

대규모 지하저수지 토탈 솔루션 기술



정우창 ▶▶▶
 경남대학교 토목공학과 교수
 jeongwc@kyungnam.ac.kr



양정석 ▶▶▶
 국민대학교 건설시스템공학부 교수
 jyang@kookmin.ac.kr



박남식 ▶▶▶
 청정지하저수지 개발 연구단장
 동아대학교 토목공학과 교수
 nspark@dau.ac.kr

1. 서론

우리나라 대도시 및 중소도시의 생활용수 대부분을 하천과 댐 등에 존재하는 지표수에 의존하고 있다. 그러나 지표수는 홍수와 가뭄 등의 기상 변화나 수질 사고 등에 그대로 노출되어 있어 물 공급의 안정성에 있어 취약한 실정이다. 또한 대도시와는 달리 많은 해안 및 도서 그리고 산간지역에서는 빈곤한 물 부족을 겪고 있으며, 많은 지역에서 불량한 수질의 원수로 인해 수도물 불신이 가중되

고 있는 실정이다.

이러한 물 문제를 극복하기 위한 국가정책 차원의 일환으로 지표 수자원 이외의 대체 수자원 개발(예, 지하수 개발, 강변여과수, 해수담수화 등)을 통한 취수원 다변화에 대한 중요도가 높아지고 있다. 이에 부합하고자 지표수를 지하 대수층에 인공적으로 주입하고 유하과정을 통한 자연 정화기능을 이용하여 양질의 청정 원수를 생산하고, 대수층 내 상당량의 지하 저수량을 확보하여 장기간의 가뭄이나 지표수 수질 사고 시에도 안정적으로 취수가 가능한 청정 지하저수지 설계, 구축 그리고 운영/관리에 대한 연구내용을 포함하는 “대규모 청정 지하저수지 기술 개발 연구단”(2013~2018)이 국토교통과학기술진흥원 물 관리 연구사업의 일환으로 발족되었다. 본 연구단은 Fig. 1에 나와 있듯이 총 3개의 세부과제로 구성되어 있으며, 제1세부과제는 지하저수지 토탈솔루션 기술 개발, 제2세부과제는 지하저수지 시험시설 개발 그리고 제3세부과제는 도서/산간지역 소규모 지하저수지 구축 기술에 대한 연구를 담당하고 있다. 본 고에서는 이 중 1세부과제에 대해 소개하고자 한다.

2. 연구내용 및 단계별 연구추진계획

본 연구단 제1세부과제는 “대규모 지하저수지 토탈솔루션 기술 개발”에 대한 것으로 지하저수지



Fig. 1. “대규모 청정 지하저수지 기술 개발 연구단” 연구수행체계

구축 및 운영/유지관리에 필요한 핵심요소기술을 개발하는 것이다. Fig. 2에 나와 있듯이 핵심요소 기술은 설계 기술, 시공 기술, 운영/관리 기술 그리고 사업화를 포함하고 있다.

제1세부과제의 연구개발 추진체계는 Fig. 3과 같이 주관연구기관과 위탁연구기관 각각 1개 그리고 4개의 공동연구기관으로 구성되어 있다.

본 연구단은 2013년 6월부터 2018년 6월까지 총 5년에 걸쳐 연구를 수행할 예정이며, Table 1에 나타나 있듯이 기간별로 3 단계로 구성되어 있다. 1 단계는 2013년 6월부터 2014년 6월까지 1년간이며, 지하저수지 구축에 필요한 최적설계, 운영 및 유지관리, 수처리, 생지구화학적 특성 평가 및 법제도와 관련된 핵심요소기술 개발에 주안점을



Fig. 2. 제1세부과제 개발기술의 정의 및 주요 연구내용



Fig. 3. 제1세부과제 연구추진체계

두고 있다. 2 단계는 1단계에서 개발된 핵심요소기술에 대한 검증 그리고 시험시설 부지 평가 및 시험시설 구축에 관한 연구를 수행할 것이다. 3 단계에서는 지하저수지 시험시설의 운영을 통한 핵심

요소기술의 검증 및 보완, 시험시설의 통합 운영 그리고 토탈 솔루션 매뉴얼 작성에 관한 연구를 수행하게 된다.

