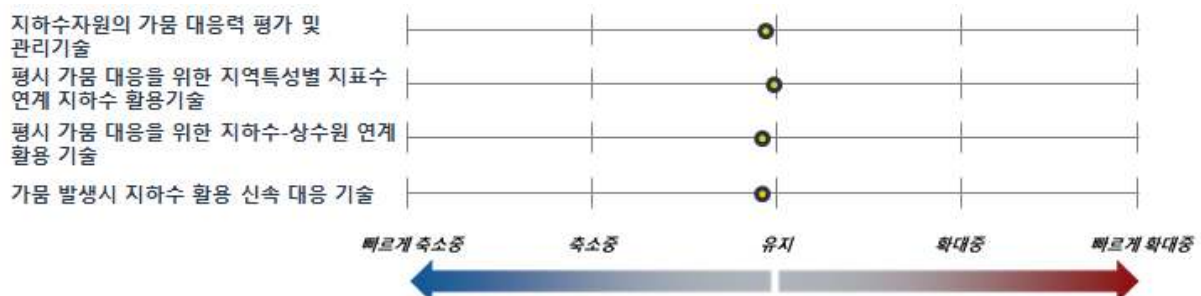
(1) 총괄

- 가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술의 기술수준 평균은 60.6%, 기술격차는 6.5년으로 조사됨
- 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술의 기술 수준이 63.5%로 가장 높으며, 기술격차도 6.2년으로 가장 낮게 나타남
- 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술의 기술수준이 57.6%로 가장 낮으며, 기술격차도 7.1년으로 가장 높게 나타남



[그림 93] 가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술의 기술수준 및 기술격차

- 4개 기술 모두 기술격차는 대체로 유지 중 또는 약하게 축소 중인 것으로 조사되었음



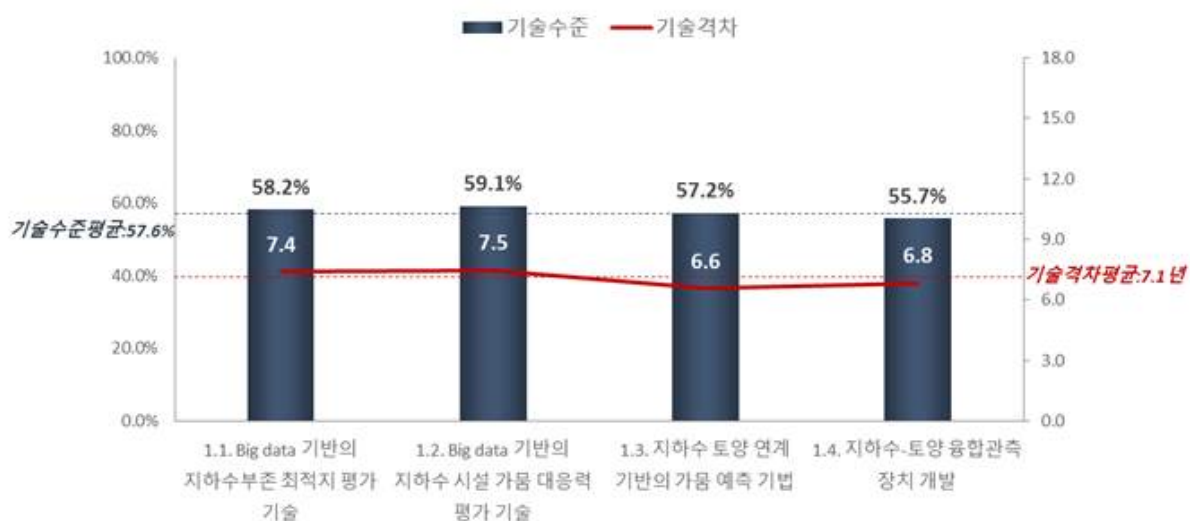
[그림 94] 가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술의 기술격차 추세

(2) 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술

□ 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술의 기술수준은 평균 57.6%, 기술격차는 평균 7.1년이며, 기술격차추세는 일부 축소 중인 것으로 나타남

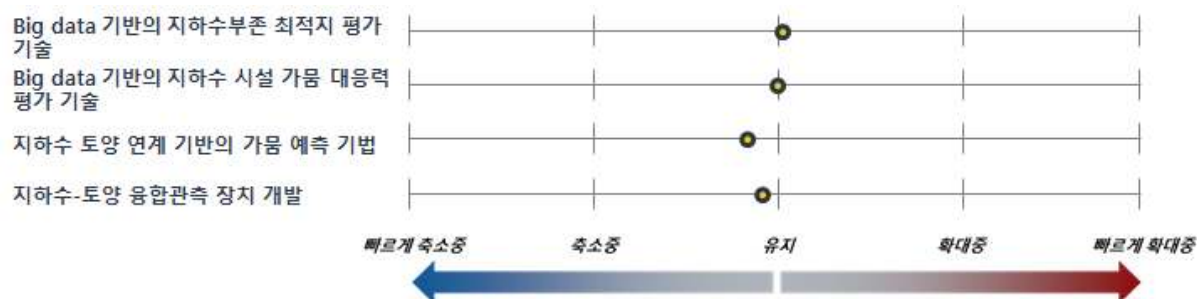
○ 4개 소분류의 기술 수준은 모두 60% 미만으로, Big data 기반의 지하수시설 가뭄 대응력 평가 기술의 기술 수준이 59.1%로 가장 높으나 기술격차는 7.5년으로 가장 많은 차이가 있음

○ 지하수-토양 융합관측 장치 개발 기술의 기술 수준이 55.7%로 가장 낮으며, 기술격차는 지하수 토양 연계 기반의 예측 기법 기술이 6.6년으로 가장 적었음



[그림 95] 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술의 기술수준 및 기술격차

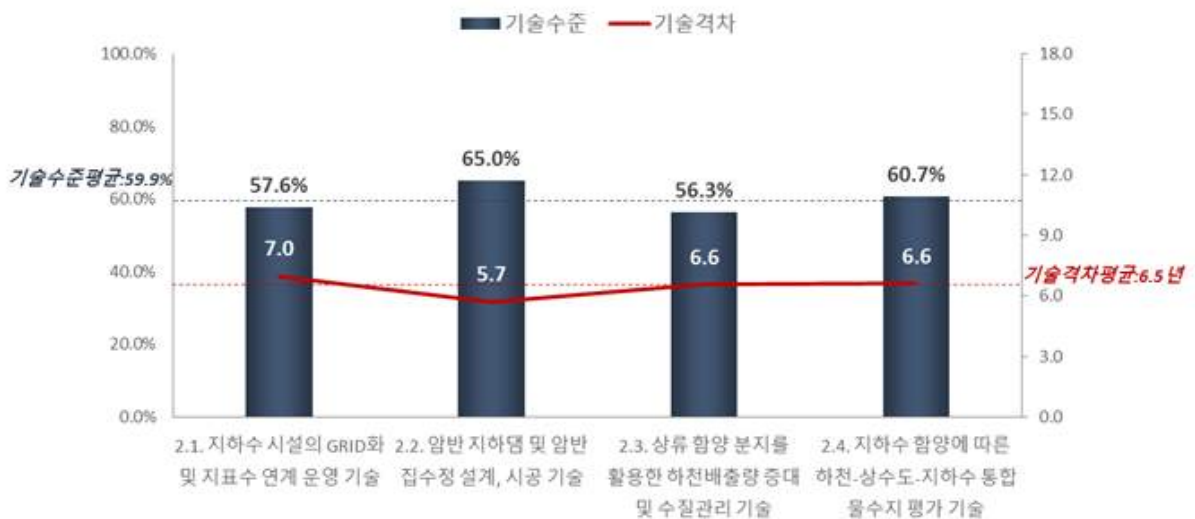
○ 기술격차가 좁은 지하수 토양 연계 기반의 가뭄 예측 기법 기술의 기술격차가 축소 추세를 보이며, 그 외에는 대체로 유지 중임



[그림 96] 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술의 기술격차 추세

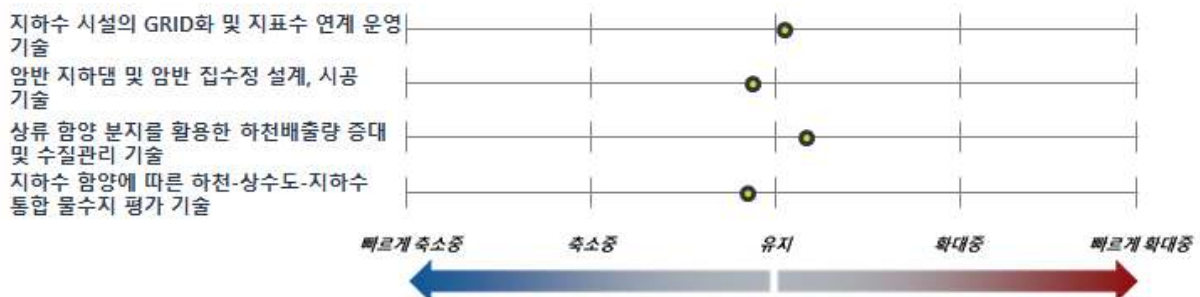
(3) 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술

- 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술의 기술수준은 평균 59.9%, 기술격차는 평균 6.5년이며, 기술격차추세는 확대와 축소가 고르게 나타남
- 암반 지하댐 및 암반 집수정 설계, 시공 기술이 65.0%로 가장 높은 기술 수준을 보였으며, 기술격차도 5.7년으로 가장 적은 것으로 나타남
- 그 외 3개 기술은 모두 6.6~7.0년 수준의 높은 기술격차를 보이며, 상류 함양 분지를 활용한 하천배출량 증대 및 수질관리 기술의 기술 수준이 56.3%로 가장 낮음



[그림 97] 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술의 기술수준 및 기술격차

- 기술격차가 큰 지하수 함양에 따른 하천-상수도-지하수 통합 물수지 평가 기술이 가장 빠른 격차 축소 기조를 보임



[그림 98] 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술의 기술격차 추세

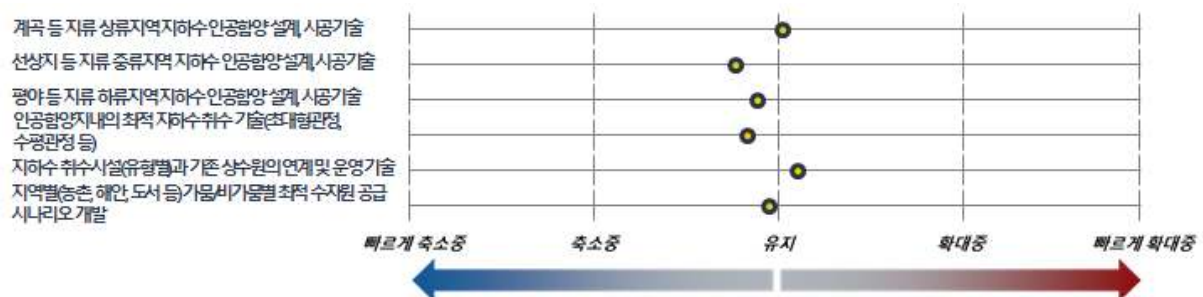
(4) 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술

- 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술의 기술수준은 평균 61.4%, 기술격차는 평균 6.3년이며, 기술격차추세는 대체로 축소 중인 것으로 나타남
- 전체적으로 60% 내외의 기술 수준을 보이고 있으며, 평야 등 지류 하류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술과 인공함양지내의 최적 지하수 취수 기술의 수준이 63.6%로 가장 높음
- 기술격차는 기술수준과 유사한 양상을 보이며, 기술수준이 가장 낮은 계곡 등 지류 상류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술의 격차가 7.1로 가장 크게 나타남



[그림 99] 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술의 기술수준 및 기술격차

- 기술수준이 상대적으로 높은 3개 기술에서 격차가 축소 중인 것으로 나타남



[그림 100] 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술의 기술격차 추세

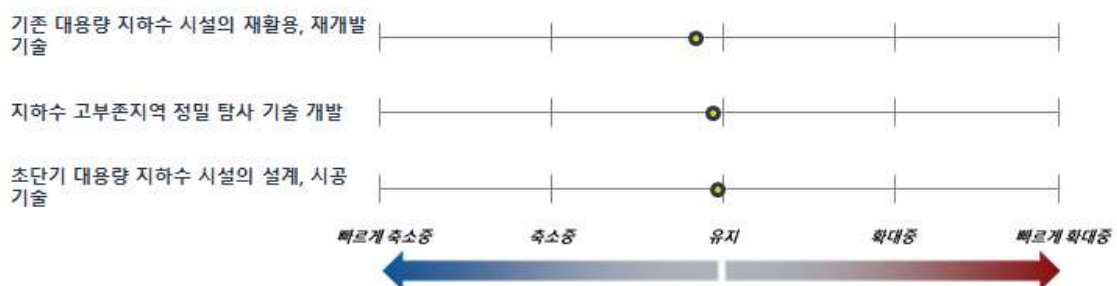
(5) 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술

- 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술의 기술수준은 평균 63.5%, 기술격차는 평균 6.2년이며, 기술격차추세는 일부 축소 중인 것으로 나타남
- 기술 수준은 모두 62%를 상회하여 상대적으로 높은 수준을 보이고 있으며, 기존 대용량 지하수 시설의 재활용, 재개발 기술의 수준이 65.2%로 가장 높게 나타남
- 기술격차는 6.1~6.3년으로 3개 소분류별 큰 차이를 보이지 않음



[그림 101] 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술의 기술수준 및 기술격차

- 기술수준이 가장 높은 기존 대용량 지하수 시설의 재활용, 재개발 기술은 기술격차추세가 축소 중이며, 다른 2개 기술은 유지 중임



[그림 102] 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술의 기술격차 추세

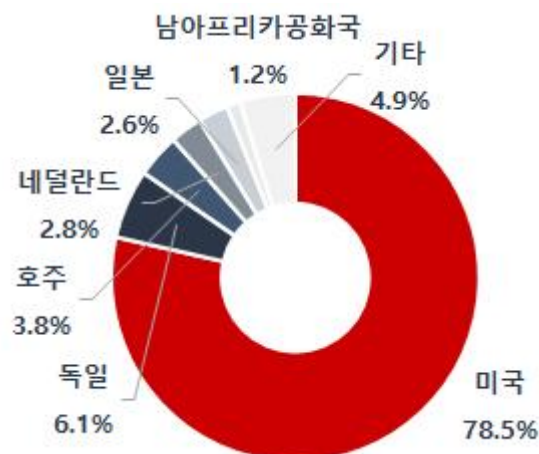
나. 최고기술보유국

(1) 총괄

- 가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술의 최고기술

보유국을 조사한 결과 미국이 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타남

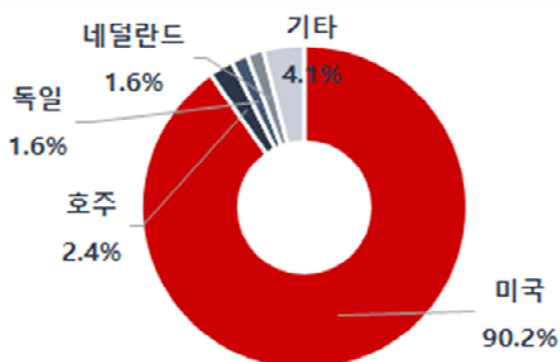
- 최고기술보유국은 미국(78.5%), 독일(6.1%), 호주(3.8%) 순으로 조사되었으며, 이를 동향 및 환경분석 대상국가로 고려할 수 있음
- 그 외 네덜란드, 일본, 남아공 등이 일부 최고기술 보유국으로 조사됨



[그림 103] 가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술의 최고기술보유국 비중

(2) 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술

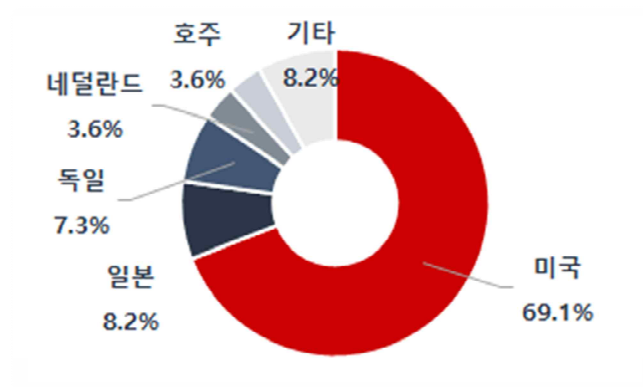
- 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 미국 90.2%, 호주 2.4%, 독일과 네덜란드 1.6%로 미국의 비중이 압도적임



[그림 104] 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술 최고기술보유국 비중

(3) 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술

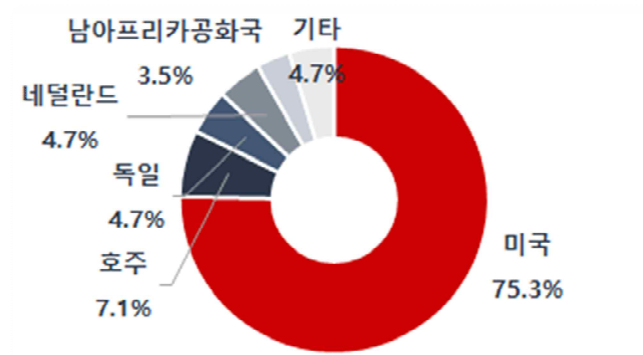
- 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 미국 69.1%, 일본 8.2%, 독일 7.3%로 조사되었음



[그림 105] 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술 최고기술보유국 비중

(4) 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술

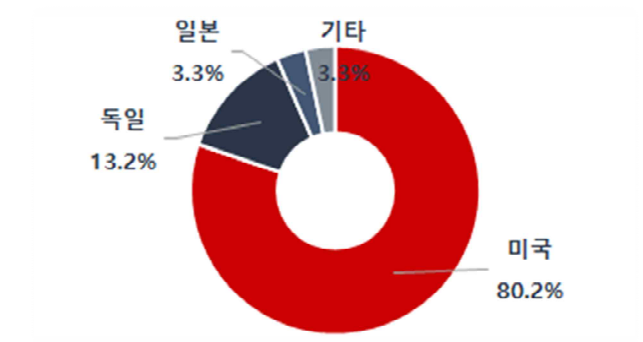
□ 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 미국 75.3%, 호주 7.1%, 독일과 네덜란드 4.7%로 조사되었음



[그림 106] 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술 최고기술보유국 비중

(5) 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술

□ 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 미국 80.2%, 독일 13.2%, 일본 3.3%로 조사되었음



[그림 107] 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술 최고기술보유국 비중

다. 기술성숙도(TRL)

(1) 총괄

- 가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술의 평균 국외 TRL은 6~7단계, 국내는 3~4단계에 있는 것으로 나타났으며, 향후 TRL 성과달성을 통한 계량적 평가 시 활용할 수 있음
- 국내 가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용 기술의 TRL단계는 3~4단계로 실험실 규모의 기본 및 핵심 성능평가가 수행되고 있는 것으로 나타남
- 현재 국외의 경우 파일럿 규모의 시작품 제작 및 성능평가, 신뢰성 평가 단계가 완료되고 있는 것으로 분석되었으며, 향후 이를 고려한 기술개발 종료시점의 TRL 설정이 필요함



[그림 108] 가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술의 기술성숙도

(2) 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술

- 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술의 평균 국외 TRL은 6~7단계, 국내는 3~4단계에 있음
- Big data 기반의 지하수 시설 가뭄 대응력 평가 기술의 국외 TRL은 7단계, 국내 TRL은 3단계로 가장 큰 차이를 보임
- Big data 기반의 지하수부존 최적지 평가 기술은 유일하게 국내 TRL 4단계로 실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되는 단계임



[그림 109] 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술의 기술성숙도

(3) 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술

- 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술의 평균 국외 TRL은 6~7단계, 국내 TRL은 3~4단계에 있음
- 지하수 시설의 network화 및 지표수 연계 운영 기술과 상류 함양 분지를 활용한 하천배출량 증대 및 수질관리 기술의 국내 TRL은 3단계로 실험실 규모의 기본성능평가가 수행 중임
- 암반 지하댐 및 암반 집수정 설계, 시공 기술과 지하수 함양에 따른 하천-상수도-지하수 통합 물수지 평가 기술의 국내 TRL은 4단계로 실험실 규모의 핵심성능평가가 수행 중임



[그림 110] 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술의 기술성숙도

(4) 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술

- 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술의 평균 국외 TRL은 6~7단계, 국내 TRL은 4단계에 있음
- 전체 기술에서 국내 TRL은 4단계로 실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되고 있음
- 국외 TRL은 6~7단계이며, 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가, 신뢰성 평가 단계가 완료 중임



[그림 111] 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술의 기술성숙도

(5) 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술

- 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술의 평균 국외 TRL은 7단계, 국내 TRL은 4~5단계에 있음
- 기존 대용량 지하수 시설의 재활용, 재개발 기술의 국내 TRL은 5단계로 확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행 중임
- 기타 2개 소분류 기술의 TRL은 4단계로 실험실 규모의 핵심성능평가가 수행 중임
- 국외 TRL은 7단계로 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계임



[그림 112] 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술의 기술성숙도

라. 기술기반(인프라) 성숙도

- 가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용 기술의 인프라 (산업기술 연구인력, 장비 등) 성숙도 조사결과 대부분 자체수행이 가능한 것으로 나타남
- 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술에서는 모든 소분류 기술에서 자체수행이 가능한 수준이나 상대적으로 인프라 성숙도가 타 기술에 비해 약간 미달하였음



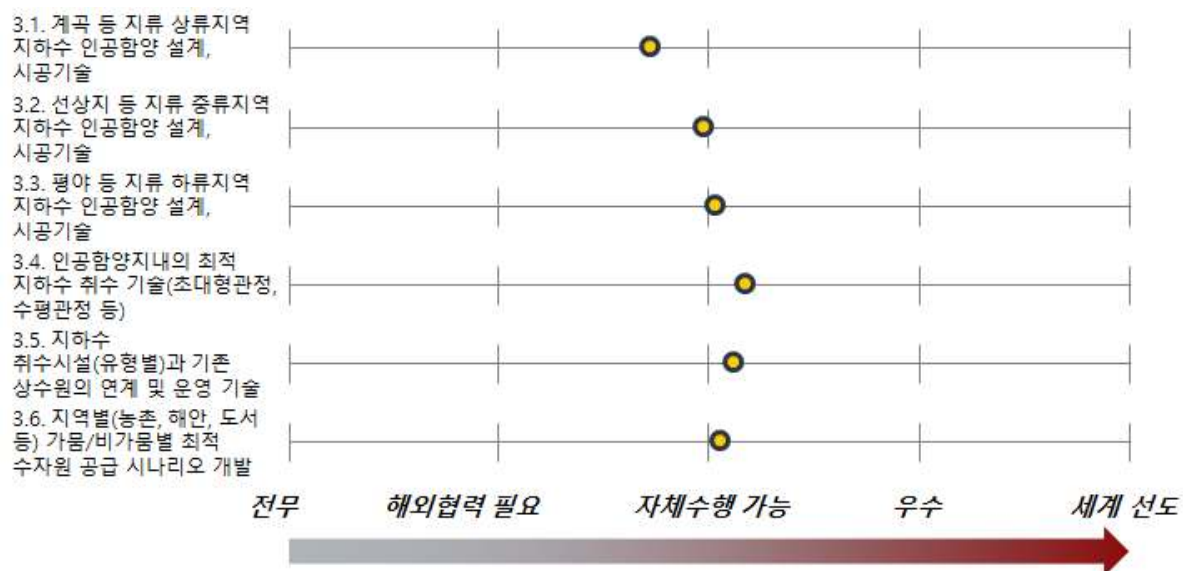
[그림 113] 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술의 기술기반 인프라 성숙도

- 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술에서는 암반 지하댐 및 암반 집수정 설계, 시공 기술이 상대적으로 우수하게 나타났음



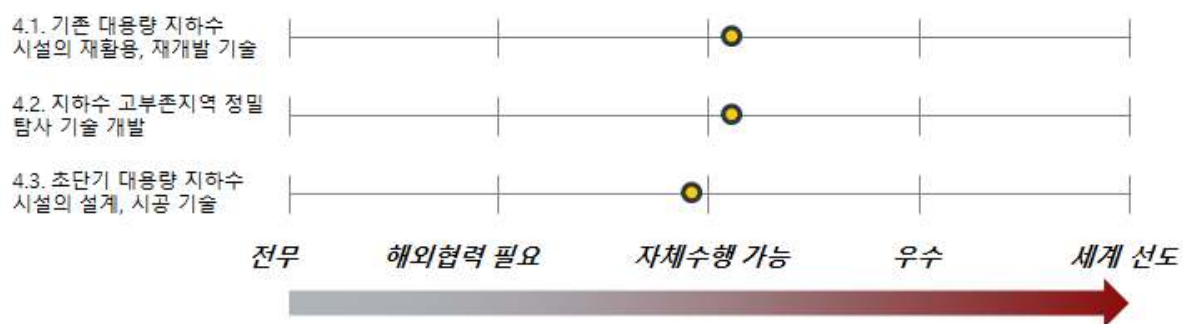
[그림 114] 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술의 기술기반 인프라 성숙도

- 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술에서는 계곡 등 지류 상류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술 분야에서 약간의 해외 협력이 필요할 수 있으며, 나머지는 자체수행이 가능한 수준임



[그림 115] 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술의 기술기반 인프라 성숙도

- 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술에서는 초단기 대응량 지하수 시설의 설계, 시공 기술 분야에서 성숙도가 조금 부족하지만, 대체로 자체수행이 충분히 가능한 수준임

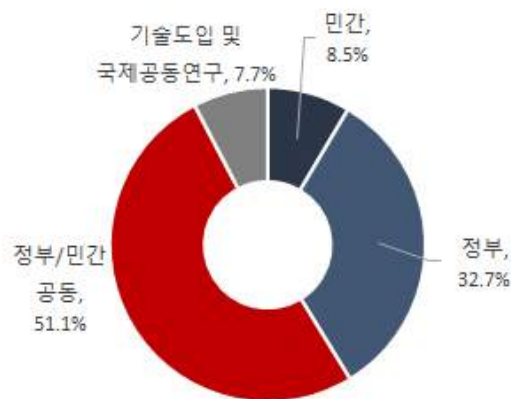


[그림 116] 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술의 기술기반 인프라 성숙도

바. 기술획득 방식

(1) 총괄

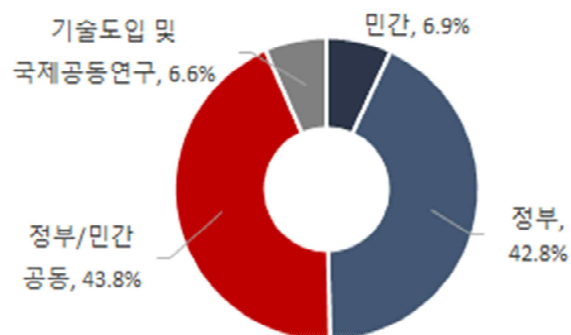
- 가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술의 기술획득 방식을 조사한 결과 정부/민간 공동연구가 가장 높은 비중을 차지함
- 기술획득방식은 정부-민간 공동추진(51.1%), 정부주도추진(32.7%) 순으로 높게 나타났으며, 향후 연구개발 추진주체 및 매칭펀드 설정 시 고려해야 함



[그림 117] 가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술의 최고기술보유국 비중

(2) 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술

- 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술의 기술획득방식을 조사한 결과 정부/민간 공동연구가 가장 높은 비중을 차지함
- 기술획득방식은 정부-민간 공동추진(43.8%), 정부주도추진(42.8%) 순으로 높게 나타났음

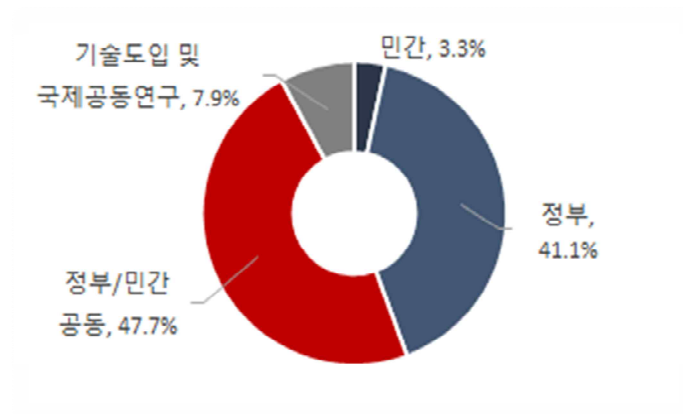


[그림 118] 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술 최고기술보유국 비중

(3) 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술

□ 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술의 기술획득방식을 조사한 결과 정부/민간 공동연구가 가장 높은 비중을 차지함

○ 기술획득방식은 정부-민간 공동추진(47.7%), 정부주도추진(41.1%) 순으로 높게 나타났음

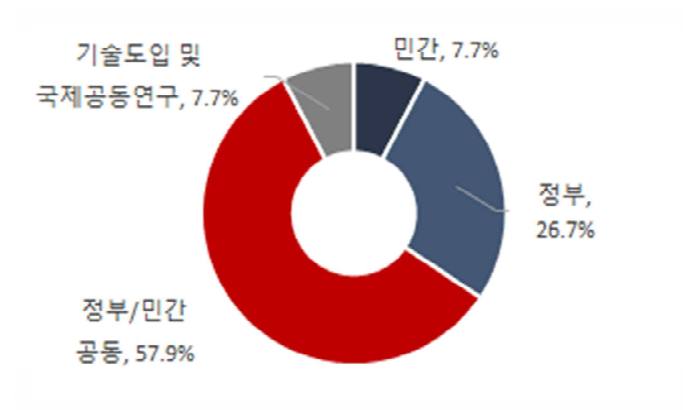


[그림 119] 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술 최고기술보유국 비중

(4) 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술

□ 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술의 기술획득방식을 조사한 결과 정부/민간 공동연구가 가장 높은 비중을 차지함

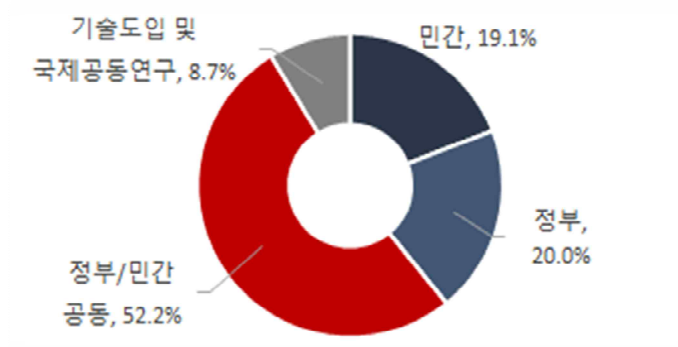
○ 기술획득방식은 정부-민간 공동추진(57.9%), 정부주도추진(26.7%) 순으로 높게 나타났음



[그림 120] 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술 최고기술보유국 비중

(5) 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술

- 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술의 기술획득방식을 조사한 결과 정부/민간 공동연구가 가장 높은 비중을 차지함
- 기술획득방식은 정부-민간 공동추진(52.2%), 정부주도추진(20.0%) 순으로 높게 나타났음

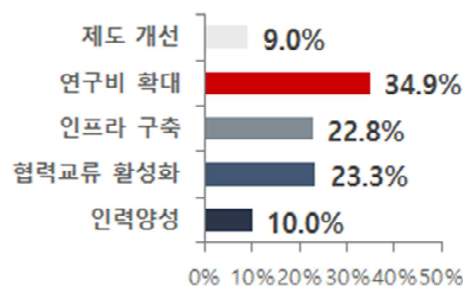


[그림 121] 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술 최고기술보유국 비중

사. 정부 우선 시행방안

(1) 총괄

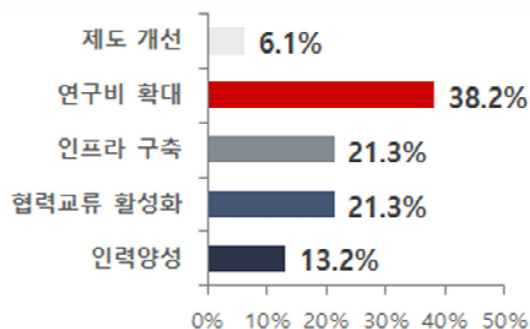
- 가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대에 나타남
- 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안이 연구비 확대라는 응답 비중이 34.9%로 가장 큼
- 그 외 응답은 협력교류 활성화(23.3%), 인프라 구축(22.8%), 인력양성(10.0%), 제도개선(9.0%) 순으로 조사됨



[그림 122] 가뭄 대응을 위한 지표수 연계기반 지하수자원 확보 및 활용기술의 정부우선 시행방안 비중

(2) 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술

- 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남
- 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안으로 연구비 확대가 38.2%로 가장 높은 비중을 차지함



[그림 123] 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술의 정부우선 시행방안 비중

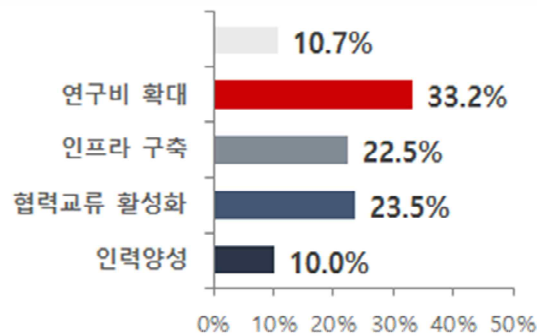
- 중분류 모든 분야에서 연구비 확대가 가장 비중이 높으며, 일부 기술 분야에서는 협력교류 활성화, 일부 기술 분야에서는 인프라 구축이 차순으로 나타남

<표 69> 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술의 정부우선 시행방안 조사결과

중분류	정부 우선 시행방안(%)				
	인력양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도개선
1.1. Big data 기반의 지하수부존 최적지 평가 기술	15.8%	22.4%	14.5%	42.1%	5.3%
1.2. Big data 기반의 지하수 시설 가뭄 대응력 평가 기술	13.2%	23.5%	14.7%	38.2%	10.3%
1.3. 지하수 토양 연계 기반의 가뭄 예측 기법	15.7%	20.5%	24.1%	36.1%	3.6%
1.4. 지하수-토양 융합관측 장치 개발	7.2%	18.8%	31.9%	36.2%	5.8%

(3) 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술

- 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남
- 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술의 기술적 실현을 위해 정부가 시행해야 할 방안으로 연구비 확대를 택한 비중은 33.2%로 가장 높음



[그림 124] 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술의 정부우선 시행방안 비중

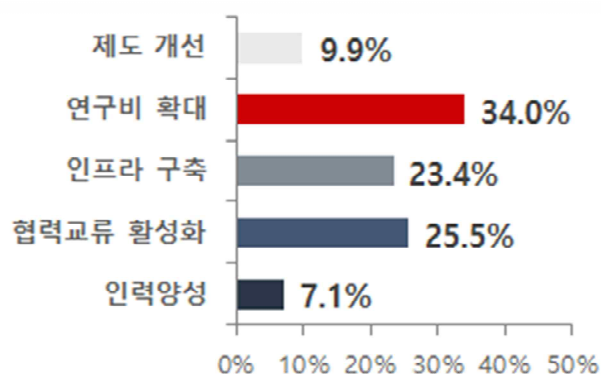
- 중분류 모든 분야에서 연구비 확대가 가장 비중이 높으며, 일부 기술 분야에서는 협력교류 활성화, 일부 기술 분야에서는 인프라 구축이 차순으로 나타남

<표 70> 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술의 정부우선 시행방안 조사결과

중분류	정부 우선 시행방안(%)				
	인력양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도개선
2.1. 지하수 시설의 network화 및 지표수 연계 운영 기술	12.2%	27.0%	17.6%	29.7%	13.5%
2.2. 암반 지하댐 및 암반 집수정 설계, 시공 기술	5.7%	20.0%	31.4%	34.3%	8.6%
2.3. 상류 함양 분지를 활용한 하천배출량 증대 및 수질관리 기술	7.1%	21.4%	25.7%	35.7%	10.0%
2.4. 지하수 함양에 따른 하천-상수도-지하수 통합 물수지 평가 기술	14.7%	25.3%	16.0%	33.3%	10.7%

(4) 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술

- 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대 및 협력교류 활성화인 것으로 나타남
- 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안으로 연구비 확대가 34.0%로 가장 높은 비중을 차지함



[그림 125] 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술의 정부우선 시행방안 비중

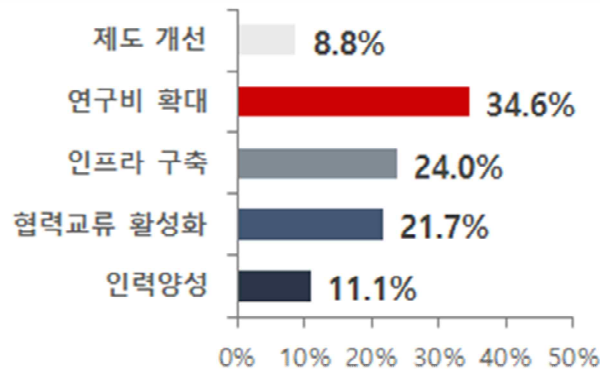
- 중분류 대부분의 분야에서 연구비 확대가 가장 비중이 높으며, 일부 기술 분야에서는 협력교류 활성화가 가장 높은 비중을 차지함

<표 71> 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술의 정부우선 시행방안 조사결과

중분류	정부 우선 시행방안(%)				
	인력양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도개선
3.1. 계곡 등 지류 상류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술	8.6%	21.4%	25.7%	38.6%	5.7%
3.2. 선상지 등 지류 중류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술	8.8%	20.6%	25.0%	41.2%	4.4%
3.3. 평야 등 지류 하류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술	9.0%	25.4%	23.9%	37.3%	4.5%
3.4. 인공함양지내의 최적 지하수 취수 기술(초대형관정, 수평관정 등)	4.3%	25.7%	27.1%	40.0%	2.9%
3.5. 지하수 취수시설(유형별)과 기존 상수원의 연계 및 운영 기술	5.6%	31.9%	20.8%	22.2%	19.4%
3.6. 지역별(농촌, 해안, 도서 등) 가뭄/비가뭄별 최적 수자원 공급 시나리오 개발	6.6%	27.6%	18.4%	26.3%	21.1%

(5) 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술

- 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대 및 협력교류 활성화인 것으로 나타남
- 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안으로 연구비 확대가 34.6%로 가장 높은 비중을 차지함



[그림 126] 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술의 정부우선 시행방안 비중

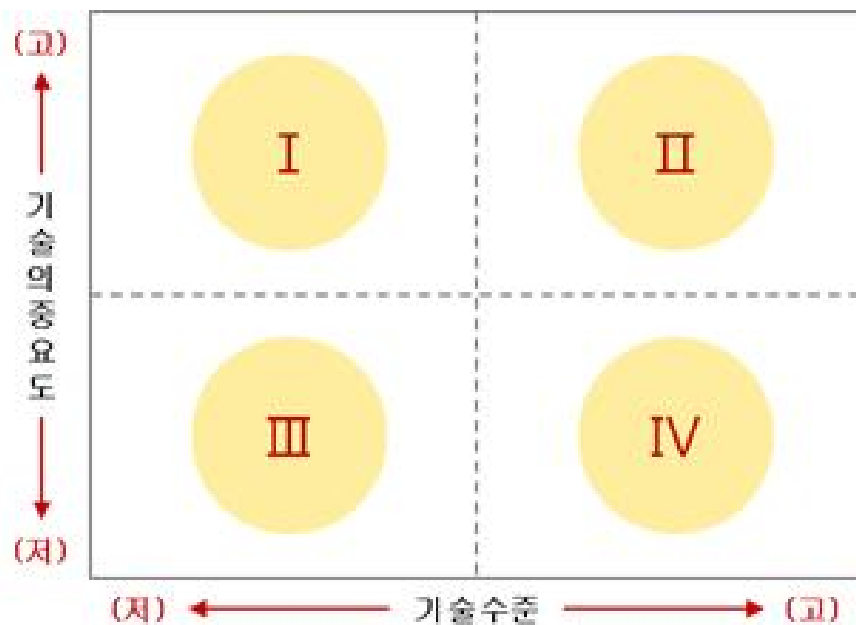
- 중분류 모든 분야에서 연구비 확대가 가장 비중이 높으며, 일부 기술 분야에서는 협력교류 활성화, 일부 기술 분야에서는 인프라 구축이 차순으로 나타남

<표 72> 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술의 정부우선 시행방안 조사결과

중분류	정부 우선 시행방안(%)				
	인력양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도개선
4.1. 기존 대용량 지하수 시설의 재활용, 재개발 기술	7.7%	24.4%	23.1%	28.2%	16.7%
4.2. 지하수 고부존지역 정밀 탐사 기술 개발	20.0%	20.0%	18.6%	38.6%	2.9%
4.3. 초단기 대용량 지하수 시설의 설계, 시공 기술	5.8%	20.3%	30.4%	37.7%	5.8%

아. 기술수준-중요도 포트폴리오 분석

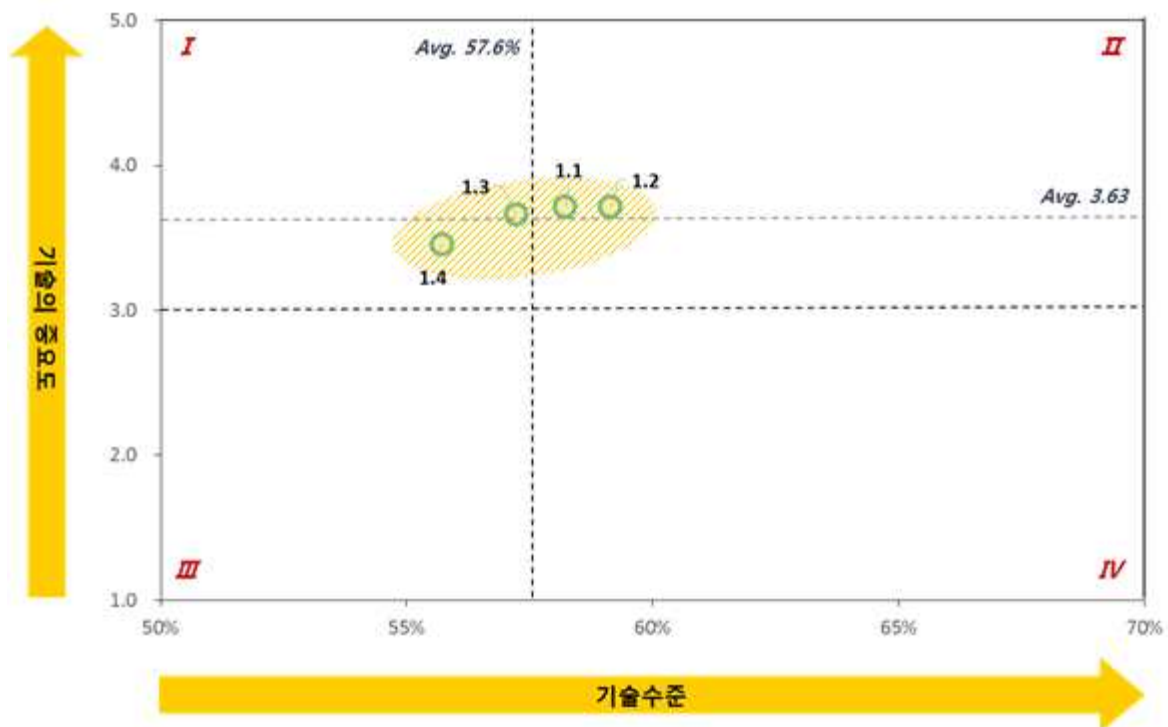
- 아래의 각 4분면별 전략은 기술 수준과 기술의 중요도를 축으로 함
- I : 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준향상을 추구해야 하는 영역
 - II : 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 유망한 영역
 - III : 기술 및 시장변화에 따른 대응이 필요한 영역
 - IV : 기술시급성이나 파급효과는 높지 않으나 수익성이 양호하여 다른 핵심 기술과 연계성을 전략적으로 고려해야 하는 영역



[그림 127] 기술수준-중요도 포트폴리오 영역구분

(1) 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술

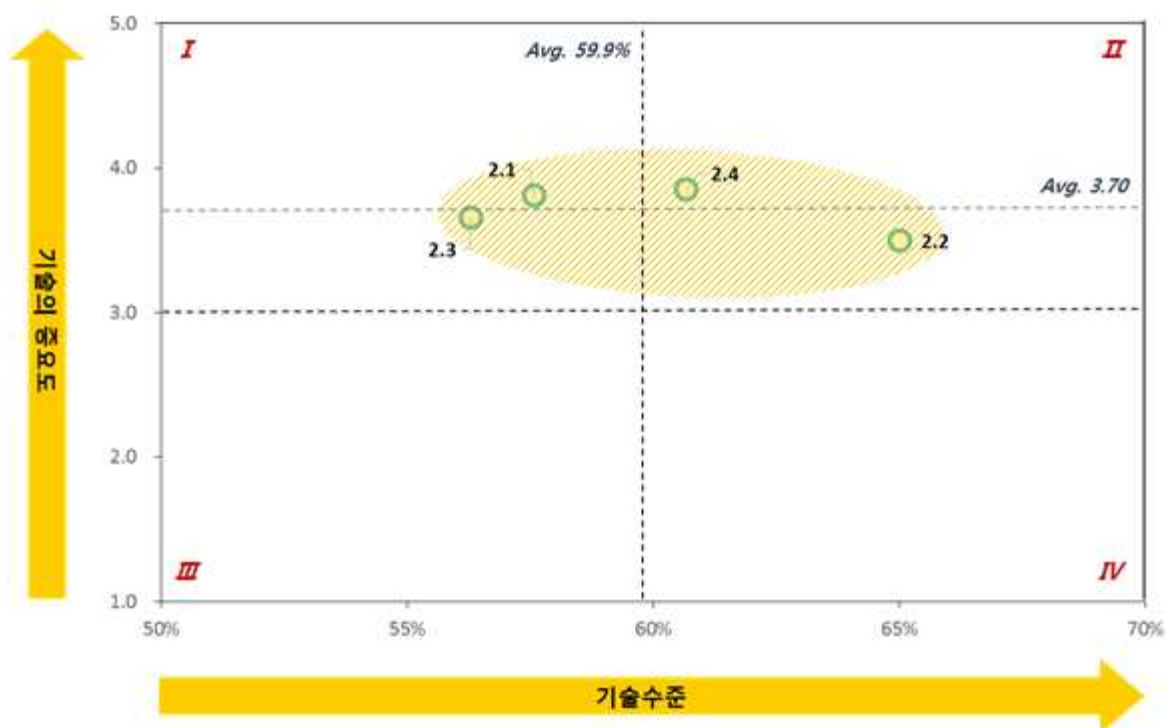
- 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술 분야는 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 I, II 영역에 해당되는 것으로 분석됨
- 1.3(지하수 토양 연계 기반의 가뭄 예측 기법), 1.4(지하수-토양 융합관측 장치 개발)은 I 영역에 포함되어 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준향상을 추구해야하는 영역임
 - 1.1(Big data 기반의 지하수부존 최적지 평가 기술), 1.2(Big data 기반의 지하수 시설 가뭄 대응력 평가 기술)은 II 영역에 포함되어 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 유망한 영역임



[그림 128] 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술 분야 기술수준-중요도 포트폴리오

(2) 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술

- 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술 분야는 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 I, II 영역에 해당되는 것으로 분석됨
- 2.1(지하수 시설의 network화 및 지표수 연계 운영 기술), 2.3(상류 함양 분지를 활용한 하천배출량 증대 및 수질관리 기술)은 I 영역에 포함되어 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준향상을 추구해야하는 영역임
- 2.2(암반 지하댐 및 암반 집수정 설계, 시공 기술), 2.4(지하수 함양에 따른 하천-상수도-지하수 통합 물수지 평가 기술)은 II 영역에 포함되어 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 유망한 영역임

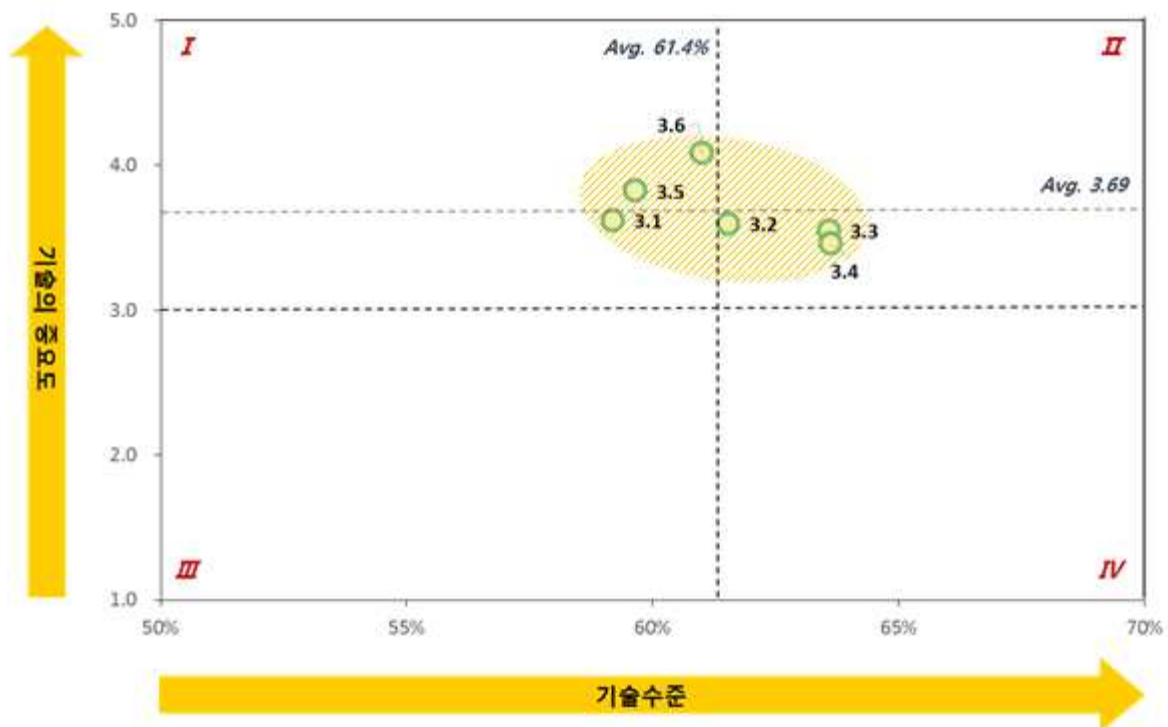


[그림 129] 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술 분야 기술수준-중요도 포트폴리오

(3) 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술

□ 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술 분야는 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 I, II 영역에 해당되는 것으로 분석됨

- 3.1(계곡 등 지류 상류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술), 3.5(지하수 취수시설(유형별)과 기존 상수원의 연계 및 운영 기술), 3.6(지역별(농촌, 해안, 도서 등) 가뭄/비가뭄별 최적 수자원 공급 시나리오 개발)은 I 영역에 포함되어 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준향상을 추구해야하는 영역임
- 3.2(선상지 등 지류 중류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술), 3.3(평야 등 지류 하류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술), 3.4(인공함양지내의 최적 지하수 취수 기술(초대형관정, 수평관정 등))은 II 영역에 포함되어 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 유망한 영역임



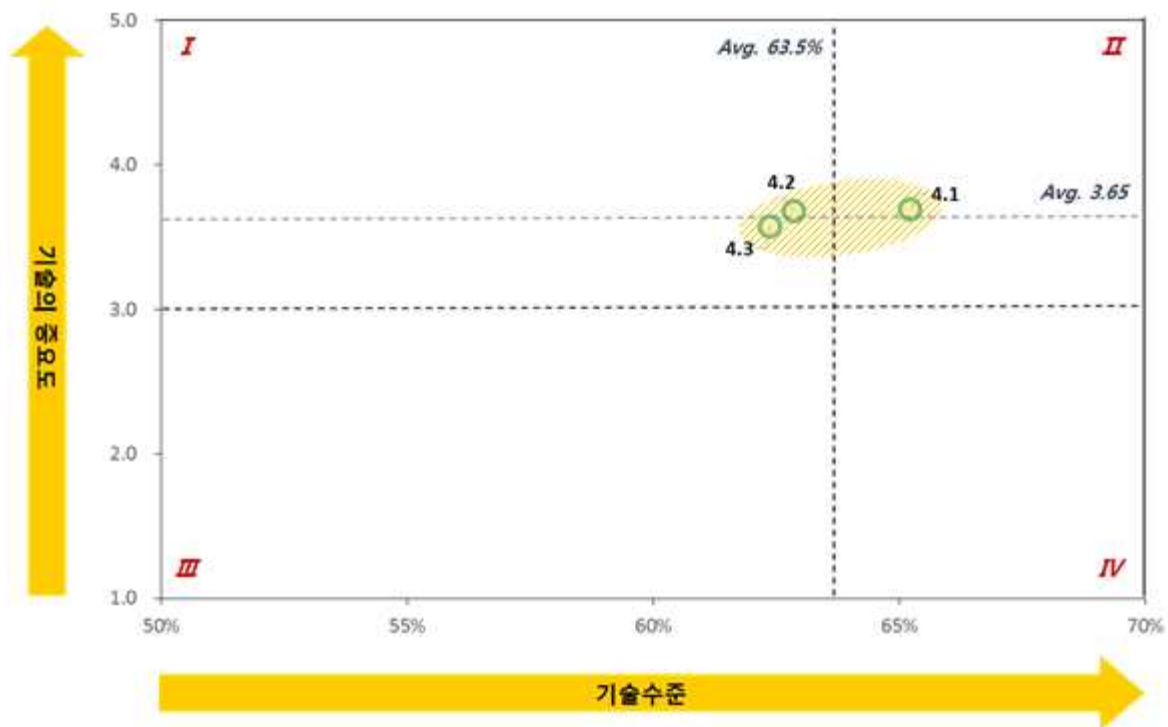
[그림 130] 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술 분야 기술수준-중요도 포트폴리오

(4) 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술

□ 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술 분야는 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 I, II 영역에 해당되는 것으로 분석됨

○ 4.2(지하수 고부존지역 정밀 탐사 기술 개발), 4.3(초단기 대용량 지하수 시설의 설계, 시공 기술)은 I 영역에 포함되어 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준향상을 추구해야하는 영역임

○ 4.1(기존 대용량 지하수 시설의 재활용, 재개발 기술)은 II 영역에 포함되어 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 유망한 영역임

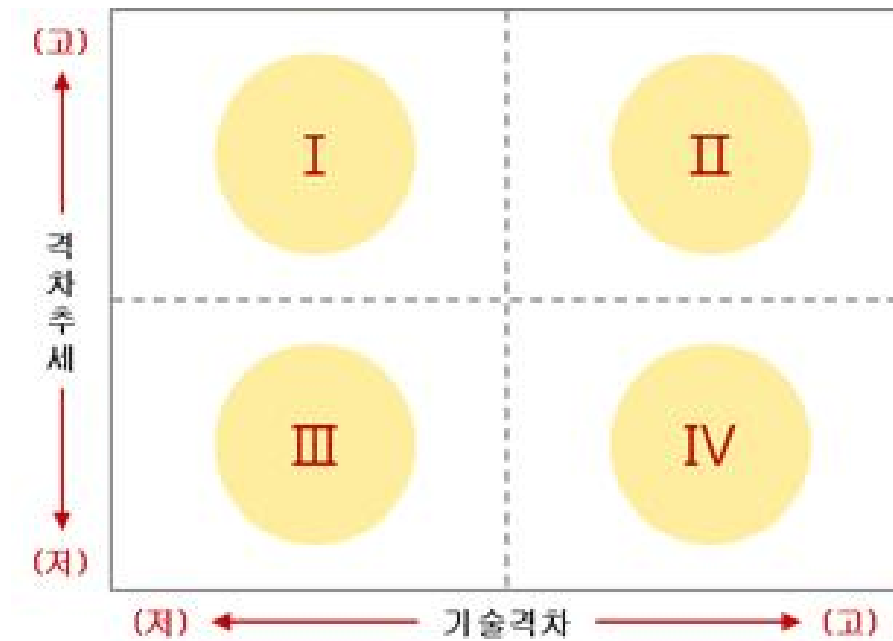


[그림 131] 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술 분야 기술수준-중요도 포트폴리오

자. 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석

□ 4분면별 전략은 기술격차추세와 기술격차를 축으로 함

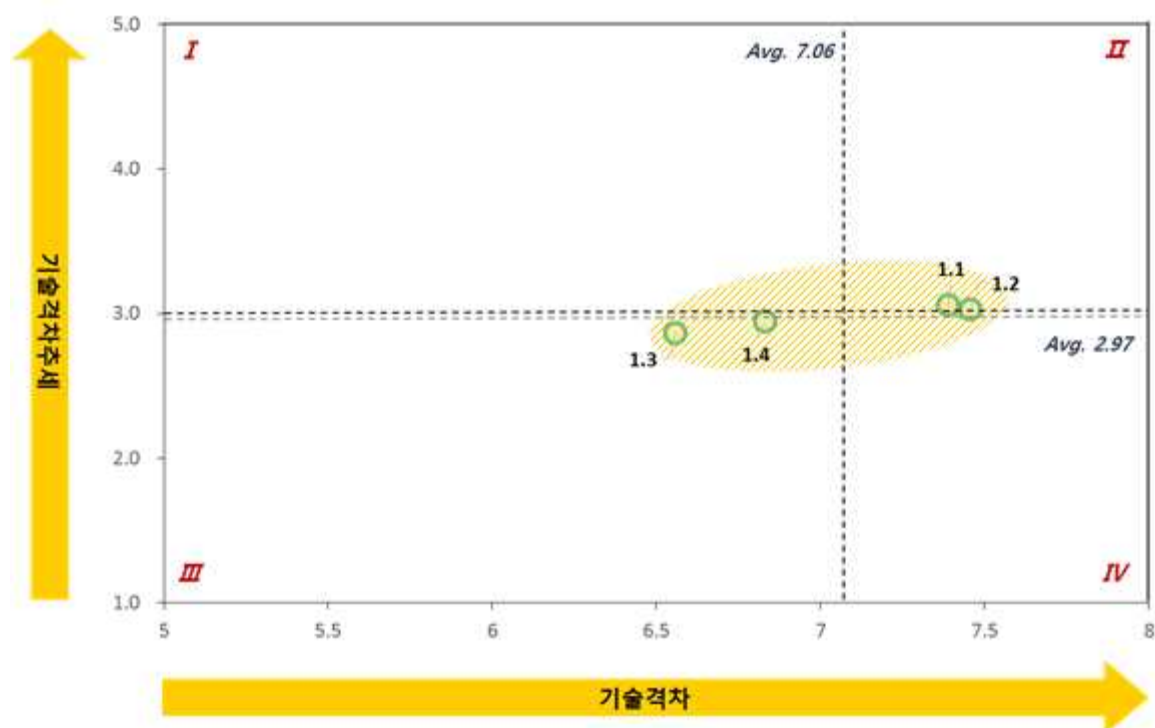
- I : 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요한 영역
- II : 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역
- III : 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술수준에 이르기 위한 기술개발을 고려하는 영역
- IV : 기술개발을 가속화할 필요가 있는 영역



