

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘저심도 간접취수원 개선공법 개발 및 실용화’(연구개발 기간 : 2015. 10. 30 ~ 2017. 10. 29) 과제의 최종보고서 2부를 제출합니다.

2018. 01. 05.

주관연구기관명 : (주) 웰텍 대표이사 정 재 훈



(인)

주관연구기관책임자 : 정 재 훈



(인)

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	16TBIP-C09297 4-02	해당 단계 연구 기간	2016. 10.30 - 2017. 10.29	단계구분	2 / 2
연구사업명	중사업명	국토교통기술 사업화 지원사업			
	세부사업명	중소기업 보유기술 및 아이디어 사업화분야			
연구과제명	대과제명	저심도 간접취수원 개선공법 개발 및 실용화			
	세부과제명				
연구책임자	정 재 훈	해당단계 참여 연구원 수	총: 18 명 내부: 18 명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부:409,000 천원 기업:272,667 천원 정부 외: 천원 계:681,667 천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 35 명 내부: 35 명 외부: 명	총 연구개발비	정부:821,000 천원 기업:547,334 천원 정부 외: 천원 계:1,368,334 천원
연구기관명 및 소속 부서명	주식회사 웰텍			참여기업명 국민대학교 산학협력단	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
○ 저심도 간접취수원 개선공법 개발 - 취수량 확보가 용이한 기능성 스크린 제품 개발 - 역세기능을 접목한 시설물의 유지관리 비용 절감 ○ 최적화 설계기술 개발 및 표준지침 개발 - 목표수량 확보를 위한 취수관의 최적화 설계지침 마련 - 취수관 상부 치환층의 매질 특성 연구 - 저심도 간접취수원 개발 표준지침서 작성 ○ 실증 플랜트 구축 및 운영보고서 작성 - 취수량 5,000m³/일 규모의 실증플랜트 구축 - 저심도 간접취수원 개선공법 신기술 등록 - 실증 플랜트의 역세기능 및 역세압 제어기술 개발				보고서 면수 : 99	

〈 국문요약문 〉

연구의 목적 및 내용	▪ 저심도 간접취수원 개선공법 개발 - 취수량 확보가 용이한 기능성 스크린 제품 개발 - 역세기능을 접목한 시설물의 유지관리 비용 절감 ▪ 최적화 설계 기술 개발 및 표준지침 개발 - 목표수량 확보를 위한 취수관의 최적화 설계지침 마련 - 취수관 상부 치환층의 매질 특성 연구 - 저심도 간접취수원 개발 표준지침서 작성 ▪ 실증플랜트 구축 및 운영보고서 작성 - 취수량 5,000m³/일 규모의 실증플랜트 구축 - 저심도 간접취수원 개선공법 신기술 등록 - 실증플랜트의 역세기능 및 역세압 제어기술 개발				
연구개발성과	▪ 저심도 간접취수원 개선공법 개발 - 지속가능한 간접취수원 개발 및 경제적인 유지관리 기술 개발 - 취수량을 극대화 할 수 있는 수직/수평 복합형 집수매거 공법 개발 ▪ 저심도 간접취수원 개발의 설계, 시공, 유지관리 지침서 마련 - 목표수량을 확보하기 위한 최적화된 설계기준 마련 - 개선공법의 실용화에 따른 각종 표준지침서 마련				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	▪ 신기술 취득으로 국내외 간접취수원 개발 시장 공략 ▪ 저심도 간접취수원 개발의 조사, 설계, 시공, 유지관리 표준지침서를 국내 엔지니어링업체 및 공공기관에 배포하여 실용화 추진 ▪ 기능성 스크린 관자재 제품 개발로 조달제품 등록 및 사업화 ▪ 하천 퇴적층의 불균질한 지질 특성으로 인한 수량 확보의 불확실성 문제를 해결할 수 있어 안정적인 대체수자원 확보 가능 ▪ 실증플랜트의 운영 및 신기술 등록을 통한 설계, 시공 및 유지관리 기술의 신뢰성 확보 ▪ 대수층 공극 폐색발생시 자동역세장치를 통한 공극 폐색을 개선함으로써 효율적인 유지관리와 경제적 비용 절감 효과 기대 ▪ 무분별한 간접취수원 개발과 수량 미확보에 따른 예산낭비 방지 ▪ 기존 취수원 개발 방식에서 차별화된 신개념의 대체수자원 확보 기술로 새로운 시장 창출 ▪ 저심도 간접취수원 개발의 원천 기술 확보로 해외 물 시장 경쟁력 강화				
핵심어 (5개 이내)	간접취수	기능성 스크린	역세장치	역세척	취수효율

＜ SUMMARY ＞

Purpose & Contents	▪ Development of the method for improvement of the source of indirect water intake at low depth – Development of functional screen product for which the securing of the quantity of water intake is easy – Reduction of maintenance cost for facility by grafting backwash function ▪ Development of optimization design technology and standard guidelines – Establishment of optimization design guidelines for the water intake pipeline for the securing of the target quantity – Research on the characteristics of the medium of substitution layer on top of the water intake pipeline – Preparation of standard guidelines for the development of the source of indirect water intake at low depth ▪ Establishment of demonstration plant and preparation of operational report – Establishment of demonstration plant with water intake capacity of 5000m³/day – Registration of the new technology for the method of improvement of source of indirect water intake at low depth – Development of technology for backwash function and controlling of the backwash pressure of demonstration plant
Results	▪ Development of the method for improvement of the source of indirect water intake at low depth – Development of sustainable source of indirect water intake and technology for economical maintenance ▪ Preparation of guidelines for the design, construction and maintenance of the source of indirect water intake at low depth – Establishment of optimized design standard for the securing of the target quantity – Establishment of various standard guidelines in accordance with the practical uses of improvement methods

Expected Contribution	▪ Target the source of the indirect water intake development market at home and abroad through acquisition of new technology ▪ Pursue practical uses by distributing the standard guidelines for the surveying, design, construction and maintenance of the development of the source of indirect water intake at low depth to domestic engineering companies and public institutions ▪ Registration and commercialization of the procurement products through the development of functional screen pipeline materials ▪ Possible to secure stable substitution water resources as it is possible to solve the problem of uncertainty in securing the quantity due to the heterogeneous geological characteristics of the sedimentary layer of rivers ▪ Secure the reliability of design, construction and maintenance technology through the operation of a demonstration plant and registration of new technology ▪ Anticipated effect of efficient maintenance and reduction in economic cost by improving the blocking of aperture through the use of automatic backwashing equipment at the time of the occurrence of the blocking of aperture in the aquifer ▪ Avoiding budget waste by the lack of water quantity ▪ Creation new markets through a new concept of alternative water resources technology ▪ Strengthening international water markets competitive as a source of technology acquisition				
Keywords	Indirect water intake	Functional screen	Backwashing equipment	Backwashing	Water intake efficiency

< 목 차 >

제1장. 연구개발과제의 개요	10
1. 연구개발 목적	10
2. 연구개발의 필요성	10
3. 연구개발 범위	11
제2장. 국내외 기술 개발 현황	12
1. 국내외 기술 특허 동향	12
가. 기능성 스크린관련 기술	12
나. 저심도 간접취수기술 관련 기술 개발 현황	12
2. 국내외 현장적용 사례	14
제3장. 연구 수행 내용 및 성과	15
1. 연구수행 내용	15
가. 저심도 간접취수원 개선공법 개발	15
나. Test Bed 확보	16
다. 최적화 설계 기술 개발	34
라. 실증 Pilot Plant 구축 및 운영	59
마. 2차 실증 Pilot Plant 실험	65
2. 연구수행 개발성과	71
가. 정량적 연구성과	71
나. 경제적 성과	73
제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	75
1. 목표 달성도	75
가. 성과목표 달성도 및 자체평가	75
나. 연구개발성과 및 평가 방법	76
2. 관련 분야 기여도	77

제5장. 연구개발성과의 활용계획	78
제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	79
제7장. 연구개발성과의 보안등급	96
제8장. 국과과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비현황	97
제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	98
제10장. 연구개발과제의 대표적 연구실적	99
제11장. 기타사항	100
제12장. 참고문헌	101

< Contents >

Chapter 1. Introduction to The Research Topic	10
Section 1 Purpose of The Research	10
Section 2 Necessity of the Research	10
Section 3 Range of The Research	11
Chapter 2. Development status in Korea and Foreign Country	12
Section 1 Current States of Technology in Korea and Foreign Country	12
1. Functional Screen related technology	12
2. Current States of Technology Development related Low-depth Indirect Intake	12
Section 2 Field application case in Korea and Foreign Country	14
Chapter 3. Contents and Result of The Research	15
Section 1 Contents of The Research	15
1. Development of Improvement Method related Low-depth Indirect Intake	15
2. Test Bed Selection	16
3. Development of Optimization Design Technology	34
4. Pilot Plant Construction and Operation	59
5. Secondary Pilot Plant Experiment	65
Section 2 Result of Research	71
가. Quantitative Result of Research	71
나. Economical Result of Research	73
Chapter 4. Goal Achievement and Contribution to Relevant Areas	75
Section 1 Goal Achievement	75
1. Goal Achievement and Self-Assessment	75
2. Result of Research and Assessment Method	76
Section 2 Contribution to Relevant Areas	77

Chapter 5. Utilization Plan of Research Results	78
Chapter 6. Foreign Research Information Collected during This Study Period	79
Chapter 7. Security level of Research Results	96
Chapter 8. Registered equipment and Research facility to National Science and Technology Information System	97
Chapter 9. The Actual Implementation of Safety measures for Research	98
Chapter 10. Representative result of The Result Research	99
Chapter 11. The Others	100
Chapter 12. Reference	101

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

◎ 저심도 간접취수원 개선공법을 개발하고 최적화 설계기술 개발 및 저심도 간접취수원 플랜트 구축, 운영을 통해 유지관리 기술 및 표준지침을 작성하는데 그 목적이 있고 목표는 다음과 같음

◎ 저심도 간접취수원 개선공법 개발

- 취수량 확보가 용이한 기능성 스크린 제품 개발
- 역세기능을 접목한 시설물의 유지관리 비용 절감

◎ 최적화 설계기술 개발 및 표준지침 개발

- 목표수량 확보를 위한 취수관의 최적화 설계지침 마련
- 취수관 상부 치환층의 매질 특성 연구
- 저심도 간접취수원 개발 표준지침서 작성

◎ 실증플랜트 구축 및 운영보고서 작성

- 취수량 5,000m³/일 규모의 실증플랜트 구축
- 저심도 간접취수원 개선공법 신기술 등록
- 실증플랜트 역세기능 및 역세압 제어기술 개발

2. 연구개발의 필요성

- 2012년 환경부의 상수도 통계에 따르면 우리나라의 상수도 보급률은 95.1%로 OECD 평균치인 87.2%를 웃도는 수준으로 국민 대부분이 상수도를 공급받고 있음. 그러나 2011년 국토해양부의 수자원장기 종합계획(2011~2020)에 따르면 5년 빈도의 가뭄시 전국에 약 1억6천 톤/년의 물이 부족하고 최대 가뭄 시에는 4억6천만 톤/년의 물이 부족한 것으로 예측되어 추가적인 수자원의 공급 대책이 필요할 것으로 판단되나 국내에 보급되는 상수도는 대부분이 광역상수도에 의지하고 있어 전쟁 및 기상재해등 유사시 용수 공급에 취약점을 지니고 있는 것이 사실이므로 몇몇 지자체(안성, 평택 등)의 경우 상수원수의 자체 공급을 위해 자체수자원을 개발하려는 노력을 기울이고 있음.
- 때문에 국내에서도 저심도 간접취수 시설의 사업화가 가능 할 것으로 판단되고, 현재 국내에 ‘기능성 스크린 장치를 적용한 저심도 간접취수 시설’이 존재하지 않으므로 기술의 검증과 사업화를 위해 국내에서 실증 플랜트 구축을 통한 연구를 수행 할 예정이며, 실증 검증을 통해 획득한 본 연구 결과를 바탕으로 추후 태국, 베트남, 인도네시아 등 동남아시아 국가를 대상으로 기술 이전 및 사업화를 진행 할 수 있을 것임.
- 기후변화에 따른 물부족 심화와 인구밀집형 mega & smart city 부상으로 안정적 수자원 확보 산업이 대두되고 있으며, 전 세계적으로 물 산업의 투자는 지속적으로 증가할 전망으로 국내 기업들의 물산업 수주는 늘어가고 있는 추세
- 국내에서도 향후 물 부족현상이 나타날 것으로 예측하고 있으며, 부족한 물의 양을 약 10%만 공급한다고 하더라도 40 ~ 120억의 수입을 확보할 수 있을 것으로 예상됨.

- 세계은행이 21세기에는 물 산업이 수천조원 규모의 산업을 형성할 것이라고 예측하는 등, 증대할 것으로 예상되는 수자원 시장의 확보를 위하여 세계적으로 기술개발 경쟁이 벌어지고 있음.
- 물산업의 중요성을 인식하고 국내 열악한 물 산업 육성 기반을 조성하고 국내 관련 업계의 해외진출을 지원할 수 있는 정책들을 제시하고 있으나, 아직까지 가시적인 성과를 도출하지 못하고 있는 실정임

3. 연구개발 범위

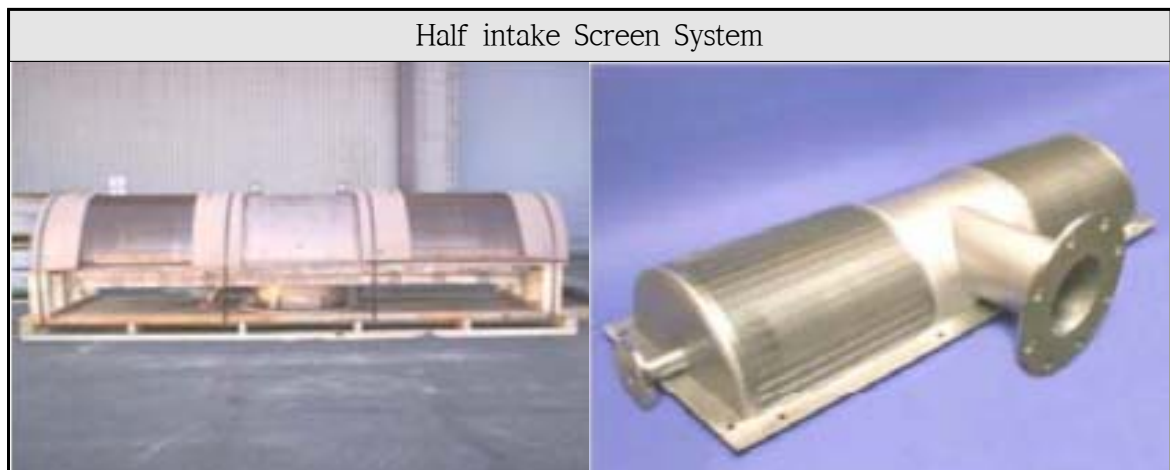
기간	단계별 주요 연구활동	연구 개발 범위
1단계 (15.10~16.10)	■ 개선공법 개발	- 기능성 스크린 제품개발 - 역세기능 접목 기술적용
	■ 최적화 설계기술 개발	- 이론적 근거에 따른 취수관의 길이 설정 - 설정된 취수관 길이로 지하수유동 모델링을 수행하여, 취수관의 적정 위치 및 배치형태 결정 - 상부 매질 특성에 따른 수량 및 수질 변화 연구
	■ 실증 Pilot plant 구축	- 실증플랜트 수량 및 수질 모니터링 - 적정 역세주기 및 역세압력 계산
2단계 (16.10~17.10)	■ Test Bed 확보	- 취수량 5,000m ³ /일 규모의 실증플랜트 구축이 가능한 Test Bed 확보 - 연구협력을 위한 MOU 체결
	■ 표준지침 작성	- 실증플랜트 운영 보고서 작성 - 개발된 기술의 표준지침서 작성
	■ 신기술 등록	- 저심도 간접취수원 개선공법 신기술 등록

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 국내외 기술 특허 동향

가. 기능성 스크린관련 기술

- 본 기술에 적용된 기능성 스크린과 관련된 해외사례는 다음과 같음(FEMA, 2014).
 - Laurel Water Treatment Plant Intake는 미국 서부 Montana주의 Laurel의 남쪽 약 1.4miles에 위치해있으며, Laurel의 도시는 1908년 이래로 유일하게 Yellowstone River로부터 원수 공급.
 - 지난 100년 이상 고속도로와 철로의 부근에 홍수로 인한 많은 변화로 인해 강줄기의 변형이 발생되어 물 공급에 어려움 발생.
 - 2011년과 2012년에 홍수로 인한 강줄기의 이동이 계속 발생됨으로 수위가 계속 낮아짐.
 - 저심도에 스크린 배치가 용이한 Half Intake Screen System을 활용한 취수시설 설치를 제안.



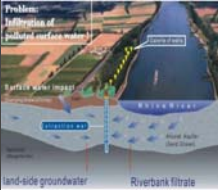
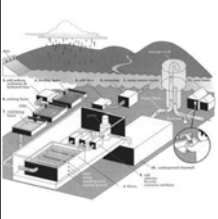
나. 저심도 간접취수기술 관련 기술 개발 현황

- 본 연구의 핵심 기술인 하천 대수층을 개착하고 대수층을 치환하여 간접취수원을 개발하는 공법이 적용되었거나, 특허로 등록된 사례를 찾아보기 어려움
- 본 기술과 유사한 기술인 개착식 하상여과공법의 특허기술 중 일부 특허 내용과 하상여과공법 및 강변여과 개발 공법의 국내외 적용사례를 간략히 요약하였음.

특허등록번호	특허명칭	특허내용
KR 10-1267025	역세 및 세정조절이 개별적으로 가능한 개착식 하상여과 전용 세정시스템	역세 및 세정조절이 개별적으로 제어 가능하여 소비전력을 줄이고, 세정시스템의 장치 용량을 소형화하여 이동식으로 운영할 수 있도록 개선된 역세 및 세정 조절이 개별적으로 가능한 개착식 하상여과 전용 세정시스템에 관한 것

특허등록번호	특허명칭	특허내용
KR 10 -0162166	개착식 하상여과공법을 이용한 집수시스템	하상 내에 설치된 수평집수관과 일체로 적어도 하나 이상의 수평관을 설치함으로써 토양미생물에 산소를 공급하고 하상 내 지층을 산소로 포화시켜 철, 망간의 산화로 여과수 내의 철, 망간 농도를 낮출 수 있으며 유기물 제거를 극대화시킬 수 있고, 원격자동제어가 가능한 집수시스템에 관한 것
KR 10 -1171869	개착식 하상여과역세장치 및 이를 포함하는 개착식 하상여과시스템	하상에 의해 하천수를 여과하여 집수하는 개착식 하상여과공법을 위한 개착식 하상여과역세장치 및 이를 포함하는 개착식 하상여과시스템에 관한 것
KR 10 -0926482	하상여과 시스템에 사용되는 다직경 집수관	오염물 농도가 높은 하천에서 맑은 물을 취수하기 위한 하상여과 시스템에 사용되는 집수관에 관한 것으로, 그 길이가 매우 길어도 집수정에서 멀리 떨어진 부분에서도 여과수가 원활하게 유입되어 대용량 하상여과 시스템을 가능하게 하는 다직경 집수관에 관한 것
KR 10 -1190430	수평 집수관 집수장치	강변 및 하상의 충적대수층을 통하여 여과된 여과수를 집수할 뿐만 아니라, 집수량의 조절이 가능한 수평집수관 집수장치에 관한 것으로, 보다 상세히는 집수정의 내부 수평관 말단에 설치된 밸브 플랜지에 연이은 수직관을 설치하고, 상기 수직관에는 바이오 매질유닛을 설치하여 집수 수질을 하천수질기준 I등급 이상으로 향상시키며, 수직관의 상단에는 텔레스코픽 밸브를 설치하여 하천의 수위에 따른 집수량 조절이 가능하도록 개선된 수평집수관 집수장치에 관한 것
US8491787 B2	Leveling hold-down mechanism for lateral screens	lateral screen을 하상의 대수층에 설치하여 물을 취수하고, 공기와 물로 역세척이 가능하며 스테인리스 스틸 재질을 사용하기 때문에 해수 또는 염수에 적용될 수 있는 underdrain system에 관한 것

2. 국내외 현장적용 사례

구 분	지역 및 시설명	특허내용
국내	포항시 형산강 집수매거	 - 취수공법 : 굴착식 하상여과공법 - 노후된 복류수 취수시설 교체 - 집수매거 시설 1.1km, 집합정 15개소
	경북 예천군 풍양면 집수매거	 - 취수공법 : 하상개착 및 집수매거 부설 - 농어촌 생활용수개발 취수시설 - 2,090 m³/일 규모
	인제군 내린천 고사취수장 집수매거	 - 취수공법 : 하상개착 및 집수매거 부설 - 생활용수 공급 - 집수매거(콘크리트 흡판) 290m, 집합정 5개소
국외	말레이시아 탄종 마니스, 쿠알라 캉사르시 하상여과	 - 취수공법 : 굴착식 하상여과공법 - 국내 (주)다주건설 시공 - 25,000 m³/일 규모
	독일 라인 정수장	 - 취수공법: 강변여과 공법 - 라인강 부근 강변여과 공법 적용 - 144,000m³/일 규모, 취수정 32개소
	미국 콜럼버스시 정수장	 - 취수공법 : 강변여과 공법 - 오하이오주 콜럼버스시 Water Plant #1,2 운영 - water Plant #1에 8개, #2dp 11개 집수정
	스위스 취리히 하드호프 정수장	 - 취수공법 : 강변여과 공법 - 라마트강 부근 강변여과공법 적용 - 150,000m³/일 규모, 수직공 19개소
	체고 카리나 정수장	 - 취수공법 : 강변여과공법 - 이제라강 부근 강변여과수 취수 - 150,000m³/일 규모, 취수정 680개소

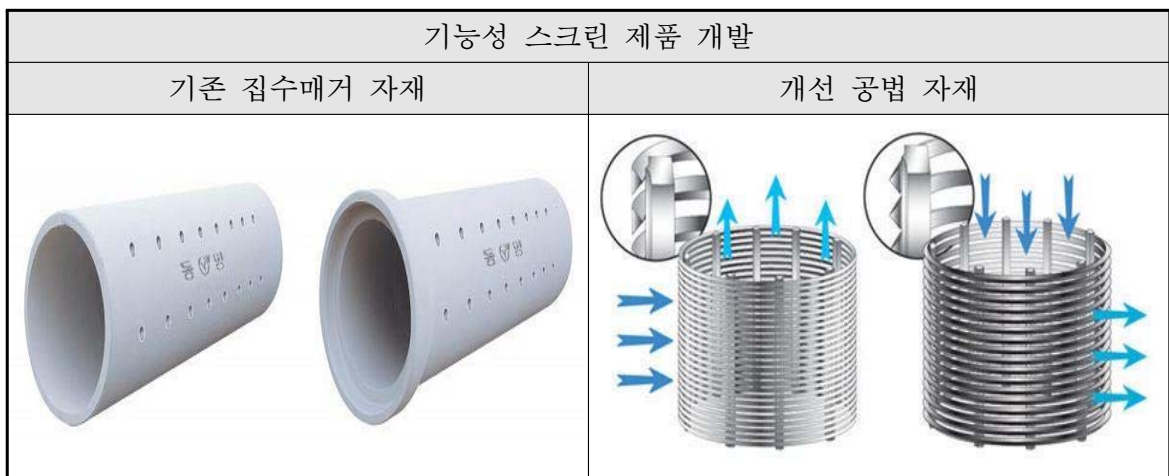
제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 연구수행 내용

가. 저심도 간접취수원 개선공법 개발

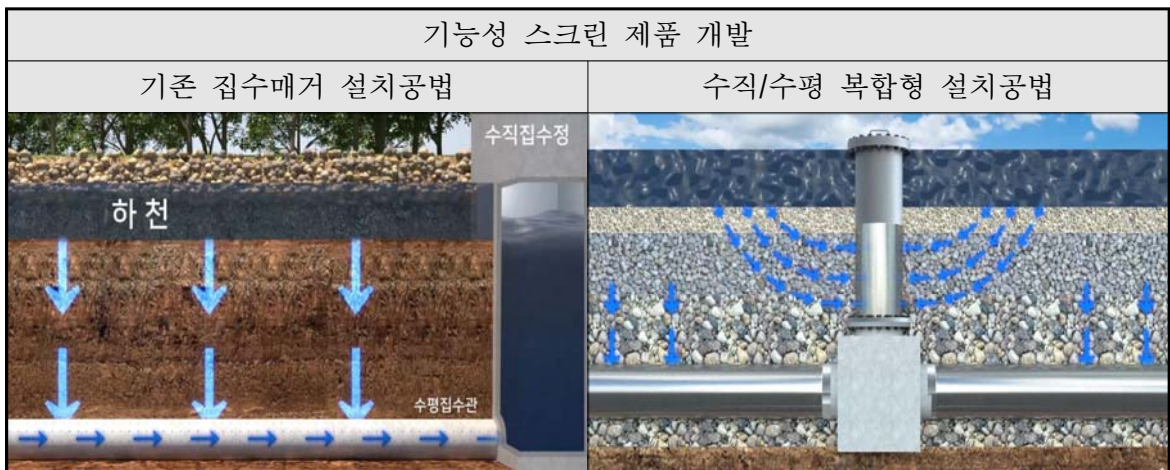
(1) 기능성 스크린 제품 개발

- 일반적으로 사용되는 콘크리트 유공관은 개공률이 낮기 때문에 목표취수량 달성을 위해서는 대구경관의 사용과 많은 자재 투입 및 과도한 사업부지 면적이 소요되는 실정임. 또한, 콘크리트 유공관은 부식에 대한 안정성이 낮아 취수량 확보 측면에서 매우 불리한 조건을 가지고 있음. 이에 관 재질이 우수한 STS 권선형스크린관을 사용하여 부식에 대한 안정성을 높이고, 개공율을 높여서 안정적으로 취수량을 확보하고자 함.



(2) 개선 공법 개발

- 기존 수평식 집수매거 부설 형태의 고정관념에서 벗어나 ‘수직/수평 복합형 집수매거 공법’을 개발하였고 제한된 집수구역 내에서 취수량을 극대화하여 공사비를 절감하였음. 유공관 자재의 경우 STS 권선형스크린관의 단위길이당 단가가 기존 콘크리트 유공관의 단위길이당 단가가보다 약 10배가량 고가이지만, 집수매거 연장길이에 따른 터파기량, 가시설 및 유지관리 측면에서 총 공사비가 약 20% 저렴함.



- 취수시설 장기 사용 시 스크린 슬롯사이의 이물질에 의한 막힘이나 대수층의 모래자갈층 공극 폐쇄현상으로 취수량 감소가 발생하게 됨. 기존 집수매거의 역세공법은 유공관 내부에 역세배관을 삽입하여 스크린 내부 청소를 하였으나, 슬롯 사이의 미세입자가 스크린 내부로 유입되어 퇴적되는 것을 해결하지 못해 취수효율이 감소되어 유지관리가 주기적으로 필요하게 되는 실정이었음. 본 연구에서는 취수량 감소를 해결하기 위해 ‘다층 균등 역세장치’를 개발하여 집수매거 상부 여재층 및 하상표층 폐색 문제를 손쉽게 해결하였음. 먼저, 고압의 유체(물과 공기)를 스크린 내부 배관 및 하상표층에 설치된 역세배관으로 공급하여 스크린 슬롯을 막고 있는 이물질이나 모래자갈층 및 하상표층 공극 폐쇄현상을 개선하였음.



나. Test Bed 확보

(1) MOU 체결

(가) GS건설

- [저심도 간접취수원 개선공법 개발 및 실용화] 연구의 기술사업화 일환으로 대용량 해수간접취수(Beach Well) 개발의 조사, 설계, 시공, 유지관리 분야 기술을 실제 현장에 적용하는데 있어서 GS건설에서 추진하고 있는 해외사업(Oman Sharqiyah IWP)에 시범 적용하기 위하여 GS건설과 연구협력 MOU를 체결함.
- 오만 해수간접취수시설에 대한 타당성 검토를 수행하였음.
 - 210,000m³/day를 취수하기 위하여 사업부지 특성, 취수방식, 설치형식 및 공사비 검토를 수행하였으며 Pilot 실험 및 모델링을 통한 취수가능량 검토를 수행함.
 - GS건설이 본 사업을 착수할 경우 취수시설 시공 공법사로 참여 예정이며, 약 60억 규모의 해외 사업화 성과를 달성할 것으로 예측됨.



(나) 안양시

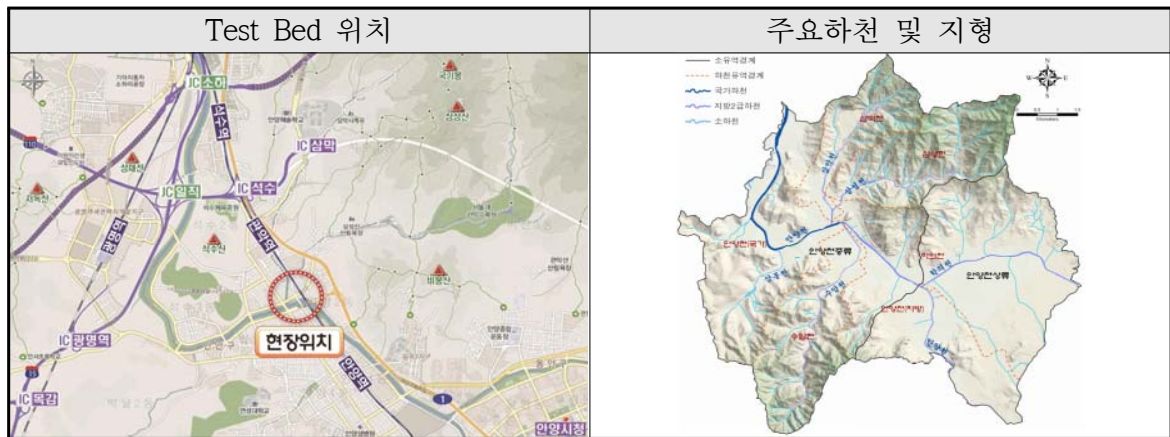
- [저심도 간접취수원 개선공법 개발 및 실용화] 연구에서 개발된 요소 기술들의 현장검증을 위해서 안양시와 연구협력 MOU를 체결하고 안양시 하천관리과에서 주관하는 “안양시 삼막천 수질개선사업”의 취수시설 현장을 Test Bed로 선정하였음.
- 치환여재의 특성 및 입경을 검토하고 이를 실증 Pilot Plant에 적용하여 수량/수질 검증을 통해 현장조건에 적합한 최적의 치환여재를 선정하였음.
- Test Bed 취수시설에는 본 연구의 핵심기술인 ‘수직/수평 복합형 집수매거 공법’과 ‘다층 균등 역세장치’를 설치하였고, 취수시설 가동 후 주기적인 수량/수질 모니터링을 수행하여 기술검증을 하였음.

연구협력 양해각서	
GS건설	안양시
『저심도 간접취수원 개선공법 개발 및 실용화』연구를 위한 연구협력 양해각서 2016. 5  	『저심도 간접취수원 개선공법 개발 및 실용화』 연구협력 양해각서 안양시 및 주식회사 웰텍(이하 “웰텍”)은 『저심도 간접취수원 개선공법 개발 및 실용화』 연구과제와 관련하여 아래와 같이 연구협력 양해각서를 체결한다. 제1조(목적) 본 협약은 『저심도 간접취수원 개선공법 개발 및 실용화』 연구에서 개발된 기술을 “안양시 삼막천 수질개선사업”에 시범 적용하여 기술을 검증하고, 삼막천 수질개선과 사후 안정적인 운영관리에 기여하는데 목적이 있다. 제2조(양해각서명) 본 양해각서의 정식명칭은 『저심도 간접취수원 개선공법 개발 및 실용화』를 위한 연구협력 양해각서라 하며, 이하 “양해각서”라 한다. 제3조(양해각서기간) 본 양해각서의 기간은 “안양시”와 “웰텍”이 협약서에 서명한 날로부터 연구가 종료되는 2017년 10월 30일까지로 한다. 제4조(사업의 범위) 본 양해각서에 의한 상호 연구협력 분야는 안양시에서 추진하고 있는 “삼막천 수질개선사업”을 대상으로 시범 적용한다. 제5조(실증연구부지) 본 연구과제를 통해서 개발된 기술을 실제 현장에 적용하는데 있어서 안양시는 “삼막천 수질개선 사업지구”를 연구기관이 Test Bed로 활용할 수 있도록 제공하며, 추후 신기술 인증을 위한 현장 심사 및 각종 현장 모니터링을 할 수 있도록 협조한다. “웰텍”은 연구개발 기술을 실증 연구부지에 적용하며, 취수량 및 수질개선 효과 검증을 위해 연구기간에 관계없이 통수 개시일로부터 1년간 사후 모니터링을 무상으로 기술 지원하며, 모니터링 결과를 근거로 “삼막천 수질개선 시설” 운영 유지관리 매뉴얼을 작성하여 안양시에 제공한다. 이와 관련하여 세부적인 사항은 실무협의를 통해서 상호 협의 하에 결정한다. 제6조(연구과제 참여기관) 연구과제 참여기관은 “웰텍”과 “국민대학교 건설시스템공학부”이며, “웰텍”이 “연구주관기관”으로 참여기관을 대표한다. 제7조(권리 및 의무) 1. “연구주관기관”은 제5조의 참여기관과 공동으로 연구과제를 수행함에 있어서 “안양시”와 “웰텍”간의 상생발전 방안에 일관된 저심도 간접취수원 상부 치환층 여재 검토 및 설계발명을 위한 타당성 검토 기술 용역에 성실하게 일한다.

