보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )발간등록번호( )

국토교통기술사업 제3차 연도 결과 보고서

R&D / 17TBIP-C125148-01

이중필터 강변(해변)여과수 취수기술 개발 최종보고서

2019. 12. 31.

주관연구기관 / 산하토건(주)
협동연구기관 / 동부엔지니어링(주)
위탁기관 / 강원대학교

국 토 교 통 부
(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술원장 귀하

'이중필터 강변(해변)여과수 취수기술 개발'(연구개발 기간 : 2017.04.01. ~ 2019.12.31.) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2019. 12 . 31.

주관연구기관명 : 산하토건(주) (대표자) 이 상 무 (인)
공동연구기관명 : 동부엔지니어링(주) (대표자) 노 재 화 (인)
위탁연구기관명 : 강원대학교 (대표자) 윤 경 구 (인)

주관연구기관책임자: 이 상 무
공동연구기관책임자: 전 병 추
위탁연구기관책임자: 박 유 철

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	17TBIP-C1 25148-01	해당 단계 연구 기간	2019.01.01 - 2019.12.31	단계구분	3/3
연구사업명	중사업명	국토교통기술사업화지원사업			
	세부사업명	대구경 이중필터취수공법			
연구과제명	대과제명	이중필터 강변(해변)여과수 취수기술 개발			
	세부과제명	취수효율, 현장적용성, 유지관리 용이성, 취수정 수명, 경제성을 개선한 이중필터층을 가진 취수 정호 개발			
연구책임자	이 상 무	해당단계 참여연구원 수	총: 20명 내부: 20명 외부: -명	해당단계 연구비	정부: 378,000천원 민간: 27,000천원 정부외: - 상대국: - 계: 534,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 20명 내부: 20명 외부: -명	총 연구비	정부:1,063,000천원 민간: 79,340천원 정부외: - 상대국: - 계: 1,783,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	[주관연구기관] 산하토건(주)			[공동연구기관] 동부엔지니어링(주)	
국제공동연구	상대국명: 없음			상대국 연구기관명: 없음	
위탁연구기관	강원대학교			연구책임자: 박 유 철	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반등급(국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제24조의5(분류절차)에 따라 검토한 결과 일반으로 분류)

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)	보고서 면수

요약문

연구의 목적	○ **최종목표** - 보유기술의 개선 - 실내모형시험, 현장실증시험 및 수치모의를 통한 개발기술의 정량적 검증(기존기술 대비 개발기술의 성능, 시공성, 경제성, 장기적 안정성 등 개발기술의 우수성)과 지적재산권을 등록 - 설계 및 시공기술의 전과정 표준화 - 비용절감효과 분석 - 정량적으로 입증되어 기술실시권리가 확보된 개발기술의 우수성을 마케팅, 영업 및 홍보에 활용하여 사업화 기반 마련 ○ **성능목표** - 단일필터 취수정 대비 초기 취수효율 20% 개선 - 단일필터 취수정 대비 장기적 안정성 입증 - 필터재 다짐효율 5% 개선 - 에어써징 효율 5% 개선 - 단일필터 취수정 대비 취수량을 기준으로 경제성 20% 개선
연구의 내용	○ **실내모형시험** - 기존기술인 단일필터 취수정과 개발기술인 이중필터 취수정의 취수량 및 취수효율 평가 - 이중필터재의 층위변화, 두께변화에 따른 최적의 이중필터취수정 개발 - 이중필터취수정에서의 필터재 진동 다짐기술 개발 및 효율성 평가 - 이중필터취수정에서의 에어써징기술 개발 및 효율성 평가 - 실내모형시험을 통한 개발기술의 취수효율성 및 그 적용성 검증 ○ **현장실증시험** - 테스트베드 구축(현장실증시험지 선정, 시추조사, 취수정 설계 및 설치) - 실내모형시험 결과를 바탕으로 한 테스트베드 설계, 운영매뉴얼 개발 - 실규모의 실증시험을 통한 개발기술을 보완하여 그 취수효율성 및 적용성, 장기적 취수효율 검증 ○ **수치모의** - 수치해석을 통한 단일필터 대비 이중필터의 효과분석 - 필터재의 두께증가로 인한 효과 분석 - 모델링을 통한 단일필터취수정 대비 장기적인 안정성 평가 ○ **표준화 및 사업화** - 표준화된 설계서(설계도면 및 사양서, 내역서 등)와 체계적인 시공을 위한 시방서 개발 - 취수용량 대비 공사비용, 유지보수비용 절감효과 분석 및 LCC 절감효과 분석 - 논문게재 및 지적재산권 등록 - 기술개발 결과물의 현장적용 및 수요자의 요구 만족도 측정 - 정량적 효율검증과 지적재산권 확보 후 사업화 추진
	○ **보유기술의 개선** - 최적 이중필터층을 개발하고 필터재 진동 다짐기술과 에어써징기술을 결합하여 성능 개선 (취수효율 20%, 다짐효율 5%, 에어써징효율 5%, 경제성 20% 개선목표)

연구개발 성과	**○ 실내/현장 실증시험 및 수치모의를 통한 검증과 논문게재, 지적재산권 취득** - 개발기술의 최적 설계인자 확보 및 장기적 취수안정성을 입증, 특허·신기술을 출원 및 등록 (논문 6건(SCI 1건 포함), 특허등록 3건, S/W 1건, 계약서 4건, 청년고용 4건, 보고서 12건) **○ 테스트베드 구축 및 실규모 현장검증을 통한 기술수준 향상** - 지층구성이 다른 2개소의 테스트베드를 선정하여 각 테스트베드에서 실규모 실증시험을 수행하여 개발기술의 성능과 최적의 이중필터 형성기술을 객관적으로 입증 **○ 설계 및 시공기술 표준화** - 연구과제의 최종성과를 바탕으로 설계기준(설계서 및 사양서) 및 운영매뉴얼, 표준시방서(주요 우물자재의 재질과 규격과 설치기준), 유지관리지침서 등을 표준화 완료 **○ 현장적용을 통한 효과 검증** - 기술개발 결과물은 두 차례에 걸친 현장적용을 통해 시범적으로 그 성능을 평가하여 개발기술의 성능을 객관적으로 검증 하였음 **○ 비용절감 효과 분석 및 사업화** - 공사비, 유지관리비, LCC 저감효과를 평가하였고 평가 자료를 통해 경제적 우수성을 객관적으로 입증하였음. 이를 바탕으로 개발기술에 대하여 기술실시권을 확보하여 사업화 실시
연구개발 성과의 활용계획 (기대효과)	**○ 활용계획** **현장 적용성** : 본 기술은 충적대수층이 양호하게 발달하는 지역에 최적화된 취수공법이며, 강변여과수 및 해변 여과수를 대상으로 하는 취수정 설치에 우선적으로 적용 가능 **실용화 · 제품화** : 본 연구는 실내시험, 테스트베드 구축, 현장실증시험 및 모델링, 공법 표준화 등 단계별로 진행되었으며, 표준화된 개발기술을 기반으로 지적재산권을 획득하여 사업화 기반을 마련한 후 홍보 및 사업화 추진 **신사업 창출** : 본 기술은 정수장 취수정 사업에 기 적용된 바 있으며, 향후 수변지역 시설재배지 농업용수 개발사업, 수리시설 말단부 지하수 공급 사업, 지하수 함양사업, 해수 담수화 사업, 양식장, 수협, 어판장 등을 포함한 해변여과수 개발사업 등 새로운 사업으로 적용을 확대해 갈 수 있음 **○ 기대효과** **과학기술적 측면** : 취수량 증대, 장기적 취수효율 안정성, 경제성, 시공성, 수질 등에 강점이 있어 기존공법에 비해 확고한 경쟁력 우위를 점할 수 있고 강변(해변)여과수 개발에 선도적 기술로 평가될 수 있으며, 수직 취수정의 표준모델로 자리매김할 수 있을 것으로 기대됨 **사회·경제적 측면** : 상수도 취수시설로서 오염에 대해 자연여과 및 자정효과를 기대할 수 있고 물부족 해소에 효과적 대응 가능. 4대강 유역 수변지역의 대규모 시설재배지에 적용시 안정적인 용수공급이 가능하여 농업 경쟁력 제고. 어항의 해수 취수시설로 적용될 경우, 해수공급 역할 외 수산물의 유통·가공시설 등 다양한 경제적 이익창출 가능. 국내 소규모 해수 담수화시설로 도서지역에 활용성 기대. 정호수명이 길어 폐공에 의한 지하수 오염을 방지하고 우수한 취수효율과 시설 집약화로 지하수 난개발 억제 및 수자원의 효과적 활용과 유지관리에 유리. 또한, 20년 운영 시 일반수직정 대비 48%, 방사상집수정 대비 71%의 비용절감 효과 예상 **정책적 측면** : 향후 발생가능한 물 부족 사태를 대비하여 다양한 수원에 대한 취수기술 확보가 필요하며, 본 기술이 유용하게 활용될 것으로 기대. 물 부족 국가는 안보차원에서 물 산업을 육성하고 있으며, 우수 취수기술의 개발은 수출 산업화와 해외진출 확대에 큰 도움이 될 것으로 기대. 기후 변화와 인구증가에 따른 세계적 물 부족 현상, 산업발달에 따른 심각한 물 오염으로 해수담수화 시장이 지속적으로 성장할 것으로 예측되며 해수담수화시설, 발전시설 등의 취수시설 부분으로 영역 확대 및 국가원조사업(ODA)에 진출이 가능. 해외 물부족 지역, 음용수에 대한 질적 향상을 요하는 지역을 대상으로 기술수출이 가능하며, 이로 인한 국가 이미지 상승효과가 기대됨

국문핵심어	이중필터	취수정	강변(해변)여과수	진동다짐	에어써징
영문핵심어	Dual filter	Well	River bank filtration	Vibration compacting	Air surging

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1

가. 연구개발 추진 배경 ····· 1

나. 연구개발 필요성 ····· 1

다. 연구개발 범위 ····· 5

2. 연구수행내용 및 성과 ····· 6

2-1 주요 연구내용 및 수행절차 ····· 6

가. 주요 연구내용 ····· 6

나. 수행절차 ····· 9

2-2 실내모형시험(1차년도) ····· 10

가. 단기 실내모형실험 개요 ····· 10

나. 단기 실내모형시험 성과분석 ····· 12

다. 장기 실내모형시험 개요 ····· 19

라. 장기 실내모형시험 성과분석 ····· 22

2-3 해변여과수(2차년도) 현장실증시험 ····· 49

가. 해변여과수(테스트베드 1) ····· 49

나. 해변여과수 단기시험 성과분석 ····· 68

다. 장기시험 성과분석 ····· 79

라. 장기시험 이후 단계 대수성시험 성과분석 ····· 81

마. 수질특성 평가 ····· 88

바. 에어써징 효율평가 ····· 100

사. 현장실증시험 성과 종합 ····· 104

2-4 강변여과수(3차년도) 현장실증시험 ····· 106

가. 강변여과수(테스트베드 2) ····· 106

나. 단기시험 성과분석 ····· 130

다. 장기시험(1차) 성과분석 ····· 147

라. 장기시험(2차) 성과분석 ····· 157
마. 장기시험 이후 추가 단기시험 성과분석 ····· 165
바. 수질특성 평가 ····· 171
사. 에어써징 효율평가 ····· 177
아. 현장실증시험 성과 종합 ····· 179
2-5. 협동연구기관 연구수행내용 및 성과(대상부지조사) ····· 180
가. 실증실험대상부지 조사 ····· 180
나. 1차년도 실증실험 대상부지 조사 ····· 189
다. 2차년도 실증실험 대상부지 조사 ····· 204
라. 3차년도 실증실험 대상부지 조사 ····· 216
2-6. 위탁연구기관 연구수행내용 및 성과(수치모의) ····· 229
가. 연구목적 ····· 229
나. 연구방법 ····· 229
다. 연구내용 ····· 229
라. 연구결과 ····· 230
2-7. 연구개발 성과 ····· 256
가. 논문 ····· 256
나. 특허 ····· 256
다. 기술요약정보 ····· 257
라. 비즈니스모델(BM) 및 기술가치평가 ····· 263
마. 설계서 및 사양서 ····· 271
바. 운영매뉴얼 ····· 277
사. 표준시방서 ····· 289
아. 설계기준 ····· 299
자. 유지관리지침서 ····· 317
차. 소프트웨어 ····· 330
2-8. 연구결과 ····· 331
가. 기술적성과 ····· 331
나. 경제적성과 ····· 340

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 342
3-1. 목표 ····· 342
가. 최종 성과 목표 및 평가 방법 ····· 342
나. 단계 성과 목표 및 평가 방법 ····· 343
다. 연차별 성과 목표 ····· 344
3-2. 목표 달성여부 ····· 349
가. 달성도 ····· 349
3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등) ····· 350

4. 연구개발성과의 활용 계획 등 ····· 351
가. 생활용수용 취수정 설치사업(정수장 등) ····· 351
나. 농업용수용 취수정 설치사업 ····· 351
다. 해변여과수용 취수정 설치사업 ····· 351
라. 공업용수용 취수정 설치사업 ····· 352
마. 지하수 함양 사업 ····· 352

붙임. 참고문헌 ····· 353

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

< 표 차 례 >

Table 1. Research objective and major research contents of 1st year ····· 6

Table 2. Research objective and major research contents of 2st year ····· 7

Table 3. Research objective and major research contents of 3st year ····· 8

Table 4. Device composition and standard of laboratory model test ····· 10

Table 5. Condition of laboratory model test ····· 11

Table 6. Average Optimum yield for dual and single filter in sand formation ····· 13

Table 7. Average Optimum yield for dual and single filter in gravel formation ····· 14

Table 8. Average well efficiency for dual and single filter in sand formation ····· 15

Table 9. Average well efficiency for dual and single filter in gravel formation ····· 16

Table 10. Accumulative settlement and compacting efficiency based on vibration compacting test ····· 17

Table 11. Yield efficiency based on air surging test ····· 18

Table 12. Optimum surging pressure on ground water level ····· 18

Table 13. Device composition and standard of laboratory model test ····· 20

Table 14. Condition of laboratory model test ····· 21

Table 15. Test result of step drawdown test in sand formation ····· 22

Table 16. Test result of pumping test in sand formation ····· 23

Table 17. Hydraulic Conductivity and Transmissivity by step-drawdown test results ····· 26

Table 18. Optimum yield for yield regression equation(drawdown level = 50cm) ····· 27

Table 19. Hydraulic Conductivity by long term pumping test results in GD-300 and SD-300 ····· 28

Table 19. Continued ····· 29

Table 19. Continued ····· 30

Table 20. Hydraulic Conductivity by long term pumping test results in SS-300 and SS-100 ····· 31

Table 20. Continued ····· 32

Table 21 Average k(cm/sec) value and contrast intial value(%) according to time over in GD-300 ····· 33

Table 22. Average k(cm/sec) value and contrast intial value(%) according to time over in SD-300 ····· 34

Table 23. Average k(cm/sec) value and contrast intial value(%) according to time over in SS-300 ····· 35

Table 24. Average k(cm/sec) value and contrast intial value(%) according to time over in SS-100 ····· 36

Table 25. Average hydraulic conductivity ratio(%) of SD-300/SS-300 and SD-30/SS-100 in sand formation ····· 38
Table 26. Estimation of optimum yield using regression equation in GD-300(drawdown level = 50cm) ····· 39
Table 27. Yield(L/min) value and contrast intial value(%) according to time over in GD-300 ····· 40
Table 28. Estimation of optimum yield using regression equation in SD-300(drawdown level = 50cm) ····· 40
Table 29. Yield(L/min) value and contrast intial value(%) according to time over in SD-300 ····· 41
Table 30. Estimation of optimum yield using regression equation in SS-300(drawdown level = 50cm) ····· 42
Table 31. Yield(L/min) value and contrast intial value(%) according to time over in SS-300 ····· 43
Table 32. Estimation of optimum yield using regression equation in SS-100(drawdown level =50cm) ····· 43
Table 33. Yield(L/min) value and contrast intial value(%) according to time over in SS-100 ····· 44
Table 34. Average hydraulic conductivity ratio(%) of SD-300/SS-300 and SD-30/SS-100 in sand formation ····· 46
Table 35. Optimum yield of in the case of drawdown level 50cm ····· 47
Table 36. Required time at 50% yield and the ratio of SS-300, SS-100 to SD-300 ····· 48
Table 37. Particle size distribution of alluvium ····· 51
Table 38. Grain range of filter materials to be applied to the fine~medium size sand ····· 51
Table 39. Grain range of filters to be applied to the coarse size sand layer with gravel ····· 51
Table 40. Grain range by size of filter material (jumunjin sand) ····· 52
Table 41. Grain range of filter materials to be applied to the fine~medium size sand ····· 52
Table 42. Grain range of filters to be applied to the coarse size sand layer with gravel ····· 52
Table 43. Device composition(SD1200(A)) ····· 54
Table 44. Device composition(SD1200(B)) ····· 55
Table 45. Device composition(SS800) ····· 57
Table 46. Condition of field test in seawater filtration ····· 58
Table 47. Test result of step drawdown test ····· 59
Table 48. Test result of pumping test in sand formation ····· 61
Table 49. Test result of long term pumping test ····· 64
Table 50. Test result of step drawdown test after long term pumping test ····· 66
Table 51. Application factor for each test well ····· 68
Table 52. Hydraulic Conductivity by step-drawdown test results ····· 69
Table 53. Application factor for each test well ····· 71

Table 54. Hydraulic Conductivity and Transmissivity by pumping test results ····· 71
Table 55. Hydraulic Conductivity and Transmissivity by recovery test results ····· 73
Table 56. optimum yield for yield regression equation in sand formation(drawdown level = 200cm) ····· 74
Table 57. Specific drawdown for each test in sand formation ····· 76
Table 58. Optimum yield estimation used specific drawdown equation(drawdown level = 2.0m) ····· 77
Table 59. optimum yield estimation used point of inflection in sand formation ····· 78
Table 60. Application factor for each test well ····· 81
Table 61. Hydraulic Conductivity by step-drawdown test results after long term pumping test ····· 82
Table 62. optimum yield for yield regression equation in sand formation(drawdown level = 200cm) ····· 83
Table 63. Specific drawdown for each test in sand formation ····· 84
Table 64. Optimum yield estimation used specific drawdown equation(drawdown level = 2.0m) ····· 85
Table 65. optimum yield estimation used point of inflection in sand formation ····· 86
Table 66. Comparison of optimum yield before vs after long term pumping test ····· 87
Table 67. Results of initial water quality analysis in step drawdown test and pumping test ····· 88
Table 68. BOD value by date in long term pumping test ····· 90
Table 68. Continued ····· 91
Table 69. COD value by date in long term pumping test ····· 92
Table 70. SS value by date in long term pumping test ····· 93
Table 71. NO3-N value by date in long term pumping test ····· 94
Table 71. Continued ····· 95
Table 72. Fe value by date in long term pumping test ····· 95
Table 72. Continued ····· 96
Table 73. Mn value by date in long term pumping test ····· 97
Table 74. Cl value by date in long term pumping test ····· 98
Table 74. Continued ····· 99
Table 75. Device composition and standard of laboratory model test ····· 101
Table 76. Test result of step drawdown test in sand formation ····· 102
Table 77. Improvement rate based on air surging test ····· 103
Table 78. Improvement of Dual Filter over Single Filter ····· 105

Table 79. Improvement rate based on air surging test ····· 105
Table 80. 시추조사 결과 ····· 107
Table 81. STP시료의 입도분석 결과 ····· 107
Table 82. 실트질 모래층에 적용할 필터재 입도범위 ····· 108
Table 83. 모래질 자갈층에 적용할 필터재 입도범위 ····· 108
Table 84. 필터재(주문진사) 크기별 입도범위 ····· 108
Table 85. 공번별 외부필터재, 균등계수, 스트레나 슬롯크기 ····· 109
Table 86. 공번별 내부필터재, 균등계수 ····· 109
Table 87. 공번별 외부필터재, 균등계수, 스트레나 슬롯크기 ····· 109
Table 88 공번별 내부필터재, 균등계수 ····· 110
Table 89. 공번별 외부필터재, 균등계수, 스트레나 슬롯크기 ····· 110
Table 90. 공번별 내부필터재, 균등계수 ····· 110
Table 91. 필터재 통과율 ····· 111
Table 92. Device composition(PW-2) ····· 113
Table 93. Device composition(PW-4) ····· 114
Table 94. Condition of field test in seawater filtration ····· 116
Table 95. Condition of field test in river bank filtration ····· 116
Table 96. Test result of step drawdown test ····· 118
Table 97. Test result of pumping test ····· 120
Table 98 Elevation and Water table level by each well ····· 121
Table 99. Test result of long term pumping test(SD1200(PW1), SD1200(PW2)) ····· 122
Table 100. Test result of long term pumping test(SS300(PW3), SS1200(PW4)) ····· 123
Table 101. Elevation and Water table level by each well ····· 125
Table 102. Test result of long term pumping test(SD1200(PW1), SD1200(PW2)) ····· 126
Table 103. Test result of step drawdown test after long term pumping test ····· 128
Table 104. Application factor for each test well ····· 130
Table 105. Hydraulic Conductivity by step-drawdown test results ····· 131
Table 106. Hydraulic Conductivity and Transmissivity by pumping test results ····· 133
Table 107. Optimum yield for yield regression equation in each well(drawdown level = 200cm) ····· 134

Table 108. Specific drawdown for each test in sand formation ····· 136
Table 109. Optimum yield estimation used specific drawdown equation(drawdown level = 2.0m) ····· 137
Table 110. optimum yield estimation used point of inflection in sand formation ····· 139
Table 111. Test result of step drawdown test in SD1200(PW1) ····· 141
Table 112. Interpretation result of step drawdown test in SD1200(PW1) ····· 142
Table 113. Test result of step drawdown test in SD1200(PW2) ····· 142
Table 114. Interpretation result of step drawdown test in SD1200(PW2) ····· 143
Table 115. Test result of step drawdown test in SS300(PW3) ····· 144
Table 116. Interpretation result of step drawdown test in SS300(PW3) ····· 144
Table 117. Test result of step drawdown test in SS300(PW3) ····· 145
Table 118. Average Yield(Q) and hydraulic conductivity(k) according to the time of each test well ····· 147
Table 119. Dual filter and the single filter's average hydraulic conductivity(k, After 60hr) and increase and reduction ratio(%) for SS300(PW3) and SS1200(PW4) ····· 149
Table 120. Average yield(L/min) by time according to the long-term pumping test in each well ····· 150
Table 121. Contrast yield ratio(%) over time in all test well ····· 152
Table 122. Average yield of in the case of drawdown level EL. 61.5m ····· 154
Table 123. Required time at 50% yield and the contrast ratio of each test well ····· 156
Table 124. Average Yield(Q) and hydraulic conductivity(k) according to the time of each test well ····· 157
Table 125. Dual filter and the single filter's average hydraulic conductivity(k) and increase ratio(%) for SS1200(PW4) ·· 158
Table 126. Average yield(L/min) by time according to the long-term pumping test in each well ····· 159
Table 127. Contrast yield ratio(%) over time in all test well ····· 160
Table 127. Continued ····· 161
Table 128. Average yield of in the case of drawdown level EL. 61.5m ····· 162
Table 129. Required time at 50% yield and the contrast ratio of each test well ····· 164
Table 130. Application factor for each test well ····· 165
Table 131. Hydraulic Conductivity by step-drawdown test results ····· 165
Table 132. Optimum yield for yield regression equation in each well(drawdown level = 200cm) ····· 167
Table 133. Specific drawdown for each test ····· 168
Table 134. Optimum yield estimation used specific drawdown equation(drawdown level = 2.0m) ····· 169

Table 135. optimum yield estimation used point of inflection ····· 170
Table 136. Groundwater quality ····· 171
Table 137. Total Coliforms numbers by date in long term pumping test ····· 172
Table 138. pH by date in long term pumping test ····· 173
Table 139. NO3-N value by date in long term pumping test ····· 174
Table 140. Cl value by date in long term pumping test ····· 175
Table 141. Toluene value by date in long term pumping test ····· 176
Table 142. Average yield and drawdown level after 3day in each well ····· 177
Table 143. Optimum yield for yield regression equation in each well ····· 178
Table 144. Improvement rate based on air surging test ····· 178
Table 145. 대상부지 선정기준 ····· 180
Table 146. 조사방법 및 내용 ····· 181
Table 147. 그룹별 암종 분류 ····· 185
Table 148. 암종별 탄성파속도(건설표준품셈) ····· 185
Table 149. 탄성파속도 및 불연속면 발달빈도에 따른 리핑암과 발파암의 분류 ····· 186
Table 150. 시설현황 ····· 196
Table 151. 지층현황 ····· 196
Table 152. 지층 개요 ····· 197
Table 153. 지층 개요 ····· 198
Table 154. Line-1(L=150m, 제방측) 탐사 결과 ····· 199
Table 155. Line-2(L=150m, 하천측) 탐사 결과 ····· 200
Table 156. 지층별 표준관입시험 결과(회/cm) ····· 201
Table 157. 심도별 표준관입시험 결과(회/cm) ····· 201
Table 158. 대수성시험 결과 ····· 201
Table 159. 기본물성시험 결과 ····· 202
Table 160. 수질기준 및 검사결과 ····· 203
Table 161. 지층 현황 ····· 209
Table 162. 지층 개요 ····· 210
Table 163. 지하수위 측정 결과 ····· 210

Table 164. Line-1, 2, 3, 4(종방향), Line-5(횡방향) 탐사 결과 ····· 212
Table 165. 지층별 표준관입시험 결과(회/cm) ····· 213
Table 166. 심도별 표준관입시험 결과(회/cm) ····· 213
Table 167. 대수성시험 결과 ····· 213
Table 168. 기본물성시험 결과 ····· 214
Table 169. 수질기준 및 검사결과 ····· 215
Table 170. 안동지역 Line-1(종방향), Line-2, 3, 4(횡방향) 탐사 결과 ····· 216
Table 171. 안동지역(수직탐사) P-1, 2, 3 탐사 결과 ····· 217
Table 172. 충주지역 Line-1(종방향) 탐사 결과 ····· 218
Table 173. 시설현황 ····· 220
Table 174. 지층 현황 ····· 222
Table 175. 지층 개요 ····· 222
Table 176. 지하수위 측정 결과 ····· 223
Table 177. 굴절법탄성파탐사 현황 ····· 223
Table 178. Line-1 (주시곡선 및 결과단면) ····· 224
Table 179. 지층별 표준관입시험 결과(회/cm) ····· 225
Table 180. 심도별 표준관입시험 결과(회/cm) ····· 225
Table 181. AQTESOLV Program을 이용한 순간충격시험 결과(1/2) ····· 225
Table 182. AQTESOLV Program을 이용한 순간충격시험 결과(2/2) ····· 226
Table 183. 순간충격시험 결과 요약 ····· 226
Table 184. 기본물성시험 결과 ····· 227
Table 185. 입도분석 결과 ····· 227
Table 186. 수질기준 및 검사결과 ····· 228
Table 187. 단일필터의 제원 ····· 230
Table 188. 양수정 중심부터 거리에 대한 수위강하 ····· 230
Table 189. 단일필터 제원에 따른 양수정 중심에서의 수위강하 및 효율 ····· 231
Table 190. 단일필터의 제원 ····· 232
Table 191. 양수정 중심부터 거리에 대한 수위강하 ····· 233
Table 192. 단일필터 제원에 따른 양수정 중심에서의 수위강하 및 효율 ····· 234

Table 193. 이중필터의 제원 ····· 235
Table 194. 양수정 중심부터 거리에 대한 수위강하 ····· 235
Table 195. 이중필터 제원에 따른 양수정 중심에서의 수위강하 및 효율 ····· 236
Table 196. 이중필터의 제원 ····· 237
Table 197. 양수정 중심부터 거리에 대한 수위강하 ····· 238
Table 198. 이중필터 제원에 따른 양수정 중심에서의 수위강하 및 효율 ····· 239
Table 199. 모의영역 격자 구성 ····· 240
Table 200. 지층별 수리지질특성치 입력값 ····· 241
Table 201. 양수시험으로 발생한 수위강하 ····· 242
Table 202. 관정 제원 ····· 242
Table 203. 투수계수 분석 결과 ····· 242
Table 204. SD1200(A) 양수정에서의 모델링 결과 ····· 243
Table 205. SD1200(A) 양수정에서의 현장시험 결과와 모델링 결과 비교 ····· 243
Table 206. SD1200(B) 양수정에서의 모델링 결과 ····· 244
Table 207. SD1200(B) 양수정에서의 현장시험 결과와 모델링 결과 비교 ····· 244
Table 208. SS800 양수정에서의 모델링 결과 ····· 244
Table 209. SS800 양수정에서의 현장시험 결과와 모델링 결과 비교 ····· 244
Table 210. 모의영역 격자 구성 ····· 245
Table 211. 지층별 수리지질특성치 입력값 ····· 246
Table 212. 양수시험으로 발생한 수위강하 ····· 247
Table 213. 관정 제원 ····· 247
Table 214. 투수계수 분석 결과 ····· 247
Table 215. PW-1 양수정에서의 모델링 결과 ····· 248
Table 216. PW-1 양수정에서의 현장시험 결과와 모델링 결과 비교 ····· 248
Table 217. PW-2 양수정에서의 모델링 결과 ····· 248
Table 218. PW-2 양수정에서의 현장시험 결과와 모델링 결과 비교 ····· 249
Table 219. PW-3 양수정에서의 모델링 결과 ····· 249
Table 220. PW-3 양수정에서의 현장시험 결과와 모델링 결과 비교 ····· 249
Table 221. PW-4 양수정에서의 모델링 결과 ····· 249

Table 222. PW-4 양수정에서의 현장시험 결과와 모델링 결과 비교 ····· 250
Table 223. 추세식의 변화 ····· 251
Table 224. 추세식의 변화 ····· 251
Table 225. 90일간 실내시험에 대한 추세 분석 ····· 252
Table 226. 강릉 지역 현장시험에 대한 추세 분석 ····· 254
Table 227. 연도별 판매계획 ····· 263
Table 228. 목표고객 ····· 263
Table 229. 판매 및 마케팅 전략 ····· 264
Table 230. 평가대상특허 ····· 266
Table 231. 취수량에 따른 최적의 양수기 구경 및 취수관경(ID : 내경) ····· 272
Table 232. Johnson well screen의 개공면적 ····· 274
Table 233. 이중필터재의 산정방법 ····· 276
Table 234. 장치의 구성 및 규격 ····· 282
Table 235. 취수정 정밀조사 ····· 307
Table 236. 취수량에 따른 최적의 양수기 구경 및 취수관경(ID : 내경) ····· 312
Table 237. Johnson well screen의 개공면적(in2) ····· 314
Table 238. 교육훈련 계획 ····· 324
Table 239. 개발기술과 기존기술의 비교 ····· 331
Table 240. 개발기술에 대한 경쟁기술의 강점 및 약점 ····· 331
Table 241. 개발기술과 경쟁기술의 공법개요 및 특징 ····· 332
Table 242. 개발기술에 대한 경쟁기술의 강점 및 약점 검토 ····· 332
Table 243. 원가계산에 따른 공사비 산출 ····· 334
Table 244. 유지관리비용 ····· 334
Table 245. 우물별 유지관리 비용 검토 ····· 335
Table 246. LCC 산정의 비용 요소 ····· 336
Table 247. 할인율 3% 적용시 ····· 336
Table 248. 할인율 4.5% 적용시 ····· 337
Table 249. 할인율 5.5% 적용시 ····· 337

< 그 림 차 례 >

Fig 1. Flow chart of task ····· 9
Fig 2. General drawing of testing set(Case of dual filter) ····· 11
Fig 3. Hydraulic conductivity contrast SSS-3 in sand formation ····· 12
Fig 4. Hydraulic conductivity contrast GSS-3 in gravel formation ····· 12
Fig 5. Comparison of Optimum yield for single and dual filter in sand formation ····· 13
Fig 6. Optimum yield contrast SSS-3 in sand formation ····· 13
Fig 7. Comparison of Optimum yield for single and dual filter in gravel formation ····· 14
Fig 8. Optimum yield contrast GSS-3 in gravel formation ····· 14
Fig 9. Comparison of well efficiency for single and dual filter in sand formation ····· 15
Fig 10. Well efficiency contrast SSS-3 in sand formation ····· 15
Fig 11. Comparison of well efficiency for single and dual filter in gravel formation ····· 16
Fig 12. Well efficiency contrast GSS-3 in gravel formation ····· 16
Fig 13. Relationship of vibration strength(kgf) and settlement(mm) ····· 17
Fig 14. Relationship of vibration strength(kgf) and compacting efficiency(%) ····· 17
Fig 15. Turbidity variation for each step3 ····· 18
Fig 16. Photograph of testing set ····· 19
Fig 17. Variation of water drawdown level according to pumping rate variation in each test set ····· 22
Fig 18. Variation of water drawdown level and yield over time in each test ····· 24
Fig 19. Mean yield per unit time(10day) in each test ····· 24
Fig 20. Comparison of Hydraulic Conductivity by step-drawdown test results ····· 25
Fig 21. Optimum yield of drawdown level is 50cm in each test set ····· 27
Fig 22. Relationship of drawdown water level and yield in each test set ····· 27
Fig 23. Variation graph of hydraulic conductivity according to time over in GD-300 ····· 33
Fig 24. Comparison of hydraulic conductivity by time over in GD-300 ····· 33
Fig 25. Variation graph of hydraulic conductivity according to time over in SD-300 ····· 34
Fig 26. Comparison of hydraulic conductivity by time over in SD-300 ····· 34
Fig 27. Variation graph of hydraulic conductivity according to time over in SS-300 ····· 35

Fig 28. Comparison of hydraulic conductivity by time over in SS-300 ····· 35
Fig 29. Variation graph of hydraulic conductivity according to time over in SS-100 ····· 36
Fig 30. Comparison of hydraulic conductivity by time over in SS-100 ····· 36
Fig 31. Variation graph of hydraulic conductivity over time ····· 37
Fig 32. Contrast of hydraulic conductivity over time in all test set ····· 37
Fig 33. Variation graph of hydraulic conductivity ratio(%) over time for SD-300/SS-300 and SD-30/SS-100 in sand formation ···· 38
Fig 34. Variation graph of yield(L/min) according to time over in GD-300 ····· 39
Fig 35. Comparison of yield(L/min) by time over in GD-300 ····· 40
Fig 36. Variation graph of yield(L/min) according to time over in SD-300 ····· 41
Fig 37. Comparison of yield(L/min) by time over in SD-300 ····· 41
Fig 38. Variation graph of yield(L/min) according to time over in SS-300 ····· 42
Fig 39. Comparison of yield(L/min) by time over in SS-300 ····· 43
Fig 40. Variation graph of yield(L/min) according to time over in SS-100 ····· 44
Fig 41. Comparison of yield(L/min) by time over in SS-100 ····· 44
Fig 42. Variation graph of optimum yield(L/min) over time ····· 45
Fig 43. Contrast of optimum yield(L/min) over time in all test set ····· 45
Fig 44. Variation graph of hydraulic conductivity ratio(%) over time for SD-300/SS-300 and SD-30/SS-100 in sand formation ···· 46
Fig 45. Relationship of Optimum yield and elapsed time yield by each test ····· 47
Fig 46. Comparision of required time at 50% yield ····· 48
Fig 47. Comparision of SD-300/SS-300, SD-300/SS-100 ····· 48
Fig 48. Site map ····· 49
Fig 49. Site foreground photograph ····· 49
Fig 50. GG01~03 cross section ····· 50
Fig 51. SD1200(B) cross section ····· 53
Fig 52. Photograph of installation process(SD1200(A)) ····· 53
Fig 53. SD1200(B) cross section ····· 54
Fig 54. Photograph of installation process(SD1200(B)) ····· 55
Fig 55. SS800 cross section ····· 56
Fig 56. Photograph of installation process(SS800) ····· 56

Fig 57. Variation of yield and water drawdown level in step drawdown test ····· 60
Fig 58. Variation of yield and water drawdown level in pumping test ····· 62
Fig 59. Variation of water drawdown level and recovery ratio in recovery test ····· 63
Fig 60. Variation of water drawdown level and yield over time in each test ····· 65
Fig 61. Variation of yield and water drawdown level in step drawdown test after long term pumping ····· 67
Fig 62. Comparison of Hydraulic Conductivity by step-drawdown test results ····· 70
Fig 63. Change of hydraulic conductivity according to yield of test hole ····· 70
Fig 64. Comparison of Hydraulic Conductivity by pumping test results ····· 72
Fig 65. Analysis of permeability changes over time ····· 72
Fig 66. Comparison of Hydraulic Conductivity by recovery test results ····· 73
Fig 67. Analysis result of recovery test used AQTESOLV program ····· 73
Fig 68. Optimum yield in each test well(drawdown level = 200cm) ····· 74
Fig 69. Relationship of drawdown water level and yield in each test well ····· 74
Fig 69-1. Components of drawdown in well (Atkinson at. al. 2010) ····· 75
Fig 70. Relationship of Specific drawdown and yield in each well ····· 76
Fig 71. Relational expression of Specific drawdown and yield in each well ····· 77
Fig 72. Comparison of optimum yield estimation used specific drawdown equation ····· 77
Fig 73. Graph of inflection point estimation used linear equation ····· 78
Fig 74. Comparison of optical yield for dual and single filter well ····· 78
Fig 75. Comparison of hydraulic conductivity by time over in each well ····· 79
Fig 76. Mean yield per unit time in each test ····· 80
Fig 77. Comparison of Hydraulic Conductivity by step-drawdown test results before and after long term pumping test ···· 82
Fig 77-1. Change of hydraulic conductivity according to yield of test hole before and after long term pumping test ···· 83
Fig 78. Optimum yield in each test well(drawdown level = 200cm) after long term pumping test ····· 84
Fig 79. Relationship of drawdown water level and yield in each test well after long term pumping test ····· 84
Fig 80. Relationship of Specific drawdown and yield in each well ····· 85
Fig 81. Relational expression of Specific drawdown and yield in each well ····· 85
Fig 81-1. Comparison of optimum yield estimation used specific drawdown equation ····· 86
Fig 82. Graph of inflection point estimation used linear equation ····· 86

Fig 83. Comparison of optical yield for dual and single filter well ····· 87
Fig 84. Concentration change by analysis item over time in step drawdown test and pumping test ····· 89
Fig 85. Variation of BOD over time in long term pumping test ····· 91
Fig 86. Variation of COD over time in long term pumping test ····· 92
Fig 87. Variation of SS over time in long term pumping test ····· 94
Fig 88. Variation of NO3-N over time in long term pumping test ····· 95
Fig 89. Variation of Fe over time in long term pumping test ····· 96
Fig 90. Variation of Mn over time in long term pumping test ····· 98
Fig 91. Variation of Cl over time in long term pumping test ····· 99
Fig 92. Basic direction of model test ····· 100
Fig 93. General drawing of testing set ····· 101
Fig 94. Photograph of testing set ····· 101
Fig 95. Variation of yield and water drawdown level in SD1200(A) : Before air surging ····· 102
Fig 96. Variation of yield and water drawdown level in SD1200(A) : After air surging ····· 103
Fig 97. Relationship of drawdown water level and yield in SD1200(A) ····· 103
Fig 98. Site map ····· 106
Fig 99. Site foreground photograph ····· 106
Fig 100. PW-2 cross section ····· 110
Fig 101. Photograph of installation process(PW-2) ····· 112
Fig 102. PW-4 cross section ····· 113
Fig 103. Photograph of installation process(PW-3) ····· 114
Fig 104. Variation of yield and water drawdown level in step drawdown test ····· 118
Fig 105. Variation of yield and water drawdown level in pumping test ····· 120
Fig 106. Variation of water drawdown level and yield over time in each test ····· 124
Fig 107. Variation of water drawdown level and yield over time in SD1200(PW2) and SS1200(PW4) ····· 127
Fig 108. Variation of yield and water drawdown level in step drawdown test after long term pumping test ·· 129
Fig 109. Comparison of Hydraulic Conductivity by step-drawdown test results ····· 132
Fig 110. Change of hydraulic conductivity according to yield of test hole ····· 132
Fig 111. Comparison of Hydraulic Conductivity by pumping test results ····· 133

Fig 112. Analysis of permeability changes over time ····· 134
Fig 113. Optimum yield in each test well(drawdown level = 200cm) ····· 135
Fig 114. Relationship of drawdown water level and yield in each test well ····· 135
Fig 115. Relationship of Specific drawdown and yield in each well ····· 137
Fig 116. Comparison of optimum yield estimation used specific drawdown equation ····· 138
Fig 117. Relational expression of Specific drawdown and yield in each well ····· 138
Fig 118. Graph of inflection point estimation used linear equation ····· 140
Fig 119. Comparison of optical yield for dual and single filter well ····· 140
Fig 120. Variation of yield and water drawdown level in step drawdown test(SD1200(PW1)) ····· 141
Fig 121. Interpretation result graph of step drawdown test in SD1200(PW1) ····· 142
Fig 122. Variation of yield and water drawdown level in step drawdown test(SD1200(PW2)) ····· 143
Fig 123. Interpretation result graph of step drawdown test in SD1200(PW2) ····· 143
Fig 124. Variation of yield and water drawdown level in step drawdown test(SS300(PW3)) ····· 144
Fig 125. Interpretation result graph of step drawdown test in SS300(PW3) ····· 145
Fig 126. Variation of yield and water drawdown level in step drawdown test(SS1200(PW4)) ····· 146
Fig 127. Interpretation result graph of step drawdown test in SS1200(PW4) ····· 146
Fig 128. Comparison of hydraulic conductivity by time over in each well ····· 148
Fig 129. Comparison of the dual filter and the single filter's hydraulic conductivity(k) increase and reduction ratio(%) for SS300(PW3) and SS1200(PW4) ····· 149
Fig 130. Mean yield per unit time in each test well ····· 151
Fig 131. Contrast of yield(L/min) over time in all test well ····· 153
Fig 132. Variation graph of yield ratio(%) over time for SD1200(PW2)/SS300(PW3) and SD1200(PW2)/SS1200(PW4) and SS1200(PW4)/SS300(PW3) ····· 153
Fig 133. Relationship of yield and elapsed time by each test well ····· 155
Fig 134. Comparision of 50% yield and required time at 50% yield ····· 156
Fig 135. Comparision of SD1200(PW2)/SS300(PW3), SD1200(PW2)/SS1200(PW4) ····· 156
Fig 136. Comparison of hydraulic conductivity by time over in each well ····· 158
Fig 137. Comparison of the dual filter and the single filter's hydraulic conductivity(k) increase ratio(%) for SS1200(PW4) ····· 158
Fig 138. Mean yield per unit time in each test well ····· 160

Fig 139. Contrast of yield(L/min) over time in all test well ····· 161
Fig 140. Variation graph of yield ratio(%) over time for SD1200(PW2)/SS1200(PW4) ····· 161
Fig 141. Relationship of yield and elapsed time by each test well ····· 163
Fig 142. Comparision of 50% yield and required time at 50% yield ····· 164
Fig 143. Comparision of SD1200(PW2)/SS1200(PW4) ····· 164
Fig 144. Comparison of Hydraulic Conductivity by step-drawdown test and variation of 1st and 2nd test ····· 166
Fig 145. Change of hydraulic conductivity according to yield of test hole ····· 166
Fig 146. Optimum yield in each test well(drawdown level = 200cm) and variation of 1st and 2nd test ····· 167
Fig 147. Relationship of drawdown water level and yield in each test well ····· 167
Fig 148. Relationship of Specific drawdown and yield in each well ····· 168
Fig 149. Comparison of optimum yield estimation used specific drawdown equation and variation of 1st and 2nd test ··· 169
Fig 150. Relational expression of Specific drawdown and yield in each well ····· 169
Fig 151. Graph of inflection point estimation used linear equation ····· 170
Fig 152. Comparison of optical yield for dual and single filter well and variation of 1st and 2nd test ····· 170
Fig 153. Variation of Total Coliforms over time in long term pumping test ····· 172
Fig 154. Variation of pH value over time in long term pumping test ····· 173
Fig 155. NO3-N value over time in long term pumping test ····· 174
Fig 156. Variation of Cl over time in long term pumping test ····· 175
Fig 157. Variation of Toluene over time in long term pumping test ····· 176
Fig 158. 정천현황조사 ····· 182
Fig 159. 시추조사 전경 ····· 182
Fig 160. 관측정 설치 ····· 183
Fig 161. 지하수위 측정 ····· 183
Fig 162. 전기비저항탐사 전경 및 장비 ····· 184
Fig 163. 탄성파탐사 전경 및 장비 ····· 186
Fig 164. 표준관입시험 전경 및 모식도 ····· 187
Fig 165. 대수성시험 ····· 187
Fig 166. 순간충격시험 ····· 188
Fig 167. 수질시료채취 ····· 188

Fig 168. 청양군 후보지검토 현황 ····· 189
Fig 169. 예산군 후보지검토 현황 ····· 191
Fig 170. 진위천 후보지검토 현황 ····· 192
Fig 171. 진위천 현장조사 및 협의 ····· 192
Fig 172. 농어촌공사 경남지부 공법설명 및 협의 ····· 193
Fig 173. 조사위치도 ····· 194
Fig 174. 지질도 및 지질계통 ····· 195
Fig 175. 정천현황조사 ····· 195
Fig 176. 시추조사 위치도 ····· 196
Fig 177. 전기비저항탐사 위치도 ····· 198
Fig 178. BH-2 대수성시험 결과 ····· 202
Fig 179. 경남지역 후보지검토 협의 ····· 204
Fig 180. 충남보령 후보지검토 협의 ····· 205
Fig 181. 강릉 후보지검토 협의 ····· 206
Fig 182. 조사지역 위치도 ····· 207
Fig 183. 지질도 및 지질계통 ····· 208
Fig 184. 정천현황조사 ····· 208
Fig 185. 시추조사 위치도 ····· 209
Fig 186. 전기비저항탐사 위치도 ····· 211
Fig 187. BH-2 대수성시험 결과 ····· 214
Fig 188. 안동지역 전기비저항탐사 위치도 ····· 216
Fig 189. 취수정 활용 무술공원 물놀이 시설 ····· 217
Fig 190. 충주지역 전기비저항탐사 위치도 ····· 218
Fig 191. 조사지역 위치도 ····· 219
Fig 192. 지질도 및 지질계통 ····· 220
Fig 193. 정천현황조사 ····· 221
Fig 194. 시추조사 위치도 ····· 221
Fig 195. 굴절법탄성파탐사 위치도 ····· 224
Fig 196. 단일필터 제원에 따라 발생하는 수위강하 ····· 231

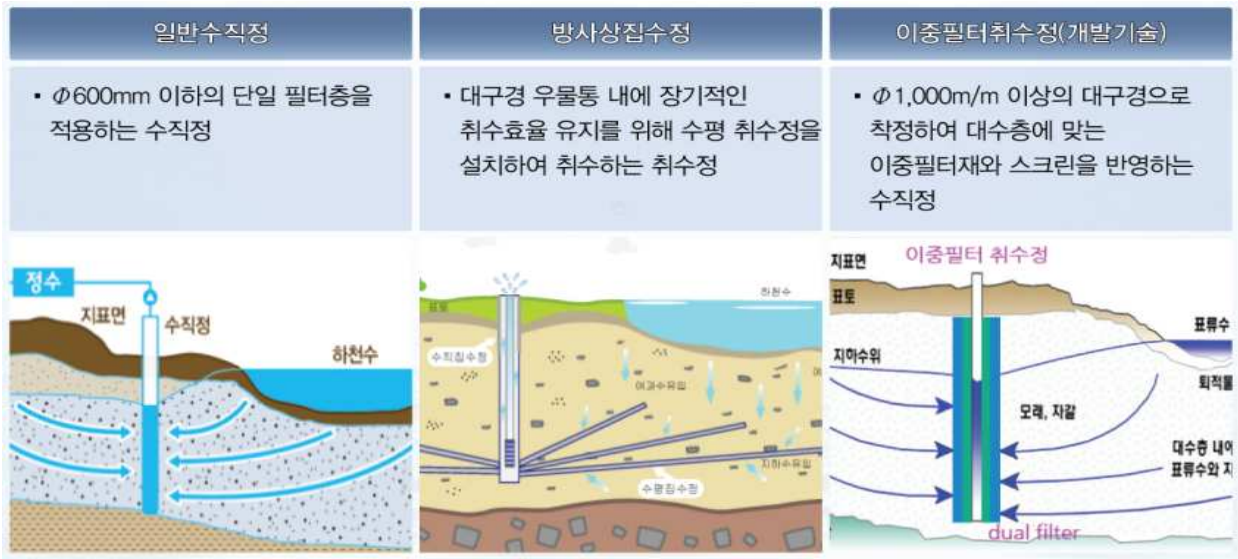
Fig 197. 단일필터 제원에 따른 수위변화 ····· 231
Fig 198. 단일필터 제원에 따라 양수정 중심에서 발생하는 효율 ····· 232
Fig 199. 단일필터 제원에 따라 발생하는 수위강하 ····· 233
Fig 200. 단일필터 제원에 따른 수위변화 ····· 234
Fig 201. 단일필터 제원에 따라 양수정 중심에서 발생하는 효율 ····· 234
Fig 202. 이중필터 제원에 따라 발생하는 수위강하 ····· 236
Fig 203. 단일필터 제원에 따른 수위변화 ····· 236
Fig 204. 이중필터 제원에 따라 양수정 중심에서 발생하는 효율 ····· 237
Fig 205. 이중필터 제원에 따라 발생하는 수위강하 ····· 238
Fig 206. 이중필터 제원에 따른 수위변화 ····· 239
Fig 207. 이중필터 제원에 따라 양수정 중심에서 발생하는 효율 ····· 239
Fig 208. 모의영역 설정 ····· 240
Fig 209. 모델 설정 ····· 241
Fig 210. 모의영역 설정 ····· 245
Fig 211. 모델 설정 ····· 246
Fig 212. 추세 분석 ····· 250
Fig 213. 부분별 추세 분석 ····· 251
Fig 214. 90일간 실내시험에 대한 추세 분석 ····· 252
Fig 215. 자료 추세 분석 ····· 253
Fig 216. 강릉 현장시험 자료 추세 분석 ····· 254
Fig 217. 공급인프라 구축 방안 ····· 265
Fig 218. 목표 비즈니스 모델 ····· 265
Fig 219. 수익접근법에 의한 기술가치평가 절차 ····· 267
Fig 220. 취수본관 설치 흐름도 ····· 278
Fig 221. 굴착방법 ····· 279
Fig 222. 케이싱 삽입 및 취수관 설치 ····· 279
Fig 223. 필터재 충전 ····· 280
Fig 224. 케이싱 인발 ····· 280
Fig 225. 현장 에어써징 개념도 ····· 283

Fig 226. 이중필터 취수정 설치 개념도 ····· 289
Fig 227. 이중필터 취수정 기술 개요 ····· 293
Fig 228. 외부케이싱 압입 및 굴착 ····· 295
Fig 229. 내부케이싱 및 취수관 설치 ····· 295
Fig 230. 이중필터재 충전 ····· 296
Fig 231. 케이싱 인발 ····· 296
Fig 232. 취수본관 및 심정펌프 설치 ····· 297
Fig 233. 취수본관 및 심정펌프 설치 ····· 298
Fig 234. 이중필터재의 산정방법(예시) ····· 316
Fig 235. 굴착방법 ····· 319
Fig 236. 케이싱 및 스크린 설치 ····· 319
Fig 237. 필터재 충전 ····· 320
Fig 238. 케이싱 인발 ····· 320
Fig 239. 유량계 설치 ····· 323
Fig 240. 현장 에어써징 개념도 ····· 325

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 추진 배경

- 강변여과수 개발에 일반적으로 적용되고 있는 취수정공법은 일반수직정 및 방사상집수정이 대표적으로 이들 공법과 개발기술과의 근본적 차이점을 구분하면 다음과 같음



- 일반(단일필터) 수직정 및 방사형 집수정의 경우 양수량, 정호성능 및 수명, 시공성, 경제성, 유지관리 측면에서 다양한 문제점을 내포하고 있음
- 따라서 일반수직정과 방사상집수정의 문제점을 보완하고 경제적이며 장기간에 걸쳐 안정적인 취수량 확보가 가능한 공법개발이 필요함

나. 연구개발 필요성

(1) 일반수직정의 문제점을 고려한 기술개발 필요성

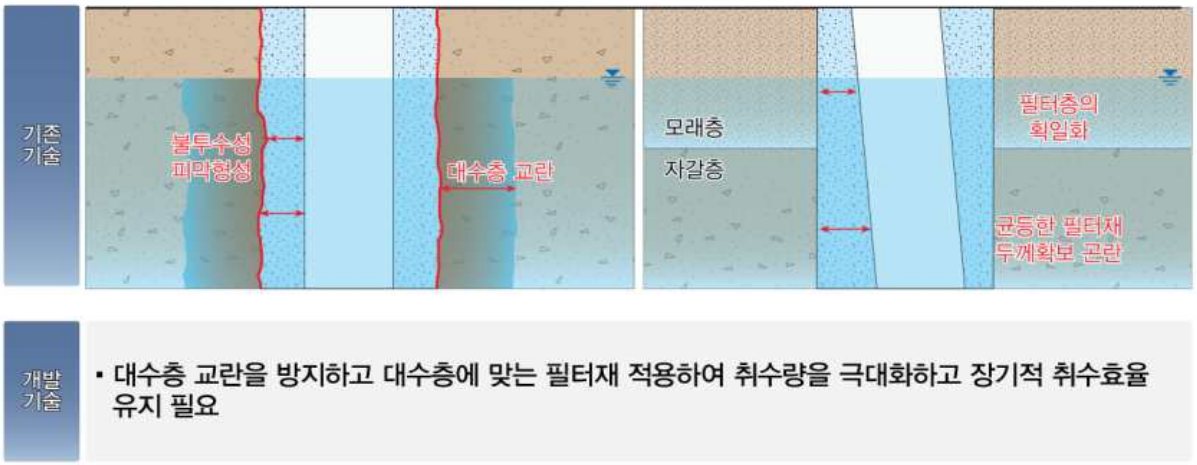
(가) 경제성 제고

- 일반수직정의 경우 비교적 경제적인 공법이나 장기적인 취수효율 유지를 위해 유지관리비용이 과다하게 발생할 수 있으며, 정호기능을 상실할 경우 재설치 과정에서 추가비용이 발생함
- 따라서 단위 취수량 대비 공사비용 및 유지관리 비용을 고려하여 일반수직정보다 양수효율 및 유지관리 측면에서 경제적인 공법개발 필요



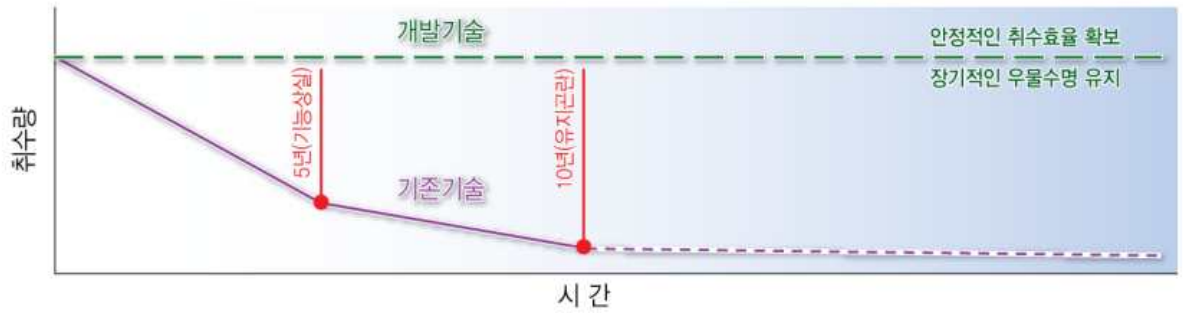
(나) 취수효율의 증대

- 일반수직정의 경우, 바버드릴을 사용하기 때문에 착정 과정에서 대수층의 교란 및 케이싱 주변 대수층에 불투수성 피막을 형성시켜 원활한 투수성 확보가 어렵고 취수정의 수직도 유지가 곤란하여 균등한 필터재 두께 확보 곤란
- 또한, 단일필터층을 적용하기 때문에 다양한 대수층의 입도에 맞는 필터재를 반영하지 못함
- 따라서 대수층 교란을 방지하고 입도가 다른 여러 대수층에 맞는 필터재를 적용하여 취수량을 극대화하고 장기적 취수효율 유지가 가능한 공법 개발 필요



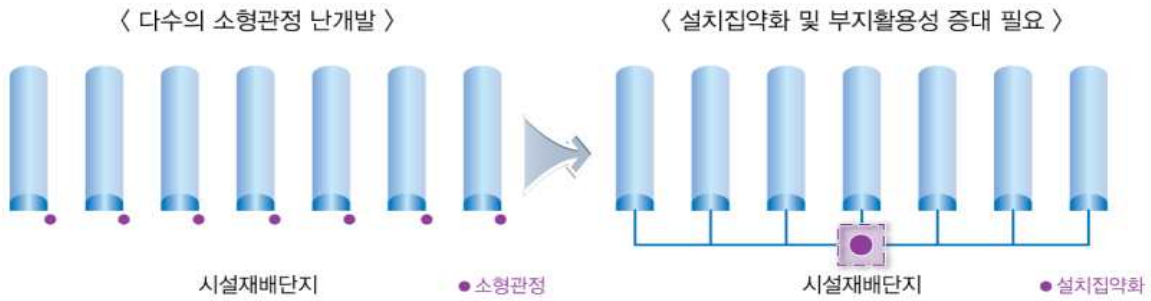
(다) 장기적인 안정성 확보

- 일반수직정의 경우, 시간경과에 따라 취수량이 급격히 저하되어 당초 목표 수량을 만족하지 못하는 경우가 대부분임
- 국내에서 개발·운영되고 있는 정호 수명은 일반적으로 10년 이상을 유지하기 어려움
- 특히, ϕ 400m/m 이하의 충적관정의 경우 경제성을 높이기 위해 설치비용을 최소화하는 방안으로 설계가 진행되고 있어 이에 따른 저급자재 사용 등으로 인하여 설치 후 시간경과에 따라 급격하게 양수효율이 저하되어 수명이 5년을 넘기지 못하는 사례가 빈번함
- 따라서 안정적인 취수효율이 확보된 상태에서 장기적인 우물수명을 유지할 수 있는 공법 개발이 필요함



(라) 취수시스템의 설치집약화 및 활용성 증대

- 기존에 분산되어 분포하는 다수의 소형관정을 집약화하여 관정설치 후에도 부지의 활용이 제한되는 등의 문제점을 해결할 필요성이 있음



(2) 방사상집수정의 문제점을 고려한 기술개발 필요성

(가) 경제성 제고

- 방사상집수정은 매우 고가의 시공방법으로 시공부지의 지층특성 등 현장 여건에 따라 다르지만 일반적으로 공당 30억원 이상의 많은 공사비가 소요됨
- 따라서 취수효율이 유지되면서도 경제성 개선이 가능한 공법개발 필요
- 동일 취수량을 대상으로 본 연구에서 개발하고자하는 이중필터 취수정공법을 적용할 경우, 방사상집수정 공사비의 약 20%로 방사상집수정의 취수효율을 달성할 것으로 기대됨

(나) 시공성 개선

- 방사상집수정은 공정이 까다롭고 공당 약 5개월의 시공기간이 소요되어 전체적인 집수정을 완성하기까지 많은 기간이 소요됨
- 또한, 수평취수관 설치후 필터재를 수평으로 부설하는 작업이 매우 어렵고 비록 필터재를 균등하게 부설한다고 해도 유지관리를 위한 써징작업 곤란
- 따라서 공정이 간단하면서 시공기간을 줄일 수 있는 시공성 개선 필요

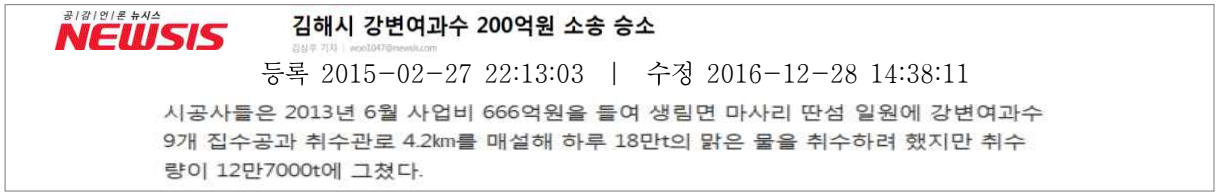


< 공법별 설치비용 대비 취수량 예측 >

(다) 취수량 확보 부담 개선

- 하천변 대규모 취수를 위한 공법 설계 시 다양한 지질조사를 통해 지층 및 지하수 유동특성을 파악하여 설계에 반영하고 이에 따라 시공을 하게 되나 시공 시에는 지질 및 지층의 불균질성 등으로 설계와 부분적으로 차이를 보일 수 있음
- 이러한 차이가 발생할 경우, 방사상집수정은 지층의 변화 또는 대수층 특성 변화에 능동적인 대응이 불가능함
- 실제 김해시 생림면의 생림취수장의 경우, 목표수량이 9개소 180,000㎥/일로 설계되었으나 시공은 계획수량 보다 많은 10개소가 설치되었고 시공후 취수량은 약 127,000㎥/일에 불과해 많은 비용을 투자하였음에도 불구하고 적정한 성과를 거두지 못하여 법정분쟁이 발생된 사례가 있음

• 따라서 지층 및 대수층 특성 변화에 능동적으로 대응하여 취수량 확보가 가능한 공법개발이 필요함


공|감|언|론 뉴시스 NEWSIS

김해시 강변여과수 200억원 소송 승소

등록 2015-02-27 22:13:03 | 수정 2016-12-28 14:38:11

시공사들은 2013년 6월 사업비 666억원을 들여 생림면 마사리 딴섬 일원에 강변여과수 9개 집수공과 취수관로 4.2㎞를 매설해 하루 18만t의 맑은 물을 취수하려 했지만 취수량이 12만7000t에 그쳤다.

(라) 문제발생시 대응이 가능한 공법 개발

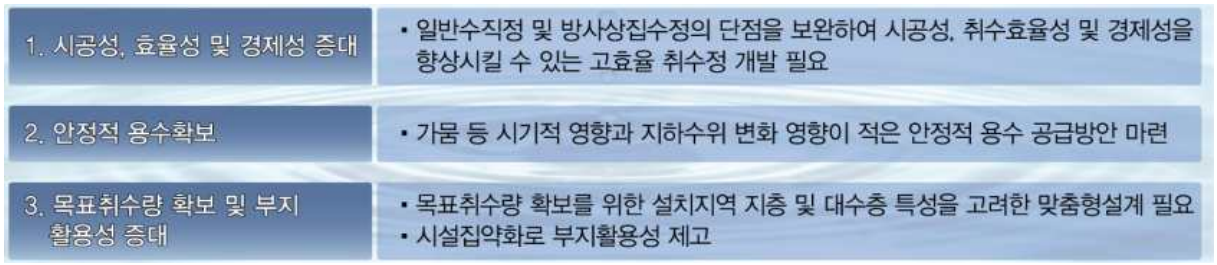
• 방사성집수정은 단일개소 당 취수용량이 크기 때문에 문제가 발생할 경우 계획 취수량 확보가 어려울 뿐만 아니라 문제 해결에 많은 시간이 소요됨

• 따라서, 부분적으로 문제가 발생하더라도 취수량 확보에 능동적인 대응이 가능하고 단시간 내에 해결할 수 있는 공법개발이 필요함

(3) 기술개발 필요성 종합 및 개발방안

• 강변여과수 개발에 주로 적용된 일반수직정과 방사상집수정의 다양한 문제점이 도출됨

• 따라서 일반수직정의 장점과 방사상집수정의 단점을 보완 및 개선할 수 있는 기술개발을 통해 보다 효율적이고 경제적이며 유지관리가 용이한 공법개발이 필요함



구 분	필 요 성
시공성, 효율성 및 경제성 증대	• 기존 소구경 충적 및 암반관정의 경우, 공당 취수능력은 평균 약 200㎥/일 내외로 취수 효율성이 낮고 취수정의 수명이 짧아 장기적으로 볼 때, 경제성이 떨어짐 • 방사상집수정(우물통)의 경우, 시공이 복잡하고 시공기간이 길며 장기간 운영이 가능하다 할지라도 높은 설치비의 영향으로 경제성이 낮음 • 따라서 취수 효율성 및 경제성을 향상시킬 수 있는 공법개발이 필요함
안정적 용수공급 방안 및 우물 수명증대	• 반복되는 계절적 가뭄과 무분별한 지하수개발로 인해 지하수위가 고갈되어 수막용수 사용이 중단되는 사례가 발생함 • 대부분의 지하수관정은 스크린과 스크린 주변에 분포된 대수층의 공극 내에 피각현상(incrustation)이나 유로가 막히는 현상(clogging)이 발생하여 시간경과에 따라 취수효율이 급격히 떨어지고 이에 따라 관정수명이 짧아짐 • 또한, 방사상집수정의 경우에서도 필터재를 수평으로 부설이 어렵고 장기적인 유지관리를 위한 써징작업 곤란 • 따라서 기존 문제점을 개선하여 사용기간에 관계없이 지속적·안정적이고 반영구적인 우물수명을 유지할 수 있는 공법개발이 필요함
목표취수량 확보 및 부지활용성 증대	• 지층 및 대수층 특성 변화에 능동적으로 대응하여 취수량 확보가 가능한 공법개발이 필요함 • 취수효율을 높여 집약화하여 부지 활용이 제한되는 등의 문제점 해결 필요

다. 연구개발 범위

(1) 보유기술의 개선

- 지층에 따른 필터재의 층위, 두께변화에 따른 최적 이중필터취수정 개발
- 이중필터취수정에서의 필터재 진동 다짐기술 개발과 적용성 확인 및 취수효율 평가
- 이중필터취수정에서의 에어써징기술 개발과 적용성 확인 및 취수효율 평가
- 이중필터 설치기술과 진동다짐기술, 에어써징 기술을 결합한 이중필터 강변(해변)여과수 취수기술 개발

(2) 실내/현장 실증시험 및 수치모의를 통한 검증과 논문게재, 지적재산권 취득

- 실내시험 및 현장실증시험을 통한 개발기술의 우수성 및 적용성 검증
- 실내/현장시험 결과를 바탕으로 한 수치해석 및 모델링을 기초로 단일필터 대비 이중필터의 성능 및 효과를 검증, 최적 설계방안 도출 및 장기적 안정성 평가
- 추가적인 특허, 신기술 출원 및 등록

(3) 테스트베드 구축 및 실규모 검증을 통한 기술수준 향상

- 테스트베드 설계, 구축 및 운영매뉴얼 개발
- 지층구성이 다른 테스트베드를 선정하고 각 테스트베드에서 실규모의 실증시험을 수행 및 기술보완

(4) 설계 및 시공기술 표준화

- 표준화된 설계서(설계도면 및 사양서 등)와 체계적이고 구체적인 시공을 위한 시방서 기준 수립

(5) 현장적용 효과

- 기술개발 결과물의 현장 시험적용
- 기술개발 결과물에 대한 수요자의 요구 만족도 측정(설문조사 등)

(6) 비용절감 효과 분석 및 사업화

- 취수용량 대비 공사비용 및 유지보수비용 절감효과 분석
- LCC 절감 효과 분석
- 기술실시권 확보와 정량화되어 검증된 개발기술을 가지고 관련기관에 홍보하여 사업화 추진

2. 연구수행내용 및 성과

2-1 주요 연구내용 및 수행절차

가. 주요 연구내용

- 1차년도는 부지특성조사, 실내모형시험, 모델링 위주로 구성하였으며, 2차년도는 Site 1의 현장실증시험 위주로 연구계획을 수립
- 3차년도는 Site 2에 대한 실증시험을 수행하고 최종성과를 토대로 사업화 기반을 마련하는데 주안점을 둠

Table 1. Research objective and major research contents of 1st year

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	•대수층별 필터재의 층위, 두께변화에 따른 최적 이중필터취수정 개발	•관련자료 수집 및 분석 •실내모형시험 장치제작 •지층별, 층위변화, 필터층 두께변화에 대한 실내시험 수행
	•이중필터취수정에서의 필터재 진동다짐기술 개발과 적용성 확인 및 효율평가	•실내모형시험 장치제작 •실내모형시험을 통한 필터재 다짐효율 평가
	•이중필터취수정에서의 에어써징기술 개발과 적용성 확인 및 효율평가(실내시험)	•실내모형시험 장치제작 •실내모형시험을 통한 에어써징 효율 평가
	•실내모형시험을 통한 개발기술의 적용성 검증	•각 항목별 연구성과 분석 및 최적 적용방안에 대한 설계인자 도출
	•수치모의에 의한 제품의 성능분석 및 개선안 도출	•최적 적용방안에 대한 수치모의 •시험공 간격 등 현장 설계인자 확보
	•테스트베드 선정 및 조사분석(Site 1)	•실증시험부지 선정(Site 1) •실증시험부지에 대한 지반조사(시추조사, 입도분석) •수질분석
	•테스트베드 설계, 운영매뉴얼 개발	•현장시험 모델정립(Site 1) •테스트베드 설계(이중필터취수정 및 비교공을 포함한 시험부지 제반설계) •1차년도 성과를 토대로 운영매뉴얼 개발
	•논문 및 지식재산권 등록	•특허출원 •관련논문 작성 및 게재

Table 2. Research objective and major research contents of 2st year

연차	연구목표	주요연구내용
2차년도	•시험공 착정 및 설치(Site 1)	•테스트부지(Site 1) 내 이중필터취수정 및 비교공 착정
	•실규모 실증시험을 수행 및 기술보완	•각 시험공별 현장시험(단기/장기 양수시험 등) 수행 •시료채취 및 분석
	•취수정별 현장실증시험을 통한 개발기술의 적용성 검증(Site 1)	•각 시험공별 초기 취수효율 평가 •장기운영에 따른 취수량 변화분석
	•이중필터취수정에서의 에어써징 기술 개발과 적용성 확인 및 효율평가(Site 1)	•현장시험 장치제작 •현장시험을 통한 에어써징 효율 평가
	•현장시험(Site 1) 결과를 바탕으로 한 수치해석을 기초로 효과검증 및 장기적 안정성 평가	•수치해석을 통한 단일필터 대비 이중필터의 효과 분석 •필터재의 두께증가로 인한 효과 분석 •모델링을 통한 단일필터취수정 대비 장기적인 안정성 평가
	•테스트베드 선정 및 조사분석(Site 2)	•실증시험부지 선정(Site 2) •실증시험부지에 대한 지반조사(시추조사, 입도분석) •수질분석
	•기술보완 및 테스트베드 설계(Site 2)	•기술보완을 통한 현장시험(Site 2) 모델정립 •테스트베드 설계(이중필터취수정 및 비교공을 포함한 시험부지 제반설계) •2차년도 성과를 토대로 운영매뉴얼 보완
	•기술개발 결과물의 현장적용	•적용대상 선정 •Site 1의 이중필터취수정 현장 시범적용
	•논문 및 지식재산권 등록	•특허출원 •관련논문 작성 및 게재

Table 3. Research objective and major research contents of 3st year

연차	연구목표	주요연구내용
3차년도	•시험공 착정 및 설치(Site 2)	•테스트부지(Site 2) 내 이중필터취수정 및 비교공 착정
	•실규모의 실증시험을 수행 및 기술보완	•각 시험공별 현장시험(단기/장기 양수시험 등) 수행 •시료채취 및 분석
	•취수정별 현장실증시험을 통한 개발기술의 적용성 검증(Site 2)	•각 시험공별 초기 취수효율 평가 •장기운영에 따른 취수량 변화분석
	•이중필터취수정에서의 에어써징기술 개발과 적용성 확인 및 효율평가(Site 2)	•현장시험 장치제작 •현장시험을 통한 에어써징 효율 평가
	•현장시험(Site 1) 결과를 바탕으로 한 수치해석을 기초로 효과검증 및 장기적 안정성 평가	•수치해석을 통한 단일필터 대비 이중필터의 효과 분석 •필터재의 두께증가로 인한 효과 분석 •모델링을 통한 단일필터취수정 대비 장기적인 안정성 평가
	•표준화된 설계서(설계도면 및 사양서 등)와 구체적이고 체계적인 시공을 위한 시방서 신규개발	•최종 연구성과를 종합하여 설계서, 내역서, 제품사양서, 시방서 표준화
	•기술개발 결과물의 현장적용	•적용대상 선정 •Site 2의 이중필터취수정 현장 시범적용
	•기술개발 결과물에 대한 수요자의 요구 만족도 측정	•수요자 만족도 조사(설문조사 등)
	•취수용량 대비 공사비용 및 유지보수비용 절감효과 분석	•공사비용 절감효과 평가 •최상의 운전상태로 유지하기 위한 각 장치의 시험, 조정, 수리, 복구 등에 필요한 유지관리비용 절감효과 평가
	•LCC 절감 효과 분석	•기획, 설계, 설치, 운영, 제거, 소멸에 이르는 생애주기별 LCC 비용 절감액 산정
	•논문 및 지식재산권 등록	•신기술 신청 및 등록 •관련논문 작성 및 게재
	•사업화 추진	•기술실시 계약

나. 수행절차



Fig 1. Flow chart of task

2-2 실내모형시험(1차년도)

가. 단기 실내모형실험 개요

(1) 연구목적

- 1차년도 연구는 토층으로 이루어진 자유면대수층에서 필터조건에 따른 우물의 취수량 및 효율과의 상관관계를 평가하기 위하여 수행
- 이를 위하여 입도가 다른 충적층(모래층, 자갈층) 조건에 다양한 필터조건을 형성시킨 모형시험장치를 제작한 후 단계양수시험을 수행하고 그 결과를 분석하여 상관관계를 평가
- 또한, 단일필터층과 이중필터층의 비교, 이중필터층의 층위 및 필터층의 두께에 대한 평가 뿐 아니라 각각의 조건에 따른 취수량과 우물효율, 투수계수와의 연관성을 도출

(2) 시험조건

- 시험장치는 안정적으로 용수를 공급하기 위한 용수공급조, 강변의 대수층을 모사하는 시험조, 시험조의 스크린을 통해 지하수를 배출하는 배수펌프, 배수펌프를 통하여 배출되는 물의 양을 측정하기 위한 유량계, 필터층 형성을 위한 원형 케이싱으로 구성
- 펌프 배관에 밸브를 장착, 시험조에서 유출되는 유량을 조절하여 시험조의 물의 수위가 일정하게 유지될 수 있도록 하였으며, 시험조에 유입된 물이 필터층을 지나 스크린을 통해 배출될 때 시간에 따른 유량의 변화를 관찰하기 위하여 유량계를 설치
- 유량계를 통해 유출된 용수는 시험조 용수공급부로 재공급 되도록 배관을 설치
- 또한, 용수공급이 부족 할 경우를 대비하여 용수공급조를 추가 설치하여 부족한 용수를 공급하도록 계획하였으며, 용수공급이 과다할 경우를 대비하여 시험조에 수위유지선 높이에 유출배관을 설치
- 이중필터를 적용하여 실험하는 경우 필터재의 두께는 총 30cm로 설정하였으며, 단일필터의 경우 필터재의 두께는 10cm와 30cm를 적용
- 관측정1은 취수정에서 60cm 이격하여 설치하였으며, 관측정2는 100cm 이격하여 설치하였다. 원수유입관 지점의 지하수위는 항상 65cm를 유지하도록 설계

Table 4. Device composition and standard of laboratory model test

Device composition	Standard
Water suply tank	•External dimension : 2.4x1.2x1.3m(Iron)
Pump	•Diameter : D32mm, Pumping rate : Maximum 150L/min
Test set	•External dimension 2.0m(L) × 1.3m(W) × 0.8m(H)
Screen	•Dimension Ø75mm × 0.8m(H), Slot width : 0.8mm, Openings 35%
Filter layer making plate	•Thickness : 2mm, Hight : 0.8m •Diameter : Ø275mm, Ø375mm, Ø475mm, Ø675mm
Filter	•Filter Sand : D0.8~2.0mm, Filter Gravel : D2.0~5.0mm
Water Level Meter	•D22mm x H129mm, Accuracy : ±0.05%
Barometer	•D22mm x H129mm, Accuracy : ±0.05%
Ultrasonic Flow Meter	•Sensor range : 15~100mm, Accuracy : ±1%

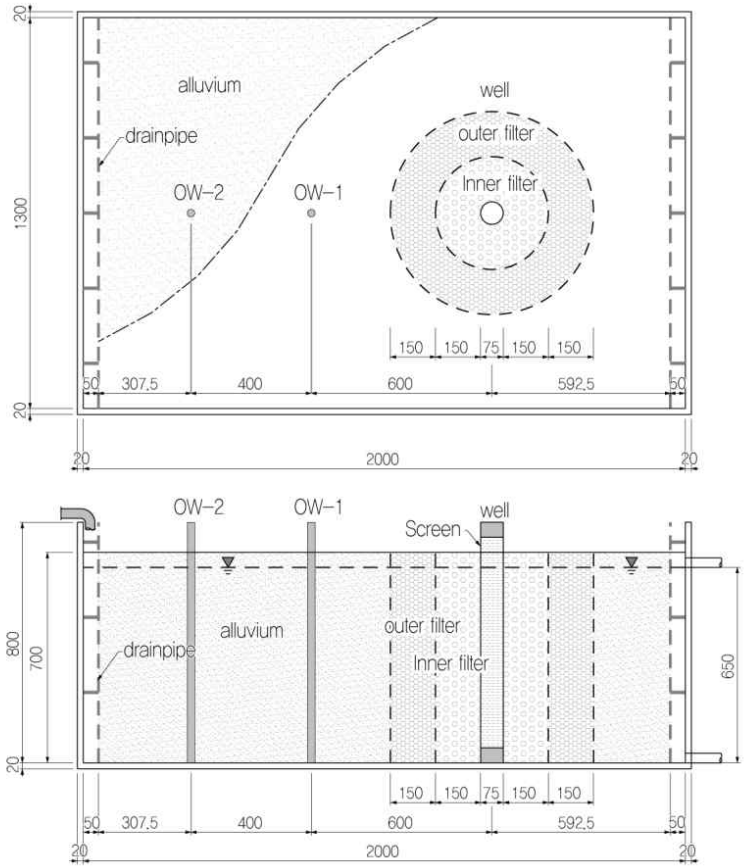


Fig 2. General drawing of testing set(Case of dual filter)

- 대수성시험은 단계대수성시험을 수행하였으며, 각 시험조에서 단계별 소요시간은 1시간으로 총 소요시간은 5시간으로 설정

Table 5. Condition of laboratory model test

Formation	Filter type	Test No.	Filter Condition				Test time (hr)
			Internal		External		
			type	Thickness (mm)	type	Thickness (mm)	
Sand formation	Dual	SDS-1	gravel	150	sand	150	1hr × 5step
		SDS-2	sand	150	gravel	150	
		SDS-3	gravel	200	sand	100	
		SDS-4	gravel	100	sand	200	
	Single	SSS-1	sand	300	-	-	
		SSS-2	gravel	300	-	-	
		SSS-3	sand	100	-	-	
Gravel formation	Dual	GDS-1	gravel	150	sand	150	1hr × 5step
		GDS-2	sand	150	gravel	150	
		GDS-3	gravel	200	sand	100	
		GDS-4	gravel	100	sand	200	
	Single	GSS-1	sand	300	-	-	
		GSS-2	gravel	300	-	-	
		GSS-3	sand	100	-	-	

나. 단기 실내모형시험 성과분석

(1) 투수계수 평가결과

- 모래층에서 필터층의 두께가 30cm로 동일한 단일필터의 경우 필터재 입도가 작은 경우가 필터재 입도가 큰 경우에 비해 투수성이 높게 나타남. 기존기술을 모사한 SSS-3과 비교할 때, 내·외부 필터 두께가 동일한 SDS-1은 143.8%, 가장 투수성이 높게 평가된 SDS-3은 168.7% 높은 투수성을 나타내는 것으로 평가됨
- 자갈층에서도 모래층과 마찬가지로 이중필터가 투수성이 양호한 것으로 평가됨. 필터재 두께가 같은 단일필터와 이중필터를 비교하면, 이중필터(GDS-3)가 단일필터(GSS-1,2) 대비 109.1~111.7% 높은 것으로 평가됨
- 기존기술을 모사한 GSS-3과 비교할 때, 내·외부 필터 두께가 동일한 GDS-1은 143.9%, 가장 투수성이 높게 평가된 GDS-3은 146.6% 높은 투수성을 나타내는 것으로 평가됨
- 필터재의 층위 및 두께에 따른 투수특성의 변화양상을 볼 때, 지반의 불균질성에 의한 영향을 감안하더라도 외부필터재가 모래, 내부필터재가 자갈로 형성하는 것이 수리특성 향상에 보다 유리한 것으로 평가되었으며, 내부필터재의 두께가 더 두꺼운 경우에 보다 좋은 결과를 나타내고 있음을 확인

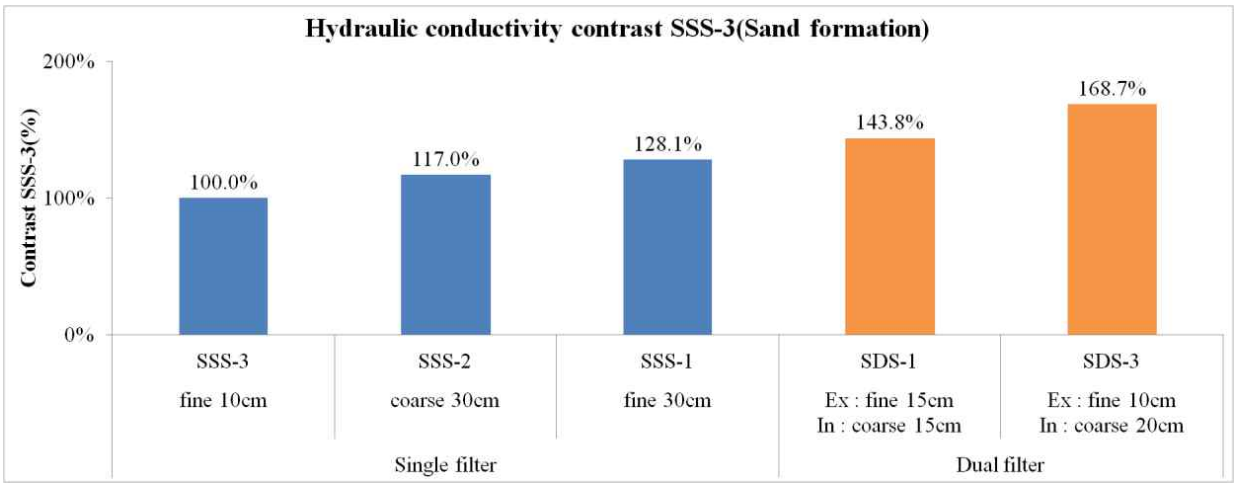


Fig 3. Hydraulic conductivity contrast SSS-3 in sand formation

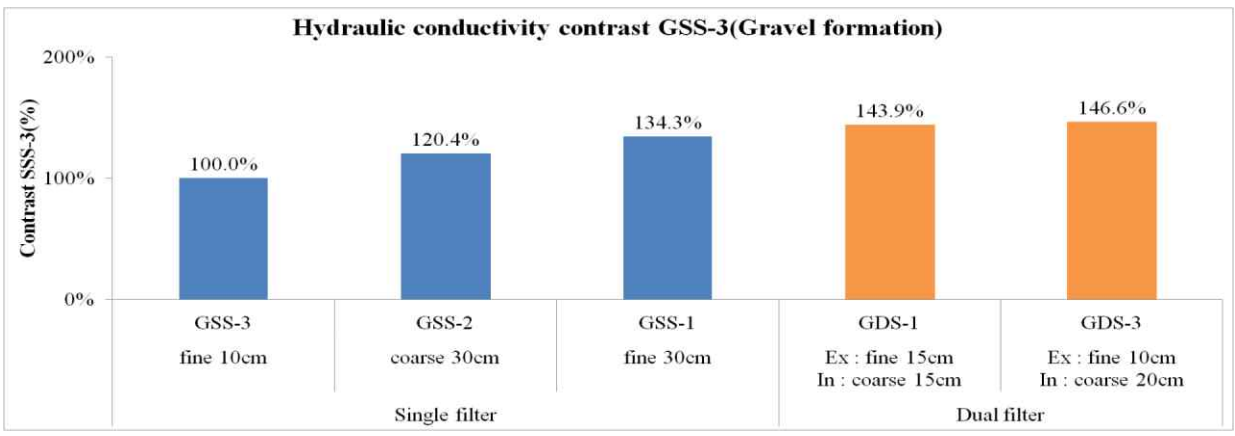


Fig 4. Hydraulic conductivity contrast GSS-3 in gravel formation

(2) 적정양수량 평가

- 모래층에서의 단일필터와 내측필터재가 입도가 큰 입자로 구성된 이중필터의 적정양수량을 평가하면, 단일필터에 비해 이중필터에서 적정양수량이 상대적으로 높게 평가됨
- 필터두께가 30cm로 동일한 단일필터에서 필터재 입도에 따른 적정양수량의 변화 경향성이 뚜렷하지 않음
- 기존기술을 모사한 SSS-3과 비교할 때, 내·외부 필터 두께가 동일한 SDS-1에서 적정양수량이 168.2%로 향상되었으며, SDS-3의 경우 최대 201.6%의 양수효율을 보임

Table 6. Average Optimum yield for dual and single filter in sand formation

Sand formation	No.	Thickness(cm)		Ave. Optimum yield(L/min)	Contrast SSS-3(%)
		Ex	In		
Dual filter	SDS-1	15cm(fine)	15cm(coarse)	20.77	168.2
	SDS-3	10cm(fine)	20cm(coarse)	24.90	201.6
Silgle filter	SSS-1	-	30cm(fine)	19.43	157.3
	SSS-2	-	30cm(coarse)	19.26	155.9
	SSS-3	-	10cm(fine)	12.35	100.0

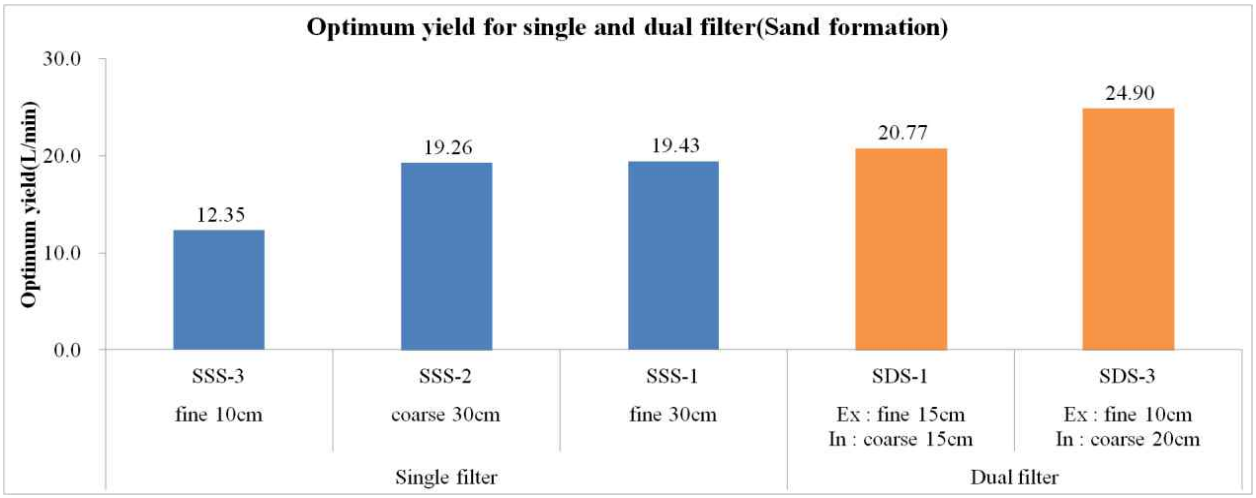


Fig 5. Comparison of Optimum yield for single and dual filter in sand formation

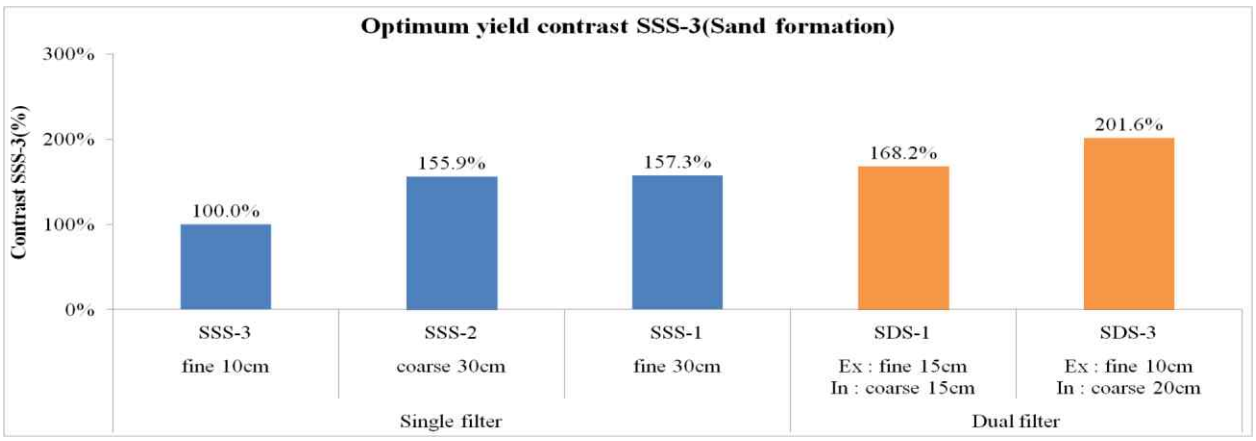


Fig 6. Optimum yield contrast SSS-3 in sand formation

- 자갈층에서도 모래층과 마찬가지로 이중필터가 적정양수량이 양호한 것으로 평가됨
- 필터층의 두께가 30cm로 동일한 단일필터의 경우 필터재 입도가 작은 경우가 필터재 입도가 큰 경우에 비해 적정양수량이 높게 나타남
- 필터재 두께가 같은 단일필터와 이중필터를 비교하면, 이중필터(GDS-3)가 단일필터(GSS-1,2) 대비 130.7~144.8% 적정양수량이 향상되는 것으로 평가됨
- 기존기술을 모사한 GSS-3과 비교할 때, 내·외부 필터 두께가 동일한 GDS-1은 175.7% 적정양수량이 향상되는 것으로 평가되었으며, GDS-3의 경우 최대 182.4%의 양수효율을 보임

Table 7. Average Optimum yield for dual and single filter in gravel formation

Sand formation	No.	Thickness(cm)		Ave. Optimum yield(L/min)	Contrast SSS-3(%)
		Ex	In		
Dual filter	GDS-1	15cm(fine)	15cm(coarse)	78.83	175.7
	GDS-3	10cm(fine)	20cm(coarse)	81.86	182.4
Silgle filter	GSS-1	-	30cm(fine)	62.62	139.5
	GSS-2	-	30cm(coarse)	56.52	126.0
	GSS-3	-	10cm(fine)	44.87	100.0

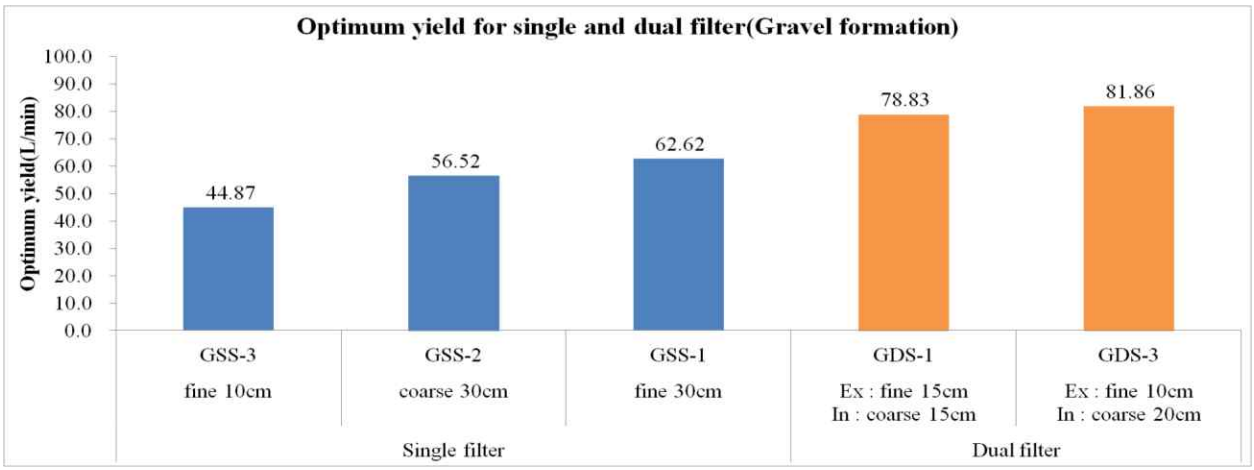


Fig 7. Comparison of Optimum yield for single and dual filter in gravel formation

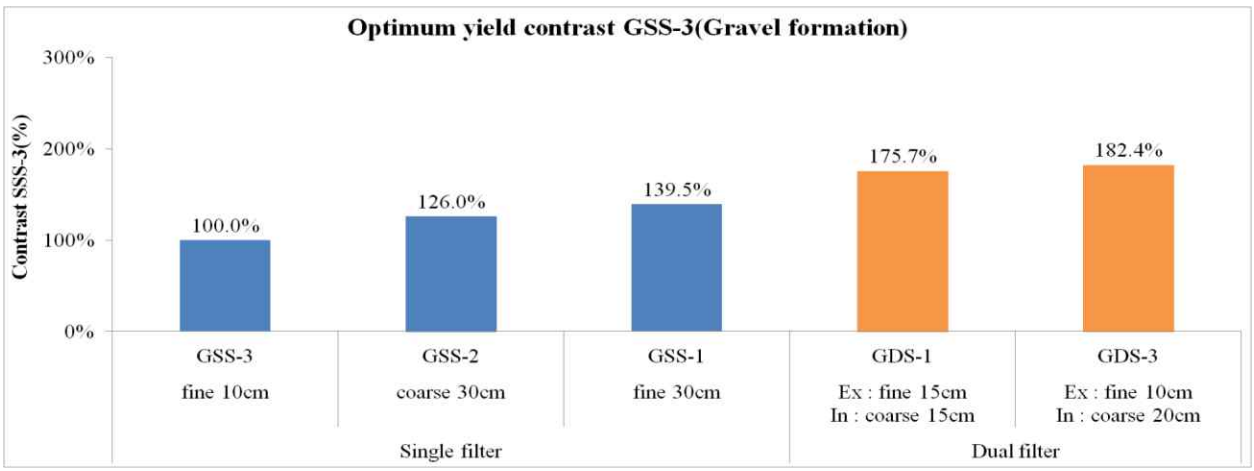


Fig 8. Optimum yield contrast GSS-3 in gravel formation

(3) 우물효율 평가

- 모래층에서 기존기술을 모사한 SSS-3과 비교할 때, 내·외부 필터 두께가 동일한 SDS-1에서 우물효율이 126.7% 향상되는 것으로 평가되었으며, SDS-3의 경우 최대 133.2%의 우물효율을 보이는 것으로 평가됨
- 우물효율의 평가결과를 볼 때, 필터층 두께가 작으면 우물효율이 급격히 저하되는 특징을 보이며, 필터층 두께가 30cm로 동일한 경우 단일필터와 이중필터의 차이는 크지 않은 것으로 평가됨

Table 8. Average well efficiency for dual and single filter in sand formation

Sand formation	No.	Thickness(cm)		Well efficiency(%)	Contrast SSS-3(%)
		Ex	In		
Dual filter	SDS-1	15cm(fine)	15cm(coarse)	63.8	126.7
	SDS-3	10cm(fine)	20cm(coarse)	70.4	133.2
Silgle filter	SSS-1	-	30cm(fine)	66.9	129.8
	SSS-2	-	30cm(coarse)	63.7	126.5
	SSS-3	-	10cm(fine)	37.1	100.0

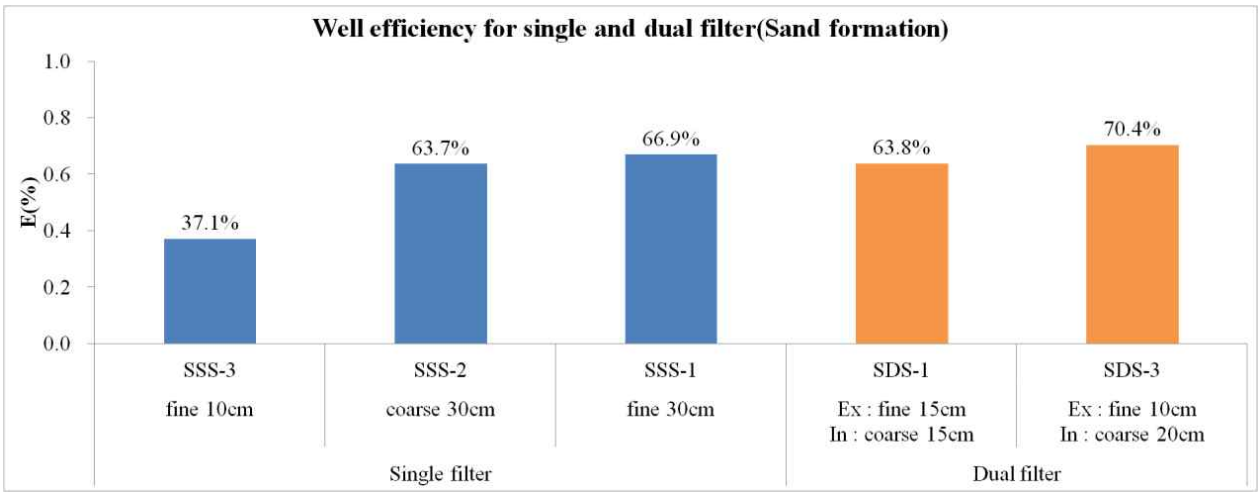


Fig 9. Comparison of well efficiency for single and dual filter in sand formation

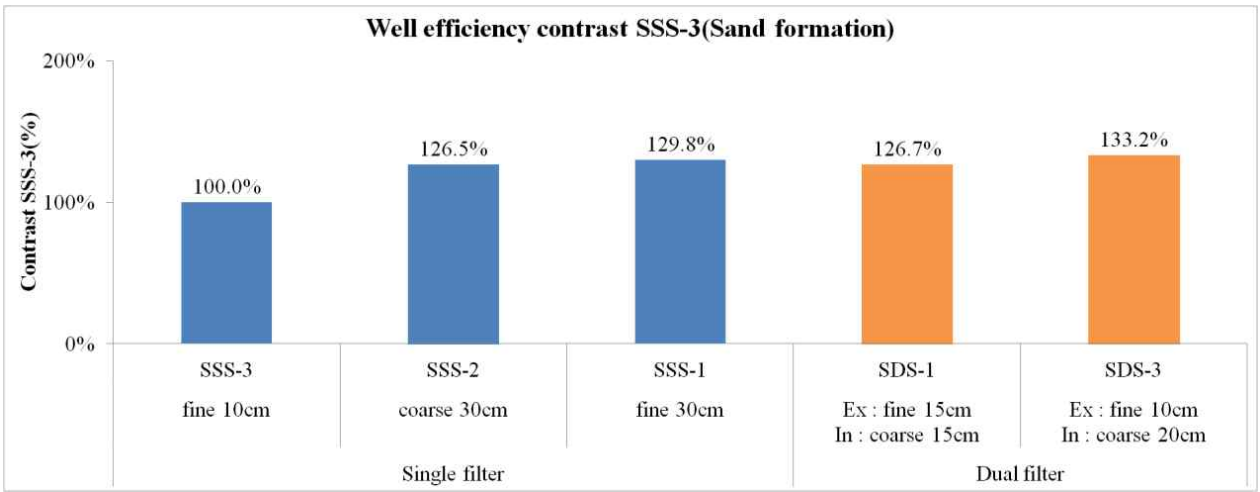


Fig 10. Well efficiency contrast SSS-3 in sand formation

- 자갈층에서 기존기술을 모사한 SSS-3과 비교할 때, 내·외부 필터 두께가 동일한 SDS-1에서 우물효율이 144.0%로 향상효과가 가장 컸으며, SDS-3의 경우에도 131.6%의 우물효율 향상효과가 있는 것으로 평가됨
- 우물효율의 평가결과를 볼 때, 모래층에서와 마찬가지로 필터층의 두께가 10cm 정도로 작으면 우물효율이 급격히 저하되는 특징을 보이며, 필터층 두께가 30cm로 동일한 경우 단일필터와 이중필터의 차이는 크지 않은 것으로 평가됨

Table 9. Average well efficiency for dual and single filter in gravel formation

Gravel formation	No.	Thickness(cm)		Well efficiency(%)	Contrast SSS-3(%)
		Ex	In		
Dual filter	GDS-1	15cm(fine)	15cm(coarse)	66.5	144.0
	GDS-3	10cm(fine)	20cm(coarse)	54.2	131.6
Silgle filter	GSS-1	-	30cm(fine)	48.5	125.9
	GSS-2	-	30cm(coarse)	60.6	138.0
	GSS-3	-	10cm(fine)	22.5	100.0

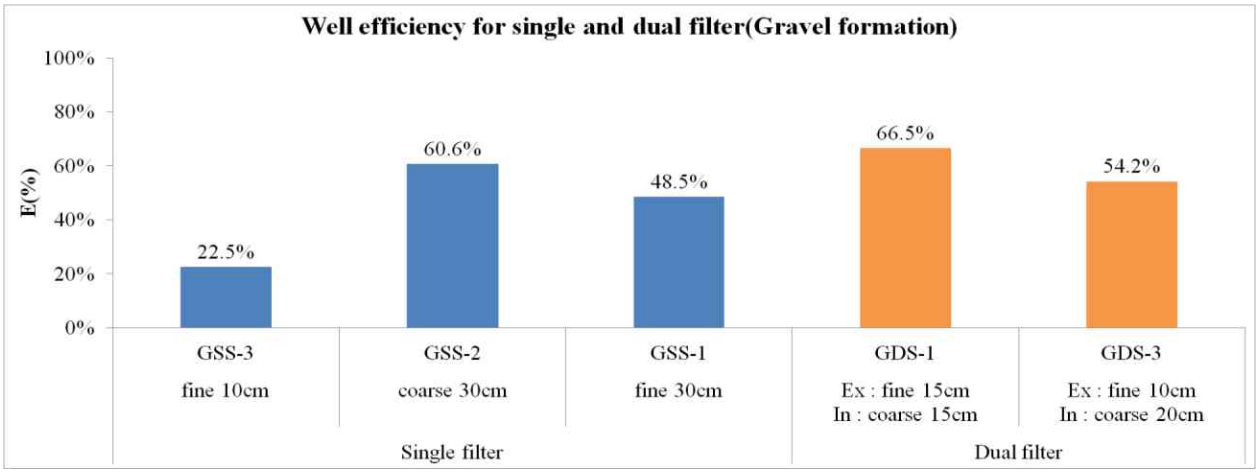


Fig 11. Comparison of well efficiency for single and dual filter in gravel formation

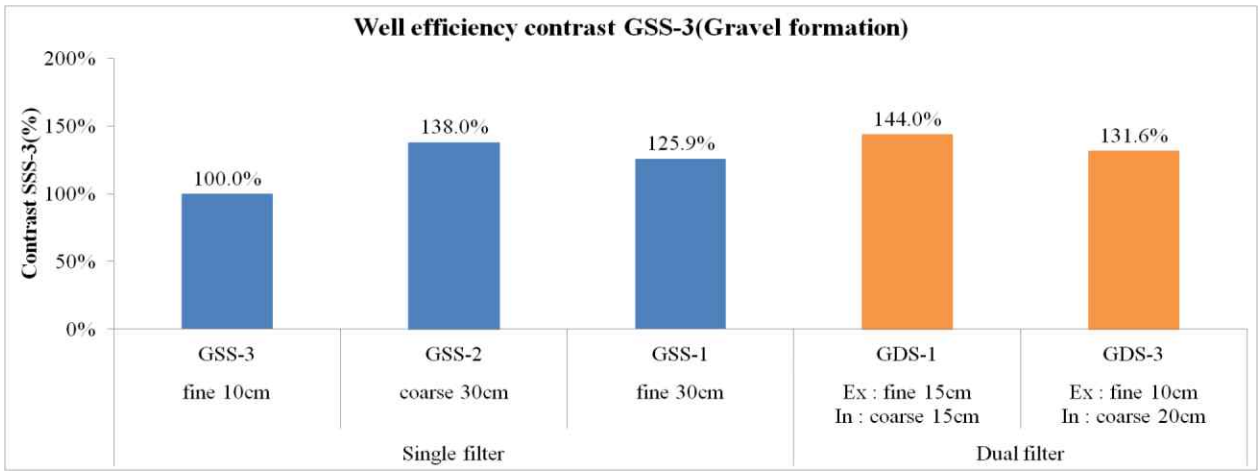


Fig 12. Well efficiency contrast GSS-3 in gravel formation

(4) 진동다짐 성과분석

- 지하수 존재할 때가 없을 때 보다 외측 여과사의 다짐율은 평균 20.3%(15.7~23.9%) 증가하고, 내측 여과사리의 다짐율은 평균 49.2%(44.2~64.5%) 증가함
- 외부필터의 경우 진동강도 150kgf로도 다짐율이 5% 이상 개선되는 것으로 파악되었으나 내측필터의 경우에는 300kgf 이상을 유지하여야 5% 이상 다짐율이 개선되는 것으로 평가됨
- 따라서, 실내모형시험 성과에서 가장 다짐율이 좋게 나타나는 진동강도 450kgf를 현장에 적용하는 것이 바람직하며, 지하수가 분포하는 지역에 필터층을 설치하는 본 기술의 특성상 다짐율은 내측 8.33%, 외측 11.33%로 평가됨

Table 10. Accumulative settlement and compacting efficiency based on vibration compacting test

구 분	시험 단계	진동강도 (kgf)	진동 시간 (min)	외측(여과사)		내측(여과사리)	
				누적침하량 (mm)	다 짐 율 (%)	누적침하량 (mm)	다 짐 율 (%)
지하수 미분포	1단계	150	10	51	5.67%	31	3.44%
	2단계	300	10	71	7.89%	45	5.00%
	3단계	450	10	85	9.44%	52	5.78%
지하수 분포	1단계	150	10	59	6.56%	51	5.67%
	2단계	300	10	88	9.78%	65	7.22%
	3단계	450	10	102	11.33%	75	8.33%

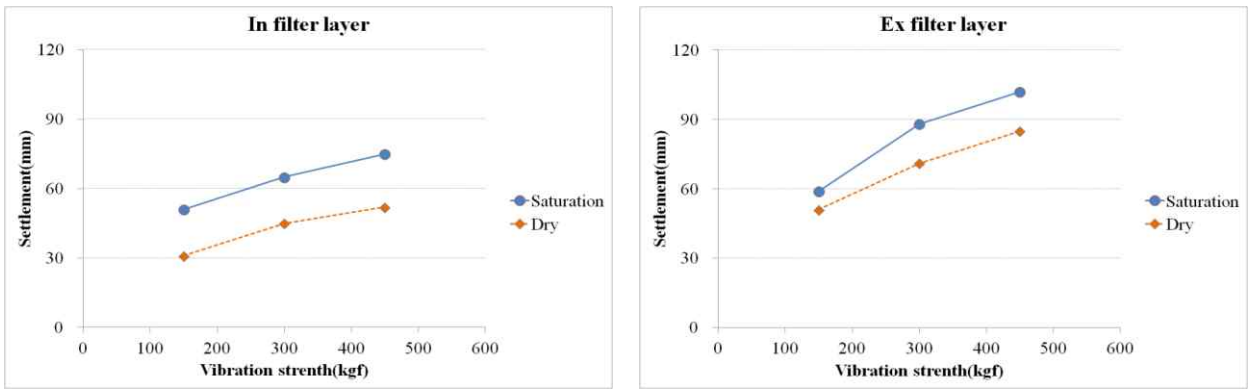


Fig 13. Relationship of vibration strength(kgf) and settlement(mm)

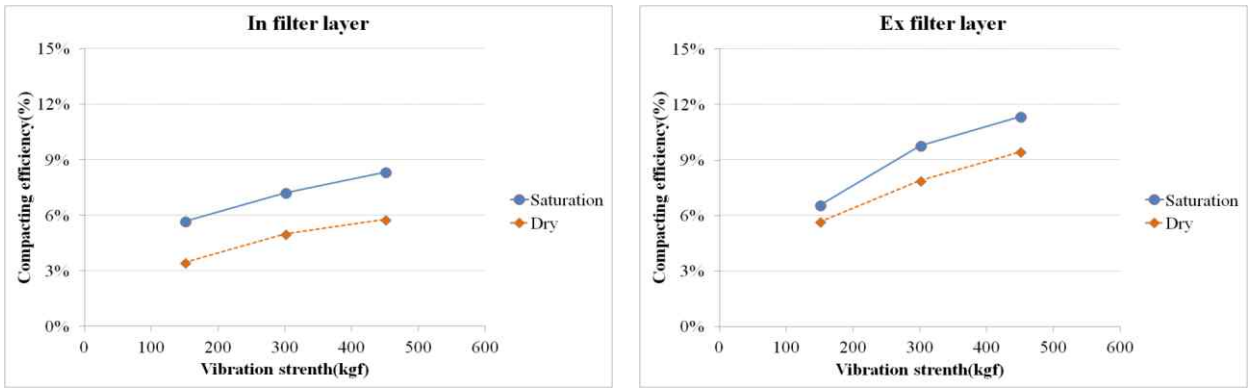


Fig 14. Relationship of vibration strength(kgf) and compacting efficiency(%)

(5) 에어써징 성과분석

- 써징 및 양수시의 탁도를 분석한 결과 일반적으로 써징 시점에서 높은 탁도를 보이고 있으며, 써징이 종료되고 양수를 수행하는 과정에서 지속적으로 탁도가 낮아지는 것으로 평가됨
- 본 시험에서 최적의 에어써징 조건은 10kgf/㎠으로 평가됨
- 그러나 실제 현장적용시에는 굴착심도나 지하수위가 차이가 있으므로 지하수위 하부 1m당 0.1kgf/㎠씩 증가시켜야 본 시험과 동일한 효과를 발휘할 수 있을 것으로 판단됨

Table 11. Yield efficiency based on air surging test

	Measure	Operation time(min)	Pressure (kgf/㎠)	Turbidity (NTU)	Yield (L/min)	Yield efficiency (Contrast Initial)
Before Suging (Initial)	Start pumping	30	–	223	24.78	–
	Stop pumping			135		
1 Step Air surging	Start surging	30	5	307	32.14	129.7%
	Stop surging			135		
	Stop pumping	30	–	83		
2 Step Air surging	Start surging	30	10	369	40.82	164.7%
	Stop surging			255		
	Stop pumping	30	–	138		
3 Step Air surging	Start surging	30	15	255	36.12	145.8%
	Stop surging			376		
	Stop pumping	30	–	98		

Table 12. Optimum surging pressure on ground water level

Surging depth	GW-10m	GW-15m	GW-20m	GW-25m	GW-30m	GW-40m
Optimum pressure(kgf/㎠)	11	11.5	12.0	12.5	13.0	14.0

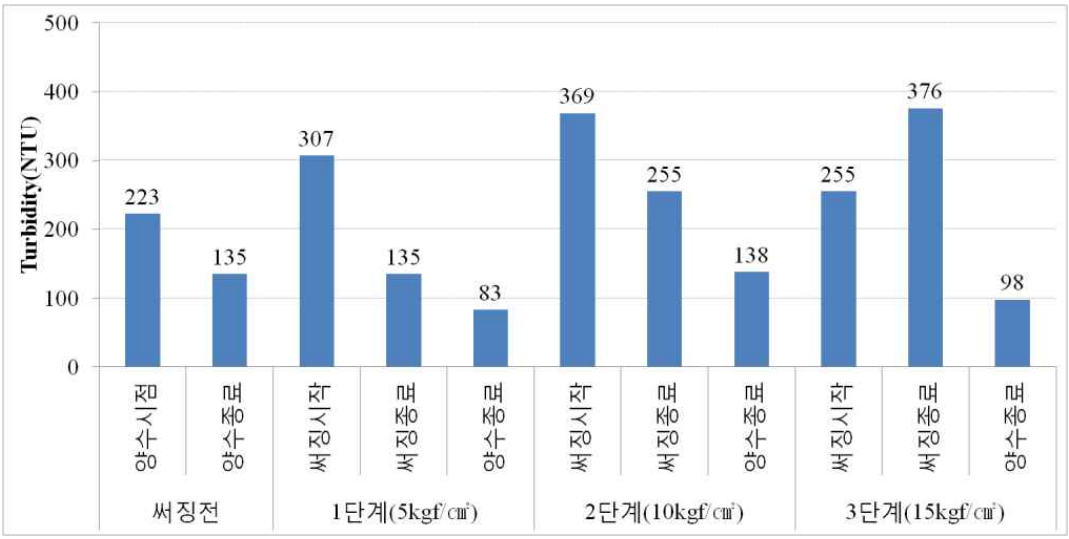


Fig 15. Turbidity variation for each step3

다. 장기 실내모형시험 개요

(1) 연구목적

- 단일필터 대비 이중필터의 초기 취수량 평가
- 각 지층별 단일필터와 이중필터의 장기적인 취수량 변화 검토
- 기존기술(단일필터) 대비 개발기술(이중필터)의 초기 및 장기적 취수효율 평가

(2) 시험조건

- 장치구성은 안정적으로 용수를 공급하기 위한 용수공급조, 강변의 대수층을 모사하는 시험조, 시험조의 스크린을통해 지하수를 배출하는 배수펌프, 배수펌프를 통하여 배출되는 물의 양을 측정하기 위한 유량계, 필터층 형성을 위한 원형케이싱(철판)으로 구성됨
- 펌프 배관에 밸브를 장착, 시험조에서 유출되는 유량을 조절하여 시험조의 물의 수위가 일정하게 유지될 수 있도록 하였으며, 시험조에 유입된 물이 필터층을 지나 스크린을 통해 배출될 때 시간에 따른 유량의 변화를 관찰하기 위하여 유량계를 설치함
- 유량계를 지난 유출된 용수는 시험조 용수공급부로 재공급 되도록 배관설치
- 용수공급이 부족 할 경우를 대비하여 용수공급조를 추가 설치하여 부족한 용수를 공급하도록 계획하였으며, 용수공급이 과다할 경우를 대비하여 시험조에 수위유지선 높이에 유출배관을 설치하여 계획된 지하수위를 유지하도록 계획함

(3) 장치구성


수조제작


선별 및 배합


중량셋팅


필터재 설치


대수층 설치


케이싱 인발


수조 셋팅 완료


부대장치 설치


모형시험

Fig 16. Photograph of testing set

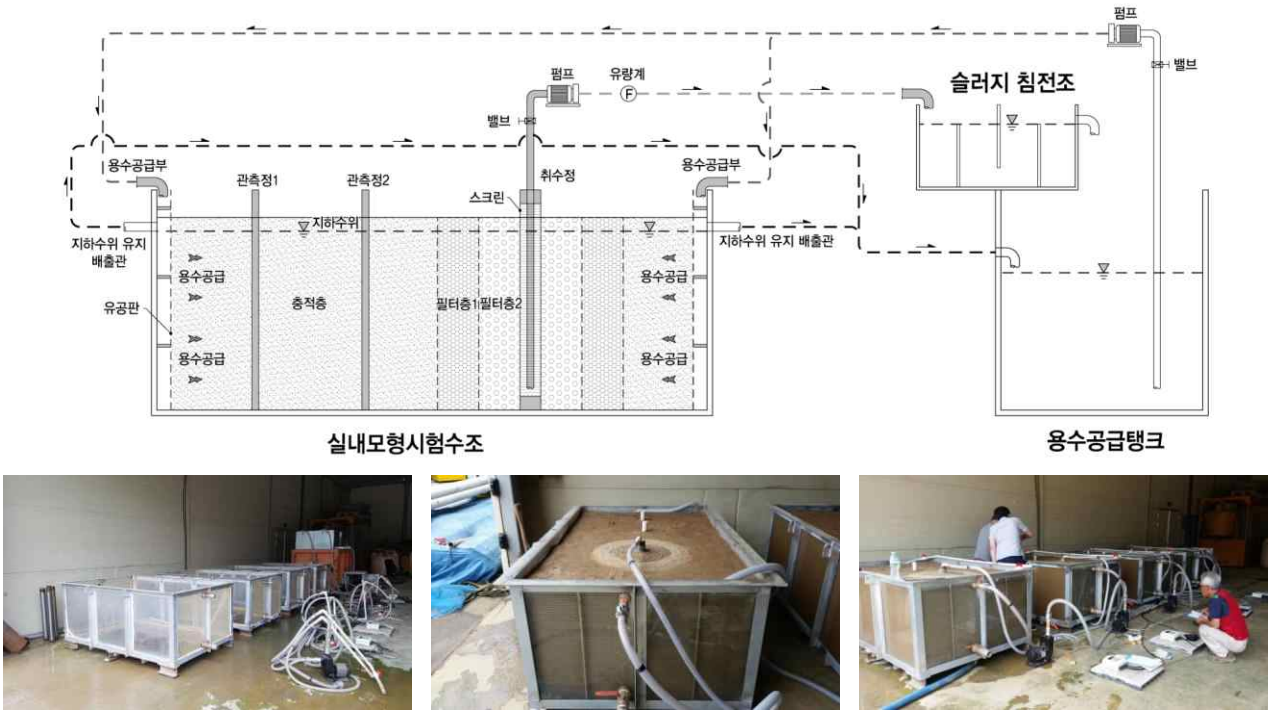


Table 13. Device composition and standard of laboratory model test

구 분	장치구성	규 격
용수 공급조	•시험조에 용수공급을 위한 저장장치 •용수공급조에 저장된 용수를 펌프를 통해 시험수조로 유입	•철재수조 : 2.4x1.2x1.3m
흡입식 펌프	•양수시험용 펌프, 시험수조에 설치하여 양수시험 •펌프배관에 설치된 밸브를 통해 시험조 유출 유량을 조절 •유출된 유량은 다시 시험조 용수공급조로 재공급	•토출경 : D32mm, •토출유량 : 최대 150L/min
시험조	•강변의 대수층(모래층, 자갈층 및 복합층)을 모사한 장치 •L형강 수조틀, 4면을 투명아크릴(20t)로 제작 •용수공급조 유입된 물이 필터층 지나 스크린 통과후 배출	•외경2.0m(가로)×1.3m(세로)×0.8m(높이)
스크린	•취수를 위한 스테인레스 스크린 설치	•외경 Ø75mm × 0.8m(높이), Slot폭 : 0.8mm, 개공율 35%
필터층 형성판	•케이싱을 형상화 한 것으로 필터층 형성시 사용 후 제거	•두께 : 2mm, 높이 0.8m •Ø275, 375, 475, 675mm로 각각 제작
필터재	•해당지역 대수층에 맞는 양질의 필터재 적용하는 것이 중요 •입도분석결과를 통해 산정된 외·내부 필터재의 입경을 반영	•여과사(D0.8~2.0mm)•여과사리(D2.0~5.0mm)
탁도계	•시험시 유출되는 유량에 대한 탁도측정	•근적외선 90° 산란광 측정 •측정범위 : 0~80NTU(mg/L)
침전물 측정조	•시험시 유출되는 유량에 포함된 세립분 측정을 위한 침전조 설치	•규격 0.75x0.56x0.56m •침전조내 2단 배플 설치
자동수위 측정기	•Level SCOUT를 취수정 및 관측정 내에 설치하여 수위변화에 따른 수압측정(수위변환)	•D22mm x H129mm •정확도 : ±0.05%
자동대기압 측정기	•Baro SCOUT를 시험수조 지표 높이에 설치, 대기압을 측정하여 수압측정시 대기압을 보정하여 정확한 수위측정	•D22mm x H129mm •정확도 : ±0.05%
초음파 유량계	•시험조에서 스크린을 통해 배출되는 물의 양을 측정하기 위한 유량 측정장치	•Sensor range : 15~100mm •정밀도 : ±1%

(4) 시험방법

단계대수성시험 방법

- 장기대수성시험 전 5단계로 단계대수성시험을 수행하였으며, 각 단계별 소요시간은 1시간씩으로 1개 수조당 총 5시간 수행함
- 시험방법은 양수정안에 수중모터펌프를 설치하여 각 단계별로 양수율을 일정하게 유지하면서 양수정에서의 양수시간에 따른 지하수위를 측정

장기대수성시험 방법

- 각 시험조별 우물 내 수위가 가능한 약 40cm 내외로 유지될 수 있도록 양수량을 조정하면서 90일간 시험을 수행함
- 약 9.3일(13,380분) 까지는 매 분마다 양수량 및 지하수위 변화를 관측하였으며, 그 이후 90일 까지는 매 2시간(120분)마다 양수량과 지하수위 변화를 관측하였음

시험수량

- 실내모형시험의 장기평가를 위해 단계대수성시험 후 장기대수성시험을 수행
- 시험조는 총 4개로 구성하고 각각의 시험조건은 다음 표와 같음

Table 14. Condition of laboratory model test

Filter type	Formation	Test No.	Filter Condition				Test time	
			Inner		Outer		Step drawdown test	Long term aquifer test
			Filter material	Thickness (mm)	Filter material	Thickness (mm)		
Dual filter	Gravel	GD-300	Gravel (5~10mm)	200	Gravel (2~5mm)	100	1hr×5step	90day
	Sand	SD-300	Gravel (2~5mm)	200	Sand (0.8~2mm)	100		
Single filter	Sand	SS-300	Sand (0.8~2mm)	300	-	-		
		SS-100	Sand (0.8~2mm)	100	-	-		
계			•Step drawdown test : total 4 times •Long term aquifer test : total 4 times					

라. 장기 실내모형시험 성과분석

(1) 단계대수성시험

- 자갈층에서 시험 수행한 GD-300에서 최대 81.33L/min로 4개 시험조중 가장 높은 양수량을 보임
- 모래층 시험결과 이중필터 SD-300에서 최대 25.33L/min로 가장 높은 양수량을 보이며, 단일필터 SS-300에서 24.15L/min, SS-100에서 14.11L/min의 최대 양수량을 보임
- 모래층에서의 결과를 볼 때, 단일필터에 비해 이중필터의 양수효율이 높은 것으로 파악됨

Table 15. Test result of step drawdown test in sand formation

Filter type	Test No.	Step	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level(cm)			
				Pumping well		Observation well	
				Total	Δd	OW-1(Total)	OW-2(Total)
Dual filter	GD-300	step1	58.20	18.60	18.60	10.46	3.98
		step2	63.51	23.95	5.35	12.47	4.55
		step3	68.11	29.86	5.91	14.07	4.91
		step4	72.83	38.86	9.00	15.96	5.45
		step5	81.33	45.63	6.77	16.44	5.28
	SD-300	step1	13.73	20.03	20.03	10.23	4.77
		step2	16.89	26.57	6.54	12.81	5.90
		step3	20.07	35.62	9.05	15.52	6.68
		step4	23.50	46.59	10.97	18.51	7.72
		step5	25.33	54.97	8.38	19.83	8.04
Single filter	SS-300	step1	13.22	16.70	16.70	11.33	4.39
		step2	15.24	25.49	8.79	16.32	6.13
		step3	17.66	36.78	11.29	22.21	8.23
		step4	18.91	43.43	6.65	24.98	9.00
		step5	24.15	51.63	8.20	27.30	9.74
	SS-100	step1	4.11	10.12	10.12	5.44	4.64
		step2	6.60	18.00	7.88	7.68	6.04
		step3	8.40	28.54	10.54	10.01	7.32
		step4	10.31	34.30	5.76	11.09	8.03
		step5	14.11	50.22	15.92	13.40	9.60

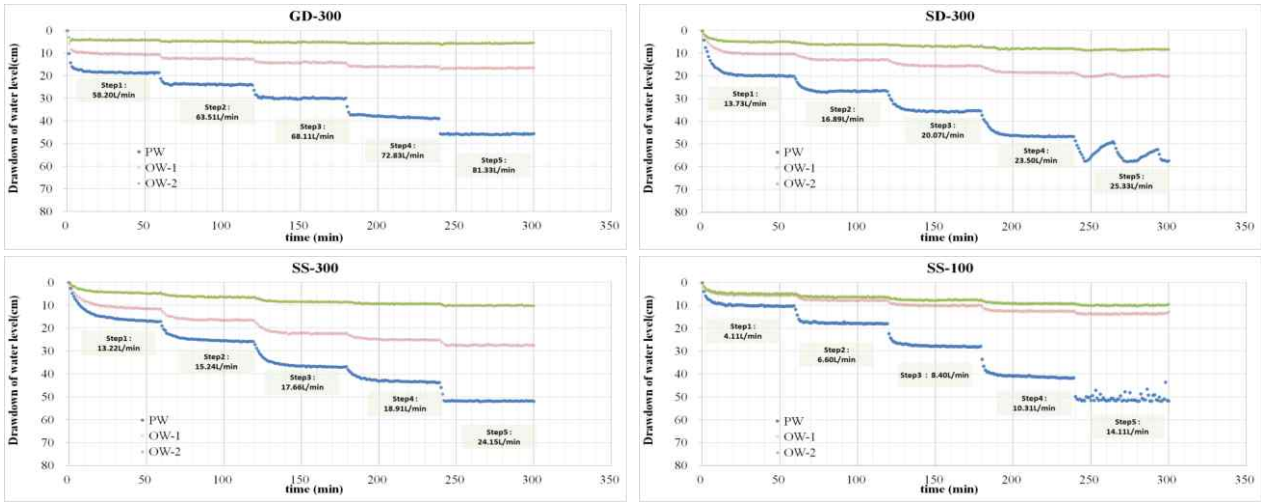


Fig 17. Variation of water drawdown level according to pumping rate variation in each test set