[그림 132] 기술격차-격차추세 포트폴리오 영역구분

(1) 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술

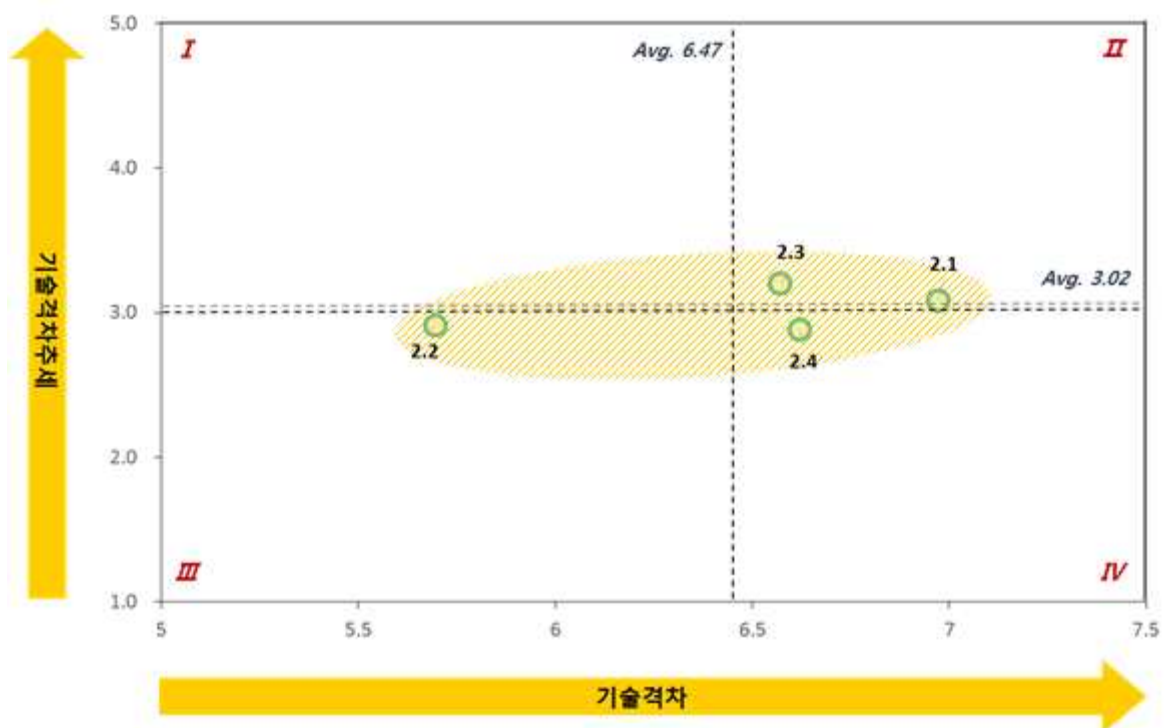
- 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술 분야는 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석 결과 II, III 영역에 해당되는 것으로 분석됨
- 1.1(Big data 기반의 지하수부존 최적지 평가 기술), 1.2(Big data 기반의 지하수 시설 가뭄 대응력 평가 기술)은 II 영역에 속하여 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 함
- 1.3(지하수 토양 연계 기반의 가뭄 예측 기법), 1.4(지하수-토양 융합관측 장치 개발)는 III 영역에 속하여 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술 수준에 이르기 위한 기술개발 고려가 필요함



[그림 133] 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술 분야 기술격차-격차추세 포트폴리오

(2) 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술

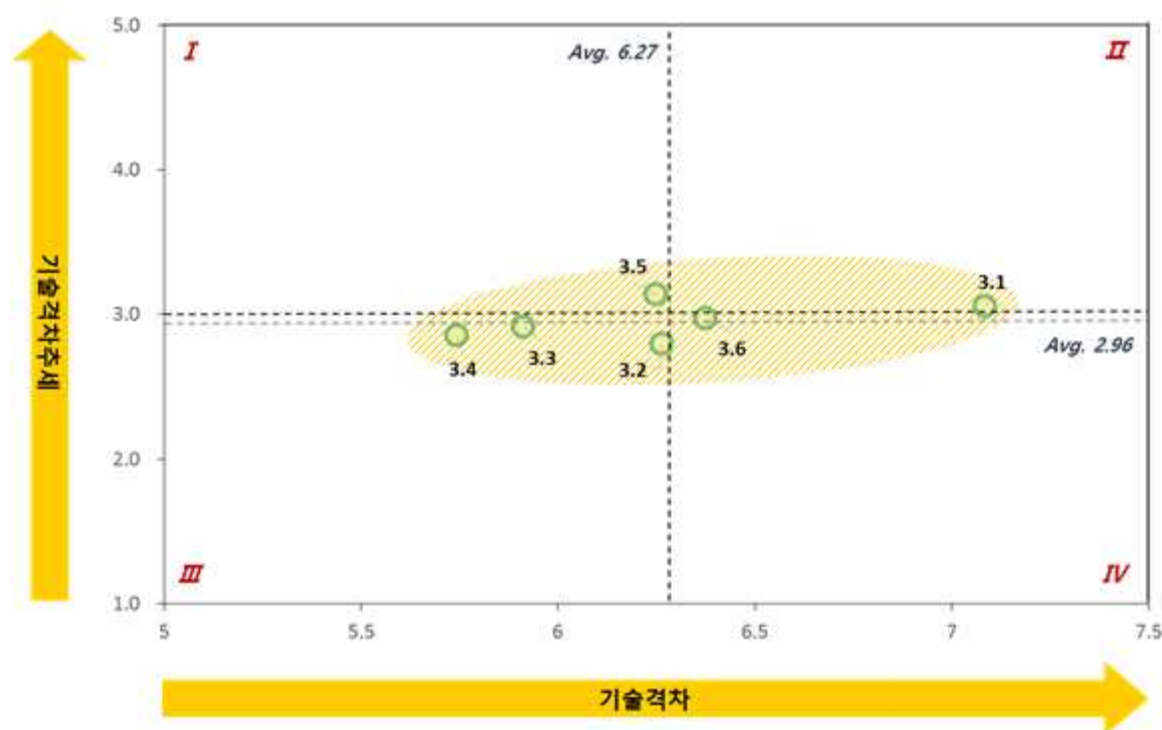
- 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술 분야는 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석 결과 II, III, IV 영역에 해당되는 것으로 분석됨
- 2.1(지하수 시설의 network화 및 지표수 연계 운영 기술), 2.3(상류 함양 분지를 활용한 하천배출량 증대 및 수질관리 기술)은 II 영역에 속하여 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 함
 - 2.2(암반 지하댐 및 암반 집수정 설계, 시공 기술)는 III 영역에 속하여 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술수준에 이르기 위한 기술개발을 고려해야 함
 - 2.4(지하수 함양에 따른 하천-상수도-지하수 통합 물수지 평가 기술)는 IV 영역에 속하여 기술개발을 가속화할 필요가 있음



[그림 134] 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술 분야 기술격차-격차추세 포트폴리오

(3) 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술

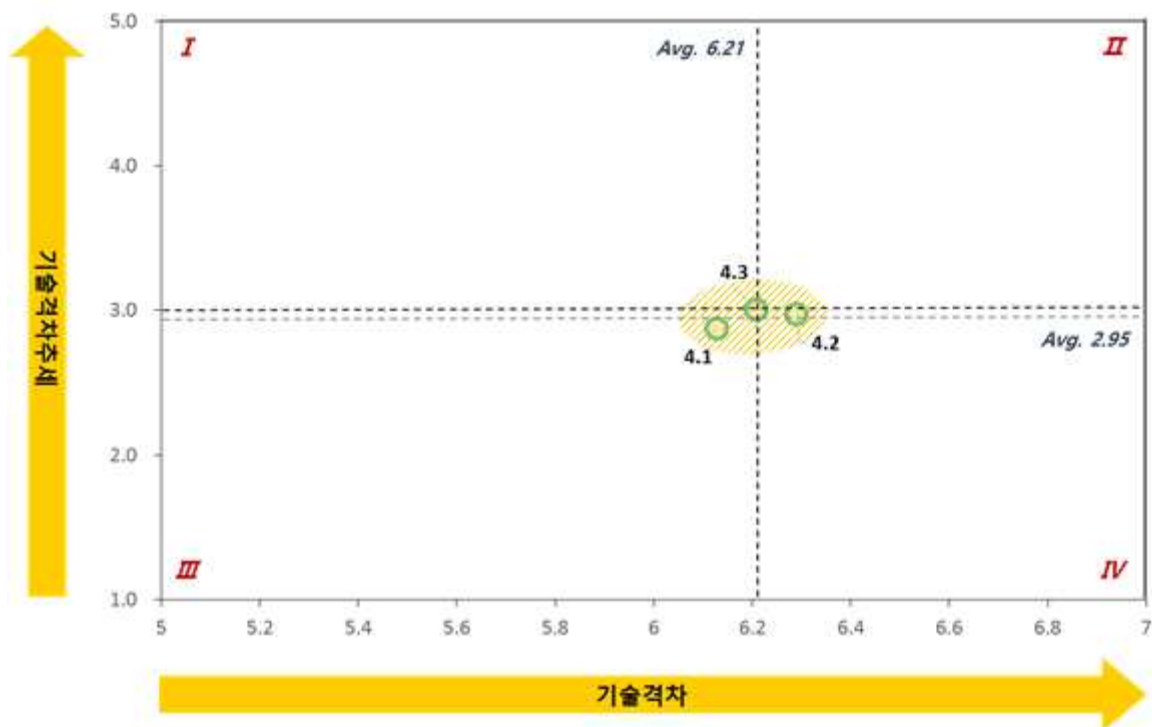
- 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술 분야는 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석 결과 모든 영역에 해당되는 것으로 분석됨
- 3.5(지하수 취수시설(유형별)과 기존 상수원의 연계 및 운영 기술)는 I 영역에 속하여 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요함
- 3.1(계곡 등 지류 상류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술)은 II 영역에 속하여 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 함
- 3.2(선상지 등 지류 중류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술), 3.3(평야 등 지류 하류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술), 3.4(인공함양지내의 최적 지하수 취수 기술(초대형관정, 수평관정 등))는 III 영역에 속하여 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술수준에 이르기 위한 기술개발을 고려해야 함
- 3.6(지역별(농촌, 해안, 도서 등) 가뭄/비가뭄별 최적 수자원 공급 시나리오 개발)은 IV 영역에 속하여 기술개발을 가속화할 필요가 있음



[그림 135] 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술 분야 기술격차-격차추세 포트폴리오

(4) 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술

- 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술 분야는 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석 결과 I, III, IV 영역에 해당되는 것으로 분석됨
- 4.3(초단기 대용량 지하수 시설의 설계, 시공 기술)은 I 영역에 속하여 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요함
 - 4.1(기존 대용량 지하수 시설의 재활용, 재개발 기술)은 III 영역에 속하여 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술수준에 이르기 위한 기술개발을 고려해야 함
 - 4.2(지하수 고부존지역 정밀 탐사 기술 개발)은 IV 영역에 속하여 기술개발을 가속화할 필요가 있음

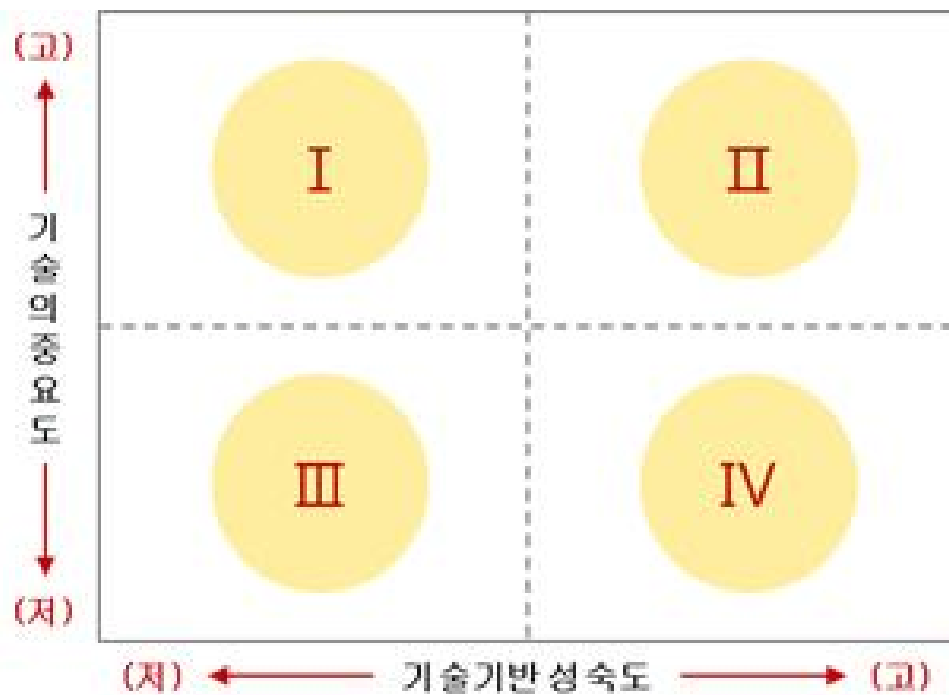


[그림 136] 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술 분야 기술격차-격차추세 포트폴리오

차. 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석

□ 4분면별 전략은 기술기반성숙도와 평균 중요도를 축으로 함

- I : 기술기반 확보가 시급한 영역
- II : 점진적으로 기술기반을 확보해 나아가야 할 영역
- III : 기술개발 추진과 동시에 기술기반을 지속적으로 확대해 나아갈 필요가 있는 영역
- IV : 기술기반 관리-유지 영역

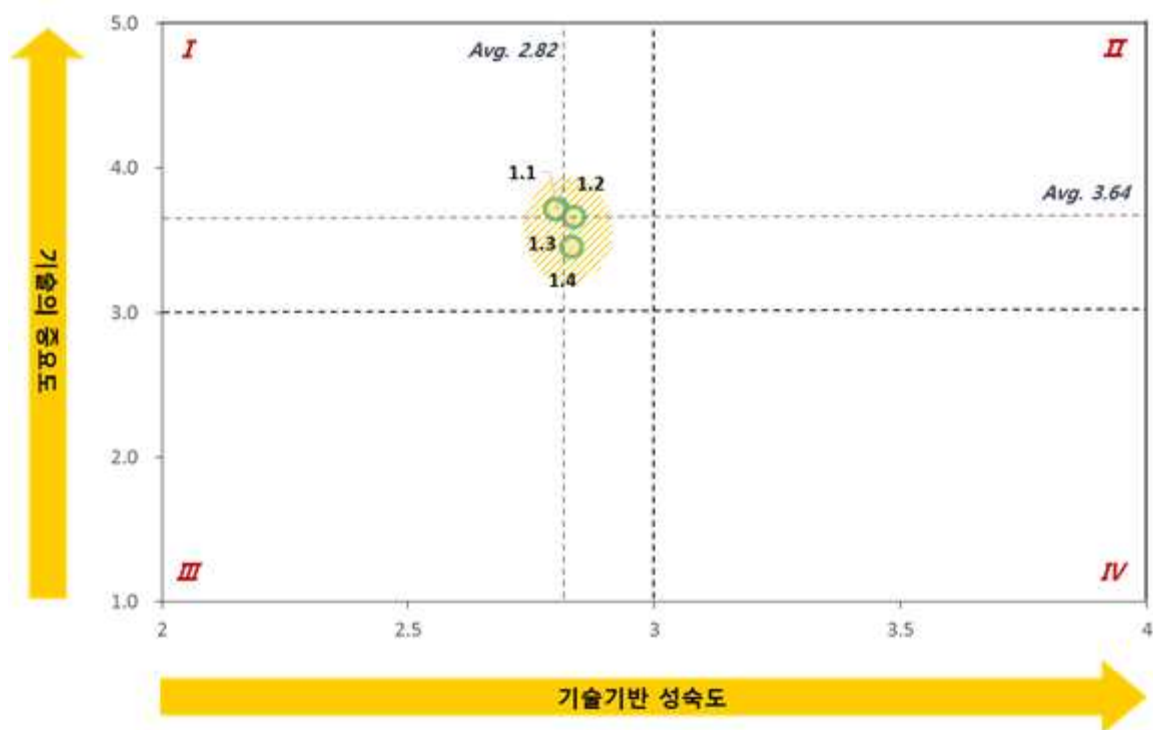


[그림 137] 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 영역구분

(1) 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술

□ 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술 분야는 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석 결과 I 영역에 해당되는 것으로 분석됨

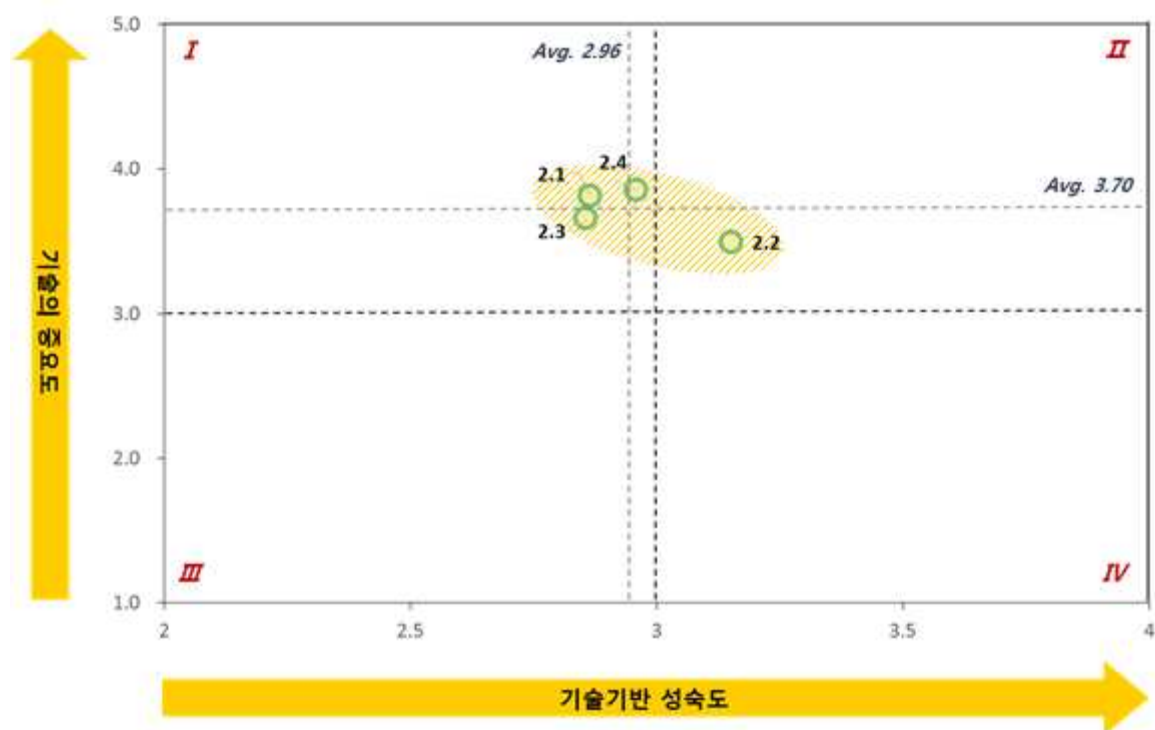
○ 1.1(Big data 기반의 지하수부존 최적지 평가 기술), 1.2(Big data 기반의 지하수 시설 가뭄 대응력 평가 기술), 1.3(지하수 토양 연계 기반의 가뭄 예측 기법), 1.4(지하수-토양 융합관측 장치 개발)는 I 영역에 포함되어 기술기반 확보가 시급함



[그림 138] 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리기술 분야의 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오

(2) 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술

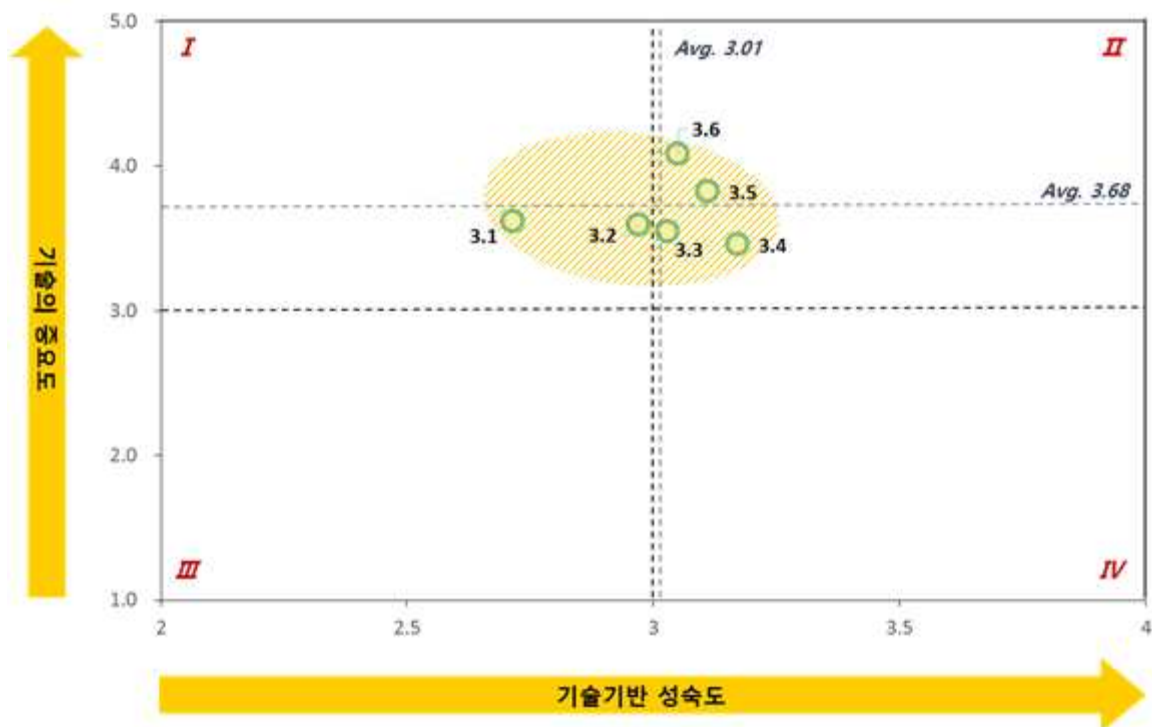
- 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술 분야는 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석 결과 I, II 영역에 해당되는 것으로 분석됨
- 2.1(지하수 시설의 network화 및 지표수 연계 운영 기술), 2.3(상류 함양 분지를 활용한 하천배출량 증대 및 수질관리 기술), 2.4(지하수 함양에 따른 하천-상수도-지하수 통합 물수지 평가 기술)는 I 영역에 포함되어 기술기반 확보가 시급함
- 2.2(암반 지하댐 및 암반 집수정 설계, 시공 기술)는 II 영역에 포함되어 점진적으로 기술기반을 확보해야 함



[그림 139] 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용기술 분야의 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오

(3) 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술

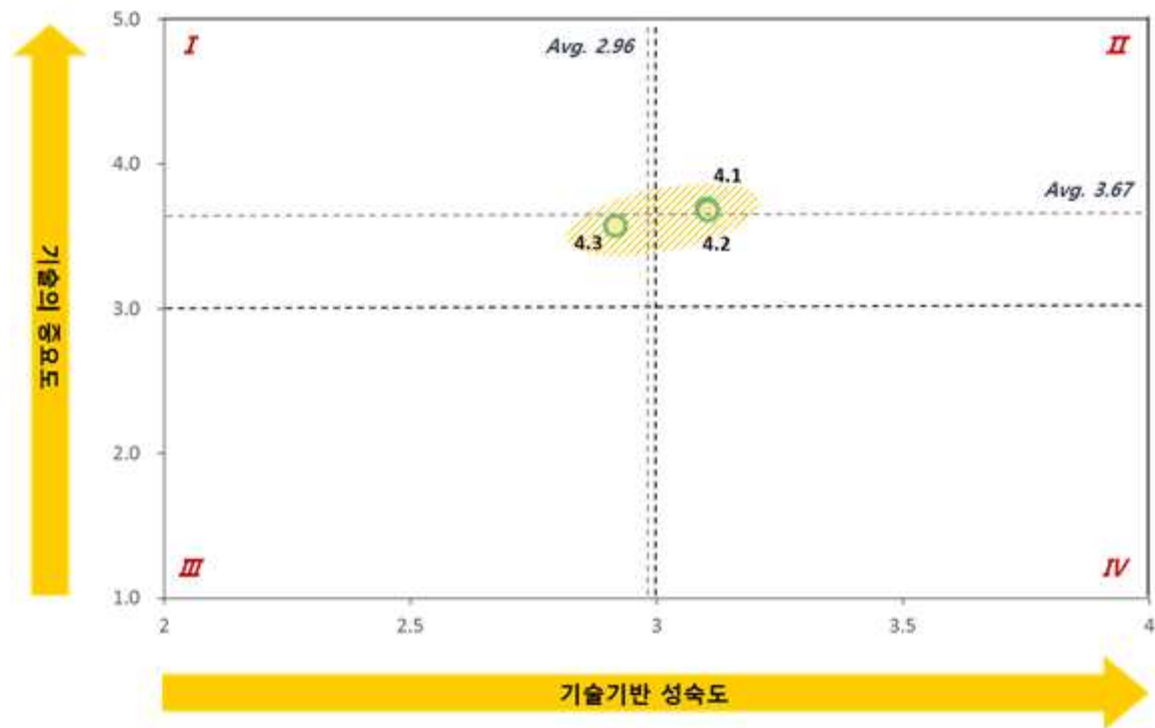
- 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술 분야는 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석 결과 I, II 영역에 해당되는 것으로 분석됨
- 3.1(계곡 등 지류 상류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술), 3.2(선상지 등 지류 중류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술)는 I 영역에 포함되어 기술기반 확보가 시급함
- 3.3(평야 등 지류 하류지역 지하수 인공함양 설계, 시공기술), 3.4(인공함양 지내의 최적 지하수 취수 기술(초대형관정, 수평관정 등)), 3.5(지하수 취수 시설(유형별)과 기존 상수원의 연계 및 운영 기술), 3.6(지역별(농촌, 해안, 도서 등) 가뭄/비가뭄별 최적 수자원 공급 시나리오 개발)은 II 영역에 포함되어 점진적으로 기술기반을 확보해야 함



[그림 140] 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술 분야의 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오

(4) 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술

- 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술 분야는 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석 결과 I, II 영역에 해당되는 것으로 분석됨
- 4.3(초단기 대응량 지하수 시설의 설계, 시공 기술)은 I 영역에 포함되어 기술기반 확보가 시급함
- 4.1(기존 대응량 지하수 시설의 재활용, 재개발 기술), 4.2(지하수 고부존지역 정밀 탐사 기술 개발)는 II 영역에 포함되어 점진적으로 기술기반을 확보해야 함



[그림 141] 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술 분야의 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오

제 4장

연구개발과제 구성 및 추진전략

1절 사업추진방향

2절 비전 및 목표

3절 중점추진분야

4절 연구개발과제 구성

5절 세부과제별 주요내용 및 추진전략

6절 과제 간 연계관계(선행, 교류관계)

7절 과제별 · 연차별 기술로드맵

8절 성과의 활용방안

9절 연구수행체계 제안



4장. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절. 사업추진방향

1. Issue-Tree 분석

가. 정책 · 기술 · 시장 동향 핵심 Keyword

(1) 정책동향 핵심 Keyword

- 수자원장기종합계획(2011~2020) 등 기후변화 불확실성에 대비한 종합물관리 대응계획과 체계적 물관리를 위한 선진기술의 개발 활용을 추진함
- 기후변화로 인한 물관리 여건 변화로 대응 정책의 수립 시급
 - 지하수의 경우에는, 중권역별 물 부족량 산정 후 지역공급원으로 고려
 - 실제 암반지하수 이용도 정부 계획의 인자로 고려
 - 용도별 지하수이용특성을 평가하여 각 용도별 물 부족 해소에 지하수 활용
 - 지하수를 활용한 가뭄 취약 평가 및 취약성 분석
- 물 부족지역의 안정적 수자원확보를 위한 다양한 수원 개발 정책 추진
 - 물 부족지역별 맞춤형 대체수원 개발을 통한 수원 다변화
 - 기존 상수원과 연계한 지하수 개발 확대
- 수자원의 공급 안정성 강화 및 효율적 이용 정책 추진
 - 물 공급 시설간 비상연계 체계구축으로 비상시 대응체계 마련
 - 농산간 및 도서해안 등 상습 가뭄 지역의 물 부족 해소(지하수 개발)
- 하천의 하천유지 유량의 확대를 위한 정책을 통하여 가뭄시에도 물문제가 발생하지 않는 정책
 - 하천수와 지하수의 시설 연계를 통한 공급량 증대
 - 물 복지 미흡 지역에 대한 지하수 확보 정책
 - 하천과 연계한 지하수 순환으로 건전성 확보 : 하천 유량 확보에 기여

□ 핵심 Keywords

- 가뭄 지역, 물 복지 취약지역, 상수원 연계 지하수 활용, 하천유지유량, 가뭄 취약성, 가뭄 예측, 암반지하수, 지역특성별 맞춤형 용수확보, 소규모 급수, 신산업, IoT 융합, 4차 산업

(2) 기술동향 핵심 Keyword

□ 기후변화시대 극한 가뭄 등 가뭄 예측 및 진단 기술의 발달이 전 지구적 관심사항이며, 핵심 기술로서 자리잡고 있음

- 지하수를 활용한 가뭄 진단 기술은 일부 국가에서 개발되어 있으나, 예측 및 평가 기술은 거의 없는 실정임

- 지하수위 및 기타 관측데이터의 연계 활용을 통한 중단기 가뭄 예측 및 지하수 확보 기술이 필요함

- 지하수 Big data 기반의 개발 가능성 및 부존량 진단, 가뭄 평가, 상습가뭄 지역 평가 등이 요구되며, 이를 토대로 가뭄 발생시 신속한 용수확보 가능

- 기존 관정의 지하수 이용율을 제고하고 가뭄시 대응 및 활용할 수 있는 기술 필요

□ 기존의 준 수리 시설물의 가뭄 등 극한 기후상황에서의 활용 방안에 대한 기술이 필요함

- 사방댐, 기존 관정, 농업용 저수지 등을 기존 상수원 시설 및 신규 인공함양 기술과의 연계하는 기법의 개발 필요

- 지하 함양지의 설치 운영에 따른 물수지 변화 및 인공함양 효과 평가기술 확보 필요

- 가뭄의 규모 및 특성별 비상 용수 확보 공급 체계의 구축

- 인공함양 지하수의 수질 전처리 기술 확보를 통한 기존 상수원 시설과의 안정적 연계

□ 외국의 경우 다양한 형태의 인공함양 기술이 개발되어 기후변화에 대응하고 있으나, 국내의 경우에는 상대적으로 효율성이 낮은 관정 주입 방식의 인공함양 기술만이 적용된 바 있어 대용량 인공함양 및 지역 특성에 맞는 인공함양 기술의 확보가 시급함

- Basin 및 Ditch 등 국내의 지형 지질적 특성에 적합한 인공함양 기술 확보 필요

- 산지 계곡, 선상지, 평야 등 지역 특성에 맞는 인공함양 기술, 모델링 평가

기술, 지표수 연계 기술 등이 요구됨

- 지하수 인공함양 시설과 기존 상수원 시설의 연계를 통한 최소투자 및 최대 효과 달성 필요
- 지역 특성에 맞는 소규모 및 대용량의 지하수를 인공함양을 통하여 확보할 수 있는 기술 필요
- 인공함양 및 하천 등의 연계에서 발생하는 주변 영향에 대한 평가

□ 핵심 Keywords

- Big data, 지하수 고부존, 가뭄 지수, 가뭄 대응력, 토양 수분, 가뭄 계측장치, 지구물리 탐사, 모래저장형 dam, 마을상수도, 적정 전처리, 사방댐, 수문 모델링, 가뭄 시나리오, 인공함양, 선상지, 수평정, 소하천 보, 하천 생태, 하천 퇴적, 암반지하수, Well(Aquifer) network, 경제성, 가뭄 등급, 가뭄 정책

(3) 시장동향 핵심 Keyword

- 국가별 시장을 고려한 기술 개발의 범위를 특허를 토대로 보면, 한국, 일본 및 미국 등에서 최근에 관련 기술 개발을 적극 추진하고 있어 시장성이 토대가 되어 있음을 알 수 있음
- 한국의 경우 수자원 활용 분야, 일본의 경우는 수자원 확보 분야 등이 활발한 특허 출원이 있으며, 미국과 유럽의 경우에는 수자원 확보 분야가 비교적 활발하여 관련 시장에 대응하고 있음
- 전세계적으로 물산업 규모는 지속 증가하고 있으며, 특히, 최근에 기후변화 등에 대비한 유역 물 개발 및 관리 분야와 상하수도에 대한 대체수자원 시장 등이 대두되고 있음
- 댐 건설, 홍수 조절 및 수력발전, 친수 도시개발, 황무지의 경지화 및 관개용수 공급 등 유역의 종합개발 및 관리 분야 뿐 아니라, 강변여과수 개발, 인공함양 및 빗물 저장 등의 분야는 선진국이 우수한 설계 시공 기술을 바탕으로 시장을 주도하고 있음
- 인공함양을 활용한 수자원 확보 방안은 댐 건설 및 해수담수화에 비하여 저렴하여 미국 등 신규 사업이 활발히 진행됨
- 미국 New York에서는 그린인프라 프로젝트를 통하여 투수성 피복을 증대시켜 지하수를 함양하는 사업을 적극 시행

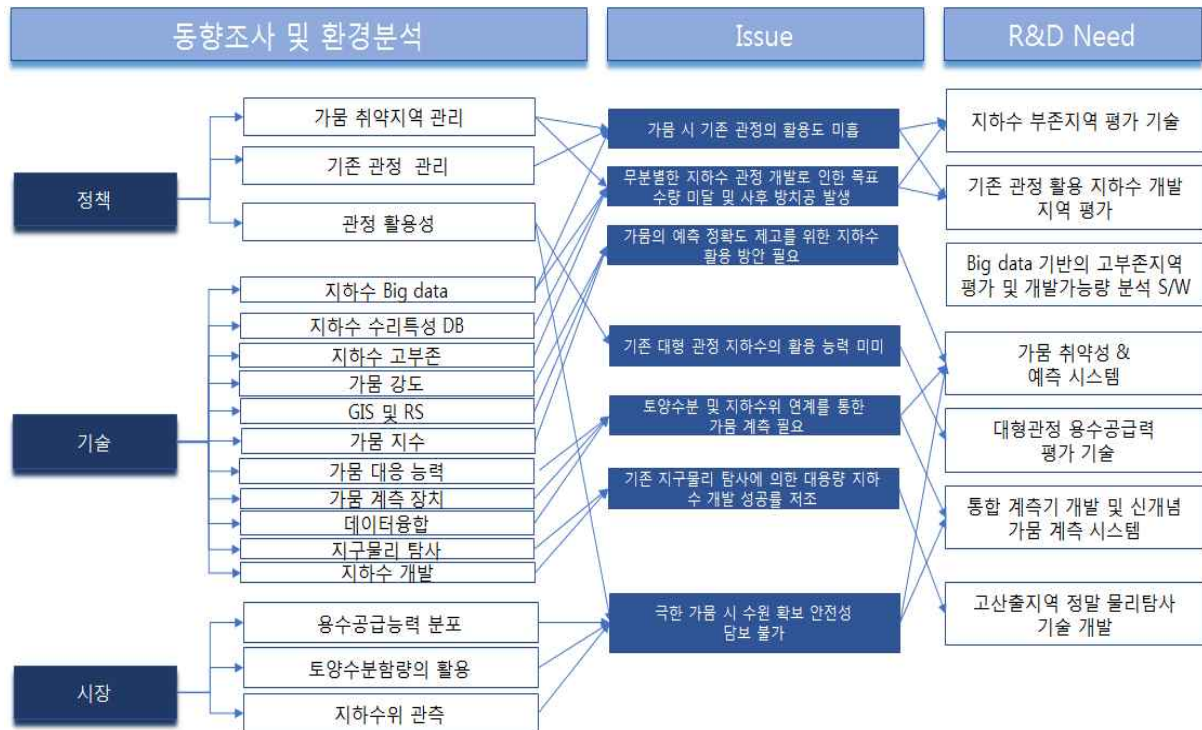
- 인공함양 기술은 부지선정에 대한 제약성이 상대적으로 작고, 증발 등에 의한 손실이 적어 에너지 측면에서도 효과적인 시스템으로서 풍부한 시장성을 갖고 있음
- 특히, 지하수를 용수원의 기반으로 하는 후진국의 경우에는, 경제성장에 따른 수자원의 필요성이 더욱 증대되고 상하수도 사업 분야의 시장 규모가 수백억달러 이상으로 확대될 전망을 갖고 있음

□ 핵심 Keywords

- 기후변화, 가뭄 정책, 상수도, 지하수, 용수확보, 인공함양, 경제성, 수처리, 지표 피복, 투수성 지반, 계측 및 IoT 융합

나. 핵심이슈 및 R&D Needs

- 첫번째, 가뭄에 대응하기 위한 기본적인 기술 확보를 위해서는 지하수 부존, 지하수 조사 및 탐사, 관측, 가뭄의 평가 등을 위한 연구가 선행될 필요가 있음
- 가뭄시 최우선 수원 확보 대책은 지하수 개발로서, 지하수 개발의 효율성을 제고하고 개발 실패 확률을 낮추기 위해서는 Big data를 활용한 최적지 선정 기술 확보가 필요함
- 가뭄이 정확한 진단을 위해서는 기존의 가뭄 평가 기법보다 연속성과 일관성이 높을 것으로 예상되는 지하수위 관측 정보를 활용한 가뭄 진단 기술 개발이 필요함. 이를 통하여 가뭄에 선제적 대응을 강화할 수 있음
- 가뭄시 대체수자원의 확보는 시급한 문제로 대두되는데, 기 개발된 대형 관정의 취수 능력은 가뭄과 상관없이 여전이 높은 바 이를 활용할 수 있는 기술 확보가 가뭄의 일차적 대응 방안이 될 수 있음
- IT 기술 및 최신 통신의 발달은 가뭄 관측의 첨단기술 개발을 촉진시키게 되며, 보다 정확한 가뭄 관측을 위한 융합 계측장치 개발이 요구됨
- 지류 상류에서의 지하수 개발 가능성에 대한 평가를 위한 기초 자료인 지하수 개발가능량 산정에 대한 신뢰성 있는 도구가 마련되어야 함



[그림 142] 가뭄 관련 지하수 부존, 조사, 탐사, 계측 등 기반 연구에 대한 Issue Tree

- 두번째, 가뭄은 수원 상류지역에서부터 나타나는 반면에 수원 상류지역은 지표 수원이 상대적으로 제한되는 지역으로서, 이들 지역에 대한 가뭄 대응 정책을 시행하는 것이 물복지 혜택이 낮은 지역에 대한 최우선적인 정책 및 기술개발 분야가 될 필요가 있음
- 모래저장형 dam(지하저류지)은 계곡형태의 지형에서 지하수를 담수할 수 있는 기술로서 국내 적용성이 매우 높고 단기간의 소규모의 경제적 용수확보 방안으로 효용성이 높을 것으로 예상됨
- 모래저장형 dam(지하저류지)의 효과 극대화를 위하여 기존의 사방댐 등과 연계하는 방식을 고려하는 것이 필요함
- 인근의 간이상수도 수원 지역과 연계함으로써 유역 최상류 지역의 가뭄 해소에 기여할 것으로 기대됨
- 특히, 비가뭄시에는 상류 하천의 유황 개선에 저류된 물을 방류함으로써 환경 보호 및 개선에도 기여함



[그림 143] 모래저장형 dam과 상수원을 연계한 기술 개발 분야의 Issue Tree

- 세번째, 국내 선상지 지역은 충적층 분포가 비교적 두껍고 넓게 발달하고 있어 지하수가 풍부한 지역이나, 농경지나 비닐하우스 등으로 많이 활용되고 있어 평상시에도 지하수가 고갈되는 지역임
- 이들 지역에 인공함양 기술을 접목함으로써 평시 및 갈수시 지하수를 풍부하게 사용할 수 있도록 함
- 선상지 지역의 지질, 지형적 특성상 국내에서 지하수의 인공함양의 효과를 극대화할 수 있는 지역으로 고려됨
- 함양 원수의 확보를 위하여 소하천의 저류를 확대할 수 있는 In channel modification 기술의 개발이 병행될 필요가 있으며, 선상지 하류에서는 지하수를 대용량으로 취수할 수 있는 수평 취수정의 굴착 기술이 필요함
- 선상지의 인공함양을 위해서는 주입수의 수질 확보에 대한 기술이 요구되며, 이를 위하여 수생 식물 등을 활용한 전처리 기술이 필요함
- 기존 상수원 시설과의 연계를 위해서는 취수된 지하수가 원수수질 기준을 충족할 수 있도록 검토되어야 하며, 원수 수질의 변화에 따른 수처리 기술의 변동성 및 관련 기술 확보가 요구됨
- 가뭄의 규모별로 취수량이나 선상지내 지하수의 운영관리 기술 확보를 통하여 기존 영농 활동에 미치는 영향을 최소화 할 수 있도록 함



[그림 144] 선상지의 인공함양 기술을 활용한 지표수-지하수 연계 기술 Issue tree

- 네번째, 기존 관정중 대용량 및 공공관정은 전국적으로 산재해 있으나, 가뭄 등과 같은 비상시 활용성이 매우 낮아 가뭄 대응에 효과적이지 못하고 있으므로 기존 관정(또는 대수층)을 network화 하는 기술을 확보하여 가뭄시 활용토록 함
- 기존 대형관정은 대부분 3월부터 8월까지 사용하고 나머지 기간 동안에는 사용되지 않으므로, 이들 기간 동안에 양수를 통하여 지표 저류지내에 저장해두는 것이 가뭄에 대응하는 방법임
- 이를 위하여, Well 연계에 필요한 network 기술, 관로 설계 기술, 취수 기술 등을 복합적으로 연구하여 비사용 기간 동안 양수하여 저장하는 방안을 강구함
- 암반 집수정의 개발은 지역에 따라 대수층이 잘 발달된 곳에서 적용이 가능하나, 넓은 범위에서의 지하수위 강하 등의 문제가 발생할 수 있으므로 신중한 접근이 필요함
 - 반면, 가뭄시 대용량의 양질의 물을 확보할 수 있는 수단이 될 수 있음
- 암반 지하수는 수질 특성상 지표수와 달리 중금속이나 이온 함량이 높으므로 상수원 연계를 위해서는 수처리에 대한 부분의 연구가 필요함
- 분지내에서 지하수를 활용한 취수원 확보 기술이 개발되는 것이므로, 인공함양 및 지표수-지하수 연계 기술을 적용하였을 경우의 수문학적 효과에

대한 종합적인 검증, 평가가 필요함



[그림 145] 기존 지하수 관정(대수층)의 연계 및 적정 활용에 대한 기술의 Issue tree

2. SWOT 분석

가. 내외부 요인 분석

(1) 강점(Strength) 및 약점(Weakness) 분석

- 현재 우리나라는 지하수 조사평가, 이용관리 및 지표수-지하수 연계 분야에 대한 기술력을 보유하고 있는 몇몇 기관이 존재함
 - 대표 기관으로는 서울대, 부산대, 대전대, 강원대, 공주대 등 대학의 교수진과 한국지질자원연구원, 한국건설기술연구원 등 연구기관, 한국수자원공사, 한국농촌공사 등 대형 사업체와 연구와 설비 등을 담당하는 중소기업체인 지오그린 21, 넥스지오, 인텔리지오 등이 있음
- 국외 기업으로는 유럽의 지하수 조사 시공 기업, 연구기관(IHE Unesco) 미국의 지질조사소 등이 있으며, 기초적인 지하수 분야의 기술은 외국과 비교하여 상당 수준까지 도달한 것으로 파악됨
- 반면, 지하수 인공함양 분야에서 기존의 기관들은 선진외국에 비해 기술경쟁력이 상대적으로 낮은 수준이며, 향후 연구개발 완료 후에는 이들과 거의 동일한 수준의 기술력을 확보할 수 있을 것으로 기대됨
 - 특히 외국기관에 비해 국내 수리지질 환경에 대한 노하우와 정보를 많이 확보하고 있기 때문에 중소규모의 지하수 인공함양 개발 및 지표수 연계 활용 기술 등은 국제수준의 기술력을 갖출 수 있을 것으로 판단됨
- 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 보임
 - 다만, 향후 가뭄 등 이상 기후변화 등에 따른 지표수 취약성이 증가하고 이를 대체할 수자원 확보가 필요한 시점에서 기술개발을 통한 전문인력과 기업의 양성이 요구됨
- 일반적인 지하수 조사평가, 개발이용, 시스템 복원 등을 보유한 대학 및 연구기관의 기술 수준은 선진국에 비해 견줄 수 있는 수준이지만 산업화를 위한 실용성의 확보는 매우 부족한 실정임
 - 반면 기업의 경우 각각의 기술력의 차별성이 부각되지 않고 있어 고부가가치를 창출할 수 있는 기술적 기반이 마련되지 못하고 있으며, 지하수를 활용한 새로운 시장의 개척이 요구되는 시점으로서 보다 치열한 경쟁이 예상되고 있음

- ☐ 지하수 인공함양 및 지표수 연계 분야는 외국 기업의 진출이 예상되고 있는 만큼 그들과 경쟁력을 확보하기 위해서는 영세한 국내기업의 기술개발을 통한 하이텍의 기술력 확보와 연구기관들의 실용화 전략 수립을 통하여 공급자의 교섭력을 증대시킬 수 있도록 할 필요가 있음
- ☐ 가뭄 발생 시 가뭄의 영향을 비교적 덜 받는 지하수를 활용하여 국내에 이미 개발되어 있는 대용량 관정 시설과 연계해 활용한다면 비용을 절감시키는 효과가 있고 또한, 지표수와 지하수를 연계 활용해 가뭄 발생 시 신속한 대응으로 물 공급 효율성을 증대시킬 수 있음
- ☐ 기존에 전국에 산재된 지하수 관정을 연계 활용한다면 가뭄에 보다 철저한 대비가 가능하나 이들 연계 기술과 지표수와의 융합 기술이 부족한 실정으로 기술 개발로 인해 외국과 비교하여 국내에 효율적인 수자원 체계관리가 마련될 것으로 판단됨

(2) 기회(Opportunity) 및 위협(Threat) 요인 분석

- ☐ 현재까지 민간 차원의 지하수 활용에 대한 수요는 지속적으로 발생되어 왔으나, 공공 공급원으로서의 지하수 활용은 상대적으로 취약했었음
 - 그러나, 최근 기후 변화와 가뭄에 대한 대응 방안으로서 지하수 활용 확대가 요구되고 있음
- ☐ 지하수 이용 개발에 대한 시장의 증가가 지속적으로 예상되고 있기 때문에 기술개발을 통한 차별성을 부각시키는 것이 필요함
 - 지하수 분야 구매자들은 대부분 정부와 지자체 또는 공공기업인 수자원공사가 대표적이므로 폭발적인 시장의 증가의 확대는 어려울 것으로 전망됨
 - 다만, 기후변화와 녹색성장 등 국내 제반 환경의 변화에 따른 인공함양에 의한 지하수 시스템 복원, 수원 확보 등은 다양한 구매자들의 수요를 충족시킬 수 있는 기술로 기대됨
- ☐ 현재 민간 분야에서의 지하수 개발은 영세업체들이 많기 때문에 기술보다는 가격 경쟁에 의해 좌우되는 경우가 아직 많은 실정임
 - 향후 가뭄으로 인한 공공기관이나 정부 구매자가 급증할 경우에는 인공함양에 의한 시장 확대는 필연적임
- ☐ 가뭄시 기술 경쟁력을 갖춘 외국 기업의 국내 진출이 우려되는 현 시점에서, 국내시장 보호 및 국내 지하수 환경에 대한 노하우 등을 이유로 구매자(정부, 지자체, 공공기업 등)의 국내기업에 대한 충성도가 낮지는 않음

- 일부 분야에서는 사업 진행 및 성과 부족으로 점점 이러한 충성도가 낮아질 것으로 예상됨
- 그러나, 기후변화는 기술경쟁력의 부족에도 구매자들의 협상력을 매우 증대시키게 될 것이며, 이를 위하여 국내 기업의 약점을 보완할 수 있는 시스템을 갖추는 것이 중요한 문제가 됨
- 생활 및 농업용수의 확보는 인간 생활의 근간이 되는 분야로서, 국가적인 수자원 정책 측면에서 기본 과제로 삼고 있으며, 이를 보다 구체적으로 실행해나가기 위해서는 기술 확보를 전제로 하는 전략 수립이 요구됨
- 지하수가 대체수자원 분야의 핵심 역할을 하기 위해서는 기존의 수자원시스템과의 경쟁보다는 협력 관계를 통하여 상호 보완토록 하는 것이 필요함
- 이를 위해서 지표수-지하수 연계 기술의 정착이 요구되며 정책적으로 지원이 필요한 과제임
- 가뭄으로 인한 피해 발생시 국민적 욕구에 의한 가뭄대책이 마련되더라도 일시적인 해소책에 불과하며 근본적인 대책이 부족한 실정임
- 이로 인하여 경제적 낭비와 기술적 한계가 발생하는 등 악순환이 반복되게 됨
- 이 악순환의 고리를 끊기 위해 비가뭄 시기인 평상시에 미리 대처하는 노력이 필요함
- 무분별한 경쟁 및 도시화 등으로 인해 지하수 오염이 증가해 지하수를 이용하기 위한 대상 지역이 부족해지고 오염된 지하수를 복구하는 시간과 돈이 더욱 필요해지므로써 경제적 손실을 불러오게 됨
- 이를 정부 차원에서 문제 발생 단초를 제고하고 대책을 마련함으로써 경제적인 도움을 제공할 정책이 필요함

나. 포지션별 전략 수립

- 가뭄에 대응하기 위한 기본적인 기반기술 확보를 위해서는 지하수 부존, 지하수 조사 및 탐사, 관측, 가뭄의 평가 등을 위한 연구가 선행될 필요가 있으며, 이를 위한 포지션별 전략은 다음과 같음
- SO 전략
 - 지하수를 활용한 가뭄의 진단과 평가, 기존 관정의 활용, 지하수를 활용한 가뭄 관측 등의 기술 개발로 정부 정책의 수준 제고에 기여
 - 지하수는 가뭄 발생시 지표수에 비하여 영향이 미미하므로 다양한 방식으로 활용이 가능하며, 이와 같은 장점을 활용한 기술 개발을 도모

- 국가 지하수 관측망 등 장기간 동안 기 구축 운영중인 관측 시설 및 Gib data를 활용함으로써 데이터 기반의 가뭄 평가 기술 확보

○ ST 전략

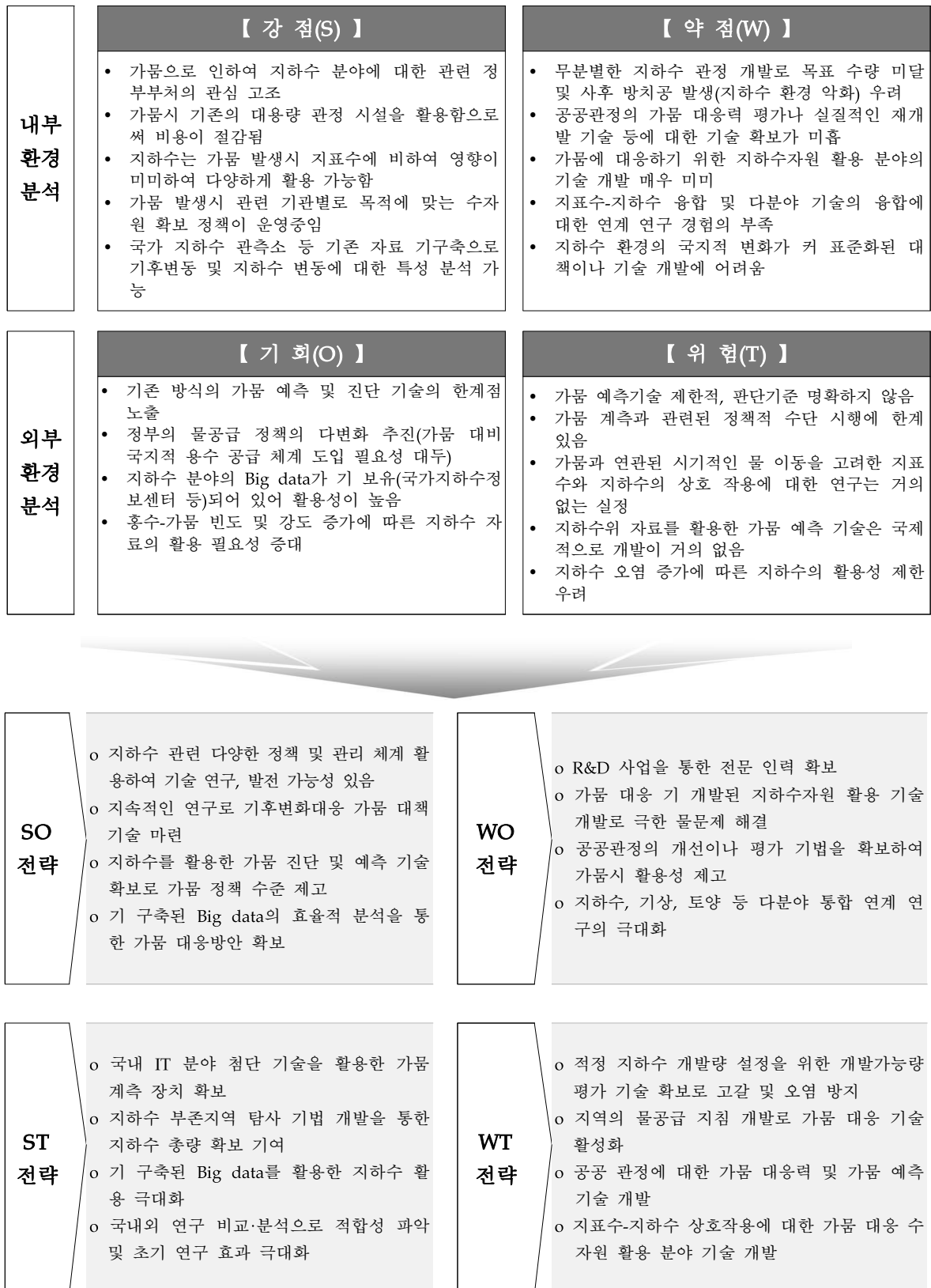
- 연구를 통하여 지하수 분야의 전문 인력을 추가적으로 확보함으로써 가뭄 대응력 강화
- 공공 관정의 개선이나 평가 기법을 확보하여 가뭄시 활용성 제고
- 지하수, 기상, 토양 등 다분야 통합 연계 연구의 극대화

○ WO 전략

- 국내 강점인 IT 분야 첨단 기술을 활용한 가뭄 예측 장치 개발
- 4차 산업 발달과 병행하여 센서 기술의 발달에 기반한 예측 시스템의 개발 및 보급 필요
- 지하수 부존지역 탐사 기법 개발 및 정확도 제고를 통한 지하수 총량 확보 및 최적지 선정에 기여

○ WT 전략

- 국내 적정 지하수 개발량 설정을 위한 개발가능량 평가 기술 확보로 고갈 및 오염 방지
- 공공 관정에 대한 가뭄 대응력 및 가뭄 예측 기술 개발
- 기존 관정 및 대수층 특성의 정량적 평가를 통하여 가뭄시 신속한 지하수 확보 체계 마련



[그림 146] 가뭄 관련 지하수 기반 연구에 대한 SWAT 분석 및 전략

□ 물복지 혜택이 가장 낮은 상류지역에 대한 가뭄 대응 정책을 위한 기술개발 연구 분야의 포지션별 전략은 다음과 같음

○ SO 전략

- 최근의 가뭄에는 기존 상수도 공급 시스템의 한계 및 문제점을 노출시키고 있어 이에 대한 대안으로서 지하수 활용 기술 확보 필요
- 최상류 지역에서 가뭄 발생시 신속히 대응할 수 있는 기술을 확보하여 가뭄에 우선적으로 대응
- 비가뭄시 잉여 지하수의 저장 및 기존 수자원 공급 시설과의 연계를 통한 저비용 가뭄 대책 방안 구현