Table 1. 단계별 주요 연구 활동 및 세부추진내용

기간	단계별 주요 연구활동	세부추진내용
1 단계 (13. 06 ~ 14. 06)	<ul style="list-style-type: none"> 요소 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 주입-양수계통 최적설계 기술 개발 지하저수지 운영 및 유지관리 기술 개발 수처리 계통 설계 기술 및 개발 생지구화학적 특성 평가 기술 개발 법제도 개선 안 및 비즈니스 모델 개발
2 단계 (14. 06 ~ 16. 06)	<ul style="list-style-type: none"> 수리모형 개발 및 기술 검증 시험시설 부지 평가 및 시험 시설 설치 	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 수리모형 및 실험 시나리오 개발 실험실 수리모형 기술 검증 실험실 주입정 폐색 실험 실험실 규모 생지구화학적 반응기 제작 및 자연저감 특성 평가 대수층 생지구화학적 특성 평가 및 전처리 요구 사항 도출 주입 및 양수계통, 수처리 시설, 관측 및 제어 항목 기본 설계
3 단계 (16. 06 ~ 18. 06)	<ul style="list-style-type: none"> 기술 검증 및 보완 시험 시설 통합운영 토탈 솔루션 매뉴얼 작성 	<ul style="list-style-type: none"> 주입 및 양수 계통 최적 설계, 유지관리 기술, 생물학적 특성 요소기술의 수리모형 기술 검증 저수량 및 수질 개선 효과 시험 시설 검증 수질 위해성 관리 기술 검증 수처리 공정 성능 평가 및 검증 평시 및 비상시 저장량 측정 및 운영 시스템 시험 주입정 폐색 현상 유지관리 시스템 해외시장 진출 전략 수립 설계기술 요소 기술 솔루션 매뉴얼 작성 대규모 지하저수지 토탈 솔루션 매뉴얼 작성

3. 세세부과제별 연구방향

3.1 지하저수지 최적설계 기술 개발 및 제도연구

본 세세부과제는 최적설계, 미생물 그리고 법제도와 같이 3개의 분야로 구성되어 있다. 최적설계 분야에서는 목표 생산량과 저수량을 최소한 개수의 관정으로 달성할 수 있는 관정의 위치 및 가동량 (주입량 및 양수량) 그리고 펌프, 관망의 최적 조합을 체계적으로 도출할 수 있는 simulation-optimization 전산 모델 개발 또한 상술된 최적설계 기술의 실험실 규모의 수리모형실험과 시험시설의 시험을 통한 기술 검증을 수행하게 된다. 미생물 분야에서는 대수층의 생물학적 수질 개선 특성 조사, 대수층 미생물 모니터링 기반 기술 개발 그리고 지하저수지의 biofouling 제어 기술 개발을 수행하게 되며, 법제도 분야에서는 지하저수지의 지속가능한 개발 및 운영을 위한 법제도적 환경을 구축하고 국내 계획-설계-시공 및 운영 역량 확보를 통한 해외 물 시장 참여 방안을 마련하기 위한 비즈니스 모델 및 해외시장 참여 전략을 마련하기 위한 연구를 수행할 예정이다.

3.2 대수층 내 지화학 반응에 의한 인공 함양수의 수질변화 예측 및 평가기술 개발

본 세세부과제는 대상 부지로의 유입 및 유동하는 지하수와 인공주입되는 함양수에 대한 수화학 (수질) 분석 결과와 충적대수층 지질물질에 대한 지화학적 특성 분석 결과를 기반으로 현장 대수층에서 발생할 수 있는 생지화학적 반응 현상을 규명하고, 이를 정량화하는 수치모델을 종합함으로써 함양수의 수질 변화와 개선 효과를 평가하고 예측하는 기술을 개발하게 된다. 본 연구를 통해 개발될 기술은 대수층이 가지고 있는 수질개선 능력에 대한 정량화를 가능케 하여 주입수의 전처리 수질에 대한 기준(처리목표수질)을 제시할 수 있

으며, 현재 지화적으로 평형상태에 있는 대수층에 화학적으로 다른 특성을 가지는 처리수(주입수)를 주입할 경우, 어떤 지화학 반응이 진행될 것인지 (예: 토양광물의 용해에 의한 수화학적 변화, 지하수 내 이온 성분의 침전과 흡착 등)에 대한 예측을 가능케 함으로써, 후처리에서 고려해야하는 수질 항목 및 처리 수준을 설정할 수 있게 한다. 특히 지하수 내 용존 이온의 침전 및 용해반응에 대한 예측을 가능케 함으로써, 주입정과 양수정의 폐색 현상을 예상하고 이에 대해 적절한 방지기술 적용 시기 및 운영기술을 도출하는 기능을 할 수 있도록 한다.