(2) Test Bed 현황

(가) Test Bed 개요

- Test Bed 선정이 어려워 실증 Pilot Plant 구축을 하였으나 안양시와의 MOU체결을 통해 안양천 일대에 Test Bed를 선정하였음. 집수매거가 설치되는 위치는 경기도 안양시 만안구 석수동 삼막천 및 안양천 합류지점 일원이며 지형은 북쪽에 관악산 및 삼성산, 남쪽에 수리산 및 수암봉이 솟아 있음. 연평균 강우량은 1,216mm이고, 6~9월(4개월)에 집중되며 여름철 강우 집중도가 높은 우리나라의 강우 특성을 잘 나타냄.
- 원수로 사용되는 안양천 및 삼막천의 하천 특성을 물환경정보시스템(water.nier.go.kr) 및 경기도보전환경연구원의 자료를 활용하여 분석한 결과, 삼막천과 안양천 수질은 하천수 수질환경기준에 적용하였을 경우 삼막천 하류지점에서는 매우 좋음~보통의 등급을 나타내며, 그 외 지점에서는 매우 좋음~약간 나쁨의 등급을 나타냄.



자료출처 : 안양시, 2017

(나) 하천수 수질특성 조사

- 안양천의 수질 특성에 적합한 치환여재를 결정하기 위해 안양천 수질특성을 파악하였으며, 취수시설 가동 후 삼막천 상류에 하천유지용수를 방류할 경우 수질특성 변화를 파악하기 위하여 지류 하천들의 수질특성 조사도 실시함. 아래 조사위치 선정은 방류 상/하류 지점으로 하천수 탁도 기준 기초자료로 활용할 수 있으며 특히, 안양천 집수정 상류(AY-1)지점은 취수시설 하천수의 탁도 기준 기초자료로 활용함.



- 기 조사된 문헌 및 현재 하천 현황 분석결과, Test Bed는 강우 발생에 따른 하천수 수질 변화가 민감하게 나타났으며 안양천 AY-1 지점의 강우이벤트 발생에 따른 탁도 변화 분석결과, 탁도는 강우 발생 이전 1.52NTU에서 강우 발생 후 최고 73.8NTU로 증가하였으며, 부유물질(SS) 농도는 강우 발생 전 2.4mg/L에서 강우 발생 후 51.0mg/L까지 약 21배 증가하였고 부유물질(SS) 뿐만 아니라 BOD, TP 항목의 분석 결과도 평상시 보다 각각 7배, 11배 증가한 것으로 나타남. 지류하천 조사 결과 SM-2 지점은 주변 공사현장에서 내려오는 탁수로 인해 탁도가 높게 관측되었으며, 강우 발생 이후 77.2NTU까지 상승하였음. 또한 강우 발생으로 인해 SM-2지점에서 고농도 탁수가 생성되어 삼막천-삼성천 합류지점인 SS-2지점에서도 높게 관측되었음.

AY-1	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
강우발생 전	2.4	0.7	6.4	4.106	0.133
강우발생 후	51.0	5.0	7.7	4.051	1.471

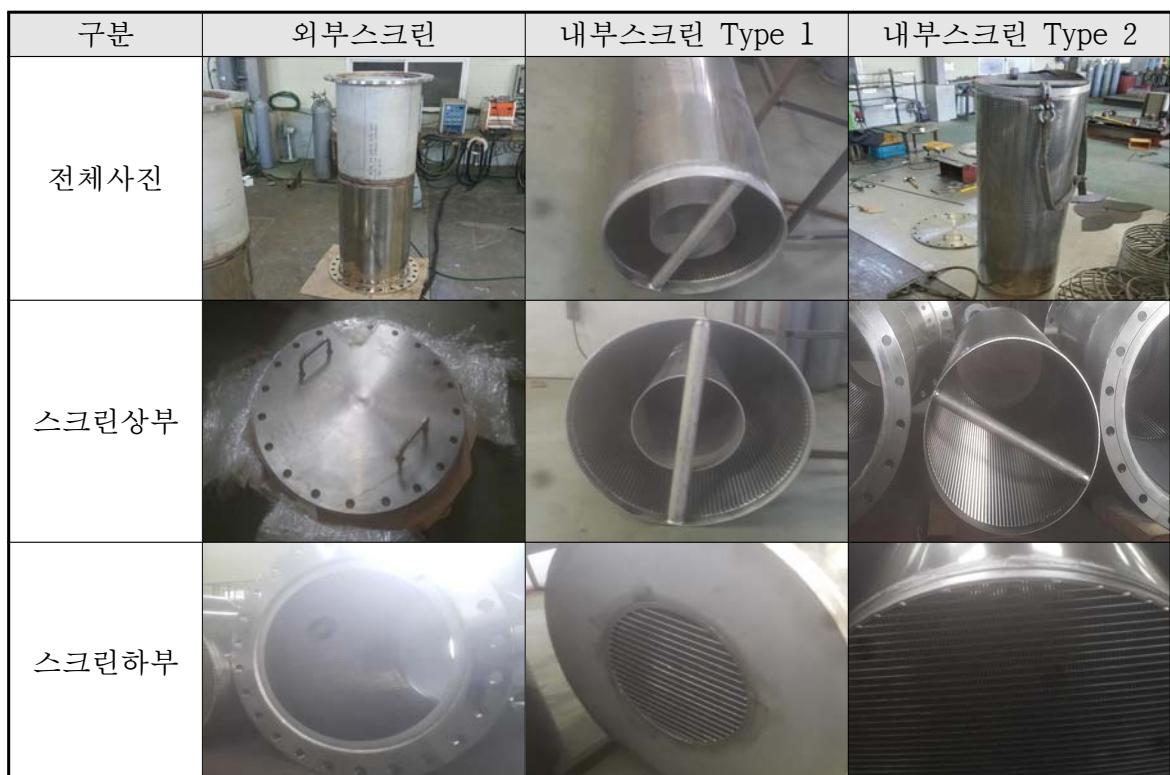
- 현장조사 결과만으로 주입원수의 탁도를 결정하기에는 어려움이 있다고 판단되었고, 또한 여름철 집중되는 강우 특성이 반영되어야 할 것으로 판단되어 최근 3년간 강우특성을 반영한 결과를 토대로 주입원수의 탁도를 결정하였음. 안양천의 강우발생에 따른 탁도 변화를 조사한 기존 문헌에 따르면 6~8월에 6.5~92.0NTU로 최대농도가 나타나(조현석 외, 2014) 집수매거 치환여재층은 100NTU 이상에서도 하천수 방류수질기준인 25mg/L 내외의 안정적인 여과수 수질을 생산할 수 있는 여재를 결정하였음.

구분	겨울(12~2월)	봄(3~5월)	여름(6~8월)	가을(9~11월)
탁도(NTU)	15.4~66.8	11.7~83.0	6.5~92.0	6.2~67.8

(다) 수직/수평 집수매거 시공

① 스크린 및 구조물 제작

- 집수매거 시설 시공 전 본 연구의 핵심기술인 수직/수평스크린을 제작하였으며, 접합 구조물의 설계 및 안정성 검토를 수행하였음. 수직 및 수평집수관은 STS304 재질의 권선형스크린으로 제작되었으며, 스크린 슬롯사이즈는 1mm, 연결방식은 용접이음 방식으로 제작하였음.
- 수직집수관은 외부스크린과 내부스크린으로 구분되며 외부스크린의 경우 상단부가 하천바닥위로 노출되기 때문에 원수가 스크린내로 직접 유입되는 것을 방지하고자 외부스크린 상부에 무공관을 결합하여 제작하였고, 외부스크린 상단부는 상부덮개를 제작하여 플랜지 결합으로 밀봉하였음. 내부스크린은 여재를 설치하는 구성방법에 따라 두 가지 형태로 제작하였고 Type1은 2중 스크린 처리되어 있고, Type2는 스크린 내부 전체에 여재를 채울 수 있는 형태로 구성되어 있음. 이는 집수매거가 설치되는 현장의 수질조건에 따라 내부스크린에 들어가는 여재의 양을 조절하여, 불필요한 여재의 낭비를 방지하고 수량 확보에 유리한 취수시설 설치하기 위함임.



- 일반적인 집수매거를 이용한 취수시설은 취수관의 노후화 및 폐색현상이 발생하였을 경우, 마땅한 대처방안이 없는 실정임. 본 연구에서는 장기간 운영을 통해 발생하는 폐색현상에 대비하여 수평집수관에는 역세장치를 설치하고, 수직집수관에는 교체형 필터여재를 적용하였음. 수직집수관 내부에는 화학성분이 가미되지 않은 모래, 자갈, 유리 및 세라믹 Bead, 활성탄, 화산석 등의 필터여재가 이중으로 삽입되어 있으며, 장기간 운영으로 인한 폐색현상이 발생 할 경우, 간단한 방식으로 필터여재를 꺼내 폐색 물질을 세척한 뒤 수직집수관에 다시 설치하여 몇 번이고 재사용이 가능함. 역세장치는 50mm 스테인레스 배관 상부에 공기배출 구멍을 지그재그 형식으로 천공하고 고압 공기를 스크린 내부로 불어 넣어, 스크린 슬롯 및 외부에 막혀있는 이물질 제거 장치이며 수평스크린 내부에 설치하였음.



- 접합구조물은 수직집수관과 수평집수관을 복합 제작하는 과정에 있어, 유입수의 집수 능력 향상 및 수직/수평 집수관의 안정적인 결합을 위하여 고안되었으며, 수직집수관과 집수관 내부에 포함되는 여재의 무게를 견디기 위해 철근콘크리트 재질로 제작하였음. 또한 수직집수관의 설치가 간단하고 기밀성이 좋도록 상부에는 플랜지방식의 엔트라스를 설치하였으며 구조 강성을 확인한 결과, 상부, 측면부 하부 모두 필요 강성의 최소 4배 이상으로 안전한 것으로 검토되었음.



② 집수매거 시공

- 수직/수평 복합형 집수매거 공법의 시공순서는 터파기 및 우물통 시공 이후 ①수평집수관 설치 ⇨ ②접합구조물 설치 ⇨ ③수직집수관 설치 ⇨ ④필터여재 설치 ⇨ ⑤치환여재 되메우기 ⇨ ⑥시트파일 제거 및 공사완료 순으로 시공하였음.



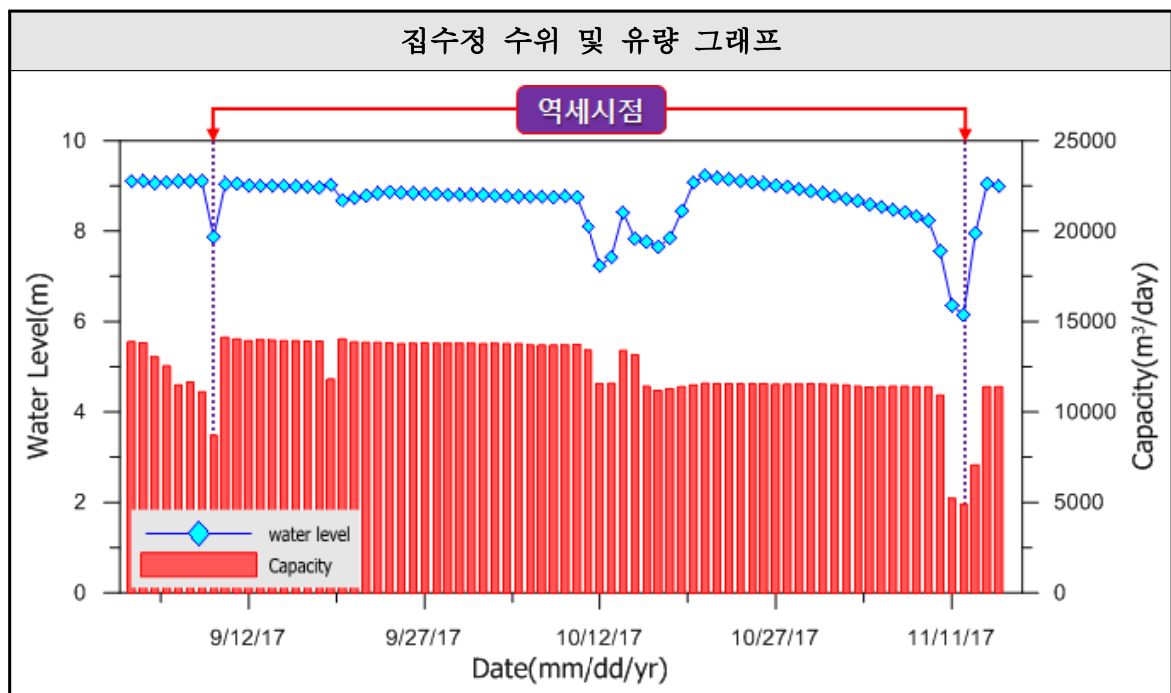
(3) Test bed 시험시설 운영 결과

- Test bed에 설치된 시험시설은 본 연구과제를 통해 개발한 수직/수평 복합형 집수매거 공법이 최초로 적용된 저심도 간접취수 시설이므로 이에 대한 운영결과 검토를 통해 개발공법의 효용성을 분석하고자 하였음.
- 또한 시험시설은 향후 안양시 삼막천에 지속적으로 양질의 하천유지용수를 공급해야 하는 중요한 시설로서 수량 및 수질이 검증 되어야 하므로 따라서 연구기간 동안 관측한 집수정의 수위 및 취수량 자료와 수질 검사 자료를 활용하여 시험시설의 운영결과를 확인 검증하였음.

(가) 수량 및 역세장치 효과 검토

- Test bed에 설치된 실증시험시설은 2017년 6월에 설치되어 7월 8일 시험 가동을 시작으로 현재까지 약 5개월간 가동중으로 본 연구에서는 2017년 7월 8일 ~ 현재(11월 15일)까지의 관측결과를 바탕으로 수량 분석을 수행하였음. 그러나 7월과 8월은 장마기로서 운영기간 대부분이 취수를 하지 않아 유량 데이터의 확보가 불가능함으로 실제 분석은 시설이 정상 운영되는 9월 02일 ~ 11월 15일의 약 2개월 자료를 활용하여 수행하였음.
- 또한 수량 분석과 함께 운영기간 중 2차례의 역세가 수행되었으며, 관측 자료를 통해서 역세 시설의 가동 효과를 함께 검증하였음.
- 다만, 하천의 수위변화에 따른 취수량 변화 및 강우에 의한 탁수 유입으로 발생하는 하천 폐색에 대한 영향은 관측데이터 부족으로 수행하지 못하였으며, 향후 이에 대한 관측 및 분석이 필요할 것으로 생각됨

① 수량분석



Test bed 실증시험시설 수위 및 취수량			
날 짜	일평균수위 (m)	일평균취수량 (m ³ /day)	비 고
2017년 09월 02일	9.31	13,884	
09월 03일	9.10	13,818	
09월 04일	9.10	13,036	
09월 05일	9.06	12,540	
09월 06일	9.08	11,490	
09월 07일	9.10	11,643	
09월 08일	9.10	11,115	
09월 09일	9.10	8,703	1차 역세
09월 10일	7.87	14,123	
09월 11일	9.03	14,016	
09월 12일	9.05	13,920	
09월 13일	9.00	13,980	
09월 14일	9.00	13,963	
09월 15일	9.00	13,936	
09월 16일	9.00	13,930	
09월 17일	8.98	13,910	
09월 18일	8.98	13,919	
09월 19일	8.96	11,806	
09월 20일	9.02	14,011	
09월 21일	8.68	13,866	
09월 22일	8.73	13,826	
09월 23일	8.78	13,825	
09월 24일	8.83	13,809	
09월 25일	8.86	13,771	
09월 26일	8.85	13,787	
09월 27일	8.83	13,807	
09월 28일	8.82	13,790	
09월 29일	8.82	13,798	
09월 30일	8.80	13,801	
10월 01일	8.80	13,785	
10월 02일	8.80	13,765	
10월 03일	8.80	13,787	
10월 04일	8.78	13,770	
10월 05일	8.77	13,774	
10월 06일	8.76	13,700	
10월 07일	8.76	13,692	
10월 08일	8.76	13,690	
10월 09일	8.75	13,703	
10월 10일	8.77	13,723	
10월 11일	8.75	13,414	
10월 12일	8.10	11,553	
10월 13일	7.23	11,578	
10월 14일	7.42	13,386	
10월 15일	8.41	13,157	

Test bed 실증시험시설 수위 및 취수량			
날 짜	일평균수위 (m)	일평균취수량 (m ³ /day)	비 고
10월 16일	7.83	11,405	
10월 17일	7.76	11,171	
10월 18일	7.65	11,263	
10월 19일	7.85	11,393	
10월 20일	9.07	11,480	
10월 21일	9.23	11,565	
10월 22일	9.17	11,561	
10월 23일	9.14	11,552	
10월 24일	9.10	11,546	
10월 25일	9.08	11,545	
10월 26일	9.03	11,554	
10월 27일	9.00	11,533	
10월 28일	9.98	11,519	
10월 29일	8.93	11,529	
10월 30일	8.88	11,544	
10월 31일	8.83	11,533	
11월 01일	8.77	11,505	
11월 02일	8.71	11,471	
11월 03일	8.67	11,413	
11월 04일	8.58	11,375	
11월 05일	8.53	11,389	
11월 06일	8.47	11,409	
11월 07일	8.41	11,398	
11월 08일	8.33	11,395	
11월 09일	8.23	11,383	
11월 10일	7.55	10,909	
11월 11일	6.35	5,226	
11월 12일	6.15	4,902	
11월 13일	7.95	7,068	2차 역세
11월 14일	9.05	11,381	
11월 15일	8.99	11,384	
최 소	6.15	4,902	
최 대	9.23	14,123	
평 균	8.64	12,315	

- 실증 시험시설의 수량 검토결과 분석기간 동안 시설의 평균 수위는 8.64m 수준으로 분석되었으며, 평균 취수량은 12,315 m³/day으로 나타나 본래 “삼막천 하천유지용수 취수시설”의 목표 취수량 9,000 m³/day을 상회하는 취수량을 보이는 것으로 확인되었음. 다만 최소 수위와 최소 취수량은 6.15m와 4,4902 m³/day로 나타나 하천폐색에 의한 영향이 일부 있었음을 확인 할 수 있었음.
- 분석기간 중 최대수위는 9.23m이며, 최대취수량은 14,123 m³/day으로 확인되었음.

② 역세효과 분석

- 앞서 언급한 바와 같이 분석기간인 9월 02일 ~ 11월 15일까지 수위강하 및 수량 감소로 인하여 2차례의 역세가 수행되었으며, 해당기간 동안 관측한 자료로부터 역세로 인한 수위 및 수량 회복 분석을 통해 역세 효과를 검증하고자함.
- 일반적으로 취수시설의 역세장치를 가동하는 시점은 취수시설의 효율이 초기보다 일정수준 이하로 감소하였을 경우 수행하게 되나 일반적으로 취수량이 약 40% 감소한 시점에 수행함.
- 취수시설의 취수량 감소시점은 각 취수시설 설치장소의 하천수질, 하천유량, 취수량 등 여러 요인에 따라 다르게 나타나므로 역세 주기를 일괄적으로 적용하는 것은 바람직하지 않음.
- 보통 강변여과수 취수시설의 경우 약 5년이 경과된 경우 취수량 감소에 의해 역세와 같은 유지관리를 실시하는 것으로 알려져 있으나 강변여과수보다 심도가 낮은 저심도 간접취수 시설 및 하상여과 또는 복류수 취수시설의 경우 하천수질, 하천유량, 취수량 등 여러 요인에 더 민감하게 반응하므로 그 주기가 비교적 짧음.
- 실증시험 시설이 설치된 안양천 지점은 도심지를 관통하는 여러 지류들을 가지고 있는 하천으로 강우발생시 도심지 피복으로 인한 많은 기저 유출의 빠른 유입으로 급격한 탁수의 유입이 이루어지는 지역임. 또한 하류에 보가 있어 하천의 유속이 느리므로 유입된 탁수에 섞인 미세입자는 내려가지 못하고 강우 종료와 함께 하상에 퇴적되고 있음. 더욱이 갈수기인 동절기에는 하천 유량의 감소로 인하여 미세입자의 퇴적을 가속화 시키고 있음.
- 실증시험시설은 분석기간인 2017년 9월 09일과 11월 13일에 취수효율 감소로 인한 2차례의 역세를 실시하였고, 역세를 실시한 취수효율 회복 결과는 다음과 같음.

역세전과 역세후의 수위 및 취수량 비교						
구분	폐색전		폐색후		역세후	
	수위 (m)	취수량 (m ³ /day)	수위 (m)	취수량 (m ³ /day)	수위 (m)	취수량 (m ³ /day)
1차	9.10	13,884	7.87 (▼14%)	8,703 (▼37%)	9.03 (▲99%)	14,123 (▲102%)
2차	8.23	11,383	6.15 (▼25%)	4,902 (▼57%)	9.05 (▲110%)	11,381 (▲100%)

- 역세로 인한 취수효율 회복을 분석한 결과 1차 역세시 폐색전 수위는 9.10m이며, 취수량은 13,884 m³/day 였으나, 폐색에 의해 수위와 취수량이 각각 14% 및 37% 감소하여 7.87m 및 8,703 m³/day로 나타났음. 이후 역세를 실시하였고, 그 결과 수위와 취수량은 각각 거의 100% 회복되는 결과를 보였음.
- 2차 역세 역시 폐색전 수위보다 폐색에 의해 수위와 취수량이 25% 및 57% 각각 감소하였고, 역세 후 폐색전 수위와 취수량을 거의 100% 회복하는 결과를 나타냈음.
- 추후 취수시설의 수위와 수량 및 하천의 유량, 유속 등을 함께 지속적으로 모니터링하여 분석할 경우 역세 주기 파악 및 하천의 조건이 폐색에 미치는 영향을 분석할 수 있을 것으로 판단됨.

(나) 수질 검토

① 수질 검토 개요

- 시험시설 가동 후 운영에 따른 수질 개선 성능결과를 확인하기 위하여 현장수질분석과 현장수질샘플링을 실시하여 공인인증기관에 수질분석을 의뢰하였으며, 분석항목은 각각 아래와 같음.

구 분	분석 항목
현장수질분석	수온, pH, DO, EC, ORP, 탁도
공인인증기관분석	pH, BOD, SS, DO, 탁도, 총대장균, 분원성대장균

- 여과수 인근 하천수와 수직/수평 복합형 집수매거의 여과수 비교분석을 위해 8개의 조사지점을 선정하였고, 3회씩 채수하였음.



조사 지점	위치
AW-1	안양천 하천수(실증시설 상류부)
AW-2	실증시설 우물통 내부 여과수
AW-3	안양천 하천수(실증시설 하류부)
AW-4	삼막천-삼성천 합류부 하천수
AW-5	삼성천 하천수
AW-6	삼성천 합류전 삼막천 하천수
AW-7	실증시설 여과수 배출구
AW-8	삼막천 상류 하천수



② 수질 검토 결과

- 현장수질분석 결과, 실증시설(복합형 집수매거시설) 인근의 하천 원수 탁도는 23.2 ~ 23.9NTU로 나타났으며, 실증시설의 여과수 탁도는 2.16NTU로 나타났고, 집수매거시설의 여과배출수 탁도는 2.36NTU로 나타나 복합형 집수매거시설의 여과수의 탁도가 인근 하천원수의 탁도 대비 약 10배 저감하는 것을 확인함.

구분	pH	EC (μ S/cm)	DO (mg/L)	ORP (mV)	온도 (°C)	탁도 (NTU)	비고
AW-1	6.93	105.5	4.10	271.5	25.0	23.2	원수
AW-2	7.08	280.6	1.65	104.3	23.4	2.16	여과수
AW-3	6.88	275.7	4.56	98.2	25.5	23.9	원수
AW-4	7.11	342.0	5.80	94.2	26.7	5.13	원수
AW-51	7.36	290.8	5.80	93.6	26.3	9.06	원수
AW-6	7.01	406.0	5.33	93.1	26.4	2.82	원수
AW-7	6.52	91.7	5.73	95.3	23.6	2.36	여과수
AW-8	6.57	280.9	2.30	88.2	23.8	3.16	원수

- 공인인증기관 수질분석 결과, 실증시설을 설치한 부근의 안양천 상/하류에서 채수한 6개 시료의 평균 부유물질(SS)은 37.4mg/L이며, 평균 탁도는 17.55NTU으로 나타남. 또한 실증시설의 우물통 내부에서 채수한 2개 시료의 평균 부유물질은 2.5mg/L이며, 평균 탁도는 1.93NTU로 나타남. 이 결과로 보아 수직/수평 집수매거공법으로 설치하였을 경우 부유물질은 약 15배, 탁도는 약 9배 정도 저감되는 것을 확인함. 탁도와 부유물질(SS)의 저감효과를 비교해볼 때 하천수 대비 여과수의 탁도 저감율은 92.6%, 하천수 대비 여과수의 부유물질(SS) 저감율은 96.1%로 분석되어 집수매거시설 여과수의 탁도 및 부유물 저감효과는 매우 뛰어난 것으로 나타남.

구분	탁도(NTU)	부유물질(mg/L)	비고
하천수	16.6	41.83	AW-1 지점
여과수	1.22	1.60	AW-7 지점
저감율(%)	92.6	96.1	

구분		pH	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	DO (mg/L)	총대 장균 (수)	분원성 대장균 (수)	탁도 (NTU)	비고
AW-1	AW-1-1	6.8	6.2	50.5	8.4	7,000	2,100	23.20	하천수 원수
	AW-1-2	6.8	6.6	37.0	8.2	6,800	2,400	14.00	
	AW-1-3	6.6	7.1	38.0	8.3	4,100	1,600	12.60	
	평균값	6.8	6.6	41.8	8.3	5,967	2,033	16.60	
AW-2	AW-2-1	7.1	6.4	2.6	8.6	9,400	1,800	2.24	집수매 거 여과수
	AW-2-2	6.8	6.2	2.6	8.4	7,600	3,100	1.85	
	AW-2-3	6.6	6.4	2.2	8.6	7,800	2,400	1.71	
	평균값	7.0	6.3	2.5	8.5	8,267	2,433	1.93	
AW-3	AW-3-1	7.1	7.6	34.0	8.4	6,400	1,100	17.30	하천수 원수
	AW-3-2	7.0	7.7	33.7	8.4	7,100	2,100	21.80	
	AW-3-3	7.0	7.8	31.0	8.5	7,800	2,800	16.40	
	평균값	7.0	7.7	32.9	8.4	7,100	2,000	18.5	
AW-4	AW-4-1	7.2	2.8	5.6	8.4	8,400	1,900	3.47	하천수 원수
	AW-4-2	7.2	2.5	6.2	8.4	8,500	3,400	3.04	
	AW-4-3	7.2	2.7	5.0	8.2	8,900	2,900	2.45	
	평균값	7.2	2.7	5.6	8.3	8,600	2,733	2.99	
AW-5	AW-5-1	7.3	2.8	6.6	8.3	7,100	2,800	3.94	하천수 원수
	AW-5-2	7.3	2.9	6.4	8.2	6,900	1,400	2.93	
	AW-5-3	7.4	2.9	6.6	8.4	8,400	1,800	4.03	
	평균값	7.3	2.9	6.5	8.3	7,467	2,000	3.63	
AW-6	AW-6-1	7.3	2.0	4.0	8.5	6,600	1,900	1.64	하천수 원수
	AW-6-2	7.3	1.9	5.8	8.5	7,900	2,100	2.25	
	AW-6-3	7.3	2.0	4.8	8.4	8,200	2,900	1.24	
	평균값	7.3	2.0	4.9	8.5	7,567	2,300	1.71	
AW-7	AW-7-1	7.3	6.4	2.0	8.6	4,600	1,200	1.34	집수매 거 여과수
	AW-7-2	7.3	6.5	1.2	8.5	6,700	1,100	1.27	
	AW-7-3	7.3	6.6	1.6	8.4	4,300	900	1.06	
	평균값	7.3	6.5	1.6	8.5	5,200	1,067	1.22	
AW-8	AW-8-1	7.0	1.0	1.0	8.4	4,900	1,600	1.90	하천수 원수
	AW-8-2	7.0	0.9	11.0	8.6	5,300	2,100	3.87	
	AW-8-3	7.0	0.9	6.2	8.4	7,400	2,700	2.25	
	평균값	7.0	0.9	6.1	8.5	5,867	2,133	2.67	

구분	안양 삼막천(AW-1, AW-2) 수질시험성적서																																								
AW-1	1. 시트내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)외</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>검수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td colspan="5">경기도 안양시 안양천 일대 (AW-1-1)</td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-1-1)																																
	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일																																			
	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-1-1)																																							
	2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 정</td> <td>이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td></td> </tr> </table>	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음	수질기준초과항목																																					
	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																							
	수질기준초과항목																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>6.8</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>7200</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>6.2</td> <td>6</td> <td>분원성대장균군(수)</td> <td></td> <td>2100</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>50.5</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>23.20</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		6.8	5	총대장균군(수)		7200	2	생물화학적산소요구량		6.2	6	분원성대장균군(수)		2100	3	부유물질		50.5	7	탁도		23.20	4	용존산소		8.4				
	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																	
	1	수소이온농도		6.8	5	총대장균군(수)		7200																																	
	2	생물화학적산소요구량		6.2	6	분원성대장균군(수)		2100																																	
3	부유물질		50.5	7	탁도		23.20																																		
4	용존산소		8.4																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									
AW-1	1. 시트내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)외</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>검수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td colspan="5">경기도 안양시 안양천 일대 (AW-1-2)</td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-1-2)																																
	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일																																			
	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-1-2)																																							
	2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 정</td> <td>이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td></td> </tr> </table>	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음	수질기준초과항목																																					
	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																							
	수질기준초과항목																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>6.8</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>6900</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>6.6</td> <td>6</td> <td>분원성대장균군(수)</td> <td></td> <td>2400</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>37.0</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>14.00</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		6.8	5	총대장균군(수)		6900	2	생물화학적산소요구량		6.6	6	분원성대장균군(수)		2400	3	부유물질		37.0	7	탁도		14.00	4	용존산소		8.2				
	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																	
	1	수소이온농도		6.8	5	총대장균군(수)		6900																																	
	2	생물화학적산소요구량		6.6	6	분원성대장균군(수)		2400																																	
3	부유물질		37.0	7	탁도		14.00																																		
4	용존산소		8.2																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									
AW-2	1. 시트내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)외</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>검수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td colspan="5">경기도 안양시 안양천 일대 (AW-2-1)</td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-2-1)																																
	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일																																			
	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-2-1)																																							
	2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 정</td> <td>이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td></td> </tr> </table>	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음	수질기준초과항목																																					
	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																							
	수질기준초과항목																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>6.8</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>4100</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>7.1</td> <td>6</td> <td>분원성대장균군(수)</td> <td></td> <td>1600</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>38.0</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>12.60</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		6.8	5	총대장균군(수)		4100	2	생물화학적산소요구량		7.1	6	분원성대장균군(수)		1600	3	부유물질		38.0	7	탁도		12.60	4	용존산소		8.3				
	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																	
	1	수소이온농도		6.8	5	총대장균군(수)		4100																																	
	2	생물화학적산소요구량		7.1	6	분원성대장균군(수)		1600																																	
3	부유물질		38.0	7	탁도		12.60																																		
4	용존산소		8.3																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									
AW-2	1. 시트내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)외</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>검수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td colspan="5">경기도 안양시 안양천 일대 (AW-2-2)</td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-2-2)																																
	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일																																			
	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-2-2)																																							
	2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 정</td> <td>이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td></td> </tr> </table>	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음	수질기준초과항목																																					
	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																							
	수질기준초과항목																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>7.0</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>9400</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>6.4</td> <td>6</td> <td>분원성대장균군(수)</td> <td></td> <td>1800</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>2.6</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>2.24</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		7.0	5	총대장균군(수)		9400	2	생물화학적산소요구량		6.4	6	분원성대장균군(수)		1800	3	부유물질		2.6	7	탁도		2.24	4	용존산소		8.6				
	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																	
	1	수소이온농도		7.0	5	총대장균군(수)		9400																																	
	2	생물화학적산소요구량		6.4	6	분원성대장균군(수)		1800																																	
3	부유물질		2.6	7	탁도		2.24																																		
4	용존산소		8.6																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									
AW-2	1. 시트내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)외</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>검수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td colspan="5">경기도 안양시 안양천 일대 (AW-2-3)</td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-2-3)																																
	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일																																			
	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-2-3)																																							
	2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 정</td> <td>이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td></td> </tr> </table>	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음	수질기준초과항목																																					
	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																							
	수질기준초과항목																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>7.1</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>7800</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>6.2</td> <td>6</td> <td>분원성대장균군(수)</td> <td></td> <td>3100</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>2.2</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>1.71</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		7.1	5	총대장균군(수)		7800	2	생물화학적산소요구량		6.2	6	분원성대장균군(수)		3100	3	부유물질		2.2	7	탁도		1.71	4	용존산소		8.4				
	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																	
	1	수소이온농도		7.1	5	총대장균군(수)		7800																																	
	2	생물화학적산소요구량		6.2	6	분원성대장균군(수)		3100																																	
3	부유물질		2.2	7	탁도		1.71																																		
4	용존산소		8.4																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									