(2) 장기대수성시험

•각 시험별 데이터 수가 14,300개를 초과함

•전체 데이터에 대하여 10일 간격으로 양수량 및 수위강하량의 평균값을 정리하면 다음과 같음

Table 16. Test result of pumping test in sand formation

Filter type	Test No.	Test time (day)	Ave. Yield (L/min)	Ave. Drawdown water level(cm)		
				PW	OW-1	OW-2
Dual filter	SDS-1	10	73.57	44.79	13.54	2.31
		20	71.50	45.41	15.96	3.09
		30	68.20	45.51	16.97	3.72
		40	74.91	34.76	13.48	3.08
		50	75.90	39.46	15.01	4.13
		60	59.65	53.48	18.50	4.70
		70	52.36	44.37	17.11	5.19
		80	53.35	43.69	19.99	6.19
		90	49.37	53.82	21.56	7.39
	SDS-2	10	22.99	41.20	15.65	4.68
		20	19.80	42.02	14.71	5.30
		30	15.71	41.67	15.25	5.65
		40	28.57	33.22	12.75	5.37
		50	27.03	38.00	11.94	5.24
		60	18.41	41.31	8.78	5.20
		70	14.54	28.09	7.29	4.00
		80	16.94	32.35	8.40	4.16
		90	14.91	27.67	8.07	4.73
Single filter	SDS-3	10	16.55	41.35	22.16	5.95
		20	12.72	42.23	20.30	6.63
		30	11.75	40.71	20.31	6.35
		40	12.38	36.78	18.02	6.15
		50	11.85	39.55	17.99	9.05
		60	10.32	46.20	18.89	7.31
		70	10.42	32.84	14.34	5.57
		80	10.09	39.26	14.08	4.82
		90	9.77	33.03	13.92	4.86
	SDS-4	10	8.29	41.71	9.14	4.85
		20	6.84	41.18	7.34	3.61
		30	5.91	40.77	7.04	2.90
		40	7.21	33.52	6.15	2.66
		50	6.42	35.52	4.64	2.12
		60	3.53	39.47	4.29	2.58
		70	2.81	41.58	3.93	3.04
		80	3.20	35.54	4.24	2.83
		90	3.01	38.19	3.72	2.68

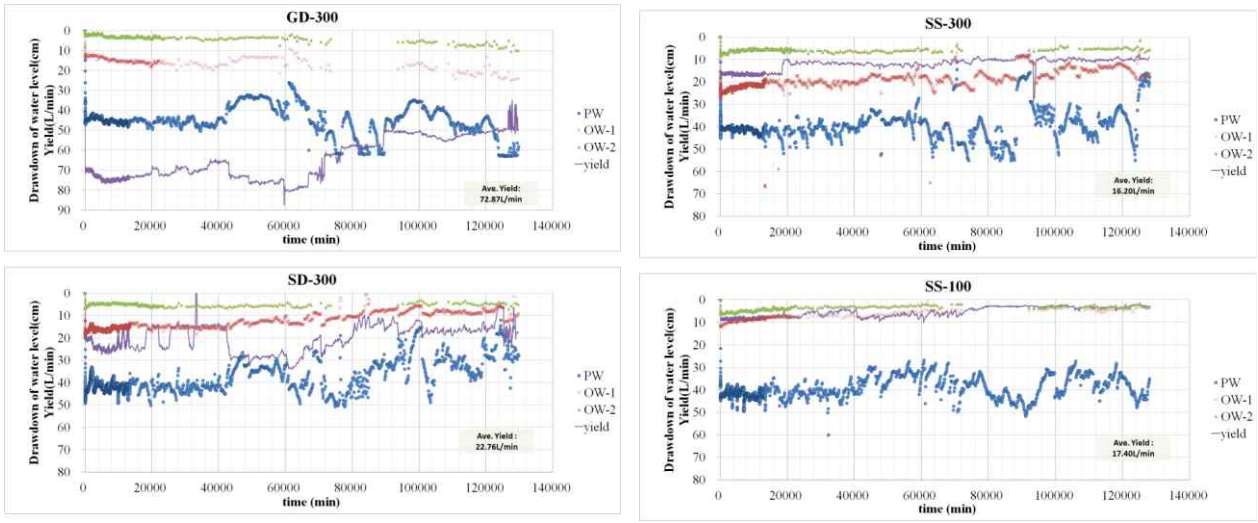


Fig 18. Variation of water drawdown level and yield over time in each test

- 자갈층에서 수행한 이중필터 GD-300의 장기양수시험 결과 초기 10일치 평균 양수량은 73.57L/min였으며, 종료일 이전 10일 평균 양수량은 49.37L/min로 평가되었음
- 모래층에서 수행한 이중필터 SD-300의 장기양수시험 결과 초기 10일치 평균 양수량은 22.99L/min였으며, 종료일 이전 10일 평균 양수량은 14.91L/min로 평가되었음
- 모래층에서 수행한 단일필터 SS-300의 장기양수시험 결과 초기 10일치 평균 양수량은 16.55L/min였으며, 종료일 이전 10일 평균 양수량은 9.77L/min로 평가되었음
- 모래층에서 수행한 단일필터 SS-100의 장기양수시험 결과 초기 10일치 평균 양수량은 8.29L/min였으며, 종료일 이전 10일 평균 양수량은 3.01L/min로 평가되었음
- 이중필터인 GD-300 및 SD-300에서는 30~50일 구간에서 양수량이 초기치보다 증가하는 결과를 나타내고 있으나 전반적으로 시간 경과에 따라 양수량이 낮아지는 양상을 보임
- 단일필터의 경우 시간경과에 따라 부분적으로 양수량이 증대되는 경우도 있으나 이중필터와 마찬가지로 시간이 경과할수록 양수량이 낮아지는 특성을 보임

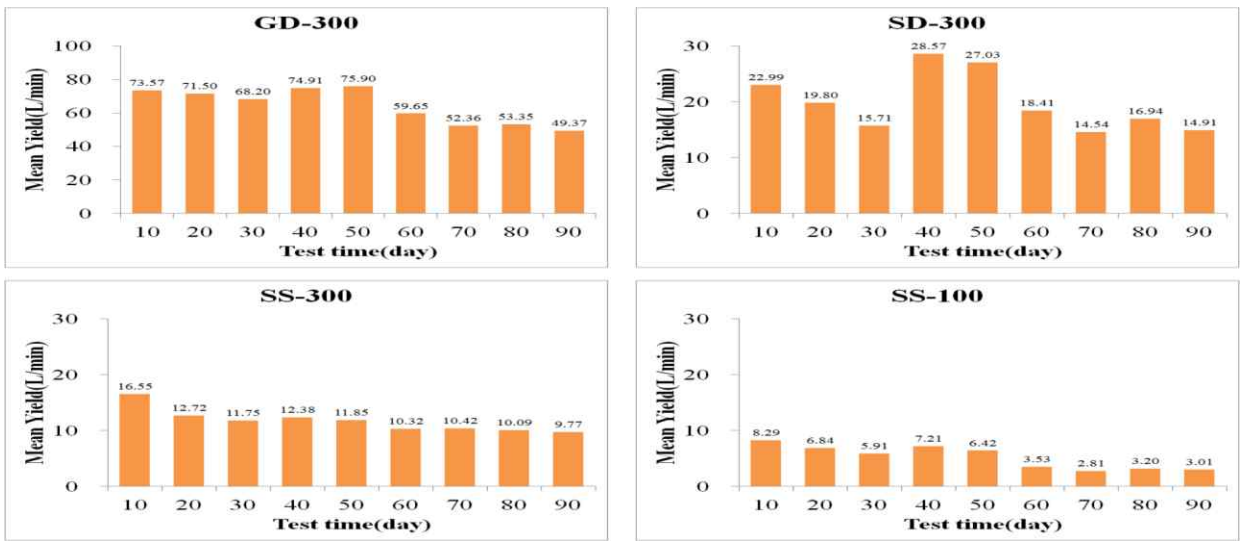


Fig 19. Mean yield per unit time(10day) in each test

(3) 장기 대수성시험 성과분석

(가) 초기 투수특성 및 적정양수량 분석

① 초기 투수특성 분석

㉮ 투수계수 계산

•본 모형시험에서는 양수량과 수위강하량 및 지하수위 분포관계를 바탕으로 투수특성을 평가하였음

•투수계수는 $r = r_w$ 일때, $h = h_w$, $r = R$ 일 때, $h = H$ 이므로 다음 식에 의해 계산 가능함

$$\int_{r_w}^{R} \frac{dr}{r} = \frac{2\pi K}{Q} \int_{h_w}^{H} h dh, \qquad K = \frac{2.3\, Q \log (R / r_w)}{\pi (H^2 - h_w^2)}$$

여기서, K : 투수계수, Q : 양수량, R : 영향반경, r_w : 양수정의 반경

h_w : 양수정에서의 안정수위, H : 양수 개시전 초기지하수위,

•투수량계수는 투수계수에 본 모형시험 대수층 두께(b)를 곱하여 산정하였음

$$T = kb$$

㉯ 투수계수 평가결과

•투수계수는 자갈층인 SD-300에서 44.18×10^{-2}cm/sec로 가장 높은 값을 보임

•모래층에서의 투수계수는 이중필터인 SD-300이 11.48×10^{-2}cm/sec로 가장 높은 값을 보이고 있으며, 단일필터인 SS-300에서 10.84×10^{-2}cm/sec, 단일필터 SS-100에서 6.10×10^{-2}cm/sec를 나타냄

•모래층에서 동일한 두께의 이중필터와 단일필터의 투수계수를 비교하면, 이중필터가 단일필터에 비해 약 105.8% 효율을 보임

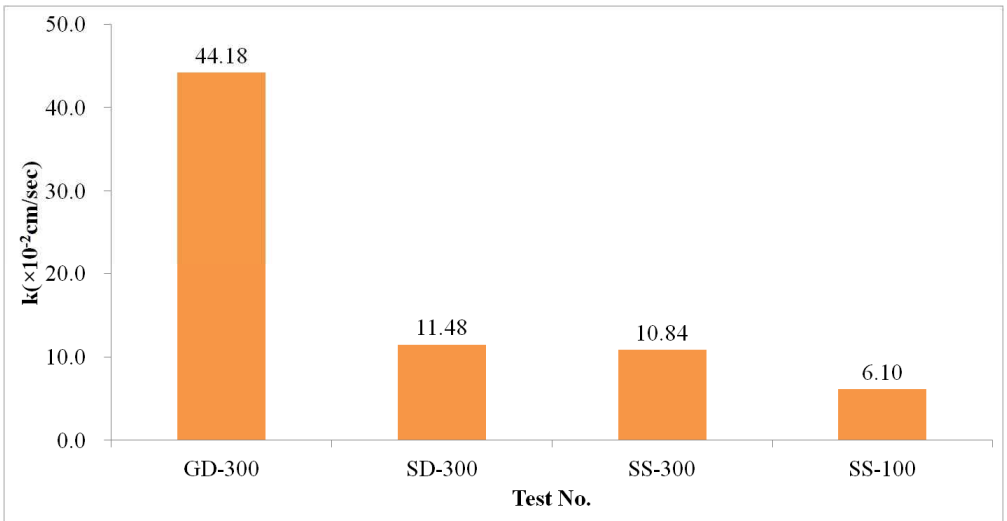


Fig 20. Comparison of Hydraulic Conductivity by step-drawdown test results

Table 17. Hydraulic Conductivity and Transmissivity by step-drawdown test results

Test No.	Step	Q (L/min)	Drawdown water level(cm)	k (cm/sec)	Ave. k ($\times10^{-2}$cm/sec)	T (cm^2/sec)	Ave. T (cm^2/sec)
GD-300	step1	58.20	18.60	0.528	44.18	34.31	28.72
	step2	63.51	23.95	0.470		30.54	
	step3	68.11	29.86	0.428		27.82	
	step4	72.83	38.86	0.386		25.12	
	step5	81.33	45.63	0.397		25.80	
SD-300	step1	13.73	20.03	0.117	11.48	7.61	7.46
	step2	16.89	26.57	0.115		7.51	
	step3	20.07	35.62	0.112		7.29	
	step4	23.50	46.59	0.114		7.39	
	step5	25.33	54.97	0.115		7.50	
SS-300	step1	13.22	16.70	0.131	10.84	8.53	7.05
	step2	15.24	25.49	0.107		6.99	
	step3	17.66	36.78	0.097		6.29	
	step4	18.91	43.43	0.095		6.14	
	step5	24.15	51.63	0.112		7.29	
SS-100	step1	4.11	10.12	0.064	6.10	4.14	3.96
	step2	6.60	18.00	0.062		4.00	
	step3	8.40	28.54	0.055		3.54	
	step4	10.31	34.30	0.059		3.84	
	step5	14.11	50.22	0.066		4.30	

② 초기 적정양수량 평가

- 수위강하량 분석을 수행하여 각 시험조별 적정양수량을 평가하였음
- 각 단계별 평균양수량와 양수정에에서의 수위강하량과의 관계를 분석하면 로그함수 형태로 매우 높은 상관성을 보이는 것으로 평가되었음
- 관계식을 근거로 하여 수위강하 심도가 50cm인 경우로 각각의 조건에 대하여 평가하면 이중필터가 단일필터에 비해 상대적으로 양호한 취수량이 확보되는 것으로 파악됨
- 자갈층의 이중필터로 구성된 시험조인 GD-300의 적정 양수량은 78.20L/min로 모래층 이중필터 대비 약 325%의 취수효율을 나타냄
- 모래층에서는 이중필터인 SD-300에서 24.06L/min로 가장 높은 양수량을 보이며, 이중필터와 두께가 동일한 단일필터 SS-300에서 19.42L/min, 필터 두께 100mm인 SS-100에서 11.03L/min 순으로 평가됨
- 동일한 두께인 30cm 필터층을 갖는 이중필터와 단일필터의 평균 양수량을 분석하면, 이중필터가 단일필터 대비 약 123.9%의 양수효율을 보임
- 필터층 두께가 얇은 SSS-3과 비교하면, 이중필터가 약 218.1%의 양수효율을 보임

Table 18. Optimum yield for yield regression equation(drawdown level = 50cm)

Test No.	Regression equation	Coefficient of determination	Optimum yield(L/min) (drawdown 50cm)
GD-300	Q=20.04ln(sw)-0.1930	0.9924	78.20
SD-300	Q=11.308ln(sw)-20.1730	0.9893	24.06
SS-300	Q=5.7016ln(sw)-2.8853	0.9787	19.42
SS-100	Q=4.3614ln(sw)-6.0312	0.9869	11.03

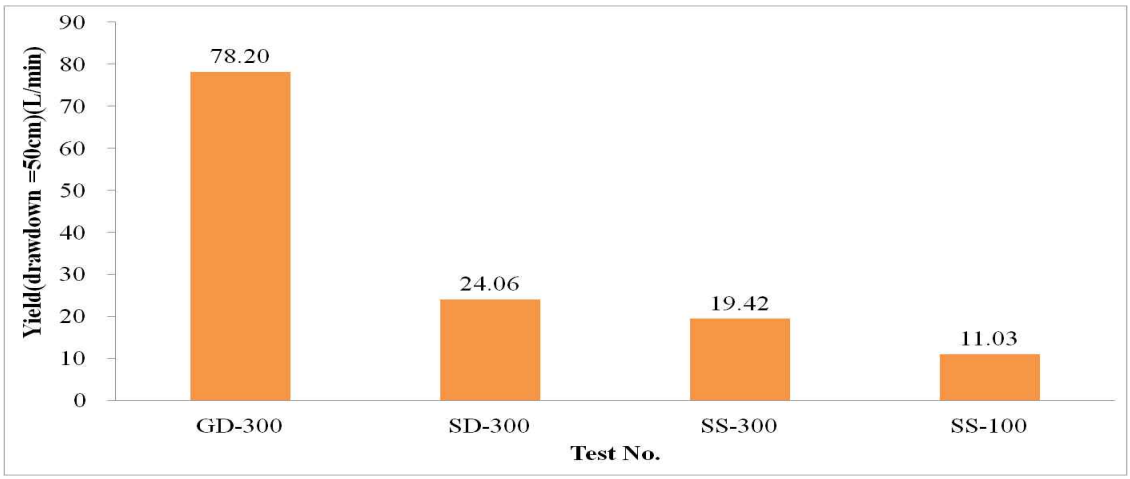


Fig 21. Optimum yield of drawdown level is 50cm in each test set

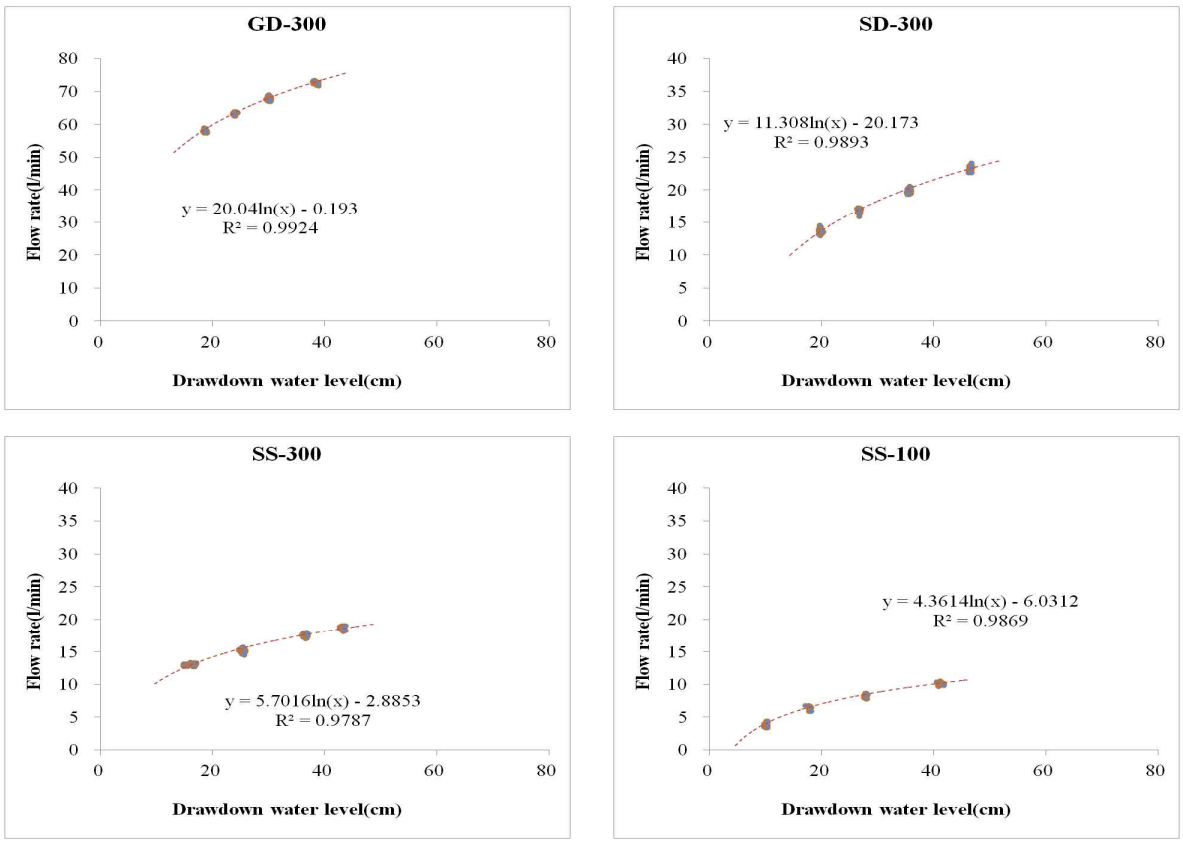


Fig 22. Relationship of drawdown water level and yield in each test set

(나) 장기 투수특성 및 적정양수량 분석

① 장기 투수특성 분석

㉮ 투수계수 분석결과

•4개 시험조에서 수행한 결과를 바탕으로 일별 투수계수를 분석하였으며, 분석결과는 다음과 같음

Table 19. Hydraulic Conductivity by long term pumping test results in GD-300 and SD-300

Time (day)	GD-300			SD-300		
	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level (cm)	k ($\times10^{-2}$cm/sec)	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level (cm)	k ($\times10^{-2}$cm/sec)
1	69.73	44.26	34.53	19.99	42.68	10.08
2	70.85	42.71	35.71	21.67	38.16	11.62
3	72.90	43.25	36.51	24.27	40.55	12.57
4	74.45	44.27	36.86	24.95	41.22	12.81
5	75.24	45.59	36.74	25.47	42.08	12.94
6	75.25	44.82	37.04	25.15	40.60	13.02
7	74.87	45.93	36.43	23.72	41.46	12.14
8	74.67	45.85	36.36	21.76	41.57	11.12
9	74.17	46.10	36.03	20.68	42.23	10.48
10	73.58	45.96	35.79	20.49	41.90	10.43
11	73.18	44.35	36.20	24.53	39.77	12.84
12	73.04	44.45	36.09	25.17	42.45	12.73
13	72.43	45.75	35.31	21.34	41.12	10.97
14	71.47	47.50	34.27	16.12	44.48	7.96
15	68.99	45.84	33.60	14.75	43.10	7.40
16	71.59	44.29	35.44	20.60	40.70	10.65
17	72.44	45.24	35.50	24.87	42.22	12.61
18	72.21	45.11	35.43	21.15	41.39	10.84
19	70.75	45.37	34.62	15.26	44.18	7.56
20	68.92	46.19	33.45	14.22	40.85	7.34
21	68.46	46.47	33.14	14.42	43.65	7.19
22	70.62	44.41	34.91	18.75	42.01	9.53
23	71.07	44.34	35.16	21.17	41.47	10.83
24	70.42	48.23	33.55	11.22	42.65	5.66
25	69.64	47.04	33.53	14.33	41.97	7.29
26	68.16	47.54	32.67	14.48	41.83	7.38
27	65.72	47.55	31.50	14.41	40.94	7.43
28	65.82	45.23	32.26	14.09	40.46	7.31
29	65.62	44.39	32.45	14.85	43.29	7.43
30	66.52	39.91	34.76	19.35	38.42	10.33
31	72.90	38.43	38.92	28.72	36.91	15.71
32	73.72	35.56	41.25	28.52	31.72	17.19
33	73.01	33.28	42.62	27.30	28.90	17.56
34	73.01	32.65	43.16	28.12	32.06	16.83

Table 19. Continued

Time (day)	GD-300			SD-300		
	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level (cm)	k ($\times10^{-2}$cm/sec)	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level (cm)	k ($\times10^{-2}$cm/sec)
35	76.34	33.00	44.81	30.29	35.38	17.00
36	75.79	33.60	43.97	28.59	34.74	16.23
37	76.55	32.65	45.25	28.93	33.06	16.96
38	76.20	33.21	44.54	28.38	33.01	16.66
39	75.39	35.72	42.06	28.24	34.65	16.06
40	76.23	39.53	40.05	28.61	31.77	17.23
41	75.48	38.86	40.04	27.22	35.01	15.38
42	78.78	40.65	40.76	27.63	34.02	15.90
43	80.20	29.90	50.35	33.19	40.81	17.13
44	79.69	30.41	49.44	32.68	41.73	16.67
45	78.67	34.15	45.16	29.96	44.94	14.73
46	78.30	36.70	42.97	26.24	40.52	13.60
47	74.09	43.85	36.85	24.52	40.43	12.72
48	71.73	47.06	34.53	22.29	31.39	13.53
49	72.23	46.45	34.97	19.90	29.05	12.75
50	69.83	46.58	33.77	26.69	42.06	13.56
51	62.24	51.45	28.94	23.39	46.80	11.29
52	62.14	53.01	28.61	22.89	46.85	11.04
53	64.26	61.36	28.67	20.83	46.89	10.04
54	58.96	51.99	27.32	22.59	32.34	13.44
55	58.57	41.99	29.78	21.71	44.83	10.68
56	57.66	49.29	27.23	18.88	40.67	9.76
57	58.16	56.42	26.32	14.47	39.84	7.57
58	58.34	60.91	26.05	12.69	41.80	6.47
59	58.00	60.52	25.92	12.06	39.62	6.33
60	58.17	47.86	27.80	14.65	33.43	8.53
61	58.06	53.69	26.63	13.44	31.09	8.21
62	58.34	60.99	26.04	12.40	31.61	7.49
63	51.07	48.04	24.37	15.27	33.21	8.93
64	50.42	45.84	24.56	13.52	32.27	8.06
65	50.72	44.90	24.94	12.79	30.56	7.91
66	50.75	43.17	25.44	18.30	24.90	13.14
67	50.80	40.60	26.30	17.32	32.69	10.23
68	51.48	36.01	28.58	16.21	29.19	10.35
69	51.18	35.04	28.90	13.51	19.32	11.87
70	50.81	35.44	28.49	12.59	16.08	12.91
71	51.96	38.66	27.65	17.91	33.73	10.36
72	52.98	42.82	26.67	17.40	44.05	8.64
73	52.93	41.38	27.12	16.53	35.72	9.22
74	53.98	39.04	28.56	16.81	29.00	10.78
75	55.11	39.68	28.89	17.37	27.24	11.66
76	54.95	43.24	27.52	16.83	26.82	11.43
77	54.43	47.88	26.01	17.67	31.79	10.63
78	53.14	46.99	25.60	16.71	30.71	10.30

Table 19. Continued

Time (day)	GD-300			SD-300		
	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level (cm)	k ($\times10^{-2}$cm/sec)	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level (cm)	k ($\times10^{-2}$cm/sec)
79	52.17	48.21	24.86	15.86	30.68	9.78
80	51.88	49.01	24.56	16.30	33.71	9.44
81	51.69	49.66	24.34	17.18	36.89	9.40
82	50.91	48.56	24.19	16.49	35.72	9.20
83	50.76	46.48	24.57	15.19	29.06	9.73
84	51.07	43.53	25.49	16.09	26.87	10.91
85	50.56	47.94	24.15	15.28	27.75	10.12
86	49.87	55.26	22.69	10.25	20.98	8.42
87	50.10	62.40	22.32	6.11	16.98	5.98
88	48.62	62.67	21.65	19.66	27.72	13.03
89	44.04	61.16	19.65	18.55	28.44	12.07
90	46.12	60.56	20.61			

Table 20. Hydraulic Conductivity by long term pumping test results in SS-300 and SS-100

Time (day)	GD-300			SD-300		
	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level (cm)	k ($\times 10^{-2}$cm/sec)	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level (cm)	k ($\times 10^{-2}$cm/sec)
1	16.46	40.71	8.51	8.55	42.25	4.33
2	16.23	40.59	8.40	8.51	40.59	4.41
3	16.29	40.70	8.42	8.43	40.56	4.37
4	16.64	41.13	8.55	8.22	41.11	4.23
5	16.67	40.81	8.61	8.16	41.42	4.18
6	16.58	40.85	8.55	8.44	42.24	4.28
7	16.71	41.42	8.56	8.33	42.99	4.18
8	16.79	42.56	8.48	8.20	43.09	4.11
9	16.74	43.66	8.34	7.82	40.95	4.03
10	16.04	40.42	8.32	8.04	42.43	4.07
11	16.39	41.41	8.39	7.64	38.04	4.10
12	16.29	41.66	8.32	7.52	39.04	3.98
13	15.78	45.30	7.73	6.88	43.87	3.42
14	10.43	41.91	5.31	6.50	44.72	3.20
15	11.51	42.98	5.78	7.60	43.00	3.82
16	11.82	41.78	6.03	7.67	39.92	4.01
17	11.54	41.20	5.93	7.66	41.03	3.94
18	11.31	43.58	5.64	6.22	40.70	3.22
19	11.06	41.14	5.68	5.45	41.58	2.79
20	11.02	41.36	5.65	5.24	39.85	2.74
21	11.04	38.65	5.88	6.29	40.41	3.26
22	11.93	40.61	6.18	7.20	40.89	3.71
23	11.71	44.47	5.78	5.61	44.49	2.77
24	11.32	42.00	5.75	5.50	40.97	2.83
25	11.89	41.83	6.06	5.02	43.22	2.51
26	11.80	40.26	6.14	4.29	42.10	2.18
27	11.68	40.23	6.08	4.55	39.99	2.38
28	11.88	40.91	6.12	5.41	39.68	2.84
29	11.92	40.15	6.21	6.75	38.73	3.59
30	12.38	37.97	6.66	8.49	37.20	4.62
31	11.58	37.12	6.31	7.99	32.93	4.70
32	12.28	33.11	7.19	7.32	30.61	4.52
33	12.62	33.98	7.27	7.82	34.36	4.47
34	12.74	38.86	6.76	8.43	38.17	4.52
35	12.79	38.64	6.81	7.40	37.34	4.02
36	12.11	37.23	6.59	7.02	33.28	4.10
37	12.21	36.57	6.71	6.81	32.33	4.05
38	12.75	36.84	6.98	6.66	33.36	3.88
39	11.94	37.04	6.52	6.57	31.08	4.02
40	12.82	38.42	6.85	6.07	31.69	3.66
41	11.73	33.08	6.87	6.77	33.38	3.94
42	12.50	36.82	6.85	7.37	34.74	4.18
43	12.71	37.62	6.87	7.80	33.55	4.53
44	13.36	45.86	6.51	5.40	30.81	3.32

Table 20. Continued

Time (day)	GD-300			SD-300		
	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level(cm)	k ($\times10^{-2}$cm/sec)	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level(cm)	k ($\times10^{-2}$cm/sec)
45	12.82	45.25	6.28	5.79	33.47	3.37
46	11.97	44.63	5.90	6.54	37.84	3.52
47	10.57	39.87	5.53	5.72	33.66	3.31
48	11.51	41.96	5.85	6.32	35.31	3.55
49	10.38	25.92	7.23	5.74	38.57	3.06
50	10.94	44.52	5.40	6.72	43.88	3.34
51	10.79	48.36	5.14	5.41	37.94	2.91
52	11.76	48.28	5.60	4.15	37.58	2.25
53	10.14	43.74	5.05	4.11	35.75	2.29
54	9.29	37.82	5.01	4.19	33.99	2.41
55	10.38	40.39	5.39	3.35	36.22	1.85
56	9.99	46.94	4.81	2.82	41.33	1.45
57	9.92	50.30	4.65	2.71	43.31	1.36
58	10.12	49.06	4.79	2.80	44.65	1.38
59	10.44	48.35	4.97	2.94	42.48	1.49
60	10.40	48.76	4.93	2.82	41.46	1.44
61	10.26	52.81	4.73	2.81	45.84	1.37
62	8.67	29.18	5.54	2.85	44.79	1.40
63	8.47	17.85	7.95	2.71	45.42	1.33
64	9.03	17.49	8.62	2.62	48.93	1.24
65	13.47	27.94	8.88	2.63	46.26	1.28
66	13.92	34.91	7.88	2.90	43.03	1.46
67	9.24	34.25	5.29	3.12	36.78	1.71
68	9.73	33.52	5.65	2.92	32.21	1.74
69	10.86	35.77	6.05	2.60	32.70	1.54
70	10.53	44.72	5.19	2.91	39.82	1.52
71	9.85	42.00	5.01	2.45	41.74	1.25
72	10.26	37.46	5.56	2.39	37.78	1.29
73	9.41	34.67	5.35	2.97	31.53	1.80
74	9.62	36.07	5.34	3.58	30.61	2.21
75	9.92	36.53	5.46	3.86	33.04	2.26
76	10.23	41.52	5.23	3.28	33.07	1.92
77	10.62	43.78	5.29	3.08	32.43	1.83
78	10.66	43.74	5.31	3.36	37.19	1.83
79	10.21	38.69	5.43	3.66	40.04	1.91
80	10.17	38.15	5.45	3.39	37.93	1.82
81	10.25	38.04	5.51	3.15	35.77	1.76
82	9.88	36.66	5.43	3.32	32.77	1.96
83	9.35	31.36	5.68	3.83	34.16	2.20
84	10.26	33.62	5.95	3.50	34.36	2.00
85	9.95	38.64	5.30	3.02	37.63	1.63
86	10.01	47.72	4.79	2.40	41.86	1.22
87	8.80	31.55	5.32	2.25	45.26	1.10
88	9.63	19.75	8.31	2.63	42.06	1.34
89	9.78	18.73	8.82	2.98	40.03	1.55

㉰ 시험조별 투수특성 분석

GD-300

- 자갈층에서 단독으로 시험을 수행한 GD-300의 경우 단계양수시험에서 초기 투수계수가 4.18×10^{-2}cm/sec를 보였으며, 장기양수시험에서는 점차로 투수계수가 감소하는 양상을 보임
- 시험종료 구간인 81~90일 구간의 평균 투수계수는 22.97×10^{-2}cm/sec로 평가되었으며, 이는 투수계수 초기치의 약 52.0%에 해당함

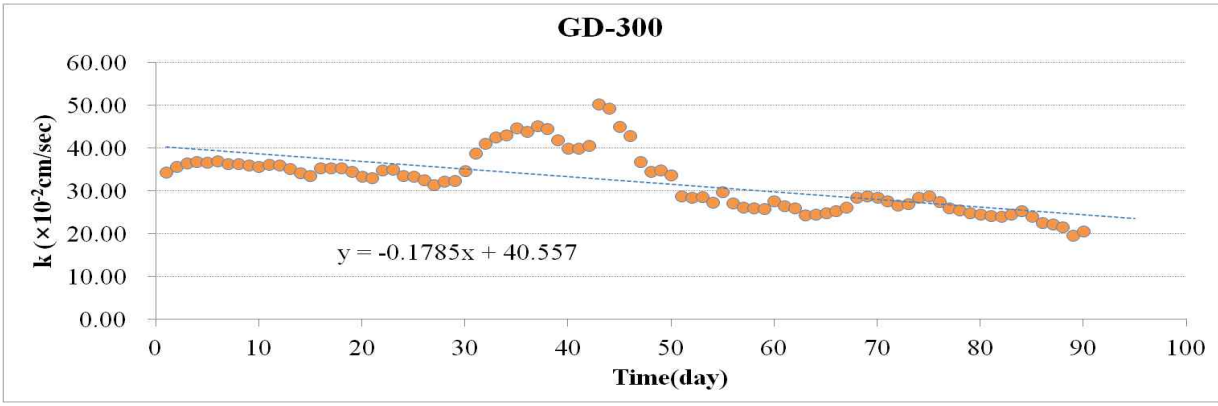


Fig 23. Variation graph of hydraulic conductivity according to time over in GD-300

Table 21 Average k(cm/sec) value and contrast intial value(%) according to time over in GD-300

Time	Initial (5hr)	1~10 day	11~20 day	21~30 day	31~40 day	41~50 day	51~60 day	61~70 day	71~80 day	81~90 day
k (cm/sec)	44.18	36.2	34.99	33.39	42.66	40.88	27.66	26.42	26.74	22.97
Contrast Initial (%)	100.0	81.9	79.2	75.6	96.6	92.5	62.6	59.8	60.5	52.0

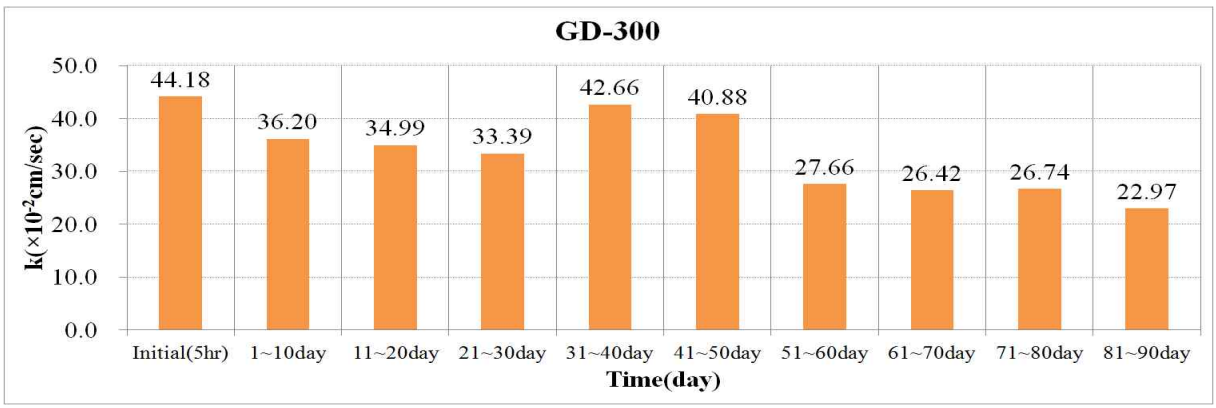


Fig 24. Comparison of hydraulic conductivity by time over in GD-300

SD-300

- 모래층에서의 이중필터 시험조인 SD-300의 경우 단계양수시험에서 초기 투수계수가 11.48×10^{-2}cm/sec를 보였으며, 장기양수시험에서는 점차로 투수계수가 감소하는 양상을 보이나 자갈층과 대비하여 감소율이 상대적으로 낮음
- 시험종료 구간인 81~90일 구간의 평균 투수계수는 9.87×10^{-2}cm/sec로 평가되었으며, 이는 투수계수 초기치의 약 86.0%에 해당함
- 즉, 시험 시작 후 90일 동안 약 14%의 채수량이 감소한 것으로 나타남

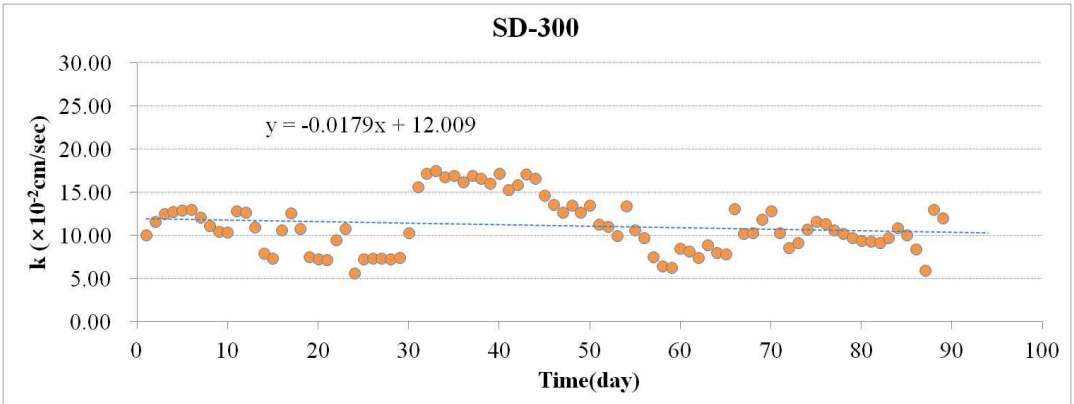


Fig 25. Variation graph of hydraulic conductivity according to time over in SD-300

Table 22. Average k(cm/sec) value and contrast intial value(%) according to time over in SD-300

Time	Initial (5hr)	1~10 day	11~20 day	21~30 day	31~40 day	41~50 day	51~60 day	61~70 day	71~80 day	81~90 day
k (cm/sec)	11.48	11.72	10.09	8.04	16.74	14.60	9.52	9.91	10.22	9.87
Contrast Initial (%)	100.0	102.1	87.9	70.0	145.8	127.2	82.9	86.3	89.0	86.0

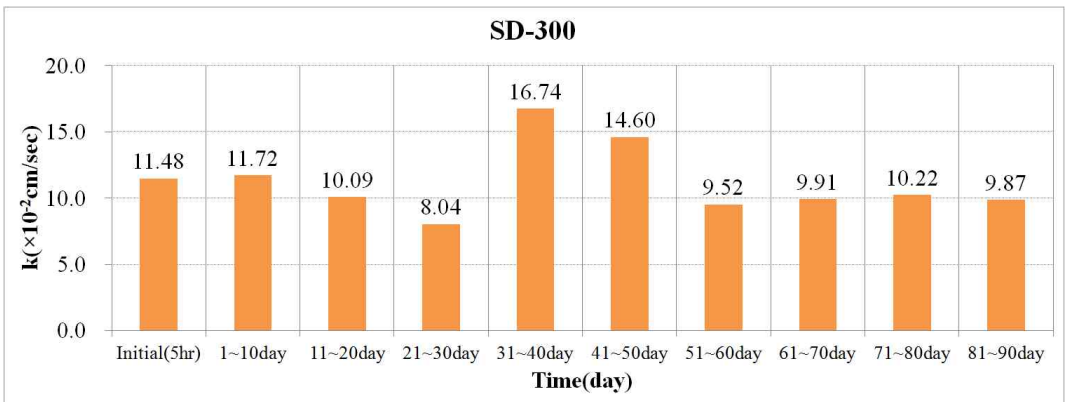


Fig 26. Comparison of hydraulic conductivity by time over in SD-300

SS-300

- 모래층에서의 단일필터 시험조인 SS-300의 경우 단계양수시험에서 초기 투수계수가 10.84×10^{-2} cm/sec를 보였으며, 장기양수시험에서는 점차로 투수계수가 감소하는 양상을 보임
- 시험종료 구간인 81~90일 구간의 평균 투수계수는 6.12×10^{-2}cm/sec로 평가되었으며, 이는 투수계수 초기치의 약 56.5%에 해당함
- 즉, 시험 시작 후 90일 동안 약 43.5%의 채수량이 감소한 것으로 나타남

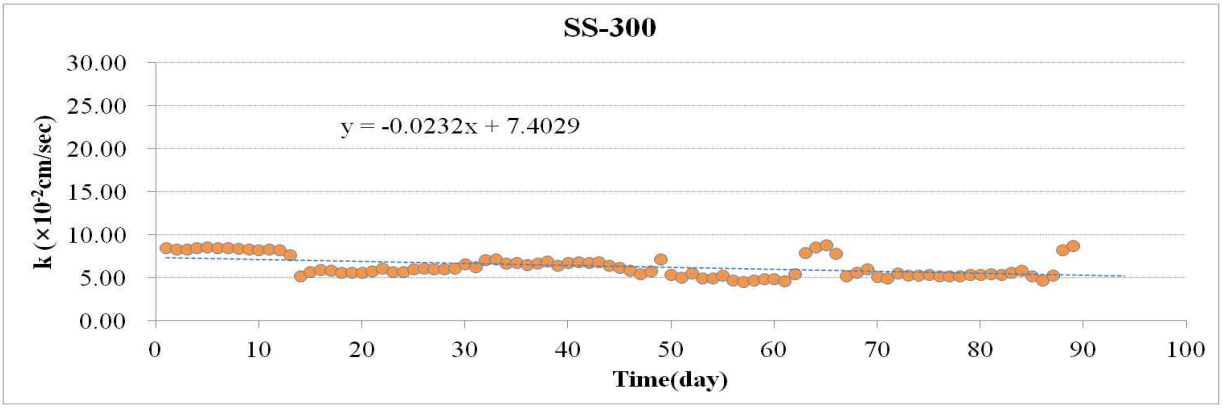


Fig 27. Variation graph of hydraulic conductivity according to time over in SS-300

Table 23. Average k(cm/sec) value and contrast intial value(%) according to time over in SS-300

Time	Initial (5hr)	1~10 day	11~20 day	21~30 day	31~40 day	41~50 day	51~60 day	61~70 day	71~80 day	81~90 day
k ($\times10^{-2}$ cm/sec)	10.84	8.47	6.45	6.09	6.80	6.33	5.03	6.58	5.34	6.12
Contrast Initial (%)	100.0	78.1	59.5	56.2	62.7	58.4	46.4	60.7	49.3	56.5

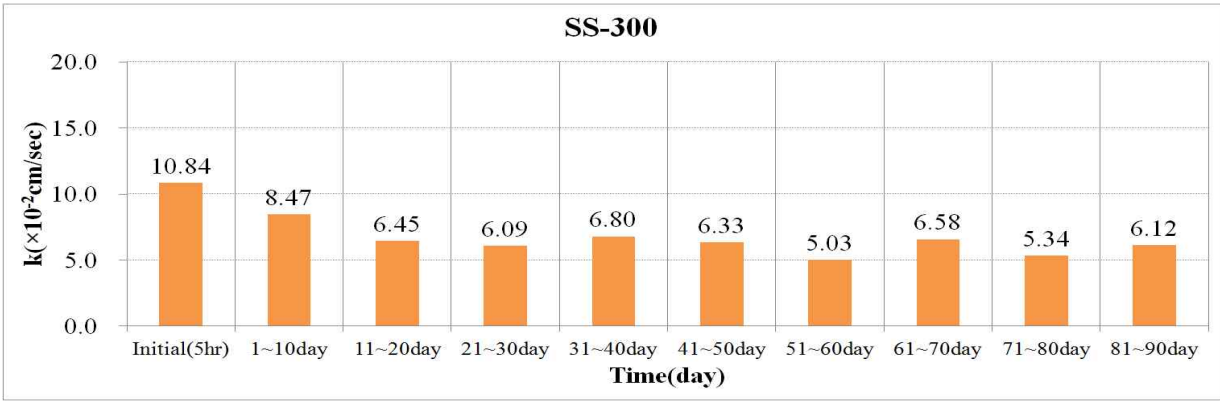


Fig 28. Comparison of hydraulic conductivity by time over in SS-300

SS-100

- 모래층에서 필터층의 두께가 10cm로 구성된 단일필터 시험조인 SS-300의 경우 단계양수시험에서 초기 투수계수가 6.10×10^{-2}cm/sec를 보였으며, 장기양수시험에서는 점차로 투수계수가 감소하는 양상이 뚜렷이 나타남
- 시험종료 구간인 81~90일 구간의 평균 투수계수는 1.64×10^{-2}cm/sec로 평가되었으며, 이는 투수계수 초기치의 약 26.9%에 해당함
- 즉, 시험 시작 후 90일 동안 약 73.1%의 채수량이 감소한 것으로 나타남

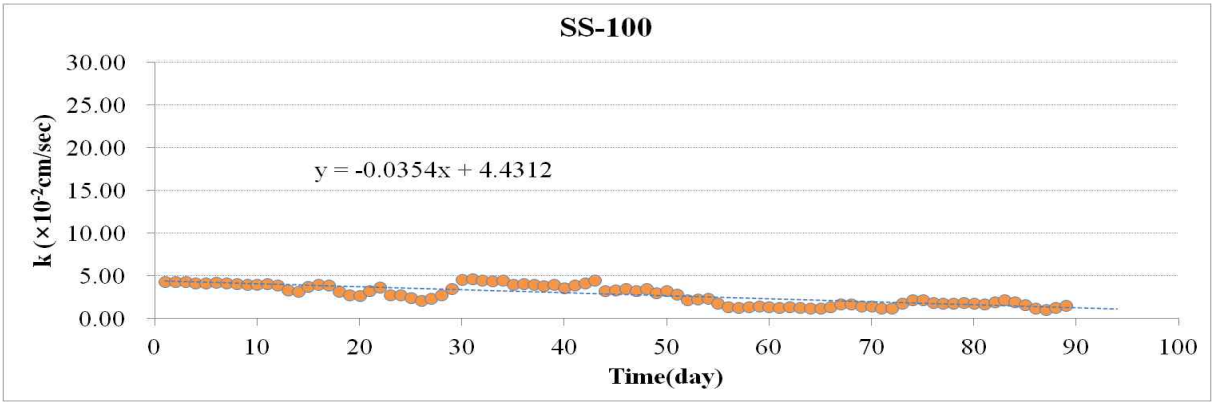


Fig 29. Variation graph of hydraulic conductivity according to time over in SS-100

Table 24. Average k(cm/sec) value and contrast intial value(%) according to time over in SS-100

Time	Initial (5hr)	1~10 day	11~20 day	21~30 day	31~40 day	41~50 day	51~60 day	61~70 day	71~80 day	81~90 day
k (cm/sec)	6.10	4.22	3.52	3.07	4.19	3.61	1.88	1.46	1.81	1.64
Contrast Initial (%)	100.0	69.2	57.7	50.3	68.7	59.2	30.8	23.9	29.7	26.9

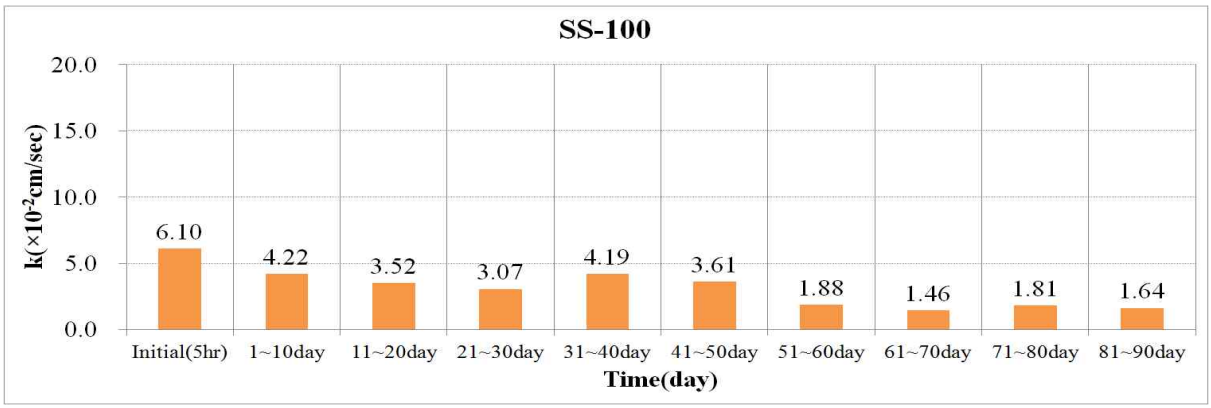


Fig 30. Comparison of hydraulic conductivity by time over in SS-100

㉮ 투수특성 비교분석

- 투수계수 분석결과 자갈층에서 수행한 이중필터 시험조인 GD-300에서 가장 높은 값을 보이는 것으로 파악되며, 이는 자갈층의 투수성이 높은데 기인한 것임
- 모래층에서의 투수계수는 이중필터로 설치된 SD-300에서 가장 높은 값을 보이는 것으로 평가되었으며, 단일필터 층에서는 필터재 두께가 30cm로 설정한 SS-300이 10cm로 선정한 SS-100에 비해 양호한 투수특성을 보이는 것으로 확인됨
- 추세선을 분석하면, 자갈층에서의 기울기가 모래층보다 크게 나타나는데, 이는 충적층에서 필터재로의 세립토사 유입이 모래층보다 자갈층에서 더 빠르게 진행되기 때문인 것으로 판단됨

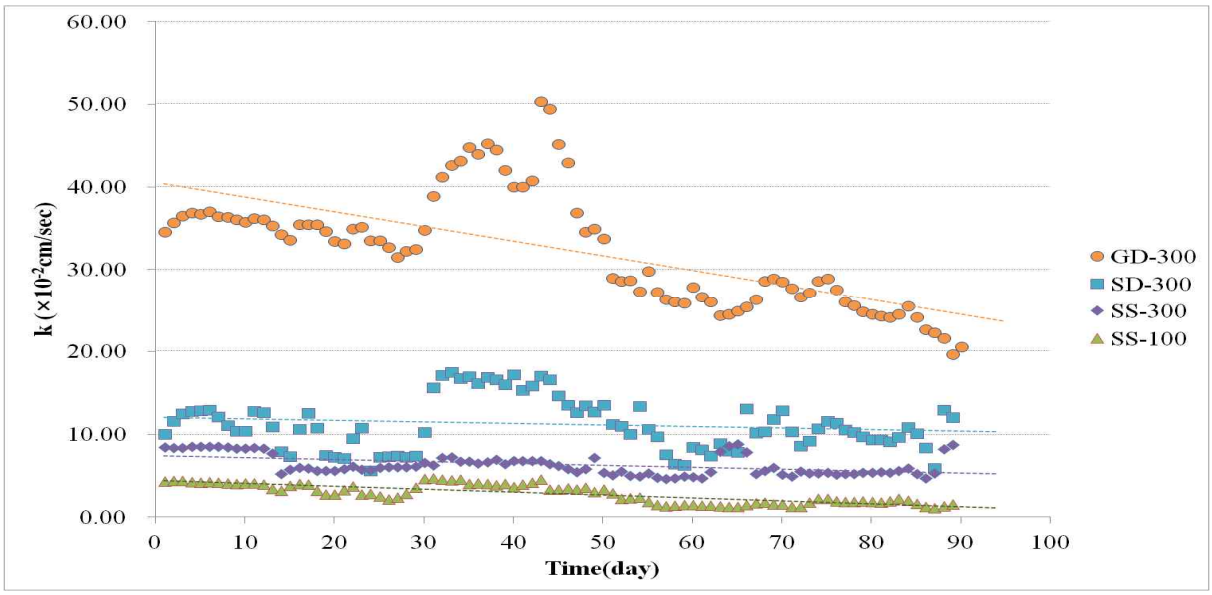


Fig 31. Variation graph of hydraulic conductivity over time

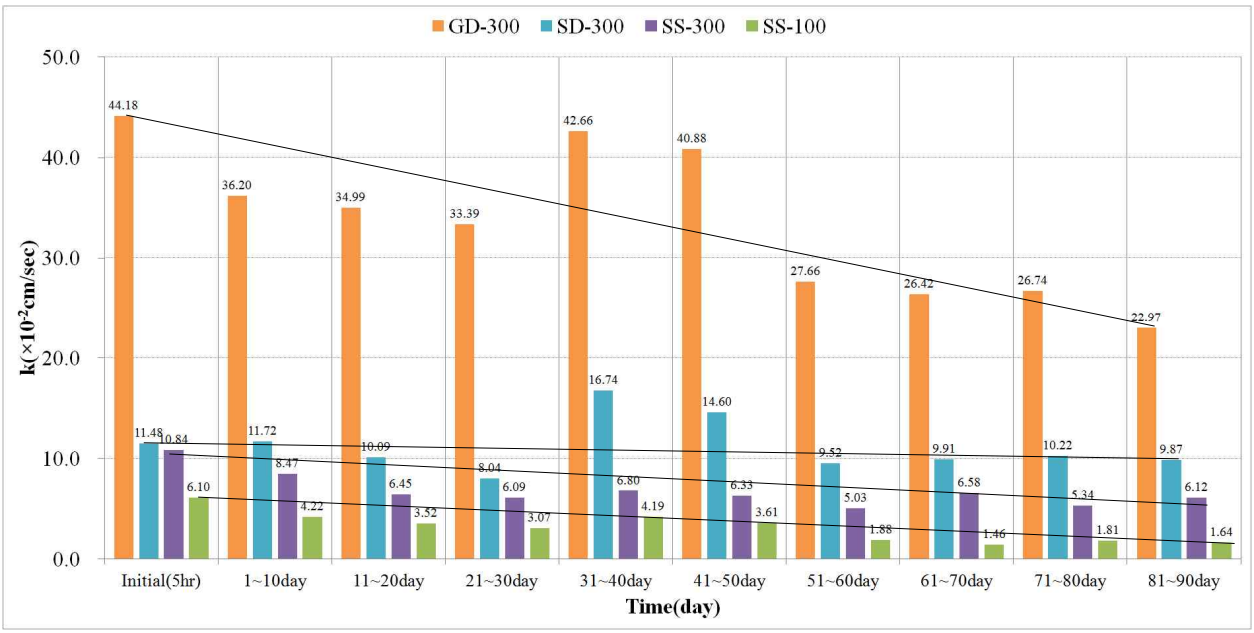


Fig 32. Contrast of hydraulic conductivity over time in all test set

•모래층에서 수행한 이중필터와 단일필터의 투수계수를 비교하면, 이중필터인 SD-300은 동일두께의 단일필터인 SS-300에 비해 초기 투수계수는 105.9% 효율을 보이며, 최종 투수계수는 161.3%의 효율로 평가되었음

•이중필터 SD-300과 필터층 두께가 얇은 단일필터 SS-100을 비교하면, 이중필터가 초기 투수계수에서 188.2%의 효율 평가되며, 최종 투수계수는 601.8% 효율로 나타남

•분석결과 이중필터와 단일필터의 투수계수 비가 시간이 경과할수록 커짐을 확인하였으며, 이는 단일필터에 비해 이중필터가 투수성이 상대적으로 양호하게 유지되는 것을 의미함

Table 25. Average hydraulic conductivity ratio(%) of SD-300/SS-300 and SD-30/SS-100 in sand formation

Time	k(cm/sec)			Contrast k(%)	
	SD-300	SS-300	SS-100	SD-300/SS-300	SD-300/SS-100
Initial(5hr)	11.48	10.84	6.10	105.9%	188.2%
1~10day	11.72	8.47	4.22	138.4%	277.7%
11~20day	10.09	6.45	3.52	156.4%	286.6%
21~30day	8.04	6.09	3.07	132.0%	261.9%
31~40day	16.74	6.8	4.19	246.2%	399.5%
41~50day	14.60	6.33	3.61	230.6%	404.4%
51~60day	9.52	5.03	1.88	189.3%	506.4%
61~70day	9.91	6.58	1.46	150.6%	678.8%
71~80day	10.22	5.34	1.81	191.4%	564.6%
81~90day	9.87	6.12	1.64	161.3%	601.8%

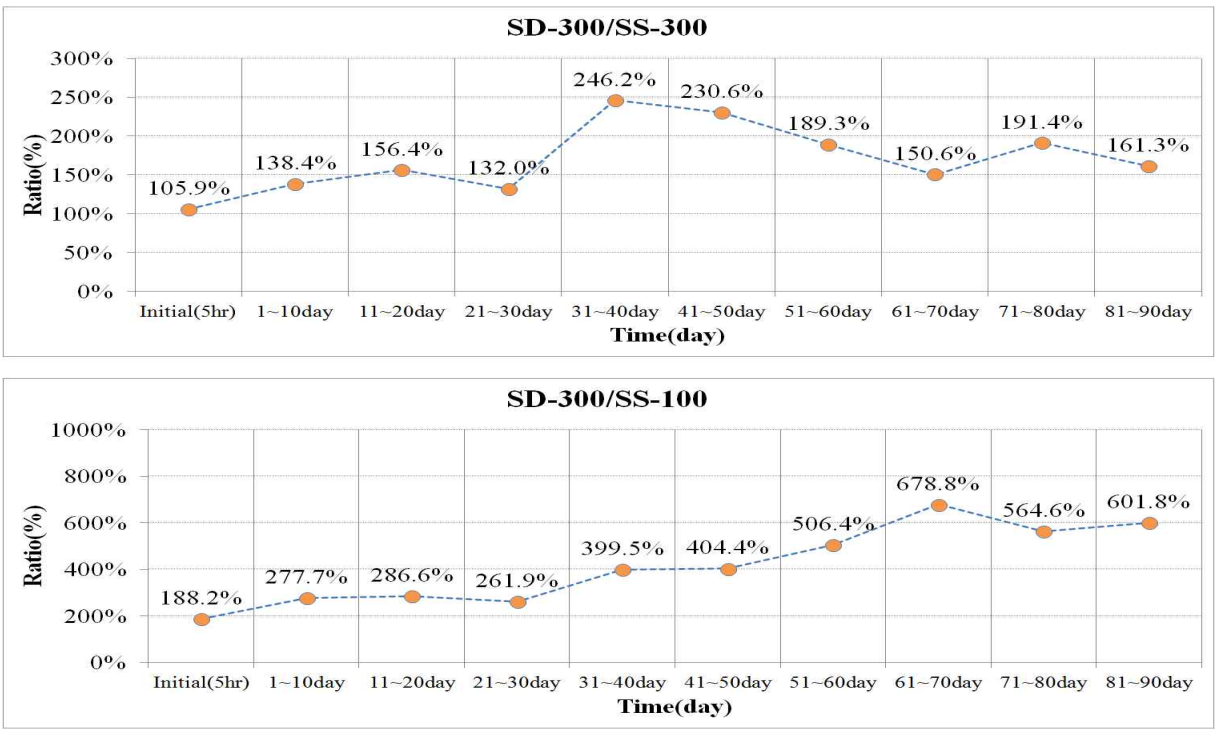


Fig 33. Variation graph of hydraulic conductivity ratio(%) over time for SD-300/SS-300 and SD-30/SS-100 in sand formation

② 적정양수량 분석

㉮ 시험조별 적정양수량 분석

GD-300

- 자갈층에서 시험을 수행한 GD-300의 경우 1~10일 구간의 적정양수량이 76.57L/min로 분석되었으며, 41~50일 구간에서 78.59L/min로 최대값을 보임
- 시험종료 구간인 81~90일 구간의 적정양수량은 49.72L/min로 가장 낮은 값을 나타냄

Table 26. Estimation of optimum yield using regression equation in GD-300(drawdown level = 50cm)

Formation	Filter type	Test time	Equation	Optimum Yield (L/min)
Gravel	Dual filter	Initial(5hr)		78.20
		1~10day	• $Q = 0.5746 \times s_w + 47.84$	76.57
		11~20day	• $Q = 0.0894 \times s_w + 67.42$	71.89
		21~30day	• $Q = 0.0816 \times s_w + 64.49$	68.57
		31~40day	• $Q = 0.0879 \times s_w + 71.83$	76.23
		41~50day	• $Q = 0.3507 \times s_w + 61.05$	78.59
		51~60day	• $Q = 0.0541 \times s_w + 56.78$	59.49
		61~70day	• $Q = 0.0669 \times s_w + 49.73$	53.08
		71~80day	• $Q = 0.045 \times s_w + 51.34$	53.59
		81~90day	• $Q = 0.258 \times s_w + 35.02$	47.92

※ 여기서, Q : 적정양수량(L/min), s_w : 수위강하량(cm)

- 자갈층에서 단독으로 시험을 수행한 GD-300의 경우 단계양수시험에서 산출한 시험 초기의 적정양수량은 78.20L/min을 보였으며, 장기양수시험에서는 점차로 양수량이 감소하는 양상을 보임
- 시험종료 구간인 81~90일 구간의 적정양수량이 47.92로 평가되었으며, 이는 투수계수 초기치의 약 61.3%에 해당함
- 즉, 초기치에 비해 90일 경과시 약 38.7%의 양수량이 저감된 것으로 평가됨

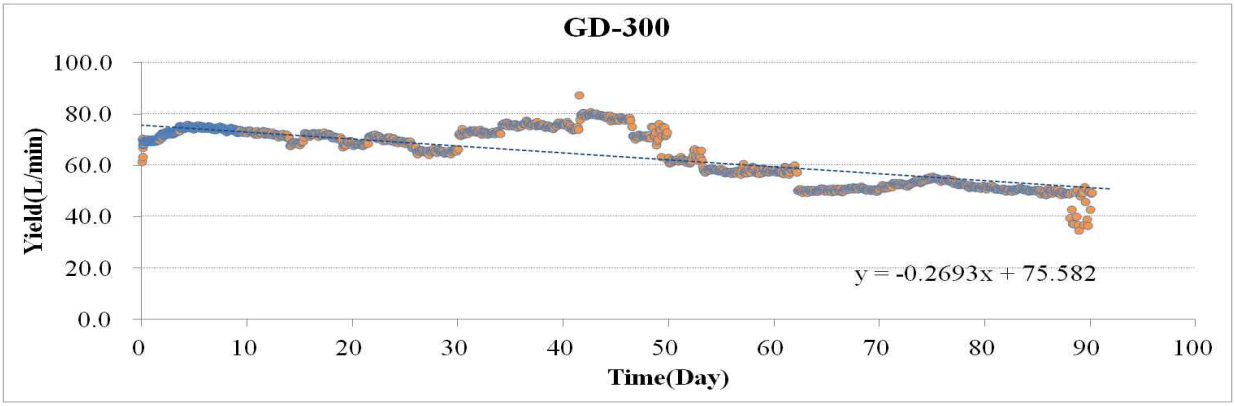


Fig 34. Variation graph of yield(L/min) according to time over in GD-300

Table 27. Yield(L/min) value and contrast intial value(%) according to time over in GD-300

Time	Initial (5hr)	1~10 day	11~20 day	21~30 day	31~40 day	41~50 day	51~60 day	61~70 day	71~80 day	81~90 day
Yield (L/min)	78.20	76.57	71.89	68.57	76.23	78.59	59.49	53.08	53.59	47.92
Contrast Initial (%)	100.0	97.9	91.9	87.7	97.5	100.5	76.1	67.9	68.5	61.3

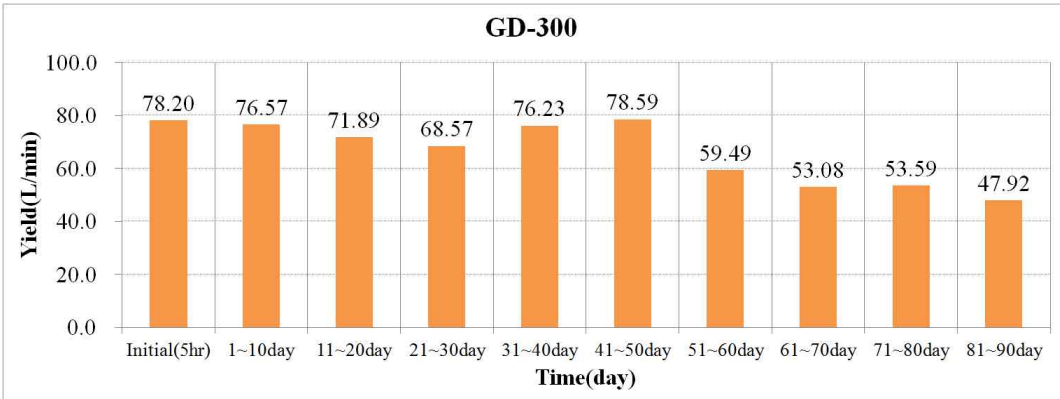


Fig 35. Comparison of yield(L/min) by time over in GD-300

SD-300

•모래층에서 이중필터를 형성시켜 시험을 수행한 SD-300의 경우 1~10일 구간의 적정양수량이 24.71L/min로 분석되었으며, 시험종료 구간인 81~90일 구간의 적정양수량은 22.77L/min로 평가됨

Table 28. Estimation of optimum yield using regression equation in SD-300(drawdown level = 50cm)

Formation	Filter type	Test time	Equation	Optimum Yield (L/min)
Gravel	Dual filter	Initial(5hr)		24.06
		1~10day	• $Q = 0.1977 \times s_w + 14.82$	24.71
		11~20day	• $Q = 0.1527 \times s_w + 13.30$	20.94
		21~30day	• $Q = 0.0633 \times s_w + 13.40$	16.57
		31~40day	• $Q = 0.0851 \times s_w + 25.76$	30.02
		41~50day	• $Q = 0.2252 \times s_w + 18.68$	29.94
		51~60day	• $Q = 0.2099 \times s_w + 9.57$	20.07
		61~70day	• $Q = 0.1455 \times s_w + 10.32$	17.60
		71~80day	• $Q = 0.0908 \times s_w + 13.97$	18.51
		81~90day	• $Q = 0.3473 \times s_w + 5.40$	22.77

•모래층의 이중필터로 구성된 SD-300의 경우 단계양수시험에서 산출한 시험 초기의 적정양수량은 24.06L/min을 보였으며, 장기양수시험에서는 점차로 양수량이 감소하는 양상을 보임

•시험종료 구간인 81~90일 구간의 적정양수량이 22.77L/min로 평가되었으며, 이는 초기치의 약 94.6%에 해당하고 가장 낮게 평가된 구간의 양수량은 16.57L/min이며, 이는 초기치의 68.8%임

•즉, 초기치에 비해 90일 경과시 약 5.4%, 최저치 기준 31.2%의 양수량이 저감된 것으로 평가됨

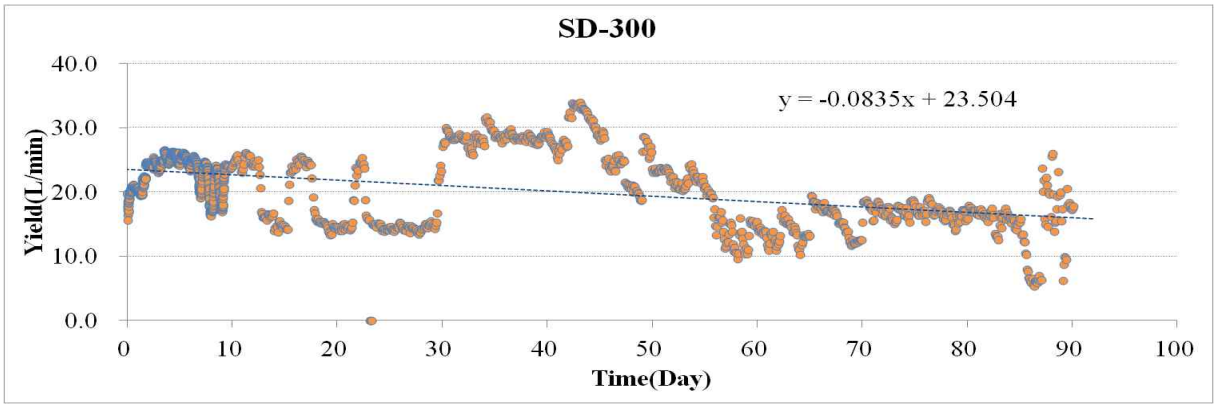


Fig 36. Variation graph of yield(L/min) according to time over in SD-300

Table 29. Yield(L/min) value and contrast intial value(%) according to time over in SD-300

Time	Initial (5hr)	1~10 day	11~20 day	21~30 day	31~40 day	41~50 day	51~60 day	61~70 day	71~80 day	81~90 day
Yield (L/min)	24.06	24.71	20.94	16.57	30.02	29.94	20.07	17.60	18.51	22.77
Contrast Initial (%)	100.0	102.7	87.0	68.8	124.8	124.4	83.4	73.1	76.9	94.6

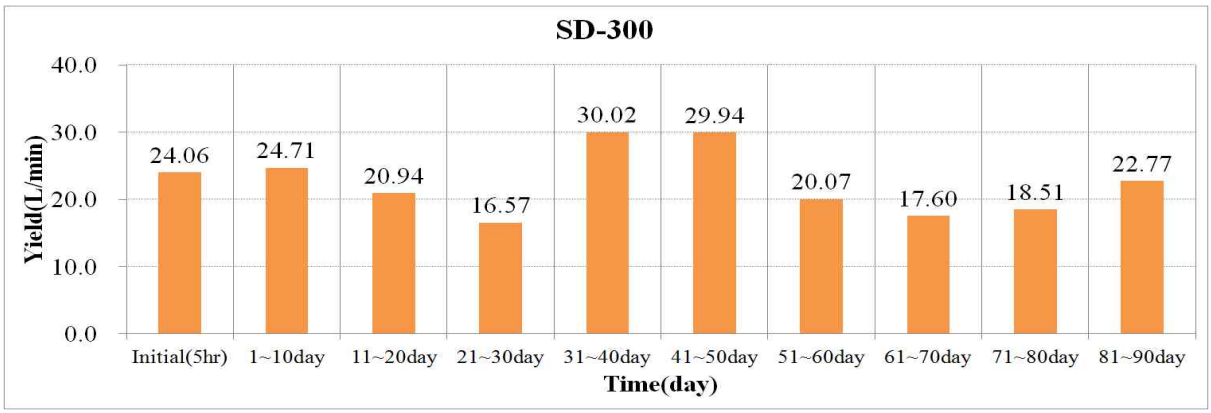


Fig 37. Comparison of yield(L/min) by time over in SD-300

SS-300

•모래층 단일필터 두께 30cm로 형성시켜 시험을 수행한 SS-300의 경우 1~10일 구간의 적정양수량이 16.94L/min로 최대값을 보이며, 시험종료 구간인 81~90일 구간의 적정양수량은 10.50L/min로 평가됨

Table 30. Estimation of optimum yield using regression equation in SS-300(drawdown level = 50cm)

Formation	Filter type	Test time	Equation	Optimum Yield (L/min)
Gravel	Dual filter	Initial(5hr)		19.42
		1~10day	• $Q = 0.0444 \times s_w + 14.72$	16.94
		11~20day	• $Q = 0.0702 \times s_w + 9.76$	13.27
		21~30day	• $Q = 0.0309 \times s_w + 10.49$	12.04
		31~40day	• $Q = 0.0334 \times s_w + 11.15$	12.82
		41~50day	• $Q = 0.0505 \times s_w + 9.83$	12.36
		51~60day	• $Q = 0.0429 \times s_w + 8.34$	10.49
		61~70day	• $Q = 0.0736 \times s_w + 7.90$	11.58
		71~80day	• $Q = 0.0350 \times s_w + 8.73$	10.48
		81~90day	• $Q = 0.0478 \times s_w + 8.11$	10.50

•모래층 단일필터 두께 30cm로 형성시켜 시험을 수행한 SS-300의 경우 단계양수시험에서 산출한 시험 초기의 적정양수량은 19.42L/min을 보였으며, 장기양수시험에서는 양수량이 점차 감소하는 양상을 보임

•시험종료 구간인 81~90일 구간의 적정양수량이 10.50L/min로 평가되었으며, 이는 투수계수 초기치의 약 54.1%에 해당하고 가장 낮게 평가된 구간의 양수량은 10.48L/min이며, 이투수계수 초기치의 54.0%임

•즉, 초기치에 비해 90일 경과시 약 45.9%, 최저치 기준 46.0%의 양수량이 저감된 것으로 평가됨

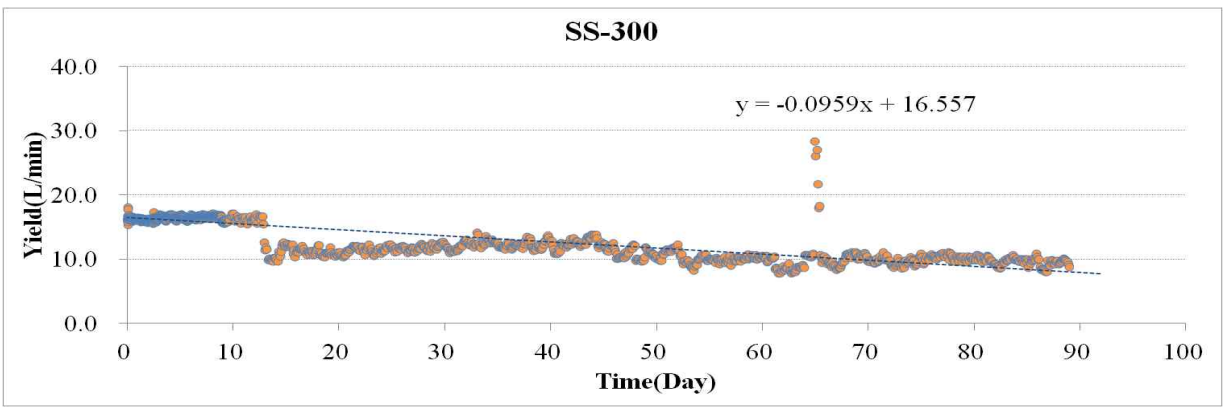


Fig 38. Variation graph of yield(L/min) according to time over in SS-300

Table 31. Yield(L/min) value and contrast intial value(%) according to time over in SS-300

Time	Initial (5hr)	1~10 day	11~20 day	21~30 day	31~40 day	41~50 day	51~60 day	61~70 day	71~80 day	81~90 day
Yield (L/min)	19.42	16.94	13.27	12.04	12.82	12.36	10.49	11.58	10.48	10.50
Contrast Initial (%)	100.0	87.2	68.3	62.0	66.0	63.6	54.0	59.6	54.0	54.1

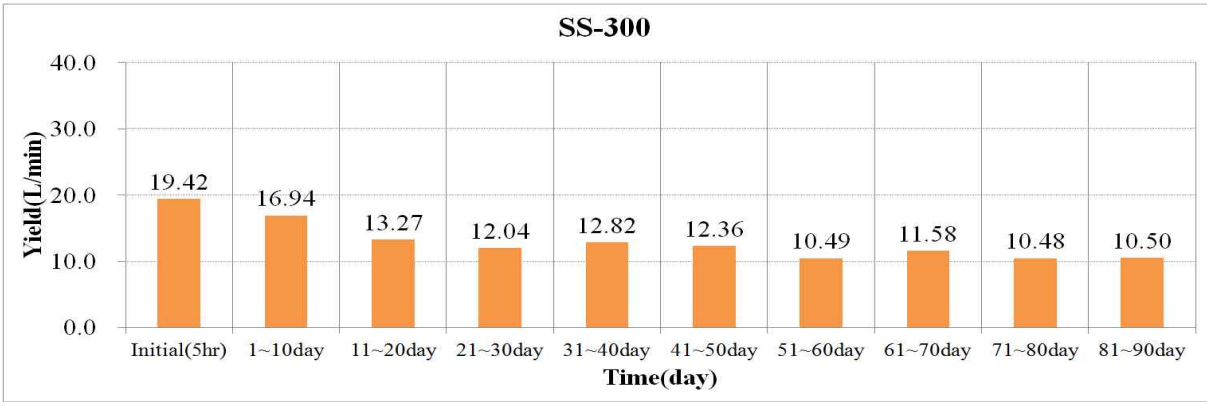


Fig 39. Comparison of yield(L/min) by time over in SS-300

SS-100

•모래층 단일필터 두께 10cm로 형성시켜 시험을 수행한 SS-100의 경우 1~10일 구간의 적정양수량이 10.84L/min로 최대값을 보이며, 시험종료 구간인 81~90일 구간의 적정양수량은 3.21L/min로 평가됨

Table 32. Estimation of optimum yield using regression equation in SS-100(drawdown level =50cm)

Formation	Filter type	Test time	Equation	Optimum Yield (L/min)
Gravel	Dual filter	Initial(5hr)		11.03
		1~10day	• $Q = 0.0383 \times s_w + 6.69$	10.84
		11~20day	• $Q = 0.0546 \times s_w + 4.58$	7.31
		21~30day	• $Q = 0.0582 \times s_w + 3.48$	6.39
		31~40day	• $Q = 0.0781 \times s_w + 4.6$	8.51
		41~50day	• $Q = 0.0612 \times s_w + 4.21$	7.27
		51~60day	• $Q = 0.0279 \times s_w + 2.37$	3.77
		61~70day	• $Q = 0.0174 \times s_w + 2.06$	2.93
		71~80day	• $Q = 0.0315 \times s_w + 2.05$	3.63
		81~90day	• $Q = 0.0224 \times s_w + 2.09$	3.21

•SS-100의 경우 단계양수시험에서 산출한 시험 초기의 적정양수량은 11.03L/min을 보였으며, 장기양수시험에서는 양수량이 점차 감소하는 양상을 보임

•시험종료 구간인 81~90일 구간의 적정양수량이 3.21L/min로 평가되었으며, 이는 투수계수 초기치의 약 29.1%에 해당함

•즉, 초기치에 비해 90일 경과시 약 70.9%의 양수량이 저감된 것으로 평가됨

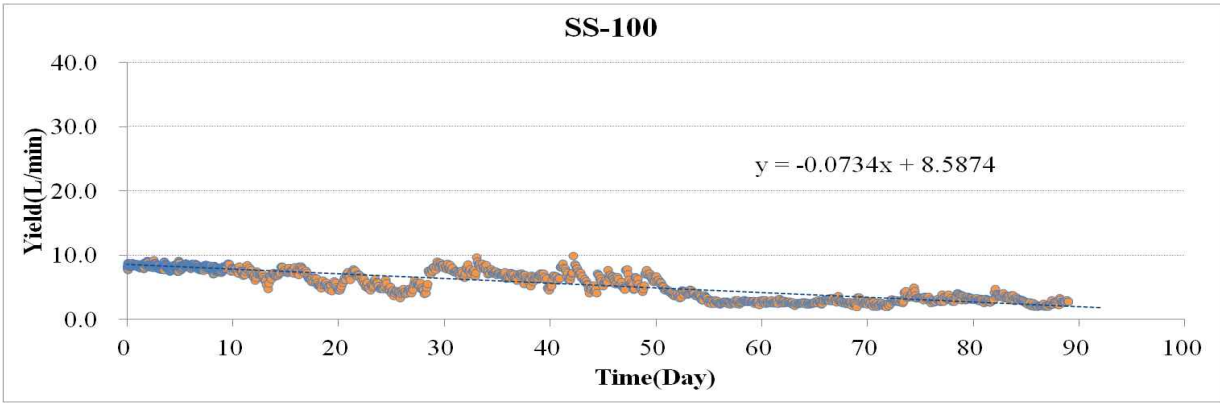


Fig 40. Variation graph of yield(L/min) according to time over in SS-100

Table 33. Yield(L/min) value and contrast intial value(%) according to time over in SS-100

Time	Initial (5hr)	1~10 day	11~20 day	21~30 day	31~40 day	41~50 day	51~60 day	61~70 day	71~80 day	81~90 day
Yield (L/min)	11.03	10.84	7.31	6.39	8.51	7.27	3.77	2.93	3.63	3.21
Contrast Initial (%)	100.0	98.3	66.3	57.9	77.1	65.9	34.1	26.6	32.9	29.1

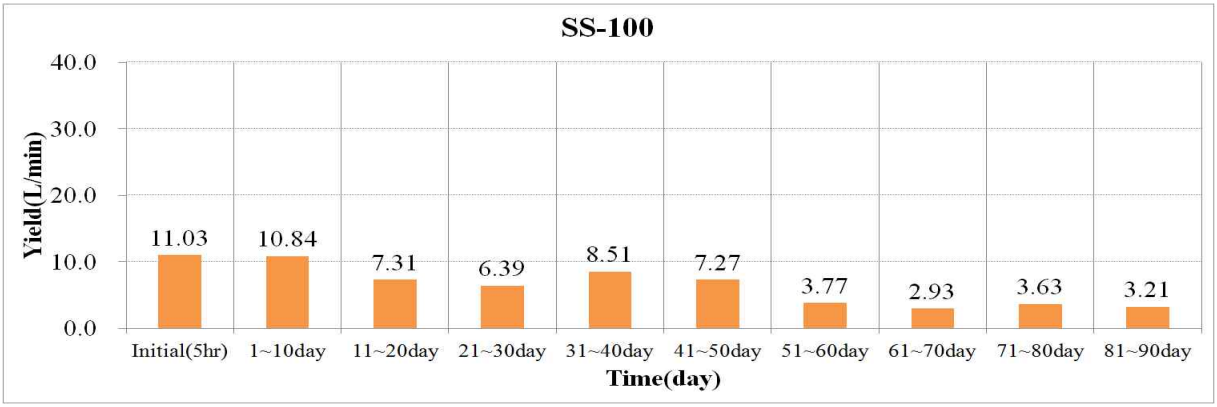


Fig 41. Comparison of yield(L/min) by time over in SS-100

㉰ 적정양수량 비교분석

- 적정양수량 분석결과 자갈층에서 수행한 이중필터 시험조인 GD-300에서 가장 높은 값을 보이는 것으로 파악되며, 이는 자갈층의 투수성이 높은데 기인한 것임
- 모래층에서의 적정양수량은 이중필터로 설치된 SD-300에서 가장 높은 값을 보이는 것으로 평가되었으며, 단일필터 층에서는 필터재 두께가 30cm로 설정한 SS-300이 10cm로 선정한 SS-100에 비해 양호한 투수특성을 보이는 것으로 확인됨
- 추세선을 분석하면, 자갈층에서의 기울기가 모래층보다 크게 나타나는데, 이는 충적층에서 필터재로의 세립토사 유입이 모래층보다 자갈층에서 더 빠르게 진행되기 때문인 것으로 판단됨

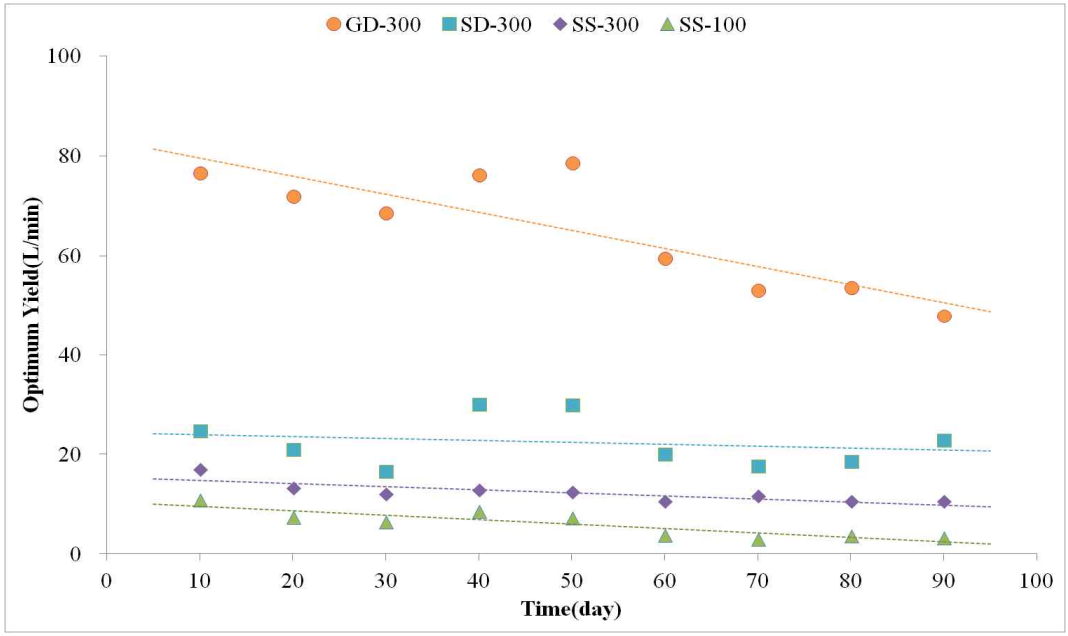


Fig 42. Variation graph of optimum yield(L/min) over time

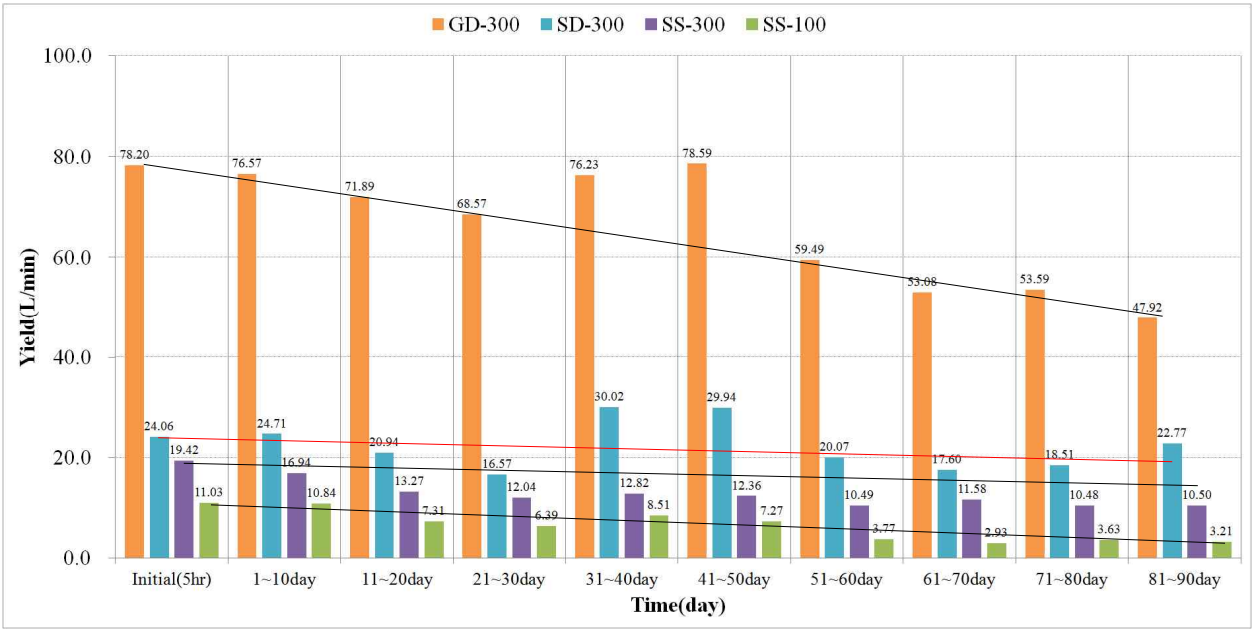


Fig 43. Contrast of optimum yield(L/min) over time in all test set

•모래층에서 수행한 이중필터와 단일필터의 적정양수량를 비교하면, 이중필터인 SD-300은 동일두께의 단일필터인 SS-300에 비해 초기 적정양수량은 123.9%의 효율을 보이며, 최종 적정양수량은 216.8%의 효율을 보임(최대 242.3%)

•이중필터 SD-300은 필터층 두께가 얇은 단일필터 SS-100 대비 초기 적정양수량에서 218.1%의 효율을 보이며, 최종 적정양수량은 709.2%의 효율을 보임

•분석결과 이중필터와 단일필터의 적정양수량 비가 시간이 경과할수록 증대됨을 확인하였으며, 이는 단일필터에 비해 이중필터에서 양수량이 상대적으로 양호하게 유지되는 것을 나타냄

Table 34. Average hydraulic conductivity ratio(%) of SD-300/SS-300 and SD-30/SS-100 in sand formation

Time	Optimum yield(L/min)			Contrast Q(%)	
	SD-300	SS-300	SS-100	SD-300/SS-300	SD-300/SS-100
Initial(5hr)	24.06	19.42	11.03	123.9%	218.1%
1~10day	24.71	16.94	10.84	145.8%	227.9%
11~20day	20.94	13.27	7.31	157.8%	286.4%
21~30day	16.57	12.04	6.39	137.6%	259.2%
31~40day	30.02	12.82	8.51	234.1%	352.9%
41~50day	29.94	12.36	7.27	242.3%	411.8%
51~60day	20.07	10.49	3.77	191.4%	532.9%
61~70day	17.60	11.58	2.93	151.9%	600.5%
71~80day	18.51	10.48	3.63	176.6%	510.6%
81~90day	22.77	10.50	3.21	216.8%	709.2%

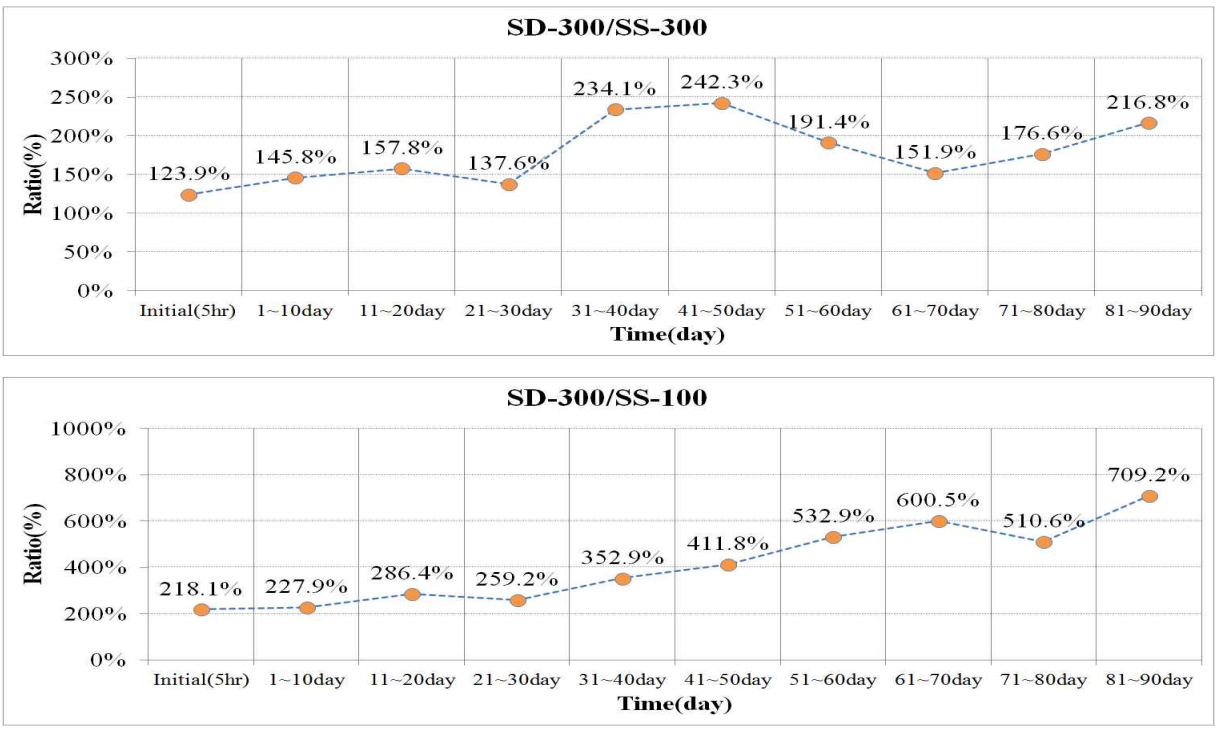


Fig 44. Variation graph of hydraulic conductivity ratio(%) over time for SD-300/SS-300 and SD-30/SS-100 in sand formation

③ 장기적 안정성 평가

- 동일조건에서의 적정양수량 분석을 위해 시간경과에 따른 적정양수량을 앞서 산출한 바 있음
- 시간 구간에 따른 적정양수량을 그래프에 도시하여 시간경과에 따른 적정양수량의 변화를 나타내고 이에 대한 추세선식을 활용하면 양수 후 특정 시기의 적정양수량 산출이 가능함
- 아래 표는 수위강하량 50cm로 보정한 시험조별 10일 단위의 적정 양수량을 산정한 것이며, 관련 그래프는 아래 그림과 같음

Table 35. Optimum yield of in the case of drawdown level 50cm

time (day)	Optimum yield(L/min), drawdown level = 50cm			
	GD-300	SD-300	SS-300	SS-100
10	76.57	24.71	16.94	10.84
20	71.89	20.94	13.27	7.31
30	68.57	16.57	12.04	6.39
40	76.23	30.02	12.82	8.51
50	78.59	29.94	12.36	7.27
60	59.49	20.07	10.49	3.77
70	53.08	17.60	11.58	2.93
80	53.59	18.51	10.48	3.63
90	47.92	22.77	10.50	3.21

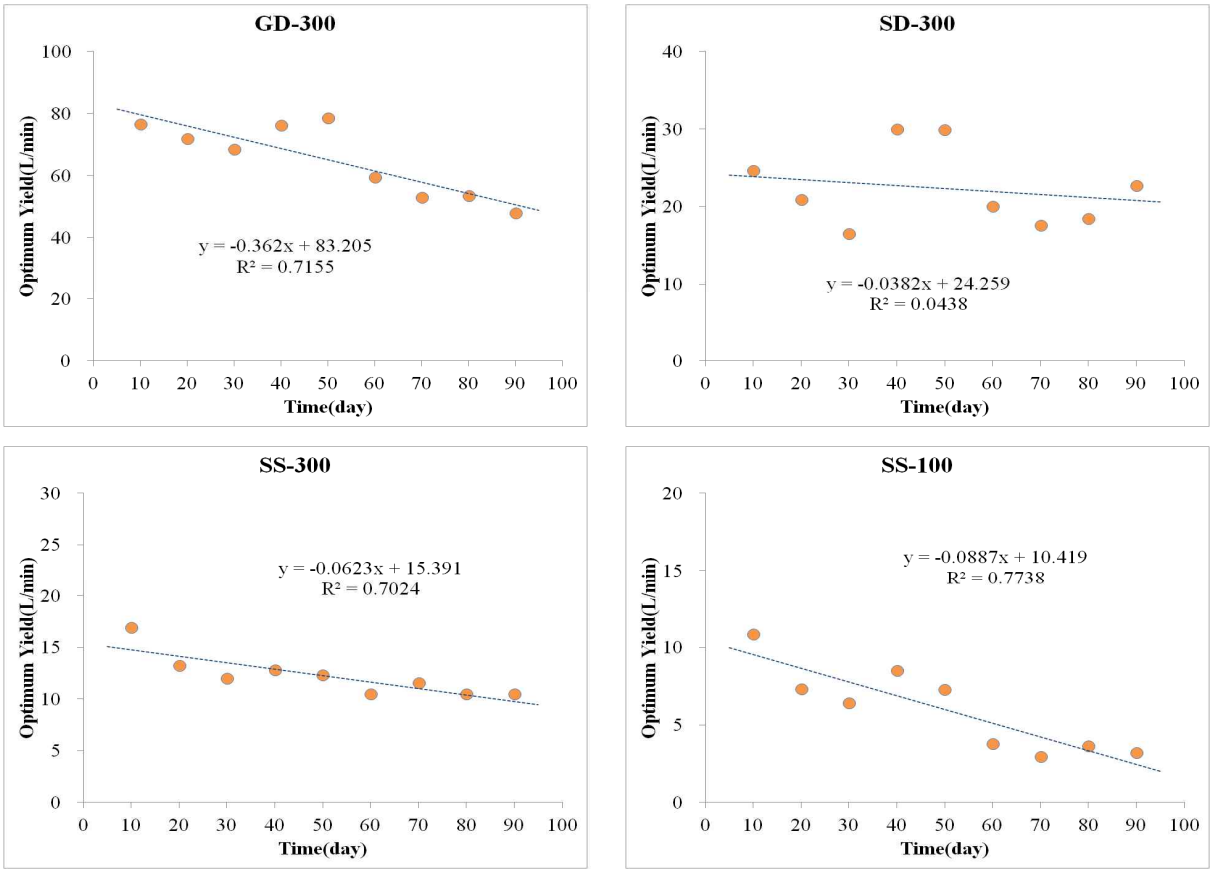


Fig 45. Relationship of Optimum yield and elapsed time yield by each test

•회귀식을 바탕으로 각 시험조별 초기 적정양수량이 50% 저감되는 시점을 검토한 결과 자갈층 이중필터인 GD-300에서 121.8일, 모래층 이중필터인 SD-300에서 320.1일, 모래층 단일필터인 SS-300에서 91.2일, 모래층에서의 필터두께 10cm로 설정한 단일필터인 SS-100에서 55.3일로 평가됨

•상호 비교가 가능한 모래층을 대상으로 분석하면, 이중필터인 SD-300은 동일두께 단일필터인 SS-300 대비 약 351.1% 높은 값을 보이며, SS-100 대비 약 579.0% 높은 값을 나타냄

•위의 결과를 볼 때, 초기 양수량의 50%로 저하되는 지점을 우물 수명으로 가정하면, 이중필터는 동일두께의 단일필터 대비 약 3.5배, 일반적인 단일필터 대비 약 5.8배의 수명 증대가 예상됨

Table 36. Required time at 50% yield and the ratio of SS-300, SS-100 to SD-300

Test No.	Regression equation	Q(1/2 yield) (L/min)	T(Required time)(day)	Contrast SS-300(%)	Contrast SS-100(%)
GD-300	• Q = −0.362 × T + 83.205	39.10	121.8	-	-
SD-300	• Q = −0.0382 × T + 24.259	12.03	320.1	351.1	579.0
SS-300	• Q = −0.0623 × T + 15.391	9.71	91.2	100.0	164.9
SS-100	• Q = −0.0887 × T + 10.419	5.52	55.3	60.6	100.0

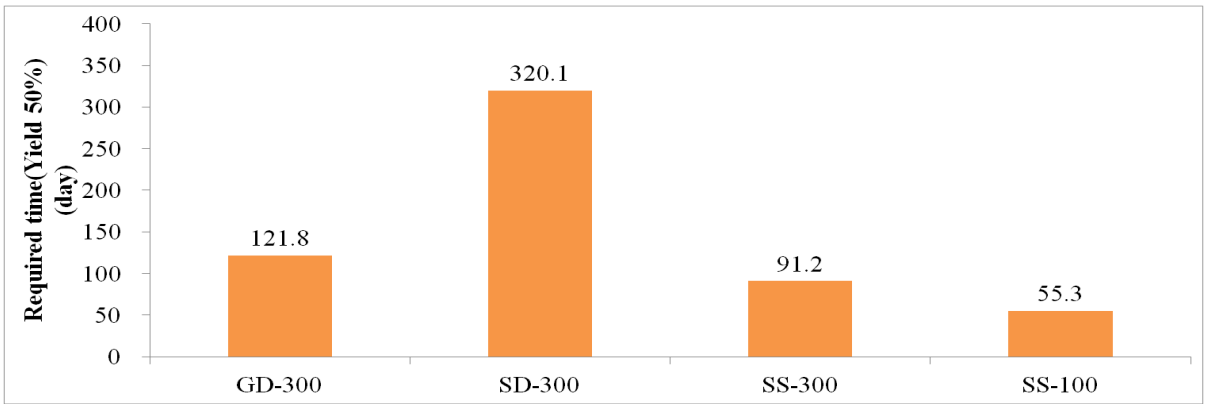


Fig 46. Comparision of required time at 50% yield

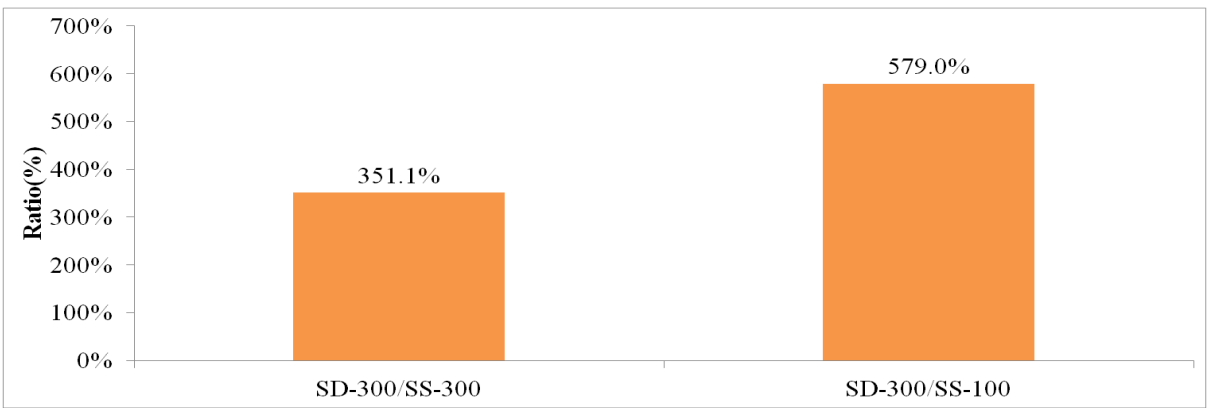


Fig 47. Comparision of SD-300/SS-300, SD-300/SS-100

2-3 해변여과수(2차년도) 현장실증시험

가. 해변여과수(테스트베드 1)

(1) 연구목적

- 해변여과수 취수를 위한 취수정에 대하여 이중필터취수정 및 단일필터취수정에 대한 단기 및 장기시험 수행하고 그 결과를 검증

(2) 시험조건

(가) 테스트배드 위치선정

- 강릉시 사천면 사천진리 351-6임, 보전녹지지역으로 지적면적 9,438㎡ 중 편입면적은 1.740㎡임
- 351-6임 인근 공유수면에 설치하였으며, 해변과의 거리는 35m 내외이고 해안철조망과 인접하여 위치함
- 지상구조물로는 철조망과 가설시설 1동이 존재함
- 테스트배드 선정을 위해 협동연구기관인 동부엔지니어링(주)에서 지반조사를 실시후 위치를 선정

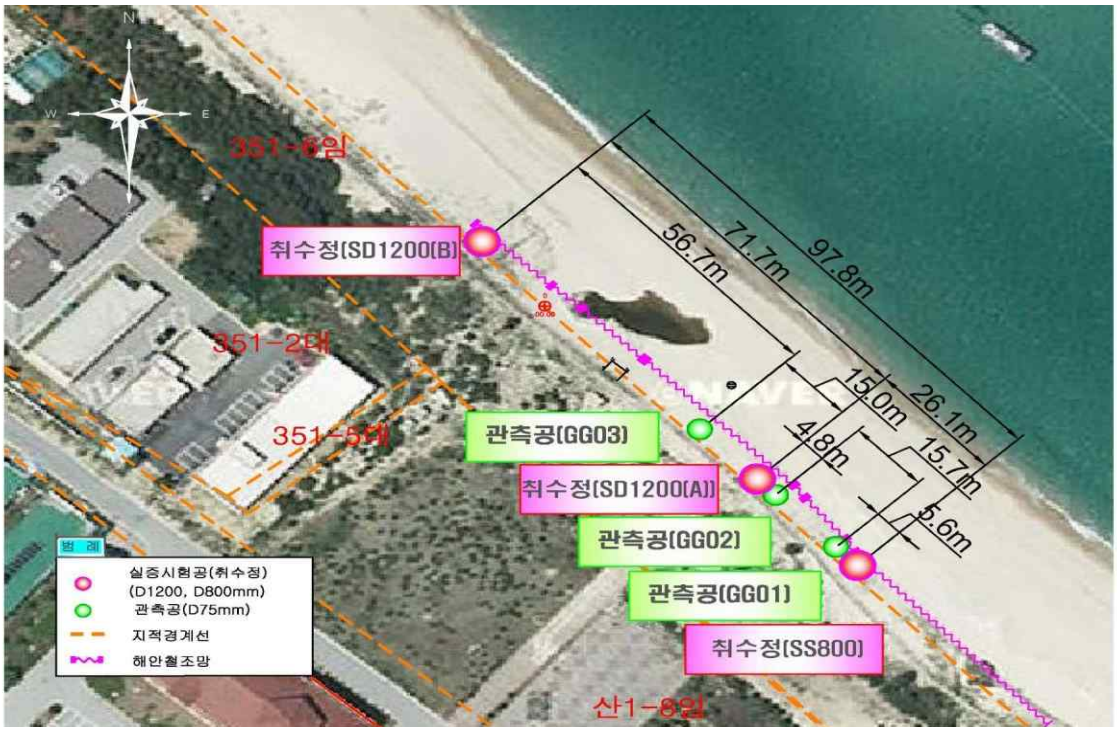


Fig 48. Site map



Fig 49. Site foreground photograph

(나) 시추조사 및 관측정 설치

- 시험지역의 지층, 지층별 토성, 대수층등을 파악하기 위하여 시추기(유압식 회전수세식, D-3 Core Barrel)를 이용한 시추조사를 수행함
- 시추조사가 완료된 공은 관측정으로 사용
- 총 3개의 공을 굴착하였으며 공별 조사세부내용은 아래와 같음
  - GG01 : 조사심도 31.0m, 지하수위 GL-3.8m, 모래층 층후 8.0m, 자갈질 모래층 층후 1.6m, 풍화토 층후 10.8m, 풍화암 층후 9.4m, 풍화암 하부로는 연암이 확인됨
  - GG02 : 조사심도 22.0m, 지하수위 GL-3.8m, 모래층 층후 8.5m, 자갈질 모래층 층후 1.2m, 풍화토 층후 9.3m, 풍화토 하부로는 풍화암이 확인됨
  - GG03 : 조사심도 22.0m, 지하수위 GL-3.8m, 모래층 층후 8.5m, 자갈질 모래층 층후 5.3m, 풍화토 층후 2.0m, 풍화토 하부로는 풍화암이 확인됨



GG01 GG02 GG03

Fig 50. GG01~03 cross section

(다) 대수층 입도분석

- 각 토사지층의 물리적 특성을 파악하기 위하여 시추조사 시 표준관입시험으로 채취된 토사시료에 대하여 한국공업규격(KS F)에 의거하여 각 공당 3회씩 총 9회의 실내시험을 실시함
- GG-01 관측공의 토질은 GL-9.0 심도까지는 세립질이 거의 없고 입도분포가 나쁜 모래로 확인되며, 그 이하의 심도는 실트질을 소량함유하는 모래로 확인됨
- GG-02 관측공의 토질은 GL-9.0 심도까지는 세립질이 거의 없고 입도분포가 나쁜 모래로 확인되며, 그 이하의 심도는 실트질을 소량함유하는 모래로 확인됨
- GG-03 관측공의 토질은 GL-7.0 심도까지는 세립질이 거의 없고 입도분포가 좋은 모래로 확인되며, 그 이하의 심도는 실트질을 소량 함유하는 모래로 확인됨

Table 37. Particle size distribution of alluvium

구 분	심 도 (m)	통일분류	체분석			입 도(mm)		
			#4(%)	#200(%)	0.005(mm)	D60	D30	D10
GG-01	6.0	SP	94.9	2.4	-	1.729	0.948	0.435
	9.0	SP	70.4	3.4	-	3.100	1.085	0.415
	15.0	SM	99.5	35.8	12.0	0.361	0.045	0.003
GG-02	6.0	SP	100	1.3	-	1.371	0.840	0.526
	9.0	SP	73.6	4.4	-	2.562	0.882	0.307
	15.0	SM	99.7	26.5	9.0	0.706	0.128	0.007
GG-03	7.0	SW	97.9	4.3	-	1.728	0.854	0.219
	12.0	SM	100	22.3	6.9	0.704	0.166	0.012
	15.0	SM	98.5	20.5	-	0.904	0.191	-

(라) 필터재 선정

- 해당지역의 시추 및 입도분석결과에 근거하여 취수정의 필터재를 선정
- 입도분석결과를 이용하여 아래의 2가지 방식으로 필터재를 선정

① 필터재 선정방식 1 - 필터설계기준(NAVFAC DM7)

Table 38. Grain range of filter materials to be applied to the fine~medium size sand

관리기준	D15f < 5D85s	4D15s < D15f < 20D15s	D50f < 25D50s
BH-1	D15f <17.55	1.428 < D15f < 7.14	D50f < 35.925
BH-2	D15f <9.07	2.416 < D15f < 12.08	D50f < 29.825
BH-3	D15f <18.21	2.252 < D15f < 11.26	D50f < 36.725
선 정	**D15f <9.07**	**2.416 < D15f < 12.08 (1.428 < D15f < 7.14)**	**D50f < 29.825**

Table 39. Grain range of filters to be applied to the coarse size sand layer with gravel

관리기준	D15f < 5D85s	4D15s < D15f < 20D15s	D50f < 25D50s
BH-1	D15f < 9.07	0.096 < D15f < 0.48	D50f < 10.825
BH-2	D15f < 63.96	1.92 < D15f < 9.6	D50f < 43.15
BH-3	D15f < 90.29	2.612 < D15f < 13.06	D50f < 46.925
선 정	**D15f < 63.96 (D15f < 9.07)**	**1.92 < D15f < 9.6 (0.096 < D15f < 0.48**	**D50f < 43.15 (D50f < 10.825)**

Table 40. Grain range by size of filter material (jumunjin sand)

여과사 / 여과사리		D15	D50	D60
여과사	0.8 ~ 2.0mm	0.975	1.280	1.387
여과사리	2.0 ~ 5.0mm	2.219	3.027	3.273
	5.0 ~ 10.0mm	6.379	8.188	9.268

② 필터재 선정방식 2 – 강변여과수 설계기준

- 취수정 SD1200(A), SS800의 선정 필터재
  - 외부필터재 : 여과사 2.0~5.0mm
  - 내부필터재 : 여과사리 5.0~10.0mm

Table 41. Grain range of filter materials to be applied to the fine~medium size sand

공 번	외부필터재 (Fout = D60×4)	균등계수, Cu [(Fout60÷Fout10)=2]	내부필터재 (Fin = D60×4)	균등계수, Cu [(Fin60÷Fin10)=2]
BH-1	6.912	3.456	27.648	13.824
BH-2	5.484	2.742	21.936	10.968
BH-3	6.916	3.458	27.664	13.832
선 정	5.484		21.936	

Table 42. Grain range of filters to be applied to the coarse size sand layer with gravel

공 번	외부필터재 (Fout = D60×4)	균등계수, Cu [(Fout60÷Fout10)=2]	내부필터재 (Fin = D60×4)	균등계수, Cu [(Fin60÷Fin10)=2]
BH-1	2.816	1.408	11.264	-
BH-2	10.248	5.124	40.992	-
BH-3	12.4	6.2	49.6	-
선 정	10.248 (2.816)		40.992 (11.264)	

- 국내에서 생산되는 필터재(주문진사)의 규격은 제한적임
- 따라서, “NAVFAC DM7” 필터설계기준에 따른 모래층의 필터조건, 즉 (D15)필터 < 9.07mm, 1.92mm < (D15)필터 < 9.6mm, (D50)필터 < 29.825mm에 부합되는 필터재는 2.0~5.0m임
- 또한, 강변여과수 설계기준에 의한 모래층의 필터조건은 외부필터 F60out 2.816mm~5.484mm, 내부필터 F60in=11.264mm~21.936mm로 내부필터재는 2.0~5.0m, 외부필터재 5.0~10.0mm 규격이 적당하며, 이때의 계산상 스크린 슬롯폭은 2.742mm로 적정 슬롯폭은 2mm가 합당할 것으로 판단됨
- 두가지 방식을 모두 만족시키면서 SPT시료 채취시 세립분의 유실율을 감안하여 종합적으로 검토한 결과, 모래층의 외부필터재는 2.0~5.0mm의 여과사와 내부필터재는 5.0~10.0m가 가장 적당하며, 이때 스크린의 슬롯폭은 2mm를 적용하는 것이 타당할 것으로 평가됨

(마) 테스트베드 설치

① 이중필터 취수정-1(SD1,200(A) : 내·외부 필터재 → 주문진 규사 적용)

- 이중필터 취수정 설치 과정은 다음과 같음

- 외부케이싱 압입 및 굴착(대수층 심도 확인)
- 내부케이싱 설치
- 취수관 설치
- 필터재 충진(여과사:외·내부케이싱 사이)
- 내부케이싱 인발(케이싱 내·외부의 압력 차이를 최소화하기 위해 먼저 수직 인발)
- 외부케이싱 인발(필터재와 원지반의 교란최소화를 고려해 수직 인발)
- 취수본관 설치

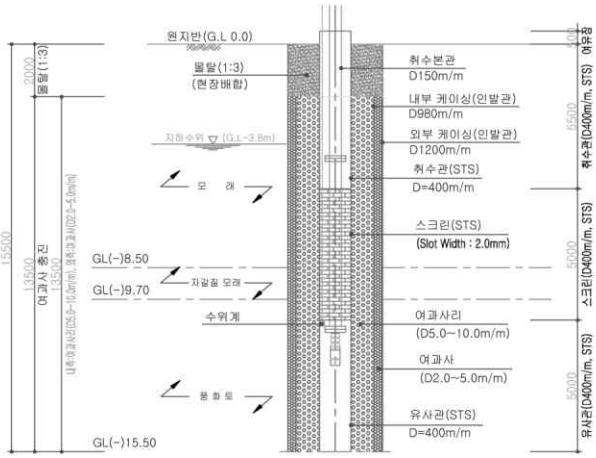


Fig 51. SD1200(B) cross section

- 총 굴착심도는 15.5m로 GL-8.5까지 모래층, GL-8.5~13.8까지 자갈질모래, GL-13.8하부로는 풍화토가 확인됨
- 지표하 2m 지점까지 몰탈(1:3)을 배합하여 지상부를 마감함
- 필터재 충후 13.5m, 내부필터재 직경 2~5mm 여과사, 외부필터재 세립분 제거된 원위치 토사사용
- 스크린 슬롯폭 2mm, 총 길이는 5m로 취수관에 포함되고 모래층, 자갈질모래층에 걸쳐 설치함


기계기구설치(오실레이터)


기계기구설치(케이싱설치, 수직도검사)


대구경천공(함마그라브)


대구경천공(치즐)


취수관 제작(D400mm)


케이싱 인발기 설치


내부 케이싱설치


취수관 설치


에어써징관 설치


필터재주입(여과사리)


필터재주입(여과사)


내부케이싱 인발


외부케이싱 인발


몰탈 채움


설치완료

Fig 52. Photograph of installation process(SD1200(A))

Table 43. Device composition(SD1200(A))

구 분	장치구성	규 격
취수본관	•취수를 위한 관으로 취수관의 내부에 설치하며, 취수정의 중심에 위치함	•D150mm
취수관	•취수를 위한 스테인레스관으로 스크린을 포함하며, 취수본관 외부에 설치	•STS D400mm
스크린	•취수를 위한 스테인레스 스크린 설치	•외경 Ø408mm, Slot폭 : 2.0mm •개공율 22.7%, 재질 : STS 316L
수중모터펌프(SPK)	•양수시험용 펌프, 취수관에 설치하여 양수시험 •펌프배관에 설치된 밸브를 통해 시험조의 유출 유량을 조절	•380V, 40HP
케이싱	•필터층 형성시 사용 후 제거	•내부케이싱 OD:980mm,ID:940mm •외부케이싱 OD:1200mm,ID:1100mm
필터재	•대수층의 특성을 파악하여 해당 지역에 맞는 양질의 필터재를 적용함 •충적토의 입도분석결과를 통해 산정된 외부 및 내부 필터재의 입경을 반영	•여 과 사 : D2.0~5.0mm •여과사리 : D5.0~10.0mm
자동수위측정기	•Level SCOUT를 취수정 및 관측정 내에 설치하여 수위변화에 따른 수압측정(수위변환)	•D22mm x H129mm •정확도 : ±0.05%
자동대기압측정기	•Baro SCOUT를 시험수조 지표 높이에 설치, 대기압을 측정하여 수압측정시 대기압을 보정하여 정확한 수위측정	•D22mm x H129mm •정확도 : ±0.05%
초음파유량계	•시험조에서 스크린을 통해 배출되는 물의 양을 측정하기 위한 유량 측정장치	•Sensor range : 15~100mm •정밀도 : ±1%

② 이중필터 취수정-2(SD1,200(B) : 내부필터재→ 주문진 규사, 외부필터재→ 원위치 토사 적용)

- 이중필터 취수정 설치 과정은 다음과 같음
  - 외부케이싱압입 및 굴착(대수층 심도확인)
  - 내부케이싱 설치
  - 취수관 설치
  - 필터재충전(여과사:외부, 내부케이싱 사이)
  - 내부케이싱 인발(케이싱 내·외부의 압력 차이를 최소화하기 위해 먼저 수직 인발)
  - 외부케이싱 인발(필터재와 원지반의 교란 최소화를 고려해 수직 인발)
  - 취수본관 설치
- 총 굴착심도는 15.5m로 GL-8.5까지 모래층, GL-8.5~13.8까지 자갈질모래, GL-13.8하부로는 풍화토가 확인됨

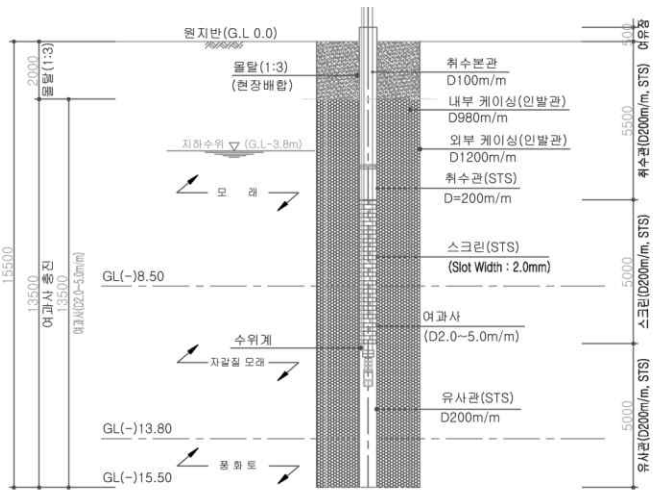


Fig 53. SD1200(B) cross section

- 지표하 2m 지점까지 몰탈(1:3)을 배합하여 지상부를 마감함
- 필터재 층후는 13.5m이며, 내부필터재는 직경 2~5mm의 여과사를 사용하였고, 외부필터재는 세립분이 제거된 원위치 토사를 사용함
- 스크린 슬롯폭 2mm, 총 길이 5m로 취수관에 포함되고 모래층, 자갈질모래층에 걸쳐 설치함


기계기구설치(오실레이터)


기계기구설치(케이싱설치, 수직도검사)


대구경천공(함마그라브)


대구경천공(치즐)


취수관 제작(D200mm)


케이싱 인발기 설치


케이싱설치


취수관 설치


필터재주입(여과사)


케이싱 인발


몰탈 채움


설치완료

Fig 54. Photograph of installation process(SD1200(B))

Table 44. Device composition(SD1200(B))

구 분	장치구성	규 격
취수본관	•취수를 위한 관으로 취수관의 내부에 설치하며, 취수정의 중심에 위치함	•D100mm
취수관	•취수를 위한 스테인레스관으로 스크린을 포함하며, 취수본관 외부에 설치	•STS D200mm
스크린	•취수를 위한 스테인레스 스크린 설치	•외경 Ø408mm, Slot폭 2.0mm •개공율 22.7%, 재질 : STS 316L
수중모터 펌프(SPK)	•양수시험용 펌프, 취수관에 설치하여 양수시험 •펌프배관에 설치된 밸브를 통해 시험조의 유출 유량을 조절	•380V, 25HP
케이싱	•필터층 형성시 사용 후 제거	•내부케이싱 OD:980mm,ID:940mm •외부케이싱 OD:1200mm,ID:1100mm
필터재	•대수층의 특성을 파악하여 해당 지역에 맞는 양질의 필터재를 적용함 •충적토의 입도분석결과를 통해 산정된 외부 및 내부 필터재의 입경을 반영	•여과사 : D2.0~5.0mm
자동수위 측정기	•Level SCOUT를 취수정 및 관측정 내에 설치하여 수위변화에 따른 수압측정(수위변환)	•D22mm x H129mm •정확도 : ±0.05%
자동 대기압 측정기	•Baro SCOUT를 시험수조 지표 높이에 설치, 대기압을 측정하여 수압측정시 대기압을 보정하여 정확한 수위측정	•D22mm x H129mm •정확도 : ±0.05%
초음파 유량계	•시험조에서 스크린을 통해 배출되는 물의 양을 측정하기 위한 유량 측정장치	•Sensor range : 15~100mm •정밀도 : ±1%

③ 단일필터 취수정 (SS800)

- 단일필터 취수정 설치 과정은 다음과 같음
  - 케이싱 압입 및 굴착(대수층 심도 확인)
  - 취수관 설치
  - 필터재 충진(여과사:케이싱과 취수관 사이)
  - 케이싱 인발(필터재와 원지반의 교란최소화를 고려해 수직 인발)
  - 취수본관 설치
- 총 굴착심도는 15.5m로 GL-8.0까지 모래층, GL-8.0~9.6까지 자갈질모래, GL-9.6하부로는 풍화토가 확인됨
- 지표하 2m 지점까지 몰탈(1:3)을 배합하여 지상부를 마감함

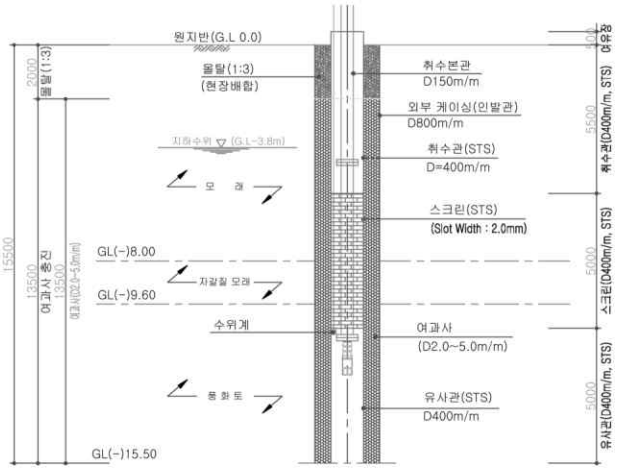


Fig 55. SS800 cross section

- 필터재 층후는 13.5m이며, 두께는 총 40cm로 필터재는 직경 2~5mm의 여과사를 사용함
- 스크린의 슬롯폭은 2mm이며, 총 길이는 5m로 취수관에 포함되고 모래층, 자갈질모래층, 풍화토층에 걸쳐 설치함



기계기구설치(오실레이터)



기계기구설치(케이싱설치,수직도검사)



대구경천공(함마그라브)



대구경천공(치즐)



취수관 제작(D400mm)



케이싱 인발기 설치



외부 케이싱설치



취수관 설치



필터재주입(여과사)



외부케이싱 인발



몰탈 채움



설치완료

Fig 56. Photograph of installation process(SS800)

Table 45. Device composition(SS800)

구 분	장치구성	규 격
취수본관	•취수를 위한 관으로 취수관의 내부에 설치하며, 취수정의 중심에 위치함	•D150mm
취수관	•취수를 위한 스테인레스관으로 스크린을 포함하며, 취수본관 외부에 설치	•STS D400mm
스크린	•취수를 위한 스테인레스 스크린 설치	•외경 Ø408mm, Slot폭 2.0mm •개공율 22.7% •재질 : STS 316L
수중모터펌프 (SPK)	•양수시험용펌프, 취수관에 설치하여 양수시험 •펌프배관에 설치된 밸브를 통해 시험조의 유출 유량을 조절	•380V, 15HP
케이싱	•필터층 형성시 사용 후 제거	•케이싱 D:800mm
필터재	•대수층의 특성을 파악하여 해당 지역에 맞는 양질의 필터재를 적용함 •충적토의 입도분석결과를 통해 산정된 외부 및 내부 필터재의 입경을 반영	•여 과 사 : D2.0~5.0mm
자동수위 측정기	•Level SCOUT를 취수정 및 관측정 내에 설치하여 수위변화에 따른 수압측정(수위변환)	•D22mm x H129mm •정확도 : ±0.05%
자동 대기압 측정기	•Baro SCOUT를 시험수조 지표 높이에 설치, 대기압을 측정하여 수압측정시 대기압을 보정하여 정확한 수위측정	•D22mm x H129mm •정확도 : ±0.05%
초음파 유량계	•시험조에서 스크린을 통해 배출되는 물의 양을 측정하기 위한 유량 측정장치	•Sensor range : 15~100mm •정밀도 : ±1%

(3) 시험방법

- 해변여과수 취수를 위한 테스트베드에서 단기 및 장기시험 각각 수행
- 단기시험 : 단계대수성시험, 연속대수성시험, 회복시험 수행(장기시험 이후 적정양수량의 변화를 평가하기 위해 각 우물별 단계대수성시험 추가 수행)
- 장기시험 : 장기적인 양수량의 변화를 평가하기 위해 장기양수시험 수행

시험조건 및 수량

- 현장실증시험의 단기평가는 1차 단계대수성시험, 연속대수성시험, 수위회복시험을 순차적으로 반복 시행
- 단계대수성시험으로 한계양수량 및 적정양수량 결정 후 한계양수량 이내 취수량으로 연속대수성시험(20시간) 실시
- 대수성시험의 검증을 위한 회복시험 진행
- 장기양수시험의 경우 현장실증시험 부지에 설치된 이중필터와 단일필터 취수정을 대상으로 현장여건을 감안하여 약 2.5개월(77일) 수행하는 것으로 계획
- 장기양수시험 이후 각 취수정별 시간경과에 따른 적정양수량을 평가하기 위한 2차 단계대수성시험 수행

Table 46. Condition of field test in seawater filtration

INDEX	Test No.	Out casing size (mm)	Screen size (mm)	Filter condition				Test time(hr, day)			
				Inner		Outer		Step drawdown test	Pumping test	Recovery test	Long term pumping test
				Filter material	Thickness (mm)	Filter material	Thickness (mm)				
Dual filter	SD-1200 (A)	1,200	400	Gravel	290	Sand	110	1st : 2hr × 5step 2nd : 1hr × 4~5 step	16hr	4.3hr	77day
	SD-1200 (B)	1,200	300	Sand	50	Original soil	250				
Single filter	SS-800	800	400	Sand	200	-					

(4) 시험결과

(가) 단기시험결과

① 단계대수성시험

SD1200(A)

- 이중필터인 SD1200(A)의 경우, 약 1단계 평균 1513.4L/min에서 5단계 평균 3248.0L/min로 양수를 수행하였으며, 이때의 취수정에서의 수위 강하량의 평균값은 99.8cm~468.0cm로 나타남
- 취수정에서 4.8m 이격된 관측정(OW-1)에서는 5단계 시험에서 평균 125.57cm 수위강하량을 보였으며, 14.95m 이격되어 있는 관측정(OW-2)에서는 5단계에서 평균 53.65cm 수위강하량을 보임
- 수위강하량을 변화양상을 볼 때, 4단계 이후부터 비교적 급격한 수위강하 양상을 나타냄