3.3 지하저수지 전/후 수처리 기술 개발

본 세세부과제에서는 지하저수지 내로 주입되는 원수의 변화에 대응하여 주입정 내의 폐색현상을 최대로 저감시킬 수 있는 최적의 주입수를 생산할 수 있는 전처리시설을 개발하고 최적의 운전조건을 도출하게 되며, 일정기간 경과 후 양수된 물을 처리하여 음용수의 수질을 확보하는 후처리 기술을 개발하게 된다.

3.4 지하저수지 성능 유지관리 기술 개발

지하저수지의 기본 개념은 하천 하구 등에 존재하는 모래와 점토로 구성된 충적 대수층 내에 설치된 주입정과 양수정으로 이루어진 관정 시스템을 통해 지하수를 용수로 공급하는 것으로 관정 시스템을 효율적이며, 장기간 동안 지속적으로 목표 용수공급량에 도달하기 위해서는 주입정 및 양수정에서의 폐색현상을 저감하거나 방지할 필요가 있다. 본 세세부과제에서는 주입정 및 양수정의 유지관리 측면에서 폐색현상의 저감 및 이를 예측할 수 있는 기술을 확보하고, 시험시설에 반영하여 최적의 유지관리를 위한 연구를 수행하게 된다.

3.5 평상시 및 비상시 지하저수지 운영 기술 개발

본 세세부과제에서는 상시 용수공급원으로서의 지하저수지의 역할을 수행하기 위한 시스템 운영 기술 개발에 대한 연구를 수행하게 된다. 운영기술은 평상시 및 비상시 운영기술로 분리되며, 평상시 운영기술에서는 지하저수지의 목표 공급량과 목표 수질기준을 달성하도록 제어하는 시스템 개발 및 지하저수지의 상시 용수공급시스템으로서의 기능을 유지할 수 있는 기술 개발이 이루어질 것이다. 지하저수지 시스템에 설치된 각종 센서로부터 측정된 자료의 무선수신시스템과 모니터링 시스템 그리고 자동 자료분석시스템 모듈 개발 및 분석결과를 바탕으로 지하저수지 시스템 제어를 위한 무선수신 및 시스템 요소별 제어 모듈을 개발하게 된다. 비상시 지하저수지 운영 기술에는 시스템 오작동 발생에 대비한 운영 방안 및 수량 및 수질 문제로 인한 비상운영방안에 대한 연구를 수행하

게 된다.

3.6 지하저수지 수질위해요소 사전관리 기술 개발

본 세세부과제에서는 지하저수지의 수질 안정성 확보를 위한 지하저수지 수질위해요소 사전관리 매뉴얼을 작성하는 것으로 지하저수지의 수질을 악화시킬 수 있는 모든 위해요소를 대상으로 오염 등급 및 사건의 규모에 따른 시나리오, 지하저수지 운영에 대한 연간 운영 지침 그리고 지하저수지 장기간 사용에 의한 물리적, 지화학적, 생물학적 변화에 대한 대처방안이 포함된다.

3.7 세세부과제별 연차별 주요연구내용

Table 2는 제1세부과제를 구성하는 세세부과제에 대해 연차별 주요연구내용이 나타나 있다.