구분	안양 삼막천(AW-3, AW-4) 수질시험성적서																																								
AW-3	1. 시트내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)외</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>접수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td colspan="5">경기도 안양시 안양천 일대 (AW-3-1)</td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-3-1)																																
	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일																																			
	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-3-1)																																							
	2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 정</td> <td>이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td></td> </tr> </table>	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음	수질기준초과항목																																					
	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																							
	수질기준초과항목																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>7.1</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>6400</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>7.6</td> <td>6</td> <td>분원성대장균군(수)</td> <td></td> <td>1100</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>34.0</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>17.30</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		7.1	5	총대장균군(수)		6400	2	생물화학적산소요구량		7.6	6	분원성대장균군(수)		1100	3	부유물질		34.0	7	탁도		17.30	4	용존산소		8.4				
	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																	
	1	수소이온농도		7.1	5	총대장균군(수)		6400																																	
	2	생물화학적산소요구량		7.6	6	분원성대장균군(수)		1100																																	
3	부유물질		34.0	7	탁도		17.30																																		
4	용존산소		8.4																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									
AW-3	1. 시트내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)외</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>접수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td colspan="5">경기도 안양시 안양천 일대 (AW-3-2)</td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-3-2)																																
	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일																																			
	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-3-2)																																							
	2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 정</td> <td>이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td></td> </tr> </table>	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음	수질기준초과항목																																					
	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																							
	수질기준초과항목																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>7.0</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>7100</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>7.7</td> <td>6</td> <td>분원성대장균군(수)</td> <td></td> <td>2100</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>33.7</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>21.80</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		7.0	5	총대장균군(수)		7100	2	생물화학적산소요구량		7.7	6	분원성대장균군(수)		2100	3	부유물질		33.7	7	탁도		21.80	4	용존산소		8.4				
	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																	
	1	수소이온농도		7.0	5	총대장균군(수)		7100																																	
	2	생물화학적산소요구량		7.7	6	분원성대장균군(수)		2100																																	
3	부유물질		33.7	7	탁도		21.80																																		
4	용존산소		8.4																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									
AW-4	1. 시트내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)외</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>접수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td colspan="5">경기도 안양시 안양천 일대 (AW-4-1)</td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-4-1)																																
	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일																																			
	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-4-1)																																							
	2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 정</td> <td>이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td></td> </tr> </table>	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음	수질기준초과항목																																					
	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																							
	수질기준초과항목																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>7.0</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>7800</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>7.8</td> <td>6</td> <td>분원성대장균군(수)</td> <td></td> <td>2800</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>31.0</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>16.40</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		7.0	5	총대장균군(수)		7800	2	생물화학적산소요구량		7.8	6	분원성대장균군(수)		2800	3	부유물질		31.0	7	탁도		16.40	4	용존산소		8.5				
	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																	
	1	수소이온농도		7.0	5	총대장균군(수)		7800																																	
	2	생물화학적산소요구량		7.8	6	분원성대장균군(수)		2800																																	
3	부유물질		31.0	7	탁도		16.40																																		
4	용존산소		8.5																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									
AW-4	1. 시트내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)외</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>접수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td colspan="5">경기도 안양시 안양천 일대 (AW-4-2)</td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-4-2)																																
	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일																																			
	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-4-2)																																							
	2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 정</td> <td>이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td></td> </tr> </table>	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음	수질기준초과항목																																					
	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																							
	수질기준초과항목																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>7.2</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>8400</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>2.8</td> <td>6</td> <td>분원성대장균군(수)</td> <td></td> <td>1900</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>5.6</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>3.47</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		7.2	5	총대장균군(수)		8400	2	생물화학적산소요구량		2.8	6	분원성대장균군(수)		1900	3	부유물질		5.6	7	탁도		3.47	4	용존산소		8.4				
	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																	
	1	수소이온농도		7.2	5	총대장균군(수)		8400																																	
	2	생물화학적산소요구량		2.8	6	분원성대장균군(수)		1900																																	
3	부유물질		5.6	7	탁도		3.47																																		
4	용존산소		8.4																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									
AW-4	1. 시트내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)외</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>접수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td colspan="5">경기도 안양시 안양천 일대 (AW-4-3)</td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-4-3)																																
	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일																																			
	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-4-3)																																							
	2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 정</td> <td>이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td></td> </tr> </table>	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음	수질기준초과항목																																					
	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																							
	수질기준초과항목																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>7.2</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>8900</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>2.7</td> <td>6</td> <td>분원성대장균군(수)</td> <td></td> <td>2900</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>5.0</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>2.45</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		7.2	5	총대장균군(수)		8900	2	생물화학적산소요구량		2.7	6	분원성대장균군(수)		2900	3	부유물질		5.0	7	탁도		2.45	4	용존산소		8.2				
	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																	
	1	수소이온농도		7.2	5	총대장균군(수)		8900																																	
	2	생물화학적산소요구량		2.7	6	분원성대장균군(수)		2900																																	
3	부유물질		5.0	7	탁도		2.45																																		
4	용존산소		8.2																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									

구분	안양 삼막천(AW-5, AW-6) 수질시험성적서																																								
AW-5	1. 시도내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)의</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>검수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td>경기도 안양시 안양천 일대 (AW-5-1)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)의	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-5-1)																																
	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)의	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일																																			
	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-5-1)																																							
	2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 정</td> <td>이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td></td> </tr> </table>	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음	수질기준초과항목																																					
	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																							
	수질기준초과항목																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>7.3</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>7100</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>2.8</td> <td>6</td> <td>분변성대장균군(수)</td> <td></td> <td>2800</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>6.6</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>3.94</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		7.3	5	총대장균군(수)		7100	2	생물화학적산소요구량		2.8	6	분변성대장균군(수)		2800	3	부유물질		6.6	7	탁도		3.94	4	용존산소		8.3				
	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																	
	1	수소이온농도		7.3	5	총대장균군(수)		7100																																	
	2	생물화학적산소요구량		2.8	6	분변성대장균군(수)		2800																																	
3	부유물질		6.6	7	탁도		3.94																																		
4	용존산소		8.3																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									
1. 시도내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)의</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>검수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td>경기도 안양시 안양천 일대 (AW-5-2)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)의	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-5-2)																																	
검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)의	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일																																				
채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-5-2)																																								
2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 정</td> <td>이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td></td> </tr> </table>	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음	수질기준초과항목																																						
판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																								
수질기준초과항목																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>7.3</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>6900</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>2.9</td> <td>6</td> <td>분변성대장균군(수)</td> <td></td> <td>1400</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>6.4</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>2.93</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		7.3	5	총대장균군(수)		6900	2	생물화학적산소요구량		2.9	6	분변성대장균군(수)		1400	3	부유물질		6.4	7	탁도		2.93	4	용존산소		8.2					
NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																		
1	수소이온농도		7.3	5	총대장균군(수)		6900																																		
2	생물화학적산소요구량		2.9	6	분변성대장균군(수)		1400																																		
3	부유물질		6.4	7	탁도		2.93																																		
4	용존산소		8.2																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									
1. 시도내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)의</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>검수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td>경기도 안양시 안양천 일대 (AW-5-3)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)의	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-5-3)																																	
검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)의	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일																																				
채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-5-3)																																								
2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 정</td> <td>이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td></td> </tr> </table>	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음	수질기준초과항목																																						
판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																								
수질기준초과항목																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>7.4</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>8400</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>2.9</td> <td>6</td> <td>분변성대장균군(수)</td> <td></td> <td>1800</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>6.6</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>4.03</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		7.4	5	총대장균군(수)		8400	2	생물화학적산소요구량		2.9	6	분변성대장균군(수)		1800	3	부유물질		6.6	7	탁도		4.03	4	용존산소		8.4					
NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																		
1	수소이온농도		7.4	5	총대장균군(수)		8400																																		
2	생물화학적산소요구량		2.9	6	분변성대장균군(수)		1800																																		
3	부유물질		6.6	7	탁도		4.03																																		
4	용존산소		8.4																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									
AW-6	1. 시도내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)의</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>검수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td>경기도 안양시 안양천 일대 (AW-6-1)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)의	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-6-1)																																
	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)의	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일																																			
	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-6-1)																																							
	2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 정</td> <td>이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td></td> </tr> </table>	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음	수질기준초과항목																																					
	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																							
	수질기준초과항목																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>7.3</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>6600</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>2.0</td> <td>6</td> <td>분변성대장균군(수)</td> <td></td> <td>1900</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>4.0</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>1.64</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		7.3	5	총대장균군(수)		6600	2	생물화학적산소요구량		2.0	6	분변성대장균군(수)		1900	3	부유물질		4.0	7	탁도		1.64	4	용존산소		8.5				
	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																	
	1	수소이온농도		7.3	5	총대장균군(수)		6600																																	
	2	생물화학적산소요구량		2.0	6	분변성대장균군(수)		1900																																	
3	부유물질		4.0	7	탁도		1.64																																		
4	용존산소		8.5																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									
1. 시도내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)의</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>검수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td>경기도 안양시 안양천 일대 (AW-6-2)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)의	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-6-2)																																	
검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)의	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일																																				
채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-6-2)																																								
2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 정</td> <td>이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td></td> </tr> </table>	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음	수질기준초과항목																																						
판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																								
수질기준초과항목																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>7.3</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>7900</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>1.9</td> <td>6</td> <td>분변성대장균군(수)</td> <td></td> <td>2100</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>5.8</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>2.25</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		7.3	5	총대장균군(수)		7900	2	생물화학적산소요구량		1.9	6	분변성대장균군(수)		2100	3	부유물질		5.8	7	탁도		2.25	4	용존산소		8.5					
NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																		
1	수소이온농도		7.3	5	총대장균군(수)		7900																																		
2	생물화학적산소요구량		1.9	6	분변성대장균군(수)		2100																																		
3	부유물질		5.8	7	탁도		2.25																																		
4	용존산소		8.5																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									
1. 시도내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)의</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>검수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td>경기도 안양시 안양천 일대 (AW-6-3)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)의	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-6-3)																																	
검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)의	검사목적	참고용	검수일자	2017년 06월 27일																																				
채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-6-3)																																								
2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 정</td> <td>이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td></td> </tr> </table>	판 정	이 상 의 결 과 와 같 음	수질기준초과항목																																						
판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																								
수질기준초과항목																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>7.3</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>8200</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>2.0</td> <td>6</td> <td>분변성대장균군(수)</td> <td></td> <td>2900</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>4.8</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>1.24</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		7.3	5	총대장균군(수)		8200	2	생물화학적산소요구량		2.0	6	분변성대장균군(수)		2900	3	부유물질		4.8	7	탁도		1.24	4	용존산소		8.4					
NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																		
1	수소이온농도		7.3	5	총대장균군(수)		8200																																		
2	생물화학적산소요구량		2.0	6	분변성대장균군(수)		2900																																		
3	부유물질		4.8	7	탁도		1.24																																		
4	용존산소		8.4																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									

구분	안양 삼막천(AW-7, AW-8) 수질시험성적서																																								
AW-7	1. 시도내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)외</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>접수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td colspan="5">경기도 안양시 안양천 일대 (AW-7-1)</td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-7-1)																																
	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일																																			
	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-7-1)																																							
	2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 경</td> <td colspan="6">이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td colspan="6"></td> </tr> </table>	판 경	이 상 의 결 과 와 같 음						수질기준초과항목																																
	판 경	이 상 의 결 과 와 같 음																																							
	수질기준초과항목																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>7.3</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>4600</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>6.4</td> <td>6</td> <td>분위성대장균군(수)</td> <td></td> <td>1200</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>2.0</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>1.34</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		7.3	5	총대장균군(수)		4600	2	생물화학적산소요구량		6.4	6	분위성대장균군(수)		1200	3	부유물질		2.0	7	탁도		1.34	4	용존산소		8.6				
	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																	
	1	수소이온농도		7.3	5	총대장균군(수)		4600																																	
	2	생물화학적산소요구량		6.4	6	분위성대장균군(수)		1200																																	
3	부유물질		2.0	7	탁도		1.34																																		
4	용존산소		8.6																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									
AW-7	1. 시도내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)외</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>접수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td colspan="5">경기도 안양시 안양천 일대 (AW-7-2)</td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-7-2)																																
	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일																																			
	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-7-2)																																							
	2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 경</td> <td colspan="6">이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td colspan="6"></td> </tr> </table>	판 경	이 상 의 결 과 와 같 음						수질기준초과항목																																
	판 경	이 상 의 결 과 와 같 음																																							
	수질기준초과항목																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>7.3</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>6700</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>6.5</td> <td>6</td> <td>분위성대장균군(수)</td> <td></td> <td>1100</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>1.2</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>1.27</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		7.3	5	총대장균군(수)		6700	2	생물화학적산소요구량		6.5	6	분위성대장균군(수)		1100	3	부유물질		1.2	7	탁도		1.27	4	용존산소		8.5				
	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																	
	1	수소이온농도		7.3	5	총대장균군(수)		6700																																	
	2	생물화학적산소요구량		6.5	6	분위성대장균군(수)		1100																																	
3	부유물질		1.2	7	탁도		1.27																																		
4	용존산소		8.5																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									
AW-7	1. 시도내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)외</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>접수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td colspan="5">경기도 안양시 안양천 일대 (AW-7-3)</td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-7-3)																																
	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일																																			
	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-7-3)																																							
	2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 경</td> <td colspan="6">이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td colspan="6"></td> </tr> </table>	판 경	이 상 의 결 과 와 같 음						수질기준초과항목																																
	판 경	이 상 의 결 과 와 같 음																																							
	수질기준초과항목																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>7.3</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>4300</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>6.6</td> <td>6</td> <td>분위성대장균군(수)</td> <td></td> <td>900</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>1.6</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>1.06</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		7.3	5	총대장균군(수)		4300	2	생물화학적산소요구량		6.6	6	분위성대장균군(수)		900	3	부유물질		1.6	7	탁도		1.06	4	용존산소		8.4				
	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																	
	1	수소이온농도		7.3	5	총대장균군(수)		4300																																	
	2	생물화학적산소요구량		6.6	6	분위성대장균군(수)		900																																	
3	부유물질		1.6	7	탁도		1.06																																		
4	용존산소		8.4																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									
AW-8	1. 시도내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)외</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>접수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td colspan="5">경기도 안양시 안양천 일대 (AW-8-1)</td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-8-1)																																
	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일																																			
	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-8-1)																																							
	2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 경</td> <td colspan="6">이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td colspan="6"></td> </tr> </table>	판 경	이 상 의 결 과 와 같 음						수질기준초과항목																																
	판 경	이 상 의 결 과 와 같 음																																							
	수질기준초과항목																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>7.0</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>4900</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>1.0</td> <td>6</td> <td>분위성대장균군(수)</td> <td></td> <td>1600</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>1.0</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>1.90</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		7.0	5	총대장균군(수)		4900	2	생물화학적산소요구량		1.0	6	분위성대장균군(수)		1600	3	부유물질		1.0	7	탁도		1.90	4	용존산소		8.4				
	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																	
	1	수소이온농도		7.0	5	총대장균군(수)		4900																																	
	2	생물화학적산소요구량		1.0	6	분위성대장균군(수)		1600																																	
3	부유물질		1.0	7	탁도		1.90																																		
4	용존산소		8.4																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									
AW-8	1. 시도내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)외</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>접수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td colspan="5">경기도 안양시 안양천 일대 (AW-8-2)</td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-8-2)																																
	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일																																			
	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-8-2)																																							
	2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 경</td> <td colspan="6">이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td colspan="6"></td> </tr> </table>	판 경	이 상 의 결 과 와 같 음						수질기준초과항목																																
	판 경	이 상 의 결 과 와 같 음																																							
	수질기준초과항목																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>7.0</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>5300</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>0.9</td> <td>6</td> <td>분위성대장균군(수)</td> <td></td> <td>2700</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>11.0</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>3.87</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		7.0	5	총대장균군(수)		5300	2	생물화학적산소요구량		0.9	6	분위성대장균군(수)		2700	3	부유물질		11.0	7	탁도		3.87	4	용존산소		8.6				
	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																	
	1	수소이온농도		7.0	5	총대장균군(수)		5300																																	
	2	생물화학적산소요구량		0.9	6	분위성대장균군(수)		2700																																	
3	부유물질		11.0	7	탁도		3.87																																		
4	용존산소		8.6																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									
AW-8	1. 시도내용 <table border="1"> <tr> <td>검 체 명</td> <td>하천수3등급(생활환경기준)외</td> <td>검사목적</td> <td>참고용</td> <td>접수일자</td> <td>2017년 06월 27일</td> </tr> <tr> <td>채수장소</td> <td colspan="5">경기도 안양시 안양천 일대 (AW-8-3)</td> </tr> </table>	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-8-3)																																
	검 체 명	하천수3등급(생활환경기준)외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 06월 27일																																			
	채수장소	경기도 안양시 안양천 일대 (AW-8-3)																																							
	2. 수질검사 결과 <table border="1"> <tr> <td>판 경</td> <td colspan="6">이 상 의 결 과 와 같 음</td> </tr> <tr> <td>수질기준초과항목</td> <td colspan="6"></td> </tr> </table>	판 경	이 상 의 결 과 와 같 음						수질기준초과항목																																
	판 경	이 상 의 결 과 와 같 음																																							
	수질기준초과항목																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> <th>NO</th> <th>검 사 항 목</th> <th>기 준</th> <th>결 과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수소이온농도</td> <td></td> <td>7.0</td> <td>5</td> <td>총대장균군(수)</td> <td></td> <td>7400</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>생물화학적산소요구량</td> <td></td> <td>0.9</td> <td>6</td> <td>분위성대장균군(수)</td> <td></td> <td>2700</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>부유물질</td> <td></td> <td>6.2</td> <td>7</td> <td>탁도</td> <td></td> <td>2.25</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>용존산소</td> <td></td> <td>8.4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	수소이온농도		7.0	5	총대장균군(수)		7400	2	생물화학적산소요구량		0.9	6	분위성대장균군(수)		2700	3	부유물질		6.2	7	탁도		2.25	4	용존산소		8.4				
	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																	
	1	수소이온농도		7.0	5	총대장균군(수)		7400																																	
	2	생물화학적산소요구량		0.9	6	분위성대장균군(수)		2700																																	
3	부유물질		6.2	7	탁도		2.25																																		
4	용존산소		8.4																																						
[비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.																																									

다. 최적화 설계 기술 개발

(1) 취수관 상부 치환층의 매질 특성 연구

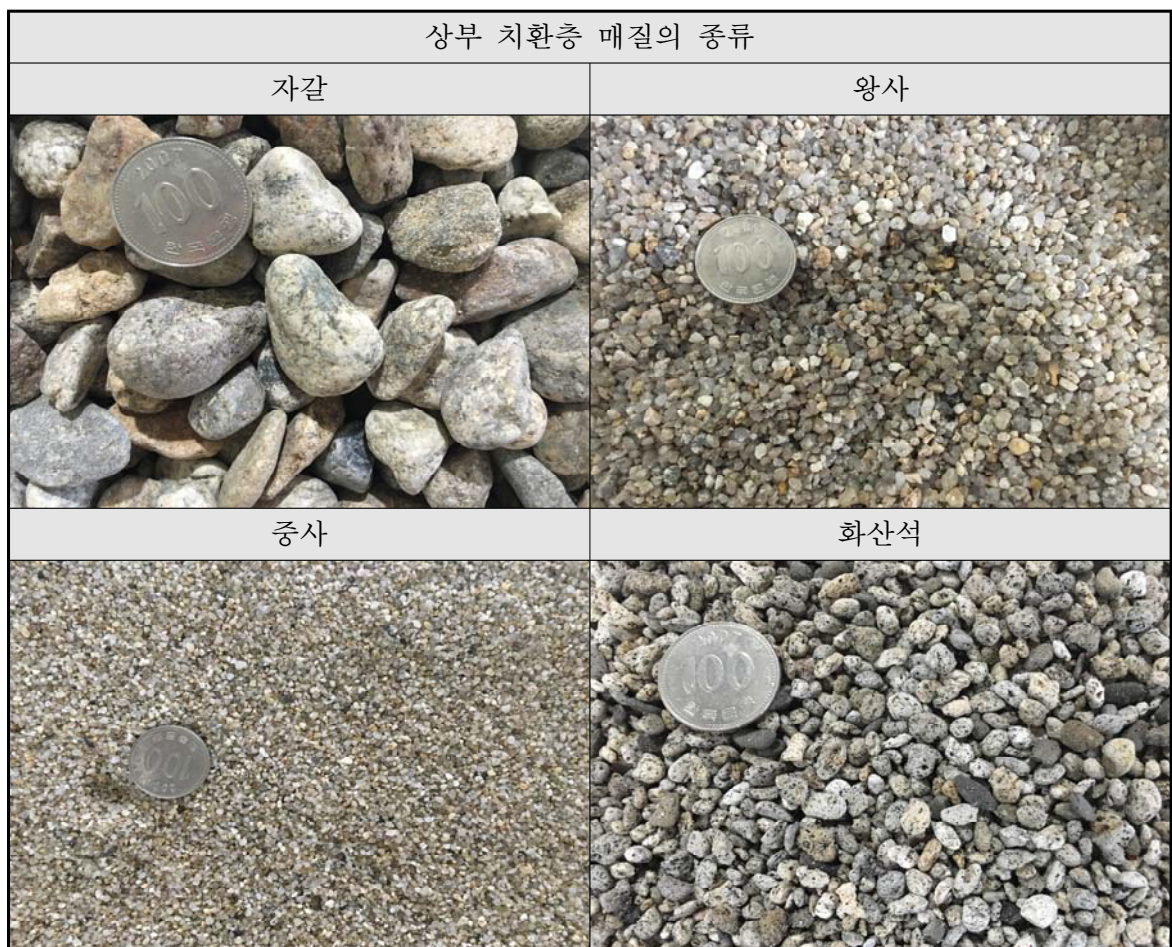
(가) 상부 치환층 매질 선정 및 모형 제작

- 기존의 취수관 상부 치환층 여재는 상수도시설기준에 의해 일괄적으로 동일한 치환여재를 적용하여 현장조건에 맞지 않는 문제점이 빈번하게 발생하였음. 상부 치환 여재층을 최적 설계하기 위하여 소형 Pilot장치와 실증 Pilot plant를 실험실에 설치하여 실험을 진행하였음.

① 상부 치환층 매질 종류

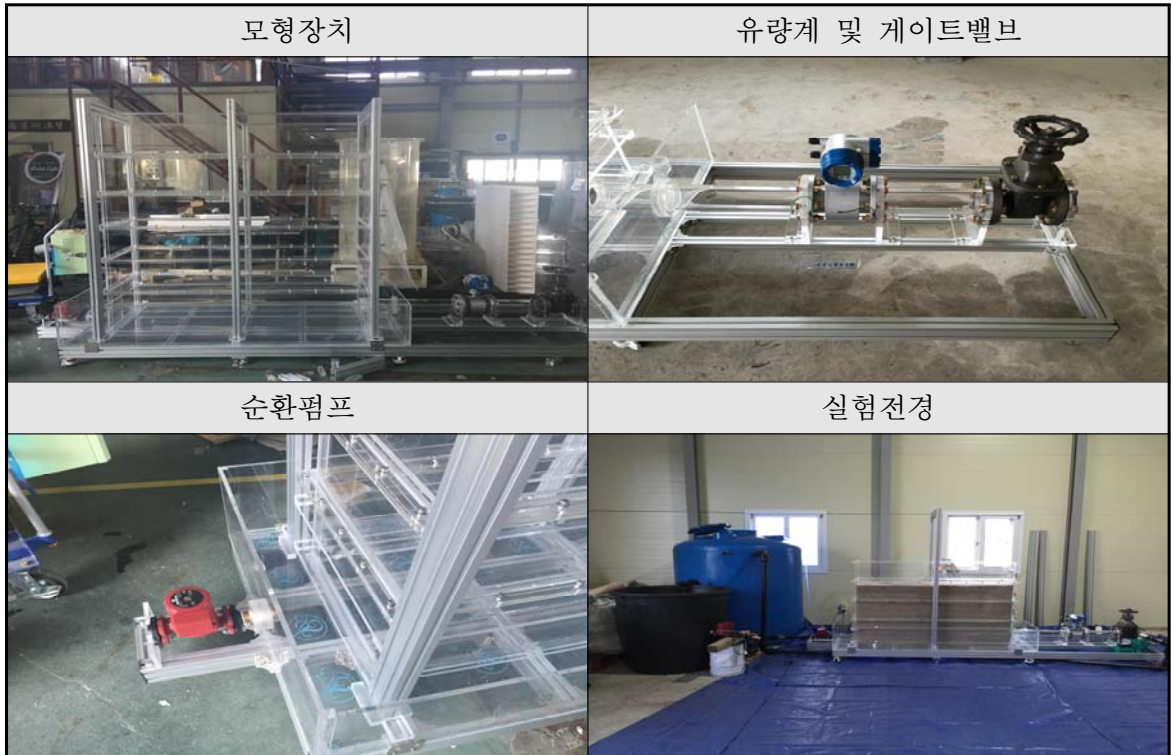
- 상부 치환층 매질은 스크린 내부에 모래 및 실트의 유입을 방지하고, 복류수의 유입을 원활하게 하기 위해 설치하는 것으로 매질 종류는 중사, 왕사, 자갈이 있으며, 화산석은 여재의 여과기능에 따른 수질개선 효과를 파악하기 위해 포함시켰음. 매질의 입경은 상수도시설기준 여재 입경과 비교하여 축소된 비율(12:5:1)을 적용하였음.

상수도시설기준 (스크린 1,000mm)			실험장치 (스크린 80mm)		
여재 종류	입경(mm)	충전두께(cm)	여재 종류	입경(mm)	충전두께(cm)
굵은자갈	40~50	50 이상	자갈	5~10	25
중자갈	30~40	50 이상	왕사	2~5	25
잔자갈	20~30	50 이상	중사	1~2	25
-	-	-	화산석	2~5	25



② 모형 및 스크린

- 모형실험을 위한 실험장치는 아크릴 재질이며 $1.5\text{m} \times 0.5\text{m} \times 1.7\text{m}$ (가로×세로×높이)의 크기로 제작하였고 모형 내 설치된 스크린은 권선형스크린으로 구경 80mm, 길이 1.3m, 1.0mm의 슬롯사이즈로 제작하여 실험을 진행하였음.



(나) 황토를 이용한 탁도 저감 모형 실험

① 단일여재 실험

- 단일여재실험은 중사, 왕사, 자갈, 화산석을 각각 상부 치환여재층의 매질로 적용하여 탁도 저감 실험을 수행하였음. 중사-왕사 자갈 화산석 순으로 실험을 진행하였으며 탁수를 유발하기위해 황토(입경 $20\mu\text{m}$)를 30~50NTU로 유지하여 실험을 수행하였음.

㉑ 중사

- 단일여재로 중사를 적용하여 실험한 결과 주입수의 최저탁도는 30.40NTU, 최대탁도는 47.00NTU로 나타났고, 유출수의 최적탁도는 0.10NTU, 최대탁도는 2.20NTU로 측정됨. 주입수 대비 유출수의 탁도 저감률은 아래와 같음.



No.	주입수		유출수		비고
	Time	Turbidity(NTU)	Time	Turbidity(NTU)	
1	5/30(13:09)	52.40	5/30(13:16)	4.50	실험 전
2	5/30(13:20)	44.70	5/30(13:23)	1.90	
3	5/30(13:30)	43.50	5/30(13:36)	1.10	
4	5/30(13:40)	35.50	5/30(13:44)	2.20	
5	5/30(13:53)	38.90	5/30(13:56)	1.50	
6	5/30(14:13)	47.00	5/30(14:17)	1.70	
7	5/30(14:32)	41.00	5/30(14:35)	1.20	
8	5/30(14:51)	38.80	5/30(14:57)	0.90	
9	5/30(15:11)	30.40	5/30(15:17)	0.70	
10	5/30(15:33)	36.00	5/30(15:40)	0.20	
11	5/30(15:52)	41.60	5/30(15:56)	0.10	

구분	주입수(NTU)	유출수(NTU)	저감율(%)
중사	30.40 ~ 47.00	0.10 ~ 2.20	97.1

㉠ 왕사

- 단일여재로 왕사를 적용하여 실험한 결과 주입수의 최저탁도는 32.89NTU, 최대탁도는 50.60NTU로 나타났고, 유출수의 최저탁도는 7.60NTU, 최대탁도는 19.30NTU 측정됨. 주입수 대비 유출수의 탁도 저감률은 아래와 같음.

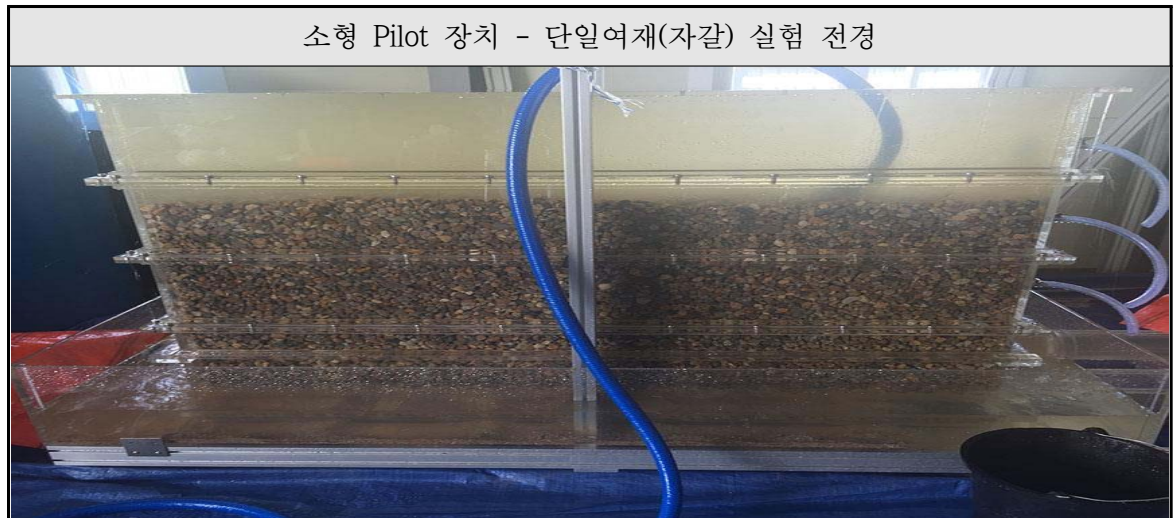


No.	주입수		유출수		비고
	Time	Turbidity(NTU)	Time	Turbidity(NTU)	
1	6/1(12:59)	19.20	6/1(13:02)	10.30	실험 전
2	6/1(13:06)	45.00	6/1(13:09)	7.60	
3	6/1(13:17)	33.28	6/1(13:21)	10.50	
4	6/1(13:26)	37.40	6/1(13:31)	12.40	
5	6/1(13:37)	32.89	6/1(13:39)	16.70	
6	6/1(13:49)	40.40	6/1(13:52)	11.50	
7	6/1(13:59)	33.00	6/1(14:03)	12.10	
8	6/1(14:20)	50.60	6/1(14:23)	14.90	
9	6/1(14:40)	45.90	6/1(14:44)	17.40	
10	6/1(15:02)	47.10	6/1(15:05)	19.30	
11	6/1(15:21)	38.80	6/1(15:26)	19.30	
12	6/1(15:40)	36.70	6/1(15:43)	18.20	
13	6/1(15:59)	43.40	6/1(16:04)	18.50	

구분	주입수(NTU)	유출수(NTU)	저감율(%)
왕사	32.89 ~ 50.60	7.60 ~ 19.30	60.1

㉔ 자갈

- 단일여재로 자갈을 적용한 실험한 결과 주입수의 최저탁도는 31.80NTU, 최대탁도는 39.00NTU로 나타났고, 유출수의 최저탁도는 17.50NTU, 최대탁도는 31.50NTU로 측정됨. 주입수 대비 유출수의 탁도 저감률은 아래와 같음.