○ ST 전략

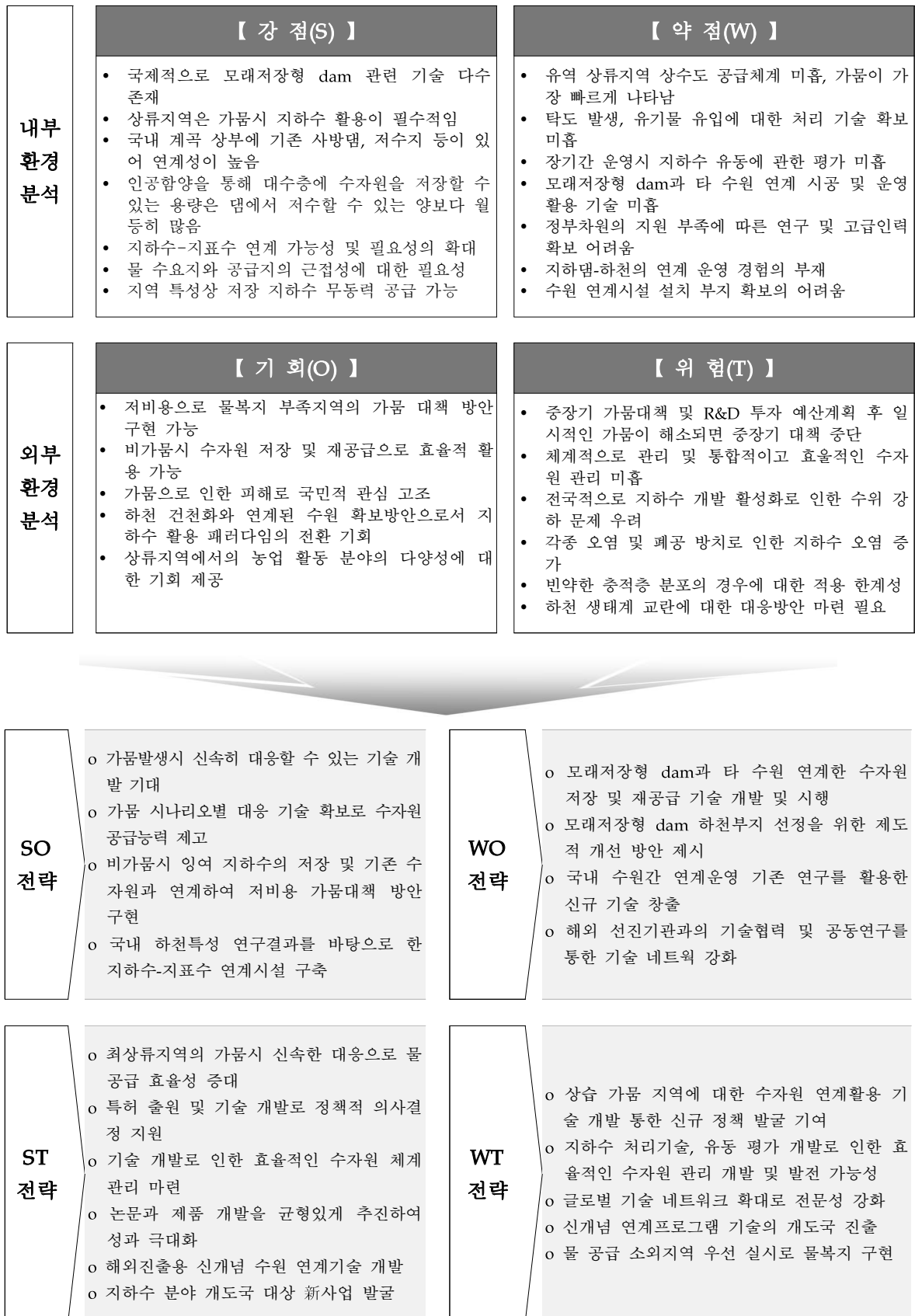
- 최상류 지역의 가뭄시 신속한 대응으로 물공급 효율성 증대
- 다수의 소규모 지하 저류 시설을 확보하여 연계된 운영을 통한 용수 확보
- 특허, 논문, 제품 등의 균형있는 개발을 통하여 가뭄 대응 기술의 확보

○ WO 전략

- 다수의 모래저장형 dam(지하저류지)과 타 수원 연계한 수자원 저장 및 재공급 기술 확보
- 모래저장형 dam(지하저류지) 하천 부지의 활용 및 결정을 위한 제도적 장치 및 방안 제시
- 해외 기관과 기술 협력 및 공동 연구를 통한 네트워크 강화 및 선진기술 도입

○ WT 전략

- 상습 가뭄 지역을 대발 기술의 시범 적용 및 신규 정책으로 추진될 수 있도록 정책적 방향 제시
- 지하수 처리기술, 유동 평가 개발로 인한 효율적인 수자원 관리 개발 및 발전 가능성 제고



[그림 147] 다만 모래저장형 dam 방식의 지표수-지하수 연계 기술에 대한 SWAT 분석 및 전략

□ 대수층 발달이 양호한 선상지 지역의 인공함양 기법과 지표수 연계 기법을 적용한 지하수 확보 기술 개발에 대한 포지션별 전략은 다음과 같음

○ SO 전략

- 다양한 지하수 활용 기술을 확보함으로써 추가적인 시장 개척 및 산업 발전 도모
- 지하수 인공함양 기술을 이용하여 수자원 확보에 새로운 기술 접목
- 비교적 대수층 발달이 양호한 선상지에서의 가뭄 대비 최대 물 확보를 위한 인공함양 기술의 적용 여건 형성

○ ST 전략

- 인공함양 기술 개발로 인한 효율적인 수자원 활용 체계 마련
- 기존 국내 기술, 신규 개발 기술 등과 선국 외국 기술을 비교·분석하여 장점 증대와 단점 보완

○ WO 전략

- 가뭄 대응 지하수자원 활용 기술 개발, 지표수-지하수 상호 연구 개발로 시장 개척
- 수평정 방식을 활용한 대수층 양호지역에서의 지반굴착 기술 및 대용량 지하수 개발
- 지역 특성별 최적 지하수 함양기술 개발로 가뭄 및 평시 인공함양 수자원의 효율적 활용 도모

○ WT 전략

- 가뭄 대응 수원 확보기술의 실증을 통한 지하수 정책의 지속성 및 일관성 도모
- 가뭄시 물공급 지킴 개발로 가뭄 대응 기술 및 정책 활성화 도모

내부 환경 분석	【 장 점(S) 】 • 정부의 가뭄 정책 - 다양한 수원 확보 및 관리 체계 도입에 대한 인식이 마련되어 있음 • 인공함양 수자원 확보는 타 수자원 확보 방식에 비하여 비교적 저렴함 • 국제적으로 인공함양 기술 연구 다수 존재하나 국내 도입은 미미함 • 선상지형 인공함양지의 수평정 방식은 비교적 많은 양의 취수가 가능함 • 국내 대수층 특성상 인공함양을 통하여 대수층 내에 충분한 수량을 저장할 수 있음	【 약 점(W) 】 • 가뭄 대응 위한 지하수자원 활용 기술개발 미흡 • 가뭄 시 물 이동 고려한 지표수-지하수 상호작용 연구 부족 • 수평정 방식 등 대용량 개발기술의 확보, 적용 부족 • 기존 상수원 시설과 연계된 지하수 개발 기술 부족 • 비가뭄 기간인 평상시의 인공 함양된 수자원 활용 방안 미확보 • 소형보 인공함양의 수량확보 예측, 저류 기술 부족
	【 기 회(O) 】 • 정부의 지하수 용수원 활용에 다각적 접근 - 기술 개발 통한 시장 개척 용이 • 가뭄 등 기후변화로 인한 지하수 중요성 증대 • 대하천변 지하수 대용량 활용 기술 기 확보로 지하수 개발 인식 변화 • 물 산업 발전에 대한 기대 • 대규모 저장-취수 기술 확보에 따른 경제성 제고 • 기후변화에 따른 가뭄 발생으로 분산형 지하수 개발 공급에 대한 관심 고조	【 위 험(T) 】 • 정부의 지하수를 활용한 가뭄 대응 정책의 일관성 미흡 • 지하수 수원의 정책 활용성 미흡 • 지하수를 사유 재산으로 인식하는데 따른 공용 활용 미흡 • 함양의 효과성 대비 장기 저장 및 취수능력 확보의 난이도

SO 전략	- o 다양한 지하수 활용 기술을 확보하여 시장 개척, 산업 발전 - o 지하수 인공함양 기술을 이용하여 수자원 확보에 새로운 기술 접목 - o 수평 취수 기술 등 국내 신공법 적용을 통한 지하수 활용 증대	WO 전략	- o 가뭄 대응 지하수자원 활용 기술 개발, 지표수-지하수 상호 연구 개발로 시장 개척 - o 수평정 방식을 활용한 대수층 양호지역에서의 지반굴착 기술 개발 - o 지역 특성별 최적 지하수 함양기술 개발로 가뭄 및 평시 인공함양 수자원의 활용 가능 - o 소하천의 유량 증대 기술 확보로 함양 원수의 양적 증가 가능
ST 전략	- o 다양한 인공함양 기술 이용으로 지하수 자원 활용 극대화 - o 인공함양 기술 개발로 인한 효율적인 수자원 활용 체계 마련 - o 기존 기술과 선국 외국 기술을 비교·분석하여 장점 증대와 단점 보완	WT 전략	- o 가뭄 대응 수원 확보기술의 증명을 통한 지하수 정책 지속성 및 일관성 도모 - o 기존 취수원과 지하수 융합 운영 통한 수처리 기술 발전 - o 가뭄시 물공급 지침 개발로 가뭄 대응 기술 활성화 기대

[그림 148] 선상지 인공함양과 수평정 개발 기술에 대한 SWAT 분석 및 전략

□ 기존 대용량 관정의 Network화를 통한 안정적 수량을 갖는 지하수의 통합 및 가뭄시 활용하는 기술 개발에 대한 포지션별 전략은 다음과 같음

○ SO 전략

- 가뭄에 대비한 well network 구축 및 기존 수원과의 연계를 통한 가뭄 대응 능력 향상
- 가뭄 단계별 대응 매뉴얼 수립으로 가뭄시 수자원 확보 비용 절감 효과
- 지역 특성별 인공함양 및 지표수-지하수 연계 기법에 대한 표준 방안을 수립하여 가뭄시 최적 용수확보에 활용

○ ST 전략

- 지류 농업지역에서의 기존 대용량 관정 시설 활용의 극대화로 효과적인 가뭄대응 가능
- 암반지하수와 기존 수자원 연계이용 시 수처리 기법 확보로 안정적 수질 확보 가능

○ WO 전략

- 기존 관정의 물 확보량 및 취수량 평가 기법 개발 및 상호 연계 기술 등 새로운 기법을 통한 방법 활용
- Well network의 구축을 통한 잉여수자원의 저장 및 활용

○ WT 전략

- 기존 대형 관정을 활용함으로써 과도한 지하수 개발을 방지하여 지하수 장애를 예방
- 분지내에 지하수 자동 sensing 체계를 접목하여 지하수 관리 체계를 마련하고 관련 장애를 사전 차단

내부 환경 분석	【 장 점(S) 】 • 기존 대용량 관정 시설 활용 가능 및 이를 통한 가뭄시 개발 비용 절감 • 지류 분지 풍화대 다수 분포로 암반지하수 확보 가능 • 지하수는 가뭄의 영향을 적게 받는 안정적 수자원 • 기존 관정에서 갈수기 기간 동안 사용하지 않는 양을 최대한 활용 가능 • 가뭄시 지하수 확보의 용이성	【 약 점(W) 】 • 지류 하천 하류지역은 농업지역으로 지하수 신규 개발에 한계 • 기존 관정을 연계 활용하는 기술 부족 • 지하수-기존 수자원 연계 수처리 기준 미흡 • 지표수-지하수 연계이용 효율화 제고를 위한 방법론 필요 • 수자원 확보량과 공급량의 물수지 평가 필요 • 지역별 가뭄대응 기법 부족 • 지하수 수질 오염도와 오염 취약성
	【 기 회(O) 】 • 새로운 방식의 취수원 확보기술 개발 • 기존 시설 활용으로 저비용으로 가뭄 대책 방안 구현 가능 • 비가뭄시 수자원 저장 및 재공급으로 효율적 활용 가능 • 국내 최초 지표수-지하수 연계운영 시나리오 개발 • 가뭄단계별 대응 매뉴얼 개발 가능 • 지역맞춤형 인공함양 효과 평가 기법 개발 • 관정과 기존시설 연계 활용 최적화 적용 다양한 시나리오 구성 가능	【 위 험(T) 】 • 농업지역의 지하수 활용에 제약점이 존재할 수 있음 • 대용량 양수가 가능한 최적지 선정 어려움 • 기존 암반지하수 활용 시 다양한 수질로 인한 수처리 문제의 부정적 가능성 • 일시적인 과도한 지하수 개발로 인한 지하수 장애 발생 • 지표수 최소 유지용수 기준 부재로 지하수 지하수 활용 실행 제약

SO 전략	○ 기존 지하수와 기존 상수원 연계로 안정적 수자원 확보 ○ 가뭄에 대비한 well network 구축 ○ 갈수기 기간 동안 사용하지 않는 물을 저장 후 가뭄시 공급해 가뭄 대응 가능 ○ 가뭄 단계별 대응 매뉴얼로 수자원 비용 절감 효과	WO 전략	○ 기존 관정의 평가 및 연계 기술로 새로운 기법 활용 가능 ○ 기존 시설 활용한 물확보량 및 공급량 평가 기술 개발 ○ 가뭄단계별 대응 매뉴얼 개발로 지역별 가뭄 대응 가능 ○ Well network의 구축을 통한 잉여수자원의 저장 및 활용
ST 전략	○ 지류 농업지역에서의 기존 시설 활용의 극대화로 효과적인 가뭄대응 가능 ○ 가뭄의 영향을 적게 받는 지하수를 활용한 가뭄 대응 가능 ○ 암반지하수와 기존 수자원 연계이용 시 수처리 기법 확보로 안정적 수질 확보 가능 ○ 갈수기 기간 동안 사용하지 않는 지하수 개발로 지하수 장애 극복	WT 전략	○ 기존 시설을 활용함으로써 기후변화에 영향을 최소화하는 새로운 수자원 확보 기술 개발 ○ 기존 관정을 활용해 과도한 지하수 개발 방지로 지하수 장애 예방 ○ 분지의 지하수 자동 sensing을 통한 관리 체계 마련으로 장애 차단 ○ 수처리 기준 마련으로 기존 시설 연계 활용 시 긍정적 효과

[그림 149] 기존 관정의 network 화를 통한 용수확보 기술에 대한 SWAT 분석 및 전략

2절. 비전 및 목표

1. 비전

- ☐ 동 과제의 특성상 기후변화 시대의 수자원의 안정적 확보를 배경으로 핵심 주제어인 가뭄, Big data, IT, 인공함양 등과 관련된 기술을 개발하고자 함
- 지역 특성에 맞는 IT 기반의 인공함양 기술을 개발함으로써 하천 환경 및 물복지 사각 지대의 생활환경 개선을 고려할 수 있는 다음 비전을 제시함

가뭄시 물공급 취약지역의 지하수 확보로 수자원 총량 증대 및 물공급 개선

2. 목표

- ☐ 지하수 인공함양을 통한 갈수기 지하수 부존량 20% 증대 및 기존 수자원시설 연계 공급 기술 확보
 - 현재 전국 지하수위는 약 1.48~13.51 m 깊이로서 상류지역 충적층 지하수 부존층은 약 5~6 m로 추정: 지하수 인공함양 등을 통하여 지하수 부존량을 20% 증가
 - 본 연구의 일차적인 목표는 기본적으로 가뭄 예측, 관측 등의 관리 기술 확보 뿐 아니라 가뭄시 소규모 상수 시설의 공급 능력을 증대시키는데 있음. 농업용수 및 하천유지 용수 등의 확보 및 공급은 가뭄시 수요를 고려한 부수적인 목표로 연구시 고려되어야 함
- ☐ 기술적 목표
 - 선진국 대비 80% 수준의 지하수 인공함양 기술력 확보
 - 지하수 탐사 및 가뭄 예측 기술 수준의 선진화
 - . 기존 지하수 탐사 및 조사의 성공률은 50% 정도로서 기존 대비 20% 이상 개선 목표
 - . 지하수위 자료를 활용한 가뭄 예측 기술 미확보: 예측 기술 확보 및 예측의 신뢰도 90% 확보
 - 모래저장형 dam 및 선상지 인공함양 기술을 활용한 갈수기 부존량 증대
 - . 기존의 소규모 수도 시설(총 17,269개소)의 용량: 최대 350톤/일 이하
 - . 모래저장형 dam을 활용하여 최상류 지역의 기존 소규모 수도시설의 공급

용량을 20% 증가

- 국내 평균 지하수 함양율은 강우의 14.4%이며, 선상지 지하수 인공함양을 통한 연구지역의 갈수기 함양량 30% 증대

- 기존 관정의 연계 활용을 통한 가뭄 대응 능력 증대

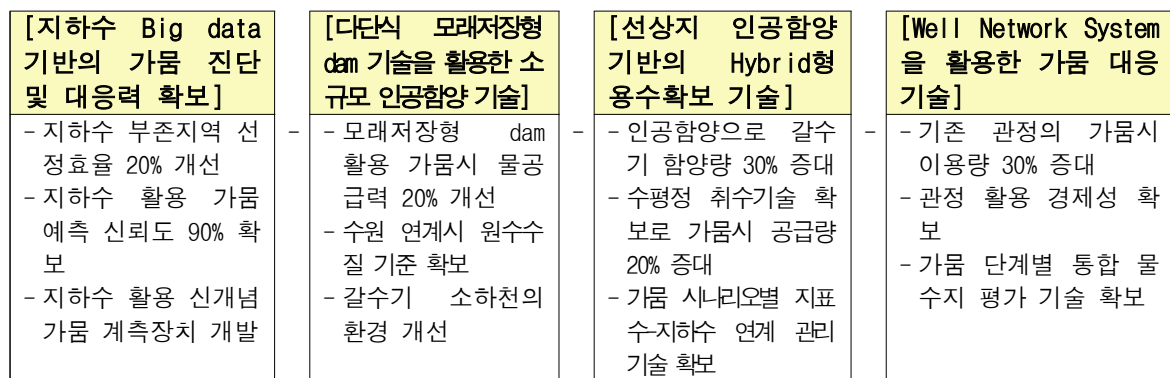
- 기존 관정의 고밀도(1 km²에 약 16개)로 인하여 가뭄시 무분별한 양수 및 상호 간섭으로 총취수량 감소: 관정간 연계활용을 통하여 갈수기 총 취수량을 30% 이상 증대

○ 지류 하천 유역의 지표수-지하수 통합 활용 관리의 실용화 기술 구축

- 지표수-지하수의 물리적 연계 및 시설 구축으로 실용화 기술 확보

(가뭄시 물공급 취약지역의 지하수 확보로 수자원 총량 증대 및 물공급 개선)

(지하수 인공함양을 통한 갈수기 지하수 부존량 20% 증대 및 기존 수자원시설 연계 공급 기술 확보)



[그림 150] 비전 및 목표

3. 단계별 목표

□ 1차년도

- 동 연구는 현장의 Test bed를 확보하여 현장 기술을 개발하고 실증하는 연구로서 1차년도에는 통합 Test bed의 선정 및 현장 지하수의 특성을 파악하는 것을 중심으로 추진함

- 각 세부과제의 현장 실증 기술 확보를 위한 조사, 분석 및 평가 기술 확보
- 2차년도 이후에 진행될 세부 연구 내용 및 공정 수립, 검증

□ 2차년도

- 동 연구는 확보된 Test bed내에서 개발, 적용되어야 할 기술의 요소기술을

확보하는 것이 주 목적으로서, 실내 규모의 기술로서 지하수 인공함양을 위한 기초 기술을 확보함

- 실내 실험 등을 통한 현장 적용에 필요한 요소기술을 확보
- 현장의 지하수 지질 특성에 최적화된 인공함양 기술의 시뮬레이션 수행 등

□ 3차년도

- 현장 Test bed내에 실제 실증 시설을 구축하는 단계로서, 실내에서 확보된 요소기술의 융합을 현장에서 수행하고 인공함양 등 지하수 확보 기술을 개발함
- 현장 실증 규모의 인공함양 시설의 설치 및 설계과정의 미비점 보완을 통한 실용화 기술의 확보 및 기술 지침 기반 구축

□ 4차년도

- 현장 Test bed내에 구축된 실증시설의 수정 보완을 통하여 실증 시설의 수준을 선진국 수준으로 높이는 과정을 수행하게 되며, 이를 통하여 지하수 인공함양의 국내 적용성을 검증함
- 현장 실증 규모의 인공함양 시설의 설치 및 설계과정의 미비점 보완을 통한 실용화 기술의 확보 및 기술 지침 기반 구축
- 세부과제간 기술 연계성을 파악하기 위한 연계활용 기술을 확보하여 인공함양 기술의 효율성을 배가함

□ 5차년도

- 구축된 현장 실증 시설의 운영을 통하여 운영과정의 미비점을 보완하고 안정적인 적용 기술로서 자리매김할 수 있도록 함
- 실제 운영 결과와 시뮬레이션의 효율성을 평가하고, 이를 토대로 우리나라 유역 수문 관리의 지표수-지하수 연계 과정에서의 실용 기술을 확보함

<표 73> 연구개발 단계별 목표

	1단계(1차년도)	2단계(2차년도)	3단계(3차년도)	4단계(4차년도)	5단계(5차년도)
단계별 목표	지표수-지하수 연계기반 가뭄 대응 기반 구축	지표수-지하수 연계 핵심기술 개발	지표수-지하수 연계 핵심기술 검증	지표수-지하수 연계 기술의 현장 실증	지표수-지하수 연계 기술의 운영 및 상용화
주요 추진 내용	-시험 지역 선정 및 설계 기반 구축 -가뭄 특성 및 지하수 대응력 평가	-지하수 활용 가뭄 평가 핵심기술 개발 -지역 특성별 인공함양 핵심 기술 개발	-가뭄 평가 및 진단 기술 검증 -지역 특성별 인공함양 핵심 기술 검증	-세부과제별 핵심 기술의 융합 적용 -유형별 인공함양 기술의 현장 실증	-기술 통합 운영을 통한 경제성 확보 -기술의 상용화 전략 수립

3절. 중점추진분야

1. 중점추진분야 1 (지하수 Big data 기반의 가뭄 진단 및 대응력 확보 기술)

가. 개 요

[표 74] 중점추진분야 1 개요

개념	가뭄에 대응하기 위한 지하수 활용 기술의 기반을 확보하는 분야로서, 지하수를 활용한 가뭄의 진단, 계측과 Big data의 지하수 정보 기반의 부존 평가 기술 및 고부존지역의 탐사 기술을 확보함으로써 가뭄에 대응하는 지하수의 가치를 제고하는 기반을 구축함
설정배경	· (기술) 장기적 변동성과 민감성을 모두 갖추고 있는 지하수위 데이터를 활용한다면 보다 정확한 중단기 가뭄 강도 예측이 가능함 · (기술) 지하수 관측망 지하수위를 활용한 가뭄 예측의 신뢰도 제고를 위해서는 토양수분의 수직적 변화를 관측할 수 있는 연속 계측센서 및 장치개발이 요구됨 · (정책) 정부에서 기 보유(국가지하수정보센터 등)하고 있는 Big data를 과학적으로 분석하여 가뭄발생시 지하수용수 확보 최적지를 신속히 결정할 수 있도록 함으로써 가뭄 정책의 실효성 제고 · (정책) 중단기 가뭄에 대한 실시간 예측 기술을 통한 단계별 가뭄대응 지원 체계 필요 · (정책) 최근 외국의 경우 지하수 자료를 활용한 가뭄 지수 산정이 진행되는 등 활발한 연구가 이루어지고 있으나, 국내의 경우 이에 대한 접근이 전무함 · (산업/시장) 현재 가뭄 발생시 부분별한 지하수 관정 개발로 목표 수량 미달 및 사후 방치공 발생 등 문제점을 야기하고 있음 · (산업/시장) 지하수의 함양에 직접 영향을 미치는 토양수분의 3차원적 분포 자료에 기반한 가뭄 진단 및 계측 기술 개발 필요 · (산업/시장) 국내의 경우 지구물리탐사에 의한 대용량 지하수 개발의 성공율은 절반 정도에 머무르고 있어 가뭄시 대용량 지하수 개발에 의한 용수 공급이 어려움
목표	지하수 기반의 탐사, 계측 및 가뭄 예측 기술 선진화 - Big data 및 탐사기술 개선으로 기존 탐사기술 대비 지하수 고부존지역 선정 효율 20% 개선 - 지하수위 계측 자료와 토양수분을 연계 활용한 가뭄 예측 신뢰도 90% 확보 - 지하수토양 활용 신개념 가뭄 계측 장치 개발 - 상류 분지 특성에 적합한 지하수 개발가능량 산정 기술 정확도 90% 확보

(표 계속)

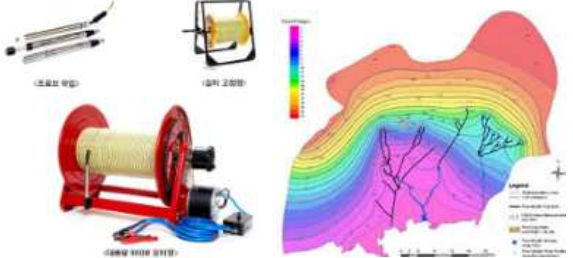
주요 내용	- 지하수 수리특성 DB, 3D 지질 정보 및 기존 관정 특성 등을 활용한 지하수 부존지역 평가 기술 - 가뭄시 지하수 활용 공급가능량 평가 기술 - 가뭄시 기존 수원과의 연계 방안 등 최적 후보지 선정 기술 - 지하수 활용 가뭄관리 GIS 시스템 개발 - 지하수위 및 토양정보 기반의 가뭄 취약성 평가 기법 개발 - 최신 통계기법 기반의 지하수위 활용 중단기 가뭄 예측 기술 개발 - 토양수분 함량의 수직 연속 측정을 위한 센서 및 장치 개발 - 토양수분 함량과 대기 중 특성 데이터의 융합을 위한 통합 계측 시스템 개발 - 토양연계 가뭄지하수관측정의 설계, 시공 및 유지관리 지침 개발 - 자기공명 방식의 물리탐사 기법 분석 및 탐사 시스템 개발 - 대수층의 주요 parameter 및 특성 해석을 위한 역산 해석 알고리즘 개발 - 지류 상류 분지지역의 다변량 수문요소(탈함양량) 기반 지하수 개발가능량 평가 프로그램 개발 - 가뭄 대응을 위한 지하수 활용, 관리를 위한 제도 개선 연구 - 가뭄 대응 지하수 관리 자금 확보 프로그램 개발

나. 연차별 목표 및 내용

[표 75] 중점추진분야 1 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	지하수 Big data의 특성 및 가뭄 평가 기반기술 분석	- 가뭄 지역의 가뭄 진단 기술 개발 - 지하수 고산출지역 대수층의 물성 평가 - 상류지역의 지하수 개발가능량 적용성 진단
2차년도	지하수 Big data 기반의 가뭄 평가 기술 고안	- 지하수를 활용한 가뭄 취약성 평가 기술 고안 - Big data를 활용한 지하수 개발가능지역 평가 기술 - 토양 수분의 수직 연속 측정 센서 개발 - 지하수 최적화 지구물리탐사 기법의 보완 - 다변량 수문요소를 고려한 지하수 개발가능량 산정 기법 고안
3차년도	지하수 Big data 기반의 활용 가능성 평가 기술 확보	- 지하수를 활용한 가뭄 취약성 평가 기술 개발 - Big data를 활용한 지하수 활용가능성 평가 기술 - 토양 수분 및 대기 특성 융합 계측시스템 고안 - 지구물리탐사 기법의 지하수 부존 평가기술 개발 - 지하수 개발가능량 산정 기법 개발
4차년도	지하수 데이터의 활용 기술 확보	- 지하수위 활용 중단기 가뭄 예측 기술 개발 - 3차원 토양-대기 융합계측시스템 시범 설치운영 - 대수층 특성에 따른 물리탐사 해석 프로그램 개발 - 지하수 개발가능량 산정 프로그램 개발
5차년도	지하수 활용 가뭄 관리 시스템 구축	- GIS 기반의 지하수 활용 가뭄 평가 시스템 개발 - 지하수 가뭄 관측정 설계, 시공 및 유지관리 지침 - 지하수 탐사 결과의 표준 해석 기법 제시 - 지하수 개발가능량 산정기법 적용성 평가

다. 기대효과 및 파급효과

기술 개발 전 현황	
• 지류 유역의 경우 가뭄시 지하수 고갈이 최우선 도래하여 물이 부족함 • 가뭄시 지하수 관정 개발 최적지 선정이 어려워 실패 가능성이 높음 • 기존 가뭄의 예측은 비교적 광역적으로 이루어지므로 유역 상류의 가뭄에 대한 예측력이 떨어짐 • 하천 유량 중심의 예측은 가뭄시 유량 감소로 한계가 발생함	
	
기술 개발 후 미래상	
• 가뭄시 지하수 관정 개발 최적지 선정을 위하여 Big data 기반의 시스템 확보로 실패 가능성이 낮음 • 지하수위 및 토양수분에 의한 가뭄 예측 장치 개발로 가뭄 평가 및 예측의 정확도를 제고함 • 고정밀 탐사 기술 확보로 지하수 개발 최적지 선정이 용이함 • 상류지역 지하수 개발가능량 평가 기법 확보로 총량 관리의 기반 마련	

[그림 151] 중점추진분야 1 기대효과 및 파급효과

2. 중점추진분야 2 (다단식 모래저장형 dam 활용 소규모 인공함양 기술 개발 분야)

가. 개 요

[표 76] 중점추진분야 2 개요

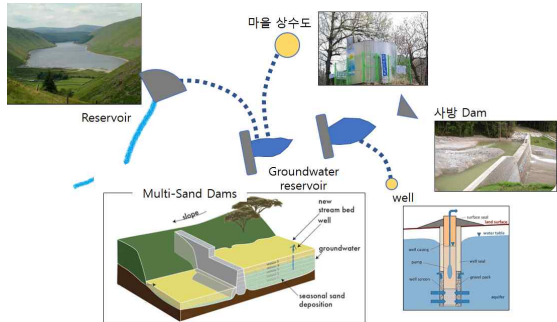
개념	지류유역 상류는 가뭄시 지표수원이 한계를 드러내는 지역으로서, 다수의 모래저장형 dam 등을 통하여 단기 가뭄에 대응할 수 있는 지하수 함양 기술을 확보하여 기존 간이상수도 등과 연계할 수 있는 기술을 확보함
설정배경	· (기술) 상류지역에서는 가뭄에 대응하기 위하여 소량의 용수를 단기간에 공급할 수 있는 기술이 필요하며, 이를 위하여 지하댐의 변형된 형태인 모래저장형 dam 기술의 국내 자체 기술력 확보가 필요함 · (기술) 모래저장형 dam의 함양 증대를 위하여 강우, 눈 뿐 아니라 기존의 사방댐 등과 연계할 수 있는 기술 접목이 요구됨 · (정책) 유역 상류는 가장 빨리 가뭄이 도래하는 지역으로서 가뭄의 가능성이 있을 경우 정책적으로 선 대응하는 것이 물 복지 정책으로 우선시되어야 함 · (정책) 간이상수도 등에 의하여 물 복지에 취약할 뿐 아니라 생활 환경에서도 상대적으로 취약한 지역이므로 안정적인 용수 확보가 균형발전을 위하여 정책적으로 필요함 · (산업/시장) 간이상수도는 90% 이상이 지하수를 수원으로 기 개발되어 있으나, 본 다단식 모래저장형 dam 기술이 확보된다면 기존 간이상수도 시설의 안정적 운영을 위하여 모래저장형 dam을 활용한 간이상수도 개선 사업 등이 추진될 수 있음 · (산업/시장) Rainwater harvest 사업의 추진에 있어서 본 연구에서 개발된 지하수 인공함양 및 다수원 시설의 연계 방식 등이 현장에서 산업으로 자리매김할 수 있을 것임
목표	다단식 모래저장형 dam을 활용한 소규모 인공함양 기술 확보 - 모래저장형 dam 함양수 활용 기존 소규모 시설의 가뭄시 물 공급 능력 20% 개선 - 기존 수원 연계시 상수원 원수의 수질 기준 확보 - 모래저장형 dam과 기존 상수도시설의 연계 시공 및 관리 기준 - 갈수기 소하천의 유지용수 공급을 통한 환경 개선
주요 내용	- 지형, 대수층, 기존시설 연계성 등을 고려한 지하 저류지(모래저장형 Dam 등)의 적지 선정 기준 - 지하 저류지(모래저장형 Dam)의 조사, 설계 기술 개발 - 지하 저류지(모래저장형 Dam)의 시공 및 취수 기술 개발 - IoT 기반의 모래저장형 Dam의 관리 기술 개발 - 모래저장형 Dam의 수원 확보 기술: 계곡수, 이슬, 눈, 사방댐, 관정 등 - 모래저장형 Dam 유역에서의 지하수의 수질 특성 분석 및 적정 전처리기술 개발 - 타 시설(관정, 마을상수도 등) 연계시 수질 변화 특성 분석 - 간헐적 운영에 따른 충전물내의 클로킹 영향 평가 및 개선 기술 개발 - 강우 조건에 따른 다단식 모래저장형 dam의 저류량 극대화 기술 - 모래저장형 dam과 타 수원의 연계 시공, 운영관리 기술 - 지하댐 연계형 사방댐, 모래저장댐 등 다단식 지하저류지의 설치·운영 효과 분석 - 기존 취수원과의 연계를 통한 가뭄대응력 제고 기술 개발

나. 연차별 목표 및 내용

<표 77> 중점추진분야 2 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	모래저장형 dam 연구 현장 선정 및 기준 수립	-다단식 모래저장형 dam 최적지 선정 기술 및 연구현장 선정 -연구 현장의 수리지질학 및 이화학적 특성 평가 -설치 효과의 사전 예측 모형 구축
2차년도	인공함양 수량, 수질 확보를 위한 기초기술 개발	-가뭄시 인공함양수 및 수질 확보 기술 개발 -함양수의 원수 수처리 기술 개발 -모래저장형 dam의 설계
3차년도	모래저장형 dam 현장 설계, 시공	-모래저장형 dam의 시공 및 현장 시스템 구축 -기존 수원의 운영 및 시설 특성 평가
4차년도	기존 수원 연계 기술 개발 및 운영	-간이상수도, 저수지, 하천 등 기존시설 연계기술 개발 -가뭄 특성별 연계 운영 및 모니터링 기술 확보 -기존 용수공급시설의 정수처리 기술 보완
5차년도	모래저장형 dam 방식 지하수 확보 기술 효과 평가	-모래저장형 dam과 타 시설의 연계 효과에 대한 평가 -모델 시뮬레이션과 실제 운영의 비교 평가 -수량확보, 수처리 및 운영관리 기술 지침 개발

다. 기대효과 및 파급효과

기술 개발 전 현황	
- 지류 상류 유역의 경우 가뭄시 신규 수자원 확보 방안이 전무(급수차 운영) - 상류 유역의 가뭄 극심화, 하천 고갈 및 비상용수 확보에 한계 - 가뭄시 용수원 확보의 한계 및 기존 수리시설의 효율성 저하	
기술 개발 후 미래상	
- 지류 상류의 경우에도 가뭄시 신규 수원 확보 기술(인공함양)이 마련됨 - 기존의 수리시설(사방댐, 저수지 등)과 연계한 기술 확보로 타지역 적용성 확대 - 풍수기 잉여수의 지하저류 및 갈수기 하천 회귀를 통한 하천 건천화 예방에 기여 - 가뭄 시나리오별 용수 연계운영 기술 개발로 가뭄 대응 지속 기간 및 능력 제고	

[그림 152] 중점추진분야 2 기대효과 및 파급효과

3. 중점추진분야 3 (선상지 인공함양 기반의 Hybrid형 용수확보 기술 개발 분야)

가. 개요

<표 78> 중점추진분야 3 개요

개념	우리나라의 지형지질 특성상 선상지 지역은 충적층이 잘 발달하고 대수층이 분포하는 지역으로서 지하수 인공함양의 효과를 극대화할 수 있는 여건을 갖고 있으며, 가뭄 발생시 소하천과 연계한 지하수 인공함양을 통하여 비교적 풍부한 수량을 확보할 수 있으므로, 본 연구를 통하여 가뭄에도 용수가 부족하지 않는 시스템을 개발하고자 함
설정배경	· (기술) 하천과 지하수의 시설 연계에 대한 실질적인 현장 기술 개발과 적용이 가능한 지역으로서, 하천의 용수 저류량 증대와 지하수의 인공함양에 대한 실증 기술이 필요함 · (기술) 지하수 인공함양의 방법 중에서 국내의 선상지 지역에 적합한 기술을 파악하고, 적용함으로써 최적의 경제적이고 국내 실정에 맞는 인공함양 기술을 확보함 · (기술) 선상지의 특성상 대하천과 달리 수직 우물에 의한 지하수 개발이 어려운 만큼, 수평 우물의 시공 기술을 확보하여야 함 · (기술) 선상지는 다양한 형태의 농업 및 생활 활동이 이루어지는 지역으로서 수처리 및 토지이용 등에 대한 기술적 접근이 필요함 · (정책) 선상지 인공함양 기술은 이들 지역에 발달한 농업용 비닐하우스 등 농업용 지하수의 고갈을 차단할 수 있는 부대적인 효과가 발생되므로, 농업분야의 정책적인 활용 및 적용 방안이 요구됨 · (정책) 가뭄시 하천의 유량은 급격히 감소하여 생태에 영향을 미칠 수 있으므로 하천의 유지관리적 측면에서 인공함양 기술의 활용에 대한 정책적 접근이 필요함 · (산업/시장) 인공함양 기술은 제주도 화산암 지역에서 적용된 바 있으나, 내륙의 경우는 대규모 인공함양이 적용된 바 없어 대용량 용수 확보의 수단으로 자리매김할 경우 산업에 미치는 영향이 클 것임 · (산업/시장) 농업 활동이 활발한 지역의 경우 지하수 고갈로 인하여 수확재배 등의 한계를 보이는 만큼, 본 기술 확보를 통하여 대규모 인공함양 및 농업용수 확보 시장에도 활성화할 것임
목표	선상지의 지하수-지표수 연계한 인공함양 기법을 통한 Hybrid형 용수확보 기술 개발 - 지하수 인공함양을 통한 갈수기의 자연 함양율 대비 30% 증대 - 선상지 수평정 취수기술 및 지하수 부존량 증대 기반의 가뭄시 공급량 20% 확대 - 소하천의 시설 개선을 통한 함양원수 확보 - 가뭄 시나리오별 지표수-지하수 연계 관리 기술 확보

(표 계속)

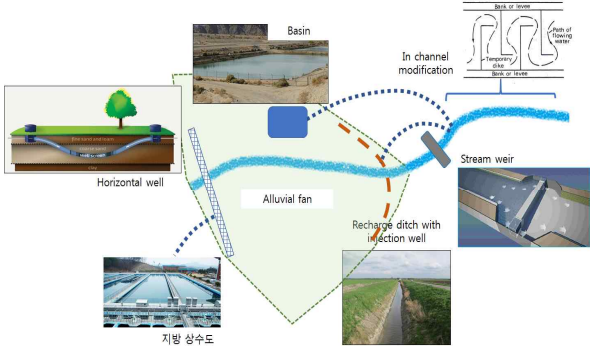
주요 내용	- 선상지형 지층에서 500톤/일의 지하수 확보가 가능한 수평정 조사 설계 기술 개발 - 다양한 지층변화(토사, 호박돌 및 암반)에 대응하는 수평(및 경사)공 굴진 기술 개발 - IoT 기반 자동제어시스템을 접목한 정밀시공 시스템 및 설계/시공 지침서 구축 - 선상지 상류의 소하천 함양원수 확보를 위한 소하천 시설 개선 조사, 설계 기술 - 소하천 시설 개선 실내 모형 실험 및 시공 기술 개발 - 소하천의 함양원수 확보 관련 하천 관리 및 수량 확보 평가 - 인공함양 대수층 수리특성 조사 및 시뮬레이션 - 인공함양 기법 설계 및 시공 - IoT 기반의 인공함양 설비 운영을 통한 효과 평가 - 기존 상수원 취수시설과의 연계 설계 기술 개발 - 기존 취수원 연계 운영을 통한 수량 및 수질 최적화 방안 개발 - 상수원 연계 운영을 통한 주변 선상지 지역의 영향 최소화 방안 연구 - 소하천 시설 개선에 따른 하상토, 생태 모니터링 및 준설 방안 수립 - 예비모델링을 통한 인공함양 위치 최적설계 - 모니터링, 모델링을 통한 수자원확보 효과 분석 - 하천저류량과 연계한 수자원 수요-공급 관련 최적 공급 방안 제시

나. 연차별 목표 및 내용

<표 79> 중점추진분야 3 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	선상지 인공함양 연구 현장 선정 및 기준 수립	-최적 연구지역 선정 (연구단 통합 Testbed) -연구 현장의 수리지질학 및 이화학적 특성 평가 -소하천의 유량 평가 및 적정 저류기술 분석
2차년도	소하천 원수확보 및 인공함양 기초기술 개발	-지하수 인공함양 기술 검토 및 적정 방안 수립 -수평정 굴착 및 시공 요소기술 확보 -소하천 시설개선 설계 및 사전 시뮬레이션 평가 -확보수량 예측 모델링 및 모니터링 구축
3차년도	연구 시설 현장 시공	-연구 시설 구축(소하천, 인공함양 시설 등) -인공함양수의 수질 전처리 기술 확보
4차년도	지표수-지하수 연계 및 인공함양 기술 적용	-간이상수도, 저수지 등 기존 시설 연계 기술 개발 -가뭄 특성별 연계 운영 기술 확보
5차년도	인공함양 기술 효과 평가	-지표수-지하수의 연계 효과에 대한 평가 -하천 저류량과 연계한 수요-공급 최적 방안 분석 -수량확보, 수처리 및 운영관리 기술 지침 개발

다. 기대효과 및 파급효과

기술 개발 전 현황	
• 선상지 유역의 경우 다양한 영농활동으로 가뭄시 물이 가장 필요한 지역임 • 가뭄시 소하천의 물을 효율적으로 저류할 수 있는 기술이 미흡함 • 지표수와 지하수의 실질적인 시설 연계 기술이 전무함 • 국내 인공함양은 제주도 화산암 지대의 수직정에 의한 방법이 거의 유일함	
	
기술 개발 후 미래상	
• 선상지의 풍부한 생활 및 농업용수 확보가 가능하며, 가뭄시에는 보다 효과적인 수원 확보 방안이 됨 • 소하천의 유량 확보를 위한 In channel modification 기술을 개발함으로써 환경 친화적인 용수 확보 가능 • 지표수-지하수의 실질적인 시설 연계를 통한 시나리오별 용수 확보 가능 • 국내 실정에 맞는 인공함양 기술의 개발 및 선정	

[그림 153] 중점추진분야 3 기대효과 및 파급효과

4. 중점추진분야 4 (Well network system을 활용한 가뭄 대응 기술 분야)

<표 80> 중점추진분야 4 개요

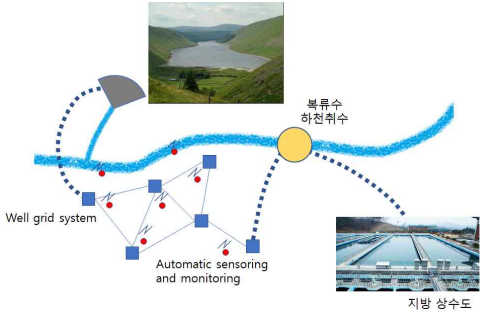
개념	가뭄 발생시 지표수에 비하여 가뭄의 영향을 적게 받는 지하수 관정을 중심으로 각 관정의 공급능력을 감안한 네트워크를 만들어 물이 필요한 곳에 적합한 공급 시나리오를 구축하는 기술을 개발함
설정배경	· (기술) 지하수 관정은 지표수에 비하여 상대적으로 가뭄에 대한 대응력이 크나 가뭄시 활용하기 위한 체계적인 기술이 마련되어 있지 않았음 · (기술) 사용 중인 관정들의 수위강하 대비 취수가능력(취수능력)에 대한 평가 기술을 확보하고 DB로 구축이 된다면 가뭄시 신속하게 취수가능한 양을 진단하여 공급할 수 있음 · (정책) 가뭄 발생시 최우선적인 정책적 대안은 지하수를 개발하는 것이나, 개발을 위해서는 성공률이 낮아 문제가 되거나 무분별한 개발로 인한 환경적 피해 등이 발생할 수 있으므로, 기존 관정을 최대한 활용하는 정책적 필요성이 대두됨 · (정책) 또한, 기 개발된 공공 관정의 경우 성능을 개선하여 비상시 활용할 수 있으므로 이와 같은 정책 추진을 위한 기반이 필요함 · (산업/시장) 현재 지하수 개발 시장은 침체기를 보이고 있어 시장이 활발하지 못하나, 본 기술을 통하여 기존 시설의 성능 개선이나, 연계 그리드화 사업 등을 통한 용수 확보 기술이 마련되므로 신규 시장 발굴이 가능함 · (산업/시장) 지하수 개발은 비가뭄시와 가뭄시 큰 차이를 보이고 있으므로, 비가뭄시에도 안정적인 지하수 산업(그리드와 및 성능 개선 등)의 필요성이 대두됨
목표	Well network System을 활용한 가뭄 대응 및 통합 수자원 활용관리 실용화 기술 개발 - 기존 관정의 가뭄시 총이용량 30% 증대 - 관정을 활용한 가뭄시 용수공급의 경제성 확보 - 가뭄 단계별 통합 물수지 평가 기술 확보
주요 내용	- 기존 관정의 네트워크 구축을 위한 적정 연계 용량 평가 기법 - 기존 수요자의 need 분석 및 운영 문제점 평가 및 대책 - IoT 기반의 기존 관정 네트워크 구축 및 기존 수원 연계 설치 - 가뭄 단계별 공급량을 고려한 운영 시나리오 수립 - 연계 운영을 통한 모니터링 및 관정의 산출성 변화 평가 - 대형(공공) 관정의 용수공급 능력 평가 기술 개발 - 연구지역의 대응량 관정 용수공급능력 분포도(시스템) 개발 - Sensoring 기법을 활용한 연구지역 지하수 수문관리 자동화 관리 체계 개발 - 대형 관정의 성능개선 기법 개발 - 대수층의 지하수 수질 정화작용의 정량화 평가 - 기존 상수원 연계시의 수처리 기법에 미치는 영향 평가 및 적정 처리 기준 개발 - 현장 실증 운영을 통한 적정 처리 기법의 평가 및 운영방안 제시 - 기존 상수원 취수시설과 지하수-지표수 연계 운영의 단계별 최적안의 도출 - 평시/갈수시 연계 운영 시나리오 구축 - 극한 가뭄에 대응하기 위한 연계 운영 시나리오 구축 - 상-중-하류 유역의 지하수자원 확보기술의 효과 평가

나. 연차별 목표 및 내용

<표 81> 중점추진분야 4 개요

연차	연구목표	연구내용
1차년도	기존 관정의 특성 평가	-연구지역 선정 및 기존 관정의 수리학적 특성 진단 -기존 관정의 가뭄 대응력 진단 요소 기술의 이론적 개발
2차년도	Well network system 구축 방안 수립	-기존 관정의 가뭄 대응시 취수능력 진단 기술 적용 및 평가 -WNS의 설계 -지하수 총량 관리를 위한 Sensoring 기법 고안
3차년도	Well network System 구축	-WNS 시공 및 Sensoring 구축 -암반지하수와 기존 수원의 수질 연계성 및 전처리 방안 개발
4차년도	관정과 기존 시설의 연계 시스템 구축	-WNS와 기존 시설 연계 및 가뭄별 시나리오 개발 -지하수 수처리 및 정수장 연계 처리 기술 개발
5차년도	WGS의 효과 평가	-WNS의 시범 운영 -WNS의 물수지적 관점의 효과 평가 -인공함양 기술의 통합적 효과 평가

다. 기대효과 및 파급효과

기술 개발 전 현황	
- 가뭄 지역의 관정이 가뭄이 발생하더라도 활용도가 낮음 - 각 개별 관정의 경우 용수공급능력이 낮아 가뭄시 효용성이 낮음 - 암반지하수와 정수장 수처리 기술의 연계에 대한 기술이 전무함	
	
기술 개발 후 미래상	
- 관정의 연계를 통하여 가뭄시 대응할 수 있을 수준의 대응량 용수 확보가 가능함 - 암반지하수와 기존 정수장의 연계를 통한 신개념의 수처리 운영 기술이 마련됨 - 가뭄 발생시 Local 단위의 가뭄 대응능력이 확보됨	

[그림 154] 중점추진분야 4 기대효과 및 파급효과

4절. 연구개발과제 구성

1. 후보과제 Pool 구성

가. 후보과제 Pool 구성 방법

- ☐ 산학연 전문가와 연구 관련 기관을 중심으로 기술수요조사를 실시하고 수집된 기술수요 조사서를 토대로 연구 비전과 목표에 맞는 후보과제들을 선별함
- 연구개발 목표에 해당하는 기술을 보유한 기관 및 전문가 등에게 연구 기획 의도를 설명하고 목표를 달성하기 위한 기술 수요조사를 의뢰함
- 연구목표별 기술분류 체계를 제시하고 소분류에 해당하는 예상 주요기술 목록을 제시함으로써 연구 기획의 의도를 정확히 전달하려고 노력함
- ☐ 수집된 기술 수요조사서를 주요 기술별로 분류하여 기획한 기술분야에 다양한 후보과제 Pool이 구성될 수 있도록 의견을 조회함

나. 후보과제 Pool 중복성 · 유사성 · 위계 검토

- ☐ 중복성 검토는 후보과제 Pool의 개별 과제들을 대상으로 NTIS에 등재된 국가 R&D 데이터를 활용하여 중복과제 유무를 확인하고 중복과제로 판정될 경우, 후보과제 Pool에서 제외함
- 수집된 수요조사 과제들 중 유사한 기술 수요들은 유사기술로 분류하여 1가지 기술 분류로 통합함
- 과제 중복여부는 추진 준비 중인 국가 과제를 포함하며 수행중이거나 기 개발이 완료된 과제 또는 기술이 존재하는 경우로 판단
- 중복성과 유사성을 기준으로 수요 조사된 기술들을 분류하고 본 연구기획에 적합한 후보과제 Pool을 확보함
- ☐ 수요조사 과제는 약 57개(1차: 44개, 2차: 13개) 정도로서, 이들을 대상으로 유사한 자료를 통합하여 37개로 구성하였으며, 이를 대상으로 NTIS의 중복성 검토를 실시한 결과 유사 및 중복 과제는 존재하지 않는 것으로 분석되었음

다. 후보과제 Pool list

- 후보과제를 선정하기 위하여, 37개의 정리된 수요조사 과제(후보과제 Pool)를 대상으로 본 기획의 의도와 목적에 부합하는 과제 및 기타 과제로 분류하여 최종적으로 후보과제를 선정하도록 하였음

중점추진 분야	연 번	후보과제명	후보과제 정의
중점추진 분야1	1	Big data 기반의 지하수 고부존 선정 및 최적지 연계성 평가 기술	-지하수 수리특성DB 및 3D지질 정보 등을 활용한 지하수 부존지역 평가 기술 -기존 관정의 시설 특성을 활용한 대용량 지하수 개발가능지역 평가기술
	2	지하수-토양연계 기반의 가뭄 취약성 평가 및 예측 기법 개발	-지하수위와 토양수분의 상관 분석을 통한 침투 및 가뭄 특성 진단 -지하수위 및 토양정보 기반의 가뭄 취약성 평가 기법 개발
	3	3차원 토양수분 및 대기 연계정보 기반의 가뭄계측 개발	-토양수분함량과 대기 중 특성 데이터의 융합을 위한 통합 계측 시스템 개발
	4	지하수 고산출지역 정밀 지구물리 탐사 및 해석 기법 개발	-자기공명 방식의 물리탐사 기법 분석 및 탐사 시스템 개발 -대수층의 주요 parameter 및 특성 해석을 위한 역산 해석 알고리즘 개발
	5	상류 분지에 적합한 지표수-지하수 연계 기반 지하수 개발가능량 평가기법 개발	-상류 분지지역의 강우 및 수문환경 특성 분석 -다변량 수문요소 기반 지하수 개발가능량 평가 기법 개발
	6	지표수-지하수 연계 기반의 가뭄 대응 비상 급수 정책 및 자금 프로그램 개발	-가뭄 대응을 위한 지하수 활용, 관리를 위한 제도 개선 연구 -지표수-지하수 연계를 통한 용수확보 및 활용 정책 개발 연구
	7	습윤지수기반의 토양 습윤도 계측을 통한 가뭄 예측 기법 개발	-토양의 공학적 특성과 토양 습윤도의 상관관계 연구 -토양 습윤도 측정 장치 개발
	8	가뭄대응을 위한 토양 수분 평가 및 예측 프로그램 개발	-상시 가뭄 대응을 위한 토양 유효수분 평가 및 제공체계 구축 -상습 가뭄 지역의 판별을 위한 정책 의사결정 지원 시스템 구축
	9	기상변화 및 토양 수분 변화에 따른 함양량 산정 기법 개발	-현장조사 매뉴얼 작성 -개발기술의 현장적용을 통한 지하수자원 활용성 평가
	10	지하수자원 확보시설 설치 위한 빅데이터 구축	-시추조사에 의한 지하매질 구분 및 물성시험 -지리정보시스템을 활용한 빅데이터 구축 및 활용
	11	한반도 유역 및 기후 특성과 지표환경 변화를 고려한 지표수-토양-지하수 연계 분포형 통합물수지 분석 기술	-한국형 물수지 분석기술 및 분석도구 개발 -한반도 유출 특성을 고려한 지표유출 분석법 개발
	12	지하 대수층 탐지를 위한 융·복합 물리탐사 기술 개발	-융·복합 물리탐사 알고리즘 개발 및 알고리즘을 구현한 소프트웨어 개발
	13	3차원 전기비저항 영상화 기반의 지하수 고부존 지역 정밀탐사 기법	-1,2차원 탐사 정보를 3차원 영상화 함으로써 지하수의 부존 범위, 부존량의 파악, 관정 상호간의 영향 반경 설정 등의 정밀도 향상

중점추진 분야	연 번	후보과제명	후보과제 정의
중점추진 분야2	1	다단식 Sand(모래저장형)Dam 설계, 시공 및 관리 기술 개발	-지형, 대수층, 기존시설 연계성 등을 고려한 모래저장형 Dam의 적지 선정 기준 -모래저장형Dam의 조사, 설계 기술 개발
	2	Sand(모래저장형)Dam의 수질 확보 및 관리 기술 개발	-모래저장형Dam 유역에서의 지하수 수질 특성 분석 및 적정 전처리 기술 개발 -간헐적 운영에 따른 충전물내의 클로킹 영향 평가 및 개선 기술 개발
	3	다단식 Sand(모래저장형)Dam과 타 수원 시설의 연계 활용 기술 개발	-강우조건에 따른 다단식 모래저장형 dam의 저류량 극대화 기술 -모래저장형 dam과 타수원 연계 시공 기술
	4	모래저장형 dam과 수원 연계에 따른 유역단위 물 수지 평가 및 최적 운영 기술	-상류부 가뭄대응시설 설치에 따른 사전예측, 사후평가 모형구축 -지하댐 연계형 사방댐, 모래저장댐 등 다단식 지하저류지 설치·운영 효과 분석
	5	가뭄대응에 따른 지하수 수량 및 수질 개선을 위한 다단 지하댐 설계	-지속적인 가뭄을 대비한 지하댐의 수량 확보 및 수질개선, 그리고 안정적 용수 공급 -하류의 지하댐으로부터 상류에 천부 지하댐을 건설
	6	실제 증발산 모형 구축과 이에 기초한 가뭄예측기술 및 지하수 활용 연계 방안	-실제 증발산을 활용한 가뭄지수 개발 -지하수 수지 및 함양량 평가 모형 개발
중점추진 분야3	1	선상지형 인공함양지에서의 취수를 위한 수평집수정 설계 및 시공 기술	-선상지형 지층에서 1000톤/일의 지하수 확보가 가능한 수평정 조사 설계 기술 개발 -다양한 지층변화에 대응하는 수평공 굴진 기술 개발
	2	소하천의 자동 수위 관리 기능을 갖는 소형보를 활용한 갈수기 수량 확보 기술 개발	-선상지 상류의 소하천 친화형 소형 보의 조사, 설계 기술 개발 -소형 보 모형 실험 및 시공 기술 개발
	3	선상지 상류의 인공함양 기법을 활용한 수량 증대 및 수질 확보 기술	-인공함양 대수층 수리특성 조사 및 시뮬레이션 -인공함양 기법 설계 및 시공
	4	인공함양 지하수자원의 상수원 연계 및 저영향관리 기술	-기존 상수원 취수시설과의 연계 설계 기술 개발 -기존 취수원 연계 운영을 통한 수량 및 수질 최적화 방안 개발
	5	하도내 소형보 설치에 따른 하상토 및 생태 모니터링 기술	-소형보 설치에 따른 하상토 모니터링 및 준설방안 수립 -소형보 설치에 생태 변화 모니터링
	6	하천수의 지하수 인공함양에 따른 확보수량 예측 모델링 및 모니터링 기술	-예비모델링을 통한 인공함양 위치 최적 설계 -모니터링, 모델링을 통한 수자원 확보 효과 분석

중점추진 분야	연 번	후보과제명	후보과제 정의
중점추진 분야4	1	Well network System을 활용한 용수 확보 기술 개발	-기존 관정의 네트워크 구축을 위한 적정 연계 용량 평가 기법 -기존 수요자의 need분석 및 운영 문제점 평가 및 대책
	2	대형 지하수 관정 시설 가뭄 대응력 평가 및 성능개선 기술 개발	-대형관정의 용수공급 능력 평가 기술 개발 -시험지역의 대용량 관정 용수공급능력 분포도 개발
	3	암반지하수와 기존 취수원 연계에 따른 수질관리 적정 기술 개발	-대수층의 지하수 수질 정화작용의 정량화 평가 -기존 상수원 연계시의 수처리 기법에 미치는 영향 평가 및 적정 처리 기준 개발
	4	가뭄 대응 단계별 지하수-지표수 연계 생활용수 공급 시나리오 개발	-기존 상수원 취수시설과 지하수-지표수 연계 운영의 단계별 최적안의 도출 -평시/갈수기 연계 운영 시나리오 구축
	5	AR 통합 운영관리 효과 및 물수지 평가	-중하류부 지하수자원 확보기술의 효과 평가 -상·중·하류 유역의 지하수자원 확보기술의 효과평가
	6	친환경 압축가스를 이용한 공공관정 정비 및 효율성 증대 기술	-과학적이고 체계적인 공공지하수 관정 정비를 통한 지하수자원 추가확보
기타 분야	1	해안 도서지역의 연지하수 활용 기술 개발 연구	-염지하수 개발가능량 조사 및 평가 기술 개발 -해안 지하 지질특성을 고려한 염지하수 취수 시설 개발
	2	기존 수원 연계형 암반집수정 설계 및 시공 기술 개발	-암반집수정 개발 최적지 선정 및 조사기법 연구 -암반집수정의 설계 및 시공기술 개발
	3	방치된 대용량 지하수시설 활용을 위한 방사형집수정 재개발 및 재시공에 의한 취수량 증대 기술 연구	-기존 방사형집수정의 시설 개선을 통한 대용량 취수원 개발 기술
	4	대용량 지하수 취수시설의 취수량 증대를 위한 재개발 기술 국산화 연구 및 적용	-Bore Blast기술 장비의 국산화 및 기술 개선 -대용량 지하수 취수시설의 재개발 및 개량 기술 및 장비를 국산화하고 기존 시설에 적용하여 재개발에 의한 취수량 증대 효과를 검증
	5	Chain-saw cutting 방식을 통한 일반 및 강변여과 집수정의 단기 고성능 우물통 제작 시공 장비 및 시공방법 개발	-일본 개발의 연약지반 개량용 Chain-saw cutting기술 기본의 응용 시제품 장비의 제작 -시험 시행 지구 1개소 선정 및 3종류 규모의 다양한 우물통 제작 시공
	6	IT기반의 배후지 영향을 최소화 하는취수시설 운영시스템 개발	-강변여과수 개발시 취수량 감소를 억제하면서 배후지 영향을 최소화 할 수 있도록 IT기술을 활용한 수평집수관별 취수 운영·제어 시스템을 개발