Table 2. 세세부과제별 연차별 연구내용

연차	연구목표	주요연구내용	연구수행기관
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> 최적설계(1-1a) <ul style="list-style-type: none"> -주입정-양수정 및 펌프-관망 S/O 전산모델개발 -실험실 지하저수지 수리모형 설계 및 실험시나리오 설계 -시험시설 무지 담수-염수 지하수 흐름모델 구축 	<ul style="list-style-type: none"> -지하저수지 주입공정 및 양수공정의 위치 및 주입/양수량 최적 설계 기능 -펌프 특성 과 관망 수두손실을 고려한 주입계통 흐름 모델 개발 -펌프 특성, 대수층 수위강하, 관망 손실을 고려한 양수계통 흐름 모델 개발 -지하저수지의 염수 처할 및 양수정 수질 모의 실험을 위한 수리모형 설계 -시험시설의 제한적 시험을 보완할 수 있는 수리모형 실험시나리오 개발 -시험시설 무지의 수리지질 특성을 고려한 담수-염수 지하수 흐름 모델 구축 	동아대-수자원팀
	<ul style="list-style-type: none"> 미생물(1-1b) <ul style="list-style-type: none"> -현장을 모사한 반응기 구축 	<ul style="list-style-type: none"> -Lab scale 반응기 운영을 통한 대수층의 자연저감 특성 평가: 대수층 토착미생물의 활성을 이용한 수질정화 -유입수 및 처리수 내 오염물질 생성 분석 -대수층 토양 생물량 및 보관 -biofouling 생성주기 및 특성 평가 	동아대-미생물팀
	<ul style="list-style-type: none"> 법제도(1-1c) <ul style="list-style-type: none"> -국내외 청정 지하저수지 제반 법, 제도, 정책 관련 문헌 검토 	<ul style="list-style-type: none"> -미국, 영국, 호주, 아부다비 등 청정지하저수지 개발 및 운영 대표 사례 선정 및 분석 	동아대-법제도팀
	<ul style="list-style-type: none"> 수질위해성(1-1d) <ul style="list-style-type: none"> -위해성 분석 -수질관리체계 도입의 타당성 및 개선사항 연구 	<ul style="list-style-type: none"> -물리적, 지화학적, 생물학적 특성 상태의 위해 정의 -공정 및 외부로부터 발생할 수 있는 위해요소 정의 -무작위 야기 수준 분석, 중대 위해 여부 결정 -잠재적 위해요소 차단을 위한 철저한 위해성 분석 실시 -설정된 지하저수지 위해요소 관리 방안 체계에 대한 검토를 통한 개선사항 연구 	동아대
	<ul style="list-style-type: none"> 운영기술(1-2) <ul style="list-style-type: none"> -문헌조사 및 유사 운영시스템 조사 -ASR 또는 ASTR 관련 조사 -자료 분석 및 운영자료 조사 	<ul style="list-style-type: none"> -대규모 청정 지하저수지 시스템과 유사한 기존의 시스템 운영 자료들 수집 -양수정과 주입정 그리고 관측정 운영에 대한 자료들 수집 -대규모 청정 지하저수지 시스템 기초설계 연구에 공동 참여 	국민대
	<ul style="list-style-type: none"> 유지관리기술(1-3) <ul style="list-style-type: none"> -주입정 및 양수정에서의 폐색 원인별 분석 및 대책 기법 조사 	<ul style="list-style-type: none"> -주입정 및 양수정 폐색현상 원인별 메커니즘 조사 -주입정 및 양수정 폐색현상 저감을 위한 기존 공법 조사 -폐색현상 수리모형실험 장치 구성 및 예비 수치모의를 통한 설계도 작성 	경남대
	<ul style="list-style-type: none"> 수처리기술(1-4) <ul style="list-style-type: none"> -스크린 및 필터를 이용한 입자성물질 제거 공정 개발 -스크린 크기에 따른 수질 변화 특성 평가 	<ul style="list-style-type: none"> -스크린시설 도입 -여과지 설계 인자 및 운전 인자 도출 -필터팩의 역세 및 교체 주기 결정 -최적 염소주입량 결정 -염소주입 logic 	승실대

Table 2. 세세부과제별 연차별 연구내용 (continued)