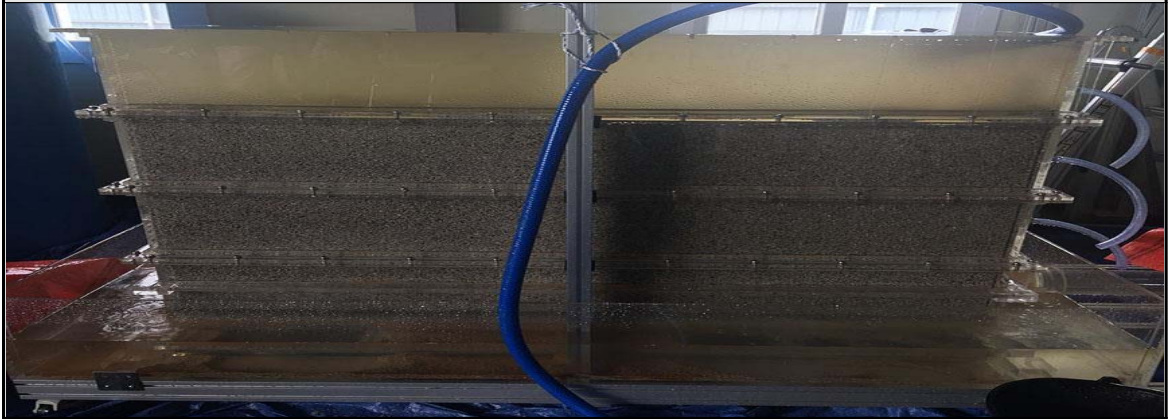
No.	주입수		유출수		비고
	Time	Turbidity(NTU)	Time	Turbidity(NTU)	
1	6/9(13:47)	36.80	6/9(13:50)	19.30	실험 전
2	6/9(13:55)	35.50	6/9(13:58)	17.50	
3	6/9(14:05)	35.50	6/9(14:08)	21.80	
4	6/9(14:15)	33.40	6/9(14:18)	22.50	
5	6/9(14:35)	35.40	6/9(14:38)	22.30	
6	6/9(14:54)	33.20	6/9(14:58)	31.50	
7	6/9(15:15)	39.00	6/9(15:17)	29.70	
8	6/9(15:34)	34.30	6/9(15:37)	24.00	
9	6/9(15:54)	31.80	6/9(15:57)	25.10	

구분	주입수(NTU)	유출수(NTU)	저감율(%)
자갈	31.80 ~ 39.00	17.50 ~ 31.50	36.8

㉕ 화산석

- 단일여재로 화산석으로 적용하여 실험한 결과 주입수의 최저탁도는 33.20NTU, 최대탁도는 43.50NTU로 나타났고, 유출수의 최저탁도는 1.20NTU, 최대탁도는 9.10NTU로 측정됨. 주입수 대비 유출수의 탁도 저감률은 아래와 같음.

소형 Pilot 장치 - 단일여재(화산석) 실험 전경



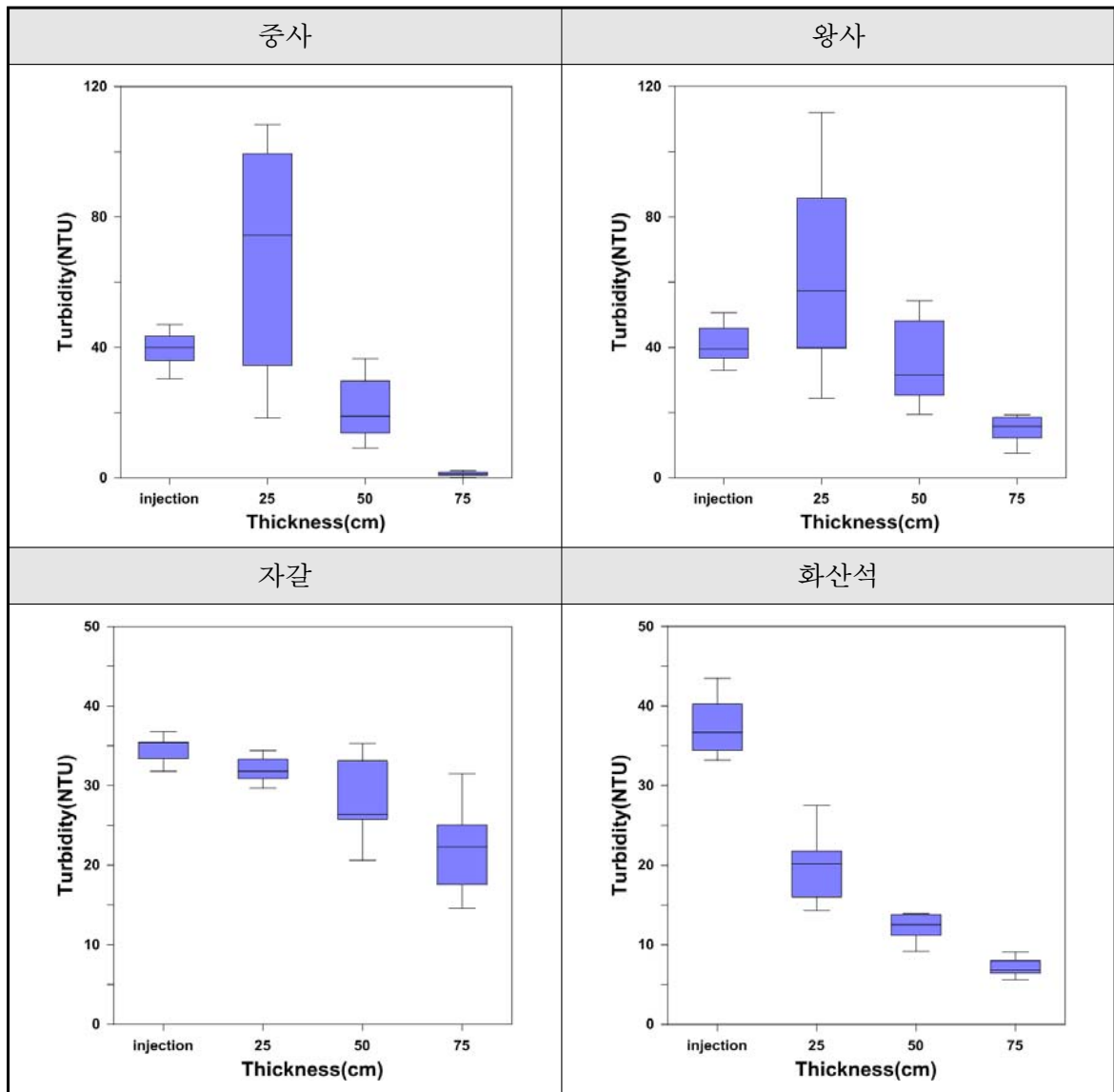
No.	주입수		유출수		비고
	Time	Turbidity(NTU)	Time	Turbidity(NTU)	
1	6/7(14:00)	1.00	6/7(14:03)	1.50	실험 전
2	6/7(14:05)	35.40	6/7(14:08)	1.20	
3	6/7(14:15)	33.20	6/7(14:18)	6.30	
4	6/7(14:24)	34.30	6/7(14:28)	5.60	
5	6/7(14:35)	35.60	6/7(14:38)	6.40	
6	6/7(14:45)	37.80	6/7(14:48)	6.80	
7	6/7(14:55)	37.90	6/7(14:57)	6.80	
8	6/7(15:15)	39.00	6/7(15:17)	7.90	
9	6/7(15:35)	41.20	6/7(15:38)	9.10	
10	6/7(15:56)	40.20	6/7(15:58)	8.00	
11	6/7(16:15)	33.20	6/7(16:18)	6.80	
12	6/7(16:34)	34.40	6/7(16:37)	8.10	
13	6/7(16:45)	43.50	6/7(16:48)	7.80	

구분	주입수(NTU)	유출수(NTU)	저감율(%)
화산석	33.20 ~ 43.50	1.20 ~ 9.10	82.0

㉞ 단일여재 실험 종합결과

- 중사, 왕사, 자갈, 화산석을 각각 단일여재로 적용하여 실험한 결과, 중사 > 화산석 > 왕사 > 자갈 순으로 저감률이 확인되었으며, 입경이 같은 왕사와 화산석을 비교했을 때 매질 자체 흡착이 잘 되는 특성을 가진 화산석이 탁도 저감 효율이 높은 것으로 파악 됨.

구분	주입수(NTU)	유출수(NTU)	저감율(%)
중사	30.40 ~ 47.00	0.10 ~ 2.20	97.1
왕사	32.89 ~ 50.60	7.60 ~ 19.30	60.1
자갈	31.80 ~ 39.00	17.50 ~ 31.50	36.8
화산석	33.20 ~ 43.50	1.20 ~ 9.10	82.0



② 혼합여재 실험

- 상수도시설기준에 의하면 일괄적으로 동일한 치환여재를 적용하게 되어있기 때문에 현장조건을 고려하지 않아 탁도 저감 효율이나 수질 개선 효율이 떨어지는 문제점이 발생할 수 있음.
- 현장조건을 고려한 최적의 탁도 저감효율과 수질 개선을 위해 중사, 왕사, 자갈, 화산석을 여재층의 배치를 달리하여 혼합여재에 대한 최적의 탁도 저감효율을 파악하기 위해 본 실험을 수행하였음.
- Case별 혼합여재층 구성
 - Case1: 모형상부-중사-왕사-자갈-화산석-스크린
 - Case2: 모형상부-화산석-중사-왕사-자갈-스크린
 - Case3: 모형상부-중사-왕사-화산석-자갈-스크린

㉑ Case 1

- Case 1 실험은 상부로부터 중사, 왕사, 자갈, 화산석의 순서로 여재를 배치하여 각 층별로 샘플링을 하여 탁도 및 유량을 측정하였으며 주입수와 유출수의 탁도를 측정한 결과는 아래와 같음.



No.	주입수		유출수		비고
	Time	Turbidity(NTU)	Time	Turbidity(NTU)	
1	6/15(14:20)	1.90	6/15(14:22)	1.1	실험 전
2	6/15(14:25)	30.90	6/15(14:27)	4.5	
3	6/15(14:35)	36.70	6/15(14:38)	7.8	
4	6/15(14:46)	32.30	6/15(14:48)	7.9	
5	6/15(14:55)	34.30	6/15(14:58)	7.6	
6	6/15(15:04)	34.40	6/15(15:07)	7.8	
7	6/15(15:14)	33.20	6/15(15:18)	8.1	
8	6/15(15:33)	34.40	6/15(15:36)	9.1	
9	6/15(15:53)	34.40	6/15(15:57)	11.2	
10	6/15(16:12)	34.4	6/15(16:17)	11.4	

- Case 1 실험 결과 주입수의 최저탁도는 30.90NTU, 최대탁도는 36.70NTU로 나타났고, 유출수의 최저탁도는 4.50NTU, 최대탁도는 11.40NTU로 나타났으며 주입수 대비 유출수의 탁도 저감률은 아래와 같음.

구분	주입수(NTU)	유출수(NTU)	저감율(%)
Case 1	30.90 ~ 36.70	4.50 ~ 11.40	77.0

㉠ Case 2

- Case 2 실험은 상부로부터 화산석, 중사, 왕사, 자갈의 순서로 여재를 배치하여 수행하였고, 각 층별로 샘플링을 하여 탁도 및 유량을 측정하였으며 주입수 대비 유출수의 탁도 저감률은 아래와 같음.



No.	주입수		유출수		비고
	Time	Turbidity(NTU)	Time	Turbidity(NTU)	
1	6/11(16:40)	30.90	6/11(16:43)	5.6	실험 전
2	6/11(16:50)	36.60	6/11(16:53)	7.4	
3	6/11(17:00)	36.70	6/11(17:03)	7.9	
4	6/11(17:10)	34.50	6/11(17:13)	8.8	
5	6/11(17:19)	34.40	6/11(17:22)	10.2	
6	6/11(17:29)	33.30	6/11(17:33)	10.9	
7	6/11(17:40)	30.00	6/11(17:43)	11.4	
8	6/11(17:49)	34.20	6/11(17:52)	14	
9	6/11(17:58)	43.7	6/11(17:02)	18.2	
10	6/11(18:09)	33.2	6/11(18:12)	18.3	
11	6/11(18:19)	35.5	6/11(18:22)	13.8	
12	6/11(18:28)	31	6/11(18:31)	14.8	
13	6/11(18:38)	30.9	6/11(18:41)	15.7	
14	6/11(18:51)	36.7	6/11(18:57)	18.3	

- Case 2 실험 결과 주입수의 최저탁도는 30.00NTU, 최대탁도는 43.70NTU로 나타났고, 유출수의 최적탁도는 7.40NTU, 최대탁도는 18.30NTU로 나타났으며 주입수 대비 유출수의 탁도 저감률은 아래와 같음.

구분	주입수(NTU)	유출수(NTU)	저감율(%)
Case 2	30.00 ~ 47.10	1.80 ~ 18.30	67.50

㉡ Case 3

- Case 3 실험은 상부로부터 중사, 왕사, 화산석, 자갈의 순서로 여재를 배치하여 수행하였고, 각 층별로 샘플링을 하여 탁도 및 유량을 측정하였으며 주입수와 유출수의 탁도를 측정한 결과는 아래와 같음.



No.	주입수		유출수		비고
	Time	Turbidity(NTU)	Time	Turbidity(NTU)	
1	6/13(13:30)	7.90	6/13(13:33)	5.3	실험 전
2	6/13(13:40)	32.10	6/13(13:43)	4.6	
3	6/13(13:50)	37.90	6/13(13:53)	8	
4	6/13(14:01)	34.40	6/13(14:04)	9.1	
5	6/13(14:13)	34.40	6/13(14:16)	9.1	
6	6/13(14:21)	34.40	6/13(14:24)	9.5	
7	6/13(14:31)	34.20	6/13(14:34)	10.3	
8	6/13(14:40)	30.90	6/13(14:43)	10.4	
9	6/13(15:01)	33.20	6/13(15:04)	11.4	
10	6/13(15:21)	35.30	6/13(15:24)	10.2	
11	6/13(15:42)	32	6/13(15:46)	10.3	

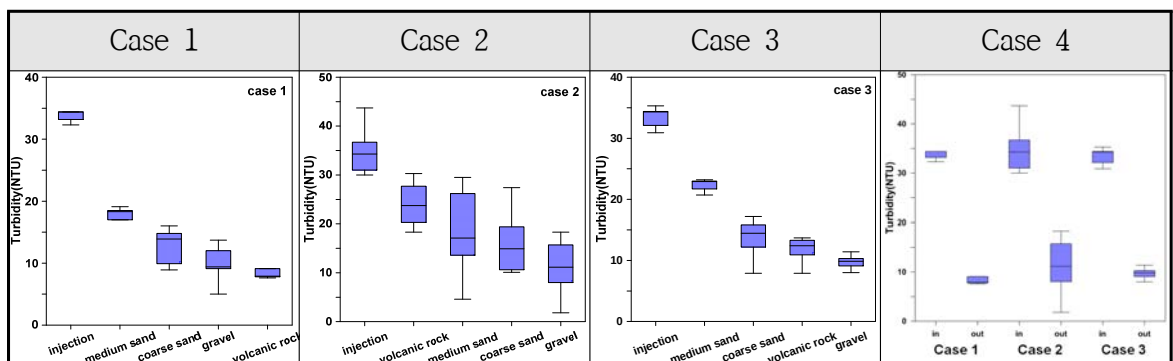
- Case 3 실험 결과 주입수의 최저탁도는 30.90NTU, 최대탁도는 37.90NTU로 나타났고 유출수의 최저탁도는 4.60NTU, 최대탁도는 11.40NTU로 나타났으며 주주입수 대비 유출수의 탁도 저감률은 아래와 같음.

구분	주입수(NTU)	유출수(NTU)	저감율(%)
Case 3	30.90 ~ 37.90	4.60 ~ 11.40	71.30

라 실험 결과

- 상부 여재의 종류에 따라 탁도 저감의 차이가 나타났으며, 주입수와 유출수의 저감률은 Case1 > Case3 > Case2 순으로 나타남.

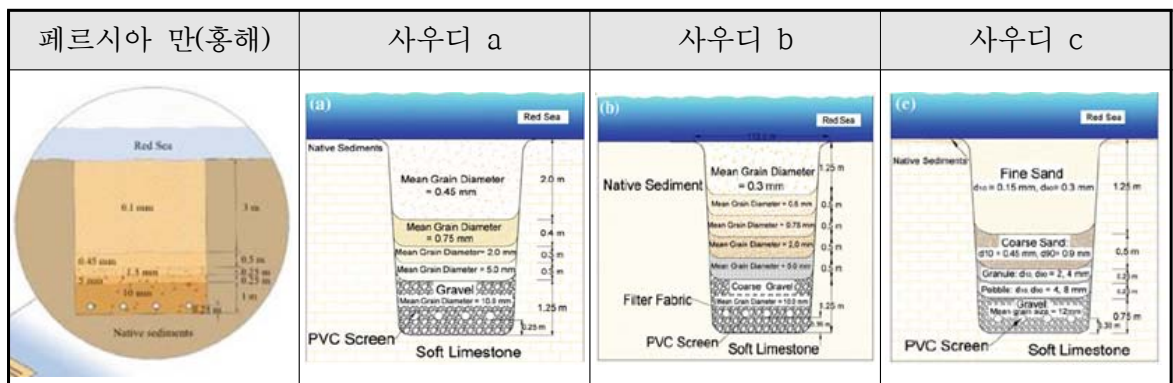
구분	주입수(NTU)	유출수(NTU)	저감율(%)
Case 1	30.90 ~ 36.70	4.50 ~ 11.40	77.0
Case 2	30.00 ~ 47.10	1.80 ~ 18.30	67.5
Case 3	30.90 ~ 37.90	4.60 ~ 11.40	71.3



③ 국외 해수간접취수시설 설치 사례 적용

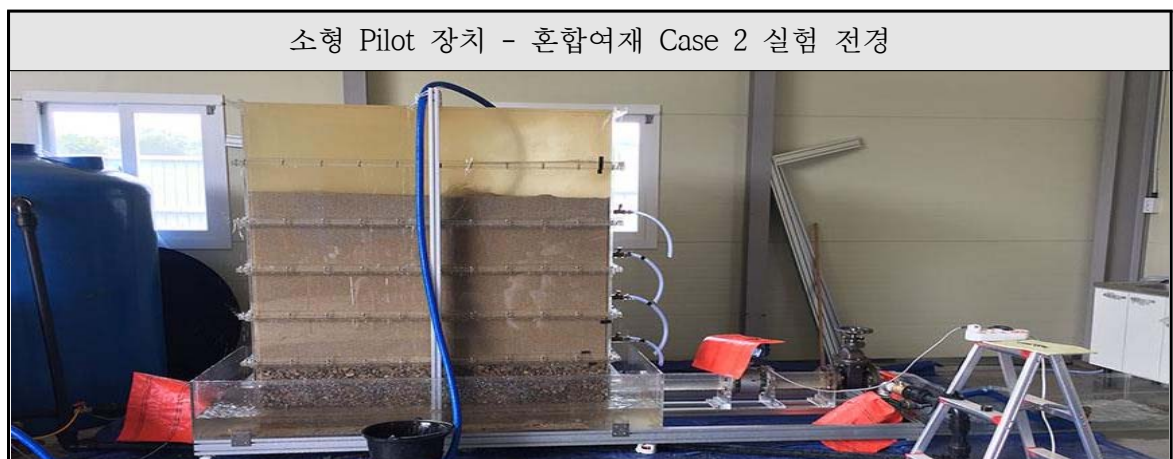
- 국외 해수간접취수시설의 설치를 검토하기 위하여 소형 Pilot장치로 실험을 수행하였음. 이 때 각 사례별 설치 지역의 지층조건을 약 1/4 축소하고 조건에 적합한 여재를 선택하여 수행하였으며, 세사(0.45~0.7mm)를 추가하여 모형실험에 적용하였음.
- 국외사례적용지역은 문헌자료(Thomas M. 외, 2015)를 활용하였으며, 페르시아 만(홍해), 사우디(a,b,c)이고 여재종류는 세사, 중사, 왕사, 자갈을 사용하고 탁도는 30~50NTU로 유지하여 실험을 수행하였음.

국외사례	실제 규모	소형 Pilot장치	여재 종류
	층 두께(m)	층 두께(m)	
홍해	3.5	0.875	세사
	0.25	0.0625	중사
	1.25	0.3125	자갈
사우디 a	2.4	0.6	세사
	0.3	0.075	왕사
	1.55	0.3875	자갈
사우디 b	2.25	0.5625	세사
	0.5	0.125	왕사
	1.75	0.4375	자갈
사우디 c	1.75	0.4375	세사
	0.25	0.0625	왕사
	1	0.25	자갈



㉦ 페르시아 만(홍해)사례 적용 실험

- 상부로부터 세사, 중사, 자갈의 순서로 여재를 적용하였고, 각 층별로 샘플링을 하여 탁도 및 유량을 측정하였음. 주입수와 유출수의 탁도를 측정한 결과는 아래와 같음.



No.	주입수		유출수		비고
	Time	Turbidity(NTU)	Time	Turbidity(NTU)	
1	6/23(14:50)	3.40	6/23(14:54)	0	
2	6/23(14:58)	34.30	6/23(15:04)	1.2	
3	6/23(15:08)	32.00	6/23(15:12)	1.1	
4	6/23(15:19)	34.40	6/23(15:22)	1	
5	6/23(15:27)	32.00	6/23(15:31)	1.6	
6	6/23(15:38)	34.40	6/23(15:41)	1.1	
7	6/23(15:49)	34.30	6/23(15:55)	2.2	
8	6/23(16:09)	33.20	6/23(16:14)	2.3	
9	6/23(16:29)	35.60	6/23(16:34)	3.3	
10	6/23(16:47)	36.60	6/23(16:53)	3.3	
11	6/23(17:08)	36.60	6/23(17:11)	3.3	
12	6/23(17:17)	33.3	6/23(17:21)	4.5	

- 페르시아 만(홍해) 사례를 적용하여 실험한 결과 주입수의 최저탁도는 32.00NTU, 최대 탁도는 36.60NTU이며, 유출수의 최저탁도는 1.00NTU, 최대탁도는 4.50NTU로 나타남. 주입수 대비 유출수의 탁도 저감률은 아래와 같음.

구분	주입수(NTU)	유출수(NTU)	저감율(%)
페르시아 만(홍해)	32.00 ~ 36.60	1.00 ~ 4.50	93.60

㉠ 사우디아 사례 적용 실험

- 상부로부터 세사, 왕사, 자갈의 순서로 여재를 적용하였고, 각 층별로 샘플링을 하여 탁도 및 유량을 측정하였음. 주입수와 유출수의 탁도를 측정한 결과는 아래와 같음.



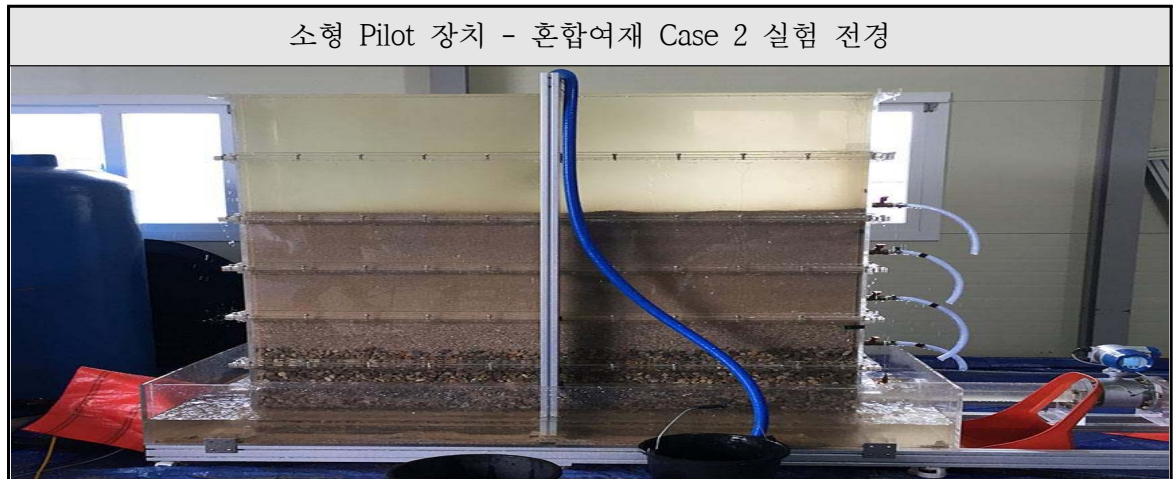
No.	주입수		유출수		비고
	Time	Turbidity(NTU)	Time	Turbidity(NTU)	
1	6/29(13:30)	4.20	6/29(13:32)	0.2	
2	6/29(13:36)	33.00	6/29(13:38)	0.1	
3	6/29(13:47)	35.30	6/29(13:49)	4.2	
4	6/29(13:56)	33.80	6/29(13:58)	4.5	
5	6/29(14:05)	39.90	6/29(14:07)	4.3	
6	6/29(14:15)	37.50	6/29(14:17)	5.4	
7	6/29(14:26)	32.90	6/29(14:28)	5.4	
8	6/29(14:35)	39.90	6/29(14:37)	5.8	
9	6/29(14:54)	30.60	6/29(14:56)	6.5	
10	6/29(15:14)	33.90	6/29(15:16)	7.5	
11	6/29(15:35)	38.7	6/29(15:38)	6.5	
12	6/29(15:45)	33	6/29(15:47)	7.8	

- 사우디a 사례를 적용하여 실험한 결과 주입수의 최저탁도는 30.60NTU, 최대탁도는 39.90NTU이며, 유출수의 최저탁도는 0.10NTU, 최대탁도는 7.80NTU로 나타남. 주입수 대비 유출수의 탁도 저감률은 아래와 같음.

구분	주입수(NTU)	유출수(NTU)	저감률(%)
사우디 a	30.60 ~ 39.90	0.10 ~ 7.80	84.10

㉔ 사우디b 사례 적용 실험

- 상부로부터 세사, 왕사, 자갈의 순서로 여재를 적용하였고, 각 층별로 샘플링을 하여 탁도 및 유량을 측정하였음. 주입수와 유출수의 탁도를 측정한 결과는 아래와 같음.



No.	주입수		유출수		비고
	Time	Turbidity(NTU)	Time	Turbidity(NTU)	
1	6/27(13:51)	0.80	6/27(13:54)	0.7	
2	6/27(13:56)	46.80	6/27(14:00)	0.6	
3	6/27(14:08)	47.90	6/27(14:11)	4.3	
4	6/27(14:15)	36.40	6/27(14:18)	0.1	
5	6/27(14:25)	36.50	6/27(14:27)	4.2	
6	6/27(14:36)	40.90	6/27(14:38)	5.3	
7	6/27(14:45)	43.30	6/27(14:47)	8.5	
8	6/27(15:05)	30.60	6/27(15:07)	6.7	
9	6/27(15:26)	39.90	6/27(15:28)	7.5	
10	6/27(15:45)	30.70	6/27(15:47)	9.9	
11	6/27(16:05)	34.1	6/27(16:07)	12	
12	6/27(16:25)	43.3	6/27(16:28)	9.4	

- 사우디b 사례를 적용하여 실험한 결과 주입수의 최저탁도는 30.60NTU, 최대탁도는 47.90NTU이며, 유출수의 최저탁도는 0.10NTU, 최대탁도는 12.00NTU로 나타됨. 주입수 대비 유출수의 탁도 저감률은 아래와 같음.

구분	주입수(NTU)	유출수(NTU)	저감률(%)
사우디 b	30.60 ~ 47.90	0.10 ~ 12.00	83.20

㉕ 사우디c 사례 적용 실험

- 상부로부터 세사, 왕사, 자갈의 순서로 여재를 적용하였고, 각 층별로 샘플링을 하여 탁도 및 유량을 측정하였음. 주입수와 유출수의 탁도를 측정한 결과는 아래와 같음.

소형 Pilot 장치 - 혼합여재 Case 2 실험 전경



No.	주입수		유출수		비고
	Time	Turbidity(NTU)	Time	Turbidity(NTU)	
1	7/1(13:19)	1.90	7/1(13:21)	1	
2	7/1(13:28)	39.70	7/1(13:30)	0.7	
3	7/1(13:38)	31.60	7/1(13:41)	4.3	
4	7/1(13:47)	31.80	7/1(13:50)	4.8	
5	7/1(13:59)	36.40	7/1(14:02)	5.4	
6	7/1(14:09)	37.50	7/1(14:12)	6.5	
7	7/1(14:18)	34.10	7/1(14:23)	6.6	
8	7/1(14:37)	32.90	7/1(14:41)	7.7	
9	7/1(14:58)	31.80	7/1(15:02)	7.9	
10	7/1(15:17)	34.00	7/1(15:20)	9.3	
11	7/1(15:37)	37.6	7/1(15:41)	9.9	
12	7/1(15:57)	30.6	7/1(16:00)	10.9	

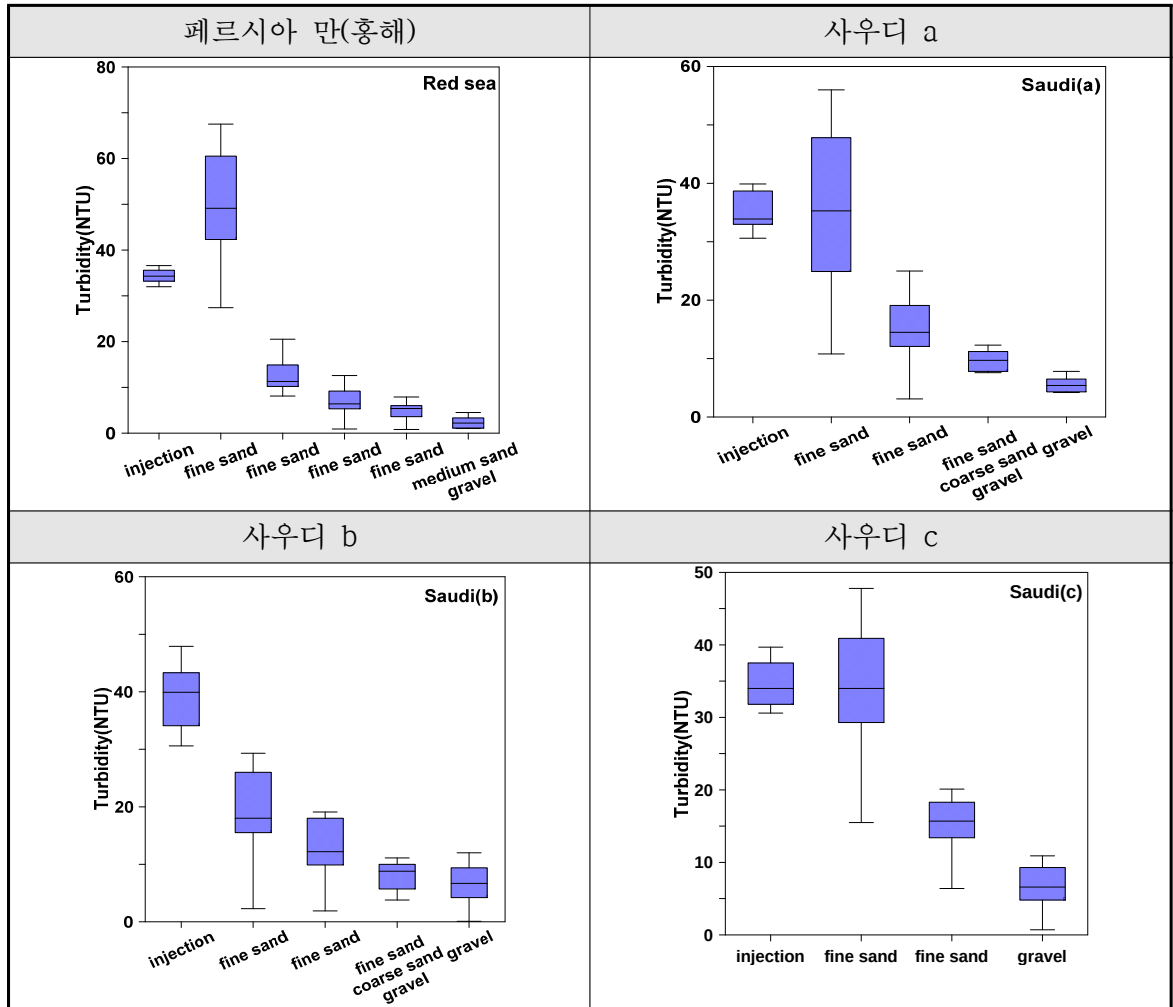
- 사우디c 사례를 적용하여 실험한 결과 주입수의 최저탁도 30.60NTU, 최대탁도 39.70NTU이며, 유출수의 최저탁도 0.70NTU, 최대탁도 10.90NTU 측정됨. 주입수와 유출수의 최저/최대 탁도 저감률을 나타낸 것은 아래와 같음.