- 이상 최종 확정된 후보과제 Pool을 대상으로 전문가 그룹에게 과제카드 작성을 의뢰하여 최근 기술 수준에서 달성 가능한 연구 목표를 설정함
- 과제카드는 연구개발 목표, 필요성, 연구 주요내용, 관련기술/산업/시장동향, 최종성과물, 기존기술 활용방안 등으로 설정함
- 과제카드는 후보과제의 우선순위 평가 시, 평가자의 판단을 돕기 위한 것으로 향후 RFP작성의 근거자료로 활용함
- 후보과제의 우선순위 평가 후, RFP 작성시 후보과제 카드 별 내용을 검토하여 중복성, 연계성, 독립성 등을 검토한 후 최종적으로 연구개발 추진과제 및 RFP상에 반영토록 함

2. 후보과제 우선순위 평가

가. 개요

(1) 우선순위 평가의 목적

- 상기 기획 과정에서 도출된 후보과제 중 동 사업 수행에 필요한 과제를 선정하고, 선정과제 중 추진 우선순위를 설정하기 위함임
- 산·학·연 전문가를 대상으로 기획에서 도출된 후보과제의 실용화 가능성, 정부지원 필요성, 독창성, 사회적 파급효과 등에 대한 평가를 수행함

(2) 우선순위 평가의 절차

- 우선순위 평가는 후보과제 선정, 우선순위평가서 설계, 우선순위평가 수행, 기술수요조사 결과분석 및 활용 순으로 추진함
- 후보과제 선정단계에서는 기술수요조사 결과를 바탕으로 중복성 검토, 유사성 및 위계검토를 통해 후보과제 Pool을 설정, 과제카드를 작성하고, 기술분류체계에 매칭함
 - 후보과제 카드는 우선 순위 평가시 평가자의 판단을 돕기 위해 참고자료로 활용함
- 우선순위 평가서 설계단계에서는 우선순위 평가 항목을 결정하고 평가 대상자를 설정함
 - 실용화 가능성, 정부지원 필요성, 독창성, 사회적 파급효과를 평가항목으로 설정함

- 우선순위평가지, 참고자료로 후보과제에 해당하는 소분류의 수준-중요도, 기술격차-격차추세, 기술격차-기술수준, 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 결과를 제공하여 우선 순위 평가자의 객관성을 도모함
- 우선순위평가 수행 단계에서는 기술수준/예측조사 대상자에게 조사서를 발송, 설명하고 회신함
- 우선순위평가 결과분석 및 활용단계에서는 평가결과를 통해 사업 추진과제를 선정하고 과제추진 우선순위 선정에 활용함

우선순위평가 절차	세부내용
1 후보과제 선정	■ 기술수요조사 결과를 바탕으로 후보과제 선정 ■ 후보과제의 기술분류체계 매칭
2 우선순위평가지 설계	■ 후보과제의 우선순위 평가항목 설정 - 기술적 중요도(기술의 핵심성, 기술개발 시급성, 과학기술적 파급효과), 기술개발 실현가능성, 사회경제적 파급효과, 정부지원 필요성 - 기술적 중요도 평가는 후보과제에 매칭되는 기술분류체계 소분류의 기술수준/예측조사 결과를 활용
3 우선순위평가 수행	■ 우선순위평가 대상자 메일발송 및 회수
4 우선순위평가 결과 분석 및 활용	■ 사업 추진과제 선정 ■ 과제 추진 우선순위 선정에 활용

[그림 155] 우선순위 평가 진행 절차

(3) 우선순위평가 항목 설정

- ☐ 동 사업의 최종목표를 고려하여 실용화 가능성, 정부지원 필요성, 독창성, 사회·경제적 파급효과 4개의 평가항목을 도출함
- 개발 기술의 현장적용 가능성을 고려하기 위해 실용화 가능성을 평가항목으로 설정함
- 국가연구개발사업으로서의 기술 개발 필요 여부 판단을 고려하기 위해 정부지원 필요성을 평가항목으로 설정함
- 개발 기술의 기존 연구개발 성과 대비 차별성 및 파급효과를 고려하기 위해 독창성, 사회·경제적 파급효과를 평가항목으로 설정함

(4) 우선순위평가서 응답 개요

- ☐ 우선순위 평가는 내부 기획연구진, 자문위원 및 외부전문가들을 대상으로 메일 발송 및 구두 설명을 통하여 조사함

<표 82> 우선순위평가서 응답 개요

구분	내용
조사기간	2017년 2월 3일 ~ 2017년 2월 17일
조사대상	내부 기획연구진, 자문위원 및 외부전문가 총 21인
조사방법	이메일 발송 및 구두 설명을 통한 직접 설문조사

나. 후보과제 우선순위 평가결과

(1) 전체 후보과제의 우선 순위 평가

- ☐ 총 37개의 후보과제를 대상으로 우선순위를 설정한 결과, 우선 순위 21개 과제까지는 각 중점분야 1, 2, 3, 4에 해당하는 것으로서 높은 순위를 받았으나, 22개 이후의 과제는 연구의 필요성이 낮은 것으로 평가되었으며, 대부분이 기타 분야에 해당하는 것으로 나타났음
- 따라서, 본 기획과제의 목표와 부합하는 4개의 중점분야에 해당하는 21개 과제를 최종 후보과제로 선정하였음
- ☐ 총 37개 후보과제 Pool을 대상으로 우선 순위를 평가한 결과는 아래와 같음

<표 83> 전체 후보과제 우선순위평가 결과

후보과제명	실용화 가능성	정부 지원 필요성	독창성	사회 경제적 파급 효과	총합	순위
Big data 기반의 지하수 고부존 선정 및 최적지 연계성 평가 기술	4.8	4.6	4.8	4.9	19.0	1
다단식 Sand(모래저장형) Dam 설계, 시공 및 관리 기술 개발	4.9	4.4	4.6	4.9	18.8	2
선상지형 인공함양지에서의 취수를 위한 수평집수정 설계 및 시공 기술	4.6	4.5	4.6	4.5	18.1	3
지하수-토양 연계 기반의 가뭄 취약성 평가 및 예측 기법 개발	4.4	4.9	4.7	4.0	18.0	4
Sand(모래저장형) Dam의 수원, 수질 확보 및 관리 기술 개발	4.4	4.5	4.5	4.4	17.9	5
3차원 토양수분 및 대기 연계정보 기반의 가뭄 예측 장치 개발	4.7	4.4	4.4	4.2	17.7	6
대형 지하수 관정 시설 가뭄 대응력 평가 및 성능개선 기술 개발	4.3	4.2	4.4	4.0	17.0	7
Well network System을 활용한 용수 확보 기술 개발	4.2	4.0	4.4	4.4	17.0	8
소하천의 자동 수위 관리 기능을 갖는 소형보를 활용한 갈수기 수량 확보 기술 개발	4.3	3.7	4.2	4.4	16.7	9
다단식 Sand(모래저장형) Dam과 타 수원 시설의 연계 활용 기술 개발	4.1	4.3	4.1	4.1	16.6	10
모래저장형 dam과 수원 연계에 따른 유역 단위 물수지 평가 및 최적 운영기술	4.2	4.2	4.0	4.1	16.6	11
선상시 상류의 인공함양 기법을 활용한 수량 증대 및 수질 확보 기술	4.2	4.0	4.0	4.2	16.4	12
가뭄 대응 단계별 지하수-지표수 연계 생활용수 공급 시나리오 개발	3.8	4.3	4.1	4.0	16.3	13
암반지하수와 기존 취수원 연계에 따른 수질관리 적정 기술 개발	4.4	4.0	3.8	4.0	16.2	14
지하수 고산출지역 정밀 지구물리 탐사 및 해석 기법 개발	4.0	3.9	3.8	4.0	15.7	15
인공함양 지하수자원의 상수원 연계 및 저영향 관리 기술	3.9	4.0	3.7	4.0	15.5	16
지표수-지하수 연계 기반의 가뭄 대응 비상 급수 정책 및 자금 프로그램 개발	3.5	3.3	3.9	4.5	15.1	17
AR 통합 운영관리 효과 및 물수지 평가	3.7	4.0	3.7	3.8	15.1	18
상류 분지에 적합한 지표수-지하수 연계 기반 지하수 개발가능량 평가기법 개발	3.9	3.7	3.8	3.6	15.0	19
하도내 소정보 설치에 따른 하상토 및 생태 모니터링 기술	3.8	3.6	3.8	3.8	15.0	20

(표 계속)

후보과제명	실용화 가능성	정부 지원 필요성	독창성	사회 경제적 파급 효과	총합	순위
하천수의 지하수 인공함양에 따른 확보수량 예측 모델링 및 모니터링 기술	4.0	3.6	3.8	3.6	15.0	21
가뭄 대응을 위한 토양 수분 평가 및 예측 프로그램 개발	3.0	3.2	3.0	3.1	12.3	22
지하 대수층 탐지를 위한 융·복합 물리탐사 기술 개발	3.0	2.8	2.7	3.0	11.5	23
습윤지수(Wetness index) 기반의 토양습윤도 계측을 통한 가뭄 예측 기법 개발	2.5	3.1	2.8	2.9	11.3	24
실제증발산 모형구축과 이에 기초한 가뭄 예측기술 및 지하수 활용연계 방안	2.3	2.8	2.7	2.9	10.6	25
기상변화 및 토양수분 변화에 따른 함양량 산정기법 개발	2.4	2.6	2.7	2.7	10.3	26
대용량 지하수 취수시설의 취수량 증대를 위한 재개발 기술 국산화 연구 및 적용	2.3	2.5	2.6	2.1	9.6	27
지하수자원 확보시설 설치를 위한 빅데이터 구축	2.0	2.6	2.5	2.5	9.5	28
한반도 유역 및 기후 특성과 지표환경 변화를 고려한 지표수-토양-지하수 연계 분포형 통합물수지 분석기술	2.3	2.5	2.5	2.0	9.3	29
해안 도서지역의 염지하수 활용 기술 개발 연구	1.6	2.8	2.3	2.7	9.3	30
가뭄대응에 따른 지하수 수량 및 수질 개선을 위한 다단 지하댐 설계	2.2	2.4	2.5	2.1	9.2	31
방치된 대용량 지하수시설 활용을 위한 방사형집수정 재개발 및 재시공에 의한 취수량 증대기술 연구	2.0	2.2	2.3	2.3	8.9	32
IT기반의 배후지 영향을 최소화하는 취수시설 운영 시스템 개발	2.5	2.0	2.1	2.2	8.9	33
친환경 압축가스를 이용한 공공관정 정비 및 효율성 증대 기술	2.2	1.9	2.3	2.4	8.8	34
Chain-saw cutting 방식을 통한 일반 및 강변여과집수정의 단기 고성능 우물통 제작 시공 장비 및 시공방법 개발	2.3	2.1	2.1	2.1	8.6	35
기존 수원 연계형 암반 집수정 설계 및 시공 기술 개발	2.0	2.0	2.2	2.3	8.5	36
3차원 전기비저항 영상화 기반의 지하수 고부존 지역 정밀탐사 기법 개발	2.0	2.0	2.1	2.1	8.3	37

(2) (중점추진분야1) 지하수 Big data 기반의 가뭄 진단 및 대응력 확보 기술분야

- 총 13개의 해당 후보 과제 Pool 중에서, 토양 수분 등 유사성이 있는 과제를 제외하고 하위 등급을 받은 과제를 제외하면 약 6개의 과제가 본 기획 연구의 목적과 내용 등에 부합하는 것으로 평가되었음
- 특히, 토양-지하수 융합과 관련된 연구 내용은 2순위를 받은 연구 내용(지하수-토양 연계 기반의 가뭄 취약성 평가 및 예측기법 개발)에 부분적으로 포함되어 있어 2순위의 내용으로 수행 가능한 것으로 나타났음
- 아울러, 물리탐사에 대한 부분은 기존의 기술을 복합적으로 활용하는 응용기법의 개발 보다는 새로운 기술을 발굴하는 것이 필요한 것으로 나타났음

<표 84> 중점추진분야 1 후보과제 우선순위평가 결과

후보과제명	실용화 가능성	정부 지원 필요성	독창성	사회 경제적 파급 효과	총합	순위
Big data 기반의 지하수 고부존 선정 및 최적지 연계성 평가 기술	4.8	4.6	4.8	4.9	19.0	1
지하수-토양 연계 기반의 가뭄 취약성 평가 및 예측 기법 개발	4.4	4.9	4.7	4.0	18.0	2
3차원 토양수분 및 대기 연계정보 기반의 가뭄 계측 장치 개발	4.7	4.4	4.4	4.2	17.7	3
지하수 고산출지역 정밀 지구물리 탐사 및 해석 기법 개발	4.0	3.9	3.8	4.0	15.7	4
지표수-지하수 연계 기반의 가뭄 대응 비상 급수 정책 및 자금 프로그램 개발	3.5	3.3	3.9	4.5	15.1	5
상류 분지에 적합한 지표수-지하수 연계 기반 지하수 개발가능량 평가기법 개발	3.9	3.7	3.8	3.6	15.0	6
가뭄 대응을 위한 토양 수분 평가 및 예측 프로그램 개발	3.0	3.2	3.0	3.1	12.3	7
지하 대수층 탐지를 위한 융·복합 물리탐사 기술 개발	3.0	2.8	2.7	3.0	11.5	8
습윤지수(Wetness index) 기반의 토양습윤도 계측을 통한 가뭄 예측 기법 개발	2.5	3.1	2.8	2.9	11.3	9
기상변화 및 토양수분 변화에 따른 함양량 산정기법 개발	2.4	2.6	2.7	2.7	10.3	10
지하수자원 확보시설 설치를 위한 빅데이터 구축	2.0	2.6	2.5	2.5	9.5	11
한반도 유역 및 기후 특성과 지표환경 변화를 고려한 지표수-토양-지하수 연계 분포형 통합물수지 분석기술	2.3	2.5	2.5	2.0	9.3	12
3차원 전기비저항 영상화 기반의 지하수 고부존 지역 정밀탐사 기법 개발	2.0	2.0	2.1	2.1	8.3	13

(3) (중점추진분야2) 다단식 모래저장형dam 활용 소규모 인공함양기술 개발 분야

- 총 6개의 해당 후보 과제 Pool 중에서, 증발산 모형 구축 및 중복성이 있는 하위권 5, 6위 과제는 제외하고 4개의 후보과제가 본 기획 연구의 목적과 내용 등에 부합하는 것으로 평가되었음

<표 85> 중점추진분야 2 후보과제 우선순위평가 결과

후보과제명	실용화 가능성	정부 지원 필요성	독창성	사회 경제적 파급 효과	총합	순위
다단식 Sand(모래저장형) Dam 설계, 시공 및 관리 기술 개발	4.9	4.4	4.6	4.9	18.8	1
Sand(모래저장형) Dam의 수원, 수질 확보 및 관리 기술 개발	4.4	4.5	4.5	4.4	17.9	2
다단식 Sand(모래저장형) Dam과 타 수원 시설의 연계 활용 기술 개발	4.1	4.3	4.1	4.1	16.6	3
모래저장형 dam과 수원 연계에 따른 유역 단위 물수지 평가 및 최적 운영기술	4.2	4.2	4.0	4.1	16.6	4
실제증발산 모형구축과 이에 기초한 가뭄 예측기술 및 지하수 활용연계 방안	2.3	2.8	2.7	2.9	10.6	5
가뭄대응에 따른 지하수 수량 및 수질 개선을 위한 다단 지하댐 설계	2.2	2.4	2.5	2.1	9.2	6

(4) (중점추진분야3) 선상지 인공함양 기반의 Hybrid형 용수확보 기술 개발 분야

- 총 6개의 해당 후보 과제 Pool이 모두 높은 점수를 받아 선상지의 인공함양 연구를 위하여 적절한 아이템으로 평가되었음. 최종적으로 본 기획 연구의 목적과 내용 등에 부합하는 6개의 후보과제를 선정하였음

<표 86> 중점추진분야 3 후보과제 우선순위평가 결과

후보과제명	실용화 가능성	정부 지원 필요성	독창성	사회 경제적 파급 효과	총합	순위
선상지형 인공함양지에서의 취수를 위한 수평집수정 설계 및 시공 기술	4.6	4.5	4.6	4.5	18.1	1
소하천의 자동 수위 관리 기능을 갖는 소형 보를 활용한 갈수기 수량 확보 기술 개발	4.3	3.7	4.2	4.4	16.7	2
선상지 상류의 인공함양 기법을 활용한 수량 증대 및 수질 확보 기술	4.2	4.0	4.0	4.2	16.4	3
인공함양 지하수자원의 상수원 연계 및 저영향 관리 기술	3.9	4.0	3.7	4.0	15.5	4
하도내 소형보 설치에 따른 하상토 및 생태 모니터링 기술	3.8	3.6	3.8	3.8	15.0	5
하천수의 지하수 인공함양에 따른 확보수량 예측 모델링 및 모니터링 기술	4.0	3.6	3.8	3.6	15.0	6

(5) (중점추진분야4) Well network system을 활용한 가뭄 대응 및 통합수자원 활용 관리 실용화 기술 분야

- 총 6개의 해당 후보 과제 Pool 중에서, 하위 등급을 받는 공공관정 정비 과제는 1 순위를 받은 과제 내용에 일부 포함되는 것으로 평가되어 수행가능한 것으로 파악되었으며, 최종적으로 본 기획 연구의 목적과 내용 등에 부합하는 5개의 후보과제를 선정하였음

<표 87> 중점추진분야 4 후보과제 우선순위평가 결과

후보과제명	실용화 가능성	정부 지원 필요성	독창성	사회 경제적 파급 효과	총합	순위
대형 지하수 관정 시설 가뭄 대응력 평가 및 성능개선 기술 개발	4.3	4.2	4.4	4.0	17.0	1
Well network System을 활용한 용수 확보 기술 개발	4.2	4.0	4.4	4.4	17.0	2
가뭄 대응 단계별 지하수-지표수 연계 생 활용수 공급 시나리오 개발	3.8	4.3	4.1	4.0	16.3	3
암반지하수와 기존 취수원 연계에 따른 수질관리 적정 기술 개발	4.4	4.0	3.8	4.0	16.2	4
AR 통합 운영관리 효과 및 물수지 평가	3.7	4.0	3.7	3.8	15.1	5
친환경 압축가스를 이용한 공공관정 정비 및 효율성 증대 기술	2.2	1.9	2.3	2.4	8.8	6

(6) (중점추진분야5) 기타 분야

- 이들 기타 분야 과제는 가뭄 대응과 일부 관련은 있으나, 실용화 가능성이나 독창성, 파급 효과 등에서 낮아 전체적으로는 10점 이하의 배점을 받고 있어 동 기획연구의 목적이나 필요성에 있어서 최종 후보과제 내용으로 적합하지 않은 것으로 평가되었음

<표 88> 중점추진분야 5 후보과제 우선순위평가 결과

후보과제명	실용화 가능성	정부 지원 필요성	독창성	사회 경제적 파급 효과	총합	순위
대용량 지하수 취수시설의 취수량 증대를 위한 재개발 기술 국산화 연구 및 적용	2.3	2.5	2.6	2.1	9.6	1
해안 도서지역의 염지하수 활용 기술 개발 연구	1.6	2.8	2.3	2.7	9.3	2
방치된 대용량 지하수시설 활용을 위한 방사형집수정 재개발 및 재시공에 의한 취수량 증대기술 연구	2.0	2.2	2.3	2.3	8.9	3
IT기반의 배후지 영향을 최소화하는 취수 시설 운영 시스템 개발	2.5	2.0	2.1	2.2	8.9	4
Chain-saw cutting 방식을 통한 일반 및 강변여과집수정의 단기 고성능 우물통 제작 시공 장비 및 시공방법 개발	2.3	2.1	2.1	2.1	8.6	5
기존 수원 연계형 암반 집수정 설계 및 시공 기술 개발	2.0	2.0	2.2	2.3	8.5	6

3. 연구개발 추진과제

가. (중점추진분야 1) 지하수 Big data 기반의 가뭄 진단 및 대응력 확보 기술분야 추진과제

<표 89> 중점추진분야 1 추진과제

구분	과제명
1세부과제	Big data 기반의 지하수 고부존 선정 및 최적지 연계성 평가 기술
1구성기술	지하수 수리특성DB 및 3D지질 정보 등을 활용한 지하수 부존지역 평가 기술
2구성기술	기존 관정의 시설 특성을 활용한 대용량 지하수 개발가능지역 평가 기술
3구성기술	가뭄시 지하수 활용 공급가능량 평가 기술
4구성기술	가뭄시 기존 수원과의 연계 방안 등 최적 후보지 선정 기술
5구성기술	지하수 활용 가뭄관리 시스템 개발
2세부과제	지하수-토양 연계 기반의 가뭄 취약성 평가 및 예측 기법 개발
1구성기술	지하수위와 토양수분의 상관 분석을 통한 침투 및 가뭄 특성 진단
2구성기술	지하수위 및 토양정보 기반의 가뭄 취약성 평가 기법 개발
3구성기술	최신 통계기법 기반의 지하수위 활용 중단기 가뭄 예측 기술 개발
4구성기술	GIS 기반의 지하수 활용 가뭄 평가 시스템 개발
3세부과제	3차원 토양수분 및 대기 연계정보 기반의 가뭄 예측 장치 개발
1구성기술	토양수분함량의 수직 연속 측정을 위한 센서 및 장치 개발
2구성기술	토양 수분과 대기(강우, 강설) 중 특성 데이터의 융합을 위한 통합 예측 시스템 개발
3구성기술	저비용 통신 체계(예: Lora 등)를 활용한 원격 장치 개발
4구성기술	3차원 토양-대기 통합예측 시스템(S/W)의 시범 설치 및 운영
5구성기술	토양연계 가뭄지하수관측정의 설계, 시공 및 유지관리 지침 개발
4세부과제	지하수 고산출지역 정밀 지구물리 탐사 및 해석 기법 개발
1구성기술	자기공명 방식의 물리탐사 기법 분석 및 탐사 시스템 개발
2구성기술	대수층의 주요 parameter 및 특성 해석을 위한 역산 해석 알고리즘 개발
3구성기술	대수층 특성 parameter 비교 평가를 위한 개발 기술 검증 및 고분해능 지하수 부존특성 표준 해석 기법 제시
5세부과제	지표수-지하수 연계 기반의 가뭄 대응 비상 급수 정책 및 자금 프로그램 개발
1구성기술	가뭄 대응을 위한 지하수 활용, 관리를 위한 수량/수질 제도 개선 연구
2구성기술	지표수-지하수 연계를 통한 용수확보 및 활용 정책 개발 연구
3구성기술	가뭄 대응 지하수 관리 자금 확보 프로그램 개발

주) “상류분지에 적합한 지하수 개발가능량 평가기법 개발”은 실제 상류지역의 현장 연구 Site에서 수행되어야 하므로 중점추진분야 2 과제에 포함

<표 90> 중점추진 분야 1 추진과제 기술분류 체계도

대분류		중분류		소분류	
1	지하수 Big data 기반의 가뭄 진단 및 대응력 확보 기술	1-1	Big data 기반의 지하수 고부존 선정 및 최적지 연계성 평가 기술	1-1-1	지하수 DB 및 3D지질 정보 등을 활용한 지하수 부존지역 평가 기술
				1-1-2	기존 관정의 시설 특성을 활용한 대용량 개발가능지역 평가 기술
				1-1-3	가뭄시 지하수 활용 공급기능량 평가기술
				1-1-4	가뭄시 기존 수원과의 연계 방안 등 최적 후보지 선정기술
				1-1-5	지하수 활용 가뭄관리 시스템 개발
		1-2	지하수 토양 연계 기반의 가뭄 취약성 평가 및 예측 기법 개발	1-2-1	지하수위와 토양수분의 상관 분석을 통한 침투 및 가뭄 특성 진단
				1-2-2	지하수위 및 토양정보 기반의 가뭄 취약성 평가 기법 개발
				1-2-3	최신 통계기법 기반의 지하수위 활용 중단기 가뭄 예측 기술 개발
				1-2-4	GIS기반의 지하수 활용 가뭄 평가 시스템 개발
		1-3	3차원 토양수분 및 대기 연계 정보 기반의 가뭄 예측 장치 개발	1-3-1	토양수분함량의 수직 연속 측정을 위한 센서 및 장치 개발
				1-3-2	토양 수분과 대기(강우, 강설) 데이터의 융합 예측 시스템 개발
				1-3-3	저비용 통신 체계(예: Lora 등)를 활용한 원격 장치 개발
				1-3-4	3차원 토양-대기 통합예측 시스템(S/W)의 시범 설치 및 운영
				1-3-5	토양연계 가뭄지하수관측정의 설계, 시공 및 유지관리 지침 개발
		1-4	지하수 고산출 지역 정밀 지구물리 탐사 및 해석 기법 개발	1-4-1	자기공명 방식의 물리탐사 기법 분석 및 탐사 시스템 개발
				1-4-2	대수층의 parameter 및 특성 해석을 위한 역산 해석 알고리즘 개발
				1-4-3	개발 기술 검증 및 고분해능 지하수 부존특성 표준 해석 기법 제시
		1-5	지표수-지하수 연계 기반의 가뭄 대응 비상 급수 정책 및 자금 프로그램 개발	1-6-1	가뭄 대응을 위한 지하수 활용, 관리를 위한 함양 수량/수질 제도 개선 연구
				1-6-2	지표수-지하수 연계를 통한 용수확보 및 활용 정책 개발 연구
				1-6-3	가뭄 대응 지하수 관리 자금 확보 프로그램 개발

나. (중점추진분야 2) 다단식 모래저장형 dam 활용 소규모 인공함양 기술 개발 분야 추진과제

<표 91> 중점추진분야 2 추진과제

구분	과제명
1세부과제	다단식 Sand(모래저장형) Dam 설계, 시공 및 관리 기술 개발
1구성기술	지형, 대수층, 기존시설 연계성 등을 고려한 지하 저류지(모래저장형 Dam 등)의 적지 선정 기준
2구성기술	지하 저류지(모래저장형 Dam)의 조사, 설계 기술 개발
3구성기술	지하 저류지(모래저장형 Dam)의 시공 및 취수 기술 개발
4구성기술	지하 저류지(모래저장형 Dam)의 관리 기술 개발
5구성기술	모래저장형 Dam과 타 수원의 연계 설계 및 시공 기술
6구성기술	모래저장형 Dam과 타 수원의 연계 운영 및 활용 기술
2세부과제	Sand(모래저장형) Dam의 수원, 수질 확보 및 관리 기술 개발
1구성기술	모래저장형 Dam의 수원 확보 기술
2구성기술	모래저장형 Dam 유역에서의 지하수 수질 특성 분석 및 적정 전처리기술 개발
3구성기술	타 시설(관정, 마을상수도 등) 연계시 수질 변화 특성 분석
4구성기술	타 시설 연계에 따른 적정 수처리 기술 개발 및 수질 모니터링 기술
5구성기술	간헐적 운영에 따른 충전물내의 클로킹 영향 평가 및 개선 기술 개발
3세부과제	모래저장형 dam과 수원 연계에 따른 물수지 평가 및 최적 운영기술
1구성기술	시험유역의 가뭄 평가 기술
2구성기술	상류부 가뭄대응시설 설치에 따른 사전예측, 사후평가 모형 구축
3구성기술	지하댐 연계형 사방댐, 모래저장댐 등 다단식 지하저류지 설치·운영 효과 분석
4구성기술	기존 취수원과의 연계를 통한 가뭄대응력 제고 기술 개발
4세부과제	상류 분지에 적합한 지표수-지하수 연계 기반 지하수 개발가능량 평가기법 개발
1구성기술	상류 분지지역의 강우 및 수문환경 특성 분석
2구성기술	다변량 수문요소 기반 지하수 개발가능량 평가 기법 개발

<표 92> 중점추진 분야 2 추진과제 기술분류 체계도

대분류		중분류		소분류	
2	다단식 모래저장형 dam 기술을 활용한 소규모 인공함양 기술	2-1	다단식 모래저장형 댐 설계, 시공 및 관리 기술 개발	2-1-1	지형, 대수층, 기존시설 연계성 등을 고려한 지하 저류지(모래저장형 Dam 등)의 적지 선정 기준
				2-1-2	지하 저류지(모래저장형 Dam)의 조사, 설계 기술 개발
				2-1-3	지하 저류지(모래저장형 Dam)의 시공 및 취수 기술 개발
				2-1-4	지하 저류지(모래저장형 Dam)의 관리 기술 개발
				2-1-5	모래저장형 dam과 타 수원의 연계 시공 기술
				2-1-6	모래저장형 dam과 타 수원의 연계 운영 및 활용 기술
		2-2	모래저장형댐의 수원, 수질 확보 및 관리 기술 개발	2-2-1	모래저장형 Dam의 수원 확보 기술: 계곡수, 이슬, 눈, 사방댐, 관정 등
				2-2-2	모래저장형 Dam 유역에서의 지하수 수질 특성 분석 및 적정 전처리기술 개발
				2-2-3	타 시설(관정, 마을상수도 등) 연계 시 수질 변화 특성 분석
				2-2-4	타 시설 연계에 따른 적정 수처리 기술 개발 및 수질 모니터링 기술
				2-2-5	간헐적 운영에 따른 충전물내의 클로킹 영향 평가 및 개선 기술 개발
		2-3	모래저장형 댐과 수원 연계에 따른 유역단위 물수지 평가 및 최적 운영 기술	2-3-1	시험유역의 가뭄 평가
				2-3-2	상류부 가뭄대응시설 설치에 따른 사전예측, 사후평가 모형 구축
				2-3-3	지하댐 연계형 사방댐, 모래저장댐 등 다단식 지하저류지 설치·운영 효과 분석
				2-3-4	기존 취수원과의 연계를 통한 가뭄 대응력 제고 기술 개발
		2-4	상류 분지에 적합한 지표수-지하수 연계 기반 지하수 개발가능량 평가 기법	2-4-1	상류 분지지역의 강우 및 수문환경 특성 분석
				2-4-2	다변량 수문요소(탈함양량) 기반 지하수 개발가능량 평가 기법 개발

다. (중점추진분야 3) 선상지 인공함양 기반의 Hybrid형 용수확보 기술 개발 분야 추진과제

<표 93> 중점추진분야 3 추진과제

구분	과제명
1세부과제	선상지 상류의 인공함양 기법을 활용한 수량 증대 및 수질 확보 기술
1구성기술	연구단 통합 실증 플랜트 지역 선정, 시설계획 및 운영 방안 연구
2구성기술	대수층 조사, 인공함양 기법 설계 및 시공
3구성기술	인공함양 설비 운영을 통한 효과 평가
4구성기술	함양원수 및 수질 확보를 위한 소하천수 연계 활용 기술
5구성기술	소하천수 활용에 따른 하천변화 특성 평가 기술
2세부과제	선상지형 인공함양지에서의 취수를 위한 수평집수정 설계 및 시공 기술
1구성기술	선상지형 지층에서 1,000톤/일의 지하수 확보가 가능한 수평정 조사 설계 기술 개발
2구성기술	다양한 지층변화(토사, 호박돌 및 암반)에 대응하는 수평(및 경사)공 굴진 기술 개발
3구성기술	자동제어시스템을 접목한 정밀시공 시스템 및 설계/시공 지침서 구축
3세부과제	인공함양 지하수자원의 상수원 연계 및 저영향 관리 기술
1구성기술	기존 상수원 취수시설과의 연계 설계 기술 개발
2구성기술	기존 취수원 연계 운영을 통한 수량 및 수질 최적화 방안 개발
3구성기술	상수원 연계 운영을 통한 주변 선상지 지역의 영향 최소화 방안 연구
4세부과제	하천수의 지하수 인공함양에 따른 확보수량 예측 모델링 및 모니터링 기술
1구성기술	예비모델링을 통한 인공함양 위치 최적설계
2구성기술	모니터링, 모델링을 통한 수자원확보 효과 분석
3구성기술	하천저류량과 연계한 수자원 수요-공급 관련 최적 공급 방안 제시

<표 94> 중점추진 분야 3 추진과제 기술분류 체계도

대분류		중분류		소분류	
3	선상지 인공함양 기반의 Hybr id형 용수확보 기술	3-1	선상지 상류의 인공함양 기법을 활용한 수량 증대 및 수질 확보 기술	3-1-1	연구단 통합 실증 플랜트 지역 선정, 시설계획 및 운영 방안 연구
				3-1-2	대수층 조사, 인공함양 기법 설계 및 시공
				3-1-3	인공함양 설비 운영을 통한 효과 평가
				3-1-4	함양원수 및 수질 확보를 위한 소하천수 연계 활용 기술
				3-1-5	소하천수 활용에 따른 하천변화 특성 평가 기술
		3-2	선상지형 인공함양지에서의 취수를 위한 수평정 설계 및 시공 기술	3-2-1	선상지형 지층에서 500톤/일의 지하수 확보가 가능한 수평정 조사 설계 기술 개발
				3-2-2	다양한 지층변화(토사, 호박돌 및 암반)에 대응하는 수평(및 경사)공 굴진 기술 개발
				3-2-3	자동제어시스템을 접목한 정밀시공 시스템 및 설계/시공 지침서 구축
		3-3	인공함양 지하수자원의 상수원 연계 및 저영향 관리 기술	3-3-1	기존 상수원 취수시설과의 연계 설계 기술 개발
				3-3-2	기존 취수원 연계 운영을 통한 수량 및 수질 최적화 방안 개발
				3-3-3	상수원 연계 운영을 통한 주변 선상지 지역의 영향 최소화 방안 연구
		3-4	하천수의 지하수 인공함양에 따른 확보수량 예측 모델링 및 모니터링 기술	3-4-1	예비모델링을 통한 인공함양 위치 최적설계
				3-4-2	모니터링, 모델링을 통한 수자원 확보 효과 분석
				3-4-3	하천저류량과 연계한 수자원 수요-공급 관련 최적 공급 방안 제시

라. (중점추진분야 4) Well network system을 활용한 가뭄 대응 기술 분야 추진과제

<표 95> 중점추진분야 4 추진과제

구분	과제명
1세부과제	Well network System을 활용한 용수 확보 기술 개발
1구성기술	기존 관정의 네트워크 구축을 위한 적정 연계 용량 평가 기법
2구성기술	기존 수요자의 need 분석 및 운영 문제점 평가 및 대책
3구성기술	기존 관정 네트워크 구축 및 기존 수원 연계 설치
4구성기술	Sensoring 기법을 활용한 연구지역 지하수 수문관리 자동화 관리 체계 개발
5구성기술	가뭄 단계별 공급량을 고려한 운영 및 용수공급 시나리오 개발
6구성기술	연계 운영을 통한 모니터링 및 관정의 산출성 변화 평가
2세부과제	대형 지하수 관정 시설 가뭄 대응력 평가 및 성능개선 기술 개발
1구성기술	대형(공공) 관정의 용수공급 능력 평가 기술 개발
2구성기술	연구지역의 대용량 관정 용수공급능력 분포도(시스템) 개발
3구성기술	대형 관정의 성능개선 기법 개발
3세부과제	암반지하수와 기존 취수원 연계에 따른 수질관리 적정 기술 개발
1구성기술	대수층의 지하수 수질 정화작용의 정량화 평가
2구성기술	기존 상수원 연계시의 수처리 기법에 미치는 영향 평가 및 적정 처리 기준 개발
3구성기술	현장 실증 운영을 통한 적정 처리 기법의 평가 및 운영방안 제시
4세부과제	AR 통합 운영관리 효과 및 물수지 평가
1구성기술	중하류부 지하수자원 확보기술의 효과 평가
2구성기술	상-중-하류 유역의 지하수자원 확보기술의 효과 평가

<표 96> 중점추진 분야 4 추진과제 기술분류 체계도

대분류		중분류		소분류	
4	Well network System을 활용한 가뭄 대응 및 통합수자원 활용관리 실용화 기술	4-1	Well network System을 활용한 용수 확보 기술 개발	4-1-1	기존 관정의 네트워크 구축을 위한 적정 연계 용량 평가 기법
				4-1-2	기존 수요자의 need 분석 및 운영 문제점 평가 및 대책
				4-1-3	기존 관정 네트워크 구축 및 기존 수원 연계 설치
				4-1-4	Sensoring 기법을 활용한 연구지역 지하수 수문관리 자동화 관리 체계 개발
				4-1-5	가뭄 단계별 공급량을 고려한 운영 시나리오 수립
				4-1-6	연계 운영을 통한 모니터링 및 관정의 산출성 변화 평가
		4-2	대형 지하수 관정 시설 가뭄 대응력 평가 및 성능개선 기술 개발	4-2-1	대형(공공) 관정의 용수공급 능력 평가 기술 개발
				4-2-2	연구지역의 대용량 관정 용수공급능력 분포도(시스템) 개발
				4-2-3	대형 관정의 성능개선 기법 개발
		4-3	암반지하수와 기존 취수원 연계에 따른 수질관리 적정 기술 개발	4-3-1	대수층의 지하수 수질 정화작용의 정량화 평가
				4-3-2	기존 상수원 연계시의 수처리 기법에 미치는 영향 평가 및 적정 처리 기준 개발
				4-3-3	현장 실증 운영을 통한 적정 처리 기법의 평가 및 운영방안 제시
		4-4	AR 통합 운영관리 효과 및 물수지 평가	4-4-1	중하류부 지하수 자원 확보 기술의 효과 평가
				4-4-2	상-중-하류 유역의 지하수자원 확보 기술의 효과 평가

5절. 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. (중점추진분야 1) 지하수 Big data 기반의 가뭄 진단 및 대응력 확보 기술

가. 1세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	Big data 기반의 지하수 고부존 선정 및 최적지 연계성 평가 기술
배경 및 필요성	- 현재 가뭄 발생시 무분별한 지하수 관정 개발로 목표 수량 미달 및 사후 방치공 발생 등 문제점을 야기하고 있음 - 기존 수원과 고부존 지역의 연계를 통한 용수확보 최적화 평가기술을 개발함으로써 가뭄시 신속한 용수공급을 도모함
정부지원 필요성	- 지하수 Big data는 국가지하수정보센터 등에서 보유하고 있는 공공성의 데이터로서 국가 지원하에 분석이 이루어져야 함 - 가뭄시 최적 지하수 개발지를 찾는 기술은 공공성을 갖고 누구나 활용할 수 있는 기술로 자리 잡아야 하므로 국가의 지원 하에 결과가 공유할 수 있도록 해야함
세부과제의 개념 및 범위	- 가뭄시 지하수 활용 공급가능량 평가 기술 - 가뭄시 기존 수원과의 연계 방안 등 최적 후보지 선정 기술 - 지하수 활용 가뭄 관리 시스템 개발
세부과제의 목표	- 지하수 수리특성 DB 및 3D 지질정보 등을 활용한 지하수 부존지역 평가기술 - 기존 관정의 시설 특성을 활용한 대용량 지하수 개발가능지역 평가기술
주요내용	- 지하수 고부존 지역 평가용 GIS 시스템 - 지하수 고부존 지역 평가 및 개발가능량 분석 S/W - 지하수 활용 가뭄관리 시스템 구축
기술적 위험요인	지하수 관련 Big data의 신뢰도 및 결과의 정확도를 제고할 수 있어야 함
연구개발 추진전략	- 최근 통계 기법을 활용한 Big data의 신뢰성을 확보하도록 추진 - 통계 전문가의 참여를 통한 데이터 분석의 고도화 및 현장 전문가의 참여를 통한 결과에 대한 검증 과정이 필요
기대효과 및 파급효과	- 지역별 지하수 부존량에 대한 사전 평가 및 준비를 통한 가뭄시 정부의 신속대응이 가능하고 무분별한 지하수 관정으로 실패에 따른 예산 낭비를 방지할 수 있을 것으로 기대됨 - Big data 기반의 정책활용 기술을 개발함으로써 국가 정책의 신뢰성 제고 및 타분야 확대가 가능하고 지하수 관정 개발의 성공률을 제고함으로써 관련 분야 산업 활성화가 기대됨

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	지하수 Big data 특성 분석	- 지하수 Big data의 통계적 및 기술적 특성 분석
2차년도	지하수와 지질 상관 특성 도출	- 지하수 고산출지역 대수층의 물성평가 및 지하수 상관성 분석
3차년도	지하수 고부존 지역 평가 및 개발가능량 분석 S/W	- Big data를 활용한 지하수 활용가능성 평가 기술
4차년도	지하수 고부존 지역 평가용 GIS 시스템	-지하수 고부존 지역 평가용 GIS 시스템 개발
5차년도	지하수 활용 가뭄관리 시스템 구축	-지하수 활용 가뭄 관리 시스템 구축

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
1 세부	지하수 big data를 활용한 지하수와 지질 특성 평가	1	지하수 Big data의 통계적, 기술적 특성 분석 여부	분석 여부	건	1	0.2	지하수 관련 Big data의 신뢰도를 사전 검증
		2	지하수 고 부존지역 지질특성과 지하수 상관성 분석 통계 유의수준	상관관계 유의수준	%	90	0.3	상관성 분석 결과의 신뢰성 확보
	지하수 고 부존 지역 평가를 위한 GIS 및 가뭄 관리 시스템 구축	3	지하수 고 부존지역 평가 및 개발 가능량 분석을 위한 GIS 시스템 개발	소프트웨어 개발 여부	건	1	0.2	가뭄시 지하수 활용 공급 가능량 평가
		4	최신 통계기법 기반의 지하수위 활용을 통한 가뭄관리 시스템 구축	시스템 개발 여부	건	1	0.3	향후 정책 활용성에 대한 판단

나. 2세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	지하수-토양 연계 기반의 가뭄 취약성 평가 및 예측 기법 개발
배경 및 필요성	- 최근 외국의 경우 지하수 자료를 활용한 가뭄 지수 산정이 진행되는 등 활발한 연구가 이루어지고 있으나, 국내의 경우 이에 대한 접근이 전무함 - 국내에서 지하수는 가뭄 발생시 최후의 수원 확보방안으로 활용되나, 극한 가뭄시 지하수자원이 고갈 취약성에 대한 진단이 없어 수원 확보 안정성을 담보하기 어려움 - 중단기 가뭄에 대한 실시간 예측 기술을 통한 단계별 가뭄대응 지원체계필요
정부지원 필요성	현재 기상청 등 국가차원의 가뭄 예측 기술들이 개발되어 있으며, 기술의 수요처도 국가가 되어야 하므로 정부의 지원이 필요함
세부과제의 개념 및 범위	- 지하수위 시계열 및 토양정보 Big data를 활용한 공간 해석과 가뭄 평가 - 지역별 지하수자원을 활용한 가뭄 취약성 평가 - 지하수 기반의 가뭄 이상 징후 및 강도 예측, 위해성 평가
세부과제의 목표	지하수위와 토양수분 자료의 융합 활용을 통한 가뭄 진단 및 예측
주요내용	- 지하수위 및 토양정보 기반의 가뭄 취약성 평가 기법 개발 - 최신 통계기법 기반의 지하수위 활용 중단기 가뭄 예측 기술 개발 - GIS기반의 지하수 활용 가뭄 평가 시스템 개발
기술적 위험요인	- 지하수위와 가뭄 간의 상관성의 정확성에 대한 기존 기술 미확보 - 토양 수분 계측 자료의 신뢰성에 대한 검증 필요
연구개발 추진전략	- 토양수분 연속 계측기의 개발을 타 단위과제에서 병행함으로써 토양수분 자료의 취득의 정확성을 제고 - 지하수위와 가뭄 간의 상관성에 대한 최신 통계적 접근 방법 강구
기대효과 및 파급효과	- 중단기 정확한 가뭄 예측으로 신속한 용수확보 및 대책 강구가 가능하고 전국의 지하수 가뭄 취약성 평가 및 서비스 시스템 구축을 통하여 상시 가뭄 지역의 대응력 강화가 가능함 - 지표수 중심의 가뭄평가 및 대응 정책에서 보다 신뢰성 높은 지하수 활용 정책을 병행할 수 있도록 기여하고 정확한 예측을 통한 경제적 손실의 최소화에 기여할 것으로 보임

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	지하수위 변동 및 가뭄 특성 분석	- 가뭄 지역의 가뭄 진단 기술 개발을 위한 지하수위 변동 특성 분석
2차년도	지하수위 및 토양 수분 정보의 상관 특성 분석	- 지하수 및 토양 정보의 상관특성 분석
3차년도	지하수위 및 토양정보 기반의 가뭄 취약성 평가	- 지하수를 활용한 가뭄 취약성 평가 기술 개발
4차년도	지하수위 및 토양정보 기반의 가뭄 예측 기술 개발	- 지하수위 활용 중단기 가뭄 예측 기술 개발
5차년도	GIS 기반의 가뭄 활용 시스템 개발	- GIS 기반의 지하수 활용 가뭄 평가 시스템 개발

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
2 세부	수리지질학적 특성 분석 및 가뭄 취약성 평가	1	토양수분, 지하수위 등 Big data를 활용한 공간 해석 분석 결과	지침서	건	1	0.2	해석에 필요한 지침서 작성
		2	가뭄 취약성 평가 기법의 통계적 유의성	유의수준	%	90	0.3	성과의 검증 및 정책 자료로 활용
	지하수위 및 토양정보, GIS 기반의 가뭄 예측 활용 시스템 개발	3	지하수활용 가뭄 예측 프로그램 개발	프로그램 등록	건	1	0.2	가뭄 예측 및 평가 수립 필요
		4	지하수 활용 가뭄 취약성 및 예측 GIS 시스템 개발	가뭄취약성 및 예측 GIS 시스템 구동	식	1	0.3	서비스 시스템 구축 필요

다. 3세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	3차원 토양수분 및 대기 연계정보 기반의 가뭄 계측 장치 개발
배경 및 필요성	- 그 동안 가뭄 계측은 기상학적 자료 및 하천 수문 자료 등에 기반하여 수행되었으나, 최후의 용수확보 수단인 지하수의 함양에 직접 영향을 미치는 토양수분의 3차원적 분포 자료에 기반한 가뭄 진단 및 예측 기술 개발 필요 - 현재 운영중인 지하수 관측망 지하수위를 활용한 가뭄 예측의 신뢰도 제고를 위해서는 토양수분의 수직적 변화를 관측할 수 있는 연속 계측센서 및 장치개발이 요구됨
정부지원 필요성	현재 가뭄 계측은 기상 계측을 중심으로 국가에서 수행하고 있으므로, 본 3차원 토양 수분 계측장치의 수요가 국가를 중심으로 발생되므로 정부의 지원이 필요함
세부과제의 개념 및 범위	- 토양수분함량 수직 연속측정 센서, 통합계측기 개발 및 원격 시스템 - 통합계측기기의 현장 시공 장치 3차원 토양-대기 통합계측시스템 S/W 개발 - 가뭄 지하수관측정의 시공 운영 지침
세부과제의 목표	- 토양수분함량의 수직 연속 측정을 위한 센서 및 장치 개발 3차원 토양-대기 통합계측 시스템 개발
주요내용	- 토양수분과 대기(강우, 강설) 중 특성 데이터의 융합을 위한 통합 계측 시스템 개발 - 저비용 통신 체계(예: Lora 등)를 활용한 원격 장치 개발 3차원 토양-대기 통합계측 시스템(S/W)의 시범 설치 및 운영 - 토양연계 가뭄지하수관측정의 설계, 시공 및 유지관리 지침 개발
기술적 위험요인	- 저비용 통신체계(Lora)는 현재 개발 진행중인 것으로서 본 연구에 실질적인 적용에는 일정 기간이 필요할 것으로 보임 3차원의 토양 수분 연속 측정 장치에 대한 이론적 보완 필요
연구개발 추진전략	- 토양 수분의 수직 연속 측정 장치의 개발을 위한 실내 실험 필수 - 현장 적용 및 기존 비연속 측정 장치와의 비교 검토를 통한 결과의 검증
기대효과 및 파급효과	- 기상학적 가뭄 및 수문학적 가뭄의 판단에 수직적 토양수분 변화 특성과 대기 중 특성 자료를 실시간으로 활용할 수 있고, 농업 분야에서의 토양수분이 경작과 밀접한 관련이 있으며, 토양수분의 수직적 분포를 실시간으로 파악할 수 있으므로 가뭄시 농업생산성 향상에 기대 - 정부의 가뭄지하수관측정 설치에 최적화된 계측기 확보로 사업 신뢰성 확보 및 토양수분의 수직 연속 측정 장치를 통하여 국내 신개념의 계측기 시장을 선도 할 것으로 기대됨

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	토양수분함량의 수직 연속 측정을 위한 센서	토양 수분 연속 측정 센서 개발
2차년도	토양수분함량 측정 장치 개발	토양 수분 및 대기 특성 융합 계측시스템 고안
3차년도	저비용 원격장치 개발 및 통합계측시스템 개발	원격장치를 포함한 통합 시스템 개발
4차년도	3차원 통합계측 시스템 (S/W)의 설치 및 운영	분석용 s/w 개발, 현장 시험 설치 및 운영
5차년도	토양연계 가뭄지하수관측정의 설계, 시공 및 유지관리 지침 개발	지하수 가뭄 관측정 설계, 시공 및 유지관리 지침

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
3 세부	센서 개발 및 측정 장치 개발	1 연속측정식 토양 센서 개발	개발 및 기술인증	건	1	0.2	토양수분함량 계측 용 토양센서
		2 토양수분함량 측정 장치 개발	특허	건	1	0.2	토양 수분 및 대기 특성 융합 계측시 스템
		3 원격 장치 개발 및 통합시스템 개발	개발 및 기술인증	건	1	0.2	통합계측 시스템 개발
	3차원 통 합 시스템 설치	4 토양-대기 통합 시스템 개발	개발 및 기술인증	건	1	0.2	일체화된 통합 시 작품
	유지관리 지침개발	5 가뭄지하수관측정의 시공 운용 지침 개발	관측정 운용, 유 지 관리 지침 마 련 및 제안	건	1	0.2	지하수 관측망 설 치 및 유지관리 기 준이 필요함

라. 4세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	지하수 고산출지역 정밀 지구물리 탐사 및 해석 기법 개발
배경 및 필요성	- 지하수 탐사의 확률이 높은 경우에 대용량의 지하수 개발이 가능하게 되는데, 현재 국내의 경우 지구물리탐사에 대용량 지하수 개발의 성공률은 절반 정도에 머무르고 있어 가뭄시 대용량 지하수 개발에 의한 용수 공급이 어려움 - 지하수의 유무는 실제 개발시 산출량과 다른 의미로서, 기존의 탐사 기법은 지하수 유무에 대한 평가에 치중하고 있으나 실제 가뭄시에는 높은 산출량을 갖는 대수층의 발굴이 필요하므로 탐사를 위한 기술 개발이 요구됨
정부지원 필요성	- 가뭄시 최우선적으로 수행하는 것이 지하수 개발이며, 이를 위하여 현장 탐사는 필수적임. - 탐사의 정확도 및 신뢰도는 가뭄시 지하수 개발의 성공여부에 직결되므로 정부의 체계적인 지원하에 선도적인 기술이 확보되고 산업체계 확산될 수 있어야 함
세부과제의 개념 및 범위	- 자기 공명 방식의 물리탐사 기술을 적용한 지하수 개발 적지 탐사 - 대수층 특성 평가를 위한 역산 알고리즘 및 해석 기법 개발
세부과제의 목표	- 자기공명 방식의 물리탐사 기법 분석 및 탐사 시스템 개발 - 대수층의 주요 parameter 및 특성 해석을 위한 역산 해석 알고리즘 개발 - 대수층 특성 parameter 비교 평가를 위한 개발 기술 검증 및 지하수 부존 특성 표준 해석 기법 제시
주요내용	- 지하수 부존량 및 개발가능성 평가를 위한 측정 기법 고안 - 토양 접지저항 개선 등 노이즈 저감기술 개발을 통한 탐사 기술 제고 - 심도별 탐사기법(주파수 등) 적용 요소 개발 - 지하수부존량 해석 인자(함수비, 투수량계수, 심도범위 등) 산정을 위한 역산 알고리즘 개발
기술적 위험요인	기존 탐사 방법과의 차별성을 명확히 할 수 있는 현장 검증 과정이 요구됨
연구개발 추진전략	- 탐사장치의 개발 뿐 아니라, 기존 탐사장비, 시추결과와의 비교 검증이 필요함 - 기존 관정 시설 등에서 취득되는 산출성 자료와의 비교 평가를 통하여 탐사 결과의 신뢰성을 제고
기대효과 및 파급효과	- 기존의 전기비저항방식 탐사의 신뢰도를 제고할 수 있는 기술확보로 가뭄시 지하수 고부존지역의 신속한 탐사 및 수원 확보에 기여 - 가뭄시 가장 우선적으로 신뢰성 높게 현장에 적용할 수 있는 기술 확보로 가뭄 대응정책의 효율성 제고하고 지하수 보존지역의 효율적 확보로 지하수 개발시 수량 확보 실패로 인한 예산 낭비를 방지, 지하수 부존 탐사 기법 확보로 타 분야 탐사기술 발전에 기여할 것으로 보임

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	지하수 부존량 및 개발가능성 평가를 위한 측정 기법 고안	지하수 고산출지역 대수층의 물성 평가
2차년도	탐사 기술의 정확도 제고	토양 접지저항 개선 등 노이즈 저감기술 개발을 통한 탐사 기술 제고
3차년도	지하수부존량 해석 인자(함수비, 투수량계수, 심도범위 등) 산정을 위한 역산 알고리즘 개발	- 지구물리탐사 기법의 지하수 부존 평가기술 개발 - 대수층 특성에 따른 물리탐사 해석프로그램 개발
4차년도	대수층 특성 parameter 비교 평가를 위한 개발 기술 검증 및 지하수 부존 특성 표준 해석 기법 제시	현장 테스트 및 개발 기술의 적용성 평가
5차년도	-	-

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치(0~1)	목표치 설정근거
4 세부	지하수 탐사기법 개발	1	자기공명 방식의 물리 탐사 시스템 개발	특허	건	1	0.2	새로운 탐사기법 개발
		2	접지저항 개성 및 노이즈 저감기술 개발	특허	건	1	0.3	지하수 개발 가능성 평가를 위한 측정 고안
	해석 알고리즘 개발 및 해석 기법 제시	3	물리탐사를 통한 지하수 평가 및 역산을 위한 알고리즘 개발	프로그램 등록	건	1	0.2	지하수 고부존지역의 신속한 탐사 및 수원 확보
		4	물리탐사 결과의 신뢰도 오차	현장 실험 자료	%	10	0.3	탐사의 신뢰도 제고

마. 5세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	지표수-지하수 연계 기반의 가뭄 대응 비상 급수 정책 및 자금프로그램 개발
배경 및 필요성	- 가뭄 발생시 가뭄 대응 정책으로서 활용되는 기술 중 지하수 관정 개발이 가장 현실적이고 우선적인 정책으로 활용되고 있는 것이 현실이나, 실제 지표수와 연계한 지하수 개발 이용 측면의 비상급수 시스템은 정책적 기반이 마련되어 있지 않음 - 가뭄이 일상화되는 현 시점을 고려할 때 가뭄 대응 차원의 지하수 활용 및 관리 정책, 자금 확보 및 운영기법이 마련되어야 함
정부지원 필요성	- 외국의 경우 가뭄에 대응하는 다양한 자금 확보 정책이 마련되어 있으나, 국내의 경우에는 긴급 재난 지원 정책에 의한 가뭄 대응 예산을 제공함 - 기후변화 시대에 일상화되고 있는 가뭄에 능동적으로 대응하고, 필요시 지하수 관정의 적절한 개발이 가능하도록 제도 및 예산 확보에 대한 시스템 개발 연구가 필요함
세부과제의 개념 및 범위	- 인공함양에 필요한 제도 및 기준 연구 - 가뭄 대응 지하수 제도 및 정책의 발굴 - 자금 확보 프로그램의 개발 및 제안
세부과제의 목표	- 가뭄 대응을 위한 지하수 활용, 관리를 위한 인공함양 수량/수질 관련 제도 개선 연구 - 지표수-지하수 연계를 통한 용수확보 및 활용 정책 개발 연구 - 가뭄 대응 지하수 관리 자금 확보 프로그램 개발
주요내용	- 가뭄시 지하수 난개발 방지 및 효율적 활용을 위한 제도 개선 연구 - 지하수 인공함양 관련 수량/수질 제도 개선 연구 - 수자원 총량 기반의 계절별 물 활용 기준 등을 위한 정책 발굴 - 가뭄 대응 지하수 관리 자금 확보 프로그램 개발
기술적 위험요인	기존의 재난시 활용되는 비상 자금에 대한 제도적, 정책적 문제점을 발굴하고 지하수의 보다 효율적 활용을 위한 전국적(지자체) 현황 파악에 어려움이 예상됨
연구개발 추진전략	본 기술 확보를 위해서는 전국적인 지자체의 의견 수렴이 필요하며, 실제 현장에서의 가뭄시 대응 프로세스에 대한 충분한 이해가 요구됨
기대효과 및 파급효과	- 가뭄 발생을 근본적으로 대처하기 위한 지표수-지하수가 연계된 수자원 총량적 제도 및 정책이 미흡하였으나, 본 과제를 통하여 가뭄에 대응하기 위한 지하수의 효율적 활용을 구현할 수 있는 정책적, 제도적 기반을 마련함 - 가뭄시 안정적 용수확보를 위한 지하수 활용 극대화의 정책적 기반을 마련하고 제도 및 정책의 변화를 통한 신산업 분야의 창출기대