연차	연구목표	주요연구내용	연구수행기관
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ■ 최적설계(1-1a) -시험시설 지하수흐름 모델 보완 및 S/O 전산모델 구축 -실험실 수리모형 구축 및 실험 개시 -지하저수지 시험시설 설계 및 시험 시나리오 도출 	<ul style="list-style-type: none"> -시험시설 부지 조사 자료를 이용한 담수-염수 지하수흐름 모델 보완 -시험시설 주입계통-양수계통 최적설계 전산모델 구축 -담수-염수 차관, 양수정 염수 비율, 주입수의 양수정 도달 시간 실험용 실험실 수리모형 구축 및 실험 개시 -시험저수지 부지 특성을 고려한 시험 시설의 주입계통 및 양수계통 설계 -시험시설 시나리오 설계 	동아대-수자원팀
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 미생물(1-1b) -오염물의 생물학적 저감 최적화 -대수층 내 대표 미생물 군집 분석 정량화 기술 개발 -Biofouling 전처리 조사 	<ul style="list-style-type: none"> -토착미생물의 활성을 활용할 수 없을 때를 대비한 대수층의 생분해 활성상승을 위한 최적적 전락기술개발: biosparging, in situ bioremediation, bioaugmentation -대수층 내 대표 미생물 파악, 미생물 정량을 위한 실험 제작 -미생물 정량을 위한 실험 제작 -Biofouling을 제어할 수 있는 다양한 세척을 투여 및 물리적 처리 특성 평가 	동아대-미생물팀
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 법제도(1-1c) 	<ul style="list-style-type: none"> -미국, 영국, 호주, 아부다비 등 청정지하저수지 개발 및 운영 대표 사례 선정 및 분석 (계속) -주요 법, 제도 이슈 도출 및 국내외 전문가 인터뷰 -청정 지하저수지 경제성 평가 비용 및 편익 분석 문헌 검토 및 체계 개발 	동아대-법제도팀
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 수질위해성(1-1d) -중요 관리 요소 설정 -관리기준 결정 	<ul style="list-style-type: none"> -위해성 분석 결과를 토대로 중요 관리 요소 설정 -과업 설계, 장비, 원료 또는 과업단계에 따라 최적 중요 관리 요소 설정 -불필요한 중요 관리 요소 제거, 최적화 -중요 관리 요소 설정의 적합성 판단 기준 설정 -현장에서 쉽게 확인할 수 있는 지표 선정, 활용 -안전성을 보장할 수 있는 과학적 근거에 기초하여 관리기준 설정 	동아대
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 운영기술(1-2) -지하저수지 시스템 설계 및 시공 시 운영관리시스템 개발 -무선송수신 자료 분석 -시스템 제어 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -설계 및 시공 시 무선송수신 시스템으로부터 전송되는 자료 분석 기술 개발 -자료 분석 결과에 따른 시스템 제어 기술 개발 	국민대
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 유지관리기술(1-3) -주입정 및 양수정에서의 폐색 저감을 위한 최적 기술 개발 및 적용 	<ul style="list-style-type: none"> -주입정 및 양수정에서의 폐색현상 수리모형실험 장치제작 -수리모형실험을 통한 폐색 저감 최적 공법 개발 및 검증 -실증시설 운영 시나리오에 따른 유지관리 기술 구축 	경남대
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 수처리기술(1-4) -자외선 소독 시설의 특성 평가 -주입량에 따른 최적 반응기의 크기 평가 -자외선 소독에 따른 수질 변화 평가 	<ul style="list-style-type: none"> -자외선 반응기 설계 및 운전인자 도출 -오존 반응기의 설계 및 운전인자 도출 	승실대
<ul style="list-style-type: none"> ■ 지외역(1-5) -현장 대수층 지질물질을 지하수에 대한 지화학적 특성 평가 -현장 대수층으로 유입된 지하수의 기원 및 지화학적 특성 평가 -현장 대수층 지질물질을 주입수 수질을 모사한 지하수를 이용한 column 실험 및 해석 -현장 수리지질 조사와 수학적 자료를 융합한 시공간적 수질 변화 예비 평가 	<ul style="list-style-type: none"> -현장 대수층 지질물질을 지화학적 특성지 평가 -현장 대수층으로 유입된 지하수의 기원 및 지화학적 특성 평가 -현장 대수층 지질물질을 주입수 수질을 모사한 지하수를 이용한 column 실험 및 해석 -현장 수리지질 조사와 수학적 자료를 융합한 시공간적 수질 변화 예비 평가 	KIST	