SS800

- 단일필터인 SS800의 경우, 약 1단계 평균 523.7L/min에서 5단계 평균 2476.7L/min로 양수를 수행하였으며, 이때의 취수정에서의 수위 강하량의 평균값은 44.95m~291.15cm로 나타남
- 취수정에서 5.6m 이격된 관측정(OW-1)에서는 5단계 시험에서 평균 112.95cm 수위강하량을 보였으며, 21.30m 이격되어 있는 관측정(OW-2)에서는 5단계에서 평균 49.71cm의 수위강하량을 보임
- 수위강하량을 변화양상을 볼 때, 4단계 이후부터 비교적 급격한 수위강하 양상을 나타냄

SD1200(B)

- 현장토양을 재사용한 이중필터 SD1200(B)는, 약 1단계 평균 596.2L/min에서 5단계 평균 1684.3L/min로 양수를 수행하였으며, 이때 취수정 수위강하량 평균값은 7.44 ~ 101.71cm를 보임
- 취수정에서 56.65m 이격된 관측정(OW-1)에서 5단계 시험에서 평균 27.27cm 수위강하량을 보임
- 수위강하량을 변화양상을 볼 때, 일정한 기울기로 수위강하가 발생되는 양상을 보임

Table 47. Test result of step drawdown test

No.	Step	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level(cm)			
			Pumping well		Observation well	
			Total	Δd	OW-1(Total)	OW-2(Total)
SD1200(A)	step1	1513.4	99.80	99.80	41.23	14.51
	step2	1971.9	153.20	53.40	68.18	28.37
	step3	2498.2	217.69	64.49	95.18	40.56
	step4	2940.2	308.75	91.06	116.26	49.19
	step5	3248.0	468.00	159.25	125.57	53.65
SS800	step1	523.7	44.95	44.95	16.75	5.58
	step2	1031.3	93.77	48.82	38.81	16.09
	step3	1495.5	147.49	53.72	62.79	27.89
	step4	1978.4	208.92	61.43	87.34	39.15
	step5	2476.7	291.15	82.23	112.95	49.71
SD1200(B)	step1	596.2	7.44	7.44	3.10	-
	step2	898.9	33.16	25.72	9.43	-
	step3	1193.0	59.43	26.27	16.31	-
	step4	1406.8	77.81	18.38	22.19	-
	step5	1684.3	101.71	23.90	27.27	-

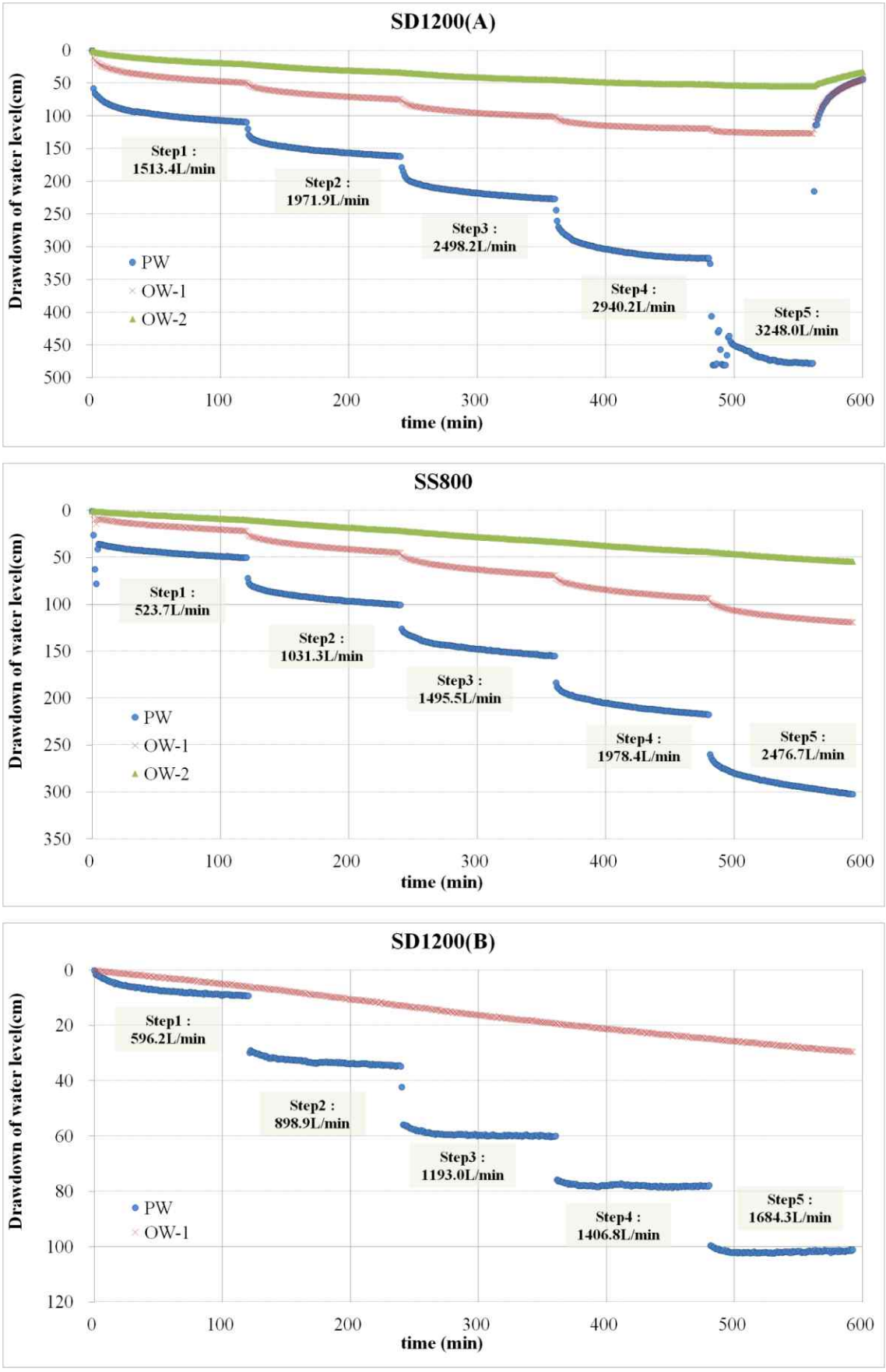


Fig 57. Variation of yield and water drawdown level in step drawdown test

② 연속대수성시험

SD1200(A)

- 이중필터 SD1200(A) 경우, 단계양수시험에서 변곡점을 이용한 적정양수량의 약 90%에 해당하는 평균 2509.8L/min 유량으로 양수를 수행하였으며, 이때 양수정 수위강하량은 257.8cm로 나타남
- 취수정에서 4.8m 이격되어 있는 관측정(OW-1)에서는 97.4cm 수위강하량을 보였으며, 15.00m 이격되어 있는 관측정(OW-2)에서는 46.2cm의 수위강하량을 보임
- 수위강하량을 변화양상을 볼 때, 지속적으로 저감되는 양상을 보이고 있으며, 시험시작 후 500분 이후부터는 양수정 및 관측정의 수위변화가 거의 발생하지 않고 일정하게 유지되는 양상을 보임

SS800

- 단일필터 SS800 경우, 단계양수시험에서 변곡점을 이용한 적정양수량의 약 90%에 해당하는 평균 1595.7L/min의 유량으로 양수를 수행하였으며, 이때 양수정 수위강하량은 175.7cm로 나타남
- 취수정에서 5.6m 이격되어 있는 관측정(OW-1)에서는 76.7cm 수위강하량을 보였으며, 21.3m 이격되어 있는 관측정(OW-2)에서는 33.6cm의 수위강하량을 보임
- 수위강하량을 변화양상을 볼 때, 지속적으로 저감되는 양상을 보이고 있으며, SD1200(A)와 마찬가지로 시험시작 후 500분 이후부터는 양수정과 관측의 수위변화가 거의 발생하지 않고 일정하게 유지되는 양상을 보임

SD1200(B)

- 현지토사를 필터재로 활용한 이중필터 취수정 SD1200(B)의 경우, 단계양수시험에서 적정양수량을 산출하지 못하여 설치 수중모터의 최대 양수량으로 양수를 수행하였으며, 이때의 양수정에서의 수위강하량은 143.4cm로 나타남
- 수위강하량을 변화양상을 볼 때, 지속적으로 저감되는 양상을 보이고 있으나 타 양수정 대비 저감되는 량이 적은 것으로 파악됨
- 이는 SD1200(A)와 SS800의 주 대수층이 9.7m 내외의 두께를 가지는데 반해 본 양수정의 대수층 두께가 13.8m로 더 두껍게 형성되어 있고 대수층 내부에 투수성이 양호한 자갈층이 두텁게 분포하는데 기인하는 것으로 판단됨

Table 48. Test result of pumping test in sand formation

Test No.	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level(cm)		
		PW	OW-1	OW-2
SD1200(A)	2509.8	257.8	97.4	46.2
SS800	1595.7	175.7	76.7	33.6
SD1200(B)	1677.4	143.4	17.7	

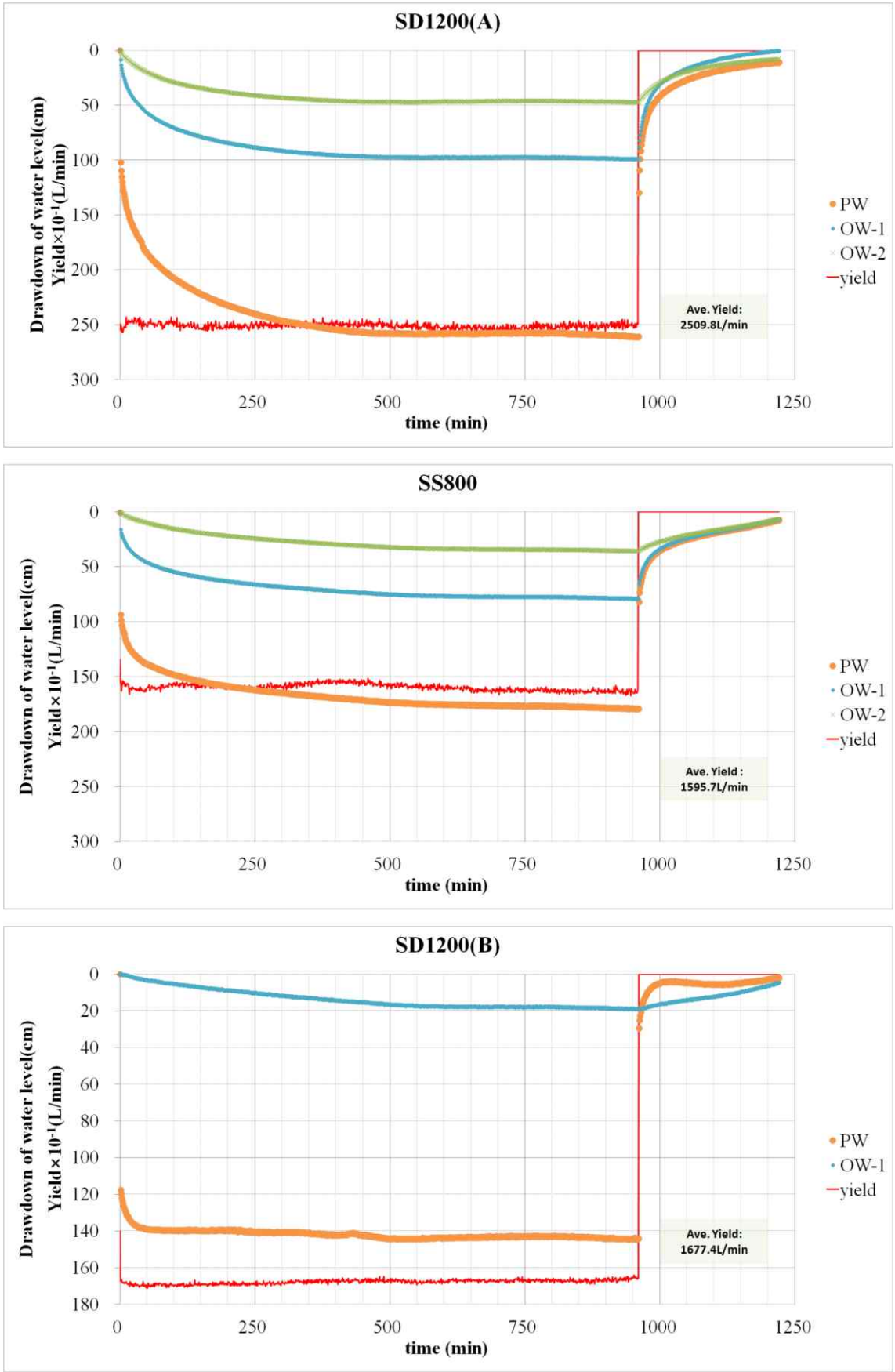


Fig 58. Variation of yield and water drawdown level in pumping test

③ 회복시험

SD1200(A)

- 수위회복은 양수가 종료된 즉시 발생되었으며, 양수정에서 양수종료 92분 이후에 시험전 지하수위 대비 90%의 수위회복이 이루어짐

SS800

- 수위회복은 양수가 종료된 즉시 발생되었으며, 양수정에서 양수종료 152분 이후에 시험전 지하수위 대비 90%의 수위회복이 이루어짐

SD1200(B)

- 수위회복은 양수가 종료된 즉시 발생되었으며, 양수정에서 양수종료 9분 이후에 시험전 지하수위 대비 90%의 수위회복이 이루어짐
- 타 양수정과 비교하면 매우 급격한 수위회복이 진행되는 것을 확인할 수 있으며, 이는 대수층의 두께가 두껍고 주 대수층 내에서도 자갈층이 두껍게 형성되어 있어 지반 자체의 투수성이 양호한데 기인한 것으로 판단됨

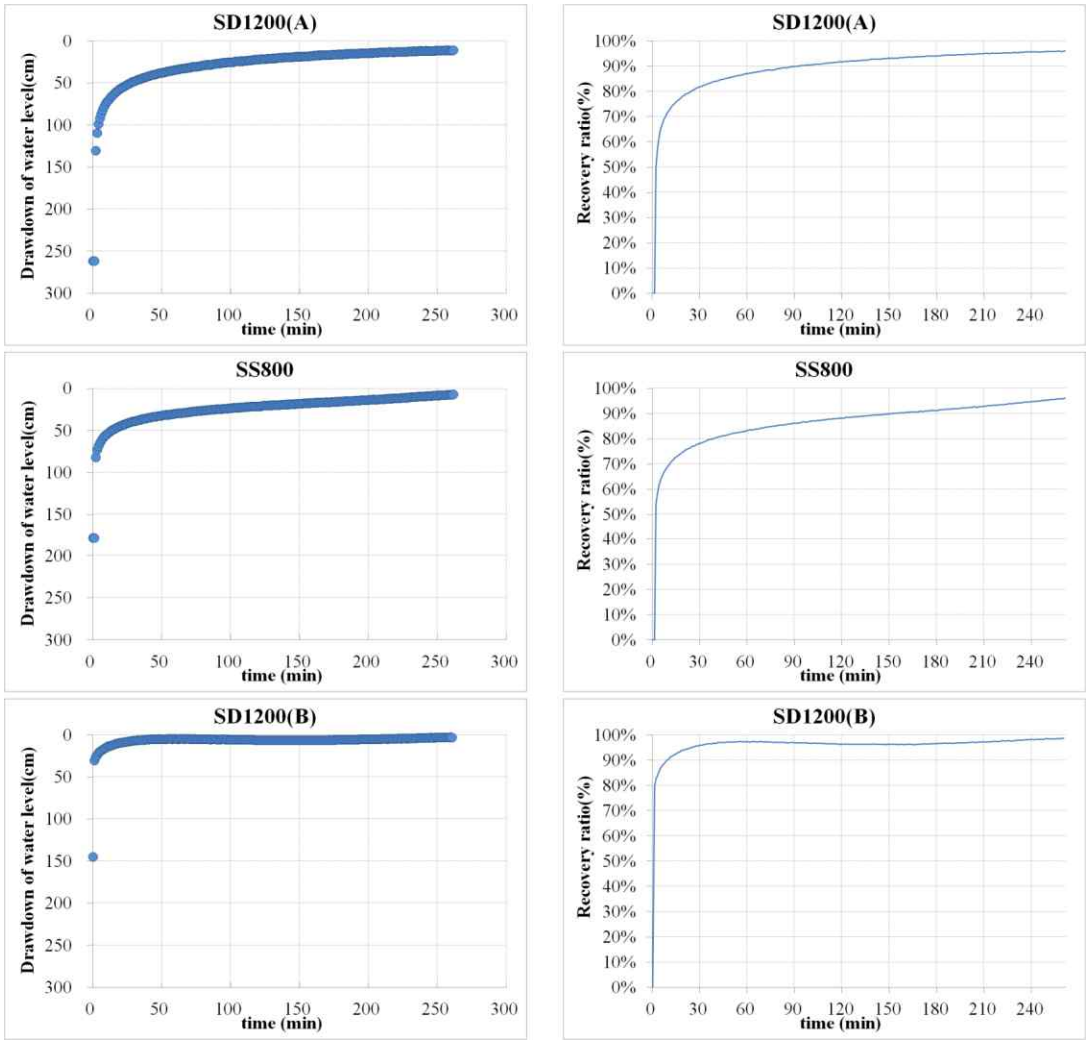


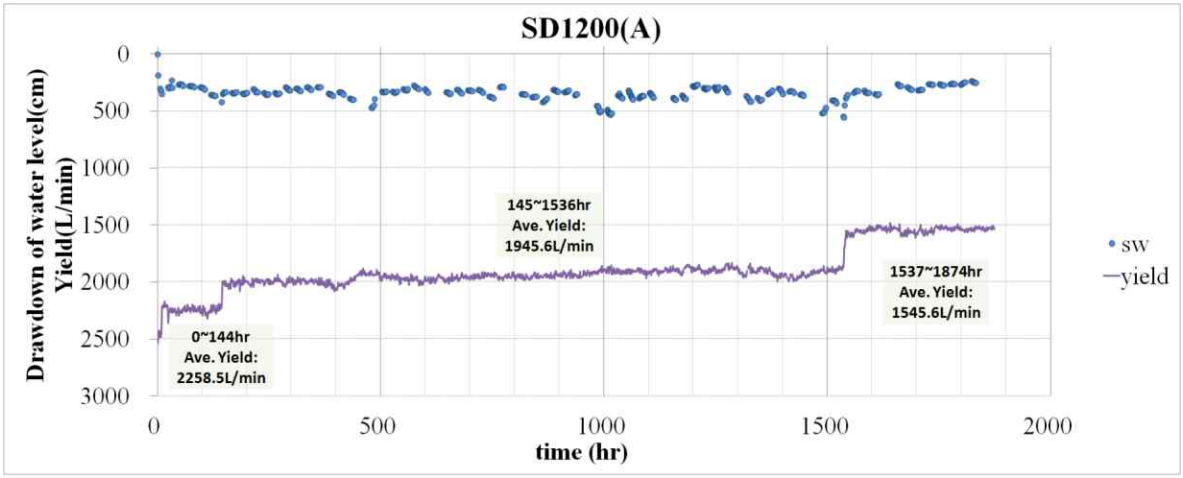
Fig 59. Variation of water drawdown level and recovery ratio in recovery test

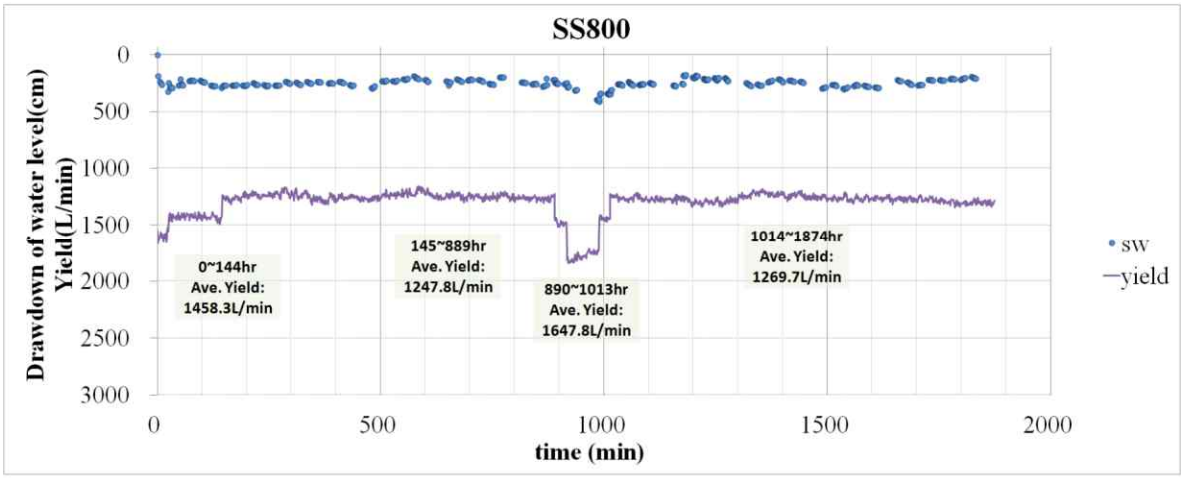
(나) 장기시험결과

- 일률적인 양수량을 유지하고자 하였으나 해수면의 변동에 따른 지하수위의 증감과 주변 양식장에서의 염도문제 등에 따라 일정한 양수량을 유지하지 못하였음
- 이중필터인 SD1200(A)의 경우에는 초기 단계양수시험에서 분석된 적정양수량을 기반으로 평균 약 2260L/min로 양수를 실시하였으나 양수정 3정에 대한 동시양수시험 과정에서 수위하강이 발생되어 144시간(6일)이후에는 2000L/min 내외로 시험을 수행하였음. 또한, 1536시간(64일) 이후부터는 인접한 시설에서 사용되는 지하수의 염도 문제를 확인하는 과정에서 양수량을 약 1500L/min 내외로 조정함
- 단일필터인 SS800의 경우에는 초기양수량을 약 1500L/min 내외로 유지하다가 144시간(6일)이후에는 1250L/min 내외로 시험을 수행하였음. 또한, 890~1013시간 사이에는 단계양수시험에서 산출된 적정양수량까지 올려 시험을 수행한 바 있음. 이 경우 수위가 불규칙적으로 변하고 펌프의 한계수위까지 수위강하가 발생하는 것을 확인하였음
- 원위치 토사를 활용한 이중필터 SD1200(B)의 경우 펌프 용량을 최대로 하여 약 1650L/min 내외로 장기양수시험을 수행하였음
- 전체 데이터에 대하여 10일 단위로 양수량 및 수위강하량의 평균값을 정리하면 다음과 같음

Table 49. Test result of long term pumping test

Filter type	Test No.	Test time (day)	Ave. Yield (L/min)	Ave. Drawdown water level(cm)
				Pumping well
Dual filter	SD1200(A)	0~10	2157.13	306.50
		11~20	1991.34	345.50
		21~30	1966.91	326.70
		31~40	1945.92	342.70
		41~50	1903.57	398.22
		51~60	1911.25	332.20
		61~70	1695.06	370.00
		71~77	1541.82	268.00
	SD1200(B)	0~10	1638.38	120.90
		11~20	1647.10	166.70
		21~30	1648.68	186.10
		31~40	1657.91	198.20
		41~50	1658.72	210.33
		51~60	1658.70	216.00
		61~70	1630.32	239.40
		71~77	1634.33	217.86
Single filter	SS800	0~10	1374.85	251.30
		11~20	1250.61	254.30
		21~30	1236.05	224.80
		31~40	1383.23	247.70
		41~50	1351.46	280.22
		51~60	1258.13	227.40
		61~70	1263.99	263.40
		71~77	1289.42	221.43





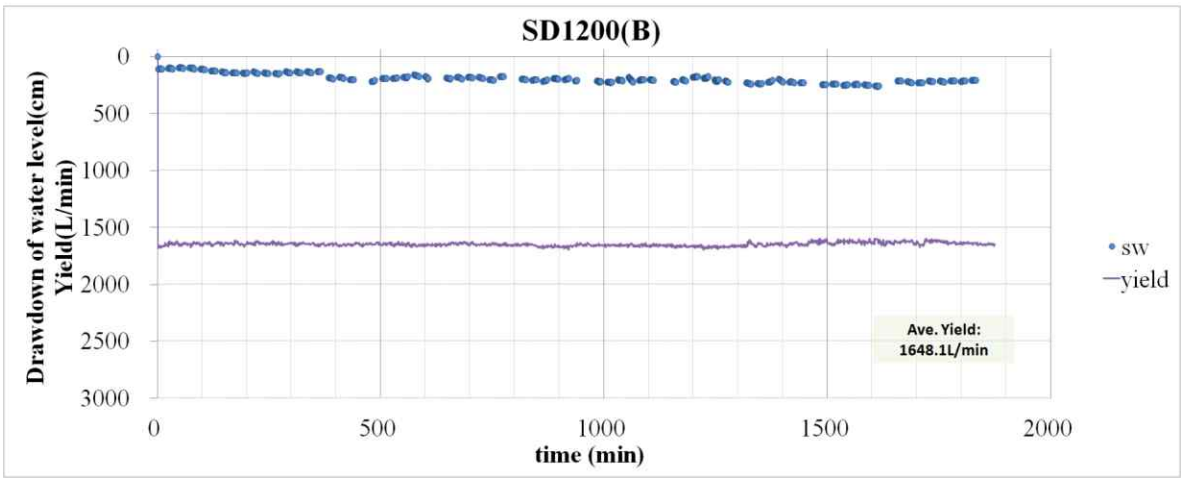


Fig 60. Variation of water drawdown level and yield over time in each test

(다) 장기시험 이후의 단계대수성시험 결과

- 일반적으로 강변여과수는 초기 취수정 설치 이후 시간이 지남에 따라 양수량이 저하되는 특성을 보임
- 이를 고려하여 이중필터와 단일필터취수정의 장기적 안정성을 평가하고자 장기시험 이후에 단계대수성시험을 수행하였음
- 장기시험 이후의 2차 단계대수성시험에서는 취수정의 수위변화만을 고려하였음

SD1200(A)

- 이중필터인 SD1200(A)의 경우, 약 1단계 평균 1504.8L/min에서 4단계 평균 2691.7L/min로 양수를 수행하였으며, 이때의 취수정에서의 수위 강하량의 평균값은 69.2cm~404.8cm로 나타남

SS800

- 단일필터인 SS800의 경우, 총 5단계에 걸쳐 단계양수시험을 수행하였으며, 1단계 평균 533.8L/min에서 5단계 평균 2266.9L/min로 양수를 수행하였음
- 이때의 취수정에서의 각 단계별 수위 강하량의 평균값은 12.8m~322.4cm로 나타남

SD1200(B)

- 현장 토양을 재사용한 이중필터 SD1200(B)의 경우, 총 4단계에 걸쳐 단계양수시험을 수행함
- 각 단계별로 보면 1단계 평균 596.4L/min에서 5단계 평균 1596.4L/min로 양수를 수행하였으며, 이때의 취수정에서의 각 단계별 수위 강하량의 평균값은 7.6m~117.6cm를 보임
- 취수정에서 56.65m 이격된 관측정(OW-1)에서 5단계 시험에서 평균 27.27cm 수위강하량을 보임

Table 50. Test result of step drawdown test after long term pumping test

No.	Step	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level(cm)	
			Pumping well	
			Total	Δd
SD1200(A)	step1	1504.8	69.2	69.19
	step2	2028.5	150.5	81.33
	step3	2499.8	261.5	110.94
	step4	2691.7	404.8	143.29
SS800	step1	533.8	12.8	12.77
	step2	1052.8	77.9	65.08
	step3	1521.0	118.6	40.73
	step4	2007.6	218.6	99.97
	step5	2266.9	322.4	103.81
SD1200(B)	step1	596.4	7.6	7.61
	step2	1004.4	44.3	36.72
	step3	1402.3	80.0	35.65
	step4	1596.4	117.6	37.65

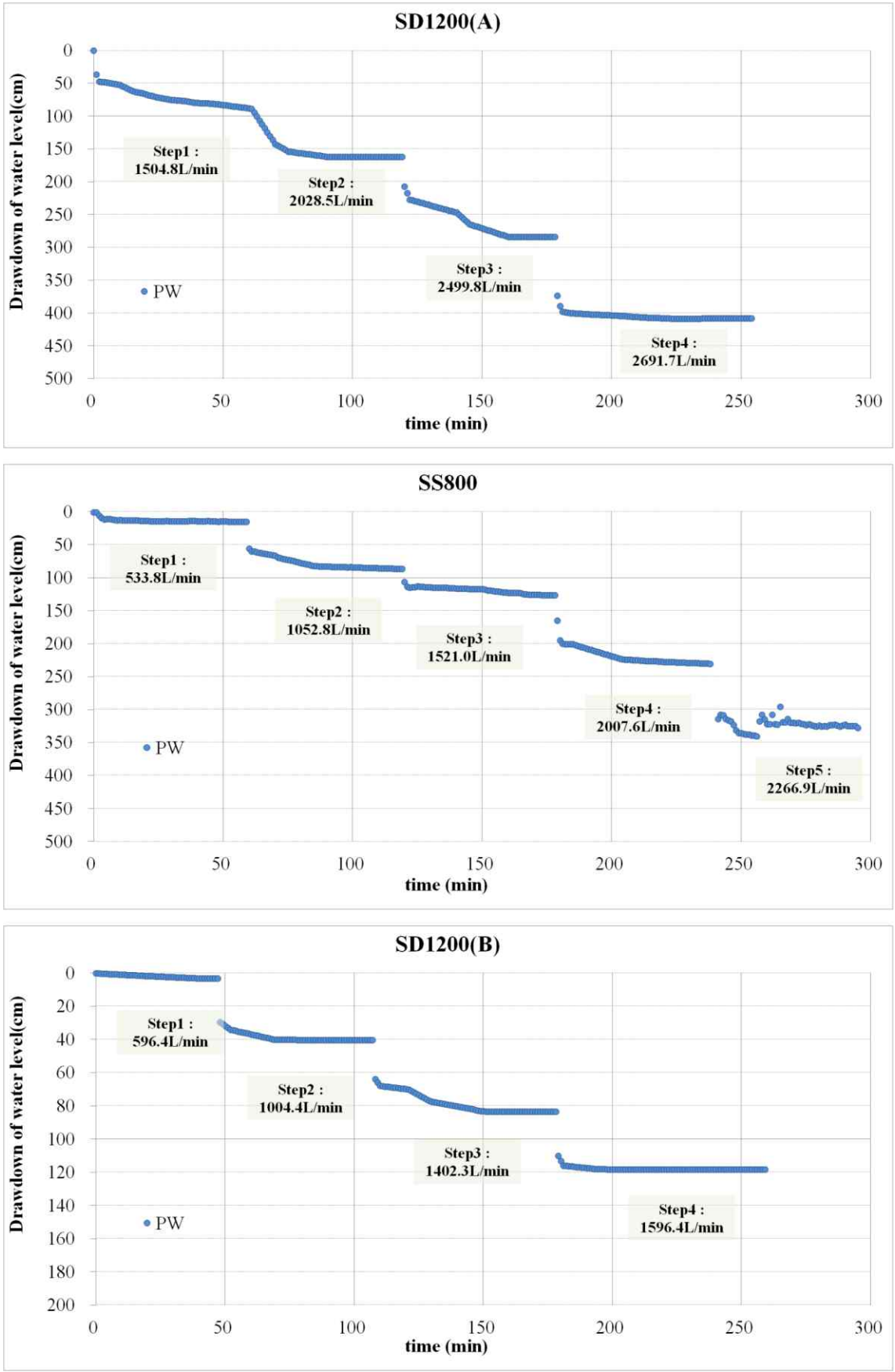


Fig 61. Variation of yield and water drawdown level in step drawdown test after long term pumping

나. 해변여과수 단기시험 성과분석

(1) 초기 투수특성 분석

(가) 단계대수성시험 성과분석

분석방법

- 현장실증시험에서 설치된 이중필터 취수정 2개공과 단일필터 취수정 1개공을 설치하고 주변에 3개의 관측정을 설치하였음
- 투수계수의 산정은 양수정의 수위강하량과 영향권을 이용하는 방법과 수두를 측정할 수 있는 2개 이상의 관측정을 이용하는 방법이 있음
- 양수정을 이용하는 경우, 투수계수는 $r = r_w$ 일때, $h = h_w$, $r = R$ 일 때, $h = H$ 이므로 다음 식에 의해 계산 가능함

$$\int_{r_w}^{R} \frac{dr}{r} = \frac{2\pi K}{Q} \int_{h_w}^{H} h dh, \qquad K = \frac{2.3\, Q \log (R / r_w)}{\pi (H^2 - h_w^2)}$$

여기서, K : 투수계수, Q : 양수량, R : 영향반경, r_w : 양수정의 반경
h_w : 양수정에서의 안정수위, H : 양수 개시전 초기지하수위,

- 관측정을 이용하는 경우의 투수계수는 $r = r_1$ 일때, $h = h_1$, $r = r_2$ 일때, $h = h_2$ 이므로 다음 식에 의해 계산 가능함

$$\int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{2\pi K}{Q} \int_{h_1}^{h_2} h dh, \; K = \frac{2.3\, Q \log (r_2 / r_1)}{\pi (h_2^2 - h_1^2)}$$

여기서, K : 투수계수, Q : 양수량, r_1 : 관측정 OW-1까지의 거리, r_2 : 관측정 OW-2 까지의 거리,
h_1 : 관측정 OW-1의 지하수위, h_2 : 관측정 OW-2의 지하수위

- 양수정을 이용하는 경우 영향반경을 산출해야 하며, 본 연구에서는 각 취수정의 영향반경을 50m로 적용하여 분석함
- 관측정의 지하수위는 시험직전 측정하여 적용하였으며, 자유면대수층의 두께는 시추조사 성과를 반영하였음

Table 51. Application factor for each test well

Test No.	Unconfined aquifer thickness (cm)	Distance from Well(cm)		Groundwater level(GL-cm)	Influence radius (cm)	Well radius (cm)
		OW-1	OW-2			
SD1200 (A)	970	480	1500	395	5000	20
SS800	960	560	2130	406	5000	20
SD1200 (B)	1380	5670	-	380	5000	10

SD1200(A)

- 관측정을 이용하여 각 단계별 투수계수를 산정한 결과 투수계수 범위는 0.269~0.313cm/sec로 평가되었으며, 실질적으로 투수계수가 일정한 양상을 보이는 3~5단계의 평균 투수계수는 0.274cm/sec로 분석됨
- 양수정을 이용하여 각 단계별 투수계수를 산정한 결과, 투수계수의 범위는 0.298~0.422cm/sec로 평가되었으며, 3~5단계의 평균 투수계수는 0.342cm/sec로 분석됨
- 전반적으로 양수량이 증가할수록 투수계수가 감소하는 양상을 보임

SS800

- 관측정을 이용하여 각 단계별 투수계수를 산정한 결과 투수계수의 범위는 0.293~0.306cm/sec로 평가되었으며, 3~5단계의 평균 투수계수는 0.296cm/sec로 분석됨
- 양수정을 이용하여 각 단계별 투수계수를 산정한 결과 투수계수의 범위는 0.305~0.321cm/sec로 평가되었으며, 3~5단계의 평균 투수계수는 0.310cm/sec로 분석됨
- 전반적으로 양수량이 증가할수록 투수계수가 감소하는 양상을 보임

SD1200(B)

- 양수정을 이용하여 각 단계별 투수계수를 산정한 결과 투수계수의 범위는 0.269~1.238cm/sec로 평가되었으며, 3~5단계의 평균 투수계수는 0.292cm/sec로 분석됨
- 전반적으로 양수량이 증가할수록 투수계수가 급격히 감소하는 양상을 보임

Table 52. Hydraulic Conductivity by step-drawdown test results

Test No.	Step	Ave. Q (L/min)	Drawdown water level(cm)			k(cm/sec)			
			PW	OW-1	OW-2	Use Observation well		Use Pumping well	
						by step k	Average k	by step k	Average k
SD1200 (A)	step1	1513.4	99.80	41.23	14.51	0.313	0.274	0.422	0.342
	step2	1971.9	153.20	68.18	28.37	0.284		0.378	
	step3	2498.2	217.69	95.18	40.56	0.272		0.360	
	step4	2940.2	308.75	116.26	49.19	0.269		0.331	
	step5	3248.0	468.00	125.57	53.65	0.281		0.298	
SS800	step1	523.7	44.95	16.75	5.58	0.306	0.296	0.321	0.310
	step2	1031.3	93.77	38.81	16.09	0.305		0.317	
	step3	1495.5	147.49	62.79	27.89	0.298		0.309	
	step4	1978.4	208.92	87.34	39.15	0.296		0.308	
	step5	2476.7	291.15	112.95	49.71	0.293		0.305	
SD1200 (B)	step1	596.2	7.44	3.10	-	-	-	1.238	0.292
	step2	898.9	33.16	9.43	-	-		0.424	
	step3	1193.0	59.43	16.31	-	-		0.318	
	step4	1406.8	77.81	22.19	-	-		0.290	
	step5	1684.3	101.71	27.27	-	-		0.269	

투수계수의 비교

- 관측정을 이용하는 경우 3~5단계의 투수계수 평균값은 이중필터 취수정이 0.274cm/sec, 단일필터 취수정이 0.296cm/sec로 단일필터 취수정이 약간 높게 분석됨
- 양수정을 이용하는 경우, 개발기술을 접목한 이중필터 취수정 SD1200(A)이 가장 높은 값을 보임
- 관측정을 이용하는 경우, 투수계수가 전체적인 지층의 영향을 받아 유사한 값을 보이지만, 양수정 이용시 우물의 필터재의 역할에 따라 양수정 내 지하수위의 변화가 다르기 때문으로 판단됨
- 즉, 투수계수는 이중필터 취수정에서 우물 개량의 정도가 양호하여 단일필터 대비 110.3%의 효율이 발생하는 것으로 판단됨

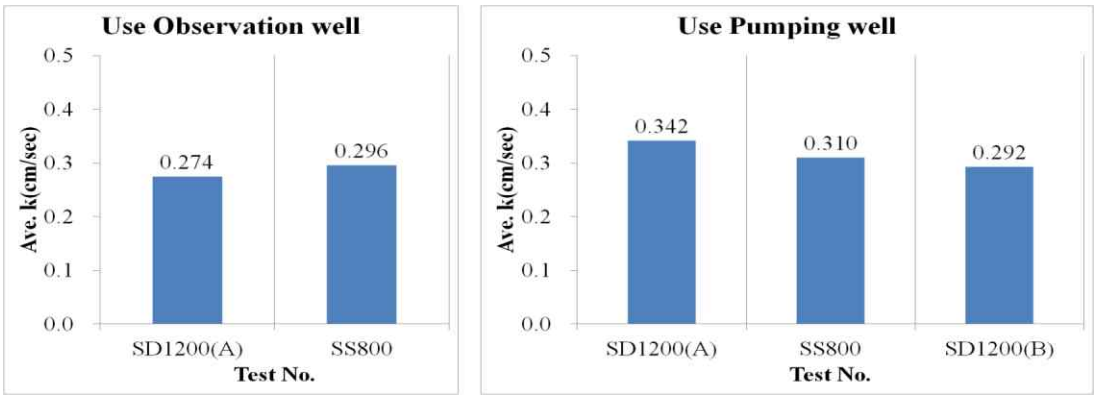


Fig 62. Comparison of Hydraulic Conductivity by step-drawdown test results

유량에 따른 투수계수 변화양상 분석

- 시험결과 투수계수는 유량이 증가함에 따라 감소하는 양상을 나타냄
- 관측정을 이용한 투수계수 평가결과 유량증가에 따라 단일필터와 이중필터 모두에서 일정한 비율로 투수계수가 감소하는 양상을 보이며, 그 차이는 미미함
- 양수정을 이용한 투수계수 분석결과에서는 동일 양수량 대비 이중필터의 투수계수가 높게 나타나며, 이는 이중필터가 단일필터에 비해 투수성이 개선된 영향으로 판단됨
- 원위치 토양을 이용한 SD1200(B)의 경우 충적층의 심도가 깊고 자갈층의 발달이 양호하여 초기 투수계수가 매우 높게 나타나나 유량이 증가할수록 급격하게 투수계수가 감소하는 양상을 보임

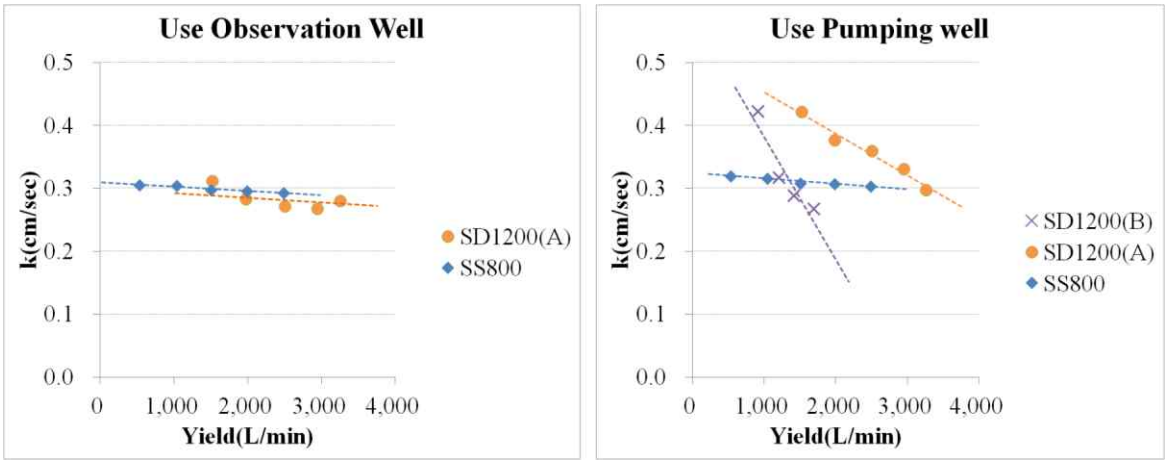


Fig 63. Change of hydraulic conductivity according to yield of test hole

(나) 연속대수성시험 성과분석

분석방법

- 투수계수 분석방법은 단계양수시험과 동일한 방식으로 수행
- 양수정을 이용하는 경우 영향반경을 산출해야 하며, 본 연구에서는 각 취수정의 영향반경을 50m로 적용하여 분석함
- 관측정의 지하수위는 시험직전 측정하여 적용하였으며, 자유면대수층의 두께는 시추조사 성과를 반영하였음

Table 53. Application factor for each test well

Test No.	Unconfined aquifer thickness (cm)	Distance from Well(cm)		Groundwater level(GL-cm)	Influence radius (cm)	Well radius (cm)
		OW-1	OW-2			
SD1200(A)	970	480	1500	418	5000	20
SS800	960	560	2130	435	5000	20
SD1200(B)	1380	5670	-	406	5000	10

투수계수 분석

- 이중필터인 SD1200(A)의 투수계수를 산정한 결과, 관측정을 이용한 경우에는 0.309cm/sec로 평가되었으며, 양수정을 이용한 경우에는 0.337cm/sec로 양수정을 이용한 평가에서 더 높은 투수계수 값을 나타냄
- 단일필터인 SS800의 투수계수는 관측정을 이용한 경우 0.279cm/sec로 평가되었으며, 양수정을 이용한 경우 0.304cm/sec로 양수정을 이용한 평가에서 더 높은 값을 보임
- 원지반 토사를 재활용한 이중필터인 SD1200(B)에서 양수정을 이용하여 투수계수를 분석한 결과 0.200 cm/sec로 분석됨
- 관측정 및 양수정을 이용한 투수계수 분석에서 이중필터 취수정(SD1200(A))이 단일필터 취수정(SS800)에 비해 높은 투수특성을 나타내는 것으로 평가됨
- 분석결과 투수계수는 이중필터 취수정에서 우물 개량의 정도가 양호하여 단일필터 대비 평균 110.7%의 효율이 발생하는 것으로 판단됨

Table 54. Hydraulic Conductivity and Transmissivity by pumping test results

Test No.	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level(cm)			k(cm/sec)	
		PW	OW-1	OW-2	Use Observation well	Use Pumping well
SD1200(A)	2509.76	257.8	97.37	46.23	0.309	0.337
SS800	1595.72	175.7	76.7	33.61	0.279	0.304
SD1200(B)	1677.44	143.4	17.7	-	-	0.200

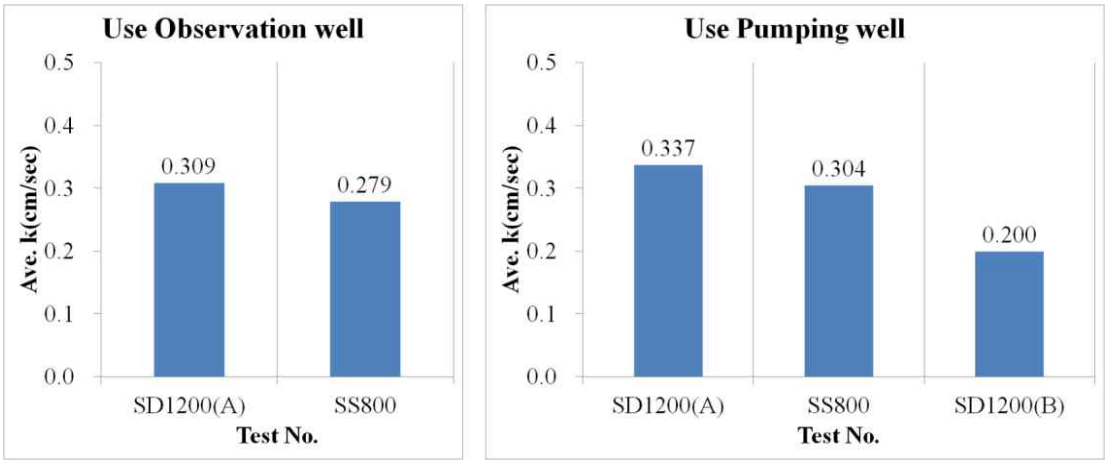


Fig 64. Comparison of Hydraulic Conductivity by pumping test results

시간경과에 따른 투수성 변화 분석

- 시간경과에 따른 투수성의 변화양상을 분석한 결과 지층이 동일한 이중필터(SD1200(A))와 단일필터(SS800)에서는 초기에는 높은 투수계수값을 보이나 시간이 경과할수록 점차 감소하는 양상을 나타내며 시험 시작 후 400분 이후 구간에서는 안정화되어 일정한 투수계수값을 나타냄
- 원지반토사를 필터재로 사용한 SD1200(B)의 경우에는 초기에서 시험종료시 까지 0.2cm/sec 전후의 일정한 투수계수값을 보이는 것으로 분석됨

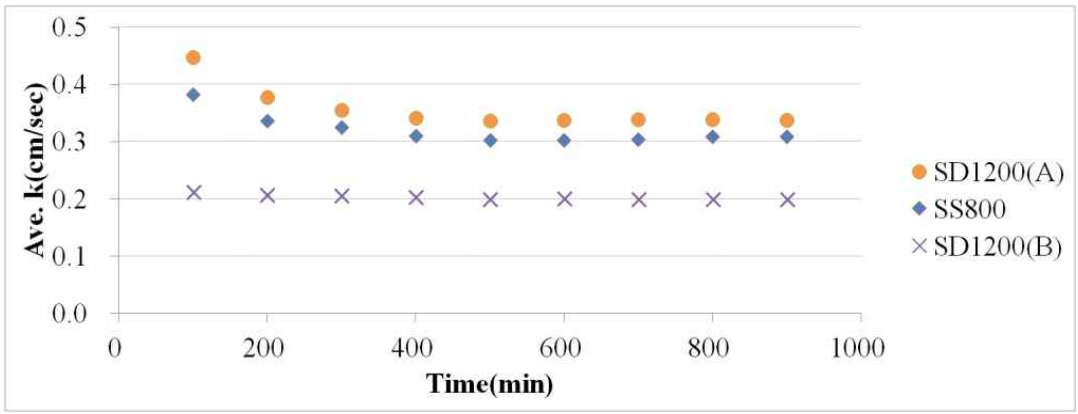


Fig 65. Analysis of permeability changes over time

(다) 회복시험 성과분석

분석방법

- 양수시험이 종료된 후 회복되는 수위변화를 양수정에서 측정하는 시험
- 양수시험과 달리 해석시에 양수율의 변화를 고려하지 않아도 되는 장점이 있음
- 회복시험은 양수시험을 종료한 후 관측하는 것과 양수시험을 계속 진행하면서 같은 양의 물을 관측정에 주입한 것과 같다는 중첩의 원리를 이용
- 중첩의 원리를 Theis의 방정식에 적용하여 해석
- 분석법은 log t/t'와 잔류수위 강하량 s를 작도하여 직선의 기울기로부터 투수량계수(T)를 산정

투수계수 분석

- 회복시험 데이터를 대상으로 수리해석 프로그램인 AQTESOLV를 활용하여 수리상수를 분석함
- 분석결과 SD1200(B)에서 0.330cm/sec가장 높은 값을 보이고 있으며, SS800에서 0.285cm/sec으로 가장 낮게 평가됨
- 이중필터(SD1200(A))와 단일필터(SS800)의 투수계수를 분석하면 차이가 거의 발생하지 않는 것으로 평가되며, 이는 이중필터와 단일필터 취수정의 지층구성 및 대수층 분포심도가 차이가 없기 때문에 양수종료 후 수위상승의 패턴이 일치하는데 기인하는 것으로 판단됨
- 원지반 토사를 필터재로 사용한 SD1200(B)의 경우 회복시험에서 타 취수정에 비해 높은 투수계수를 나타내고 있는데 이는 타 취수정과는 달리 대수층의 두께가 두껍고 자갈층의 층후 역시 상대적으로 두껍게 형성되어 있어 양수 종료시 빠른속도로 수위회복이 이루어지는데 기인한 것으로 판단됨
- 결과적으로 양수종료 후 수위상승을 분석한 회복시험의 투수계수 분석결과, 투수계수가 필터재의 역할보다는 원지반의 투수성에 따른 영향에 지배를 받는 것으로 판단됨

Table 55. Hydraulic Conductivity and Transmissivity by recovery test results

Test No.	Ave Yield (L/min)	k (cm/sec)	T (㎠/sec)
SD1200(A)	2509.76	0.286	157.2
SS800	1595.72	0.285	151.2
SD1200(B)	1677.44	0.330	320.1

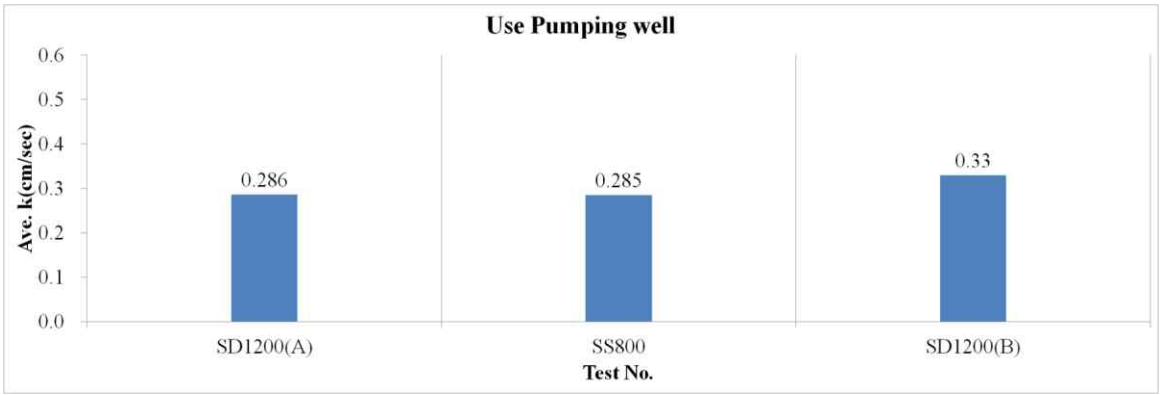
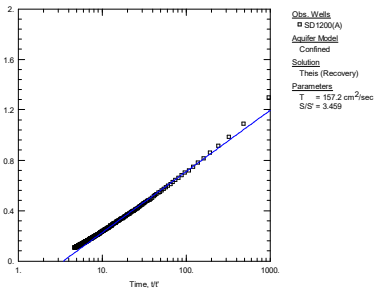


Fig 66. Comparison of Hydraulic Conductivity by recovery test results



(2) 초기 적정양수량 평가

(가) 수위강하량 분석을 통한 평가

- 각 단계별 평균양수량과 양수정에서의 수위강하량과의 관계를 분석함
- 관계식을 근거로 하여 수위강하 심도가 200cm인 경우로 각각의 조건에 대하여 평가하면 SD1200(B)에서 가장 높은 값을 보이며, 이는 대상 시험공의 대수층이 상대적으로 양호하기 때문인 것으로 판단됨
- 지층구성이 일치하는 이중필터 취수정인 SD1200(A)과 단일필터 취수정 SS800을 비교하면, 이중필터 취수정이 단일필터 취수정 대비 약 437.1L/min의 높은 적정 양수량을 보이는 것으로 평가됨
- 즉, 양수량은 단일필터 취수정 대비 이중필터 취수정이 122.8%의 효율을 보이는 것으로 평가됨

Table 56. optimum yield for yield regression equation in sand formation(drawdown level = 200cm)

Test No.	Regression equation	Coefficient of determination	optimum yield(L/min)
SD1200(A)	$Q = -0.0133 \times s_w^2 + 12.31 \times s_w + 420.21$	0.9916	2350.2
SS800	$Q = -0.0112 \times s_w^2 + 11.672 \times s_w + 26.757$	0.9971	1913.2
SD1200(B)	$Q = 11.505 \times s_w + 512.51$	0.9993	2813.5

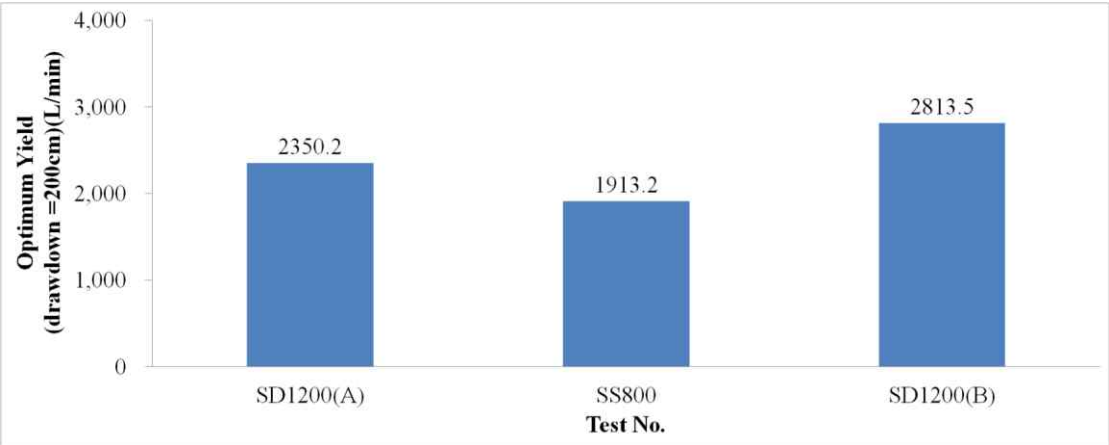


Fig 68. Optimum yield in each test well(drawdown level = 200cm)

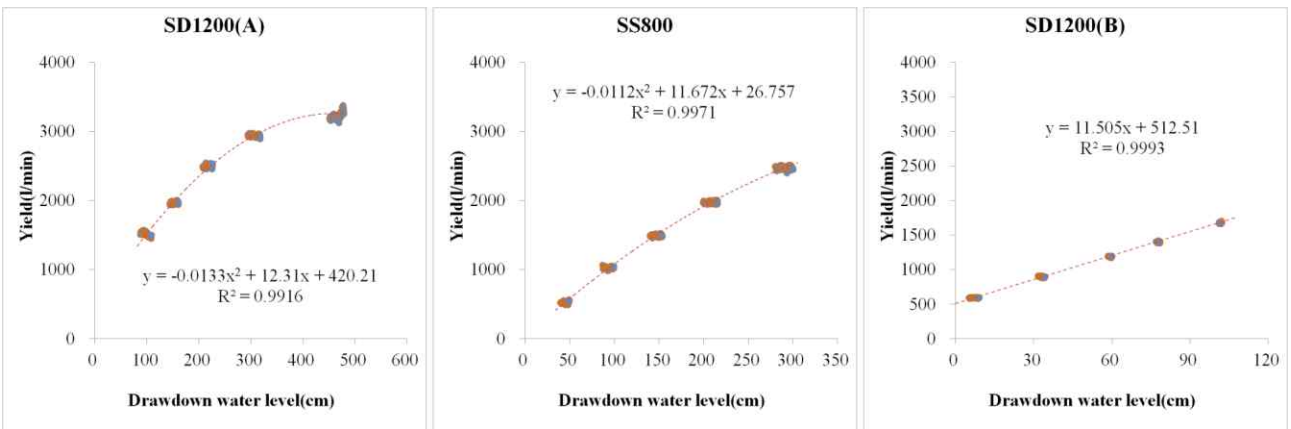


Fig 69. Relationship of drawdown water level and yield in each test well

(나) 비수위강하량을 이용한 평가

- 지하수위강하량(s_w)은 양수량(Q), 수리전도도, 비산출량, 우물로부터의 거리, 양수시간과 연관된 함수임
- 우물인접부 물흐름은 난류형태를 보이며, 우물로부터 멀어질수록 유속이 감소하여 층류형태가 됨
- 난류는 필터의 클로깅을 야기하며, 시간이 지속될수록 수리저항이 증대되어 우물손실이 야기됨
- 대수층과 우물에서 발생되는 층류 및 난류흐름에 따른 수리저항은 수위강하를 형성시킴
- 우물의 적정양수량은 수위강하량을 양수량으로 나눈 값인 비수위강하량(s_w/Q)이 안정된 상태에서 가능한 양수량을 의미함
- Jacob은 단계대수성시험시 수위강하를 다음과 같이 정의하였음

$$s_w = BQ + CQ^2$$

여기서, s_w : 수위강하량, Q : 양수량, B : 선형우물 손실계수, C : 비선형우물 손실계수

- 또한, Rorabough(1962)는 양수정에서 지하수를 채수할 때 전체 수위강하량 (s_w)을 다음 식으로 표현하였으며, n은 통상 2~3의 범위를 갖으나 Jacob(1947)이 제시한 2값이 가장 보편적으로 적용됨(Skinner, 1988).

$$s_w = BQ + CQ^n$$

- B와 C값은 단계대수성시험을 통해 계산할 수 있으며, 생산능력을 표현하는 비양수량(Q/s_w)은 양수량이 증가함에 따라 감소되는 특성이 있음
- B와 C값은 비수위강하량(s_w/Q)과의 관계를 통해 계산이 가능하며, 관계식은 다음과 같음

$$s_w/Q = B + CQ$$

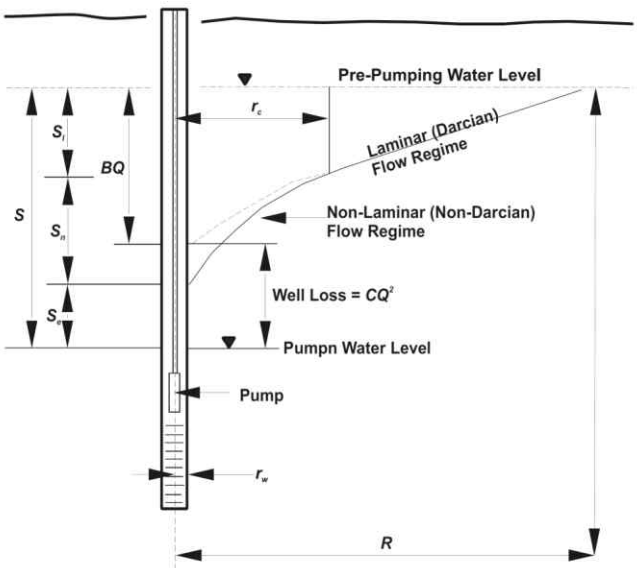


Fig 69-1. Components of drawdown in well (Atkinson at. al. 2010)

S :total drawdown in the well,

S_I : the drawdown at relatively low velocity in the laminar (Darcian) flow, S_n : the drawdown at relatively, high velocity in the turbulent flow (non-Darcian), S_e : entrance losses due to screen effect and turbulent flow through the screen or filter pack, R : radius of influence, r_w : the radius of the borehole, Q : pumping rate, B : laminar flow coefficient, C : non-laminar flow coefficient

비수위강하량과 양수량과의 관계

- 양수량과 비수위강하량과의 관계를 통해 각 시험조별 투수특성의 상대적인 비교가 가능함
- 양수량에 따른 비수위강하량의 값이 작을수록 우물에서의 수위강하가 작게 일어나기 때문에 궁극적으로 더 많은 양수량을 확보할 수 있음
- 분석결과 이중필터인 SD1200(A)와 SD1200(B)는 유사한 기울기를 가지며 유량이 증가할수록 비수위강하량이 일정하게 증가하는 양상을 가짐
- 반면, 단일필터인 SS800의 경우 동일유량의 이중필터에 비해 높은 비수위강하량을 보여 이중필터에 비해 우물에서의 수위강하가 많이 발생하고 이로 인하여 양수량이 저하되는 것으로 판단됨

Table 57. Specific drawdown for each test in sand formation

Test No.	Step	Q		sw		sw/Q
		(L/min)	(㎥/day)	(cm)	(m)	(day/㎡)
SD1200(A)	step1	1513.39	2179.28	99.8	0.998	0.00046
	step2	1971.88	2839.51	153.2	1.532	0.00054
	step3	2498.17	3597.36	217.69	2.1769	0.00061
	step4	2940.21	4233.90	308.75	3.0875	0.00073
	step5	3247.96	4677.06	468	4.68	0.00100
SS800	step1	523.68	754.10	44.95	0.4495	0.00060
	step2	1031.27	1485.03	93.77	0.9377	0.00063
	step3	1495.54	2153.58	147.49	1.4749	0.00068
	step4	1978.36	2848.84	208.92	2.0892	0.00073
	step5	2476.7	3566.45	291.15	2.9115	0.00082
SD1200(B)	step1	596.21	858.54	7.44	0.0744	0.00009
	step2	898.86	1294.36	33.16	0.3316	0.00026
	step3	1193.03	1717.96	59.43	0.5943	0.00035
	step4	1406.82	2025.82	77.81	0.7781	0.00038
	step5	1684.27	2425.35	101.71	1.0171	0.00042

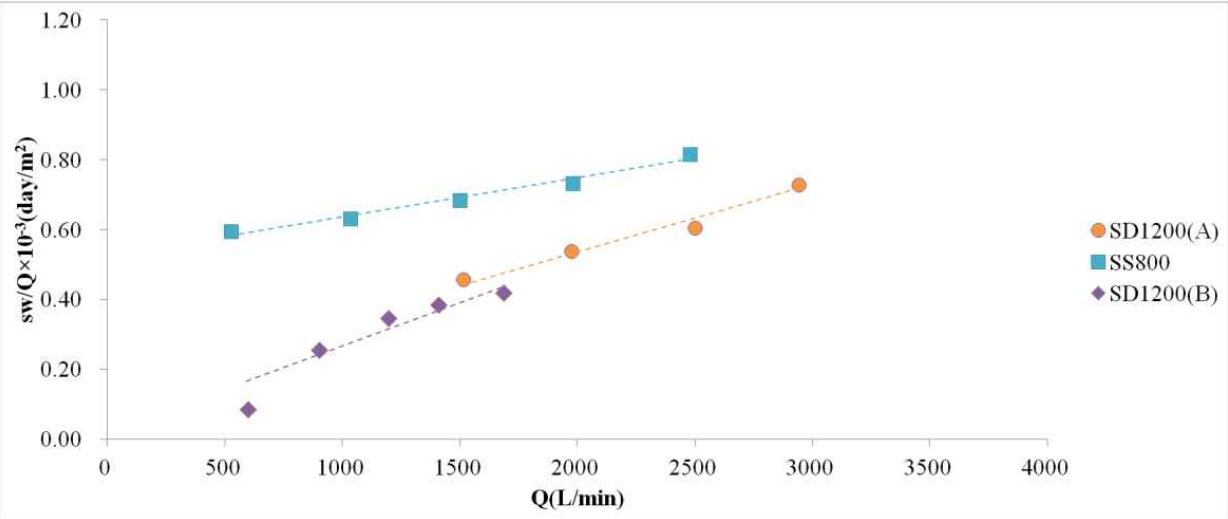


Fig 70. Relationship of Specific drawdown and yield in each well

비수위강하량을 이용한 수위강하 2.0m 일때의 적정양수량 평가

- 비수위강하량을 이용하여 지하수위면에서 2.0m 수위하강시의 적정양수량을 산정한 결과 이중필터인 SD1200(A)의 경우, 2552.4L/min로 분석되었으며, 단일필터인 SS800의 경우, 1875.3L/min로 평가됨
- 현지지반 토사를 필터재로 사용한 SD1200(B)의 경우 가장 높은 값인 2827.6L/min의 적정양수량을 보였으나 해당 시험유량이 작아 실질적인 유량과 차이가 클 수 있음
- 이중필터인 SD1200(A)와 단일필터인 SS800의 적정양수량을 비교하면, 지하수위가 2.0m 하강시 이중필터가 단일필터에 비해 136.0% 높은 적정양수량을 보이는 것으로 분석됨

Table 58. Optimum yield estimation used specific drawdown equation(drawdown level = 2.0m)

Test No.	Regression equation(×10−3 d/㎡)	B	C	Optimum Yield(L/min)
SD1200(A)	$s_w = 0.0001Q^2 + 0.1766Q$	0.1766E−03	0.0001E−03	2552.4
SS800	$s_w = 0.00008Q^2 + 0.5246Q$	0.5246E−03	0.00008E−03	1875.3
SD1200(B)	$s_w = 0.0001Q^2 + 0.0840Q$	0.0840E−03	0.0001E−03	2827.6

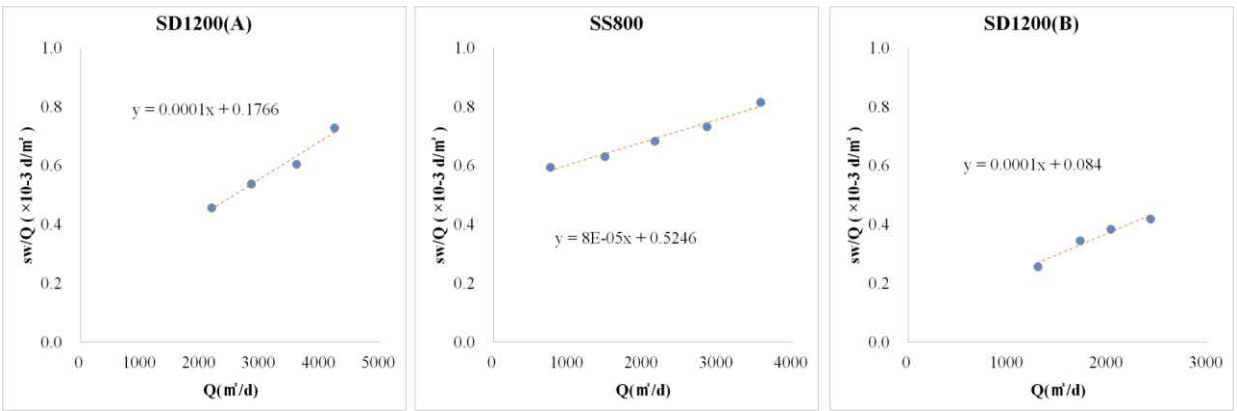


Fig 71. Relational expression of Specific drawdown and yield in each well

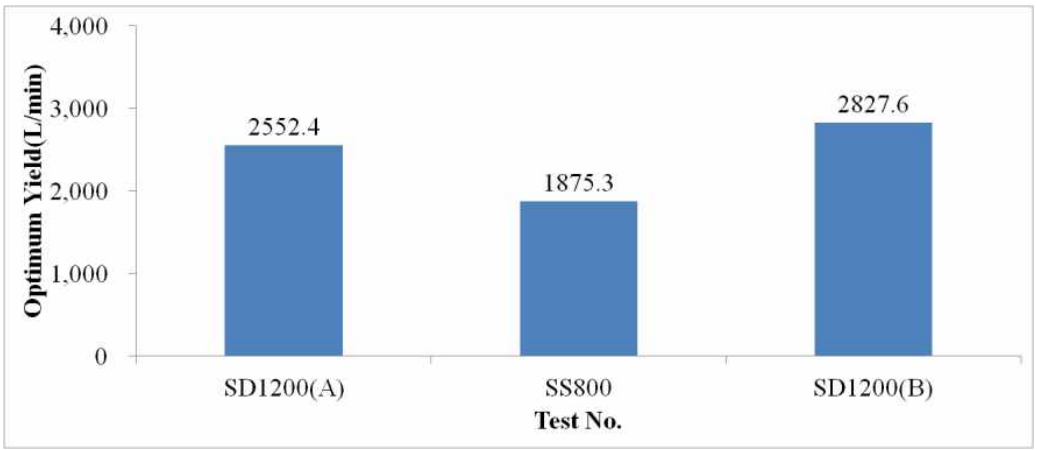


Fig 72. Comparison of optimum yield estimation used specific drawdown equation

(다) 변곡점을 이용한 평가

- 수위강하량에 따른 양수량의 변화추이를 바탕으로 2개의 선형식을 사용하여 그 접점에 해당하는 적정양수량을 평가하였음
- 이중필터의 SD1200(A)의 적정양수량은 2843.3L/min로 평가되었으며, 단일필터인 SS800의 적정양수량은 1777.5L/min로 평가되었음
- 현지지반의 토사를 필터재로 재활용한 SD1200(B)의 경우 변곡점이 파악되지 않아 적정양수량이 산정되지 않았음
- 이중필터와 단일필터의 적정양수량을 비교하면, 이중필터가 단일필터에 비해 160.0% 높은 적정양수량을 보이는 것으로 분석됨

Table 59. optimum yield estimation used point of inflection in sand formation

Test No.	Regression equation		sw (cm)	Optimum Yield (L/min)
SD1200(A)	Eq 1	$Q = 8.3468 \times s_w + 684.9$	258.6	2843.3
	Eq 2	$Q = 1.9325 \times s_w + 2343.6$		
SS800	Eq 1	$Q = 9.4639 \times s_w + 113.94$	175.8	1777.5
	Eq 2	$Q = 6.0603 \times s_w + 712.24$		
SD1200(B)	Eq 1	$Q = 11.509 \times s_w + 512.35$	–	–
	Eq 2	–		

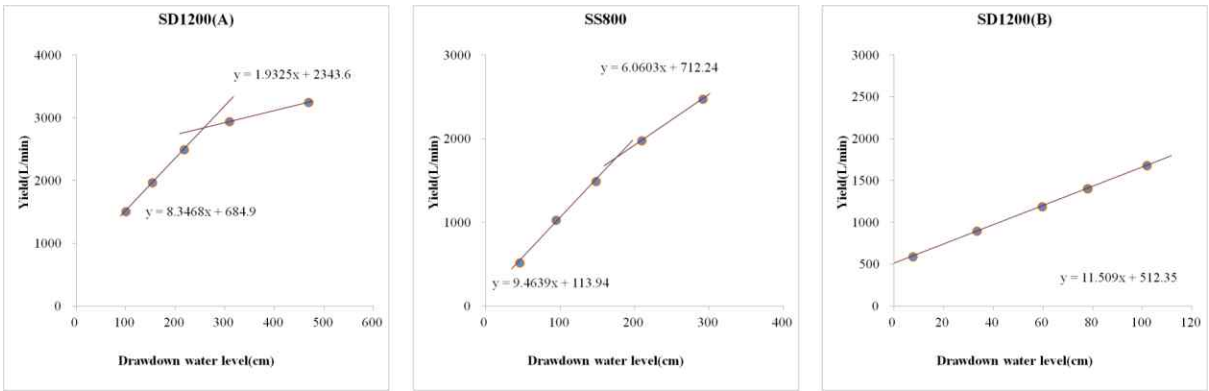


Fig 73. Graph of inflection point estimation used linear equation

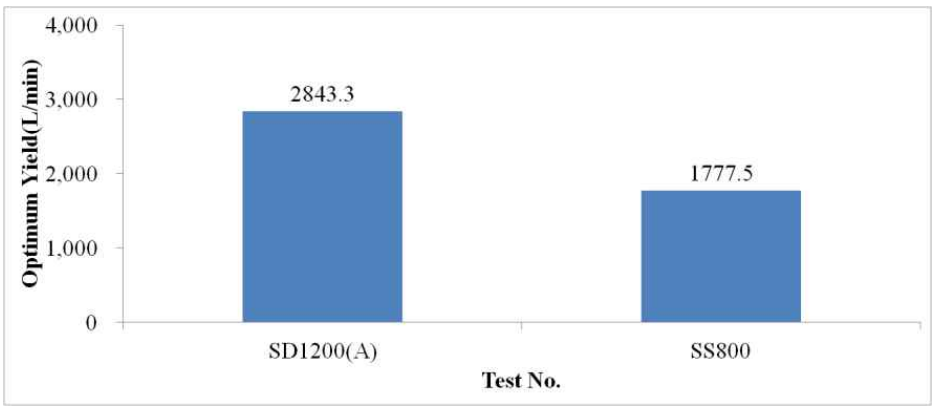


Fig 74. Comparison of optical yield for dual and single filter well

다. 장기시험 성과분석

(1) 투수특성 분석

- 이중필터인 SD1200(A)의 초기 투수계수는 0.31cm/sec를 보였으며, 10일까지 점차로 감소하는 양상을 보이다가 10일~60일까지 일정한 양상을 보이며, 61~77일 구간에서는 0.18~0.19cm/sec 가장 낮은 값을 보임
- 단일필터인 SS800 및 이중필터인 SD1200(B) 역시 같은 양상을 보임
- 이는 투수성이 저하된 것이 아니라 주변 여건에 따라 양수량을 저감시켜 나타나는 현상임
- 즉, 동일 지층조건에서 양수량이 줄어들게 되면 투수계수가 감소하기 때문인 것으로 파악됨

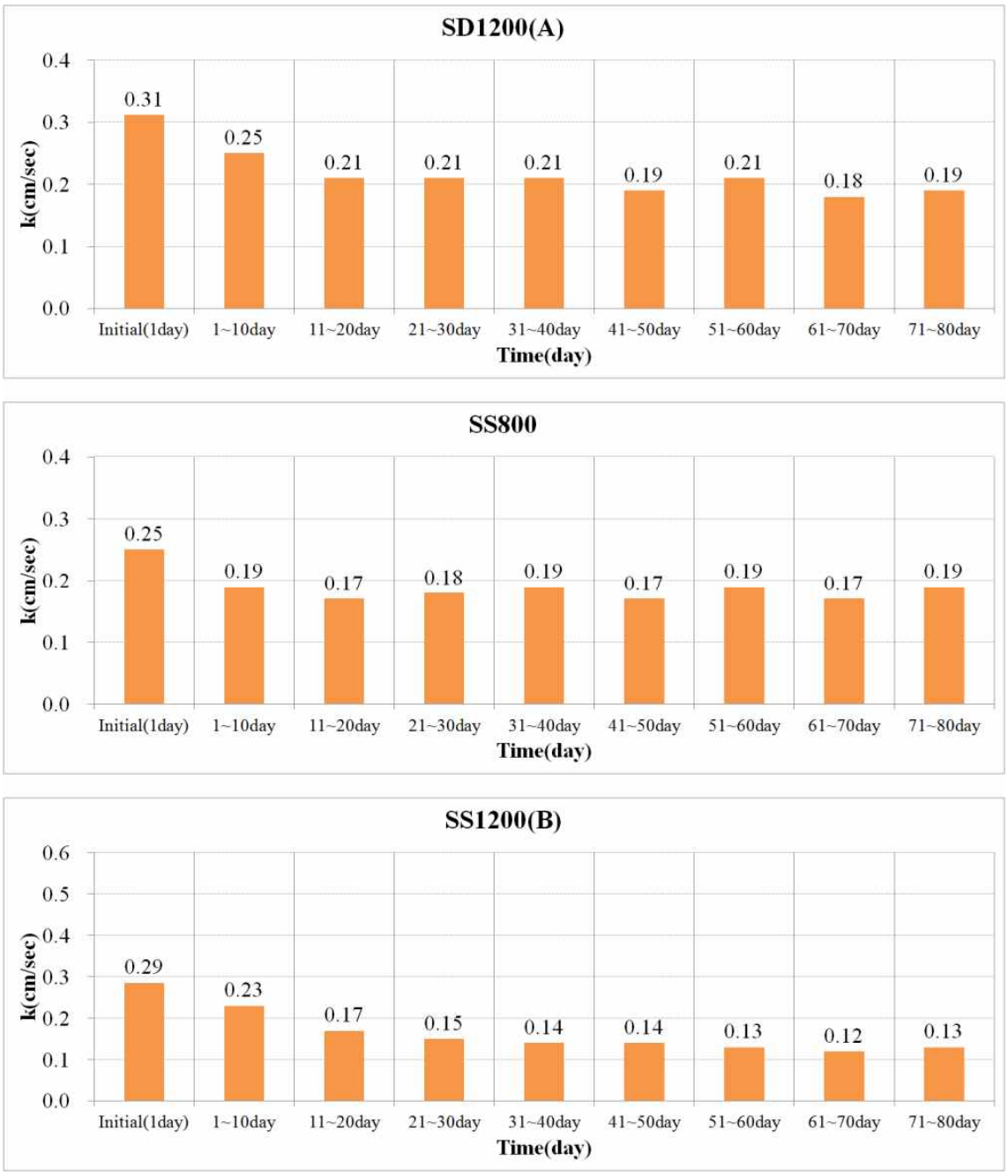


Fig 75. Comparison of hydraulic conductivity by time over in each well

(2) 양수량 분석

- 이중필터인 SD1200(A)의 경우, 현장여건으로 인해 양수량을 변동시킨 초기 및 시험 후기의 양수량을 제외한 7일~60일의 양수량을 볼 때, 일정한 양수량을 유지하는 것으로 평가됨
- 이중필터인 SD1200(B)의 경우, 대수층이 타 우물에 비해 양호하여 단계대수성시험에서 펌프능력을 상회하는 충분한 수량을 공급할 수 있는 것으로 나타난 바 있으며, 10일치 평균 양수량이 초기부터 종료시까지 일정하게 유지되는 것으로 확인됨
- 단일필터인 SS800의 경우, 초기(0~6일) 및 중간(37~42일) 구간의 양수량을 증가시킨 구간 이외에서 일정한 양수량을 보이고 있음
- 약 77일간의 장기양수시험 결과를 볼 때, 이중필터 및 단일필터에서의 양수량은 일정하게 유지되고 있음을 확인하였으며, 장기적인 양수량 저하특성은 확인되지 않음

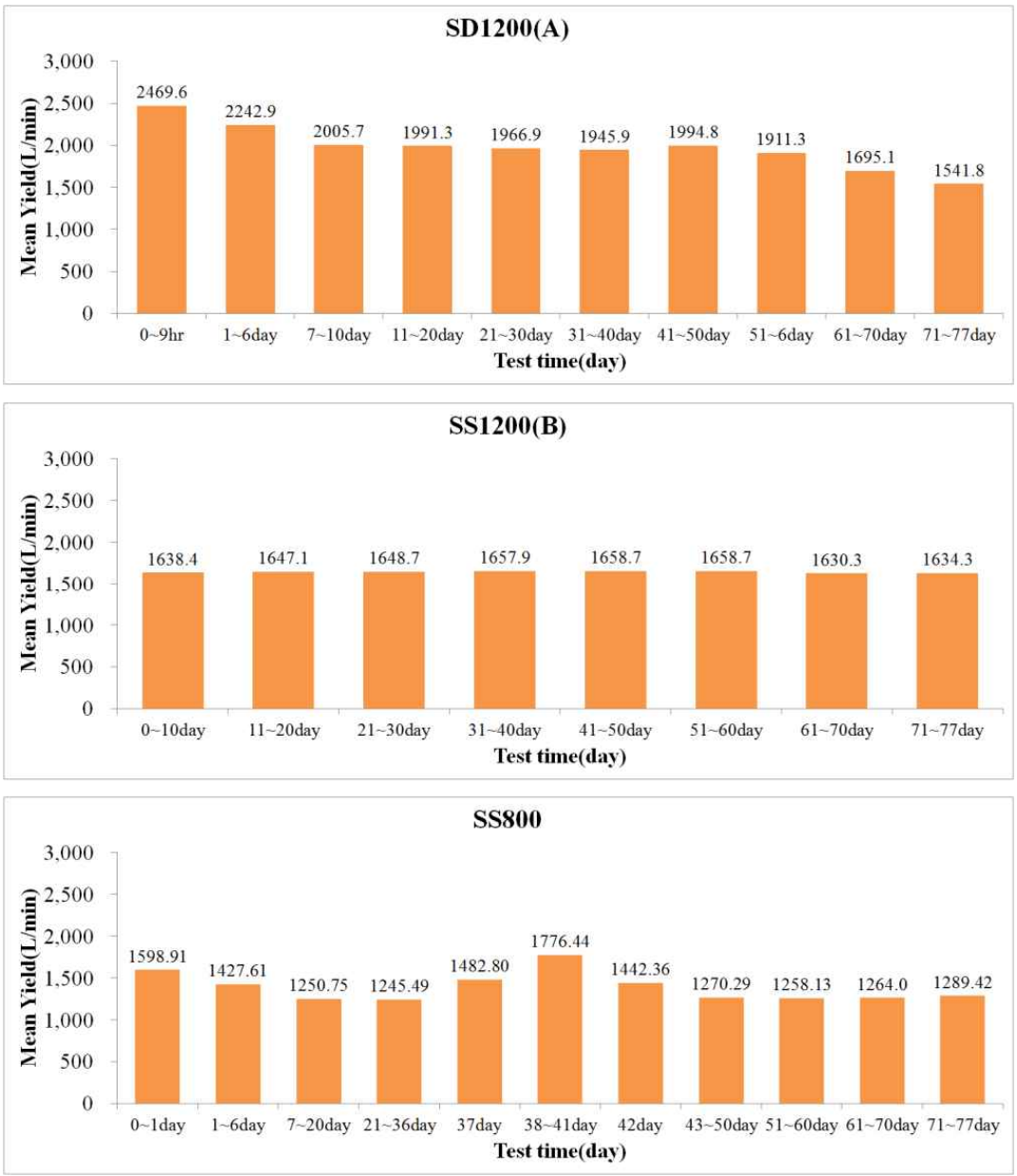


Fig 76. Mean yield per unit time in each test

라. 장기시험 이후 단계 대수성시험 성과분석

(1) 투수특성 변화분석

① 분석방법

- 양수량과 양수정에서의 수위강하량을 이용하여 성과를 분석하였으며, 각 취수정의 영향반경을 50m로 적용하여 분석함

Table 60. Application factor for each test well

Test No.	Unconfined aquifer thickness (cm)	Groundwater level(GL-cm)	Influence radius (cm)	Well radius (cm)
SD1200(A)	970	395	5000	20
SS800	960	406	5000	20
SD1200(B)	1380	380	5000	110

② 분석결과

SD1200(A)

- 양수정을 이용하여 각 단계별 투수계수를 산정한 결과 투수계수의 범위는 0.261~0.589cm/sec로 평가되었으며, 2~4단계의 평균 투수계수는 0.323cm/sec로 분석됨
- 장기양수시험 이전의 평균 투수계수는 0.342cm/sec와 비교할 때 투수계수의 변화량은 미미한 것으로 파악됨

SS800

- 각 단계별 투수계수를 산정한 결과 투수계수의 범위는 0.262~1.117cm/sec로 평가되었으며, 2~5단계의 평균 투수계수는 0.332cm/sec로 분석됨
- 장기양수시험 이전의 평균 투수계수는 0.310cm/sec와 비교할 때 약간 투수계수가 증가된 것으로 나타났으나 변화량은 미미한 것으로 파악됨

SD1200(B)

- 각 단계별 투수계수를 산정한 결과 투수계수의 범위는 0.222~1.211cm/sec로 평가되었으며, 투수계수가 안정된 2~4단계의 평균 투수계수는 0.287cm/sec로 분석됨
- 장기양수시험 이전의 평균 투수계수는 0.292cm/sec와 비교할 때 투수계수의 변화량은 미미한 것으로 파악됨

Table 61. Hydraulic Conductivity by step-drawdown test results after long term pumping test

Test No.	Step	Ave. Q (L/min)	Drawdown water level(cm)	k(cm/sec)			
			PW	After long term test		Before long term test	
				by step k	Average k	by step k	Average k
SD1200 (A)	step1	1504.8	69.2	0.589	0.323	0.422	0.342
	step2	2028.5	150.5	0.395		0.378	
	step3	2499.8	261.5	0.315		0.360	
	step4	2691.7	404.8	0.261		0.331	
	step5	-	-	-		0.298	
SS800	step1	533.8	12.8	1.117	0.332	0.321	0.310
	step2	1052.8	77.9	0.384		0.317	
	step3	1521.0	118.6	0.379		0.309	
	step4	2007.6	218.6	0.302		0.308	
	step5	2266.9	322.4	0.262		0.305	
SD1200 (B)	step1	596.4	7.6	1.211	0.287	1.238	0.292
	step2	1004.4	44.3	0.357		0.424	
	step3	1402.3	80.0	0.281		0.318	
	step4	1596.4	117.6	0.222		0.290	
	step5			-		0.269	

투수계수의 비교

- 장기양수시험 후의 투수계수는 단일필터인 SS800이 가장 높은 것으로 평가되었음
- 장기양수시험 전후의 투수계수를 비교하면, 개발기술을 접목한 이중필터 취수정인 SD1200(A)와 SD1200(B)에서 소량 감소하고 단일필터취수정인 SS800이 소량 증가하는 양상을 보임

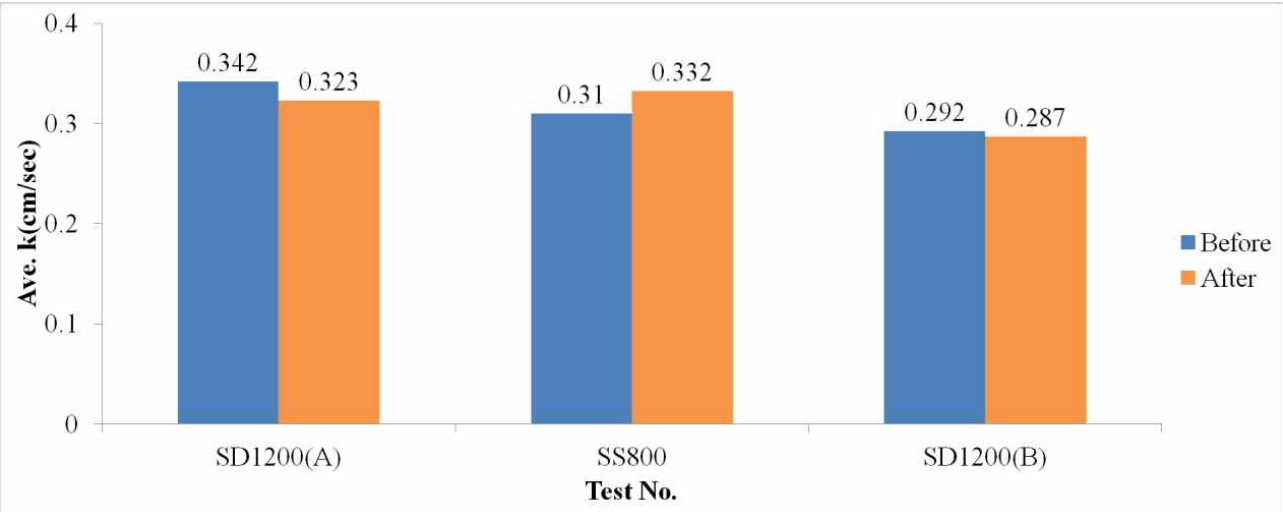


Fig 77. Comparison of Hydraulic Conductivity by step-drawdown test results before and after long term pumping test

유량에 따른 투수계수 변화양상 분석

- 시험결과 투수계수는 유량이 증가함에 따라 감소하는 양상을 나타냄
- 양수정을 이용한 투수계수 분석결과에서는 동일 양수량 대비 이중필터의 투수계수가 높게 나타나며, 이는 장기시험 이전의 분석결과와 동일하게 이중필터가 단일필터에 비해 투수성이 개선된 영향으로 판단됨
- 원위치 토양을 이용한 SD1200(B)의 경우 충적층의 심도가 깊고 자갈층의 발달이 양호하여 초기 투수계수가 매우 높게 나타냈으나 장기양수시험 이후에는 타 관정에 비해 동일 양수량 대비 투수성이 낮게 평가되고 있으며 이는 원지반 토사 적용이 장기적인 투수성 유지에 불리한 요인으로 작용하기 때문으로 판단됨

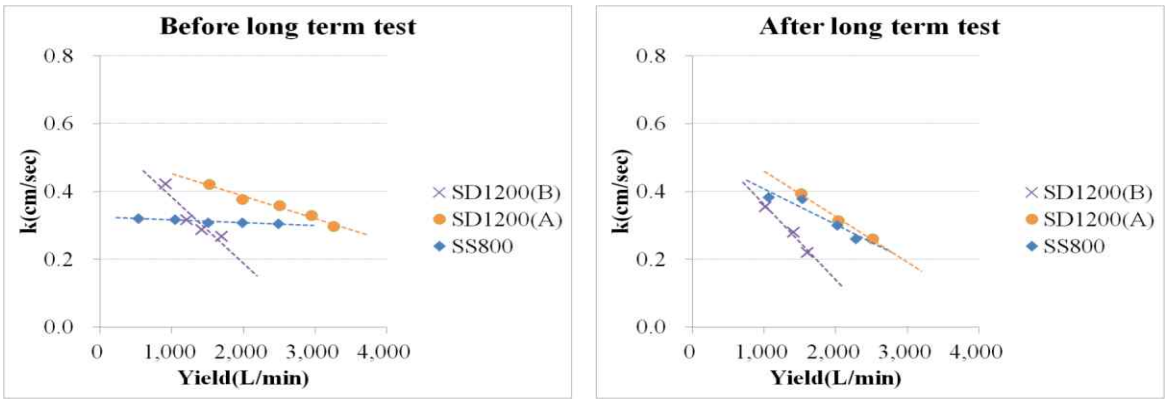


Fig 77-1. Change of hydraulic conductivity according to yield of test hole before and after long term pumping test

(2) 적정양수량 평가

(가) 수위강하량 분석을 통한 평가

- 각 단계별 평균양수량와 양수정에에서의 수위강하량과 관계를 분석함
- 관계식을 근거로 하여 수위강하 심도가 200cm인 경우로 각각의 조건에 대하여 평가하면 SD1200(B)에서 가장 높은 값을 보이며, 이는 대상 시험공의 대수층이 상대적으로 양호하기 때문인 것으로 판단됨
- 지층구성이 일치하는 이중필터 취수정인 SD1200(A)과 단일필터 취수정 SS800을 비교하면, 이중필터 취수정이 단일필터 취수정 대비 약 334.4L/min 높은 적정양수량을 보이는 것으로 평가됨
- 즉, 양수량은 단일필터 취수정 대비 이중필터 취수정이 117%의 효율을 보이는 것으로 평가됨

Table 62. optimum yield for yield regression equation in sand formation(drawdown level = 200cm)

Test No.	Regression equation	Coefficient of determination	optimum yield(L/min)
SD1200(A)	$Q = -0.0111 \times s_w^2 + 8.7207 \times s_w + 969.78$	0.9517	2269.9
SS800	$Q = -0.0158 \times s_w^2 + 10.948 \times s_w + 377.89$	0.9875	1935.5
SD1200(B)	$Q = -0.0213 \times s_w^2 + 11.476 \times s_w + 553.05$	0.9446	1996.3

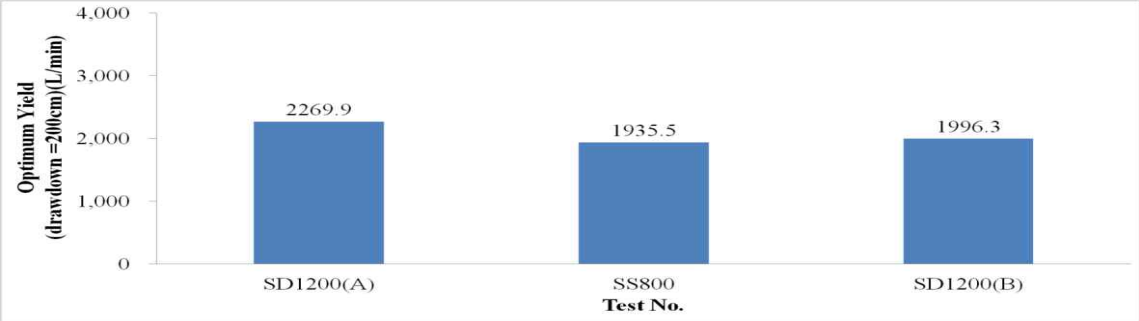


Fig 78. Optimum yield in each test well(drawdown level = 200cm) after long term pumping test

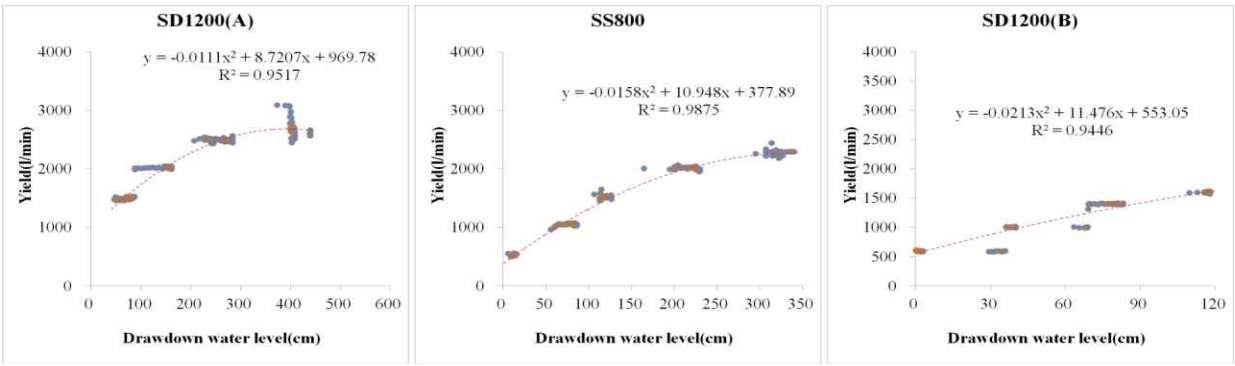


Fig 79. Relationship of drawdown water level and yield in each test well after long term pumping test

(나) 비수위강하량을 이용한 평가

비수위강하량과 양수량과의 관계

- 양수량에 따른 비수위강하량의 값이 작을수록 우물에서의 수위강하가 작게 일어나기 때문에 궁극적으로 더 많은 양수량을 확보할 수 있음
- 분석결과 유량이 증가할수록 비수위강하량이 일정하게 증가하는 양상을 가짐

Table 63. Specific drawdown for each test in sand formation

Test No.	Step	Q		sw		sw/Q
		(L/min)	(㎥/day)	(cm)	(m)	(day/㎡)
SD1200(A)	step1	1504.83	2166.96	69.19	0.6919	0.00032
	step2	2028.49	2921.03	150.52	1.5052	0.00052
	step3	2499.82	3599.74	261.46	2.6146	0.00073
	step4	2691.74	3876.11	404.75	4.0475	0.00104
SS800	step1	533.8	768.67	12.77	0.1277	0.00017
	step2	1052.78	1516.00	77.85	0.7785	0.00051
	step3	1521.02	2190.27	118.58	1.1858	0.00054
	step4	2007.55	2890.87	218.55	2.1855	0.00076
	step5	2266.91	3264.35	322.36	3.2236	0.00099
SD1200(B)	step1	596.37	858.77	7.61	0.0761	0.00009
	step2	1004.42	1446.36	44.33	0.4433	0.00031
	step3	1402.26	2019.25	79.98	0.7998	0.00040
	step4	1596.41	2298.83	117.63	1.1763	0.00051

- 동일 양수량에 대한 비수위강하량은 이중필터인 SD1200(A)가 가장 낮은 값을 보이며, 단일필터인 SS800이 가장 높은 값을 나타냄
- 즉, 이중필터취수정이 단일필터취수정에 비해 우물에서의 수위강하가 적게 발생하고 이로 인하여 양수량이 증대되는 것으로 판단됨

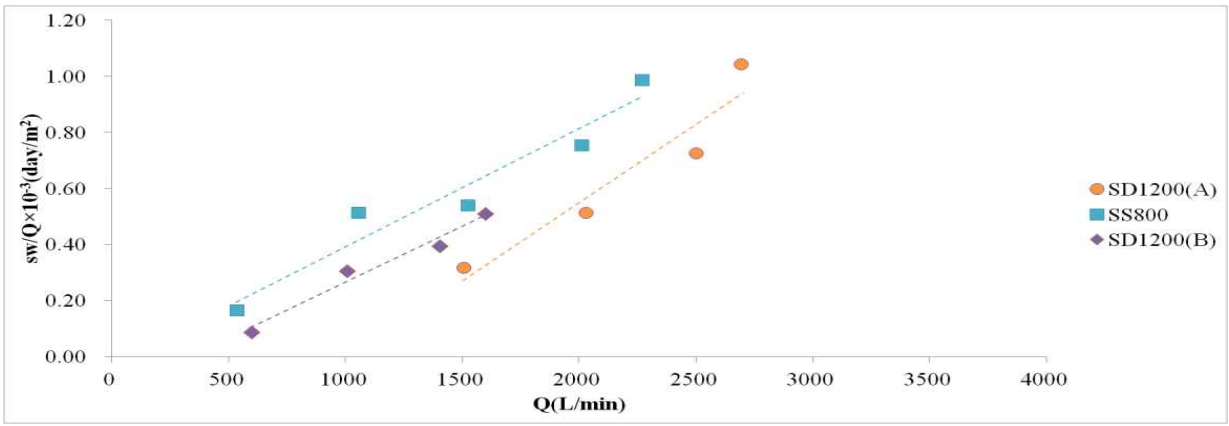


Fig 80. Relationship of Specific drawdown and yield in each well

비수위강하량을 이용한 수위강하 2.0m 일때의 적정양수량 평가

- 비수위강하량을 이용하여 지하수위면에서 2.0m 수위하강시의 적정양수량을 산정한 결과 이중필터인 SD1200(A) 경우, 2118.2L/min로 분석되며, 단일필터인 SS800 경우, 1826.5L/min로 평가됨
- 현지지반 토사를 필터재로 사용한 SD1200(B)의 경우에는 1951.7L/min의 적정양수량을 보였으나 해당 시험유량이 작아 실질적인 유량과 차이가 클 수 있음
- 이중필터인 SD1200(A)와 단일필터인 SS800의 적정양수량을 비교하면, 지하수위가 2.0m 하강시 이중필터가 단일필터 대비 116.0%의 효율을 보이는 것으로 분석됨

Table 64. Optimum yield estimation used specific drawdown equation(drawdown level = 2.0m)

Test No.	Regression equation(×10−3 d/m²)	B	C	Optimum Yield(L/min)
SD1200(A)	$s_w = 0.0004Q^2 - 0.5644Q$	−0.5644E−03	0.0004E−03	2118.2
SS800	$s_w = 0.0003Q^2 - 0.0286Q$	−0.0286E−03	0.0003E−03	1826.5
SD1200(B)	$s_w = 0.0003Q^2 - 0.1315Q$	−0.1315E−03	0.0003E−03	1951.7

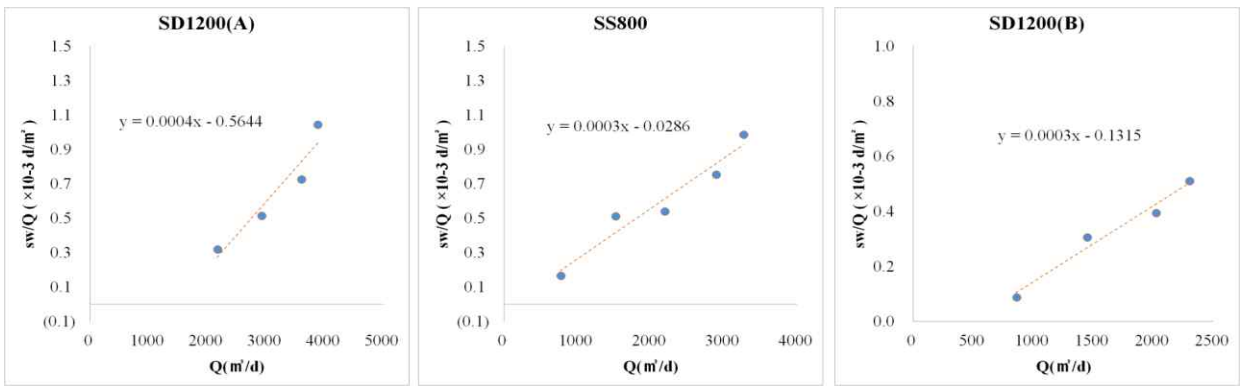


Fig 81. Relational expression of Specific drawdown and yield in each well

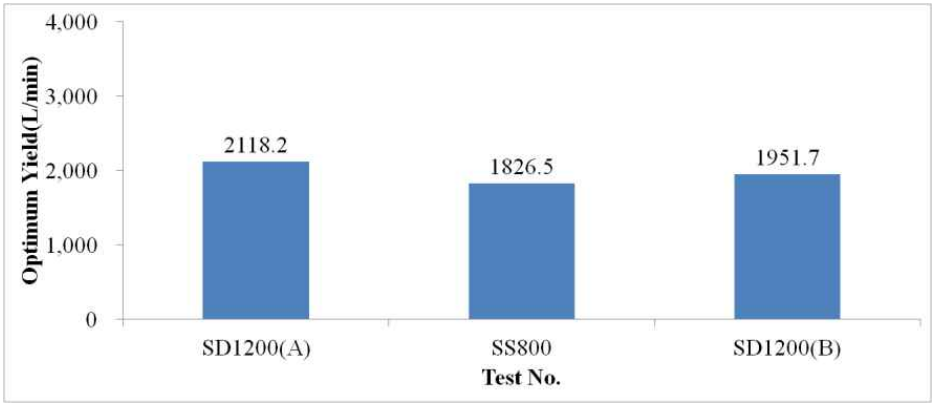


Fig 81-1. Comparison of optimum yield estimation used specific drawdown equation

(다) 변곡점을 이용한 평가

- 수위강하량에 따른 양수량의 변화추이를 바탕으로 2개의 선형식을 사용하여 그 접점에 해당하는 적정양수량을 평가하였음
- 이중필터의 SD1200(A)의 적정양수량은 2489.6L/min로 평가되었으며, 단일필터인 SS800의 적정양수량은 1859.2L/min로 평가되었음
- 현지지반의 토사를 필터재로 재활용한 SD1200(B)의 적정양수량은 1402.5L/min로 평가되었음
- 이중필터와 단일필터의 적정양수량을 비교하면, 이중필터가 단일필터 대비 133.9%의 효율을 보이는 것으로 분석됨

Table 65. optimum yield estimation used point of inflection in sand formation

Test No.	Regression equation		sw (cm)	Optimum Yield (L/min)
SD1200(A)	Eq 1	$Q = 5.1205 \times s_w + 1189.8$	253.8	2489.6
	Eq 2	$Q = 1.3394 \times s_w + 2149.6$		
SS800	Eq 1	$Q = 9.2044 \times s_w + 394.0$	159.2	1859.2
	Eq 2	$Q = 2.4984 \times s_w + 1461.5$		
SD1200(B)	Eq 1	$Q = 11.136 \times s_w + 511.3$	80.0	1402.5
	Eq 2	$Q = 5.1567 \times s_w + 989.8$		

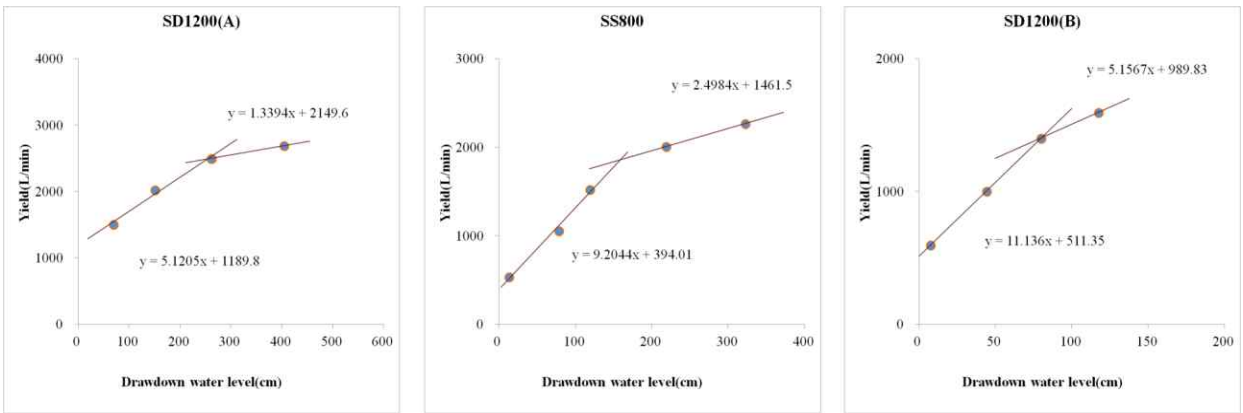


Fig 82. Graph of inflection point estimation used linear equation

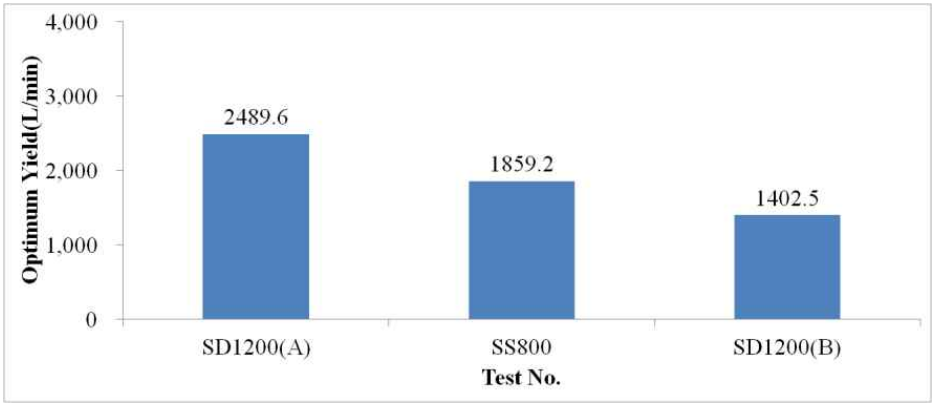


Fig 83. Comparison of optical yield for dual and single filter well

(3) 장기 양수시험 전과 후의 적정양수량 종합평가

Table 66. Comparison of optimum yield before vs after long term pumping test

분석방법	적정양수량 (L/min)					
	장기 양수시험 전			장기 양수시험 후		
	SD1200 (A)	SS800	SD1200 (B)	SD1200 (A)	SS800	SD1200 (B)
1. 수위강하(drawdown level = 200cm)관계 분석결과	2,350.2	1,913.2	2,813.5	2,269.9	1,935.5	1,996.3
2. 비수위강하량(drawdown level = 200cm) 관계분석	2,552.4	1,875.3	2,827.6	2,118.2	1,826.5	1,951.7
3. 변곡점을 이용한 분석결과	2,843.3	1,777.5	-	2,489.6	1,859.2	1,402.5
평 균 값	2,034.20	1,529.50	2,820.5	2,292.6	1,873.7	1,783.5
단일필터 대비 이중필터의 적정양수량 증가율	139.2% ↑			122.3% ↑		
	장기 양수시험 후 / 장기 양수시험 전					
	SD1200 (A)		SS800		SD1200 (B)	
	112.7% ↑		122.5% ↑		-	

마. 수질특성 평가

(1) 초기 수질특성 평가

(가) 분석항목 및 방법

- 취수정 착정 직후 단계 및 연속대수성시험 과정에서의 수질변화를 평가하기 위하여 초기 수질특성 분석을 수행함
- 분석항목은 해변여과수를 해양생물 생육에 활용하는데 쓰여짐으로 이와 관련된 BOD, COD, SS, Fe, Mn, 질산성질소, 염소로 설정함
- 수질기준의 경우, 오염물질 배출허용기준에 따라 "가지역" 1일 폐수배출량 2000㎥/일을 적용시키는 것으로 볼 수 있으나 수계(하천,바다,호소등)로 직방류되는 경우 방류수 수질기준 4지역을 기준으로 적용함
- 염소이온의 경우 지하수 수질기준에서는 농업용수·어업용수 기준 250mg/l 이하로 설정되어 있으나 어업용수 및 지하수의 이용 목적상 염소이온의 농도가 인체에 해가 되지 아니하는 것으로 환경부장관이 인정하는 용도로 간주하여 지하수를 이용하는 경우 염소이온 기준을 적용하지 않음
- 단계양수시험에서의 수질분석은 각 단계가 종료된 시점에서 시료를 채취하여 분석하였으며, 연속시험 역시 시험이 종료된 이후에 시료를 채취하여 분석함

(나) 분석결과

- 시험결과 모든 분석항목에서 오염물질 배출허용기준을 초과하지 않는 것으로 평가됨

Table 67. Results of initial water quality analysis in step drawdown test and pumping test

INDEX			BOD	COD	SS	Fe	Mn	NO3-N	Cl-
			10	40	10	10	10	0.1	250
Step draw down test	SD1200 (A)	1step	4.3	6.5	5.2	불검출	불검출	2.8	14,073.7
		2step	1.4	2.3	4.6	불검출	불검출	3.8	13,541.9
		3step	1.0	1.9	9.2	불검출	불검출	3.7	13,719.2
		4step	1.9	3.1	4.4	불검출	불검출	4.7	13,435.6
		5step	1.4	3.1	4.8	불검출	불검출	3.7	13,648.3
	SS800	1step	1.4	2.3	2.4	불검출	불검출	3.5	7,692.7
		2step	2.4	3.1	1.6	불검출	불검출	4.3	7,692.7
		3step	1.9	3.1	2.4	불검출	불검출	3.8	7,444.5
		4step	2.4	3.8	1.8	불검출	불검출	4.7	7,231.8
		5step	1.4	4.6	0.4	불검출	불검출	3.8	8,011.7
	SD1200 (B)	1step	0.5	1.7	4.0	불검출	불검출	0.3	17,264.2
		2step	1.0	1.3	6.2	불검출	불검출	0.2	16,980.6
		3step	0.5	1.7	2.4	불검출	불검출	0.3	16,307.0
		4step	1.0	1.7	4.4	불검출	불검출	0.2	17,299.6
		5step	1.0	1.7	6.2	불검출	불검출	0.3	17,228.7
Pumping test	SD1200(A)		1.4	1.9	4.8	불검출	불검출	1.8	15,456.2
	SS800		1.0	2.9	2.6	불검출	불검출	2.6	11,131.3
	SD1200(B)		1.4	2.1	4.8	불검출	불검출	1.6	14,818.1
Original seawater			-	1.9	1.8	불검출	불검출	0.2	25,098.6

(다) 각 단계별 및 연속시험 이후의 수질변화 분석

- BOD의 경우 SD1200(A)와 SS800의 경우 대체로 시험이 진행될수록 낮아지는 경향을 보이나 SD1200(B)의 경우 지속적으로 상승하는 경향을 보임. 연속시험 이후의 BOD 함량은 1.0~1.4mg/L로 모든 취수정에서 유사한 특성을 보임
- COD는 부분적으로 차이를 보이고 있으나 연속시험 이후에는 원수에 수렴하는 양상을 보임
- 불용성 부유물질인 SS의 경우 이중필터취수정인 SD1200(A)와 SD1200(B)에서 비교적 높은 값을 보이고 있으며, SS800의 경우 원수와 유사한 값을 나타냄. 이는 주변 토층의 불규칙적인 입도분에 영향을 받는 것으로 판단됨
- 질산성질소는 원수에 비해 높은 값을 나타내고 있으며, 시험 종료시 분석값은 2.0mg/L 내외로 수렴하는 것으로 평가됨
- 염소이온의 경우 원수의 염소이온 농도는 약 25,000mg/L로 분석되었으나 모든 취수정에서 원수에 비해 낮은 염소이온 농도를 보이고 있음. 이는 취수정의 경우 담수와 염수가 혼합되어 산출되기 때문으로 판단됨. 염소이온 농도는 이중필터가 단일필터에 비해 높게 나타나고 있는데 이는 이중필터에서 염수비율이 더 높은데 기인한 것으로 판단됨.
- Fe와 Mn은 모두 불검출되어 분석에서 제외함

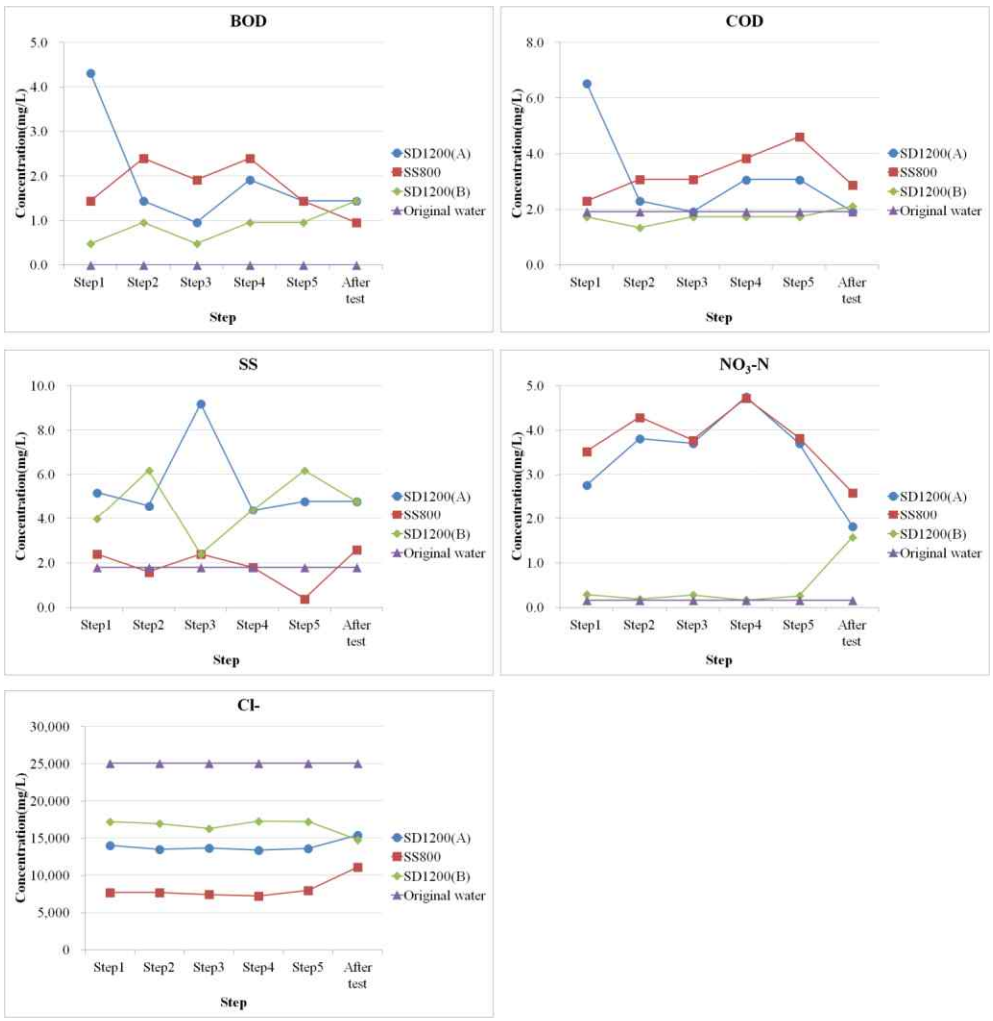


Fig 84. Concentration change by analysis item over time in step drawdown test and pumping test

(2) 장기 수질특성 평가

(가) 분석항목 및 방법

- 장기양수시험 과정에서 해변여과수 수질 변화양상 평가위해 총 31회에 걸쳐 수질분석 수행
- 분석항목은 초기 수질분석항목과 동일한 BOD, COD, SS, Fe, Mn, 질산성질소, 염소로 설정함
- 수질기준의 경우, 오염물질 배출허용기준에 따라 방류수 수질기준 적용 4지역을 기준으로 적용함
- 또한, 염소이온의 경우 사용목적상 수질기준을 적용하지 않음
- 시험결과 SS를 제외한 모든 분석항목에서 오염물질 배출허용기준을 초과하지 않는 것으로 평가

(나) 각 분석항목별 분석결과 및 장기적 수질변화 양상 분석

생물학적 산소요구량(BOD)

- 분석결과 모든 취수정에서 오염물질 배출허용기준을 초과하지 않는 것으로 평가됨
- 시간경과에 따른 BOD 함량 변화는 초기에는 원수가 낮은 특징을 보이고 취수정에서 높은 값을 보이고 있으나 시간이 경과할수록 원수의 BOD에 수렴하는 양상을 보임
- 이와 같은 양상을 보이는 것은 장기적 양수시에 담수의 유입보다는 해수의 유입비중이 더 커지기 때문으로 판단됨
- 또한, 강우 등과 같은 영향으로 담수유입이 많아지는 경우 해수 원수와의 BOD값 격차가 커지는 것으로 판단됨
- BOD 기준이 10mg/L 이하임을 감안할 때, 해변여과수 취수정의 BOD 평균값이 1.1mg/L로 매우 양호한 수질상태를 보임

Table 68. BOD value by date in long term pumping test

Date	BOD(mg/L) : Water quality standard 10mg/L			
	SD1200(A)	SS800	SD1200(B)	Original water
2018-10-23	0.8	1.0	0.2	0.3
2018-10-26	0.7	0.9	1.3	0.5
2018-10-31	0.6	2.0	0.4	0.4
2018-11-02	0.9	0.8	0.5	0.2
2018-11-05	0.3	1.0	0.5	0.5
2018-11-07	0.9	0.8	1.5	0.9
2018-11-09	1.6	1.1	0.4	0.7
2018-11-12	1.2	0.9	0.9	0.4
2018-11-14	0.9	1.0	1.2	0.6
2018-11-16	1.6	2.2	0.6	0.6
2018-11-18	1.7	1.4	0.8	0.5
2018-11-20	1.0	1.4	1.5	1.9
2018-11-23	0.6	0.8	0.7	0.5
2018-11-26	1.5	0.8	0.7	0.6
2018-11-28	1.7	2.1	1.3	0.8
2018-11-30	0.9	1.9	0.6	1.4

Table 68. Continued

Date	BOD(mg/L)			
	SD1200(A)	SS800	SD1200(B)	Original water
2018-12-03	1.2	0.7	0.5	0.4
2018-12-05	1.3	1.9	1.6	1.1
2018-12-07	1.2	1.0	1.7	1.7
2018-12-10	1.4	1.3	1.4	1.3
2018-12-12	0.6	0.7	0.3	1.2
2018-12-14	0.1	0.0	0.1	0.3
2018-12-17	0.0	0.2	0.0	0.1
2018-12-19	0.4	0.7	0.5	0.9
2018-12-21	1.7	2.1	1.5	1.9
2018-12-24	0.6	1.9	0.9	0.9
2018-12-26	1.8	1.9	1.0	0.8
2018-12-28	2.4	2.0	1.9	3.1
2018-12-31	1.6	0.7	0.9	1.1
2019-01-02	1.5	2.0	0.4	1.2
Average	1.1	1.2	0.9	0.9

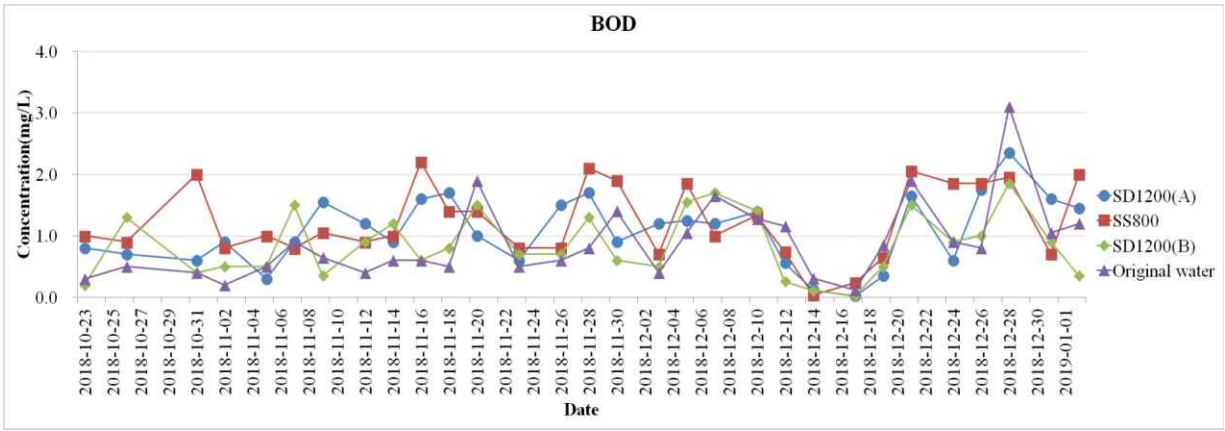


Fig 85. Variation of BOD over time in long term pumping test

화학적산소요구량(COD)

- 분석결과 모든 취수정에서 오염물질 배출허용기준을 초과하지 않는 것으로 평가됨
- 시간경과에 따른 COD 함량은 전반적으로 원수가 낮은 특징을 보이며, 단일필터인 SS800에서 가장 높은 값을 나타냄
- 그러나 그 값의 차이가 크지 않으며 측정시기에 따라 불규칙적인 양상을 나타내고 있음
- COD 기준이 40mg/L이하임을 감안할 때, 해변여과수 취수정의 COD 평균값이 2.6~3.1mg/L로 매우 양호한 수질상태를 보임

Table 69. COD value by date in long term pumping test

Date	COD(mg/L) : Water quality standard 40mg/L			
	SD1200(A)	SS800	SD1200(B)	Original water
2018-10-23	2.7	3.1	2.3	1.2
2018-10-26	2.7	2.7	1.9	2.3
2018-10-31	2.7	4.2	1.9	1.5
2018-11-02	2.3	1.9	3.8	2.7
2018-11-05	2.7	2.7	3.1	2.7
2018-11-07	3.1	1.9	3.1	3.5
2018-11-09	3.1	2.3	1.9	1.9
2018-11-12	3.5	4.6	3.7	1.3
2018-11-14	4.6	4.2	3.8	4.0
2018-11-16	4.6	5.2	3.8	4.6
2018-11-18	2.3	2.7	1.9	1.5
2018-11-20	1.9	2.5	2.3	2.7
2018-11-23	1.9	1.9	1.2	1.2
2018-11-26	1.9	1.2	2.3	2.7
2018-11-28	2.7	3.8	3.5	1.5
2018-11-30	1.9	3.1	1.5	1.9
2018-12-03	2.3	2.7	1.2	0.8
2018-12-05	3.1	4.6	3.5	2.7
2018-12-07	3.1	3.7	3.5	3.3
2018-12-10	3.8	3.5	2.5	2.1
2018-12-12	4.0	3.3	2.9	2.9
2018-12-14	1.9	2.7	3.1	1.9
2018-12-17	2.7	3.1	2.3	3.5
2018-12-19	1.9	2.3	1.9	2.3
2018-12-21	2.7	3.1	2.7	2.7
2018-12-24	2.3	2.3	2.7	1.9
2018-12-26	3.5	3.5	3.5	1.9
2018-12-28	4.6	3.1	3.5	5.4
2018-12-31	2.9	1.0	1.7	1.7
2019-01-02	2.1	4.8	1.0	2.9
Average	2.9	3.1	2.6	2.4

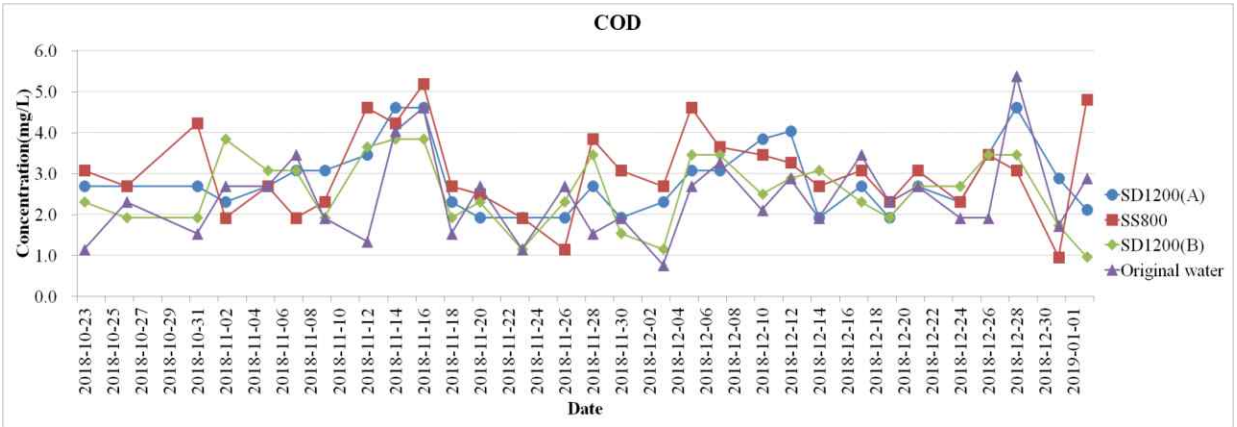


Fig 86. Variation of COD over time in long term pumping test

불용성 부유물질(SS)

- 분석결과 초기에는 모든 취수정에서 초기에는 오염물질 배출허용기준을 초과하지 않는 것으로 평가되고 있으나 12월 7일 이후 급격히 SS가 증가하는 양상을 나타냄
- 이 기간 원수에서도 높은 SS값을 보이는 것으로 보아 원수의 수질이 취수정에 영향을 미치는 것으로 판단하고 있으나 명확한 원인을 확인하지 못함
- SS 평균값을 볼 때, 이중필터인 SD1200(A)가 가장 낮은 값을 보이고 있으며, 단일필터인 SS800에서 가장 높은 값을 나타냄