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	-	-
2차년도	가뭄 대응을 위한 지하수 활용, 관리를 위한 제도 개선 연구	- 가뭄시 지하수 난개발 방지 및 효율적 활용을 위한 제도 개선 연구 - 지하수 인공함양 및 활용을 위한 수량, 수질 관련 제도 개선 연구
3차년도	지표수-지하수 연계를 통한 용수확보 및 활용 정책 개발 연구	수자원 총량 기반의 계절별 물 활용 기준 등을 위한 정책 발굴
4차년도	가뭄 대응 지하수 관리 자금 확보 프로그램 개발	가뭄 대응 지하수 관리 자금 확보 프로그램 개발
5차년도	-	-

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치(0~1)	목표치 설정근거
5 세부	활용 방안 및 활용 기준 개선안	1 지하수 활용 및 관리를 위한 수량/수질 제도 개선안	지침 및 법률 개선 행정적 조치	건	1	0.3	가뭄 대응 지하수 활용 기술 개발의 실효성 제고 및 정책 적용 및 활용에 대한 연구가 필요함.
		2 지하수 용수 확보 및 활용 정책 개발안	지침 및 법률 개선 행정적 조치	건	1	0.3	
	지하수 관리 자금 확보 프로그램	3 가뭄 대응 지하수 관리 자금 확보 프로그램 개발	지침 및 법률 개선 행정적 조치	건	1	0.4	

2. (중점추진분야 2) 다단식 모래저장형 dam 활용 소규모 인공함양 기술 개발 분야 세부과제

가. 1세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	다단식 Sand(모래저장형) Dam 설계, 시공 및 관리 기술 개발
배경 및 필요성	- 유역 상류 지역은 상수도 공급체계가 미흡하고 물복지 취약지역에 해당될 뿐 아니라 지역특성상 강우의 하천 유출이 빠르게 나타나는 지역으로서 가뭄이 가장 빠르게 나타나는 지역임 - 유역 상류의 지역 특성상 단기 가뭄시 신속히 용수를 확보할 수 있도록 계곡수와 지하수를 병합할 수 있는 모래저장형 Dam을 활용한 기술 개발이 요구됨 - 모래저장형 dam의 용수 확보 능력과 기존의 가용 용수확보 시설의 연계성을 통한 가뭄 대응력을 극대화 할 수 있는 시스템 개발이 필요함 - 모래저장형 dam의 활용성 제고를 위하여 상수원 취수원과 농업용 저수지 등의 연계를 통하여 가뭄시 생활 및 농업용수로서의 역할을 제고함 - 비가뭄 및 가뭄 단계별 시설의 효율적 운영을 위하여 연계 기술의 검증이 요구됨
정부지원 필요성	- 본 과제는 현장 소하천 등에서 시설을 설치해야하는 과제로서, 정부의 행정적 및 예산적 지원이 필요함 - 상류 지역은 물 복지 취약지역으로서 국가의 책무인 물 공급 및 확보 기술 개발을 위한 정부 지원은 필요함
세부과제의 개념 및 범위	- 연구지역내 지표수 및 지하수 관측시설의 설치, 운영 - 모래저장형 Dam의 조사 설계, 시공 및 유지관리 지침 - 모래저장형 Dam 설계 관련 특허 - 모래저장형 Dam 시공(채움재료, Dam 재료, 시공법 등) 관련 특허 - 모래저장형 dam과 기존 시설물과의 연계 기술 확보 - 모래저장형 dam과 타 수원의 연계 시공 기술(장치, 특허)
세부과제의 목표	- 지형, 대수층, 기존시설 연계성 등을 고려한 지하 저류지(모래저장형 Dam 등)의 적지 선정기준 - 지하저류지(모래저장형 Dam)의 조사, 설계 기술 개발 - 모래저장형 Dam의 시공 및 취수 기술 개발 - 모래저장형 Dam의 관리 기술 개발 - 강우 조건 및 시기에 따른 다단식 모래저장형 dam의 저류량 극대화 기술 - 모래저장형 dam과 타 수원이나 하천 등과의 연계 시공 기술 - 모래저장형 dam과 타 수원이나 하천 등과의 연계 운영 및 활용 기술
주요내용	- 현장 조사 기준 수립, 채움 재료 기준 - 취수량 평가 기준 수립 - Dam의 통수 및 저류기술 개발, Dam체 재료 선정 기술, 채움재 개발, 취수기술 개발 - 동절기 유입량(강우, 눈, 이슬, 암반 관정 연계 등)확보 기술, 퇴적 등 물리적 환경 변화 관리, 유입량 및 취수량 변화 관리

	- 강우 조건별 유역내 최대 저류량 예측 및 가뭄 대응 기술 - 기존취수원(마을상수도, 저수지 등)과 연계 시공 - 가뭄 단계별 용수 확보를 위한 연계 운영 및 공급 기술
기술적 위험요인	- 본 과제는 현장 시공을 통하여 기술을 확보하는 과제로서 실제 현장을 확보하는 것이 어려움이 있음 - 시공 과정에서 민원의 발생 등 예상치 못한 문제점이 야기됨
연구개발 추진전략	- 적지 선정을 위하여 사전에 지방자치단체 및 주민과의 긴밀한 협력 체계가 필요함 - 인공함양을 위한 수원 확보를 위한 기술이 필요함 - 모래저장형 dam의 함양 지하수와 타 시설과의 연계를 위한 network 기술 확보를 위하여 관로 등의 전문가의 참여나 자문이 필요함 - 상수원, 하천 등의 기존 시설과의 연계를 위해서는 기상 조건에 따른 수문 학적인 변화가 연계 조건에 반영될 수 있도록 접근
기대효과 및 파급효과	- 가뭄이 가장 빨리 찾아오는 상류지역에 대한 수문 변화를 평가하고 하류의 추가적 가뭄 진행에 대한 사전 대응에 기여 및 마을상수도 등 취수원 취약 지역의 보조수자원 확보를 통한 가뭄시 대응력 제고 - 상습 가뭄 지역에 대한 보조수자원 확보 기술 개발로 정책발굴기여 및 모래 저장형 Dam 관련 기술 확보로 유사분야 기술발전에 기여가 가능함 - 모래저장형 dam 지하수의 실질적 활용을 위한 시설 연계 기술을 확보하고 단계별 연계 기법을 개발함으로써 인공함양 기술의 적용성을 높임 - 사방댐, 저수지 및 마을상수도 등의 기존 시설을 병행 활용하는 기술을 확보함으로써 지하수 활용의 정책적 효용성을 제고하고 기존 수자원 시설의 연계 활용 기술을 확보함으로써 기존 시설의 경제성을 높임, 가뭄에 대한 모래저장형 dam의 수량적 효용성 평가 기술을 확보함으로써 향후 정확한 설계 및 시공에 기여가 가능함

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	모래저장형 dam 연구 현장 선정 및 기준수립	- 다단식 모래저장형 dam 최적지 선정 기술 및 연구현장 선정 - 현장 수리지질 조사 및 저류 효과 분석
2차년도	지하저류지(모래저장형 Dam)의 조사, 설계 기술 개발	- 모래저장형 dam의 설계 기술 개발 - 사방댐, 저수지, 관정 등과의 연계 기술 설계
3차년도	지하저류지(모래저장형 Dam)의 시공 기술 개발	- 모래저장형 dam의 시공 및 현장 시스템 구축 - 사방댐, 저수지, 관정 등과의 연계 시공 기술
4차년도	지하저류지(모래저장형 Dam)의 취수 기술 개발	- 취수 및 기존 시설 연계 기술 개발 - 가뭄 단계별 용수확보를 위한 연계 운영
5차년도	지하저류지(모래저장형 Dam)의 관리 기술 개발	모래저장형 dam 운영관리를 통한 문제점 보완 및 지침 작성

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
1 세부	조사 및 설계 기준 수립	1 연구 현장 선정	Test Bed 선정 여부	개소	1	0.1	지형, 대수층, 기존시설의 연계성을 고려한 적정 저류지 선정 필요
		2 지하저류지 조사, 설계 지침 개발	조사 설계 지침서	건	1	0.2	실제 현장 시공을 위한 기초기술 확보
	시공, 취수, 관리 기술 개발	3 지하 저류지의 시공 기술 개발	시공 및 현장 시스템 구축에 따른 관련 특허	건	3	0.2	지하 저류지 시공에 따른 기술요소 개발 (시공법, Dam 재료, 채움 재료 등) 및 관리기술 개발
		4 지하 저류지의 취수 기술 개발 및 관리 기술	현장 측정치	건	1	0.2	
	조건별 저류량 평가 및 기술 설계	5 모래저장형 dam의 저류 효과 평가	정량화 계수 산정	건	1	0.1	저류량 극대화를 위한 타 수원 시설과의 기술 설계 및 시공 기술의 필요성
		6 기존 취수원과 연계 시공 기준	특허	건	1	0.1	
	연계 운영 및 공급 기술	7 모래저장형 dam 연계 운영 기술 개발	특허	건	1	0.1	실질적 활용을 위한 시설 연계 기술 확보의 필요성

나. 2세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	Sand(모래저장형) Dam의 수원, 수질 확보 및 관리 기술 개발
배경 및 필요성	- 유역 상류에는 조립질 입자의 유입이 활발하여 탁도가 발생하거나 유기물의 유입이 활발해 질 수 있으므로 이에 대한 사전 및 사후 처리 기술 확보가 필요함 - 상류지역에서 암반관정, 마을(간이)상수도와 모래저장형 Dam 수량의 연계시 발생할 수 있는 수질의 변화 및 수처리의 어려움에 대한 해소 기술이 필요함 - 장기간 운영시 모래저장형 Dam의 충전물에 클로킹 문제 등 지하수 유동에 영향을 미칠 수 있는 요인에 대한 평가가 필요함
정부지원 필요성	인공함양을 위한 수원 확보 및 수질 확보는 가뭄시 물 공급 대책의 필수적 사항으로서 물 공급 취약지역에 대한 정부 대책의 일환으로 추진되어야 할 사업 분야로서, 정부의 지원이 필요함
세부과제의 개념 및 범위	- 모래저장형 Dam의 수원 확보 및 수질관리 기준(지침) - 모래저장형 Dam의 수처리 기술 개발 - 충진물내 클로킹 개선 기술(특허)
세부과제의 목표	- 모래저장형 Dam의 수원확보 기술: 계곡수, 이슬, 눈, 사방댐, 관정 등 - 모래저장형 Dam 유역에서의 지하수 수질 특성 분석 및 적정 전처리 기술개발 - 타 시설(관정, 마을상수도 등) 연계시 수질 변화 특성 분석 - 타 시설 연계에 따른 적정 수처리 기술 개발 및 수질 모니터링 기술 - 간헐적 운영에 따른 충전물 내의 클로킹 영향 평가 및 개선 기술 개발
주요내용	- 인공함양을 위한 수원 확보 기술 - 지하수 수질 특성 분석 및 전처리기술 개발(탁도, 유기물, 기타 수질기준 적용) - 염소 소독 등 기존 수처리 기술의 개선 및 관리기술
기술적 위험요인	- 갈수기 이전 및 갈수기 동안에는 인공함양에 필요한 충분한 수원을 확보하는 것이 어려울 수 있음 - 단기간의 연구를 통하여 수질 및 클로킹 등의 문제를 해소하는 것에 어려움이 있음
연구개발 추진전략	- 이슬, 눈, 하천 등 다양한 수원 확보 전략을 고려 - 실제 현장 설치 및 운영을 통한 수질 개선 효과에 대한 실증 연구 수행
기대효과 및 파급효과	- 상류의 모래저장형 Dam의 수량 뿐 아니라 안정적 수질 확보를 위한 기술 개발로 취수원 확보에 기여 - 모래저장형 dam을 연계한 간이상수도 수처리 기술의 해결을 통하여 수원의 다양화를 위한 정책적 의사결정을 지원하고 모래저장형 dam의 수원으로서의 활용성을 제고함으로써 신산업 분야로의 진입에 기여할 수 있음, 또한 모래저장형 dam의 탁도 등 수처리 분야 기술이 확보가 가능함

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	인공함양 수량, 수질확보를 위한 기초기술 개발	- 연구 현장의 수리지질학 및 이화학적 특성 평가 - 수량 평가 및 수질 특성 분석
2차년도	지하수 인공함양을 위한 수원 확보 기술 개발	가뭄시 인공함양수 수원 확보기술 개발(눈, 이슬, 하천, 관정 등)
3차년도	지하수 수질 특성 분석 및 전처리기술 개발	- 타 시설(관정, 마을상수도 등) 연계시 수질 변화 특성에 대한 실내 분석 - 클로킹에 대한 실내 분석 및 현장 검토
4차년도	타 시설(관정, 마을상수도 등) 연계시 수질 변화 특성 분석	- 기존 용수공급시설의 정수처리 기술 보완 - 타 시설 연계에 따른 적정 수처리 기술 개발 및 수질 모니터링 기술 - 기존 수원의 운영 및 시설 특성 평가
5차년도	모래저장형 dam의 수량 및 수질 확보 기술 지침	수량 확보, 수처리 및 운영관리 기술 지침 개발

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치(0~1)	목표치 설정근거
2 세부	모래저장형 dam 기초기술 개발	1	수원 확보 장치 또는 기술	특허	건	1	0.2	모래저장형 dam과 연계한 수처리 기술 필요성
		2	충진물 내 클로킹 개선 등 전처리 기술 개발	전처리 관련 특허	건	1	0.3	
	수질 특성 변화 분석 및 수량 확보 기술	3	모래저장형 Dam의 수질 관리에 대한 가이드라인 제시	모래저장형 Dam 수질관리 지침서	건	1	0.3	수질, 수량 확보 기술 개발로 인한 안정적 취수원 확보
		4	수질, 수량 확보 이후 수처리 및 운영관리 기술 개발	연계 운영관리 지침서	건	1	0.2	

라. 3세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	모래저장형 dam과 수원 연계에 따른 물수지 평가 및 최적 운영 기술
배경 및 필요성	- 모래저장형 지하댐, 수원검용 사방댐 등 상류부 지하저류시설 설치·운영에 따른 물수지 변화 및 인공함양 효과 분석을 위한 사전예측·사후평가 도구가 필요함 - 농업용저수지, 마을상수도(지하수관정) 등 기존 취수원과 지하저류시설 연계를 통한 상류부 가뭄대응력 제고 기술이 필요함
정부지원 필요성	다단식 모래저장형 dam을 통한 인공함양 및 수원 확보 기술은 가뭄 대비용 시설에 대한 연구로서, 이 기술의 효과를 검증하는 본 과제는 정부의 지원이 필요함
세부과제의 개념 및 범위	- 가뭄 대응 시설을 연계한 통합 모델링 기법 개발 - 유역 물수지 분석을 통한 가뭄시 최적(적정) 모래저장형 dam 운영률 개발 - 모래저장형지하댐 등 상류부 가뭄대응시설의 정량적 설치·운영 가이드 라인
세부과제의 목표	- 상류부 가뭄대응시설 설치에 따른 사전예측, 사후평가 모형 구축 - 지하댐 연계형 사방댐, 지하수 양수영향 분석용 지표수-지하수 통합 유역 수문모형 구축 - 기존 취수원과의 연계를 통한 가뭄대응력 제고 기술 개발
주요내용	- 가뭄시나리오에 따른 유역 물수지 분석 및 용수공급 취약성 평가 - 지하댐, 저수지, 지하수양수영향 분석용 지표수-지하수 통합 유역수문모형 구축 - 지하저류시설 설치·운영 시나리오별 지하수자원 확보 및 하천유황 개선효과 모델링 - 사전예측, 사후평가를 통한 최적(적정) 운영률 개발 - 농업용저수지, 마을상수도(지하수관정) 등 기존 취수원과의 연계 운영 모델링 - 가뭄시 필요수량 공급 최적 시나리오 개발
기술적 위험요인	- 실제 현장 시공이나 조사 등이 원활히 이루어지지 못할 경우 본 과제의 성과가 낮을 수 있음 - 기존에 개발되어 있는 도구를 사용하기 보다는 본 과제를 통하여 유역 상류지역에 최적화된 물수지 분석 도구에 대한 기술 개발이 필요함
연구개발 추진전략	현장 시공이나 조사 분야와의 긴밀한 데이터 공유를 통하여 유역 상류에 적합한 물수지 분석 수행
기대효과 및 파급효과	- 지하저류시설물 설치효과 검증 방법론을 확보하고 상류유역 다취수원 연계 기법 제시를 통한 물공급 능력 극대화 - 지하저류시설물 설치 등 신규수자원개발 타당성 근거 자료로 활용이 가능하고 기존 시설의 보완과 연계를 통해 대규모 투자 없이 신규수자원 확보 가능, 지표수와 연계한 지하저류시설 설치·운영의 정량적 평가도구 확보

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	연구지역 가뭄평가를 통한 용수공급 취약성 평가	- 연구 현장의 수리지질학 및 이화학적 특성 평가 - 가뭄 특성 평가
2차년도	상류부 가뭄대응시설 설치에 따른 사전예측, 사후평가 모형 구축	- 하상 수리지질조사 및 수문관측 - 모래저장형 dam, 저수지, 지하수양수영향 분석용 지표수-지하수 통합 유역수문모형 구축
3차년도	기존 취수원과의 연계를 통한 가뭄대응력 제고 기술 개발	- 기존 수원의 운영 및 시설 특성 평가 - 지하저류시설 설치·운영 시나리오별 지하수자원 확보 및 하천유황 개선효과 모델링
4차년도	다단식 지하저류지 설치·운영 효과 분석	- 가뭄 특성별 연계 운영 기술 확보 - 가뭄시 필요수량 공급 최적 시나리오 개발
5차년도	가뭄시 최적(적정) 지하댐 운영률 개발	- 모델 시뮬레이션과 실제 운영의 비교 평가 - 사전예측, 사후평가를 통한 최적(적정) 운영률 개발

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치(0~1)	목표치 설정근거
3 세부	가뭄 특성 평가 및 가뭄 대응 시설에 따른 모형구축	1	연구 현장의 수리지질학적 특성 및 가뭄 특성 평가	보고서	건	1	0.1	시험 유역의 가뭄 평가와 시설 설치에 따른 사전예측, 사후평가를 통한 가뭄 평가
		2	지하수통합 유역 수문모형 구축	보고서	건	1	0.1	
	지하저류 시설 설치 운영 효과 분석 및 운영률 개발	3	가뭄시 필요수량 공급 최적 시나리오 개발	설치, 운영에 따른 모델링 구현	회	2	0.3	가뭄 대응 시설 설치를 통한 모델링 기법 개발의 필요성
		4	지하 저류지 설치, 운영을 통한 수량 증대	가뭄시 물공급력 20% 증대	%	20	0.3	
		5	현장 운영과 모델 시뮬레이션의 비교 평가	운영 가이드 라인 작성	건	1	0.2	

바. 4세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	상류 분지에 적합한 지표수-지하수 연계 기반 지하수 개발가능량 평가기법 개발
배경 및 필요성	- 국내에서 시행된 지하수 함양 및 개발가능량에 대한 평가는 광역적인 접근이나, 지하수 관측정을 활용한 협소한 규모의 접근으로 이루어졌음 - 지표수를 고려한 지하수 함양량 및 개발가능량에 대한 분석은 하천변을 대상으로 유역단위로 수행되어 왔음 - 분지 상류지역은 하천의 발달이 미미하고, 지하수의 흐름이 수직방향으로도 발생하는 등 일반적인 하천변의 특성과 상이하므로, 상류지역의 적정 지하수 개발가능 능력에 대한 평가가 필요함
정부지원 필요성	지하수 개발가능량은 지역의 특성에 따라 각기 다른 방법을 적용할 필요가 있는데, 특히 상류지역은 가뭄에 취약한 지역으로서 지하수 관리의 기본이 되는 지하수 개발가능량 평가 기술의 확보는 정부차원의 지원이 필수적임
세부과제의 개념 및 범위	- 분지 상류지역의 지하수 개발가능량 평가 기법 - 지하수 개발가능량 산정 프로그램(S/W)
세부과제의 목표	- 상류 분지지역의 강우 및 수문환경 특성 분석 - 다변량 수문요소 기반 지하수 개발가능량 평가 기법 개발 - 지하수 개발가능량 산정 프로그램 개발
주요내용	- 강우, 지표유출, 지하수위 변동, 증발산 등 수문 인자 조사 분석 - 유역형상 및 특성(위치, 지형, 수리지질 등)에 맞는 개발가능량 평가기법 개발 - 지하수 시설 및 이용특성을 고려한 개발가능량 평가기법 개발 - 수문요소를 고려한 지하수 개발가능량 산정 프로그램 개발
기술적 위험요인	유역상류에 대한 정밀한 수문 자료 취득 관측 시스템이 확보되어 있지 않아 소규모 지역 단위의 정확한 데이터 취득에 한계가 있음
연구개발 추진전략	상류 분지에 대한 다수의 계측 시스템을 설치하여 지표, 기상, 지하 등이 상호 연계된 수문학적인 순환 개념의 데이터 취득을 수행함
기대효과 및 파급효과	- 지하수 이용 및 관리의 근간이 되는 개발가능량에 대한 산정 기법을 개발함으로써 국가 지하수 정책의 신뢰성을 제고하며, 가뭄시 적정 지하수 개발을 유도함 - 국가 지하수 관리의 기본이 되는 정책 입안 및 신뢰도 확보에 기여하고 지하수 개발가능량 산정 S/W의 개발을 통해 기존없이 적용되던 개발가능량이 표준화를 달성함으로써 산업계의 성과물에 대한 신뢰성 제고 및 지역 특성에 맞는 지하수 개발가능량 산정으로 타 지역(하류, 해안 등)의 지하수 개발가능량 산정의 발전에 기여함

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	상류 분지지역의 강우 및 수문환경 특성 분석	- 상류지역의 지하수 개발가능량 적용성 진단 - 다양한 수문 계측 장치 설치 운영
2차년도	유역형상 및 특성(위치, 지형, 수리지질 등)에 맞는 개발가능량 평가기법 고안	다변량 수문요소를 고려한 지하수 개발가능량 산정 기법 고안
3차년도	지하수 시설 및 이용특성을 고려한 개발가능량 평가기법 개발	지하수 개발가능량 산정 기법 개발
4차년도	지하수 개발가능량 산정 프로그램 개발	지하수 개발가능량 산정 프로그램 개발
5차년도	개발가능량 적용성 검증	지하수 개발가능량 산정기법 적용성 평가

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치(0~1)	목표치 설정근거
4 세부	상류지역 수문 특성 분석 및 알고리즘 개발	1	하천-지하수-기상 인자의 상호 작용 분석 신뢰도	보고서(통계적 유의성)	%	90	0.2	상류지역 지하수 개발 가능 능력에 대한 평가 필요
		2	지하수 개발 가능량 산정 알고리즘 개발	프로그램 등록	건	1	0.2	산정 기준 수립
	지하수 개발 가능량 산정 프로그램 및 적용성 검증	3	지하수 개발 가능량 산정 프로그램 개발	소프트웨어 개발	건	1	0.2	보급을 위한 프로그램 개발
		4	개발가능량 신뢰성	통계적 유의성 확인	%	90	0.2	지하수 개발 가능량 산정의 표준화 및 신뢰도 확보
		5	지침서 발간	지침서 발간 여부	건	1	0.2	개발 가능량 평가에 필요한 지침서 작성

3. (중점추진분야 3) 선상지 인공함양 기반의 Hybrid형 용수확보 기술 개발 분야 세부과제

가. 1세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	■ 선상지 상류의 인공함양 기법을 활용한 수량 증대 및 수질 확보 기술
배경 및 필요성	■ 4개의 중점추진분야 연구(연구단 전체)의 통합 성과 도출을 위하여 통합 Testbed의 구축 운영 필요 ■ 선상지 상류의 소하천에서 공급 받는 물을 장기간 저류할 수 있는 인공함양 기술을 확보함으로써 가뭄 기간에도 지속적으로 수량을 확보할 수 있는 기술이 요구됨 ■ 선상지의 경우 지류임에도 불구하고 충분한 대수층이 존재하므로 낮아진 지하수위를 높여 수량을 증대하기 위한 기술로서 환경적 영향이 최소화 할 수 있는 인공함양 기술 확보가 필요함 ■ 지류 중상류 지역의 경우 연중 일정한 하천 유량 유지가 어려움이 있으므로, 인공함양 원수 확보를 위하여 소하천에서 저류하는 기술(In channel modification 등)을 접목하는 것이 필요함
정부지원 필요성	■ 인공함양은 갈수기 및 가뭄시 물을 취수할 수 있는 선진국형 물 활용 시스템으로서 국내의 경우 관련 기술이 거의 확보되지 않은 상태로서 정부의 지원을 통하여 조속한 시일내 선진국 수준의 기술 확보가 필요함. 이를 통하여 가뭄시에도 충분히 대응할 수 있는 물 확보 기술이 마련되어야 함
세부과제의 개념 및 범위	■ 인공함양(Infiltration basin or ditch) 기술 지침서 ■ 인공함양 현장 설비(특허) 및 시설의 개발 ■ 인공함양을 위한 수질 전처리 장치(특허)의 개발 ■ 소하천내 In channel modification을 통한 저류 기술 및 시스템(특허, 시제품, 시스템)
세부과제의 목표	■ 연구단 통합 실증 Testbed 지역 선정, 시설계획 및 운영 방안 연구 ■ 인공함양 대수층 수리특성 조사 및 시뮬레이션 ■ 인공함양 기법 설계 및 시공 ■ 인공함양 설비 운영을 통한 효과 평가 ■ 선상지 상류의 소하천 In channel modification 저류 기술 개발
주요내용	■ 연구단 통합 실증 Testbed 지역 선정, 시설계획 및 운영 방안 연구 ■ 대수층의 수리특성 및 함양 적정성에 대한 평가 ■ 사전 수치 모델링을 통한 함양 효과 및 개발가능량 평가 ■ 선상지 상류의 하천 연계 최적 함양 기법(Infiltration basin or ditch 등) 설계 및 선정 ■ 가뭄 강도별 최적 함양량 설계 ■ 함양 시설(Basin, ditch, well in ditch 등) 시공 및 개선 기술 개발 ■ 주입수의 수질확보를 위한 전처리 기술 개발(수생식물 등 적용) ■ 수위 및 수질 변동 특성 분석

	- 하천의 유량과 함양 지하수의 상관특성 평가 - 계절별, 가뭄별 함양 시스템 운영 효율 분석 - 함양원수 확보를 위한 소하천 In channel modification 최적 설계기법 개발 - 하천의 유량, 퇴적 및 침식 특성 변화 평가
기술적 위험요인	- 통합 Testbed의 지역 선정 및 원활한 연구 공정 추진에 한계점 존재 - 선상지 퇴적 환경에 따라 물이 충분히 함양되지 않을 수 있음 - 지류하천은 상류로서 기존 계측 데이터의 한계점으로 인하여 하천의 유량이나 퇴적 등에 대한 정확한 예측 및 평가 한계
연구개발 추진전략	- 물의 함양을 원활하게 하기 위하여 함양지의 구조적 설계를 다양화하고 각 방법별 비교 분석을 통하여 효과를 검증하고, 최적의 방안을 제시함 - 다양한 계측 시스템을 갖춘 상태에서 함양 분지내 수위, 수질 및 소하천의 퇴적, 유량 등에 대한 연구를 수행하여야 함
기대효과 및 파급효과	- 그동안 지질특성의 한계로 국내에는 관정 방식의 인공함양은 거의 불가하였으나, 본 연구를 통하여 basin 또는 ditch 방식의 연구를 본격 수행함으로써 선상지에서의 충분한 수량 확보에 기여함 - 지하수 함양뿐 아니라 갈수기 하천유지용수 확보 정책에 활용이 가능하고 소하천의 효율성 제고 기술 개발로 소하천 활용의 사업성 제시 및 상류하천 물의 절대량 부족지역에서의 물 확보 기술을 개발함으로써 지하수 함양 사업의 활성화에 기여 - 소하천의 효율성 제고 기술 개발로 소하천 활용의 사업성을 제시하고 상류하천의 물의 절대량 부족지역에서의 물 확보 기술을 개발함으로써 지하수 함양 사업의 활성화에 기여함

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	연구단 통합 실증 Testbed 지역 선정, 시설계획 및 운영 방안 연구	- 연구단 4개 중점추진과제의 공동 Testbed 선정 기준 수립 및 선정 - TB내 시설계획 및 운영 최적화 방안 수립
	인공함양 대수층 수리특성 조사 및 시뮬레이션	- 연구 현장의 수리지질학 및 이화학적 특성 평가 - 사전 수치 모델링을 통한 함양 효과 및 개발가능량 평가 - 함양원수 확보를 위한 소하천 평가 및 적정 저류 기술 분석
2차년도	인공함양 기초기술 개발 및 설계	- 지하수 인공함양 기술 검토 및 적정 방안 수립 - 주입수의 수질 확보를 위한 전처리 기술 개발 - 소하천 In channel modification 설계 기술개발
3차년도	인공함양 시설 시공	원수 확보 및 함양 시설(Basin, ditch, well in ditch 등) 시공 및 개선 기술 개발
4차년도	인공함양 시설 운영 관리	- 가뭄 특성별 연계 운영 기술 확보 - 함양지 및 소하천의 수위, 수질, 퇴적 변동 특성 분석
5차년도	인공함양 기술 효과 평가	선상지 인공함양 기술 적용 효과 정량적 평가

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
1 세부	통합 TB 선정, 시설계획 및 운영 방안	1 통합 TB 선정	현장 및 보고서	건	1	0.1	공통 연구 Site 확보
	인공함양 대수층 특성조사 및 시뮬레이션	1 수리특성 및 함양 적정성 평가	보고서	건	1	0.1	특성 조사 및 모델링을 통한 개발 가능성과 함양효과 분석 필요
		2 수치 모델링을 통한 함양 효과 분석 신뢰성	신뢰성	%	90	0.1	
		3 소하천 In channel modification 최적 기술 설계	시뮬레이션 결과	건	1	0.1	
	인공함양 기법 설계 및 시공	4 임공함양을 위한 수질 전처리 장치 개발	특허	건	2	0.1	선상지에서 충분한 수량 확보를 위한 설계 및 시공 필요
		5 가뭄 강도별 최적함양량 설계	기술 지침서	건	1	0.1	
		6 인공함양 현장 설비 개발	특허	건	2	0.1	
		7 함양 원수 확보 설비	특허	건	2	0.1	
	인공함양 설비 운영을 통한 효과 평가	8 인공 함양량 증대	가뭄시 함양량 증가	%	30	0.1	운영을 통한 효과 분석 및 평가 방법 제시
		9 운영을 통한 설비 효과 평가 방법 개발	기술 지침서	건	1	0.1	

나. 2세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	■ 선상지형 인공함양지에서의 취수를 위한 수평정 설계 및 시공 기술
배경 및 필요성	■ 수 m 이상의 총적층이 발달한 선상지형 인공함양지에서의 지하수 개발을 위해서는 수평정 방식이 많은 양의 취수가 가능하나 현재 적용 기술이 없음 ■ 대하천변에는 강변여과수 개발을 위한 집수정 방식의 취수기술이 확보되어 있으나, 고비용으로서 대용량 취수에 제한적인 경제성을 확보하는 기술로서 국내 중상류 하천에서의 적용은 기술적으로 경제적으로 적용이 불가함 ■ 가뭄이 빠르게 나타나는 선상지 및 중상류 하천 지층에 적합한 대용량의 지하수원 확보 기술인 수평정 설계 및 시공기술을 개발하여 용수 확보에 기여가 필요함
정부지원 필요성	■ 국내 선상지의 경우 다수의 농업 및 생활용 지하수 개발이 기 이루어지고 있는 지역으로서 가뭄시 물 수요가 높은 지역임. 따라서, 정부의 지원하에 기술이 확보된다면 이들 지역 가뭄 해소에 큰 역할을 담당하게 될 것임
세부과제의 개념 및 범위	■ 선상지형 수평정의 조사 설계 및 시공 지침서 ■ 수평정 및 집수통 시공 기술(공법, 시스템, 특허) ■ 수평굴진 자동 제어 시스템 및 프로그램
세부과제의 목표	■ 선상지형 지층에서 500톤/일의 지하수 확보가 가능한 수평정 조사 설계 기술 개발 ■ 다양한 지층변화(토사, 호박돌 및 암반)에 대응하는 수평(또는 경사)굴진 기술 개발 ■ 자동제어시스템을 접목한 정밀시공 시스템 및 설계/시공 지침서 구축
주요내용	■ 지하수 부존특성 파악을 위한 수리지질특성 조사/분석 및 Test-bed 설계 ■ Test-bed 지역내 심도별 대수층 부존성 조사에 따른 수리지질 모델링 ■ 수평굴진 굴착 및 집수통 특성에 따른 취수계획량 시뮬레이션 ■ 최적 취수량 확보를 위한 수평굴진 자재 설계 ■ 지층별 굴진 시스템 개발(대수층 특성, 구경, 장심도(50m 이상)에 대한 굴진 기술) ■ 하향 및 수평방향, 상향, 경사 등 360도 굴진시스템 및 정밀시공 모니터링 구축 ■ 선상지의 수평정 방식 지하수 집수시스템 설계/시공 지침서 구축
기술적 위험요인	■ 수평 굴진 중 지중 장애물 등에 따른 문제점이 대두될 수 있음 ■ 선상지의 대수층 특성의 다양성에 따라 최적 굴진 공법의 한계점 존재 가능
연구개발 추진전략	■ 현장의 철저한 사전 수리지질 조사를 통하여 지층 조건에 최적화된 굴진 기술 설계 및 시행 ■ 굴진중 발생하는 지중 장애물 등의 문제점에 대해서는 사전에 충분히 조사하고, 굴진 중에는 전문가의 현장 배치를 통하여 신속한 의사결정을 추진

기대효과 및 파급효과	- 충분한 지하수 부존성을 가진 선상지에서의 적정 취수 기술을 확보함으로써 가뭄 대응력 제고 가능 - 소규모 지하수의 가뭄을 대비한 대용량 지하수를 확보함으로써 지역적인 상수원 그룹단위의 수자원 공급 체계망을 구축하고 저수지, 댐의 건설을 대체하여 저비용으로 지역단위별 가뭄대비 지하수자원의 생산성과 효율성 증대 효과, 수평공 지하수 집수 시스템 설계/시공 기술 및 장비체계 개선

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	선상지 인공함양 연구 현장 선정 및 기준 수립	- 최적 연구지역 선정 - 수리지질조사 및 대수층 평가
2차년도	수평정 조사 설계 기술 개발	- 수평정 굴착 및 시공 요소기술 확보 - 취수계획량 시뮬레이션 및 시설 설계 등
3차년도	연구 시설 현장 시공	- 수평정 굴진 및 문제점 분석 - 문제점 대응방안 수립 및 해결
4차년도	연구 시설 현장 시공 및 운영	수평정 운영관리 및 취수 연계
5차년도	연구 시설 현장 시공 및 운영	수평정 방식의 시공 기술에 대한 지침서

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치(0~1)	목표치 설정근거
2 세부	지하수 확보 가능한 수평정 조사 설계 기술 개발	1 수리지질특성 조사/분석	현장 특성 조사 (보고서)	건	1	0.1	선상지 인공함양 연구를 위한 현장 조사 및 수평정 조사 설계 기술 활용 필요
		2 수평정 조사 설계 기술	특허	건	1	0.1	
	연구 시설 현장 시공 기술 개발	3 수평공 굴진 기술	시공 기술 특허	건	2	0.2	굴진 중 문제 발생에 따른 대응방안 수립 마련 필요
	연구 시설 현장 시공 및 운영 모니터링 구축	4 정밀시공 모니터링 장치	특허	건	1	0.2	수자원 공급 체계망 구축 필요
		5 집수시설 시공 기술 및 자동 제어 시스템	프로그램	건	1	0.2	
		6 지침서	지침서	건	1	0.2	

라. 3세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	인공함양 지하수자원의 상수원 연계 및 저영향 관리 기술
배경 및 필요성	- 인공함양된 지하수자원의 효율적 및 경제적 공급을 위한 기존 상수원 시설과의 연계 기술이 필요함 - 기존 상수원 시설과의 연계 운영을 통한 수처리 방식의 개선 및 주변 저영향의 수량 확보 극대화 기술 미흡 - 가뭄시 뿐 아니라 평상시 인공함양 지하수자원의 활용방안 수립 필요
정부지원 필요성	선상지의 인공함양을 통한 물 확보 기술은 가뭄에 대비한 것으로서 정부의 지원이 필요함
세부과제의 개념 및 범위	- 기존 취수시설 연계 설계 및 운영관리 기술 지침서 - 교대 운영시의 수처리 장치(특허) - 비가뭄시의 지하수 활용 및 공급 장치(특허)
세부과제의 목표	- 기존 상수원 취수시설과의 연계 설계 기술 개발 - 기존 취수원 연계 운영을 통한 수량 및 수질 최적화 방안 개발 - 상수원 연계 운영을 통한 주변 선상지 지역의 영향 최소화 방안 연구
주요내용	- 적정 취수량 기반의 관로, 펌프, 운영 방식 설계 기술 - 지하수 및 기존 취수시설의 수질을 고려한 연계 방식 시뮬레이션 - 지하수 및 기존 취수원의 교대 운영 기법 개발 - 교대 운영에 따른 최적 수처리 기법 개발 및 영향 평가 - 운영에 따른 주변지역 지하수위 및 수질 변화 평가 - 주변 영향 최소화를 위한 운영 기술 개발 - 비가뭄시의 함양 지하수자원의 활용 및 공급 기술 개발
기술적 위험요인	- 기존 상수원이나 하천 등과의 연계를 위해서는 수질의 변화나 수처리 장치의 변화 등이 발생할 수 있음 - 비가뭄시 인공함양 시설의 활용이나 지하수자원의 활용에 대한 기술 확보 필요
연구개발 추진전략	- 정수처리에 대한 기술은 사전에 실내 분석 등을 통하여 수처리 방식에 대한 검증을 수행 - 비가뭄시에도 농경지 등에서 용수를 활용할 수 있도록 주변 영향 최소화 연구와 병행하여 용수 공급 방안을 강구
기대효과 및 파급효과	- 가뭄 및 비가뭄 시 수량 및 수질 문제를 최소화 하면서 용수공급을 할 수 있는 기술을 확보하여 인공함양 시설의 상시 가동성을 제고함 - 가뭄 대비 시설의 비가뭄시 활용성을 검증함으로써 정책의 효율성을 확보하고 인공함양된 지하수의 수질 문제를 해소함으로써 인공함양 기술의 확대 적용에 기여, 또한 기존 취수원(하천수, 복류수)과 지하수의 융합 운영을 통한 수처리 기술의 발전에 기여함

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	-	-
2차년도	기존 상수원 등 수원시설과의 연계성에 대한 기초 분석	- 적정 취수량 기반의 관로, 펌프, 운영 방식 설계 기술 - 지하수 및 기존 취수시설의 수질을 고려한 연계 방식 시뮬레이션
3차년도	연계 시설 설계 및 수처리 최적화 방안 검토	교대 운영에 따른 최적 수처리 기법 개발 및 영향 평가
4차년도	연계 시설 시공	지하수 및 기존 취수원의 교대 운영 기법 개발
5차년도	운영관리를 통한 특성 평가 및 주변 영향 최소화 기술 개발	- 운영에 따른 주변지역 지하수위 및 수질 변화 평가 - 주변 영향 최소화를 위한 운영 기술 개발

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치(0~1)	목표치 설정근거
3 세부	기존 취수 시설과의 연계성 분석 및 요소 기술 개발	1	기존 취수시설과의 적용 가능성을 위한 연계성 분석	시뮬레이션 신뢰성	%	90	0.1	설계 기술 개발 및 수질을 고려한 연계 방식 시뮬레이션 개발 필요
		2	관로, 펌프, 운영 방식 기술 설계 및 연계 장치	특허	건	1	0.2	
	연계 시설 설계 및 수처리 최적화 방안 개발	3	최적 수처리 기법 개발	특허	건	1	0.1	수량 및 수질 문제를 최소화 하면서 용수공급 가능성에 대한 연구 필요
		4	지하수 및 기존 취수원의 교대 운영 기법 설계	보고서	건	1	0.1	
	운영을 통한 영양 최소화 기술 개발	5	가뭄시 용수공급량 증가량	가뭄시 용수공급 증가율	%	20	0.2	지하수의 융합 운영을 통한 수처리 기술 및 운영관리 기술 개발 필요
		6	비 가뭄시 지하수 활용 및 공급 장치 개발	특허	건	1	0.2	
		7	운영관리 기술 개발	기술지침서	건	1	0.1	

바. 4세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	지하수 인공함양에 따른 확보수량 예측 모델링 및 모니터링 기술
배경 및 필요성	소하천에서 확보된 지표수를 이용하여 지하로 유입하는 인공함양은 확수법, 우물주입법 등 다양한 방식이 도입되지만 이에 따른 정확한 수량확보를 예측하기는 매우 어렵고, 이를 위해서는 3차원 지하수 유동분석과 최적화 기법을 통한 수량 예측과 이를 모니터링하는 기술이 필요함
정부지원 필요성	인공함양을 위한 수원의 확보는 인공함양의 성공과 직결되는 부분으로서, 갈수기 하천의 적절한 운영을 통한 수원확보가 근간인 만큼 하천 관리를 담당하는 정부에서 지원하는 것이 필요함
세부과제의 개념 및 범위	- 모델링 기반 기존 취수시설 연계기술 - 소하천과 연계한 가뭄대응시설의 정량적 운영시나리오 개발 - 가뭄시 물공급 지침 개발
세부과제의 목표	- 예비모델링을 통한 인공함양 위치 최적설계 - 모니터링, 모델링을 통한 수자원 확보 효과 분석 - 하천저류량과 연계한 수자원 수요-공급 관련 최적 공급 방안 제시
주요내용	- 소하천에 의해 확보된 수량의 인공함양 주입정(주입시설) 최적설계 모델링 - 인공함양주입의 효과를 위한 모니터링 및 평가 3차원 모델링을 통한 주입량 효과 분석 3차원 모델링을 통한 주입 가능 효과 분석
기술적 위험요인	현장 수리지질 특성에 대한 충분한 검토를 전제로 한 인공함양 시설의 설계가 필요함
연구개발 추진전략	다양한 형태의 모니터링을 통하여 인공함양 주입의 효과를 검증하는 시스템을 운영하고, 수치 모델링과의 비교 분석을 통하여 선상지 유역 전체의 함양 효과에 대한 평가가 수행됨
기대효과 및 파급효과	- 소하천 수량 확보 및 인공함양 효과 검증 방법론 확보가 가능하고 중류유역 다취수원 연계기법 제시를 통한 수자원확보 정량화가 가능함 - 소하천 수량 확보와 수평정 등 신규 수자원 공급시설의 타당성을 제시하고 극한 가뭄시 중상류의 적정 물공급 극대화 및 국내 최초 지표수와 연계한 집수정의 연계 운영 기술제시 될 것으로 기대됨

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	-	-
2차년도	예비모델링을 통한 인공함양 위치 최적설계	- 소하천 등에 의해 확보된 수량의 인공함양 주입 정 설계 모델링
3차년도	하천저류량과 연계한 수자원 수요-공급 관련 최적 공급 방안 제시	- 3차원 모델링을 통한 주입 가능 효과 및 가능량 분석
4차년도	모니터링, 모델링을 통한 수자원확보 효과 분석	- 인공함양주입의 효과를 위한 모니터링 3차원 모델링을 통한 주입량 효과분석
5차년도	연계 시설간의 최적 운영 기법 개발	- 하천 저류량과 연계한 수요-공급 최적 방안 분석

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
4 세부	인공함양을 위한 최적 설계	1 3차원 모델링을 통한 주입 가능성 및 가능량 분석	보고서	건	1	0.2	예비 분석을 통한 인공함양 최적 설계안 연구 필요
	모델링 효과 분석	2 3차원 모델링을 통한 주입량 신뢰성	모델 예측의 효율성	%	90	0.3	임공함양 효과 및 검증 방법론 확보
	정량적 운영 시나리오 개발	3 다 취수원 연계기법 제시를 통한 수자원 확보 정량화	보고서	건	1	0.3	효과적 운영을 위한 기술적 가이드라인 작성 필요
		4 다중 시설의 연계 운영 기술 제시	지침서	건	1	0.2	

4. (중점추진분야 4) Well network system을 활용한 가뭄 대응 기술 분야 세부과제

가. 1세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	Well network System을 활용한 용수 확보 기술 개발
배경 및 필요성	- 가뭄 발생시 가뭄의 영향을 적게 받는 지하수 관정을 중심으로 각 관정의 공급능력을 감안한 네트워크를 만들어 물이 필요한 곳에 적합한 공급 시나리오를 구축하여 운영할 필요가 있음. 현재까지 개발되어 있는 관정의 갈수기 공급능력과 예상 공급지까지의 도수 방법(관망 또는 도수로)의 난이도를 데이터베이스화하고 가뭄시 필요 지점의 필요 수량을 적절하게 매칭시키는 기술이 마련되어 있지 않기 때문에 이런 체계를 개발할 필요가 있음 - 기존 관정의 갈수기 취수가능량을 체계적인 수리시험을 통해 도출한 후에 그리드로 묶어서 필요한 지점에 공급할 때 적합한 시나리오 도출, 관정간의 공간적, 시간적 연계를 통해 지속가능함을 유지하면서도 취수 가능량을 극대화할 필요가 있고 또한, 비가뭄시 연계하여 취수된 수량의 저장 및 가뭄시 재공급을 통하여 물의 효율적 활용이 가능함
정부지원 필요성	기존 관정의 연계는 가뭄시 용수확보 할 수 있는 현실적인 방안이 될 수 있으며, 정부의 신규 관정 굴착에 대한 지원 정책에서 기존 관정 활용 정책으로의 변환에 대한 기술을 개발하는 것이므로 정부의 지원이 요구됨
세부과제의 개념 및 범위	- 관정의 공급능력을 고려한 Well network System 구축 기법(특허) - Well network System 구축 및 운영 지침서 - 평시/갈수기/극한가뭄시의 등급별 대응을 위한 최적 연계운영 프로그램 및 매뉴얼 개발
세부과제의 목표	- 기존 관정의 네트워크 구축을 위한 적정 연계 용량 평가 기법 - 기존 수요자의 need 분석 및 운영 문제점 평가 및 대책 - 기존 관정 네트워크 구축 및 기존 수원 연계 설치 - 연계 운영을 통한 모니터링 및 관정의 산출성 변화 평가 - 기존 상수원 취수시설과 지하수-지표수 연계 운영의 단계별 최적안의 도출 - 극한 가뭄에 대응하기 위한 연계 운영 시나리오 구축
주요내용	- 기존 수원(상수도, 저수지 등)의 용량을 고려한 관정의 연계 용량 평가 - 펌프 및 용량 등을 고려한 에너지 절감형 최적 연계 설계 및 시공 - 기존 수원 연계 및 물 저장 기술 - 비상시 용도별 물공급을 위한 최적 연계 운영 시나리오 및 방안 수립

기술적 위험요인	다양한 관정이 현장에 분포하고 있으며, 이들의 상호 연결시 발생하는 관로의 용수공급 및 펌프의 용량 등에 대한 평가가 어려움
연구개발 추진전략	- 상호 연결시 발생할 수 있는 압력이나 용량 문제에 대해서는 관련 분야의 전문가의 참여를 통하여 기술적으로 해결 - 현장에 설치 이전에 실내에서 시뮬레이션을 통하여 검증한 후 추진 - 가뭄별 시나리오 개발은 타 세부과제 현장에 대한 적용성 검토도 필요함
기대효과 및 파급효과	- 기존 시설을 활용함으로써 공적인 자원인 지하수를 경제적이고 지속적인 가뭄 해결 수단으로 활용하는 것의 조기 정착이 기대됨 - 비교적 저비용의 친환경적 가뭄 대책 방안으로서 새로운 정책으로 구현이 가능하고 가뭄 발생시 현장에서 신속히 대응할 수 있는 기술로서 해당 분야의 새로운 산업으로 정착이 기대됨 - 기존 물공급 방안을 혁신적으로 개선함으로써 가뭄 대비 체계적인 정책 대응이 가능하고 기존시설을 활용해 건설 인프라 구축비용 절감효과가 기대됨

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	기존 관정의 시설 연계를 위한 분포 조사 및 분석	- 연구지역 선정 및 기존 관정의 수리학적 특성 진단 - 기존 수원(상수도, 저수지 등)의 용량을 고려한 관정의 연계 용량 평가
2차년도	Well network System 설계 및 연계 운영 방안 수립	- WNS의 설계 - 기존 수요자의 need 분석 및 운영 문제점 평가 및 대책 - 지역별 다중 취수원과의 연계운전을 위한 시설별 연계운영 방안 수립
3차년도	Well network System 구축 및 가뭄별 시나리오 개발	- WNS 시공 - 농업용 시설과의 연계 운영 시나리오 개발
4차년도	관정과 기존 시설의 연계 시스템 구축 및 운영	- WNS와 기존 시설 연계 및 가뭄별 시나리오 개발 및 운영 - 생활용 시설과의 연계 운영 시나리오 개발
5차년도	WNS의 효과 평가	- WNS의 물수지적 관점 및 가뭄 대응의 효과 평가 - 가뭄시 최적 연계 운영 프로그램 개발 및 지침

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
1 세부	Well network System 구축 기법 개발	1	관정 능력을 고려한 WNS 설계 기법 개발	특허	건	2	0.1	기존 수요자의 특성 분석 및 대책 마련의 필요
		2	WNS 구축 및 운영 지침서 방안 마련	지침서	건	1	0.1	
	Well network System 구축	3	기존 관정 네트워크 구축	특허	건	2	0.2	WNS 현장 핵심 기술의 확보 필요
	Well network System 효과 평가	4	연계 운영을 통한 모니터링 및 관정의 산출성 변화 평가	보고서 30	건	1	0.1	기존 관정의 능력을 활용한 상습 가뭄지역의 효과적인 가뭄 대응 체계의 필요
		5	가뭄시 관정 활용을 증대	활용율 증대율	%	30	0.2	
	다중 수원과의 연계 방안	6	시설별 연계운영 방안 수립	보고서	건	1	0.1	공급 시나리오를 통해 효율적인 대응 마련의 필요
	가뭄 대응 최적 시나리오 구현	7	현장 운영을 통한 최적 시나리오 구축 및 신뢰성 확보	시나리오의 신뢰성	%	90	0.1	현장 운영을 통한 시나리오 구현의 필요
		8	최적 연계 운영 시나리오 프로그램 개발	프로그램	건	1	0.1	

나. 2세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	▪ 대형 지하수 관정 시설 가뭄 대응력 평가 및 성능개선 기술 개발
배경 및 필요성	▪ 가뭄 발생시 제한급수 등으로 인한 용수 부족분은 지역 특성에 따라 일 수 천톤 이내인 경우가 대부분으로 지하수에 의한 공급으로 가능한 수량이나 기존의 인근의 대용량(양수능력 일 100톤 이상) 관정 활용 방안이 전무함 ▪ 전국 10만공 이상의 대용량 관정에 의한 용수공급 능력이 불명하여 가뭄시 활용성이 미흡함 ▪ 가뭄시 대형 관정의 신속한 활용을 위한 관정 재활용 및 성능개선 기술 확보가 시급함
정부지원 필요성	▪ 대부분의 대형 지하수 관정은 공공용으로 공급되고 있으며, 정부 주도로 다양한 목적으로 활용되는 만큼 그 용도를 보다 강화하고 용량을 증대하는 기술을 개발하는 것인 만큼 정부의 지원이 요구됨
세부과제의 개념 및 범위	▪ 대형관정 용수공급력 평가 기준(매뉴얼) 및 S/W ▪ 가뭄시 대형관정 활용 시나리오 지침 ▪ 시범지역 대용량 관정 용수공급능력 활용 서비스 시스템 ▪ 관정 효율성 제고 및 구조개선 기술(장치, 특허)
세부과제의 목표	▪ 대형(공공)관정의 용수공급 능력 평가 기술 개발 ▪ 연구지역의 대용량 관정 용수공급 능력 분포도(시스템) 개발 ▪ 대형 관정의 성능개선 기법 개발
주요내용	▪ 대형관정의 시설 및 운영 특성 분석 ▪ 가뭄대응력 현장 시험 및 해석방법(용수공급력 평가 기술) 개발 및 검증 ▪ 가뭄시 대형 관정의 긴급 활용 시나리오 개발 ▪ Sensoring 기법을 활용한 연구지역 지하수 수문관리 자동화 관리 체계 개발 ▪ 관정 효율 제고 및 구조 개선 기술
기술적 위험요인	▪ 국내 대수층의 특성의 다양성으로 인하여 획일적이면서 신뢰성 높은 가뭄 대응력 평가 기법 확보에 어려움
연구개발 추진전략	▪ 국내 대형 지하수관정의 특성을 대표적인 유형으로 분류가 가능하며, 이들 유형별로 가뭄 대응력에 대한 평가 기법을 수립해 나가는 것이 필요함
기대효과 및 파급효과	▪ 지역별 대형 관정 특성 구축을 통한 가뭄시 정부의 신속 대응이 가능하고 관정 효율 제고 및 구조개선 기술로 대형관정의 수명 연장 및 활용성 증대, 정부 및 지방자치단체의 지하수 업무를 지하수 총량적 관점에서 체계적으로 관리 가능할 것으로 기대됨 ▪ 가뭄에 대한 국가의 선제적 대응 정책으로서 대형관정 활용 방안 수립이 가능하고 신규 굴착을 줄이고 기존 대형관정 활용성을 제고함으로써 신산업 분야 창출 및 환경 보전에 기여, 관정의 용수공급능력 평가 기술의 최초 개발을 통한 지하수의 중요성 인식 및 지하수 활용 산업 기대

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	기존 관정의 특성 평가	- 기존 관정의 가뭄 대응력 진단 요소 기술의 이론적 개발 - 대형관정의 시설 및 운영 특성 분석
2차년도	대형(공공) 관정의 용수공급 능력 평가 기술 개발	- 기존 관정의 가뭄 대응시 취수능력 진단 기술 적용 및 평가 - 가뭄대응력 현장 시험 및 해석 방법(용수공급력 평가 기술) 개발 및 검증
3차년도	Sensing 기법을 활용한 연구지역 지하수 수문관리 자동화 관리 체계 개발	지하수 유량, 관로, 수위, 하천, 원격관리, 통합 시스템 등
4차년도	대형 관정의 성능개선 기법 개발	관정 효율 제고 및 구조 개선 기술
5차년도	연구지역의 대용량 관정 용수공급능력 분포도(시스템) 개발	대용량 관정 가뭄시 활용을 위한 시스템 개발

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치(0~1)	목표치 설정근거
2 세부	기존 관정의 특성 분석	1	기존 관정의 가뭄 대응력 진단 요소 기술 개발	진단방법의 신뢰성	%	90	0.1	기존 관정의 활용 방안 분석 및 특성 파악 조사 필요
	대형 관정의 용수공급 능력 평가 기술 개발	2	대형관정 용수 공급력 평가 기준 프로그램 개발	프로그램 등록	건	1	0.2	가뭄 대응력 현장 시험 및 해석 방법 개발 필요
		3	가뭄 대응 시 대형관정 활용 시나리오 개발	지침서	건	1	0.2	
	지하수 자동화 관리 체계 개발	4	지하수 관리 자동화 장치 개발	특허	건	2	0.2	대용량 관정 가뭄시 활용을 위한 시스템 개발 필요
	대형 관정의 성능개선 기법 개발	5	관정 효율성 제고 및 구조개설 장치 개발	특허	건	2	0.2	
		6	대용량 관정 용수공급 능력 분포도 개발	시스템 개발	건	1	0.1	

다. 3세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	지하수와 기존 취수원 연계에 따른 수질관리 적정 기술 개발
배경 및 필요성	- 지표수의 수질과 달리 대수층을 통한 수질은 암석과의 반응 및 이동에 따른 수처리 능력에 따라 영향을 받음 - 암반/충적층대수층의 지하수 수질과 기존 수원의 수질의 연계 활용을 위한 지하수 수질의 긍정적 및 부정적 효과에 대한 평가가 필요하고 또한, 대수층의 자정작용에 대한 정량적 평가를 통한 지하수 활용성 제고 필요함 - 지하수 운영 최적화 수질 영향 인자 도출을 통한 수도사업자에게 필요한 운영관리 기술 제공 필요
정부지원 필요성	지하수는 기존 관정으로부터 취수되는 용수로서 기존 수처리 시설과의 연계를 통한 비상시 수원 공급 시스템이 됨. 따라서, 용수 공급의 책임을 갖고 있는 정부에서 지원하는 것이 타당함
세부과제의 개념 및 범위	대수층의 수질과 기존 수처리 시설의 수질과의 혼합에 따른 적정 수처리 기준 지침서
세부과제의 목표	- 대수층의 지하수 수질 정화 작용의 정량화 평가 - 기존 상수원 연계시의 수처리 기법에 미치는 영향 평가 및 적정 처리 기준 개발 - 현장 실증 운영을 통한 적정 처리 기법의 평가 및 운영방안 제시
주요내용	- 유기탄소, 유기물 및 미생물 변화 특성 분석 - 실내 실험 및 Pilot 평가 - AOC, 세균, 총유기탄소, 철망간 등에 대한 처리 특성 평가 - 지하수-기존 수자원의 연계 수처리를 위한 적정 기준 개발
기술적 위험요인	실내 분석 후 현장 실증을 통하여 수처리 및 물 혼합에 대한 기술 확보가 필요하나, 모든 현장 조건이 실내에서 갖추는데는 한계가 있음
연구개발 추진전략	최대한 실내 분석을 통하여 수처리에 필요한 특성을 파악함
기대효과 및 파급효과	- 기존 수자원과 지하수의 상이한 수질 특성 조건하에서의 연계 운영에 필요한 수처리 기법을 확보함으로써 가뭄시 안정적 수질 확보에 기여할 것으로 기대됨 - 지하수를 연계한 기존 상수원의 설치 및 보강 사업 정책의 입안에 기여하고 기존 지표수 및 복류수 등의 수처리 기법에서 더욱 확장된 암반지하수 혼합수의 수처리 방안을 확보함으로써 수처리 장치의 발전을 기대함, 아울러 다중이용시설의 정수기의 수원으로서 암반지하수를 공급할 수 있는 산업 형성에 기여, 지하수 체류시간 등을 고려한 수처리 방안을 개발함으로써 경제성 기반의 수처리 기술을 확보할 것으로 기대됨