구분	주입수(NTU)	유출수(NTU)	저감율(%)
사우디 c	30.60 ~ 39.70	0.70 ~ 10.90	80.60

㉞ 국외사례를 적용한 탁도 저감실험 결과

- 실험 결과 부유물질과 탁도 유발물질은 여재층의 상부에서 대부분 제거되는 것으로 확인되었으며, 화산석의 경우 흡착이 잘 되는 특성으로 동일입경인 왕사보다 저감 효율이 20%이상 높게 나타남. 주입수와 유출수의 저감률은 페르시아 만(홍해) > 사우디a > 사우디b > 사우디c 순으로 확인되며, 여재층 두께가 두껍고 여재 입경이 작을수록 탁도 저감 효율이 우수하게 나타남. 입경이 작은 세사를 적용한 결과 탁도 저감에 탁월한 것으로 나타남.

구분	주입수(NTU)	유출수(NTU)	저감율(%)
페르시아 만(홍해)	32.00 ~ 36.60	1.00 ~ 4.50	93.6
사우디 a	30.60 ~ 39.90	0.10 ~ 7.80	84.1
사우디 b	30.60 ~ 47.90	0.10 ~ 12.00	83.2
사우디 c	30.60 ~ 39.70	0.70 ~ 10.90	80.6



④ 토의

- 황토를 이용한 탁도 저감 실험 결과 부유물질 및 탁도 유발 물질은 여재층 상부에서 대부분 제거되는 것으로 확인되었으며 여재층의 두께가 두껍고, 여재 입경이 작을수록 탁도 저감 효율이 우수함.
- 화산석의 경우 흡착이 잘 되는 특성이 있는 매질로서 동일 입경인 왕사보다 저감효율이 20% 높게 나타남
- 본 실험의 결과를 통해 상부 치환층의 매질은 상수도시설기준에 의해 일괄적으로 동일한 치환여재를 적용하는 공법보다 현장조건을 고려하여 여재층의 종류와 두께를 결정하는 것이 탁도 저감 효율과 수질 개선 효과를 보는 최적 설계를 할 수 있을 것으로 판단됨.

(다) 녹조 저감 모형 실험

- 녹조현상은 수질을 악화 시켜 상수도 확보에 큰 문제를 일으키고 있으므로 양질의 상수도 확보를 위하여 본 과제를 통해 녹조의 저감 및 수질 개선을 확인해보고자 녹조 저감 실험을 진행하였음.
- 녹조를 이용한 조류 저감실험은 1차와 2차로 두 차례 수행하였고, 탁도 저감실험에서 저감효과가 가장 높은 페르시아 만(홍해)의 사례를 지층조건으로 적용하여 실험을 진행하였음.
 - 1차 조류 저감 실험 : 녹조 직접 배양(약 10일)
 - 2차 조류 저감실험: 녹조원수 취수(홍성군 천수만)

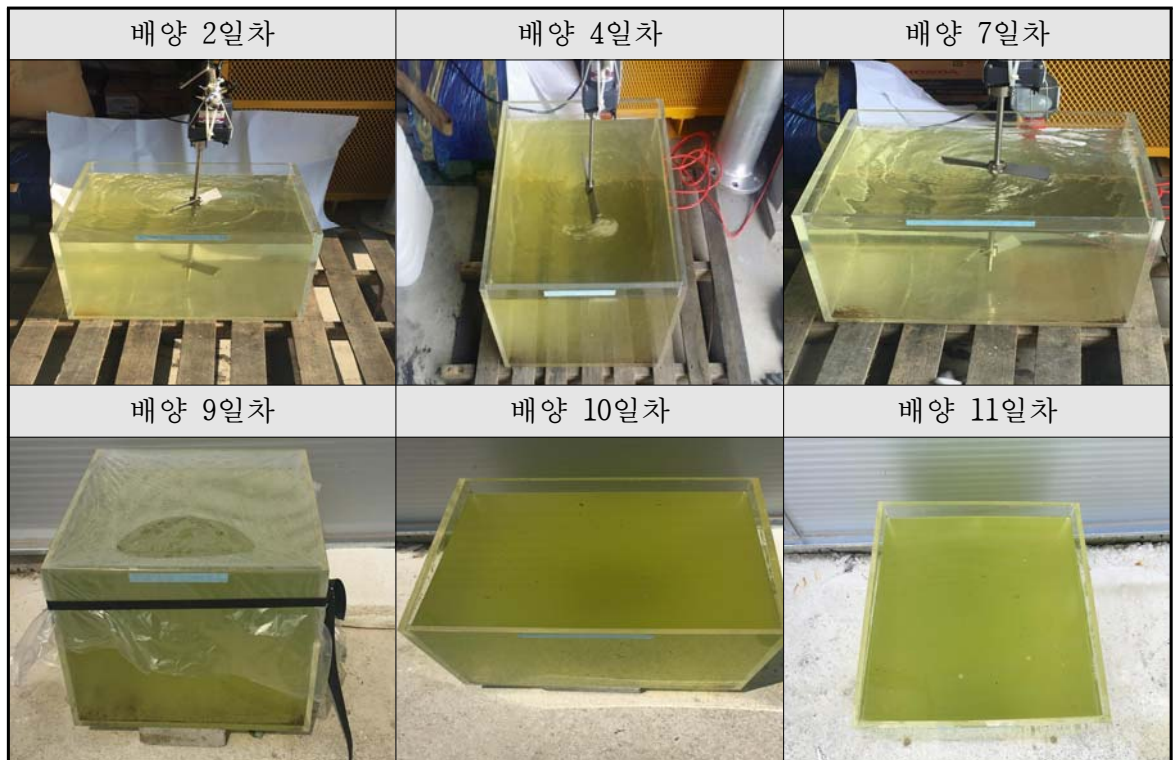
① 녹조 배양 후 모형실험(1차)

- 배양에 적용된 하천수는 대전 갑천에서 취수하였음. 배양방법은 취수해온 하천수를 수조에 붓고 배양액을 각 1스푼씩 넣어준 뒤 교반기를 이용하여 지속적으로 저어주며, 2일에 한 번씩 배양액을 1스푼 추가하였음. 실내에서 2일간 배양하고 햇빛을 비추기 위해 10일 정도 야외에서 배양함.

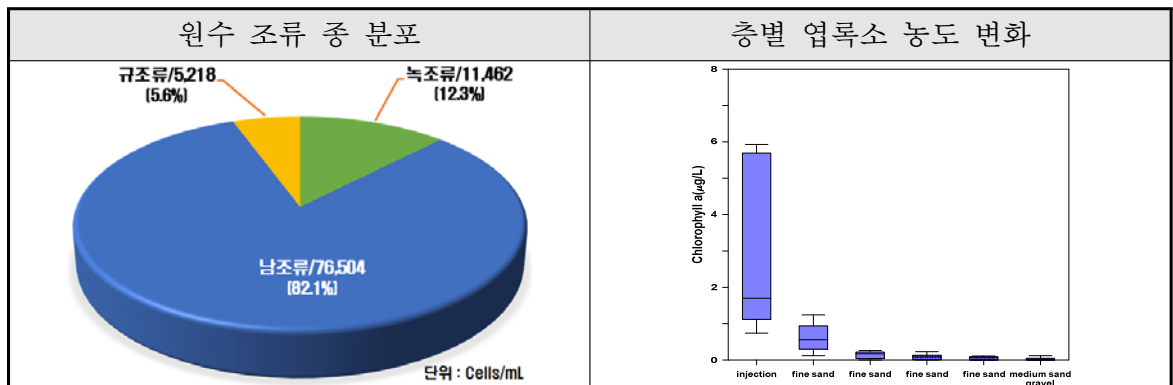
구분	주입수(NTU)	배양기간
녹조 배양	하천수, MO_2^- , NH_4^+ , PO_4^-	약 12일

- 하천수를 이용해 인위적으로 녹조를 배양(약 12일 경과)하여 주입수에 녹조 배양 원수를 혼합하여 녹조 저감 실험을 수행하였으며, 녹조 원수의 양이 부족하여 수돗물에 희석하여 실험을 진행하였음. 따라서 실험 중 샘플링한 시료로 녹조분석을 할 경우 녹조의 양이 적어 총 세포수의 분석이 어렵기 때문에 엽록소(Chlorophyll a) 농도로 저감률을 분석하였음.





- 녹조 배양 후 모형실험을 수행하는 동안 4차례의 시료채취를 하였고, 시료채취는 주입수, 상부물층, 여재1층, 여재2층, 여재3층, 여재4층, 유출수에서 채취함.
- 주입원수의 조류 중 분포는 대부분 남조류로 확인되었으며, 총 세포수는 93,184Cell/ml로 나타남. 층별 엽록소 농도 변화 결과 주입수에서 0.74~5.93 $\mu\text{g/L}$, 유출수에서 0~0.12 $\mu\text{g/L}$ 로 99.4% 저감되는 것을 확인함.



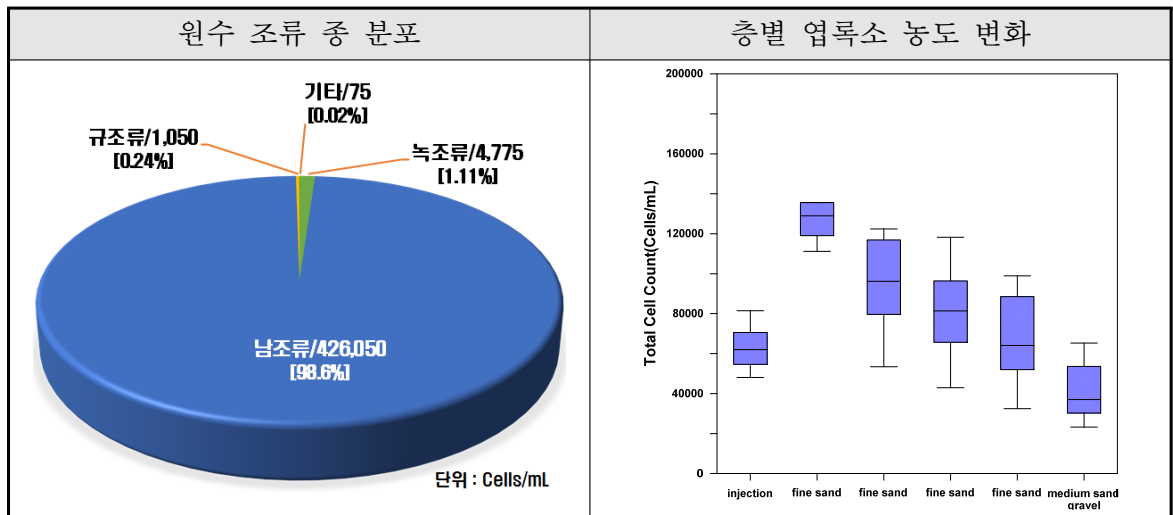
상부매질 실험회차	주입수	상부물층	여재1층	여재2층	여재3층	여재4층	유출수	저감률(%)
실험 전	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
실험 직후	0.74	0.33	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1차	1.70	0.52	0.30	0.04	0.01	0.00	0.00	100.00
2차	5.69	1.90	1.24	0.22	0.13	0.09	0.01	99.82
3차	1.12	0.56	0.56	0.17	0.09	0.06	0.12	89.29
4차	5.93	1.25	0.94	0.26	0.23	0.11	0.05	99.16
구분	Chlorophyll a 농도(μg/L)						평균 저감률(%)	
	주입			유출				
홍해	0.74~5.93			0~0.12			97.07	

② 녹조 발생 원수 취수 후 모형실험(2차)

- 녹조원수를 취수하여 수행한 조류 저감실험은 녹조 배양 후 모형실험과 동일하게 페르시아 만(홍해)의 사례를 적용하여 실험하였고 여재 종류, 입경, 두께 등의 조건은 모두 동일하나 배양한 녹조가 아닌 녹조원수를 취수하여 실험을 진행하였음. 녹조원수는 홍성군 서부면 천수만에서 15ton 탱크로리를 이용하여 취수하였고, 원수에 수돗물을 희석하여 모형실험 수행하였음.



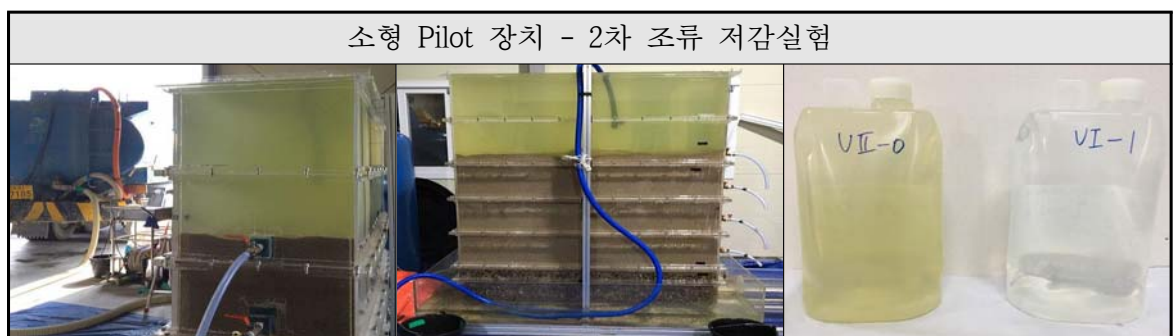
- 녹조 발생 원수 취수 후 모형실험은 녹조 배양 후 모형실험과 동일하게 4차례의 시료 채취를 하였고 시료채취는 주입수, 상부물층, 여재1층, 여재2층, 여재3층, 여재4층, 유출수에서 채취함.
- 주입원수의 조류 중 분포는 대부분 남조류로 확인되었으며 총 세포수는 431,950 Cells/ml로 나타났고 층별 엽록소 농도 변화 결과, 주입수에서 28,675~81,450 Cells/ml, 유출수에서 23,225~65,300 Cells/ml로 40.3% 저감(유해남조류 32.3%저감)하였음.
- 7개 항목별(pH, DO, BOD, COD, SS, TN, TP) 수질분석결과 주입수 대비 유출수의 저감률은 BOD 33.3%, COD 7.5%, SS40.9%, TN 48.1%, TP 41.1%로 약 7.5~48.1%의 수치로 수질개선효과가 확인되었으며, 주입수에 포함되어 있는 녹조 및 부유물질은 여재층 상부에서 제거되며 심도가 깊어질수록 점차 감소되는 경향을 보임.



상부매질 실험회차	주입수	여재1층	여재2층	여재3층	여재4층	유출수	저감률(%)
실험 전	85,090	3,112	284	44	14,256	1,120	98.68
1차	61,840	74,490	53,440	42,980	32,440	28,105	54.55
2차	70,550	111,200	109,025	96,375	58,500	44,675	36.68
3차	63,050	134,825	90,650	63,725	76,000	35,200	44.17
4차	62,250	174,200	116,900	95,325	69,775	23,225	62.69
구분	총 세포수(Cells/mL)					평균 저감률(%)	
	주입		유출				
홍해	28,675~85,090		1,120~65,300			49.52	

조류 저감실험(7항목) 수질분석결과							
구분	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
주입수	7.66	6.70	1.8	8.0	4.4	1.272	0.073
유출수	7.55	6.96	1.2	7.4	2.6	0.660	0.043
저감률			33.3	7.5	40.9	48.1	41.1

조류 저감실험 저감률 분석결과			
구분	총 세포수(Cells/mL)		저감률(%)
	주입	유출	
녹조발생 원수	28,675~81,450	23,225~65,300	40.3
유해남조류 ¹⁾	15,925~29,390	8,945~24,175	32.3



1) 유해남조류 : 환경부기준(Microcystis, Anabaena, Oscillatoria, Aphanizomenon) + 추가(Cylindrospermopsis)

③ 조류 저감실험 결과

- 페르시아 만(홍해)의 사례를 지층조건으로 적용하여 1차, 2차 조류 저감 모형실험을 수행하였고, 실험결과 탁도 저감실험과 동일하게 여재층 두께가 두껍고 여재입경이 작을수록 저감효율이 우수한 것으로 나타남.
- 주입수에 분포하는 조류는 대부분 남조류(Phormidium tenue)인 것으로 나타났고, 1차 실험은 주입수 대비 유출수의 조류 저감률을 Chlorophyll a 농도로, 2차 실험은 총 세포수로 확인하였음.

1차 조류 저감실험			
구분	Chlorophyll a 농도($\mu\text{g/L}$)		평균 저감률(%)
	주입수	유출수	
1차 실험	0.74~5.93	0~0.12	97.07

2차 조류 저감실험			
구분	총 세포수(Cells/mL)		평균 저감률(%)
	주입수	유출수	
2차 실험	28,675~85,090	1,120~65,300	49.52

※ 본 실험은 1/4 scale 규모로 수행된 결과이며, 실제현장에 적용 시 조류 저감효과는 더 클 것으로 판단됨.

④ 수질시험성적서(1차, 2차 조류 저감실험결과)

- 실험명 : 녹조 배양 후 모형실험(1차)
- 성적서 번호: CARE1608-WA001

1차 조류 저감실험 수질성적서(엽록소 분석)							
Chlorophyll a					단위 ($\mu\text{g/liter} = \text{mg/m}^3$)		
	I	II	III	IV	V	VI	VII
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.74	0.33	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
3	1.70	0.52	0.30	0.04	0.01	0.00	0.00
4	5.69	1.90	1.24	0.22	0.13	0.09	0.01
5	1.12	0.56	0.56	0.17	0.09	0.06	0.12
6	5.93	1.25	0.94	0.26	0.23	0.11	0.05

- 실험명 : 녹조 발생 원수 취수 후 모형실험(2차)
- 성적서 번호: CARE1608-AC008

2차 조류 저감실험 수질성적서(총세포수 분석)									
총 세포수		단위 (Cells / ml)							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
I	85,090	61,840	70,550	81,450	54,675	63,050	28,675	48,100	62,250
II	3,112	74,490	111,200	119,025	132,250	134,825	125,700	135,600	174,200
III	284	53,440	109,025	101,775	122,400	90,650	79,650	70,000	116,900
IV	44	42,980	96,375	96,075	118,200	63,725	67,375	65,675	95,325
V	14,256	32,440	58,500	98,975	88,525	76,000	52,025	45,600	69,775
VI	1,120	28,105	44,675	65,300	53,625	35,200	30,250	38,845	23,225
VII	431,950								

- 실험명 : 녹조 발생 원수 취수 후 모형실험(2차)
- 성적서 번호: W-160805-017

2차 조류 저감실험 수질성적서					
측정항목	관련기준	측정분석값		단위	분석방법 및 기기(정량한계)
		주입수	유입수		
COD	- 이하	8.0	7.4	mg/L	적정법-산성 과망간산칼륨법
BOD	- 이하	1.8	1.2	mg/L	전극법(0.5)
SS	- 이하	4.4	2.6	mg/L	여과-질량분석법
TN	- 이하	1.272	0.660	mg/L	자외선/가시선 분광법-산화법(0.1)
TP	- 이하	0.073	0.043	mg/L	자외선/가시선 분광법(0.003)
이 하 여 백					

(2) 상부 치환층 최적화 설계를 위한 실험 모형 구성

(가) 개착식 하상 여과 실험 모형 구성

- 실험 모형의 구성은 황토를 이용한 탁도 저감 모형실험과 동일한 모형으로 구성되어 있으며, 실험에 쓰인 여재로는 자갈(입경 5-10 mm), 왕사(입경 2-5 mm), 화산석(입경 2-5 mm), 중사(입경 1-2 mm)를 사용하였음.

① 모형실험을 통한 하상여과 실험 결과

- 다음은 하상여과 실험 장치를 통해 측정된 유량 값으로 실험 장치에 있는 유량계를 이용하여 측정하였으며 각 실험마다 4-5시간의 실험을 진행하였음. 이 중 실험 시작 후 3시간 이후 1시간의 측정을 통해 평균적인 유량 값을 이용하였음. 자갈이 가장 큰 값을 나타내고 있으며 중사가 입경은 작으나 투수계수는 높게 나타났고, 탁도가 있는 원수에서 상대적으로 유량 값은 작게 나타났으며 가장 크게 차이가 나는 여재는 화산석으로 $1.05E-04 \text{ m}^3/\text{sec}$ 의 차이를 보였음. 이는 화산석의 특성상 다공성 매질로 구성되어 있어 점토가 화산석 표면에 흡착되어 공극을 저하시켜 투수계수 감소 효과가 더욱 크게 나타나는 결과와 일치함(Kadlec, 1997). 공급원수의 탁도가 30-50 NTU인 반면 유출수의 탁도는 모두 감소하여 여과의 기능을 수행하고 있음을 확인하였고, 반면에 탁도가 0인 공급원수를 집어넣어도 여재에 섞인 불순물로 인해 실험과정에서 탁도가 증가한 것으로 나타남.

모형실험을 통한 하상여과 실험 결과				
탁도(NTU)	여재종류	입경(mm)	유량(m^3/sec)	유출탁도(NTU)
0 NTU	중사	1~2	$7.15E-04$	0.5
	왕사	2-5	$7.18E-04$	5.2
	화산석	2-5	$7.30E-04$	1.6
	자갈	5-10	$7.72E-04$	2.0
30-50 NTU	중사	1-2	$7.02E-04$	1.7
	왕사	2-5	$6.59E-04$	11.5
	화산석	2-5	$6.25E-04$	6.8
	자갈	5-10	$7.05E-04$	9.6

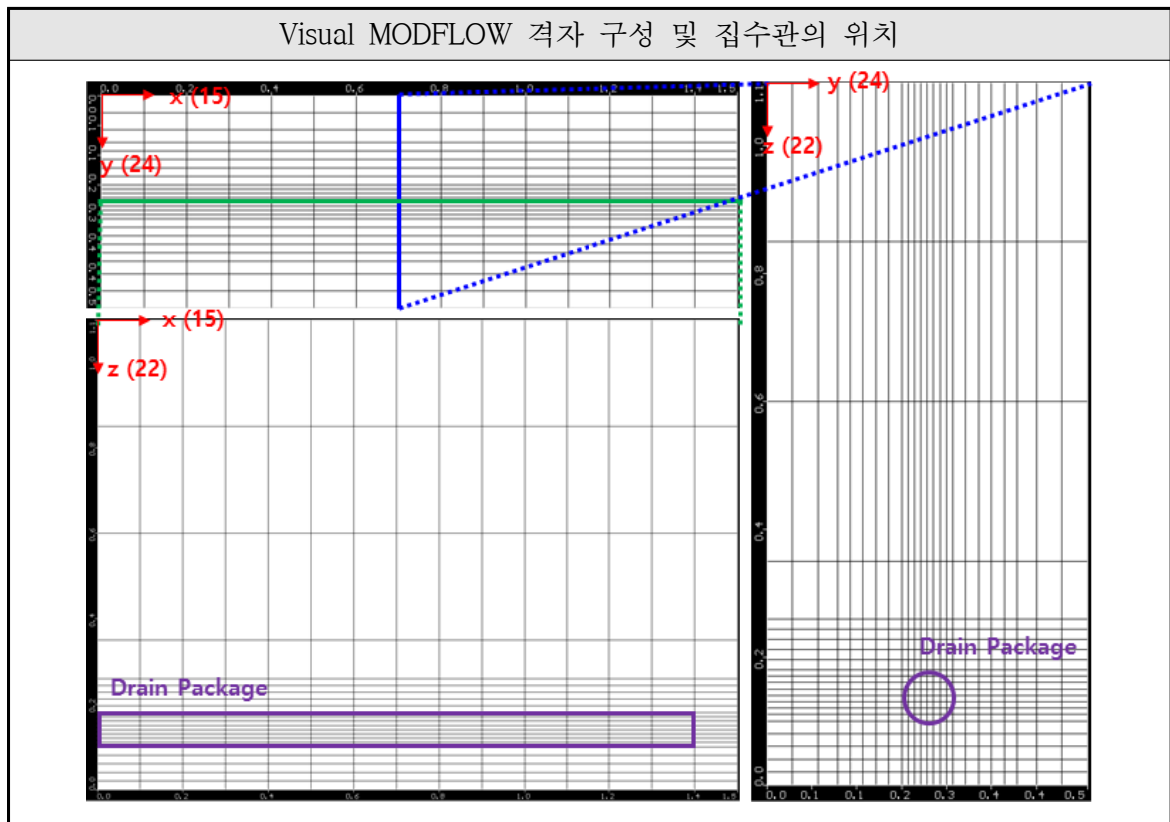
(3) 상부 치환층 최적화 설계를 위한 역산투수계수 산정

(가) Visual MODFLOW를 이용한 실험 모형 구현 및 역산투수계수 산정

- 지하수 전문 유동 모델인 Visual MODFLOW는 유한차분법에 기초하고 있으며 Harbaugh and McDonald(1996)은 강변여과에서 수직정과 수평집수정의 취수율을 예측하는 연구를 진행하였으며, Schafer(2004)는 미국의 켄터키주에 강변여과정을 설계할 때 MODFLOW를 이용하였음. 본 연구에서는 실험 결과로 측정된 취수량을 통해 실험 장치에 사용된 여재의 투수계수를 추정하는데 사용하였으며, 탁도가 있는 원수를 공급하였을 때 수정된 투수계수에 대해서 적용하기 위해 이용하였음.

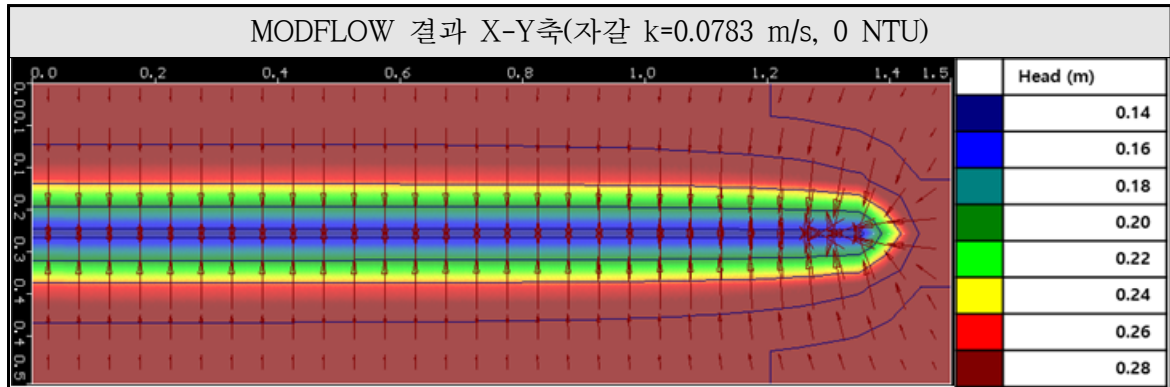
① 격자 구성 및 집수관의 위치

- 실험실 규모의 모델은 실험 장치와 동일 크기로 적용하였으며 상부에서 공급되는 하천수는 1.4m로 일정 수위를 지속적으로 유지하기 때문에 고정 수두 경계 조건을 적용하였음. 기능성 스크린이 장착된 집수관에 대해서는 배수 경계 조건을 사용하였으며, 여기에 사용된 전도계수는 실험을 통해 지정된 값을 적용하였고, 값은 $1.04\text{--}2.73\text{ m}^2/\text{s}$ 를 이용하였음. 또한 기능성 스크린이 장착된 집수관의 지층에 대해서는 $5\text{--}15\text{ cm/s}$ 의 투수계수를 부여하여 빈 공간에서의 물의 흐름을 모사할 수 있도록 구성하였으며, 실험 장치를 토대로 4개 지층으로 구성하였으며, 기능성 스크린이 장착된 집수관을 모식하기 위해 주변으로 조밀격자를 구성하였음. 아래 그림은 집수관의 위치 및 조밀격자의 구성을 나타내고 있으며 각각의 축의 괄호 안에 숫자는 격자의 개수이며, 각각 x축으로 24개, y축으로 15개, z축으로 22개로 구성하여 총 7920개의 격자로 구성되어있음. 기능성 스크린이 장착된 집수관을 통해 배수되는 유량은 MODFLOW 내의 Zone Budget Package를 이용하여 산출되었고 배수되는 격자에 Zone Budget Package를 적용하여 격자에서 유출량을 파악하였음.



② Visual MODFLOW를 통한 투수계수 추정

- MODFLOW를 통해 투수계수 값에 대해서 추정하였음. 다음은 여재층에 자갈을 설치하였을 때를 모델링으로 구성한 결과이고 x-y축에 대한 등수위 분포도를 나타냈으며 기능성 스크린이 장착된 집수관이 위치한 지층의 단면을 나타내었음.
- 투수계수를 추정하는데 있어서 실험을 통해 공급 원수의 수질은 탁도가 0 NTU일 때 측정된 유량 값을 사용하였고, Zone Budget Package를 통해 기능성 스크린이 장착된 집수관에서 유출되는 수량을 나타내었음. 오차 평균은 $1.23\text{E-}08 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 매우 신뢰도 있는 모델링을 구성하였고 <표>는 모델링 결과 값과 추정된 투수계수 값임.



MODFLOW를 통한 투수계수 추정(0 NTU)				
여재	관측 유량	계산 유량	오차	투수계수
	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(cm/s)
중사	7.15135E-04	7.15115E-04	2.01E-08	0.07015
왕사	7.18643E-04	7.18654E-04	1.12E-08	0.07046
화산석	7.30048E-04	7.30056E-04	0.84E-08	0.07168
자갈	7.72431E-04	7.72419E-04	1.22E-08	0.07583

③ 모델링을 통한 탁도에 따른 수정된 투수계수 측정

㉓ 수정된 투수계수 모의 시나리오

- 탁도로 인해 감소된 투수계수를 적용하기 위해 총 22 개의 시나리오를 구성하였으며 단일지층으로 구성된 여재에 대해서 중사, 왕사, 화산석, 자갈에 대해서 각각 적용하였음. 추정된 투수계수의 20 %를 감소시킨 80 % 값까지 적용해본 결과 투수계수의 차이가 심하게 나오고 측정값과 비교하여 큰 오차가 발생하였으나, 본 연구에서는 추정된 투수계수의 80 %값을 한계 값으로 지정하였으며, 100 %의 추정된 값에서 한계 값인 80 %까지 투수계수를 등간격으로 5개로 나누어 구성하였음. 이를 시나리오 구성에서 A-D까지로 적용 시켰으며 A는 추정된 투수계수 값에서 5 % 감소된 95 %의 값을 입력하였고, B는 90 %, C는 85 %, D는 80 %까지 감소시켰음. 미세입자로 인한 투수계수 감소현상은 강바닥, 상부 지층에서부터 일어나기 때문에 감소현상의 시작점 기준은 상부 지층에서 하부지층으로 내려가는 시나리오를 구성하였음. 이를 A-D까지의 시나리오에서는 뒤의 숫자로 1-4 까지 부여하였으며 상부에서부터 1-4 번 지층까지의 영향 범위를 나타냈음. A-1 번 시나리오는 추정된 투수계수 값에서 95 %의 값을 사용하였으며, 상부 첫 번째 지층까지의 영향을 검토하기 위해 1 번 지층에만 95 %의 투수계수를 적용하였고, D-4 번 시나리오는 80 %의 투수계수 값에 대해서 상부인 1 번 지층

에서 하부인 4 번 지층까지 전체 지층에 적용하였음. 또한 여재의 깊이에 따라 상부에 오염물 혹은 미세입자들이 많이 여과되어 투수계수가 감소되고 하부로 내려올수록 탁도에 영향을 적게 받을 수 있는 시나리오에 대한 구성을 진행하였음. 이를 M에 대한 시나리오로 구성하였으며, 각 조합에 따라 a-f 로 지정하였고 여기에서 혼합된 투수계수 감소 조건으로 상부의 투수계수 감소가 제일 크게 설정하고 점진적으로 감소 폭이 줄어드는 시나리오를 구성하였음. M의 시나리오에서 구성된 80-95 %까지의 투수계수는 탁도로 인한 투수계수 감소 효과가 상부의 지층보다는 하부의 지층이 덜 영향을 받을 것이라는 가정 하에 구성하였으며, M-a 시나리오는 상부 1번 지층에서는 90 %의 투수계수 값을 입력하고, 2번 지층에서는 1번 지층보다는 덜 영향을 받는 95 %의 투수계수 값을 적용하였음. M-f 는 1 번 지층에서 4 번 지층까지 모두 탁도의 영향을 받는 시나리오로 1번 지층에서는 80 %의 감소된 투수계수 값을 적용하고, 각 지층마다 5 %씩 증가하는 85, 90, 95 %의 투수계수에 대해서 2, 3, 4 번 지층에 입력하였음. 다음은 시나리오 별로 각 여재 층에 적용한 투수계수 값을 나타냄.