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ■ 최적설계(1-1a) -S/O 전산 모델 1차 보완 -실험실 수리모형 실험 -시험시설 기술검증 개시 	<ul style="list-style-type: none"> -실험실 수리모형 담수-염수 차관 실험 결과를 이용한 S/O 전산모델 보완 -실험실 수리모형실험 지속 -시험시설 담수-염수 지하수 흐름 모델 검증 및 보완 	동아대-수자원팀
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 미생물(1-1b) -대수층 내 처리 미생물의 모니터링 기반 기술 구축 -Biofouling 제어 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -실험실 규모 반응기 내 수질 변화와 미생물 군집변화 지속적인 모니터링 -유입수 및 주변 환경 변화가 수질 처리에 미치는 변화과정 모니터링하여 최적 운전 조건 도출 -유입수 수질과 주변 환경 변화와 biofouling 생성 주기간의 상관관계 도출 -운전 조건 guideline제시 -주요 처리 오염물질 농도의 처리 한계치 수치화 -Biofouling 제어기술 도출 및 최적화 	동아대-미생물팀
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 법제도(1-1c) 	<ul style="list-style-type: none"> -주요 이슈별 개선방안에 대한 설문조사 실시 및 개선방안 제시 -청정 지하저수지 사업화를 위한 비즈니스모델 개발 -국기법, 지역별 유망지역 선정 관련 문헌 검토 -청정 지하저수지 경제성 평가 표준 모델 개발 및 가이드라인 개발 	동아대-법제도팀
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 수질위해성(1-1d) -모니터링 방법 설정 -개선 조치 설정 	<ul style="list-style-type: none"> -각 단계별로 가장 적합한 모니터링 절차 파악 -모니터링 항목, 위치/지점, 방법, 주기 결정 -모니터링 담당자 훈련 매뉴얼 작성 -수질위해요소 발견 시 신속한 대처 및 조치 매뉴얼 작성 -수질위해요소 발생 사항의 정도 별로 구체적인 개선 조치 결정 	동아대
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 운영기술(1-2) -시스템 시범운영 시 시스템 자료 분석 및 제어 모듈 개발 -평상 시 지하저수지 시스템 운영 및 관리기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -지하저수지 시스템 시험 운영 시 자료 분석 기술의 적용 및 모듈 개발 -지하저수지 시스템 시험 운영 시 시스템 제어 기술의 적용 및 모듈 개발 -지하저수지 시스템 자료 분석 및 제어 지침서 제작 	국민대
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 유지관리기술(1-3) -주입정 및 양수정에서의 폐색 증상 예측 및 분석 도구 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -주입정 및 양수정 그리고 감시정 모니터링 자료 분석 도구 개발 및 사용지침서 작성 -주입정 및 양수정의 장기간 유지관리를 위한 예측 도구 개발 및 사용지침서 작성 	경남대
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 수처리기술(1-4) -응집 침전에 대한 평가 -응집제의 특성에 따른 수질 변화 특성 평가 -최적 응집제 주입량 결정 	<ul style="list-style-type: none"> -최적 응집 조건 도출 -여과지의 사양 및 여재 결정 	승실대
<ul style="list-style-type: none"> ■ 지외역(1-5) -함양지하수의 수질(수화학) 변화 모니터링 및 현장 대수층 내 지하수 수질(수화학) 변화에 대한 예측 모델 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -Soil-column 실험을 통해 규명된 지화학 반응과 도출된 반응상수 및 반응성용집이동모델링을 융합하여 함양 지하수 수질 변화 예측 모델 개발 -특수의 관측정을 이용해 현장 지하수 수질 변화 모니터링 	KIST	