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	대수층의 수질 특성 평가	- 연구지역 지하수 수질 평가 - 기존 상수원 등 취수시설의 수질 비교 평가
2차년도	대수층의 지하수 수질 정화작용의 정량화 평가	- 유기탄소, 유기물 및 미생물 변화 특성 분석 - 실내 실험 및 Pilot 평가
3차년도	기존 상수원 연계시의 수처리 기법에 미치는 영향 평가 및 적정 처리 기준 개발	- 지하수와 기존 수원의 수질 연계성 및 전처리 방안 개발 - AOC, 세균, 총유기탄소, 철망간 등에 대한 처리 특성 평가
4차년도	현장 실증 운영을 통한 적정 처리 기법의 평가	지하수 수처리 및 정수장 연계 처리 기술 개발
5차년도	지하수 연계시 수질 효율성 종합 진단	지하수-기존 수자원의 연계 수처리를 위한 적정 기준 개발

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치(0~1)	목표치 설정근거
3 세부	대수층의 수질 특성 평가 분석	1	연구지역 지하수 수질 특성 분석	자료집	식	1	0.2	기존 지하수의 특성 비교 분석을 활용한 자료 수집
	대수층 지하수의 정량적 평가	2	실내 실험 및 실증 시험을 통한 수질 정량화 평가	보고서	건	1	0.3	지하수 운영 수질 영향 인자 도출을 위한 정량적 평가
	상수원과 연계시의 수처리 적정 처리 기준 개발 및 실증 운영을 통한 처리기법 개발	3	지하수와 기존 수원의 수질 연계성 및 전처리 방안 개발	특허	건	1	0.3	수처리 특성 평가 및 효율성 제고
		4	적정 처리 기법 개발	수처리 기준 지침서	건	1	0.2	

라. 4세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	AR 통합 운영관리 효과 및 물수지 평가
배경 및 필요성	- 인공함양시설 등 지하수 자원 확보기술의 통합운영 효과에 대한 정량화가 필요함 - 지표수-지하수 연계운영 등 수자원 이용 효율화 제고를 위한 방법론 필요 - 유역내에서 수자원의 확보량과 공급량, 추가사용량간의 물수지 평가 필요
정부지원 필요성	본 과제는 본 연구단 규모의 전체에 대한 통합 평가를 담당하는 내용으로서, 가뭄에 대응하는 본 과제의 특성을 고려할 때 정부의 지원이 필요함
세부과제의 개념 및 범위	- 지역 맞춤형 상-중-하류 인공함양 효과 평가 기법 개발 - 유역내에서의 지하수자원 확보의 정량화
세부과제의 목표	- 중-하류부 지하수자원 확보기술의 효과 평가 - 상-중-하류 유역의 지하수자원 확보기술의 효과 평가
주요내용	- 지하수 관정 network화 및 연계 운영에 따른 지하수자원 운영 효과 평가 - 인공함양시설, network 관정 등의 상하류 연계 효과 평가 - 상류의 모래저장댐, 중류의 소하천-수평집수와 하류부 시설의 종합평가 - 유역내에서의 확보량-공급량-추가사용량을 감안한 물수지의 종합 평가
기술적 위험요인	각 세부과제가 균질한 공정에 의하여 진행되고 그 성과가 상당한 수준에 이르렀을 때 본 과제의 수행이 효과적임
연구개발 추진전략	연구단 차원에서의 적극적인 세부과제 공정관리를 추진하여야 하며, 이를 통하여 연구단 과제의 최종적인 기술 성과 평가가 가능할 것임
기대효과 및 파급효과	- 유역 상-중-하류의 특성에 맞는 적정 가뭄대응 시설의 효과 검증 - 가뭄대비 시설의 복합효과를 검증함으로써 정책의 효율성을 확보할 수 있고 다양한 시설물 설치에 따른 물 확보량의 종합 평가 가능 및 다취수원과의 연계운영 시나리오별 물 확보량 및 용수공급량 평가기술을 확보할 것으로 기대됨

(2) 연차별 목표 및 내용

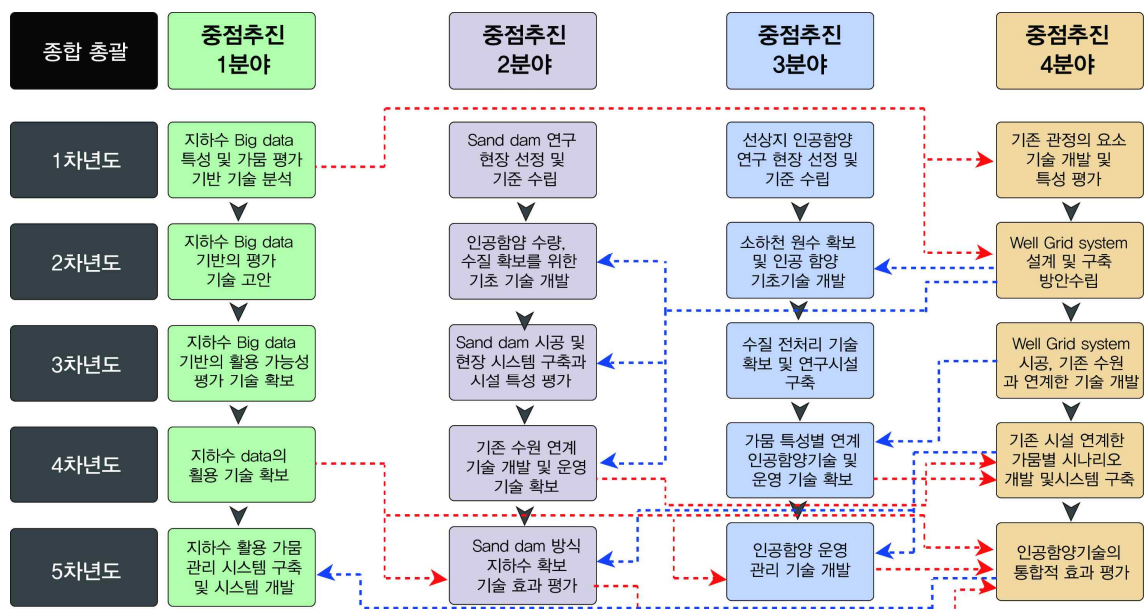
연차	연구목표	연구내용
1차년도	-	-
2차년도	-	-
3차년도	Well network system 방식의 지하수 자원 확보기술의 기술 효용성 평가	- 지하수 관정 network화 및 연계 운영에 따른 지하수자원 운영 효과 평가
4차년도	각 인공함양 방식이 상호 연계성에 대한 효과 평가	- 인공함양시설, network 관정 등 상하류 기술 연계 효과 평가
5차년도	상-중-하류 유역의 지하수 자원 확보기술의 효과 평가	- 인공함양 기술의 통합적 효과 평가 - 유역내에서의 확보량-공급량-추가사용량을 감안한 물수지의 종합 평가

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치(0~1)	목표치 설정근거
4 세부	WNS 방식의 효율성 평가	1 지하수 관정 WNS 운영 효과 평가의 신뢰성	통계적 유의성	%	90	0.2	지하수 자원 확보 기술의 효과 평가
	인공함양 시설에 따른 상호 연계성 평가	2 지하수자원 인공함양 연계 운영 효과 평가 기법 개발	보고서	건	1	0.2	시나리오별 물 확보량 및 용수 공급량 평가 기술 확보
	수자원 확보 기술의 정량적 효과 평가	3 물수지 종합 평가를 통한 가뭄시 수자원 총량 평가	가뭄시 물 공급률 증대	%	20	0.3	적정 가뭄대응 시설의 효과 검증
		4 인공함양 기술의 통합적 수준 평가	선진국 대비 기술 수준	%	80	0.3	

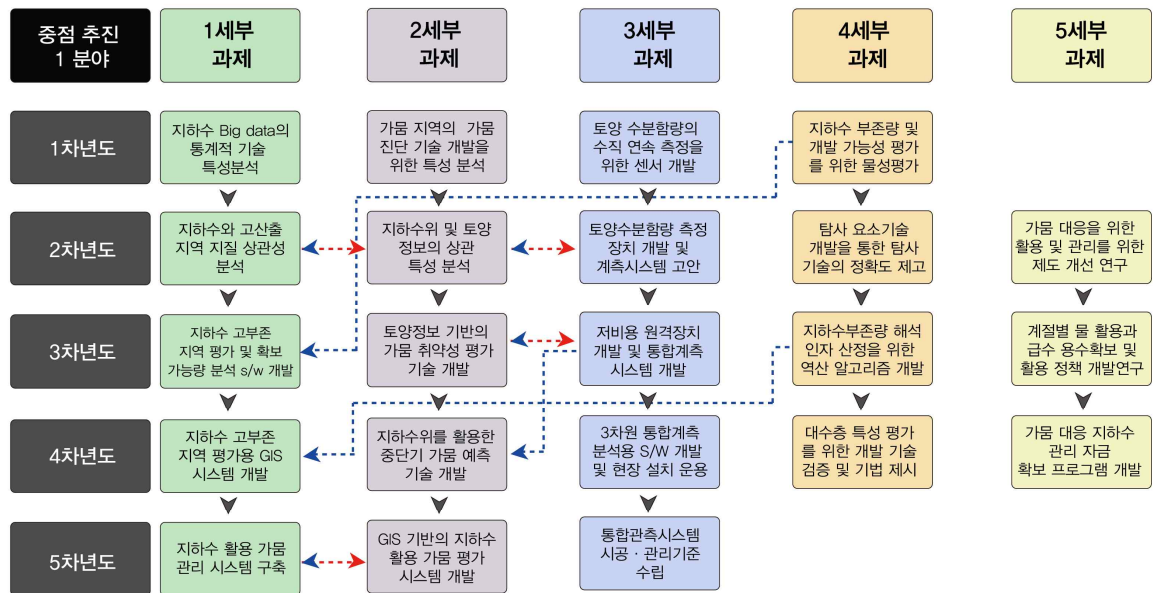
6절. 과제 간 연계관계(선행, 교류관계)

- 각 중점추진분야 과제는 가뭄에 대응하기 위한 지하수의 요소 기술을 특성별로 분류한 것으로서 다음과 같은 유기적 관계를 유지함
- 중점추진분야 1과제는 가뭄 전망 및 발생시 다양한 분야의 지하수 이용관리 분야에 적용할 수 있는 기반 기술로 구성되어 있어, 연구 과정 및 향후 실용화 과정에서 2, 3 및 4 과제에 공통적으로 접목하여 적용할 수 있는 기술들로 구성이 되어 있음
- 기본적으로 중점추진분야 2, 3 및 4과제는 지류의 중상류에서 지하수 인공함양 및 가뭄 대응 기술을 지역 특성에 맞추어 연구를 수행할 수 있도록 구성하였으며, 2과제는 상류지역, 3과제는 선상지 지역 및 4과제는 기존 시설을 최대한 활용할 수 있는 지역 등, 기술 개발의 지역적 및 내용적 특성별로 구분하였으나, 연구과정에서 유사한 연구 방법론이 상호 적용되어야 하므로 이를 체계적으로 조정 관리되어야 함
- 이를 위하여, 가능한 단일 분지내에서 통합 Testbed 구축을 통하여 각 중점추진분야가 상호 연계되어 실증 연구가 이루어질 수 있도록 하고 상하류 과제 간의 연구 성과의 일치 및 검증이 가능하도록 함으로써 종합적인 성과의 시너지 효과를 달성할 수 있도록 구성함
- 본 전체 과제의 각 중점추진분야 연구 내용의 상호 상관성, 영향관계 등을 아래 그림으로 표시하였음

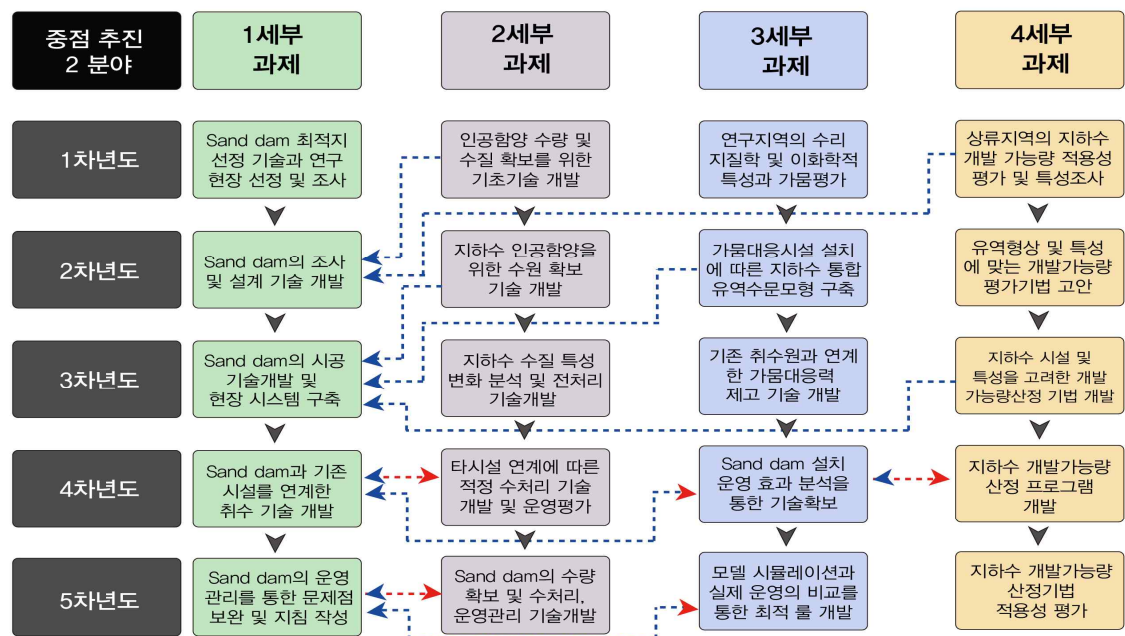


[그림 156] 중점추진분야 과제간 연계 관계

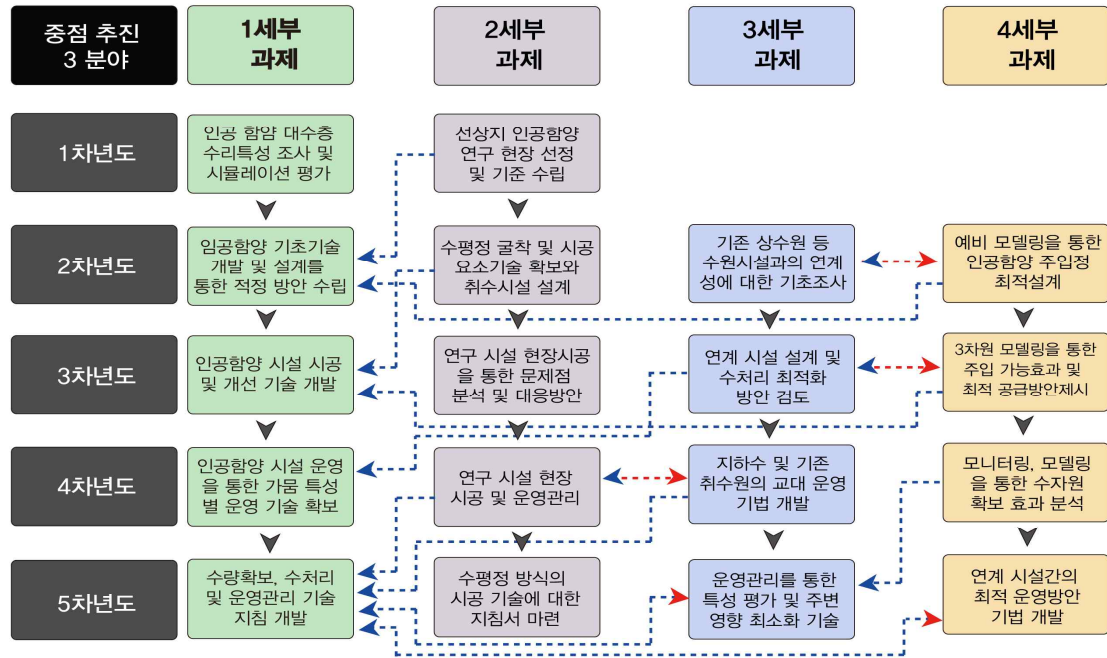
□ 각 중점추진분야 과제내에서의 연구 내용의 상호 상관성, 영향관계 등을 아래 그림으로 표시하였음



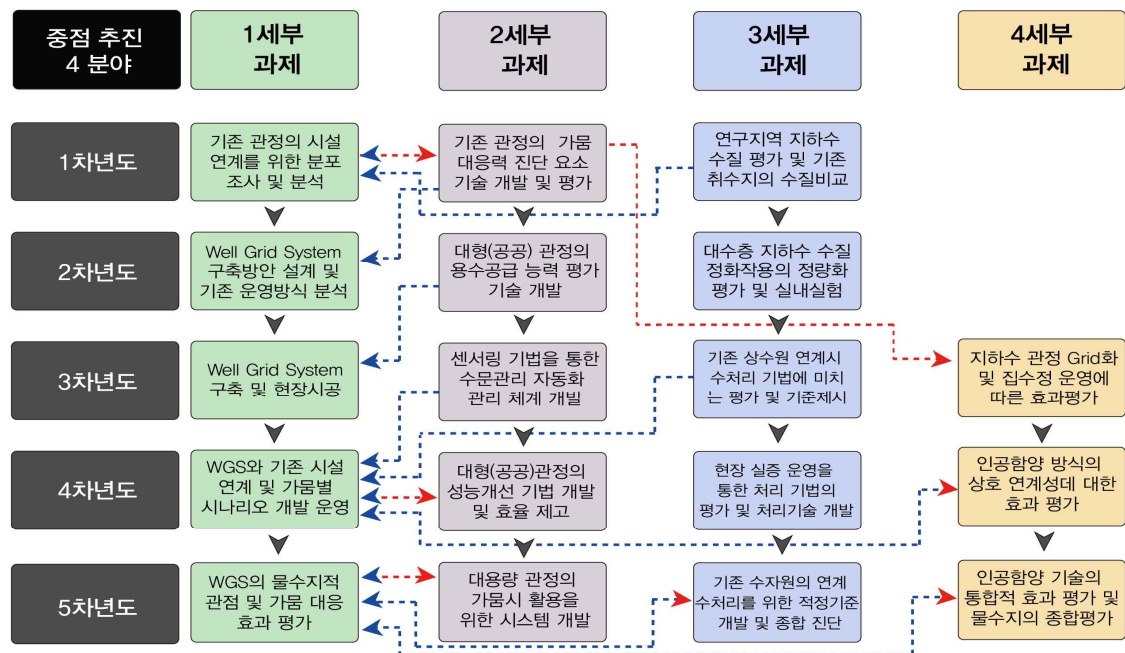
[그림 157] 중점추진분야 1과제의 연구 내용간 연계 관계



[그림 158] 중점추진분야 2과제의 연구 내용간 연계 관계



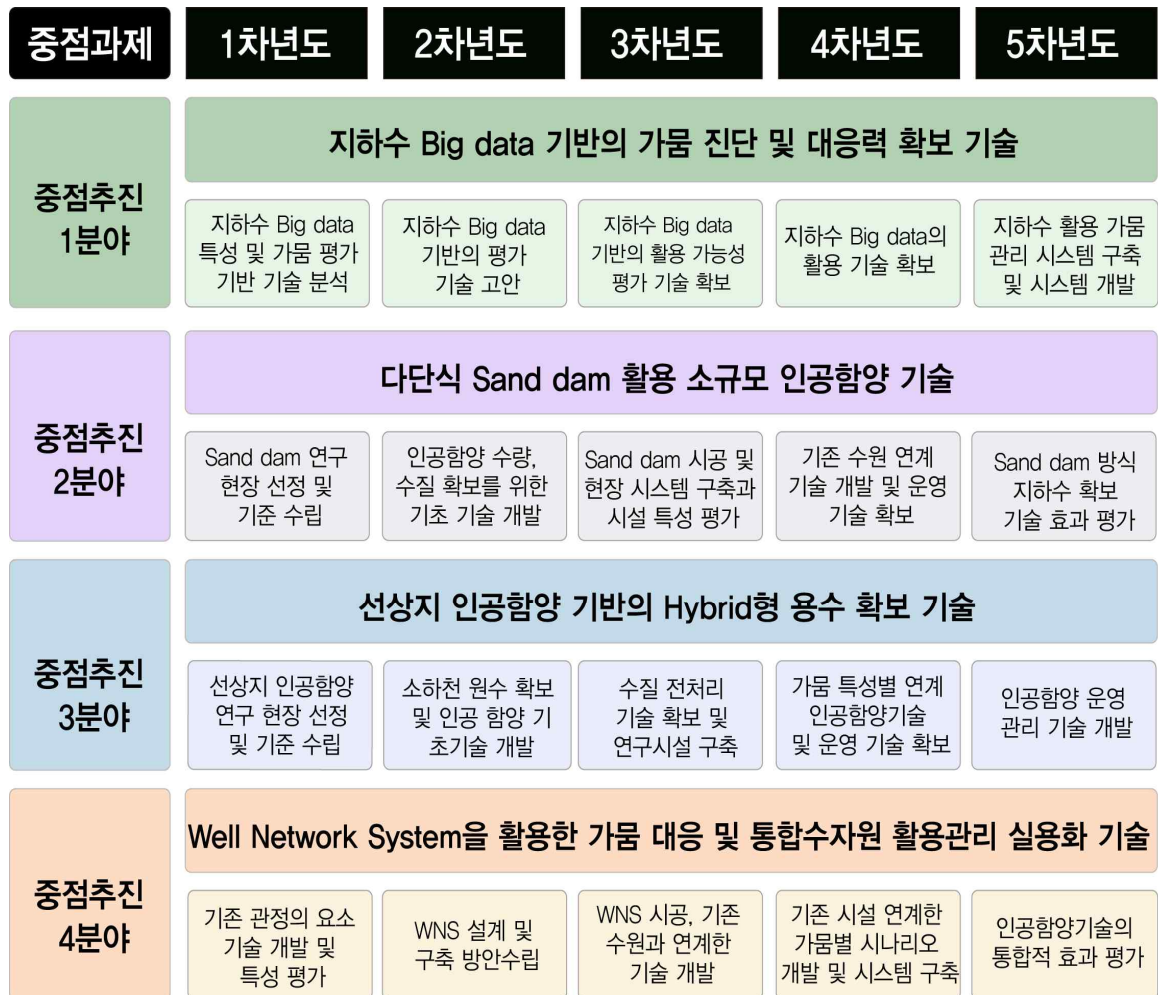
[그림 159] 중점추진분야 3과제의 연구 내용간 연계 관계



[그림 160] 중점추진분야 4과제의 연구 내용간 연계 관계

7절. 과제별·연차별 기술로드맵

1. 총괄 로드맵



<중점 추진 분야별 기술 로드맵>

2. 과제별 로드맵

가. 중점 추진 1분야 “지하수 Big data 기반의 가뭄 진단 및 대응력 확보 기술”

세부과제	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
1세부과제	Big Data 기반의 지하수 고부존 선정 및 최적지 연계성 평가 기술				
	지하수 Big data의 통계적 기술 특성 분석	지하수와 고산출 지역 지질 상관성 분석	지하수 고부존 지역 평가 및 확보 가능량 분석 s/w 개발	지하수 고부존 지역 평가용 GIS 시스템 개발	지하수 활용 가뭄 관리 시스템 구축
2세부과제	지하수-토양 연계 기반의 가뭄 취약성 평가 및 예측 기법 개발				
	가뭄 지역의 가뭄 진단 기술 개발을 위한 특성 분석	지하수위 및 토양 정보의 상관 특성 분석	토양정보 기반의 가뭄 취약성 평가 기술 개발	지하수위를 활용한 중단기 가뭄 예측 기술 개발	GIS 기반의 지하수 활용 가뭄 평가 시스템 개발
3세부과제	3차원 토양수분 및 대기 연계 정보 기반의 가뭄 계측 장치 개발				
	토양 수분함량의 수직 연속 측정을 위한 센서 개발	토양수분함량 측정 장치 개발 및 계측시스템 고안	저비용 원격장치 개발 및 통합계측 시스템 개발	3차원 통합계측 분석용 S/W 개발 및 현장 설치 운용	인공함양 기술 효과 평가 및 운영 관리 기술 개발
4세부과제	지하수 고산출지역 정밀 지구물리 탐사 및 해석 기법 개발				
	지하수 부존량 및 개발 가능성 평가를 위한 물성평가	탐사요소기술 개발을 통한 탐사 기술의 정확도 제고	지하수부존량 해석 인자 산정을 위한 역산 알고리즘 개발	대수층 특성 평가를 위한 개발 기술 검증 및 기법 제시	
5세부과제	지표수-지하수 연계 기반의 가뭄 대응 비상 급수 정책 및 자금프로그램 개발				
		가뭄 대응을 위한 활용 및 관리를 위한 제도 개선 연구	계절별 물 활용과 급수 용수확보 및 활용 정책 개발연구	가뭄 대응 지하수 관리 자금 확보 프로그램 개발	

<중점 추진 1분야 세부 기술 로드맵>

나. 중점 추진 2분야 “다단식 모래저장형 dam 활용 소규모 인공함양 기술”

세부과제	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
1세부과제	다단식 Sand(모래저장형) Dam 설계, 시공 및 관리 기술 개발				
	Sand dam 최적지 선정 기술과 연구 현장 선정 및 조사	Sand dam의 조사 및 설계 기술 개발	Sand dam의 시공 기술개발 및 현장 시스템 구축	Sand dam과 기존 시설을 연계한 취수 기술 개발	Sand dam의 운영 관리를 통한 문제점 보완 및 지침 작성
2세부과제	Sand(모래저장형) Dam의 수원, 수질 확보 및 관리 기술 개발				
	인공함양 수량 및 수질 확보를 위한 기초기술 개발	지하수 인공함양을 위한 수원 확보 기술 개발	지하수 수질 특성 변화 분석 및 전처리 기술개발	타시설 연계에 따른 적정 수처리 기술 개발 및 운영평가	Sand dam의 수량 확보 및 수처리, 운영관리 기술개발
3세부과제	Sand(모래저장형) Dam과 수원 연계에 따른 유역단위 물수지 평가 및 최적 운영 기술				
	연구지역의 수리 지질학 및 이화학적 특성과 가뭄평가	가뭄대응시설 설치에 따른 지하수 통합 유역수문모형 구축	기존 취수원과 연계한 가뭄대응력 제고 기술 개발	Sand dam 설치 운영 효과 분석을 통한 기술확보	모델 시뮬레이션과 실제 운영의 비교를 통한 최적률 개발
4세부과제	상류 분지에 적합한 지표수-지하수 연계 기반 지하수 개발가능량 평가기법 개발				
	상류지역의 지하수 개발 가능량 적용성 평가 및 특성	유역형상 및 특성에 맞는 개발가능량 평가기법 고안	지하수 시설 및 특성을 고려한 개발 가능량산정 기법 개발	지하수 개발가능량 산정 프로그램 개발	지하수 개발가능량 산정기법 적용성 평가

<중점 추진 2분야 세부 기술 로드맵>

다. 중점 추진 3분야 “선상지 인공함양 기반의 Hybrid형 용수 확보 기술”

세부과제	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
1세부과제	선상지 상류의 인공함양 기법을 활용한 수량 증대 및 수질 확보 기술				
	인공 함양 대수층 수리특성 조사 및 시뮬레이션 평가	인공함양 기초기술 개발 및 설계를 통한 적정 방안 수립	인공함양 시설 시공 및 개선 기술 개발	인공함양 시설 운영을 통한 가뭄 특성별 운영 기술 확보	선상지 인공함양의 정량적 효과 평가
2세부과제	선상지형 인공함양지에서의 취수를 위한 수평집수정 설계 및 시공 기술				
	선상지 인공함양 연구 현장 선정 및 기준 수립	수평정 굴착 및 시공 요소기술 확보와 취수시설 설계	연구 시설 현장시공을 통한 문제점 분석 및 대응방안	연구 시설 현장 시공 및 운영관리	수평정 방식의 시공 기술에 대한 지침서 마련
3세부과제	인공함양 지하수자원의 상수원 연계 및 저영향 관리 기술				
		기존 상수원 등 수원시설과의 연계성에 대한 기초조사	연계 시설 설계 및 수처리 최적화 방안 검토	지하수 및 기존 취수원의 교대 운영 기법 개발	운영관리를 통한 특성 평가 및 주변 영향 최소화 기술
4세부과제	하천수의 지하수 인공함양에 따른 확보수량 예측 모델링 및 모니터링 기술				
		예비 모델링을 통한 인공함양 주입정 최적설계	3차원 모델링을 통한 주입 가능효과 및 최적 공급방안제시	모니터링, 모델링을 통한 수자원 확보 효과 분석	연계 시설간의 최적 운영방안 기법 개발

<중점 추진 3분야 세부 기술 로드맵>

라. 중점 추진 4분야 “Well Network System을 활용한 가뭄 대응 기술”

세부과제	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
1세부과제	Well Network System을 활용한 용수 확보 기술 개발				
	기존 관정의 시설 연계를 위한 분포 조사 및 분석	WNS 구축방안 설계 및 기존 운영방식 분석	WNS 구축 및 현장시공	WNS와 기존 시설 연계 및 가뭄별 시나리오 개발 운영	WNS의 물수지적 관점 및 가뭄 대응 효과 평가
2세부과제	대형 지하수 관정 시설 가뭄 대응력 평가 및 성능개선 기술 개발				
	기존 관정의 가뭄 대응력 진단 요소 기술 개발 및 평가	대형(공공) 관정의 용수공급 능력 평가 기술 개발	센서링 기법을 통한 수문관리 자동화 관리 체계 개발	대형(공공) 관정의 성능개선 기법 개발 및 효율 제고	대용량 관정의 가뭄시 활용을 위한 시스템 개발
3세부과제	암반지하수와 기존 취수원 연계에 따른 수질관리 적정 기술 개발				
	연구지역 지하수 수질 평가 및 기존 취수지의 수질비교	대수층 지하수 수질 정화작용의 정량화 평가 및 실내실험	기존 상수원 연계시 수처리 기법에 미치는 평가 및 기준제시	현장 실증 운영을 통한 처리 기법의 평가 및 처리기술 개발	기존 수자원 연계를 위한 적정기준 개발 및 종합 진단
4세부과제	AR 통합 운영관리 효과 및 물수지 평가				
			지하수 관정 Grid화에 따른 효과평가	인공함양 방식의 상호 연계성에 대한 효과 평가	인공함양 기술의 통합적 효과 평가 및 물수지의 종합평가

<중점 추진 4분야 세부 기술 로드맵>

8절. 성과의 활용방안

1. (중점추진분야 1) 지하수 Big data 기반의 가뭄 진단 및 대응력 확보 기술 분야

세부과제	구성기술	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
Big data 기반의 지하수 고선정 최적연계 평가 기술	지하수 수리특성 DB 및 3D지질 정보 등을 활용한 지하수 부존지역 평가 기술	지하수 고부존 지역 평가용 GIS 시스템 지하수 고부존 지역 평가 및 개발가능량 분석 S/W	정부, 지자체, 민간기업 지자체, 지하수 민간기업, 연구기관	가뭄 발생시 신속한 지하수 고부존 지역 제공 및 용수 개발에 활용
	기존 관정의 시설 특성을 활용한 대용량 지하수 개발 가능지역 및 공급 가능량평가 기술	개발 가능 지역 평가 S/W	지자체, 지하수 민간기업	대국민 서비스
	가뭄시 기존 수원과의 연계 방안 등 최적 후보지 선정 기술	최적 후보지 GIS map	지자체, 지하수 민간기업	대국민 서비스
	지하수 활용 가뭄 관리 시스템 개발	지하수 활용 가뭄관리 시스템 구축	정부, 지자체	국가(지하수정보센터), 지방자치단체 및 농어촌공사 등의 지하수 개발 및 관리 업무에 활용
3차원 토양수분 및 대기연계정보 기반의 가뭄 예측 장치 개발	토양수분함량의 수직 연속 측정을 위한 센서 및 장치 개발	토양수분함량 수직 연속측정 센서, 통합계측기 개발 및 원격 시스템	정부, 지자체, 농업관련 기업	각종 농업 분야 및 토양 분야에서 토양수분함량 수직 연속 측정 분야 활용
	저비용 통신 체계 (예: Lora 등)를 활용한 원격 장치 개발	저비용 계측 통신 장치	민간기업	기존 LTE 지하수 및 토양 계측시스템의 대체를 통한 실용화
	3차원 토양-대기 통합계측 시스템 (S/W)의 시범 설치 및 운영	통합계측기치의 현장 장치	정부, 지자체, 농업관련 기업	지하수 관측망 설치시 적용 및 가뭄진단용 지하수 관측 시설에 설치
	토양연계 가뭄지하수관측정의 설계, 시공 및 유지관리 지침 개발	가뭄지하수관측정의 시공 운영 지침	정부, 지자체, 지하수 민간기업	지하수 관측망 설치시 적용 및 가뭄진단용 지하수 관측 시설에 설치

세부과제	구성기술	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
지하수-토양 연계 기반의 가뭄 취약성 평가 및 예측 기법 개발	지하수위와 토양수분의 상관 분석을 통한 침투 및 가뭄 특성 진단	지하수위 활용 가뭄 예측 프로그램 및 사용자 설명서	정부, 지자체, 가뭄정보센터, 연구기관	대국민 서비스를 통한 가뭄 예측 및 대응
	지하수위 및 토양수 정보 기반의 가뭄 취약성 평가 기법 개발	지하수 활용 가뭄 취약성 평가 프로그램 및 사용자 설명서	정부, 지자체, 가뭄정보센터, 연구기관	지하수의 가뭄 취약성을 제시함으로써 가뭄 대비 정책 자료로 활용
지하수 고산출정밀 지구물리탐사 및 해석 기법 개발	자기공명 방식의 물리탐사 기법 분석 및 탐사 시스템 개발	자기 공명 방식의 물리탐사 기술	지하수 민간 기업	가뭄시 신속한 지하수 부존지역 탐사에 활용
	대수층의 parameter 및 특성 해석을 위한 표준 해석 기법 개발	대수층 특성 평가를 위한 역산 알고리즘	지하수 민간 기업	지표 접지 조건이 불량하거나 탐사 지역이 협소한 경우의 지하수 탐사에 활용
지표수-지하수 연계 기반의 가뭄 대응 비상수 정책 수립 및 자금 프로그램 개발	가뭄 대응을 위한 지하수 활용, 관리 제도를 위한 연구	가뭄 대응 지하수 제도 및 정책	정부, 지자체	가뭄 대응 지하수 활용기술 개발 연구과제의 실효성 제고 및 국가적 차원의 경제적 가뭄 해소 방안을 위한 정책적, 제도적 개선 방안을 제시함으로써 신개념의 국가 정책 도입에 활용
	가뭄 대응 지하수 관리 자금 확보 프로그램 개발	자금 확보 프로그램 구성	정부, 지자체	가뭄 대응 지하수 확보 활용을 위한 자금 프로그램 제공

2. (중점추진분야 2) 다단식 모래저장형 dam 활용 소규모 인공함양 기술분야

세부과제	구성기술	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
다 단 식 Sand(모래저장형) Dam 설계, 시공 및 관리 기술 개발	지형, 대수층, 기존 시설 연계성 등을 고려한 지하저류지(모래저장형 Dam 등)의 적지 선정 기준	지침서	정부, 지자체, 지하수 민간기업	모래저장형 dam 방식의 인공함양 예비조사 등에 활용
	지하저류지(모래저장형 Dam)의 조사, 설계 기술 개발	다단식 지하저류지 및 관측시설	정부, 지자체, 지하수 민간기업	가뭄 대응 신개념의 수자원 확보를 위한 모래저장형 dam의 설계 및 시공시 활용
		지하저류지(모래저장형 Dam) 설계 관련 특허	지하수 민간기업	
	지하저류지(모래저장형 Dam)의 시공 및 취수 기술 개발	모래저장형 dam 시공 및 취수 특허	지하수 민간기업	모래저장형 dam의 시공시 활용
	지하저류지(모래저장형 Dam)의 관리 기술 개발	지하저류지(모래저장형 Dam)의 유지관리 지침 및 관련 특허	지하수 민간기업	모래저장형 dam의 운영관리시 활용
	강우 조건에 따른 다단식 모래저장형 dam의 저류량 극대화 기술	특허	지하수 민간기업, 연구기관	가뭄 대응 모래저장형 dam의 설치시 함양 원수의 안정적 확보 및 저류량을 극대화할 수 있는 기술을 설계시공 등에 활용
	모래저장형 dam과 타 수원의 연계 시공 기술	모래저장형 dam과 타 수원의 연계 시공 기술 특허	지하수 민간기업	
	모래저장형 dam과 타 수원의 연계 운영 및 활용 기술	비가뭄 및 가뭄 단계별 모래저장형 dam 지하수의 연계 활용 지침서	정부, 지자체, 지하수 민간기업	

세부과제	구성기술	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
Sand(모래저장형) Dam의 수원, 수질 확보 및 관리 기술 개발	모래저장형 Dam의 수원 확보 기술	특허	지하수 민간 기업	인공함양 원수의 확보 기술 특허를 활용한 인공함양 사업 설계에 활용
	모래저장형 Dam 유역에서의 지하수 수질 특성 분석 및 적정 전처리기술 개발	모래저장형 dam의 수질관련 기준	정부, 지자체, 수처리 민간기업	신규 인공함양 사업의 추진 및 기존 소규모 상수도의 수질 처리에 응용
	타 시설 연계에 따른 적정 수처리 기술 개발 및 수질 모니터링 기술	모래저장형 dam의 수처리 기술 개발	정부, 지자체, 수처리 민간기업	모래저장형 Dam과 기존 상수원의 수처리 및 클로킹 해소 등에 실용화 응용
	간헐적 운영에 따른 충전물내의 클로킹 영향 평가 및 개선 기술 개발	충진물내 클로킹 개선 기술	지하수 민간 기업	
모래저장형 dam과 수원연계에 따른 유역단위 수질 평가 및 운영기술	상류부 가뭄대응시설 설치에 따른 사전예측, 사후평가 모형 구축	모델 기반의 모래저장형 dam의 정량적 설치·운영 지침	정부, 지자체	지자체의 상류부 가뭄대응시설의 효과 평가를 위한 기술적 가이드라인으로 활용
상류 분지에 적합한 지표수-지하수 연계 기반 지하수 개발가능량 평가 기법 개발	다변량 수문요소 기반 지하수 개발가능량 평가 기법 개발	분지 상류지역의 지하수 개발가능량 평가 기법 개발가능량 산정 프로그램	민간기업(지하수 영향조사기관), 정부, 지자체, 연구기관	지하수 영향조사시 활용 및 최적 개발가능량 평가 기법 제공

3. (중점추진분야 3) 선상지 인공함양 기반의 Hybrid형 용수 확보 기술 분야

세부과제	구성기술	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
선상지 인공함양 기법을 활용한 수량 증대 및 수질 확보 기술	통합 TB 선정, 시 설계획 및 운영방 안	통합 TB 선정 기준 및 운영계 획서	정부, 지자체	가뭄 대응 등 용수 확보 사업으로서 인공함양 기술 적 용시 활용 자연특성을 활용한 수질 전처리 장치 의 상수원수 개발 사업 등에 응용 적 용
	인공함양 대수층 수리특성 조사 및 시뮬레이션	인공함양 기술 지침서	정부, 지자 체, 민간기 업, 연구기관	
		자연특성을 활 용한 수질 전처 리 장치 특허	지하수 민간 기업, 연구기 관	
	인공함양 기법 설 계 및 시공	인공함양 현장 설비 특허	지하수 민간 기업	
	선상지 상류의 소 하천 In channel modification 기법 의 조사, 설계 기 술 개발	조사 설계 및 시공 지침서	정부, 지자 체, 지하수 민간기업	소하천의 용수 확 보 및 관리 사업에 활용
		시공 관련 특허	지하수 민간 기업	
	소하천 연계 운영 관리를 통한 하천 관리 및 수량 확보 평가	소하천 연계 운 영 관리 자동화 특허	지하수 민간 기업	
		평시 가뭄별 소 하천 관리 메뉴 얼	정부, 지자 체, 지하수 민간기업	
선상지형 인공함양 지에서의 취수를 위해 수평 정설 및 시공 기술	선상지형 지층에서 500톤/일의 지하수 확보가 가능한 수 평정 조사 설계, 시공 기술 개발	선상지형 수평 정의 조사 설계 및 시공 지침서	정부, 지자 체, 지하수 민간기업	선상지 인공함양 사업 적용
		수평정 및 집수 통 시공 기술 특허	지하수 민간 기업	선상지 인공함양 사업 적용 및 기타 강변여과 사업 등 에 활용
	다양한 지층변화 (토사,호박돌 및 암 반)에 대응하는 수 평(및 경사)공 굴진 기술 개발	수평 굴진 자동 제어 시스템	지하수 민간 기업	선상지 인공함양 사업 적용 및 기타 강변여과 사업 등 에 활용

세부과제	구성기술	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
인공함양 지하수자 원의 상 수원 연 계 및 저 영향 관 리 기술	기존 상수원 취수 시설과의 연계 설 계 기술 개발	기존 취수시설 연계 설계 및 운영관리 기술 지침서	정부, 지자 체, 지하수 민간기업	인공함양과 기존상 수원의 연계 사업 시 활용
		시설 연계관련 특허	지하수 민간 기업	
	기존 취수원 연계 운영을 통한 수량 및 수질 최적화 방 안 개발	교대 운영시의 수처리 장치 및 처리기술(특허 포함)	지하수 민간 기업	인공함양과 기존상 수원의 연계 사업 시 활용
	상수원 연계 운영 을 통한 주변 선상 지 지역의 영향 최 소화 방안 연구	주변 영향 평가 최소화 관리 기 술(특허 포함)	정부, 지자 체, 지하수 민간기업	인공함양 사업시 적용
하천수의 지 하 수 인공함양 에 따른 확보수량 예측 모 델링 및 모니터링 기술	예비모델링을 통한 인공함양 위치 최 적 설계	최적위치 선정 기준, 지침	정부, 지자 체, 지하수 민간기업	지자체의 가뭄대응 시설 적지분석, 효 과평가를 위한 기 술적 가이드라인으 로 활용
	하천저류량과 연계 한 수자원 수요-공 급 관련 최적 공급 방안 제시	소형보와 연계 한 가뭄대응시 설의 정량적 운 영 시나리오 개 발 및 물 공급 지침	정부, 지자 체, 연구기관	

4. (중점추진분야 4) Well Network System을 활용한 가뭄 대응 기술 분야

세부과제	구성기술	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
Well Network System을 활용한 용수 확보 기술 개발	기존 관정의 네트워크 구축을 위한 적정 연계 용량 평가 기법	관정의 공급능력을 고려한 Well network system 구축 기법 특허	지하수 민간기업	가뭄 예상 및 발생 지역에서의 기존시설을 활용한 용수 확보 사업 등에 적용
	기존 관정 네트워크 구축 및 기존 수원 연계 설치			
	연계 운영을 통한 모니터링 및 관정의 산출성 변화 평가	Well network system 구축 및 운영 지침서	정부, 지자체, 지하수 민간기업	
	평시/갈수시 생활/농업용수의 연계 운영 시나리오 구축	평시, 갈수기, 극한가뭄시의 등급별 대응을 위한 최적 연계 운영 프로그램 및 매뉴얼 개발	정부, 지자체, 지하수 민간기업	지자체 및 관공서, 수자원 설계사 운영 프로그램 또는 지침으로 활용
대형 지하수 관정 시설 가뭄 대응력 평가 및 성능개선 기술 개발	대형(공공) 관정의 용수공급 능력 평가 기술 개발	대형관정 용수공급력 평가 S/W	정부, 지자체, 지하수 민간기업, 연구기관	가뭄 발생시 기존 관정을 활용한 신속한 용수 확보
		가뭄시 대형관정 활용 시나리오 지침	정부, 지자체	
	연구지역의 대용량 관정 용수공급능력 분포도(시스템) 개발	시범지역 대용량 관정 용수공급능력 활용 서비스 시스템	정부, 지자체	
	Sensing 기법을 활용한 연구지역 지하수 수문관리 자동화 관리 체계 개발	Sensing 관련 특허	민간기업, 연구기관	
	대형 관정의 성능개선 기법 개발	관정 효율성 제고 및 구조개선 기술 특허	지하수 민간기업	대형 관정의 구조개선 및 효율제고 기술 적용

세부과제	구성기술	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
WNS 활용 지하수와 기존 취수원 연계에 따른 수질관리·적정 기술 개발	기존 상수원 연계시의 수처리 기법에 미치는 영향 평가 및 적정 처리기준 개발	관련 특허	지하수 민간기업	WGS 현장 적용시 수처리 기법으로서 활용, 지하수와 기존 수자원의 연계 운영시 수처리의 효율성을 제고함으로써 유지관리 비용 절감에 기여
	현장 실증 운영을 통한 적정 처리 기법의 평가 및 운영 방안 제시	적정 수처리 기준 지침서	정부, 지자체, 지하수 민간기업	
AR 통합 운영관리 효과 및 물 수지 평가	상-중-하류 유역의 지하수자원 확보기술의 효과 평가	인공함양 기술의 유역개념의 효과 진단 기법, 지침	정부, 지자체	지자체 유사 시설물 구축에 따른 수자원 계획에 활용. 극한 가뭄시 유역 단위 물공급 능력 제고

9절. 연구수행체계 제안

1. 연구추진체계 정립

- ☐ 본 연구 과제인 “가뭄 대응을 위한 지표수 연계 기반 지하수자원 확보 및 활용 기술 개발 기획”은 최근 빈번해지는 가뭄에 선제적으로 대응하기 위하여 수자원 총량을 확보하기 위한 연구 과제 발굴 과업임
- ☐ 최근 들어 댐이나 지표 저류지와 같은 지상 저류 방식에 한계를 갖고 있는 가뭄에 취약한 지표 상류지역은 추가적인 수원 확보를 통하여 가뭄에 대응할 수 있는 시스템을 갖추어야 하며, 이에 대한 효율적인 대안으로서 지하수 인공함양을 통한 수자원을 확보하는 것으로서,
- ☐ 기상이나 수문 조건의 영향을 최소화할 수 있는 호우기나 물이 상대적으로 풍부한 시기에 지층내 지하수를 인공함양할 수 있는 효율적인 기법을 개발하고 기존 시설과의 연계 등을 통하여 가뭄시 안정적 용수 확보를 목적으로 함
- ☐ 따라서, 본 과업은 지표의 지역 특성에 적합한 요소기술을 개발해야 할 뿐 아니라, 각 개발된 요소기술을 타 지역 조건에도 연계 적용하는 등 기술의 유기적인 관계를 토대로 수행되어야 함
- ☐ 또한, 지하수, 인공함양, IT, 예측, 상수도, Big data, 소하천, 관정, 자동화, 탐사, 제도 등 산학연 뿐 아니라 다학제의 참여가 필요한 연구로서 각 분야의 역할 분담 및 수행이 유기적으로 이루어져야 함
- ☐ 본 과제는 지표의 상류, 중류, 하류 등 지역 특성에 맞는 인공함양 기술을 확보하는 것이 핵심으로서 Testbed가 단일 유역내에서 구성되어 세부 과제간 상호 연계 연구 및 통합적인 성과 평가가 가능하여야 함
- ☐ 따라서, 본 연구과제는 “연구단” 규모로 추진하는 것이 적절함

<사업단/연구단/일반과제 구분(참고)>

사업단	기술별 총괄시스템의 개발과 연구개발결과의 시범적용(Test Bed)을 포함하는 과제로서 정부출연금 500억원 이상, 5년 이상의 연구기간이 소요
연구단	단위·요소기술의 유기적 연계를 통하여 패키지화된 기술을 개발하는 과제로서 정부출연금 50억원 이상
일반과제	단위·요소기술을 개발하는 과제

2. 추진 조직

- ☐ “가뭄 대응을 위한 지표수 연계 기반 지하수자원 확보 및 활용 기술 개발”은 기초 원천, 실용화 기술, 정책/제도 발굴 등이 포괄적으로 포함된 연구이므로 산, 학, 관이 유연한 관계를 유지할 수 있는 연구책임자의 선정이 필요함
- ☐ 본 과제는 현장 Testbed 중심의 실증 연구가 추진되는 것으로서, 실증 단지의 협의, 제공, 연구 추진 및 성과 이관 등을 위하여 지방자치단체 또는 공공기관의 직간접적 참여가 필요할 것임
 - 본 과제의 원활한 추진을 위하여 1차년도에 Testbed의 협의가 완료되고 현장 특성 분석을 통하여 2차년도 이후의 현장 연구에 대한 구체화가 필요함
- ☐ 원천기술에 대해서는 이론 정립, 실내외의 실험 등이 필요한 분야로서 대학이나 연구기관 주도하에 추진하는 것이 필요함
- ☐ 본 과제의 현장 실용화 기술은 현장조사, 설계 및 시공과 사후관리 등이 복합적으로 연계되어 있으므로 기업(공공기관 포함)의 참여가 필수적이며 이를 학술적으로 뒷받침할 수 있도록 대학이나 연구기관 등이 지원하는 방식으로 추진되어야 함
- ☐ 각 세부과제별로 산, 학, 연(필요시 관)이 각각 구성되어 상호 연계 하에 과제가 수행될 필요가 있음

3. 추진 체계

- ☐ 연구 참여 기관의 구성은 대학, 공공기관(연구기관 포함), 민간기업 뿐 아니라 국외 기술(인공함양 원수 확보 또는 주입 기술 관련)의 접목과 도입을 위하여 해외 전문기관의 참여가 필요하며, 아울러, 기술의 수요처가 될 수 있는 지방자치단체 및 연구지역 주민의 협력이 요구되며 서비스 기술로 개발되어야 함
- ☐ 연구 추진시 주관 및 협동(공동), 위탁기관 등은 성과물을 발생시켜야 하며, 각 성과물이 상호 활용될 수 있도록 추진되어야 함
 - 연구 과정에 세부과제내에서 유사한 문제 해결을 위한 기술 개발이 추진될 경우 과업 조정을 통하여 중복 방지 및 상호 활용할 수 있도록 능동적 추진 체계가 요구됨
- ☐ 연구책임자는 각 연구 수행 주체에 대하여 달성 가능한 성과 목표 및 정량적 성과 지표를 제안, 설정할 수 있도록 유도하고 연구 진행중 성과 목표 및 지표 등에 대하여 정기적으로 점검하여 성과의 질을 제고할 수 있도록 함
- ☐ 또한, 연구책임자 및 각 연구수행 주체는 실용화가 필요한 과제에 대해서는 기

술 실시 대상 기업 등을 파악하여 실용화할 수 있는 수준의 기술 개발이 되도록
상기 관리를 수행하여야 함

- ☐ Testbed 확보는 지방자치단체 또는 공공기관 등과 협의를 통하여 조속한 시일
내에 추진하고, 가능한 한 세부과제가 단일 유역에서 수행가능토록 대상지역을
선정하여야 함
- ☐ 연구책임자는 연구의 효율적 추진을 위하여 자문단 또는 운영위원회 등을 구성
하여 연구 수행과정의 중요한 의사결정을 차질 없이 수행하고, 정기적으로 세
미나 또는 워크샵 등을 통하여 연구단으로서의 공통된 목표 의식 제고, 연구
성과의 긴밀한 공유, 연구 목표의 달성 점검 등을 수행하여야 함

제 5장

인력투입 계획 및 소요예산 산정

1절 연구일정에 따른 인력 계획

2절 소요예산 산정



5장. 인력투입계획 및 소요예산 산정

1절. 연구일정에 따른 인력계획

1. 전체사업 인력투입계획

가. 연차별 투입 연구인력

(단위: 명)

분류		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	계
총괄		9.92	36.98	40.03	40.03	29.69	156.65
중점진분야1	1세 부과제	0.50	1.44	1.62	1.62	1.89	7.07
	2세 부과제	0.55	1.76	1.98	1.98	1.89	8.16
	3세 부과제	0.45	1.76	1.98	1.98	2.10	8.27
	4세 부과제	0.40	1.76	1.98	1.98	0.00	6.12
	5세 부과제	0.00	1.92	2.16	2.16	0.00	6.24
	계	1.90	8.64	9.72	9.72	5.88	35.86
중점진분야2	1세 부과제	1.12	3.45	4.20	4.20	3.28	16.25
	2세 부과제	0.54	1.65	2.20	2.20	1.76	8.35
	3세 부과제	0.58	2.25	2.00	2.00	2.00	8.83
	4세 부과제	0.58	1.50	1.00	1.00	1.50	5.58
	계	2.82	8.85	9.40	9.40	8.54	39.01
중점진분야3	1세 부과제	2.20	4.88	4.88	4.88	4.45	21.29
	2세 부과제	1.10	1.70	1.70	1.70	1.52	7.72
	3세 부과제	0.00	1.62	1.62	1.62	1.26	6.12
	4세 부과제	0.00	1.37	1.37	1.37	1.64	5.75
	계	3.30	9.57	9.57	9.57	8.87	40.88
중점진분야4	1세 부과제	0.80	5.12	4.32	4.32	2.72	17.28
	2세 부과제	0.55	2.08	2.16	2.16	1.28	8.23
	3세 부과제	0.55	2.72	2.34	2.34	1.12	9.07
	4세 부과제	0.00	0.00	2.52	2.52	1.28	6.32
	계	1.90	9.92	11.34	11.34	6.40	40.90

나. 상세 투입연구인력

(단위 : 명)

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	1.95	6.97	7.46	7.46	5.40	29.24	
연구원	2.89	9.06	9.48	9.48	8.46	39.37	
연구보조원	2.50	10.97	12.46	12.46	8.66	47.05	
보조원	2.58	9.98	10.63	10.63	7.17	40.99	
합계	9.92	36.98	40.03	40.03	29.69	156.65	

2. 중점추진분야별 인력투입계획

가. 중점추진분야 1

(단위 : 명)

분류		총 개발인력(명)						비고
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
계	책임연구원	0.35	1.60	1.80	1.80	1.26	6.81	
	연구원	0.55	2.24	2.52	2.52	1.47	9.30	
	연구보조원	0.50	2.40	2.70	2.70	1.47	9.77	
	보조원	0.50	2.40	2.70	2.70	1.68	9.98	
	합계	1.90	8.64	9.72	9.72	5.88	35.86	
1 세부 기술	책임연구원	0.10	0.32	0.36	0.36	0.42	1.56	
	연구원	0.15	0.32	0.36	0.36	0.63	1.82	
	연구보조원	0.15	0.32	0.36	0.36	0.42	1.61	
	보조원	0.10	0.48	0.54	0.54	0.42	2.08	
	합계	0.50	1.44	1.62	1.62	1.89	7.07	
2 세부 기술	책임연구원	0.10	0.32	0.36	0.36	0.42	1.56	
	연구원	0.15	0.48	0.54	0.54	0.42	2.13	
	연구보조원	0.15	0.48	0.54	0.54	0.42	2.13	
	보조원	0.15	0.48	0.54	0.54	0.63	2.34	
	합계	0.55	1.76	1.98	1.98	1.89	8.16	
3 세부 기술	책임연구원	0.10	0.32	0.36	0.36	0.42	1.56	
	연구원	0.15	0.32	0.36	0.36	0.42	1.61	
	연구보조원	0.10	0.64	0.72	0.72	0.63	2.81	
	보조원	0.10	0.48	0.54	0.54	0.63	2.29	
	합계	0.45	1.76	1.98	1.98	2.10	8.27	
4 세부 기술	책임연구원	0.05	0.32	0.36	0.36	0.00	1.09	
	연구원	0.10	0.48	0.54	0.54	0.00	1.66	
	연구보조원	0.10	0.48	0.54	0.54	0.00	1.66	
	보조원	0.15	0.48	0.54	0.54	0.00	1.71	
	합계	0.40	1.76	1.98	1.98	0.00	6.12	
5 세부 기술	책임연구원	0.00	0.32	0.36	0.36	0.00	1.04	
	연구원	0.00	0.64	0.72	0.72	0.00	2.08	
	연구보조원	0.00	0.48	0.54	0.54	0.00	1.56	
	보조원	0.00	0.48	0.54	0.54	0.00	1.56	
	합계	0.00	1.92	2.16	2.16	0.00	6.24	

나. 중점추진분야 2

(단위 : 명)

분류		총 개발인력(명)						비고
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
계	책임연구원	0.55	1.65	1.70	1.70	1.43	7.03	
	연구원	0.95	2.10	1.90	1.90	2.47	9.32	
	연구보조원	0.72	2.55	3.40	3.40	2.99	13.06	
	보조원	0.60	2.55	2.40	2.40	1.65	9.60	
	합계	2.82	8.85	9.40	9.40	8.54	39.01	
1 세부 기술	책임연구원	0.20	0.60	0.70	0.70	0.65	2.85	
	연구원	0.40	0.60	0.80	0.80	1.04	3.64	
	연구보조원	0.32	1.05	1.50	1.50	1.04	5.41	
	보조원	0.20	1.20	1.20	1.20	0.55	4.35	
	합계	1.12	3.45	4.20	4.20	3.28	16.25	
2 세부 기술	책임연구원	0.10	0.45	0.40	0.40	0.13	1.48	
	연구원	0.20	0.30	0.40	0.40	0.65	1.95	
	연구보조원	0.12	0.45	0.80	0.80	0.65	2.82	
	보조원	0.12	0.45	0.60	0.60	0.33	2.10	
	합계	0.54	1.65	2.20	2.20	1.76	8.35	
3 세부 기술	책임연구원	0.10	0.30	0.40	0.40	0.39	1.59	
	연구원	0.20	0.75	0.40	0.40	0.26	2.01	
	연구보조원	0.16	0.60	0.80	0.80	0.91	3.27	
	보조원	0.12	0.60	0.40	0.40	0.44	1.96	
	합계	0.58	2.25	2.00	2.00	2.00	8.83	
4 세부 기술	책임연구원	0.15	0.30	0.20	0.20	0.26	1.11	
	연구원	0.15	0.45	0.30	0.30	0.52	1.72	
	연구보조원	0.12	0.45	0.30	0.30	0.39	1.56	
	보조원	0.16	0.30	0.20	0.20	0.33	1.19	
	합계	0.58	1.50	1.00	1.00	1.50	5.58	