수정된 투수계수 모의 시나리오				
Scenario	A-1	A-2	A-3	A-4
Layer 1	$k \times 0.95$	$k \times 0.95$	$k \times 0.95$	$k \times 0.95$
Layer 2	k	$k \times 0.95$	$k \times 0.95$	$k \times 0.95$
Layer 3	k	k	$k \times 0.95$	$k \times 0.95$
Layer 4	k	k	k	$k \times 0.95$
Scenario	C-1	C-2	C-3	C-4
Layer 1	$k \times 0.85$	$k \times 0.85$	$k \times 0.85$	$k \times 0.85$
Layer 2	k	$k \times 0.85$	$k \times 0.85$	$k \times 0.85$
Layer 3	k	k	$k \times 0.85$	$k \times 0.85$
Layer 4	k	k	k	$k \times 0.85$
Scenario	M-a	M-b	M-c	M-d
Layer 1	$k \times 0.9$	$k \times 0.85$	$k \times 0.8$	$k \times 0.8$
Layer 2	$k \times 0.95$	$k \times 0.9$	$k \times 0.85$	$k \times 0.85$
Layer 3	k	k	k	$k \times 0.9$
Layer 4	k	k	k	k

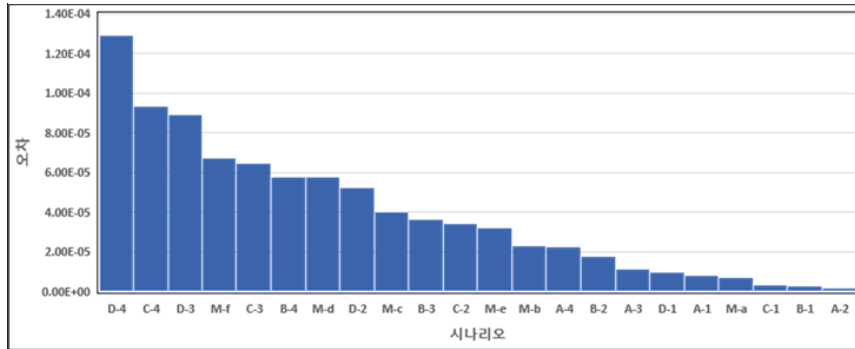
㉠ 수정된 투수계수 시나리오 결과

- 다음은 수정된 투수계수 시나리오 적용 결과임. 굵은 서체로 표시된 결과가 오차가 제일 작은 3가지 시나리오이고, 각각의 여재에 대해서 시나리오의 결과가 조금씩 다르게 나타나고 있음. 중사에 적용한 시나리오 결과 중 가장 오차가 작은 것은 A-2 시나리오인 95 %의 투수계수로 상부에서 2번째 지층까지 적용한 것으로 나타났으며, 이는 중사의 입자 크기가 작아 상부에서 모두 여과과정이 일어난 것으로 추정됨. 왕사는 상부에서부터 두 개의 지층에서 각각 80 %, 85 %를 적용한 M-c 시나리오의 결과 값이 가장 오차가 작은 것으로 나타났고 이와 유사하게 상부의 두 개 지층에서 80 %의 투수계수를 적용한 D-2 시나리오도 작은 오차 값을 나타냈음. 이는 중사보다 입경이 큰 왕사는 탁수에 대해서 2번째 지층까지 영향을 미치는 것으로 추정됨. 왕사와 비슷한 입경의 화산석은 왕사와는 달리 여재의 특성상 다공성 매질로 구성되어 있어 점토가 화산석 표면에 흡착되어 상부에서 세 번째 지층까지 영향을 미치는 D-3 시나리오에서

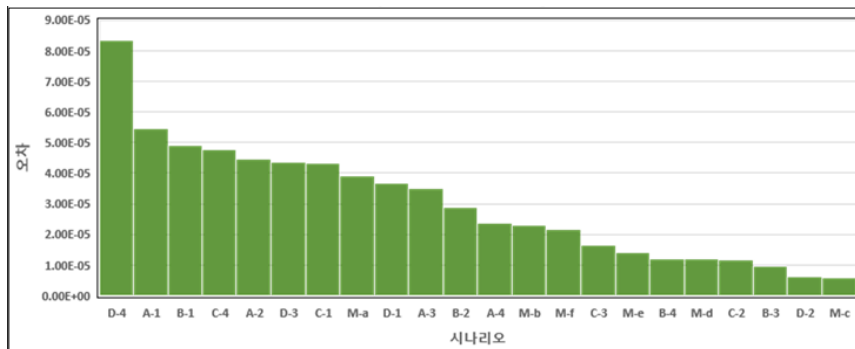
가장 작은 오차 값을 보여주었고 실험 결과 유출수의 탁도 값에서도 비슷한 입경의 왕사보다 낮은 탁도를 가진 유출수가 나타남. 입경이 큰 자갈은 상부의 두 개 지층에서 20 % 감소된 투수계수를 적용한 D-2 시나리오에서 가장 오차가 작게 나타났으며, 이는 점토를 포함한 탁수가 두 번째 지층까지 영향을 미치는 것으로 추정되어짐.

수정된 투수계수 모델링 결과(30 ~ 50 NTU)								
Scenario	중사		왕사		화산석		자갈	
	관측 유량		관측 유량		관측 유량		관측 유량	
	7.02E-04 (m ³ /s)		6.59E-04 (m ³ /s)		6.25E-04 (m ³ /s)		7.05E-04 (m ³ /s)	
	계산유량	오차	계산유량	오차	계산유량	오차	계산유량	오차
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
A-1	7.10E-04	8.20E-06	7.13E-04	5.45E-05	7.25E-04	1.00E-04	7.67E-04	6.22E-05
A-2	7.00E-04	1.70E-06	7.03E-04	4.45E-05	7.15E-04	9.03E-05	7.56E-04	5.16E-05
A-3	6.90E-04	1.12E-05	6.94E-04	3.50E-05	7.05E-04	8.05E-05	7.46E-04	4.12E-05
A-4	6.79E-04	2.22E-05	6.82E-04	2.37E-05	6.94E-04	6.92E-05	7.34E-04	2.91E-05
B-1	7.04E-04	2.90E-06	7.08E-04	4.91E-05	7.20E-04	9.49E-05	7.61E-04	5.65E-05
B-2	6.84E-04	1.74E-05	6.87E-04	2.87E-05	6.99E-04	7.41E-05	7.39E-04	3.45E-05
B-3	6.65E-04	3.64E-05	6.68E-04	9.60E-06	6.80E-04	5.48E-05	7.19E-04	1.41E-05
B-4	6.44E-04	5.79E-05	6.47E-04	1.20E-05	6.58E-04	3.29E-05	6.95E-04	9.30E-06
C-1	6.99E-04	3.00E-06	7.02E-04	4.32E-05	7.14E-04	8.89E-05	7.55E-04	5.02E-05
C-2	6.67E-04	3.43E-05	6.70E-04	1.18E-05	6.82E-04	5.69E-05	7.21E-04	1.64E-05
C-3	6.37E-04	6.44E-05	6.42E-04	1.65E-05	6.53E-04	2.81E-05	6.91E-04	1.40E-05
C-4	6.08E-04	9.34E-05	6.11E-04	4.77E-05	6.21E-04	3.50E-06	6.57E-04	4.76E-05
D-1	6.92E-04	9.50E-06	6.95E-04	3.67E-05	7.07E-04	8.23E-05	7.48E-04	4.31E-05
D-2	6.49E-04	5.22E-05	6.52E-04	6.20E-06	6.63E-04	3.86E-05	7.02E-04	3.00E-06
D-3	6.12E-04	8.94E-05	6.15E-04	4.36E-05	6.25E-04	6.00E-07	6.62E-04	4.32E-05
D-4	5.73E-04	1.29E-04	5.75E-04	8.34E-05	5.85E-04	3.99E-05	6.19E-04	8.61E-05
M-a	6.95E-04	6.90E-06	6.98E-04	3.93E-05	7.10E-04	8.49E-05	7.51E-04	4.59E-05
M-b	6.79E-04	2.30E-05	6.82E-04	2.31E-05	6.93E-04	6.85E-05	7.33E-04	2.86E-05
M-c	6.61E-04	4.02E-05	6.64E-04	5.90E-06	6.76E-04	5.09E-05	7.15E-04	1.00E-05
M-d	6.44E-04	5.78E-05	6.47E-04	1.19E-05	6.58E-04	3.29E-05	6.96E-04	9.10E-06
M-e	6.70E-04	3.19E-05	6.73E-04	1.41E-05	6.84E-04	5.94E-05	7.24E-04	1.89E-05
M-f	6.34E-04	6.74E-05	6.37E-04	2.18E-05	6.48E-04	2.30E-05	6.85E-04	1.98E-05

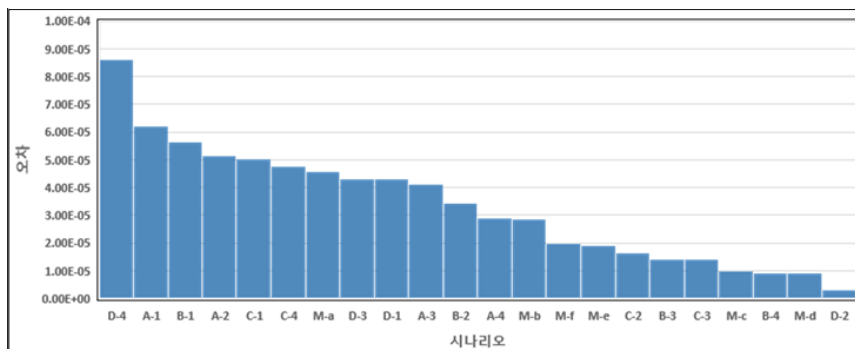
중사($k=0.07015\text{cm/s}$)



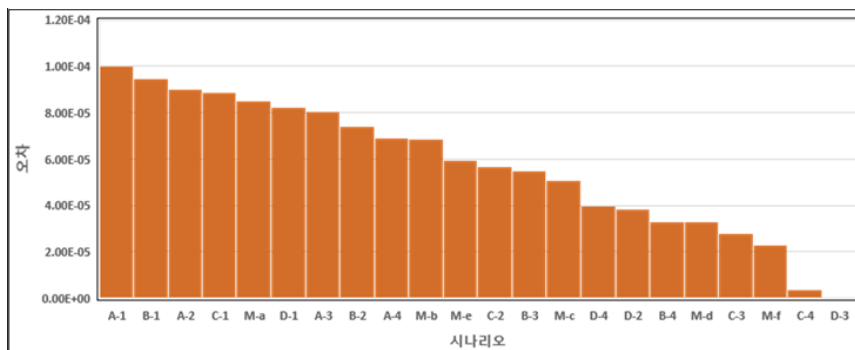
왕사($k=0.07046\text{cm/s}$)



자갈($k=0.07583\text{cm/s}$)



화산석($k=0.07168\text{cm/s}$)



라. 실증 Pilot Plant 구축 및 운영

(1) 실증 Pilot Plant 구축

- 집수매거 형태와 치환여재 조합의 다양한 조건에서 수량의 변화와 수질저감 효과를 검증하기 위해 실증 Pilot Plant를 제작하였으며, 소형 Pilot 장치 실험을 토대로 설계 및 보완하여 현장규모와 동일하게 구축하고자 가로3.5m×세로2m×높이3m의 구조물에 스크린 10개를 설치하였음. 스크린의 제원 및 필터여재 내부 제원은 아래와 같음.
- 정수압 유지와 고탁수 조제기 및 펌프시설과 결합하여 24시간 지속적으로 물이 자동 순환할 수 있도록 제작하였으며, 각종 계측 값을 손쉽게 모니터링 할 수 있도록 제작 되었음.

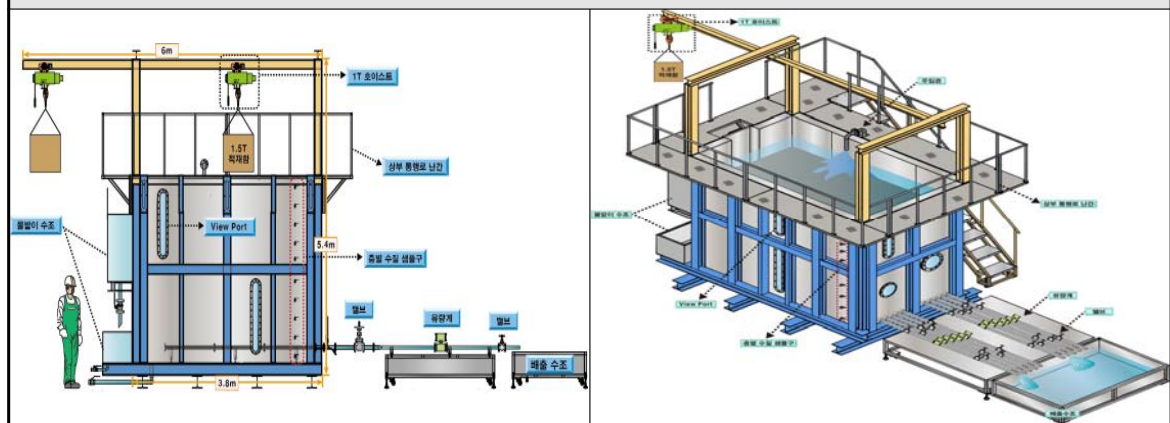
구분	구경별 스크린(4개)	슬롯 사이즈별 스크린(3개)	복합형(수직/수평) 스크린(3개)
구경(A)	25, 32, 40, 50	32	32
슬롯사이즈 (mm)	1	0.5, 1.5, 2	1

여재 없음	원통형 스크린	더블 스크린	적용여재(화산석)
			

실증 Pilot Plant 전경



실증 Pilot Plant 단면 및 모식도



(2) 실증 Pilot Plant 검증 치환여재 설계

- 안양천 Test bed 실증 시험시설의 설치를 치환여재의 특성 및 입경을 재검토하고, 이를 실증 Pilot plant에 적용하여 수량/수질을 검증함으로써 현장조건에 적합한 최적의 치환여재 결정을 통해 양질의 여과수를 생산할 수 있도록 실험을 수행하였음.
- 상부 치환층 여재 입경을 결정하기 위해 수리 및 수질 특성에 관한 기존 연구 사례를 추가적으로 검토하였으며, 소형 Pilot실험 결과와 비교하여 객관성을 검토하였음. 성치돈 외(2001) 연구문헌에 의하면 하상여과 이용 시 미생물 생장에 의한 투수계수 변화를 확인하기 위한 실험을 통하여 여재 입경이 0.355~0.5mm일 때 투수계수 변화량이 크게 나타났고, 2~2.5mm 일 때 투수계수 변화량이 가장 작게 나타났음. 또한, 한국수자원공사(2012) 조사보고서에 의하면 천변여과지의 여재 모래는 4대강 준설토(입경 0.85~1.7mm)를 활용하여 탁도 저감 실험을 하였으며 그 결과 양호한 것으로 나타났기 때문에 4대강 준설토는 여과수질을 위한 여재로 사용하기에 적합하다는 결론을 도출하였음.

구분	수량/수질 측면	수질 측면	수량 측면	최소 ~ 최대
	소형 Pilot 실험	수자원공사	연구논문	
여재입경(mm)	1.0 ~ 3.0	0.85 ~ 1.7	2 ~ 2.5	0.85 ~ 2.5

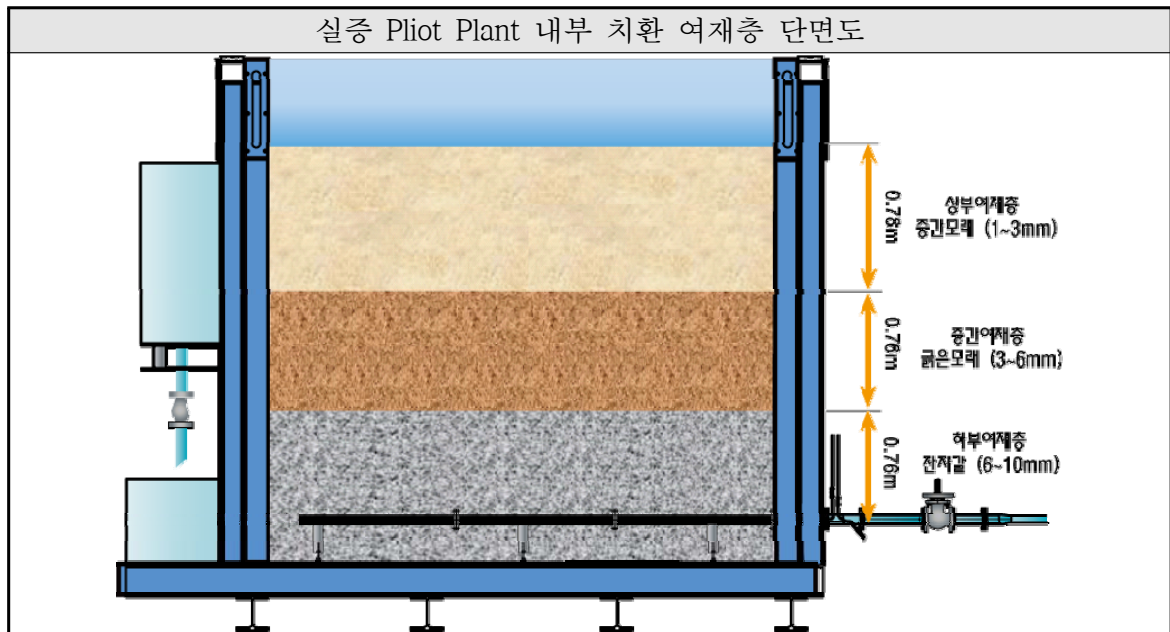
- 치환여재 설계 검토 결과, 실증 Pilot plant 검증의 치환여재 설계는 소형 Pilot실험 결과와 기존문헌조사 등을 바탕으로 결정하였으며, 여재 입경 검토결과 수질적인 측면에서는 0.85~3.0mm, 수량적인 측면에서는 2~2.5mm로 확인되었음. 실증 Pilot plant의 여재는 Case 3으로 여재 입경 및 매질의 종류는 아래와 같고 이를 실증 Pilot Plant에 적용하였음.



Case 3	상부 여재층	중간 여재층	하부 여재층
여재입경(mm)	1 ~ 3	3 ~ 6	6 ~ 10
매질 종류	중간 모래(중사)	굵은 모래(왕사)	가는 자갈(잔자갈)

(3) 실증 Pilot Plant 검증

- Test bed에 가장 적합한 여재층의 조건(Case 3)을 적용하여 실증 Pilot plant 검증 및 각 층별 수질 저감효과 확인하고, 단일 수평스크린과 복합형(수직/수평)스크린을 적용하여 성능비교를 수행하였음. 복합형 스크린의 경우 3Type으로 각각 기본형, 더블스크린, 원통형 스크린으로 분류하여 검증하였음.
- 2월 3일 ~ 2월 18일까지(15일간) 24시간 연속 운영하여 실험하였음. 황토를 희석하여 100~120NTU 범위의 주입수를 제조한 뒤, 제조된 주입수를 일정수두의 하천수로 가정하고 지속적으로 탁수를 공급하여 정수두를 유지하게 실험하였으며, 층별 수질샘플을 통해 부유물질, 탁도, 층별 수질 저감효과를 확인할 수 있었음.

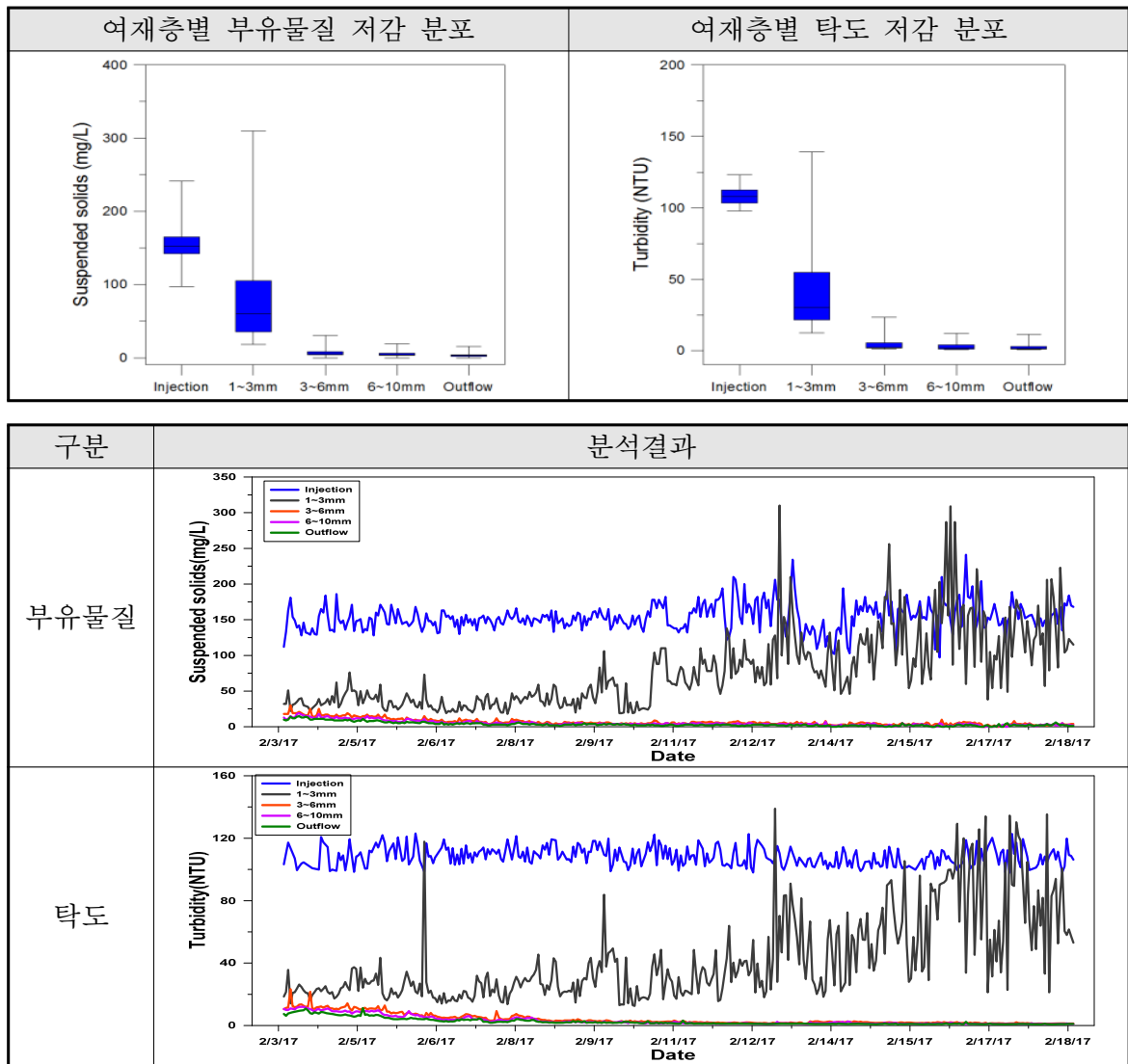


(4) 실증 Pilot Plant 운영 결과

(가) 단일 수평스크린 Pilot Plant 운영 결과

- 부유물질과 탁도 저감효율은 97.7%로 매우 높게 나타났으며 상부 여재층의 부유물질 및 탁도는 시간이 지날수록 증가하고, 다른 여재층의 경우 감소하는 경향을 보이므로 부유물질과 탁도 유발물질은 대부분 최상부 여재층에서 제거되는 것을 알 수 있음.
- 유출수의 부유물질은 하천수 수질환경기준(25mg/L)보다 낮은 3.6mg/L로 방류수 수질 기준을 만족하는 것으로 나타남.

구분	주입수		상부여재층 (1 ~ 3mm)		중간여재층 (3 ~ 6mm)		하부여재층 (6 ~ 10mm)		유출수	
	SS (mg/L)	탁도 (NTU)	SS (mg/L)	탁도 (NTU)	SS (mg/L)	탁도 (NTU)	SS (mg/L)	탁도 (NTU)	SS (mg/L)	탁도 (NTU)
최소값	97.0	98.0	18.0	12.6	0.0	1.1	0.0	0.8	0.0	0.7
최대값	241.0	123.0	310.0	139.0	30.0	23.3	19.0	12.0	15.0	11.2
평균값	153.6	108.4	77.0	42.1	6.8	4.1	5.0	3.2	3.6	2.5
저감효율 (%)	-	-	49.9	61.1	95.6	96.2	96.7	97.1	97.7	97.7



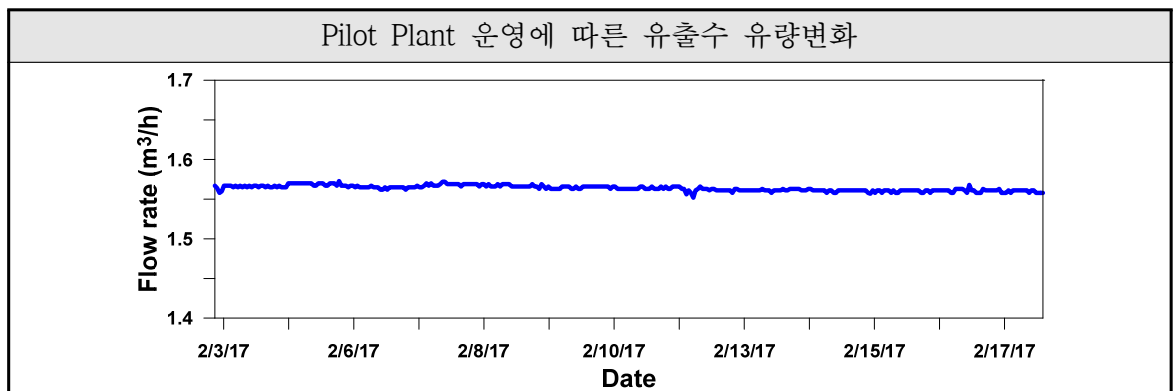
(나) 복합형(수직/수평) 수평스크린 Pilot Plant 운영 결과

- 운영초기의 경우 더블스크린이 가장 저감효과가 높게 나타났으나 운영이 지속될수록 원통형스크린이 저감효과가 높게 나타났으며 원통형스크린의 경우 부유물질 및 탁도가 각각 최대 99.9%, 99.8%로 단일 수평스크린만 적용하였을 경우(97.7%)보다 저감효과가 뛰어난 것을 확인하였음.

구분	Sample No.	부유물질 (mg/L)	탁도 (NTU)	부유물질 저감율(%)	탁도 저감율(%)
운영초기 (1일차)	1-1(주입수)	156	105		
	1-2(여재X)	7.3	7.01	95.3	93.3
	1-3(더블)	2.3	1.69	98.5	98.4
	1-4(원통형)	4.9	6.88	96.9	93.6
운영중기 (7일차)	2-1(주입수)	140	77.8		
	2-2(여재X)	2.3	14.6	98.4	98.1
	2-3(더블)	1.5	1.11	98.9	98.6
	2-4(원통형)	0.2	0.12	99.9	99.8
운영후기 (15일차)	3-1(주입수)	165	88.5		
	3-2(여재X)	0.3	0.24	99.8	99.7
	3-3(더블)	0.2	0.3	99.9	99.7
	3-4(원통형)	0.2	0.15	99.9	99.8

구분	필터형태	복합형스크린 Pilot Plant 수질시험성적서																																										
1일차 주입수	-	(주) 동 우 환 경 기 술 연 구 원 (소재지) 대전광역시 동구 중동4길 63-3층 / 전화 1800 5773 / 팩스 043-240-0331 문서번호 : 동우-17-04033-3 접수번호 : 2017-05-04033 발 출 : 주식회사 월택 [시험일자 : 2017년 05월 23일] 제 목 : 수질검사 성적서 보 내 : (주)동우환경기술연구원장 아래와 같이 먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙 제3조 제2항의 규정에 의하여 시험 성적서를 교부합니다. 1. 시험내용 <table><tr><td>검 체 명</td><td>수돗물 외</td><td>검사목적</td><td>참고용</td><td>접수일자</td><td>2017년 05월 17일</td></tr><tr><td>채수장소</td><td>1-1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> 2. 수질검사 결과 <table><tr><td>판 정</td><td colspan="6">이 상 의 결 과 와 같 음</td></tr><tr><td>수질기준초과항목</td><td colspan="6"></td></tr><tr><td>NO</td><td>검 사 항 목</td><td>기 준</td><td>결 과</td><td>NO</td><td>검 사 항 목</td><td>기 준</td><td>결 과</td></tr><tr><td>1</td><td>부유물질</td><td></td><td>156.0</td><td>2</td><td>탁도</td><td></td><td>105.00</td></tr></table> [비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.	검 체 명	수돗물 외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 05월 17일	채수장소	1-1					판 정	이 상 의 결 과 와 같 음						수질기준초과항목							NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	부유물질		156.0	2	탁도		105.00
검 체 명	수돗물 외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 05월 17일																																							
채수장소	1-1																																											
판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																											
수질기준초과항목																																												
NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																					
1	부유물질		156.0	2	탁도		105.00																																					
15일차 기본 스크린		1. 시험내용 <table><tr><td>검 체 명</td><td>수돗물 외</td><td>검사목적</td><td>참고용</td><td>접수일자</td><td>2017년 05월 17일</td></tr><tr><td>채수장소</td><td>3-2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> 2. 수질검사 결과 <table><tr><td>판 정</td><td colspan="6">이 상 의 결 과 와 같 음</td></tr><tr><td>수질기준초과항목</td><td colspan="6"></td></tr><tr><td>NO</td><td>검 사 항 목</td><td>기 준</td><td>결 과</td><td>NO</td><td>검 사 항 목</td><td>기 준</td><td>결 과</td></tr><tr><td>1</td><td>부유물질</td><td></td><td>0.3</td><td>2</td><td>탁도</td><td></td><td>0.24</td></tr></table> [비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.	검 체 명	수돗물 외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 05월 17일	채수장소	3-2					판 정	이 상 의 결 과 와 같 음						수질기준초과항목							NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	부유물질		0.3	2	탁도		0.24
검 체 명	수돗물 외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 05월 17일																																							
채수장소	3-2																																											
판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																											
수질기준초과항목																																												
NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																					
1	부유물질		0.3	2	탁도		0.24																																					
15일차 더블 스크린		1. 시험내용 <table><tr><td>검 체 명</td><td>수돗물 외</td><td>검사목적</td><td>참고용</td><td>접수일자</td><td>2017년 05월 17일</td></tr><tr><td>채수장소</td><td>3-3</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> 2. 수질검사 결과 <table><tr><td>판 정</td><td colspan="6">이 상 의 결 과 와 같 음</td></tr><tr><td>수질기준초과항목</td><td colspan="6"></td></tr><tr><td>NO</td><td>검 사 항 목</td><td>기 준</td><td>결 과</td><td>NO</td><td>검 사 항 목</td><td>기 준</td><td>결 과</td></tr><tr><td>1</td><td>부유물질</td><td></td><td>0.2</td><td>2</td><td>탁도</td><td></td><td>0.30</td></tr></table> [비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.	검 체 명	수돗물 외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 05월 17일	채수장소	3-3					판 정	이 상 의 결 과 와 같 음						수질기준초과항목							NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	부유물질		0.2	2	탁도		0.30
검 체 명	수돗물 외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 05월 17일																																							
채수장소	3-3																																											
판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																											
수질기준초과항목																																												
NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																					
1	부유물질		0.2	2	탁도		0.30																																					
15일차 단일 스크린		1. 시험내용 <table><tr><td>검 체 명</td><td>수돗물 외</td><td>검사목적</td><td>참고용</td><td>접수일자</td><td>2017년 05월 17일</td></tr><tr><td>채수장소</td><td>3-4</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> 2. 수질검사 결과 <table><tr><td>판 정</td><td colspan="6">이 상 의 결 과 와 같 음</td></tr><tr><td>수질기준초과항목</td><td colspan="6"></td></tr><tr><td>NO</td><td>검 사 항 목</td><td>기 준</td><td>결 과</td><td>NO</td><td>검 사 항 목</td><td>기 준</td><td>결 과</td></tr><tr><td>1</td><td>부유물질</td><td></td><td>0.2</td><td>2</td><td>탁도</td><td></td><td>0.15</td></tr></table> [비고] 본 성적서는 의뢰된 가검물에 한한 성적이며, 의뢰목적 이외의 용도에는 사용할 수 없습니다.	검 체 명	수돗물 외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 05월 17일	채수장소	3-4					판 정	이 상 의 결 과 와 같 음						수질기준초과항목							NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과	1	부유물질		0.2	2	탁도		0.15
검 체 명	수돗물 외	검사목적	참고용	접수일자	2017년 05월 17일																																							
채수장소	3-4																																											
판 정	이 상 의 결 과 와 같 음																																											
수질기준초과항목																																												
NO	검 사 항 목	기 준	결 과	NO	검 사 항 목	기 준	결 과																																					
1	부유물질		0.2	2	탁도		0.15																																					

- 실증 Pilot plant 운영을 통한 유량 측정 결과, 1.552 ~ 1.573m³/h의 범위를 보이며 평균 1.564m³/h로 나타났으며 지속적으로 운영할 경우 초기유량 대비 0.006m³/h가 감소하였음. 이는 표면폐색으로 인하여 취수량이 0.44% 감소하는 것을 의미하며, 이는 실제 현장에서 목표취수량 9,000m³/일을 지속적으로 취수할 경우 약 40m³/일이 감소하는 것을 의미함.