Table 2. 세세부과제별 연차별 연구내용 (continued)

연차	연구목표	주요연구내용	연구수행기관
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> 최적설계(1-1a) S/O 전산모델 2차 보완 시뮬시뮬 검증 	<ul style="list-style-type: none"> 시뮬 시설 주입계통-양수계통 기술 검증 (펌프 특성, 관망 흐름, 주입정 주입량, 주입 수위, 양수량 및 양수정 염도 모니터링 자료 이용) 시뮬시뮬 주입정 역세 영향 조사 및 모델 보완 시뮬시뮬 저수량 (평시 및 비상시) 평가 	동아대-수자원팀
	<ul style="list-style-type: none"> 미생물(1-1b) 대수층의 생물학적 수질 개선특성의 현장 조사 및 검증 대수층 미생물 모니터링 기술의 현장 적용 지하저수지의 biofouling 제어 기술의 현장 적용 	<ul style="list-style-type: none"> 유, 무기 오염물의 생물학적 저감의 최적화 기술검증 및 보완 대장균군 및 미생물 기원 수질 오염물의 자연저감 최적화 기술검증 및 보완 지하저수지 공정의 미생물 모니터링 기술의 현장 적용 최적화된 biofouling 제어기술의 현장 적용 	동아대-미생물팀
	<ul style="list-style-type: none"> 법제도(1-1c) 	<ul style="list-style-type: none"> 국가별, 지역별 사업화 유망지역 결정인자 선정 GIS 기반 청정 지하저수지 사업화 국내의 유망지역 선정 및 시장 조사 	동아대-법제도팀
	<ul style="list-style-type: none"> 수질위해성(1-1d) 검증방법 설정 기록유지 방법 설정 	<ul style="list-style-type: none"> 장기 사용에 대한 대수층의 변화 관측 및 평가 관리계획에 대한 유효성 평가 관리계획의 실행성 점검 효율적 기록 및 운영근거 확보를 위한 체계적 기록 방법 구축 	동아대
	<ul style="list-style-type: none"> 운영기술(1-2) 시스템 정상 운영 시 자료 분석 및 제어 모듈 적용 비상 시 지하저수지 시스템 운영 및 관리기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 지하저수지 시스템 정상 운영 시 자료 분석 모듈 적용 지하저수지 시스템 정상 운영 시 시스템 제어 모듈 적용 평상 시 지하저수지 시스템 운영 및 관리기술개발 	국민대
	<ul style="list-style-type: none"> 유지관리기술(1-3) 실증시설에의 적용을 통한 유지관리 기술 검증 및 문제점 보완 	<ul style="list-style-type: none"> 개발된 폐쇄 저감 기술의 실증시설에의 적용을 통한 유지관리 기술 검증 및 문제점 보완 실증시설에의 적용 타당성 평가 	경남대
	<ul style="list-style-type: none"> 수처리기술(1-4) 소독공정의 평가 최적 염소주입량 평가 취수량에 따른 정수처리기준 만족을 위한 접촉소설계 	<ul style="list-style-type: none"> 수질에 따른 염소 주입량 결정 접촉지의 설계 인자 	승실대
<ul style="list-style-type: none"> 지외역(1-5) 함양지하수의 수질(수화학) 변화 모니터링 및 수질(수화학) 변화 평가 예측 모델 최적화 	<ul style="list-style-type: none"> 복수의 관측정을 이용해 수질 변화 모니터링 지속 및 운전 조건에 따른 수질 변화 평가 해석 예측 모델의 수정 보완을 통한 모니터링 수차와 수질 변화 예측 모델의 예측치 간 오차 최소화 (모델 예측 정확도 향상) 	KIST	
연차	연구목표	주요연구내용	연구수행기관
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> 최적설계(1-1a) S/O 전산모델 3차 보완 S/O 전산모델 사용자 매뉴얼 작성 	<ul style="list-style-type: none"> 도수펌프-주입관망-주입정-대수층-취수펌프-양수정-양수관망 통합 S/O 전산모델 구축 및 보완 지하저수지 주입계통 및 양수계통의 최적설계 전산모델 사용자 매뉴얼 작성 	동아대-수자원팀
	<ul style="list-style-type: none"> 미생물(1-1b) 대수층 미생물 모니터링 기술의 검증 및 보완 지하저수지의 biofouling 제어 기술의 검증 및 보완 	<ul style="list-style-type: none"> 지하저수지 공정의 미생물 모니터링 기술의 검증 및 보완 Biofouling 제어기술의 검증 및 보완 	동아대-미생물팀
	<ul style="list-style-type: none"> 법제도(1-1c) 	<ul style="list-style-type: none"> 국내의 유망지역 시장진출 전략 구축 사업화 대상 지역별 우선순위화 	동아대-법제도팀
	<ul style="list-style-type: none"> 수질위해성(1-1d) 지침서 및 매뉴얼 작성 	<ul style="list-style-type: none"> 사전관리 매뉴얼 작성 	동아대
	<ul style="list-style-type: none"> 운영기술(1-2) 지하저수지 시스템 운영 및 관리기술개발 및 지침서 제작 	<ul style="list-style-type: none"> 비상 시 지하저수지 시스템 운영 및 관리기술개발 대규모 청정 지하저수지 시스템 운영 및 관리 지침서 제작 	국민대
	<ul style="list-style-type: none"> 유지관리기술(1-3) 주입정 및 양수정 유지관리 매뉴얼 작성 	<ul style="list-style-type: none"> 주입정 및 양수정 유지관리 매뉴얼 작성 	경남대
	<ul style="list-style-type: none"> 수처리기술(1-4) 현장의 발생 문제점 및 시설의 보완 	<ul style="list-style-type: none"> 최종 현장 적용성 평가 	승실대
<ul style="list-style-type: none"> 지외역(1-5) 함양지하수 수질(수화학) 변화 예측을 위한 기술 매뉴얼 작성 	<ul style="list-style-type: none"> 현장 지하수 수질 변화 모니터링 지속 및 수질개선 효과 종합 평가 지하수 수질 변화 예측기술의 적용을 위한 일련의 프로토콜을 담은 매뉴얼 작성 	KIST	