Table 70. SS value by date in long term pumping test

Date	SS(mg/L) : Water quality standard 10mg/L			
	SD1200(A)	SS800	SD1200(B)	Original water
2018-10-23	3.4	1.8	3.8	4.0
2018-10-26	4.7	7.0	3.3	3.2
2018-10-31	3.0	4.3	5.7	4.8
2018-11-02	4.3	5.7	1.0	4.7
2018-11-05	4.0	4.6	6.2	7.0
2018-11-07	4.4	5.2	4.4	6.6
2018-11-09	3.6	3.6	5.4	3.4
2018-11-12	3.4	3.2	3.0	5.2
2018-11-14	2.2	3.6	3.4	4.2
2018-11-16	3.4	3.2	3.0	5.2
2018-11-18	2.3	2.8	5.6	5.8
2018-11-20	2.0	7.5	4.5	2.0
2018-11-23	3.7	6.0	5.3	3.3
2018-11-26	3.7	6.5	2.0	4.7
2018-11-28	5.7	6.5	6.3	1.7
2018-11-30	7.7	5.3	3.5	4.0
2018-12-03	6.5	5.0	16.5	2.3
2018-12-05	5.7	2.0	6.0	1.7
2018-12-07	10.3	2.0	6.5	2.7
2018-12-10	28.0	5.0	14.5	1.7
2018-12-12	12.3	53.5	36.7	24.0
2018-12-14	8.8	76.5	54.3	68.5
2018-12-17	37.7	28.5	16.0	36.7
2018-12-19	33.3	35.0	25.3	34.0
2018-12-21	27.3	31.5	22.7	34.0
2018-12-24	29.7	32.0	25.3	44.0
2018-12-26	30.3	33.5	23.0	24.7
2018-12-28	29.5	59.5	26.0	39.3
2018-12-31	30.7	48.5	45.7	21.3
2019-01-02	49.0	47.5	35.7	32.0
Average	13.4	17.9	14.0	14.6

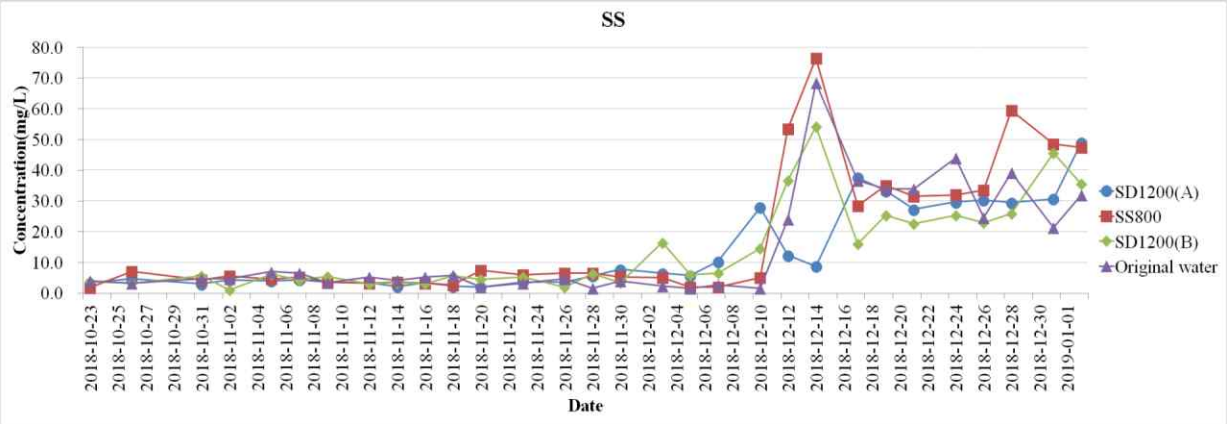


Fig 87. Variation of SS over time in long term pumping test

질산성질소(NO_3-N)

- 분석결과 모든 취수정에서 오염물질 배출허용기준을 초과하지 않는 것으로 평가됨
- 시간경과에 따른 NO_3-N 함량 변화는 원수 및 취수정 모두에서 불규칙적인 양상을 나타내나 그 변화가 크지 않고 일정한 값을 보이는 것으로 파악됨
- NO_3-N 기준이 20mg/L임을 감안할 때, 해변여과수 취수정의 NO_3-N 평균값이 0.41~0.45mg/L로 매우 양호한 수질상태를 보임

Table 71. NO_3-N value by date in long term pumping test

Date	NO3-N(mg/L) : Water quality standard 20mg/L			
	SD1200(A)	SS800	SD1200(B)	Original water
2018-10-23	0.43	0.46	0.32	0.25
2018-10-26	0.31	0.27	0.30	0.03
2018-10-31	0.24	0.30	0.28	0.08
2018-11-02	0.21	0.16	0.21	0.00
2018-11-05	0.40	0.30	0.41	0.26
2018-11-07	0.54	0.33	0.48	0.67
2018-11-09	0.40	0.48	0.53	0.70
2018-11-12	0.32	0.45	0.40	0.22
2018-11-14	0.51	0.85	0.57	0.68
2018-11-16	0.48	0.57	0.45	0.38
2018-11-18	0.71	0.50	0.48	0.40
2018-11-20	0.54	0.78	0.56	0.65
2018-11-23	0.73	0.66	0.63	0.71
2018-11-26	0.51	0.72	0.69	0.50
2018-11-28	0.47	0.00	0.32	0.85
2018-11-30	0.21	0.12	0.46	0.47
2018-12-03	0.41	0.11	0.67	0.85
2018-12-05	0.48	0.36	0.19	0.47

Table 71. Continued

Date	NO3-N(mg/L) : Water quality standard 20mg/L			
	SD1200(A)	SS800	SD1200(B)	Original water
2018-12-07	0.34	0.14	0.44	0.72
2018-12-10	0.96	0.47	0.64	0.63
2018-12-12	0.21	0.37	0.21	0.00
2018-12-14	0.29	1.02	0.16	0.58
2018-12-17	1.66	0.64	0.27	0.00
2018-12-19	0.29	0.38	0.29	0.17
2018-12-21	0.33	0.31	0.45	0.00
2018-12-24	0.21	0.40	0.44	0.15
2018-12-26	0.21	0.40	0.44	0.15
2018-12-28	0.32	0.36	0.38	0.30
2018-12-31	0.27	0.36	0.29	0.14
2019-01-02	0.41	0.51	0.40	0.29
Average	0.45	0.43	0.41	0.38

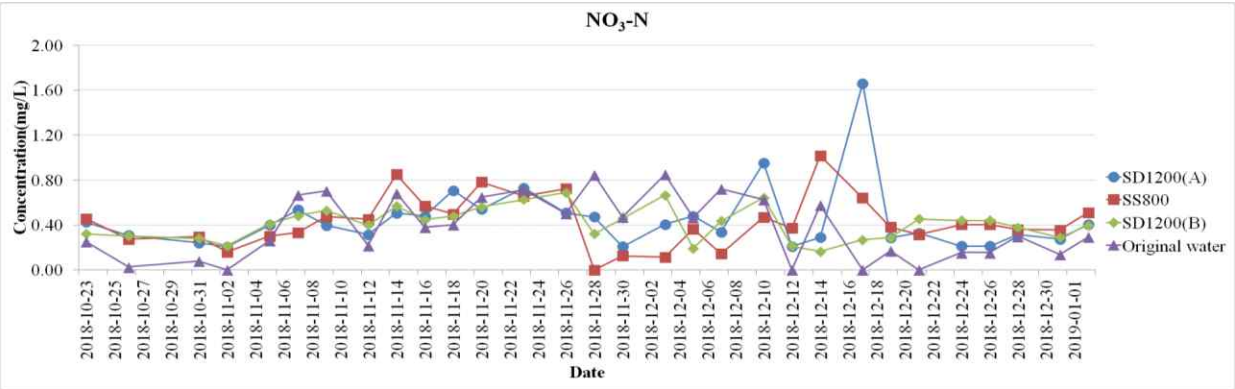


Fig 88. Variation of NO_3-N over time in long term pumping test

철(Fe)

- 분석결과 모든 취수정에서 오염물질 배출허용기준을 초과하지 않는 것으로 평가됨
- 2018년 12월 7일 이후에는 Fe 함량이 전반적으로 증가하는 양상을 보이나 증가량은 미미함
- 12월 7일 이후의 Fe 증가는 SS증가와 밀접한 연관이 있을 것으로 판단되며, 이는 해수 수질 변화에 기인한 것으로 예측됨됨
- Fe 기준이 10mg/L임을 감안할 때, 해변여과수 취수정의 Fe 평균값이 0.0~0.02mg/L로 매우 양호한 수질상태를 보임

Table 72. Fe value by date in long term pumping test

Date	Fe(mg/L) : Water quality standard 10mg/L			
	SD1200(A)	SS800	SD1200(B)	Original water
2018-10-23	0.00	0.00	0.00	0.00
2018-10-26	0.00	0.00	0.00	0.00

Table 72. Continued

Date	Fe(mg/L) : Water quality standard 10mg/L			
	SD1200(A)	SS800	SD1200(B)	Original water
2018-10-31	0.00	0.00	0.00	0.00
2018-11-02	0.00	0.00	0.00	0.00
2018-11-05	0.00	0.00	0.00	0.00
2018-11-07	0.00	0.00	0.00	0.00
2018-11-09	0.00	0.00	0.00	0.00
2018-11-12	0.01	0.00	0.00	0.00
2018-11-14	0.00	0.00	0.00	0.00
2018-11-16	0.00	0.00	0.00	0.00
2018-11-18	0.00	0.00	0.00	0.00
2018-11-20	0.00	0.00	0.00	0.00
2018-11-23	0.00	0.00	0.00	0.00
2018-11-26	0.00	0.00	0.00	0.00
2018-11-28	0.00	0.00	0.00	0.00
2018-11-30	0.01	0.00	0.00	0.00
2018-12-03	0.00	0.00	0.00	0.00
2018-12-05	0.00	0.00	0.00	0.00
2018-12-07	0.01	0.04	0.02	0.00
2018-12-10	0.04	0.07	0.00	0.00
2018-12-12	0.01	0.08	0.00	0.00
2018-12-14	0.02	0.08	0.00	0.00
2018-12-17	0.02	0.14	0.00	0.00
2018-12-19	0.03	0.02	0.01	0.01
2018-12-21	0.02	0.03	0.01	0.01
2018-12-24	0.02	0.02	0.03	0.03
2018-12-26	0.01	0.01	0.01	0.02
2018-12-28	0.01	0.01	0.00	0.00
2018-12-31	0.00	0.02	0.02	0.00
2019-01-02	0.00	0.11	0.01	0.01
Average	0.01	0.02	0.00	0.00

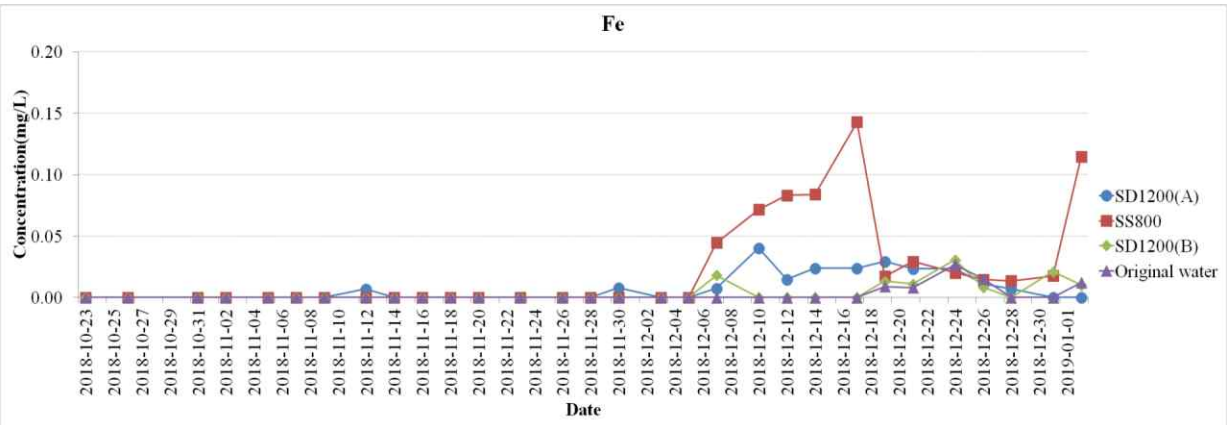


Fig 89. Variation of Fe over time in long term pumping test

망간(Mn)

- 분석결과 모든 취수정에서 오염물질 배출허용기준을 초과하지 않는 것으로 평가됨
- Mn 함량은 단일필터인 SS800에서 가장 높은 값을 보이며, 평균값은 0.08mg/L이나 기준치를 감안할 때, 전반적으로 매우 낮은 함량을 나타냄
- Mn 기준이 10mg/L임을 감안할 때, 해변여과수 취수정의 Mn 평균값이 0.01~0.08mg/L로 매우 양호한 수질상태를 보임

Table 73. Mn value by date in long term pumping test

Date	SS(mg/L) : Water quality standard 10mg/L			
	SD1200(A)	SS800	SD1200(B)	Original water
2018-10-23	0.00	0.06	0.00	0.00
2018-10-26	0.00	0.08	0.00	0.00
2018-10-31	0.01	0.08	0.00	0.00
2018-11-02	0.01	0.00	0.11	0.00
2018-11-05	0.01	0.00	0.11	0.00
2018-11-07	0.01	0.08	0.00	0.00
2018-11-09	0.00	0.07	0.00	0.00
2018-11-12	0.00	0.00	0.01	0.10
2018-11-14	0.01	0.12	0.00	0.00
2018-11-16	0.01	0.13	0.00	0.00
2018-11-18	0.02	0.08	0.00	0.00
2018-11-20	0.00	0.12	0.00	0.00
2018-11-23	0.00	0.09	0.00	0.00
2018-11-26	0.00	0.09	0.00	0.00
2018-11-28	0.00	0.11	0.00	0.00
2018-11-30	0.00	0.12	0.00	0.00
2018-12-03	0.00	0.12	0.00	0.00
2018-12-05	0.00	0.07	0.00	0.00
2018-12-07	0.00	0.06	0.00	0.00
2018-12-10	0.02	0.05	0.00	0.00
2018-12-12	0.02	0.06	0.00	0.00
2018-12-14	0.02	0.04	0.00	0.00
2018-12-17	0.02	0.08	0.00	0.00
2018-12-19	0.04	0.08	0.00	0.00
2018-12-21	0.02	0.10	0.00	0.00
2018-12-24	0.02	0.08	0.00	0.00
2018-12-26	0.02	0.12	0.00	0.00
2018-12-28	0.01	0.07	0.00	0.00
2018-12-31	0.02	0.07	0.00	0.00
2019-01-02	0.02	0.08	0.00	0.00
Average	0.01	0.08	0.01	0.00

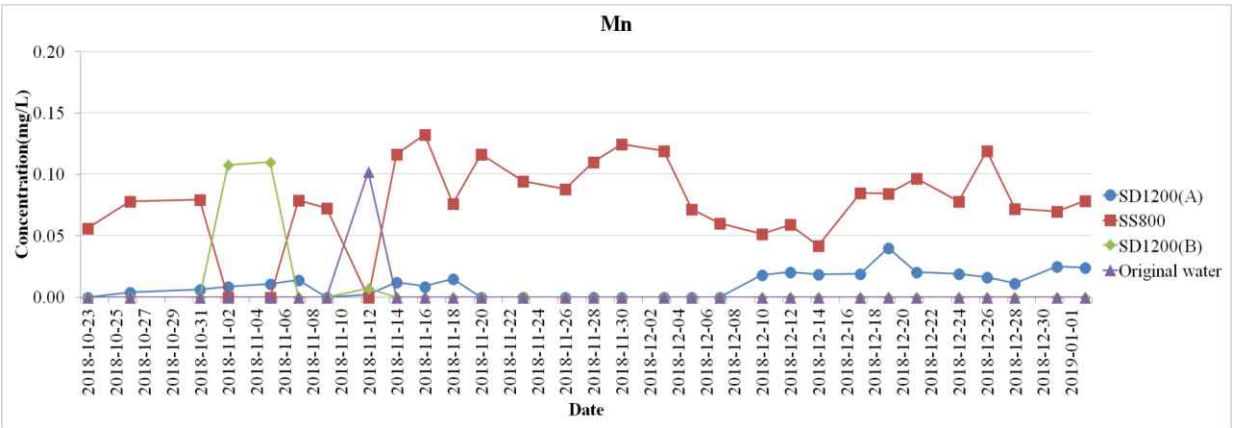


Fig 90. Variation of Mn over time in long term pumping test

염소이온(Cl)

- Cl 함량은 시간이 경과할수록 증가하는 양상을 보이며, 이는 해수의 염소이온 함량이 증가함에 따라 취수정도 이에 수렴하면서 동일한 경향을 나타내는 것으로 판단됨
- 해수인 원수와 비교한 해변여과취수정의 염소함량 비율을 볼 때, 초기에는 해수 대비 약 70% 정도의 함량을 보이고 있으나 지속적으로 그 비율이 증대되어 후기에는 원수 대비 약 90% 정도의 함량을 보이는 것으로 평가됨
- 이는 장기적인 취수로 인해 해수의 유입비율 높아지기 때문으로 판단됨
- 즉, 장기적인 취수환경에서는 해수의 염도와 유사한 염도를 유지할 수 있을 것으로 보임

Table 74. Cl value by date in long term pumping test

Date	SS(mg/L) : Water quality standard 10mg/L			
	SD1200(A)	SS800	SD1200(B)	Original water
2018-10-23	14392.7	12549.3	15456.2	19001.2
2018-10-26	15810.7	14818.1	16307.0	19001.2
2018-10-31	15668.9	14392.7	16448.8	18717.6
2018-11-02	15314.4	16448.8	13612.8	19001.2
2018-11-05	15527.1	16519.7	13612.8	19001.2
2018-11-07	16094.3	15668.9	16590.6	19001.2
2018-11-09	16590.6	16945.1	16945.1	18575.8
2018-11-12	16440.6	15617.7	17221.7	20487.8
2018-11-14	16906.8	17915.0	16969.2	18937.2
2018-11-16	16654.9	14657.7	17824.1	22252.8
2018-11-18	16054.7	16184.4	16094.3	19284.7
2018-11-20	16103.7	14498.0	17271.2	19170.0
2018-11-23	16829.6	15981.4	17250.3	19290.4
2018-11-26	16719.0	15361.8	13906.4	19234.8
2018-11-28	16450.4	16045.5	17300.0	19927.4

Table 74. Continued

Date	SS(mg/L) : Water quality standard 10mg/L			
	SD1200(A)	SS800	SD1200(B)	Original water
2018-11-30	16211.5	16105.2	17697.7	19903.9
2018-12-03	17432.9	15644.1	17393.9	18035.7
2018-12-05	17858.5	19298.2	18048.7	19882.5
2018-12-07	19925.5	19313.9	20227.3	21005.6
2018-12-10	12434.1	19710.2	19107.0	21435.5
2018-12-12	19569.0	20277.9	20766.3	23163.3
2018-12-14	20444.1	21049.3	21597.5	23399.6
2018-12-17	19112.6	19434.4	20618.4	23352.3
2018-12-19	18557.2	19249.6	20643.2	23688.5
2018-12-21	20040.4	18694.9	20667.9	22275.8
2018-12-24	21112.1	21193.8	20481.9	21756.8
2018-12-26	21112.1	21193.8	20481.9	21756.8
2018-12-28	20575.9	21276.9	20886.8	23044.0
2018-12-31	20146.5	25113.2	19210.8	26261.3
2019-01-02	24112.4	23434.0	23650.2	25730.3
Average	17673.4	17819.8	18143.0	20852.5

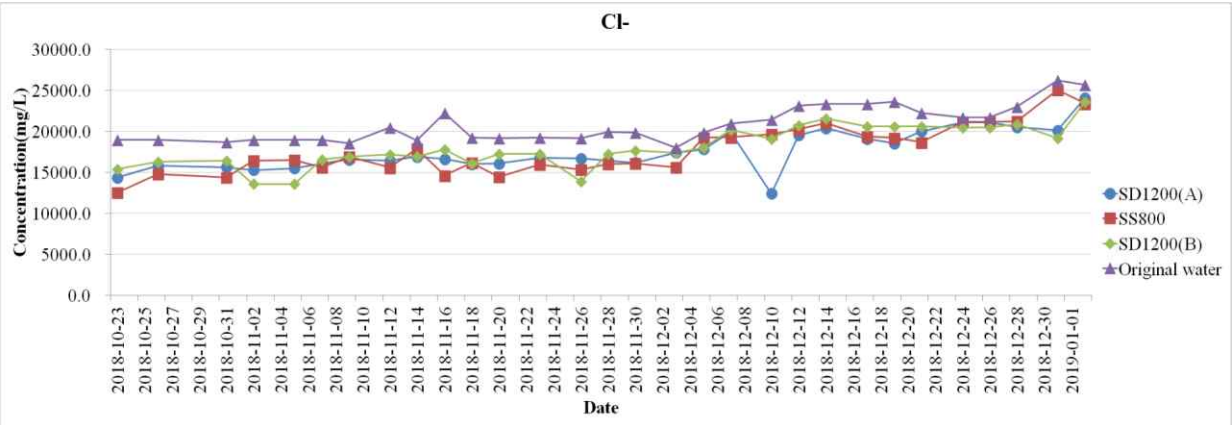


Fig 91. Variation of Cl over time in long term pumping test

바. 에어써징 효율평가

(1) 시험개요

- 취수정은 시간경과에 따라 필터층과 스크린에 슬러지와 같은 미립자들이 쌓여 취수효율이 낮아지는 현상이 발생함
- 현재는 슬러지와 같은 미립자들을 제거하기 위하여 취수관 내부에서 에어써징을 수행하고 있으나 이와 같은 방법은 취수관 내부 및 스크린 주변 필터층까지만 영향을 주어 이중필터와 같이 필터층이 두꺼운 경우 에어써징 효율이 저하될 수 있음
- 따라서 취수관 뿐만 아니라 필터층에 에어써징관을 설치하여 에어써징(air surging)을 수행함으로써 에어써징의 효율을 증대시킬 필요가 있음
- 에어써징에 대한 기술개발은 1차년도 연구에서 에어써징관 시제품을 제작하여 실내시험을 통해 적정 압력을 산정함
- 또한 현장실증시험을 통해 세립토사의 유출량을 평가하고 에어써징 전후의 취수량 개선효과와 에어써징 미실시공 대비 취수량 개선효과를 검증하여 에어써징 기술의 성능을 평가함
- 현장실증시험에서의 에어써징 시험은 이중필터취수정에 장착된 에어써징 파이프를 활용하여 취수정 개설 후 필터층의 에어써징을 실시하지 않은 상태에서 연속대수성시험을 수행하고, 에어써징 후의 양수시험 성과를 비교하는 방법으로 수행

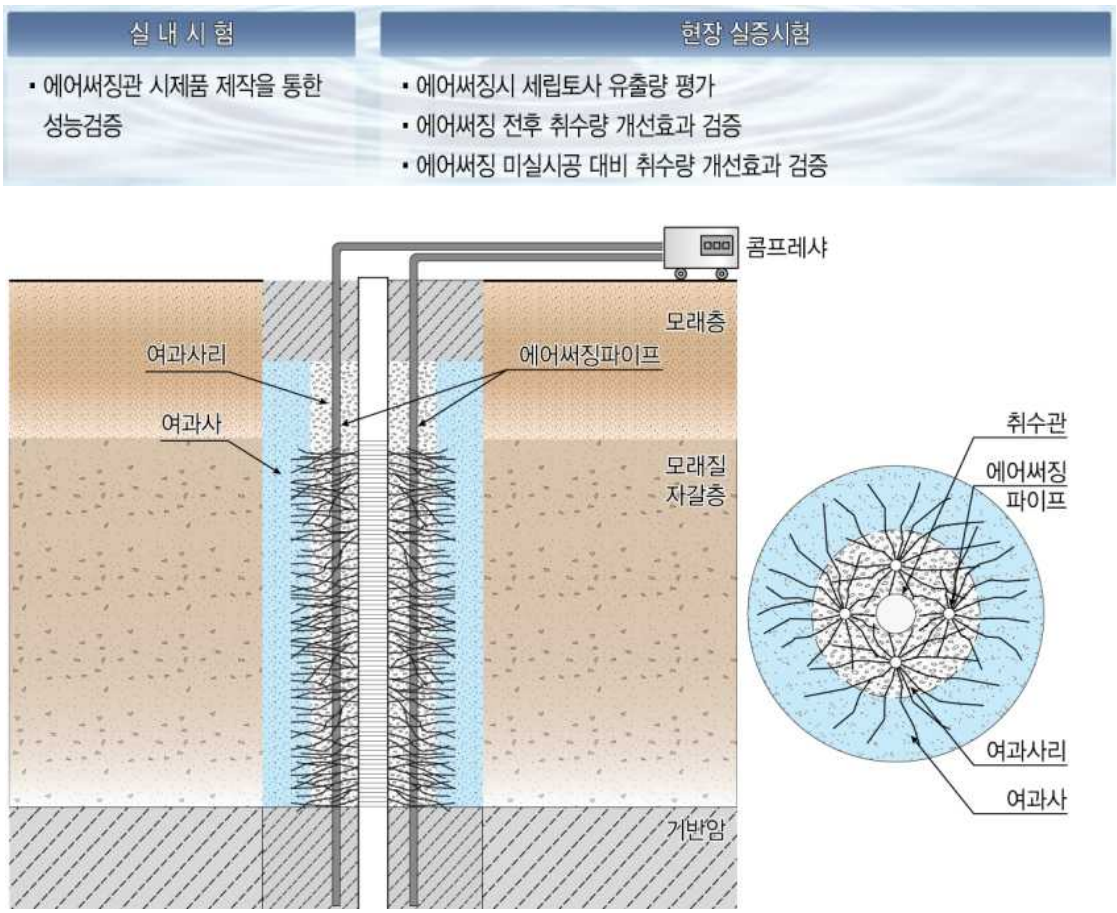
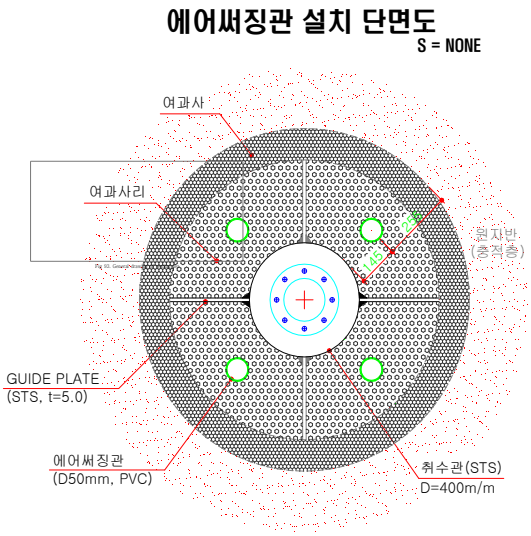


Fig 92. Basic direction of model test

(2) 시험제작

Table 75. Device composition and standard of laboratory model test

Index	Device composition	Standard
취수본관	•이중필터취수정 공법에 적용되는 필터층 내부의 지하수 취수를 위한 취수관 및 취수본관과 연결된 스크린	•Ø400mm
스크린	•취수를 위한 스테인레스 스크린 설치	•Ø400mm, Slot size 2.0mm
필터층	•취수본관 및 스크린 외부에 여과사 및 여과사리로 구성된 내부 및 외부필터재로 충진된 필터층	•외부필터재 : 여과사, 2~5mm •내부필터재 : 여과사리, 5~10mm
에어써징 파이프	•에어 컴프레셔와 연결되며, 필터층 위치에서 에어를 분사할 수 있도록 제작 •필터층 내부에 설치하여 우물자재의 인발작업 없이 필요에 따라 에어써징을 수행할 수 있도록 제작	•D50mm, Slot size 0.5mm
에어 컴프레셔	•에어써징 파이프에 공기를 주입하기 위한 장치	•11kgf/㎠



(3) 시험결과

써징전

- 써징전 초기 양수량을 약 3500L/min로 유지하였으나 시간이 경과함에 따라 급격한 수위저하가 발생하여 양수량을 저감시킴
- 강우 등의 영향으로 지하수위가 불규칙적인 분포양상을 보임
- 양수량을 평균 약 1600L/min로 유지하면서 지하수위 저감양상을 관측
- 시험결과 시험 후 7260분 이후 지하수위가 안정된 양상을 보이며, 이때의 지하수위는 최초 지히수위 대비 152.1cm 하강하였고 평균유량은 1535.1L/min로 파악됨

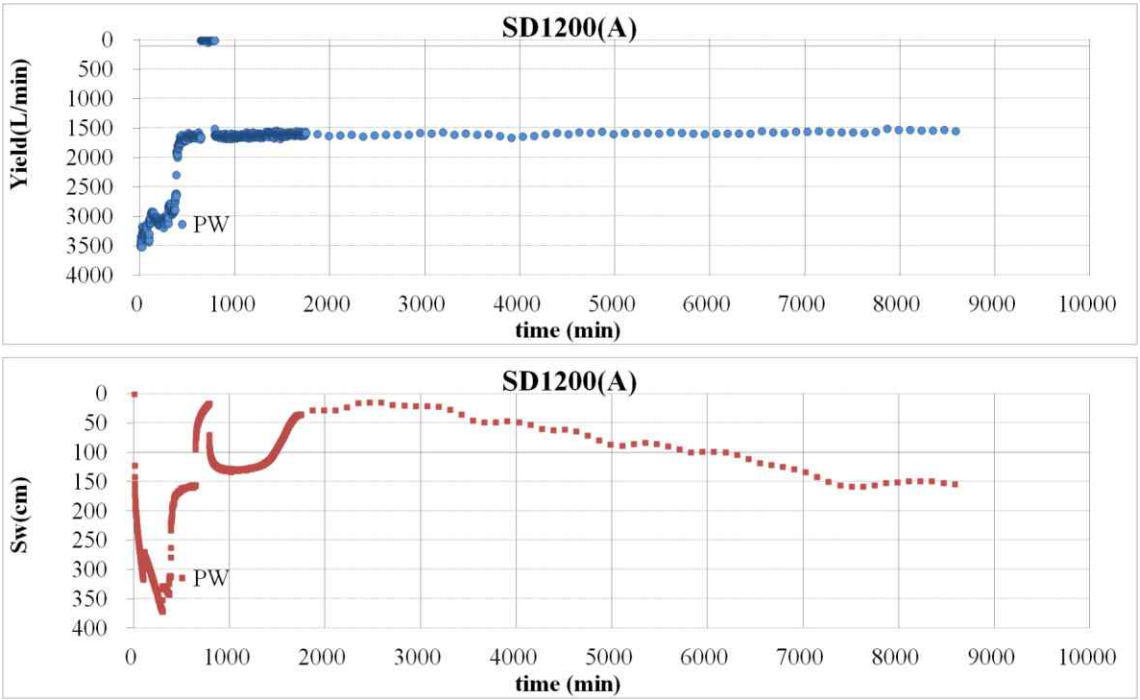


Fig 95. Variation of yield and water drawdown level in SD1200(A) : Before air surging

써징후

- 써징압력은 11kgf/㎠로 설정하고 써징후 양수량을 측정하여 초기양수량과 비교를 통해 효율 검증
- 단계별 대수성시험을 수행하였음(단계대수성시험 성과에 상세내용을 기재하였음)
- 약 1단계 평균 1513.4L/min에서 5단계 평균 3248.0L/min로 양수를 수행하였으며, 이때의 취수정에서의 수위 강하량의 평균값은 99.8cm~468.0cm로 나타남

Table 76. Test result of step drawdown test in sand formation

Test No.	Step	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level(cm)
SD1200(A)	step1	1513.4	99.80
	step2	1971.9	153.20
	step3	2498.2	217.69
	step4	2940.2	308.75
	step5	3248.0	468.00

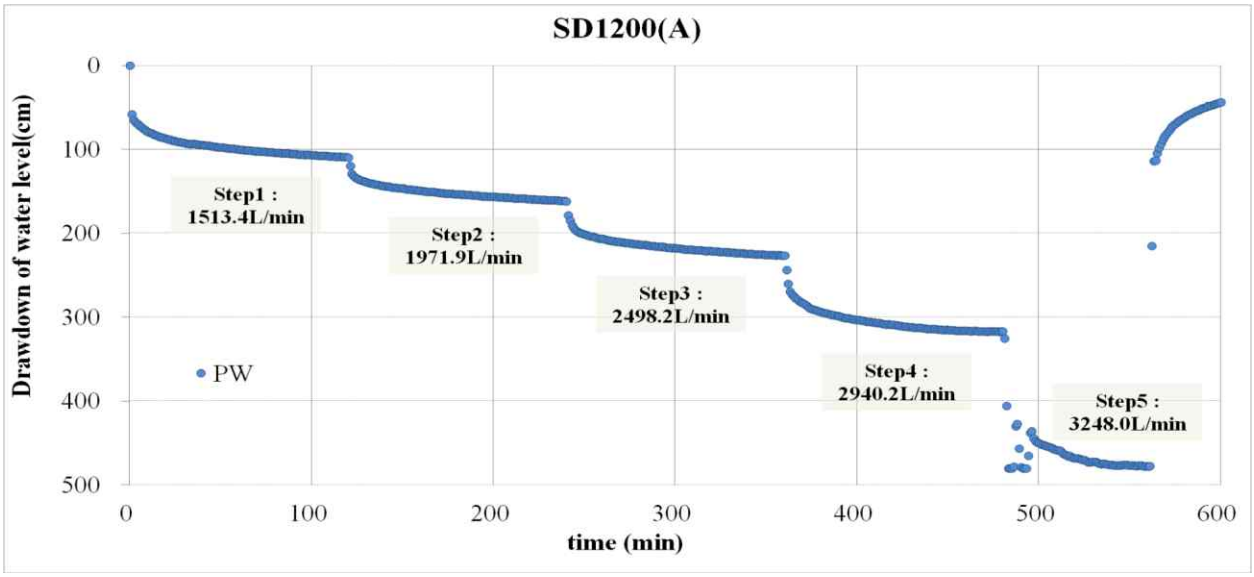


Fig 96. Variation of yield and water drawdown level in SD1200(A) : After air surging

(4) 성과분석

- 써징 후 수행한 단계양수시험 분석을 통해 수위강하량 152.1cm(써징전 지하수위 강하량) 일때의 양수량을 평가하였음
- 평가는 단계시험결과에서 산출된 수위강하량과 양수량과의 관계식을 이용함
- 분석결과 써징전 수위강하량 152.1cm 일때의 양수량은 1535.1L/min 인데 반해 써징 후 동일 수위의 양수량은 1984.9L/min로 써징전에 비해 129.3%의 양수효율을 보이는 것으로 평가됨

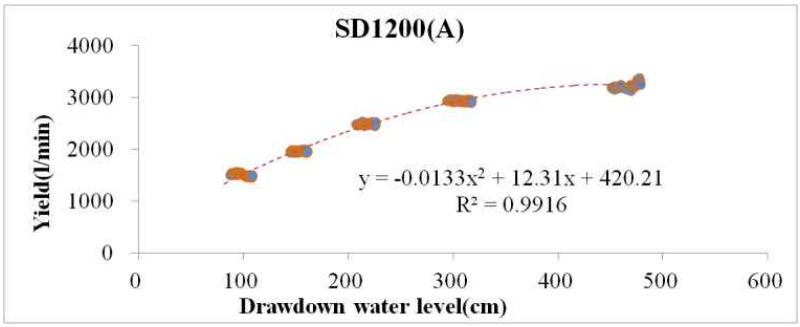


Fig 97. Relationship of drawdown water level and yield in SD1200(A)

Table 77. Improvement rate based on air surging test

Index	Before Surging	After Surging	Improvement rate
Drawdown water level(cm)	152.1	152.1	-
Yield(L/min)	1535.1	1984.9	129.3%

사. 현장실증시험 성과 종합

(1) 투수특성

① 단계대수성시험 성과

- 양수정을 이용한 투수계수 분석결과에서는 동일 양수량 대비 이중필터의 투수계수가 높게 나타나며, 이는 이중필터가 단일필터에 비해 투수성이 개선된 영향으로 판단됨
- 단계대수성시험 분석결과, 투수계수는 이중필터 취수정에서 우물 개량의 정도가 양호하여 단일필터 대비 110.3%의 효율을 보이는 것으로 분석됨

② 연속대수성시험 성과

- 관측정 및 양수정을 이용한 투수계수 분석에서 이중필터 취수정(SD1200(A))이 단일필터 취수정(SS800)에 비해 높은 투수특성을 나타내는 것으로 평가됨
- 연속대수성시험 분석결과, 투수계수는 이중필터가 단일필터 대비 평균 110.7%의 효율이 발생하는 것으로 판단됨

③ 회복시험 성과

- 이중필터 취수정(SD1200(A))이 단일필터 취수정(SS800)이 동일한 투수특성을 나타내는 것으로 평가되었으며, 원지반 토사를 필터재로 사용한 SD1200(B)에서 높은 투수계수를 나타냄
- 회복시험 분석결과, 투수계수가 필터재의 역할보다는 원지반의 투수성에 따른 영향에 지배를 받는 것으로 판단됨

(2) 적정양수량 평가

① 수위강하량 분석을 통한 평가

- 지층구성이 일치하는 이중필터 취수정인 SD1200(A)과 단일필터 취수정 SS800을 비교하면, 이중필터 취수정이 단일필터 취수정 대비 약 437.1L/min 높은 적정양수량을 보이는 것으로 평가됨
- 즉, 단일필터 취수정 대비 이중필터 취수정이 122.8%의 효율을 보이는 것으로 평가됨

② 비수위강하량을 이용한 평가

- 비수위강하량을 이용하여 지하수위면에서 2.0m 수위하강시의 적정양수량을 산정한 결과 이중필터인 SD1200(A)의 경우, 2552.4L/min로 분석되며, 단일필터인 SS800의 경우, 1875.3L/min로 평가됨
- 이중필터와 단일필터를 비교하면, 적정양수량은 이중필터가 단일필터 대비 136.0%의 효율을 보이는 것으로 분석됨

③ 변곡점을 이용한 평가

- 이중필터의 SD1200(A)의 적정양수량은 2848.3L/min로 평가되었으며, 단일필터인 SS800의 적정양수량은 1777.5L/min로 평가되었음
- 이중필터와 단일필터의 적정양수량을 비교하면, 이중필터가 단일필터 대비 160.0%의 효율을 보이는 것으로 분석됨

(3) 에어써징 효율평가

- 써징 후 수행한 단계양수시험 분석을 통해 수위강하량 152.1cm(써징전 지하수위 강하량) 일때의 양수량을 평가하였음
- 분석결과 써징전 수위강하량 152.1cm 일때의 양수량은 1535.1L/min 인데 반해 써징 후 동일 수위의 양수량은 1984.9L/min로 써징전에 비해 129.3%의 효율을 보이는 것으로 평가됨

(4) 성과대비표

- 단일필터 취수정 대비 이중필터 취수정 투수특성 및 적정양수량 개선율을 비교하면 다음과 같음
- 적정양수량의 경우 분석방법에 따라 단일필터 대비 122.8~160.0%의 개선효과가 있는 것으로 평가되었으며, 이를 평균한 단일필터 대비 이중필터의 양수량 개선율은 139.6%임

Table 78. Improvement of Dual Filter over Single Filter

	Improvement of Dual Filter					
	hydraulic conductivity			Optimum Yield		
	Step-drawdown test	Pumping test	Recovery test	Drawdown water level Analysis	Specific drawdown Analysis	Point of inflection Analysis
Contrast Single filter	110.3%	110.7%	100.4%	122.8%	136.0%	160.0%

- 에어써징 전 대비 에어써징 후의 취수량 개선율은 다음과 같음

Table 79. Improvement rate based on air surging test

	Before Surging	After Surging	Improvement rate
Yield(L/min)	1535.1	1984.9	129.3%

2-4 강변여과수(3차년도) 현장실증시험

가. 강변여과수(테스트베드 2)

(1) 연구목적

- 강변여과수 취수를 위한 취수정에 대하여 이중필터취수정 및 단일필터취수정에 대한 단기 및 장기시험 수행하고 그 결과를 검증

(2) 시험조건

(가) 테스트베드 위치선정

- 충청북도 충주시 금릉동 533번지 일원으로 국립중원문화재 연구소 앞에 위치함
- 533번지는 유원지에 해당하는 필지로 소유권은 충주시청에 귀속됨
- 충주시청과 협의하여 본 위치를 테스트베드 위치로 최종선정



Fig 98. Site map



Fig 99. Site foreground photograph

(나) 시추조사 및 관측정 설치

- BH-01 관측공의 토질은 GL-5.0 심도까지는 세립질이 거의 없고 입도분포가 양호한 모래로 확인되며, 그 이하의 심도는 실트질을 소량 함유하는 모래로 확인됨
- BH-02 관측공의 토질은 GL-10.0 심도까지는 세립질이 거의 없고 입도분포가 불량한 모래로 확인되며, 그 이하의 심도는 실트질을 소량 함유하는 모래로 확인됨
- BH-03 관측공의 토질은 GL-12.0 심도까지는 세립질이 거의 없고 입도분포가 불량한 모래로 확인되며, 그 이하의 심도는 실트질을 소량 함유하는 모래로 확인됨

Table 80. 시추조사 결과

공 번	매립층(m)	퇴적층(m)		풍화대 (m)	연암 (m)	지하수위 (GL.-m)
	실트질 모래	실트질 모래	모래질 자갈			
BH-1	2.5(2.5)	6.0(3.5)	17.5(11.5)	-	19.5(2.0)	8.6
BH-2	2.5(2.5)	5.8(3.3)	14.5(8.7)	17.0(2.5)	17.5(0.5)	8.3
BH-3	2.4(2.4)	7.0(4.6)	14.0(7.0)	-	14.5(0.5)	7.9

(다) 대수층 입도분석

Table 81. STP시료의 입도분석 결과

지층 / 공번 / 심도			D10	D15	D30	D50	D60	D85
실트질 모래층	BH-1	GL.-5.0m	0.03	0.081	0.153	0.229	0.271	0.387
	BH-2	GL.-5.0m	0.011	0.022	0.102	0.156	0.182	0.246
	BH-3	GL.-5.0m	0.01	0.018	0.111	0.161	0.186	0.248
모래질 자갈층	BH-1	GL.-8.0m	2.137	7.319	10.980	13.957	15.446	19.167
		GL.-12.0m	0.373	0.589	8.287	14.844	17.671	23.313
		GL.-15.0m	0.213	0.326	1.267	5.280	7.807	14.721
	BH-2	GL.-8.0m	0.175	0.249	0.325	0.426	0.686	14.666
		GL.-12.0m	0.353	0.436	10.581	12.987	14.189	17.196
	BH-3	GL.-8.0m	0.371	0.480	1.501	19.811	21.149	24.493
		GL.-10.0m	0.593	0.871	10.898	13.510	14.816	18.081
풍화토	BH-2	GL.-15.0m	-	0.047	0.184	0.358	0.461	0.871

(라) 필터재의 선정

- 해당지역의 시추 및 입도분석결과에 근거하여 취수정의 필터재를 선정
- 입도분석결과를 이용하여 아래의 2가지 방식으로 필터재를 선정

① 필터재 선정방식 1 - 필터설계기준(NAVFAC DM7)

Table 82. 실트질 모래층에 적용할 필터재 입도범위

관리기준	D15f < 5D85s	4D15s < D15f < 20D15s	D50f < 25D50s
BH-1 (5.0m)	D15f < 1.935	0.324 < D15f < 1.620	D50f < 5.725
BH-2 (5.0m)	D15f < 1.230	0.088 < D15f < 0.440	D50f < 3.90
BH-3 (5.0m)	D15f < 1.240	0.072 < D15f < 0.360	D50f < 4.025
선 정	**D15f < 1.230**	**0.072 < D15f < 0.360**	**D50f < 3.90**

Table 83. 모래질 자갈층에 적용할 필터재 입도범위

관리기준		D15f < 5D85s	4D15s < D15f < 20D15s	D50f < 25D50s
BH-1	8.0m	D15f < 95.835	29.276 < D15f < 146.38	D50f < 348.925
	12.0m	D15f < 116.565	2.356 < D15f < 11.78	D50f < 582.825
	15.0m	D15f < 73.605	1.304 < D15f < 6.52	D50f < 368.025
BH-2	8.0m	D15f < 73.33	0.996 < D15f < 4.98	D50f < 366.65
	12.0m	D15f < 85.98	1.744 < D15f < 8.72	D50f < 429.9
BH-3	8.0m	D15f < 122.465	1.92 < D15f < 9.60	D50f < 612.325
	10.0m	D15f < 90.405	3.484 < D15f < 17.42	D50f < 452.025
선 정		**D15f < 73.330**	**0.996 < D15f < 4.98**	**D50f < 348.925**

Table 84. 필터재(주문진사) 크기별 입도범위

여과사 / 여과사리		D15	D50	D60
여 과 사	0.3 ~ 0.45mm	0.38	0.49	0.51
	0.45 ~ 0.7mm	0.64	0.79	0.84
	0.8 ~ 2.0mm	0.975	1.280	1.387
여과사리	2.0 ~ 5.0mm	2.219	3.027	3.273
	5.0 ~ 10.0mm	6.379	8.188	9.268

② 필터재 선정방식 2 - 강변여과수 설계기준

실트질 모래층에 적용할 필터재 입도범위

가. 외부필터재 설계

Table 85. 공번별 외부필터재, 균등계수, 스트레나 슬롯크기

공 번	외부필터재 (Fout = D60×6)	균등계수, Cu [(Fout60÷Fout10)=2]	스트레나 스롯크기 (Fout10과 동일)
BH-1	1.626	0.813	0.813
BH-2	1.092	0.546	0.546
BH-3	1.116	0.558	0.558
선 정	**1.092mm**		**0.546mm**

나. 내부필터재 설계

Table 86. 공번별 내부필터재, 균등계수

공 번	내부필터재 (Fin = D60×4)	균등계수, Cu [(Fin60÷Fin10)=2]	
BH-1	6.504	3.252	
BH-2	4.368	2.184	
BH-3	4.464	2.232	
선 정	**4.368mm**		

모래질 자갈층에 적용할 필터재 입도범위

가. 외부필터재 설계

Table 87. 공번별 외부필터재, 균등계수, 스트레나 슬롯크기

공 번		외부필터재 (Fout = D60×6)	균등계수, Cu [(Fout60÷Fout10)=2]	스트레나 스롯크기 (Fout10과 동일)
BH-1	8.0m	92.676	46.338	46.338
	12.0m	106.026	53.013	53.013
	15.0m	46.842	23.421	23.421
BH-2	8.0m	4.611	2.058	2.058
	12.0m	85.134	42.567	42.567
BH-3	8.0m	126.894	63.447	63.447
	10.0m	88.896	44.448	44.448
선 정		**4.611**		**2.058**

나. 내부필터재 설계

Table 88 공번별 내부필터재, 균등계수

공 번		내부필터재 (Fout = D60×4)	균등계수, Cu [(Fout60÷Fout10)=2]
BH-1	8.0m	370.704	185.352
	12.0m	424.104	212.052
	15.0m	187.368	93.684
BH-2	8.0m	18.444	9.222
	12.0m	340.536	170.268
BH-3	8.0m	507.576	253.788
	15.0m	355.584	177.792
선 정		**18.444**	

풍화토층에 적용할 필터재 입도범위

가. 외부필터재 설계

Table 89. 공번별 외부필터재, 균등계수, 스트레나 슬롯크기

공 번		외부필터재 (Fout = D60×6)	균등계수, Cu [(Fout60÷Fout10)=2]	스트레나 스롯크기 (Fout10과 동일)
BH-2	15.0m	2.766	1.383	1.383
선 정		**2.766**		**1.383**

나. 내부필터재 설계

Table 90. 공번별 내부필터재, 균등계수

공 번		내부필터재 (Fout = D60×4)	균등계수, Cu [(Fout60÷Fout10)=2]
BH-2	15.0m	11.064	5.532
선 정		**11.064**	

필터재(주문진사) 크기별 입도범위

- 국내에서 생산되는 필터재(주문진사)의 규격은 제한적이며, 취수정에 적용되는 일반적인 필터재에 대한 입도분석자료의 의하면, D15, D50 및 D60 통과율은 다음과 같음

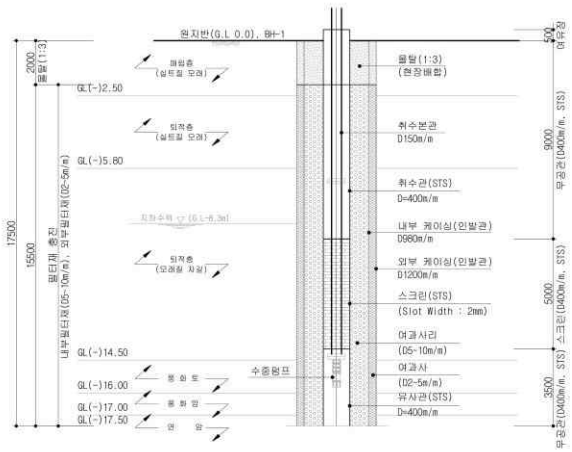


Fig 100. PW-2 cross section

Table 91. 필터재 통과율

여과사 / 여과사리		D15	D50	D60
여 과 사	0.3 ~ 0.45mm	0.38	0.49	0.51
	0.45 ~ 0.7mm	0.64	0.79	0.84
	0.8 ~ 2.0mm	0.975	1.280	1.387
여과사리	2.0 ~ 5.0mm	2.219	3.027	3.273
	5.0 ~ 10.0mm	6.379	8.188	9.268

- 두가지 방식을 모두 만족시키면서 SPT시료 채취시 세립분의 유실율을 감안하여 종합적으로 검토한 결과, **실트질 모래층**의 외부필터재는 0.8~2mm의 여과사와 내부필터재는 2.0~5.0m의 여과사리가 가장 적당하며, 스트레나의 슬롯 폭은 0.5mm가 합당하다. **모래질 자갈층**에서의 외부필터재는 2~5mm의 여과사리와 내부필터재는 5.0~10.0mm 여과사리, 그리고 스트레나의 슬롯 폭은 2mm 가 가장 적절한 것으로 판단된다.

(마) 테스트베드 설치

① 이중필터 취수정-1(PW-2 : 내·외부 필터재 → 주문진 규사 적용)

- 이중필터 취수정 설치 과정은 다음과 같음
  - 외부케이싱 압입 및 굴착(대수층 심도 확인)
  - 내부케이싱 설치
  - 취수관 설치
  - 필터재 충진(여과사:외·내부케이싱 사이)
  - 내부케이싱 인발(케이싱 내·외부의 압력 차이를 최소화하기 위해 먼저 수직 인발)
  - 외부케이싱 인발(필터재와 원지반의 교란최소화를 고려해 수직 인발)
  - 취수본관 설치
- 총 굴착심도는 17.5m로 GL-5.8까지 모래층, GL-5.8~14.5까지 자갈질모래, GL-14.5하부로는 풍화토가 확인됨
- 지표하 2m 지점까지 몰탈(1:3)을 배합하여 지상부를 마감함
- 필터재 충후 15.5m, 내부필터재 직경 5~10mm 여과사리, 외부필터재 직경 2~5mm 여과사 사용
- 스크린 슬롯폭 2mm, 총 길이는 5m로 취수관에 포함되고 모래질 자갈층에 걸쳐 설치함



기계기구설치(오실레이터)



기계기구설치(케이싱설치, 수직도검사)



대구경천공(함마그라브)



대구경천공(치즐)



취수관 제작(D400mm)



케이싱 인발기 설치



내부 케이싱설치



취수관 설치



에어써징관 설치



필터재주입(여과사리)



필터재주입(여과사)



내부케이싱 인발



외부케이싱 인발



몰탈 채움



설치완료

Fig 101. Photograph of installation process(PW-2)

Table 92. Device composition(PW-2)

구 분	장치구성	규 격
취수본관	• 취수를 위한 관으로 취수관의 내부에 설치하며, 취수정의 중심에 위치함	•D150mm
취수관	• 취수를 위한 스테인레스관으로 스크린을 포함하며, 취수본관 외부에 설치	•STS D400mm
스크린	• 취수를 위한 스테인레스 스크린 설치	•외경 Ø408mm, Slot폭 : 2.0mm •개공율 40.0%, 재질 : STS 304
수중모터펌프(SPK)	• 양수시험용 펌프, 취수관에 설치하여 양수시험 • 펌프배관에 설치된 밸브를 통해 시험조의 유출유량을 조절	•380V, 40HP
케이싱	• 필터층 형성시 사용 후 제거	•내부케이싱 OD:980mm,ID:940mm •외부케이싱 OD:1200mm,ID:1100mm
필터재	• 대수층의 특성을 파악하여 해당 지역에 맞는 양질의 필터재를 적용함 • 충적토의 입도분석결과를 통해 산정된 외부 및 내부 필터재의 입경을 반영	•여 과 사 : D2.0~5.0mm •여과사리 : D5.0~10.0mm
자동수위측정기	• Level SCOUT를 취수정 및 관측정 내에 설치하여 수위변화에 따른 수압측정(수위변환)	•D22mm x H129mm •정확도 : ±0.05%
자동대기압측정기	• Baro SCOUT를 시험수조 지표 높이에 설치, 대기압을 측정하여 수압측정시 대기압을 보정하여 정확한 수위측정	•D22mm x H129mm •정확도 : ±0.05%
초음파유량계	• 시험조에서 스크린을 통해 배출되는 물의 양을 측정하기 위한 유량 측정장치	•Sensor range : 50~1,000mm •정밀도 : ±1%

② 단일필터 취수정 (PW-4)

- 단일필터 취수정 설치 과정은 다음과 같음
  - 케이싱 압입 및 굴착(대수층 심도 확인)
  - 취수관 설치
  - 필터재 충진(여과사:케이싱과 취수관 사이)
  - 케이싱 인발(필터재와 원지반의 교란최소화를 고려해 수직 인발)
  - 취수본관 설치
- 총 굴착심도는 17.0m로 GL-7.0까지 모래층, GL-7.0~14.0까지 모래질자갈, GL-14.0하부로는 연암이 확인됨
- 지표하 2m 지점까지 몰탈(1:3)을 배합하여 지상부를 마감함

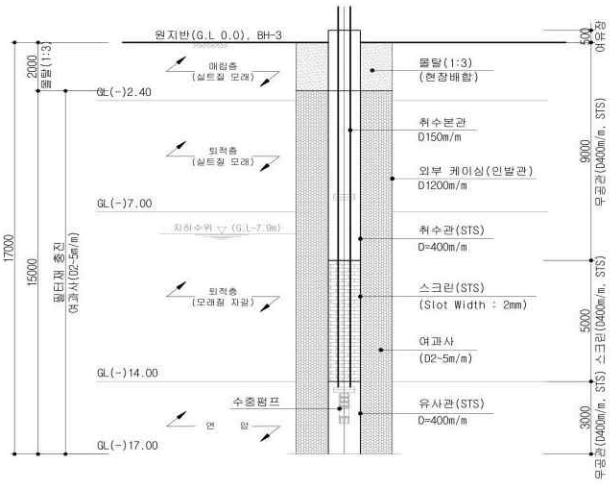


Fig 102. PW-4 cross section

- 필터재 충후는 15.0m이며, 두께는 총 40cm로 필터재는 직경 2~5mm의 여과사를 사용함
- 스크린의 슬롯폭은 2mm이며, 총 길이는 5m로 취수관에 포함되고 모래질 자갈층에 걸쳐 설치함


기계기구설치(오실레이터)


기계기구설치(케이싱설치,수직도검사)


대구경천공(함마그라브)


대구경천공(치즐)


취수관 제작(D400mm)


케이싱 인발기 설치


외부 케이싱설치


취수관 설치


필터재주입(여과사)


외부케이싱 인발


몰탈 채움


설치완료

Fig 103. Photograph of installation process(PW-3)

Table 93. Device composition(PW-4)

구 분	장치구성	규 격
취수본관	• 취수를 위한 관으로 취수관의 내부에 설치하며, 취수정의 중심에 위치함	• D150mm
취수관	• 취수를 위한 스테인레스관으로 스크린을 포함하며, 취수본관 외부에 설치	• STS D400mm
스크린	• 취수를 위한 스테인레스 스크린 설치	•외경 Ø408mm, Slot폭 2.0mm •개공율 40.0% •재질 : STS 304
수중 모터펌프 (SPK)	•양수시험용펌프, 취수관에 설치하여 양수시험 •펌프배관에 설치된 밸브를 통해 시험조의 유출 유량을 조절	•380V, 25HP
케이싱	•필터층 형성시 사용 후 제거	•케이싱 D:800mm
필터재	•대수층의 특성을 파악하여 해당 지역에 맞는 양질의 필터재를 적용함 •충적토의 입도분석결과를 통해 산정된 외부 및 내부 필터재의 입경을 반영	•여 과 사 : D2.0~5.0mm
자동수위 측정기	•Level SCOUT를 취수정 및 관측정 내에 설치하여 수위변화에 따른 수압측정(수위변환)	•D22mm x H129mm •정확도 : ±0.05%
자동 대기압 측정기	•Baro SCOUT를 시험수조 지표 높이에 설치, 대기압을 측정하여 수압측정시 대기압을 보정하여 정확한 수위측정	•D22mm x H129mm •정확도 : ±0.05%
초음파 유량계	•시험조에서 스크린을 통해 배출되는 물의 양을 측정하기 위한 유량 측정장치	•Sensor range : 50~1,000mm •정밀도 : ±1%

(3) 시험방법

- 걍변여과수 취수를 위한 테스트베드에서 단기 및 장기시험 각각 수행
- 공인기관시험 : 취수정 설치 후 공인기관에 의뢰하여 단계대수성시험, 연속대수성시험, 회복시험을 수행
- 자체시험(단기시험) : 단계대수성시험, 연속대수성시험, 회복시험 수행(장기시험 이후 적정양수량의 변화를 평가하기 위해 각 우물별 단계대수성시험 추가 수행)
- 자체시험(장기시험) : 장기적인 양수량의 변화를 평가하기 위해 장기양수시험 수행

단계대수성시험 방법

- 단계대수성시험은 최소 3단계 이상, 각 단계별 시험의 소요시간은 1시간 이상 수행하여야 함
- 본 연구에서는 3회에 걸쳐 단계대수성시험을 수행하였음(공인시험 1회, 자체시험 2회)
- 공인시험은 4단계로 수행하였으며, 각 단계별 소요시간은 1시간으로 설정
- 자체시험 중 1차 시험은 4~6단계로 수행하였으며, 각 단계별 소요시간은 1시간으로 설정
- 자체시험 중 2차 시험은 장기시험이 종료된 후 4~5단계로 수행하였으며, 각 단계별 소요시간은 1시간으로 설정
- 시험방법은 양수정안에 수중모터펌프를 설치하여 각 단계별로 양수량을 일정하게 유지하면서 양수정 및 관측정에서의 양수시간에 따른 지하수위를 측정

연속대수성시험 방법

- 단계대수성시험 완료 후 지하수위가 회복된 다음에 일정 양수량 조건에서 양수정 및 관측정에서의 양수시간에 따른 지하수위를 측정
- 양수시험시 측정하는 사항은 양수전의 자연수위, 양수시작과 종료시간, 양수량, 양수 중의 일정시간별 수위, 그리고 양수량의 변화시간 측정
- 양수시간에 따른 지하수위 측정 자료를 통하여 수리상수 평가
- 시험시간은 12~14시간으로 설정

회복시험 방법

- 연속대수성시험의 종료와 동시에 펌프작동을 중지시키고 양수시간에 따른 회복수위 측정
- 양수시간에 따른 회복수위를 측정한 자료를 통하여 수리상수를 분석하고 단계 및 연속대수성시험의 결과와 비교
- 시험시간은 별도 확정하지 않고 양수정의 수위가 최초수위에 근접하는 시점까지 수행

장기대수성시험 방법

- 장기 대수성시험은 총 2차로 수행하였으며, 1차 시험에서는 대상지역에 설치된 4개의 취수정에 대해 약 5~6일에 걸쳐 지하수두를 약 EL 61.5ml로 고정하고 이때의 양수량의 변화를 측정함
- 2차 시험에서는 4개 취수정 중 이중필터와 단일필터 취수정 각1개소를 대상으로 각각 30일에 걸쳐 지하수두를 EL 61.5ml로 고정하고 이때의 양수량의 변화를 측정함

공인기관 시험 조건 및 수량

- 단계대수성시험, 연속대수성시험, 수위회복시험을 순차적으로 반복 시행
- 단계대수성시험으로 한계양수량 및 적정양수량 결정 후 적정양수량으로 연속대수성시험(12시간) 실시
- 대수성시험의 검증을 위한 회복시험 진행

Table 94. Condition of field test in seawater filtration

Index	Test No.	Out casing size (mm)	Screen size (mm)	Filter condition				Test time(hr)		
				Inner		Outer		Step draw down test	Pump-ing test	Recover y test
				Filter material	Thickness (mm)	Filter material	Thickness (mm)			
Dual filter	SD-1200 (PW1)	1,200	150	Gravel	290	Sand	110	1hr × 4step	12hr	-
	SD-1200 (PW2)	1,200	150	Gravel	290	Sand	110			
Single filter	SS-300 (PW3)	300	100	Sand	50	-	-			
	SS-1200 (PW4)	1,200	150	Sand	400	-	-			

자체시험 조건 및 수량

Table 95. Condition of field test in river bank filtration

Index	Test No.	Out casing size (mm)	Screen size (mm)	Filter condition				Test time(hr, day)			
				Inner		Outer		Step drawd own test	Pump-ing test	Recov ery test	Long term pumpi ng test
				Filter material	Thickness (mm)	Filter material	Thickness (mm)				
Dual filter	SD-1200 (PW1)	1,200	150	Gravel	290	Sand	110	1st : 1hr × 4~5 step	12hr	3~4hr	1st : 6day
	SD-1200 (PW2)	1,200	150	Gravel	290	Sand	110				
Single filter	SS-300 (PW3)	300	100	Sand	50	-	-	2nd : 1hr × 4~6 step			2nd : 4주
	SS-1200 (PW4)	1,200	150	Sand	400	-	-				

(7) 시험결과

(가) 단기시험결과

① 단계대수성시험

- 단기시험(1차)의 단계대수성시험은 공인기관시험이 종료된 이후에 수행함

SD1200(PW1)

- 이중필터인 SD1200(PW1)은 나머지 취수정과 지층구성이 다른 지역에 위치한 취수정임
- 단계양수시험은 총 6단계로 구분하여 수행하였으며, 평균 양수량은 1단계에서 132.6L/min 시작하여 최종 6단계에서는 622.6L/min로 확인됨
- 평균 수위강하량은 1단계에서 31.7cm이며, 최종 6단계에서는 231.3cm의 수위강하가 발생함
- 취수정에서 4.7m 이격되어 있는 관측정(OW-1)의 평균 수위강하량은 6단계 시험(양수량 622.6L/min)에서 29.4cm를 보임

SD1200(PW2)

- 이중필터인 SD1200(PW2)는 SD1200(PW1)과의 지층구성에서는 차이가 있으나 SS300(PW3) 및 SS1200(PW4)와는 지층구성 차이가 미미함
- 단계양수시험은 총 4단계로 구분하여 수행하였으며, 평균 양수량은 1단계에서 614.5L/min 시작하여 최종 4단계에서는 1029.7L/min로 확인됨
- 평균 수위강하량은 1단계에서 109.5cm이며, 최종 4단계에서는 264.9cm의 수위강하가 발생함
- 취수정에서 5.0m 이격되어 있는 관측정(OW-2)의 평균 수위강하량은 4단계 시험(양수량 1029.7L/min)에서 23.7cm를 보임
- 수위강하량을 변화양상을 볼 때, 4단계 이후, 단위시간 대비 수위강하량이 증대되는 양상을 보임

SS300(PW3)

- 단일필터로 필터재 두께가 5cm 구성된 SS300(PW3)은 SD1200(PW1)과의 지층구성에서는 차이가 있으나 SD1200(PW2) 및 SS1200(PW4)와는 지층구성 차이가 미미함
- 단계양수시험은 총 5단계로 구분하여 수행하였으며, 평균 양수량은 1단계에서 346.4L/min 시작하여 최종 5단계에서는 712.6L/min로 확인됨
- 평균 수위강하량은 1단계에서 93.0cm이며, 최종 5단계에서는 291.8cm의 수위강하가 발생함
- 취수정에서 5.2m 이격되어 있는 관측정(OW-3)의 평균 수위강하량은 5단계 시험(양수량 712.6L/min)에서 35.9cm를 보여 인접한 취수정인 SD1200(PW2) 보다 주변으로의 영향이 더 큰 것으로 판단됨

SS1200(PW4)

- 단일필터로 필터재 두께가 40cm 구성된 SS1200(PW4)은 SD1200(PW1)과의 지층구성에서는 차이가 있으나 SD1200(PW2) 및 SS1300(PW3)과는 지층구성 차이가 미미함
- 단계양수시험은 총 5단계로 구분하여 수행하였으며, 평균 양수량은 1단계에서 491.0L/min 시작하여 최종 5단계에서는 784.2L/min로 확인됨
- 평균 수위강하량은 1단계에서 87.5cm이며, 최종 5단계에서는 223.2cm의 수위강하가 발생함
- 취수정에서 5.3m 이격되어 있는 관측정(OW-3)의 평균 수위강하량은 5단계 시험(양수량 784.2L/min)에서 35.9cm를 보여 단일필터인 SS1300(PW3)과 유사한 특성을 보임

Table 96. Test result of step drawdown test

No.	Filter type	Step	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level(cm)				Geologic formation
				Pumping well		Observation well		
				Total	Δd	Total	Δd	
SD1200 (PW1)	Dual (T:40cm)	step1	132.6	31.7	31.7	4.1	4.1	Different
		step2	273.6	70.9	39.1	9.5	5.3	
		step3	414.6	120.0	49.2	15.8	6.4	
		step4	489.3	154.3	34.2	20.7	4.9	
		step5	562.7	193.1	38.8	25.3	4.5	
		step6	622.6	231.3	38.2	29.4	4.1	
SD1200 (PW2)	Dual (T:40cm)	step1	614.5	109.5	109.5	9.2	9.2	Similar
		step2	770.3	148.7	39.2	14.6	5.4	
		step3	908.6	197.2	48.6	19.5	5.0	
		step4	1029.7	264.9	67.7	23.7	4.1	
SS300 (PW3)	Single (T:5cm)	step1	346.4	93.0	93.0	11.2	11.2	
		step2	485.9	149.4	56.4	19.2	8.1	
		step3	621.6	219.5	70.0	27.1	7.9	
		step4	683.7	264.1	44.6	32.5	5.4	
		step5	712.6	291.8	27.8	35.9	3.5	
SS1200 (PW4)	Single (T:40cm)	step1	491.0	87.5	87.5	16.4	16.4	
		step2	563.2	119.0	31.5	22.9	6.6	
		step3	649.8	145.4	26.4	27.8	4.8	
		step4	717.2	178.2	32.9	32.1	4.3	
		step5	784.2	223.2	45.0	35.9	3.8	

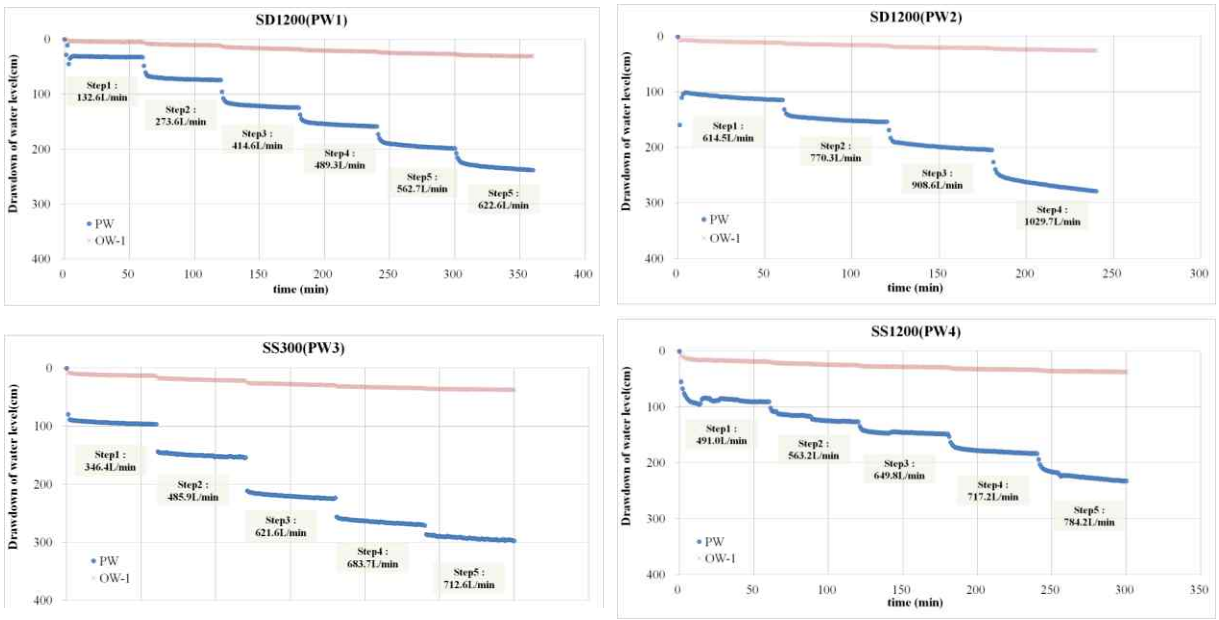


Fig 104. Variation of yield and water drawdown level in step drawdown test

② 연속대수성시험

• 단기시험(1차)의 단계대수성시험 종료 후 약 12~14시간에 걸쳐 연속대수성시험을 수행함

SD1200(PW1)

• 타 취수정과 지층구성에서 차이가 있는 이중필터인 SD1200(PW1)의 경우, 단계양수시험에서 변곡점을 이용한 적정양수량을 평가하여 양수량을 설정하였으며, 양수가 종료된 후의 평균양수량은 433.9L/min로 평가되었음

• 이때의 양수정에서의 수위강하량은 139.2cm, 관측정(OW-1)에서의 수위강하량은 19.6cm로 확인됨

• 수위강하량을 변화양상을 볼 때, 지속적으로 저감되는 양상을 보이나 그 변화가 크지 않으며, 관측정의 수위변화가 거의 발생하지 않고 일정하게 유지되는 양상을 보임

SD1200(PW2)

• 이중필터인 SD1200(PW2)의 경우, 단계양수시험에서 변곡점을 이용한 적정양수량을 평가하여 양수량을 설정하였으며, 양수가 종료된 후의 평균양수량은 841.39L/min로 평가되었음

• 이때의 양수정에서의 수위강하량은 193.5cm, 관측정(OW-2)에서의 수위강하량은 19.6cm로 확인됨

• 수위강하량을 변화양상을 볼 때, 지속적으로 저감되는 양상을 보이며, 관측정의 수위변화는 거의 발생하지 않고 일정하게 유지되는 양상을 보임

SS300(PW3)

• 일반적으로 설치되는 단일필터 취수정인 SS300(PW3)에서도 단계양수시험에서 변곡점을 이용한 적정양수량을 평가하여 양수량을 설정하였으며, 양수가 종료된 후의 평균양수량은 653.5L/min로 평가되었음

• 이때의 양수정에서의 수위강하량은 278.3cm, 관측정(OW-3)에서의 수위강하량은 33.6cm로 확인됨

• 수위강하량을 변화양상을 볼 때, 지속적으로 저감되는 양상을 보이며, 관측정의 수위변화 역시 지속적으로 감소하는 양상을 보임

SS1200(PW4)

• 이중필터취수정과 필터재 두께를 동일하게 설치한 단일필터 취수정인 SS1200(PW4)에서도 단계양수시험에서 변곡점을 이용한 적정양수량을 평가하여 양수량을 설정하였으며, 양수가 종료된 후의 평균양수량은 686.8L/min로 평가되었음

• 이때의 양수정에서의 수위강하량은 181.6cm, 관측정(OW-4)에서의 수위강하량은 35.8cm로 확인됨

• 수위강하량을 변화양상을 볼 때, 지속적으로 저감되는 양상을 보이며, 관측정의 수위변화 역시 지속적으로 감소하는 양상을 보임

Table 97. Test result of pumping test

Test No.	Test time	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level(cm)		Geologic formation
			PW	OW-1	
SD1200(PW1)	12hr	433.9	139.2	19.64	Different
SD1200(PW2)	12hr	841.3	193.5	19.63	Similar
SS300(PW3)	12hr	653.5	278.3	33.59	
SS1200(PW4)	14hr	686.8	181.6	35.77	

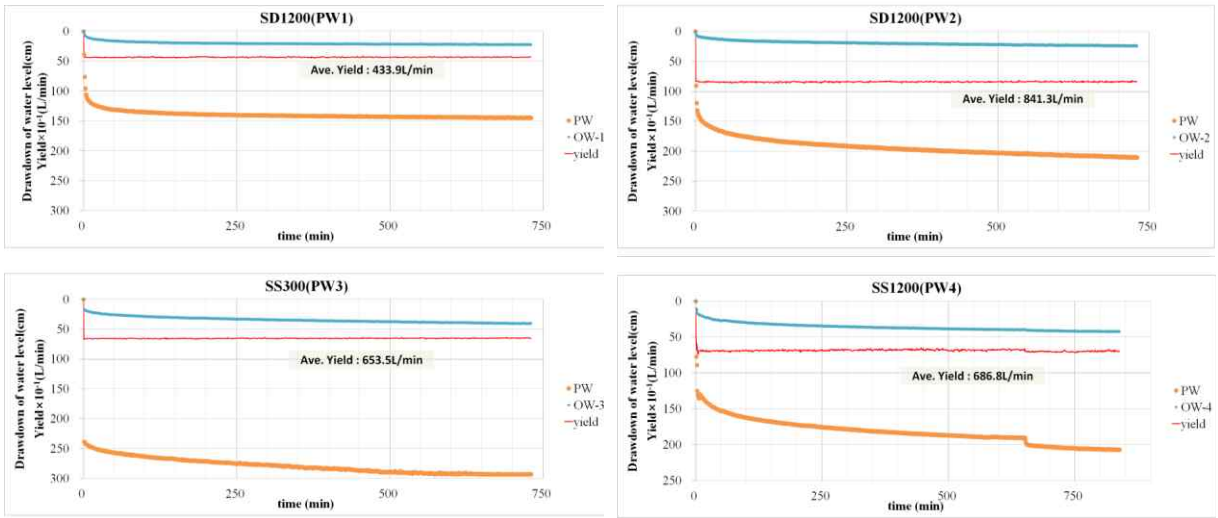


Fig 105. Variation of yield and water drawdown level in pumping test

(나) 장기시험결과(1차)

- 장기시험은 현장 여건에 따라 시험시간이 차이가 있었으며, SD1200(PW1)에서 약 124시간(5.2일), SD1200(PW2)에서 약 129시간(5.4일), SS300(PW3)에서 약 130시간(5.4일), SS1200(PW4)에서 106시간(4.4일)을 수행하였음
- 장기시험 방법은 모든 취수정에서 표고(elevation) 기준으로 지하수위를 동일하게 유지하면서 양수량의 변화를 관찰하는 방법으로 수행함

Table 98 Elevation and Water table level by each well

Test No.	Elevation	Water table level	
		GL(-)	EL.
PW-1	73.27	9.04	61.503
PW-2	73.03	9.03	61.498
PW-3	72.91	8.81	61.498
PW-4	72.61	8.67	61.501

SD1200(PW1)

- 타 취수정과 지층구성에서 차이가 있는 이중필터 취수정인 SD1200(PW1)의 경우에는 최초 0~6시간 평균 양수량이 약 596.1L/min으로 평가되었으며, 108~114시간에 최소 양수량인 502.9L/min로 확인되고 시험 종료시 양수량은 572.6L/min로 평가됨
- 관측정 지하수위는 초기 GL-26.4cm였으며, 시험기간 동안 최저 지하수위는 GL-43.5cm로 평가됨

SD1200(PW2)

- 단일필터취수정과 지층구성이 유사한 이중필터 취수정인 SD1200(PW2)의 경우에는 최초 0~6시간 평균 양수량이 약 801.8L/min으로 평가되었으며, 36~42시간에 최대 양수량인 896.4L/min으로 확인되었고 시험 종료시 양수량은 830.2L/min로 평가됨
- 관측정 지하수위는 초기 GL-20.7cm였으며, 시험기간 동안 최저 지하수위는 GL-55.5cm로 평가됨

SS300(PW3)

- 일반적으로 설치되는 단일필터 취수정인 SS300(PW3)의 경우에는 초기 24시간 동안 양수량의 기록이 제대로 이루어지지 않았음
- 24~30시간 평균 양수량이 약 545.2L/min로 최대 양수량을 기록하였으며, 지속적으로 양수량이 감소하는 양상을 나타내고 있고 시험 종료시 양수량은 481.7L/min로 평가됨
- 관측정 지하수위는 초기 GL-2.8cm였으며, 시험기간 동안 최저 지하수위는 GL-71.1cm로 평가됨

SS1200(PW4)

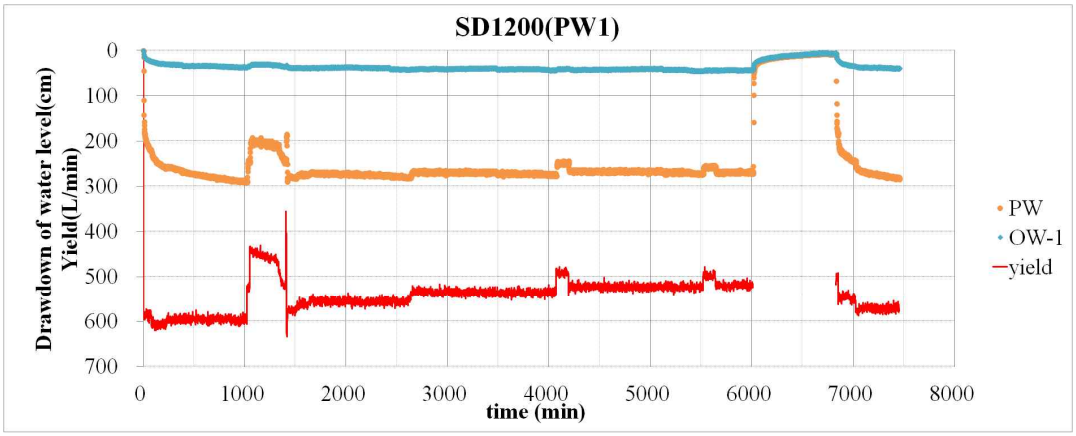
- 필터재 두께를 이중필터취수정과 동일하게 설치된 단일필터 취수정인 SS1200(PW4)의 경우에는 초기 6시간 동안의 양수량은 728.5L/min이며, 시험기간 중 최대 양수량은 736.1L/min로 평가되었으며, 시험 종료시 양수량은 566.0L/min로 평가됨
- 관측정 지하수위는 초기 GL-38.4cm였으며, 시험기간 동안 최저 지하수위는 GL-63.1cm로 평가됨

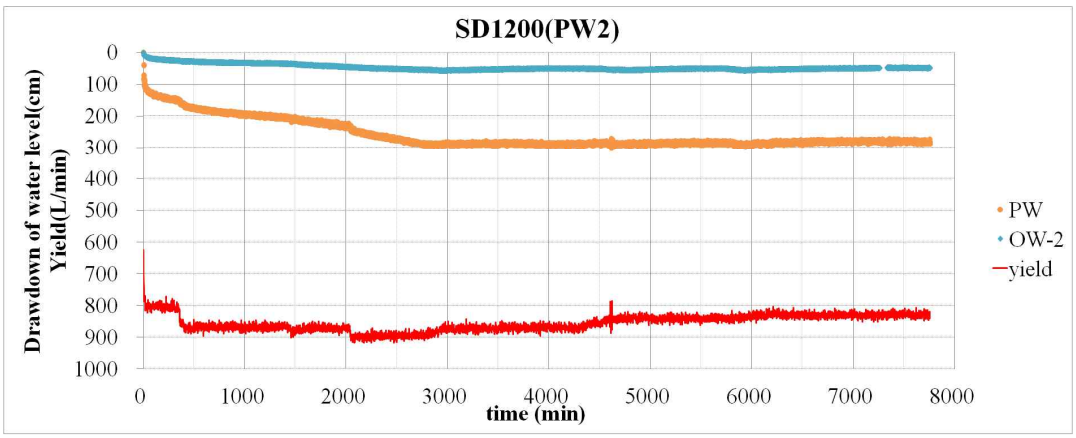
Table 99. Test result of long term pumping test(SD1200(PW1), SD1200(PW2))

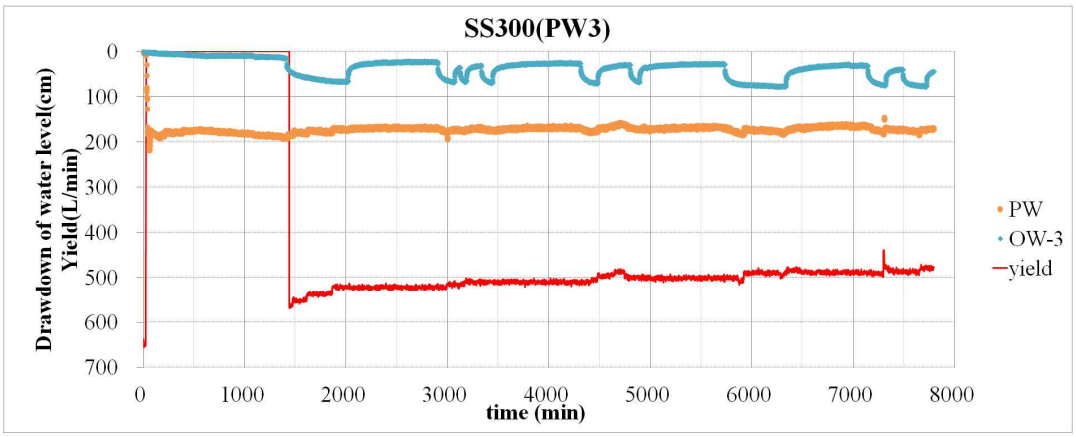
time (hr)	Dual filter					
	SD1200(PW1)			SD1200(PW2)		
	Ave.Pumping rate (L/min)	Ave. Drawdown water level(cm)		Ave.Pumping rate (L/min)	Ave. Drawdown water level(cm)	
		PW(cm)	OW1(cm)		PW(cm)	OW1(cm)
6	596.1	240.2	26.4	801.8	135.7	20.7
12	595.9	273.4	33.0	867.7	175.8	28.8
18	577.8	275.7	34.9	868.1	191.4	31.8
24	474.6	216.1	31.8	867.9	201.3	33.8
30	562.2	273.5	37.7	873.1	216.1	38.7
36	556.1	272.1	36.7	881.2	234.8	44.6
42	556.2	275.2	38.3	896.4	264.0	49.7
48	540.8	271.7	40.5	892.1	283.5	53.2
54	535.5	268.3	39.8	874.4	287.8	55.5
60	536.7	269.4	39.5	871.8	286.3	52.8
66	536.3	271.6	40.4	869.9	286.4	50.7
72	516.5	262.5	41.4	869.8	288.7	50.1
78	522.9	266.1	41.3	853.6	286.9	51.7
84	523.7	266.2	40.2	839.6	287.3	54.1
90	523.5	268.0	41.4	841.2	284.9	51.3
96	513.7	265.5	43.5	840.0	283.6	50.2
102	519.3	197.4	36.7	835.8	287.9	53.7
108	-	14.2	12.2	828.4	283.8	52.6
114	502.9	11.5	6.4	830.0	280.8	50.3
120	558.2	265.5	43.5	830.1	279.6	49.2
126	572.6	194.6	36.4	828.9	279.0	47.9
132	-	-	-	830.2	280.6	48.1

Table 100. Test result of long term pumping test(SS300(PW3), SS1200(PW4))

time (hr)	Single filter					
	SS300(PW3)			SS1200(PW4)		
	Ave.Pumping rate (L/min)	Ave. Drawdown water level(cm)		Ave.Pumping rate (L/min)	Ave. Drawdown water level(cm)	
		PW(cm)	OW1(cm)		PW(cm)	OW1(cm)
6	49.9	164.7	2.8	728.5	201.3	38.4
12	-	173.8	6.9	736.1	249.5	47.9
18	-	177.2	7.8	731.0	272.6	51.6
24	1.6	185.1	13.2	729.3	290.7	54.6
30	545.2	176.5	55.5	688.8	274.4	56.2
36	523.6	171.1	51.6	673.6	267.1	55.9
42	521.5	167.3	23.9	658.4	261.3	54.5
48	521.3	167.8	21.8	657.8	266.2	55.8
54	515.5	172.5	51.4	631.2	246.7	57.2
60	509.4	171.0	42.4	665.4	277.4	58.7
66	509.1	168.2	26.8	692.4	315.5	60.9
72	509.7	167.1	25.5	690.8	323.5	62.8
78	500.0	169.3	48.2	660.0	304.6	63.1
84	497.4	167.0	39.7	635.5	284.7	61.2
90	500.7	167.8	28.5	615.8	266.8	58.0
96	500.4	166.2	28.8	615.6	267.1	59.2
102	494.9	173.6	71.1	582.8	239.1	59.9
108	487.6	172.4	62.5	566.0	219.2	57.1
114	488.0	164.7	32.8	-	-	-
120	488.2	163.5	34.4	-	-	-
126	485.5	171.4	56.5	-	-	-
132	481.7	172.5	65.2	-	-	-







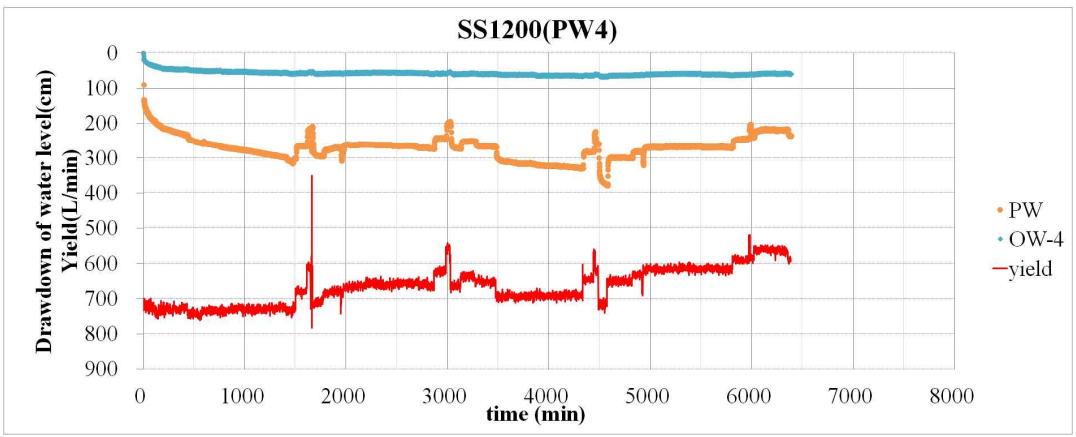


Fig 106. Variation of water drawdown level and yield over time in each test

(다) 장기시험결과(2차)

- 2차 장기시험은 1차 장기시험을 수행한 4개 우물 중 지층의 구성과 필터재의 두께가 동일한 이중필터 취수정 단일필터 취수정을 각각 1개소씩 선별하여 수행함
- 2차 장기시험 대상우물 : 이중필터취수정 SD1200(PW2) / 단일필터취수정 SS1200(PW4)
- 시험시간은 1개월(30일)을 계획하였으나 현장여건에 의해 이중필터취수정을 약 26일 수행함으로써 단일필터취수정도 이에 준하는 기간에 대하여 시험을 수행
- 이중필터(SD1200(PW2)) 시험시간 : 630.2시간(약 26.3일)
- 단일필터(SS1200(PW4)) 시험시간 : 631.7시간(약 26.3일)
- 시험은 양수시의 상호 영향을 최소화하기 위하여 이중필터취수정은 2019년 9월 23일 11시~2019년 10월 19일 17시까지 수행하고 단일필터취수정은 2019년 10월 21일 10시~2019년 11월 16일 18시까지 수행하였음
- 장기시험 방법은 각각의 취수정에서 표고(elevation) 기준으로 지하수위를 EL.61.5m로 동일하게 유지하면서 양수량의 변화를 관찰

Table 101. Elevation and Water table level by each well

Test No.	Elevation	Water table level	
		GL(-)	EL.
PW-2	73.03	9.03	61.498
PW-4	72.61	8.67	61.501

SD1200(PW2)

- 이중필터 취수정인 SD1200(PW2)의 경우에는 최초 1일 평균 양수량이 약 1076.0L/min으로 최대양수량을 보이고 있으며, 시간이 경과할수록 양수량이 감소하는 특성을 나타냄
- 시험 종료 당시(27일) 양수량은 795.0L/min로 평가됨
- 양수정의 지하수위는 초기 1일 구간에서 과다 양수에 의해 GL-334.2cm까지 하강하였으나 전체적으로 큰 변화 없이 목표 수위를 유지함
- 관측정의 초기(시험 후 1일 평균) 지하수위는 GL-36.9cm였으며, 시험 시작 후 9일까지 지속적으로 하강하는 특성을 보이나 그 이후에는 큰 변화를 보이지 않고 일정한 지하수위(GL-59~61cm 내외)를 유지함

SS1200(PW4)

- 단일필터 취수정인 SS1200(PW4)의 경우에는 최초 1일 평균 양수량이 약 795.2L/min으로 최대 양수량을 보였으며, 시간이 경과할수록 양수량이 감소하는 특성을 나타냄
- 시험 시작후 23일 구간에서 599.8L/min의 최저 양수량을 보였으며, 시험 종료 당시(27일) 양수량은 603.4L/min로 평가됨
- 양수정의 지하수위는 초기 1일 구간에서 과다 양수에 의해 GL-291.4cm까지 하강하였으나 전체적으로 큰 변화 없이 목표 수위를 유지함
- 관측정의 초기(시험 후 1일 평균) 지하수위는 GL-53.5cm였으며, 시험이 종료될 때까지 큰 변화를 보이지 않고 일정한 지하수위(GL-56cm 내외)를 유지함

Table 102. Test result of long term pumping test(SD1200(PW1), SD1200(PW2))

time (day)	Dual filter well			Single filter well		
	SD1200(PW2)			SS1200(PW4)		
	Ave.Pumping rate (L/min)	Ave. Drawdown water level(cm)		Ave.Pumping rate (L/min)	Ave. Drawdown water level(cm)	
		PW(cm)	OW1(cm)		PW(cm)	OW1(cm)
1	1076.0	334.2	36.9	795.2	291.4	53.5
2	903.5	306.7	45.2	712.8	285.6	59.1
3	871.8	305.0	48.8	677.0	279.6	57.9
4	852.4	303.1	51.6	692.7	294.1	62.0
5	840.9	304.2	53.5	661.6	279.5	60.9
6	826.0	303.9	55.1	643.7	270.7	60.0
7	810.9	299.6	56.2	640.4	270.8	59.6
8	811.0	305.3	57.4	641.2	275.0	59.2
9	809.6	310.2	58.3	638.8	280.8	59.4
10	812.3	315.7	58.8	628.8	273.4	58.0
11	815.7	305.2	59.4	625.2	273.9	57.2
12	814.8	302.1	58.0	609.3	263.4	56.0
13	814.9	302.7	58.1	615.8	274.1	56.1
14	814.8	302.6	58.2	615.7	283.3	57.1
15	814.3	305.7	58.7	601.6	267.9	55.2
16	814.3	310.1	59.7	602.5	266.7	54.0
17	797.7	299.2	59.0	601.9	268.1	53.7
18	797.7	299.1	58.9	603.2	271.5	53.9
19	796.4	300.6	59.2	606.1	275.2	54.2
20	798.0	302.2	59.8	603.2	271.5	53.5
21	796.3	301.2	60.0	600.0	268.6	52.5
22	796.6	301.9	60.3	601.2	275.0	53.5
23	798.5	302.1	60.5	599.8	274.7	54.4
24	799.1	302.4	60.7	600.1	278.4	57.0
25	797.9	304.8	61.2	604.9	274.7	52.6
26	797.5	305.5	61.1	603.3	276.8	55.2
27	795.0	307.4	60.6	603.4	273.8	52.6

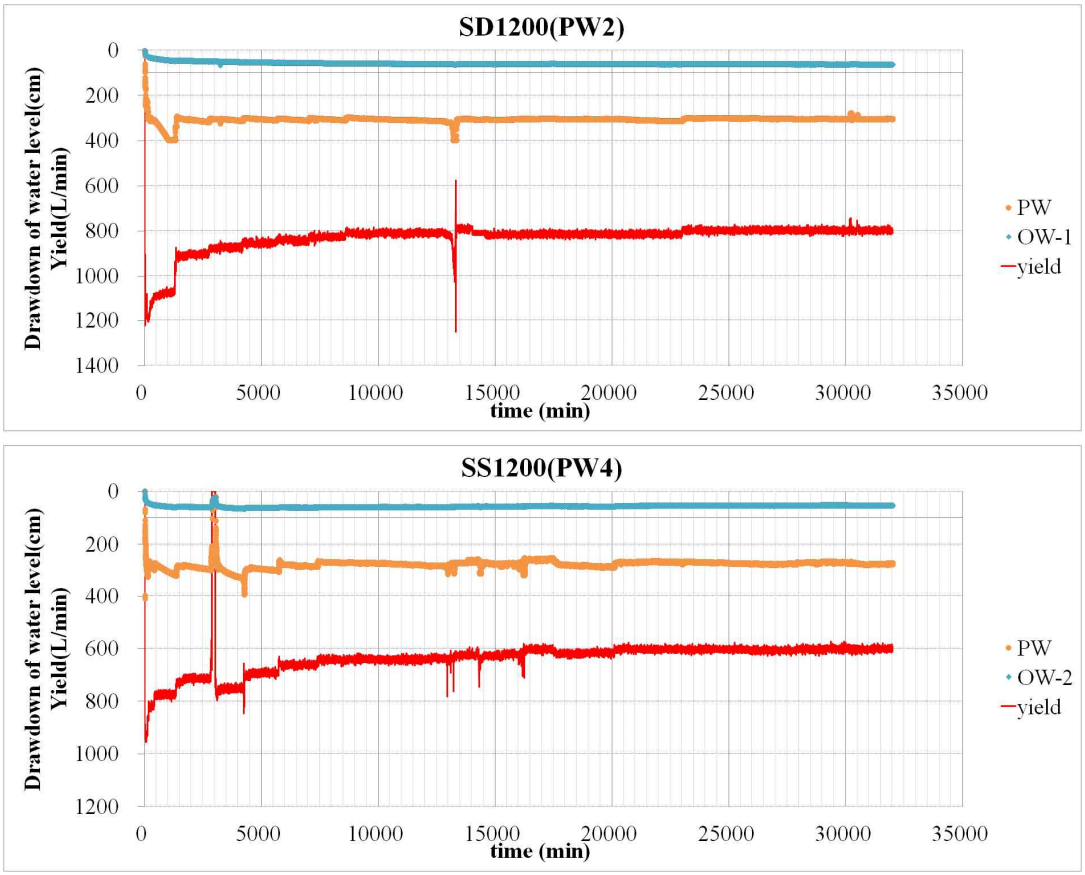


Fig 107. Variation of water drawdown level and yield over time in SD1200(PW2) and SS1200(PW4)

(라) 장기시험 이후의 단계대수성시험 결과

- 일반적으로 강변여과수는 초기 취수정 설치 이후 시간이 지남에 따라 양수량이 저하되는 특성을 보임
- 설치된 4개 우물에 대하여 전체 3개월에 걸친 장기대수성시험을 종료하고 이중 이중필터취수정인 SD1200(PW2)와 단일필터취수정인 SS1200(PW4)에 대하여 에어써징 후 초기 양수량이 확보되는지 여부를 평가하기 위하여 단계대수성시험을 추가로 수행하였음

SD1200(PW2)

- 본 우물은 이중필터취수정으로 총 5단계에 걸쳐 단계대수성시험을 수행하였으며, 평균양수량은 1단계에서 612.8L/min, 5단계에서 1174.32691.7L/min로 평가됨
- 이때의 취수정에서의 수위 강하량의 평균값은 64.2cm~202.3cm로 나타남

SS1200(PW4)

- 본 우물은 단일필터취수정으로 총 4단계에 걸쳐 단계대수성시험을 수행하였으며, 평균양수량은 1단계에서 482.3L/min, 4단계에서 692.5L/min로 평가됨
- 이때의 취수정에서의 수위 강하량의 평균값은 105.5cm~219.9cm로 나타남

Table 103. Test result of step drawdown test after long term pumping test

Filter type	Well No.	Step	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level(cm)	
				Pumping well	
				Total	⊿d
Dual filter	SD1200(PW2)	step1	618.2	64.2	64.2
		step2	778.5	94.2	30.0
		step3	900.7	120.3	26.0
		step4	1037.3	153.9	33.7
		step5	1174.3	202.3	48.4
Single filter	SS1200(PW4)	step1	482.3	105.5	105.5
		step2	555.2	141.6	36.1
		step3	625.9	174.6	33.0
		step4	692.5	219.9	45.2

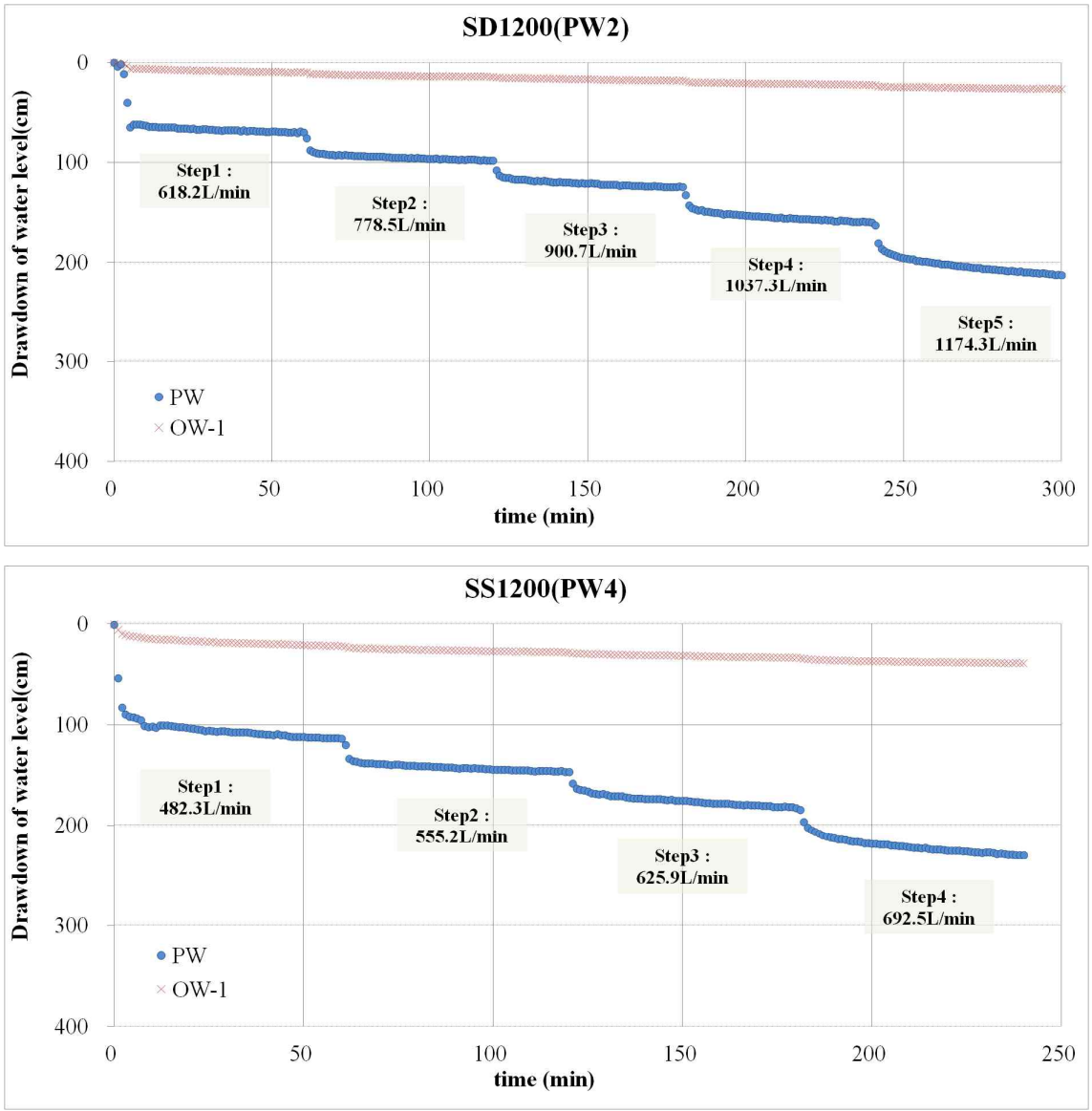


Fig 108. Variation of yield and water drawdown level in step drawdown test after long term pumping test

나. 단기시험 성과분석

(1) 초기 투수특성 분석

- 현장실증시험에서 설치된 이중필터 취수정 2개공과 단일필터 취수정 2개공을 설치하고 주변에 4개의 관측정을 설치하였음
- 투수계수의 산정은 양수정의 수위강하량과 영향권을 이용하는 방법을 적용함

$$\int_{r_w}^{R}\frac{dr}{r}=\frac{2\pi K}{Q}\int_{h_w}^{H}hdh, \qquad K=\frac{2.3\,Q\log(R/r_w)}{\pi(H^2-h_w^2)}$$

여기서, K : 투수계수, Q : 양수량, R : 영향반경, r_w : 양수정의 반경

h_w : 양수정에서의 안정수위, H : 양수 개시전 초기지하수위,

- 본 연구에서는 각 취수정의 영향반경을 50m로 적용하여 분석함

Table 104. Application factor for each test well

Test No.	Unconfined aquifer thickness (cm)	Observation well		Groundwater level (GL-cm)	Influence radius (cm)	Well radius (cm)
		No.	distance (cm)			
SD1200(PW1)	1750	OW-1	467	904	5000	20
SD1200(PW2)	1450	OW-2	498	903	5000	20
SS300(PW3)	1450	OW-3	520	881	5000	10
SS1200(PW4)	1350	OW-4	530	867	5000	20

(가) 단계대수성시험 성과분석

① 취수정별 투수계수 분석결과

SD1200(PW1)

- 각 단계별 투수계수를 산정한 결과 투수계수 범위는 0.057~0.074cm/sec로 평가되었으며, 평균 투수계수는 0.063cm/sec로 분석됨
- 전반적으로 양수량이 증가할수록 투수계수가 감소하는 양상을 보임

SD1200(PW2)

- 각 단계별 투수계수를 산정한 결과 투수계수 범위는 0.137~0.167cm/sec로 평가되었으며, 평균 투수계수는 0.154cm/sec로 분석됨
- 전반적으로 양수량이 증가할수록 투수계수가 감소하는 양상을 보임

SS300(PW3)

- 각 단계별 투수계수를 산정한 결과 투수계수 범위는 0.095~0.117cm/sec로 평가되었으며, 평균 투수계수는 0.104cm/sec로 분석됨
- 전반적으로 양수량이 증가할수록 투수계수가 감소하는 양상을 보임

SS1200(PW4)

- 각 단계별 투수계수를 산정한 결과 투수계수 범위는 0.138~0.187cm/sec로 평가되었으며, 평균 투수계수는 0.160cm/sec로 분석됨
- 전반적으로 양수량이 증가할수록 투수계수가 감소하는 양상을 보임

Table 105. Hydraulic Conductivity by step-drawdown test results

Test No.	Step	Ave. Q (L/min)	Drawdown water level(cm)				k(cm/sec)	
			Total	Δd	Total	Δd	Use Pumping well	
							by step k	Average k
SD1200 (PW1)	step1	132.6	31.7	31.7	4.1	4.1	0.074	0.063
	step2	273.6	70.9	39.1	9.5	5.3	0.070	
	step3	414.6	120.0	49.2	15.8	6.4	0.064	
	step4	489.3	154.3	34.2	20.7	4.9	0.060	
	step5	562.7	193.1	38.8	25.3	4.5	0.057	
	step6	622.6	231.3	38.2	29.4	4.1	0.054	
SD1200 (PW2)	step1	614.5	109.5	109.5	9.2	9.2	0.167	0.154
	step2	770.3	148.7	39.2	14.6	5.4	0.160	
	step3	908.6	197.2	48.6	19.5	5.0	0.150	
	step4	1029.7	264.9	67.7	23.7	4.1	0.137	
SS300 (PW3)	step1	346.4	93.0	93.0	11.2	11.2	0.117	0.104
	step2	485.9	149.4	56.4	19.2	8.1	0.108	
	step3	621.6	219.5	70.0	27.1	7.9	0.102	
	step4	683.7	264.1	44.6	32.5	5.4	0.098	
	step5	712.6	291.8	27.8	35.9	3.5	0.095	
SS1200 (PW4)	step1	491.0	87.5	87.5	16.4	16.4	0.187	0.160
	step2	563.2	119.0	31.5	22.9	6.6	0.164	
	step3	649.8	145.4	26.4	27.8	4.8	0.159	
	step4	717.2	178.2	32.9	32.1	4.3	0.149	
	step5	784.2	223.2	45.0	35.9	3.8	0.138	

② 투수계수의 비교

- 투수계수 분석결과 지층구성이 다른 이중필터 취수정에서 0.063cm/sec의 투수계수를 보여 가장 낮은 값을 나타냈으며, 이는 타 취수정과 지층구성에 차이가 있어 실질적인 비교는 무의미함
- 지층구성이 동일한 SD1200(PW2), SS300(PW3), SS1200(PW4)를 비교하면, 단일필터인 SS1200(PW4)에서의 평균 투수계수가 0.160cm/sec로 가장 높게 평가되었으며, 이중필터 취수정인 SD1200(PW1)에서 0.154cm/sec로 나타나고 일반적인 단일필터취수정인 SS300(PW3)에서 가장 낮은 0.104cm/sec의 값을 보임
- 동일한 지층에서의 투수계수 값을 볼 때, 필터재 두께가 400cm로 두꺼운 이중필터 및 단일필터 취수정에서 높은 값을 보이며, 필터재 두께가 작은 취수정에서는 낮은 투수특성을 나타내는 것으로 평가됨
- 이중필터와 단일필터의 투수성을 비교하면, 동일 두께의 필터층에서 이중필터는 단일필터 대비 96.3%로 투수계수가 차이가 없었으나 일반적으로 설치되는 필터재 두께가 얇은 단일필터취수정 대비 147.8%의 효율이 발생하는 것으로 분석됨

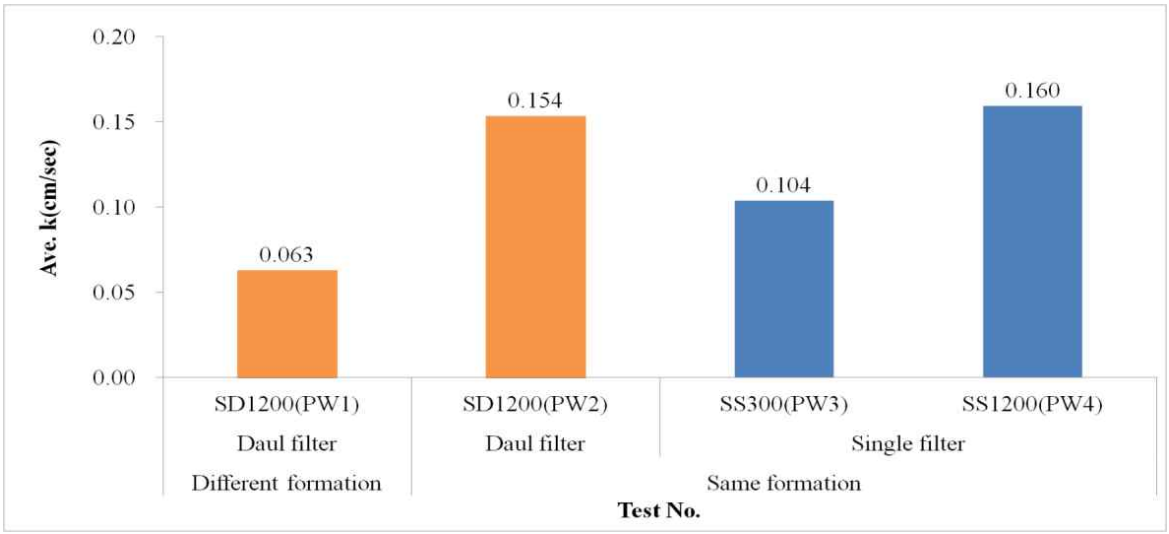


Fig 109. Comparison of Hydraulic Conductivity by step-drawdown test results

③ 유량에 따른 투수계수 변화양상 분석

- 시험결과 모든 취수정에서의 투수계수는 유량이 증가함에 따라 감소하는 양상을 나타냄
- 유량 증가에 따른 투수계수 감소양상을 볼 때, 이중필터취수정인 SD1200(PW1), SD1200(PW2) 및 단일필터취수정 SS300(PW3)에서 일정한 양상으로 감소되는 특성을 보이는 반면, 단일필터 취수정인 SS1200(PW4)는 타 취수정에 비해 상대적으로 높은 투수성 감소양상을 보임.
- 동일 지층을 가진 세 개의 취수정(PW2,PW3,PW4)의 투수계수를 볼 때, 필터재 두께가 작은 경우 투수계수가 전반적으로 낮게 평가되었음
- 필터재 두께가 동일한 SD1200(PW2)와 SS1200(PW4)를 비교하면, 양수량이 작은 경우 단일필터인 SS1200(PW4)가 높은 투수계수 값을 보이나 양수량이 증가할수록 이중필터취수정(SS1200(PW2))에 비해 투수성이 급격히 낮아지는 특성을 보임
- 일반적으로 설치되는 단일필터취수정 대비 높은 투수계수를 나타내고 다량의 취수를 수행하는 경우 동일 두께 필터층을 갖는 단일필터 취수정 대비 높은 투수특성을 보이는 것은 필터재의 역할에 따른 것으로 판단되며, 즉, 이중필터가 단일필터에 비해 투수성을 개선시킬 수 있음 확인

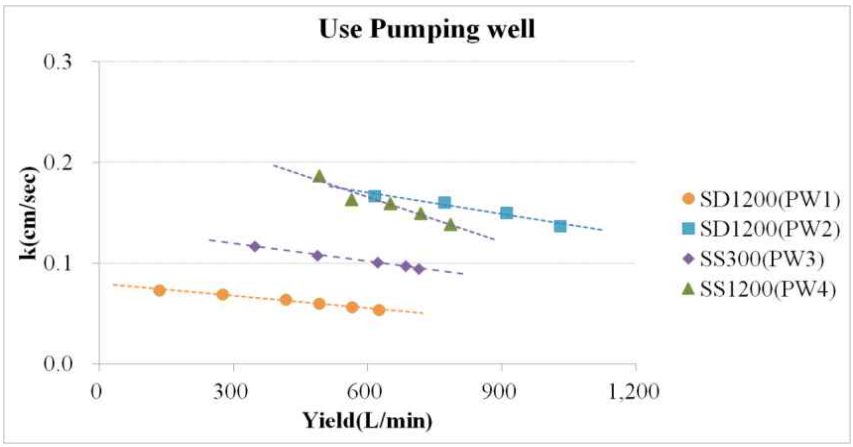


Fig 110. Change of hydraulic conductivity according to yield of test hole

(나) 연속대수성시험 성과분석

① 분석방법

- 투수계수 분석방법은 단계양수시험과 동일한 방식으로 수행

② 투수계수 분석

- 지층구성이 다른 이중필터취수정인 SD1200(PW1)의 투수계수를 산정한 결과, 0.059cm/sec로 단계시험에서 평가된 투수계수인 0.063cm/sec와 유사한 값을 보임
- 지층구성이 단일필터취수정과 동일한 이중필터취수정인 SD1200(PW2)의 투수계수를 산정한 결과, 0.141cm/sec로 단계시험에서 평가된 투수계수 0.154cm/sec보다 유사하지만 약간 낮은 값을 보임
- 일반적인 단일필터취수정인 SS300(PW3)의 투수계수를 산정한 결과, 0.090cm/sec로 단계시험에서 평가된 투수계수인 0.104cm/sec보다 유사하지만 약간 낮은 값을 보임
- 이중필터취수정과 필터재 두께가 동일한 단일필터취수정인 SS1200(PW4)의 투수계수를 산정한 결과, 0.130cm/sec로 단계시험에서 평가된 투수계수인 0.160cm/sec보다 낮은 값을 보임
- 연속대수성시험을 통한 투수계수 산정결과 동일 지층에서 이중필터취수정인 SD1200(PW2)가 가장 높은값을 보이며, 일반적으로 설치되는 단일필터취수정인 SS300(PW3)에서 가장 낮은 값을 보임
- 위의 결과를 볼 때, 필터재의 두께가 40cm로 두껍게 형성된 취수정에서 필터재 두께가 작은 취수정에 비해 높은 투수특성을 보이는 것으로 평가되며 이는 필터재가 두꺼울수록 우물효율을 개선시키는 효과에 기인한 것으로 판단
- 이중필터취수정과 단일필터 취수정을 비교하면 이중필터취수정은 동일두께의 단일필터취수정(SS1200(PW4)) 대비 108.5%의 효율이 발생하는 것으로 평가되었으며, 일반적으로 설치되는 단일필터취수정(SS300(PW3)) 대비 157.1% 효율이 발생하는 것으로 파악

Table 106. Hydraulic Conductivity and Transmissivity by pumping test results

Test No.	Ave. Q (L/min)	Drawdown water level(cm)		Ave. k(cm/sec)
		Pumping well	Observation well	
SD1200(PW1)	433.9	139.2	19.6	0.059
SD1200(PW2)	841.3	193.5	19.6	0.141
SS300(PW3)	653.5	278.3	33.6	0.090
SS1200(PW4)	686.8	181.6	35.8	0.130

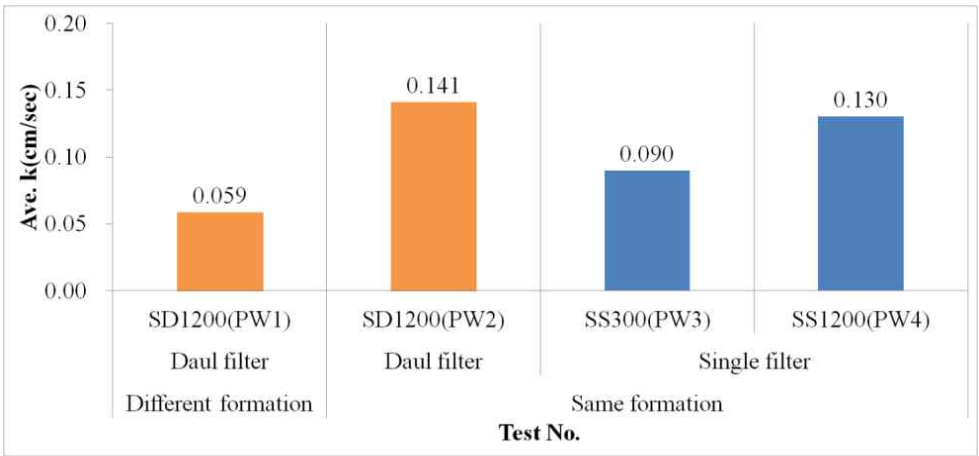


Fig 111. Comparison of Hydraulic Conductivity by pumping test results

③ 시간경과에 따른 투수성 변화 분석

- 지반구성이 다른 SD1200(PW1)에서 가장 낮은 투수계수 값을 보이고 있으며, 200분 이후에는 거의 투수계수 변화가 발생하지 않음
- 동일지반구성의 취수정에서는 필터재 두께가 얇은 SS300(PW3)에서 가장 낮은 투수특성을 나타냄
- 시간경과에 따른 투수성의 변화양상을 분석한 결과 지층이 동일한 이중필터취수정(SD1200(PW2))와 단일필터취수정(SS1200(PW4))에서 시간경과에 따라 일치하는 양상의 투수계수 값을 나타냄
- 이와 같이 동일 지반에서의 투수특성은 필터재가 두꺼울수록 높아지는 것으로 평가되었으며, 이는 양호한 두께를 갖는 필터재의 설치로 인해 우물효율이 향상되기 때문으로 판단됨

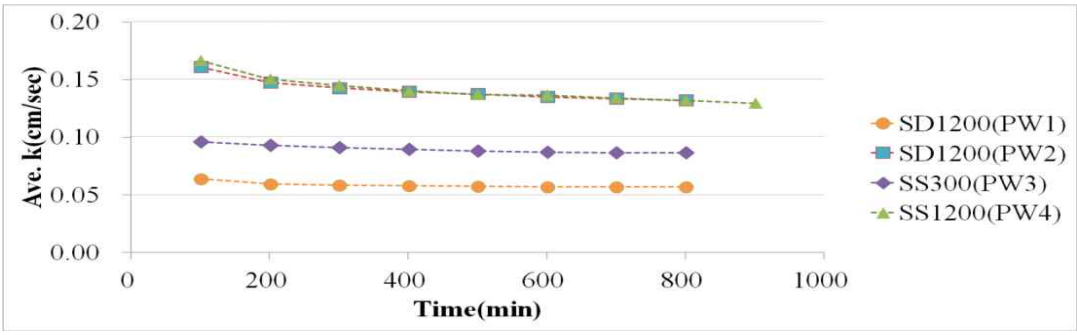


Fig 112. Analysis of permeability changes over time

(2) 적정양수량

(가) 수위강하량 분석을 통한 평가

- 각 단계별 평균양수량와 양수정에에서의 수위강하량과의 관계를 분석함
- 관계식을 근거로 하여 수위강하 심도가 200cm인 경우로 각각의 조건에 대하여 평가함
- 지층구성이 다른 취수정인 SD1200(PW1)의 적정양수량은 571.1L/min로 평가되었으며, 지층구성이 동일한 3개 취수정의 적정양수량은 이중필터취수정인 SD1200(PW2)에서 911.7L/min, 단일필터취수정인 SS300(PW3)에서 584.2L/min, 단일필터취수정 SS1200(PW4)에서 746.1L/min로 평가됨
- 지층구성이 일치하는 이중필터취수정인 SD1200(PW2)와 동일두께의 필터층을 갖는 단일필터취수정 SS1200(PW4)을 비교하면, 이중필터취수정이 단일필터 취수정 대비 양수량이 약 165.6L/min 높은 적정양수량을 보여 122.2%의 효율이 발생하는 것으로 평가됨
- 이중필터취수정인 SD1200(PW2)와 일반적으로 설치되는 단일필터취수정 SS300(PW3)을 비교하면, 이중필터취수정이 단일필터취수정 대비 약 327.4L/min 높은 적정양수량을 보여 156.0%의 효율이 발생하는 것으로 평가됨

Table 107. Optimum yield for yield regression equation in each well(drawdown level = 200cm)

filter type	Test No.	Regression equation	Coefficient of determination	Optimum yield(L/min)
Dual filter	SD1200(PW1)	$Q = -0.0061 \times s_w 2 + 4.0145 \times s_w + 12.162$	0.9984	571.1
	SD1200(PW2)	$Q = -0.0101 \times s_w 2 + 6.4552 \times s_w + 24.622$	0.9954	911.7
Single filter	SS300(PW3)	$Q = -0.0044 \times s_w 2 + 3.5479 \times s_w + 50.654$	0.9918	584.2
	SS1200(PW4)	$Q = -0.006 \times s_w 2 + 3.9277 \times s_w + 200.57$	0.9935	746.1

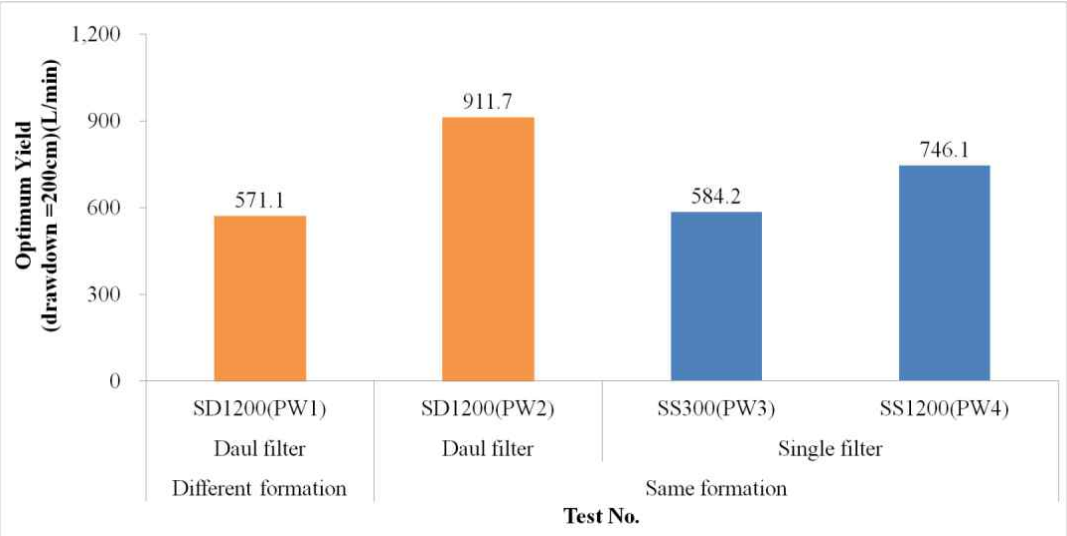


Fig 113. Optimum yield in each test well(drawdown level = 200cm)

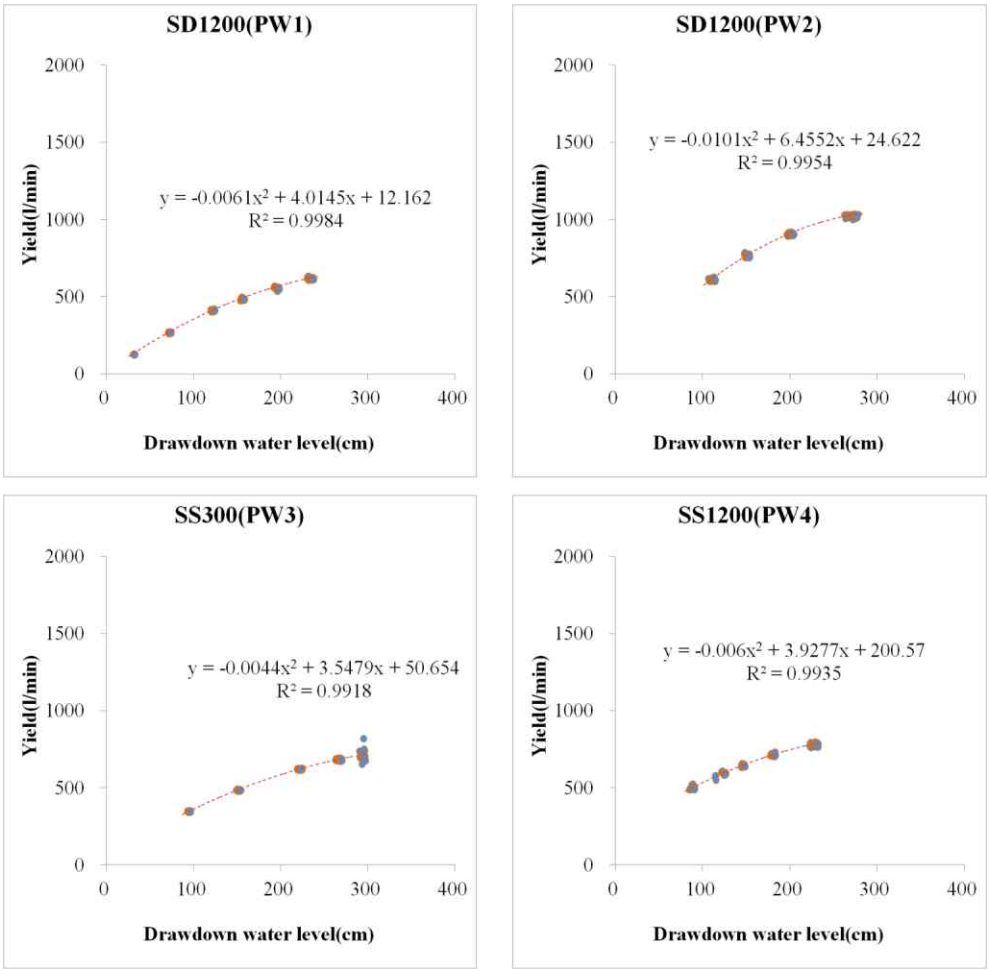


Fig 114. Relationship of drawdown water level and yield in each test well

(나) 비수위강하량을 이용한 평가

① 비수위강하량과 양수량과의 관계

- 양수량과 비수위강하량과의 관계를 통해 각 시험조별 투수특성의 상대적인 비교가 가능함
- 양수량에 따른 비수위강하량의 값이 작을수록 우물에서의 수위강하가 작게 일어나기 때문에 궁극적으로 더 많은 양수량을 확보할 수 있음
- 분석결과 이중필터인 SD1200(PW1)과 SD1200(PW2)는 지층구성에는 차이가 있으나 유사한 기울기를 가지며 유량이 증가할수록 비수위강하량이 일정하게 증가하는 양상을 가짐
- 단일필터취수정인 SS300(PW3)과 SS1200(PW4)에서 유사한 기울기를 가지는 특징을 보임
- 전반적으로 이중필터취수정에 비해 단일필터취수정의 유량변화에 따른 비수위강하량의 증가가 더 큰 것으로 평가되는 것을 확인함
- 이는 양수량이 증가할수록 단일필터취수정보다 이중필터취수정이 수위하강이 적게 되면서 더 많은 취수량을 확보할 수 있음을 입증하는 결과임
- 이중필터취수정을 설치하는 경우, 단일필터에 비해 더 많은 유량을 확보하면서도 수위강하량을 낮출 수 있어 이중필터층 설치가 취수량 확보에 더 유리하게 작용하는 것으로 유추할 수 있음

Table 108. Specific drawdown for each test in sand formation

filter type	Test No.	Step	Q		sw		sw/Q
			(L/min)	(㎥/day)	(cm)	(m)	(day/㎡)
Dual filter	SD1200 (PW1)	step1	132.61	190.96	31.72	0.3172	0.00166
		step2	273.63	394.03	70.86	0.7086	0.00180
		step3	414.57	596.98	120.01	1.2001	0.00201
		step4	489.26	704.53	154.25	1.5425	0.00219
		step5	562.69	810.27	193.07	1.9307	0.00238
		step6	622.56	896.49	231.27	2.3127	0.00258
	SD1200 (PW2)	step1	614.49	884.87	109.51	1.0951	0.00124
		step2	770.33	1109.28	148.66	1.4866	0.00134
		step3	908.55	1308.31	197.23	1.9723	0.00151
		step4	1029.67	1482.72	264.93	2.6493	0.00179
Single filter	SS300 (PW3)	step1	346.42	498.84	93.03	0.9303	0.00186
		step2	485.86	699.64	149.44	1.4944	0.00214
		step3	621.62	895.13	219.48	2.1948	0.00245
		step4	683.66	984.47	264.05	2.6405	0.00268
		step5	712.64	1026.20	291.8	2.918	0.00284
	SS1200 (PW4)	step1	490.96	706.98	87.5	0.875	0.00124
		step2	563.2	811.01	118.98	1.1898	0.00147
		step3	649.77	935.67	145.37	1.4537	0.00155
		step4	717.23	1032.81	178.22	1.7822	0.00173
		step5	784.21	1129.26	223.19	2.2319	0.00198