(5) 취수가능량 평가

- Pilot plant 검증을 통해 선정된 치환여재를 적용할 경우, 집수매거의 목표취수량을 만족하는지 여부를 판단하기 위해 “상수도 시설기준(2010)에 제시된 이론식”과 상용화된 “수치해석모델링”을 활용하여 취수가능량을 평가하였음.

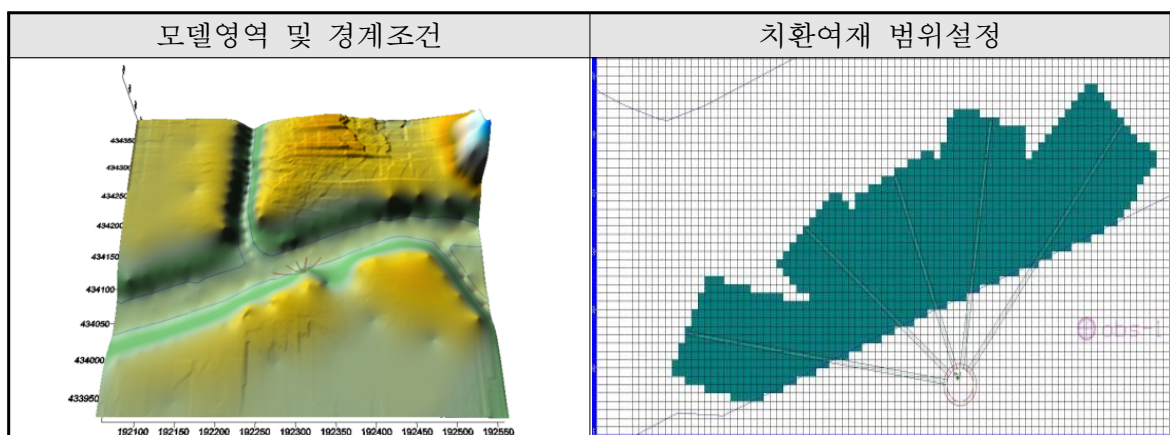
(가) 이론식에 의한 취수가능량 검토

- 하상여과 시설의 집수매거 설치심도, 구경, 연장길이 등의 제원은 기존 설계 제원을 반영하였으며, 치환매질의 두께는 치환여재 상부 되메우기층을 포함하는 2.8m로 계산하였고 치환매질의 수리전도도는 중간모래 ~ 잔자갈 범위의 평균 수리전도도를 반영하였음. 검토 결과, 단위길이당 취수량은 78m³/day로 산정되었으며 스크린 연장길이 (100m)에서의 취수량은 7,800m³/day으로 목표취수량에 부족한 것으로 분석되었음.

이론식	모식도
$Q_{vD} = \frac{2\pi k \{H_0 + d - (P_c/W)\} \cdot l}{2.3 \log_{10} \left\{ \frac{\sin Na + \sin N(d-r)}{\sin Na - \sin N(d-r)} \right\}}$ $N = (\pi/2)/I$ $\alpha = \frac{2I}{\pi} \sin^{-1} \sqrt{\sin N(d-r) \cdot \sin(d-r)} \approx d$	

(나) 수치해석모델링에 의한 취수가능량 검토

- 2차원 단면을 가정한 이론식 취수가능량 평가와 더불어 3차원 흐름 해석이 가능한 수치해석모델링에 의한 취수가능량 평가를 수행하였음. 모델 영역 및 경계조건은 현장의 실제 지형 및 지질특성을 반영하였으며, 함양량은 안양지역 지하수 기초조사 보고서에 조사된 함양률 19.8%를 지난 10년간 안양시의 연평균 강우량에 적용하여 반영하였음. 수리전도도는 자갈층의 경우 현장투수시험 결과 및 순간충격시험 결과의 평균값을 적용하였고, 풍화토 및 기반암의 경우 문헌 값을 적용하였으며, 집수매거 스크린관이 설치되는 치환층의 경우 이론식을 적용한 취수가능량 검토와 마찬가지로 중간 모래 ~ 잔자갈의 평균 수리전도도를 적용하였음. 취수가능량 평가 결과 약 4,200m³/day로 나타나 목표취수량 9,000m³/day에 크게 부족한 것으로 나타났으며, 치환여재의 재검토가 필요할 것으로 판단됨.



(6) 상부 치환여재 재결정

- 이전 상부 치환여재 결정에서 수질이 가장 양호한 Case 3 여재를 선정하였으나 이론식 및 수치모델링 검토 결과, 목표취수량이 만족하지 않아 실증시설의 목표취수량 9,000 m³/day과 수질기준을 만족할 수 있는 치환여재 조건을 재검토하였음. 먼저 수질적인 측면에서는 이전 소형 Pilot 장치 실험에서 각 Case별 유출수에 대한 부유물질 결과를 토대로 하천수 방류수 수질기준(25mg/L)에 적합 여부를 판단하였고, 그 결과 Case 2, Case 3에서 부유물질의 농도가 25mg/L 이하의 결과가 나와 기준에 적합한 것으로 확인되었음.

구분	Case 2		Case 3	
	SS(mg/L)	탁도(NTU)	SS(mg/L)	탁도(NTU)
검토결과	21.5	15.4	3.6	2.5
방류수 수질기준	적합		적합	

- 따라서 방류수 수질기준을 만족하는 Case 2와 Case 3을 대상으로 이론식과 수치모델링을 통해 각 Case 별 취수가능량을 산정하여 목표취수량(9,000m³/day) 만족 여부를 판단하였으며, 그 결과, Case 3에서는 목표취수량 이하로 부적합했으며, Case 2에서 목표취수량을 만족하였음.

구분		Case 2		Case 3	
		이론식 (m ³ /day)	수치해석모델링 (m ³ /day)	이론식 (m ³ /day)	수치해석모델링 (m ³ /day)
검토 결과	취수가능량	13,000	9,020	7,800	4,200
	목표취수량	적합		부적합	

- 앞서 수행한 Pilot plant 상부 치환여재 재검토 결과, Case 2의 경우 탁도 저감 효율이 86%로 나타났고 목표취수량을 만족하였으므로 수질 개선 및 목표취수량을 모두 만족하는 Case 2 치환 여재로 결정하였으며, Test bed 적용하여 실증시험시설의 치환여재 입경으로 반영함.

마. 2차 실증 Pilot Plant 실험

(1) 2차 Pilot Plant 실험 개요

- 앞서 소형 Pilot Plant에서 수행한 여재 선정 실험에서 실증시설 설치에 적합한 여재의 조건으로 Case 2를 선정한 후 실증 Pilot Plant에 적용하여 실험을 수행하였으나(1차 Pilot plant 실험), 실제 Test bed 실증 시험시설의 설치시 여재 수급의 문제로 인하여 일부 투입된 여재의 입경이 Case 2와 차이를 보였음. 투입된 여재의 입경과 Case 2의 입경차이는 다음과 같음.

구분	삼막천 실험시 여재구성(2월)		실증 Pilot plant 여재구성(7월~)		안양 삼막천
	여재종류	입경	여재종류	입경	
상부	중사	1~3	굵은모래	3~6	3~7
↑	굵은모래	3~6	잔자갈	5~10	7~13
스크린	자갈	6~10	굵은자갈	10~20	13~25

- 따라서 Test bed 실증시설의 여재구성과 동일하게 Pilot plant 여재를 구성하고 실증시설과 동일한 조건에서 각 여재 층별 탁도 변화를 관측하여 탁도저감 능력을 확인하고, 단일 수평스크린과 복합형(수직/수평)스크린의 성능을 비교 및 복합형 스크린의 Type에 따른 성능 비교를 위한 재실험을 수행하였음.
- 실험 방법으로는 1차 실험과 동일하게 층별 수질 저감효과를 확인하고, 단일 수평스크린과 복합형(수직/수평)스크린을 적용하여 성능비교를 수행하였음. 복합형 스크린의 경우 3Type으로 각각 기본형, 더블스크린, 원통형 스크린으로 분류하여 검증하였음.
- 주입수의 탁도 설정을 위하여 기존문헌을 참고하여 지역별 하천의 2016년 연평균 탁도 분석결과를 검토하였으며, 검토결과 인천이 26.7 NTU로 가장 높은 수치를 보이는 것으로 확인되었음.
- 1차 실험에서는 100~120NTU 범위의 높은 주입원수 탁도값을 설정하였으나 2차 실험에서는 실제 하천의 탁도 수준을 반영하기 위해 인천의 2016년 평균 탁도보다 조금 높은 30NTU로 주입원 탁도값을 설정하여 실험에 활용하였음.

지역	부유물질 (mg/L)	탁도 (NTU)	지역	부유물질 (mg/L)	탁도 (NTU)
강원도	5.0	8.2	광주광역시	11.8	17.1
경기도	10.5	15.4	대구광역시	8.9	13.3
경상도	8.1	12.3	대전광역시	2.5	5.0
전라도	11.9	17.2	부산광역시	14.9	21.1
제주도	1.5	3.7	서울특별시	5.8	9.2
충청도	8.5	12.8	인천광역시	19.2	26.7
울산광역시	5.8	9.2			

※자료 출처 : 부유물질: 물환경정보시스템, 탁도: “천연조류제거를 활용한 응집부상 전처리공정의 기존 응집공정 대체 가능성”, 김원재 원(2017), $Turbidity(NTU) = 1.3 \times SS(mg/l) + 1.75$

- 2차 Pilot plant 실험은 7월 4일 ~ 8월 2일까지(21일간) 매일 8시간씩 운영하여 실험하였으며, 황토를 희석하여 30NTU 주입수를 제조한 뒤, 제조된 주입수를 일정수두의 하천수로 가정하고 지속적으로 탁수를 공급하여 정수두를 유지하며 실험하였음.
- 또한 수평스크린과 복합형(수직/수평) 스크린의 성능 분석을 위한 실험은 단일 수평스크린과 수평스크린에 수직스크린을 결합한 복합 스크린의 유량차이 확인을 위해 탁수를 사용하지 않고 유출량만을 별도로 측정하여 분석하였음.
- 실증 Pilot Plant의 여재설정은 다음 모식도와 같음.

2차 실증 Plott Plant 내부 치환 여재층 단면도

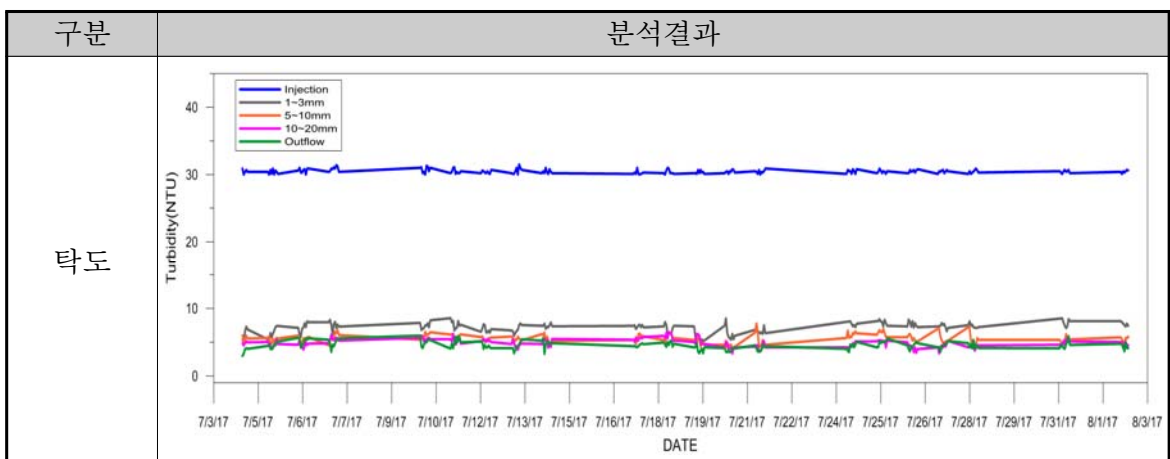
The diagram illustrates the internal structure of a 2-story Plott Plant, showing three distinct insulation layers (여재층) with their respective thicknesses and materials:

- 상부여재층 (Top Insulation Layer):** 0.70m thick, composed of expanded polystyrene (폼모래, 3~6mm).
- 중간여재층 (Middle Insulation Layer):** 0.76m thick, composed of cork (잔재갈, 5~10mm).
- 하부여재층 (Bottom Insulation Layer):** 0.76m thick, composed of expanded perlite (폼은자갈, 10~20mm).

The plant is supported by a blue base structure. On the left, there is a vertical pipe with a valve. On the right, there is a horizontal pipe with a valve. The entire structure is supported by four vertical legs.

(가) 단일 수평스크린

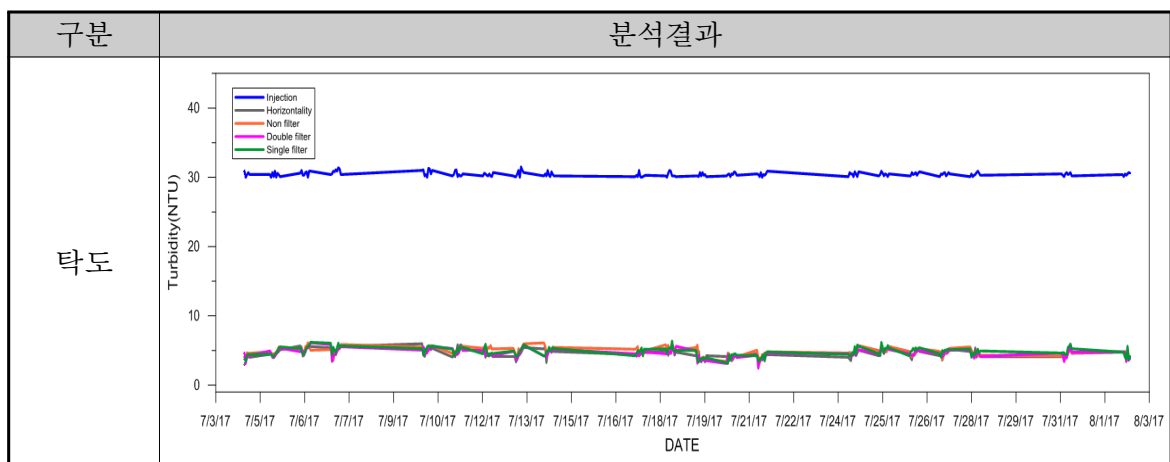
- | 구분 | 주입수 | 상부
여재층 | 중간
여재층 | 하부
여재층 | 유출수 | 여재층별
탁도 저감 분포 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|
| | 탁도
(NTU) | 탁도
(NTU) | 탁도
(NTU) | 탁도
(NTU) | 탁도
(NTU) | |
| 최소값 | 30.0 | 4.91 | 4.01 | 3.33 | 2.94 | |
| 최대값 | 31.5 | 8.57 | 7.80 | 6.48 | 5.98 | |
| 평균값 | 30.5 | 6.96 | 5.52 | 5.02 | 4.55 | |
| 저감효율
(%) | | 77.1 | 4.8(81.9) | 1.6(83.5) | 85.1 | |



(나) 복합형(수직/수평) 스크린

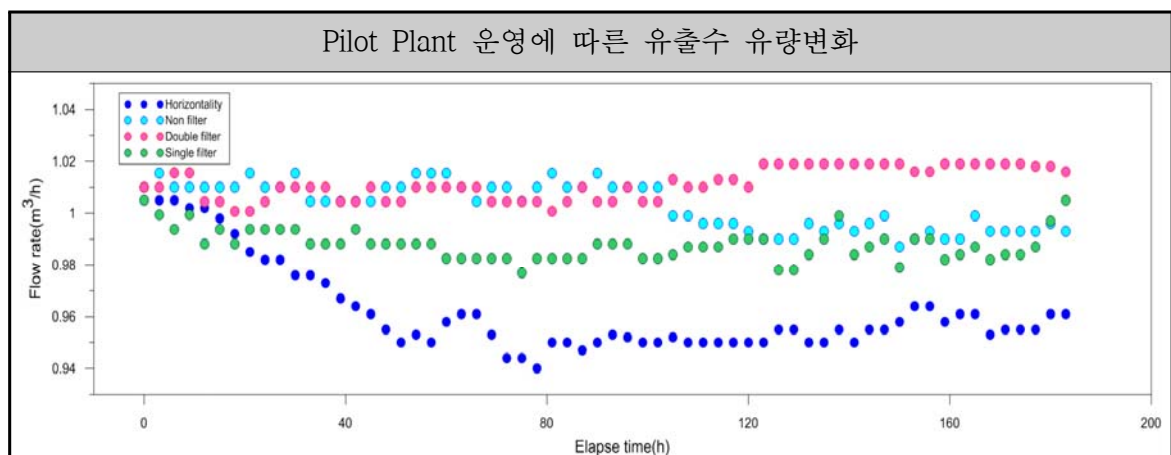
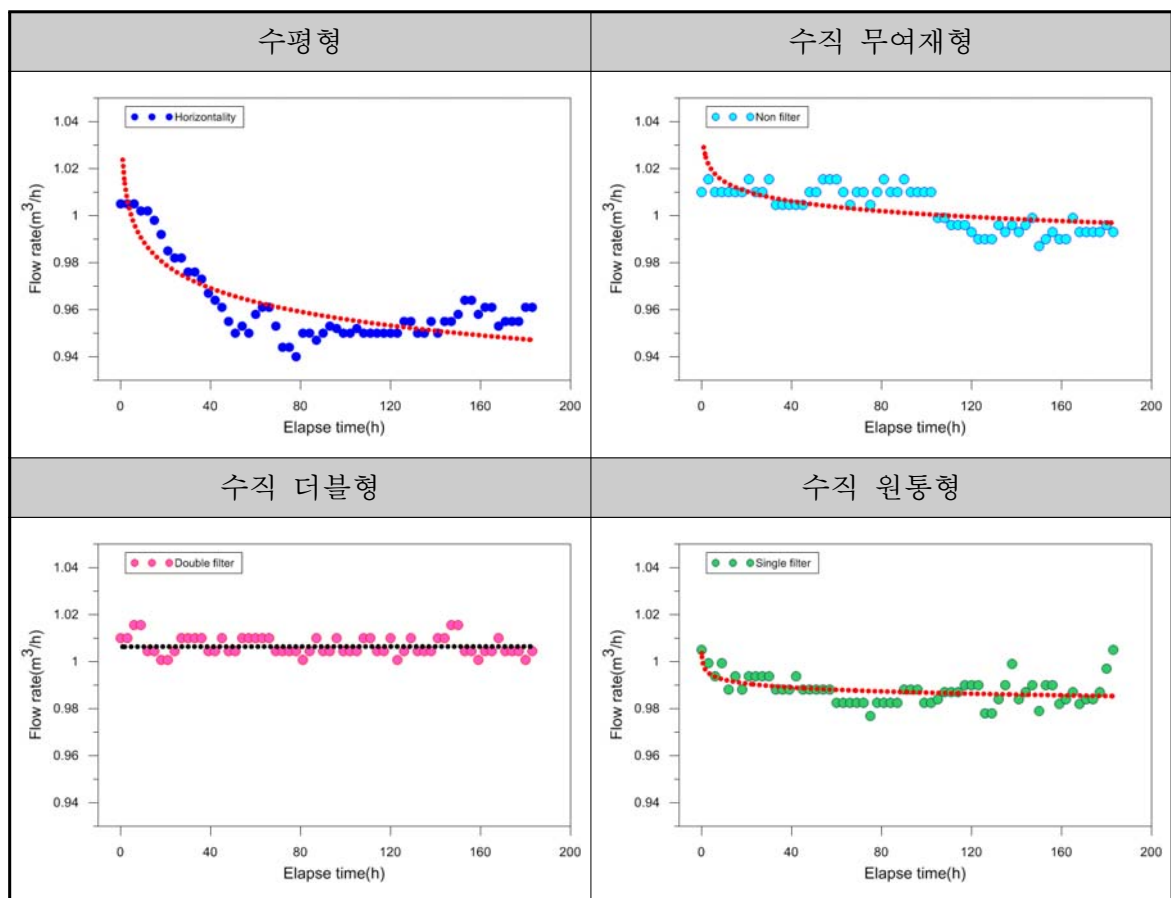
- 3Type의 복합형(수직/수평) 스크린의 각 Type별 탁도저감 효과를 확인하기 위하여 탁도저감 실험을 수행한 결과 탁도 저감효율은 수평 스크린만 설치되어 있는 기본형과 더블 복합형 스크린관의 탁도 저감효율이 가장 높게 나타났으며, 여재가 채워져 있지 않은 수직관의 탁도 저감효율이 가장 낮은 것으로 나타났음.
- 그러나 모든 스크린에서 80%이상의 탁도 저감효율을 확인할 수 있었고, 각 층별 탁도저감 분포에서 확인 할 수 있듯이 복합형 스크린의 수직스크린도 상부 여재층의 영향으로 탁도가 저감된 여과수가 유입됨을 확인할 수 있음.
- 위 결과로 미루어 볼 때 현장에 설치된 복합형(수직/수평) 스크린도 하상의 상부 여재층으로부터 일정심도 이상 시공할 경우 하천 부유물질 유입에 의한 우려는 하지 않아도 될 것으로 판단됨.

구분	주입수	기본형	무여재형	더블형	원통형	여재층별 탁도 저감 분포
	탁도 (NTU)	탁도 (NTU)	탁도 (NTU)	탁도 (NTU)	탁도 (NTU)	
최소값	30.0	2.94	3.15	2.44	3.12	
최대값	31.5	5.98	6.11	6.13	6.37	
평균값	30.5	4.55	4.91	4.57	4.77	
저감효율 (%)		85.1	83.9	85.0	84.3	



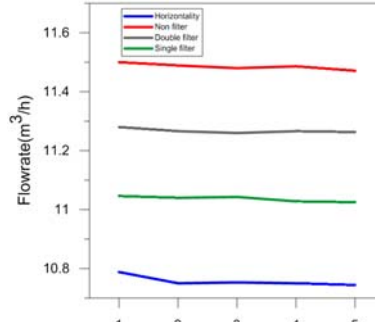
- 또한 단일 수평스크린과 3Type의 복합형(수직/수평) 스크린의 폐색정도를 확인하기 위해 각 스크린의 유량감소율을 검토하였으며, 그 결과 수평형 스크린에서 초기유량 대비 0.05m³/h가 감소하여 유량 감소율이 4.98%로 가장 큰 것으로 확인되었고, 이때의 유량범위는 0.955 ~ 1.005m³/h, 평균 유량은 0.962m³/h로 나타났음.
- 복합형(수직/수평) 스크린은 3%내외의 유량 감소율을 보이는 것으로 나타났으며, 그중 더블형(2중여재) 스크린의 유량은 감소하지 않아 가장 효율이 뛰어난 것으로 평가되었음.
- 위와 같은 결과는 수직형이 함께 결합된 복합형 스크린이 수평형 스크린에 비해 폐색진행에 느리게 진행되기 때문이거나 유량이 수평형 스크린에 비해 크기 때문인 것으로 판단됨.

구분	수평형	수직 무여재형	수직 더블형	수직 원통형	여재층별 유출수 유량 분포
초기값	1.005	1.010	1.010	1.005	
후기값	0.955	0.990	1.010	0.978	
감소율 (%)	4.98	1.98	0	2.69	



(다) 수평스크린과 복합형(수직/수평) 스크린의 유출량 검토

- 복합형 스크린의 수평형 스크린에 추가된 수직형 스크린의 유량 증가량을 검토하기 위해 수평형 스크린과 복합형 스크린의 유출량을 측정하여 비교검토 하였음.
- 여재층의 조건은 동일하며, 단 게이트 밸브를 100% 오픈한 상태에서 실험을 진행하였음. 스크린의 경우 단일 수평 스크린과 3Type의 복합형(수직/수평)스크린을 적용하여 유출수 유량 비교를 수행하였음.
- 유량 측정 결과, 3Type의 복합형(수직/수평)스크린 유출량이 3 ~ 7% 큰 것으로 나타나 수직형 스크린이 복합형 스크린의 유량에 3 ~ 7%의 기여도를 갖는 것으로 확인되었음.

구분		수평형	수직 무여재형	수직 더블형	수직 원통형	유출수 유량 변화
		유출수 유량(m³/h)				
실험 횃수	1	10.788	11.500	11.280	11.046	
	2	10.750	11.489	11.266	11.040	
	3	10.753	11.480	11.260	11.043	
	4	10.750	11.486	11.266	11.028	
	5	10.744	11.471	11.263	11.025	
평균		10.757	11.485	11.267	11.036	
유출율(%)		100%	107%	105%	103%	

2. 연구수행 개발성과

가. 정량적 연구성과

(1) 국내외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
1	개착식 하상여과에서 탁수를 고려한 수정 투수계수 적용 연구: 수치모델링을 통한 접근	한국수자원학회지	양정석	Vol.49, No.9	한국	한국수자원학회	비SCI	2016.09	pISSN: 1226-6280 eISSN: 2287-6138
2	기능성 스크린이 부착된 집수관의 취수량 및 수질분석	한국수자원학회지	양정석	Vol.50, No.8	한국	한국수자원학회	비SCI	2017.06	pISSN:1226-6280 eISSN:2287-6138

(2) 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국수자원학회	김일환	20160527	K-water 수자원연구소	한국

(3) 지식재산권

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기 여 율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	미세립자 유입 저감 스크린 장치	KR	(주)윌텍	2016.09.13	10-2016-0118188				
2	낙차공을 이용한 자연여과 시스템	KR	(주)윌텍	2016.09.19	10-2016-0119058				
3	스크린 보강형 여과장치를 갖춘 취수시설	KR	(주)윌텍	2017.01.05	10-2016-0002072				
4	수직 취수관 및 수평 집수관 복합형 취수시설	KR	(주)윌텍	2016.12.28	10-2017-002072				
5	미세립자 유입 저감 스크린 장치	KR				(주)윌텍	2015.05.15	제10-1738081호	
6	낙차공을 이용한 자연여과 시스템	KR				(주)윌텍	2015.05.15	제10-1738086호	
7	스크린 보강형 여과장치를 갖춘 취수시설	KR				(주)윌텍	2017.07.27	제10-1764117호	
8	수직 취수관 및 수평 집수관 복합형 취수시설	KR				(주)윌텍	2017.05.12	제10-1737303호	

(4) 시제품제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야
1	소형 Pilot 실험장치	2016. 5. 24	진영, 혜경건설	(주)웰텍 야외실험동	치환여재 특성 실험
2	실증 Pilot Plant	2016. 9. 5	웰코리아(주)	(주)웰텍 야외실험동	수질저감 효과 및 수량 변화 검증

(5) 사업화 현황

(단위: 명, 년)

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내	국외		
1		현장적용		합천군 용주 취수시설 개선사업	저심도 간접취수시설 시공	정우개발 (주)	23,100만원		2015	
2		제품화		의령 간접취수 기능성스크 린 자재납품	스크린 설계 및 납품	(주)영재산 업건설	4,500만원		2016	
3		제품화		간접취수 기능성스크 린 자재납품	스크린 설계 및 납품	기현산업	4,500만원		2016	
4		제품화		기능성스크 린 자재납품	스크린 설계 및 납품	선일환경 에너지(주)	3,850만원		2016	
5				양평 저심도 간접취수 타당성 검토	최적설계	지오위터	800만원		2017	
6		현장적용		합천군 용주 취수시설 집수매거 역세장치	역세장치	자원개발 (주)	500만원		2017	
7		현장적용		합천군 용주 취수시설 집수매거 역세장치	역세장치	(주)썬텍 엔지니어 링	500만원		2017	
8				삼막천 치환여재 결정시험 용역	최적설계	(주)한창중 합건설	2,640만원		2017	

나. 경제적 성과

- 본 연구를 통해서 개발된 ‘수직/수평 복합형 집수매거 공법’의 경제성을 평가하기 위해 개발 공법을 현장에 적용하였을 경우와 기존에 일반적으로 시공되던 ‘콘크리트 유공관 복류수 취수시설’의 현장 적용비용을 비교 검토하였음.
- 비교 기준은 동일 취수량 10,000 m³/day를 취수하기 위해 소요되는 공사비를 비교대상으로 산정하였으며, 자재 및 인건비 등 단가는 최근의 물가기준 정보를 반영하였음.
- 비교 결과는 다음과 같음.

비목	세목	기 호	개발공법 (스크린관)	비교대상공법 (콘크리트 유공관)	제비율 적용기준 (토목공사, 50억미만, 6개월이내)
순 공 사 비	재 료 비	직접재료비	761,816,262	842,643,030	
		간접재료비	-	-	
		소계	(A) 761,816,262	842,643,030	
	노 무 비	직접노무비	(B) 162,800,011	263,921,838	
		간접노무비	18,884,801	30,614,933	(B) x 11.60%
		소계	(C) 181,684,812	294,536,771	
	경 비	경비	(D) 98,012,390	148,599,277	
		산재보험료	7,085,708	11,486,934	(C) x 3.90%
		고용보험료	1,580,658	2,562,470	(C) x 0.87%
		건강보험료	2,767,600	4,486,671	(B) x 1.70%
		연금보험료	(D') 4,053,720	6,571,654	(B) x 2.49%
		노인장기요양보험료	265,519	430,443	(D') x 6.55%
		퇴직공제부금비	3,744,400	6,070,202	(B) x 2.30%
		산업안전보건관리비	27,091,257	32,422,351	(A + B) x 2.93%
		기타경비	56,610,064	68,230,788	(A + C) x 6.00%
		건설기계대여금지급보증	4,192,778	5,146,173	(A + B + D) x 0.41%
		하도급대금지급보증수수료	828,329	1,016,683	(A + B + D) x 0.08%
		환경보전비	8,181,029	10,041,313	(A + B + D) x 0.80%
		소계	(E) 214,413,452	297,064,959	
		합계	(F) 1,157,914,527	1,434,244,761	(A + C + E)
	일반관리비	(G)	69,474,872	86,054,686	(F) x 6.00%
	이윤	(H)	69,835,970	101,648,462	(C + E + G) x 15.00%
	총원가	(I)	1,297,225,369	1,621,947,909	(F + G + H)
	부가가치세	(J)	129,722,537	162,194,791	(I) x 10.00%
	합계	(K)	1,426,947,906	1,784,142,700	(I + J)

공종명	규격	개발공법 (스크린관)	비교대상공법 (콘크리트 유공관)	절감액 (C=B-A)	절감률 (D=1-A/B)
취수시설	10,000 m ³ /day	1,426,947,906	1,784,142,700	357,194,794	20.0%

- 개발공법과 ‘콘크리트 유공관 복류수 취수시설’ 현장 적용비용 비교 결과 개발공법이 동일 취수량 10,000m³/day를 취수할 경우 약 20.0% 절감 효과가 있는 것으로 검토되었음.
- 위와 같은 비용절감 효과는 콘크리트 유공관 보다 스크린관의 자재 단가는 비싸지만 개공률이 우수하여 단위 길이당 취수량이 우수하므로, 동일 취수량을 취수하기 위한 관의 필요 연장길이 줄어들기 때문에 발생하는 효과로 검토됨(줄어든 관의 연장길이에 의해 하상을 개착하는 토목공사 면적이 감소되고, 이에 따른 공사기간의 단축으로 이어지므로 여기서 발생하는 경제적 효과에 해당).