4. 기대효과 및 활용방안

본 연구단에서 수행되는 대규모 청정 지하저수지 기술은 댐수, 하천수와 같은 기존의 취수원들에 비하여 많은 장점을 가지는 혁신적 대안으로 고려될 수 있다. 지하저수지는 댐의 수몰지역, 증발손

실, 홍수 시 탁도, 여름 철 조류발생 등의 문제를 해결할 수 있으며, 광역상수도를 연결하는 장대관로도 필요 없으며, 지역에 따라 지하저수지 규모도 조정할 수 있으므로 사회적 문제의 발생도 크게 감소시킬 수 있다. 또한 기존의 지하 대수층을 이용하는 강변여과수 및 지하댐 등에 적용되는 기술의

구분	내용	추진 주체	수요처	활용 전략
실용화/ 사업화	용수공급 민간투자 사업	기업	지자체	시험시설 기술 검증 성과 홍보
	도시 및 산간 지역 용수공급 사업	기업	국토교통부 환경부	정부부처 사업 창출 노력
	해외 시장 진출	기업	KOICA, 한국수출입은행, 외국국가, WB, ADB	해당국가 연구자와 공동 연구 추진, 비즈니스 모델 개발
정책	지하저수지 상부(지표) 지역의 '상수원 보호구역 지정' 예외 방안	연구단	정부	지하저수지의 수질 안정성 검증 및 적극 홍보
	사업 활성화를 위한 지상권 및 지하권 분리방안	연구단	정부	지역 주민에 대한 인센티브 방안 도출

Fig. 4. 활용전략 및 수요처

장점을 취하고 단점을 보완하여 지하저수지의 설계 및 운영/유지관리에 적용할 수 있는 국내 및 국외에서 시도된 적이 없는 것으로 기술로서 지속 가능하고 친환경적인 용수공급 기술로 볼 수 있다.

본 연구에서 도출될 지하저수지 관련 핵심요소 기술은 대체 수자원 개발 분야에서 설계, 시공, 운영 기술과 같은 종합적인 물 관리 기술의 확보를 가능케 할 수 있으며, 이로 인해 기존의 국외 선진 관련 업체와 기술 경쟁에서 우위를 기대할 수 있다. 또한 지하저수지 기술개발은 국내 물 관련 기

업들의 세계 물 시장에 활발하게 진출할 수 있을 것으로 기대된다. Fig. 4는 본 연구를 통해 도출될 연구성과물의 활용전략이 나와 있다.

사사

본 기사는 국토교통부 물관리연구개발사업의 연구비지원(과제번호 13AWMP-B066761-01)에 의해 수행되었습니다. 💧

참고문헌

국토해양부 건설교통기술평가연구원(2012.10). 대규모 지하저수지 기술 개발 기획연구보고서