다. 중점추진분야 3

(단위 : 명)

분류		총 개발인력(명)						비고
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
계	책임연구원	0.70	1.80	1.80	1.80	1.43	7.53	
	연구원	0.84	2.00	2.00	2.00	2.76	9.60	
	연구보조원	0.78	3.30	3.30	3.30	2.60	13.28	
	보조원	0.98	2.47	2.47	2.47	2.08	10.47	
	합계	3.30	9.57	9.57	9.57	8.87	40.88	
1 세부 기술	책임연구원	0.49	0.90	0.90	0.90	0.52	3.71	
	연구원	0.54	0.90	0.90	0.90	1.20	4.44	
	연구보조원	0.54	1.65	1.65	1.65	1.43	6.92	
	보조원	0.63	1.43	1.43	1.43	1.30	6.22	
	합계	2.20	4.88	4.88	4.88	4.45	21.29	
2 세부 기술	책임연구원	0.21	0.18	0.18	0.18	0.26	1.01	
	연구원	0.30	0.40	0.40	0.40	0.48	1.98	
	연구보조원	0.24	0.60	0.60	0.60	0.52	2.56	
	보조원	0.35	0.52	0.52	0.52	0.26	2.17	
	합계	1.10	1.70	1.70	1.70	1.52	7.72	
3 세부 기술	책임연구원	0.00	0.36	0.36	0.36	0.26	1.34	
	연구원	0.00	0.40	0.40	0.40	0.48	1.68	
	연구보조원	0.00	0.60	0.60	0.60	0.26	2.06	
	보조원	0.00	0.26	0.26	0.26	0.26	1.04	
	합계	0.00	1.62	1.62	1.62	1.26	6.12	
4 세부 기술	책임연구원	0.00	0.36	0.36	0.36	0.39	1.47	
	연구원	0.00	0.30	0.30	0.30	0.60	1.50	
	연구보조원	0.00	0.45	0.45	0.45	0.39	1.74	
	보조원	0.00	0.26	0.26	0.26	0.26	1.04	
	합계	0.00	1.37	1.37	1.37	1.64	5.75	

라. 중점추진분야 4

(단위 : 명)

분류		총 개발인력(명)						비고
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
계	책임연구원	0.35	1.92	2.16	2.16	1.28	7.87	
	연구원	0.55	2.72	3.06	3.06	1.76	11.15	
	연구보조원	0.50	2.72	3.06	3.06	1.60	10.94	
	보조원	0.50	2.56	3.06	3.06	1.76	10.94	
	합계	1.90	9.92	11.34	11.34	6.40	40.90	
1 세부 기술	책임연구원	0.15	0.96	0.72	0.72	0.48	3.03	
	연구원	0.25	1.44	1.26	1.26	0.80	5.01	
	연구보조원	0.20	1.44	1.26	1.26	0.64	4.80	
	보조원	0.20	1.28	1.08	1.08	0.80	4.44	
	합계	0.80	5.12	4.32	4.32	2.72	17.28	
2 세부 기술	책임연구원	0.10	0.48	0.36	0.36	0.32	1.62	
	연구원	0.15	0.64	0.72	0.72	0.32	2.55	
	연구보조원	0.15	0.48	0.54	0.54	0.32	2.03	
	보조원	0.15	0.48	0.54	0.54	0.32	2.03	
	합계	0.55	2.08	2.16	2.16	1.28	8.23	
3 세부 기술	책임연구원	0.10	0.48	0.36	0.36	0.16	1.46	
	연구원	0.15	0.64	0.54	0.54	0.32	2.19	
	연구보조원	0.15	0.80	0.72	0.72	0.32	2.71	
	보조원	0.15	0.80	0.72	0.72	0.32	2.71	
	합계	0.55	2.72	2.34	2.34	1.12	9.07	
4 세부 기술	책임연구원	0.00	0.00	0.72	0.72	0.32	1.76	
	연구원	0.00	0.00	0.54	0.54	0.32	1.40	
	연구보조원	0.00	0.00	0.54	0.54	0.32	1.40	
	보조원	0.00	0.00	0.72	0.72	0.32	1.76	
	합계	0.00	0.00	2.52	2.52	1.28	6.32	

2절. 소요예산 산정

1. 예산 산정방법

- ☐ 각 세부과제별로 제안된 과제 카드상의 소요 예산을 근거로 기획위원의 의견을 수렴하여 예산을 산출함
 - 본 기획에서 추구하는 본 과제의 최종목표 및 각 세부과제별 연구목표 달성을 위해 필요한 각 세부과제 연구개발내용을 수행하기 위해 소요되는 연구개발 예산을 추정
 - 1차년은 연구의 준비단계로 고려하고, 2차년 및 3차년이 현장의 연구시설 구축 및 실용화 기술을 집중 개발하는 것으로 계획하였으며, 4차 및 5차년도에는 기술의 검증 및 평가 과정으로 간주하여 인력의 투입 기간, 시설 및 설비의 개발 및 적용 기간 등을 적절히 배분하였음. 이를 토대로 인건비 및 현장 경비 등의 집행계획을 결정하였음
- ☐ 인건비는 ‘2017년 학술연구용역 인건비기준단가’를 기준으로 작성
 - 2017년 학술연구용역 인건비 기준단가의 참여율 100% 기준으로 연봉을 계산한 후 인건비 단가를 예산 작성에 적용
 - 책임연구원 74,645천원, 연구원 57,237천원, 연구보조원 38,261천원, 보조원 28,696천원을 적용함
- ☐ 간접비는 학교의 경우 최대 29%까지 계상이 가능하나 본 과제가 실용화 기술의 개발에 해당하는 특성을 갖고 있어 공공기관 및 기업의 참여가 높을 것으로 고려하여 기업의 기준을 준용하여 직접비의 17%로 적용하였음
- ☐ 각 공동과제별 특성을 고려하여 민간기업의 참여가능성을 예측하고 이를 바탕으로 정부출연금과 기업부담금을 구분함. 이때 정부출연금 및 기업부담금의 배분비율은 ‘국토교통부소관 연구개발사업 운영규정’의 ‘별표 1. 중앙행정기관 및 참여기업의 연구개발비 출연·부담기준(제31조 제3항 관련)’을 작성기준으로 활용
 - 소요예산은 정부출연금을 대상으로 작성하였으며 민간부담금은 본 과제의 특성상 실용화 기술 개발 중심으로 진행될 것으로 예상되어 참여기업 2개 이상 중소기업 비율 3분의 2이상이 참여할 것으로 간주하였으며 총 연구개발비의 25%를 민간 부담으로 계상함
 - 본 보고서상의 예상 항목별 소요예산은 정부출연금에 해당하는 예산으로만 작성함

- 민간부담금은 전체 소요예산을 책정하기 위하여 비율을 적용하고 항목별 소요예산에서는 고려하지 않음
- 항목별 예산은 ‘국토교통부소관 연구개발사업 운영규정’의 별표 2. 연구개발비 비목별 계상기준(제32조 제1항 관련)’을 작성기준에 따라 아래와 같이 선정함(기업부담금은 별표 1의 ‘라’항을 참조하여 계상한 추정치임)

<기업부담금 출연 기준(참고)>

구 분	기업부담금 출연기준(총 연구개발비 대비)
대기업 참여	50% 이상
참여기업이 중소기업·대기업이 아닌 경우	40% 이상
중소기업 참여	25% 이상
2개이상의 참여기업 중 중소기업 비율이 2/3 이상	25% 이상

2. 전체사업 소요예산

가. 총괄 소요예산

(단위: 백만원)

구 분		중점 추진분야1	중점 추진분야2	중점 추진분야3	중점 추진분야4	계
1차년	정부	169	218	244	169	800
	민간	59	76	86	59	280
	계	228	294	330	228	1,080
2차년	정부	920	1,371	1,443	989	4,723
	민간	304	453	474	326	1,557
	계	1,223	1,824	1,917	1,315	6,280
3차년	정부	910	1,244	1,343	993	4,491
	민간	303	415	447	332	1,497
	계	1,214	1,659	1,790	1,325	5,987
4차년	정부	910	1,244	1,343	993	4,491
	민간	303	415	447	332	1,497
	계	1,214	1,659	1,790	1,325	5,987
5차년	정부	493	696	788	519	2,496
	민간	172	243	274	181	869
	계	665	939	1,062	700	3,365
계	정부	3,403	4,773	5,161	3,663	17,000
	민간	1,141	1,602	1,728	1,230	5,700
	계	4,543	6,375	6,889	4,893	22,700

나. 예산 항목별 소요예산 (정부 투자분)

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉: 천원)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	74,645	108	391	418	418	299	1,633	9.6%
	연구원	57,237	123	390	407	407	359	1,686	9.9%
	연구 보조원	38,261	71	316	358	358	246	1,347	7.9%
	보조원	28,696	55	215	229	229	153	880	5.2%
소계			356	1,312	1,411	1,411	1,057	5,547	32.6%
직접비	연구장비/ 재료비		185	2,110	1,805	1,805	623	6,528	38.4%
	연구활동비		59	250	238	238	171	958	5.6%
	연구과제추진비		30	165	172	172	125	665	3.9%
	연구수당		53	198	212	212	158	834	4.9%
소계			327	2,724	2,427	2,427	1,078	8,984	52.8%
간접비			116	686	652	652	362	2,469	14.5%
합계			800	4,723	4,491	4,491	2,496	17,000	100.0%
*인건비=소요인력 (ManPower) × 단가									

3. 중점추진분야별 소요예산

가. 중점추진분야 1

○ 전체분

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉:천원)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	74,645	26	119	134	134	94	508	11%
	연구원	57,237	31	128	144	144	84	532	12%
	연구 보조원	38,261	19	92	103	103	56	374	8%
	보조원	28,696	14	69	77	77	48	286	6%
소계			91	408	459	459	283	1701	37%
직접비	연구장비/ 재료비		60	430	363	363	155	1371	30%
	연구활동비		20	86	90	90	50	336	7%
	연구과제추진비		10	60	56	56	39	221	5%
	연구수당		14	61	69	69	42	255	6%
소계			104	637	578	578	286	2183	48%
간접비			33	178	176	176	96	659	15%
합계			228	1223	1214	1214	665	4543	100%
*인건비=소요인력(ManPower) × 단가									

○ 정부분

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉:천원)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	74,645	19	90	101	101	70	381	11%
	연구원	57,237	23	96	108	108	62	399	12%
	연구 보조원	38,261	14	69	77	77	42	280	8%
	보조원	28,696	11	52	58	58	36	214	6%
소계			67	307	345	345	210	1,273	37%
직접비	연구장비/ 재료비		44	323	272	272	115	1,027	30%
	연구활동비		15	65	68	68	37	252	7%
	연구과제추진비		7	45	42	42	29	165	5%
	연구수당		10	46	52	52	31	191	6%
소계			77	479	434	434	212	1,635	48%
간접비			25	134	132	132	71	494	15%
합계			169	920	910	910	493	3,403	100%
*인건비=소요인력(ManPower) × 단가									

나. 중점추진분야 2

○ 전체분

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉:천원)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	74,645	41	123	127	127	107	525	11%
	연구원	57,237	54	120	109	109	141	533	12%
	연구 보조원	38,261	28	98	130	130	114	500	8%
	보조원	28,696	17	73	69	69	47	275	6%
소계			140	414	435	435	410	1833	37%
직접비	연구장비/ 재료비		60	946	800	800	230	2836	30%
	연구활동비		20	85	68	68	61	302	7%
	연구과제추진비		10	50	50	50	40	200	5%
	연구수당		21	64	65	65	61	277	6%
소계			111	1145	983	983	392	3615	48%
간접비			43	265	241	241	136	926	15%
합계			294	1824	1659	1659	939	6375	100%
*인건비=소요인력(ManPower) × 단가									

○ 정부분

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉:천원)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	74,645	30	93	95	95	79	392	8%
	연구원	57,237	40	90	82	82	105	399	8%
	연구 보조원	38,261	20	73	98	98	85	374	8%
	보조원	28,696	13	55	52	52	35	206	4%
소계			104	311	326	326	304	1,371	29%
직접비	연구장비/ 재료비		44	711	600	600	171	2,126	45%
	연구활동비		15	64	51	51	45	226	5%
	연구과제추진비		7	38	38	38	30	150	3%
	연구수당		16	48	49	49	46	207	4%
소계			82	861	737	737	291	2,709	57%
간접비			32	199	181	181	101	694	15%
합계			218	1,371	1,244	1,244	696	4,773	100%
*인건비=소요인력(ManPower) × 단가									

다. 중점추진분야 3

○ 전체분

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉:천원)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	74,645	52	134	134	134	107	562	11%
	연구원	57,237	48	114	114	114	158	549	12%
	연구 보조원	38,261	30	126	126	126	99	508	8%
	보조원	28,696	28	71	71	71	60	300	6%
소계			158	446	446	446	424	1920	37%
직접비	연구장비/ 재료비		70	1000	880	880	300	3130	30%
	연구활동비		20	76	70	70	70	306	7%
	연구과제추진비		10	50	67	67	50	244	5%
	연구수당		24	67	67	67	64	288	6%
소계			124	1193	1084	1084	484	3968	48%
간접비			48	279	260	260	154	1001	15%
합계			330	1917	1790	1790	1062	6889	100%
*인건비=소요인력(ManPower) × 단가									

○ 정부분

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉:천원)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	74,645	39	101	101	101	79	421	8%
	연구원	57,237	36	86	86	86	117	411	8%
	연구 보조원	38,261	22	95	95	95	74	380	7%
	보조원	28,696	21	53	53	53	44	225	4%
소계			117	336	335	335	315	1,437	28%
직접비	연구장비/ 재료비		52	753	660	660	223	2,347	45%
	연구활동비		15	57	53	53	52	229	4%
	연구과제추진비		7	38	50	50	37	183	4%
	연구수당		18	50	50	50	47	215	4%
소계			92	898	813	813	359	2,975	58%
간접비			36	210	195	195	114	750	15%
합계			244	1,443	1,343	1,343	788	5,161	100%
*인건비=소요인력(ManPower) × 단가									

라. 중점추진분야 4

○ 전체분

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉:천원)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	74,645	26	143	161	161	96	587	11%
	연구원	57,237	31	156	175	175	101	638	12%
	연구 보조원	38,261	19	104	117	117	61	419	8%
	보조원	28,696	14	73	88	88	51	314	6%
소계			91	477	541	541	308	1958	37%
직접비	연구장비/ 재료비		60	430	363	363	155	1371	30%
	연구활동비		20	86	90	90	50	336	7%
	연구과제추진비		10	60	57	57	39	223	5%
	연구수당		14	71	81	81	46	294	6%
소계			104	647	591	591	290	2224	48%
간접비			33	191	193	193	102	711	15%
합계			228	1315	1325	1325	700	4893	100%
*인건비=소요인력(ManPower) × 단가									

○ 정부분

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉:천원)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	74,645	19	108	121	121	71	440	12%
	연구원	57,237	23	117	131	131	75	478	13%
	연구 보조원	38,261	14	78	88	88	45	313	9%
	보조원	28,696	11	55	66	66	37	235	6%
소계			67	358	406	406	228	1,466	40%
직접비	연구장비/ 재료비		44	323	272	272	115	1,027	28%
	연구활동비		15	65	67	67	37	252	7%
	연구과제추진비		7	45	43	43	29	167	5%
	연구수당		10	54	61	61	34	220	6%
소계			77	487	443	443	215	1,665	45%
간접비			25	144	144	144	75	532	15%
합계			169	989	993	993	519	3,663	100%
*인건비=소요인력(ManPower) × 단가									

4. 연구비 검토 결과

가. 총괄 예산

- ☐ 전체 연구 개발비는 227억원으로 이중, 정부출연금인 170억원, 민간부담금이 57억원 수준으로 전체 연구예산 대비 정부출연금이 약 75% 수준임
- ☐ 과제별 연구개발비(민간부담금 포함)는 중점추진분야 1과제가 45.4억원, 중점추진분야 2과제가 63.8억원, 중점추진분야 3과제가 68.9억원, 중점추진분야 4과제가 48.9억원 수준으로 구성하였으며, 연구단 전체 및 총 연구기간 중 인건비가 약 32.6%, 직접비(장비/재료비 등)가 약 52.8%, 간접비가 약 14.5%로 편성됨

나. 종합 검토결과

(1) 예산계획 수립체계 및 과정의 적정성

- ☐ 각 세부과제별로 제안된 단위과제의 소요 예산(안)을 토대로 기획위원들의 의견을 수렴하였으며, 각 세부과제의 연구 규모 및 연구 특성(현장, 실내 등)을 고려하여 각 단위 후보과제의 적정 비용을 도출, 예산을 산출하여, 체계적으로 예산계획이 수립된 것으로 판단됨
- ☐ 기획단계에서 수립된 총 소요예산은 개략적인 것으로서, 향후 실질적인 민간부담금 비율 등을 고려하여 세부적인 소요예산을 연구 추진단계에서 보다 구체적으로 수립하여야 함

(2) 과제별 예산 작성 및 배분의 합리성

- ☐ 각 과제별 정부지원 및 민간 예산을 연차별로 구분하고, 인건비, 직접비, 간접비를 세부적으로 구분해서 제시하여 각 연구에 소요되는 예산이 비교적 명확하게 제시된 것으로 분석됨.
- 인건비는 실내 분석 뿐 아니라 현장 연구 등이 종합적으로 수행되어야 하는 점을 고려하여 연구원을 4단계로 구분하여 참여율을 산정함
- 중점추진분야 2 및 3과제는 현장 중심의 연구가 집중적으로 수행되는 만큼 인건비의 참여보다는 직접 경비(장비, 재료비)의 비중을 높혀 현장 중심의 연구가 충실히 이루어질 수 있도록 예산을 구성함
- 직접비는 연구장비/재료비, 연구활동비, 연구과제추진비, 연구수당으로 구분하여 산정함

(3) 인력투입 및 확보계획의 적절성

- ☐ 5차년도에 걸쳐 본 연구 수행을 위한 총 소요 연구인력은 158.0명으로 세부 과제별, 세세부과제별 투입 연구인력을 연구일정에 맞추어 제시하고 있음
- ☐ 실제 연구소요 인력의 경우 향후 연구추진 단계에서 이를 보다 구체화 할 수 있을 것으로 보임

제 6장

사전타당성 검토

1절 정책적 타당성

2절 기술적 타당성

3절 경제적 타당성



6장. 사전타당성 검토

1절. 정책적 타당성

1. 국가전략의 중요성

- ☐ 가뭄은 국가 재난으로 관리되는 만큼 가뭄 취약지역에서의 각종 용수 확보 증대는 재난 예방 차원에서 정부 지원하에 추진되어야 함
- 과거 수 십년 동안 크고 작은 가뭄이 발생하였으며, 특히 대하천이 아닌 지류 하천 유역에서의 가뭄은 상대적으로 빠르게 도래하고 장기간 지속되는 등 가뭄에 취약한 지역임
- 이들 지역은 지표수를 수원으로 하는 광역상수도나 지방상수도의 확장 설치에 재정적으로나 기능적으로도 비효율적인 지역으로서 자체적으로 안정적인 주 수원 또는 보조 수원을 확보하고 있어야 함
- 1990년대 이후 수년마다 가뭄이 반복되고 있음에도 불구하고 가뭄시에도 안정적으로 최소 필요수량을 확보할 수 있는 요소기술이 개발되지 못하고 있는 실정으로서, 급수차 공급, 관정 개발 등이 현실적인 대안이 되어 왔음
- 정부 전망에 의하면, 2025년 기준 지역별 용수 여유량은 6,472천 $\text{m}^3/\text{일}$ 인 반면 전국 161개 지자체 중 74개 지자체에서 용수수급 불균형으로 인한 총 2,377 $\text{m}^3/\text{일}$ (생활용수 703 $\text{m}^3/\text{일}$, 농업용수 1,534 $\text{m}^3/\text{일}$)의 용수 부족량이 발생할 것으로 보고 있어, 이들 지역의 가뭄 취약성은 지속될 것으로 판단됨
- 특히, 2015년 우리나라 가뭄은 충청남도 등의 지역에 용수 부족을 초래하였는데, 근본적 해결책이 확보되지 않아 895억원의 예산이 긴급 투입되기도 하였음
- ☐ 물 복지의 취약지역인 지류 중상류 지역에 대해서는 정부 차원의 적극적인 지원 정책으로서 Local 수원 확보가 필요하나, 가뭄시에 안정적으로 용수를 확보할 수 있는 관련 기술이 개발되지 못한 실정임
- 본 연구 과제를 통하여 지류의 지역 특성에 맞는 인공함양 기술을 확보하여 생활, 농업, 하천 등 복합적인 용도별 용수가 증대될 수 있도록 사업 추진이 가능해 짐
- ☐ 정부는 지하수법을 토대로 “국가지하수정보센터”를 설치 운영중에 있으며,

수십년간의 지하수 Big data가 확보되어 있는 만큼 체계적인 분석과 평가를 통하여 가뭄시 지하수 활용도를 체계화하고 기능을 제고할 필요가 있음

- 가뭄의 극복 수단으로서 지하수의 인공함양 기술은 비교적 중소 용량 수원 확보를 위하여 선진국에서는 활발히 추진되는 분야인 반면에, 국내의 경우에는 지표수에 비하여 상대적으로 지하수 자원의 활용이 소외되어 있어 가뭄 대응 수단으로 효과적으로 활용되지 못하였음
- 인공함양 기술은 일부 선진국에서만 보유하고 있는 첨단 용수확보 기술로서, 조사, 평가, 설계 및 시공, 운영 등의 국내 기술 확보를 통하여 해외 수출 등 신산업으로 자리매김이 가능할 것임
- 지류상류의 가뭄 발생시 고비용의 광역상수도보다 저비용의 국지적 용수확보 방안이 인공함양 기술이 보다 효율적임
- Well network 기술은 민과 관이 공동으로 참여하는 신개념 서비스 기반의 용수확보 사업이 될 수 있으며, 안정적 용수확보로 갈수기 농업 분야의 생산성 향상 및 신산업 창출 기대
- 지하수(특히, 인공함양 지하수) 이용과 관리는 위에서 언급한 Big data, 다학제, 다양한 계측, IoT 기술 뿐 아니라 지역 주민의 참여가 필요한 4차 산업 연관 분야가 접목되는 등 서비스 R&D에 해당되는 과제로서 새로운 물 및 재난 안전 산업 분야로 발전성이 높음
- 본 기획과제가 진행중인 2017년 상반기에도 예년에 비하여 낮은 강수량으로 가뭄이 일부 나타나는 등 기후변화로 인한 국지적 물 부족이 대두되고 있어 조속한 기간내에 관련 기술을 확보하여 안정적 용수공급을 도모하여야 함

2. 상위계획 부합성

- “수자원장기종합계획(2011~2020)”은 1965년 수자원종합개발계획 수립 이후 지난 40여 년간 미래 수자원 목표 및 추진전략 제시로 국가 경제발전과 국민 복지 향상에 기여한 국가의 최상위 수자원 계획으로서, 가뭄에 대응하기 위한 아래 계획을 수립하고 있어 본 과제의 방향과 잘 부합하고 있음
- 목표년도 2020년을 기준으로 과거 최대 가뭄 발생시 전국적으로 약 4.3억㎥의 물이 부족한 것으로 전망되었으며, 지류하천의 경우 가뭄 발생시 하천 유량 감소가 나타날 것으로 전망하였음
- 본 계획상 물 이용계획 세부 추진 내용에서 지하수와 관련된 사업 방향을 아래와 같이 정의하고 있으며, 이들 사업의 원활한 추진을 위한 기술 개발이 요구됨
- 물 부족대비 신규 수자원의 차질 없는 확보 분야 : 지하수 개발 확대, 수원

다변화, 기존 상수원과 연계된 지하수

- 수자원의 공급 안정성 강화 및 효율적 활용 분야 : 하천수-지하수 시설 연계로 공급량 증대, 물 복지 미흡 지역 지하수 확보
- 건전하고 다면적인 물 이용 체계 확대 분야 : 하천과 연계한 지하수 순환
- 기후 변화에 따른 극한 가뭄 대처력 제고 분야 : 지하수를 활용한 가뭄 평가 및 취약성 분석, 지하수의 SMART 기법 적용

○ 본 계획의 기후변화 대응 연구과제에서는 지하수와 관련된 다음 계획을 포함하고 있어 본 기획과제의 연구 내용은 상위 계획과 잘 부합하고 있음

- 안정적 보조 수자원 확보 기술 개발
- 지하수 활용 기술의 개발
- 수자원 정보의 수집 기술, 체계 첨단화 및 공동 활용체계 구축
- 녹색 성장을 위한 스마트 용수관리 기술

□ “자연재해대책법” 제32조에 의하면, 가뭄 극복을 위하여 지하수 인공함양 사업의 추진을 명시하고 있어 법적 근거 하에 관련 기술의 개발이 시급히 요구됨

○ 제32조(가뭄 극복을 위한 시설의 유지·관리 등) 재난관리책임기관의 장은 댐, 저수지, 지하수자원 등의 **수원함양(水源涵養)** 및 기능의 유지·향상을 위하여 소관 업무에 대하여 「산림보호법」에 따른 산림보호구역(산림유전 자원보호구역은 제외한다)의 지정·관리, 조림(造林), 퇴적토 준설(浚渫), **지하수자원 인공함양 및 순환** 등 필요한 조치를 하여야 한다.

□ 지하수법 제5조에 의한 “지하수 관리 기본계획”에서 기후변화 및 가뭄 등과 관련된 지하수 활용 및 관리 계획으로서 “지하수 인공함양” 사업을 명시하고 있어 상위 계획과 잘 부합하며, 관련 기술 개발이 시급함

3. 정책적 추진의지

□ 국토교통부에서는 “수자원 장기종합계획” 및 “지하수관리기본계획”에서 지하수의 인공함양에 대한 사업 및 연구 계획을 수립하고 있으며, 현재까지 관련 기술 개발이 미흡하였으나, 최근 반복되는 가뭄에 대비하여 지하수의 함양 등 지하수 개발 활용에 대한 적극적인 추진을 도모하고 있음

○ 도서 및 해안 지역의 지하수를 활용한 용수 확보 사업을 적극 추진중에 있으며, 현재까지 확보된 기술인 지하수댐 개발 방식에 의한 방법을 시도하고 있으나, 향후 인공함양을 통한 기술 개발이 완료되면 보다 자연 친화적인 지하수 활용 기술을 적용

○ 가뭄 대비 지하수 지원 사업을 위하여 2021년까지 총 766억원 투자 계획을 수립하고 있으며, 지하수댐의 경우는 1,400억원의 투자계획을 갖고 있음

- 국외 입법조사처에서는 2017년 3월 “재이용수의 지하 충전 활성화 관련 현황과 향후 과제(김경민, 김진수)”라는 보고서에서 하수를 포함한 지하수의 인공함양 기술에 대한 필요성을 적시하고 있으며, 이를 통하여 가뭄시 농업용수 부족 문제 해결, 순환형 물순환 도시 건설 등의 필요성을 언급하고 있어 관련 기술의 확보시 적극 추진 가능
- 지하수 인공함양 사업과 관련한 제도적 보완 사항을 본 과제를 통하여 도출하고 제안함으로써 본격적인 지하수 인공함양 사업의 추진이 가능함
- 충청남도에서는 2015년 극심한 가뭄 사태 이후에 “1시군 1수원 갖기 운동”을 전개하여 기존의 광역상수도 수원에 의존하는 것을 각 시군별로 별도의 자체 수원을 확보하는 방안을 추진 중에 있음
- 가뭄을 겪은 지자체의 경우에 가뭄시 비상 용수의 확보에 대한 요구가 증대되고 있으며, 특히 충청남도나 강원도 산간지역과 같이 대규모 하천이 존재하지 않는 지역의 경우에는 계절적인 강우 변동성을 활용한 지하수 인공함양 기술이 별도의 수원 확보 기술로서 최적의 대안이 될 수 있음

2절. 기술적 타당성

1. 기술개발 계획의 적절성

- 본 연구단은 “가뭄시 물공급 취약지역의 지하수 확보로 수자원 총량 증대 및 물공급 개선”이라는 비전하에 “지하수 인공함양을 통한 갈수기 지하수 부존량 20% 증대 및 기존 수자원시설 연계 공급 기술 확보”라는 구체적인 정량적 목표를 필요로 하고 있음
- 본 과제는 가뭄시 실질적인 지하수 부존량의 증대를 연구 목표로 설정하고 있어 직접 확보량의 개념을 목표에 담고 있으며, 중점연구 분야별로도 정량적인 목표로서 검증 가능한 목표를 설정하고 있음
 - 현재의 기술적 상태를 토대로 기존 방법의 개선 및 신뢰도(정확도) 평가 방법 등으로 정량화
 - 각 중점 연구 분야별로 물 공급 능력의 개선도(함양율, 이용량 등)를 목표로 설정
 - 인공함양을 통한 자연함양 대비 함양율의 증대를 목표로 설정 등
- 연구의 주 대상지역은 물이 풍부한 4대강 주변이 아닌 지류의 중상류 지역을 주 타겟으로 설정하고 있으며, 이들 지역의 경우 대규모 하천이나 수원이 발달하지 않을 뿐 아니라 광역상수도 연계에도 한계를 갖고 있는 지역으로서 제한된 지역 특성을 고려한 수원 확보 기술을 과제에서 제안하고 있음

- 최근의 가뭄에서 보았듯이 지류 상류에서 발생하는 가뭄은 일일 수천톤의 물을 필요로 하는 경우가 아닌 수십톤~수백톤의 가뭄 기간 동안의 안정적인 용수 공급을 필요로 함
- 이와 같은 경우에 가능한 대안으로서, 지하수 인공함양 및 기존 시설 연계 기술이 적절한 기술로 제시되어 있어 적절한 논리를 갖고 있음
- 본 연구는 중점연구 분야별로 Testbed를 필요로 하고 있으며, 단일 유역내에서 각 중점연구 분야가 연구될 수 있도록 통합 TB를 제안한 점은 연구과제의 관리, 기술의 연계 및 중복의 방지 등을 위하여 바람직한 것으로 판단됨
- 현장 Testbed의 조속한 구축 운영이 연구의 원활한 추진 및 성과의 질 제고를 위하여 필수적인 사항으로서, 지방자치단체 및 지역 주민의 협조 체계를 강조한 점은 적절한 제안임
- 지하수 인공함양 기술은 선진 외국에서는 과거 수십년간 기술이 발전되고 현장에 다양하게 적용된 기술이나, 국내의 경우 제주도 현무암 지역의 수직 관정 방식의 함양 등에 대한 일부 기술을 확보하고 있는 수준으로서, 기술 및 인력자원 측면에서 적절함
- 본 과제에서 해외의 선진 기술보유 기관과의 공동 연구 방식을 제안하고 있는 점은 그 동안 국내의 인공함양에 대한 기존 지식을 보다 발전시키고 현장 기술로써 성공 확률을 높일 수 있는 가능성을 배가하고 있음
- 기존 연구(“수변 지하수활용 고도화 연구단” 등)를 통하여 지하수 분야의 인력에 대한 검증이 이루어졌으며, 지난 수년간 연구단 등을 통하여 인력이 확충된 점 및 국내 수질 환경 분야의 다양한 연구자가 존재하는 등 기술 인력 측면에서 본 연구 과제의 추진 및 성공 가능성이 매우 높음
- 과제의 기획을 위하여 44개의 기술 수요를 취합하고 전문가 협의를 통하여 13개의 추가 기술 수요를 설정하여 최종 57개의 수요를 확보하였으며, 관련 분야 전문가와의 협의 및 의견 수렴을 통하여 과제 구성 및 핵심 기술을 결정하는 등 합리적인 절차에 따라 기획을 추진하여 최대한 객관성을 확보함
- 가뭄에 대한 국내의 상황, 비상시 물 수요의 필요성, 지질 및 지하수 조건, 기술·인력 수준 및 향후 사업성 등을 종합적으로 고려할 때 본 기획의 내용과 방향은 적절하게 구성되었으며 각 중점추진과제의 경우에도 필요 수요에 적절히 대응하여 제안되었음

2. 기술수준 및 성공가능성

- 본 연구과제의 성공적인 수행을 위해서는 충분한 전문 인력, 기술 수준, 위험요인 및 기타 성공 요인 등이 복합적으로 작용하여야 함

- 국내 지하수 관련 전문 인력 및 기술은 “21세기 프론티어 연구사업”, “수변지하수활용 고도화 연구단(2011~2016)” 및 “GAIA 연구사업” 등을 통하여 충분히 확보되었으며, 과제의 성공적 수행을 통하여 검증이 되었다고 판단됨
- 국내 전문 인력의 양적인 수준은 수백명 이상의 박사급 전문가가 확보되어 있고, 한국지질자원연구원, 한국수자원공사, 한국농어촌공사, 한국건설기술연구원 등 공공기관 뿐 아니라 약 2,000개의 지하수 관련 기업이 존재하고 있어 기본적인 인적 인프라를 기반으로 과제의 원활한 수행이 가능
- 지하수 인공함양 기술에 대해서는 제주도 현무암 지역에서의 대형 수직관정을 대상으로 수행한 연구를 통하여 인공함양에 대한 전문인력이 일부 확보되어 있어, 해외의 전문가와 협업을 수행한다면 국내 새로이 도입, 적용되는 본 연구일지라도 성공적 수행이 가능함
- 또한, “국가지하수정보센터”에서 지난 수십년간의 Big data를 보유하고 있는 만큼 이를 활용한다면 IT, 예측, 서비스 R&D, Big data 등을 포함하는 4차 산업시대에 부합하는 연구 수준의 달성이 가능할 것임
- 선진 해외의 경우, 지난 수십년간 지하수 인공함양 기술 개발과 사업을 추진 해온 경험이 있어 물 확보의 수단으로서 지하수 인공함양에 대한 보편적 인식이 갖추어져 있으나, 국내의 경우에는 지표수 위주의 물 확보 정책으로 인하여 지하수 인공함양에 대한 이해가 부족할 수 있어 이에 대한 적절한 조치가 병행되어야 함
- 이를 해소하기 위하여, 본 연구는 지방자치단체 및 주민이 직간접적으로 참여토록 제안하였으며, 1차년도에 통합 Testbed의 신속한 확보를 제안하고 있음
- 또한, 중점추진연구 1과제에서 가뭄 대응 비상급수 정책 및 자금 프로그램 개발이라는 정책, 제도적 과제를 포함하였으며, 본 연구단의 종료 이전(4차년도)에 성과를 도출함으로써 개발 기술의 실용화 및 현장 적용을 원활히 할 수 있도록 제시하였음

3. 기존 사업과의 중복성

- 기존 사업과의 중복성 검토는 후보과제 Pool의 개별 과제들을 대상으로 NTIS에 등재된 국가 R&D 데이터를 활용하여 중복과제 유무를 확인하고 중복과제로 판정될 경우, 후보과제 Pool에서 제외하는 과정을 거치도록 계획하였음
- 수요조사과제는 57개(1차: 44개, 2차: 13개) 정도로서, 이들을 대상으로 유사한 자료를 통합하여 37개로 구성하였으며, 이를 대상으로 NTIS의 중복성 검

토를 실시한 결과 유사 및 중복 과제는 존재하지 않는 것으로 분석되었음

- 기타 일부 유사성이 있을 것으로 추정되는 각 기관별 지하수분야 수행 과제 (연구용역)를 파악한 결과는 아래와 같으며, 이들의 세부 연구 내용의 중복성에 대하여 검토한 결과 일부 연구 방법론이나 접근 방법이 유사한 것이 있을 수 있으나 연구 내용에 대한 중복성은 존재하지 않는 것으로 파악됨

○ 지하수 및 지표수-지하수 연계 관련 유사과제 현황

과제명 (년도)	연구 내용	본 과제와 차별성	
		목표	수문모형 개발 및 함양량 산정
제주형 지표수-지하수 통합수문해석 기술 개발 (2012)	제주도형 지표수-지하수 연계해석 모형 개발 및 제주도 지하수 함양량 산정기법 도출	방법론	현장 데이터 기반의 모델링
		현장	조사
		실용화	-
		목표	혼합대 관리 정책 방안 마련
지속가능한 지표수-지하수 혼합대 관리 방안 (2014)	하천변 지하수와 지표수의 상호작용 구간에 대한 환경적 측면의 관리방안 마련 연구	방법론	자료조사 및 이론정립
		현장	-
		실용화	-
		목표	지하수 관리, 강변여과, 지열
지하수 활용가치 극대화 기술 (수변지하수 활용고도화 연구단) (2015)	대하천(낙동강)변의 지하수 수위 상승 및 침수 평가 기술, 지하수 계측 관리 기술, 지하수 허가기준량 산정, 강변여과, 지열 등	방법론	현장 조사, 분석 및 장치 제작
		현장	대하천변 조사
		실용화	○
		목표	기저유출지표 개발
지하수 의존도에 따른 수생태계 관리를 위한 기저유출지표 개발 및 활용 방안 (2015)	대하천과 지하수 사이의 혼합대에서의 기저유출 지표 개발에 대한 연구	방법론	이론기반 모델링
		현장	-
		실용화	-
		목표	강원도 물순환 체계 개선
우수저류조 저장기법을 활용한 강원지역 홍수-가뭄피해 최소화 기술(강원권) (2012)	LID 기반의 강원도 지역 우수저류조 설계 기술 개발	방법론	현장 설치 및 실증 연구
		현장	우수저류조 개발
		실용화	○
		목표	위성 활용 가뭄 진단기술 개발
물안보 강화를 위한 선제적 가뭄/하천건천화 평가 및 예측기술 개발 (2015)	위성 정보를 활용한 수자원 부존 평가, 홍수 예측, 가뭄 지수 개발, 하천건천화 추적 및 대응 기술 개발	방법론	모델링
		현장	조사
		실용화	○
		목표	지하수 취수시 하천 고갈
하천변 지하수 이용에 따른 영향 평가 연구 (2011)	하천 인근에서의 지하수 취수시 하천에 미치는 영향 평가 및 하천 인근 지역의 정책적 관리지역 선정 기초자료 제공	방법론	모델링
		현장	조사
		실용화	-
		목표	지하수 영향권 설정 연구
하천변 지하수 이용에 따른 영향권 설정 방안 연구(2014)	지하수 취수시 하천으로부터의 영향권에 대한 기준 설정 연구	방법론	모델링
		현장	조사
		실용화	-
		목표	하천변 지하수 수량관리 정책
하천수 영향을 고려한 하천변 지하수 관리방안 연구(2017)	하천변의 지하수 이용에 의한 영향 평가 방법을 개발하여 하천 인근의 수량관리 방안 제시	방법론	모델링
		현장	조사
		실용화	-
		목표	하천변 지하수 수량관리 정책

3절. 경제적 타당성

1. 경제성 분석

□ 분석 모델 및 기본 가정¹⁷⁾

- 본 연구과제의 기술 개발 내용은 국내 시도된 바가 거의 없고 아울러, 경제적인 평가를 위한 입력 인자 등이 정립되어 있지 않은 실정으로서, 비용의 정확한 산정과 편익의 산정에 표준화된 접근법이 마련되어 있지 않은 과업임. 따라서, 본 기획에서는 지하수 인공함양에 대한 개략적인 비용과 편익을 검토하여 연구과제의 필요성을 논하였음. 아울러, 해외에서 검토된 바 있는 BC 분석 사례를 추가하여 본 기술의 개발의 경제적 효용성을 진단하였음

○ 분석 모델

- 경제성 분석은 비용편익(Cost-benefit analysis) 분석모델을 사용하며 본 사업 추진 시 소요되는 연구비 및 시설비 등 비용과 편익을 계상하여 편익/비용비율(benefit/cost ratio)을 분석함.

○ 분석 대상기간 및 사회적 할인율

- 본 분석에서는 향후 지속적인 관련 분야 기술개발에 따라 본 사업이 미치는 범위를 연구개발에 필요한 기간인 5년간 (2017년~2021년)으로 설정함

□ 편익의 범위 및 편익요소

- 편익 산정은 미래에 예상되는 가뭄재해 중 동 연구단의 개발기술 적용 시 감소하는 가뭄 피해액을 추정하고, 연구단 개발기술이 기여한 부분을 산정함.¹⁸⁾

- 편익 = 가뭄발생 건수 × 가뭄 피해액 × 개발기술 적용율 × 기술개발 성공률 × R&D 기여율

○ 편익의 범위 및 요소

- 가뭄발생 건수 : 평균 4년 주기를 적용하여 본 연구기간 4년 중 1회 발생 하는 것으로 계상함

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

18) KISTEP, 연구개발사업의 예비타당성 조사 표준지침 (제2-1판), 2016 참조. 연구개발사업의 편익 = 미래 시장규모 × 사업기여율 × R&D 기여율 × R&D 사업화 성공률 × 부가가치율

- 가뭄 발생 지자체수를 전국 226개 시군구 중 10%인 23개 시군구로 가정 (이는 2015년 충남의 사례를 토대로 추정)
- 가뭄 피해액 : 가뭄으로 인한 피해액을 금전으로 환산하여 적용함.
- 개발기술 적용율 : 가뭄 발생 23개 시군구의 70%인 16개 시군구의 가뭄해소를 목표로 함.
- 기술개발 성공률 : 계획기간 내에 연구개발에 성공, 실용화에 성공할 확률
- R&D 기여율 : 본 연구과제를 통해 기술 개선에 기여한 비율

□ 비용의 범위 및 요소

○ 연구개발비와 가뭄대응 시설사업비 포함

- R&D 비용은 동 연구단의 향후 4년간 예산(안)으로 정부출연금과 민간 참여금의 합한 금액의 현재가치로 산정함
- 향후 시설사업비 : 향후 본 연구과제 성과를 실용화하기 위한 16개 시군구의 시설사업비를 계상하여 적용함.

□ 편익 분석

○ 가뭄은 평균 4년 주기 발생하는 것으로 추정함

- 1970년~ 2000년 까지 전국규모의 심각한 가뭄이 발생한 연도별 피해액은 다음과 같음.
- ‘70년부터 00년까지’ 30년간 가뭄이 발생한 당해연도 피해액을 GDP deflator를 적용해 불변가격으로 환산하여 연 평균치를 구하면 575,058백만 원임.

<표 97> 연도별 가뭄 피해액

(단위: 백만원)

연도	1976	1977	1981	1982	1992	1994	평균
피해액 (경상가격)	42,044	89,370	216,730	344,533	46,969	249,281	289,558
GDP Deflator	11.6	13.3	28.0	29.7	54.9	62.9	-
피해액 (불변가격)	362,448	671,955	774,036	1,160,044	85,553	396,313	575,058

참조: GDP Deflator: 2000년 = 100.0을 기준

자료: 가뭄정보시스템, <http://203.237.1.38/outlook/3m2.asp>

- 전국 226개 시군구 중 가뭄 대상지역 시군구는 전국토의 10%인 23개로 가정하고, 본 연구 과제를 통해 이 중 70%인 16개 시군구의 가뭄 해소를 목표로 함.
- 가뭄 발생 시 연간 피해규모는 전국 평균 575,058백만 원이나 본 연구목표 지역인 16개 시군구의 피해액은 지역규모 비중인 70%를 적용해 402,541백만 원으로 추정됨.
- 기술개발 성공률은 선행연구 결과를 기반으로 30%로 추정함¹⁹⁾
 - 2010년 산업기술연구회 등에 대한 국정감사 결과에 의하면 정부 연구개발(R&D)성과의 사업화 성공률이 30% 수준으로 조사된 바 있으며 이를 준용하여 적용함.
- R&D 기여율은 KISTEP의 「연구 개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(제2판)」에서 권고하고 있는 35.4%를 적용함²⁰⁾
 - KISTEP의 연구 개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(제2판)에서는 13년 7월 국가과학기술심의회에서 심의된 ‘제3차 과학기술기본계획’에서 최근 데이터를 적용하여 새롭게 구한 수치인 35.4%를 활용하는 것을 권고하고 있음.

○ 총편익 산정

<표 98> 가뭄피해 저감 총편익

(단위: 백만원)

항목	가뭄피해액 (연평균/16개 지역)	개발기술 적용율	기술개발 성공율	R&D 기여율	총편익
가뭄 피해	575,058	70%	30%	35.4%	42,749.8

□ 비용 분석

- 정부-민간 투자를 고려한 본 연구단의 총 연구비 소요예산은 227억 원임.
 - 향후 시설사업비
 - 근거: 연구개발비 중 실제 사업에서는 연구장비/재료비의 70%, 인건비의 20% 규모로 투입된다고 가정하면 평균 사업비용은 약 1,392.5백만원이며, 시군별로 5개 사업을 시행할 경우 약 6,962.5백만원에 해당
- ☞ 본 연구는 국내 최초도입 기술로서 현재는 사업비의 구체적 산정 근거가 부족한 상태로서, 추후 연구과제 종료시 재산정 필요

19) 2010년 산업기술연구회에 대한 국정감사자료

20) 연구 개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(제2판), KISTEP, 2014

□ B/C ratio 분석

- 동 연구단 총편익 42,749.8백만 원과 동 연구단의 투입 연구개발비용과 사업비를 합한 총비용 29,662.5백만 원을 고려한 B/C Ratio는 1.44로 경제성이 있는 것으로 분석됨. 따라서 본 연구사업은 비용 1 단위 투입 당 1.44 단위의 편익이 발생함.

$$- B/C \text{ Ratio} = 42,749.8 \text{ 백만 원} / 29,662.5 \text{ 백만 원} = 1.44$$

□ 해외 사례 분석

- 지하수 인공함양이 가장 활발히 진행되고 있는 인도의 경제성 평가 사례를 보면 아래 표와 같음 (Maliva, 2014, Economics of managed aquifer recharge, Water 6, 1257-1279).
- 표에서 보는 바와 같이, 지하수 인공함양의 BC는 약 1.68 정도로서 높은 편으로 평가된 바 있음.

<표 99> 인도 Amravati 지역의 WR-2 유역에서의 인공함양시설의 BC 분석 결과

지역	Recharge amount (1,000 m ³)	Total incremental income due additional irrigation (Rs)	Total annual investment (Rs)	Ratio
Amravati 지역의 WR-2 유역	357.1	713,200	424,156	1:1.68

주) 1루피(Rs) = 17.5원

2. 파급효과

□ 사회적 파급 효과

- 물 복지 취약지역인 상류 지역에 대한 체계적인 수원 확보 기술을 개발함으로써 안정적 용수 공급에 기여
- 지표수 중심의 가뭄평가 및 대응 정책에서 보다 신뢰성 높은 지하수 활용 정책을 병행할 수 있도록 기여하고 정확한 가뭄 예측 및 대책을 통하여 재난에 의한 경제적 손실의 최소화에 기여할 것으로 보임
- 가뭄 발생을 근본적으로 대처하기 위한 지표수-지하수가 연계된 수자원 총량적 제도 및 정책이 미흡하였으나, 본 과제를 통하여 가뭄에 대응하기 위한 지하수의 효율적 활용을 구현할 수 있는 정책적, 제도적 기반을 마련함
- 지표수와 지하수의 연계성에 대한 사회 인식을 제고하고 지표수의 안정적

관리 활용을 위하여 지하수에 대한 체계적인 이용관리 필요성을 현장에서 인식시킬 수 있는 기회임

- 과거에는 가뭄 발생시 지하수의 무계획적인 개발로 물 부족을 해소하는 방식이었으나, 본 과제를 통하여 가뭄 빈번 지역에 대하여 기술을 적용함으로써 보다 체계적이고 선제적인 가뭄 대응이 가능해지며, 지하수의 부분별한 개발이용을 차단할 수 있음

□ 경제적 파급 효과

- 상류지역에서의 가뭄에 견딜 수 있는 Local 용수 확보 방식의 신개념의 중소규모의 용수 확보 기술을 개발하여 상수원, 하천유지용수, 농업용수 등 다양한 용도로의 확장성을 검증함으로써 새로운 사업으로서의 방향을 제시하게 됨
 - Multi-Sand dam 기술, Ditch/Pond 방식의 인공함양 기술, Well network 기술, 기존 수원과 지하수의 연계기술, 연계 수처리 기술, 함양 원수 확보 기술, 지하수 Big data 분석 등은 국내에서 최초 시도, 개발되는 것들로서 향후 신사업의 발굴과 적용에 활용성이 높을 것임
 - 본 기술들은 동남아시아, 아프리카, 중동, 서아시아 등 해외 사업에 적용이 가능한 기술들로서 선진국의 경우에는 해당 지역에 관련 기술을 전파하고 있어 물 부족을 겪고 있는 국가를 대상으로 해외 진출에 기여할 것임
- 가뭄시에도 안정적인 용수확보가 가능한 지하수 활용 극대화의 정책적 기반을 마련하고 제도 및 정책의 변화를 통한 신산업 분야의 창출을 기대함
 - 지방상수도, 마을상수도의 추가 수원 확보 사업 발굴
 - 갈수기 및 가뭄시 하천유지용수 및 농업용수의 공급 사업 발굴
- 본 과제를 통하여 개발되는 요소기술 중 일부는 지하수의 다양한 분야에 적용이 가능한 기술로서 기존 기술을 대체할 수 있는 것이므로 지하수 개발 및 관리 사업 분야에 적용성이 높을 것임
- 또한, 최근 정부에서는 지하수를 활용한 상수원 확보 사업 계획을 검토하고 있는 만큼, 본 연구를 통하여 안정적인 기술 확보시 가뭄 상습지역이나 지표수원 부족 지역 등에 대해서는 관련 기술을 적용, 사업 추진이 가능할 것임

□ 기술적 파급 효과

- 국내 지하수의 인공함양에 대한 기술이 가뭄시 수원 확보 측면에서 수행된 바가 없으므로, 본 연구를 통하여 시간(계절)이 고려된 물의 저장(인공함양)과 활용(가뭄시 활용)이라는 물 이용관리의 새로운 기술이 확보되어 수자원

기술의 발전이 기대됨

- 요소기술별로는 모래저장형 dam, 선상지의 인공함양, Well network와 같은 그 동안 국내에서 시도된 바 없는 기술을 개발함으로써 수원 확보 기술의 다양성을 높이는 계기가 됨
- 지표수-지하수 연계에 대한 이론적인 분석이나 학술적 접근은 다수 존재하였으나, 본 연구과제와 같이 현장 중심의 물리적 연계에 대한 연구는 수행된 바가 없음. 따라서, 본 연구가 수행된다면 아래와 같은 기술적 파급 효과가 발생할 것으로 기대됨
 - 지하수 인공함양에 필요한 원수(강우, 하천수, 지하수)의 다양한 확보 기술
 - 지하수와 기존 상수도 시설의 연계(수량 및 수질) 활용에 대한 개념 체계 정립
 - 인공함양수의 갈수기 활용(하천유지용수, 농업용수, 생활용수 등)에 대한 연계 요소 기술의 확보
 - 유역 물수지적 측면에서의 갈수기 물 확보량의 증대에 대한 평가 및 검증 기술의 확보
 - 주변 환경적 영향을 최소화할 수 있는 함양 및 연계 기술 확보로 향후 사업의 안정적 추진 보장

제 7장

과제제안요구서 및 평가기준 설정

1절 과제제안 요구서

2절 평가기준 설정



7장. 과제 제안요구서 및 평가기준 설정

1절. 과제 제안요구서(RFP)

1. 연구단

연구개발과제명	상시 가뭄지역의 지하수 최적 공급관리를 위한 IoT 기반 인공함양 및 well network 기술 개발
1. 연구개발 목표	■ 지하수 인공함양을 통한 상시가뭄 지역의 지하수 부존량 20% 증대 및 기존 수자원시설 연계 공급 기술 확보 ○ 다단식 모래저장형 dam 활용 소규모 인공함양 기술 개발 - 모래저장형 dam 등을 활용하여 가뭄시 물 공급능력 20% 개선 ○ 중소규모 하천 중류부 평탄지역(선상지 등)에 대한 인공함양 기반의 Hybrid형 용수 확보 기술 개발 - 인공함양을 통한 갈수기 함양량 30% 증대 및 수평정 취수 기술 확보로 가뭄시 공급량 20% 증대 ○ Well Network System을 활용한 가뭄 대응 기술 - 기존 관정의 가뭄시 이용량 30% 증대 및 인공함양 통합 평가 기술 개발
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 국내 환경 측면의 필요성 - 국내 유역 상류 지역은 상수도 공급체계가 미흡하고 물복지 취약지역에 해당될 뿐 아니라 지역특성상 강우의 하천 유출이 빨라 가뭄 발생에 취약 - 유역 상류의 지역 특성상 단기 가뭄시 신속히 용수를 확보할 수 있도록 계곡수와 지하수를 병합할 수 있는 모래저장형 Dam 기술이 요구 - 충적층 발달(수m 이상이나 하천변에 비하여 상대적으로 얇은 충적층) 선상지형 인공함양지의 많은 양의 지하수

개발을 위해서 수직정보다는 수평정이 적합하나 이의 적용 기술 부족

- 선상지의 경우 지류임에도 불구하고 충분한 대수층이 존재하므로 낮아진 지하수위를 높여 수량을 증대하기 위한 기술로서 환경적 영향이 최소화 할 수 있는 인공함양 기술 확보 필요
- 중상류 소하천은 전석, 호박돌, 자갈, 모래 등 하상재료의 규모가 다양하여 하상변동 예측의 정확도가 낮은 만큼, 함양원수 확보 시설물의 설치에 따른 하상변동의 예측 및 영향 평가 기술 개발은 매우 중요
- 선상지에서의 인공함양 및 취수 시설의 개발은 기존 지하수 사용자에게 긍정적/부정적 영향을 미칠 수 있으므로, 이에 대한 정량적 평가 필요
- 선상지내 물 수요(특히 농업용수 이용) 특성 및 가뭄 시나리오 등에 따른 인공함양 및 취수 공급의 최적화가 필요
- 지속되는 가뭄에 대해 다양한 조치들(댐, 준설, 긴급 관정 굴착 등)을 마련하여 수행 중이지만, 각 지역별 특성을 제대로 반영하지 못하고 있는 문제가 있으며, 중장기적 상시 대책으로 활용가능한 시설 지하수 관정에 대한 실태 및 운영에 대한 정보 구축 미흡
- 가뭄 발생시 용수 부족분은 지역특성에 따라 일 수백 톤 이내로서 지하수에 의한 공급 가능하나 기존 관정 활용 방안 미흡

○ 국외 환경 측면의 필요성

- 선진국에서는 20년 이상 모래저장형 Dam 기술을 활용하여 아프리카 등 가뭄 지역에서 활용
- 다양한 수원을 활용한 상류지역의 안정적 수자원 공급 기술로 국지적인 물부족 지역 등 해외시장 진출을 위한 차별화된 기반기술 개발 필요
- 해외 각국은 경제성장에 따른 물 수요가 증가와 비례하여 물 부족 문제를 겪고 있으며, 문제 해결을 위해 공공 및 민간 부분이 노력하고 있으며 축적된 관련 기술로 해외 진출 확대 필요

- 해외 선진국의 경우 수천톤~수만톤 이상 규모의 대형 인공 함양 기술이 기 확보되어 국내와의 큰 격차 존재
- * 미국 Sonoma county에 35만톤/일의 함양수 취수, Peace river는 68,000톤/일, 네덜란드는 3500 ha에서 19만톤/일, 필리핀의 경우 22,000톤/일, 중국의 북경지역에서는 93,000톤/일의 주입수 취수 등
- * 미국 California주의 경우 지하수 사용자의 잉여 지하수를 Banking 시스템에 연계하여 물 부족시 활용할 수 있는 시스템을 도입하고 있음

□ 기술동향 ○ 국내 기술 동향

- 지하댐 기술은 1980년대 농어촌공사가 설치한 일부 시설 및 속초 쌍천에 적용된 바 있으나, 모래저장형 dam의 경우는 적용 사례 없음
- 지하수 인공함양 기술 중에서 관정을 활용한 지중 주입 기술은 제주도의 다공질 현무암 지대에서의 연구가 성공적으로 수행된 바 있음
- 국내에서는 4대강을 비롯한 본류 하천에 가동보를 설치하여 인위적인 수문조작을 통하여 하천수위를 조절하고 있으나, 실제 소하천에 실용적으로 적용하여 함양원수를 확보할 수 있는 기술은 매우 부족
- 기존 관정의 가뭄(낮은 지하수위 및 지하수 취수 욕구 증대 등의 조건)시 대응 능력 및 공급 능력에 대한 평가 기준이 없어 가뭄시 기존 관정의 효율적 활용에 한계
- 지하수 개발 공급은 소규모 분지내에서 다수의 관정에 의하여 이루어지는 것이 일반적이므로 우리나라의 정보통신 및 IoT 기술을 접목한다면 실질적인 시설 연계를 통한 용수 총량 증대 및 가뭄 대응 가능
- 현재 양반 지하수의 수질에 대한 부분은 수질의 기원적인 이화학적 특성에 대한 연구가 대부분이며, 가뭄에 대비하여 기존 상수원과 연계시 발생할 수 있는 수처리 기법에 대한 연구는 전무
- 지표수-지하수 연계 평가에 대해서는 통합수문모형으로서 수치모형 (SWAT-Modflow, TanI 등)에 의한 평가 도구들이 개발, 적용되고 있으나, 지하수와 지표수간의 상호 작용에 대한 연구에 국한되어 있고 시설 연계를 반영한 평가는 거의 없음