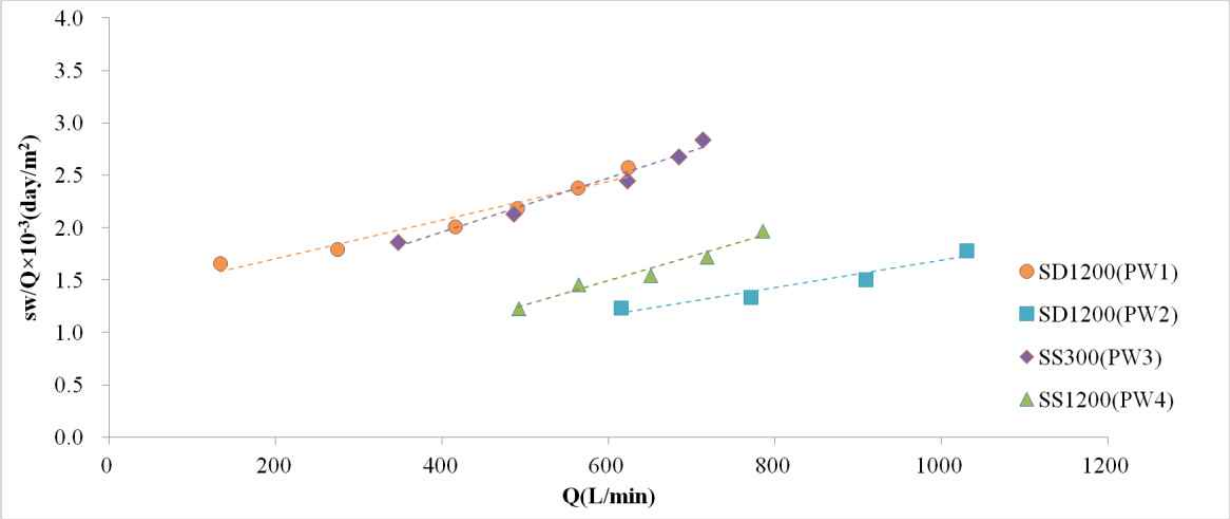


Fig 115. Relationship of Specific drawdown and yield in each well

② 비수위강하량을 이용한 수위강하 2.0m 일때의 적정양수량 평가

- 비수위강하량을 이용하여 지하수위면에서 2.0m 수위하강시의 적정양수량을 산정한 결과 지층구성이 다른 지역에 설치된 이중필터취수정인 SD1200(PW1)은 575.7로 평가됨
- 지층구성이 동일한 세 개의 취수정 중 이중필터취수정인 SD1200(PW2)의 적정양수량은 589.9L/min로 평가되었으며, 단일필터취수정의 적정양수량은 SS300(PW3)에서 618.5L/min, SS1200(PW4)에서 761.2L/min로 분석됨
- 지층구성이 일치하는 이중필터취수정인 SD1200(PW2)와 동일두께의 필터층을 갖는 단일필터취수정 SS1200(PW4)을 비교하면, 이중필터 취수정이 단일필터 취수정 대비 약 132.7L/min 높은 적정양수량을 보여 117.4%의 효율을 보이는 것으로 평가됨
- 또한, 이중필터취수정인 SD1200(PW2)와 일반적으로 설치되는 단일필터취수정 SS300(PW3)을 비교하면, 이중필터 취수정이 단일필터 취수정 대비 약 275.5L/min 높은 적정양수량을 보여 144.5%의 효율을 보이는 것으로 평가됨

Table 109. Optimum yield estimation used specific drawdown equation(drawdown level = 2.0m)

filter type	Test No.	Regression equation (×10−3 d/㎡)	B	C	Optimum Yield(L/min)
Dual filter	SD1200 (PW1)	$s_w = 0.0013Q^2 + 1.3346Q$	1.3346E−03	0.0013E−03	575.7
	SD1200 (PW2)	$s_w = 0.0009Q^2 + 0.3951Q$	0.3951E−03	0.0009E−03	893.9
Single filter	SS300 (PW3)	$s_w = 0.0018Q^2 + 0.9254Q$	0.6426E−03	0.0018E−03	618.5
	SS1200 (PW4)	$s_w = 0.0016Q^2 + 0.1016Q$	0.0706E−03	0.0016E−03	761.2

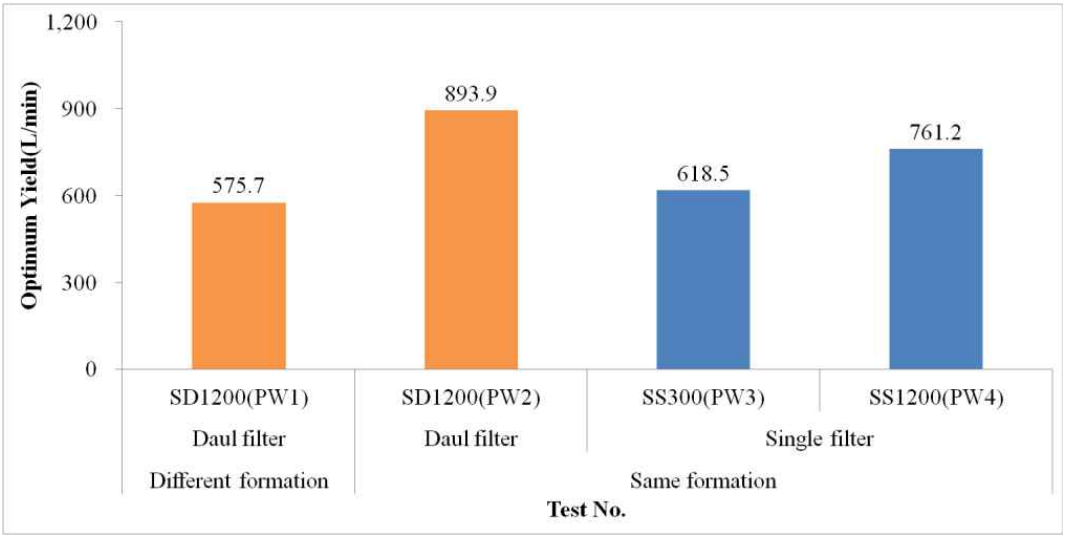


Fig 116. Comparison of optimum yield estimation used specific drawdown equation

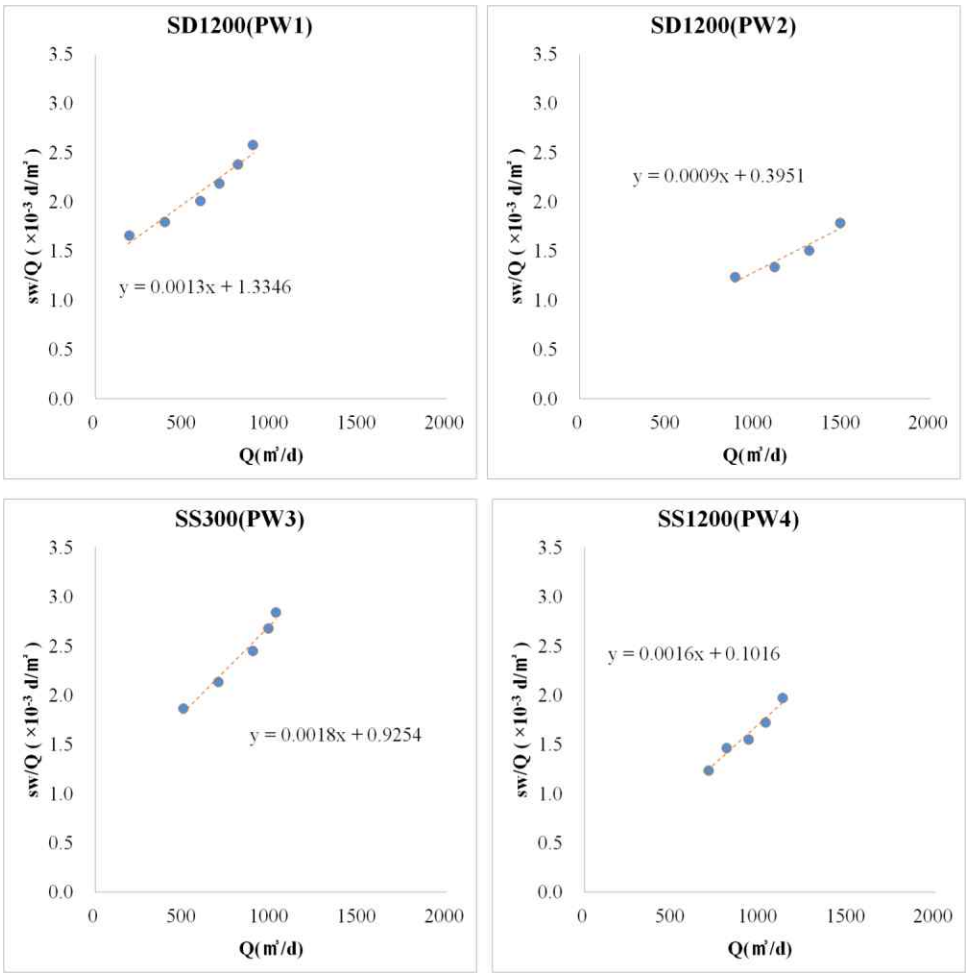


Fig 117. Relational expression of Specific drawdown and yield in each well

(다) 변곡점을 이용한 평가

- 수위강하량에 따른 양수량의 변화추이를 바탕으로 2개의 선형식을 사용하여 그 접점에 해당하는 적정양수량을 평가하였음
- 지층구성이 다른 취수정인 SD1200(PW1)의 적정양수량은 447.3L/min로 평가되었으며, 지층구성이 동일한 3개 취수정의 적정양수량은 이중필터취수정인 SD1200(PW2)에서 900.1L/min, 단일필터취수정인 SS300(PW3)에서 618.2L/min, 단일필터취수정 SS1200(PW4)에서 696.7L/min로 평가됨
- 지층구성이 일치하는 이중필터취수정인 SD1200(PW2)와 동일두께의 필터층을 갖는 단일필터취수정 SS1200(PW4)을 비교하면, 이중필터 취수정이 단일필터 취수정 대비 약 203.4L/min 높은 적정양수량을 보여 129.2%의 효율을 보이는 것으로 평가됨
- 또한, 이중필터취수정인 SD1200(PW2)와 일반적으로 설치되는 단일필터취수정 SS300(PW3)을 비교하면, 이중필터 취수정이 단일필터 취수정 대비 약 281.9L/min 높은 적정양수량을 보여 145.6%의 효율을 보이는 것으로 평가됨

Table 110. optimum yield estimation used point of inflection in sand formation

filter type	Test No.	Regression equation		sw (cm)	Optimum Yield (L/min)
Dual filter	SD1200(PW1)	Eq 1	Q = 3.1799x + 37.665	128.8	447.3
		Eq 2	Q = 1.7312x + 224.290		
	SD1200(PW2)	Eq 1	Q = 3.3323x + 258.620	192.5	900.1
		Eq 2	Q = 1.7891x + 555.690		
Single filter	SS300(PW3)	Eq 1	Q = 2.1669x + 150.960	215.6	618.2
		Eq 2	Q = 1.2711x + 344.130		
	SS1200(PW4)	Eq 1	Q = 2.7300x + 247.800	164.4	696.7
		Eq 2	Q = 1.4894x + 451.780		

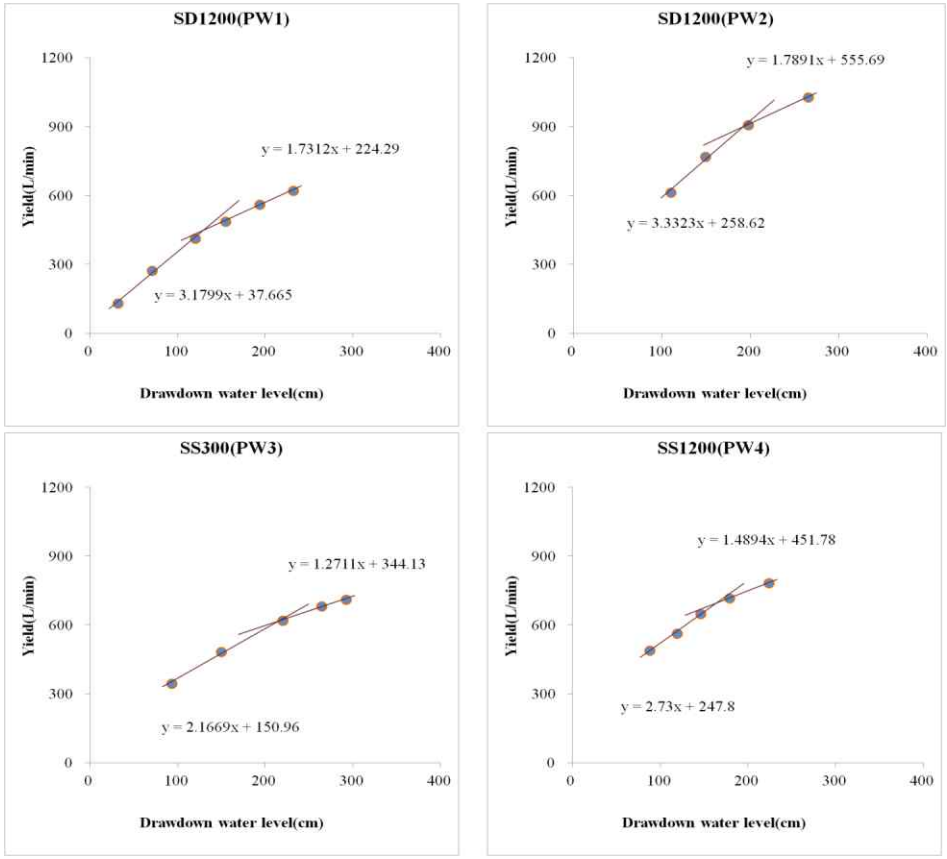


Fig 118. Graph of inflection point estimation used linear equation

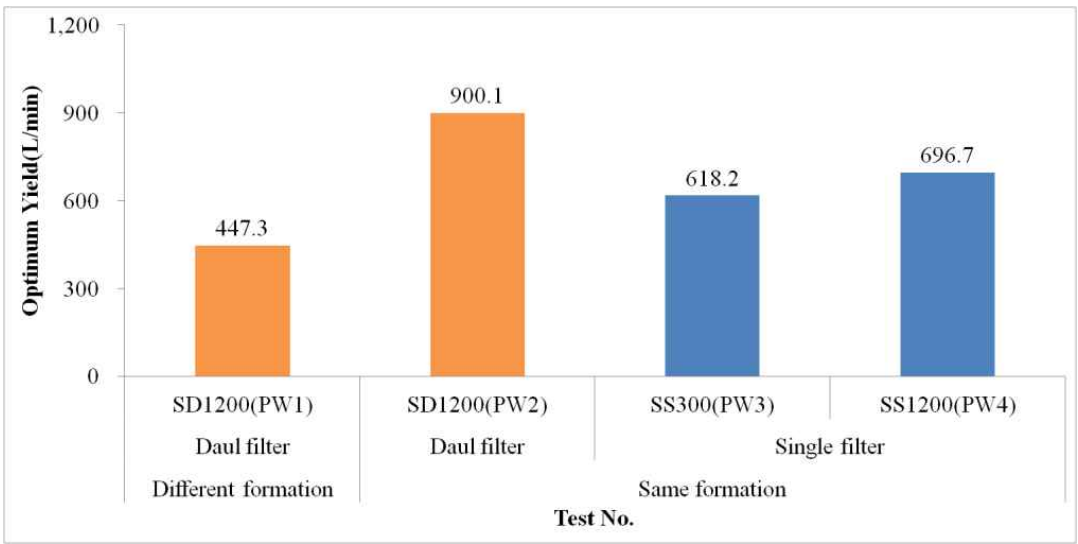


Fig 119. Comparison of optical yield for dual and single filter well

(3) 공인기관 시험(단계 대수성시험)

SD1200(PW1)

- 시험정의 지하수 산출량을 고려하여, 각 단계별로 145, 300, 620, 730 m3/day로 양수율을 증가시키면서 실시
- 단계별 시험 시간은 1시간 씩 1단계부터 4단계까지 실시하였으며, 각 단계별로 양수량을 일정하게 유지시키면서 수위강하량을 측정
- 각 단계마다 발생한 수위강하량은 자동관측장비를 이용하여 1분 마다 자동 계측 수행

Table 111. Test result of step drawdown test in SD1200(PW1)

Filter type	Test No.	Step	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level(m)	
				Pumping well	
				Total	Δd
Dual filter	SD1200 (PW1)	step1	145	0.23	0.23
		step2	300	0.68	0.45
		step3	620	1.62	0.94
		step4	730	2.17	0.55

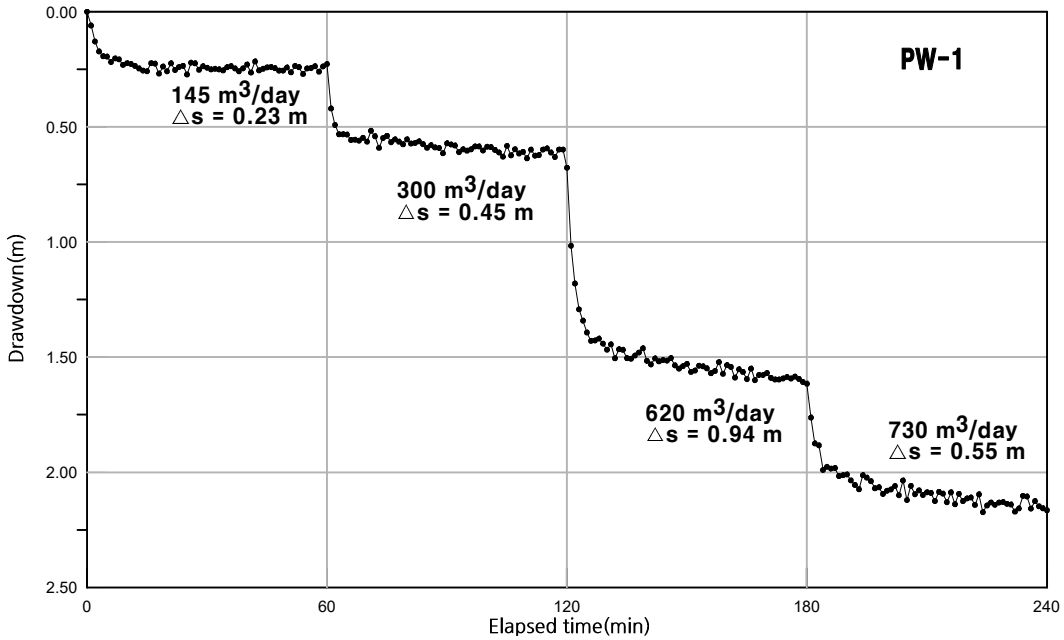
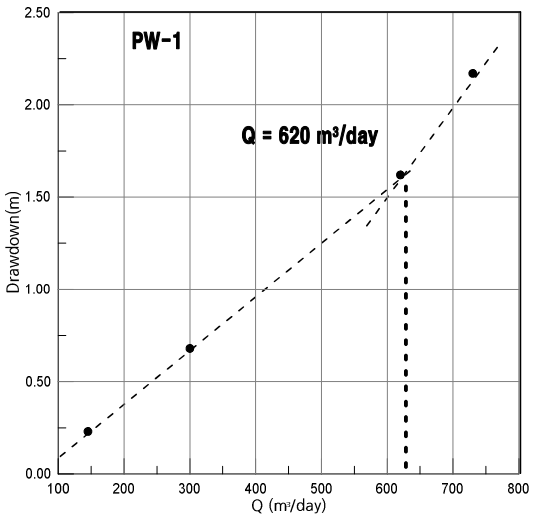


Fig 120. Variation of yield and water drawdown level in step drawdown test(SD1200(PW1))

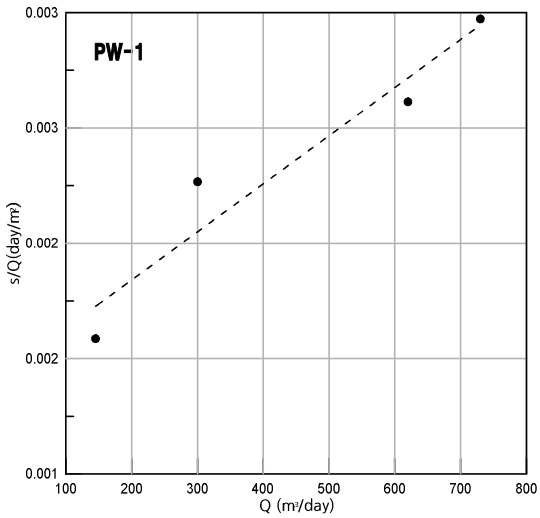
- 양수율대 수위강하를 통한 적정 양수량은 620 m3/day으로 나타났으며, 이에 대한 한계 수위강하량은 약 1.6 m로 나타남
- 제2분석법으로 해석한 결과 대수층수두손실계수(B)는 0~1.920×10-02 day/m2로 평균 6.986×10-03 day/m2, 우물수두손실계수(C)는 7.216×10-08~1.094×10-05 day2/m5로 평균 5.050×10-06 day2/m5로 계산됨

Table 112. Interpretation result of step drawdown test in SD1200(PW1)

Step	제2분석법		직선법		Optimum yield	
	B(day/m2)	C(day2/m5)	B(day/m2)	C(day2/m5)	㎥/day	L/min
step1	0	1.094×10^{-05}	1.424×10^{-03}	2.000×10^{-06}	620	430.6
step2	3.707×10^{-03}	4.390×10^{-06}				
step3	5.039×10^{-03}	7.216×10^{-08}				
step4	1.920×10^{-02}	4.797×10^{-06}				



<양수율 대 수위강하>



<양수율 대 비수위강하량>

Fig 121. Interpretation result graph of step drawdown test in SD1200(PW1)

SD1200(PW2)

- 시험정의 지하수 산출량을 고려하여, 각 단계별로 840, 1,010, 1,190, 1,380 m3/day로 양수율을 증가시키면서 실시
- 단계별 시험 시간은 1시간 씩 1단계부터 4단계까지 실시하였으며, 각 단계별로 양수량을 일정하게 유지시키면서 수위강하량을 측정
- 각 단계마다 발생한 수위강하량은 자동관측장비를 이용하여 1분 마다 자동 계측 수행

Table 113. Test result of step drawdown test in SD1200(PW2)

Filter type	Test No.	Step	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level(m)	
				Pumping well	
				Total	Δd
Dual filter	SD1200 (PW2)	step1	840	0.98	0.98
		step2	1,010	1.26	0.28
		step3	1,190	1.68	0.42
		step4	1,380	2.35	0.67

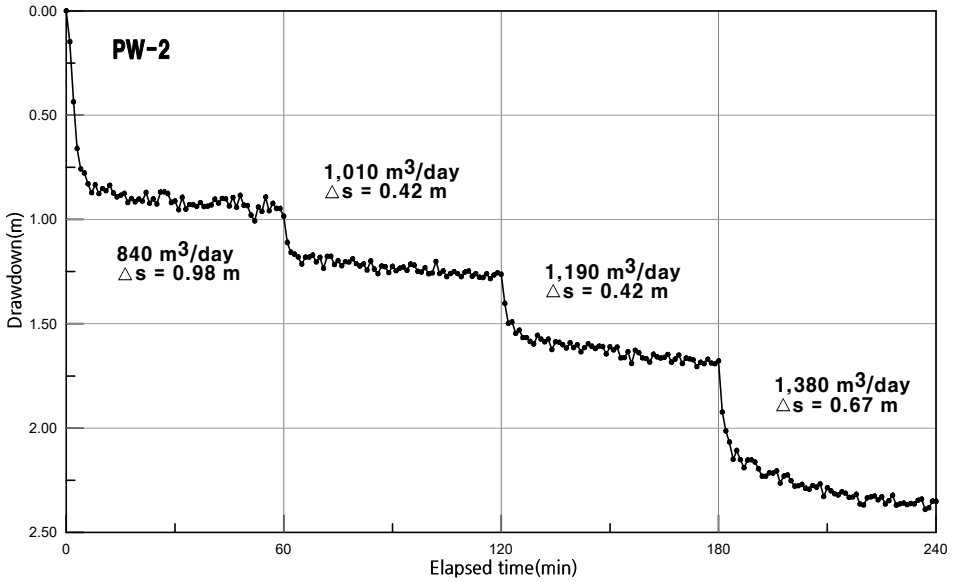
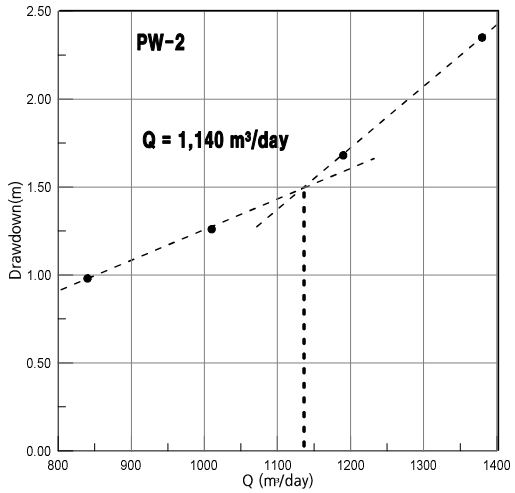


Fig 122. Variation of yield and water drawdown level in step drawdown test(SD1200(PW2))

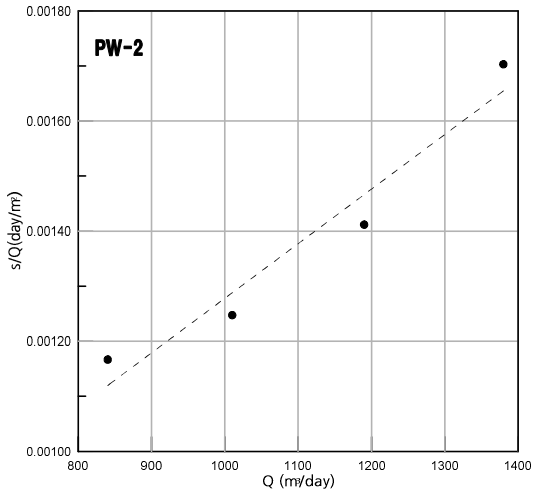
- 양수율대 수위강하를 통한 적정 양수량은 1,140 m3/day으로 나타났으며, 이에 대한 한계 수위강하량은 약 1.5m로 나타남
- 제2분석법으로 해석한 결과 대수층수두손실계수(B)는 0~1.176×10-02 day/m2로 평균 7.017 × 10-03day/m2, 우물수두손실계수(C)는 4.756×10-07~3.224×10-06 day2/m5로 평균 1.762×10-06 day2/m5로 계산됨

Table 114. Interpretation result of step drawdown test in SD1200(PW2)

Step	제2분석법		직선법		Optimum yield	
	B(day/m2)	C(day2/m5)	B(day/m2)	C(day2/m5)	㎥/day	L/min
step1	0	1.389×10^{-06}	2.870×10^{-04}	1.000×10^{-06}	1140	791.7
step2	7.331×10^{-03}	4.756×10^{-07}				
step3	8.980×10^{-03}	1.961×10^{-06}				
step4	1.176×10^{-02}	3.224×10^{-06}				



<양수율 대 수위강하>



<양수율 대 비수위강하량>

Fig 123. Interpretation result graph of step drawdown test in SD1200(PW2)

SS300(PW3)

- 시험정의 지하수 산출량을 고려하여, 각 단계별로 600, 750, 940, 1,110 m3/day로 양수율을 증가시키면서 실시
- 단계별 시험 시간은 1시간 씩 1단계부터 4단계까지 실시하였으며, 각 단계별로 양수량을 일정하게 유지시키면서 수위강하량을 측정
- 각 단계마다 발생한 수위강하량은 자동관측장비를 이용하여 1분 마다 자동 계측 수행

Table 115. Test result of step drawdown test in SS300(PW3)

Filter type	Test No.	Step	Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level(m)	
				Pumping well	
				Total	Δd
Single filter	SS300 (PW3)	step1	600	0.47	0.47
		step2	750	0.64	0.17
		step3	940	0.86	0.22
		step4	1,110	1.09	0.23

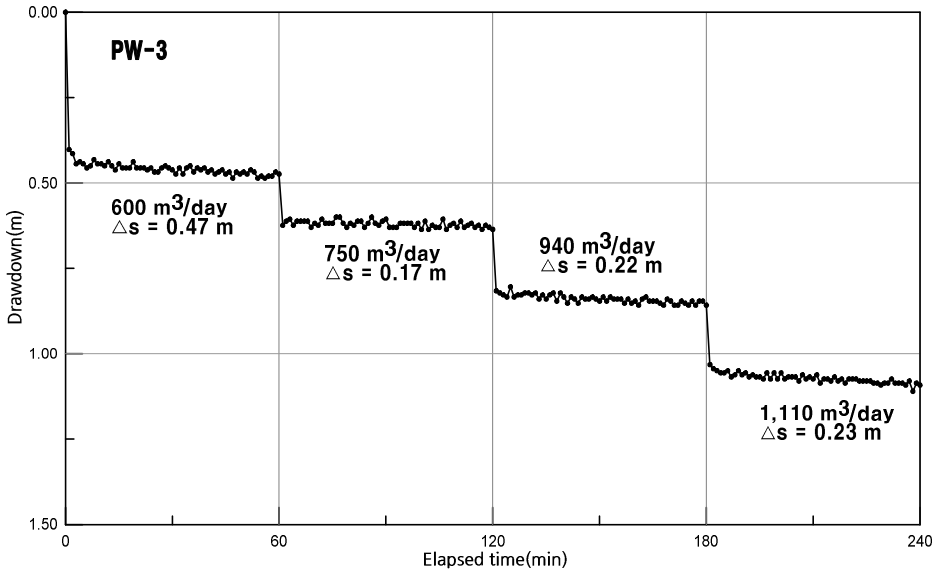
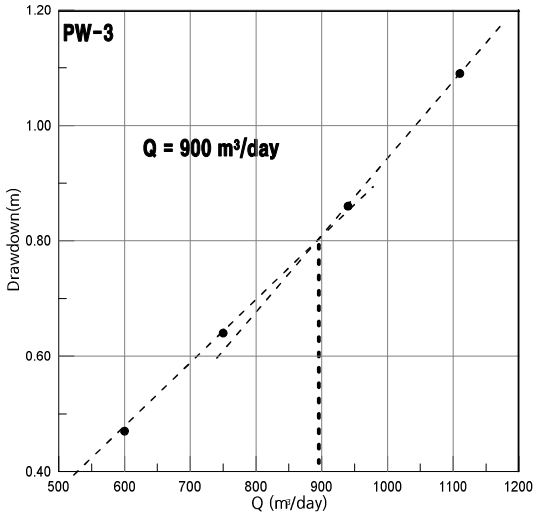


Fig 124. Variation of yield and water drawdown level in step drawdown test(SS300(PW3))

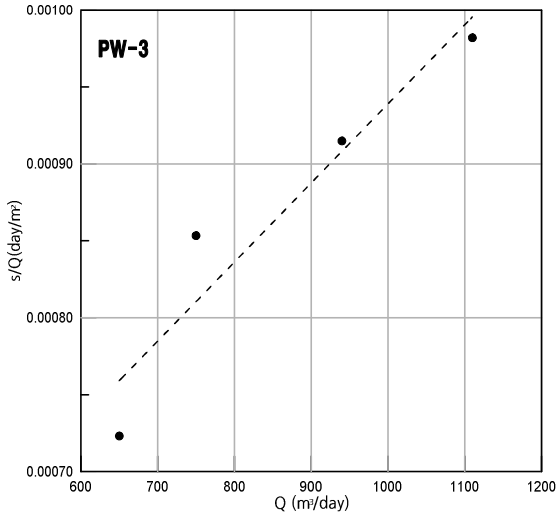
- 양수율대 수위강하를 통한 적정 양수량은 900m3/day으로 나타났으며, 이에 대한 한계 수위강하량은 약 1.5m로 나타남
- 제2분석법으로 해석 결과 대수층수두손실계수(B)는 0~6.320×10-03 day/m2로 평균 3.757×10-03 day/m2, 우물수두손실계수(C)는 7.224×10-08~1.306×10-06 day2/m5로 평균 5.996×10-07 day2/m5로 계산됨

Table 116. Interpretation result of step drawdown test in SS300(PW3)

Step	제2분석법		직선법		Optimum yield	
	B(day/m2)	C(day2/m5)	B(day/m2)	C(day2/m5)	㎥/day	L/min
step1	0	1.306×10^{-06}	5.594×10^{-04}	4.000×10^{-07}	900	625.0
step2	4.197×10^{-03}	4.667×10^{-07}				
step3	4.513×10^{-03}	7.224×10^{-08}				
step4	6.320×10^{-03}	5.418×10^{-07}				



<양수율 대 수위강하>



<양수율 대 비수위강하량>

Fig 125. Interpretation result graph of step drawdown test in SS300(PW3)

SS1200(PW4)

- 시험정의 지하수 산출량을 고려하여, 각 단계별로 600, 720, 780, 920 m3/day로 양수율을 증가시키면서 실시
- 단계별 시험 시간은 1시간 씩 1단계부터 4단계까지 실시하였으며, 각 단계별로 양수량을 일정하게 유지시키면서 수위강하량을 측정
- 각 단계마다 발생한 수위강하량은 자동관측장비를 이용하여 1분 마다 자동 계측 수행
- 1차 단계양수시험에서 적정양수량이 920 m3/day 이상으로 추정되어 2차 단계양수시험을 실시
- 2차 단계양수시험은 720, 800, 910, 1,000 m3/day로 양수율을 증가시키면서 실시

Table 117. Test result of step drawdown test in SS300(PW3)

Filter type	Test No.	Step		Ave. Yield (L/min)	Drawdown water level(m)	
					Pumping well	
					Total	Δd
Single filter	SS1200 (PW4)	1st	step1	600	0.39	0.39
			step2	720	0.60	0.21
			step3	780	0.77	0.17
			step4	920	1.01	0.24
		2nd	step1	720	1.06	1.06
			step2	800	1.35	1.35
			step3	910	1.67	1.67
			step4	1,000	2.01	2.01

- 1차와 2차 모두에서 양수량과 수위강하에서 변곡점이 형성되었다고 보기 어려움
- PW4의 적정양수량은 1차에서 920 m3/day, 1차에서 1,000 m3/day이상으로 평가될 수 있으나, PW4의 관정구조(깊이, 수중펌프 위치) 등을 고려했을 때, 1,000 m3/day 이상 양수시에는 지하수위가 계속 하강하여 지하수위와 수중펌프가 같은 지점에 위치할 가능성이 높음
- 따라서 적정양수량은 920 m3/day로 평가

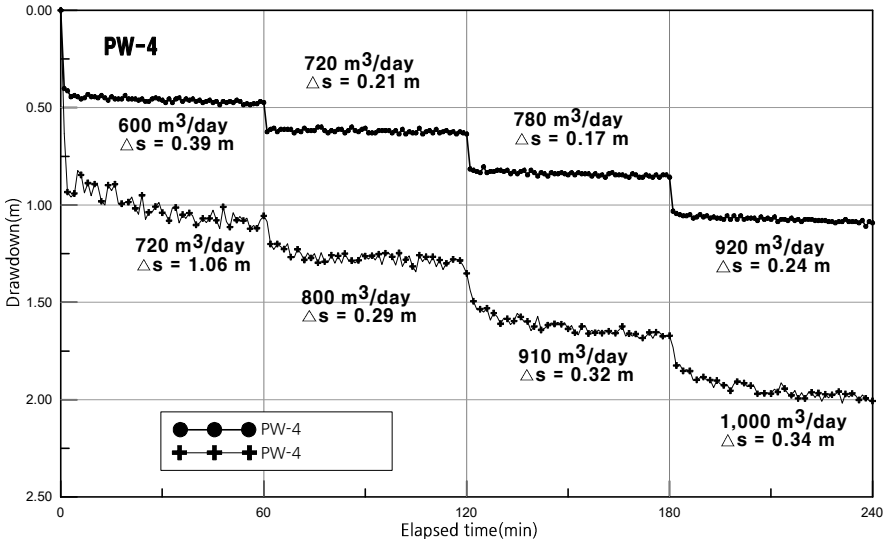
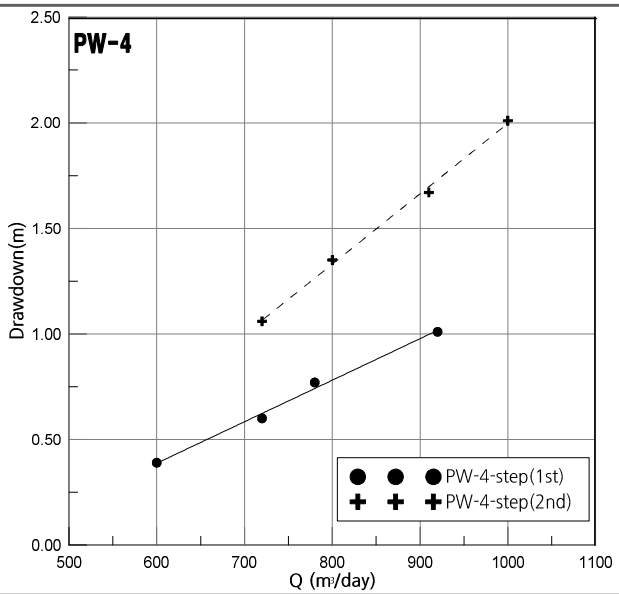


Fig 126. Variation of yield and water drawdown level in step drawdown test(SS1200(PW4))



a) 양수율 대 수위강하

Fig 127. Interpretation result graph of step drawdown test in SS1200(PW4)

적정양수량의 비교

- 단일필터 및 이중필터취수정으로 구성된 총 4개소의 적정양수량을 공인기관시험을 통해 평가
- 평가결과 이중필터취수정 적정양수량은 SD1200(PW1)이 620㎥/day, SD1200(PW2)이 1140㎥/day로 평가되었으며, 단일필터취수정의 적정양수량은 SS300(PW3)이 900㎥/day, SS1200(PW4)이 920㎥로 평가됨
- 주요 대수층의 구성상태가 다른 SD1200(PW1)을 제외하고 지층구성이 동일한 PW2,3,4를 비교할 때, 이중필터취수정(PW2)은 구경이 작은 단일필터취수정(PW3) 대비 초기 취수량이 127%의 효율을 보이는 것으로 평가되었으며, 크기가 동일한 단일필터취수정 대비 초기 취수량은 124%의 효율을 보이는 것으로 평가됨

다. 장기시험(1차) 성과분석

(1) 투수특성 분석

투수계수 분석결과

- 1차 장기시험의 투수계수를 볼 때, 시험 초기 투수계수가 높은 값을 보이며 시간이 경과할수록 투수계수가 낮아지는 특성을 보임
- 그러나 시험시작 수 60시간 이후에는 양수량과 수위강하량의 변화가 크지 않아 투수계수 값이 일정한 양상을 보임
- 4개 시험정에서 이중필터취수정인 SD1200(PW2)이 가장 높은 값의 투수계수를 나타내고 있으며, 이중필터인 SD1200(PW1)에서 가장 낮은 값을 보임. 이는 SD1200(PW1)이 타 시험정과 다른 지층의 차이에 기인한 것임
- 지층구성이 동일한 세 개 시험정을 비교할 때, 이중필터취수정이 가장 높고, 단일필터취수정 SS300(PW3)가 가장 낮은 값을 보여, 이중필터 취수정이 단일필터 대비 높은 투수성을 유지하고 있고 필터재가 두꺼울수록 보다 높은 투수성을 보이는 것으로 분석됨

Table 118. Average Yield(Q) and hydraulic conductivity(k) according to the time of each test well

time (hr)	SD1200(PW1)		SD1200(PW2)		SS300(PW3)		SS1200(PW4)	
	Ave. Q (L/min)	k (cm/sec)	Ave. Q (L/min)	k (cm/sec)	Ave. Q (L/min)	k (cm/sec)	Ave. Q (L/min)	k (cm/sec)
6	596.1	0.050	801.8	0.18	623.6	0.095	728.5	0.127
12	595.9	0.045	867.7	0.16	584.6	0.086	736.1	0.109
18	577.8	0.043	868.1	0.15	575.7	0.084	731.0	0.102
24	474.6	0.044	867.9	0.14	575.7	0.082	729.3	0.098
30	562.2	0.042	873.1	0.13	545.2	0.080	688.8	0.096
36	556.1	0.042	881.2	0.13	523.6	0.078	673.6	0.095
42	556.2	0.042	896.4	0.12	521.5	0.078	658.4	0.095
48	540.8	0.041	892.1	0.11	521.3	0.078	657.8	0.093
54	535.5	0.041	874.4	0.11	515.5	0.076	631.2	0.095
60	536.7	0.041	871.8	0.11	509.4	0.076	665.4	0.092
66	536.3	0.041	869.9	0.11	509.1	0.076	692.4	0.088
72	516.5	0.040	869.8	0.11	509.7	0.077	690.8	0.086
78	522.9	0.040	853.6	0.11	500.0	0.075	660.0	0.086
84	523.7	0.040	839.6	0.11	497.4	0.075	635.5	0.086
90	523.5	0.040	841.2	0.11	500.7	0.075	615.8	0.087
96	513.7	0.040	840.0	0.11	500.4	0.076	615.6	0.087
102	519.3	0.052	835.8	0.11	494.9	0.073	582.8	0.089
108	-	-	828.4	0.11	487.6	0.072	566.0	0.093
114			830.0	0.11	488.0	0.074	-	-
120	558.2	0.043	830.1	0.11	488.2	0.074	-	-
126	572.6	0.057	828.9	0.11	485.5	0.072	-	-
132	-	-	830.2	0.11	481.7	0.071	-	-

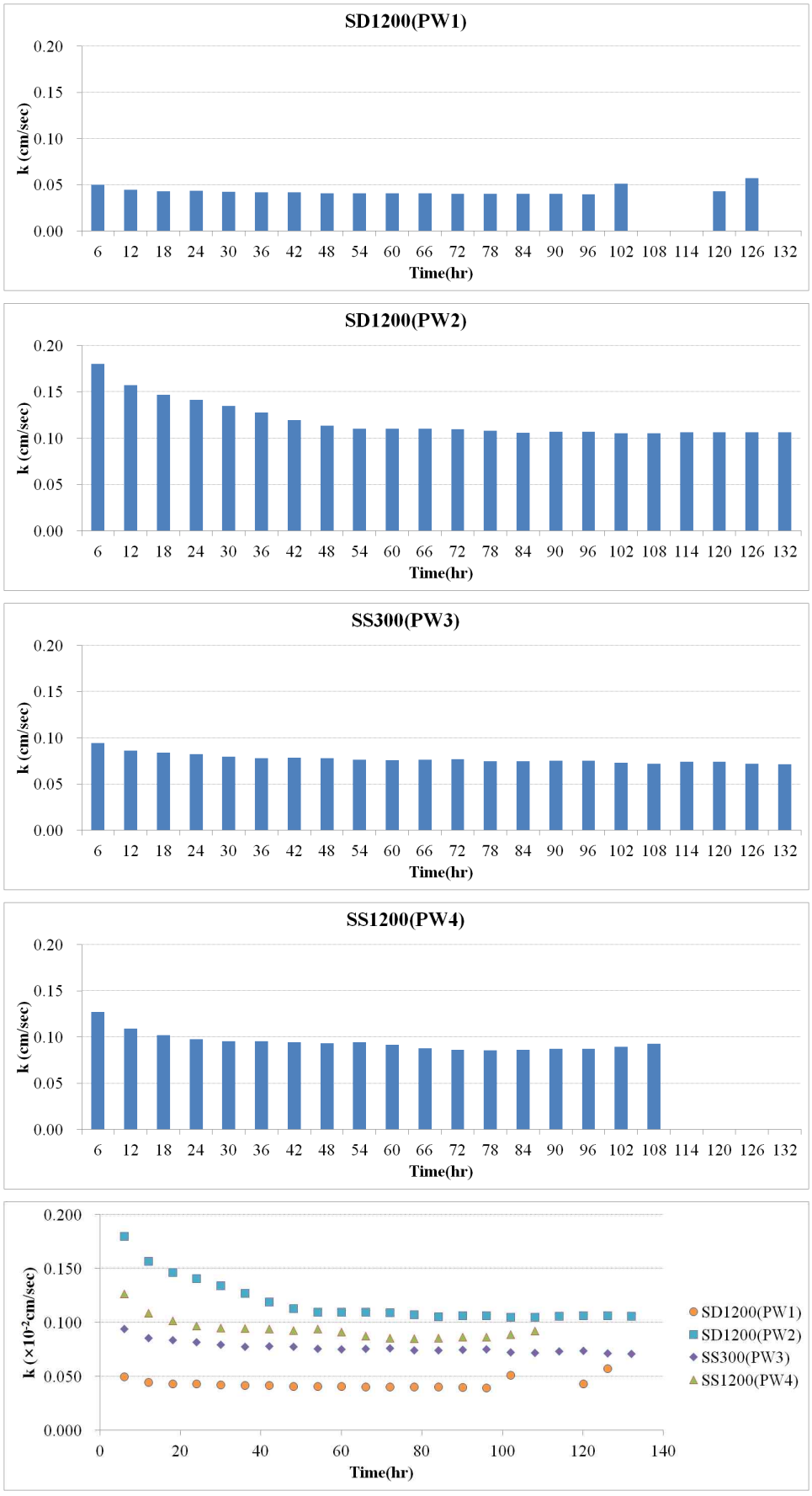


Fig 128. Comparison of hydraulic conductivity by time over in each well

- 지층이 동일한 지역에서 이중필터 취수정과 단일필터취수정의 투수계수를 평가하고자 1차 장기 시험 시작 후 양수량과 수위강하량의 변화가 일정하게 유지되는 60시간 이후의 평균 투수계수 값을 분석함
- 분석결과, 이중필터취수정 SD1200(PW2)의 평균 투수계수는 0.107cm/sec로 일반적으로 설치되는 필터층 두께 5cm의 단일필터취수정 SS300(PW3) 대비 144.3%, 두께가 동일한 SS1200(PW4)대비 121.6% 투수계수가 향상됨을 확인하였음
- 단일필터 취수정의 필터층 두께에 대한 투수계수의 차이를 비교하면, 필터층 두께가 40cm인 SS1200(PW4)이 필터층 두께가 5cm인 SS300(PW3) 대비 118.7%의 효율을 보임
- 결과적으로 볼 때, 필터층이 두꺼울수록 투수계수가 향상되었으며, 필터층 두께가 동일하더라도 단일필터에 비해 이중필터를 설치하는 것이 투수성을 향상시키는데 유리한 것으로 평가됨
- 이는, 필터층이 충분한 두께를 가지고 있고, 이중필터를 설치하는 경우, 지하수의 정호 유입 과정에서 발생되는 난류를 최대한 억제함으로써 보다 원활한 투수성을 유지하기 때문으로 판단됨

Table 119. Dual filter and the single filter's average hydraulic conductivity(k, After 60hr) and increase and reduction ratio(%) for SS300(PW3) and SS1200(PW4)

filter type	Test No.	Ave. Yield (L/min)	Ave. k (cm/sec)	Contrast SS300(PW3)	Contrast SS1200(PW4)
Dual	SD1200(PW2)	843.8	0.107	144.3%	121.6%
Single	SS300(PW3)	496.3	0.074	100.0%	84.3%
	SS1200(PW4)	636.0	0.088	118.7%	100.0%

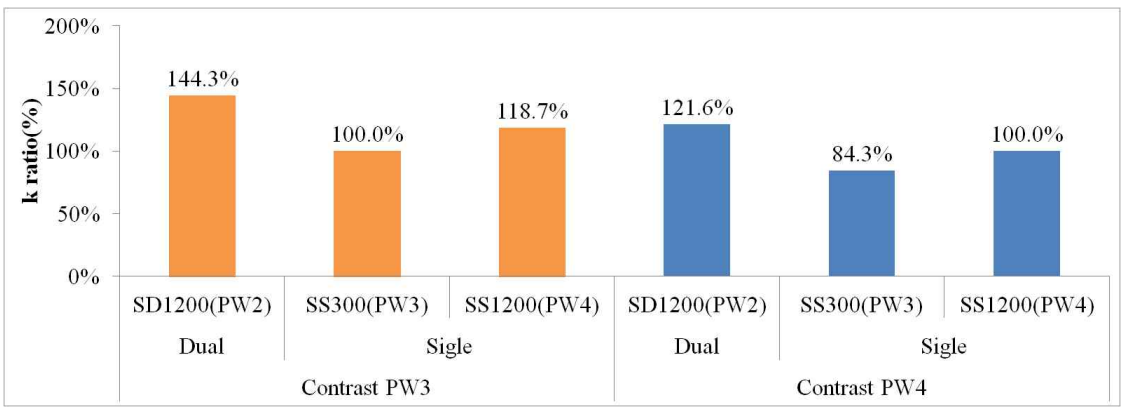


Fig 129. Comparison of the dual filter and the single filter's hydraulic conductivity(k) increase and reduction ratio(%) for SS300(PW3) and SS1200(PW4)

(2) 양수량 분석

각 우물에 대한 양수량 분석

- 기준수위를 EL. 61.5m로 고정한 상태를 유지하고 이때의 양수량을 분석하였음
- 전반적으로 시간이 경과할수록 양수량이 저감되는 양상을 나타냄
- 지층이 타 우물과 다른 이중필터인 SD1200(PW1)의 경우, 18~24시간 구간에서는 수위조절에 오류가 발생하여 타 시간대에 비해 저조한 양수량을 보임. 지하수위가 목표 기준수위에 도달하는데 약 30시간이 소요되었으며, 이때의 평균 양수량은 566.12L/min임. 또한, 102~114시간에는 현장여건으로 인하여 양수를 정상적으로 수행되지 못함
- 이중필터취수정 SD1200(PW2)의 경우, 우물의 효율이 양호하여 지하수위가 목표 기준수위에 도달하는데 약 48시간이 소요되었으며, 이때의 평균 양수량은 874.42L/min임
- 단일필터취수정 SS300(PW3)의 경우, 구경이 작아 공내 수위가 급격히 하강하였으며, 지하수위가 목표 기준수위에 도달하는데 약 6시간이 소요되었으며, 이때의 평균 양수량은 584.59L/min임
- 단일필터취수정 SS1200(PW4)의 경우, 지하수위가 목표 기준수위에 도달하는데 약 30시간이 소요되었으며, 이때의 평균 양수량은 673.61L/min임

Table 120. Average yield(L/min) by time according to the long-term pumping test in each well

time(hr)	Average Yield(L/min)			
	SD1200(PW1)	SD1200(PW2)	SS300(PW3)	SS1200(PW4)
0~6	596.14	801.76	623.63	728.53
6~12	595.87	867.70	584.59	736.09
12~18	577.80	868.09	575.72	731.02
18~24	474.61	867.90	575.73	729.33
24~30	562.20	873.05	545.20	688.76
30~36	556.12	881.18	523.59	673.61
36~42	556.15	896.38	521.51	658.35
42~48	540.79	892.14	521.25	657.81
48~54	535.51	874.42	515.51	631.16
54~60	536.70	871.79	509.41	665.37
60~66	536.31	869.89	509.10	692.41
66~72	516.48	869.75	509.65	690.78
72~78	522.89	853.58	499.95	659.97
78~84	523.69	839.58	497.42	635.53
84~90	523.47	841.18	500.68	615.80
90~96	513.65	839.98	500.36	615.63
96~102	519.27	835.80	494.86	582.76
102~108	-	828.37	487.61	565.95
108~114	-	830.04	487.96	-
114~120	558.15	830.07	488.19	-
120~126	572.55	828.90	485.45	-
126~132	-	830.21	481.73	-

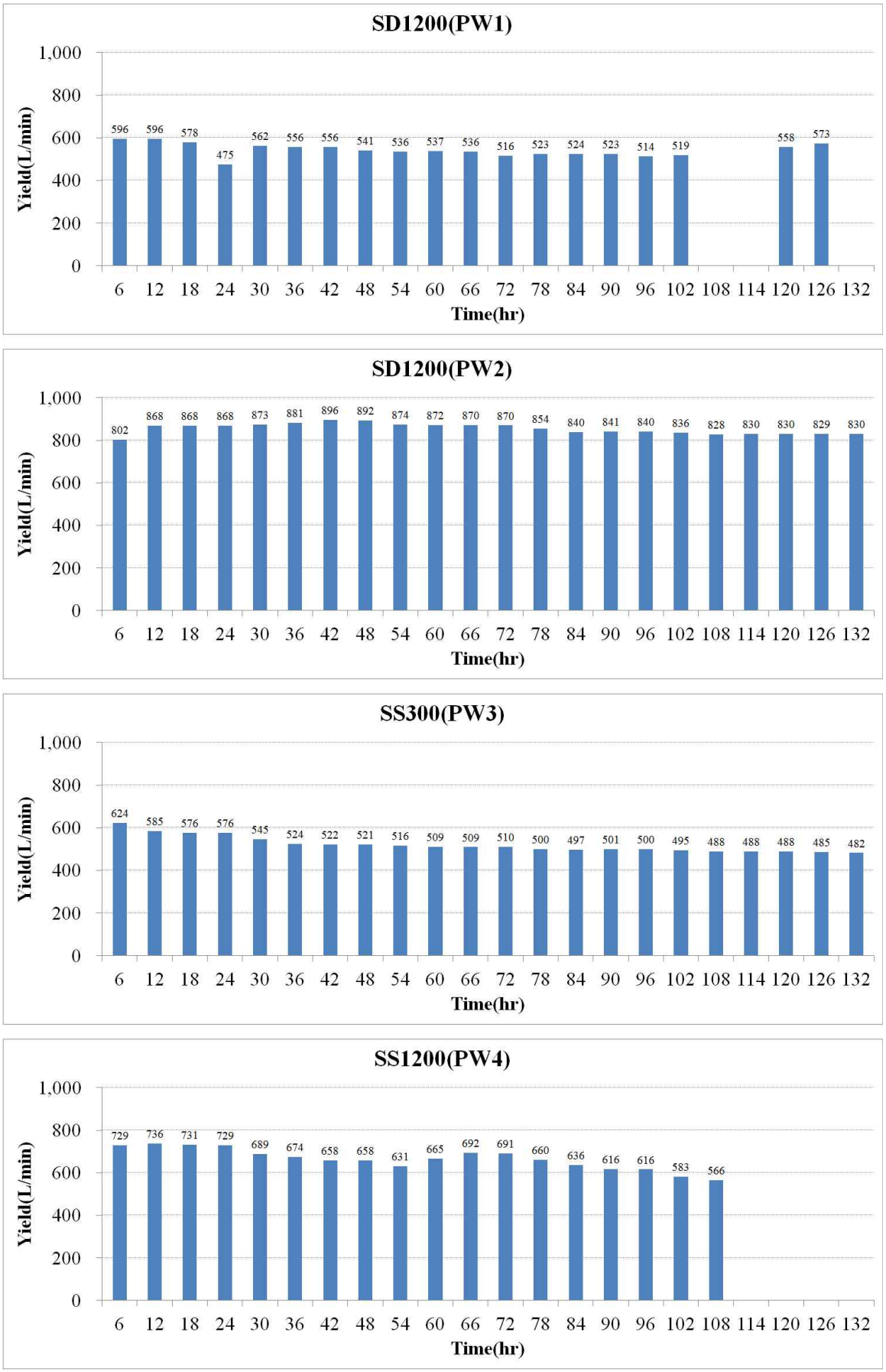


Fig 130. Mean yield per unit time in each test well

양수량 비교분석

- 시간경과에 따른 양수량을 비교하면, 이중필터취수정인 SD1200(PW2)이 가장 높은 값을 보이며, SS1200(PW4), SD1200(PW1), SS300(PW3)순임
- 지층이 동일한 우물을 대상으로 이중필터취수정인 SD1200과 동일두께의 필터층을 갖는 단일필터취수정 SS1200의 양수량을 비교하면, 목표 수위 도달시점인 시험 후 48시간 이후를 기준으로 이중필터취수정이 단일필터취수정 대비 약 138.5%의 효율을 보이는 것으로 평가되었으며, 마지막 구간(시험후 108시간 이후)에는 146.4%의 효율을 보여 시간이 경과함에 따라 그 비율이 증대되는 것으로 평가됨
- 또한, 이중필터취수정인 SD1200과 일반적으로 설치되는 단일필터취수정 SS300의 양수량을 비교하면, 목표 수위 도달시점인 시험 후 48시간 이후를 기준으로 이중필터취수정이 단일필터취수정 대비 약 169.6%의 효율을 보이는 것으로 평가되었으며, 마지막 구간(시험후 108시간 이후)에는 172.3%의 효율을 보여 시간이 경과함에 따라 그 비율이 증대되는 것으로 평가됨
- 결과적으로, 단일필터 대비 이중필터의 취수효율은 시간이 경과할수록 증대됨을 확인할 수 있음

Table 121. Contrast yield ratio(%) over time in all test well

Time (hr)	Average yield(L/min)				Contrast k ratio(%)		
	SD1200 (PW1)	SD1200 (PW2)	SS300 (PW3)	SS1200 (PW4)	SD1200(PW2)/ SS300(PW3)	SD1200(PW2) /SS1200(PW4)	SS1200(PW4)/S S300(PW3)
0~6	596.14	801.76	623.63	728.53	128.6%	110.1%	116.8%
6~12	595.87	867.70	584.59	736.09	148.4%	117.9%	125.9%
12~18	577.80	868.09	575.72	731.02	150.8%	118.8%	127.0%
18~24	474.61	867.90	575.73	729.33	150.7%	119.0%	126.7%
24~30	562.20	873.05	545.20	688.76	160.1%	126.8%	126.3%
30~36	556.12	881.18	523.59	673.61	168.3%	130.8%	128.7%
36~42	556.15	896.38	521.51	658.35	171.9%	136.2%	126.2%
42~48	540.79	892.14	521.25	657.81	171.2%	135.6%	126.2%
48~54	535.51	874.42	515.51	631.16	169.6%	138.5%	122.4%
54~60	536.70	871.79	509.41	665.37	171.1%	131.0%	130.6%
60~66	536.31	869.89	509.10	692.41	170.9%	125.6%	136.0%
66~72	516.48	869.75	509.65	690.78	170.7%	125.9%	135.5%
72~78	522.89	853.58	499.95	659.97	170.7%	129.3%	132.0%
78~84	523.69	839.58	497.42	635.53	168.8%	132.1%	127.8%
84~90	523.47	841.18	500.68	615.80	168.0%	136.6%	123.0%
90~96	513.65	839.98	500.36	615.63	167.9%	136.4%	123.0%
96~102	519.27	835.80	494.86	582.76	168.9%	143.4%	117.8%
102~108	-	828.37	487.61	565.95	169.9%	146.4%	116.1%
108~114	-	830.04	487.96	-	170.1%	-	-
114~120	558.15	830.07	488.19	-	170.0%	-	-
120~126	572.55	828.90	485.45	-	170.7%	-	-
126~132	-	830.21	481.73	-	172.3%	-	-

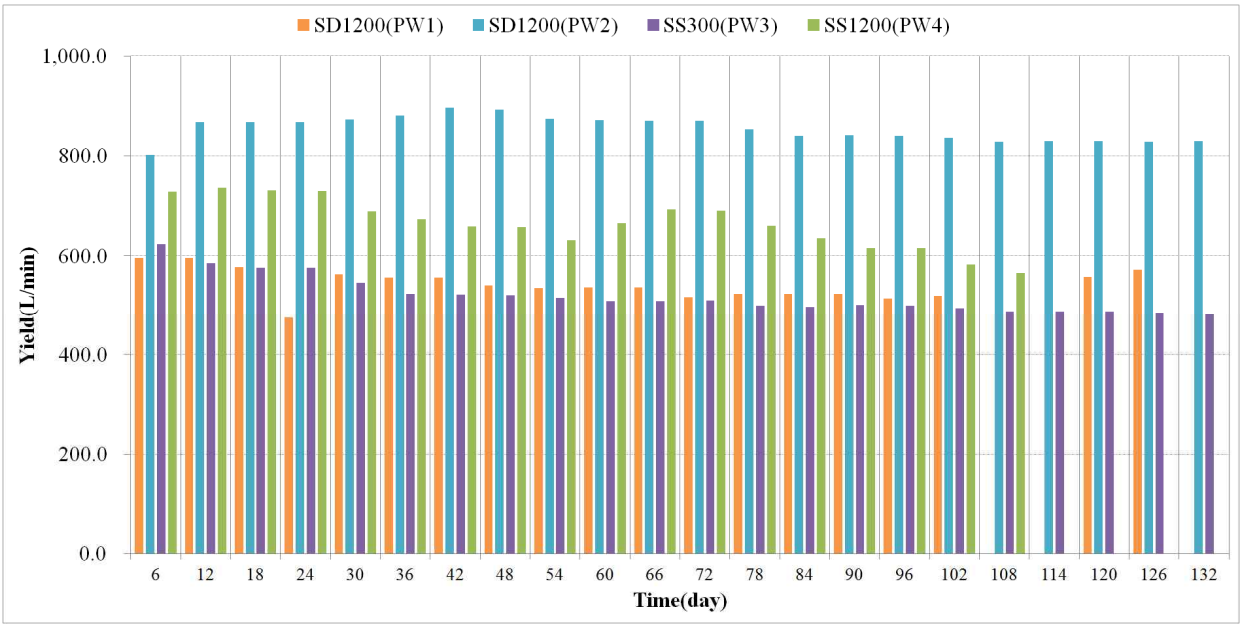


Fig 131. Contrast of yield(L/min) over time in all test well

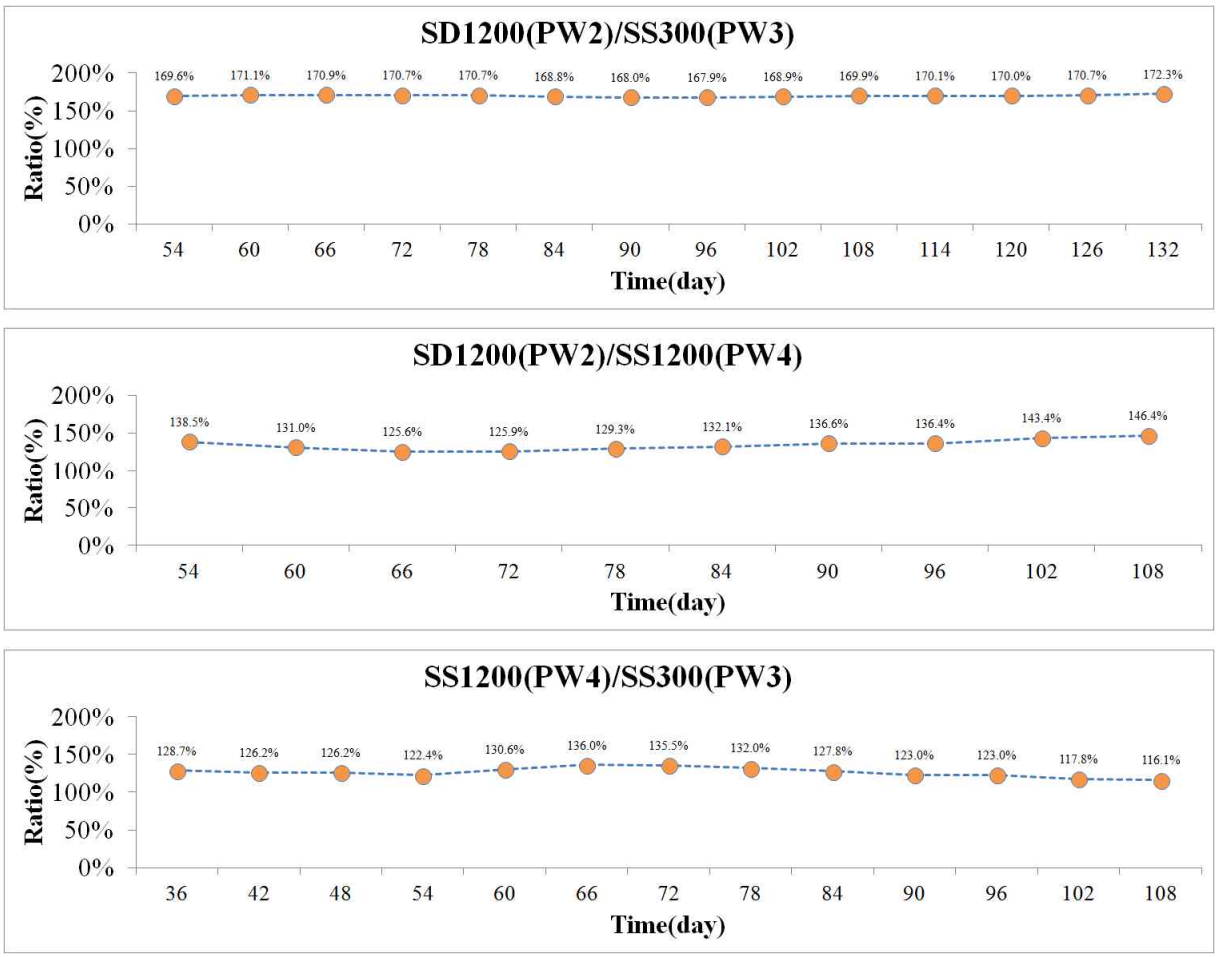


Fig 132. Variation graph of yield ratio(%) over time for SD1200(PW2)/SS300(PW3) and SD1200(PW2)/SS1200(PW4) and SS1200(PW4)/SS300(PW3)

장기적 안정성 평가

- 지하수위를 EL. 61.5m로 고정한 상태에서 각 우물에 대한 양수량을 그래프에 도시하여 시간경과에 따른 양수량의 변화를 나타내고 이에 대한 추세선식을 활용하면 양수 후 특정 시기의 양수량 산출이 가능함
- 지층구성이 다른 SD1200(PW1)은 시험 시작후 30시간 이후에 안정적인 목표수위(EL. 61.5m)를 유지하였으며, 지층구성이 동일한 세 개의 우물 중 이중필터인 SD1200(PW2)는 48시간 이후, 단일필터인 SS300(PW3)은 6시간 이후, SS1200(PW4)는 24시간 이후에 안정적으로 목표수위를 유지함
- 각 우물에 대한 경과시간에 따른 양수량의 상관관계를 보면, 이중필터취수정(SD1200(PW1), SD1200(PW2)의 기울기가 -0.5999~-0.6672로 단일필터취수정(SS300(PW3), SS1200(PW4)의 기울기인 -0.7473~-1.198 보다 낮은 특징을 보임. 기울기가 낮다는 것은 시간변화에 따른 양수량의 변화가 적다는 것을 의미하므로 궁극적으로 이중필터취수정이 단일필터취수정에 비해 장기적인 안정성에 효과가 있음을 알 수 있음

Table 122. Average yield of in the case of drawdown level EL. 61.5m

Time (hr)	Average yield(L/min)			
	SD1200(PW1)	SD1200(PW2)	SS300(PW3)	SS1200(PW4)
0~6	-	-	-	-
6~12	-	-	584.59	-
12~18	-	-	575.72	-
18~24	-	-	575.73	-
24~30	-	-	545.20	688.76
30~36	556.12	-	523.59	673.61
36~42	556.15	-	521.51	658.35
42~48	540.79	-	521.25	657.81
48~54	535.51	874.42	515.51	631.16
54~60	536.70	871.79	509.41	665.37
60~66	536.31	869.89	509.10	692.41
66~72	516.48	869.75	509.65	690.78
72~78	522.89	853.58	499.95	659.97
78~84	523.69	839.58	497.42	635.53
84~90	523.47	841.18	500.68	615.80
90~96	513.65	839.98	500.36	615.63
96~102	519.27	835.80	494.86	582.76
102~108	-	828.37	487.61	565.95
108~114	-	830.04	487.96	-
114~120	-	830.07	488.19	-
120~126	-	828.90	485.45	-
126~132	-	830.21	481.73	-

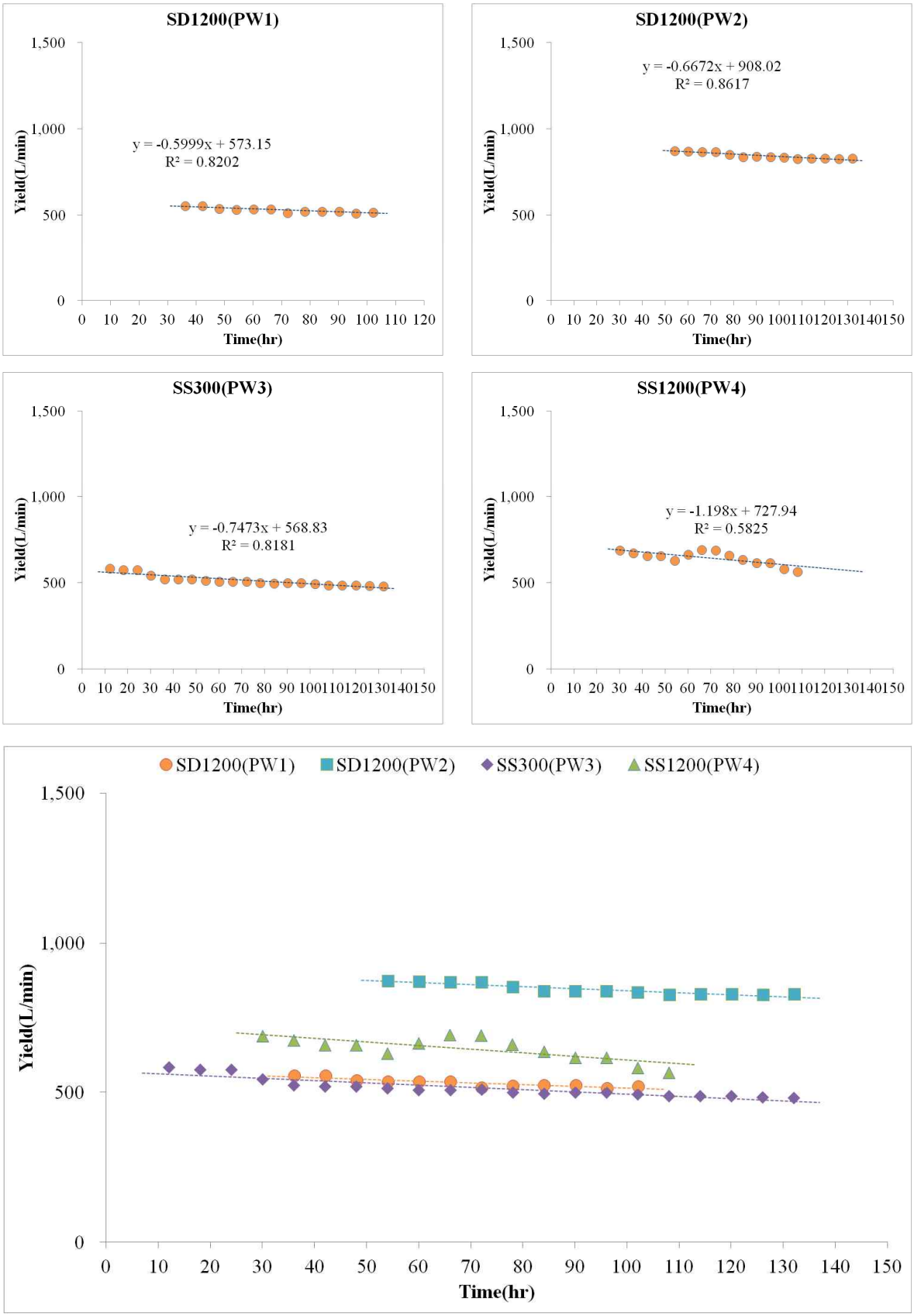


Fig 133. Relationship of yield and elapsed time by each test well

- 회귀식을 바탕으로 각 시험조별 초기 양수량이 50% 저감되는 시점을 검토한 결과 이중필터인 SD1200(PW1)에서 491.9일, SD1200(PW2)에서 705.7일, 단일필터인 SS300(PW3)에서 370.0일, SS1200(PW4)에서 326.5일로 평가됨
- 지층구성이 다른 SD1200(PW1)을 제외한 동일한 지층에서 이중필터와 단일필터취수정을 대상으로 분석하면, 이중필터취수정인 SD1200(PW2)은 동일두께 단일필터취수정 SS1200(PW4) 대비 약 216.1%의 효율을 보이며, 필터재 두께가 5cm인 단일필터취수정 SS300(PW3) 대비 약 190.7%의 효율을 보임
- 위의 결과를 볼 때, 초기 양수량의 50%로 저하되는 지점을 우물 수명으로 가정하면, 이중필터는 동일두께의 단일필터 대비 약 2.2배, 일반적인 단일필터 대비 약 1.9배의 수명 증대가 예상됨
- 단일필터취수정에서 초기 양수량의 50% 저감되는 시점을 분석한 결과, 필터재 두께와 상관성이 없는 것으로 나타남. 즉, 단일필터취수정은 필터재 두께와 관계없이 이중필터취수정 대비 장기적 안정성이 낮음

Table 123. Required time at 50% yield and the contrast ratio of each test well

Test No.	Regression equation	Q(1/2 yield) (L/min)	T(Required time) (day)	Contrast SS300(PW3) (%)	Contrast SS1200(PW4) (%)
SD1200(PW1)	Q = −0.5999T + 573.15	278.06	491.9	−	−
SD1200(PW2)	Q = −0.6672T + 908.02	437.21	705.7	190.7%	216.1%
SS300(PW3)	Q = −0.7473T + 568.83	292.30	370.0	100.0	113.3%
SS1200(PW4)	Q = −1.198T + 727.94	336.81	326.5	88.2%	100.0

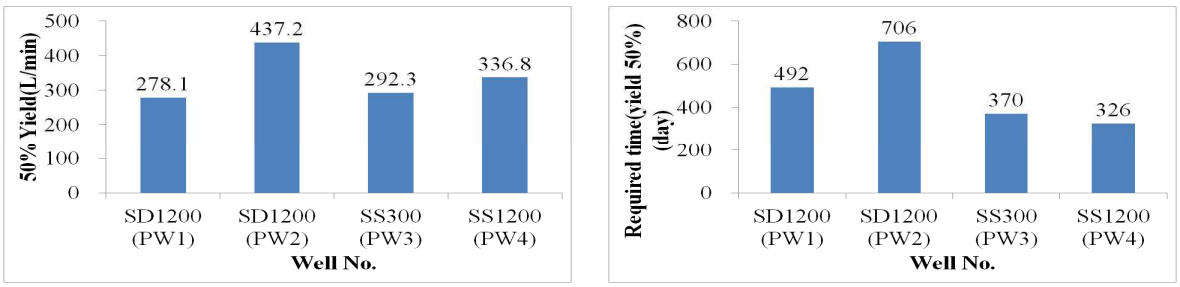


Fig 134. Comparision of 50% yield and required time at 50% yield

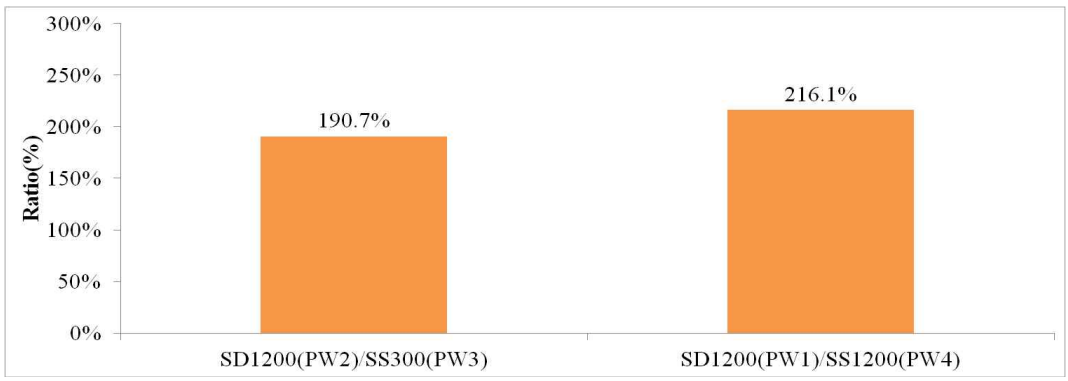


Fig 135. Comparision of SD1200(PW2)/SS300(PW3), SD1200(PW2)/SS1200(PW4)

라. 장기시험(2차) 성과분석

(1) 투수특성 분석

투수계수 분석결과

- 2차 장기시험의 투수계수를 볼 때, 시험 초기 투수계수가 높은 값을 보이며 시간이 경과할수록 투수계수가 낮아지는 특성을 보나 시험시작 후 3일 이후에는 양수량과 수위강하량의 변화가 크지 않아 투수계수 값이 일정한 양상을 보임
- 이중필터취수정인 SD1200(PW2)이 단일필터취수정 SS1200(PW4) 대비 상대적으로 높은 투수성을 보이는 것으로 분석됨

Table 124. Average Yield(Q) and hydraulic conductivity(k) according to the time of each test well

time (hr)	SD1200(PW1)		SD1200(PW2)	
	Ave. Q (L/min)	k (cm/sec)	Ave. Q (L/min)	k (cm/sec)
1	1076.0	0.124	795.2	0.12
2	903.5	0.109	712.8	0.11
3	871.8	0.106	677.0	0.10
4	852.4	0.104	692.7	0.10
5	840.9	0.102	661.6	0.10
6	826.0	0.101	643.7	0.10
7	810.9	0.100	640.4	0.10
8	811.0	0.099	641.2	0.10
9	809.6	0.097	638.8	0.10
10	812.3	0.097	628.8	0.10
11	815.7	0.099	625.2	0.10
12	814.8	0.100	609.3	0.10
13	814.9	0.100	615.8	0.09
14	814.8	0.100	615.7	0.09
15	814.3	0.099	601.6	0.09
16	814.3	0.098	602.5	0.09
17	797.7	0.098	601.9	0.09
18	797.7	0.098	603.2	0.09
19	796.4	0.098	606.1	0.09
20	798.0	0.098	603.2	0.09
21	796.3	0.098	600.0	0.09
22	796.6	0.097	601.2	0.09
23	798.5	0.098	599.8	0.09
24	799.1	0.098	600.1	0.09
25	797.9	0.097	604.9	0.09
26	797.5	0.097	603.3	0.09
27	795.0	0.096	603.4	0.09

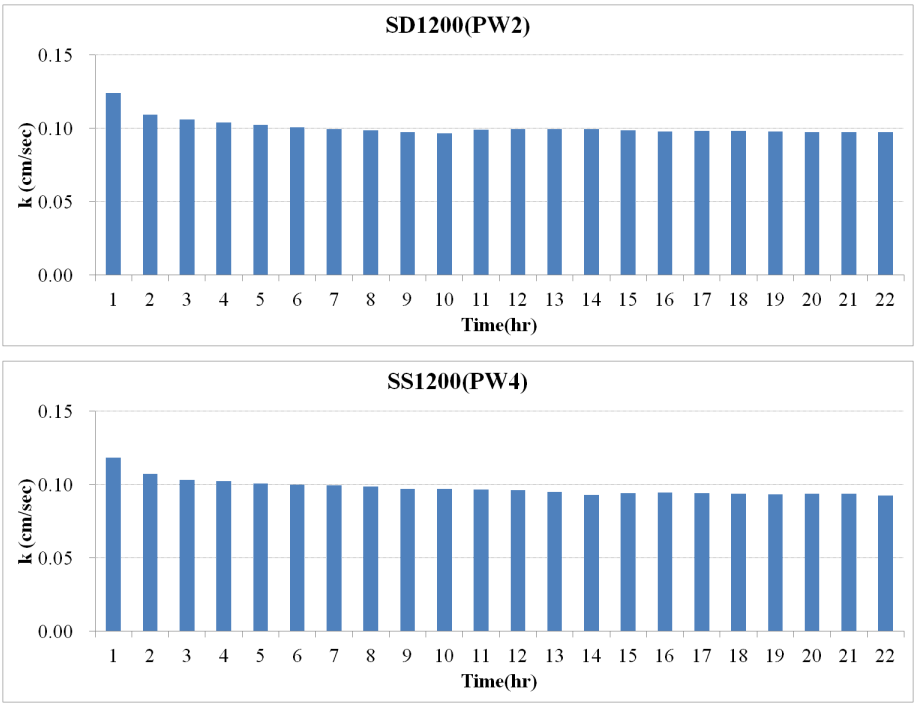


Fig 136. Comparison of hydraulic conductivity by time over in each well

- 장기시험 시작 후 양수량과 수위강하량의 변화가 일정하게 유지되는 3일(72시간) 이후의 평균 투수계수 값을 분석함
- 분석결과, 이중필터취수정 SD1200(PW2)의 평균 투수계수는 0.099cm/sec로 필터재 두께가 동일한 단일필터취수정 SS1200(PW4)대비 103.4%의 투수계수 효율을 확인하였음
- 결과적으로, 장기적인 양수를 수행하는 경우 단일필터 대비 이중필터의 투수계수 향상효과는 크지 않은 것으로 평가되었으며, 이는 필터재 두께가 충분한 경우 난류 발생을 억제하여 원지반의 투수성을 크게 훼손하지 않기 때문으로 판단됨

Table 125. Dual filter and the single filter's average hydraulic conductivity(k) and increase ratio(%) for SS1200(PW4)

filter type	Test No.	Ave. Yield (L/min)	Ave. k (cm/sec)	Contrast SS1200(PW4)
Dual	SD1200(PW2)	804.0	0.099	103.4%
Single	SS1200(PW4)	607.0	0.095	100.0%



Fig 137. Comparison of the dual filter and the single filter's hydraulic conductivity(k) increase ratio(%) for SS1200(PW4)

(2) 양수량 분석

각 우물에 대한 양수량 분석

- 기준수위를 EL. 61.5m로 고정한 상태를 유지하고 이때의 양수량을 분석하였음
- 전반적으로 시간이 경과할수록 양수량이 저감되는 양상을 나타냄
- 이중필터취수정 SD1200(PW2)에서 수위 및 양수량이 안정된 3일 이후의 평균 양수량은 809.3L/min임
- 단일필터취수정 SS1200(PW4)에서 수위 및 양수량이 안정된 3일 이후 평균 양수량은 618.5L/min임

Table 126. Average yield(L/min) by time according to the long-term pumping test in each well

time(day)	Average Yield(L/min)	
	SD1200(PW2)	SS1200(PW4)
1	1076.0	795.2
2	903.5	712.8
3	871.8	677.0
4	852.4	692.7
5	840.9	661.6
6	826.0	643.7
7	810.9	640.4
8	811.0	641.2
9	809.6	638.8
10	812.3	628.8
11	815.7	625.2
12	814.8	609.3
13	814.9	615.8
14	814.8	615.7
15	814.3	601.6
16	814.3	602.5
17	797.7	601.9
18	797.7	603.2
19	796.4	606.1
20	798.0	603.2
21	796.3	600.0
22	796.6	601.2
23	798.5	599.8
24	799.1	600.1
25	797.9	604.9
26	797.5	603.3
27	795.0	603.4
Average(after 3day)	809.3	618.5

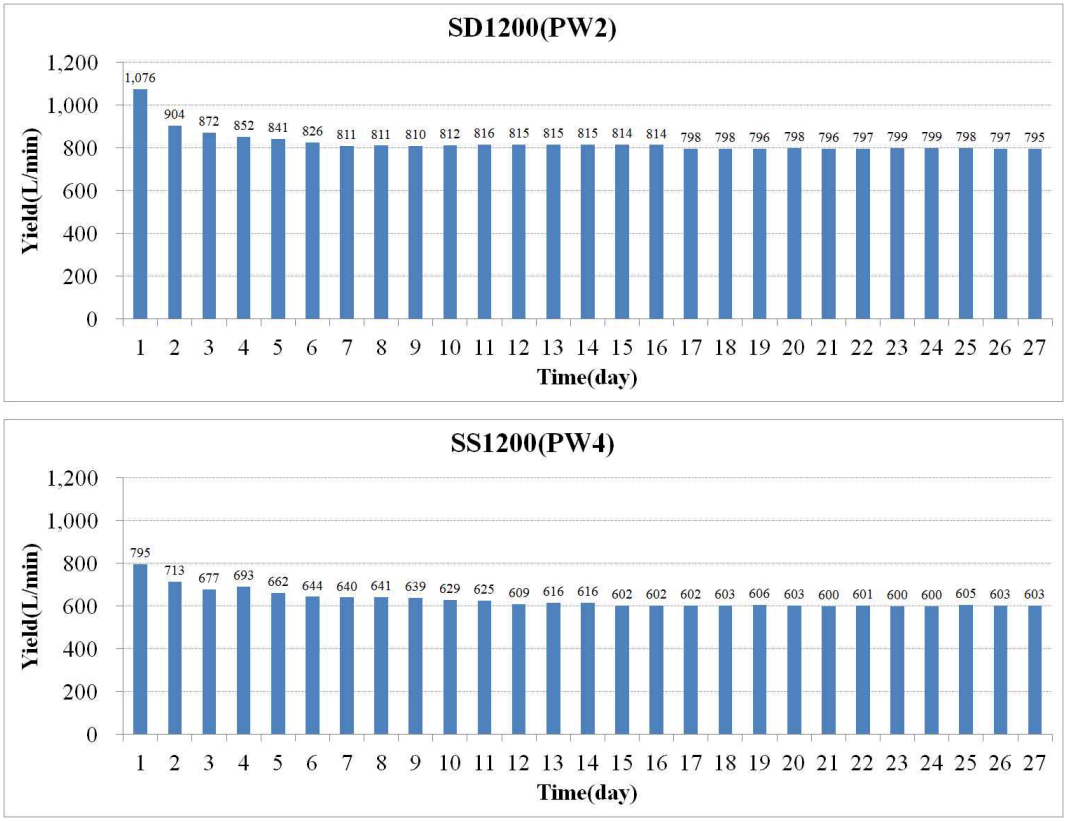


Fig 138. Mean yield per unit time in each test well

양수량 비교분석

- 시험시작 3일 이후를 기준으로 이중필터취수정이 단일필터취수정 대비 약 130.9%의 양수량이 증가되는 것으로 평가되었음
- 시험 시기상으로 보면, 시험 전반부에 해당하는 4~10일 구간의 평균 양수량 비율은 이중필터취수정이 단일필터취수정 대비 126.4% 증대되는 것으로 파악되었으며, 시험 후반부인 20일 이후에는 132.5%로 증대되어 시간이 경과함에 따라 그 비율이 확대되는 것으로 평가됨
- 결과적으로, 단일필터 대비 이중필터 취수효율은 시간이 경과할수록 증대됨을 확인할 수 있었음

Table 127. Contrast yield ratio(%) over time in all test well

Time (day)	Average yield(L/min)		Contrast yield ratio(%)
	SD1200(PW2)	SS1200(PW4)	SD1200(PW2)/SS1200(PW4)
1	1076.0	795.2	135.3%
2	903.5	712.8	126.8%
3	871.8	677.0	128.8%
4	852.4	692.7	123.1%
5	840.9	661.6	127.1%
6	826.0	643.7	128.3%
7	810.9	640.4	126.6%
8	811.0	641.2	126.5%
9	809.6	638.8	126.7%
10	812.3	628.8	129.2%

Table 127. Continued

Time (day)	Average yield(L/min)		Contrast yield ratio(%)
	SD1200(PW2)	SS1200(PW4)	SD1200(PW2)/SS1200(PW4)
11	815.7	625.2	130.5%
12	814.8	609.3	133.7%
13	814.9	615.8	132.3%
14	814.8	615.7	132.3%
15	814.3	601.6	135.4%
16	814.3	602.5	135.2%
17	797.7	601.9	132.5%
18	797.7	603.2	132.2%
19	796.4	606.1	131.4%
20	798.0	603.2	132.3%
21	796.3	600.0	132.7%
22	796.6	601.2	132.5%
23	798.5	599.8	133.1%
24	799.1	600.1	133.2%
25	797.9	604.9	131.9%
26	797.5	603.3	132.2%
27	795.0	603.4	131.7%

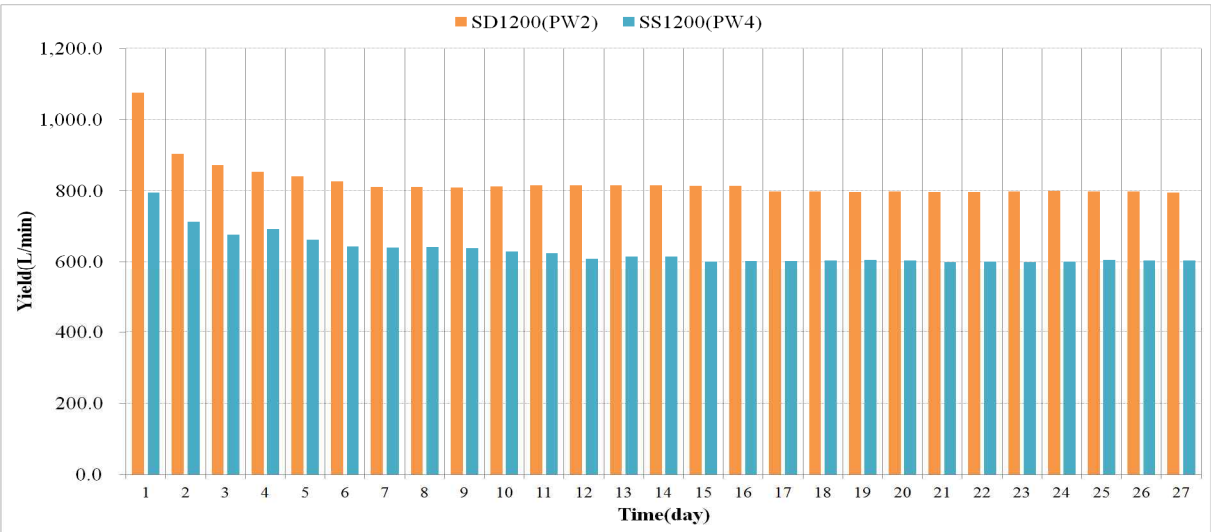


Fig 139. Contrast of yield(L/min) over time in all test well

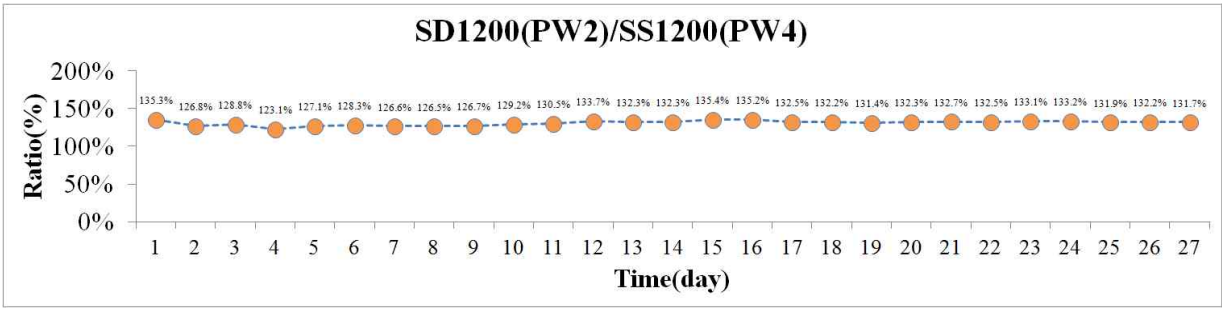


Fig 140. Variation graph of yield ratio(%) over time for SD1200(PW2)/SS1200(PW4)

장기적 안정성 평가

- 지하수위를 EL. 61.5m로 고정한 상태에서 각 우물에 대한 양수량을 그래프에 도시하여 시간경과에 따른 양수량의 변화를 나타내고 이에 대한 추세선식을 활용하면 양수 후 특정 시기의 양수량 산출이 가능함
- 양수시작 3일 이후의 각 우물에 대한 경과시간에 따른 양수량의 상관관계를 보면, 이중필터취수정 SD1200(PW2)의 기울기는 -1.7058로 단일필터취수정SS1200(PW4)의 기울기인 -2.8046 보다 낮은 특징을 보임
- 기울기가 낮다는 것은 시간변화에 따른 양수량의 변화가 적다는 것을 의미하므로 궁극적으로 이중필터취수정이 단일필터취수정에 비해 장기적인 안정성에 효과가 있음을 알 수 있음

Table 128. Average yield of in the case of drawdown level EL. 61.5m

Time (day)	Average yield(L/min)	
	SD1200(PW2)	SS1200(PW4)
4	852.4	692.7
5	840.9	661.6
6	826.0	643.7
7	810.9	640.4
8	811.0	641.2
9	809.6	638.8
10	812.3	628.8
11	815.7	625.2
12	814.8	609.3
13	814.9	615.8
14	814.8	615.7
15	814.3	601.6
16	814.3	602.5
17	797.7	601.9
18	797.7	603.2
19	796.4	606.1
20	798.0	603.2
21	796.3	600.0
22	796.6	601.2
23	798.5	599.8
24	799.1	600.1
25	797.9	604.9
26	797.5	603.3
27	795.0	603.4

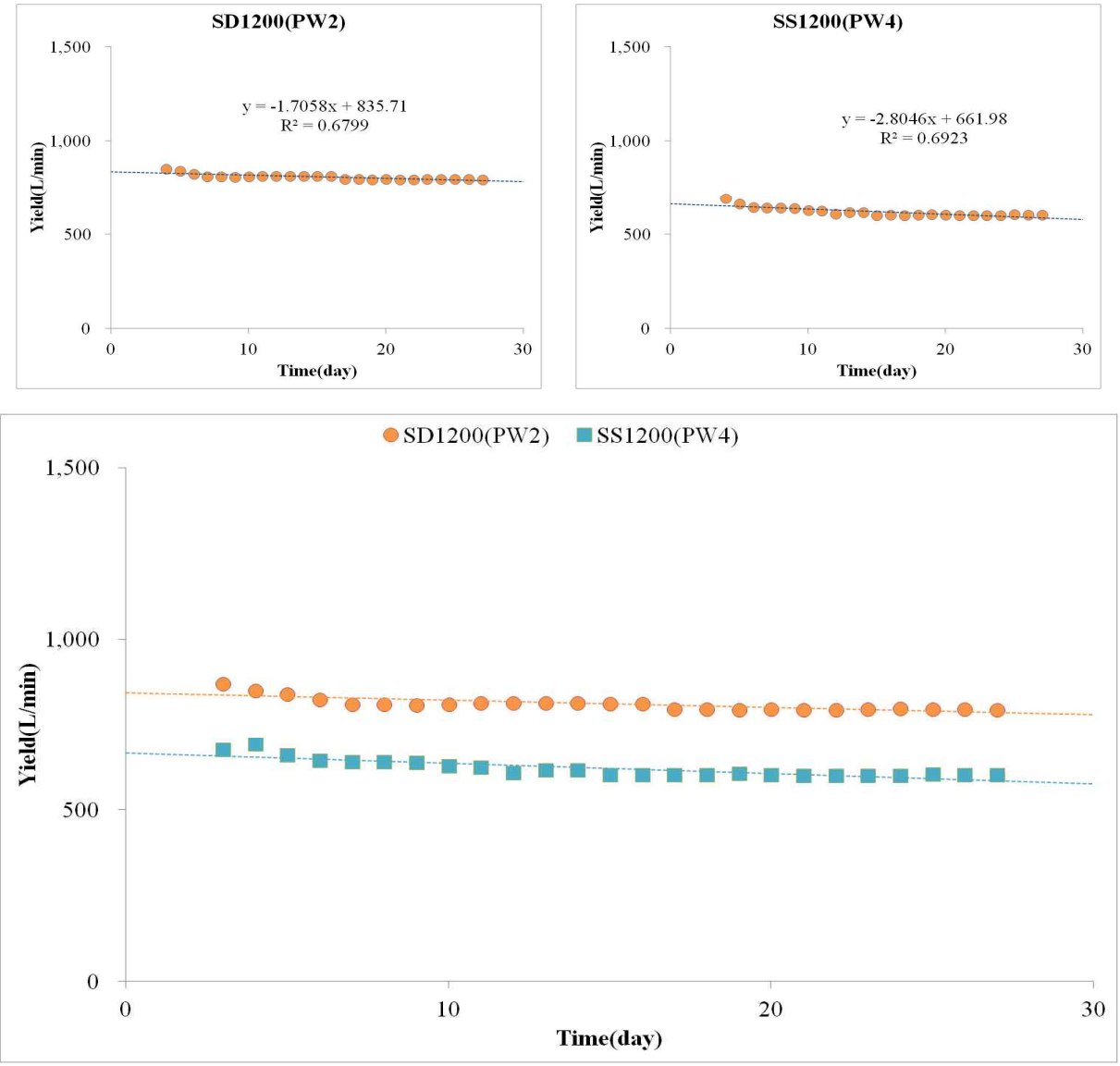


Fig 141. Relationship of yield and elapsed time by each test well

- 회귀식을 바탕으로 각 시험조별 초기 양수량이 50% 저감되는 시점을 검토한 결과 이중필터인 SD1200(PW2)에서 705.7일, 단일필터인 SS300(PW3)에서 370.0일, SS1200(PW4)에서 326.5일로 평가됨
- 지층구성이 다른 SD1200(PW1)을 제외한 동일한 지층에서 이중필터와 단일필터취수정을 대상으로 분석하면, 이중필터취수정인 SD1200(PW2)은 동일두께 단일필터취수정 SS1200(PW4) 대비 약 216.1%의 효율을 보이며, 필터재 두께가 5cm인 단일필터취수정 SS300(PW3) 대비 약 190.7%의 효율을 나타냄
- 위의 결과를 볼 때, 초기 양수량의 50%로 저하되는 지점을 우물 수명으로 가정하면, 이중필터는 동일두께의 단일필터 대비 약 2.2배, 일반적인 단일필터 대비 약 1.9배의 수명 증대가 예상됨
- 단일필터취수정에서 초기 양수량의 50% 저감되는 시점을 분석한 결과, 필터재 두께와 상관성이 없는 것으로 나타남. 즉, 단일필터취수정은 필터재 두께와 관계없이 이중필터취수정 대비 장기적 안정성이 낮음

Table 129. Required time at 50% yield and the contrast ratio of each test well

Test No.	Regression equation	Q(1/2 yield) (L/min)	T(Required time) (day)	Contrast SS1200(PW4) (%)
SD1200 (PW2)	Q = −1.7058T + 835.7	426.2	240.1	213.3
SS1200 (PW4)	Q = −2.8046T + 661.9	346.3	112.5	100.0%

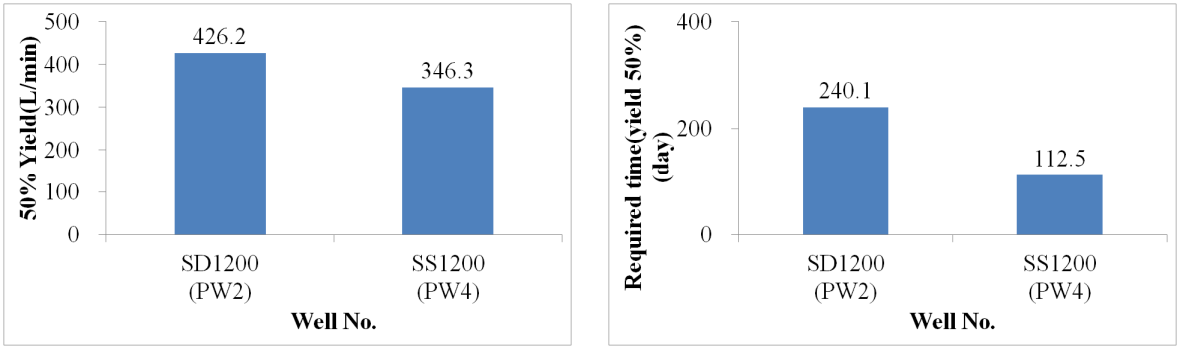


Fig 142. Comparision of 50% yield and required time at 50% yield

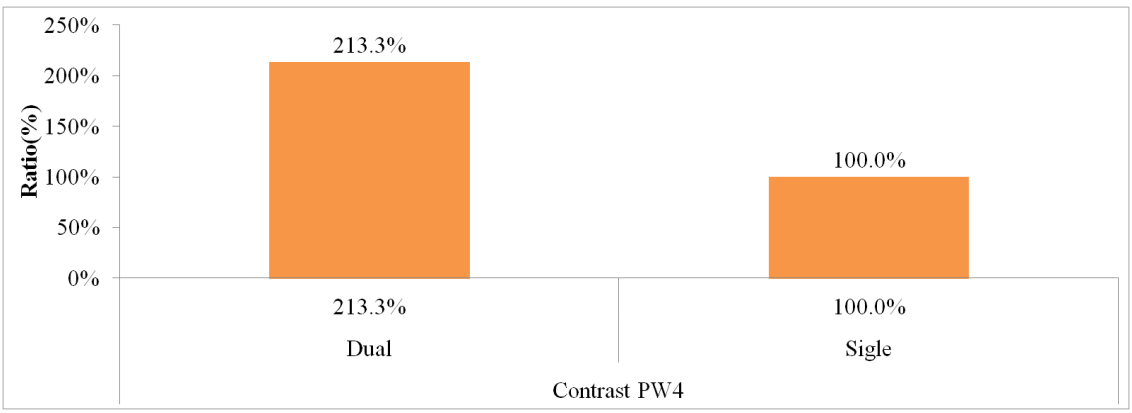


Fig 143. Comparision of SD1200(PW2)/SS1200(PW4)

마. 장기시험 이후 추가 단기시험 성과분석

(1) 초기 투수특성 분석

(가) 분석방법

- 장기시험을 후 이중필터 취수정 1개공과 단일필터 취수정 1개공에 대하여 추가 단계대수성시험을 실시하고 그 결과를 분석
- 투수계수의 산정은 양수정의 수위강하량과 영향권을 이용하는 방법을 적용함

$$\int_{r_w}^{R}\frac{dr}{r}=\frac{2\pi K}{Q}\int_{h_w}^{H}hdh,\qquad K=\frac{2.3\,Q\log(R/r_w)}{\pi(H^2-h_w^2)}$$

여기서, K : 투수계수, Q : 양수량, R : 영향반경, r_w : 양수정의 반경

h_w : 양수정에서의 안정수위, H : 양수 개시전 초기지하수위

Table 130. Application factor for each test well

Test No.	Unconfined aquifer thickness (cm)	Observation well		Groundwater level (GL-cm)	Influence radius (cm)	Well radius (cm)
		No.	distance (cm)			
SD1200(PW2)	1450	OW-2	498	903	5000	20
SS1200(PW4)	1350	OW-4	530	867	5000	20

(나) 단계별대수성시험 성과분석

취수정별 투수계수 분석결과

- 이중필터취수정인 SD1200(PW2)의 각 단계별 투수계수를 산정한 결과 투수계수 범위는 0.190~0.274cm/sec로 평가되었으며, 평균 투수계수는 0.228cm/sec로 분석됨
- 단일필터취수정인 SS1200(PW4)의 각 단계별 투수계수를 산정한 결과 투수계수 범위는 0.124~0.155cm/sec로 평가되었으며, 평균 투수계수는 0.138cm/sec로 분석됨

Table 131. Hydraulic Conductivity by step-drawdown test results

Test No.	Step	Ave. Q (L/min)	Drawdown water level(cm)				k(cm/sec)	
			Pumping well		Oservation well		Use Pumping well	
			Total	Δd	Total	Δd	by step k	Average k
SD1200 (PW2)	step1	618.2	64.2	64.2	7.6	7.6	0.274	0.228
	step2	778.5	94.2	30.0	12.8	5.2	0.242	
	step3	900.7	120.3	26.0	16.6	3.8	0.225	
	step4	1037.3	153.9	33.7	20.9	4.3	0.210	
	step5	1174.3	202.3	48.4	25.1	4.2	0.190	
SS1200(PW4)	step1	482.3	105.5	105.5	17.6	17.6	0.155	0.138
	step2	555.2	141.6	36.1	25.7	8.1	0.139	
	step3	625.9	174.6	33.0	31.2	5.4	0.133	
	step4	692.5	219.9	45.2	36.9	5.7	0.124	

투수계수의 비교

- 평균투수계수는 이중필터취수정 SD1200(PW2)이 0.228cm/sec이며, 단일필터취수정 SS1200(PW4)이 0.138cm/sec로 투수성은 단일필터 대비 이중필터가 약 165.7%의 효율을 보이는 것으로 평가됨
- 1차시험 결과와 비교해보면, 1차 시험에서는 이중필터와 단일필터가 거의 유사한 투수성을 보이는 것으로 평가되었으나 장기시험 및 에어써징 이후의 투수성은 이중필터에서 증가하고 단일필터에서 감소하는 양상을 보임
- 이는 이중필터취수정에서는 에어써징의 효과가 잘 반영되어 필터주위의 세립토사가 잘 배출됨으로써 초기 설치시보다 더 양호한 투수성을 보이는 반면, 단일필터취수정은 에어써징 후에도 세립토사 배출이 원활치 않아 저하된 투수성이 원래상태로 회복되지 못한데 기인한 것으로 판단됨

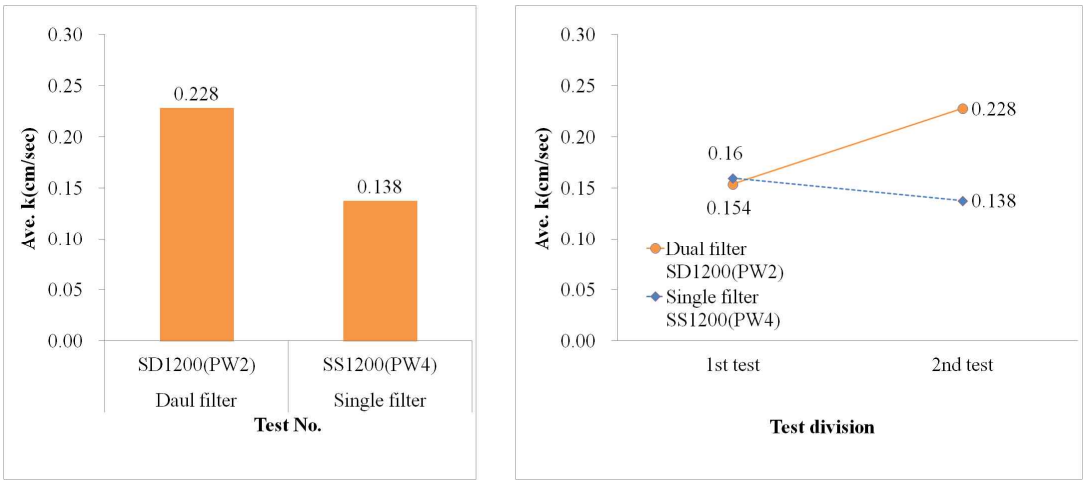


Fig 144. Comparison of Hydraulic Conductivity by step-drawdown test and variation of 1st and 2nd test

유량에 따른 투수계수 변화양상 분석

- 양수량과 상관없이 단일필터인 SS1200(PW4)의 투수성이 이중필터취수정(SS1200(PW2))에 비해 투수성이 낮은 특성을 보임
- 즉, 동일 두께 필터층을 갖는 단일필터 취수정 대비 높은 투수특성을 보이는 것은 필터재의 역할에 따른 것으로 판단되며, 즉, 이중필터가 단일필터에 비해 투수성을 개선시킬 수 있음을 확인함

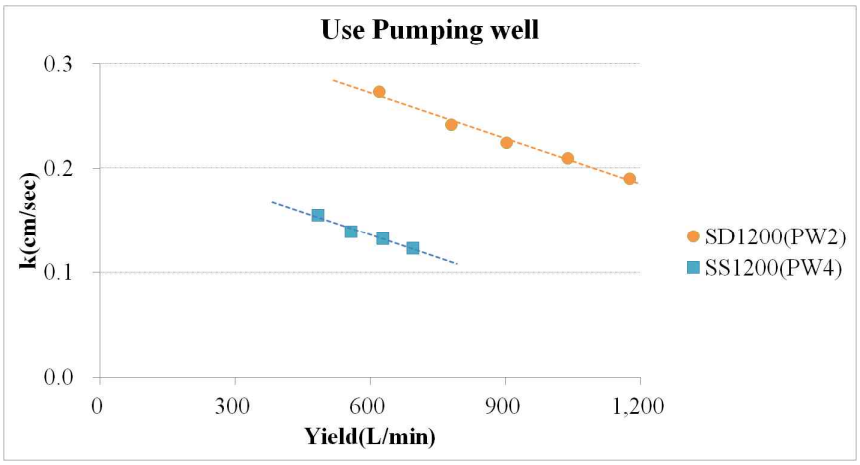


Fig 145. Change of hydraulic conductivity according to yield of test hole

(2) 적정양수량 평가

(가) 수위강하량 분석을 통한 평가

- 각 단계별 평균양수량와 양수정에에서의 수위강하량과의 관계를 분석하고 관계식을 근거로 하여 수위강하 심도가 200cm인 경우로 각각의 조건에 대하여 평가함
- 이중필터취수정인 SD1200(PW2)의 적정양수량은 1156.3L/min로 단일필터취수정 SS1200(PW4)의 적정양수량 740.9L/min 대비 156.1%의 효율을 보이는 것으로 평가됨
- 1차시험 결과 대비 양수량은 이중필터취수정이 126.8%, 단일필터취수정이 99.3%로 단일필터취수정의 양수량은 소폭 감소하였는데 반해 이중필터취수정은 뚜렷이 증가하는 양상을 나타내고 있음
- 이는 이중필터취수정에서는 에어써징의 효과가 단일필터에 비해 잘 발휘되기 때문으로 판단됨

Table 132. Optimum yield for yield regression equation in each well(drawdown level = 200cm)

filter type	Test No.	Regression equation	Coefficient of determination	Optimum yield(L/min)
Dual filter	SD1200 (PW2)	$Q = -0.0147 \times s_w2 + 8.0059 \times s_w + 143.08$	0.9973	1156.3
Single filter	SS1200 (PW4)	$Q = -0.0061 \times s_w2 + 3.9244 \times s_w + 119.99$	0.9842	740.9

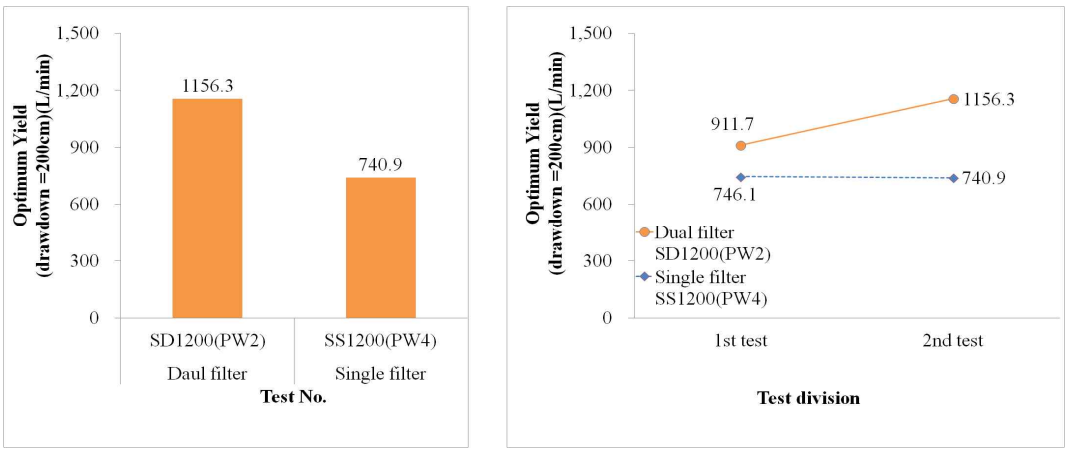


Fig 146. Optimum yield in each test well(drawdown level = 200cm) and variation of 1st and 2nd test

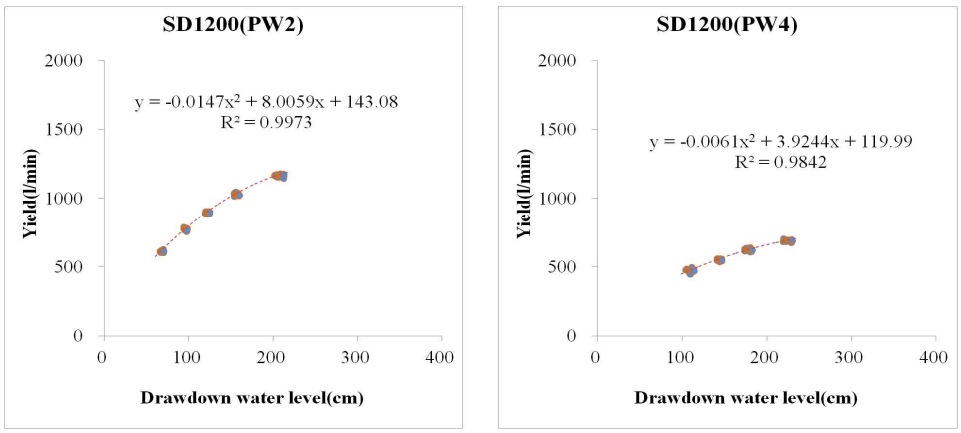


Fig 147. Relationship of drawdown water level and yield in each test well

(나) 비수위강하량을 이용한 평가

비수위강하량과 양수량과의 관계

- 양수량에 따른 비수위강하량의 값이 작을수록 우물에서의 수위강하가 작게 일어나기 때문에 궁극적으로 더 많은 양수량을 확보할 수 있음
- 분석결과 이중필터취수정 SD1200(PW2)와 단일필터취수정 SS1200(PW4)는 유량이 증가할수록 비수위강하량이 일정하게 증가하는 양상을 가지며, 단일필터가 이중필터에 비해 증가율이 상대적으로 높은 것으로 파악됨
- 이는 이중필터취수정에 비해 단일필터취수정의 유량변화에 따른 비수위강하량의 증가가 더 크기 때문으로 양수량이 증가할수록 단일필터취수정보다 이중필터취수정이 수위하강이 적게 되면서 더 많은 취수량을 확보할 수 있음을 입증하는 결과임
- 즉, 이중필터취수정을 설치하는 경우, 단일필터취수정에 비해 더 많은 유량을 확보하면서도 수위강하량을 낮출 수 있어 이중필터층 설치가 취수량 확보에 더 유리하게 작용하는 것으로 유추할 수 있음

Table 133. Specific drawdown for each test

filter type	Test No.	Step	Q		sw		sw/Q
			(L/min)	(㎥/day)	(cm)	(m)	(day/㎡)
Dual filter	SD1200 (PW2))	step1	618.23	890.25	64.19	0.6419	0.00072
		step2	778.51	1121.05	94.23	0.9423	0.00084
		step3	900.65	1296.94	120.26	1.2026	0.00093
		step4	1037.26	1493.65	153.91	1.5391	0.00103
		step5	1174.31	1691.01	202.33	2.0233	0.00120
Single filter	SS1200 (PW4)	step1	482.3	694.51	105.52	1.0552	0.00152
		step2	555.17	799.44	141.6	1.416	0.00177
		step3	625.87	901.25	174.63	1.7463	0.00194
		step4	692.48	997.17	219.85	2.1985	0.00220

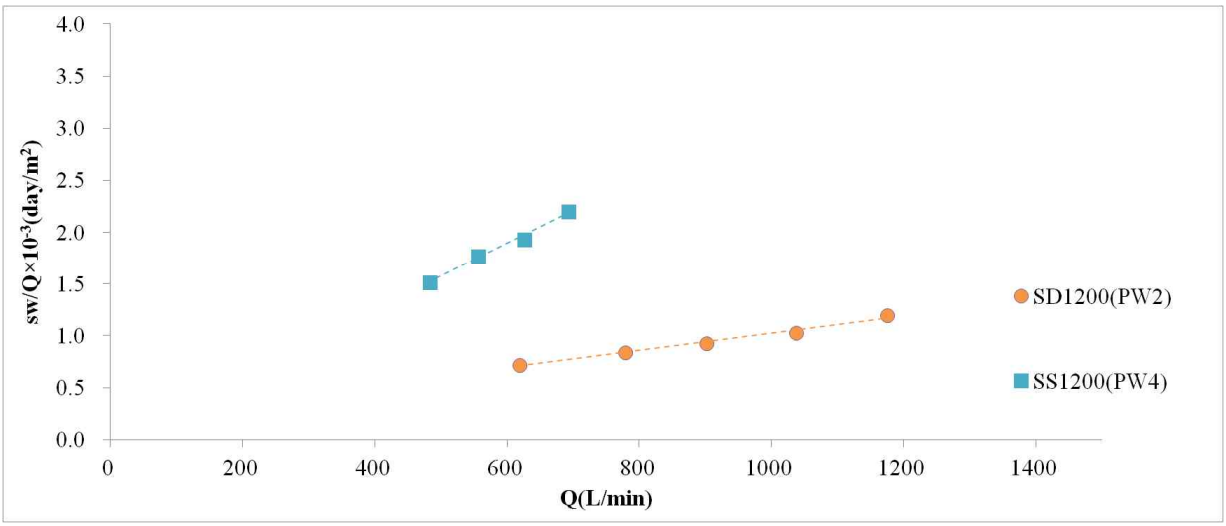


Fig 148. Relationship of Specific drawdown and yield in each well

비수위강하량을 이용한 수위강하 2.0m 일때의 적정양수량 평가

- 적정양수량은 이중필터취수정 SD1200(PW2)에서 1160.9L/min, 단일필터취수정 SS1200(PW4)에서 663.2L/min로 분석되었으며, 양수량은 이중필터 취수정이 단일필터 취수정 대비 175.1%의 효율을 보이는 것으로 평가됨
- 1차시험 결과 대비 양수량은 이중필터취수정이 129.9%, 단일필터취수정이 87.1%로 단일필터취수정의 양수량은 22.9% 감소하였는데 반해 이중필터취수정은 29.9% 증가 양상을 나타내고 있음

Table 134. Optimum yield estimation used specific drawdown equation(drawdown level = 2.0m)

filter type	Test No.	Regression equation (×10−3 d/㎡)	B	C	Optimum Yield(L/min)
Dual filter	SD1200 (PW2)	$s_w = 0.0006Q^2 + 0.1933Q$	0.1933E−03	0.0006E−03	1160.9
Single filter	SS1200 (PW4)	$s_w = 0.0022Q^2 - 0.0067Q$	−0.0067E−03	0.0022E−03	663.2

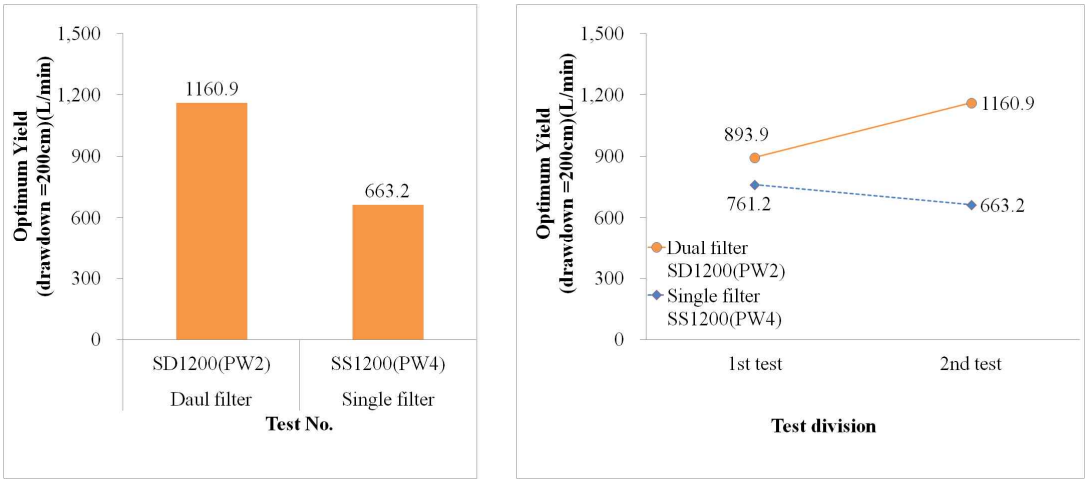


Fig 149. Comparison of optimum yield estimation used specific drawdown equation and variation of 1st and 2nd test

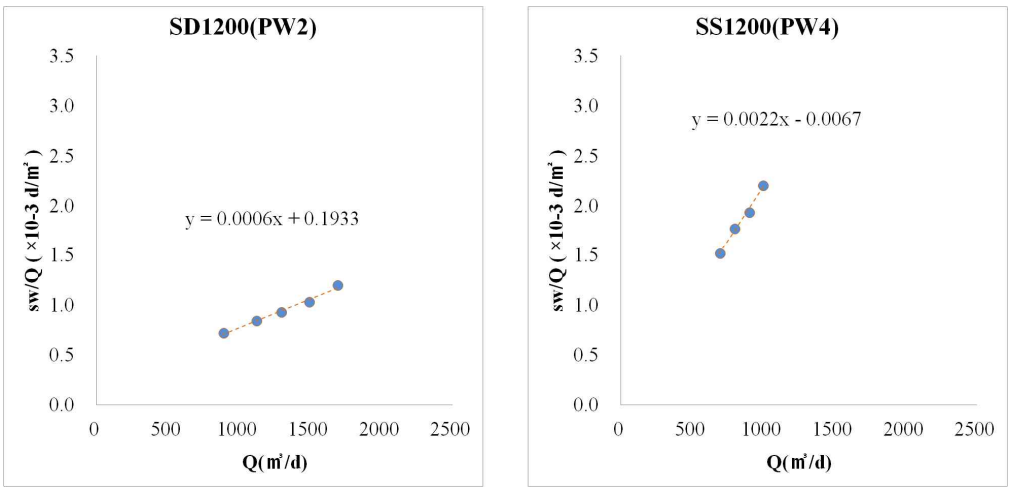


Fig 150. Relational expression of Specific drawdown and yield in each well

(다) 변곡점을 이용한 평가

- 수위강하량에 따른 양수량의 변화추이를 바탕으로 2개의 선형식을 사용하여 그 접점에 해당하는 적정양수량을 평가하였음
- 이중필터취수정인 SD1200(PW2)와 동일두께의 필터층을 갖는 단일필터취수정 SS1200(PW4)을 비교하면, 이중필터 취수정이 단일필터 취수정 대비 약 157.9%의 양수량이 증대되는 것으로 평가됨
- 1차시험 결과 대비 양수량은 이중필터취수정이 110.1%, 단일필터취수정이 90.1%로 단일필터취수정의 양수량은 9.9% 감소하였는데 반해 이중필터취수정은 10.1% 증가하는 양상을 나타내고 있음

Table 135. optimum yield estimation used point of inflection

filter type	Test No.	Regression equation		sw (cm)	Optimum Yield (L/min)
Dual filter	SD1200 (PW2)	Eq 1	$Q = 5.0445 \times s_w + 297.19$	137.5	990.8
		Eq 2	$Q = 2.8304 \times s_w + 601.63$		
Single filter	SS1200 (PW4)	Eq 1	$Q = 2.0765 \times s_w + 262.52$	175.8	627.7
		Eq 2	$Q = 1.4730 \times s_w + 368.64$		

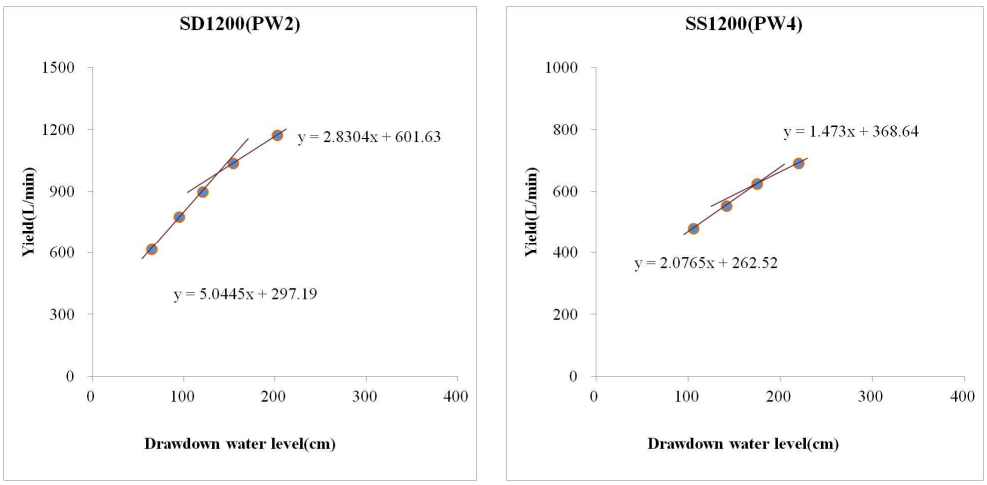


Fig 151. Graph of inflection point estimation used linear equation

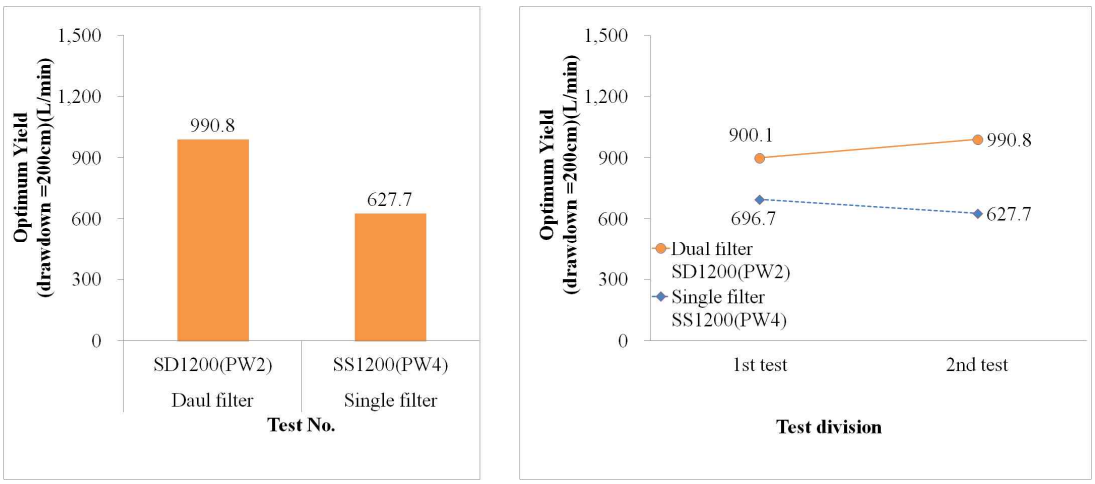


Fig 152. Comparison of optical yield for dual and single filter well and variation of 1st and 2nd test

바. 수질특성 평가

(1) 분석내용 및 기준

분석내용

- 장기양수시험 과정에서 강변여과수의 수질 변화양상을 평가하기 위하여 2019년 7월 4일부터 2019년 9월 25일까지 총 18회에 걸쳐 수질분석 수행
- 분석항목은 설치된 강변여과수를 충주시 물놀이 시설 사용계획에 따라, 생활용수 기준항목에 해당하는 수소이온농도, 총대장균군, 질산성질소, 염소이온, 카드뮴, 비소, 시안, 수은, 다이아지논, 파라티온, 페놀, 납, 크롬, 1.1.1-트리클로로에탄, 테트라클로로에틸렌, 트리클로로에틸렌, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌 등 총 20개 항목임
- 시료채취 및 분석방법 : 시료 채취 및 분석은 수질분석 법정 자격을 가진 분석기관이 직접 채취하고 분석을 수행함
- 수질시료 채취대상 : 현장 설치 우물 4개소(이중필터취수정 2개소 및 단일필터취수정 2개소) 및 하천수