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

가. 성과목표 달성도 및 자체평가

세부 연구 목표 (연구계획서의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
• 저심도 간접취수원 개선공법 개발	20	100	• 기존 집수매거 기술과 차별적이고 경제적이 며, 유지관리상 효율적인 ‘수직/수평 복합 형 집수매거 공법’을 개발하여 특허등록을 하였으며, 개발 기술의 Pilot 실험 및 현장검 증도 완료하였음.
• Test Bed 확보	20	100	• 안양시와 ‘연구협력 MOU’를 체결하고 안 양시 하천관리과 주관사업인 ‘삼막천 수질 개선 사업’에서 안양천 취수시설 현장을 Test Bed로 확보하였음.
• 최적화 설계기술 개발	20	100	• 치환여재의 골재 종류별로 탁도에 따른 Pilot 실험값에 수치해석모델링 값을 맞추어 가는 역산방식의 수정투수계수를 산출하고, 실제 하천의 집수매거 설계시 치환여재 분 포에 따라 수정투수계수를 반영한 수치해석 모델링 최적설계 기법을 개발하였음.
• 실증플랜트 구축 및 운영	20	100	• 집수매거 형태와 치환여재 조합의 다양한 조건에 따른 수량/수질을 검증하기 위한 실 증플랜트를 3.5m×2.0m×3.0m 규모로 구축 하였으며, 최적설계에서 도출된 치환여재의 조건에서 수질저감 효과를 검증하는 운영을 실시함.
• 표준지침서 작성	20	100	• 저심도 간접취수원 개발을 위한 일반사항, 기본조사, 정밀조사, 실시설계, 경제성검토, 시공관리, 유지관리지침 등으로 구성된 표준 지침서를 작성하였음.
합계	100%	100%	

나. 연구개발성과 및 평가 방법

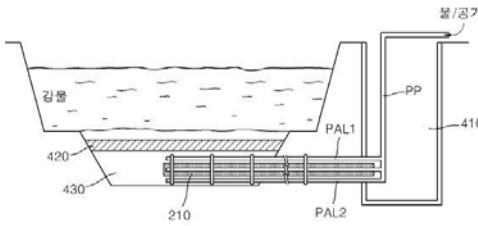
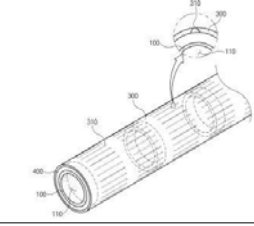
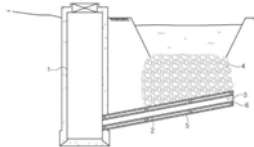
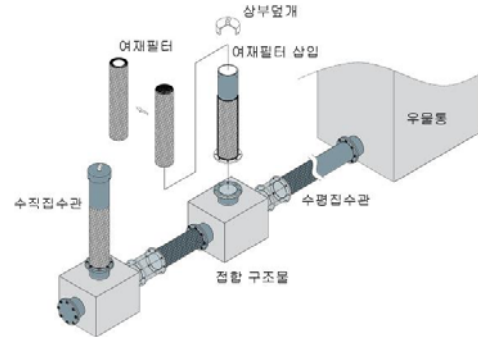
(1) 성과점검

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준					해당 기관	예산 (백만 원)	양적 성과목표	
					질적 성과지표	목표치	측정방법	검증 방법	가중 치				
주관	A	저심도 간접 취수원 개선 공법 및 실용화	A-1	기능성 스크린 개발	①	집수기능과 자동역세기능을 함께 갖춘 권선형스크린관 개발	역세기능을 장착한 집수관 개발	시제품 확인	실증 플랜트	20	(주)웰텍	620	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건
			A-2	실증플랜트 구축	①	저심도 간접취수 개선공법 개발	신기술 인증	신기술 검증	신기술 심사	50	(주)웰텍	607	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건 신기술: 1 건 계약: 1 건
공동	B	최적화 설계 기술 및 표준화	B-1	최적설계 인자도출	①	취수관의 길이 및 배치형태의 적정성	목표취수량이 가능한 최적배치 형태결정	실증플랜트 적용	적용결 과 및 전문가 평가	20	국민대	66	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건
			B-2	표준 지침 작성	③	시설 표준지침 및 시설기준의 적정성	표준지침 및 시설기준 작성	지침 및 기준의 적정성	전문가 평가	10	국민대	80	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건
계										100		1,373	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 2 건 시제품: 1 건 신기술: 1 건 SW: 1 건 계약: 1 건

(2) 정량적 연구성과 목표 및 달성도

구 분		목표	달성	달성도(%)	비고
국내 논문 게재	SCI				
	비SCI	2	2	100	
	계	2	2	100	
특허 출원	국내	1	4	400	3건 초과달성
	국외				
	계	1	4	400	
특허 등록	국내	1	4	400	3건 초과달성
	국외				
	계	1	4	400	
기타	시제품	1	2	200	1건 초과달성
	성과홍보		4	400	4건 추가성과
	계	1	6	600	
신기술 등록		1	-	-	1차 심사통과

2. 관련 분야 기여도

항 목		그 립	기술방법
기존 기술	개착식 하상여과공 법을 이용한 간접취수원 확보 시스템	등록번호: 10-0862167-0000 	하천 바닥을 개착하여 수평집수관과 수직집수정을 연결하여 취수하는 형태로 압축공기 또는 세정수를 주입시켜 수평관들로 공기 또는 물을 공급할 수 있는 연결관이 설치되어있는 방법
	집수용 유공관의 스크린 및 이를 이용한 집수 시스템	등록번호: 10-1354658-0000 	유공관의 외부에 유공관을 감싸도록 구비된 복수의 슬릿이 형성된 스크린을 설치함으로 스크린을 원형 상태로 형성 및 파손을 방지함으로 집수 효율을 높인 방법
			하상바닥을 개착하여 경사지게 스크린을 설치하여 집수하는 방법
	수직/수평 복합형 집수매거 공법	등록번호: 제10-1737303호 	기존 기술은 하상바닥을 개착하여 수평집수관을 설치하거나 수평집수관을 비스듬하게 설치하는 방법은 있으나, 수평집수관과 수직집수관이 복합되어 있는 형태는 존재하지 않음 집수관이 수직/수평 두 개가 설치되기 때문에 취수량이 증대하며, 수직집수관에 필터여재로 인해 수질적인부분과 유지관리가 용이

- 본 연구를 통해서 기존에 보유하고 있던 저심도 간접취수 기술을 개선하여 “수직/수평 복합형 집수매거 공법”을 개발하였으며, 해당 공법은 기존의 국내 기술과 달리 수직과 수평방향에서 동시에 취수가 가능하고 수직집수관에 설치된 필터여재를 타착 후 세척 재사용이 가능하므로 유지관리가 수월한 우수한 공법임.
- 현재 국내의 경우 저심도 간접취와 유사한 기술의 개발이 정체 되어 있는 상황으로 연구개발을 통해 개발한 공법은 저심도 취수분야에서 우위를 점유하고 있는 것으로 판단할 수 있음.
- 저심도 간접취수원 개선공법은 취수관 상부 대수층을 인위적으로 치환함으로서 목표수량 및 수질에 적합한 지층조건으로 최적화 설계가 가능하기 때문에 안정적이고 지속가능한 수량 및 수질 확보가 가능하다는 큰 장점을 가지고 있음.

제5장. 연구개발성과의 활용계획

연구성과	활용시기 및 성과	활용내용
• 수직/수평 복합형 집수매거공법	• 시기 : ~ 종료후 1년 • 성과물 - 기술실시계약 1회 - 사업화·제품화 1건	• 연구개발 결과의 기술이전 • 지자체 기술영업 추진 - 자체 수자원 개발 및 노후화된 취수시설의 개선사업을 추진하는 지자체 대상 • 건설 신기술 등록 완료로 통해 적극적인 기술영업 실시
	• 시기 : ~종료후 2년 • 성과물 - 현장적용 2회	• 지자체 대상 사업수주
• 다층 균등 역세장치	• 시기 : ~ 종료후 1년 • 성과물 - 기술실시계약 1회 - 사업화·제품화 1건	• 연구개발 결과의 기술이전 • 지자체 기술영업 추진 - 자체 수자원 개발 및 노후화된 취수시설의 개선사업을 추진하는 지자체 대상
	• 시기 : ~종료후 2년 • 성과물 - 현장적용 3회	• 지자체 대상 사업수주 - 구례군, 안양시, 보은군 3개의 지자체에 ‘다층 균등 역세장치’ 기술 설명회를 수행하고 기술제안을 실시하였고 해당 기술에 대한 사용의사를 밝혀움에 따라 기술사용 협약을 수행할 계획. - 이외에 취수설의 개선 및 신규 설치 지자체를 대상으로 다층 균등 역세장치에 대한 기술제안을 통해 사업화 횟수를 늘려갈 계획임.
• 역산투수계수를 적용한 최적설계기법	• 시기 : ~종료후 2년 • 성과물 - 현장시험 1회	• 사업화를 수행하고 있는 시공현장에 적용하여 기술에 대한 검증 수행예정
	• 시기 : ~종료후 3년 • 성과물 - 기술실시계약 1회 - 사업화·제품화 1건	• 연구개발 결과의 기술이전 • 최적 설계 기법을 포함하는 표준지침서를 공공기관 및 지자체에 배포하여 실용화 추진
	• 시기 : ~종료후 4년 • 성과물 - 현장적용 2회	• 지자체 대상 사업수주 - 취수시설의 설계 단계에서부터 최적 설계 기법을 적용한 설계를 할 수 있도록 설계 사업 수주 목표

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1. 미국 캘리포니아 주 간접취수 시설 자료수집

저심도 간접취수원 개선공법 개발 및 실용화 국외 출장 보고서

2016. 7. 5

 (주) 웰 텍
Well Tech Co.

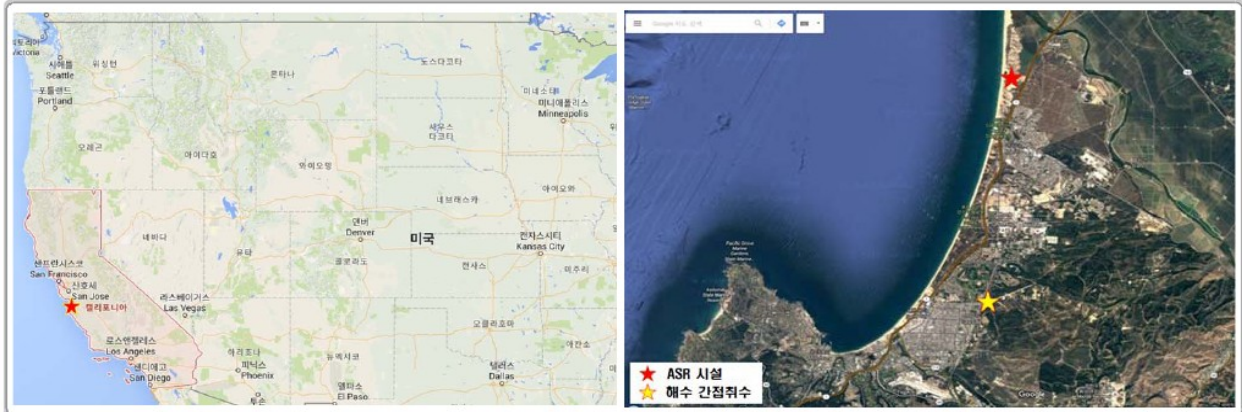
1.1 출장개요

● 출장목적

- 선진국 간접취수 시설 견학 및 자료수집, 해외 선진기업과 사업화 및 업무협조 협의

● 출장지역

- San Francisco, Monterey(미국 캘리포니아 주)



● 출장자

- 주)웰텍 정재훈 대표이사, 오세형 과장, 국민대 양정석 교수, 김일환 연구원

● 출장기간 및 일정

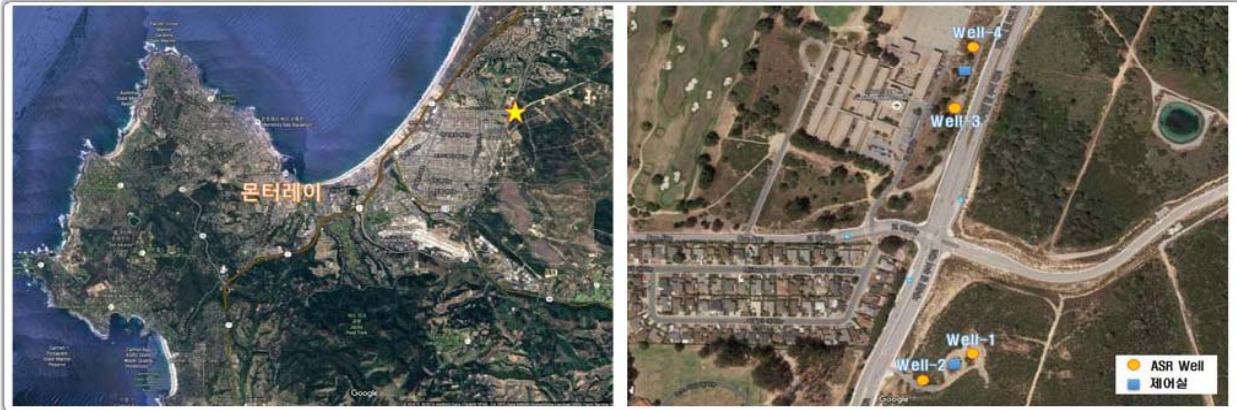
- 출장기간 : 2016. 06. 26 ~ 2016. 07. 03(6박 8일)

일 자	내 용
2016. 06. 26 ~ 06. 27	• 이동 : 한국 출발(인천공항) → 미국 도착(San Francisco 국제공항)
2016. 06. 28	• ASR 시설 견학, Monterey
2016. 06. 29	• GSI Water Solutions Inc. 사장 jeff Barry 사장 미팅 - 사업화 및 업무협조 협의
2016. 06. 30	• 해수 간접취수 시설(Slant Well) 견학, Monterey
2016. 07. 01	• 휴식 및 자료 정리
2016. 07. 02 ~ 07. 03	• 이동 : 미국 출발(San Francisco 국제공항) → 한국 도착(인천공항)

1.2 Monterey ASR 시설(Santa Margarita ASR Well)

● 시설위치

- 캘리포니아 주 Monterey



● 시설 목적 및 제원

- 시설 목적
 - 우기에 풍부한 지표수를 대수층에 인공 주입하여 저장함으로써, 지하수의 무분별한 사용으로 축소된 대수층을 회복하고 건기에 저장된 지하수를 활용하기 위한 인공함양시설
 - 인근의 Camel 강으로부터 간접취수하여 인공함양
- 시설 제원
 - ASR Well : 4공(ID 600 ~ 500mm), 제어실 : 2개소
 - 인공함양량 : $27,300\text{m}^3/\text{day} \times 4\text{공} = 109,200\text{ m}^3/\text{day}$
- 지질조건
 - 상부모래, 중간 모래/점토, 하부 사암층으로 3개의 대수층 구성
 - 하부 사암층(Santa Margarta 사암층_고투수성 미고결 사암)에 주입, 150~200m 구간



● 시설 및 현장 사진

현장 설명



시설 설명



전문가 설명



제어실 외부



제어실 내부



제어시설



● 시설 및 현장 사진

ASR Well-1



ASR Well-2



ASR Well-3



ASR Well-4



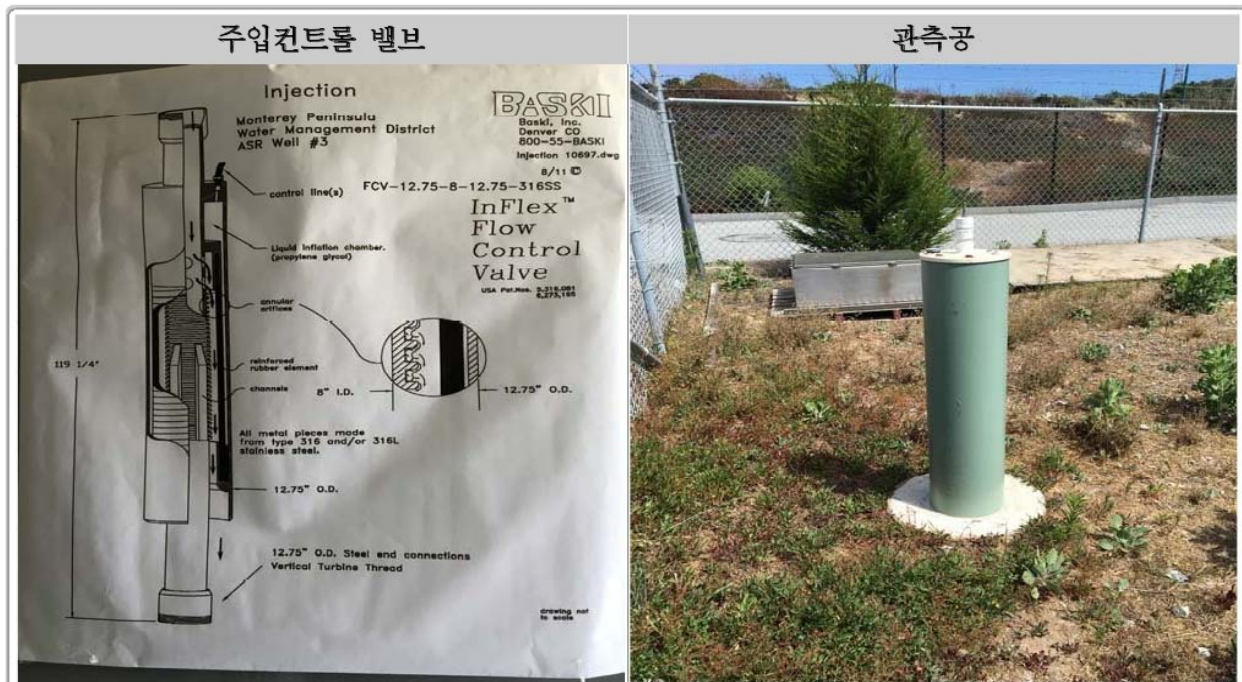
역세수 처리시설



역세 배관 투입구



● 시설 및 현장 사진



● 시설 특징

- 2002년 시공
- ASR(Aquifer Storage and Recovery) 시설이나 저장수 사용보다 지하수 사용에 의해 축소된 대수층의 회복에 초점
- 우기에 하천에서 간접취수한 물을 인공함양
 - 조건에 따라 길게는 6개월에서 짧게는 3주 동안 연속 주입
 - 간접취수된 물을 전처리하여 지하수 이상의 수질 수준으로 주입
- ASR Well을 1부터 4로 순서대로 시공하면서 시행착오 보완
 - 주입을 위해 주입컨트롤 밸브를 반드시 설치하여 기포 발생 방지
 - 초기 주입시 단계별로 주입량을 늘려가며 주입하여, 대수층의 주입 적응 유도
- 케이싱과 스크린 사이에 역세배관 투입구 설치로 상부시설 제거 없이 유지관리 가능

● 견학 결과

- 국내 인공함양 시설의 주입실패 해결 방안
 - 국내 인공함양 시설 시공시 주입컨트롤 밸브의 설치 필요
 - 시설 시공후 최초 주입시 단계적인 주입량 증가를 통해 대수층 적응 단계 필요
- 국내에 인공함양 시설 설치시 별도의 역세배관 투입구를 설치하여 상부 시설을 제거하지 않고도 유지관리 할 수 있는 방안 확인

1.3 Monterey 해수 간접취수시설(Slant Well)

● 시설위치

- 캘리포니아 주 Monterey



● 시설 목적 및 제원

- 시설 목적
 - 생활용수 생산을 위한 해수담수화 시설의 원수 취수
 - 해수 간접취수 시설 설치를 위한 시범 시설
- 시설 제원
 - Slant Well : 1공(ID 500mm), Outfalls well : 1공
 - 굴착 길이 : 약 110m, 기울기 : 19°
 - 간접취수량 : 2.14MGD $\approx$ 8,100m³/day
- 지질조건
 - 상부 모래층 하부 사암층(Santa Margarta 사암층_고투수성 미고결 사암)

● 시설 및 현장 사진



● 시설 및 현장 사진



● 시설 특징

- 해수 간접취수시설 7공 설치를 위한 시범 시설
 - 15MGD $\approx$ 56,780 m³/day 계획
- 취수 대상 층인 하부 사암층(Santa Margarta 사암층) 시공을 위해 해변에서 거리 이격
- 시설 설치비용 : 굴착공사 - 29억 , 총 시공비용 - 46억

● 견학 결과

- Slant Well 설치를 위해 고투수성 미고결 대수층의 분포가 필요하며, 설치비용이 과다한 편
 - 적용을 위해서는 지질특성 조사를 통해 최적지 선정이 필요할 것으로 생각되며, 고액의 설치비용에 따른 경제성 분석도 필요할 것으로 판단

1.4 선진기업 사업화 및 업무협조 협의

● 협의기업

- 회사명 : GSI Water Solutions Inc.
- 대표이사 : Jeff Barry
- 창업년도 : 2000년
- 사업분야 : 지하수 평가, 지하수 인공함양(ASR, AR), 지하수 관정 설계, 간접취수(강변여과), 지하수모델링, 지속가능한 지하수관리, 수환경, 수자원 관리, 수자원보호, 지하수/지표수 연계 등
- 회사위치 : 미국 Portland, Corvallis, Bend, Santa Barbara
- 미국 정부 및 국제 기업 도시 등 공공 부분과 민간 분야에서 300건 이상의 사업실적을 보유한 세계적인 지하수 및 수자원 기업, 국내 "21세기 프런티어 수자원의 지속적인 개발" 과제 등 다수의 국내 연구과제 수행 경험 보유



● 협의내용

- 협의 일시 : 2016. 06. 29
- 협의 장소 : 캘리포니아 주 Monterey
- 주요 협의 내용
 - 저심도 간접취수원 개선공법 개발 및 실용화 과제 자문 협조
 - MOU 체결 기업인 GS건설과 추진 중인 오만 해수 간접취수 프로젝트 협조
 - 해수 간접취수 시설의 설계 및 컨설팅 업무
 - GSI Water Solutions Inc. 보유한 간접취관련 시공 자료 및 정보 협조
 - 향후 연구과제 수행결과에 따라 저심도 간접취수 사업화 협조 및 공동 수행협의
 - 지속적인 업무 및 정보 교류 약속



2. 유럽 취수시설 견학 및 강변여과 현황조사

저심도 간접취수원 개선공법 개발 및 실용화 국외 출장 보고서

2017. 5.



1.1 출장개요

● 출장목적

- 유럽 취수시설 견학 및 유럽 강변여과 현황 조사, 2017 EGU General Assembly 참석

● 출장지역

- 체코(Czech) / 오스트리아(Austria) / 독일(Germany)



● 출장자

- ㈜웰텍 정재훈 대표이사, 이재성 과장, 국민대 양정석 교수

● 출장기간 및 일정

- 출장기간 : 2017. 04. 21 ~ 2017. 04. 30(8박 10일)

일 자	내 용
2017. 04. 21	• 한국 출국 → 독일 입국(Frankfurt)
2017. 04. 22	• Germany Frankfurt → Czech Praha
2017. 04. 23	• Czech Praha "Prazske vodovody a kanalizace" 시설 견학 - 프라하 상수도 박물관 / 정수시설 확인
2017. 04. 24	• Czech Praha → Austria Vienna
2017. 04. 25	• 2017 EGU Genral Assembly 참석
2017. 04. 26	• Austria Vienna → Germany Munchen
2017. 04. 27 ~ 04. 28	• Germany Munich Deutsches Museum, Isar river 견학
2017. 04. 29 ~ 04. 30	• 독일 출국 → 한국 귀국

1.2 Czech Praha Prazske vodovody a kanalizace 정수장

● 시설위치

- Dykova 2514/3, 101 00 Praha 10, Czech



● 시설개요

- 시설개요
 - 프라하시의 물 공급 체계를 한눈에 볼 수 있는 상수도 박물관 및 현재 가동중인 정수장
 - 프라하의 젓줄인 블타바(Vltava River) 강에서 수직관정형 강변여과를 취수하여 정수처리 후 약 18만명의 프라하 중앙 보헤미아 지역 주민들에게 상수도 공급
- 시설제원
 - 주요시설물 : ①상수도 역사 박물관, ②정수장, ③관리동
 - 급수용량 : 746,404 m³/일
 - 누수율 : 14.2% (2016년 기준)
 - 상수도 관로 총연장 : 4,324km



● 프라하 상수도 박물관 견학

프라하 상수도 박물관



프라하 상수시설 역사 설명



기존 취수시스템 설명



프라하 최초의 급수탑 관련 설명도



1800년대에 사용된 간접취수용 목재 스크린



수직관정 강변여과 취수정 단면도



● Prazske vodovody a kanalizace 시설 사진

취수시스템 모형



Prazske vodovody a kanalizace 정수처리장



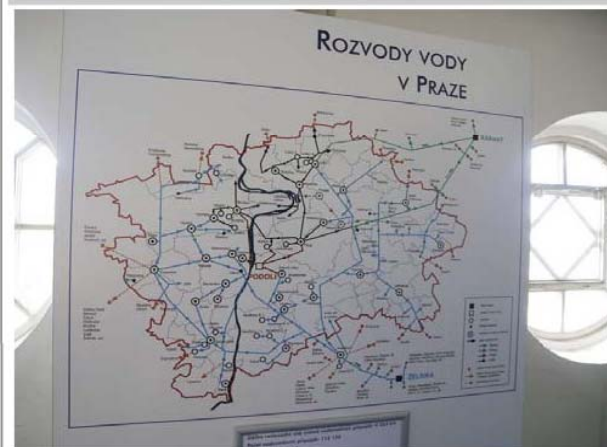
모래여과지



급수 운영 시스템



프라하 급수 네트워크



Prazske vodovody a kanalizace 조감도



● 시설 및 현장 사진

Prazske vodovody a kanalizace 시설 1



Prazske vodovody a kanalizace 시설 2



프라하 중앙 폐수 처리장 1



프라하 중앙 폐수 처리장 2



● 전학 결과

- Prazske vodovody a kanalizace 공공기관은 프라하의 식수 및 하수, 폐수처리 업무를 전담하고 있음.
- 체코 프라하 상수도 개발 역사를 한눈에 볼 수 있었던 박물관은 매우 인상적이었으며, 초기 취수시설과 수도시설에 사용된 장비, 계측기 등도 매우 다양하게 전시되어 있었음.
- 특히 유럽에서 초기 강변여과 취수에 사용된 목재 스크린관은 매우 독특했으며, 중세시대에 사용된 목재 수도관 등도 매우 인상적이었다.
- 프라하시 전체의 상수도 급수체계도 한눈에 볼 수 있었음.
- 1886~1936년 질병통계 자료가 있었는데 여기에는 본 정수장을 설립하고 상수도를 공급한 이후부터 콜레라, 장티푸스와 같은 질병 감염율이 급격히 감소했다는 통계자료도 전시되어 있었다.

1.3 2017, EGU General Assembly

● 학회 장소

- Austria Vienna, Austria Center



● 출장 목적

- 유럽지구과학연맹(EGU)학회에 소개되는 수자원 관련 부스 및 세션 참석

● 학회전경 및 부스 사진



● 학회 참석 결과

- EGU에 참석한 수자원 관련 업체 부스를 방문하여 선진국 수자원 개발 기술의 동향 확인
- 수자원 분야 세션 참석

1.4 Germany Munich, Deutsches Museum, Isar River 견학

● 견학장소

- Germany Munich, Deutsches Museum

● 견학목적

- 국립독일박물관은 세계에서 가장 큰 과학기술 박물관 중 하나로써 뮌헨 이자르강 인근 섬에 위치함
- 항공·우주·자동차·환경·천문학 등 다양한 전문분야별로 전시가 되어 있으며, 모든 분야를 관람하려면 1개월 이상이 소요되는 규모를 자랑한다. 따라서, 해당분야인 수자원 분야 위주로 견학하였음

Deutsches Museum 전경



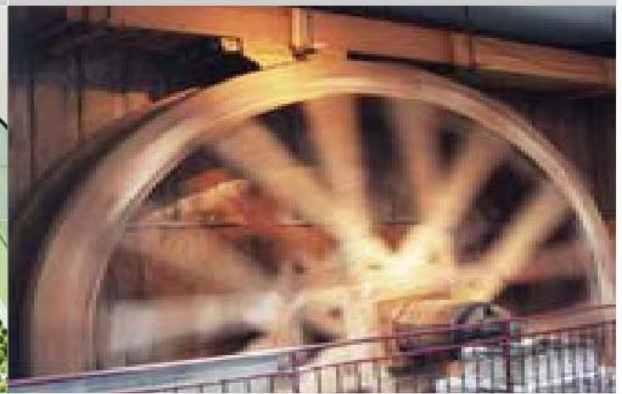
Deutsches Museum 내부 전경



Water Plant Model



Water powered Machine



● 견학결과

- Deutsches Museum에 전시된 독일의 수자원 발전 역사 확인
- 독일은 자동차 및 선박 기술 등으로 유명한 나라인 만큼 수자원 역사에서도 각종 기계 기술을 이용한 수력 엔진 등 다양한 수자원 장비, 기술 발전 역사 등을 확인

● 견학 장소

- Germany Munich, Isar river

● 견학 목적

- 최근 한국의 4대강 사업으로 인한 녹조 증가 등 수질 오염이 심각하여 비슷한 사례를 찾아본 결과, 과거 강변 직선화를 통해 심각한 수심 지하 및 오염이 진행되었던 독일의 Isar 강변을 견학하여 국내 실정에 적용할 수 있는 선진국 복원 사업 기술을 참조

독일 뮌헨의 Isar 강변



● Isar 강의 복원 사례

- Isar 강변은 현재 천혜의 자연으로 보이지만 사실 많은 시간과 돈을 들여 복원한 강임
- Isar 강변은 2000년부터 11년간 진행한 재자연화 공사를 통해 125년 전 Isar 강에서 사라진 여울과 자갈밭을 복원함
- 1888년부터 Isar 강 바닥을 파서 물길을 직선으로 정리하고 강기슭을 돌벽으로 강화하고 높여 강물을 가둠. 이리저리 굽이치며 강변을 변형시키는 데 에너지를 소진하던 강물이 단단하고 좁은 통로에 갇히니 강타할 곳이 바닥밖에 없어 강바닥이 패이고 강변 지하수위도 하강함
- 강바닥이 이전에 비해 8~10m나 낮아져 숲은 메마르고 우물을 파도 물이 보이지 않음
- Isar 강 복원 사업은 공사 구간에 따라 5~10년에 걸친 치밀한 준비 작업을 거침
- 2000년부터 2011년까지 Isar 강 8km 구간의 복원공사가 단계적으로 진행됨
- 8km 구간 공사에 10년이상 걸린 이유는 하천 바닥에 방치되었던 폐기물(2차대전에 발생한 불발탄 등) 제거에 시간이 상당 수 지체되었기 때문
- 또한, 강물이 불어나는 봄과 여름에는 공사를 진행하지 않았음. 이는 자연적으로 강물이 어떻게 물길을 만드는지, 어느 기슭을 침식시키고 퇴적토와 자갈을 쌓는지 면밀하게 관찰하여 복원사업에 반영함

제7장. 연구개발성과의 보안등급

※ ‘수직/수평 복합형 집수매거 공법’ 과 ‘다층 균등 역세장치’ 는 건설신기술 지정의 핵심기술로서 현재 2차 심사가 진행 중인 관계로 건설신기술 심사가 완료될 때까지 보안이 필요합니다.

제8장. 국과과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호

※ 해당사항 없음

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

※ 해당사항 없음

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	개착식 하상여과에서 탁수를 고려한 수정 투수계수 적용 연구: 수치모델링을 통한 접근	국민대 학교	주저 자	한국수자 원 학회지		2016.09	단독사사	
2	논문	기능성 스크린이 부착된 집수관의 취수량 및 수질 분석	국민대 학교	주저 자	한국수자 원 학회지		2017.08	단독사사	

제11장. 기타사항

※ 해당사항 없음

제12장. 참고문헌

1. 국토해양부, 2011, 수자원장기 종합계획(2011~2020)
2. 물환경정보시스템, <http://water.nier.go.kr/waterMeasurement/selectWater.do>
3. 웰텍, 2017, 안양 삼막천 수질개선을 위한 치환여재 결정시험 용역
4. 장여주, 정진홍, 임현만, 장향연, 김원재, 2017, 천연조류제거제를 활용한 응집·부상 전 처리공정의 기존 응집공정 대체가능성, 대한상하수도학회지, 30(1), p.39-50
5. 환경부, 2012, 상수도통계
6. 한국상하수도협회, 2010, 상수도시설기준
7. Schafer, D.C., 2004, “Hydraulic analysis and modeling of riverbank filtration for Louisville water company.” International Workshop on Riverbank/bed Filtration, organized by KIST (GreenKorea 21), COEX.
8. Thomas M. Missimer, Burton, Robert G. Maliva, 2015, Intakes and Outfall for seawater Revers-Osmosis desalination Facilities, New York : Springer
9. Kadlec, R.H., 1997, “An autobiotic wetland phosphorus model.” Ecological Engineering, Vol. 8, pp. 145-172.
10. Harbaugh, A.W., and McDonald, M.G. (1996). User’ s Documentation for MODFLOW-96. An update to the U.S. Geological Survey Modular Fivite-Difference Ground-Water Flow Model. Open File Report 96-485, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, U.S.A.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 “저심도 간접취수원 개선공법 개발 및 실용화” 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.