○ 국외기술동향

- 국외에서는 지표수와 지하수의 연계 이용 방식 (conjunctive use strategy) 중 하나로써, 훗날의 이용을 위하여 대수층에 물을 저장하고 할당하는 방식인 Groundwater Banking이 부각
- 네덜란드의 경우에는, 수평정 굴착 기술(HDD Well 시스템)의 첨단 기술 접목을 통하여 충적 분지에서의 지하수 개발 효율을 극대화
- UNESCO 등 UN 기관에서도 개발도상국이나 후진국의 물부족 현상을 해소하고자 인공함양 기술을 적극 보급하고 있음
- 인공함양을 통한 무약품 정수처리 시설로 운영하여 실질적으로 염소를 사용하지 않는 청정수자원으로 활용하고 있음 (네덜란드, 일부 독일지역)
- 해외의 경우 인공함양 사업이 선진국을 중심으로 활발히 이루어지고 있는 만큼 모니터링 및 예측기술의 개발이 적극적으로 추진되나, 환경 및 지질특성의 상이성 등으로 국내에 직접적으로 적용하기 어려움
- 프랑스 Alstom사는 부력을 이용하여 보 상류의 수위조절이 가능한 Amil gate 개발을 시작으로 상하류 조절이 가능한 AMO, AMIS gate로 발전
- 미국, 네덜란드, 중국, 스페인 등 선진 외국에서는 대규모의 지하수 인공함양 기술(Ditch, Basin, Well, Channel modification 등)을 현장에 적용하여 취수 원수를 확보
- Adaptive grids, Smart grids 등으로 수자원의 수요와 공급을 효율적으로 매칭시키는 연구들이 진행. 공급지의 수자원 상태를 실시간으로 모니터링하는 센서 기반으로 모델링 프로그램과 연계하여 효율적인 공급 또는 관리 방법을 제시

3. 연구개발내용

□ 세부과제별
연구내용

- 다단식 모래저장형 dam 활용 소규모 인공함양 기술 개발
 - 모래저장형 Dam의 설계·시공 기술 개발
 - 상류 유역 지하수 개발가능량 산정 기술 개발
- 선상지 인공함양 기반의 Hybrid형 용수 확보 기술 개발

	- 수평정 굴진 기술 개발 - 선상지 인공함양 설계·시공 기술 개발 - 인공함양 원수 확보 기술(수로변형법 등) 개발 ○ Well Network System을 활용한 가뭄 대응 기술 - 관정 용수공급 능력 평가 기술 개발 - 관정 연계 설계·시공 기술 - 가뭄 상황별 용수공급 시나리오 개발 - 관정과 기존시설 연계에 따른 수처리 기술 개발
4. 연구개발 추진방법	
□ 추진전략	○ 통합 Testbed의 조속한 선정, Testbed내에서의 연구 시스템 구축은 본 연구의 성공 여부에 영향을 미칠 수 있으므로 지역 주민, 지방자치단체 등의 긴밀한 협조 및 적극적인 참여 필요 ○ 이를 위하여, 1차년도에 Testbed의 후보지 선정이 필요하며, 2차년도 착수 이전에 지방자치단체 등을 대상으로 과제 참여에 대한 공모를 실시하고, 2차년 이후 지방자치단체 등의 적극적인 참여 필요 ○ 지방자치단체 등 참여를 위한 공모시 다음 사항이 제시, 평가될 필요가 있음 - Testbed 현장의 적합성, 인허가 등 행정 처리의 지원 방안, 연구주체와 주민의 협조 체계 지원 방안, 연구비 매칭 펀드의 투입, 지방자치단체의 역할, 연구 종료후 조치, 이전 및 운영, 활용 방안 등 ○ 본 연구는 가뭄 단계별로 지표수-지하수 연계를 통한 최적 공급 기술을 수립하는 것으로서 현장 및 모델 기반의 연구에 기초하고 있으며, 데이터의 취득 및 현장의 공유 등을 위하여 세부과제내 타 단위과제 및 타 세부과제와의 긴밀한 협력이 요구됨
□ 추진체계	○ 본 과제는 기본적으로 현장 실증을 기반으로 실용화 기술을 개발하는 것으로서, 현장 기술 확보, 실내의 성과 검증, 장치 개발 등이 복합적으로 수행되어야 하므로 관련 전문기관간의 역할 분담이 매우 중요함 ○ 국가지하수정보센터 등 지하수 DB 보유 기관의 적극적 지원/협력이 요구되며, Big data 분석에 의한 국가의 표준화된 지하수 개

	발가능성에 대한 진단을 수행하는 과제인 만큼 연구기관이나 공공기관의 참여가 바람직함 ○ 각 세부과제별로 각계 전문가 자문단을 구성하여, 연구개발의 기술적·정책적·경제적 보완 사항에 대한 자문 필요 ○ 본 과제에서 현장 설계와 시공에 대한 새로운 기술을 개발하는 경우는 기업이 주도적으로 수행하는 것이 바람직하나, 분석 등 핵심 요소 기술에 대해서는 연구기관/공공기관의 참여가 필요하며, 국내 최초 시도되는 기술 분야(인공함양 원수 확보, 수질 또는 주입 기술 관련)에 대해서는 선진 외국의 전문가 또는 전문기관의 참여 필요
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	○ 다단식 모래저장형 dam 활용 소규모 인공함양 기술 개발 - 모래저장형 dam 연구 현장 선정 1개소 이상 및 관련 보고서 - 상류지역 지하수 수문특성 분석 보고서 - 모래저장형 dam 조사 및 설계 지침 - 함양 수원 확보 장치 또는 기술(특허) - 기존 취수원 연계 시공 및 정수처리 설계 기준 - 모래저장형 dam 시설 운영 관리 지침 및 수질 관리 가이드라인 등 ○ 선상지 인공함양 기반의 Hybrid형 용수 확보 기술 개발 - 선상지형 인공함양지 최적 개발지역 선정 기준 및 보고서 - 인공함양원수 확보 시설 최적화 프로그램 및 기본설계 보고서 - 인공함양 방법 선정, 최적 함양량 설정 보고서 및 설계서 - 지층 특성별 대응 최적 굴진 시스템 및 보고서 - 기존 상수원 연계 인공함양수 수처리 가이드라인 - 인공함양 기반 수요-공급 체계 운영 지침 등 ○ Well Network System을 활용한 가뭄 대응 기술 - 기존 관정 시설 운영 및 용수 공급 능력 평가 보고서 - 관정 network system 설계서 - 관정 network system 시범 운영 보고서 - 가뭄 시나리오에 따른 관정 network system 운영 지침

	- 통합 TB 구축(모래저장형 dam, 선상지 인공함양, well network system 등)을 포함한 시범사업 수행 - 통합 TB에 대한 물수지적 통합 효과 평가 보고서 등
6. 활용방안 및 기대효과	
□ 활용방안	○ 다단식 모래저장형 Dam 및 선상지 인공함양 기술은 상대적 강우 시에 물을 지중에 저장하는 기술로서 상류 지역에서 설치하여 기존 물 공급체계와 연동하여 활용 ○ Well Network System 기술은 기존 관정의 활용을 극대화하기 위한 기술로서 지하수 관정이 많고 사용량이 과다한 지역에 적용하여 물공급관리 최적화에 활용 ○ 대형 지하수 관정 시설 가뭄 대응력 평가 및 성능개선 기술을 개발하여 가뭄발생시 기존관정을 활용한 신속한 용수 확보 가능 ○ 지류하천 상류, 하류 등 지형 유형에 맞춘 인공함양 방식 도입으로 안정적인 수원 확보 가능
□ 기대효과	○ 무분별한 지하수 관정으로 실패에 따른 예산 낭비를 방지 ○ 가뭄이 가장 빨리 찾아오는 상류지역에 대한 수문 변화를 평가하고 하류의 추가적 가뭄 진행에 대한 사전 대응에 기여 및 마을상수도 등 취수원 취약 지역의 보조수자원 확보를 통한 가뭄시 대응력 제고 ○ 모래저장형 dam 및 선상지 인공함양 기술을 연계한 (간이)상수도 수처리 기술의 해결을 통하여 수원의 다양화를 위한 정책적 의사 결정을 지원 ○ 가뭄에 대한 국가의 선제적 대응 정책으로서 대형관정 활용방안 수립이 가능하고 신규 굴착을 줄이고 기존 대형관정 활용성을 제고함으로써 신산업 분야 창출 및 환경 보전에 기여
7. 연구개발기간 및 소요예산	
	○ 총 연구기간 : 2018. 4 ~ 2022. 12 (4년 9개월) - 1차년도 연구개발기간 : 2018. 4 ~ 2018. 12 (9개월) ○ 총 정부출연금 : 12,720 백만원 이내 - 1차년도 정부출연금 : 765 백만원 이내

- ※ 정부출연금은 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
- ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
- ※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수
- ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

- 본 과제의 보안등급은 “일반 과제”임
- 연구단장 신청자는 반드시 세부과제의 주관연구책임자로 참여하여야 함
- 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음
- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - * www.kaia.re.kr 열린정보, <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발 결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - * 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 연구개발계획서에 세부 과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

- * (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성
- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시
- 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적인 방안을 제시해야 함
 - * 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능
- 세부과제(기술)별로 기술도입, 원천기술 개발 등 기술 확보 전략을 연구개발 계획에 제시해야 함
 - 연구개발 기술 수준을 TRL로 설정하고 이에 합당한 근거를 제시하여야 함
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제 추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도 기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
- 추후 연구개발 계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
 - 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음
- 기타 세부적인 연구내용, 주요 성과물, 연구비(안) 등은 기획보고서 참조

2절. 평가기준 설정

1. 평가항목

☐ 연구개발 목표

- 지류 유역 및 상류에서의 가뭄에 대응하기 위한 지하수 인공함양 기술 확보로 갈수기 지하수 부존량 20% 증대 및 기존 수자원시설 연계 공급 기술을 확보하는 것을 목적으로 최종 목표에 부합되도록 각 과제의 구성과 연차별 목표 및 최종 목표를 설정하여 제시
- 연차별 목표 및 최종목표의 달성에 대한 정량적인 평가를 위하여 국토교통부 R&D 성과 지표에 따라 명확한 성과지표 설정과 평가기준 제시

☐ 연구개발 내용

- 현장 중심의 실용화를 전제로 한 기술 개발과 실현을 위한 체계적이고 실천적인 과제 구성이 필요함
- 일부 과제의 경우에는 가뭄시 지하수 활용의 정책 발굴 및 공공성 기술을 확보할 수 있도록 과제 구성이 필요
- 기획 과제에서 제시한 연구목표 및 기술개발 요청사항에 대하여 제안과제의 적정성, 상향된 목표 제시 여부 평가
- 산학연관민의 긴밀한 협력 체계하에서 연구 과제의 추진이 필요하므로 체계적인 과제 구성 및 추진 체계 구성 여부 평가
- 최종목표 달성을 위한 각 과제간 연계 여부 및 과제간 개발사항의 중복 여부 및 차별성, 적정성 평가

☐ 추진전략 및 계획

- 연구개발 성과목표·지표체계, 실용성 검증 및 사업화 추진계획 등을 연구개발계획서에 필히 제시하며 이를 통해 향후 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
- 통합 Testbed의 구축이 본 연구 과제의 성공의 선결 요건이 될 수 있으므로, Testbed의 조속한 선정 및 구축 방안이 구체적으로 수립되었는지에 대한 평가 필요

- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제 추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공, 현장제공, 시제품 제작 등)이 명확하여야 함
- 지원한 기관 및 연구진은 기초/원천기술, 응용기술, 실용화기술 등 과제성격에 따른 성과물을 얻을 수 있는 능력을 갖춘 수준이 요구되며, 인공함양 원수 확보 또는 주입 기술 등에 대해서는 필요에 따라서 외국 전문가 또는 전문 기관의 참여가 필요함
- 과제의 단계별 추진사항이 연구목표 달성을 위해 타당한가를 평가하고 연구개발 사항과 이를 위한 구체적 추진방안 수립 여부
- 세부과제 및 단위과제간의 Data 연계, 개발 기술 공유, 현장의 공유 등에 대한 체계적인 구성을 갖추고 시너지 효과를 달성하고자 하는 구체적 방안이 있는지에 대한 평가
- 과제의 목표달성을 위한 연구기간의 단계설정과 연구개발비의 적정하게 편성 여부

□ 개발기술의 실용성 및 경제성

- 기관 선정의 우선 순위는 지하수의 개발 및 평가 등의 분야에서 이론적 수준, 현장 실용화의 수준, 세계 수준의 기술 경쟁력 보유 수준 등을 복합적으로 고려하여 결정함
- 현재 기술수준과 비교하여 목표한 개발기술의 향상 정도, 기술선도국 대비 예상수준, 기술의 경쟁력 수준 등에 대하여 정성적 또는 정량적 평가 여부
- 연구기관 또는 참여기관을 통한 개발기술의 실용화 및 사업화 방안이 성과지표의 구체적 항목으로 제시 여부
- 개발되는 과제 결과는 실험실 내의 제한된 범위와 조건과는 달리 현장의 여건과 환경을 고려한 실질적이고 실현가능한 기술 여부
- 개발기술의 경제적 기대성과로서 투자 및 파급효과 등에 대한 평가방안이 구체적으로 제시 여부 및 연구단 전체 기술의 통합적 평가 방안에 대한 제시 여부

□ 연구책임자의 전문성 및 관리능력

- 연구책임자는 과제 내의 세부과제 및 세세부과제 간에 유기적인 결합이 원활하게 추진되도록 할 필요가 있으며, 국내 최초 개발 기술인 점을 고려하

여 지하수 인공함양 및 개발 분야의 이해도가 높은 전문가를 필요로 함

- 연구책임자는 각 과제의 연구기관과의 협조체제 구축은 물론 과제내에서 진행되는 과제 관리, 대외기술협력 등 해당 사업의 원활한 추진을 위한 역할을 수행해야 하여 이에 대한 역량을 갖추어야 함
- 연구책임자는 국토교통부에서 실시하는 해당분야의 산업육성, 발전정책 및 종합계획 수립 등 관련 업무 추진 시, 기술자문 및 적극적인 업무협조 역할을 수행해야 함

<평가항목별 배점기준(안)>

기준 항목		세부 항목
연구개발 목표 (10점)		최종목표 및 연차별 목표의 명확성, 타당성 (5점) 성과지표와 평가기준의 명확성, 적정성 (5점)
연구개발 내용 (25점)		연구개발 최종목표와의 부합성 (5점) 과제구성의 체계성, 실현가능성 (5점) 세부과제간의 상호연계성, 연계방안의 구체성 (10점) 연구개발내용의 차별성 및 독창성 (5점)
추진체계 및 전략 (25점)		연구추진 체계 및 전략의 구체성, 타당성 (5점) 연구단계별 추진방안의 구체성 (5점) 연구기간 및 연구비 편성의 적절성 (5점) 테스트베드 조기 구축 방안의 구체성, 타당성 (10점)
연구성과물 활용계획의 구체성 및 달성 가능성 (25점)		성과물 활용 및 실용화 방안의 구체성, 적절성 (10점) 성과물의 실용화 가능성 (10점) 연구단 차원의 실용화 촉진 방안의 구체성 (5점)
연구진 구성의 전문성 및 연구책임자의 관리 능력 (15점)		연구책임자의 전문성 및 해당분야 실적 (10점) 연구진 전문성 및 구성의 적정성 (5점)
기타	부합성	평가위원 과반수이상이 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는다고 판정 시 탈락조치
	중복성	평가위원 과반수이상이 기 수행되었거나 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정 시 탈락조치

주)총점은 100점이며, 60점 미만인 경우에는 탈락조치

주) 해당 분야 실적에서 해당 분야란 “지하수 함양 및 개발” 을 의미함

2. 가점 및 감점기준

☐ 국토교통부 소관 연구개발사업 운영규정 제 23조 9항 관련하여 아래의 우대·감점을 적용함

〈연구개발과제 선정의 우대·감점의 기준 및 방법(제23조제9항 관련)〉

1. 가점 부여항목

- 가. 최종평가 결과가 최우수등급인 연구개발과제의 연구책임자가 해당 평가를 실시한 전문기관의 장에게 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 최종평가 후 2년간 선정 평가점수의 5% 이내 가점 부여
- 나. 최근 3년 이내에 국내외 과학기술논문색인지수(Science Citation Index) 논문에 기고한 실적이 있는 연구책임자가 연구개발과제를 신청하는 경우, 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여
- 다. 최근 3년 이내에 협약한 연구개발과제로서 협약 시 보안과제로 분류된 연구개발과제의 연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여
- 라. 최근 3년 이내에 기술실시계약을 체결하여 징수한 기술료 총액이 2천만원 이상이거나, 같은 기간 내에 2건 이상의 기술이전 실적이 있는 연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여
- 마. 최근 3년 이내에 공동관리규정 제17조제9항에 따라 포상을 받은 연구자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여
- 바. 최근 2년 이내에 「건설기술 진흥법」 제14조에 따른 건설신기술 또는 「국가통합교통체계효율화법」 제102조에 따른 교통신기술을 받은 중소·중견기업이 연구개발과제를 신청하는 경우 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여
- 사. 최근 2년 이내에 국토교통부장관으로부터 녹색인증 및 확인을 받은 실적이 있는 연구자 및 연구기관이 관련 녹색기술로 신규과제를 신청하는 경우 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여
- 아. 중소기업 또는 제4조제1항제10호에 의한 산업기술연구조합이 참여한 경우 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여

2. 감점 부여항목

- 가. 최근 3년 이내에 공동관리규정 제31조제3항에 따라 연구부정행위로 판단되어 협약이 해약된 연구개발과제의 연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 선정 평가점수의 10% 이내 감점 부여
- 나. 최종평가 결과가 최하위등급(상대평가 시 하위 10% 등급, 절대평가 시 만점의 50% 이하)인 연구개발과제의 연구책임자가 해당 평가를 실시한 전문기관의 장에게 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 최종평가 후 2년간 선정 평가점수의 5% 이내 감점 부여
- 다. 연구개발과제 선정 후 정당한 사유 없이 협약을 포기한 경력이 있는 연구책임자나 기업의 경우에는 협약 포기 후 3년간 선정 평가점수의 5% 이내의 감점 부여
- 라. 연구개발과제의 연구수행 중 연구를 포기한 경력이 있는 연구책임자나 기업의 경우에는 연구 포기 후 3년간 선정 평가점수의 5% 이내의 감점 부여
- 마. 최종평가 결과가 하위등급(상대평가 시 하위 30% 등급, 절대평가 시 만점의 60% 이하)인 연구개발과제의 연구책임자가 해당 평가를 실시한 전문기관의 장에게 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 최종평가 후 2년간 선정 평가점수의 3% 이내 감점 부여
- 바. 「하도급거래 공정화에 관한 법률」을 최근 3년 이내에 상습적으로 위반한 기업이 연구개발과제를 신청한 경우에 그러한 위반 사실이 같은 법 제26조에 따른 공정거래위원회로부터 관계 행정기관의 장에의 통보 등을 통하여 확인될 경우, 선정 평가점수의 5% 이내 감점 부여
- 사. 그 밖에 장관이 정하는 경우

부 록

1. 기술수요조사결과 요약서
2. 과제 요약서
3. [참고] 연차별 세부과제 연구내용



별첨 1. ‘기술수요조사결과’ 요약서

구분	제안기술명	기술개발 내용
1. 지하수자원의 가뭄 대응력 평가 및 관리 기술		
1	IOT와 융합된 저비용 고효율 지하수와 토양 수분 관측장치 개발 및 웹서버 구축	- LoRA 모듈과 토양수분, 지하수위/수질 모니터링 장비 의 연결 모듈개발 및 웹 서버 개발
2	(기술명 미제시)	- 기존 지하수 장애가 나타난 지역을 중심으로 지하수 수량·수질 자료의 수집 및 다양한 선진적 기계학습 기 법을 통한 분석(훈련)을 실시하고 자료 특성 도출 - 미활용지역 자료 및 훈련된 기법에 기초하여 이상 징 후의 사전적 인지 가능성을 검토 - 추계론적 예측을 통하여 지하수 이상 징후가 가지는 위해성(risk)을 분석함으로써 발생될 수 있는 정량적 손실지표 도출
3	가뭄 대응을 위한 토양 수분 평가 및 예측 프 로그램 개발	- 가뭄 대응을 위한 토양 수분 평가 및 예측 프로그램 개발 - 가뭄 취약지구 평가 기술 개발 - 기후 변화 시나리오에 따른 가뭄취약지역 데이터 베 이스 구축
4	기후변화와 지하수-토 양환경 모니터링 자료 기반의 가뭄예측시스템	- 기후 변화를 고려한 광역단위 가뭄예측 및 경계예보 시스템(SW) 개발 - GIS기반 가뭄예측 모델 개발
5	기상변화 및 토양수분 변화에 따른 함양량 산 정기법 개발	- 기상변화 및 토양수분 상태에 따른 함양량 산정기법 을 개발 1. 현장 조사 매뉴얼(조사 항목 및 방법, 조사지점 등) 작성 2. 분석방법 개발 및 검증 3. 개발 기술의 현장 적용을 통한 지하수자원 활용성 평가 4. 가뭄지역 적용성 평가
6	지하수자원 확보시설 설치를 위한 빅데이터 구축	- 청문·문헌조사(지형도, 항공사진)를 통한 기존하천 경 계 확인 - 물리탐사를 통한 개략 경계 분석 - 시추조사에 의한 지하 매질 구분 및 물성 시험 - 지리정보시스템을 활용한 빅데이터 구축 및 활용 - 전국 10ha 이상 시설농업단지 323개소 중 지자체별 시범 연구 후, 전국 확대(자료:한국농어촌공사)
7	실생활 가뭄지수 판단 을 위한 토양상태 및 일사량, 일사강도 통합 계측시스템 구축	- 토양의 깊이별 수분을 측정할 수 있는 센서 및 계측 기 개발 (1~10cm단위로 깊이별 토양수분 동시계측) - 대기압, 습도, 온도, 일사량, 자외선 강도 등 대기환경 을 통합적으로 모니터링 할 수 있는 계측장치 - 토양 다점 설치 및 대기환경 원격 계측데이터를 기준 으로하는 가뭄대책 알고리즘 개발 - 분석 알고리즘에 따른 생육환경기준 지하수 유량 자 동제어 및 공급수 자동 조절시스템 개발

구분	제안기술명	기술개발 내용
8	RS를 이용한 토양수분 예측 기술	- RS를 이용한 토양수분 예측 기술'-
9	시추공 big data 기반 3D-수리지질 대수층 모델을 통한 대용량 지하수부존 최적지 평가 기술	- 시추공 지질주상도 기반 대수층 3D- 수리특성 분석기술 개발 - big data 기반 3D-수리지질 대수층 통합모델 기술 개발 - 3D-수리지질 대수층 모델을 통한 대용량 지하수 부존 유망지 평가기술 개발
10	습윤지수(wetness index) 기반의 토양 습윤도 계측을 통한 가뭄 예측 기법 개발	- 공간적 지반물성(밀도, 단위중량, 투수계수 등)별 토양의 공학적 특성과 강우에 따른 토양 습윤도의 상관관계 연구 - 습윤지수(wetnessindex) 기반의 토양 습윤도에 따른 지하수위 변화패턴 정립 - 예상 강우량과 토양 습윤도 모니터링(계측)을 이용한 가뭄 예측시스템 모듈 개발
2. 평시 가뭄 대응을 위한 지역특성별 지표수 연계 지하수 활용 기술		
11	지표수-상수도-지하수 통합 물수지 평가 모델링 기법 개발	- 대한민국 주요 도시 및 하천 특성 분석 (landsat 자료 이용) - 지형자료를 통해 하천주변의 지표환경 특성분석(공장, 농경지, 주거지, 기수역 등) - 한반도 관측기상데이터 분석을 통한 기후모델 설정 (50년 평균자료 이용) - 지표환경 특성에 따른 대표지역을 선정하여고 해상도 Landsat자료를 이용하여 50kmX50km 영역에 대한 지표수-상수도-지하수 통합모델개발 (지표 환경 특성별 5~10 종류의 모델 개발) - 댐저수상황을 고려하여 시군단위지역에 대한 통합상수도-하천-지하수 모형 개발 및 분석
12	한반도 유역 및 기후 특성과 지표환경 변화를 고려한 지표수-토양-지하수 연계 분포형 통합 물수지 분석 기술	- 한반도 유출 특성을 고려한 지표 유출 분석법 개발 - 국내 토양환경에 적합한 토양수분 모델개발 - 상수도, 댐, 함양지 등 수자원 시설을 고려한 통합 분석도구 개발
13	지표수-지하수 연계 지하수 개발가능량 평가 기법 개발	- 유역 특성별(규모, 위치 및 수리지질) 개발가능량 평가 기준 및 방법 제시 - 하천유량이 고려된 소하천 상류지역 지하수 개발 가능량평가 기법 개발 - 수량이 풍부한 하천 하류지역 지하수 개발 가능량 평가기법 개발 - 지하수 이용방법(소모적/비소모적)이 고려된 개발가능량 평가기법 개발 - 관정분포(밀집형/분산형)가 고려된 개발가능량 평가기법 개발
14	지속가능한 지표수 연계 지하수자원 개발 및 가뭄 대비 효율적 이용 방안	- 지표수-지하수 연계 모델링 기반 구축 및 적용성 평가 - 유역수문학적 해석에 따른 시공간적 물순환 건전성 평가

구분	제안기술명	기술개발 내용
		- 지하수 취수에 따른 함양량 변화에 따른 하천건천화, 가뭄평가 - 지하수의 공간적 분포 및 대수층 특성, 사회·경제적요소를 고려한 유역단위 안전지하수 취수량 산정 - 시공간적 물순환 건전성 평가에 따른 가뭄취약지역 분석 - 지표수 변동으로 인한 지하수환경의 시공간적 변동과 영향분석 - 지하수의 양적, 질적평가 및 생태적 가치와 기능고찰 - 지하수 자원개발에 따른 하천수위 변화, 그로인한 생태학적 변동과 영향분석 - 시공간적 특성을 고려한 지하수개발 가능량 산정 및 예측
15	산지 계류 사방댐을 활용한 지표수 연계 지하수 증대 기술 개발	- 사방댐 하부 지하수 차수 공법의 설계 및 시공 기술 개발 - 정밀한 물막이 시공기법 개발
3. 평시 가뭄 대응을 위한 지하수-상수원 연계 활용 기술		
16	강원 산간 미급수지역 모래저장형 지하수담 개발	- 모래저장형 지하수담 개발(신규담, 재개발, 사방댐 활용 등)
17	산간계곡 가뭄대비 지하수은행(Groundwater Bank) 적용기술 개발	- 지하수은행 세가지 핵심요소기술 적용 개발 1. 이슬포집 및 인공함양 기술 2. 계곡부 샌드 스토리지 적용기술 3. 탁수저감 및 암반저장기술의 탄력적 적용
18	소규모 미급수 지역 가뭄 해결을 위한 지하수 확보 방안 연구	- 저비용 고효율 지하담 개발 기술, 효율적 운영(유지관리 등) 기술 등
19	농업용저수지와 지하수의 연계를 통한 가뭄대응력 제고 기술	- 적지분석, 가뭄해석, 필요수량 추정, 연계방식 및 물공급 시나리오 도출, 연계이용 시뮬레이션, 수자원확보량 산정 등
20	선상지 및 인공함양지에서의 대용량 취수를 위한 수평취수정 설계 및 시공기술	- 취수원 분포지 탐사 및 조사기술 확보 - 암반 및 호박돌, 전석에서의 수평정설계 기술확보 - 암반 및 호박돌, 전석에서의 수평정시공 기술(100M이상굴진)확보
21	지표수-지하수 통합 모델링을 이용한 수자원 수요-공급 최적화 프로그램 개발	- 수자원 수요-공급관련 최적함수 설정 - 최적함수 모델프로그램 개발 - 지표수-지하수 연계모델과 연동하여 실제 지역별 가뭄에 대한 최적수자원 공급시나리오 제공
22	지하수 취수시설과 기존 상수원 연계를 위한 지하수 수질 전처리 기술	- 지하수의 수질을 먹는 물 또는 기존 정수장 유입 원수 수질기준에 도달하는 원위치 처리기술
23	지하수자원의 자정작용 정량화를 통한 기존 상수원과의 연계 처리 최적화 기술	- 기후변화에 따른 수온상승, 가뭄 등 앞으로 급격한 기후변화에 적응을 위한 기술로 지하수 용수공급을 기존 수자원과 연계하여 지속가능한 지하수자원을 확보함 1. 기존 대수층 지하수 취수방식들에서의 (집수정, 인

구분	제안기술명	기술개발 내용
		공함양, 수평정, 암반지하수 등) 자정작용을 통한 수질개선능 예측 및 정량화 2. 기존 상수원 수처리 공정들과 연계 가능한 기술들을 도출하여 가뭄대비 지하수 연계기술 개발 3. 통합관리 시스템을 통하여 지하수 취수 방식에 따른 기존 상수원에서의 대응을 위한 적정기술 (BAT) 제안 및 검증
24	지표수-지하수 통합관리를 위한 최적 수자원 배분 및 운영기술 개발	- 지표수-지하수를 연계한 격자기반의 통합유동 해석모형 개발 - 지표수-지하수 최적 연계이용을 고려한 다목적 수자원 관리기법 개발 - 지표수-지하수 저류지 연계 저류량 산정기술 개발 - 홍수기/갈수기의 다목적 양수/함양시설 조합의 최적화 기술개발 - 지표수-지하수의 최적 연계 이용을 위한 물공급시설 제어운영 기술개발 - 수자원 확보 및 공급시스템의 최적운영 기술개발
25	지역 맞춤형 지하수자원 및 지표수자원 최적 연계 운영 및 관리 기술 개발	- 지역별 지하수 및 지표수자원의 최적연계운영을 위한 지역별 다중취수원 및 수자원관련 자료 수집 - 가뭄시 최적 연계운영 시스템개발 - 평상시 최적 연계운영 시스템개발 - Testbed 또는 Pilotplant 적용
26	가뭄대응에 따른 지하수 수량 및 수질 개선을 위한 다단 지하댐 설계	- 지하댐의 상류측에서 하류 지하댐 내로 유입되는 유량을 지연하거나 탁수가 유입되는 것을 저감할 목적으로 하류의 지하댐으로부터 상류에 천부 지하댐을 건설함
27	해안 도서 지방 상수원으로서의 염지하수의 최적 공급 기술	- 염지하수 관정 개발 기술 연구 : 지역별 심도별 염분 농도 조절 기술 - 굴착공의 선정에 대한 지질적 사전조사의 정밀화 및 조사방법, 방향선정 - 기존 RO시스템의 소형화, 간이화
28	지하수댐 저장능력 확대 및 가뭄 대응능력 확보 기술	- 산간지역 지하수댐 최적지 평가 기술 개발 - 지하수댐 공급능력 평가기술 개발 - 지하수댐 저장능력 평가 및 향상기술 개발 - 지역특성에 적합한 지하수댐 공급능력 향상 연계기술 개발 - 지하수댐 최적운영 및 모니터링 기술개발
29	수리지질학적 특성을 고려한 상습 가뭄지역 인공함양 설계, 시공기술	- 상습 가뭄지역의 수리지질학적 특성 평가 및 대수층 특성화 - 수리지질학적 특성에 맞는 인공함양 설계시스템 개발
30	가뭄대비 지하수자원 지속가능 개발을 위한 유무인 원격탐사 및 공간모델 기반 인공함양 개발 최적지 및 지하수 개발가능지역 모니터링 기술	- 원격탐사, 공간모델 및 3차원 지질 모델 통합 분석 기반 지하수 함양유도 최적지 및 지하수 개발 가능지역 선정 - 항공기, 무인기기반의 NVDI, TIR, LIDAR 원격탐사를 통한 가뭄취약지역의 강우 및 지하수 유동경로, 지질 매체수분 보유능력 평가 - 연구지역 3차원 지질모델, 지질구조분석, 물수지해석,

구분	제안기술명	기술개발 내용
		식생, 토양층, 지표수와의 연계분석을 통한 연구지역 지하수함양 유도지선정 및 가뭄대비 최적 지하수개발 가능지역 선정 - 기후변화에 따른 가뭄별 시나리오분석 및 후보연구지역 수자원의 지속가능성 예측분석 - 미래기후 변화에 따른 가뭄 시나리오 분석, 이에따른 지하수 함양량, 증발산량, 지표유출량의 변화예측 - 연구지역 인구변화, 수자원 사용량변화등의 장기변동 예측 및 잠재오염원등의 분석을 통한 개발지하수 자원 장기 지속가능성 평가
4. 가뭄 발생시 지하수 활용 신속 대응 기술		
31	지하 대수층 탐지를 위한 융복합 물리탐사 기술 개발	- (1차년도) 선행기술조사 및 분석, 최적의 융복합 대상 물리탐사 기법 도출 - (2차년도) 융복합 알고리즘 개발 - (3차년도) 지하수 부존특성 테스트베드 현장적용, 소프트웨어개발
32	친환경 압축가스를 이용한 공공관정 정비 및 효율성 증대 기술	- 관정진단 절차 표준화/관정 효율저하 원인 규명 체계화/맞춤형 관정 기능회복 기술을 적용하여 공공관정 정비 일원화 방안
33	방치된 대용량 지하수 시설 활용을 위한 방사형집수정 재개발 및 재시공에 의한 취수량 증대기술 연구	- 기존 방사형집수정의 시설 개선을 통한 대용량 취수원 개발 기술 1. 기시공 집수정 취수능력 평가 기술 2. 수평집수관 재개발 기술 3. 수평집수관 재시공 기술 4. 수평집수관 유지관리 기술
34	대용량 지하수 취수시설의 취수량 증대를 위한 재개발 기술 국산화 연구 및 적용	- 대용량 지하수 취수시설의 재개발 및 개량 기술 및 장비를 국산화 하고 기존 시설에 적용하여 재개발에 의한 취수량 증대 효과를 검증
35	가뭄 대응 관정 재활용 및 정비 기술	- 관정 청소 및 갱생 기술 - 관정보강 및 보수기술 - 복수관정 연계 물공급 기술
36	Chain-saw cutting 방식을 통한 일반 및 강변여과 집수정의 단기 고성능 우물통 제작 시공 장비 및 시공방법 개발	- 기존 연약지반 개량용 Chain-saw Cutting장비 및 기술의 응용 변형 설계 - 설계된 장비의 제작 및 시운전 - Pilotsite에서의 우물통 시험제작 및 수평공추가 굴착 - 집수정으로서의 성능측정
37	3차원 전기비저항 영상화 기반의 지하수 고부존 지역 정밀탐사 기법 개발	- 3차원 영상화를 통한 지하수 부존량 및 개발량 평가 기술 개발
5. 기타		
38	계곡 등 지류 상류지역의 지표수 연계 지하수 인공함양 설계, 시공,	- (1단계) 1. Test-bed 부지 타당성조사 2. 지자체 MOU 체결

구분	제안기술명	기술개발 내용
	유지관리 기술	- (2단계) 1. In-channel Modifications설계기법 개발 2. MAR 설계기법 개발 3. BIM 기반의 스마트 설계.시공.유지관리시스템 - (3단계) 1. Test-bed 성능검증 2. 시제품 제작 및 상용화 계획 수립
39	가뭄 우심지역 지하수 비상 네트워크 구축 및 활용 체계 개발	- 가뭄 우심지역 지하수 관정 활용 극대화 네트워크 구축 (빅데이터 분석 기법 활용) 1. 관정별 정보를 수합, 체계화하고 가뭄시 공급량 중심으로 공급 시나리오 구성 2. 가뭄 단계별 지하수 공급 시나리오 구성 3. 정기적 관정 비양수량 모니터링으로 비상 관정 개발 후 관정 생산성 변화 경향 분석 - 지하수 공급정 생산성 증대기술 개발 1. 단시간내에 관정 생산 증대 가능한 물리적 및 수리적 복합 기술 개발 2. 적용성 시험 및 비용 경제적 적용 기술 개발
40	실제증발산 모형구축과 이에 기초한 가뭄예측 기술 및 지하수 활용연계 방안	- 현장 계측 및 자료수집 - 실제증발산 모형의 선정과 검토 - 실제증발산을 활용한 가뭄지수 개발 - 지하수수지 및 함양량평가 모형개발
41	지표수와 심부지하수의 연계 활용 및 관리기술 (Conjunctive use and management of surface water and deep groundwater)	- 연구부지 선정평가 기술 수립 및 Screen 인자 설정 - 연구부지의 지표수, 상부지하수와 암반지하수조사 및 연계성평가(수문학, 수리지질학, 지구화학적) - 부지 고유성의 적정 취수시설 설계/시공기술 도출 - 통합적인 수자원관리기법 수립
42	IT 기반의 배후지 영향을 최소화하는 취수시설 운영 시스템 개발	- 계측 및 IT 연계 집수정 통합 운영·제어 시스템 개발 1. 적용 Site 조사 및 분석 2. IT 기반 자동운영 시스템 개발 3. 취수에 따른 배후지 영향 평가 및 예측 4. 최적 운영방안 도출 및 취수량 배분 시스템 개발 - 수평 집수관별 운용효과 평가프로그램 개발
43	지하수자원을 연계한 다취수원 최적연계 용수공급 시스템 개발	- 가뭄 시 용수의 수요 및 공급을 예측하기 위한 물순환시스템 분석 및 구축 - 지표수 및 지하수연계 물수지 분석 - 통합물관리시스템과 지하수정보관리 시스템 연계
44	유역단위의 비상 가뭄 대응 자금운용 프로그램 기술 개발	- 표준유역 단위의 지하수-상수원-지표수 총량 평가 기술 - 유역별 가뭄시 확보가능한 자금운용 방안마련 - 가뭄시/비가뭄시 지표수연계한 지하수 활용 가이드라인 마련

별첨 2. 과제요약서

『가뭄 대응을 위한 지표수 연계 기반 지하수자원 확보 및 활용 기술 개발 기획』 과제 요약서

과제명: 가뭄 대응을 위한 AR 및 IT 기반의 지하수자원 확보 및 수원 연계 기술 개발 연구

□ 연구개발 목표

○ 가뭄시 용수 확보를 위하여 지하수 인공함양 기술을 활용한 갈수기의 지하수 부존량 20% 증대 및 기존 수자원 시설 연계 공급기술을 확보하는데 목표가 있음

- 다단식 모래저장형 Dam을 활용한 소규모 인공함양 기술 개발
· 모래저장형 Dam을 활용한 가뭄시 물 공급력 20% 개선
- 선상지 인공함양 기반의 Hybrid형 용수확보 기술 개발
· 인공함양을 통한 갈수기 함양량 30% 증대 및 수평정 취수기술 확보로 가뭄시 공급량 20% 증대
- Well Network System을 활용한 가뭄 대응 기술
· 기존 관정의 가뭄시 이용량 30% 증대 및 인공함양 효과 통합 평가 기술 개발

<기술의 정의>

- 가뭄에 취약한 국내 지류하천 중상류 지역의 용수확보를 위하여 지하수 인공함양 기술을 확보하는 것이 본 연구의 핵심기술로서, 이를 위하여 인공함양(AR) 원수의 확보, 인공함양 최적지의 선정, 인공함양에 의한 수량/수질 확보, 기존 수원 시설과의 연계 및 공급, 기존 관정 시설의 효율 극대화, 가뭄의 예측 및 관측, 지하수 개발 최적지 선정 기술 등의 실용화 요소기술을 확보하고자 함. 아울러, 이들 요소기술 적용 최적화를 위하여 IT를 접목한 지하수-지표수 이용관리 기법을 확보하고자 함

□ 연구개발 필요성

○ 연구개발 현황

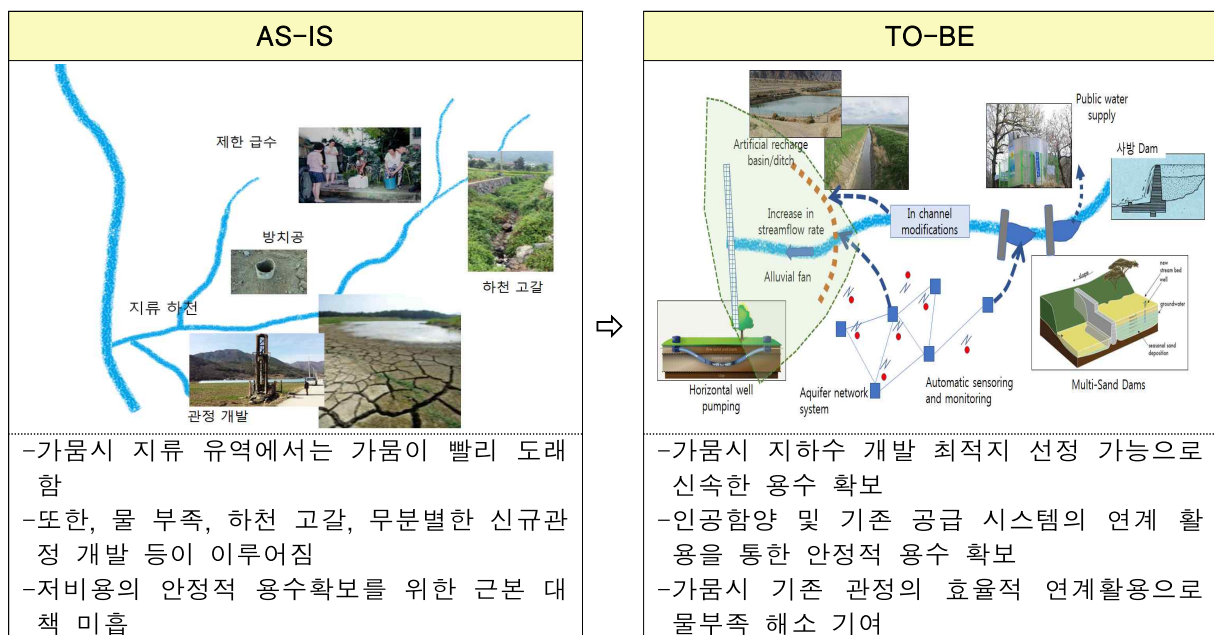
- 해외의 경우 실용화 수준의 연구가 진행되어 실제 용수확보 수단으로서 인공함양 기술이 활용되고 있음
 - . 네덜란드: 40개소, 호주: 25개소, 독일: 식수의 15% 공급 등 선진국 뿐 아니라 아프리카 물부족 국가에서도 활발히 적용
- 가뭄과 관련된 연구개발은 미국, 중국, 인도 등이 활발하며, 특히 미국이 압도적인 연구 실적을 생산하고 있음. 최근 들어서는 지하수와 지표수의 연계 연구, 기후변화로 인한 지하수 고갈, 지하수 인공함양 등에 대한 연구가 관심을 받고 있음
- 지하수와 관련된 가뭄 연구는 세계적으로 증가되고 있으나, 우리나라의 경우에는 매우 미흡한 실정이며, 지표수와 지하수의 연계 활용 분야에 대한 연구도 국내에서는 모델링과 같은 이론적 평가 연구에 치중되어 왔으며 용수확보와 연계된 현장 실증 연구는 거의 전무한 수준임

○ 한계점

- 최근 2~3년마다 중소규모 가뭄이 반복 발생하는 점을 고려할 때 계절적 수량 변동에 영향을 받지 않는 수원 다변화 기술 개발 필요
 - . 4대강 사업 이후 본류하천을 중심으로 확보 수량이 늘어나 취수·공급 여건이 개선되었으나, 본류와 떨어진 산간지 등 물 소외 지역에서는 여전히 대체수원 개발 필요
 - 지하수 인공함양 기술을 통한 용수 확보는 지표수-지하수의 연계 운영 기술의 실체에 해당되나, 그 동안 지표수와 지하수 분야의 연구는 각각 분리되어 수행되어 왔으며, 이로 인한 물 이용관리의 효율성이 극대화되지 못하였음
 - 그 동안 가뭄 발생시 민간 및 공공부문에서 지하수를 활용하기 위하여 관정을 설치하고 지하수를 양수, 활용하고 있으나 기존의 1년 용도의 관정 개발 방식으로는 체계적이고 항구적인 용수 확보에 한계가 있음
 - 국내의 경우, 지난 반백년간 지표수 중심의 용수공급 체계를 갖추고 있어 인공함양과 같은 타 수원 확보 방안에 대한 정책적 선택이 어려운 한계점도 내포하고 있음
- ☞ (필요성) 가뭄 발생시 제1 대체수원으로서 지하수에 대한 수요가 증가하고 있어, 계절적 변동에 영향이 적은 인공함양 방식의 지하수 저장, 취수 및 기존 시설과의 연계 등에 대한 새로운 개념의 지하수 확보 및 지표수 연계 기술을 개발하여 가뭄 취약지역에 대한 안정적 용수를 확보

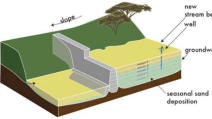
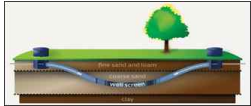
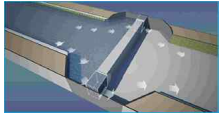
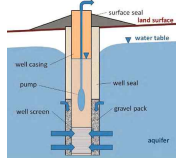
사회적(정책) 이슈	환경적 이슈	경제적 이슈
- 국가 재난 관리 측면에서의 가뭄 대응 기술 확보 필요 - 2015년 충남 가뭄에서 보듯이 광역 용수공급 체계의 한계점 노출 - Local 개념의 자체 수원 확보 정책의 추진 필요 - 20년 이상 구축된 Big data 기반의 지하수 진단 평가 기술로 가뭄 대응 - 4차 산업 시대 IT 기반의 수자원관리 기술	- 갈수기 상류 저수지의 고갈 및 수질 오염 - 지류 상류에서의 가뭄 조기도래 및 물 부족 발생 - 지류 유역의 소하천 고갈 및 지하수위 강하 - 조밀한 관정의 과다 양수로 인한 지하수 고갈 및 가뭄 대응 취약	- 과거 30년간 가뭄 피해액에 대한 연간 평균치는 5,751억 원으로 추산되며 이에 대한 대책 필요 - 상류지역 Local 용수 확보 방식의 신개념의 중소규모의 용수 확보 기술을 개발함으로써 새로운 사업으로서의 방향 제시 - 동남아시아, 아프리카, 중동, 서아시아 등 해외 물부족 국가에 적용 가능한 기술

<미래상>



□ 핵심기술

핵심기술 요약	설명	최종성과물	개념도(관련사진)
(1)Big data 기반 지하수 최적지 평가 기술	Big data를 활용한 지하수 최적지 선정 기술 확보	지하수 부존성 평가 GIS 시스템	
(2)지하수위 기반의 가뭄 예측 알고리즘	지하수위, 토양수분 등을 활용한 가뭄 예측 기술	가뭄 예측 프로그램(S/W)	

핵심기술 요약	설명	최종성과물	개념도(관련사진)
(3)토양 수분 기반 가 물 통합계측장치	토양 수분 등을 활용 한 계측장치 개발	계측기	
(4)인공함양 관련 제도 개선(안)	인공함양에 필요한 재 원, 수질/수량 기준 등 에 대한 제도 개선	제도개선(안)	-
(5)모래저장형 Dam의 설계 시공 기술	모래저장형 Dam의 수 원 확보, 설계 및 시공 기술	지침서 및 시공 관련 특허	
(6)상류 유역 지하수 개발가능량 산정 프 로그램	지하수 개발가능량 산 정 프로그램	프로그램(S/W)	-
(7)수평정 굴진 시스템	일 500톤 이상 취수 가능한 수평정 굴진 기술	굴진 장치	
(8)선상지 인공함양 설 계, 시공 기술	선상지 최적화된 인공 함양 기술 개발	설계 시공 지침 및 시공관련 특허	
(9)인공함양 원수 확보 기술	In channel modification 관련 설계, 시공 기술	설계 시공 지침 및 특허	
(10)관정의 용수공급 능력 평가 기술	기존 관정의 용수공급 평가 방법 개발	평가 지침	-
(11)기존 관정 연계 활 용 기술	기존 관정의 연계 설 계 및 시공 기술	연계 설계 및 시공 지침 및 특허	
(12)가뭄 상황별 시나 리오 개발	가뭄 상황별 용수공급 시나리오 개발	시나리오 지침	-
(13)관정과 기존시설 연계에 따른 수처 리 기술	최적 수처리 기준	수처리 기준 및 특허	-

□ 연구성과 활용 방안

○ 수요처 및 적용대상

- 가뭄 대응 기반기술에 해당하는 지하수 최적지 선정, 가뭄 예측, 제도 개선(안) 등의 기술은 정부, 지방자치단체 및 공공기관 등에서 활용 가능하며, 이를 통하여 가뭄시 신속한 지하수 개발을 지원할 수 있음
- 실용화에 해당하는 기반기술인 가뭄 계측장치, 지하수 탐사 장비 등의 개

발 성과는 민간 기업에서 지하수를 개발하거나 국가의 지하수 가뭄 계측 사업 추진시 활용할 수 있음

- 현장 실용화 기술인 다단식 모래저장형 Dam 및 선상지 인공함양(수평정 개발 기술 포함) 관련 기술은 기본적으로 지자체 및 국가의 정책 결정에 따라 민간에서 제안, 적용할 수 있는 기술임
- Well network system 기술은 사용자(주민) 뿐 아니라 지자체(공공기관) 등에서 추진 가능한 분야이며 관련 핵심기술은 기술을 보유하게 되는 민간에서 제공, 적용할 수 있는 기술임
- 아울러, IT 기술 분야인 Sensoring을 적용한 분지 관리 및 관정 관리 등의 분야는 정부(지자체)에서 통합 수자원 관리의 현장 중심 적용 기술로서 엔지니어링 기술에 해당되어 민간 기업에서 활용할 수 있음

○ 활용방안

- 지하수 개발 최적지 선정 기술, 탐사 기술, 가뭄 예측기술 등은 지류 유역의 가뭄 발생 전(중)에 신속하게 현장에 적용할 수 있는 기술임
- 다단식 모래저장형 Dam 및 선상지 인공함양 기술은 상대적 강우 시에 물을 지중에 저장하는 기술로서 상류 지역에서 설치하여 기존 물 공급체계와 연동하여 활용할 수 있음
- Well Network System 기술은 기존 관정의 활용을 극대화하기 위한 기술로서 지하수 관정이 많고 사용량이 과다한 지역에서 추진시 효과가 큰 기술로 예상됨

□ 기대효과

○ 사회적 효과

- 중단기 정확한 가뭄 예측으로 신속한 용수확보 및 대책 강구가 가능하고 전국의 지하수 가뭄 취약성 평가 및 서비스 시스템 구축을 통하여 상시 가뭄 지역의 대응력 강화가 가능함
- 가뭄이 가장 빨리 찾아오는 상류지역에 대한 수문 변화를 평가하고 하류의 추가적 가뭄 진행에 대한 사전 대응에 기여 및 마을상수도 등 취수원 취약 지역의 보조수자원 확보를 통한 가뭄시 대응력 제고 및 안정적 물 공급에 기여
- 모래저장형 dam 및 선상지 인공함양 기술을 연계한 (간이)상수도 수처리 기술의 해결을 통하여 수원의 다양화를 위한 정책적 의사 결정을 지원
- 본 과제는 주민 참여가 요구되는 참여형 과제로서 가뭄시의 물 확보 및

정책에 대한 인식 제고에 기여

○ 경제적 효과

- 지역별 지하수 부존량에 대한 사전 평가 및 준비를 통한 가뭄시 정부의 신속 대응이 가능하고 무분별한 지하수 관정 개발 및 실패에 따른 예산 낭비를 방지할 수 있을 것으로 기대됨
- Big data 기반의 정책 활용 기술을 개발함으로써 국가 정책의 신뢰성 제고 및 타 분야 확대가 가능하고 지하수 관정 개발의 성공률을 제고함으로써 관련 분야 산업 활성화가 기대됨
- 가뭄에 대한 국가의 선제적 대응 정책으로서 대형관정 활용 방안 수립이 가능하고 신규 굴착을 줄이고 기존 대형관정 활용성을 제고함으로써 신산업 분야 창출 및 환경 보전에 기여

□ 기타 주요 이슈사항

○ 공고시 주의사항 등

- 본 과제는 통합 Testbed내에서 연구 수행함으로써 현장에 대한 중복 투자를 방지하고 성과의 극대화를 도모할 수 있으므로, 각 세부과제의 통합 TB 구축이 요구됨
- 본 과제는 일반 민간 토지에서의 연구가 해당될 수 있으므로 해당 지방자치단체 및 주민의 참여에 대한 의사를 필요로 하며, 향후 연구 성과물(시설물)에 대한 원상복구 보다는 지자체 이관이 가능하여야 함

별첨 3. [참고] 연차별 세부과제 연구내용

(1차년도)

○ [1세부과제]

- 모래저장형 Dam 연구 현장 선정 및 기준 수립
- 상류지역 지표수-지하수 수문 특성 평가 및 수문성분 해석
- 연구지역 가뭄 영향인자 평가를 통한 용수공급 취약성 분석

○ [2세부과제]

- 통합 실증 TB 대상 지역 선정 기준, 시설계획 및 운영방안 수립
- 선상지 인공함양 취수기술 적용을 위한 현장 선정 및 기준 수립
- 함양원수 확보를 위한 소하천 특성 평가

○ [3세부과제]

- 기존 관정의 시설 연계를 위한 분포 조사 및 분석
- 기존 관정(대소형)의 특성 및 가뭄시 특성 변화 평가
- 기존 관정에서의 대수층 및 연계 수원의 수질 특성 평가

(2차년도)

○ [1세부과제]

- 모래저장형 Dam의 조사, 설계 기술 개발 및 최적 설계기준 마련
- 지하수 인공함양을 위한 수원, 수질 확보 기초기술 개발

- 강우 조건별 모래저장형 dam 저류량 평가 및 극대화 기술
- 상류부 모래저장형 dam 설치에 따른 사전예측, 사후평가 모형 구축

○ [2세부과제]

- 연구지역 선정 및 대수층의 함양 적정성 및 개발가능성 평가 기술 개발
- 상류지역 얕은 충적층의 수평정 조사 설계 기술 개발
- 소하천 In channel modification 설계 기술 개발
- 적정 인공함양 기술의 선정 및 설계 기술 개발
- 기존 상수원 등 수원시설과의 수질적 연계성에 대한 영향 분석

○ [3세부과제]

- Well Network System 구축 방안 및 설계 기술 개발
- 관정의 가뭄시 용수공급 능력 평가 및 분지 관리 기술 개발
- WNS 기반의 가뭄 단계별 연계 운영 용수공급 시나리오 모형(안) 개발
- 대수층의 지하수 수질 정화작용의 정량화 평가

(3차년도)

○ [1세부과제]

- 다단식 모래저장형 Dam의 현장 시공 기술 개발 및 시공적정성 평가
- 지하수 수질 특성 분석 및 전처리기술 개발
- 타 수원(사방댐, 저수지, 관정 등) 시설과의 연계 기술 설계

- 타 수원 시설(하천, 상수원, 저수지 등)과의 연계 시공 기술
- 다변량 수문요소(탈함양량) 기반 지하수 개발가능량 평가 기법 개발

○ [2세부과제]

- 다양한 지층변화 대응 굴진기술 개발 및 현장 시공
- 소하천 함양 원수 확보를 위한 In channel modification 시공
- 인공함양 시설 시공 및 사전 수처리 방안에 따른 효과 모의
- 연계 취수원 대응 인공함양수 수처리 최적화 방안 도출
- 3차원 모델링을 통한 주입 가능 효과 및 가능량 분석 기법 개발
- 선상지 인공함양 기술 활용을 위한 시나리오 개발

○ [3세부과제]

- Sensoring 기법을 활용한 연구지역 지하수 수문관리 자동화 관리 체계 개발
- Well Network System의 효율적 시공 기술 개발 및 현장 구축
- WNS 기반의 가뭄 대응 단계별 지하수-지표수 연계운영 용수 공급 시나리오 개발
- 지하수의 상수원 연계시의 수처리에 미치는 영향 평가 및 적정 처리 기준 개발
- WNS 대상 지표수-지하수 통합 연계 기술에 대한 물수지적 효과 평가 개념 설계

(4차년도)

○ [1세부과제]

- 모래저장형 Dam의 취수 기술 개발 및 시범 저류 운영
- 타 시설(관정, 마을상수도 등) 연계시 수질 변화 특성 분석
- 기존 수원 연계 기술 개발 및 운영(시나리오 시뮬레이션 기술)
- 유역 상류지역의 지하수 개발가능량 산정 프로그램 개발
- 기존 수원 시설과의 연계를 통한 가뭄대응력 제고 기술 개발
- 다단식 모래저장형 dam 설치·운영 효과 분석

○ [2세부과제]

- 연구시설(Test-bed) 현장 시공 및 기술 개선
- 소하천 함양원수 확보 운영 및 하천 특성 변화 연구
- 인공함양 시설 운영 및 사전 수처리 효과 평가
- 연계 시설의 수처리 시설 운전 및 처리시설 영향 평가
- Testbed 운영에 따른 인공함양 및 취수 효과, 수위/수질 변화 특성 평가

○ [3세부과제]

- 관정과 기존 시설(상수원, 저수지 등)의 연계 시스템 구축 및 운영
- 연구지역내 관정의 용수공급능력 분포도 시범 작성 기법 개발
- 대형관정 용수공급 능력평가에 따른 불량관정 성능개선 방안 도출
- WNS 기반의 가뭄 대응 단계별 용수공급 우선순위 타당성 검토 및 효과 분석
- 지하수-기존 수원의 현장 실증 연계 운영을 통한 적정 처리 기법의 평가

- WNS 대상 지표수-지하수 통합 시설 연계 기술에 대한 물수지적 효과 평가 모델 기술 개발

(5차년도)

○ [1세부과제]

- 모래저장형 Dam의 시설 운영 관리 기술 정립 및 지침 개발
- 모래저장형 dam의 수량 확보, 수처리 및 운영관리 기술 지침 작성
- 모래저장형 dam 방식 지하수 확보 기술 효과 평가
- 국내 지역 특성에 맞는 지하수 개발가능량 산정 통합 지침 개발 및 실증
- 가뭄시 적정 모래저장형 dam 운영 기준 개발

○ [2세부과제]

- 연구시설(Test-bed) 운영 및 통합 지침 개발
- 소하천 함양원수 확보 시설의 운영 관리 지침 및 함양원수로서의 기여 효과 분석
- 인공 함양 기술의 양적 효과 평가 및 기술 지침 개발
- 수처리 연계 운영관리를 통한 특성 평가 및 공급시스템에서의 수처리 최소화 기술 개발
- 시나리오 기반의 선상지 최적 운영 기술 정립 및 수자원 확보 효과 평가

○ [3세부과제]

- WNS의 운영을 통한 효과 평가 및 관리기술 개발, 지침 작성
- 관정의 용수공급 능력 평가 및 서비스 시스템 개발

- 가뭄 상황별 용수 공급 시나리오의 적용 및 가이드라인 작성
- 지하수 연계시 수질 효율성 종합 진단 및 이용관리 기준 개발
- 연구단 전체 지역에 대한 통합 운영 및 효과 평가