수질기준

- 지하수 수질기준 중 본 연구에 적용된 생활용수 기준은 아래 표와 같음

Table 136. Groundwater quality

항 목		생활용수
일 반 오염물질 (5개)	수소이온농도(pH)	5.8~8.5
	대장균군수	5,000 이하(MPN/100㎖)
	질산성질소	20 이하
	염소이온	250 이하
	일반세균	1㎖중 100CFU 이하
특 정 유해물질 (15개)	카 드 뮴	0.01 이하
	비 소	0.05 이하
	시 안	불검출
	수 은	불검출
	유 기 인	불검출
	페 놀	0.005 이하
	납	0.1 이하
	6가크롬	0.05 이하
	트리클로로에틸렌	0.03 이하
	테트라클로로에틸렌	0.01 이하
	1.1.1-트리클로로에탄	0.15 이하
	벤 젠	0.015 이하
	톨 루 엔	1 이하
	에틸벤젠	0.45 이하
	크 실 렌	0.75 이하

(2) 분석결과

총대장균군

- 분석결과 모든 취수정에서 생활용수 기준을 만족하는 것으로 평가되었으며, 하천수의 경우에는 1회 기준치의 10.8배에 달하는 총대장균군이 검출되었음
- 전반적으로 하천수에서 높은 수치를 나타내며, 평균값을 볼 때, 하천수가 강변여과수 대비 1328~27200% 높은 수치를 보이는 것으로 파악됨
- 이는 강변여과수를 사용하는 경우 하천수 대비 총대장균군의 수를 큰폭으로 감소시킬 수 있음을 의미함
- 단일필터와 이중필터 취수정에서의 유의미한 차이는 보이지 않음

Table 137. Total Coliforms numbers by date in long term pumping test

구분	총대장균군 : Water quality standard 5,000이하(군수/100mL)				
	SD1200(PW1)	SD1200(PW2)	SS300(PW3)	SS1200(PW4)	River
2019-07-04	350	33	23	13	350
2019-07-09	5	2	70	불검출	140
2019-07-15	280	13	8	불검출	54000
2019-07-19	17	33	13	불검출	540
2019-07-24	13	920	불검출	불검출	350
2019-07-29	11	1600	불검출	2	3500
2019-08-02	2	11	2	불검출	140
2019-08-07	33	70	70	불검출	170
2019-08-12	22	8	2	6	170
2019-08-16	26	21	8	불검출	110
2019-08-21	8	5	17	불검출	1600
2019-08-26	13	2	14	불검출	240
2019-08-30	2	4	22	불검출	220
2019-09-04	79	불검출	79	5	2400
2019-09-09	70	불검출	170	36	460
2019-09-16	불검출	1600	불검출	33	220
2019-09-20	17	49	33	4	84
2019-09-25	220	11	불검출	8	790

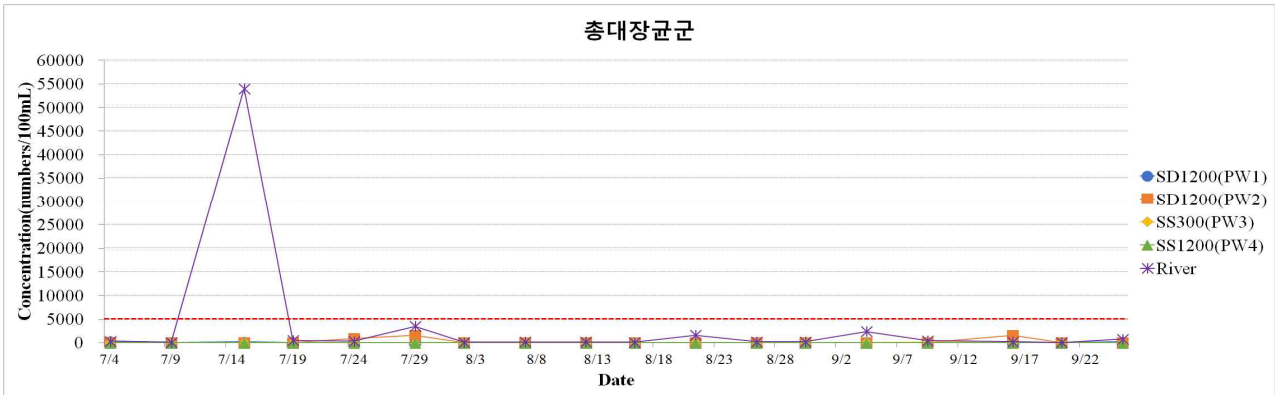


Fig 153. Variation of Total Coliforms over time in long term pumping test

pH

- 분석결과 모든 취수정에서 생활용수 기준을 만족하는 것으로 평가되었으며, 하천수의 경우에는 3회 기준치인 8.5를 초과하는 pH가 분석됨
- 전반적으로 하천수에서 높은 pH값을 나타내고 있으며, 시간경과에 따른 pH값 또한 매우 불규칙적인 양상을 보이는 반면, 강변여과수를 취수하는 우물에서는 7.0~7.5구간에서 일정한 양상의 pH를 나타내는 것으로 파악됨
- 즉, 강변여과수를 사용하는 경우 외부요인에 따른 pH 변화가 크지 않고 일정한 값을 유지할 수 있음을 확인함
- 단일필터와 이중필터 취수정에서의 유의미한 차이는 보이지 않음

Table 138. pH by date in long term pumping test

구분	pH : Water quality standard 5.8~8.5				
	SD1200(PW1)	SD1200(PW2)	SS300(PW3)	SS1200(PW4)	River
2019-07-04	7.2	7.1	7.3	7.4	8.4
2019-07-09	7.3	7.2	7.3	7.2	8.3
2019-07-15	7.2	7.1	7.1	7.8	8.3
2019-07-19	7.2	7.3	7.3	7.5	8.2
2019-07-24	7.1	7.1	7.1	7.3	7.8
2019-07-29	7.0	7.1	7.1	7.2	7.6
2019-08-02	7.1	7.2	7.2	7.2	7.0
2019-08-07	7.5	7.4	7.3	7.4	8.4
2019-08-12	7.2	7.4	7.3	7.4	8.3
2019-08-16	7.3	7.4	7.3	7.4	9.0
2019-08-21	7.3	7.4	7.3	7.5	9.3
2019-08-26	7.2	7.4	7.2	7.2	9.0
2019-08-30	7.2	7.3	7.4	7.3	8.1
2019-09-04	7.2	7.3	7.4	7.3	8.0
2019-09-09	7.2	7.3	7.4	7.4	7.9
2019-09-16	7.2	7.2	7.2	7.4	8.1
2019-09-20	7.2	7.4	7.5	7.5	8.2
2019-09-25	7.2	7.2	7.1	7.3	7.8

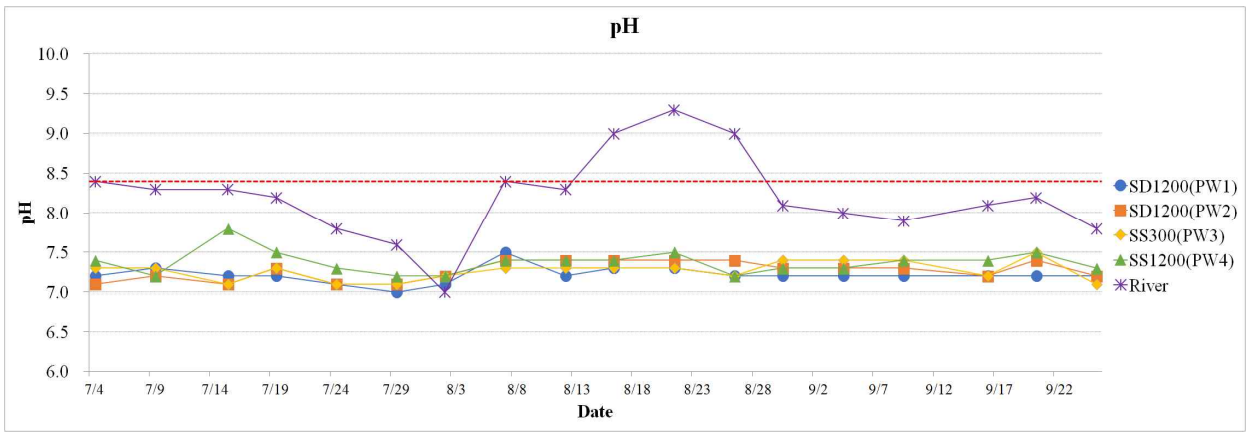


Fig 154. Variation of pH value over time in long term pumping test

질산성질소(NO_3-N)

- 분석결과 모든 취수정에서 생활용수 기준을 초과하지 않는 것으로 평가되었으며, 하천수에서도 기준치 이내로 평가됨
- 시간경과에 따른 NO_3-N 함량 변화는 원수 및 취수정 모두에서 불규칙적인 양상을 나타내나 그 변화가 크지 않고 일정한 값을 보이는 것으로 파악됨
- 하천수에서 비교적 낮은 값을 나타내고 있으며, 강변여과수에서 상대적으로 높은 값을 보이고 있는데 이는 강변여과수 설치부지가 공원부지로 장기적이고 지속적인 시비 영향으로 판단됨

Table 139. NO_3-N value by date in long term pumping test

구분	질산성질소 : Water quality standard 20mg/L이하				
	SD1200(PW1)	SD1200(PW2)	SS300(PW3)	SS1200(PW4)	River
2019-07-04	8.5	5.5	2.6	2.0	1.6
2019-07-09	1.9	2.4	2.2	8.6	1.6
2019-07-15	7.5	2.8	2.3	0.1	0.9
2019-07-19	8.7	4.0	3.2	1.6	0.8
2019-07-24	8.6	7.6	3.7	1.5	0.9
2019-07-29	8.8	8.9	7.9	1.4	2.1
2019-08-02	9.3	8.8	7.2	2.6	2.0
2019-08-07	8.9	8.7	5.1	1.7	1.4
2019-08-12	8.9	8.9	9.3	2.1	1.4
2019-08-16	8.6	8.8	9.2	2.4	1.1
2019-08-21	8.1	9.0	9.8	3.8	1.1
2019-08-26	9.4	9.3	9.2	3.3	0.8
2019-08-30	7.7	5.4	9.0	3.3	1.4
2019-09-04	5.6	6.3	9.0	3.9	1.1
2019-09-09	5.4	6.2	7.9	2.8	1.6
2019-09-16	5.8	6.1	5.4	1.7	0.9
2019-09-20	5.9	5.7	5.1	2.0	1.3
2019-09-25	6.8	6.4	5.7	1.5	1.7



Fig 155. NO_3-N value over time in long term pumping test

염소이온(Cl)

- 분석결과 모든 취수정에서 생활용수 기준을 초과하지 않는 것으로 평가되었으며, 하천수에서도 기준치 이내로 평가됨
- 시간경과에 따른 Cl 함량 변화는 원수 및 취수정 모두에서 일정한 양상을 나타냄
- 염소이온의 함량은 취수정과 하천수 모두에서 기준치 대비 약 10% 내외 수준임

Table 140. Cl value by date in long term pumping test

구분	염소이온 : Water quality standard 250mg/L이하				
	SD1200(PW1)	SD1200(PW2)	SS300(PW3)	SS1200(PW4)	River
2019-07-04	23.7	24.5	19.2	22.0	26.3
2019-07-09	21.3	22.9	25.0	23.9	19.2
2019-07-15	23.8	21.6	18.5	27.7	29.0
2019-07-19	24.5	22.1	17.0	19.9	21.9
2019-07-24	23.3	23.4	21.6	19.3	16.7
2019-07-29	23.8	26.0	23.8	20.3	9.8
2019-08-02	26.2	22.4	20.5	21.2	16.1
2019-08-07	26.8	26.4	23.0	21.0	18.8
2019-08-12	27.6	27.8	24.8	21.0	16.4
2019-08-16	25.1	27.7	25.7	21.8	21.4
2019-08-21	26.0	28.6	26.3	23.6	23.2
2019-08-26	27.4	26.7	26.0	24.1	25.8
2019-08-30	28.0	25.1	25.3	22.9	23.4
2019-09-04	28.7	26.5	26.7	22.5	23.9
2019-09-09	28.6	27.2	27.8	25.1	21.1
2019-09-16	27.0	26.4	28.9	24.0	19.3
2019-09-20	29.8	28.6	32.7	27.5	22.7
2019-09-25	31.2	26.0	19.1	25.5	12.0

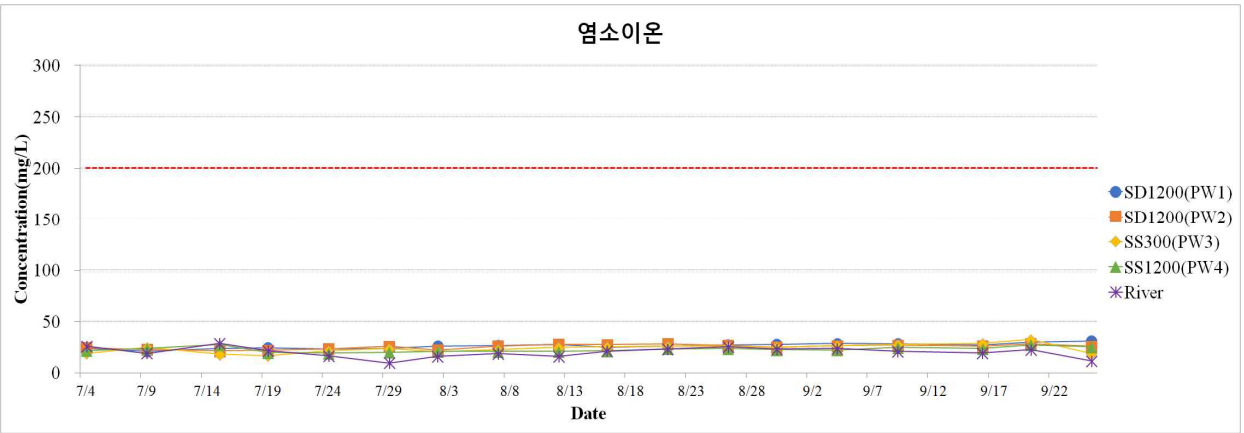


Fig 156. Variation of Cl over time in long term pumping test

톨루엔

- 분석결과 모든 취수정 및 하천수에서 생활용수 기준을 초과하지 않는 것으로 평가됨
- 강변여과수를 취수하는 우물에서 불규칙적으로 일부 검출이 되었으나 그 함량이 기준치의 2%이하로 매우 작아 용수 사용에 전혀 문제없는 수준임

Table 141. Toluene value by date in long term pumping test

구분	염소이온 : Water quality standard 250mg/L이하				
	SD1200(PW1)	SD1200(PW2)	SS300(PW3)	SS1200(PW4)	River
2019-07-04	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
2019-07-09	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
2019-07-15	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
2019-07-19	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
2019-07-24	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
2019-07-29	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
2019-08-02	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
2019-08-07	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
2019-08-12	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
2019-08-16	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
2019-08-21	불검출	불검출	불검출	0.002	불검출
2019-08-26	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
2019-08-30	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
2019-09-04	0.005	0.004	0.002	불검출	불검출
2019-09-09	0.003	0.002	0.003	불검출	불검출
2019-09-16	0.004	0.004	0.004	불검출	불검출
2019-09-20	불검출	0.002	불검출	불검출	불검출
2019-09-25	0.004	불검출	0.004	0.003	불검출

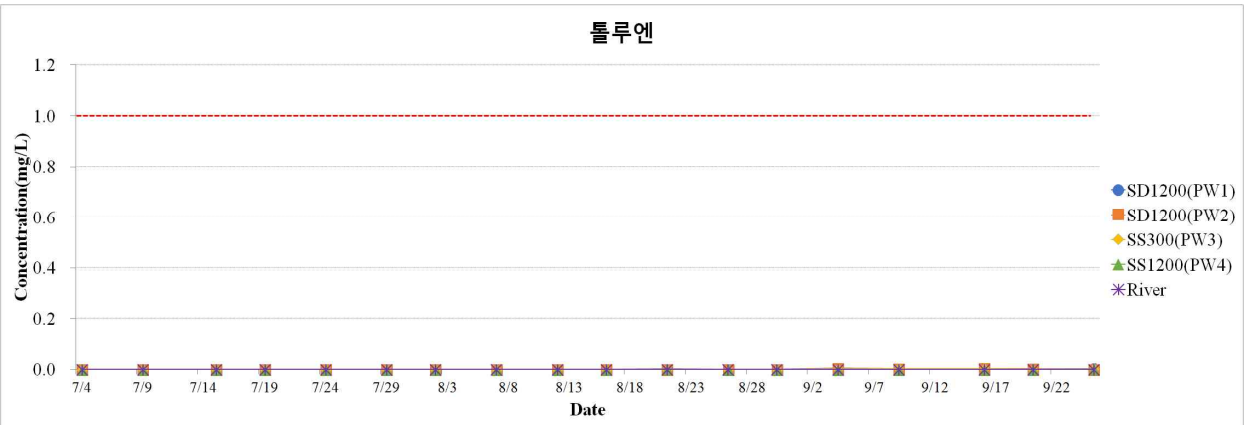


Fig 157. Variation of Toluene over time in long term pumping test

그 외 항목

- 생활용수 분석항목에 해당하는 카드뮴, 비소, 시안, 수은, 다이아지논, 파라티온, 페놀, 납, 크롬, 1,1,1-트리클로로에탄, 테트라클로로에틸렌, 트리클로로에틸렌, 벤젠, 에틸벤젠, 크실렌 항목에서는 취수정 및 하천수 모두에서 해당 항목이 불검출 되었음

사. 에어써징 효율평가

(1) 시험개요

- 장기시험 수행 이후, 에어써징에 대한 현장실증시험을 통해 이중필터취수정과 단일필터취수정의 취수량 개선효과를 평가함
- 장기시험에서는 시험 후 3일 이후의 양수량 및 수위강하량 평균값을 기초자료로 활용
- 에어써징 후 단계시험에서는 각 단계별 양수량과 수위강하량과의 관계를 분석하여 관계식을 도출
- 도출 관계식을 바탕으로 장기시험에서 평가된 수위강하량을 대입하여 에어써징 후 양수량 도출
- 도출된 에어써징 후의 양수량과 에어써징 전의 장기시험 결과를 비교 분석하여 개선율 산정

(2) 평가결과

에어써징 전 장기시험 결과

- 장기시험에서 시험 시작 후 3일 경과 이후의 안정된 상태에서 이중필터취수정 SD1200(PW2)의 평균 양수량은 809.3L/min로 평가되었으며, 이때의 지하수위 강하량은 평균 304.03m로 평가됨
- 또한, 동일 기간의 단일필터취수정 SS1200(PW4)의 평균 양수량은 618.52L/min로 평가되었으며, 이때의 지하수위 강하량은 평균 274.25m로 평가됨

Table 142. Average yield and drawdown level after 3day in each well

Time (day)	SD1200(PW2)		SS1200(PW4)	
	Average yield(L/min)	drawdown level (m)	Average yield(L/min)	drawdown level (m)
4	852.4	303.1	692.7	294.1
5	840.9	304.2	661.6	279.5
6	826.0	303.9	643.7	270.7
7	810.9	299.6	640.4	270.8
8	811.0	305.3	641.2	275.0
9	809.6	310.2	638.8	280.8
10	812.3	315.7	628.8	273.4
11	815.7	305.2	625.2	273.9
12	814.8	302.1	609.3	263.4
13	814.9	302.7	615.8	274.1
14	814.8	302.6	615.7	283.3
15	814.3	305.7	601.6	267.9
16	814.3	310.1	602.5	266.7
17	797.7	299.2	601.9	268.1
18	797.7	299.1	603.2	271.5
19	796.4	300.6	606.1	275.2
20	798.0	302.2	603.2	271.5
21	796.3	301.2	600.0	268.6
22	796.6	301.9	601.2	275.0
23	798.5	302.1	599.8	274.7
24	799.1	302.4	600.1	278.4
25	797.9	304.8	604.9	274.7
26	797.5	305.5	603.3	276.8
27	795.0	307.4	603.4	273.8
Average	809.27	304.03	618.52	274.25

에어써징 후 단계양수시험 결과

- 에어써징 이후의 단계양수시험 결과를 바탕으로 양수량과 수위강하량과의 관계를 다음과 같이 도출함

Table 143. Optimum yield for yield regression equation in each well

filter type	Test No.	Regression equation	Coefficient of determination
Dual filter	SD1200 (PW2)	$Q = -0.0147 \times s_w2 + 8.0059 \times s_w + 143.08$	0.9973
Single filter	SS1200 (PW4)	$Q = -0.0061 \times s_w2 + 3.9244 \times s_w + 119.99$	0.9842

성과분석

- 써징 후 수행한 단계양수시험 분석을 통해 이중필터취수정 SD1200(PW2)에서 수위강하량 304.03cm(써징전 지하수위 강하량), 단일필터취수정 SS1200(PW4)에서 수위강하량 274.25 일때의 양수량을 평가하였음
- 평가는 에어써징 이후 수행한 단계시험결과에서 산출된 수위강하량과 양수량과의 관계식을 이용함
- 분석결과 써징전 수위강하량 이중필터취수정의 경우 150.5%, 단일필터취수정의 경우 132.2%의 양수효율이 증대되는 것으로 평가됨
- 이중필터취수정에서 높은 에어써징 효과를 보이는 것은 취수관 내에서의 에어써징 보다는 필터재에서의 에어써징이 병행되는 경우에 보다 높은 개선효과가 나타나기 때문으로 판단됨

Table 144. Improvement rate based on air surging test

구분	SD1200(PW2)		SS1200(PW4)	
	Before Surging	After Surging	Before Surging	After Surging
Drawdown water level(cm)	304.03	304.03	274.25	274.25
Yield(L/min)	809.27	1218.3	618.52	817.5
Improvement rate	-	150.5%	-	132.2%

아. 현장실증시험 성과 종합

(1) 투수특성

단계대수성시험 성과

- 양수정을 이용한 투수계수 분석결과에서는 동일 양수량 대비 이중필터의 투수계수가 높게 나타나며, 이는 이중필터가 단일필터에 비해 투수성이 개선된 영향으로 판단됨
- 단계대수성시험 분석결과 이중필터 취수정에서 우물 개량의 정도가 양호하여 단일필터 대비 110.3%의 투수계수 상승효과가 발생하는 것으로 분석됨

연속대수성시험 성과

- 관측정 및 양수정을 이용한 투수계수 분석에서 이중필터 취수정(SD1200(A))이 단일필터 취수정(SS800)에 비해 높은 투수특성을 나타내는 것으로 평가됨
- 연속대수성시험 분석결과 이중필터가 단일필터 대비 평균 110.7%의 투수계수 상승효과가 발생하는 것으로 판단됨

회복시험 성과

- 이중필터 취수정(SD1200(A))이 단일필터 취수정(SS800)이 동일한 투수특성을 나타내는 것으로 평가되었으며, 원지반 토사를 필터재로 사용한 SD1200(B)에서 높은 투수계수를 나타냄
- 회복시험 분석결과, 투수계수가 필터재의 역할보다는 원지반의 투수성에 따른 영향에 지배를 받는 것으로 판단됨

(2) 적정양수량 평가

수위강하량 분석을 통한 평가

- 지층구성이 일치하는 이중필터 취수정인 SD1200(A)과 단일필터 취수정 SS800을 비교하면, 이중필터 취수정이 단일필터 취수정 대비 약 437.1L/min 높은 적정양수량을 보이는 것으로 평가됨
- 즉, 단일필터 취수정 대비 이중필터 취수정이 122.8% 양수량이 증대되는 것으로 평가됨

비수위강하량을 이용한 평가

- 비수위강하량을 이용하여 지하수위면에서 2.0m 수위하강시의 적정양수량을 산정한 결과 이중필터인 SD1200(A)의 경우, 2552.4L/min로 분석되었으며, 단일필터인 SS800의 경우, 1875.3L/min로 평가됨
- 이중필터와 단일필터를 비교하면, 이중필터가 단일필터에 비해 136.0% 높은 적정양수량을 보이는 것으로 분석됨

변곡점을 이용한 평가

- 이중필터의 SD1200(A)의 적정양수량은 2848.3L/min로 평가되었으며, 단일필터인 SS800의 적정양수량은 1777.5L/min로 평가되었음
- 이중필터와 단일필터의 적정양수량을 비교하면, 이중필터가 단일필터에 비해 160.0% 높은 적정양수량을 보이는 것으로 분석됨

2-5. 협동연구기관 연구수행내용 및 성과(대상부지조사)

가. 실증실험대상부지 조사

(1) 대상부지 선정

- 강변여과수는 하상충적층의 지질학적 특성과 지형학적 특성에 따라 지하수의 함수량, 개발가능량이 달라지므로 이를 고려하여 위치를 선정하여야 하며 대용량 취수를 위하여 하천수와 지하수 사이의 유기적인 관계가 잘 형성되어야 함
- 또한 수량과 수질이 직·간접적인 영향을 미치기 때문에 하천주변의 지하수 순환시스템에 영향을 미치는 지질학적인 요소와 수리인자를 조사, 계측하여 모니터링 할 필요성이 있음
- 유역 전체의 지하수 함량 및 개발가능량을 평가하고 최대 가능 지하수개발기술을 실용화하기 위하여 대상지 충적층 구간에 충적 대수층을 대상으로 대용량 지하수개발공으로 다양한 집수정(단일필터, 이중필터, 필터규모변화 등)을 시험시공하여 장기적인 지하수 개발량의 변화, 수질의 변화를 확인하고자 함
- 이를 위해 취수기술개발을 위한 대상부지는 하천변 충적층을 대상으로 한정하였다. 그러므로 수문학적, 기상학적, 지형학적, 지질학적 요소를 종합 고려한 충적발달지역 중 저지대의 구하상과 범람원으로 이루어진 지역과 산지에 발달한 분지형 하천과 평야와 인접한 하천으로 구분하여 검토

(2) 대상부지 선정기준

Table 145. 대상부지 선정기준

조건	선정기준	세부사항
자연조건	하천수문요건 수문지질요건 하천/지하수 배경요건	-양호한 유효공극률 및 투수성의 대수층 존재여부 -하천변 충적층 발달여부 -하천유량의 상시 확보여부 -충적층 지하수의 기본수질조사
사회조건	취수필요성 경제활동현황 관계법령 및 개발계획	-수자원 이용현황 및 공급예상 지역 -공급필요성 및 개발요구량 -주변취락발달 및 경작형황 -하천법, 지하수법 적용성 검토 및 기 수립계발계획
경제조건	예비개발가능량 취수/정수비용 공급관로비용	-수변지역 개발 가능량 -기존시설 연계 가능성 및 근접성 -취수 및 정수비용 -공급관로 및 기타 보상비 등

주) 수변지역 대용량 지하수 개발을 위한 조사/설계 요령, p.33, 수변지하수활용 고도화 연구단

(3) 조사범위

• 대상부지 조사항목 및 각 항목별 주요 장비와 내용은 다음과 같음

Table 146. 조사방법 및 내용

조 사 항 목		조 사 목 적	1차년도	2차년도	3차년도
현장조사	정천현황조사	•조사지역 주변의 지하수시설 현황 파악	1식	1식	1식
	시 추 조 사	•지층분포 확인 및 시험공으로 활용	2공	3공	3공
	지하수위측정	•지하수위 분포현황 파악	2회	3회	3회
물리탐사	전기비저항탐사	•조사지역 내 전기비저항의 분포를 파악	0.3km	0.6km	705m
	굴절법탄성파탐사	•조사공 중심으로 전체적인 지층분포 파악	-	-	120m
현장시험	표준관입시험	•N값을 이용한 지반 분류 및 시료채취	20회	51회	46회
	대수성시험	•장기양수(12시간) 및 회복시험	1회	1회	-
	순간충격시험	•공별 투수계수 파악	-	-	3회
실내시험	실내토질시험	•함수비, 비중, 액·소성한계, 입도 등	6회	9회	11회
	수 질 분 석	•생활용수(비음용)수질기준	3지점	3지점	3지점

조 사 항 목		조 사 장 비 명
현장조사	시 추 조 사	•회전수세식 유압형 시추기 Power-4500형
	관측정설치	•HI-VP(50mm)무공관, 유공관, 보호캡, 충진재 등
	지하수위측정	•Water level Indicator (100m)
물리탐사	전기비저항탐사	•SAS-1000(ABEM, Sweden) 및 부대품
	굴절법탄성파탐사	•Seismograph(Geometrics, USA), Geophone 및 Cable 등
현장시험	표준관입시험	•KS F 2307 규정에 의한 Split Spoon Sampler
	대수성시험	•자동수위측정기(DIVER), 적정유량계(오리피스), 모터 등
	순간충격시험	•자동수위측정기(DIVER), Dummy(4m), 노트북 등
실내시험	실내토질시험	•실내토질시험기(기본물성시험)
	수 질 분 석	•실내수질분석시험기(생활용수)

(가) 현장조사

① 정천현황조사

- 본 조사지역의 지하수개발현황을 파악하기 위하여 시추조사 지점을 중심으로 반경 0.5km 내에 해당하는 지역을 조사대상지역으로 선정하여 현장조사를 실시
- 기설관정의 이용량은 국가지하수정보센터의 이용실태를 적용하였고, 지하수 이용량은 국토부에서 2013년도에 발간한 지하수 이용량 산정요령에 의하여 산정



Fig 158. 정천현황조사

② 시추조사

시추조사의 목적

- 지반의 수직적 분포상태를 파악 및 실내시험 시료 채취
- 현장시험(표준관입시험, 대수성시험 등) 및 관측공으로 활용
- 회수된 코아상태, Slime상태 등으로 암반상태 및 파쇄정도 파악

시추조사의 방법

- 풍화암층을 포함한 토사층은 S.P.T Sampler에 의하여 시료를 채취하였으며 기반암층에서는 코아 회수율을 높여 정확한 암질상태를 파악하기 위하여 D-3 Core Barrel 및 Diamond Bit 사용
- 채취된 암석 Core는 육안관찰에 의하여 암석 내에 분포된 절리와 절리면의 충전물 등을 파악하고 절리의 분포상태, TCR, RQD 등의 암반특성을 평가할 수 있는 자료를 조사하여 시추주상도에 기재



Fig 159. 시추조사 전경

시추조사공을 이용한 관측정 설치

- 시추조사 완료 후 현장시험 및 지하수위 관측을 위하여 관측정을 설치
- 관측정자재는 HI-VP(50mm*1.5m)의 무공관과 유공관, 상·하부캡, 충진재(규사 및 벤토나이트) 등으로 구성
- 관측정설치 후 오염 및 훼손 방지를 목적으로 관측정보호캡을 설치



Fig 160. 관측정 설치

③ 지하수위측정

지하수위 측정의 목적

- 시추조사 완료 후 안정된 지하수위를 측정하여 지하수위 분포현황을 파악

지하수위 측정의 방법

- 지하수위 측정은 지하수체(Ground Water Body) 상면의 위치 또는 시추공에 나타나는 정수면(Piezometric Surface)의 위치를 지표면 또는 일정한 기준면(케이싱 및 보호시설 상단)부터의 심도를 측정
- 각 시추공별 지하수위 측정은 작업수로 인한 공내수위가 아닌 안정된 지하수위를 얻을 수 있도록 측정
- 측정된 지하수위는 계절 및 기상현상에 따라 다소 변동이 있을 것으로 추정



Fig 161. 지하수위 측정

(나) 물리탐사

① 전기비저항탐사

전기비저항탐사의 목적

- 대상지역에 대하여 지층의 전기비저항의 분포를 파악하고 대수층의 심도별 분포위치에 따른 강변 여과수 가능지역을 분석하여, 이의 결과에 의해 예비시추조사 및 착정공 위치를 선정하여 취수가능량 등의 취수방안 타당성을 검토하는 기초자료로 사용

전기비저항탐사의 방법 및 원리

- 지하의 전기적인 물성의 차이에 의한 반응을 지표에서 측정하여 지하 구조물 영상화시키는 모든 방법을 큰 의미의 전기탐사라 한다. 그 중 쌍극자배열 전기비저항탐사는 지하매질의 수평, 수직적 전기전도도 변화를 잘 반영하는 신뢰성 높은 방법으로, 각종 지질조사에 널리 적용되고 있으며, 전류 전극과 전위 전극을 이용하여 지하매질의 전기비저항 분포를 알아내는 방법
- 전기비저항의 크기를 결정하는 여러 가지 요소로서는 공극율, 공극의 유체포화율, 공극 내 유체의 성질, 조암광물의 종류, 구성입자의 크기 및 성질, 고화도 등을 들 수 있으며, 파쇄대 및 기타 지질구조의 형태 등도 전기비저항의 변화에 큰 영향을 줌

전기비저항탐사의 자료처리

- 전기비저항탐사 자료처리는 현장에서 측정한 자료를 바탕으로 겉보기비저항 가단면도를 작성하고, 이를 토대로 지하구조를 모델링하여 2차원 단면으로 나타냄
- 지하구조 모델링을 위한 자료해석은 전기비저항 탐사자료 해석 프로그램인 DIPRO (for windows, Ver. 4.0)를 이용

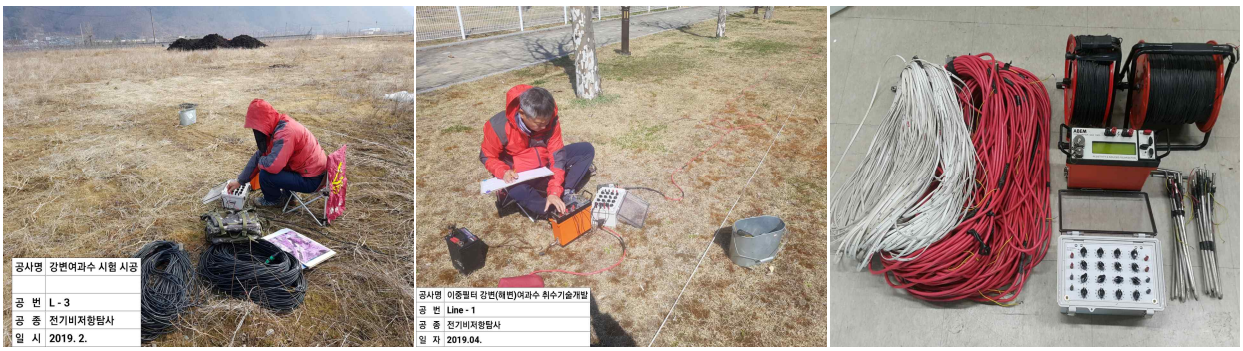


Fig 162. 전기비저항탐사 전경 및 장비

② 굴절법탄성파탐사

굴절법탄성파탐사의 목적

- 대상지역에 대하여 굴절법탄성파탐사를 실시하여 지하매질의 탄성파속도 분포 단면을 작성하여, 속도 단면을 통한 지층상태를 파악하여 이의 결과에 의해 예비시추조사 및 착정공 위치를 선정하여 취수가능량 등의 취수방안 타당성을 검토하는 기초자료로 사용

굴절법탄성파탐사의 방법 및 원리

- 굴절법 탐사는 매질의 탄성특성에 의해 전파되는 탄성파 중 지표 바로 아래를 통해 도달한 직접파와 지하 매질 내 경계면으로부터 굴절되어 지표에 도달한 굴절파를 기록하고 가장 먼저 도달하는 초동(First arrival)을 발췌(Picking)한 후 이를 해석함으로써 지층의 심도 및 지하의 속도구조를 규명하는 탐사 방법
- 해머 및 다이너마이트를 통해 지하매질에 진동 즉, 탄성파를 발생시킨 후 발생된 탄성파가 지하매질내에서 전파하다가 탄성파속도가 변하는 매질의 경계면에서 굴절되어 지표로 되돌아오면 이를 수진기를 통해 측정하여 초동시간을 구한 후 이를 이용하여 역으로 매질의 탄성파속도 분포를 구하는 탐사법으로 초동주시로부터 탄성파속도를 구하는 방법으로는 지연시간법(Delay-Time Method), 파면법(Wavefront Method), 파선추적법(Ray Tracing), GRM(Generalized Reciprocal Method), 토모그래피 역산법(Tomography Inversion Method) 등이 있다.

암종분류 및 암종별 탄성파속도

Table 147. 그룹별 암종 분류

구 분	A 그룹	B 그룹
대표적 암석명	•편마암, 사질편암, 녹색편암 •각섬암, 석회암, 사암, 휘록암 •응회암, 역암, 화강암, 섬록암 •감람암, 사교암, 유문암 •안산암, 현무암	•흑색편암, 녹색편암 •휘록응회암, 셰일, 이암 •응회암, 집괴암
함유물 등에 의한 시각판정	•사질분, 석영분을 다량 함유하고, 암질이 단단한 것 •고결정도가 높은 것	•사질분, 석영분이 거의 없고, 응회분이 많은 것 •판매상인 것

Table 148. 암종별 탄성파속도(건설표준품셈)

구 분	개 요	그룹	자연상태의 탄성파속도 (km/sec)	암편의 탄성파속도 (km/sec)	암편 내압강도 (kg/cm2)
풍화암	•암질이 부식되고 균열이 1~10cm정도 약간의 화약을 사용해야 할 암질로써 일부는 곡괭이를 사용할 수도 있는 암질	A B	0.7~1.2 1.0~1.8	2.0~2.7 2.5~3.0	300~700 100~200
연 암	•혈암, 사암 등으로 균열이 10~30cm정도로서 굴착 또는 절취에는 화약을 사용해야하나 석축용으로는 부적합한 암질	A B	1.2~1.9 1.8~2.8	2.7~3.7 3.0~4.3	700~1,000 200~500
보통암	•풍화상태를 엿볼 수 있으나 굴삭 또는 절취에는 화약을 사용해야 하며 균열이 30~50cm정도의 암질(석회석, 다공질안산암 등)	A B	1.9~2.9 2.8~4.1	3.7~4.7 4.3~5.7	1,000~1,300 500~800
경 암	•화강암, 안산암 등으로 굴착에는 화약을 사용해야 하며 균열이 1m이내로서 석축용으로 쓸 수 있는 암질	A B	2.9~4.2 4.1이상	4.7~5.8 5.7이상	1,300~1,600 800이상
극경암	•암질이 대단히 밀착된 단단한 암질(규암, 각섬석 등 석영질이 풍부한 경암)	A B	4.2이상	5.8이상	1,600이상

Table 149. 탄성파속도 및 불연속면 발달빈도에 따른 리핑암과 발파암의 분류

구 분		토 사	리핑암	발파암
탄성파속도 (m/sec)	A 그룹	700 이하	700~1,200	1,200 이상
	B 그룹	1,000 이하	1,000~1,800	1,800 이상
표준관입시험치 (N)		50/10 미만	50/10 이상	-
불연속면 발달빈도	BX 크기	-	TCR = 5% 이하 RQD = 0% 정도	TCR = 5~10% 이상 RQD = 0~10%
	NX 크기	-	TCR = 25% 이하 RQD = 0% 정도	TCR = 25% 이상 RQD = 0~10% 이상
강도구분		표토층, 풍화잔류토층	풍화암	연암, 경암



Fig 163. 탄성파탐사 전경 및 장비

(다) 현장시험

① 표준관입시험

표준관입시험의 목적

- 시추조사와 병행하여 N값으로부터 지층의 상대밀도 및 연·경도를 확인
- 지반 강도특성 및 변형특성을 파악하기 위하여 심도 1.0m간격 또는 지층이 변할 때마다 실시
- 시료(교란)를 채취하여 육안판별 및 물성시험 시료로 이용

표준관입시험의 방법

- 시험장비는 Drive Hammer(63.5kg), Split Barrel Sampler
- 63.5kg의 해머를 낙하고 75cm에서 자유낙하 시켜 Split Spoon Sampler를 30cm 관입시키는데 소요되는 타격회수를 측정
- 한국산업규격(KS F 2307)에 따름
- 정확한 타격에너지가 전달되도록 로드의 수직도, 햄머의 낙하고 및 연결부의 상태 등 점검
- 관입량 30cm미만에서 타격수 50회 이상일 때 타격중단 후 50/관입량(cm) 기록
- 심도 1.0m마다 또는 지층의 변화가 있을때 마다 실시
- Split Barrel을 분리시켜 교란시료 채취 - 채취된 시료는 육안에 의한 토질분류

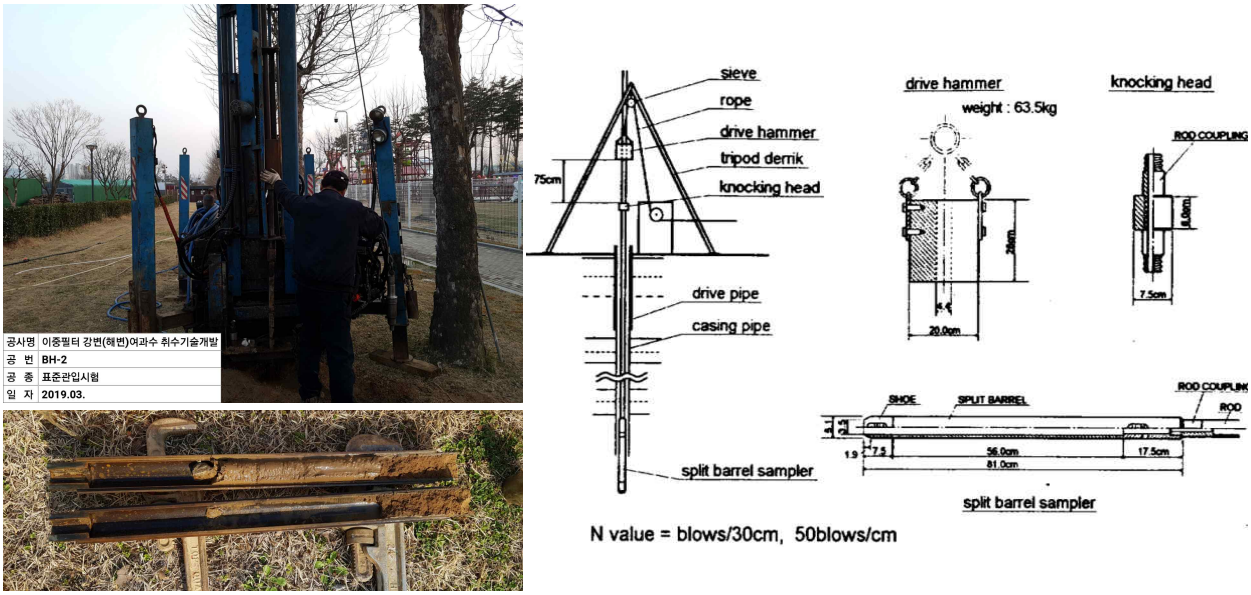


Fig 164. 표준관입시험 전경 및 모식도

② 대수성시험

대수성시험의 목적

- 시추조사 완료 후 관측공 대수층의 투수량계수, 저류계수, 수리전도도 등의 수리특성 결정하여 양수로 인한 주변에 미치는 수리적 영향을 분석하기 위한 기초자료 획득

대수성시험의 방법

- 수리상수를 구하기 위하여 장기양수시험(12시간)을 수행한 후 즉시 수위회복시험을 병행하는 방법으로 양수량은 유량측정장치(적산유량계, 오리피스)를 이용
- 수위변화량은 관측공 내에 설치한 자동수위측정기(DIVER)와 지하수위측정기를 이용
- 해석방법은 AQTESOLV PROGRAM을 이용하여 양수시험은 Theis법, Cooper-Jacob법, Neuman법 등 3가지 방법으로 분석하였고, 회복시험은 Theis Recovery법을 적용



<자동수위 측정기 설치> <양수시험> <회복시험>

Fig 165. 대수성시험

③ 순간충격시험(Slug Test)

순간충격시험의 목적

- 순간적인 수위변화를 유발시킨 후 그 회복양상을 관측함으로써 수리상수를 측정
- 대수층의 수리상수 추정을 통한 모델영역의 수리전도도(K) 분포 및 대수층의 경계조건 파악을 통한 지하수 모델링의 기초 자료로 활용

순간충격시험의 방법

- 주입방법 : 자연수위를 확인 후 체적을 알고 있는 물체(Dummy)를 시추공 내에 순간적으로 삽입시키면 투입물체에 해당하는 체적만큼 지하수위가 시추공 내에서 순간적으로 상승한 후 서서히 주변 대수층의 투수구간으로 배출되어 나가면서 수위 회복
- 제거방법 : 주입시험 후 수위가 원상태로 회복된 순간 시추공내에 투입시켰던 물체를 시추공 밖으로 뽑아내면 투입한 물체의 체적만큼 지하수위가 순간적으로 하강한 후 서서히 상승하여 원상태로 회복



Fig 166. 순간충격시험

(라) 실내시험

① 실내토질시험

- 시추조사 시 표준관입시험에 의해 채취한 토사 시료를 선별하여 실내시험을 실시

시험항목	관련규정	시험항목	관련규정
함 수 비	KS F 2306	비 중	KS F 2308
액·소성한계	KS F 2303	입도분석	KS F 2302

② 수질분석

- 시추조사에서 채취한 수질시료는 국가공인 수질검사기관인 (주)혜성환경에 지하수 수질보전 등에 관한 규칙 제11조의 규정에 따라 생활용수(비음용, 수소이온농도 등 19개 항목) 기준으로 의뢰함



Fig 167. 수질시료채취

나. 1차년도 실증실험 대상부지 조사

(1) 후보지 검토

(가) 청양군 후보지 검토

청남면 인양리 490 (지천/금강 합류지)

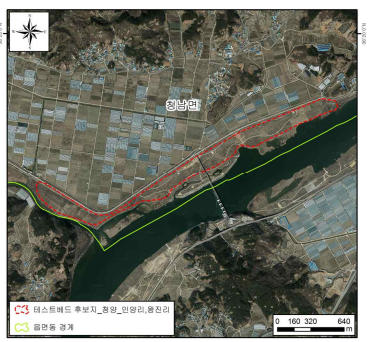
- 금강과 합류하는 지천의 하류구간
- 주변에 농경지가 발달하고 다량의 용수가 필요함
- 충적층의 심도가 깊고 모래 및 자갈층의 발달이 예상되어 강변여과수 개발이 가능한 지역임
- 민물어자원 보호구역으로 관리
- 지자체 협의 결과 : 현재 농경지의 용수공급이 일부 부족하나 강변여과수인 집수정 개발은 차후 재협의

청남면 천내리 151-14 일원

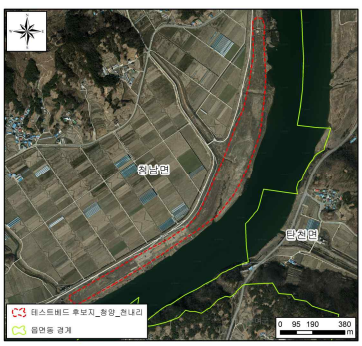
- 4대강인 금강변에 위치하고 충적층이 발달
- 금강변의 대규모 농경지가 위치하여 농업용수로 개발가능
- 집수정 개발은 국가하천부지로서 국토부와 협의가 필요

금강-보령댐 도수로 취수지

- 백제보 하류(부여군 규암면-보령댐 (2016년 도수로 D=1.1m 건설) 부여교 인근 현 취수방식은 강변에 보를 설치하여 직접취수, 직접취수로 인한 기후영향, 수위의 영향으로 수질이 악화된 상태의 물(3~4등급)을 취수하여 보령댐에 공급
- 직접취수장 주변에 강변여과수 개발로 장기적인 안정취수 및 양질의 수질(2~3등급)을 공급할 수 있음
- 하천수의 직접취수방식을 강변여과수에 의한 간접취수방식으로 전환을 충남도에 건의(5/31, 물의 행사)하여 긍정적인 답변을 받음
- 그러나 국가하천에 시설물 설치 문제와 현재의 가뭄상태에서 시공은 불가하며, 장기적인 대응책으로 협의가 필요함



<지천/금강 합류지>



<청남면 천내리>



<금강-보령댐 도수로>

Fig 168. 청양군 후보지검토 현황

(나) 예산군 후보지 검토

예산군 신암면 중예리 506-4 일원(삽교천 구간)

- 구만교 ~ 예당대교, 고수부지 L=1,700m
- 과거 바닷물 유입, 상부에 뻘층 형성
- 하부에 실트 및 모래층 존재로 집수정 개발 가능
- 주변 농경지는 삽교천 용수로 경작
- 과거 하천변 고수부지에 농경지를 경작하였으나 현재는 비경작상태임
- 가뭄시 농업용수 부족현상을 겪음

무한천 지역(창조유수지공원 인근 고수부지)

- 주변 농경지 하우스 재배
- 무한천교 까지 약 1,300m 고수부지형성
- 토층의 심도가 10m 이내로 추정
- 북측에 하수종말처리장 위치
- 예산읍과 접하여 집수정 개발시 농업용수 및 생활용수로 사용가능

무한천 지역(무한천 체육공원 일원)

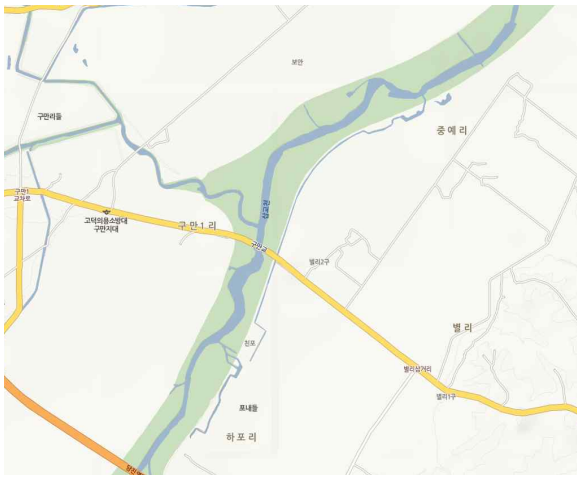
- 무한천 체육공원(무한천교 ~ 예산대교)
- 고수부지내 체육시설, 자전거도로 위치
- 예산읍에 인접하여 하천변에 체육시설이 건설되어 있으며, 생활하수의 유입이 우려됨
- 천변에 비닐하우수가 밀집되어 용수공급이 가능하나 충적층의 발달이 미약함

무한천 지역(예산대교 ~ 예당저수지 구간)

- 상수도 보호구역, 토층의 심도 10~20m 예상
- 인근 농공단지 및 수막재배지 분포
- 강변여과수 개발가능/ 예당저수지 하류구간임

지자체 협의내용

- 예산군이 가뭄으로 물부족이 심각하여 대규모 용수개발이 필요함
- 현재 하천수는 농경지 용수를 위하여 하천변에 유공관을 설치하여 취수 중에 있음.
- 강변여과수 개념의 집수정 설치는 토층의 심도가 10m미만으로 적용성이 약하고, 현재 수로와 유공관을 통한 취수지역과 저촉되어 민원이 발생될 여지가 있으므로 금년에 적용하기에는 어려움



<신암면 중예리>



<창조유수지공원 인근 고수부지>



<무한천 체육공원 일원>



<예산대교 ~ 예당저수지 구간>

Fig 169. 예산군 후보지검토 현황

(다) 진위천 후보지 검토

주요 조사내용

- 현재 지하수 5공(2공은 암반지하수 취수공(D200mm) 100~120m, 3공은 강변여과 취수공(D50mm) 약 7m)을 설치하여 일부 사용중이나, 수량이 충분하지 못하고 석회질, 철 성분 등으로 원수가 매끄러운 촉감이 있어서 불쾌감을 주고 있음
- 수영장 원수의 경우 2014년까지는 하천수를 이용하였고, 2015년부터 지하수를 이용하려 하였으나 수량이 충분하지 못하고, 수질이 미확보되어 2015년부터 송탄정수장에서 용수를 공급받아 사용 중임, 순환수의 수질정화는 가압필터에 의한 여과장치를 사용중임
- 수영장 용수 공급용으로 사용중이므로 활용가능한 수질이 확보되어야 함
- 하루 200톤 이상의 수량이 확보되어야 하며 염소처리가 가능하여야 함
- 향후 취수공을 설치하는 경우 펌프에 의해 저류조로 압송되어야 함
- 기존에 취수공에 대한 수질 조사와 평택시 송탄출장소와 협의 필요

지자체 협의 내용

- 강변여과수 취수기술 연구용역 설명
- 진위천 시민유원지의 물부족 현안에 대한 대책으로 강변여과수 개발협의
- 문화관광팀은 운영부서로서 추가적인 물개발이 필요함
- 하천내 시설물 설치로 인한 제반 사항은 하천과와 협의 후 처리
- 주변정천현황 및 시설물 현황 요청
- 시추조사, 전기비저항탐사, 양수시험 등 지반조사와 대수성시험을 선 시행 후 시험 시공위치 및 수량을 선정키로 협의



Fig 170. 진위천 후보지검토 현황



Fig 171. 진위천 현장조사 및 협의

(라) 경남지역 후보지 검토

주요 협의 내용

- 한국농어촌공사 경남지역본부와 이중필터 취수정과 단일필터 취수정의 효율평가를 시험하기 위한 테스트배드 부지공여 협조요청 및 공조협의
- 기상이변으로 물 부족현상을 격고 있는 농어촌지역의 물 확보를 위한 지하수 개발 (비상시 대비용)
- 대규모 비닐하우스 재배단지, 농공단지, 농경지에 건기 또는 간절기 가뭄현상을 해결하기 위한 대규모 취수정 개발 필요
- 강변여과 개발 또는 지하댐 용수개발의 대규모 취수정, 지하수 함용 취수정 개발이 필요함
- 한국농어촌공사는 강변여과 및 지하댐 개발예정지역에 부지를 공여하고, 연구단은 공여부지내에 시험공을 설치하여 현장시험에 의한 가능 취수량, 시험공의 효율 등을 조사
- 하우스 재배단지
  - 위치 : 법수지구(함안군), 단목지구(진주시)
  - 내용 : 인공함양을 위한 취수정 개발,
  - 계획 : 취수정 및 관로공사에 필요한 설계, 연구단이 필요한 시험용 취수정에 대한 지자체와 협의(
- 지하댐 개발지
  - 위치 : 경상남도 농업용수개발지 75개소 선정
  - 내용 : 1차 선정지역중 1개소 시험 시공계획
  - 계획 : 현장답사를 통한 가능지역 5개소 선정 및 지반상태 및 취수량 상태 파악을 위한 당사업단의 취수정공법으로 시험시공, 10월중 위치선정 후 지반조사 및 취수공 시공계획 설계(11월), 2018년 상반기에 현장 정밀조사 후 시공계획 협의(4월)





Fig 172. 농어촌공사 경남지부 공법설명 및 협의

(마) 후보지 선정

- 현재까지의 검토결과를 토대로 평택시 진위천 부지를 1차 대상부지로 선정함

(2) 선정부지조사 성과

(가) 조사지역

• 경기도 평택시 진위면 마산리 일원(진위천 유원지 내)



Fig 173. 조사위치도

(나) 지형현황

• 본 조사지역은 행정구역상 경기도 평택시 진위면 마산리 일원으로 진위천시민유원지 내에 위치한다. 북남방향으로 서울1호선의 진위역과 1번 국도가 서쪽에 위치하고, 경부고속도로가 동쪽에 인접하여 있으며, 이를 314번, 317번 지방도가 연계되어 교통에 용이함

• 주요 산계로는 조사지역 북쪽의 무봉산과 남쪽의 덕암산, 부락산이 위치하고, 그 외 낮은 구릉성 산지(△200m이하)들이 분포한다. 수계는 산계에서 발달한 수지상의 계곡에서 동서류하는 진위천으로 합류하여 아산만을 걸쳐 최종적으로 서해로 유입됨

(다) 지질현황

• 본 조사지역은 1:50,000 오산도폭(1973년)에 해당되며, 선캠브리아기의 편마암류(석영운모편암, 반상변정편마암, 규장편마암, 흑운모편마암 등)가 넓게 분포하고, 일부 중생대 백악기의 규장암맥이 관입하고 있으며, 이를 신생대 제4기의 충적층이 덮고 있음

• 조사지역의 기반암은 괴상, 주입 및 혼성편마암의 흑운모편마암과 석영장석이 주성분인 규장편마암, 안구상 또는 괴상구조의 반상변정편마암 등의 경계부이고, 충적층은 하천을 따라 발달하며 점토, 실트, 모래, 자갈 등으로 구성되고 농가 및 도심지를 이루고 있음



Fig 174. 지질도 및 지질계통

(라) 현장조사

① 정천현황조사

- 지하수개발현황을 파악하기 위하여 실시한 정천현황조사는 시추조사 관측공 2개소의 중심을 기준으로 반경 0.5km에 해당하는 지역을 조사대상지역으로 선정하여 현장조사를 실시
- 이용 중인 관정 및 지하수는 총 9개소로 조사되었고, 이들에서 사용하는 지하수량은 42.2m^3/day로 조사되었다. 기설관정의 이용량은 국가지하수정보센터의 이용실태를 바탕으로 현장조사 결과를 사용하였으며, 지하수 이용량은 국토부에서 2013년도에 발간한 지하수 이용량 산정요령에 의하여 산정하였다. 또한 조사지역내 샘 및 유출지하수는 현장조사 결과 없는 것으로 조사됨

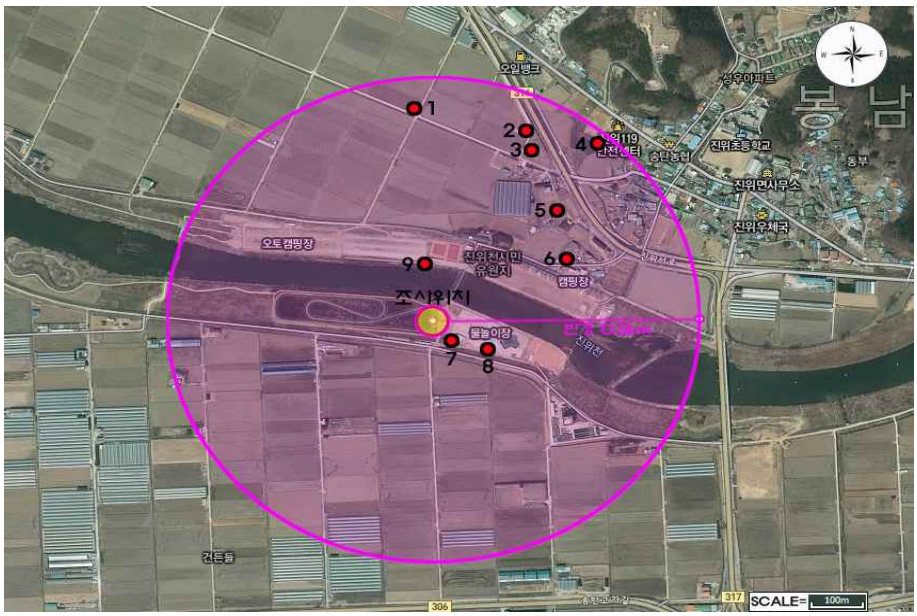


Fig 175. 정천현황조사

Table 150. 시설현황

구 분	번 호	주 소	시 설 현 황				
			일사용량 (m3/day)	심 도 (m)	구 경 (mm)	펌 프 (HP)	토출관 (mm)
허가	1	진위면 견산리 128-1	8.141	105	200	15.0	50
신고	2	진위면 견산리 110-2	0.627	150	150	1.0	25
신고	3	진위면 봉남리 456-2	3.508	20	50	1.0	25
신고	4	진위면 봉남리 304-17	3.741	30	50	0.3	15
기타	5	진위면 봉남리 379	3.631	20	50	0.3	16
신고	6	진위면 봉남리 433	3.741	30	50	0.3	16
신고	7	진위면 마산리 609-9	4.467	100	200	2.0	32
신고	8	진위면 마산리 961	4.511	150	200	3.0	50
허가	9	진위면 봉남리 398	9.791	15.5	4,100	10.0	80
총 계 (m3/day)			42.158				

② 시추조사

• 본 조사지역 지층의 구성 상태 등을 파악하는 목적으로 총 2개소에 수행하였으며, 시추조사 완료 후 대수성시험 및 수위측정을 위한 관측정으로 활용

Table 151. 지층현황

공 번	매립층	퇴적층	풍화토	연 암	보통암	계	SPT 횟수
BH-1	0.0~0.8 (0.8)	0.8~4.0 (3.2)	4.0~7.5 (3.5)	7.5~9.0 (1.5)	9.0~15.0 (6.0)	15.0	7
BH-2	0.0~1.0 (1.0)	1.0~5.5 (4.5)	5.5~13.8 (8.3)	13.8~15.0 (1.2)	-	15.0	13
합 계	1.8	7.7	11.8	2.7	6.0	30.0	20

단위 : m, ()안은 층후



Fig 176. 시추조사 위치도

Table 152. 지층 개요

지 층	지 층 개 요
매립층	• 지표면부터 0.8~1.0m의 층후로 분포한다. 구성성분은 자갈섞인 실트질모래(SM)로 구성되어 있으며, 토사의 수분함량은 습윤 상태이며, 색조는 갈색의 색상을 띄고 있다.
퇴적층	• 지표면 하 0.8~1.0m의 심도에서 3.2~4.5m의 층후로 분포하고, 구성성분은 모래섞인 입도불량한자갈(GP)로 구성되어 있으며, 수분함량은 습윤~젖음의 상태이며, 색조는 갈색, 회갈색, 암갈색의 색상을 띄고 있다. • 표준관입시험에 의한 N값은 7회/30cm~23회/30cm로 느슨(Loose)~보통조밀(Medium Dense)한 상대밀도(Relative Density)를 나타내고, 자갈의 크기는 약 1~7cm의 직경으로 관찰된다.
풍화토	• 지표면 하 4.0~5.5m의 심도에서 3.5~8.3m의 층후로 분포하고, 구성성분은 실트질 모래(SM)로 구성되어 있으며, 토사의 수분함량은 습윤 상태이며, 색조는 갈색, 암갈색의 색상을 띄고 있다. • 표준관입시험에 의한 N값은 23회/30cm ~ 50회/12cm로 보통조밀(Medium Dense) ~ 매우조밀(Very Dense)한 상대밀도(Relative Density)를 나타내고 있다.
연 암	• 본 층은 과업지역의 기반암의 연암으로 편마암으로 구성되며, 지표면 하 7.5~13.8m의 심도에서 1.2~1.5m의 층후로 확인되었다. 색조는 회색, 암회색의 색상을 나타내며, 전반적으로 파쇄대가 발달되어 있다. • 풍화상태는 심한풍화(Highly Weathered)~보통풍화(Moderately Weathered), 강도는 약함(Weak)~보통강함(Medium Strong)을 보이고, 코아회수율(TCR)은 66~73%이고, 암질지수(RQD)는 0~22%이다.
보통암	• 본 층은 과업지역의 기반암의 보통암으로 편마암으로 구성되며, BH-1공에서만 확인되었다. 지표면 하 9.0m의 심도에서 6.0m의 층후로 확인되었으며 색조는 회색, 암회색의 색상을 띄고, 전 구간에 걸쳐 엽리의 발달이 뚜렷하게 관찰된다. • 풍화상태는 보통풍화(Moderately Weathered)~약간풍화(Slightly Weathered), 강도는 보통강함(Medium Strong)~매우강함(Very Strong)을 보이고, 코아회수율(TCR)은 92~94%이고, 암질지수(RQD)는 61~72%이다.

③ 지하수위 분포

- 본 조사지역 내 지하수위 분포현황을 파악하기 위하여 총 2개소 수직 시추공에서 시추작업 완료 후 시간이 경과한 다음 안정된 지하수위를 측정
- 지하수위 분포는 G.L(−) 1.85~2.00m로 측정되었으며, 인근의 하천 및 계곡의 수위변화와 계절 및 강우량에 따라 지하수위의 변화가 예상됨

Table 153. 지층 개요

공 번	표 고 EL(+)m	지하수위 G.L(−)m	지하수위표고 EL(+)m	지층명, 구성성분	굴진심도 G.L(−)m
BH−1	14.80	2.00	12.80	퇴적층, 모래섞인 입도불량한자갈	15.0
BH−2	14.20	1.85	12.35	퇴적층, 모래섞인 입도불량한자갈	15.5

(마) 물리탐사

① 전기비저항탐사

- 조사지역에 대하여 지층의 전기비저항의 분포를 파악하고 대수층의 심도별 분포위치에 따른 강변여과수 가능지역을 분석하여, 이의 결과에 의해 착정공 위치를 선정하여 취수가능량 등의 취수방안 타당성을 검토하는 기초자료로 활용하기 위해 총 2측선(L−1, L−2)에서 전기비저항탐사를 실시

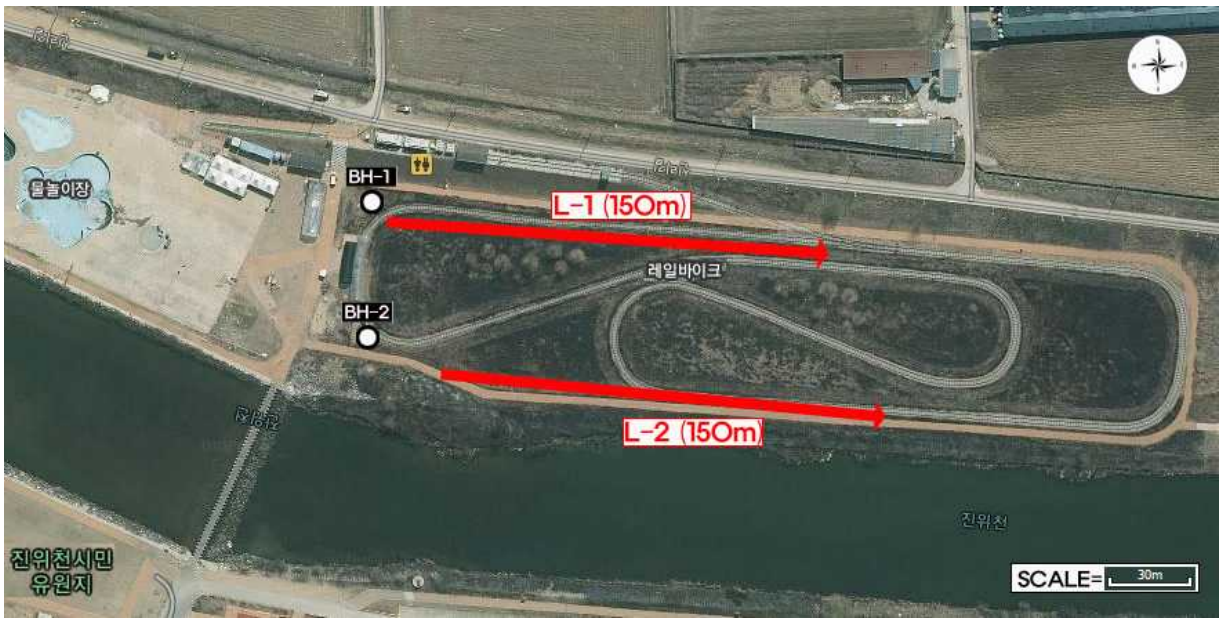
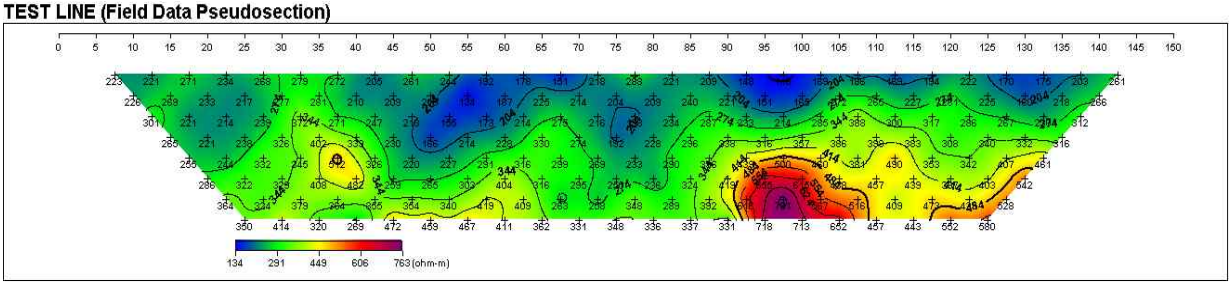


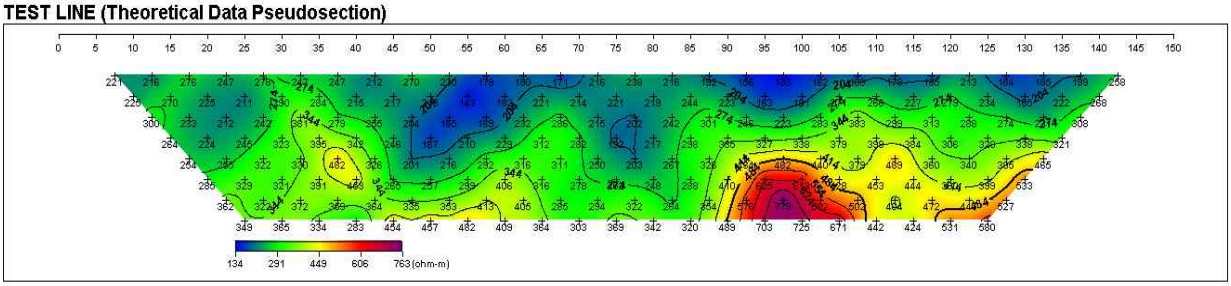
Fig 177. 전기비저항탐사 위치도

Table 154. Line-1(L=150m, 제방측) 탐사 결과

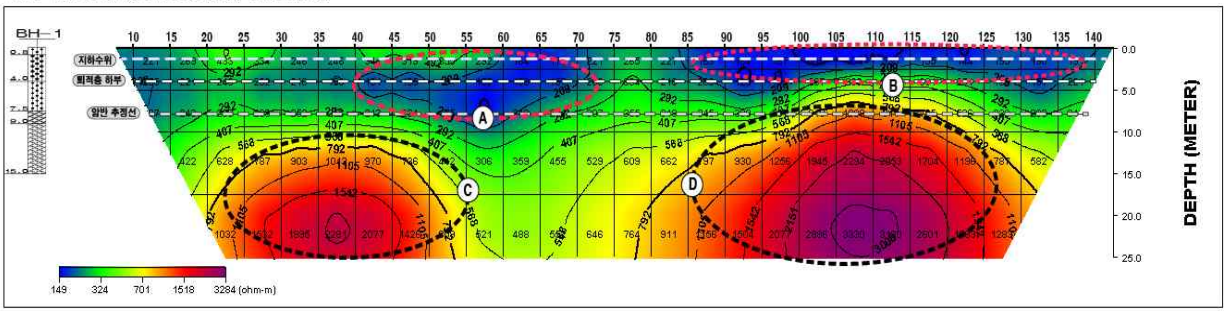
TEST LINE (Field Data Pseudosection)



TEST LINE (Theoretical Data Pseudosection)



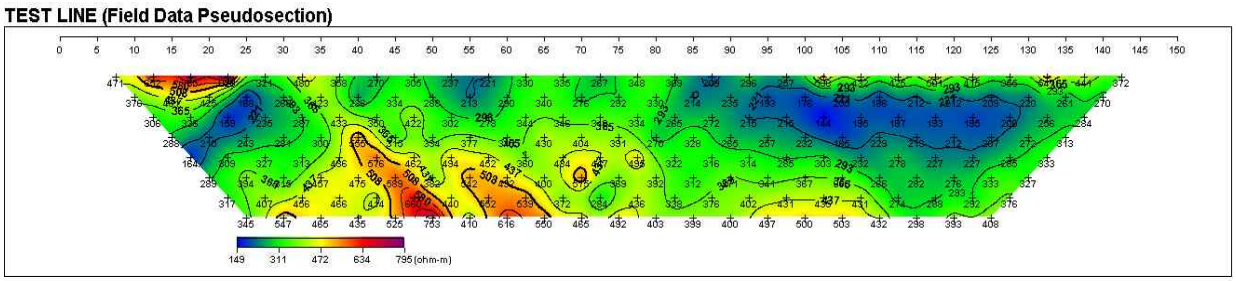
Line-1(A=5m) (2D Resistivity Structure)

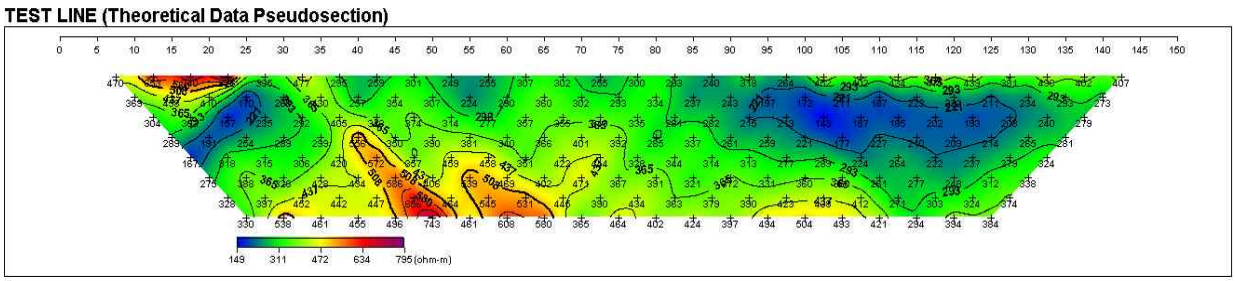


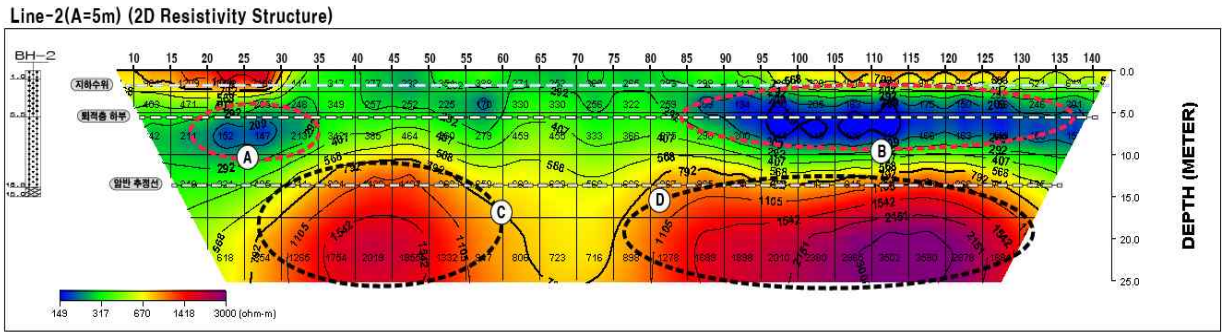
구 분	항 목	저비저항대		고비저항대	
		Ⓐ-Zone	Ⓑ-Zone	Ⓒ-Zone	Ⓓ-Zone
Line-1 (BH-1)	구간(m)	40.0~72.0	84.0~140.0	19.0~54.0	78.0~135.0
	심도(m)	4.0~10.0까지	2.5~6.0까지	11.0하부	7.0하부
	지층상태	퇴적층, 풍화토	퇴적층	기반암	기반암

- Line-1(제방측)의 전기비저항값은 104~3,330 Ω·m의 범위를 나타냄
- 저비저항대(209 Ω·m이하)는 Ⓐ-Zone(측선 40.0~72.0m구간)에서 지표하 4.0~10.0m(퇴적층 및 풍화토)까지 분포하며, Ⓑ-Zone(측선 84.0~140.0m구간)에서 지표하 2.5~6.0m(퇴적층)까지 나타남
- 고비저항대(792 Ω·m이상)는 Ⓒ-Zone(측선 19.0~54.0m구간)에서 심도 11.0m(기반암)하부에 분포하며, Ⓓ-Zone(측선 78.0~135.0m구간)에서 심도 7.0m(기반암)하부에 나타남

Table 155. Line-2(L=150m, 하천측) 탐사 결과







구 분	항 목	저비저항대		고비저항대	
		Ⓐ-Zone	Ⓑ-Zone	Ⓒ-Zone	Ⓓ-Zone
Line-2 (BH-2)	구간(m)	21.0~29.0	86.0~150.0	25.0~65.0	74.0~140.0
	심도(m)	0.0~9.0까지	7.0~9.0까지	10.0하부	12.0하부
	지층상태	풍화토	퇴적층, 풍화토	기반암	기반암

- Line-2(하천측)의 전기비저항값은 109~3,590 Ω·m의 범위를 나타냄
- 저비저항대(209 Ω·m이하)는 Ⓐ-Zone(측선 21.0~29.0m구간)에서 지표하 0.0~9.0m(풍화토)까지 분포하며, Ⓑ-Zone(측선 86.0~150.0m구간)에서 지표하 7.0~9.0m(퇴적층)까지 나타남
- 고비저항대(792 Ω·m이상)는 Ⓒ-Zone(측선 25.0~65.0m구간)에서 심도 10.0m(기반암)하부에 분포하며, Ⓓ-Zone(측선 74.0~140.0m구간)에서 심도 12.0m(기반암)하부에 나타남

(바) 현장시험

① 표준관입시험

• 시추조사와 병행하여 1.0m 간격으로 수행하였으며 각 공별 관입저항치는 다음의 표와 같음

Table 156. 지층별 표준관입시험 결과(회/cm)

공 번	퇴적층	풍화토	회
BH-1	9/30 ~ 11/30	23/30 ~ 50/14	7
BH-2	7/30 ~ 23/30	25/30 ~ 50/12	13

Table 157. 심도별 표준관입시험 결과(회/cm)

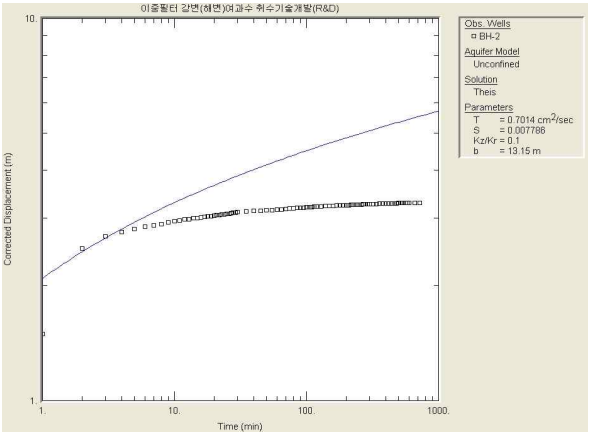
구 분 / 공 번	1.0m	2.0m	3.0m	4.0m	5.0m	6.0m	7.0m
	8.0m	9.0m	10.0m	11.0m	12.0m	13.0m	-
BH-1	9/30	21/30	11/30	23/30	39/30	50/23	50/14
BH-2	7/30	15/30	13/30	16/30	23/30	25/30	33/30
	38/30	46/30	50/30	50/27	50/17	50/12	-

② 대수성시험

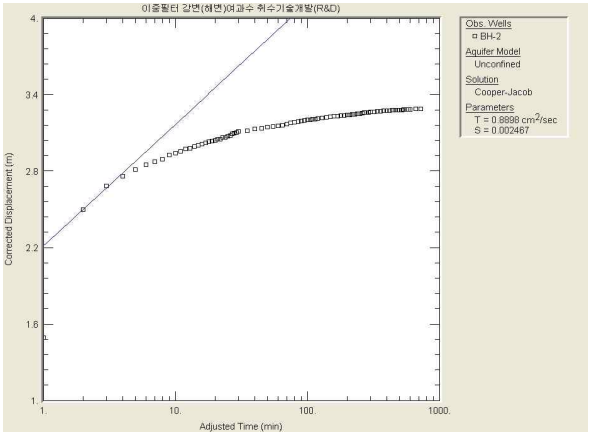
• 시추조사 완료 후 관측공 대수층의 투수량계수, 저류계수, 수리전도도 등의 수리특성 파악하기 위하여 BH-2호공에서 장기양수시험 및 회복시험을 수행

Table 158. 대수성시험 결과

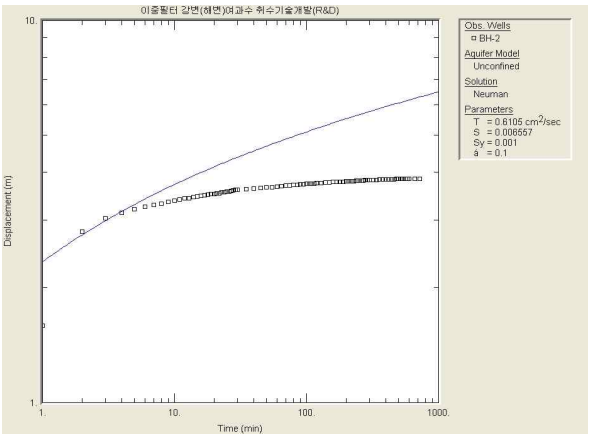
공 번	양수량 (m3/day)	자연수위 (GL.-m)	안정수위 (GL.-m)	시험 방법	해석방법	투수량계수 (cm/sec)	저류계수	투수계수 (cm/sec)
BH-2	40.0	1.850	5.701	수위 강하	Theis	7.014×10^{-1}	7.786×10^{-3}	5.334×10^{-4}
					Cooper-Jacob	8.889×10^{-1}	2.467×10^{-3}	6.767×10^{-4}
					Neuman	6.105×10^{-1}	6.557×10^{-3}	4.643×10^{-4}
				회복 시험	Theis Recovery	9.427×10^{-1}	-	7.169×10^{-4}
평 균						7.861×10^{-1}	5.603×10^{-3}	5.978×10^{-4}



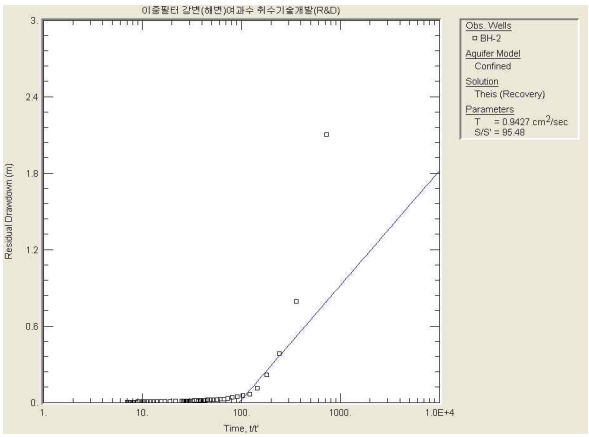
<장기양수시험 BH-2 (Theis 법)>



<장기양수시험 BH-2 (Cooper-Jacob 법)>



<장기양수시험 BH-2 (Neuman 법)>



<회복시험 BH-2 (Theis Recovey 법)>

Fig 178. BH-2 대수성시험 결과

(사) 실내시험

① 실내토질시험

- 각 토사지층의 물리적 특성을 파악하기 위하여 시추조사 시 표준관입시험으로 채취된 토사시료에 대하여 한국공업규격(KS F)에 의거하여 BH-1호공에서 3회, BH-2호공에서 3회 등 총 6회의 실내시험을 실시

Table 159. 기본물성시험 결과

공 번	심 도 (m)	통일분류 (USCS)	함수비 (%)	비 중 (Gs)	Atterberg		Sieve Analysis		
					액성한계 LL(%)	소성지수 PI	#4 (%)	#200 (%)	0.005 (mm)
BH-1	2.0	GP	7.1	2.603	N.P.	N.P.	38.2	4.0	-
	3.0	GP	8.8	2.602	N.P.	N.P.	39.7	4.7	-
	6.0	SM	16.1	2.642	N.P.	N.P.	99.3	23.2	7.1
BH-2	4.0	GP	7.3	2.602	N.P.	N.P.	38.3	4.4	-
	8.0	SM	12.1	2.639	N.P.	N.P.	98.8	12.5	-
	12.0	SM	13.7	2.642	N.P.	N.P.	99.4	18.9	-

② 수질분석결과

- 수질 분석 결과 모든 항목이 생활용수(비음용) 기준에 적합한 것으로 판정됨
- 수소이온농도(기준:5.8~8.5)에서 BH-1호공은 6.7, BH-2호공은 6.5, 진위천은 8.0로 전부 중성에 해당되며 수질기준에 적합
- 질산성질소(기준:20mg/L이하)와 염소이온(기준:250mg/L이하)은 각각 1.8~2.7mg/L와 30.0~35.3mg/L로 나타났으며 기준에 적합
- 질산성질소와 염소이온에 의한 오염문제가 국내의 여러 지역에서 보고되고 있으며 인분 등에 의해 침투되는 질산성질소의 경우 지하수 흐름계 내에서 유입이 계속되는 한 지하수 순환과 확산에 따라 수평 및 하방침투가 진행되어 고심도의 관정에서 농도가 증가될 수 있음
- 이와 같이 본 조사공에 대한 수질검사 결과, 모든 항목이 적합으로 판정되었으나, 향후 관리소홀시 오염가능성은 항시 존재하므로 지속적인 관리가 요구됨

Table 160. 수질기준 및 검사결과

검사항목	생활용수기준	BH-1	BH-2	지표수(진위천)
총대장균군	5,000군수 이하/100mL	690	920	1,800
납	0.1mg/L이하	불검출	불검출	불검출
수소이온농도	5.8~8.5	6.7	6.5	8.0
6가크롬	0.05mg/L이하	불검출	불검출	불검출
질산성질소	20mg/L이하	2.2	2.7	1.8
트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출	불검출	불검출
염소이온	250mg/L이하	35.3	30.0	33.1
테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	불검출	불검출	불검출
카드뮴	0.01mg/L이하	불검출	불검출	불검출
1.1.1-트리클로로에탄	0.15mg/L이하	불검출	불검출	불검출
비소	0.05mg/L이하	불검출	불검출	불검출
벤젠	0.015mg/L이하	불검출	불검출	불검출
시안	0.01mg/L이하	불검출	불검출	불검출
톨루엔	1.0mg/L이하	불검출	불검출	불검출
수은	0.001mg/L이하	불검출	불검출	불검출
에틸벤젠	0.45mg/L이하	불검출	불검출	불검출
유기인	0.0005mg/L이하	불검출	불검출	불검출
크실렌	0.75mg/L이하	불검출	불검출	불검출
페놀	0.005mg/L이하	불검출	불검출	불검출
판 정		적 합	적 합	적 합

다. 2차년도 실증실험 대상부지 조사

(1) 후보지 검토

(가) 경남지역 후보지 검토(강변여과수)

주요 협의 내용

- 한국농어촌공사 경남지역본부와 이중필터 취수정과 단일필터 취수정의 효율평가를 시험하기 위한 테스트배드 부지공여 협조요청 및 공조협의
- 공사에서 물 부족현상을 겪고 있는 농어촌지역에 물 확보를 위한 지하수 개발 추진중에 있음
- 대규모 비닐하우스 재배단지, 농공단지, 농경지에 건기 또는 간절기 가뭄현상을 해결하기 위한 대규모 취수정 개발을 통한 지하수공급이 필요
- 강변여과 개발지 중 낙동강 변 밀양지역과 남강변의 법수지구 지하수함양사업의 대규모 취수정 개발, 농촌지역의 소규모 지하댐건설 사업을 추진중에 있음
- 한국농어촌공사는 강변여과 및 지하댐 개발예정지역에 부지를 공여하고, 연구단은 공여부지내에 시험공을 설치하여 현장시험에 의한 가능 취수량, 시험공의 효율 등을 조사한 후 시험정을 양도함
- 한국농어촌공사에서 수행하고 있는 남강 법수지구 지하수 함양사업내 강변여과 취수정 개발 참여.
- 공사에서 현재 취수정 개발 설계는 완료된 상태이며, 부지점용 및 인허가 작업을 진행중에 있음.
- 취수정 10개공을 개발할 계획이며, 지하수 영향조사를 위한 시험공이 필요하므로 사업단에서 시험공을 시공 또는 본 공사에서 시공하여 현장시험 후 공사에 이양
- 사업단에서 참여함은 공사에서는 경비절감효과를 가져오므로 상호 시너지효과 발생
- 공사에서는 시험시공에 대한 부지협조 및 인허가 사항을 적극 협조토록 함.



Fig 179. 경남지역 후보지검토 협의

(나) 충남보령 후보지 검토(해변여과수)

주요 협의 내용

- 보령수협에서 추진중인 [대천항 위판장 시설 개선 지원사업]과 관련
- 위판장에서 필요한 맑은 해수 공급을 위하여 항에서 50~100m 위치에서 직접 해수를 취수하는 해수취수사업을 추진중에 있음
- 해수취수사업과 병행하여 모래사장에 수직취수정을 설치하여 보조수원으로 확보코자 사업단에서 시행하는 취수정 시공 협의
- 공유수면내 인허가 사업은 약6개월 소요되므로 현장확인 후 시청과 허가서류 재협의토록 함(보령시는 적극적으로 협조)
- 현장 조사결과 보령항 인접지역은 토사층의 두께가 5m이내로서 취수정 개발지로 부적합하며, 대천해수욕장 놀이시설 인접지역은 가능함.

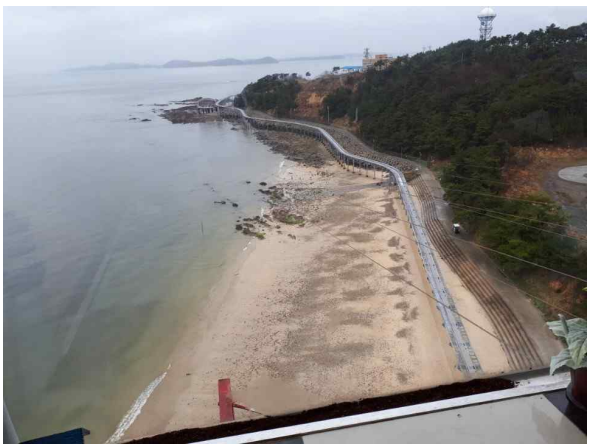



Fig 180. 충남보령 후보지검토 협의

(다) 강릉 후보지 검토(해변여과수)

주요 협의 내용 1

- 센터 내 해양생물 육성 및 실험을 위하여 맑고 일정 수온과 수질이 확보되는 해수의 공급이 필요함, 현재 직접 해수취수시설을 이용한 해수를 사용하나 계절에 따른 수질의 변화로 애로사항이 있음
- 해변가 모래사장에서 소구경 관정을 사용하고 있으며, 수질이 양호한 상태로 대구경의 취수시설 확보를 검토중.
- 해수취수사업에 당 사업단의 이중관 수직취수시설을 이용한 해수공급을 사전에 추천하였으며, 센터는 부지공급 및 점용허가 및 인허가를 적극적으로 협조함.
- 사업단은 수직취수정을 설치하여 소정의 시험완료 후 센터에 시설을 인계하여 장기적으로 활용토록 상호 협의함(조속한 MOU체결하며 금년내 시험 완료/인계)

주요 협의 내용 2

- 센터 내 해양생물 육성 및 실험을 위하여 맑고 일정 수온과 수질이 확보되는 해수의 공급이 필요함, 현재 직접 해수취수시설을 이용한 해수를 사용하나 계절에 따른 수질의 변화로 애로사항이 있음
- 센터 내 해양생물 육성 및 실험을 위한 신규 해수취수사업과 R&D 사업인 “이중필터 강변(해변)여과수 취수기술개발” 은 상호 보완관계로 조속한 MOU체결
- 부지제공 및 인허가 관련 업무는 강릉원주대학교에서 강릉시와 협의하여 처리
- 강릉시는 인허가 담당업무를 조속히 처리하며, 군부대 및 관련기관 업무협조
- 수직취수정을 설치하여 소정의 시험완료 후 수질이 적합한 경우 센터에서 시설을 인계하여 지하수영향조사를 시행하여 허가신청절차를 이행하고, 부적합인 경우는 사업단에서 원상복구를 시행
- 굴착행위에 필요한 지하수법, 토지점용관련 절차협의(공유수면내 착정)
- 현장측량작업에 의거하여 취수공 위치 및 관측공 위치 선정
- 향후, 양식장 이용을 위해 본 취수정을 활용할 계획으로 철수 시 시설물 승계처리



Fig 181. 강릉 후보지검토 협의

(라) 해변여과수 후보지 선정 결과

- 지층의 적합성, 부지활용기간의 적합성, 장비진입 용이성, 향후 활용가능성 등을 평가하여 선정함
- 현재까지의 검토결과를 토대로 강릉원주대학교 해양생물연구교육센터 지역을 대상부지로 선정함

(2) 선정부지조사 성과

(가) 조사지역

• 강원도 강릉시 사천면 해안로 1166번지 일원(해양생물연구교육센터 내)



Fig 182. 조사지역 위치도

(나) 지형현황

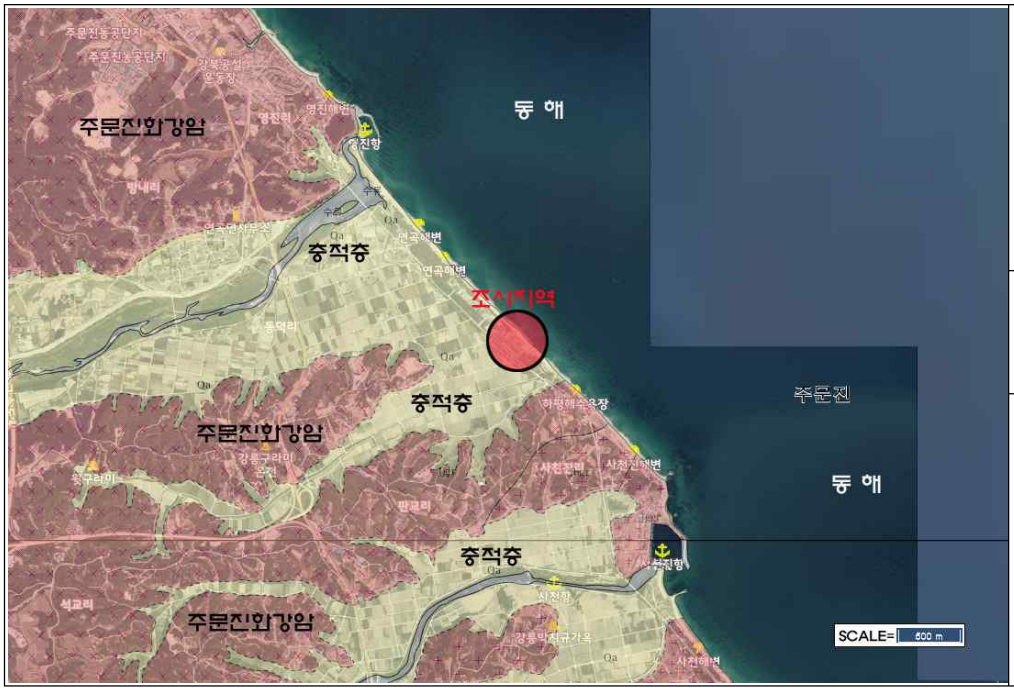
• 본 조사지역은 행정구역상 강원도 강릉시 사천면 사천진리 일원으로 해양생물연구교육센터 내에 위치한다. 북남방향으로 동해고속도로(북강릉IC)와 7번 국도가 서쪽에 위치하고, 이를 동서방향으로 6번 국도가 연계되어 교통에 용이함

• 주요 산계로는 조사지역 서쪽의 천마봉과 운계봉이 위치하고, 그 외 해안가 방향으로 구릉성 산지(△200m이하)들이 분포한다. 수계는 산계에서 발달한 수지상의 계곡에서 서동류하는 연곡천과 사천천으로 합류하여 최종적으로 동해로 유입됨

(다) 지질현황

• 본 조사지역은 1:50,000 강릉주문진도폭(2011년)에 해당되며, 중생대 쥬라기의 주문진화강암이 넓게 분포하고, 이를 신생대 제4기의 충적층이 피복

• 조사지역 기반암에 해당되는 주문진화강암은 주문진을 중심으로 넓은 분포를 보이고 있고 중·조립질의 복운모화강암을 일컫는다. 대부분의 노두에서 장석반정의 양의 차이는 있으나 장석반정을 포함하는 반상 복운모화강암의 암상을 보인다. 충적층은 하천을 따라 발달하며 점토, 실트, 모래, 자갈 등으로 구성되고 대부분 농경지를 이룸



신생대 제4기	충적층 (Qa)
~~부정합~~	
중생대 쥬라기	주문진 화강암 (Jjgr)

Fig 183. 지질도 및 지질계통

(라) 현장조사

① 정천현황조사

- 본 조사지역의 지하수개발현황을 파악하기 위하여 실시한 정천현황조사는 시추조사 관측공 3개소의 중심을 기준으로 반경 0.5km에 해당하는 지역을 조사대상지역으로 선정하여 현장조사를 실시
- 조사반경 내 이용 중인 지하수관정은 없는 것으로 조사되었고, 다만 시추조사 주변에 해양생물연구교육센터에서 해양생물 연구를 위한 해수관정 1개소가 확인됨



Fig 184. 정천현황조사

② 시추조사

• 본 조사지역 지층의 구성 상태 등을 파악하는 목적으로 총 3개소에 수행하였으며, 시추조사 완료 후 대수성시험 및 수위측정을 위한 관측정으로 활용

Table 161. 지층 현황

공 번	퇴적층	풍화토	풍화암	연 암	계	SPT 횟수
BH-1	0.0~13.8 (13.8)	13.8~15.8 (2.0)	15.8~22.0 (6.2)	-	22.0	22
BH-2	0.0~9.7 (9.7)	9.7~19.0 (9.3)	19.0~22.0 (3.0)	-	22.0	-
BH-3	0.0~9.6 (9.6)	9.6~20.4 (10.8)	20.4~29.8 (9.4)	29.8~31.0 (1.2)	31.0	29
합 계	33.1	22.1	18.6	1.2	75.0	51

단위 : m, ()안은 층후



Fig 185. 시추조사 위치도

Table 162. 지층 개요

지 층	지 층 개 요
퇴적층	•본 층은 유동, 붕락, 활주 등의 여러 운반작용에 의해 형성된 지층으로 지표면으로부터 0.0~13.8m의 심도에서 9.6~13.8m의 층후로 분포하고, 구성성분은 입도양호한모래(SW), 입도불량한모래(SP), 자갈섞인 실트질모래(SM)로 구성되어 있으며, 수분함량은 습윤~포화의 상태이며, 색조는 갈색, 황갈색, 녹회색, 회갈색의 색상을 띄고 있음 •표준관입시험에 의한 N값은 7회/30cm~44회/30cm로 느슨(Loose)~조밀(Dense)한 상대밀도(Relative Density)를 나타내고, 자갈의 크기는 약 1~4cm의 직경으로 관찰됨
풍화토	•본 층은 기반암이 완전히 풍화되어 원위치에 잔류되어 있는 지층으로 지표면 하 9.6~13.8m의 심도에서 2.0~10.8m의 층후로 분포하고, 구성성분은 암편섞인 실트질모래(SM)로 구성되어 있으며, 토사의 수분함량은 습윤 상태이고, 색조는 회갈색, 담갈색의 색상을 띄고 있음 •표준관입시험에 의한 N값은 23회/30cm ~ 50회/12cm로 보통조밀(Medium Dense) ~ 매우조밀(Very Dense)한 상대밀도(Relative Density)를 나타내고 있음
풍화암	•본 층은 입자간의 결합력은 대부분 상실하여 가벼운 충격에도 쉽게 분해되지만 기반암이 모암의 조직을 그대로 유지하여 원위치에서는 대단히 안정된 지층으로 화강암으로 구성되며, 지표면 하 15.8~20.4m의 심도에서 3.0~9.4m의 층후로 확인되었다. 색조는 황갈색, 회갈색의 색상을 나타내며, 굴진시 암편섞인 실트질모래로 분해됨 •풍화상태는 심한풍화(Highly Weathered), 강도는 약함(Weak)을 보이고, 표준관입시험에 의한 N값은 50회/9cm ~ 50회/2cm로 매우조밀(Very Dense)한 상대밀도(Relative Density)를 나타냄
연암	•본 층은 과업지역의 기반암의 연암으로 화강암으로 구성되며, BH-3지점에서 지표면 하 29.8m의 심도에서 1.2m의 층후로 확인되었다. 색조는 회갈색, 암회색의 색상을 나타내며, 전반적으로 파쇄대가 발달 •풍화상태는 심한풍화(Highly Weathered)~보통풍화(Moderately Weathered), 강도는 약함(Weak)~보통강함(Medium Strong)을 보이고, 코아회수율(TCR)은 51%이고, 암질지수(RQD)는 0%임

③ 지하수위 측정

- 본 조사지역 내 지하수위 분포현황을 파악하기 위하여 총 3개소 수직 시추공에서 시추작업 완료 후 시간이 경과한 다음 안정된 지하수위를 측정
- 본 조사지역의 지하수위 분포는 전 지점에서 동일하게 G.L(-) 3.80m로 측정되었으며, 인접한 해수면(동해) 높이와 유사하게 형성되어 있고, 강우량에 따라 지하수위의 변화가 예상됨

Table 163. 지하수위 측정 결과

공 번	표 고 EL(+)m	지하수위 G.L(-)m	지하수위표고 EL(+)m	지층명, 구성성분	굴진심도 G.L(-)m
BH-1	6.00	3.80	2.20	퇴적층, 입도양호한모래	22.0
BH-2	6.00	3.80	2.20	퇴적층, 입도불량한모래	22.0
BH-3	6.00	3.80	2.20	퇴적층, 입도불량한모래	31.0

(마) 물리탐사

① 전기비저항탐사

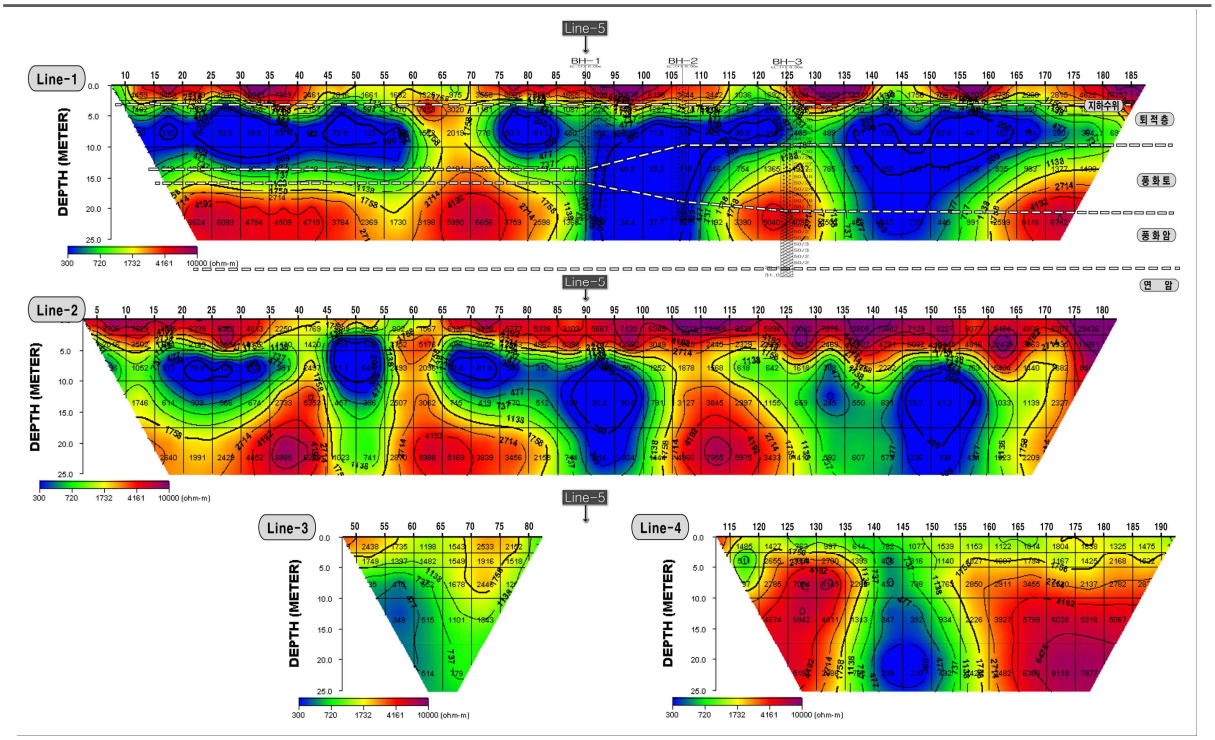
- 조사지역에 대하여 지층의 전기비저항의 분포를 파악하고 대수층의 심도별 분포위치에 따른 강변(해변) 여과수 가능지역을 분석하여, 이의 결과에 의해 착정공 위치를 선정하여 취수가능량 등의 취수방안 타당성을 검토하는 기초자료로 활용하기 위해 종방향으로 4측선(L-1, 2, 3, 4), 횡방향으로 1측선(L-5) 등 총 5측선에서 전기비저항탐사를 실시

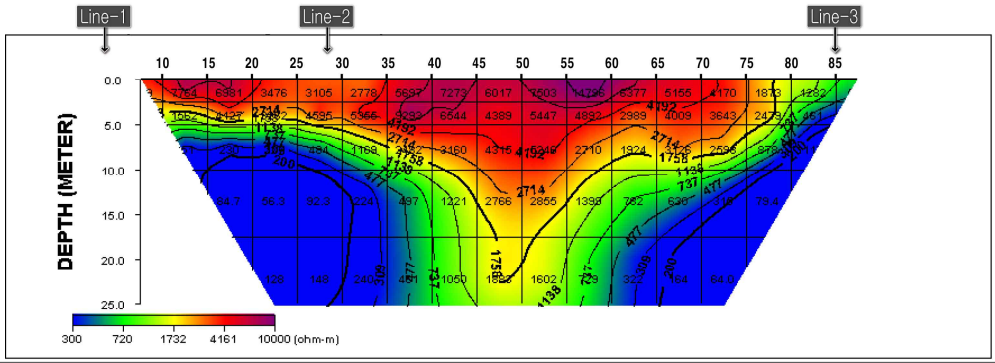


Fig 186. 전기비저항탐사 위치도

- Line-1의 전기비저항값은 12.9~36,501Ω·m의 범위를 나타냄
- 저비저항대(477Ω·m이하)는 측선 0.0~60.0m 구간에서 심도 3.0~14.0m 내외의 퇴적층, 측선 74.0~125.0m 구간에서 심도 3.0~25.0m 내외의 퇴적층, 풍화대 및 연암, 측선 132.0~175.0m 구간에서 심도 3.0~25.0m 내외의 퇴적층, 풍화대 및 연암에서 분포
- Line-2의 전기비저항값은 41.2~29,436Ω·m의 범위를 나타낸다. 저비저항대(477Ω·m이하)는 측선 15.0~37.0m 구간에서 심도 5.0~14.0m 내외의 퇴적층, 측선 45.0~55.0m 구간에서 심도 3.0~14.0m 내외의 퇴적층, 측선 65.0~101.0m 구간에서 심도 4.0~25.0m 내외의 퇴적층, 풍화대 및 연암, 측선 130.0~136.0m 구간에서 심도 7.0~15.0m 내외의 퇴적층 및 풍화대, 측선 142.0~160.0m 구간에서 심도 7.0~25.0m 내외의 퇴적층, 풍화대 및 연암에서 분포
- Line-3의 전기비저항값은 349~2,533Ω·m의 범위를 나타낸다. 저비저항대(477Ω·m이하)는 측선 50.0~61.0m 구간에서 심도 7.0~22.0m 내외의 퇴적층, 풍화대 및 연암에서 분포
- Line-4의 전기비저항값은 218~8,119Ω·m의 범위를 나타낸다. 저비저항대(477Ω·m이하)는 측선 140.0~152.0m 구간에서 심도 9.0~25.0m 내외의 퇴적층, 풍화대 및 연암에서 분포
- Line-5의 전기비저항값은 56.3~14,796Ω·m의 범위를 나타낸다. 저비저항대(477Ω·m이하)는 측선 0.0~37.0m 구간에서 심도 6.0~25.0m 내외의 퇴적층, 풍화대 및 연암, 측선 60.0~95.0m 구간에서 심도 2.0~25.0m 내외의 퇴적층, 풍화대 및 연암에서 분포

Table 164. Line-1, 2, 3, 4(종방향), Line-5(횡방향) 탐사 결과





구 분	상 태	해당구간 (m)	심 도 (m)	추정 지층상태	비 고 (Ω·m)
Line-1	저비저항대 (477Ω·m 이하)	0.0~60.0 74.0~125.0 132.0~175.0	3.0~14.0 3.0~25.0 3.0~25.0	퇴적층 퇴적층, 풍화대, 연암 퇴적층, 풍화대, 연암	12.9~36,501
Line-2	저비저항대 (477Ω·m 이하)	15.0~37.0 45.0~55.0 65.0~101.0 130.0~136.0 142.0~160.0	5.0~14.0 3.0~14.0 4.0~25.0 7.0~15.0 7.0~25.0	퇴적층 퇴적층 퇴적층, 풍화대, 연암 퇴적층, 풍화대 퇴적층, 풍화대, 연암	41.2~29,436
Line-3	저비저항대 (477Ω·m 이하)	50.0~61.0	7.0~22.0	퇴적층, 풍화대, 연암	349~2,533
Line-4	저비저항대 (477Ω·m 이하)	140.0~152.0	9.0~25.0	퇴적층, 풍화대, 연암	218~8,119
Line-5	저비저항대 (477Ω·m 이하)	0.0~37.0 60.0~95.0	6.0~25.0 2.0~25.0	퇴적층, 풍화대, 연암 퇴적층, 풍화대, 연암	56.3~14,796

(바) 현장시험

① 표준관입시험

- All Core Sampling으로 인한 BH-2지점을 제외한 BH-1, 3지점에서 시추조사와 병행하여 1.0m 간격으로 수행하였으며, 그 결과는 다음의 표와 같음

Table 165. 지층별 표준관입시험 결과(회/cm)

공 번	퇴적층	풍화토	풍화암	회
BH-1	8/30 ~ 35/30	50/21 ~ 50/14	50/9 ~ 50/2	22
BH-3	7/30 ~ 44/30	23/30 ~ 50/12	50/8 ~ 50/2	29

Table 166. 심도별 표준관입시험 결과(회/cm)

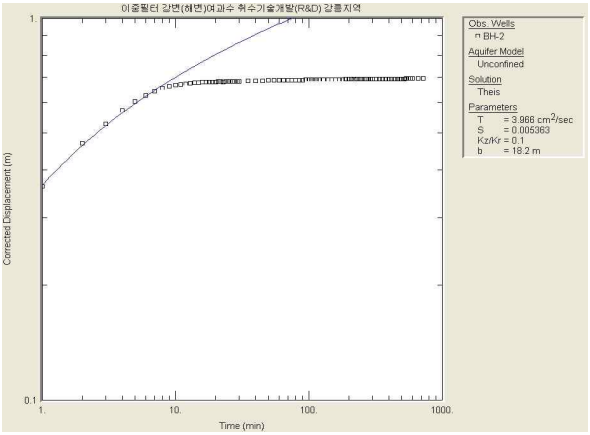
구 분 / 공 번	1.0m	2.0m	3.0m	4.0m	5.0m	6.0m	7.0m	8.0m	9.0m	10.0m
	11.0m	12.0m	13.0m	14.0m	15.0m	16.0m	17.0m	18.0m	19.0m	20.0m
	21.0m	22.0m	23.0m	24.0m	25.0m	26.0m	27.0m	28.0m	29.0m	-
BH-1	8/30	9/30	10/30	32/30	29/30	27/30	34/30	34/30	35/30	26/30
	12/30	15/30	20/30	50/21	50/14	50/9	50/8	50/7	50/6	50/6
	50/3	50/2	-	-	-	-	-	-	-	-
BH-3	7/30	9/30	23/30	25/30	32/30	30/30	31/30	38/30	44/30	23/30
	49/30	50/28	50/27	50/22	50/18	50/22	50/24	50/21	50/16	50/12
	50/8	50/4	50/3	50/2	50/3	50/3	50/3	50/2	50/2	-

② 대수성시험

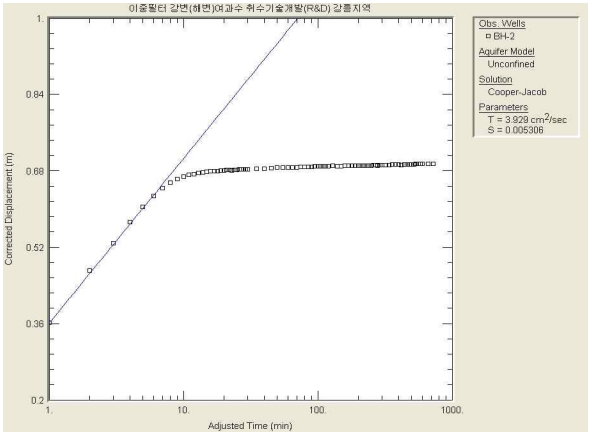
- 시추조사 완료 후 관측공 대수층의 투수량계수, 저류계수, 수리전도도 등의 수리특성 파악하기 위하여 BH-2지점에서 양수시험 및 회복시험을 수행

Table 167. 대수성시험 결과

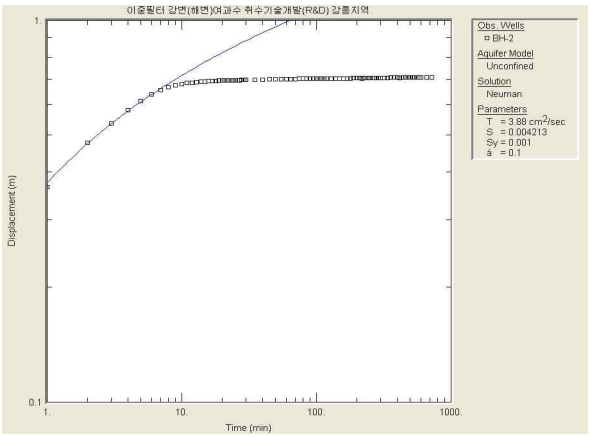
공 번	양수량 (m3/day)	자연수위 (GL.-m)	안정수위 (GL.-m)	시험 방법	해석방법	투수량계수 (cm/sec)	저류계수	투수계수 (cm/sec)
BH-2	64.0	3.80	4.51	수위 강하	Theis	3.966	5.363×10^{-3}	2.179×10^{-3}
					Cooper-Jacob	3.929	5.306×10^{-3}	2.159×10^{-3}
					Neuman	3.880	4.213×10^{-3}	2.132×10^{-3}
				회복 시험	Theis Recovery	3.908	-	2.147×10^{-3}
평 균						3.921	4.961×10^{-3}	2.154×10^{-3}



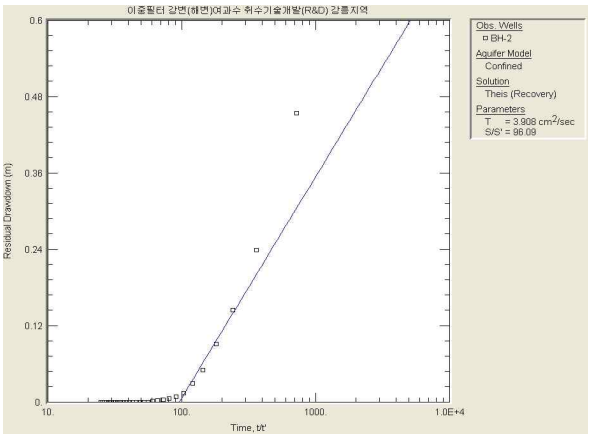
<장기양수시험 BH-2 (Theis 법)>



<장기양수시험 BH-2 (Cooper-Jacob 법)>



<장기양수시험 BH-2 (Neuman 법)>



<회복시험 BH-2 (Theis Recovey 법)>

Fig 187. BH-2 대수성시험 결과

(사) 실내시험

① 실내토질시험

• 각 토사지층의 물리적 특성을 파악하기 위하여 시추조사 시 표준관입시험으로 채취된 토사시료에 대하여 한국공업규격(KS F)에 의거하여 각 공당 3회씩 총 9회의 실내시험을 실시

Table 168. 기본물성시험 결과

공 번	심 도 (m)	통일분류 (USCS)	함수비 (%)	비 중 (Gs)	Atterberg		Sieve Analysis		
					액성한계 LL(%)	소성지수 PI	#4 (%)	#200 (%)	0.005 (mm)
BH-1	7.0	SW	11.0	2.603	N.P.	N.P.	97.9	4.3	-
	12.0	SM	15.7	2.643	N.P.	N.P.	100	22.3	6.9
	15.0	SM	11.3	2.641	N.P.	N.P.	98.5	20.5	-
BH-2	6.0	SP	3.7	2.603	N.P.	N.P.	100	1.3	-
	9.0	SP	11.7	2.602	N.P.	N.P.	73.6	4.4	-
	15.0	SM	17.8	2.645	N.P.	N.P.	99.7	26.5	9.0
BH-3	6.0	SP	9.0	2.603	N.P.	N.P.	94.9	2.4	-
	9.0	SP	3.5	2.602	N.P.	N.P.	70.4	3.4	-
	15.0	SM	11.7	2.647	N.P.	N.P.	99.5	35.8	12.0

② 수질분석

- 수질 분석 결과 해수 특성상 염소이온에서 기준치(250㎎/L 이하)를 초과하는 11,472.5~12,082.2㎎/L의 범위를 나타내어 부적합으로 판정되었고, 염소이온을 제외한 모든 항목이 생활용수(비음용) 기준에 적합한 것으로 판정되었다. 또한 규격 외 항목으로 염도 측정 결과는 모두 16.7‰로 분석됨
- 질산성질소와 염소이온에 의한 오염문제가 국내의 여러 지역에서 보고되고 있으며 인분 등에 의해 침투되는 질산성질소의 경우 지하수 흐름계 내에서 유입이 계속되는 한 지하수 순환과 확산에 따라 수평 및 하방침투가 진행되어 고심도의 관정에서 농도가 증가될 수 있다. 따라서 염소이온을 제외한 모든 항목이 적합으로 판정되었으나, 향후 관리소홀시 오염가능성은 항시 존재하므로 지속적인 관리가 요구됨

Table 169. 수질기준 및 검사결과

검사항목	생활용수기준	BH-1	BH-2	BH-3
총대장균군	5,000군수 이하/100mL	310	330	460
수소이온농도	5.8~8.5	7.7	7.8	7.8
질산성질소	20㎎/L 이하	4.5	4.1	6.6
염소이온	250㎎/L 이하	12,082.2	11,561.0	11,472.5
카드뮴	0.01㎎/L 이하	불검출	불검출	불검출
비소	0.05㎎/L 이하	불검출	불검출	불검출
시안	0.01㎎/L 이하	불검출	불검출	불검출
수은	0.001㎎/L 이하	불검출	불검출	불검출
다이아지논	0.02㎎/L 이하	불검출	불검출	불검출
파라티온	0.06㎎/L 이하	불검출	불검출	불검출
페놀	0.005㎎/L 이하	불검출	불검출	불검출
납	0.1㎎/L 이하	0.010	0.008	0.005
크롬	0.05㎎/L 이하	0.04	0.04	0.05
1.1.1-트리클로로에탄	0.15㎎/L 이하	불검출	불검출	불검출
테트라클로로에틸렌	0.01㎎/L 이하	불검출	불검출	불검출
트리클로로에틸렌	0.03㎎/L 이하	불검출	불검출	불검출
벤젠	0.015㎎/L 이하	불검출	불검출	불검출
톨루엔	1.0㎎/L 이하	불검출	불검출	불검출
에틸벤젠	0.45㎎/L 이하	불검출	불검출	불검출
크실렌	0.75㎎/L 이하	불검출	불검출	불검출
염도	규격외 항목(‰)	16.7	16.7	16.7
판 정		부적합	부적합	부적합

라. 3차년도 실증실험 대상부지 조사

(1) 후보지 검토

- 강변여과수 후보지인 안동지역(안동시 임하면 오대리 일대)과 충주지역(무술공원) 중 선정을 위해 현장조사 및 물리탐사(전기비저항탐사) 등을 통해 조사를 실시함

(가) 안동지역 후보지 검토

① 현장조사

- 길안천과 가까우며 접근이 용이하고 개인소유의 농경지 부분으로 주민동의를 모두 획득함
- 장비진입이 다소 어려우며 작업반경이 좁음

② 물리탐사(전기비저항탐사)

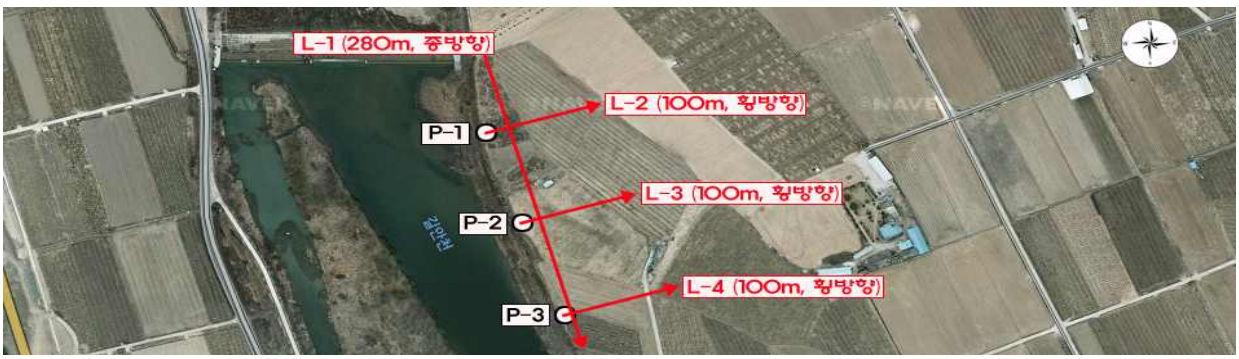
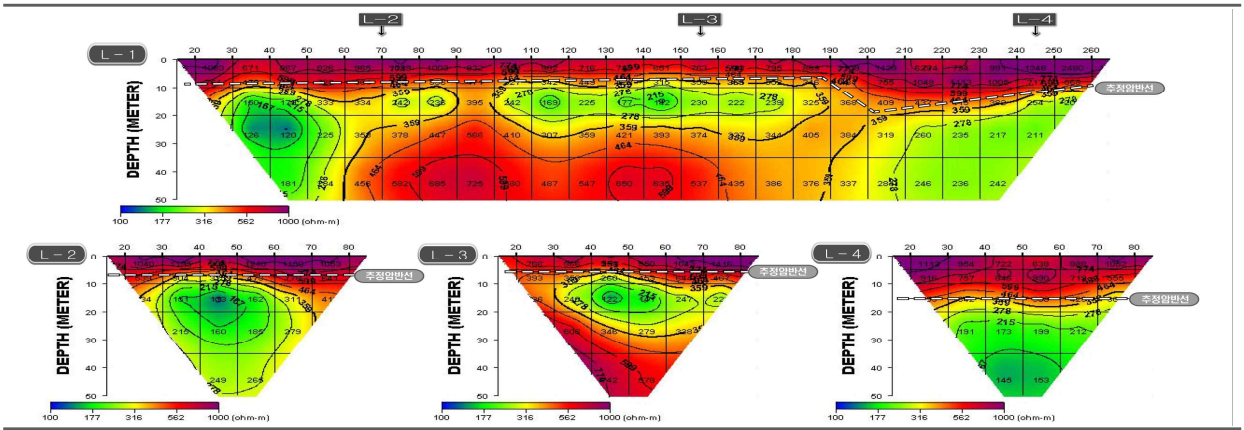


Fig 188. 안동지역 전기비저항탐사 위치도

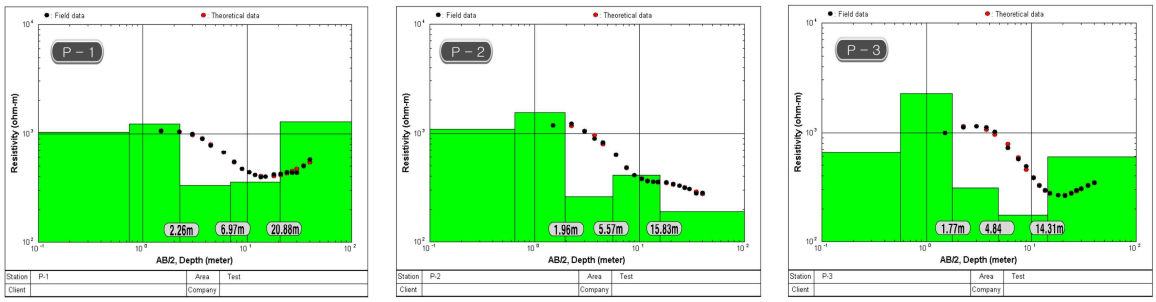
Table 170. 안동지역 Line-1(종방향), Line-2, 3, 4(횡방향) 탐사 결과



구 분	상 태	해당구간(m)	심 도(m)	추정 지층상태	비 고(Ω·m)
Line-1	저비저항대 (278Ω·m 이하)	0.0~60.0 72.0~88.0 103.0~177.0 205.0~280.0	10.0 하부 12.0~18.0 9.0~22.0 11.0 하부	기반암 기반암 기반암 기반암	120~2,480
Line-2	저비저항대 (278Ω·m 이하)	28.0~64.0	9.0 하부	기반암	103~1,240
Line-3	저비저항대 (278Ω·m 이하)	34.0~100.0	9.0~24.0	기반암	122~1,416
Line-4	저비저항대 (278Ω·m 이하)	0.0~100.0	19.0 하부	기반암	145~1,113

- Line-1의 전기비저항값은 120~2,480Ω·m의 범위를 나타낸다. 저비저항대(278Ω·m이하)는 측선 0.0~60.0m(심도 10.0m 하부), 72.0~88.0m(심도 12.0~18.0m), 103.0~177.0m(심도 9.0~22.0m), 205.0~280.0m(심도 11.0m 하부) 구간의 기반암층에서 분포하고 있음
- Line-2의 전기비저항값은 103~1,240Ω·m의 범위를 나타낸다. 저비저항대(278Ω·m이하)는 측선 28.0~64.0m 구간에서 심도 9.0m 하부의 기반암층에서 분포하고 있음
- Line-3의 전기비저항값은 122~1,416Ω·m의 범위를 나타낸다. 저비저항대(278Ω·m이하)는 측선 34.0~100.0m 구간에서 심도 9.0~24.0m 내외의 기반암층에서 분포하고 있음
- Line-4의 전기비저항값은 145~1,113Ω·m의 범위를 나타낸다. 저비저항대(477Ω·m이하)는 측선 0.0~100.0m 구간에서 심도 19.0m 하부의 기반암층에서 분포하고 있음

Table 171. 안동지역(수직탐사) P-1, 2, 3 탐사 결과



구 분	심도(층후), m				비 고
	제1층	제2층	제3층	제4층	
P-1	0.0~2.26(2.26)	2.26~6.97(4.71)	6.97~20.88(13.91)	20.88 하부	
P-2	0.0~1.96(1.96)	1.96~5.57(3.61)	5.57~15.83(10.26)	15.83 하부	
P-3	0.0~1.77(1.77)	1.77~4.84(3.07)	4.84~14.31(9.47)	14.31 하부	

- 전기비저항 수직탐사결과 제1층은 지표하 1.96~2.26m 내외의 심도까지 나타나고 있음
- 제2층은 지표하 4.84~6.97m 내외의 심도까지 분포하며 층후 3.07~4.71m 로 나타나고 있음
- 제3층은 지표하 14.31~20.88m 내외의 심도까지 분포하며 층후 9.47~13.91m 로 나타나고 있음
- 제4층은 지표하 14.31~20.88m부터 분포하고 있음
- 탐사결과 및 지형·지질을 종합적으로 판단해 볼 때 제1층은 전답토, 제2, 3층은 퇴적층(충적층), 제4층은 풍화대 및 기반암으로 추정됨

(나) 충주지역 후보지 검토

① 현장조사

- 남한강과 가까우며 충주시 무술공원측과 협의하여 위치를 선정하고 동의를 획득함
- 향후 물놀이 시설의 용수 공급을 위한 시설로 활용
- 종료후 시설물 인수인계 및 폐공 등은 협의



Fig 189. 취수정 활용 무술공원 물놀이 시설

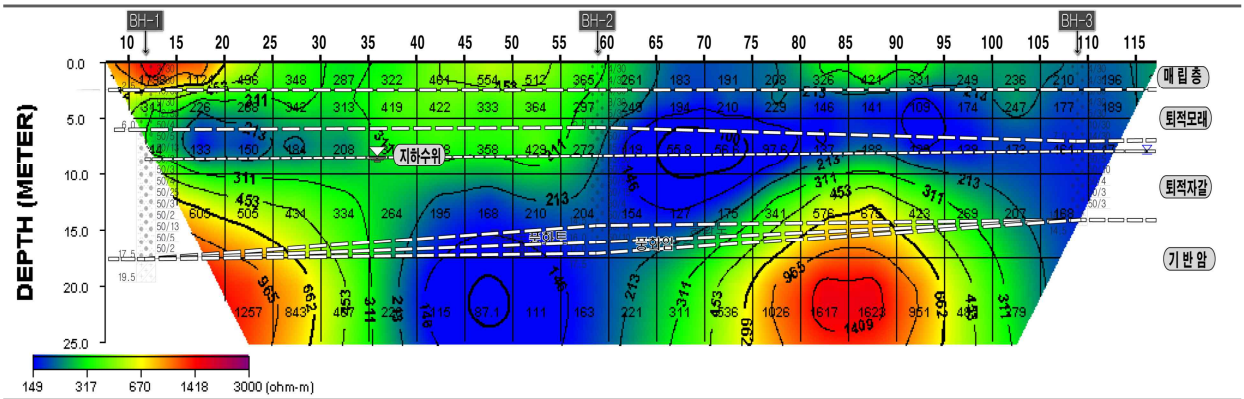
② 물리탐사(전기비저항탐사)

- 조사지역에 대하여 전기비저항의 분포를 파악하여 대수층의 심도별 분포위치에 따른 강변 여과수 가능지역을 분석하여, 이의 결과에 의해 착정공 위치를 선정하여 취수가능량 등의 취수방안 타당성을 검토하는 기초자료로 활용하기 위해 충주지역에서는 수평탐사 1측선을 실시하였고 안동지역에서는 종방향으로 1측선(Line-1), 횡방향으로 3측선(Line-2,3,4) 총 4측선에 대한 수평탐사를 실시하였다. 또한 안동지역에서는 대수층의 수직분포를 파악하기 위하여 수직탐사 3점을 계획하여 실시



Fig 190. 충주지역 전기비저항탐사 위치도

Table 172. 충주지역 Line-1(종방향) 탐사 결과



구 분	상 태	해당구간(m)	심 도(m)	추정 지층상태	비 고(Ω·m)
Line-1	저비저항대 (213Ω·m 이하)	15.0~33.0 38.0~61.0 61.0~105.0 105.0~125.0	5.0~9.0 10.0 하부 0.0~18.0 0.0 하부	퇴적층 퇴적층, 기반암 퇴적층 퇴적층, 기반암	55.8~1,623

- 전기비저항값은 55.8~1,623Ω·m의 범위를 나타내며, 저비저항대(213Ω·m이하)는 측선 15.0~33.0m(심도 5.0~9.0m) 구간의 퇴적층, 38.0~61.0m(심도 10.0m 하부) 구간의 퇴적층 및 기반암, 61.0~105.0m(심도 0.0~18.0m) 구간의 퇴적층, 105.0~125.0m(심도 0.0m 하부) 구간의 퇴적층 및 기반암층에서 분포

(다) 강변여과수 후보지 선정 결과

- 지층의 적합성, 부지활용기간의 적합성, 장비진입 용이성, 향후 활용가능성 등을 평가하여 선정함
- 검토결과를 토대로 충주 무술공원 지역을 강변여과수 실증시험 대상부지로 선정함

(2) 선정부지조사 성과

(가) 조사지역

- 충청북도 충주시 금릉동 533번지 일원(국립중원문화재 연구소 앞)



Fig 191. 조사지역 위치도

(나) 지형현황

- 본 조사지역은 행정구역상 충청북도 충주시 금릉동 533 일원으로 동서방향으로 연결된 평택제천고속도로(동충주IC)가 북쪽에 위치하고, 북남방향으로 이어지는 중부내륙고속도로(충주IC)가 서쪽에 위치한다. 또한 국도 3번, 19번이 인접하여 교통에 용이함
- 산계는 조사지역의 북쪽에서 시계방향으로 장미산(△330)-계명산(△770)-남산(△640)-물레산(△390)-어래산(△390)-봉화산(△150)등으로 둘러 쌓여있음
- 수계는 조사지역 동남쪽에 위치한 충주호에서 동서류 하는 남한강이 조사지역 남쪽에서 발달한 달천과 만나 팔당호로 유입됨

(다) 지질현황

- 본 조사지역은 1:50,000 충주도폭(1965년)에 해당되며, 중생대 백악기의 흑운모화강암이 넓게 분포하고 이를 신생대 제4기의 충적층이 덮고 있음

• 조사지역 기반암에 해당되는 흑운모화강암은 조사지역을 중심으로 넓게 분포하고 있으며 충적층은 하천을 따라 발달하였으며 점토, 실트, 모래, 자갈 등으로 구성되고 대부분 농경지 및 도심지로 이루어져 있음



Fig 192. 지질도 및 지질계통

(라) 현장조사

① 정천현황조사

• 본 조사지역의 지하수개발현황을 파악하기 위하여 실시한 정천현황조사는 시추조사 관측공 3개소의 중심을 기준으로 반경 0.5km에 해당하는 지역을 조사대상지역으로 선정하여 현장조사를 실시

• 이용 중인 관정 및 지하수는 총 5개소로 조사되었고, 이들에서 사용하는 지하수량은 35.44m^3/day로 조사되었다. 기설관정의 이용량은 국가지하수정보센터의 이용실태를 바탕으로 현장조사 결과를 사용하였으며, 지하수 이용량은 국토부에서 2013년도에 발간한 지하수 이용량 산정요령에 의하여 산정하였다. 또한 조사지역내 샘 및 유출지하수는 현장조사 결과 없는 것으로 조사됨

Table 173. 시설현황

구 분	번 호	주 소	시 설 현 황				
			일사용량 (m3/day)	심 도 (m)	구 경 (mm)	펌 프 (HP)	토출관 (mm)
신고	1	충주시 금릉동 457-1	7.76	50	70	2.0	50
신고	2	충주시 금릉동 381	6.64	40	70	0.3	40
신고	3	충주시 칠금동 124	7.76	60	60	1.5	40
신고	4	충주시 칠금동 368-3	6.50	9	50	0.5	20
신고	5	충주시 칠금동 121	6.78	80	150	1.0	30
총 계 (m3/day)			35.44				

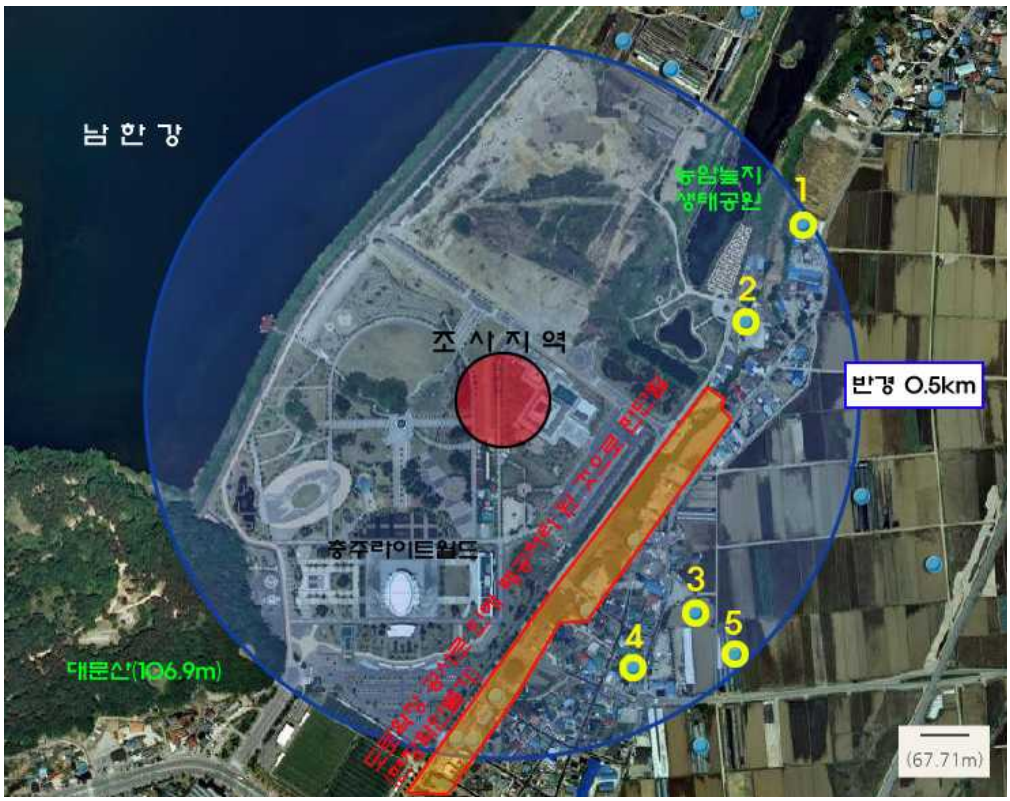


Fig 193. 정천현황조사

② 시추조사

• 본 조사지역 지층의 구성 상태 등을 파악하는 목적으로 총 3개소에 수행하였으며, 시추조사 완료 후 순간충격시험 및 수위측정을 위한 관측정으로 활용

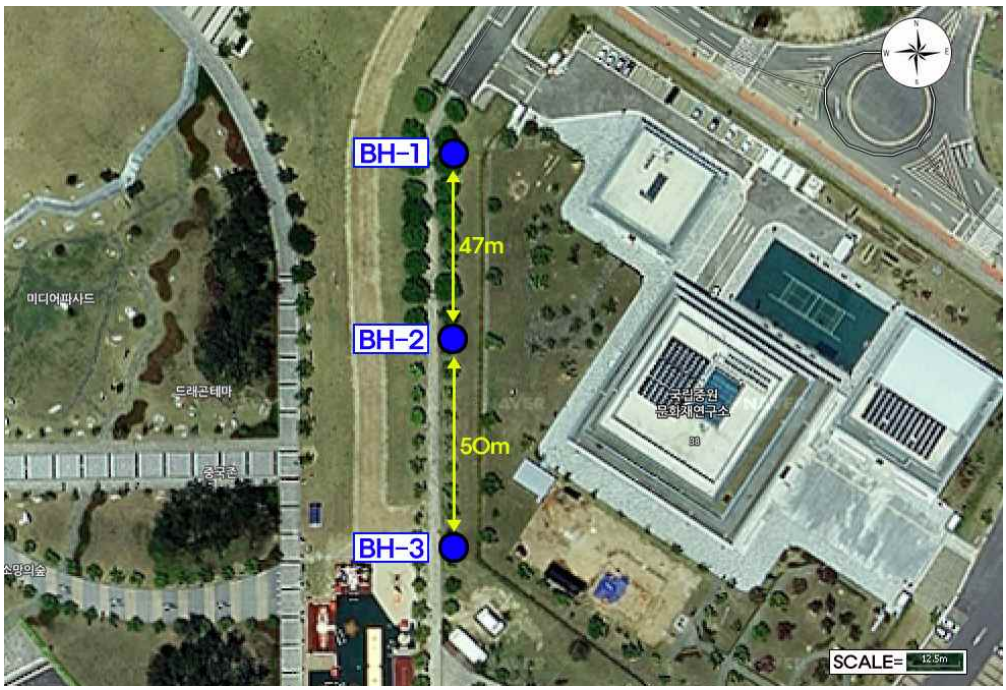


Fig 194. 시추조사 위치도

Table 174. 지층 현황

공 번	매립층	퇴적(모래)	퇴적(자갈)	풍화토	풍화암	연암층	계	SPT(회)
BH-1	0.0~2.5 (2.5)	2.5~6.0 (3.5)	6.0~17.5 (11.5)	-	-	17.5~19.5 (2.0)	19.5	17
BH-2	0.0~2.5 (2.5)	2.5~5.8 (3.3)	5.8~14.5 (8.7)	14.5~16.0 (1.5)	16.0~17.0 (1.0)	17.0~17.5 (0.5)	17.5	11
BH-3	0.0~2.4 (2.4)	2.4~7.0 (4.6)	7.0~14.0 (7.0)	-	-	14.0~14.5 (0.5)	14.5	13
합 계	7.4	11.4	27.2	1.5	1.0	3.0	51.5	41

Table 175. 지층 개요

지 층	지 층 개 요
매립층	•본 층은 필요에 의해 인위적으로 생성시킨 지층으로 전 지점에서 확인되었으며 지표면으로부터 2.4~2.5m의 층후로 분포하고, 구성성분은 자갈섞인 실트질모래(SM)로 구성되어 있으며, 수분함량은 습윤의 상태이며, 색조는 갈색, 황갈색의 색상을 띰 •표준관입시험에 의한 N값은 3회/30cm~4회/30cm로 매우느슨(Very Loose)한 상대밀도(Relative Density)를 나타내고, 자갈의 크기는 약 1~5cm로 관찰됨
퇴적층	•본 층은 유동, 붕락, 활주 등의 여러 운반작용에 의해 형성된 지층으로 전 지점에서 확인되었고 지표면으로부터 2.4~2.5m의 심도에서 11.6~15.0m의 층후로 분포하고, 구성성분은 실트질모래(SM) 및 모래섞인 자갈(GP)로 구성되어 있으며, 수분함량은 습윤~포화의 상태이며, 색조는 갈색, 담갈색, 담회색, 암회색 등의 색상을 띰 •표준관입시험에 의한 N값은 4회/30cm~50회/2cm로 매우느슨(Very Loose)~매우조밀(Very Dense)한 상대밀도(Relative Density)를 나타내고, 자갈의 크기는 약 1~7cm로 관찰됨
풍화토	•본 층은 기반암이 완전히 풍화되어 원위치에 잔류되어 있는 지층으로 BH-2지점에서만 확인되었다. 지표면 하 14.5m의 심도에서 1.5m의 층후로 분포하고, 구성성분은 실트질모래(SM)로 구성되어 있으며, 토사의 수분함량은 습윤 상태이고, 색조는 암회색의 색상을 띰 •표준관입시험에 의한 N값은 50회/14cm로 매우조밀(Very Dense)한 상대밀도(Relative Density)를 나타냄
풍화암	•본 층은 입자간의 결합력은 대부분 상실하여 가벼운 충격에도 쉽게 분해되지만 기반암이 모암의 조직을 그대로 유지하여 원위치에서는 대단히 안정된 지층으로 화강암으로 구성되며, BH-2지점에서만 확인되었다. 지표면 하 16.0m의 심도에서 1.0m의 층후로 확인되었다. 색조는 담갈색의 색상을 나타내며, 굴진시 암편섞인 실트질모래로 분해 •풍화상태는 심한풍화(Highly Weathered), 강도는 약함(Weak)을 보이고, 표준관입시험에 의한 N값은 50회/10cm으로 매우조밀(Very Dense)한 상대밀도(Relative Density)를 나타냄
연암	•본 층은 과업지역의 기반암의 연암으로 흑운모화강암으로 구성되며, 전 지점에서 확인되었다. 지표면 하 14.0~17.5m의 심도에서 0.5~2.0m의 층후로 확인되었다. 색조는 담회색, 회색, 암회색의 색상을 나타내며, 부분적으로 파쇄대가 발달됨 •풍화상태는 보통풍화(Moderately Weathered), 강도는 보통강함(Medium Strong)을 보이고, 코아회수율(TCR)은 63~84%이고, 암질지수(RQD)는 0~23% 임.

③ 지하수위 측정

- 본 조사지역 내 지하수위 분포현황을 파악하기 위하여 총 3개소 수직 시추공에서 시추작업 완료 후 시간이 경과한 다음 안정된 지하수위를 측정

Table 176. 지하수위 측정 결과

공 번	지하수위 G.L(−)m		지층명, 구성성분	굴진심도 G.L(−)m
	시추종료 후 즉시	5일 경과 후		
BH−1	8.70	8.60	퇴적층, 입도양호한모래	19.5
BH−2	8.10	8.30	퇴적층, 입도불량한모래	17.5
BH−3	7.80	7.90	퇴적층, 입도불량한모래	14.5

- 본 조사지역의 지하수위 분포는 G.L(−) 7.90~8.60m로 측정되었으며, 인접한 하천(남한강) 높이와 유사하게 형성되어 있고, 강우량에 따라 지하수위의 변화가 예상됨

(마) 물리탐사

② 굴절법탄성파탐사

- 조사지역에 대하여 지층의 개략적인 분포를 파악하여 착정공 위치를 선정하여 취수가능량 등의 취수방안 타당성을 검토하는 기초자료로 활용하기 위해 종방향으로 1측선(L−1)에서 굴절법탄성파 탐사를 실시
- 제1층(토사)은 최소 13.8m, 최대 18.0m의 두께로 거리가 증가함에 따라 층후가 점차 줄어드는 분포를 보이는 것으로 해석되고, 제2층(풍화암)은 시점부터 약 20m지점까지는 출현하지 않았고, 이후로 최대 1.8m 이내의 두께를 보임
- 제3층에 해당되는 탄성파속도 1,200m/sec이상의 기반암층은 지표하 14.7~18.0m 심도부터 출현하는 것으로 해석됨
- 각 속도층은 전반적으로 고른 분포를 보이고, 시점부에서 제2층은 확인되지 않았으며 거리가 증가함에 따라 토사층의 두께는 점차 감소하는 것으로 해석됨

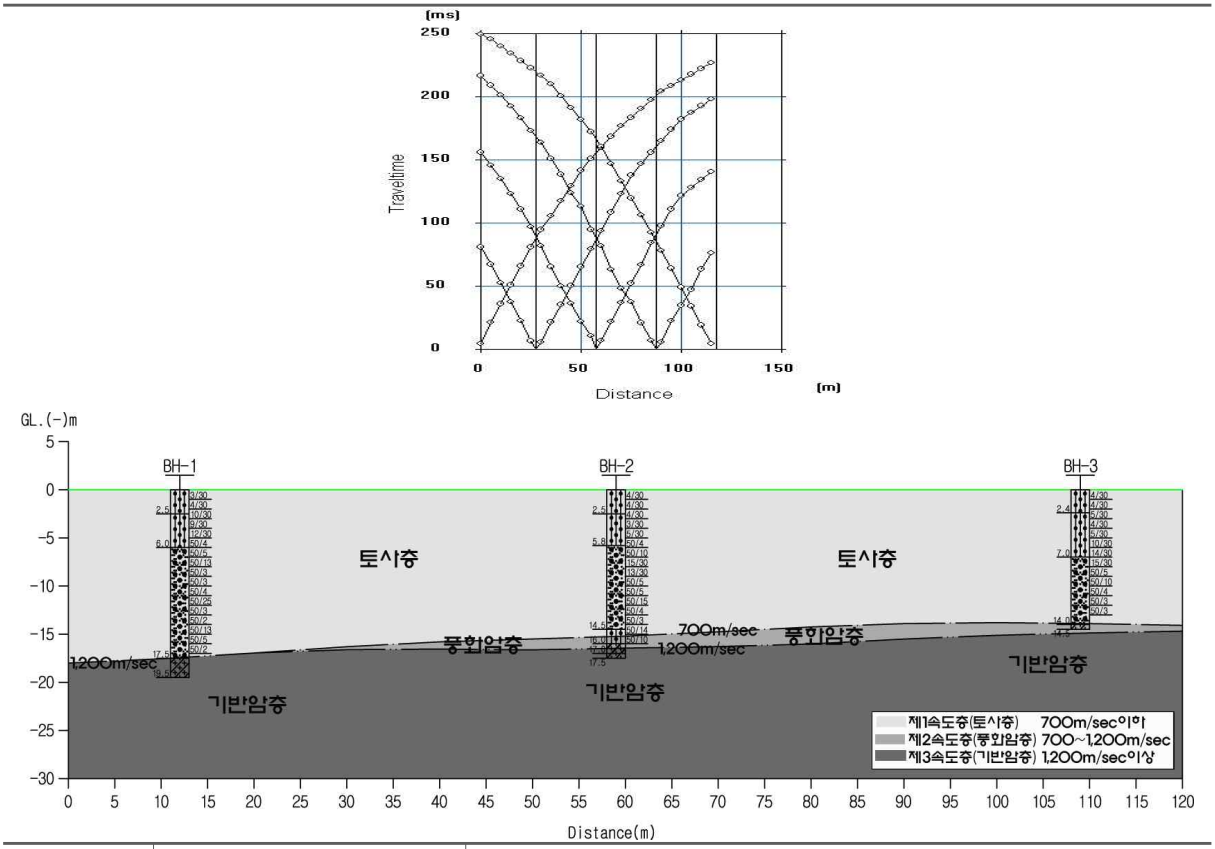
Table 177. 굴절법탄성파탐사 현황

측선 No.	방 향	연 장 (m)	수신기간격(m)	비 고
Line−1	종방향	120	5	24 ch



Fig 195. 굴절법탄성파탐사 위치도

Table 178. Line-1 (주시곡선 및 결과단면)



구 분	토사굴착 영역		발파 영역				
속 도	제1속도층 (700m/sec이하)		제2속도층 (700~1,200m/sec)		제3속도층 (1,200m/sec이상)		
지 층	토 사		풍 화 암		기 반 암		
두 께 (m)	최소	최대	최소	최대	심 도 (GL-m)	최소	최대
	13.8	18.0	0.0	1.8		14.7	18.0

(바) 현장시험

① 표준관입시험

• 시추조사와 병행하여 1.0m 간격으로 수행함

Table 179. 지층별 표준관입시험 결과(회/cm)

공 번	매립층	퇴적(모래)	퇴적(자갈)	풍화토	풍화암	회
BH-1	3/30~4/30	9/30~12/30	50/25~50/2	-	-	17
BH-2	4/30	3/30~5/30	13/30~50/3	50/14	50/10	16
BH-3	4/30	4/30~10/30	14/30~50/3	-	-	13

Table 180. 심도별 표준관입시험 결과(회/cm)

구 분 / 공 번	1.0m	2.0m	3.0m	4.0m	5.0m	6.0m	7.0m	8.0m	9.0m	계
	10.0m	11.0m	12.0m	13.0m	14.0m	15.0m	16.0m	17.0m	-	
BH-1	3/30	4/30	10/30	9/30	12/30	50/4	50/5	50/13	50/3	17
	50/3	50/4	50/25	50/3	50/2	50/13	50/5	50/2	-	
BH-2	4/30	4/30	4/30	3/30	5/30	50/4	50/10	15/30	13/30	16
	50/5	50/5	50/15	50/4	50/3	50/14	50/10	-		
BH-3	4/30	4/30	5/30	4/30	5/30	10/30	14/30	15/30	50/5	13
	50/10	50/4	50/3	50/3	-					

② 순간충격시험

• 조사지역 내 시추공에 대한 투수성을 파악하기 위하여 총 3회의 순간충격시험을 실시함

Table 181. AQTESOLV Program을 이용한 순간충격시험 결과(1/2)

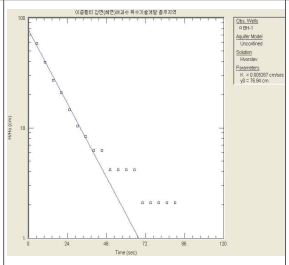
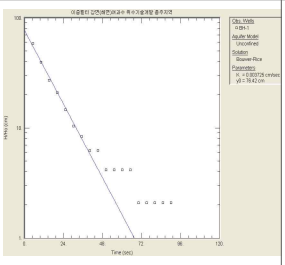
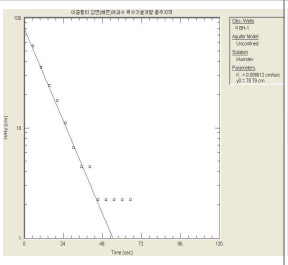
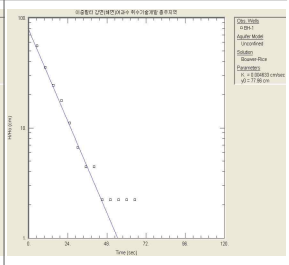
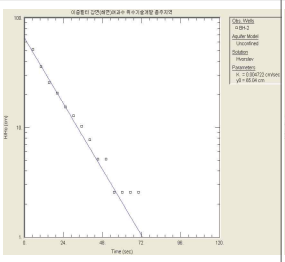
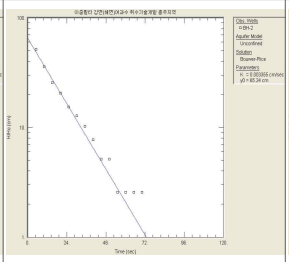
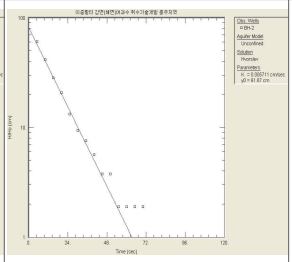
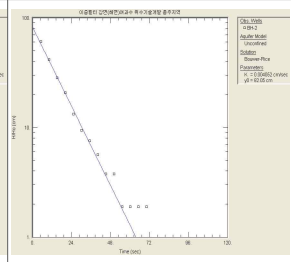
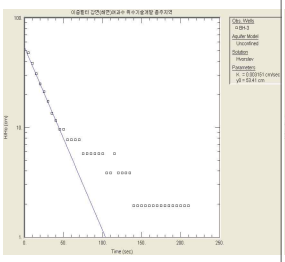
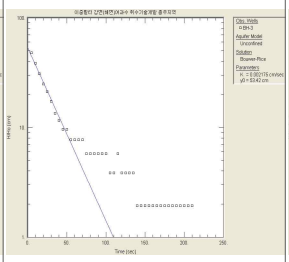
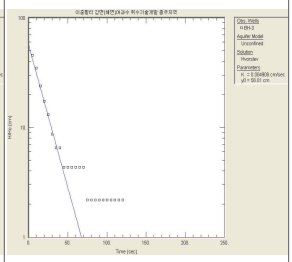
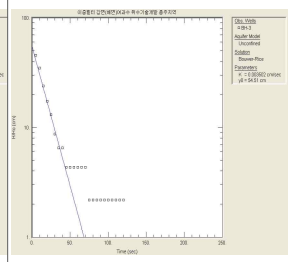
시험 방법	주 입		제 거	
해석 방법	Hvorslev 법	Bouwer & Rice 법	Hvorslev 법	Bouwer & Rice 법
BH-1				
투수 계수	5.267×10^{-3}cm/sec	3.725×10^{-3}cm/sec	6.612×10^{-3}cm/sec	4.633×10^{-3}cm/sec

Table 182. AQTESOLV Program을 이용한 순간충격시험 결과(2/2)

시험 방법	주 입		제 거	
해석 방법	Hvorslev 법	Bouwer & Rice 법	Hvorslev 법	Bouwer & Rice 법
BH-2				
투수 계수	4.722×10^{-3}cm/sec	3.355×10^{-3}cm/sec	5.711×10^{-3}cm/sec	4.052×10^{-3}cm/sec
BH-3				
투수 계수	3.151×10^{-3}cm/sec	2.175×10^{-3}cm/sec	4.908×10^{-3}cm/sec	3.502×10^{-3}cm/sec

.

Table 183. 순간충격시험 결과 요약

공 번	해석방법	투수계수 (cm/sec)		비 고
		주 입	제 거	
BH-1	Hvorslev	5.267×10^{-3}	6.612×10^{-3}	
	Bouwer-Rice	3.725×10^{-3}	4.633×10^{-3}	
	평 균	4.496×10^{-3}	5.622×10^{-3}	5.059×10^{-3}
BH-2	Hvorslev	4.722×10^{-3}	5.711×10^{-3}	
	Bouwer-Rice	3.355×10^{-3}	4.052×10^{-3}	
	평 균	4.038×10^{-3}	4.881×10^{-3}	4.460×10^{-3}
BH-3	Hvorslev	3.151×10^{-3}	4.908×10^{-3}	
	Bouwer-Rice	2.175×10^{-3}	3.502×10^{-3}	
	평 균	2.663×10^{-3}	4.205×10^{-3}	3.434×10^{-3}

(사) 실내시험

① 실내토질시험

• 각 토사지층의 물리적 특성을 파악하기 위하여 표준관입시험으로 채취된 토사시료에 대하여 한국공업규격(KS F)에 의거하여 총 11회의 실내시험을 실시

Table 184. 기본물성시험 결과

공 번	심 도 (m)	통일분류 (USCS)	함수비 (%)	비 중 (Gs)	Atterberg		Sieve Analysis		
					액성한계 LL(%)	소성지수 PI	#4 (%)	#200 (%)	0.005 (mm)
BH-1	5.0	SM	20.7	2.639	N.P.	N.P.	100	14.4	-
	8.0	GP	3.7	2.602	N.P.	N.P.	12.5	1.5	-
	12.0	GP	5.9	2.603	N.P.	N.P.	26.8	3.4	-
	15.0	GP	14.7	2.603	N.P.	N.P.	47.9	4.2	-
BH-2	5.0	SM	15.1	2.645	N.P.	N.P.	-	25.1	6.9
	8.0	SP	17.3	2.603	N.P.	N.P.	66.8	4.1	-
	12.0	GP	5.0	2.601	N.P.	N.P.	18.9	1.1	-
	15.0	SM	17.2	2.640	N.P.	N.P.	100	17.9	-
BH-3	5.0	SM	11.7	2.642	N.P.	N.P.	100	23.0	7.4
	8.0	GP	8.5	2.601	N.P.	N.P.	33.9	1.6	-
	10.0	GP	4.2	2.601	N.P.	N.P.	18.0	1.0	-

Table 185. 입도분석 결과

공 번	심 도 (m)	통과중량 백분율별 입경 D(mm)						통일분류 (USCS)
		D10	D15	D30	D50	D60	D85	
BH-1	5.0	0.030	0.081	0.153	0.229	0.271	0.387	SM
	8.0	2.137	7.319	10.980	13.957	15.446	19.167	GP
	12.0	0.373	0.589	8.287	14.844	17.671	23.313	GP
	15.0	0.213	0.326	1.267	5.280	7.807	14.721	GP
BH-2	5.0	0.011	0.022	0.102	0.156	0.182	0.246	SM
	8.0	0.175	0.249	0.325	0.426	0.686	14.666	SP
	12.0	0.353	0.436	10.581	12.987	14.189	17.196	GP
	15.0	-	0.047	0.184	0.358	0.461	0.871	SM
BH-3	5.0	0.010	0.018	0.111	0.161	0.186	0.248	SM
	8.0	0.371	0.480	1.501	19.811	21.149	24.493	GP
	10.0	0.593	0.871	10.898	13.510	14.816	18.081	GP

② 수질분석

• 질산성질소와 염소이온에 의한 오염문제가 국내의 여러 지역에서 보고되고 있으며 인분 등에 의해 침투되는 질산성질소의 경우 지하수 흐름계 내에서 유입이 계속되는 한 지하수 순환과 확산에 따라 수평 및 하방침투가 진행되어 고심도의 관정에서 농도가 증가될 수 있다. 해당 과업지역의 수질은 BH-1지점의 총대장균군을 제외한 모든 항목이 적합으로 판정되었으나, 향후 관리소홀 시 오염가능성은 항시 존재하므로 지속적인 관리가 요구됨

Table 186. 수질기준 및 검사결과

검사항목	생활용수기준	BH-1	BH-2	BH-3
총대장균군	5,000군수 이하/100mL	90,000	1,400	100
수소이온농도	5.8~8.5	7.1	7.2	7.1
질산성질소	20mg/L이하	5.5	3.4	2.7
염소이온	250mg/L이하	24.2	25.0	24.2
카드뮴	0.01mg/L이하	불검출	불검출	불검출
비소	0.05mg/L이하	불검출	불검출	불검출
시안	0.01mg/L이하	불검출	불검출	불검출
수은	0.001mg/L이하	불검출	불검출	불검출
다이아지논	0.02mg/L이하	불검출	불검출	불검출
파라티온	0.06mg/L이하	불검출	불검출	불검출
페놀	0.005mg/L이하	불검출	불검출	불검출
납	0.1mg/L이하	0.005	불검출	불검출
크롬	0.05mg/L이하	불검출	불검출	불검출
1.1.1-트리클로로에탄	0.15mg/L이하	0.010	0.007	0.005
테트라클로로에틸렌	0.01mg/L이하	불검출	불검출	불검출
트리클로로에틸렌	0.03mg/L이하	불검출	불검출	불검출
벤젠	0.015mg/L이하	불검출	불검출	불검출
톨루엔	1.0mg/L이하	불검출	불검출	불검출
에틸벤젠	0.45mg/L이하	0.003	0.002	0.001
크실렌	0.75mg/L이하	불검출	불검출	불검출
판 정		부적합	적 합	적 합

2-6. 위탁연구기관 연구수행내용 및 성과(수치모의)

가. 연구목적

- 본 연구는 국토교통과학진흥원 국토교통기술사업화지원사업에 의거하여 수행하는 [이중필터 강변(해변)여과수 취수기술사업] 연구사업에 대한 수치모의를 수행하는 사업임
- 본 연구의 목적은 이중필터 취수기술 개발에 필요한 수치해석과 통계분석으로 실내시험과 현장시험의 결과에 대하여 수치해석과 통계기법을 적용하여 그 결과를 분석함

나. 연구방법

- 주요 연구내용은 강변(해변)여과수 취수정 개념모델, 단일필터 및 이중필터 취수정의 취수효율 수치모의, 실내시험 및 현장시험에 대한 수치모의, 이중필터취수정 취수효율 장기예측으로 구성
- 강변(해변)여과수 취수정 개념모델 개발은 국내의 설치된 강변(해변)여과수 취수정에 대하여 수치모의를 수행하고, 개념모델에 필요한 입력자료, 경계조건 등을 분석하는 연구임
- 단일필터 및 이중필터 취수정의 취수효율 수치모의는 취수정에 설치되는 단일필터와 이중필터에 대하여 취수효율을 수치모의를 수행하고, 수치모델에서 도출되는 결과에 대하여 분석하고 평가하는 연구임
- 실내시험 및 현장시험에 대한 평가는 실내시험과 현장시험에 대하여 수치모의를 수행하고, 결과를 분석하여, 수치모의의 문제점과 개선방향을 찾는 연구임
- 이중필터 취수정 취수효율 장기예측은 실내시험과 현장시험의 결과를 바탕으로 이중필터를 운영하는 경우에 장기적으로 변화하는 취수효율에 대한 예측 프로그램을 개발하는 연구임

다. 연구내용

연차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	•수치모의에 의한 제품의 성능분석 및 개선안 도출	•최적 적용방안에 대한 수치모의 •시험공 간격 등 현장 설계인자 확보
2차년도	•실내시험과 현장시험 결과를 바탕으로 한 수치해석을 기초로 효과검증 및 장기적 안정성 평가	•수치해석을 통한 단일필터 대비 이중필터의 효과분석 •필터재의 두께증가로 인한 효과 분석 •모델링을 통한 단일필터취수정 대비 장기적인 안정성 평가
3차년도	•현장시험 결과를 바탕으로 한 수치해석을 기초로 효과검증 및 장기적 안정성 평가 계속	•수치해석을 통한 단일필터 대비 이중필터의 효과분석 •필터재의 두께증가로 인한 효과 분석 •모델링을 통한 단일필터취수정 대비 장기적인 안정성 평가

라. 연구결과

(1) 단일필터

(가) 양수효율 수치해석

- 단일필터에 비하여 양수효율이 우수한 이중필터의 효과를 정량적으로 평가하기 위하여 수리패석을 수행하고, 이중필터의 효과를 분석함
- 양수정을 그대로 설치한 경우와 단일필터를 설치한 경우에 대하여 양수정에서 발생하는 수위강하를 수치해석하고, 그 결과를 비교하여 단일필터 사용에 따른 양수효율을 분석함
- 양수정의 반경을 0.1m로 가정하고, 단일필터의 두께를 0.1m부터 1.0m까지 변경하면서 양수정에서 발생하는 수위강하를 계산함

Table 187. 단일필터의 제원

구분	단일필터 특성	대수층 특성
1	무필터	수리전도도 0.0001m/s
2	여과사 수리전도도 0.001m/s 두께 0.1m	수리전도도 0.0001m/s
3	여과사 수리전도도 0.001m/s 두께 0.2m	수리전도도 0.0001m/s
4	여과사 수리전도도 0.001m/s 두께 0.3m	수리전도도 0.0001m/s
5	여과사 수리전도도 0.001m/s 두께 0.4m	수리전도도 0.0001m/s
6	여과사 수리전도도 0.001m/s 두께 0.5m	수리전도도 0.0001m/s
7	여과사 수리전도도 0.001m/s 두께 0.6m	수리전도도 0.0001m/s
8	여과사 수리전도도 0.001m/s 두께 0.7m	수리전도도 0.0001m/s
9	여과사 수리전도도 0.001m/s 두께 0.8m	수리전도도 0.0001m/s
10	여과사 수리전도도 0.001m/s 두께 0.9m	수리전도도 0.0001m/s
11	여과사 수리전도도 0.001m/s 두께 1.0m	수리전도도 0.0001m/s

- 단일필터 제원에 따라 발생하는 수위강하를 양수정의 중심부터 거리를 기준으로 계산함

Table 188. 양수정 중심부터 거리에 대한 수위강하

양수정중심 부터거리(m)	수위강하 (m)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.15	0.1530	0.1420	0.1307	0.1199	0.1137	0.1078	0.1025	0.0987	0.0946	0.0916	0.0863
0.25	0.1356	0.1346	0.1290	0.1181	0.1119	0.1060	0.1007	0.0970	0.0928	0.0898	0.0846
0.35	0.1236	0.1237	0.1234	0.1170	0.1107	0.1048	0.0995	0.0958	0.0916	0.0886	0.0833
0.45	0.1145	0.1149	0.1148	0.1132	0.1099	0.1039	0.0986	0.0949	0.0907	0.0877	0.0824
0.55	0.1072	0.1077	0.1077	0.1068	0.1066	0.1033	0.0979	0.0941	0.0900	0.0870	0.0817
0.65	0.1011	0.1016	0.1016	0.1011	0.1011	0.1005	0.0974	0.0935	0.0894	0.0864	0.0811
0.75	0.0959	0.0964	0.0964	0.0961	0.0961	0.0957	0.0950	0.0930	0.0889	0.0858	0.0805
0.85	0.0914	0.0918	0.0918	0.0916	0.0916	0.0914	0.0910	0.0909	0.0884	0.0854	0.0801
0.95	0.0874	0.0877	0.0878	0.0876	0.0876	0.0874	0.0872	0.0872	0.0866	0.0850	0.0796
1.1	0.0819	0.0822	0.0823	0.0821	0.0822	0.0820	0.0820	0.0820	0.0816	0.0816	0.0791
1.3	0.0759	0.0761	0.0761	0.0760	0.0761	0.0760	0.0760	0.0760	0.0757	0.0758	0.0760
1.5	0.0707	0.0709	0.0709	0.0708	0.0708	0.0708	0.0708	0.0708	0.0706	0.0707	0.0708
1.7	0.0661	0.0663	0.0663	0.0662	0.0663	0.0662	0.0662	0.0663	0.0661	0.0661	0.0662
1.9	0.0621	0.0622	0.0622	0.0622	0.0622	0.0621	0.0621	0.0622	0.0620	0.0621	0.0621

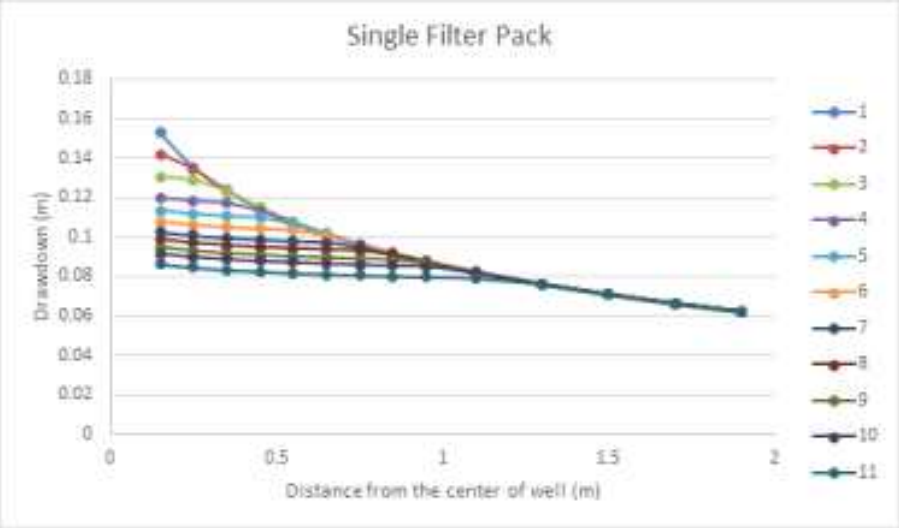
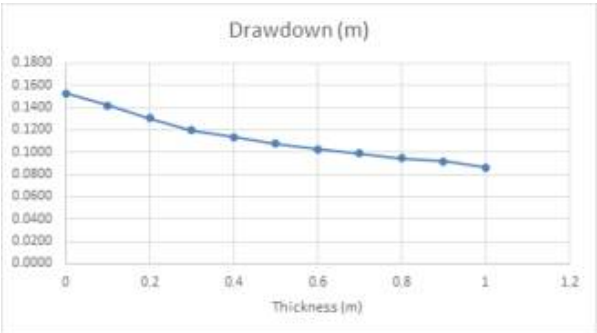


Fig 196. 단일필터 제원에 따라 발생하는 수위강하

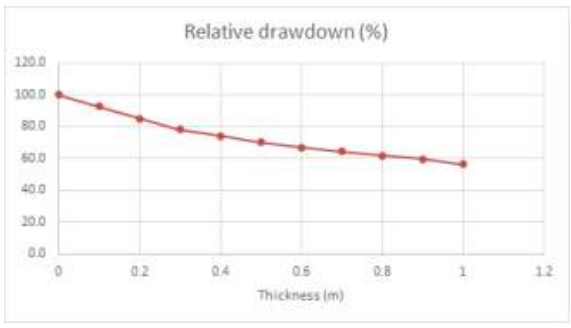
- 단일필터 제원에 따라 양수정에서 발생하는 수위강하를 표로 정리하고, 그래프로 도시하여 단일필터의 효과를 분석함

Table 189. 단일필터 제원에 따른 양수정 중심에서의 수위강하 및 효율

구분	단일필터 두께 (m)	수위강하 (m)	상대 수위강하 (%)	효율 (%)
1	0	0.1530	100.0	100.0
2	0.1	0.1420	92.8	107.7
3	0.2	0.1307	85.4	117.1
4	0.3	0.1199	78.3	127.6
5	0.4	0.1137	74.3	134.6
6	0.5	0.1078	70.4	142.0
7	0.6	0.1025	67.0	149.3
8	0.7	0.0987	64.5	155.0
9	0.8	0.0946	61.8	161.8
10	0.9	0.0916	59.8	167.1
11	1	0.0863	56.4	177.3



<양수정 중심에서 발생하는 수위강하>



<양수정 중심에서 발생하는 상대수위강하>

Fig 197. 단일필터 제원에 따른 수위변화

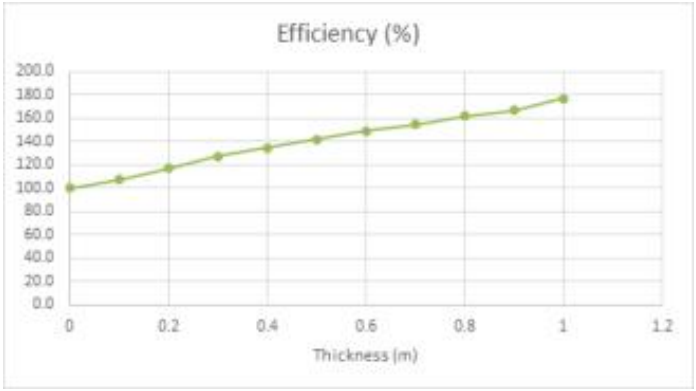


Fig 198. 단일필터 제원에 따라 양수정 중심에서 발생하는 효율

- 단일필터의 두께가 증가할수록 양수정에서 발생하는 수위강하는 감소하고, 상대수위강하와 효율은 증가함
- 단일필터의 두께가 1.0m일 때, 양수정에서 0.0863m의 수위강하가 발생하여, 상대수위강하는 56.4%로 감소하고, 효율은 177.3%로 증가함

(나) 여과사의 수리전도도 변화에 따른 효과 분석

- 단일필터 여과사의 수리전도도가 증가하면 양수정에서 발생하는 수위강하가 감소하므로 이를 수치해석하고, 그 결과를 비교하여 단일필터 여과사의 수리전도도에 따른 양수효율을 분석함
- 양수정의 반경을 0.1m로 가정하고, 단일필터의 두께를 1.0m로 가정하고, 단일필터의 수리전도도를 변경하면서 양수정에서 발생하는 수위강하를 계산함

Table 190. 단일필터의 제원

구분	단일필터 특성	대수층 특성
1	단일필터 무설치	수리전도도 0.0001m/s
2	여과사 수리전도도 0.001m/s 두께 1.0m	수리전도도 0.0001m/s
3	여과사 수리전도도 0.002m/s 두께 1.0m	수리전도도 0.0001m/s
4	여과사 수리전도도 0.004m/s 두께 1.0m	수리전도도 0.0001m/s
5	여과사 수리전도도 0.008m/s 두께 1.0m	수리전도도 0.0001m/s
6	여과사 수리전도도 0.016m/s 두께 1.0m	수리전도도 0.0001m/s
7	여과사 수리전도도 0.032m/s 두께 1.0m	수리전도도 0.0001m/s
8	여과사 수리전도도 0.064m/s 두께 1.0m	수리전도도 0.0001m/s
9	여과사 수리전도도 0.128m/s 두께 1.0m	수리전도도 0.0001m/s
10	여과사 수리전도도 0.256m/s 두께 1.0m	수리전도도 0.0001m/s
11	여과사 수리전도도 0.512m/s 두께 1.0m	수리전도도 0.0001m/s

- 단일필터 제원에 따라 발생하는 수위강하를 양수정의 중심부터 거리를 기준으로 계산함

Table 191. 양수정 중심부터 거리에 대한 수위강하

양수정중심 부터거리(m)	수위강하 (m)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.15	0.1530	0.0863	0.0828	0.0808	0.0800	0.0794	0.0792	0.0791	0.0790	0.0790	0.0790
0.25	0.1356	0.0845	0.0819	0.0804	0.0798	0.0793	0.0792	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790
0.35	0.1236	0.0833	0.0813	0.0801	0.0796	0.0793	0.0791	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790
0.45	0.1145	0.0824	0.0808	0.0799	0.0795	0.0792	0.0791	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790
0.55	0.1072	0.0817	0.0804	0.0797	0.0794	0.0792	0.0791	0.0790	0.0789	0.0790	0.0790
0.65	0.1011	0.0811	0.0801	0.0795	0.0793	0.0791	0.0791	0.0790	0.0789	0.0790	0.0790
0.75	0.0959	0.0805	0.0799	0.0794	0.0793	0.0791	0.0790	0.0790	0.0789	0.0790	0.0790
0.85	0.0914	0.0801	0.0796	0.0793	0.0792	0.0791	0.0790	0.0790	0.0789	0.0790	0.0790
0.95	0.0873	0.0796	0.0794	0.0792	0.0791	0.0790	0.0790	0.0790	0.0789	0.0790	0.0790
1.1	0.0819	0.0791	0.0791	0.0790	0.0791	0.0790	0.0790	0.0790	0.0789	0.0790	0.0790
1.3	0.0759	0.0760	0.0762	0.0762	0.0763	0.0762	0.0762	0.0762	0.0762	0.0763	0.0763
1.5	0.0707	0.0708	0.0711	0.0710	0.0712	0.0711	0.0711	0.0711	0.0711	0.0711	0.0711
1.7	0.0661	0.0662	0.0665	0.0664	0.0665	0.0665	0.0665	0.0665	0.0664	0.0665	0.0665
1.9	0.0621	0.0621	0.0623	0.0623	0.0624	0.0623	0.0624	0.0623	0.0623	0.0624	0.0624

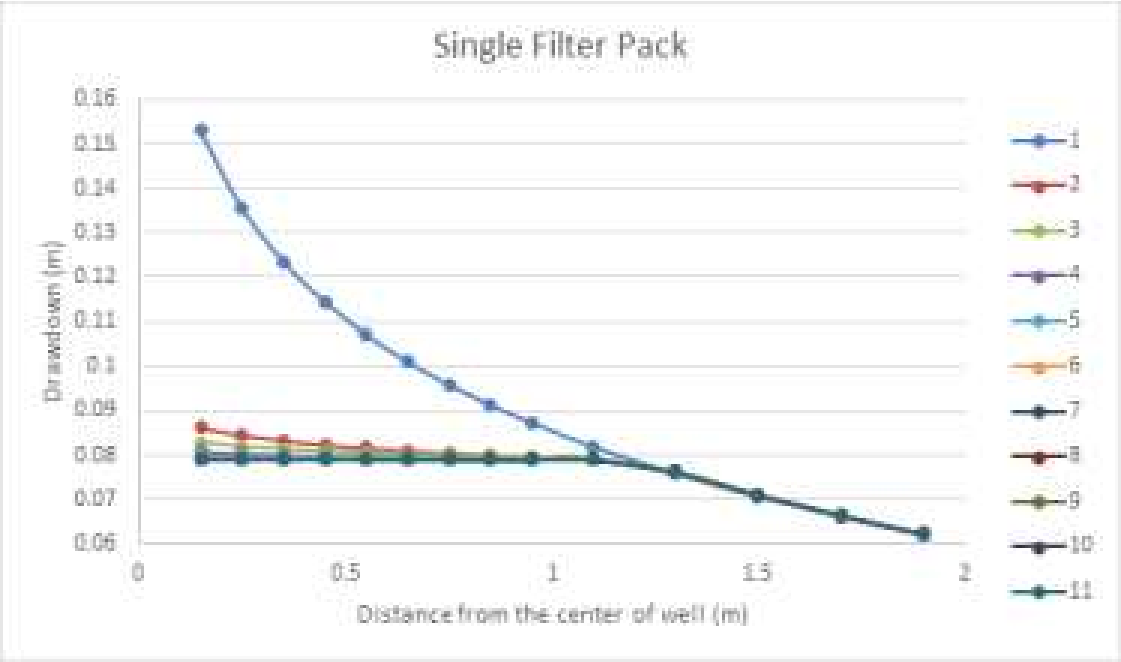
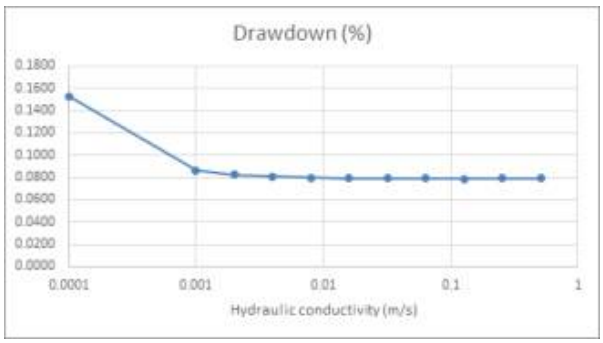


Fig 199. 단일필터 제원에 따라 발생하는 수위강하

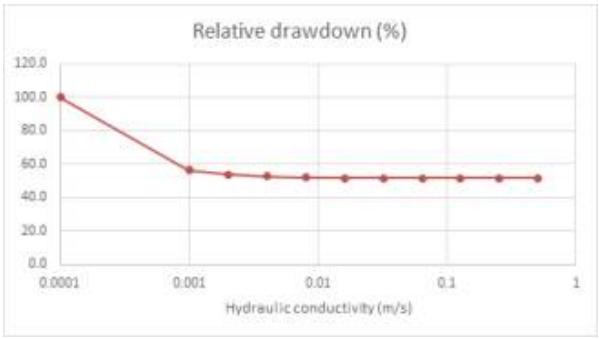
- 단일필터 제원에 따라 양수정에서 발생하는 수위강하를 표로 정리하고, 그래프로 도시하여 단일필터의 효과를 분석함

Table 192. 단일필터 제원에 따른 양수정 중심에서의 수위강하 및 효율

구분	여과사 수리전도도 (m/s)	수위강하 (m)	상대 수위강하 (%)	효율 (%)
1	0.0001	0.1530	100.0	100.0
2	0.001	0.0863	56.4	177.3
3	0.002	0.0828	54.1	184.9
4	0.004	0.0808	52.8	189.3
5	0.008	0.0800	52.3	191.3
6	0.016	0.0794	51.9	192.6
7	0.032	0.0792	51.8	193.2
8	0.064	0.0791	51.7	193.5
9	0.128	0.0790	51.6	193.7
10	0.256	0.0790	51.6	193.6
11	0.512	0.0790	51.6	193.7



<양수정 중심에서 발생하는 수위강하>



<양수정 중심에서 발생하는 상대수위강하>

Fig 200. 단일필터 제원에 따른 수위변화

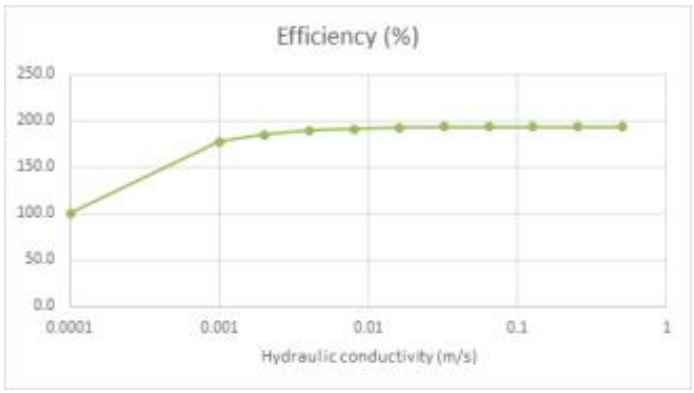


Fig 201. 단일필터 제원에 따라 양수정 중심에서 발생하는 효율

- 단일필터 여과사의 수리전도도가 증가할수록 양수정에서 발생하는 수위강하는 감소하고, 상대수위강하와 효율은 증가함
- 단일필터 여과사의 수리전도도가 0.512m/s일 때, 양수정에서 0.0790m의 수위강하가 발생하여, 상대수위강하는 51.6%로 감소하고, 효율은 193.7%로 증가함

(2) 이중필터

(가) 양수효율 수치해석

- 양수정에 단일필터를 설치한 경우와 이중필터를 설치한 경우에 대하여 양수정에서 발생하는 수위강하를 수치해석하고, 그 결과를 비교하여 이중필터 사용에 따른 양수효율을 분석함
- 양수정의 반경을 0.1m로 가정하고, 이중필터의 총 두께를 1.0m로 가정하며, 이중필터의 여과사리의 두께를 0.1m부터 1.0m까지 변경하면서 양수정에서 발생하는 수위강하를 계산함

Table 193. 이중필터의 제원

구분	이중필터 특성	대수층 특성
1	여과사리 수리전도도 0.01m/s 두께 0.0m	수리전도도 0.0001m/s
2	여과사리 수리전도도 0.01m/s 두께 0.1m	수리전도도 0.0001m/s
3	여과사리 수리전도도 0.01m/s 두께 0.2m	수리전도도 0.0001m/s
4	여과사리 수리전도도 0.01m/s 두께 0.3m	수리전도도 0.0001m/s
5	여과사리 수리전도도 0.01m/s 두께 0.4m	수리전도도 0.0001m/s
6	여과사리 수리전도도 0.01m/s 두께 0.5m	수리전도도 0.0001m/s
7	여과사리 수리전도도 0.01m/s 두께 0.6m	수리전도도 0.0001m/s
8	여과사리 수리전도도 0.01m/s 두께 0.7m	수리전도도 0.0001m/s
9	여과사리 수리전도도 0.01m/s 두께 0.8m	수리전도도 0.0001m/s
10	여과사리 수리전도도 0.01m/s 두께 0.9m	수리전도도 0.0001m/s
11	여과사리 수리전도도 0.01m/s 두께 1.0m	수리전도도 0.0001m/s

- 이중필터 제원에 따라 발생하는 수위강하를 양수정의 중심부터 거리를 기준으로 계산함

Table 194. 양수정 중심부터 거리에 대한 수위강하

양수정중심 부터거리(m)	수위강하 (m)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.15	0.0863	0.0851	0.0840	0.0830	0.0825	0.0816	0.0812	0.0810	0.0807	0.0803	0.0797
0.25	0.0845	0.0844	0.0838	0.0828	0.0823	0.0814	0.0810	0.0809	0.0805	0.0802	0.0795
0.35	0.0833	0.0833	0.0833	0.0827	0.0822	0.0813	0.0809	0.0807	0.0804	0.0800	0.0794
0.45	0.0824	0.0824	0.0824	0.0823	0.0821	0.0812	0.0808	0.0807	0.0803	0.0799	0.0793
0.55	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0818	0.0811	0.0807	0.0806	0.0802	0.0799	0.0792
0.65	0.0811	0.0811	0.0811	0.0811	0.0812	0.0808	0.0807	0.0805	0.0801	0.0798	0.0792
0.75	0.0805	0.0805	0.0806	0.0806	0.0807	0.0804	0.0804	0.0805	0.0801	0.0797	0.0791
0.85	0.0801	0.0801	0.0801	0.0801	0.0803	0.0799	0.0800	0.0802	0.0800	0.0797	0.0791
0.95	0.0796	0.0796	0.0797	0.0797	0.0799	0.0795	0.0796	0.0799	0.0798	0.0797	0.0790
1.1	0.0791	0.0791	0.0791	0.0792	0.0793	0.0790	0.0791	0.0793	0.0793	0.0793	0.0790
1.3	0.0760	0.0760	0.0760	0.0761	0.0762	0.0759	0.0760	0.0762	0.0762	0.0762	0.0762
1.5	0.0708	0.0709	0.0709	0.0709	0.0711	0.0707	0.0709	0.0711	0.0711	0.0711	0.0711
1.7	0.0662	0.0662	0.0663	0.0663	0.0665	0.0661	0.0663	0.0664	0.0665	0.0664	0.0664
1.9	0.0621	0.0621	0.0622	0.0622	0.0623	0.0620	0.0622	0.0623	0.0623	0.0623	0.0623

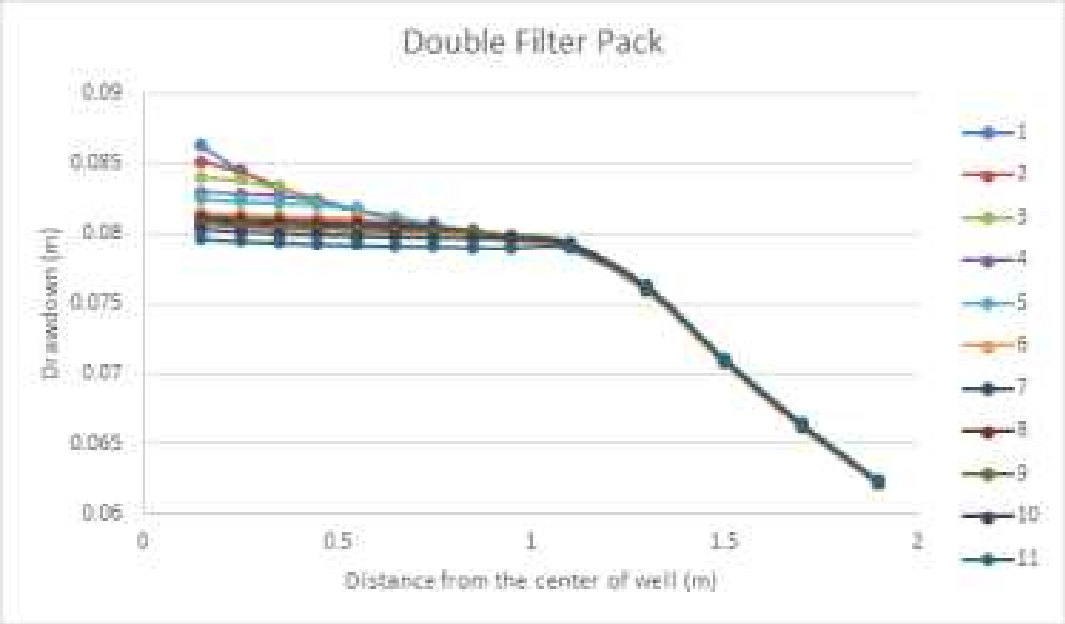
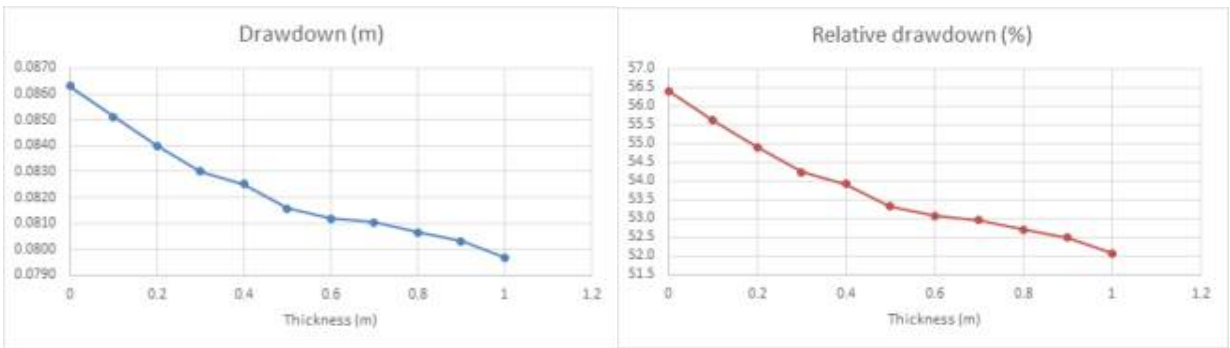


Fig 202. 이중필터 제원에 따라 발생하는 수위강하

- 이중필터 제원에 따라 양수정에서 발생하는 수위강하를 표로 정리하고, 그래프로 도시하여 단일 필터의 효과를 분석함

Table 195. 이중필터 제원에 따른 양수정 중심에서의 수위강하 및 효율

구분	여과사리 두께 (m)	수위강하 (m)	상대 수위강하 (%)	효율 (%)
1	0	0.0863	56.4	177.3
2	0.1	0.0851	55.6	179.8
3	0.2	0.0840	54.9	182.1
4	0.3	0.0830	54.2	184.4
5	0.4	0.0825	53.9	185.4
6	0.5	0.0816	53.3	187.6
7	0.6	0.0812	53.1	188.4
8	0.7	0.0810	53.0	188.8
9	0.8	0.0807	52.7	189.7
10	0.9	0.0803	52.5	190.5
11	1	0.0797	52.1	192.0



<양수정 중심에서 발생하는 수위강하> <양수정 중심에서 발생하는 상대수위강하>

Fig 203. 단일필터 제원에 따른 수위변화



Fig 204. 이중필터 제원에 따라 양수정 중심에서 발생하는 효율

- 이중필터의 여과사리 두께가 증가할수록 양수정에서 발생하는 수위강하는 감소하고, 상대수위강하와 효율은 증가함
- 이중필터의 여과사리 두께가 1.0m일 때, 양수정에서 0.0797m의 수위강하가 발생하여, 상대수위강하는 52.1%로 감소하고, 효율은 192.0%로 증가함

(나) 여과사의 수리전도도 변화에 따른 효과 분석

- 이중필터 여과사리의 수리전도도가 증가하면 양수정에서 발생하는 수위강하가 감소하므로 이를 수치해석하고, 그 결과를 비교하여 이중필터 여과사리의 수리전도도에 따른 양수효율을 분석함
- 양수정의 반경을 0.1m로 가정하고, 이중필터의 두께를 1.0m로 가정하고, 이중필터 여과사리의 수리전도도를 변경하면서 양수정에서 발생하는 수위강하를 계산함

Table 196. 이중필터의 제원

구분	이중필터 특성	대수층 특성
1	여과사리 수리전도도 0.001m/s 두께 0.5m	수리전도도 0.0001m/s
2	여과사리 수리전도도 0.002m/s 두께 0.5m	수리전도도 0.0001m/s
3	여과사리 수리전도도 0.004m/s 두께 0.5m	수리전도도 0.0001m/s
4	여과사리 수리전도도 0.008m/s 두께 0.5m	수리전도도 0.0001m/s
5	여과사리 수리전도도 0.016m/s 두께 0.5m	수리전도도 0.0001m/s
6	여과사리 수리전도도 0.032m/s 두께 0.5m	수리전도도 0.0001m/s
7	여과사리 수리전도도 0.064m/s 두께 0.5m	수리전도도 0.0001m/s
8	여과사리 수리전도도 0.128m/s 두께 0.5m	수리전도도 0.0001m/s
9	여과사리 수리전도도 0.256m/s 두께 0.5m	수리전도도 0.0001m/s
10	여과사리 수리전도도 0.512m/s 두께 0.5m	수리전도도 0.0001m/s

- 이중필터 제원에 따라 발생하는 수위강하를 양수정의 중심부터 거리를 기준으로 계산함

Table 197. 양수정 중심부터 거리에 대한 수위강하

양수정중심 부터거리(m)	수위강하 (m)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.15	0.0863	0.0837	0.0827	0.0821	0.0817	0.0815	0.0813	0.0814	0.0817	0.0816
0.25	0.0845	0.0828	0.0823	0.0819	0.0816	0.0814	0.0812	0.0814	0.0816	0.0816
0.35	0.0833	0.0822	0.0820	0.0817	0.0815	0.0814	0.0812	0.0814	0.0816	0.0816
0.45	0.0824	0.0817	0.0818	0.0816	0.0815	0.0814	0.0812	0.0814	0.0816	0.0816
0.55	0.0817	0.0814	0.0816	0.0815	0.0814	0.0813	0.0812	0.0814	0.0816	0.0816
0.65	0.0811	0.0810	0.0813	0.0812	0.0811	0.0811	0.0809	0.0811	0.0814	0.0813
0.75	0.0805	0.0804	0.0808	0.0807	0.0807	0.0806	0.0805	0.0806	0.0809	0.0808
0.85	0.0801	0.0800	0.0803	0.0803	0.0802	0.0802	0.0800	0.0802	0.0805	0.0804
0.95	0.0796	0.0796	0.0799	0.0799	0.0798	0.0798	0.0796	0.0798	0.0801	0.0800
1.1	0.0791	0.0790	0.0793	0.0793	0.0792	0.0792	0.0791	0.0792	0.0795	0.0794
1.3	0.0760	0.0759	0.0763	0.0762	0.0762	0.0761	0.0760	0.0762	0.0764	0.0764
1.5	0.0708	0.0708	0.0711	0.0711	0.0710	0.0710	0.0708	0.0710	0.0712	0.0712
1.7	0.0662	0.0662	0.0665	0.0664	0.0664	0.0664	0.0662	0.0664	0.0666	0.0666
1.9	0.0621	0.0621	0.0623	0.0623	0.0623	0.0623	0.0621	0.0623	0.0625	0.0624

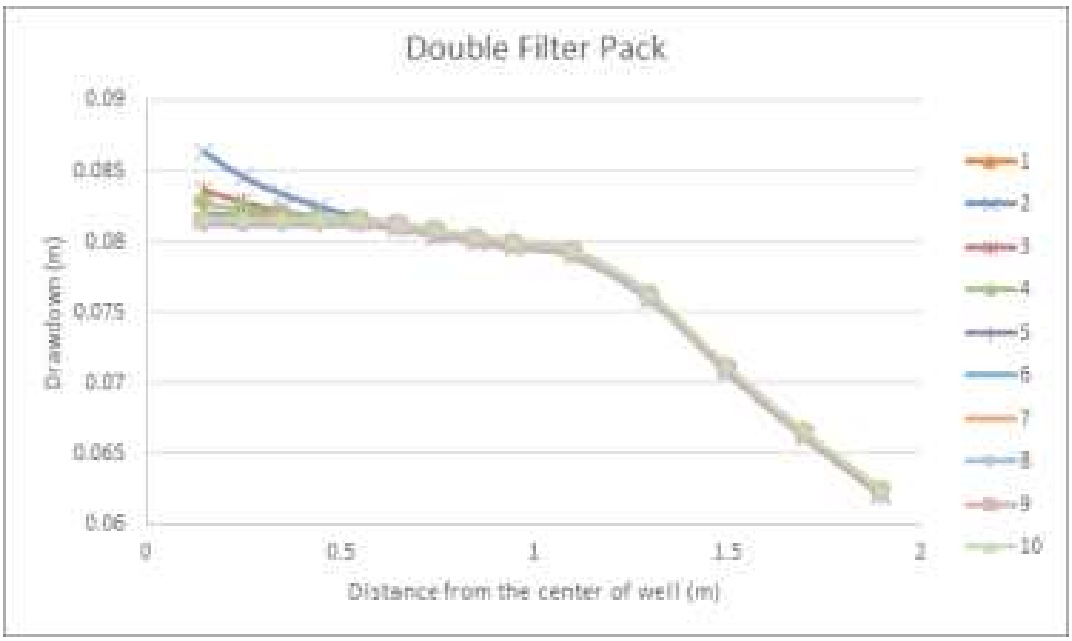
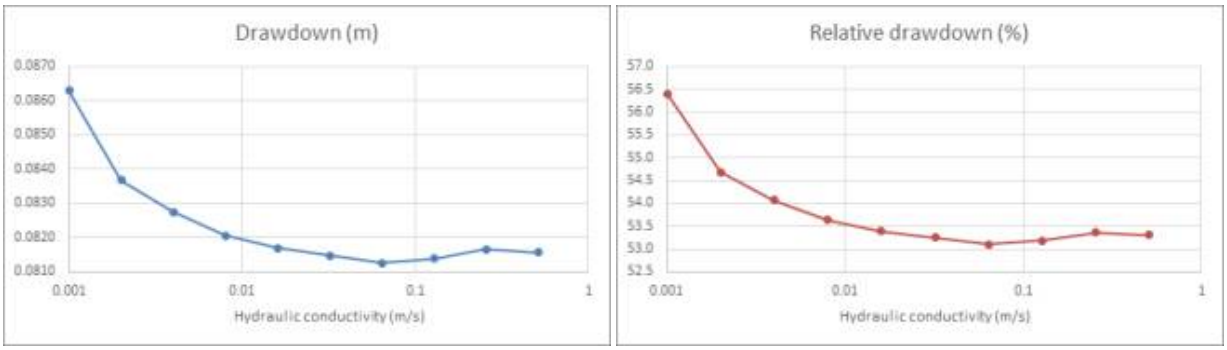


Fig 205. 이중필터 제원에 따라 발생하는 수위강하

- 이중필터 제원에 따라 양수정에서 발생하는 수위강하를 표로 정리하고, 그래프로 도시하여 이중필터의 효과를 분석함

Table 198. 이중필터 제원에 따른 양수정 중심에서의 수위강하 및 효율

구분	여과사리 수리전도도 (m/s)	수위강하 (m)	상대 수위강하 (%)	효율 (%)
1	0.001	0.0863	56.4	177.3
2	0.002	0.0837	54.7	182.8
3	0.004	0.0827	54.1	184.9
4	0.008	0.0821	53.6	186.4
5	0.016	0.0817	53.4	187.3
6	0.032	0.0815	53.3	187.8
7	0.064	0.0813	53.1	188.3
8	0.128	0.0814	53.2	188.0
9	0.256	0.0817	53.4	187.4
10	0.512	0.0816	53.3	187.6



<양수정 중심에서 발생하는 수위강하> <양수정 중심에서 발생하는 상대수위강하>

Fig 206. 이중필터 제원에 따른 수위변화

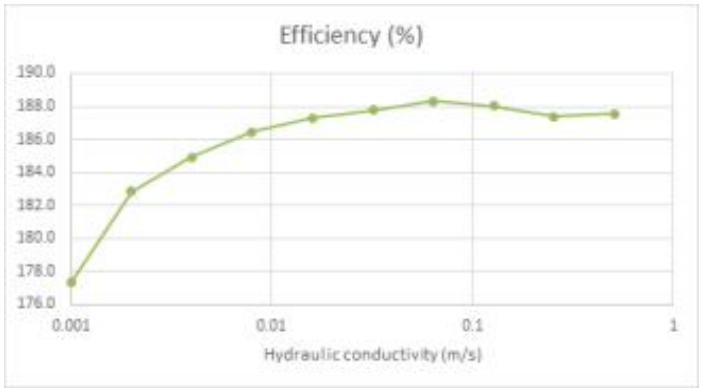


Fig 207. 이중필터 제원에 따라 양수정 중심에서 발생하는 효율

- 이중필터 여과사리의 수리전도도가 증가할수록 양수정에서 발생하는 수위강하는 감소하고, 상대수위강하와 효율은 증가함
- 이중필터 여과사리의 수리전도도가 0.512m/s일 때, 양수정에서 0.0816m의 수위강하가 발생하여, 상대수위강하는 53.3%로 감소하고, 효율은 187.6%로 증가함

(3) 이중필터 현장시험 수치모델링

(가) MODFLOW를 이용한 해변여과수 수치모델

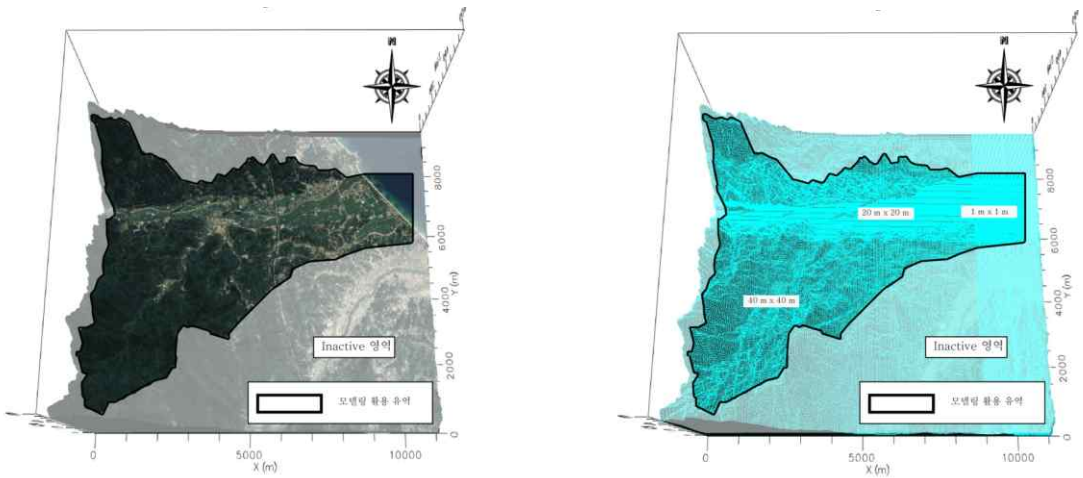
① 지하수 유동 모델링

모형구축

- 연구지역 유역구분에서 설정된 유역을 활용하여 모의영역을 설정하고 격자망을 설정함.
- 격자망을 설정함에 있어 그리드는 Columns×Rows의 수는 최대 500×500까지 가능하며 Layer의 수는 60층까지 가능하여 이를 고려하여 격자망을 설정함.
- 모델링수행 시 양수시험에 의한 수위강하는 격자 간격에 영향을 받으므로 관정 사이의 거리를 고려하여 행 구간 9820~9920m와 열 구간 6770~6870m 사이의 격자 간격을 1m×1m로 구성하였으며 이외의 구간은 20×20m, 40×40m으로 관정을 중심으로 점진적으로 격자를 넓혀 가며 설정함.
- 분수령 이외의 부분은 비활성 격자로 설정하여 계산에서 제한시켜 수치 모의의 효율성을 증가함. 전체 대수층은 1개 층으로 설정함

Table 199. 모의영역 격자 구성

격자 크기	행 구간 (m)	거리 (m)	셀갯수 (ea)	열 구간 (m)	거리 (m)	셀갯수 (ea)
1m×1m	9820~9920	100	100	6770~6870	100	100
20m×20m	8820~9820 9920~10920	2000	100	5770~6770 6870~7870	2000	100
40m×40m	0~8820 10920~10995	8895	227	0~5770 7870~9338	7238	181
합계	0~10995	10995	427	0~9338	9338	381



<모델 내 Inactive 설정> <모델 내 격자망 설정>

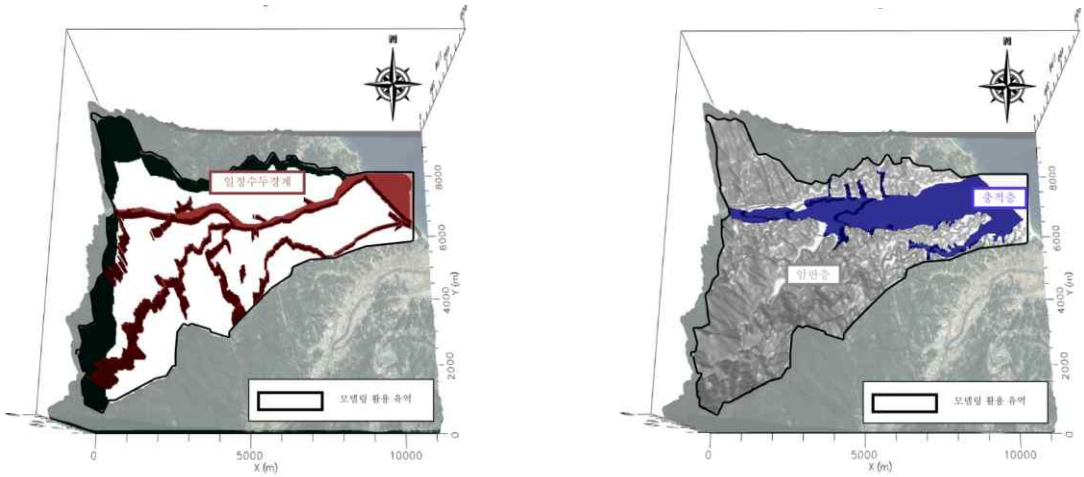
Fig 208. 모의영역 설정

경계조건 및 수리지질특성 설정

- 모델 내의 경계조건으로 연구지역에 위치한 주요 수계로서 동해와 연곡천, 소하천 등에 일정수두경계(CHD, Constant HeaD)를 입력함
- 연구지역의 수리지질특성치를 입력해주기 위하여 강릉-주문진 도폭 지역의 지질도를 사용하였으며 사용된 지질도폭은 1:50,000 축척임
- 층은 1개의 층으로 구성되어 있으며 충적층과 암반층으로 구성되어 있음
- 암반층과 충적층의 수리전도도, 비저유계수, 비산출율, 공극률 등은 문헌자료를 참고하였으며 충적층의 수리전도도를 변화시키면서 현장 수리 시험결과와 비교하고 분석함.

Table 200. 지층별 수리지질특성치 입력값

구분		수리전도도 (m/sec)	비저유계수 (1/m)	비산출율 (-)	공극률 (%)
		kx = ky = kz	Ss	Sy	n
1층	충적층		1.000×10-4	0.30	0.30
	암반층	1.000×10-5	1.000×10-4	0.05	0.05



<모델 내 경계조건 입력> <모델 내 수리지질특성치 입력>

Fig 209. 모델 설정

함양량 산정

- 연구지역의 함양율을 산정하기 위해 「강원도 지하수 관리계획 보고서(강원도・한국지하수지열협회, 2015)」를 참고
- 연구지역의 함양율은 강릉기상대에서 관측된 강릉시의 누적 강수량 1,252.0mm/year(기간 : 2009~2019년)과 함양률 14.46%를 이용하여 산정하였으며 181.0392mm/year가 지하수로 함양되도록 설정하여 함양경계조건(RCH, Recharge)을 구축함
- 지하수 함양량(R) = 1,252.00mm/year × 14.46% = 181.0392mm/year

② 현장시험 결과와 모델링 결과

현장시험 결과

- 연구지역의 수리지질특성을 파악하기 위해 현장 수리 시험으로 연속대수성시험을 실시함. 시험방법은 16시간 동안 일정 양수량 조건에서 양수 시간에 따른 양수정 및 관측정에서의 수위강하를 측정하여 수리상수를 평가
- SD1200(A) 양수정은 평균 양수량 3614.1 ton/day 으로 실험을 실시하여 257.8cm의 수위강하가 발생하였고 양수정에서 4.8m 이격되어 있는 GGO2(OW-1) 관측정에서 97.4cm의 수위강하가 발생하였으며, 15.0m 이격되어 있는 GGO3(OW-2) 관측정에서 46.2cm의 수위강하가 발생
- SS800 양수정은 평균 양수량 2297.8 ton/day 으로 실험을 실시하여 175.7cm의 수위강하가 발생하였고 양수정에서 5.6m 이격되어 있는 GGO1(OW-1) 관측정에서 76.7cm의 수위강하가 발생하였으며, 21.3m 이격되어 있는 GGO2(OW-2) 관측정에서 33.6cm의 수위강하가 발생
- SD1200(B) 양수정은 평균 양수량 2415.5ton/day 으로 실험을 실시하여 143.4cm의 수위강하가 발생하였고 양수정에서 56.7m 이격되어 있는 GGO3(OW-1) 관측정에서 17.7cm의 수위강하가 발생

Table 201. 양수시험으로 발생한 수위강하

공번	평균양수량 (ton/day)	수위강하(cm)		
		PW	OW-1	OW-2
SD1200(A)	3614.1	257.8	97.4	46.2
SS800	2297.8	175.7	76.7	33.6
SD1200(B)	2415.5	143.4	17.7	

- 양수시험으로 얻어진 양수량과 수위강하 값을 이용하여 투수계수 분석을 실시
- 본 연구는 영향반경을 50m로 적용하였고 관측정의 지하수위는 시험 직전 초기지하수위를 적용하였으며, 대수층의 두께는 시추조사 성과를 반영

Table 202. 관정 제원

공번	대수층두께 (cm)	관정 이격 거리 (cm)		지하수위 (GL-cm)	영향반경 (cm)	외경 (cm)
		OW-1	OW-2			
SD1200(A)	970	480	1500	418	5000	20
SS800	960	560	2130	435	5000	20
SD1200(B)	1380	5670	-	406	5000	10

Table 203. 투수계수 분석 결과

공번	평균양수량 (ton/day)	수위강하 (cm)			수리전도도 (cm/sec)	
		PW	OW-1	OW-2	관측정 이용	양수정 이용
SD1200(A)	3614.1	257.8	97.4	46.2	0.309	0.337
SS800	2297.8	175.7	76.7	33.6	0.279	0.304
SD1200(B)	2415.5	143.4	17.7	-	-	0.200

모델링 결과

- 앞서 구축한 모형을 이용하여 현장 수리 시험으로 얻어진 투수계수를 바탕으로 수위강하를 관측
- 현장 수리시험으로 얻어진 투수계수 적용시, 계산된 수위강하는 실제 수위강하와 차이가 크므로 투수계수를 점진적으로 감소시키며 실제 수위강화와 계산된 수위강하의 차이를 최소화
- 수리전도도는 SD1200(A) 양수정 0.0475cm/s일 경우 오차가 가장 적게 발생하였고 SD1200(B) 양수정 0.05cm/s, SS800 양수정 0.042 cm/s일 경우 가장 적게 발생
- 수위강하 차이는 SD1200(A) 양수정 경우 -21.3cm ~ 4.8cm의 오차가 발생하였고 SD1200(B) 양수정 경우 3.0cm ~ 3.8cm의 오차가 발생하였으며 SS800 양수정의 경우 -10.7cm ~ 0.4cm의 오차 발생
- 오차율로 계산하면 SD1200(A) 양수정 경우 -46.10% ~ 1.86%의 오차가 발생하였고 SD1200(B) 양수정 경우 0.21% ~ 21.47%의 오차가 발생하였으며 SS800 양수정 경우 -16.67% ~ 0.23%의 오차발생
- 분석결과 수위강하의 차이는 최소 0.4cm, 최대 -21.3cm의 차이가 발생하였고 오차율은 최소 0.21%, 최대 -46.10%가 발생
- 실제 양수정 수위강하 차이는 최소 0.3cm, 최대 4.8cm(오차율 최소 0.21%, 최대 1.86%로 미세함)
- 이는 모형 구축시 실제 양수정과 관측정 사이의 거리를 반영하지 못하였기 때문으로 판단됨

Table 204. SD1200(A) 양수정에서의 모델링 결과

구분	SD1200(A)	OW-1	OW-2
수리전도도 (cm/s)	수위강하(cm)	수위강하(cm)	수위강하(cm)
0.3	39	19	10.5
0.2	58	28	16
0.1	117	57	32
0.09	131	63.6	35.4
0.08	147.5	71	40
0.07	169	82	45.6
0.06	198	95.8	53.3
0.05	239.8	115.3	64
0.0475	253	121.5	67.5
0.045	267.7	128.4	71.2

Table 205. SD1200(A) 양수정에서의 현장시험 결과와 모델링 결과 비교

구분	SD1200(A)	OW-1	OW-2
관측된 수위강하 (cm)	257.8	97.4	46.2
계산된 수위강하 (cm)	253	121.5	67.5
수위강하 차이 (cm)	4.8	-24.1	-21.3
오차율(%)	1.86	-24.75	-46.10

Table 206. SD1200(B) 양수정에서의 모델링 결과

구분	SD1200(B)	OW-1
수리전도도 (cm/s)	수위강하 (cm)	수위강하 (cm)
0.3	23	2
0.2	35	3.4
0.1	70.7	6.9
0.09	78.6	7.7
0.08	88.6	8.7
0.07	101.5	9.9
0.06	118.8	11.6
0.05	143.1	13.9
0.0475	150.9	14.7

Table 207. SD1200(B) 양수정에서의 현장시험 결과와 모델링 결과 비교

구분	SD1200(B)	OW-1
관측된 수위강하(cm)	143.4	17.7
계산된 수위강하(cm)	143.1	13.9
수위강하 차이(cm)	0.3	3.8
오차율(%)	0.21	21.47

Table 208. SS800 양수정에서의 모델링 결과

구분	SS800	OW-1	OW-2
수리전도도 (cm/s)	수위강하 (cm)	수위강하 (cm)	수위강하 (cm)
0.3	24	12	5.5
0.2	36	18.7	8
0.1	72.4	37	16.5
0.09	80.6	81	18.3
0.08	90.8	46	20.6
0.07	104	52.5	23.5
0.06	121.7	61.2	27.4
0.05	146.6	73.4	33
0.045	163.3	81.6	36.6
0.042	175.3	87.4	39.2

Table 209. SS800 양수정에서의 현장시험 결과와 모델링 결과 비교

구분	SS800	OW-1	OW-2
관측된 수위강하 (cm)	175.7	76.7	33.6
계산된 수위강하 (cm)	175.3	87.4	39.2
수위강하 차이 (cm)	0.4	10.7	5.6
오차율 (%)	0.23	-13.95	-16.67

(나) MODFLOW를 이용한 강변여과수 수치모델

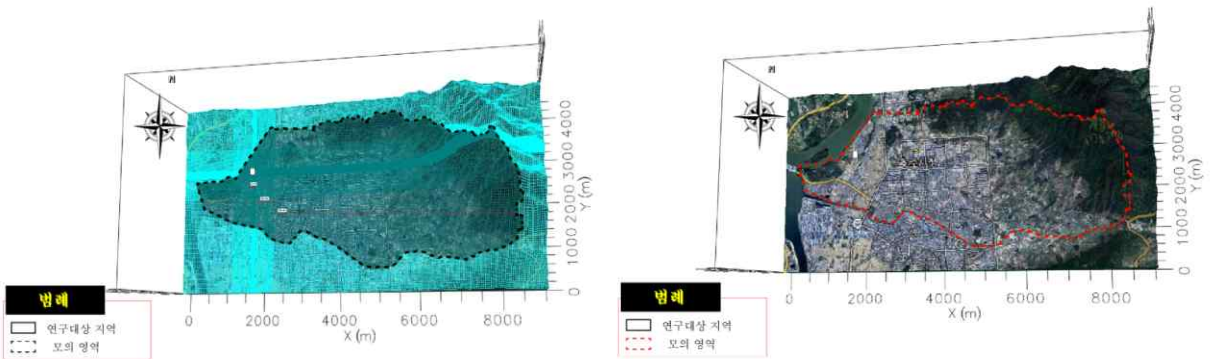
① 지하수 유동 모델링

모형구축

- 모의영역을 포함한 주변 지하수 흐름은 산계 및 수계 등 주변 지형에 따라 기본적 유동 형태가 규정될 수 있고 앞서 수행한 분수령을 바탕으로 분수령 외부지역은 효율성을 높이기 위해 비활성 격자로 설정하여 계산에서 제외
- 격자는 최대 500x500의 크기까지 대수층은 60층까지 설정 가능하고 모델링을 통해 비교 분석해 보고자 하는 구역은 더 조밀하게 격자를 설정
- 전체 모의영역은 가로 9500m x 세로 4500m로 설정하였으며 무술공원 일대 행 구간 1800~1900m 열 구간 2800~3000m는 1m x 1m로, 그 후 20m x 20m, 40m x 40m로 무술공원을 중심으로 점점 늘려가며 격자를 설정

Table 210. 모의영역 격자 구성

격자 크기	행 구간 (m)	거리 (m)	셀갯수 (ea)	열 구간 (m)	거리 (m)	셀갯수 (ea)
1m×1m	1,800~1,900	100	100	2,800~3,000	200	200
20m×20m	1,300~1,800 1,900~2,400	1,000	50	2,300~2,800 3,000~3,500	1,000	50
40m×40m	0~1,300 2,400~9,000	7,900	198	0~2,300 3,500~4,500	3,300	82.5
합계	0~9,000	9,000	348	0~4,500	4,500	333



<모델 내 Inactive 설정> <정류상태 설정>

Fig 210. 모의영역 설정

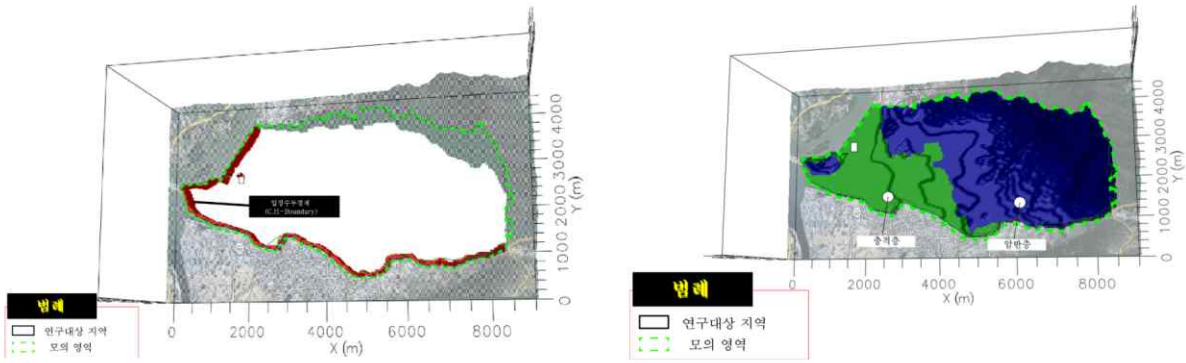
경계조건 및 수리지질특성 설정

- 모델 내 경계조건 입력사항으로 연구대상지역 내 주요 수계로서 남한강과 충주천을 대상으로 일정수두경계조건(CHD, Constant Head)를 입력
- 모델 내 수리지질특성치 입력사항의 경우, 1:50,000 도폭의 충주·목계 도폭(한국지질자원연구원, 2011)을 참고하여, 1개의 층(충적층, 암반층)으로 구성

• 암반층과 충적층의 수리전도도, 비저유계수, 비산출율, 공극률 등은 충적층과 암반의 평균적인 값을 사용하여주어 이 값들을 변화시켜주면서 현장 실험 결과와 비교 분석함

Table 211. 지층별 수리지질특성치 입력값

구분		수리전도도 (m/sec)	비저유계수 (1/m)	비산출율 (-)	공극률 (%)
		kx = ky = kz	Ss	Sy	n
1층	충적층	1.000×10^{-3}	1.000×10^{-4}	0.3	0.3
	암반층	1.000×10^{-5}	1.000×10^{-4}	0.05	0.05



<모델 내 경계조건 입력> <모델 내 수리지질특성치 입력>

Fig 211. 모델 설정

함양량 산정

• 연구대상지역의 함양량을 선정 해주기 위해 우선 함양율을 「충청북도 지하수 관리계획 보고서, 2009)」를 참고

• 연구지역에서 약 4.7km 떨어진 충주기상대에서 관측된 충주시의 누적강수량(2009년~2018년)과 함양률(11.86%)을 이용하여 산정해주어 137.41mm/year가 지하수로 함양되도록 함양경계조건(RCH, Recharge)를 구성함

• 지하수 함양량(R) = 1,158.58mm/year x 11.86% = 137.41mm/year

② 현장시험 결과와 모델링 결과

현장시험 결과

• 본 장에서는 이중필터의 효율성을 알아보기 위해 무술공원 일대에서 연속 대수성시험을 실시하여 결과를 분석하여 대수층의 수리지질학적 특성을 파악하여 이중필터의 효율성을 분석

• 연구지역의 수리지질특성을 파악하기 위해 현장 수리 시험으로 연속 대수성시험을 실시

• 시험방법은 12시간 동안 일정 양수량 조건에서 양수 시간에 따른 양수정 및 관측정에서의 수위강하를 측정하여 수리상수를 평가

• PW1 양수정은 평균 양수량 620ton/day로 실험을 실시하여 170cm의 수위강하가 발생하였고 양수정에서 4.67m 이격되어 있는 BH1(OW-1) 관측정에서 20cm의 수위강하가 발생

• PW2 양수정은 평균 양수량 1150ton/day로 실험을 실시하여 165cm의 수위강하가 발생하였고 양수정에서 4.98m 이격되어 있는 BH2(OW-2) 관측정에서 23cm의 수위강하가 발생

- PW3 양수정은 평균 양수량 900ton/day로 실험을 실시하여 88cm의 수위강하가 발생하였고 양수정에서 5.20m 이격되어 있는 BH2(OW-2) 관측정에서 19cm의 수위강하가 발생
- PW4 양수정은 평균 양수량 900ton/day로 실험을 실시하여 163cm의 수위강하가 발생하였고 양수정에서 5.30m 이격되어 있는 BH3(OW-3) 관측정에서 31cm의 수위강하가 발생

Table 212. 양수시험으로 발생한 수위강하

공번	평균양수량 (ton/day)	수위강하(cm)			
		PW	OW-1	OW-2	OW-3
PW-1	620	170	20	-	-
PW-2	1,150	165	-	23	-
PW-3	900	88	-	19	-
PW-4	900	31	-	-	31

Table 213. 관정 제원

공번	대수층두께 (cm)	관정 이격 거리 (cm)			지하수위 (GL-cm)	스크린길이 (cm)	외경 (cm)
		OW-1	OW-2	OW-3			
PW-1	2100	467	4,682	9,711	860	5,000	400
PW-2	2100	4,651	498	5,029	830	5,000	400
PW-3	2100	5,669	498	4,509	830	5,000	200
PW-4	2100	10,708	5,559	530	790	5,000	400

Table 214. 투수계수 분석 결과

공번	평균양수량 (ton/day)	수위강하 (cm)				수리전도도 (cm/sec)
		PW	OW-1	OW-2	OW-3	
PW-1	620	170	20	-	-	0.09807
PW-2	1,150	165	-	23	-	0.1829
PW-3	900	88	-	19	-	0.1905
PW-4	900	163	-	-	31	0.1425

모델링 결과

- 앞서 구축한 모형을 이용하여 현장 수리 시험으로 얻어진 투수계수를 바탕으로 수위강하를 관측
- 현장 수리 시험으로 얻어진 투수계수를 적용하였을 경우 계산된 수위강하는 실제 수위강하와 차이가 크므로 투수계수를 점진적으로 감소시키며 실제 수위강화와 계산된 수위강하의 차이를 최소화 시킴
- 수리전도도는 PW-1 양수정의 경우 0.000035cm/s 일 경우 오차가 가장 적게 발생하였고 PW-2 양수정의 경우 0.000085cm/s, PW-3 양수정의 경우 0.000105cm/s 일 경우, PW-4 양수정의 경우 0.000065cm/s일 경우 가장 적게 발생
- 수위강하의 차이는 PW-1 양수정의 경우 -3.7cm ~ -8.38cm의 오차가 발생하였고 PW-2 양수정의 경우 -3.62cm ~ -67.55cm의 오차가 발생하였고, PW-3 양수정의 경우 -1.24cm ~ -32.93cm의 오차가 발생하였고, PW-4 양수정의 경우 -3.275cm ~ -53.70cm의 오차가 발생

- 오차율로 계산하면 PW-1 양수정의 경우 -2.17% ~ -419.38%의 오차가 발생하였고 PW-2 양수정의 경우 -2.19% ~ -293% 오차가 발생하였고, PW-3 양수정의 경우 -1.41% ~ -173% 의 오차가 발생하였고 PW-4 양수정의 경우 -2.09% ~ -173% 의 오차가 발생
- 분석 결과 수위강하의 차이는 최소 -83.87cm, 최대 -1.24cm의 차이가 발생하였고 오차율은 최소 -1.41%, 최대 -419% 가 발생
- 하지만 실제 양수정에서의 수위강하 차이는 최소 -3.69cm, 최대 -1.24cm, 오차율은 최소 -2.19%, 최대 -1.41%로 미세한 오차가 발생
- 이는 모형 구축 시 실제 양수정과 관측정 사이의 거리를 반영하지 못하였고 양수정과 관측정의 실제 지층특성을 반영하지 못하였으며 투수계수를 임의로 점진적 증가시켰기 때문에 발생

Table 215. PW-1 양수정에서의 모델링 결과

구분	PW-1	OW-1
수리전도도 (cm/s)	수위강하(cm)	수위강하(cm)
0.2	2.64	2.58
0.1	2.67	2.60
0.01	3.15	2.86
0.001	8.00	5.53
0.0001	57.53	33.35
0.00009	63.99	37.39
0.00005	117.19	69.05
0.000035	173.69	103.88

Table 216. PW-1 양수정에서의 현장시험 결과와 모델링 결과 비교

구분	PW-1	OW-1
관측된 수위강하 (cm)	170	20
계산된 수위강하 (cm)	173.69	103.87
수위강하 차이 (cm)	-3.699	-83.876
오차율(%)	-2.17	-419.38

Table 217. PW-2 양수정에서의 모델링 결과

구분	PW-1	OW-2
수리전도도 (cm/s)	수위강하 (cm)	수위강하 (cm)
0.2	2.86	2.82
0.1	2.93	2.85
0.01	4.17	3.51
0.001	16.64	10.06
0.0001	142.70	76.59
0.00009	158.89	58.29
0.000085	168.63	90.55

Table 218. PW-2 양수정에서의 현장시험 결과와 모델링 결과 비교

구분	PW-2	OW-2
관측된 수위강하(cm)	165	23
계산된 수위강하(cm)	168.62	90.55
수위강하 차이(cm)	-3.62	-67.55
오차율(%)	-2.19	-293.69

Table 219. PW-3 양수정에서의 모델링 결과

구분	PW-3	OW-2
수리전도도 (cm/s)	수위강하 (cm)	수위강하 (cm)
0.2	2.87	2.80
0.1	2.91	2.90
0.01	3.71	3.28
0.001	11.72	7.78
0.0002	47.75	28.21
0.00015	62.89	36.79
0.00012	78.09	45.46
0.00011	84.76	49.17
0.000105	89.25	51.93

Table 220. PW-3 양수정에서의 현장시험 결과와 모델링 결과 비교

구분	PW-3	OW-2
관측된 수위강하 (cm)	88	19
계산된 수위강하 (cm)	89.24	51.93
수위강하 차이 (cm)	-1.24	-32.93
오차율 (%)	-1.41	-173.32

Table 221. PW-4 양수정에서의 모델링 결과

구분	PW-4	OW-2
수리전도도 (cm/s)	수위강하 (cm)	수위강하 (cm)
0.2	3.08	3.01
0.1	3.13	3.03
0.01	4.05	3.48
0.001	13.32	8.03
0.0001	107.61	54.81
0.00009	119.24	60.61
0.000085	126.25	64.03
0.00007	154.28	78.65
0.000065	166.27	84.70

Table 222. PW-4 양수정에서의 현장시험 결과와 모델링 결과 비교

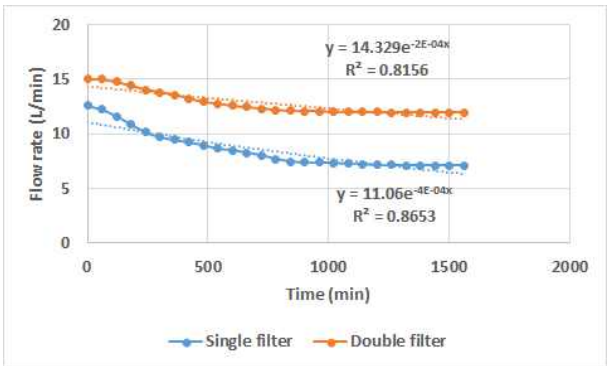
구분	PW-4	OW-3
관측된 수위강하 (cm)	163	31
계산된 수위강하 (cm)	166.27	84.70
수위강하 차이 (cm)	-3.27	-5.37
오차율 (%)	-2.00	-173.23

(4) 이중필터취수정의 취수효율 장기예측

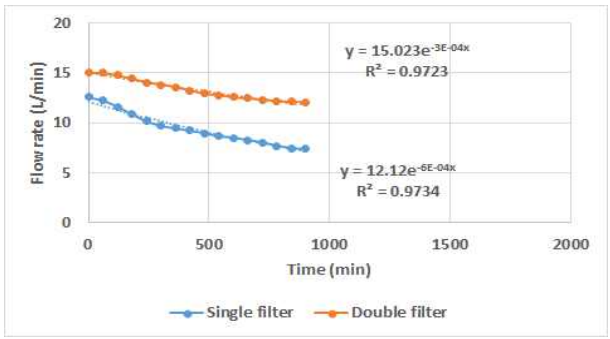
- 이중필터 취수정 취수효율 장기예측은 실내시험과 현장시험의 결과를 바탕으로 이중필터를 운영하는 경우에 장기적으로 변화하는 취수효율에 대한 예측 방법을 개발하는 연구임
- 이중필터의 취수효율은 시간이 경과함에 따라 기하급수적으로 감소하는데, 감소하는 경향성 혹은 감소 속도는 실험 자료를 바탕을 분석함

(가) 실내시험

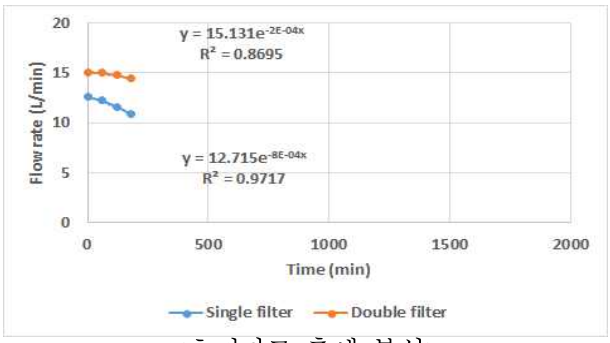
- 여러 경우의 단일필터 및 이중필터에 대한 실내시험에서 진행된 자료를 분석하여 초기 단기간의 취수효율 감소를 사용하여 장기간의 취수효율 감소를 예측할 수 있는 방법 및 정확성에 대한 통계학적 평가를 도출
- 예비시험으로 수행된 실내시험 중에서 단일필터 및 이중필터의 취수효율 감소를 그래프로 도시하고, 전체적인 취수 효율의 감소를 추세 분석
- 전체기간의 자료를 사용하는 추세 분석 결과와 제한된 기간의 자료를 사용하는 추세 분석의 결과를 비교하고 그 추세를 분석



<전체 자료 추세 분석>



<초기 및 증기 자료 추세 분석>



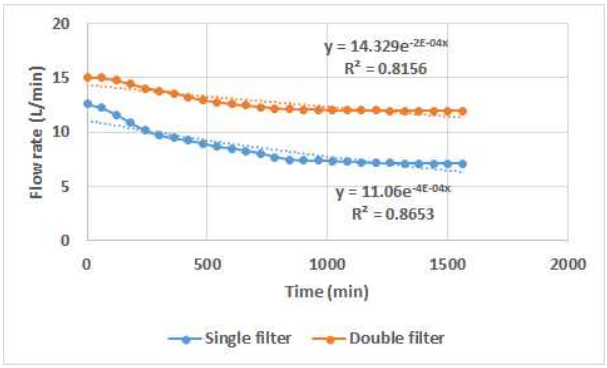
<초기자료 추세 분석>

Fig 212. 추세 분석

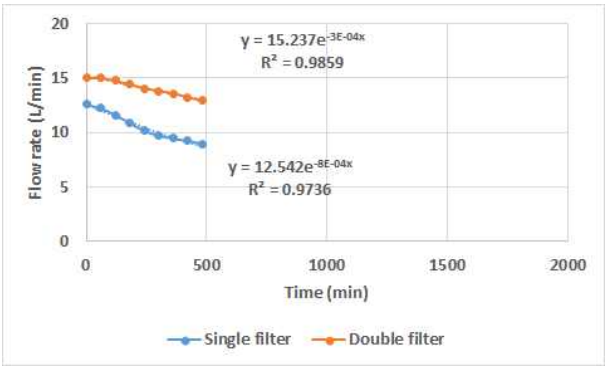
Table 223. 추세식의 변화

적용 기간	추세식	
	단일필터	이중필터
< 1560분	y=11.06exp(−4×10−4 x)	y=14.33exp(−2×10−4 x)
< 900분	y=12.12exp(−4×10−6 x)	y=15.02exp(−3×10−4 x)
< 200분	y=12,72exp(−4×10−8 x)	y=15.13exp(−2×10−4 x)

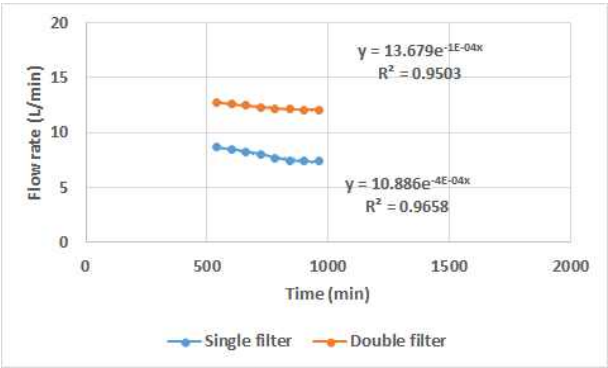
- 기존에 설치된 단일필터 및 이중필터의 취수효율 변화에 대한 추세분석을 위하여, 전체 기간의 자료를 사용하는 추세분석과 부분자료를 사용하는 추세분석을 비교하고 그 추세를 분석함



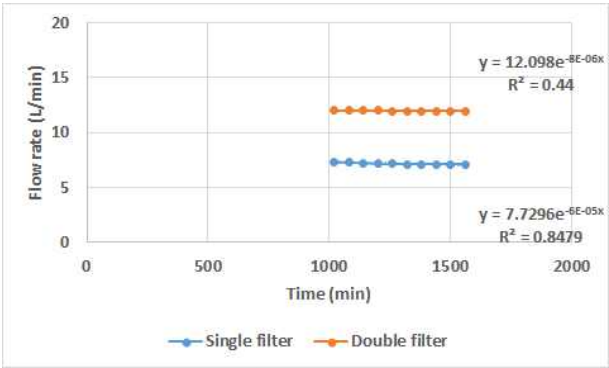
<전체 자료 추세 분석>



<초기자료 추세 분석>



<중기자료 추세 분석>



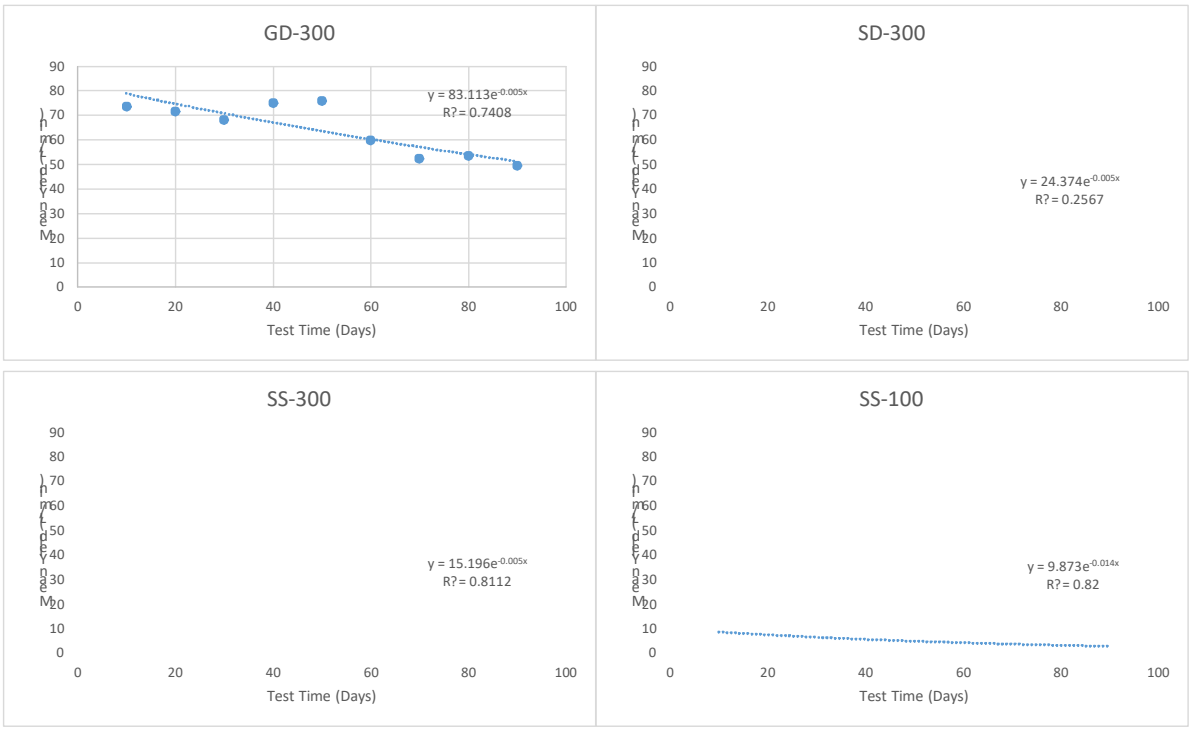
<후기자료 추세 분석>

Fig 213. 부분별 추세 분석

Table 224. 추세식의 변화

적용 기간	추세식	
	단일필터	이중필터
전체	y=11.06exp(−4×10−4 x)	y=14.33exp(−2×10−4 x)
초기	y=12.54exp(−8×10−4 x)	y=15.23exp(−3×10−4 x)
중기	y=10.89exp(−4×10−4 x)	y=13.68exp(−1×10−4 x)
후기	y=7.73exp(−6×10−5 x)	y=12.10exp(−8×10−6 x)

- 90일간 수행된 실내시험에서 단일필터 및 이중필터의 취수효율의 장기적인 변화에 대한 추세를 분석하고, 이중필터의 효율이 단일필터에 비하여 각각 446.9%와 60.4%의 효율 향상을 보였음


GD-300
y = 83.113e-0.005x
R? = 0.7408
Methylene Blue (mg/L)
Test Time (Days)
SD-300
y = 24.374e-0.005x
R? = 0.2567
Methylene Blue (mg/L)
Test Time (Days)
SS-300
y = 15.196e-0.005x
R? = 0.8112
Methylene Blue (mg/L)
Test Time (Days)
SS-100
y = 9.873e-0.014x
R? = 0.82
Methylene Blue (mg/L)
Test Time (Days)

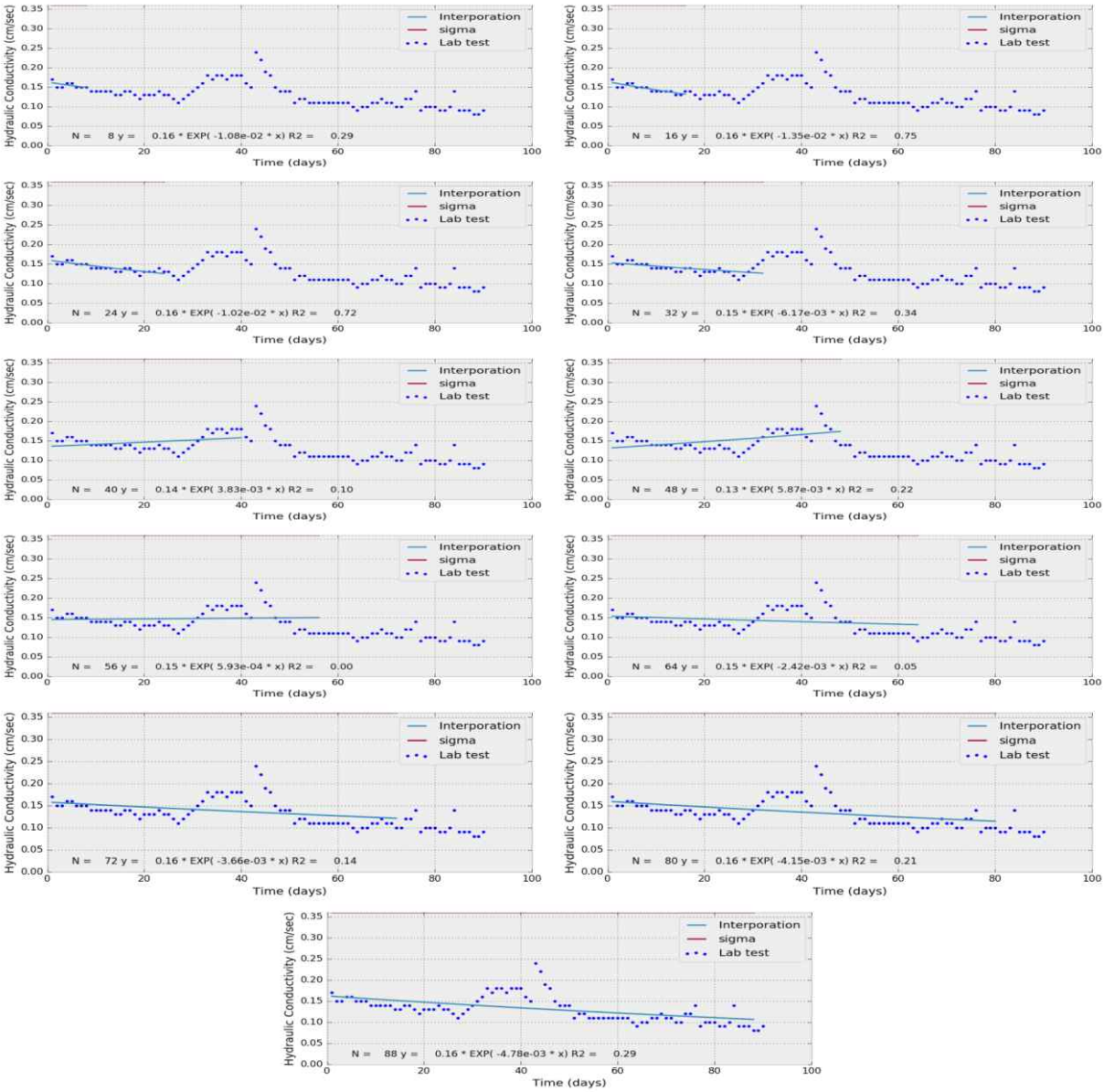
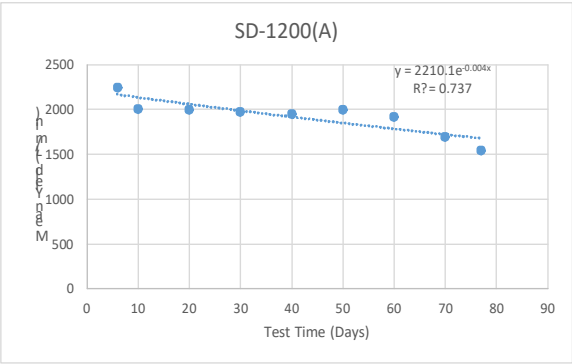
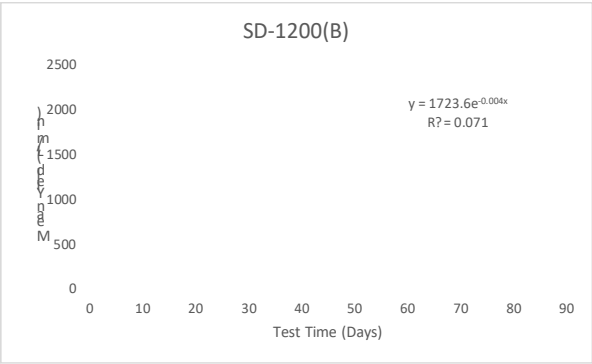
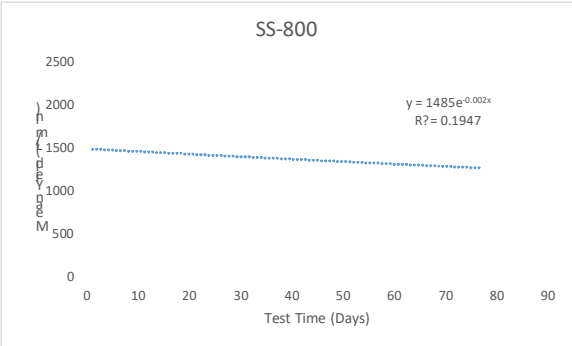


Fig 215. 자료 추세 분석

• 강릉 현장시험의 자료를 사용하여 취수 효율을 분석하였으며, 이중필터 SD-1200(A)와 SD-1200(B)는 단일필터 SS-800에 비하여 각각 48.8%와 16.1%의 효율 향상을 보였음







(5) 결론

- 단일필터의 두께가 증가할수록 양수정에서 발생하는 수위강하는 감소하고, 상대수위강하와 효율은 증가함
- 단일필터의 두께가 1.0m일 때, 양수정에서 0.0863m의 수위강하가 발생하여, 상대수위강하는 56.4%로 감소하고, 효율은 177.3%로 증가함
- 이중필터의 여과사리 두께가 증가할수록 양수정에서 발생하는 수위강하는 감소하고, 상대수위강하와 효율은 증가함
- 이중필터의 여과사리 두께가 1.0m일 때, 양수정에서 0.0797m의 수위강하가 발생하여, 상대수위강하는 52.1%로 감소하고, 효율은 192.0%로 증가함
- 단일필터 여과사의 수리전도도가 증가할수록 양수정에서 발생하는 수위강하는 감소하고, 상대수위강하와 효율은 증가함
- 단일필터 여과사의 수리전도도가 0.512m/s일 때, 양수정에서 0.0790m의 수위강하가 발생하여, 상대수위강하는 51.6%로 감소하고, 효율은 193.7%로 증가함
- 이중필터 여과사리의 수리전도도가 증가할수록 양수정에서 발생하는 수위강하는 감소하고, 상대수위강하와 효율은 증가함
- 이중필터 여과사리의 수리전도도가 0.512m/s일 때, 양수정에서 0.0816m의 수위강하가 발생하여, 상대수위강하는 53.3%로 감소하고, 효율은 187.6%로 증가함
- 강원도 강릉시에 설치된 해변여과수 취수정에서 실시된 현장 시험 결과를 분석하여 이중필터 취수정에 대하여 수치모델링을 수행함
- 충청북도 충주시에 설치된 강변여과 취수정에서 실시된 현장 시험 결과를 분석하여 이중필터 취수정에 대하여 수치모델링을 수행함
- 실내시험의 자료와 현장시험의 자료를 바탕으로 이중필터 취수정에 대한 장기 예측을 수행함

2-7. 연구개발 성과

가. 논문

번호	구분	논문명	저자명	저널명	일시	국내·외	SCI 여부	발생 차수
01	논문게재	자유면대수층에서 필터층이 취수량 및 우물효율에 미치는 영향에 대한 실험적 연구	송재용 외 3인	지질공학	2017.12.08	국내	×	1차년도
02	논문게재	충적우물에서 필터층 변화에 따른 투수특성,적정양수량 및 장기적 안정성에 대한 연구	송재용 외 4인	지질공학	2018.10.19	국내	×	2차년도
03	논문게재	Current status and management for the sustainable groundwater resources in Korea	박유철 외 2인	EPISODES	2018.08.22	국외	○	2차년도
04	논문게재	현장실증시험에 의한 단일 및 이중필터층 우물의 해수 여과 특성 연구	송재용 외 3인	지질공학	2019.07.16	국내	×	3차년도
05	논문게재	산업단지 지하수 오염원 위치 및 누출 이력 규명 기술의 특성분석	박유철	지질학	2019.10.18	국내	×	3차년도
06	논문게재	강변여과수 취수를 위한 충적우물에서 필터층이 수위강하특성, 투수성, 적정양수량 및 우물효율에 미치는 영향에 대한 현장실증 연구	송재용 외 4인	지질공학	2019.12.24	국내	×	3차년도

나. 특허

번호	종류	명 칭	출원일	등록일	국명	등록번호	발생차수
01	특허	교체가 가능한 2중 필터팩을 사용하는 충적정호 및 이의 시공 방법	2017.10.31	2018.05.25	대한민국	1018633470000	2차년도
02	특허	충적정호와 결합한 지중 열교환 장치	2017.08.30	2018.10.29	대한민국	1019147570000	2차년도
03	특허	취수정의 여과재 교체 및 유지 보수 방법(Filter media replacement and maintenance method of well)	2017.12.15	2019.01.15	대한민국	1019409300000	3차년도

다. 기술요약정보

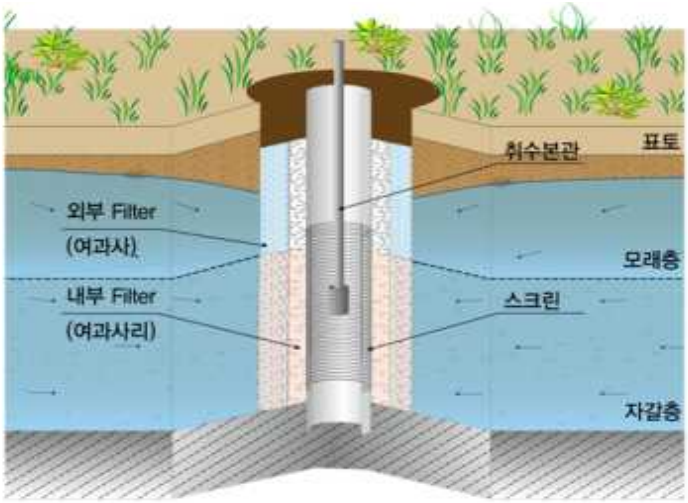
등록일 (출원일)	기술명	요약 내용	기술완성도	등록 번호
2018.05.25 (2017.10.31)	**교체가 가능한 2중 필터팩을 사용하는 충적정호 및 이의 시공방법**	하천 변이나 해안가의 충적대수층을 대상으로 하여 지하수를 여과하여 취수하고, 지하수를 1차와 2차에 걸쳐 여과하여 지하수의 여과율을 향상하며, 1차와 2차 필터재를 팩(pack)으로 하여 시공성 향상과 필터재의 유실을 방지	특허등록	1018633470000
2018.10.29 (2017.08.30)	**충적정호와 결합한 지중 열교환 장치**	•충적정호 주변에 Coaxial 형태 또는 U-tube 형태의 금속재질의 지중 열교환기를 설치하여 용수와 지열에너지를 동시에 사용할 수 있는 복합지열시스템	특허등록	1019147570000
2019.01.15 (2017.12.15)	**취수정의 여과재 교체 및 유지 보수 방법(Filter media replacement and maintenance method of well)**	•이중필터취수정의 유지보수 및 여과재 교체방법에 있어서, 굴착공과 동일구경의 외부케이싱 관입단계와, 외측여과재와 내측여과재의 경계면을 따라 내부케이싱 관입단계와, 외부 및 내부케이싱 사이에 물을 주입하면서 여과재 흡입펌프로 외측여과재 제거단계와, 취수관과 내부케이싱 사이에 물을 주입하면서 여과재 흡입펌프로 내측여과재 제거단계와, 외부와 내부케이싱 사이 그리고 취수관과 내부케이싱 사이의 빈공간에 새로운 여과재를 넣는 여과재 교체단계와, 내부 및 외부 케이싱 인발단계와, 내측여과재 제거단계 후에 원형 고압살수용 캐리어를 취수관 외측에 삽입시켜 고압살수로 부착 이물질 제거단계로 구성되는 취수정의 여과재 교체 및 유지보수 방법 •고압살수용 캐리어의 여러 구성들을 특징으로 하는 취수정의 여과재 교체 및 유지보수 방법 •외측 여과재 제거단계와 내측여과재 제거단계를 동시에 수행하는 것을 특징으로 하는 취수정의 여과재 교체 및 유지보수 방법	특허등록	1019409300000

(2019.09.10)	**지층 특성별 이중필터 구조를 갖는 강변(해변) 여과수 대구경 수직취수공법 (이중필터 취수공법)**	■(청구항 1) 대수층의 각 지층별 입도특성을 고려한 우물자재(필터재와 스크린)를 반영함에 있어, 이중필터재 층위구성시 외부필터는 원지반의 지층특성에 적합한 세립질 필터재를, 그리고 내부필터는 외부필터재에 적합한 조립질 필터재로 배치하되 이중필터층의 두께에 있어서는 외부필터와 내부필터의 두께비를 1:2로 구성하여 이중필터층을 형성시키고, 외부필터재에 적합한 스크린을 적용하여 우물을 형성하는 강변(해변) 여과수 대구경 수직취수공법 ■(청구항 2) 강변(해변)여과수 대구경 이중필터 수직정 설치에 있어 굴착 및 외부케이싱 설치단계, 내부케이싱 설치단계, 취수관 및 에어버블써징관 설치단계, 이중필터재 설치단계, 내외부 케이싱 인발단계, 취수정 청소단계, 심정펌프 및 취수본관 설치단계, 몰탈보강 및 상부맨홀 설치단계를 포함하여 시공하는 강변(해변) 여과수 이중필터취수정 설치기술 ■(청구항 3) 이중필터재 충진에 있어 필터재 밀도증대를 위한 진동다짐 장치기술 ■(청구항 4) 이중필터취수정의 유지관리 용이성 및 취수효율 향상을 위한 에어버블써징용 장치기술	신기술 지정신청	불인정

(1) 기술개념

o 이중필터 취수정공법은 대구경 천공기로 지반굴착 후 내부 케이싱과 취수관을 설치하여 취수관 주변에 이중필터층을 형성하고 고효율 스크린을 설치하여 안정적인 취수가 가능하도록 하는 공법임

o 본 공법은 대수층의 입도에 맞는 이중필터와 고효율 스크린을 적용하여 취수정의 취수효율을 극대화함으로써 안정적인 용수확보가 가능하고 장기적인 유지관리비가 절감되는 장점이 있음



[이중필터 강변(해변)여과수 취수기술 개념도]

▶ 필터재 역할
- 내부필터재 : 지하수의 원활한 흐름유지
- 외부필터재 : 원지반 보호

▶ 장점
- 취수량 향상
- 안정적 취수효율 확보






(2) 기술개발과정 관련내용

구 분	기술개발 관련내용
1998년	• 함안 칠서정수장 수직취수정 7공 시공 ⇒ 바버착정기를 사용하였으며, 취수관 주위로 10cm 정도의 단일필터층 형성 ⇒ 취수관구경 ϕ 250mm, 굴착심도 40m ⇒ 취수효율 저하문제 발생하여 수직취수정 7공 중 5공 폐공처리
1999년 ~ 2000년	•창원 대산정수장 수직취수정(단일필터) 2공 시공 ⇒ 시간경과에 따른 취수효율 저하문제 발생
2000년 7월 ~ 2001년 12월	•창원 대산정수장에서 이중필터취수정 5공 시험시공 ⇒ 공당 평균취수량 2,000㎥/일 이상 확보 •이중필터취수정공법에 대한 기술개발 및 특허 준비 ⇒ 대수층의 지층별 입도분석 결과를 토대로 현장여건에 맞는 필터재 입경을 산정하여 2종의 필터층을 형성시킴으로써 취수효율을 높이고 고효율 스텐레스 스크린을 반영하여 장기적 유지관리가 용이하면서 유지관리비용을 줄이는 공법 개발
2003년 11월 ~ 2004년 5월	•창원 대산정수장에서 이중필터취수정 14공 시공 ⇒ 취수효율 양호 : 공당 2,000㎥/일 이상 유지
2004년 6월	•이중필터취수정공법 대한 특허 등록(출원 2002년 1월)
2004년 4월 ~ 2004년 6월	•함안 칠서정수장에서 이중필터취수정 11공 시공 ⇒ 취수효율 양호 : 공당 2,000㎥/일 이상 유지
2004년 6월 ~ 2005년 3월	•창원 대산정수장에서 이중필터취수정 22공 추가 시공 ⇒ 취수효율 양호 : 공당 2,000㎥/일 이상 유지

2007년 11월 ~ 2008년 2월	•두산인프라코어 군산공장 DeepWell 공사에 이중필터취수정공법 반영
2007년 ~ 2013년	•유럽지역 선호 취수정인 방사상집수정을 반영하여 수직취수정 대신 방사상집수정으로의 방향전환되었으며 이후 이중필터취수정공법 적용 배제 •본 개발기술이 배제된 상태에서 창원 대산정수장에서 방사상집수정 5공, 김해 생림정수장에서 방사상집수정 10공이 시공됨 ⇒ 취수효율 저하로 설계사 문책 및 소송 진행 등 문제 발생
2013년 3월 ~ 2014년 10월	•한국농어촌공사 농어촌연구원과의 협동연구(연구명 : 하천변 대규모 지열에너지 공급을 위한 시공공법 개발) ⇒ 이중필터취수정과 지열냉난방 동시 연구 수행
2014년 6월 ~ 2015년 5월	•한국농어촌공사 성과공유제(과제명 : 하천변 대구경 이중필터취수정공법 개발) •이중필터취수정, 방사상집수정, 단일필터취수정에 대한 취수량, 경제성, 시공성, 장기적 안정성에 대한 기초자료 확보 및 분석 수행
2015년 5월 ~ 2015년 6월	•함안군에서 이중필터취수정의 적용당위성을 확인하고 '칠서정수장 취수정 설치공사' 설계자료에 이중필터취수정공법 반영(토층에 따른 합리적 설계를 위한 설계지원 수행)
2015년 11월	•함안군에서 발주한 '칠서정수장 취수정 설치공사'를 통해 3공 추가 설치 완료
2015년 11월	•성과공유제 기술개발 완료과제로 선정
2015년 12월	•에너지기술평가원 연구과제로 선정(연구명 : 용수활용이 가능하고 소구경에서 115.5kW, 대구경에서 525kW 이상 성능을 가진 지하수정호 결합 밀폐-개방형 복합 지열시스템(CWG 시스템) 개발) ⇒ 대구경 복합지열시스템에 이중필터취수정 접목
2017년 4월	•국토교통과학기술진흥원 [국토교통기술사업화지원사업] 연구과제로 선정(연구명 : 이중필터 강변(해변)여과수 취수기술 개발)
2017년 7월	•[대•중소기업농어업협력재단]에서 발행하는 수의계약용 확인서를 발급 ⇒ 한국농어촌공사에서 개발기술에 대한 수의계약을 할 수 있는 여건 조성
2017년 7월	•진주시에서 수행하는 [진주 단목지구 이중필터취수정 착정공사]에 대한 설계를 수행 ⇒ 개선내용 반영. 공사 대기중
2018년 9월	•[이중필터 강변(해변)여과수 취수기술 개발] 연구를 위한 테스트베드 구축 ⇒ 해수취수용 단일필터 및 이중필터취수정 시공
2018년 10월	•한국농어촌공사 [법수들 지표수보강개발사업 중 취수정 착정공사] 1공 시공 ⇒ 취수량 2,100톤 확보
2018년 12월	•한국농어촌공사 [태촌1양수장 취수정설치사업공사] 1공 시공 ⇒ 취수량 1,000톤 확보
2019년 3월	•K-water에서 수행하는 [지하수 인공함양 관정 및 부대시설 설치공사]에 개선된 이중필터취수정 시공

(3) 기술개발 연혁

개발과정	일 자	주요 진행내용	개발자 (신청인)
개발동기	2000년 1월	•1990년대 중반부터 강변여과수 취수원 활용방안조사가 수행되는 등 강변여과수에 대한 관심이 증가함에 따라 취수효율이 증대된 취수정 개발 필요성 확인	박 남 서
시장조사	2000년 7월 ~ 2001년 6월	•일반적으로 사용되는 수직정의 단점을 개선하여 이중필터를 이용한 취수정 및 그 시공법 개발 •하천변 상수도용 취수정개발에 대한 시장조사 수행	대덕공영(주) [現,(주)산하이앤씨,산하토건(주)]
	2013년 10월 ~ 2015년 10월	•하천변 시설재배 지역에 저비용 고효율의 용수 공급방안 마련과 수리시설 관리구역 말단부 보충수원 및 지하수 함양용수로서의 활용방안 모색	㈜산하이앤씨
	2017년 4월 ~ 현재	•강변 및 해변여과수 목표시장 분석 •시장진입을 위한 비즈니스 모델 정립 •시장별 수익모델 구축	산하토건(주) ㈜산하이앤씨
연구개발	2013년 9월 ~ 2014년 8월	•협동연구 : 하천변 대규모 지열에너지 공급을 위한 시공공법 개발 •주 연구내용 : 대구경 취수정 공법과 지열을 연계하여 그 적용 가능성 평가	㈜산하이앤씨
	2014년 6월 ~ 2015년 5월	•성과공유제 : 하천변 대구경 이중필터취수정공법 개발 •주 연구내용 : 단일필터 및 이중필터 효율검토를 위한 실내시험 수행, 기존 취수시스템과의 비교분석	㈜산하이앤씨
상세설계	2017년 4월 ~ 2019년 12월	•연구명 : 이중필터 강변(해변)여과수 취수기술 개발 •주 연구내용 : 실내 및 현장실증시험을 통한 이중필터취수정의 최적 설계인자 도출 및 표준화를 통한 사업화기반 마련	산하토건(주) 동부엔지니어링㈜
시험시공	2015년 12월~ 2018년 9월	•연구명 : 용수활용이 가능하고 소구경에서 115.5kW, 대구경에서 525kW 이상 성능을 가진 지하수정호 결합 밀폐-개방형 복합지열시스템(CWG 시스템) 개발 •주 연구내용 : 실내시험 및 현장실증시험을 통한 이중필터취수정의 지열냉난방 적용성 및 열교환량 평가	㈜산하이앤씨
현장적용 (시공실적)	2001년 6월	•창원시 대산정수장 1차분 취수사업에 이중필터취수정 5공 시공	대덕공영(주)
	2004년	•함안군 칠서정수장 2차분 취수사업에 이중필터취수정 11공 시공	대덕공영(주)

	2004년 ~ 2005년	•창원시 대산정수장 2차분 취수사업에 이중필터취수정 36공 시공	대덕공영(주)
	2014년 5월	•지오그린21 연구부지 간접취수 현장 철망간 처리기술개발 및 실증연구중 수직정 설치공사	산하토건(주)
	2015년 11월	•함안군 '칠서정수장 취수정 설치공사'에 이중필터취수정 3공 추가 시공	산하토건(주)
	2017년 3월	•에너지기술평가원 연구과제에 이중필터취수정 1공 시공	㈜산하이앤씨
	2018년 10월	•한국농어촌공사 경남지역본부 함안지사 [법수들 지표수 보강개발사업 중 취수정 착정공사] 이중필터취수정 1공 시공	㈜산하이앤씨
	2018년 12월	•한국농어촌공사 경북지역본부 구미김천지사 [태촌1양수장 취수정설치사업공사] 이중필터취수정 1공 시공	㈜산하이앤씨
	2018년 9월	•국토교통과학기술원 연구과제에 이중필터취수정 2공 시공	산하토건(주) 동부엔지니어링㈜
	2019년 3월	•K-water [지하수 인공함양 관정 및 부대시설 설치공사]에 이중필터취수정 1공 시공	산하토건(주)
지적재산권 (특허등록)	2004년 6월	•[이중필터를 이용한 취수정 및 그 시공법] 특허 등록 •등록번호 : 1004388630000	대덕공영(주) [現,(주)산하이앤씨,산하토건(주)]
	2013년 8월	•[대구경 천공을 활용한 혼합형 지열시스템 및 그 시공방법] •등록번호 : 1013035750000	㈜산하이앤씨
	2018년 3월	•[지중 정화형 다중필터 취수정] 특허등록 •등록번호 : 1018390510000	㈜산하이앤씨
	2018년 5월	•[교체가 가능한 2중 필터팩을 사용하는 충적정호 및 이의 시공 방법] 특허등록 •등록번호 : 1018633470000	산하토건(주) 동부엔지니어링㈜
	2019년 1월	•[취수정의 여과재 교체 및 유지 보수 방법] 특허등록 •등록번호 : 1019409300000	동부엔지니어링㈜ 산하토건(주)

라. 비즈니스모델(BM) 및 기술가치평가

(1) 비즈니스모델(BM)

(가) 판매계획

- 기술개발 이후 2025년까지 고속성장기로 2025년에는 매출액 80억 달성을 목표로 하였으며, 2026년~2035년(10년)은 안정성장기, 2036년~2045년(10년)은 쇠퇴기로 설정하여 매출액을 산정하였음
- 또한, 2019년 본 연구목표로 제시한 사업화에 대한 매출액은 2020년으로 설정하였음
- 매출액 산정기준은 이중필터취수정 1기당 판매단가 1억으로 산정하였으며, 물가상승율 고려안함

Table 227. 연도별 판매계획 (단위 : 백만원)

연 도 별		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026~2035(안정기)	2036~2045(쇠퇴기)
이중필터 강변여과	국내	300	1,000	2,000	4,000	5,000	5,000	52,500	40,700
	해외	-	-	300	1,000	2,000	3,000	32,500	20,700
합 계		300	1,000	2,300	5,000	7,000	8,000	85,000	61,400

(나) 목표고객

Table 228. 목표고객

구분	선정사유	제품에 대한 고객 요구사항/수준	요구사항에 대한 대응방안
고객군1 (정수장)	· 낙동강변 대산 정수장, 칠서 정수장 등에 적용하여 효율 및 성능을 입증한 바 있음	· 다량의 용수 취득 / 설치비 절감/ 정수효과	· 취수용량에 맞는 맞춤설계 · 타 공법 대비 경제성 제시 · 사례를 통한 하천수 정수효과 제시
고객군2 (수변지역 시설재배지)	· 쌀개방에 따른 쌀농사의 경쟁력 약화로 시설재배면적은 지속적으로 확대 · 넓은면적에 다량의 용수사용과 경제적이어야 하며 설치공간이 부족하기 때문에 집약화된 취수시설 필요	· 겨울철 가온재배를 위한 일정 수온의 용수 필요 · 지하수 고갈우려가 적은 용수 확보 · 다량의 용수 활용 · 일반 충적관정의 짧은 수명 해소	· 연중 15℃ 내외의 충적지하수 공급 · 지하수 공급량 풍부한 강변여과수 제공 · 단일공으로 취수용량을 극대화하고 지하수 난개발 방지 · 장기적인 안정성에 대한 근거 제시
고객군3 (지하수 함양 및 농업용수 공급사업)	· 상시적인 용수부족 문제로 고민하는 지역에서 지하수 함양에 대한 지속적인 필요성이 대두되고 현재 농어촌공사 등을 중심으로 관련 연구가 수행중임 · 가뭄시 수리시설 말단부에서 용수확보방안의 마련 필요	· 안정적 함양수원 필요 · 지중에 용수주입을 위한 함양수 수질오염 문제 해결(법적 문제) · 용수 공급원 확보 · 농업용수 활용가능 수질	· 안정적수자원으로 강변여과수 최적 · 하천수의 경우 지하 주입시 수질오염문제를 발생시키므로 상대적으로 안전한 충적 지하수 제공 · 가뭄시 활용가능한 충적지하수 활용 · 자정기능으로 하천수에 비해 상대적 오염부하 적은 강변여과수 제공
고객군4 (해변여과수 개발 사업)	· 직접 해수 취수시 부유물질 유입, 전처리설비가 복잡해지고 태풍 등 기상조건에 따라 취수가 불안정하여 간접취수 방식으로 변경	· 수질개선 · 전처리 설비의 간단화 · 안정적 취수 필요	· 부유물질을 감소시켜 수질을 개선 · 지중에 설치되어 기상조건에 영향을 받지 않으므로 필요 해수 수요량을 연중무휴로 공급

(다) 판매 및 마케팅전략

- 2020년~2021년 : 기술사업화가 종료되는 2020년에서 2021년까지는 본 기술에 대한 인식의 형성을 위해 지자체 및 국가기관에 사업설명을 통해 홍보하고, 광고 및 전시회 참가 등을 적극 활용하여 홍보위주의 전략으로 수요를 창출할 계획임
- 2022년~2023년 : 시장에서 본 기술의 인식이 형성되었다고 판단하고 본격적인 매출과 이익을 증가하는 시기로 강변여과에 대한 표준화로 시장점유율을 극대화하며, 해외시장에 진입방안을 수립하여 초기시장을 구축할 계획임
- 2024년 이후 : 기술사업화 종료 후 유사기술이 발생할 것으로 판단되어, 본 기술만의 독자성과 우수성을 강조하여 경쟁기술과의 차별화로 판매전략을 수립하며, 국내시장뿐만 아니라 해외시장에 본격적으로 진입하여 수입구조를 다변화 할 계획임

Table 229. 판매 및 마케팅 전략

구분	주요 고객	마케팅전략
고객군1	국토부, 지자체, 수자원공사	• 기존 강변여과 정수사업에 대한 장단점 및 대안 제시 • 연구성과를 통한 제품의 장점 및 효과 홍보
고객군2	한국농어촌공사, 영농조합 등	• 온실관련 세미나 등을 통항 기술 및 실적 소개 • 조사, 설계, 시공의 Total Solution 제공 • 국가지원사업 연계 유도 • 연구성과를 통한 제품의 장점 및 효과 홍보
고객군3	한국농어촌공사, 수자원공사	• 농어촌공사 시범사업 참여를 통한 공신력 확보 • 국가지원사업연계 : 지하수함양사업, 농업용수공급사업 등 • 연구성과를 통한 제품의 장점 및 효과 홍보
고객군4	지자체, 어촌계, 단위수협 등	• 어촌계를 중심으로한 전통시장 시설 현대화 사업, 수협을 중심으로 한 수산진흥사업, 국가어항 부지이용계획 재정비 사업, 해수 담수화 사업 등에 지식재산권을 활용하여 적극 참여 • 연구성과를 통한 제품의 장점 및 효과 홍보
해외사업	환경부, KOICA 및 KOTRA 등	• ODA사업을 통하여 해외시장에 진입 • 연구성과를 통한 제품의 장점 및 효과 홍보

(라) 공급인프라 구축방안 및 비즈니스 모델

① 공급인프라 구축 방안

• 현재 개발기술의 적용을 위한 주요 공급인프라는 대부분 구축된 상태이며, 향후 기술개발 과정에서 미흡한 부분에 대한 보완 및 발전시켜 나갈 계획임

소요자재	▪ 개발기술의 적용을 위해 필요한 주요 자재는 필터재, 우물용 자재, 수중펌프 및 우물설치에 필요한 기타 자재로써 모두 시중구매가 가능한 것으로 획득에 문제가 없음		
인력	전담팀 구성 : 현재 구성되어 있는 연구, 설계 및 시공팀 보완		
	연구	조사, 설계 및 시공	홍보 및 영업
	지속적 기술개발 (기술 Upgrade)	현재 기술진으로 기술전담팀 구성 표준화 성과에 따라 보완	제품/기술 홍보 제품/기술 판매
시설	▪ 부품의 가공 및 조립부지는 주관기관이 보유하고 있는 부대시설 활용(주관기관 보유 연구소) ▪ 생산규모 확대 및 자재보관을 위해 부지 및 시설투자 계획 수립 ▪ 현재 제2연구부지 설립을 경기도 화성에 추진중에 있으며, 건물, 자재 등에 대해 지속적으로 투자를 확대할 계획임	 주관기관 보유 연구소(용인시)	
장비	▪ 조사기관이 보유하고 있는 조사장비 및 현장 시공장비 활용		

Fig 217. 공급인프라 구축 방안

② 목표 비즈니스 모델

공급방안	제품/기술	판 매	고 객
〈핵심활동〉 ▪ 기술개선 - 필터층 효율 - 진동다짐 - 에어써징 〈핵심자원〉 ▪ 전담조직 구성 : 연구, 설계, 시공, 홍보 ▪ 관련장비, 기술보유 〈파트너 확보〉 ▪ 동부엔지니어링(주) 〈제품가지 보호 및 관리〉 ▪ 특허 및 신기술	〈제품/기술〉 ▪ 이중필터취수정 〈핵심가치〉 ▪ 시공성 개선 ▪ 고효율 ▪ 저비용 ▪ 안정성 (효율유지, 수명증대)	▪ 시범사업 ▪ 국가지원사업 ▪ 직접 판매 **채 널** ▪ 신기술을 바탕으로 설계서에 개발공법 반영 ▪ 공동연구기관인 동부엔지니어링(주)의 영업능력 및 영업망 활용 ▪ 홍보 및 기술상담 (Total Solution 제공)	〈주 고객군〉 ▪ 정부사업 - 지자체 - 한국농어촌공사 - 환경부 - KOICA - KOTRA ▪ 민간사업 - 어촌계 - 영농조합
수익모델	▪ 신기술 확보로 공공기관 시범사업 및 국가지원사업 참여를 통한 판매 ▪ 경제성 및 국가사업을 통한 실적 확보를 기반으로 민간시장 진입 ▪ ODA사업을 통하여 해외시장에 진입		

Fig 218. 목표 비즈니스 모델

(2) 기술가치평가

- 「발명진흥법 제28조」 「기술이전 및 사업화 촉진에 관한 법률 제35조, 제32조」 등 법률로부터 기술 및 특허권 등 지식재산권에 관한 기술평가전문기관(감정기관)으로 지정(특허청 고시 제2015-5호, 산업통상자원부 고시 제2016-115호)을 받아 기술가치평가를 수행

(가) 평가대상기술

- 평가대상기술은 “교체가 가능한 2중 필터팩을 사용하는 충적정호 및 이의 시공 방법(등록특허 제10-1863347호)(대표특허)” 및 관련특허 2건으로, 한국표준산업분류 상 “전문직별 공사업(F42)”에 해당

Table 230. 평가대상특허

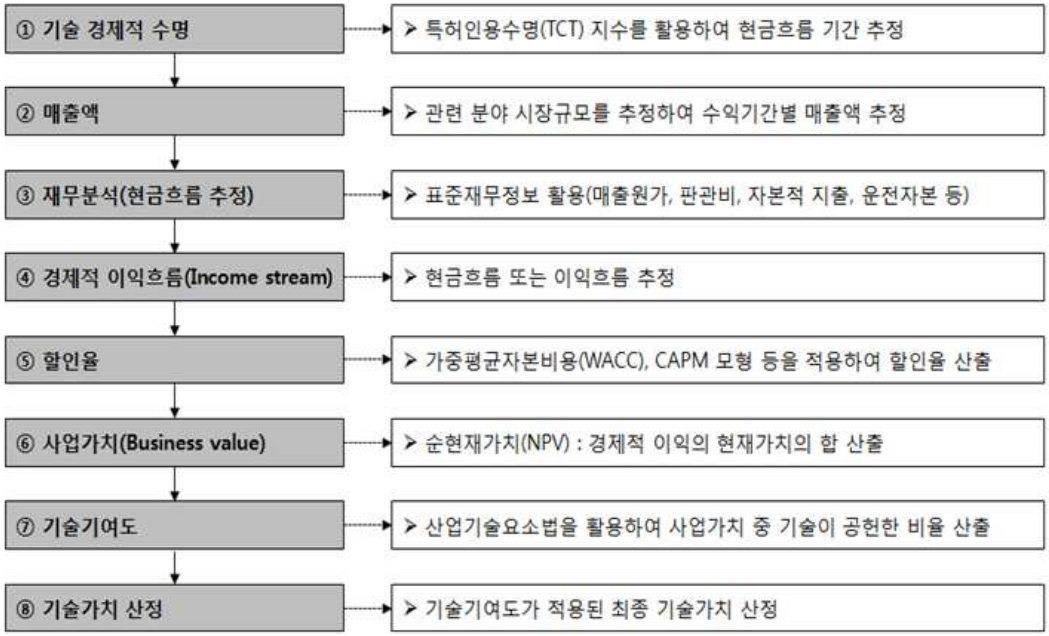
등록번호	발명의 명칭	출원일	특허권자	상태
10-1863347 (대표특허)	•교체가 가능한 2중 필터팩을 사용하는 충적정호 및 이의 시공 방법	2017.10.31. (2018.05.25.)	산하토건, 동부엔지니어링	등록 유지
10-1940930	•취수정의 여과재 교체 및 유지 보수 방법	2017.12.15. (2019.01.15.)	동부엔지니어링, 산하토건	등록 유지
10-0438863	•이중필터를 이용한 취수정 및 그 시공법	2002.01.08. (2004.06.24.)	산하이앤씨, 산하토건	등록 유지

(나) 평가방법

- 기술가치평가기법은 평가대상기술의 유형 및 평가자에 따라 다양하여 이론 및 실무에서 제시하고 있는 평가기법은 수익접근법(Income Approach), 시장접근법(Market Approach) 및 비용접근법(Cost Approach)의 3가지가 있으며, 이 가운데 미래의 수익을 추정하여 기술의 가치를 평가하는 수익접근법이 가장 일반적으로 사용됨
- 산업통상자원부의 ‘기술가치평가 실무가이드’에 따르면 평가대상기술과 같이 사업에 적용되고 있거나 향후 사업에 적용 가능성이 높은 경우 수익접근법의 적용을 권고
- 본 평가에서도 이를 준용하여 수익접근법을 기본적인 평가방법으로 적용

(다) 평가절차

- 평가에서는 평가대상특허의 경제적 이익창출 능력이 있는 지를 파악하기 위해 분야별 전문가를 구성하여 평가대상특허의 권리성 분석, 특허적용 기술제품에 대한 기술성 분석, 시장성 분석 및 사업성 분석에 대한 타당성 분석을 실시
- 결과를 토대로 본 특허기술의 적정 가치를 산정
- 수익접근법은 평가대상 기술의 미래 경제적 이익창출능력에 초점을 두고 미래의 경제적 이익을 현재가치로 환산하는 방법으로 다음과 같은 절차에 따라 진행



* 출처 : 기술가치평가 실무가이드, 산업통상자원부, 2017.12

Fig 219. 수익접근법에 의한 기술가치평가 절차

(라) 평가결과

① 기술성

- 평가대상기술1 내지 평가대상기술3은 이중필터를 활용한 충적정호, 이의 시공 및 유지보수에 관한 기술로, 평가대상기술1은 교체가 가능한 2중 필터팩을 사용하는 것으로 1,2차 필터재를 팩으로 하여 시공성 향상 및 필터재 유실을 방지할 수 있는 것을 특징으로 함
- 평가대상기술2는 여과재를 손쉽게 교체할 수 있고, 취수관에 부착된 이물질도 용이하게 제거할 수 있도록 한 것을 특징으로 하며, 평가대상기술3은 이중필터를 이용한 취수정 및 그 시공법에 관한 것으로 필터층의 유지관리가 용이하고 안정적인 취수량을 확보할 수 있는 것이 특징임
- 평가대상기술1 내지 3은 물 부족이나 각종 용수 공급 사업에 경제적, 효과적으로 대응할 수 있고, 수질확보에도 대응할 수 있는 유용성이 높은 기술이며, 기존 단일 필터를 이용한 수직 집수정 기술 및 필터재의 교체나 유지보수가 용이하지 않은 기존 시공법의 문제점을 극복한 기술로 기존 기술 대비 경쟁력이 있는 것으로 파악
- 평가대상기술은 이중필터가 서로 구획되는 1,2차 필터공간을 갖는 다공성의 필터팩이고, 서로 다른 1,2차 필터재로 각각 충진되며 위아래로 연결되어 사용되는 2중 필터팩으로 구성되어 교체가 용이하게 한 점에서 기존기술 대비 차별성이 있는 것으로 판단
- 다만, 평가대상기술은 간접 취수 방식에 관한 새로운 메커니즘을 제시한다기보다는 기존 수직 집수정에 의한 간접 취수 기술을 개량한 개량 기술로 보여 기존 기술 대비 혁신성은 보통 수준으로 파악
- 평가대상기술 1 내지 3은 강변 또는 해변여과수 개발 사업, 해수담수화 사업 등 취수 기술이 필요한 분야에 기여할 것으로 판단되어 응용성이 다소 높다고 볼 수 있고, 상수원 확보, 농업용수 공급, 공업용수 공급, 하천유지용수로의 활용 등이 가능하며, 더 나아가 극심한 물 부족난을 겪고

있는 아프리카 등지의 식수개발 사업 등을 통한 해외 진출도 가능할 것으로 판단되어 확장성이 높을 것으로 판단되며, 사업화된다면 기술적, 경제적 효과가 높아 물산업 자체는 물론 환경산업, 농업, 수산물 유통, 제조업 등 물이 사용되는 다양한 산업 분야에 영향을 미칠 수 있으므로 산업적 파급효과가 클 것으로 판단

② 권리성

- 주된 권리범위는 취수정, 취수관, 외부 스크린, 2중 필터팩, 마감부재 및 충진재를 포함하는 충적정호 및 이의 시공방법으로서, 2중 필터팩은 서로 다른 필터재로 충진되는 1,2차 필터공간을 갖는 필터팩이 연결부재를 매개로 하여 상하로 연결되어 일체로 사용되고 단일 작업으로 설치 및 교체되는 적층형인 것을 특징
- 평가대상특허의 권리 안정성은 이와 유사한 선행기술이 발견되지 않았으며, 선행기술을 조합한다고 하더라도 통상의 기술자가 용이하게 발명할 수 없으며, 평가대상특허의 발명의 설명 및 청구항이 적합하게 기재되어 추가적인 무효사유가 존재하지 않아 적절한 것으로 판단
- 권리의 안정성은 높은 것으로 판단
- 평가대상특허의 권리의 광협과 관련하여, 상술한 기술적 특징을 실시하는데 필수적 구성요소로 추출하여 독립항인 청구항 제1항 및 제5항으로 작성되었으며, 부가적인 기술적 특징은 종속항으로 작성되어 상기 독립항을 직·간접적으로 인용하여 교체 가능한 2중 필터팩을 사용하는 충적정호 및 시공방법에 대한 세부 구성 및 관련 기술을 구체화함으로써 권리범위를 형성
- 따라서 전체적인 구성이 잘 기재되어 있으나 심사과정 중 진보성에 대한 지적을 극복하기 위하여 청구항을 병합 및 삭제하는 보정을 하였는 바, 권리범위가 축소되었으며 비교적 넓게 작성되었다고 볼 수 없음
- 평가대상특허는 청구항의 일부 삭제로 권리범위가 넓지 않으나 평가대상특허의 목적하는 범위 내에서는 제3자가 회피하여 실시하기가 쉽지 않아 제3자의 회피설계 가능성이 높지 않다고 판단
- 평가대상기술의 권리범위, 권리범위의 광협, 선행기술조사, 침해가능성 등 권리성 분석을 종합적으로 진행한 결과, 평가대상기술은 기술사업화를 추진하기에 적절

③ 시장성

- 이중필터 활용 취수정에 있어서 교체가 가능한 2중 필터팩을 사용하는 것에 관한 것으로 해당 평가대상기술이 적용될 수 있는 시장은 해변 또는 강변 여과수를 취수하여 각종 용수로 사용하는 간접 취수 시장으로 정의할 수 있으며, 좀 더 세부적으로는 취수정의 시공 및 유지보수 시장으로 세분화할 수 있음
- 세계 물시장은 2016년 기준 제조, 건설, 운영(서비스)을 합하여 7,139억 달러에서 연평균 4.9%로 성장하여 2025년에는 8,650억 달러의 규모로 성장할 것으로 예측
- 한편, 강변여과를 이용한 간접 취수 방식은 유럽이나 미국 등 선진국에서 오래 전부터 취수원 개발에 이용해 왔으며, 특히 독일에서는 수자원의 80% 이상을 지하수 및 강변여과수로 활용
- 또한, 해수담수화 시장은 2015년 57억 달러에서 2018년 116억 달러로 성장할 것으로 전망
- 국내 물산업 사업체수는 지속 증가하고 있으나 매출액은 2017년 기준 36조 344억 원으로 추정되며 전년 대비 2.5% 감소
- 강변 여과수 개발과 관련하여 경남 김해시 용산지구와 경남 함안군 이룡지구에 각각 5천 톤/일

규모로 55억 원을 투입하여 시범 개발 사업을 추진한 바 있으며 한편, 해수 여과수 개발, 농업용수 개발, 지하수 함양 사업 등도 평가대상기술이 적용가능한 시장이나 현재까지 구체적 시장규모에 대한 통계치는 나와 있지 않은 상태임

- 전 세계적인 물 부족 현상 심화, 기후변화로 인한 수자원의 지역적 편중 심화, 양질의 수자원의 안정적 공급에 대한 수요가 증가하고 있어, 기술 적용 시장이 성장할 것으로 예상되며, 취수량 극대화, 장기 취수효율 유지 가능성, 시공성 향상 등의 기술적 장점과 물을 사용하는 다양한 산업 분야에서의 활용성 및 파급력, 기술 적용 사례 실적 등의 강점을 활용하여 기회요인에 적극적으로 대응한다면 시장 확보가 가능할 것으로 판단
- 산업의 특성상 신규 참여자의 시장진입장벽이 높고, 기술에 대한 안정적인 수요처가 있어 신규 참여자 및 수요자에 대한 경쟁력은 높으나 정부 주도 사업의 영향을 받을 것이므로 공급자에 대한 경쟁력은 낮으며, 대체재나 시장 내 경쟁강도에 따른 경쟁력은 보통으로 판단

④ 사업성

- 본 평가는 동사가 보유 중인 특허권인 “교체가 가능한 2중 필터팩을 사용하는 충적정호 및 이의 시공 방법(등록특허 제10-1863347호)” 외 2건에 대한 기술가치를 평가하여 사업타당성 검토용으로 활용하는데 목적이 있으며, 평가대상기술은 교체 가능한 2중 필터팩을 사용한 기술로 취수효율 향상, 취수가능량 증대, 시공성 개선, 장기적인 안정성 확보, 유지관리 비용면에서 경제적인 것에 차별성이 있음
- 동사는 2007년 11월에 설립된 업력 12년의 토공사업 전문 기업으로, 토목공사업과 엔지니어링 사업을 영위해오고 있으며, 주요 연구 인력은 지질 및 토목 전공자로 10년 이상의 업계 경력을 보유하고 있으며, 기술사 또는 기사 이상의 고급 인력으로 기술혁신 및 연구개발 역량을 충분히 보유하고 있는 것으로 판단
- 동사는 지하수와 관련한 다년간의 시공 및 연구개발 실적을 보유하고 있고, 특히 2중 필터 적용 기술을 과거부터 적용해 왔으며, 평가대상기술이 적용될 제품을 현재 현장 실증을 통해 성능 검증 중에 있으므로, R&D 종료와 함께 성능검증이 완료되면 바로 사업화 추진이 가능한 것으로 판단
- 사업화 초기 지자체 및 국가기관에 사업 설명회나 전시회 참가 등을 통해 홍보 위주의 전략을 추진하고, 이후 기술에 대한 인식이 형성되면 강변여과에 대한 표준화로 시장점유율을 확대하고, 해외시장 진입방안을 마련하여 초기 시장을 형성할 계획을 갖고 있음
- 또한, 동사는 목표 고객군을 세분화하여 각각에 대한 고객의 수준 및 대응방안은 물론 마케팅 전략을 이미 구축하고 있어 영업 및 마케팅 역량도 어느 정도 보유하고 있는 것으로 판단
- 장기적인 관점에서 대체기술의 등장 가능성 등 일부 위협요인이 존재하지만 정부 주도의 사업이 많은 분야 특성상 안정적인 거래처의 확보 및 꾸준한 영업활동을 통해 위험요인을 상당부분 감소시킬 수 있을 전망이며, 뛰어난 기술력을 통한 비교우위, 잠재성이 높은 시장상황 등을 종합적으로 고려할 때 본 평가대상기술의 사업화 추진은 적정한 것으로 판단

(3) 기술가치평가 요약

<table>
<tr><th colspan="2">기술가치평가 결과 요약표</th></tr>
<tr><td>평가대상특허</td><td>교체가 가능한 2중 필터팩을 사용하는 충적정호 및 이의 시공 방법
(등록특허 제10-1863347호) 외 2건</td></tr>
<tr><td>평가목적</td><td>사업타당성 검토용 기술가치평가</td></tr>
<tr><td>평가시점</td><td>2019. 08. 20</td></tr>
<tr><td>평가방법</td><td>수익접근법</td></tr>
<tr><td>기술의
경제적 수명</td><td>기술의 경제적 수명 정량화 모델Ⅰ을 활용하여 산출
· 평가대상특허 : 17년</td></tr>
<tr><td>매출추정</td><td>현금흐름 추정을 위해 동사의 과거 실적과 사업계획서를 검토하여 추정
(단위 : 백만 원)
<table>
<tr><th>구분</th><th>2020년</th><th>2021년</th><th>2022년</th><th>2023년</th><th>2024년</th><th>2025년</th><th>2026년</th><th>2027년</th><th>2028년</th></tr>
<tr><td>추정
매출</td><td>450</td><td>750</td><td>1,950</td><td>3,750</td><td>5,700</td><td>7,800</td><td>9,750</td><td>11,250</td><td>12,000</td></tr>
<tr><th>구분</th><th>2029년</th><th>2030년</th><th>2031년</th><th>2032년</th><th>2033년</th><th>2034년</th><th>2035년</th><th>2036년</th><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>추정
매출</td><td>12,600</td><td>13,050</td><td>13,350</td><td>13,500</td><td>12,750</td><td>11,700</td><td>10,500</td><td>9,300</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>현금흐름</td><td>현금흐름 추정을 위해 사업화주체의 과거 재무정보에 기반한 재무비율을 이용한 직접 추정 방식과 동업종 표준재무비율을 병행하여 활용
· 업종명 : 전문직별 공사업(F42)</td></tr>
<tr><td>할인율</td><td>가중평균자본비용(WACC)에 기술사업화 위험 프리미엄 적용하여 산출
· 평가대상특허 : 12.66%</td></tr>
<tr><td>기술기여도</td><td>평가대상기술이 속한 산업기술요소에 개별기술강도를 적용하여 기술기여도를 결정
· 평가대상특허 : 40.53%</td></tr>
<tr><td>기술가치산정</td><td>평가대상특허의 경우 수익 접근법에 따른 특허기술가치 산정결과는 평가기준일(2019년 8월 20일) 현재 사업가치는 29억 3,480만 원이며, 기술가치는 11억 8,950만 원으로 산출됨
<table>
<tr><td>기술의 경제적 수명</td><td>17년</td></tr>
<tr><td>할인율</td><td>12.66%</td></tr>
<tr><td>사업가치</td><td>2,934.8 백만 원</td></tr>
<tr><td>기술기여도</td><td>40.53%</td></tr>
<tr><td>기술가치</td><td>1,189.5 백만 원</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

마. 설계서 및 사양서

(1) 목적

• 이 기준은 취수원으로 이중필터를 이용한 강변(해변) 여과수 개발을 위한 기본, 실시설계를 시행하는 관련기준을 제시하는데 목적

(2) 범위

• 이 기준은 강변 및 해변에서 착정공을 이용하여 취수하는 생활용수, 농·어업용수, 공업용수 등 용수를 공급하는 취수시설의 설계에 적용

(3) 기준 및 법규

• 관련 기준
- KDS 51 14 35 이수계획
- KDS 57 45 00 상수도 취수시설 설계기준
- KCS 57 20 15 복류수.강변여과수 취수시설 설치공사

• 관련 법규
-지하수법(환경부)
-하천법(국토교통부, 환경부)

(4) 취수정 후보지 선정

① 일반사항

• 취수지점 선정시 조사결과에 근거하여 다음 각 항들이 충족되는 취수지점을 취수정 후보지로 선정함
- 강이나 하천 주변에 넓은 충적층이 펼쳐진 지역
- 유효공극율과 투수성이 커 물의 저장과 이동이 양호한 지층조건을 갖는 지역.
  즉, 모래층과 자갈층이 분포하는 충적지역(이토질(泥土質) 지점은 피할 것)
- 취수지점은 향후 유로변화 또는 하상저하 등의 영향이 없는 지점
- 하천개수계획에 지장이 없는 지점
- 기존 우물의 취수에 영향을 주지 않는 지점
- 주변의 오염원으로부터 지하 침투영향이 없는 지점

(5) 취수정 설계

① 취수정 배치

- 하천으로부터 취수정의 이격거리는 하천수의 초기 유입비율 및 하천수의 대수층 통과시간에 영향을 미치기 때문에 대부분의 경우 하천에서 약50m 이내에 취수정을 설치
- 취수정을 2개 이상 설치할 경우에는 일반적으로 지하수의 흐름방향과 직각으로 지그재그로 배치하고 우물간의 간격은 양수량의 상호간섭이 가능한 한 적도록 설정

- 취수정의 간격과 배열 또한 취수정의 수위강하에 영향을 미치므로 적절한 설계를 위해서는 수리모델링과 양수시험을 통하여 그 적정 간격과 배열을 정해야 함. 일반적으로 취수정의 배열은 1~2열로 배열하며, 이는 해당지역 토질조건에 의한 대수층 통과시간(투수성)에 따라 결정

② 취수정 심도

- 취수정의 설치심도는 시험공 또는 시추공을 굴착해서 취득한 지층, 토질 및 지하수 정보나 취수정 설치예정지점 인근의 동일 대수층에 기 설치된 기존우물의 지질자료를 이용하여 결정
- 일반적으로 취수정의 설치심도는 대수층 하부까지 완전 굴착한 후 우물자재를 설치하지만 대수층 중에서 공내로 유입되는 지하수량이 최대치가 되도록 현장여건에 맞게 설계함

③ 취수정 구경

o 취수정의 구경은 우물로부터 양수량과 우물자재의 규격, 이중필터재의 두께 등 제반조건을 고려하여 결정

- 취수정 내로 지하수가 유입되는 면적(개공율)이 충분하도록 설계할 것
- 취수본관의 직경, 스크린의 길이와 슬롯 폭, 필터재의 직경 등 우물자재의 규격을 고려하여 설계할 것
- 필터재는 스크린와 공벽사이의 공간에 설치되며 다음의 필터재의 설치목적에 부응하도록 설계할 것
  - 스크린의 개공율과 투수율을 높이고 유입속도를 낮추는 효과
  - 우물의 유효반경을 넓히는 효과
  - 스크린을 우물중앙에 안정적으로 위치하기 위하여 설치
- 아래 표와 같이 최적의 양수기 구경, 취수본관 및 취수관을 연결하는 플랜지의 직경을 감안하여 취수관의 직경을 결정토록 함

Table 231. 취수량에 따른 최적의 양수기 구경 및 취수관경(ID : 내경)

취 수 량		양수기 구경 (인치)	최적 취수관 경	최소 취수관 경
㎥ / 분	㎥ / 일			
< 0.35	< 500	4″	6″ ID	5″ ID
0.28 ~ 0.6	400 ~ 900	5″	8″ ID	6″ ID
0.55 ~ 1.5	800 ~ 2,000	6″(152mm)	10″ ID	8″ ID
1.3 ~ 2.5	1,800 ~ 3,600	8″(203mm)	12″ ID	10″ ID
2.3 ~ 3.5	3,300 ~ 5,000	10″	14″ ID	12″ ID
3.3 ~ 5.0	4,700 ~ 7,200	12″	16″ ID	14″ ID
4.5 ~ 6.8	6,500 ~ 9,800	14″	20″ ID	16″ ID
6.0 ~ 11.5	8,600 ~ 16,500	16″	24″ ID	20″ ID

④ 채수층의 결정

o 채수층은 굴착 중에 얻은 다음 자료를 참고로 선정

- 지층이 변할 때마다 채취한 지질시료 및 입도분석결과
- 굴착 중인 점토수(泥水 : drilling mud)의 양적 및 질적인 변화, 용천수 또는 일수(逸水 : spill water) 등의 유무
- 전기저항탐사 및 탄성파탐사의 지층분포 결과
- CCTV 수중카메라 촬영결과
- 대수성시험 결과

(3) 스크린 선정

① 스크린 설계

일반사항

- 우물내에 설치해야 할 스크린의 최적 길이는 대수층의 층서 및 두께와 양수에 따른 수위강하량 및 대수층의 종류에 따라 결정
- 우물용 스크린은 다음 각 항에 따름
- 설치위치는 대수층으로 하고 스크린의 최하부에는 유사관로서 무공관을 연결
- 채수층을 구성하는 모래자갈 등의 형상과 입경에 적합한 구조로 함
- 강도나 내식성이 풍부한 재질로 함

스크린 길이를 결정

- 균질 피압대수층
  - 피압대수층의 두께가 8m 이상인 경우에는 스크린을 대수층 두께의 70%만 설치하고, 대수층의 두께가 8~16m 정도인 경우에는 76%, 15m 이상인 경우에는 80% 이상 스크린을 설치
- 불균질 피압대수층
  - 1개 대수층에서 대수층이 가장 양호한 구간에만 스크린 설치
- 균질 자유면대수층
  - 통상 대수층의 저면에서부터 대수층 전체 두께의 33%(1/3) 정도만 설치하는 것이 가장 최적(간혹 비양수량을 증가시키기 위해서 대수층 전 두께의 50% 범위까지 스크린을 설치하는 경우도 있음)
- 불균질 자유면대수층
  - 불균질 피압대수층의 설계기준과 원칙적으로 동일(투수성이 가장 양호한 구간의 최하단부에 스크린 설치)
- 자유면 대수층에 설치한 우물에서 허용 수위강하량(allowable drawdown)은 항상 스크린의 최상단부보다 약간 높은 지점까지여야 함
- 스크린은 반드시 대수층 하부구간이나 대수층 저면을 관통하여 설치

스크린 개공율

- 일반적으로 스크린 개공규격은 각 대수층에서 채취한 대표시료의 체분석 결과를 이용하여 선정
- 대부분의 대수층은 균질이 아닌 불균질 층상 퇴적물로서 여러 개의 층으로 구성되어 있어 각 층에 적합한 서로 다른 이중필터재 및 스크린의 개공규격을 사용해야 함
- 불균질 대수층에서 스크린의 개공규격 선정은 일반적으로 다음과 같음
  - 세립질 퇴적층이 조립질 퇴적층 위에 분포할 때는 세립질층의 D60 입경 규격을 갖는 스크린을 하부 조립질 퇴적층에 약 60cm 가량 더 연장해서 설치
  - 하부 조립질 퇴적층에 설치한 스크린의 개공크기는 상부 스크린 개공크기의 2배 이상되지 않도록 해야 함
  - 만일 위 규정을 무시하고 임의의 스크린을 서로 다르게 설치했을 때는 하부 조립질 퇴적층의 세립질 물질이 스크린 주위에서 60% 이상 배출됨에 따라 상부 세립질 물질이 하부로 침하하여 소위 토사출(sand pumping) 현상이 발생함

스크린 직경 및 슬롯 간격

- 지하수 수질 및 수량에 알맞게 스크린의 직경을 선정하고, 주대수층의 지질특성(입경)에 적합한 스크린의 개공면적 및 규격을 선정함. 스크린의 직경은 개공크기나 스크린의 길이를 먼저 확정한 후에 결정
- 각 대수층에서 토층 시료를 채취하여 체분석을 실시하여 층별 입도곡선을 작성한 후 각 층의 최소 입도와 위치를 파악하여 다음과 같이 슬롯간격을 결정.
- 지하수가 스크린을 통해 우물로 유입될 때 그 유입속도가 임계유속인 3㎝/sec이상 되지 않는 개공면적을 가질 수 있도록 스크린의 직경을 조절
- 세계적으로 가장 널리 사용되는 죤슨 웰 스크린의 스크린 개공규격과 직경에 따른 유입면적은 다음과 같음

Table 232. Johnson well screen의 개공면적

스크린의 직경(in)	개공 유입면적(in2)						
	Slot No.10	Slot No.20	Slot No.40	Slot No.60	Slot No.80	Slot No.100	Slot No.150
3	10	19	32	42	43	55	65
4	14	26	44	57	58	74	88
5	18	33	55	72	73	94	112
6	21	39	65	85	87	111	132
8	28	51	87	113	116	131	160
10	36	65	110	143	147	166	203
12	42	77	130	170	174	180	223
14OD	38	71	123	163	177	198	251
15OD	39	76	132	175	190	217	268
16OD	35	69	123	163	171	198	250
18OD	39	78	139	186	193	224	283
20OD	47	88	156	209	218	252	318
24OD	46	87	158	217	266	307	389
26OD	49	91	166	227	278	321	406
30OD	57	108	192	268	329	379	480
36OD	65	124	224	307	376	434	550

스크린의 재질

- 스크린의 재질은 부식 및 스케일 현상을 고려하여 선정
  - 스크린이 부식되면 개공부가 확대되어 세립질 물질이 우물내로 유입됨에 따라 모래의 토사출현상이 발생할 수 있고, 부식에 의한 스크린 강도의 저하로 인해 우물이 붕괴될 수 있음
- [부식성이 있는 지하수]는 다음과 같음
  - pH : 산도 7 이하의 산성
  - 용존산소 : 2mg/L이상 (주로 산성지하수에서 잘 나타남)
  - H_2S : 1mg/L이상 (부식성이 매우 강한 썩은 계란냄새)
  - TDS(전고용물) : 100mg/L이상 (전해부식현상)
  - CO_2 : 50mg/L이상
  - 염소이온 : 500mg/L이상
  - 유류와 같은 탄화수소계 오염물질에 의해 심하게 오염된 지하수
- 스크린의 안쪽이나 스크린 주위의 대수층 및 필터재 표면에 침전물이 가라앉아 응결되는 스케일 현상은 대수층의 공극을 메우거나 스크린의 개공부를 폐쇄시켜 통수능력을 감소시키므로 이런 침전물을 제거하기 위한 산처리에 충분히 견딜 수 있는 재질이어야 함

• [스케일 현상을 유발하는 요인]은 다음과 같음
  – pH : 산도
  – 경도 : 300mg/L 이상인 경우에는 칼슘의 침전
  – 철분 : 1mg/L 이상
  – 망간 : 1mg/L 이상
  – 박테리아의 유무 : 철박테리아는 철분을 침전시킴
• 완공된 우물의 스크린에는 항상 파이프의 하중과 지층의 횡압력이 작용하기 때문에 스크린 주변에 작용하는 횡압력은 유공관의 붕괴를 초래할 수 있고, 하중압력과 횡압력에 대한 스크린의 저항력은 스크린 재질의 탄성계수에 정비례하므로 내구력을 고려하여 설계에 반영함(탄성계수가 동합금관의 2배인 스테인레스 스틸의 경우에 내구력은 전자의 2배)
• 스크린 선정시 적절한 내구력과 최대 개공면적, 상대적인 가격 및 수질과의 연관성 고려

이중필터재

• 필터재는 스크린과 공벽사이의 공간에 설치하며, ①모래의 유입을 방지하여 대수층을 안정시키고, ②스크린의 개공율과 투수성을 높이고 유입속도를 낮추며, ③우물의 유효반경을 넓히고, ④스크린을 우물중앙에 안정적으로 위치하게 하기 위하여 실시
• 우물 설치 시 필터재를 반드시 설치해야 하는 지층조건

가. 세립질의 균질 모래층

– 지층에 필터재를 사용하면 스크린 개공면적을 증가시킬 수 있음
– 대수층의 입도 분석결과 D60의 입경크기가 0.01인치(0.25mm)이하(No. 10 슬롯)인 지층은 필터재를 반드시 부설해야 함
– 피각작용의 방지를 위하여 입경크기를 0.01인치 대신 0.015 또는 0.02인치를 사용할 수도 있으나 이는 지하수의 수질특성에 따라 결정

나. 두꺼운 피압 대수층

– 스크린을 길게 설치해야 하거나, 펌프를 스크린 구간에 설치해야 하는 두께가 두터운 피압대수층에서는 큰 구경으로 착정해서 착정구경보다 구경이 작은 스크린을 설치하고 이들 사이의 주변 공간에 필터재를 부설

다. 미고결 사질 대수층

– 일반적으로 사질층은 투수성이 양호하여 우물에 필터재를 설치하지 않고 나공상태(open hole)로 스크린을 설치하면 대수층 내에 포함된 세립질 모래가 붕괴되어 토사출현상이 일어날 가능성이 있기 때문에 스크린 주위에 필터재를 부설하면 더욱 좋은 우물을 형성할 수 있음

라. 분포가 넓은 충적 퇴적물

– 입도가 서로 다른 퇴적층이 여러 층으로 분포되어 있는 충적퇴적층은 각 층의 심도를 파악하여 각 층에 맞는 이중필터재와 이에 맞는 스크린을 설치
– 필터재의 크기와 스크린의 개공크기는 최소 세립질의 입도(D60 & F10)를 기준으로 선정

• 이중필터재의 층위구성으로 수직취수정 설치시 이중필터재의 구성조건은 다음과 같음
  – 외부필터재는 각 대수지층의 원지반의 토질특성에 적합한 필터재의 입경조건을 산정하여 세립질의 여과사를 적용

- 내부필터재는 각 대수지층의 외부필터재에 적합한 입경조건을 산정하여 조립질의 여과사리를 적용

• 이중필터재의 두께

가. 자연우물은 대수층이 스크린에 대해 측면지지를 해주지 않으므로 우물개량을 시킬 때 대수층 내에 포함된 느슨한 상태의 모래들이 붕괴되어 스크린을 파손시킬 우려가 있지만 필터재를 부설하면 이러한 현상을 방지할 수 있음

나. 이중필터층 형성시 외부필터 내부필터의 두께비는 외부필터 기준 1 : 2 이상으로 설계함

• 이중필터재의 규격 산정

가. 외부필터재의 규격 산정

- 각 해당 대수층의 입경비 D60~D70를 기준으로 필터재의 평균 입경은 4~6배로 함. 단, 대수층이 세립·균질일 때는 4배를, 대수층이 조립 및 불균질일 때는 6배의 것을 사용 [F60~F70 : (4~6)·(D60~D70)]토록 설계함
- 위에서 구한 외부필터재의 크기는 여과사 입도곡선은 F60~F70 입경과 같아야 하고, 균등계수가 2.5 이하가 되도록 입도곡선을 적용하여 필터재의 최대·최소 입경을 결정
- 스크린 개공크기는 위에서 도시한 여과사 입도곡선 중 F10의 입경과 동일한 것을 적용 [스크린 개공크기 = F10]하여 설계함

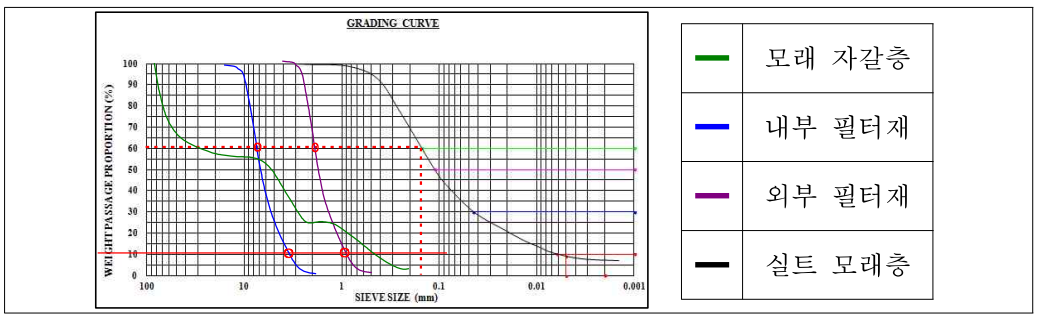
나. 내부필터재의 규격 산정

- 내부필터재의 크기는 해당 외부필터재의 D60~D70 입경의 4~6배로 설계함 대수층이 세립·균질일 때는 4배를, 대수층이 조립 및 불균질일 때는 6배의 것을 사용 [F60~F70 : (4~6)·(D60~D70)]토록 설계함
- 위에서 구한 내부필터재의 크기는 여과력 입도곡선의 F60~F70 입경과 같아야 하고, 균등계수가 2.5 이하가 되도록 입도곡선을 재작도하여 필터재의 최대·최소 입경을 결정하여 선정함
- 스크린 개공크기는 위에서 재작도한 여과력 입도곡선 중 F10의 입경과 동일한 것을 적용 [스크린 개공크기 = F10]하여 설계함

다. 필터재의 최대 크기는 10mm를 기준으로 하나, 모래-자갈층의 경우 대수층의 입경을 고려하여 최대 입경을 산정함

라. 입도분석결과에 근거한 각 지층별(실트질 모래층, 모래질 자갈층으로 구성) 이중필터재 산정방법에 대한 아래 사례를 참조하여 설계함

Table 233. 이중필터재의 산정방법



바. 운영매뉴얼

(1) 공법 개요

- 주로 오실레이터와 같은 대구경 착정기를 사용하여 외부케이싱을 압입하면서 지반을 굴착한 후 내부케이싱과 취수관을 설치하고 취수관 주변에 이중필터층을 형성시켜서 취수정 주변지반과 필터층의 교란에 의한 투수성 저하를 방지하고 토질에 맞는 필터재의 직경과 스크린의 슬롯 폭을 적용함으로서 취수정의 효율을 극대화하여 안정적 취수를 할 수 있는 공법

(2) 공법 특징

(1) 굴착시 케이싱 공법을 적용하여 좌우이동에 의한 압입굴착으로 회전굴착에 의해 발생되는 굴착면의 점성토 피막형성을 억제

(2) 외부케이싱과 내부케이싱 사이는 양질의 준설토 또는 여과사로, 그리고 내부케이싱과 취수관 사이는 여과사(리)로 필터재를 충진하여 투수성 향상

(3) 내부케이싱 인발시 여과사(리)와 양질토(여과사) 사이에 와력을 가하지 않고 인발하기 때문에 필터재의 교란없이 취수관을 원하는 특정 위치에 고정 설치 가능

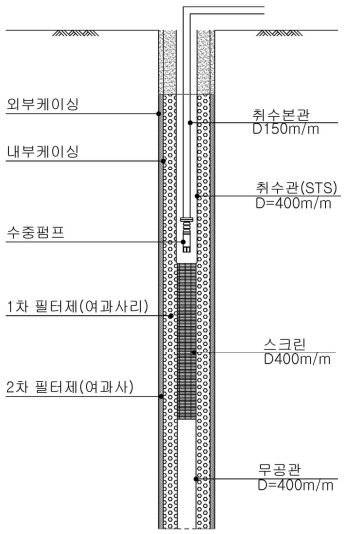
(4) 취수구간의 토층 입도에 적합한 필터재의 입경과 두께로 설치하므로 투수성을 증대시켜 충분한 원수 확보 가능

(5) 고효율 스크린과 필터재(여과사 및 여과사리 등)를 적용하여 장기적으로 시간에 따라 취수량이 감소되는 것을 억제하여 취수정의 취수효율 극대화

(3) 작업절차 및 흐름

작 업 절 차 요 약

1. 외부 케이싱 압입 및 굴착 (대수층 심도 확인)
2. 내부케이싱 설치
3. 취수관 설치
4. 필터재(여과사, 양질의 준설토) 충진
   (외부 케이싱과 내부 케이싱 사이)
6. 필터재(여과사리) 충진(내부 케이싱과 취수관 사이)
7. 내부 케이싱 인발 (케이싱 내,외부의 압력 차이를 최소화하기 위해 먼저 수직인발)
8. 외부 케이싱 인발 (필터재와 원지반의 교란을 방지하기 위해 7,8번 항목을 순차적으로 시행)
9. 취수본관 설치



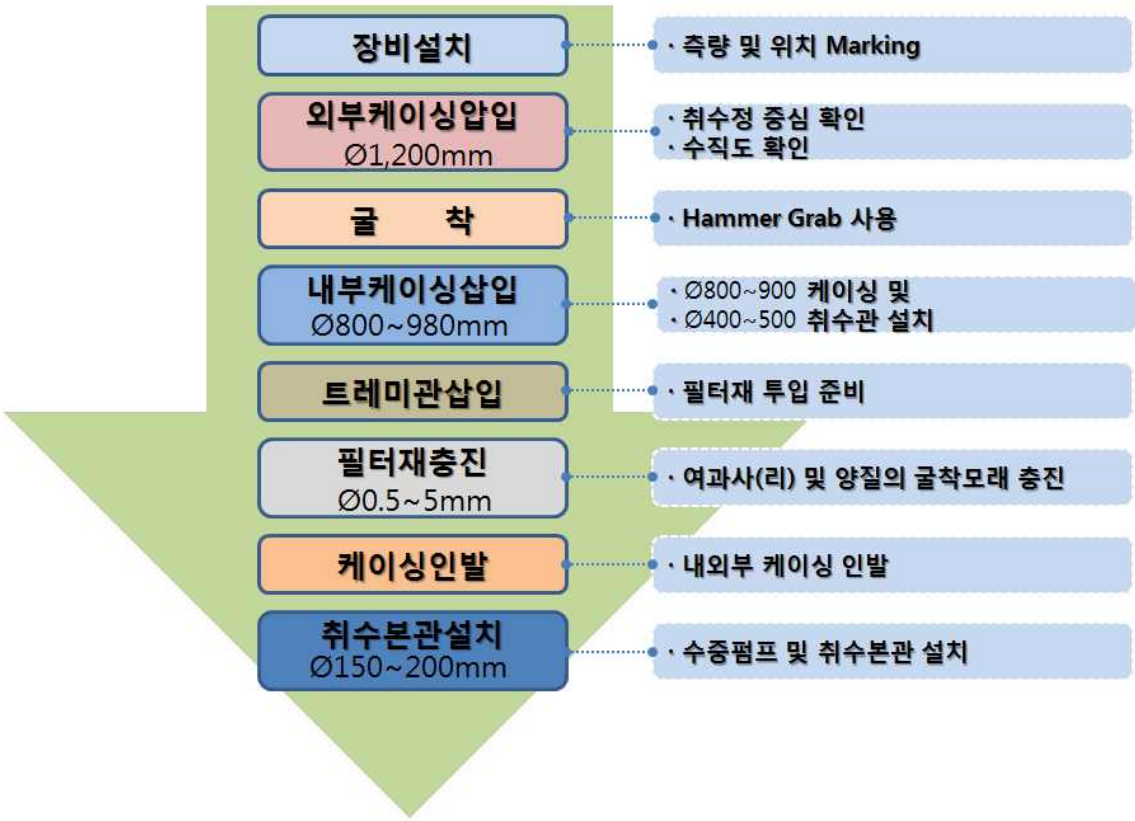


Fig 220. 취수본관 설치 흐름도

(3) 작업방법

① 측량

(1) 측량은 지적공사에서 공식적으로 지정하는 기준점의 좌표값을 근거로 하여 광파기 및 GPS 를 사용하여 위치 측량하고 그 좌표값을 기록유지

(2) 측량결과 선정된 취수정 위치는 중심점에 Pole을 세우고, 이를 중심으로 직경 Ø1,200mm의 원형을 스프레이 마킹하여 외부케이싱을 설치하여 굴착할 수 있도록 준비

② 굴착

(1) 이중필터 취수정 공법에 사용되는 굴착장비는 오실레이터(Oscillator), Hammer Grab와 Power Pack, 케이싱 등과, 지원장비로는 크레인, 백호, 발전기 및 콤프레셔 등이 사용

(2) 천공 방법은 Ø1200mm의 외부케이싱을 오실레이터에 설치한 후 외부케이싱을 좌우로 유동하면서 압입한 후 외부케이싱 내의 토사 및 자갈을 Hammer Grab로 들어내는 방법으로 굴착하여 소정의 설계심도까지 외부케이싱의 압입과 토사 제거를 반복하여 굴진

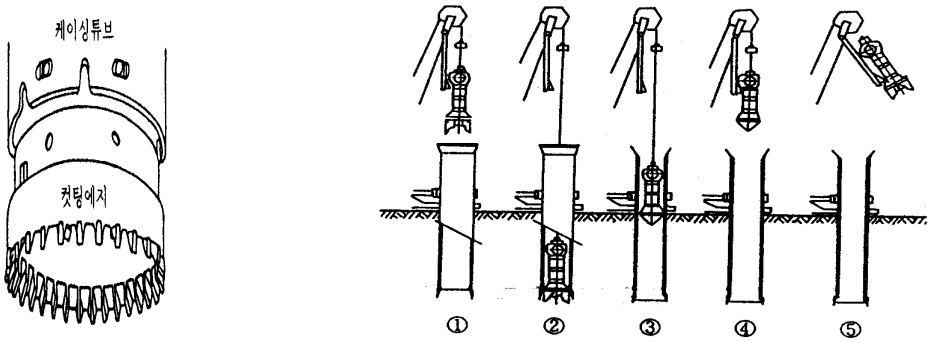


Fig 221. 굴착방법

③ 내부 케이싱 삽입 및 취수관 설치

(1) 굴착 완료 후 외부케이싱 중앙에 내부케이싱을 삽입하여 필터재의 두께를 확보한 후 취수관을 삽입하고, 취수관은 수직도를 유지하기 위하여 Band형태의 Spacer를 용접하여 부착

(2) 취수목적에 따라 반영구적 취수용으로 사용되는 경우 스크린과 무공관 및 유사관의 재질은 스테인레스관(SUS관)을 사용토록 하고, 이들의 연결시에는 가급적 부식을 억제하기 위해 CO2 용접방법을 적용



Fig 222. 케이싱 삽입 및 취수관 설치

④ 필터재 충진

(1) 필터재는 여과사, 여과사리 및 양질의 굴착모래를 사용하며, 굴착토를 사용할 경우는 체가름 하여 사용

(2) 필터재의 충진방법은 내부케이싱과 취수관 사이에는 트레미관을 공저 2m 상부까지 삽입하여 중력 충진하도록 하고, 외부케이싱과 내부케이싱 사이는 중력으로 상부에서 충전하면서 진동다짐을 병행함

(3) 진동다짐은 인발기 또는 외부케이싱에 부착된 바이브레이터(Vibrator)를 사용하여 필터재 충진 후 진동다짐을 실시

(4) 최초 필터재 충진 후 외부 및 내부케이싱은 6m씩 인발하면서 단계적으로 필터재 충진과 케이싱 인발을 반복하면서 필터재를 충진



Fig 223. 필터재 충전

⑤ 내부 및 외부케이싱 인발

(1) 내부케이싱 인발은 여과사, 여과사리 및 기타 충진재의 교란을 방지하면서 원지반의 횡압력을 지탱해 주는 외부케이싱(Φ1200㎜) 내에서 저속유압잭을 사용하여 0.5m/min 정도의 속도로 수직 인발

(2) 외부케이싱 인발은 내부케이싱 인발 후 오실레이터의 좌우이동 및 유압으로 수직 인발토록 하여 원지반 공벽에 피막형성 억제 및 필터재의 교란을 방지하도록 함

(3) 내 · 외부 케이싱의 인발 순서는 스크린관과 필터재에 작용되는 토압을 최소화 하기 위하여 내부 케이싱을 선 인발한 후에 외부케이싱을 인발하도록 함

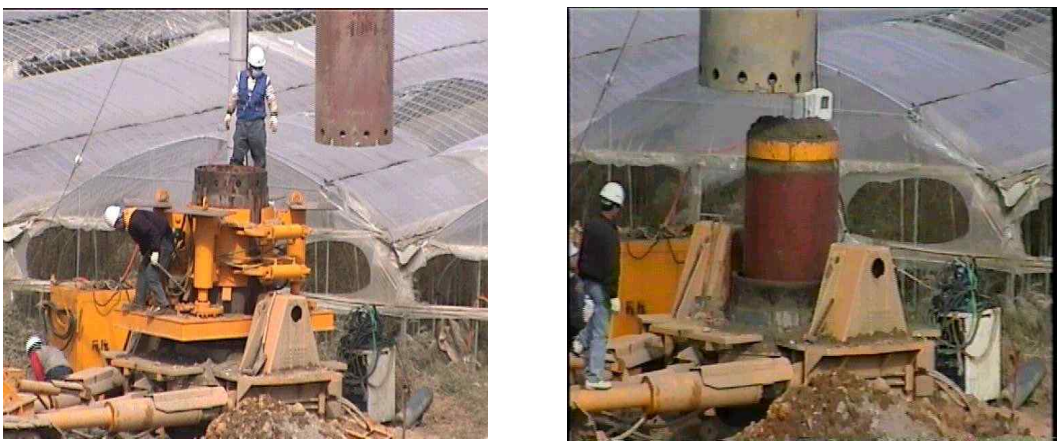


Fig 224. 케이싱 인발

⑥ 취수본관 및 수중펌프 설치

(1) 수중펌프와 취수본관, 취수본관과 취수본관은 플랜지로 연결하여 볼트로 체결한 후 크레인을 사용하여 설치

(2) 취수본관 설치시 관 내부를 점검하여 이물질이 없는가를 확인한 후, 금속 부스러기 및 먼지를 깨끗이 청소

(3) 취수본관 설치를 끝마쳤을 때 또는 일시 배관을 중지할 때에는 배관 입구를 플러그 및 캡 등으로 완전히 막아 이 물질이 들어가지 않도록 주의
(4) 플렌지 접합시는 패킹의 두께는 3㎜ 이하의 것을 사용하고, 먼저 관 내경과 일치하도록 플렌지를 서로 맞추고 볼트를 대각선 방향 순서로 균등하게 조임
(5) 수중펌프는 설치 양정고와 수송거리, 소요전력, 취수량 등을 고려하여 적정펌프를 선정
(6) 전선은 수중에 침수되는 것을 감안하여 수분의 완전밀폐가 가능토록 봉합하여 연결

⑦ 송수배관 설치

송수관의 설치

1) 현장에 반입한 배관은 계획 관로를 따라 배열
2) 송수관은 가능한 한 관로를 따라 통행에 지장이 없도록 배열하여 배관 부설작업이 용이하도록 하여야 함.
3) 송수관을 배열할 때에는 관의 양쪽을 완충용 목재나 모래주머니 기타 적절한 방법으로 받침을 하여 관외면 도복부가 자갈이나 암석 등에 의한 손상을 입지 않도록 하여 굴름에 의한 안전사고 방지
4) 송수관을 설치하기 전에 관체를 검사하고 균열이나 기타 결함이 없는가를 확인
5) 송수관을 달아 내릴 때 흙막이용 버팀보를 일시적으로 떼어 낼 필요가 있을 경우에는 반드시 적절한 보강을 하고 안전을 확인한 다음 시행
6) 송수관을 굴착한 관로 내로 달아 내릴 때에는 안전을 위하여 관로의 홈 안(관을 내릴 장소)에 작업원이 들어가 있지 않도록 조치
7) 송수관의 부설은 원칙적으로 낮은 곳에서부터 높은 곳으로 향하여 부설하고 소켓(Socket)이 있는 관은 소켓이 높은 곳으로 향하도록 배관
8) 현장 필렛(Fillet)용접용으로 제작된 벨엔드(Bell End)형의 관은 수구의 방향이 물의 유입 방향으로 향하도록 배열
9) 송수관을 설치할 때에는 관 내부를 청소하고 레벨, 트렌시트 등을 이용해서 중심선과 높낮이를 조정, 정확하게 설치
또, 관체의 표시 기호를 확인함과 동시에 관의 몸체에 표시되어 있는 지름, 제작 연도 등의 기호가 위로 향하도록 설치
10) 직관의 이음개소 에서 각도가 생긴 휨 배관은 피하도록 하고, 공사현장의 상황에 따라 시공상 부득이한 경우에는 감리원의 지시를 받아서 처리
11) 매일 부설 작업이 완료된 뒤에는 관내에 토사, 오수 등이 유입하지 않도록 나무 마개 등으로 관 끝을 막아야 하며 관내에 헝겊, 공구류 등을 두지 않도록 함

송수관의 절단

1) 송수관을 절단하고자 할 때에는 관의 절단 길이 및 절단 개소를 정확히 정하고 절단선의 표선을 관 둘레 전체에 표시
2) 송수관의 절단은 관축에 대하여 직각으로 실시
3) 절관이 필요할 때에는 잔재를 대조, 조사하여 가능한 한 잔재를 사용

4) 송수관을 절단하는 장소 근처에 가연성 물질이 있는 경우에는 보안상 필요한 조치를 취한 다음 주의해서 시행

5) 주철관의 절단

① 주철관의 절단은 절단기로 하는 것을 원칙으로 하며, 이형관은 절단불가

② 동력원으로 엔진을 사용하는 절단기는 소음에 대한 배려 및 대책마련

③ T형 소켓관을 절단한 경우에는 삽입구의 단면을 그라인더 등으로 규정된 모따기를 하고 삽입 치수를 백선으로 표시

④ 주철관의 절단면은 위생상의 해가 없는 방식으로 도장

6) 강관의 절단

① 강관의 절단은 절단선을 중심으로 폭 30cm 범위의 도복장을 벗겨내고 절단 선을 표시하여 절단

② 절단 중에는 관 내 외면의 도복장에 인화되지 않도록 주의하고 적절한 보호조치를 취할 것

③ 강관의 절단을 완료한 뒤에 신관의 끝 부분 모양과 같이 신중하게 접합부를 마무리해야 하며, 절단부분의 도복장은 신관과 동일한 치수로 다듬어서 처리

7) 기타 관의 절단

① 관을 절단하고자 할 때에는 절단개소가 관 축에 직각이 되도록 매직잉크 등으로 전체 둘레에 걸쳐서 표선으로 마킹

② 절단면은 줄 등으로 평활하게 마무리함과 동시에 안팎둘레를 가볍게 모따기 실행

⑧ 취수공 에어써징 실험

(1) 실내실험에서 도출된 결과를 바탕으로 에어써징 파이프를 설계 및 제작하여 현장 시공시 필터층 내에 설치 후 취수효율 감소시 또는 정기적으로 에어써징을 함으로서 취수 효율을 증대

Table 234. 장치의 구성 및 규격

구 분	장치구성	규 격
에어써징 파이프	• 에어 컴프레셔와 연결되며, 필터층 위치에서 에어를 분사할 수 있도록 제작	• 현장시험을 통해 결정된 규격 적용
에어 컴프레셔	• 에어써징 파이프에 공기를 주입하기 위한 장치	• 3HP 40L

(2) 현장 실험/연구수행 내용

• 장기 양수시험 종료 시 양수량을 측정하고 필터층 내부 에어써징 파이프를 이용하여 에어써징을 수행하고 양수량의 변화를 관찰하고, 단일필터취수정과 이중필터취수정의 취수관 내부에서 에어써징을 수행한 후 에어써징 전후의 취수효율 개선효과를 검증토록 함

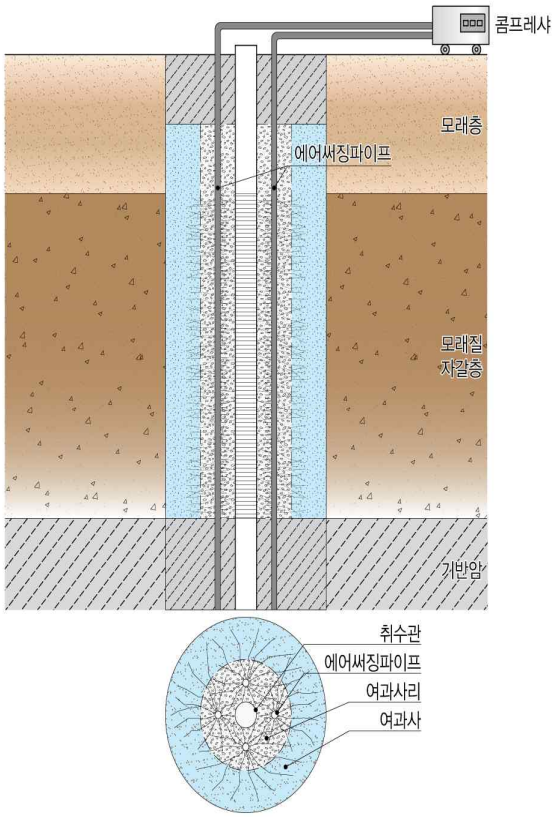


Fig 225. 현장 에어써징 개념도

(4) 안전관리

① 직책별 직무사항

안전관리 책임자

내 용	직 무 사 항
- 계획 및 분석	- 계획서 작성, 안전활동 분석평가, 안전일지 기록 확인
- 중대재해, 급박한 위험	- 작업의 중지 및 재개
- 협의회	- 1주간의 안전활동 평가
- 안전관리비	- 계약서상 지급된 안전관리비 사용
- 위험기계, 기구 및 장비	- 안전장치 부착 및 작동상태 확인
- 점 검	- 1일 1회 점검실시 후 안전일지에 결과 기록
- 교 육	- 채용시마다 주 1회 정기교육, 월 1회 관리감독자 교육

안전 담당자

내 용	직 무 사 항
- 계 획	- 안전관리 목표와 방침 전달
- 안전작업	- 작업방법 결정, 지휘감독
- 위험기계, 기구, 장비	- 방호장치의 점검 및 사용에 관한 지도
- 보 호 구	- 보호구의 착용, 사용에 관한 지도
- 작 업 장	- 정리정돈, 통로확보의 확인 감독, 관계자외 출입 금지
- 교 육	- 안전일지 기록정리, 교육실시 결과 기록 비치
- 점 검	- 불안전 행동의 시정 지도, 유해위험 작업 감독

② 점검 및 확인사항

◆ 취수정 굴착 작업

작업전 조회
- 출역인원 확인
- 안전조회사항 전달
- 안전체조 실시
- 금일 위험장소 주지
- 재해사례 전파

작 업 지 시
- 금일 작업내용
- 담당 작업내용
- 작업량

장 비 확 인
- 부품안전도 점검
- 기계공구 보관정비
- 장비가동전 기계점검

굴 착
- 굴착위치, 각도 확인

◆ 송수관 연결 및 용접작업

작업전 조회
- 출역인원 확인
- 안전조회사항 전달
- 안전체조 실시
- 금일 위험작업 주지
- 재해사례 전파

작 업 지 시
- 금일 작업내용
- 담당 작업내용
- 작업량

장 비 확 인
- 장비 가동전 기계점검
- 부품 안전도 점검

송수관 연결 및 용접
- 배관규격 및 길이
- 용접상태 확인

③ 주요 재해 원인 및 대책

재 해 형 태	관리적인 측면	근로자 측면
협 착 재 해	- 장비이동시 작업반경내 접근금지 - 장비기사들의 서로 상호간에 작업반경 확보 후 작업 - 장비 회전반경내 접근금지	- 작업자 발등 및 손 협착 - 장비끼리의 충돌 - 장비 회전시 접근자 부딪힘
중 량 물 낙 하 재 해	- 크레인 작업시 신호수 배치 - 와이어로프 및 케이싱 연결핀 상태확인	- 중량물의 이동 반경 내 접근금지
기 타 재 해	- 안전장구는 각 작업자의 크기에 적합한 것으로 지급 - 작업전 준비운동	- 피부에 물집이 생김 - 무리한 작업으로 허리 다침

④ 주요 기계 · 기구 취급 및 운영관리

오실레이터

운 영 관 리 요 령	취 급 방 법
- 운전원 확인 - 기계 작동 유무 - 고압호스 점검 - 유압 실린더 점검 - 과부하 상태 수시 CHECK - 운전자 수칙 준수	- 기계작동 불안전시 정비후 작업 - 이동시 신호수는 거리를 두고 유도 - 유압 실린더 누수시 수리후 사용 - 운전자는 작업수칙을 주지할 것 - 운전자 이탈시 모든장치는 OFF 시킬 것 - 기계는 용도외에 사용하지 말 것

BACK HOE

운 영 관 리 요 령	취 급 방 법
- 현장반입시 장비점검 - 접촉위험 장소에 출입금지 - 주용도외 사용금지 - 운전자가 장비를 이탈할 때 안전조치 - 운전자의 유자격 확인 - 작업반격내 출입금지 - 전조등 작동유무 확인	각종 오일 및 유압계통기 점검 - 작업장 외 이동금지 - 물건인양 금지 - 운전자는 장비를 이탈할시 반드시 잠금 장치를 하고 BOOM을 땅에 내려 놓을 것 - 운전 면허증 확인 - 작업 전 작업장 확보 후 작업할 것

(5) 시공 중 점검사항 (품질관리)

① 취수정 시설 체크리스트 [제1호 서식]

취수정 시설 제원

취수정 N0.			관측정의 종류	암반 / 충적		
위 치	주소 : 경도 : 위도 : 표고:					
설치일자	년 월 일					
발주기관			시공기관			
정호심도	m		굴착구경	상부	mm	
				하부	mm	
케 이 싱	외 부	설치 구간	~ m			
		규격(직경)	mm			
	내 부	설치 구간	~ m			
		규격(직경)	mm			
무 공 관	설치 구간	~ m				
	규격(직경)	mm				
	재 질					
스트레나	설치 구간	~ m				
	규격(직경)	mm				
	재 질					
필 터 재	직경(내부)	mm	직경(내부)	mm		
자동관측기	설치유무	유 / 무	설치 심도	GL- m		
	제작회사					
	제 품 명		계기번호			
수질상태	pH		수온	℃	EC	μS/cm
	탁도		DO		NO3-	
	Fe		Mn		TDS	
지 층 구 성	심 도	지 층 명	특 성			
지 하 수 위	자연수위	GL- m	안정수위	GL- m		
측 정 일 시	년 월 일					

② 취수정 공사 체크리스트

시공 CHECK LIST (이중필터 취수정)

[20 년 월 일]

N0.	점 검 항 목	점 검 사 항	점검 결과	서명
1	취수정 설치위치의 측량결과 좌표값은 어떠한가?	X Y Z		
2	천공시 외부케이싱의 수직도는 정확한가?			
3	지표에서 표토층의 심도와 두께는 몇 m인가?	심도 두께		
4	지표에서 모래층의 심도와 두께는 몇 m인가?	심도 두께		
5	지표에서 자갈층의 심도와 두께는 몇 m인가?	심도 두께		
6	지표에서 풍화암의 심도와 두께는 몇 m인가?	심도 두께		
7	최종 굴착심도는 몇 m인가?			
8	지하수위는 지표에서 몇 m인가?			
9	입도분석용 토층별 시료는 채취하였는가?	모래층 : m 자갈층 : m		
10	내부케이싱은 중심에 정확히 설치하였는가?			
11	취수관(스크린+무공관)은 중심에 정확히 설치하였는가?			
12	여과사 충진 후 진동다짐은 하였는가?			
13	에어써징은 30분 이상 하였는가?			
14	에어써징 후 지하수위는 지표에서 몇 m인가?			
15	지표면 취수관 상부주변 차수벽은 시행하였는가?			
16	취수정 설치완료 후 주변 평탄작업은 완료하였는가?			

③ 안전관리 체크리스트

안전 CHECK LIST (이중필터 취수정)

[2019년 월 일]

N0.	점 검 항 목	점검결과	서명
1	근로자가 안전모 등 안전보호구를 착용하였는가?		
2	작업장비 운전원의 자격여부는 확인 하였는가?		
3	작업장비는 장비등록증을 구비한 것을 투입 하였는가?		
4	작업에 필요한 작업공간 및 자재적치장은 확보하였는가?		
5	작업장 주변에 외부인 출입금지 조치를 하였는가?		
6	천공케이싱 및 취수관 자재는 평탄한 지반에 적치 하였는가?		
7	천공케이싱 및 취수관 자재는 견고한 받침대로 고정 하였는가?		
8	지반상태 불량으로 인한 작업장비의 전도위험은 없는가?		
9	작업장비 운전 중 안전신호수는 배치하였는가?		
10	작업장비 운전 중 타 근로자 접근을 차단하였는가?		
11	크레인 와이어로프는 꼬이거나 손상되지 않고 양호한가?		
12	천공케이싱 및 취수관 인양 시 줄걸이는 양호한가?		
13	크레인으로 자재 인양 중 아웃트리거 설치는 잘 되었는가?		
14	오실레이터의 유압실리더 및 고압호스 상태는 양호한가?		
15	분전함의 접지 및 누전차단기/덮개 설치는 양호한가?		
16	작업장내 전기 사용 중 전선의 피복상태는 양호한가?		
17	작업장 정리정돈 상태는 양호한가?		

사. 표준시방서

(1) 일반사항

① 적용범위

강변여과수 이중필터 취수시설 설치

- 이 시방서는 다음과 같이 강변여과수 이중필터 취수시설 공사에 필요한 일반적인 사항에 대하여 규정

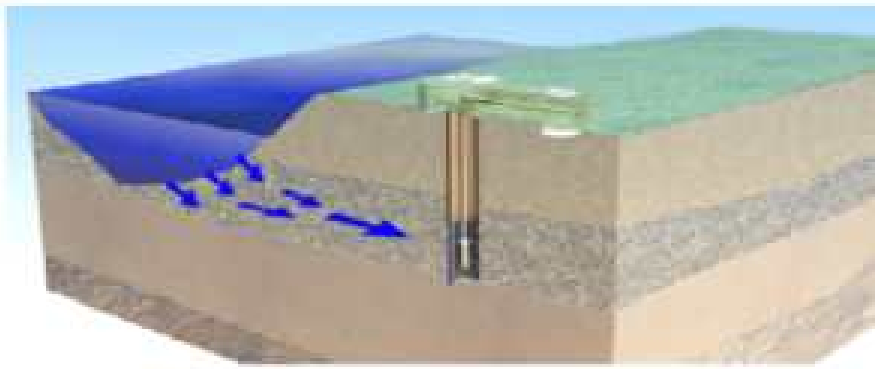


Fig 226. 이중필터 취수정 설치 개념도

해변여과수 이중필터 취수시설 설치

⑴ 이 시방서는 해변여과수 이중필터 취수시설공사에 필요한 일반적인 사항에 대하여 규정

⑵ 해수(표층수)를 취수시설로 할 경우, 해수의 염도에 대한 영향을 고려하여 대책을 강구

② 참고기준

(1) KCS 57 20 15 복류수·강변여과수 취수시설 설치공사

(2) KCS 57 20 25 해수 취수시설 설치공사

③ 용어의 정의

⑴ 이중필터 : 취수정 설치에 있어 필터재 구성을 최적의 취수효율을 갖는 외부필터와 내부필터로 이중으로 구성된 필터

⑵ 오실레이터(Oscillater) : 대구경 굴착을 위하여 외부케이싱을 수직으로 장비에 설치한 후 유압에 의한 좌우요동방식으로 지중으로 압입하거나 인발하는 굴착장비로서 굴착시 햄머그라브(Hammer Grab)와 함께 사용

⑶ 취수관 : 필터재를 통과한 지하수를 취수하기 위하여 지중에 수직으로 설치하는 관으로 무공관, 스크린 및 유사관을 포함하여 일컫는 용어

⑷ 취수본관 : 취수관내로 흘러 들어온 지하수를 수중펌프를 사용하여 지상으로 양수하는 관

④ 시공일반

⑴ 취수시설 설치 시 필요한 장비는 정비를 철저히 하여 고장을 사전에 방지하여야 하며 기계정비 목록표를 작성하여 현장에 비치하여야 함

⑵ 현장작업 시에는 일일작업, 시공사항과 자재출납사항 등을 기록하여야 함

⑶ 현장작업 시에는 매일 작업 전·후 지하수위를 측정하여 작업일보에 기록하여야 함

⑷ 공내 사고방지를 위하여 예방정비를 철저히 하고, 공내 사고복구 장비를 현장에 비치하여야 함

⑸ 작업 시 항상 심도별 공내 상황을 철저히 파악하여, 공내 사고 시 즉각 대응할 수 있도록 하여야 함

⑹ 시공현장에서는 승인을 받은 유해하지 않은 기포제를 사용하여야 하며, 슬라임 및 기포처리에 만전을 기하여 환경오염을 방지하여야 함

⑺ 발생 가능한 민원을 사전 예방하여야 하며, 공사 시공에 따른 상세도면 및 방법, 장비투입계획 등을 작성하여 공사감독자(건설사업관리자)의 승인을 득하여야 함

⑻ 시공자는 시공 전 현장 확인단계를 통하여 설계에서 고려되지 못한 사항 및 현장여건 등에 따라 변경이 필요한 부분은 공사감독자(건설사업관리자)의 승인을 득하여 처리

⑼ 시공계획 수립 시 수직취수정 시공공정 중 굴착, 케이싱 인발 후 상부 몰탈보강까지 시공 중 예상되는 각종 문제점들에 대하여 사전에 유사사례조사 및 대책을 마련하여 대처가 가능하도록 함

⑤ 이중필터취수정 설치 요구조건

⑴ 강변(해변)여과 이중필터취수정 설치지점 선정 시, 설치 대상 지점 인근의 기존 우물로부터 예상 산출량, 대수층의 심도, 대수층의 종류, 수리지질학적 특성, 지하수질 등의 관련 자료를 종합적으로 고려

⑵ 수집 자료를 토대로 착정위치, 지층조건 및 대수층 발달구간 등을 파악한 후 시험정을 굴착하고, 설계와 상이할 때에는 공사감독자(건설사업관리자)와 협의하여 취수정 위치, 굴착심도, 내·외부케이싱 구경, 스크린 및 무공관의 설치심도 및 취수관의 재질 등을 다시 결정

⑶ 우물자재의 선정에 있어 모래의 유입을 방지하고 투수성을 향상시켜 양수량 증대 및 장기적 취수효율을 높이기 위하여 원지반 대수지층에 입도분석을 실시하여 이중필터재 및 스크린의 규격산정방식에 의하여 이중필터재의 적정유효경 및 스크린의 슬롯 폭을 산정하여 우물자재를 결정

⑷ 이중필터층 형성을 위한 이중필터재 층위구성은 외부필터는 원지반 대수층의 각 지층입도에 적합한 세립질 필터재를, 그리고 내부필터는 외부필터재에 적합한 조립질 필터재를 배치하여야 하고, 이중필터층 두께에 있어 외부케이싱과 내부케이싱, 그리고 내부케이싱과 취수관 사이의 간격비는 1:2 이상을 준수

⑸ 취수정이 설치되고 장기간 시간경과 후에 취수정의 유지관리 용이성 확보 및 저감된 취수효율 향상을 위하여 이중필터재 투입전 내부필터층 공간내 에어버블써징관을 4개소 설치하여야 함

⑹ 이중필터층 충진시 10분 이상 진동다짐을 실시하여 이중필터재의 밀실한 다짐이 되도록 함

⑺ 우물자재의 성능은 계획취수량을 장기적으로 안정적인 취수를 할 수 있는 구조를 갖는 자재로 선정하여야 하고, 우물자재별 비교·검토 등을 통해 성능이 우수한 제품을 선정

⑻ 관측정 설치를 통해 지하수위 영향과 변동 상황을 수시로 파악하고, 지속적인 수질검사(철, 망간, 유기물 등)를 실시하여야 하며, 목표 계획수질을 만족할 수 있도록 하여야 함

⑼ 취수정 설치지점의 지층별 토질성분 및 지질상태 등을 파악할 수 있도록 시추 깊이별 토질을 샘플링하여 분석

⑥ 양수시험

⑴ 양수시험은 단계양수시험 및 연속양수시험을 기본으로 함

⑵ 단계양수시험은 설계수량을 3단계 이상 단계로 나누어 실시하며, 각 단계별 최소 1시간씩 실시하여 취수량에 따른 안정수위선을 산출함 취수량에 따른 안정수위선으로 집수정 취수시설의 펌프설치 위치가 적절한지 여부를 판단하여 공사감독자(건설사업관리자)와 협의하여 취수펌프 위치를 최종 결정

⑶ 양수시험에 필요한 기기는 목적달성에 위배되지 않는 한 시공자가 선정할 수 있으나, 수중모터펌프, 발전기, 콤프레샤, 수량측정기 등 필요한 기기의 사양 등은 공사감독자(건설사업관리자)의 사전승인을 받아야 함

⑷ 양수시험시 취수된 지하수의 재침투를 방지하도록 함

⑸ 연속양수시험은 설계수량의 일정 양수량으로 24시간 양수를 하여 수위별동 특성을 파악하며, 양수정과 관측공에서의 수위측정은 특별한 변경사유가 없는 한 다음 기준을 따라야 함

양수시험 경과시간	측정시간 간격
시험시작 후 5분까지	1분 간격
시험시작 후 5분 ~ 60분	5분 간격
시험시작 후 1시간 ~ 2시간	15분 간격
시험시작 후 2시간 ~ 6시간	1시간 간격
시험시작 후 6시간 ~ 종료시까지	2시간 간격

⑹ 수위회복시험은 연속양수시험이 끝난 직후부터 양수기 가동을 중지하고 실시하며, 초기수위의 95% 이상 회복될 때까지 실시함 단, 초기수위보다 지표수의 수위가 낮을 경우, 공사감독자(건설사업관리자)와 협의하여 95% 미만에서도 회복시험을 마칠 수 있음

⑺ 양수시험 기간 중 하천수 및 관측공의 지하수위를 주기적으로 관측하여 하천수와 연계한 시간에 따른 수위변동 특성을 파악하고, 지표수와 지하수의 현장수질 변화추이를 분석

⑻ 수질조사 항목은 해당 취수정의 취수목적에 따라 먹는물, 생활용수 및 농업용수 기준을 선택하여 그 기준에 맞는 수질조사 항목을 선정하여 실시하며 조사주기는 감독관과 협의 후 결정

⑼ 관측정에서의 지하수위 측정은 원격검침(TM)이 가능하도록 계획하여, 지하수의 유입량을 검토하고 배후지역 관리에 활용

⑦ 공정계획 및 장비 · 자재 · 인원계획

⑴ 시공(공정)계획은 사용장비, 시공조건, 시공방법 등을 종합적으로 고려하여 가장 경제적인 시공계획을 수립하고 작성하여야 함

⑵ 시공자는 시공전 현장 확인단계를 통하여 설계서에서 고려되지 못한 사항 및 현장여건 등에 따라 변경이 필요한 부분은 적절한 대처가 가능하도록 함

⑶ 발생 가능한 민원을 사전 예방하여야 하며, 공사 시공에 따른 상세도면 및 방법, 장비·인원·자재 투입계획 등을 작성하여 공사감독자(건설사업관리자)의 승인을 득하여야 함

(2) 재료

① 강변여과수 이중필터 취수시설

자재

⑴ 자재사용은 KS규격 및 동등규격 이상의 자재를 사용함을 원칙으로 함

⑵ 장기적 취수효율 유지의 적합성과 부식과 스케일 현상을 고려하여 취수관(무공관과 스크린)의 재질은 STS 304이상을 사용함을 원칙으로 함

⑶ 외부필터재는 1.6이하의 균등계수를 갖고, 내부필터재의 체잔유율은 85%이상 이어야 함

⑷ 취수정 자재는 현지 지형여건, 하천의 홍수위를 고려하여 설치하여야 하며, 계획지반고에서 지상 0.5M~1M 정도 노출되도록 함

장비 및 구성품

⑴ 공사 시공 중에는 항상 점검을 실시하여 안전시공에 유의하여야 함

⑵ 이중필터취수정 설치에 필요한 굴착장비, 운반장비, 안전설비, 동력과 조명 및 급수설비 등을 완비하여야 함

⑶ 이중필터취수정의 품질확보를 위하여 필요한 주요 시공장비는 D1000mm 이상을 굴착할 수 있는 오실레이터(Oscillator), Hammer Grab와 Power Pack, 유압인발기, 외부-내부케이싱 등과, 지원장비로 크레인, 백호, 발전기 및 콤프레샤 등을 구비하여야 함

② 해수여과수 이중필터 취수시설

자재

⑴ 자재사용은 KS규격 및 동등 규격이상의 자재를 사용함을 원칙으로 함

⑵ 해수의 염분에 대한 내부식성과 장기적 취수효율 유지의 적합성 및 스케일 현상을 고려하여 취수관(무공관과 스크린)의 재질은 STS 316이상을 사용함을 원칙으로 함

⑶ 외부필터재는 1.6이하의 균등계수를 갖고, 내부필터재의 체잔유율은 85%이상 이어야 함

⑷ 취수정 자재는 현지 지형여건, 하천의 홍수위를 고려하여 설치하여야 하며, 계획지반고에서 지상 0.5M~1M 정도 노출되도록 함

장비 및 구성품

⑴ 공사 시공 중에는 항상 점검을 실시하여 안전시공에 유의하여야 함

⑵ 이중필터취수정 설치에 필요한 굴착장비, 운반장비, 안전설비, 동력과 조명 및 급수설비 등을 완비하여야 함

⑶ 이중필터취수정의 품질확보를 위하여 필요한 주요 시공장비는 D1000mm 이상을 굴착할 수 있는 오실레이터(Oscillator), Hammer Grab와 Power Pack, 유압인발기, 외부-내부케이싱 등과, 지원장비로 크레인, 백호, 발전기 및 콤프레샤 등을 구비하여야 함

(3) 시공

• 시공자는 시공계획서를 작성하여 공사감독자(건설사업관리자)의 승인을 받은 후 공사를 시행하여야 함

① 이중필터 취수시설 설치

일반사항

(1) 이 장은 강변(해변)여과수를 취수하기 위한 목적으로 이중필터취수정과 관련한 사항을 규정함

(2) 계약상대자는 도면을 참조로 하고, 이에 대한 작업공정에 대하여 시공계획서와 필요시 상세도를 제출하여 승인을 받아 시행하여야 함

(3) 계약상대자는 해당공사의 시공업체 선정시 시공실적, 시공능력(기술력), 시공권한 등을 충분히 검토하여 시공이 가능한 업체를 투입하여야 하며 시공자의 자질과 장비에 하자가 있다고 판단될시 감독관은 전문시공업체의 교체를 지시할 수 있음

(4) 이중필터취수정 착정시 부적절한 장비선택 및 과다한 굴착으로 인한 대수층 원지반 교란 등으로 인해 취수시 문제가 생기는 경우가 많으므로 시공사례 분석을 통해 예상되는 문제점에 대한 사전대책을 수립하여야 하며, 이를 충분히 인지하여 극복이 가능한 시공업체와 기술자를 선정하여야 함

(5) 이중필터 취수정은 강변(해변)여과수를 취수하는 수직취수기술로서, 주로 오실레이터와 같은 대구경 착정기를 사용하여 외부케이싱을 압입하면서 지반을 굴착한 후 내부케이싱과 취수관을 설치하고 외부케이싱과 내부케이싱 사이에는 원대수층의 지층특성에 적합한 외부필터층을, 그리고 내부케이싱과 취수관 사이에는 외부필터의 입경에 적합한 내부필터층을 형성시켜서 각 토층에 맞는 이중필터재와 스트레나의 규격을 반영함으로서 취수량을 극대화하면서 장기적 취수효율을 안정으로 취수하는 기술을 말함 이때, 이중필터취수정 설치를 위하여 사용되는 장비는 케이싱설치 및 인발시 취수정 주변지반과 필터층 교란을 억제하여 투수성 저하를 방지함

(6) 강변(해변)여과수 이중필터취수정 설치에 필수적인 장비구성, 이중필터층 형성조건(필터층의 층위와 두께비), 다짐 및 향후 유지관리를 위한 써징장치 구성을 “1.5 이중필터취수정 설치 요구조건”과 같이 규정함

(7) 취수정 굴착시에는 대상지역의 지층상태 및 토질상태 및 심도를 확인하면서 “이중필터 수직취수정 시설, 시공 및 안전 체크리스트” 를 작성하여 기록 유지함

(8) 이중필터취수정의 정호자재(스크린, 이중필터재, 무공관)는 대개가 반영구적으로 활용되기 때문에 취수관(스크린과 무공관)은 지하수 및 해수의 내부식성과 장기적 취수효율 유지의 적합성 및 스케일 현상을 고려하여 검증된 자재를 선정하여야 함

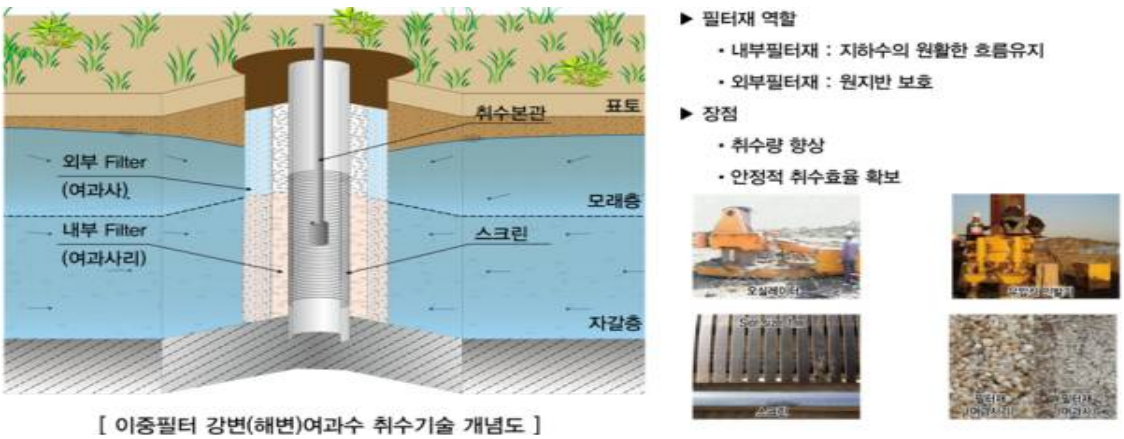


Fig 227. 이중필터 취수정 기술 개요

(9) 굴착시 심도에 따른 지층조건 확인이 가능하므로 지질특성 변동시 공사감독자(건설사업관리자)

의 승인을 받아 우물자재를 즉시 변경하여야 함

(10) 계약상대자는 공사가 완료되어 발주자가 시설물을 인수하기 전에 하자요인이 발생한 때에는 감독원이 지시하는 방법으로 보수 또는 재시공 하여야 함

(11) 계약자는 시공에 앞서 공사의 목적, 규모, 공기 등을 충분히 숙지하고 설계도서, 토질 조건, 환경 조건 등을 정밀 조사하여 안전하고 경제적인 시공이 될 수 있는 시공계획서를 작성 감독원에게 제출하여야 함

(12) 취수정 자재(우물자재)인 취수관의 설치심도는 취수관 하단이 충적대수층 하부의 풍화대(기반암)내로 최소한 2m~3m 정도가 근입되도록 설치되어야 함

(13) 취수정 자재(우물자재)인 케이싱의 재질이나 설치구간 등은 설계서에 명시된 사항을 원칙으로 하고, 부득이한 상황 발생 시 공사감독자(건설사업관리자)와 협의하여 변경할 수 있다.

(14) 천공이 완료된 후에는 에어써징(Air surging)을 실시하여 공내의 불순물을 깨끗이 제거하여야 함

이중필터취수정 설치공정

(1) 취수정 굴착

① 투입장비

가. 이중필터취수정을 설치하기 위하여 사용되는 주요장비는 착정용 오실레이터(Oscillator), Hammer Grab와 Power Pack, 인발기, 케이싱 등과, 지원장비로는 크레인, 백호, 발전기 및 콤프레셔 등이 사용되어야 함

나. 착정기는 구경φ1,000mm 이상, 심도 50m 이상을 굴진할 수 있으면서 동일심도의 외부케이싱을 인양할 수 있는 능력을 가진 장비이어야 하고, 지층을 교란시키지 않고 대수층의 파괴가 일어나지 않는 오실레이터와 인발기에 의한 좌우요동 및 저속수직인발 방식으로 굴착하여야 함

② 설치순서

이중필터취수정의 설치순서는 다음과 같이 시행함

가. 굴착장비 조립 · 설치

나. 외부 케이싱 압입 및 굴착(대수층 심도 확인)

다. 내부케이싱 설치

라. 취수관(무공관, 스크린, 유사관) 및 에어버블 써징용 유공관 설치

마. 이중필터재 충전(외부필터-여과사, 내부필터-여과사리)

바. 외부 및 내부 케이싱 인발

사. 에어써징

아. 심정펌프와 취수본관 설치

자. 상부 맨홀 설치 및 몰탈보강

③ 외부케이싱 압입 및 굴착

• 오실레이터에 Ø1,200mm에 외부케이싱을 설치한 후 좌우유동하면서 압입하여야 하고, 외부케이싱 내의 토사를 Hammer Grab로 들어내는 방법으로 설계심도까지 외부케이싱의 압입과 토사 제거를 반복하여 굴진하여야 함


외부 케이싱 압입


HAMMER GRAB 굴착

Fig 228. 외부케이싱 압입 및 굴착

④ 내부 케이싱, 취수관 및 에어버블 써징용 유공관 설치

가. 우물자재 설치시 착정공 중심부에 수직으로 설치하여야 하며, 착정공벽에 접해서는 안 됨

나. 굴착 완료 후 외부케이싱 중앙에 내부케이싱을 삽입하여야 하며, 다시 내부케이싱 중앙에 취수관을 삽입하여야 함 이때 취수관이 내부케이싱의 중앙에 위치하여 필터재의 두께를 확보할 수 있도록 센트럴라이저(Band형태의 Spacer)를 용접하여 부착하여야 함

다. 장기적 취수효율 유지를 위하여 취수관(스크린, 무공관 및 유사관)의 재질은 스테인레스관을 사용토록 하고, 이들의 연결방법은 부식을 억제하기 위해 CO2 용접방법을 적용하여야 함

라. 향후 장기적인 이중필터층의 유지관리 및 안정적 취수효율 유지를 위하여 필터층 충진전 내부필터층에 에어버블 써징용 유공관 4개소를 설치하여야 함

마. 스크린은 대수층의 형태와 크기에 따라 다르게 설치됨으로 실제 지층구조에 비해 약간 하부에 설치하여야 함

바. 스크린의 재질은 수질, 강도 및 경제성 등을 종합적으로 고려하여 선정하여야 하며, 특히 내부식성 및 전식에 강한 재질로 선정하여야 함


내부 케이싱 설치


취수관 설치

Fig 229. 내부케이싱 및 취수관 설치

⑤ 이중필터재 충전

가. 굴착경과 취수관 사이의 공간은 필터재로 충분히 충진하여 취수정을 형성하여야 함

나. 이중필터재의 충진방법은 외부 및 내부케이싱 사이는 상부에서 중력으로 충전하고, 내부케이싱과 취수관 사이에는 트레미관을 공저 2m 상부까지 삽입하여 중력 충전하면서 진동다짐을 병행하여야 함

다. 이중필터재 충진 후 인발기 또는 외부케이싱에 부착된 바이브레이터(Vibrator)를 사용하여 최소 10분이상 진동다짐을 실시하여야 함

라. 필터재는 여과사, 여과사리 및 양질의 굴착모래를 사용할 수 있고, 양질의 굴착모래 사용할 경우에는 체가름하여 사용하여야 함

마. 이중필터층 형성을 위한 외부케이싱과 내부케이싱, 내부케이싱과 취수관 사이의 간격비는 원칙적으로 1:2 이상을 준수해야 함

바. 이중필터재의 크기선정은 해당 대수층의 입도에 적합한 세립질(여과사)의 외부필터재를 선정하여야 하고, 외부필터재에 적합한 조립질(여과사리)의 내부필터재를 선정하여 필터재의 품질이 확보되도록 하여야 함



이중필터재 충전



써징용 유공관 설치

Fig 230. 이중필터재 충전

⑥ 외부 및 내부케이싱 인발

가. 외부/내부 케이싱 인발 순서는 외부케이싱이 취수관과 필터재에 작용되는 토압을 막아 주므로 내부케이싱을 선 인발한 후 외부케이싱을 인발하여야 함

나. 내외부 케이싱의 인발은 최초 내외부 필터재를 취수정 바닥에서 심도 10~15m 투입한 후 내부케이싱을 인발한 후 외부케이싱을 인발하며, 다시 내외부 필터재를 10m이상 투입한 후 내부 및 외부케이싱 인발을 반복하여야 함

다. 내부케이싱 인발은 외부필터(여과사)와 내부필터(여과사리)의 교란 방지를 위하여 저속유압잭을 사용하여 수직 인발하여야 함

라. 외부케이싱 인발은 내부케이싱 인발 후 오실레이터의 좌우유동방식으로 수직 인발하여 원지반 공벽에 피막형성 억제 및 필터재의 교란을 방지하여야함



외부 케이싱 인발



내부 케이싱 인발

Fig 231. 케이싱 인발

(2) 취수정 세척(에어써징)

① 취수정 설치가 완료되면 취수관 내부와 취수관 주변부(스크린 주변)의 슬라임 및 세립토사침전을 방지하기 위하여 즉시 공내세척작업을(에어써징)을 시행하여야 함

② 공내 세척시간은 슬라임, 세립토사가 충분히 제거될 때 까지 시행하여야 함

③ 취수정 세척(에어써징)은 공기압축기(에어콤프레샤)를 사용하여 취수정 공내 슬라임 및 불순물이 취수정 밖으로 완전히 제거될 때까지 세척하여야 함

(3) 심정펌프 및 취수본관 설치

① 심정펌프와 취수본관, 취수본관과 취수본관은 플랜지로 연결하여 볼트로 체결하여야 하며, 취수본관 설치전 관 내부를 점검하여 금속 부스러기 및 이물질을 깨끗이 청소하여야 함

② 취수본관 설치 종료 후 또는 일시적 배관작업 중지할 때에는 배관 상부입구를 플러그 또는 캡 등으로 완전히 막아 이물질이 들어가지 않도록 하여야 함

③ 플렌지 접합시는 패킹의 두께는 3㎜ 이하의 것을 사용하여야 하고, 플랜지 외곽의 볼트를 대각선 순서로 균등하게 조여야 함

④ 심정펌프는 설치 양정고와 수송거리, 소요전력, 취수량 등을 고려하여 적정펌프를 선정하여야 하고, 전선은 수중에 침수되는 것을 고려하여 완전밀폐가 되도록 봉합하여 연결하여야 함



취수본관 설치



심정펌프 설치

Fig 232. 취수본관 및 심정펌프 설치

(4) 양수시험

• 이 시방서는 "KSC 57 20 15 복류수강변여과수 취수시설 설치공사 1.6 "에 따름

(5) 취수정 상부맨홀 설치 및 몰탈 보강

① 취수정 상부맨홀은 설계도서에 따라 설치하며, 계측장비가 내장되므로 철저한 방수를 실시하여야 함

② 공급전력 및 제어케이블이 인입될 수 있도록 전기, 계장 시공업체와 충분한 협의가 이루어진 후, 시공하여야 함

③ 주변여건과 조화가 되도록 맨홀 깊이를 조정할 수 있으며, 밀폐형 맨홀뚜껑을 설치하여야 함

④ 굴착경(외부케이싱)과 취수관 사이나 상부 맨홀내부를 통해 지표수나 이물질의 유입을 방지하기 위하여 지표에서 지하 2~3m까지 시멘트 모르터로 마감하여야 함



상부맨홀 보강



시멘트 몰탈보강

Fig 233. 취수본관 및 심정펌프 설치

(6) 작업장 설치 및 해체

① 장비설치를 위한 기초는 장비가 수평이 되도록 견고하게 하여야 하며, 바닥콘크리트 또는 철판을 설치하여 굴착작업시 취수정 부근의 지반침하를 방지하여야 함

② 안정된 작업의 수행을 위하여 작업반경에 해당하는 면적을 정지작업 후 시행하고, 작업완료 후에는 슬라임을 제거하고 훼손된 토지는 원상 복구하여야 함

아. 설계기준

(1) 총설

(가) 기본사항

- 상수원은 주로 지표수(하천수, 호소수 및 저수지수), 지하수, 복류수로 구분됨
- 어느 쪽의 경우라도 취수시설은 가능한 한 양질의 원수를 안정되게 취수할 수 있어야 하고 또한 유지관리가 용이하도록 고려해야 함
- 하천의 취수시설은 하천설계기준의 하천 보(KDS 51 40 05), 하천 취수시설(KDS 52 40 15), 하천 하상유지시설(KDS 51 60 20)과 연계하여 검토함

① 확실한 취수

- 취수시설은 수원의 종류에 관계없이 연간을 통하여 계획취수량을 확실하게 취수할 수 있도록 함
- 수원이 지표수인 경우에는 홍수시나 갈수시에도 안정적으로 취수할 수 있어야 함
- 특히 하천인 경우에는 홍수시의 유목이나 잡초 등 유하물이 취수구를 막아서 취수불능으로 되는 경우가 있음
- 또한 홍수시의 전석(轉石 : 암반에서 떨어져 굴러 내려온 돌 또는 흐르는 물에 떠내려 온 돌)이나 토사퇴적으로 취수에 지장을 주는 경우도 있으며, 강바닥의 세굴에 의한 하천수위의 저하가 갈수시에는 취수에 영향을 미침
- 수원이 지하수인 경우에는 지하수를 과잉으로 양수하면 지하수위가 비정상적으로 저하되어 취수량이 감소되는 경우가 있으며, 부압지하수(不壓地下水 : 자유지하수)인 경우에는 갈수시에 수위가 저하되어서 필요한 취수량을 취수하지 못하는 경우도 있음
- 취수시설을 설치할 때에는 이러한 점에 유의하여 계획취수량을 확실하게 취수할 수 있는 지점과 적절한 취수방법을 선정해야 함

② 양호한 원수의 확보

- 취수시설은 원수로서 수질이 양호해야 하며 장래에도 오염될 우려가 없는 지점에 설치해야 함
- 따라서 취수시설은 하수나 기타 오수의 유입지점 부근이나 하류를 피해야 하며, 또한 해수의 영향을 받지 않는 지점에 설치해야 함
- 이 때문에 공장, 하수처리장, 분뇨처리장, 폐기물처리장, 양돈장 등 오염원이 되는 시설을 조사하고, 현재의 상황과 장래의 환경변화로 수질에 영향을 미칠 가능성을 충분히 검토해야 함
- 또 수질사고를 신속하게 발견하기 위해서는 관계자 간의 비상연락망을 정비해 두어야 함

③ 재해 및 환경 대책

- 취수시설은 재해와 사고 등 비상시에도 취수의 영향이 최소화될 수 있는 곳에 설치하고, 수원의 다원화나 취수시설을 포함한 상수도시설의 다계통화를 고려함
- 취수시설을 설치할 경우, 주변 환경에 대한 영향을 충분히 조사하여 자연환경보전에 노력하며, 에너지 절약 등 환경대책을 고려한다. 특히 하천의 경우, 취수지점을 상류에 설치함으로서 에너지절약 효과를 기대할 수 있음

④ 유지관리의 용이성

- 취수시설은 홍수시 등의 악조건에서도 유지관리가 안전하고 용이하게 할 수 있어야 함
- 또 비상시뿐만 아니라 시설을 점검할 때에라도 취수를 정지할 수 있도록 대비해야 함
- 또한 장래에 시설을 확장할 때에 새로운 용지취득이나 공사가 대규모로 되지 않도록 미리부터 장래의 확장을 대비한 구조로 하는 것 등을 고려해야 함

(나) 계획취수량

- 계획취수량은 계획1일최대급수량을 기준으로 하며, 기타 필요한 작업용수를 포함한 손실수량 등을 고려함

(다) 취수시설의 선정

- 취수시설은 수원의 종류에 따라 취수지점의 상황과 취수량의 대소 등을 고려하여 취수보, 취수탑, 취수문, 취수관거, 취수틀, 집수매거, 얕은 우물, 깊은 우물 중에서 가장 적절한 것을 선정함

(라) 취수시설의 개량과 갱신

- 지표수의 취수시설은 장기간에 걸쳐 그 기능을 유지하도록 토목 및 건축 구조물과 기계, 전기, 계측제어설비 등 부속설비의 기능과 특성을 고려하여 설계함
- 지하수의 취수시설은 일반적으로 시간이 경과됨에 따라 스크린 등이 막힘으로써 양수능력이 저하됨
- 또한 주변 환경의 변화에 따라 수위가 저하되거나 수질이 악화되는 경우가 있으므로 항상 양질이면서 필요량을 취수하기 위하여 기능을 적정하게 유지하도록 시설을 보전하고 갱신함
- 따라서 취수시설을 설치할 때에는 데이터 등에 의하여 시설개량이나 시설갱신을 계획적으로 시행할 수 있도록 필요한 계측설비를 설치하고 또한 시설개량이나 갱신이 가능한 한 용이한 구조로 해야 함

(2) 일반사항

(가) 목적

- 강변(해변) 여과수 이중필터 취수시설의 기본설계 및 실시설계를 수행하는데 필요한 관련기준을 제시하는데 목적이 있음

(나) 적용범위

- 이 기준은 강변 및 해변에서 착정공을 이용하여 취수하는 생활용수, 농·어업용수, 공업용수 등 용수를 공급하는 취수시설의 설계에 적용한다.
- 취수시설에 설치되는 펌프, 밸브 등 각종 자재 및 기계, 전기 및 계측제어 설비는 이 시방서 “KCS 57 80 05 상수도공사 기계공사 일반사항” “KCS 57 90 05 상수도공사 전기공사 일반사항” “KCS 57 95 05 상수도공사 계측공사 일반사항” 관련 해당 시방서에 따른다.
- 내용

① 강변여과수의 취수시설 설치
② 복류수의 취수시설 설치
③ 해변여과수의 취수시설 설치
④ 지하수의 취수시설 설치

(다) 참고기준 및 법규

- KDS 51 14 35 이수계획
- KDS 57 45 00 상수도 취수시설 설계기준
- KCS 57 20 15 복류수.강변여과수 취수시설 설치공사
- 지하수법(환경부)
- 하천법(국토교통부, 환경부)
- 해양환경관리법

(라) 용어의 정의

- 필터재 : 충적층내 대구경 우물 천공 후 굴착경과 스크린 사이에 설치되는 여과재(모래-자갈), 지하수의 원활한 흐름과 원지반 토양내 미립자의 유출을 방지하는 역할
- 이중필터 : 취수정의 취수효율을 향상시키기 위하여 취수정 굴착후 굴착경과 취수관 사이공간에 있어서 원지반측에는 원지반 입도에 적합한 외부필터재를, 그리고 취수관 측에는 외부필터에 적합한 내부필터재를 충진하여 취수정을 설치하는데 이때 외부필터와 내부필터를 포함하여 일컫는 말
- 취수시설 : 수원에서 소요수량을 취수하기 위하여 설치한 시설
- 취수관 : 필터재를 통과한 지하수를 취수하기 위하여 지중에 수직으로 설치하는 관으로 무공관, 스크린 및 유사관을 포함하여 일컫는 말
- 취수본관 : 취수관내로 흘러 들어온 지하수를 수중펌프를 사용하여 지상으로 양수하는 관

(마) 이중필터 취수시설의 구성

- 이중필터 취수시설은 취수방식이나 그 역할에 따라 다음과 같이 구분함

(1) 취수정 및 관측정
(2) 취수관(무공관, 스크린, 유사관)
(3) 심정펌프 및 취수본관
(4) 상부 맨홀

(마) 취수원 분류와 특징

① 지하수 분류와 특징

- 지하수는 표층지하수와 심층지하수의 두 가지 형태로 존재한다. 물이 포화되어 있는 틈이 흙 입자의 틈인 경우를 표층지하수라고 함
- 그 틈이 암석의 균열(cracks), 공극(fissure) 및 틈새(gaps) 등인 경우를 심층지하수라고 함
- 표층지하수에는 자유지하수(free groundwater)와 피압지하수(confined groundwater)로 구분됨
- 자유지하수는 지하의 가장 얕은 부분에 있는 모래나 자갈 등의 지층 중에 함유되어 있는 지하수

로서, 강수량의 변동에 따라 수위가 오르내리며 수량자체도 증감함

- 또한 대수층이 지표로부터 얕으며 지상으로부터의 오염을 받기 쉽다. 자유지하수의 취수시설로서는 얕은 우물이 일반적으로 사용됨
- 피압지하수는 대수층이 불투수성의 지층에 의하여 눌려 있기 때문에 압력을 갖는 상황에 따라서는 지상으로 스스로 분출되는 것도 있음
- 피압지하수는 주로 모래나 자갈과 같은 틈새를 갖는 지층 중에 존재하며, 수온은 연간을 통하여 거의 일정하고 일반적으로 수질은 양호하다. 피압지하수의 취수시설로서는 깊은 우물(심정호)이 사용됨
- 복류수는 하천수의 하상이나 호소수의 호소상 또는 그 부근에 잠류하는 자유지하수의 일종임
- 복류수의 취수시설로는 집수매거, 얕은 우물(천정호) 등이 사용됨
- 또한 강변여과수의 취수방식은 강변둔치(고수부지)에 깊이 20～40 m 정도의 취수정을 설치하여 물을 취수하는 취수정 방식과 표류수를 취수하여 인공적으로 만든 호소, 함양분지 등 시설의 지층(대수층)에 침투시켜 지층의 자정능력에 의하여 오염물질이 여과·제거된 물을 다시 취수하여 상수원수로 사용하는 인공함양 방식이 있음
- 지하수의 수질과 취수의 고려사항

① 지하수는 일반적으로 함양속도가 지극히 느리기 때문에 과잉으로 퍼 올리게 되면 지하수에서 물수지의 균형이 무너져서 지반침하를 야기하며, 해안부에서는 지하수의 염수화 등을 야기함. 따라서 항상 적정한 양수량의 범위 내에서 취수하는 것이 필요함. 지하수는 주로 용해성의 무기질과 지하에 생식하는 생물을 함유함. 이것은 지질이나 그 밖의 환경에 의한 것으로 무기질로서 칼슘이나 마그네슘의 중탄산염, 염화물 및 황산염 등이 용해되어 있으며, 철이나 망간 등도 용해되어 있는 경우가 많고 생물로서 철세균이나 유황세균 등이 검출되는 경우도 있음

② 지하수 중의 유기계 질소는 분해되어 암모니아성질소로 되며 시간이 지나면 아질산성질소, 질산성질소로 산화되어 감. 유기물 중의 탄소는 분해되어 CO_2로 되며 일부는 용존하고 또한 일부는 탄산수소염 또는 유리탄산을 형성됨

③ 지하수의 수질과 수질보전을 위해서는 지하수법과 지하수의 수질보전 등에 관한 규칙에 규정된 지하수오염유발시설의 종류, 지하수 오염관 측정 방법, 수질측정 주기, 지하수 수질기준 등에 적합하도록 하며, 특히 철, 망간, 질산성질소와 트리클로로에틸렌 등의 휘발성유기화합물에 관해서도 수질검사의 대상으로 해야 함

④ 지하수의 오염방지를 위해 오염방지시설을 설치하는 것이 바람직하며, 지하수의 오염방지시설은 「지하수의 수질보전 등에 관한 규칙」 제2조 별표 1 지하수 오염방지시설의 설치기준의 규정에 따름

② 얕은 우물(천정호 : shallow wells) 분류와 특징

- 얕은 우물은 자유지하수 또는 복류수를 취수하는 우물로, 일반적으로 철근콘크리트제의 우물통을 지하에 설치하고 그 바닥 또는 측면에서 우물통 내로 집수하며 그 물을 수중 모터펌프 등으로 양수하는 시설임
- 우물통 외에 강제의 케이싱을 설치하고 측면의 스크린으로 집수하는 경우도 있음
- 우물통의 벽면에 있는 대수층에 수평방사상으로 집수관을 삽입하여 우물통 내로 집수하는 방사상 집수정도 있음

• 수량·수질 모두 양호한 대수층이면, 비교적 간단히 안정되게 취수할 수 있음
• 얕은 우물에서 안정되게 취수하기 위하여서는 양호한 대수층을 선정한 다음 우물통의 구조, 우물바닥의 깊이, 양수펌프의 능력 등을 적절히 결정해야 함.
• 또한 지표로부터의 수질오염을 방지하기 위하여 필요한 조치를 취할 필요가 있음
• 우물의 형상 및 구조는 다음 각 항에 따름

① 원통형의 철근콘크리트조를 표준으로 함

② 대수층이 두텁고 우물통의 밑바닥으로부터 취수하는 경우에 우물의 크기는 시험우물의 양수시험결과에 근거하여 정하며, 밑바닥과 불투수층과의 간격을 적절히 유지하고 우물바닥에는 단단하고 깨끗한 자갈을 깔아 채움

③ 밑바닥에서의 유입속도는 모래의 소류한계유속 이하를 표준으로 함

④ 대수층이 엷은 경우에 우물통의 구조는 대수층 밑바닥 가까이 설치하고 밑바닥은 철근콘크리트판으로 함. 집수지점은 우물의 최저수위보다 아래에 설치함

③ 깊은 우물(심정호 : deep wells) 분류와 특징

• 깊은 우물은 피압대수층으로부터 취수하는 우물로서 케이싱, 스크린, 케이싱 내에 설치하는 양수관과 수중모터펌프로 이루어지며, 좁은 용지에서 비교적 다량의 양질인 물을 얻을 수 있음
• 채수층에 설치된 스크린으로부터 직접 펌프로 양수하며 깊이는 30m 이상의 것이 대부분이고 600m 이상인 것도 있음
• 얕은 우물에서는 주로 대수층의 면적확대를 고려해야만 하는 데 반하여 깊은 우물은 대수층을 입체적으로 넓게 이용하는 방식이며, 대수층의 두께가 어느 정도 있어야 함
• 따라서 깊은 우물의 스크린은 대수층의 두께에 알맞은 길이가 필요함
• 안정된 취수량을 확보하기 위하여서는 충분히 조사하여 양호한 대수층을 찾아내고 그 대수층에 알맞은 스크린을 설치하며 지하수 부존량에 알맞은 능력의 펌프를 선정해야 할 필요가 있음
• 또 스크린의 막힘 등 비상시에도 안정된 공급량을 확보하기 위하여 예비정을 설치하는 것을 검토해 둘 필요가 있음

(3) 취수의 조사 및 선정

(가) 일반사항

(1) 인문 및 사회현황
(2) 기상 및 수문현황
(3) 용수공급현황
(4) 지형, 지질 및 토지현황 등

(나) 용수 수요검토

• 취수계획은 이수뿐만 아니라 환경 측면까지 고려하여 조화롭게 수립되어야 함
• 필요한 유량을 설정하고, 장래 하천유역 개발과 사회경제 발달에 따른 용수수요 예측과 공급, 그리고 수자원 이용의 극대화를 위한 정확한 개발수량의 산정을 목표로 함

• 취수계획은 수자원 부존량의 산정, 용수수급 현황의 파악, 용수 수요량의 산정 및 예측 그리고 물수지 분석의 절차에 따라 수립함

(다) 용수 수급현황의 파악

• 취수계획을 위해서는 하천수, 지하수에 의한 용수공급량과 생활용수, 공업용수, 농업용수 및 하천유지용수의 이용 현황을 파악하여야 함
• 용수는 용도에 따라서 생활용수, 공업용수, 농·어업용수 및 하천유지용수로 분류됨
• 용수수급현황은 가급적 현장조사를 실시하여야 하며, 기존자료를 활용하는 경우 여러 검증절차를 거쳐서 정확성 있는 현황을 파악하도록 해야 함

(라) 물수지 분석

• 기준갈수량은 각 해의 갈수량 중에서 10년에 1회 정도 발생한다고 생각되는 갈수량을 말함
• 기준갈수량은 10년간의 갈수량에서 최소값으로 하거나, 각 해의 갈수량으로부터 확률처리하여 구하는데, 전문가 그룹의 심의를 거쳐 결정하여야 함
• 강변여과수 취수로 인한 물수지 분석은 갈수년이나, 해당 하천유역의 대상지점에서의 기준갈수량을 기준으로 유역 특성에 적합한 모형을 이용하여 수행함

(마) 현지조사

① 일반사항

• 기상, 수문, 지형, 지질, 사회·경제적 부분 등을 포함한 유역 일반현황 및 물관련 분쟁 등의 제반 관련자료를 수집·분석하고, 각종 수문자료는 시간 및 지역 여건을 고려하여 보정하여야 함
• 지형특성 및 시설 현황 등을 조사하여 용수공급능력 검토시 자료로 활용될 수 있도록 하여야 함
• 관련된 법정 상위계획 및 연관계획에서 사용한 각종 수문자료들을 수집·분석하고, 각종 수문자료의 사용에 일관성을 유지하여야 함

② 기본현황조사

(1) 기존자료 수집 및 검토

• 사업계획 지점 일원에 대한 다음의 기존 지질 및 지하수 자료를 수집하여야 하고 이를 체계적으로 정리 분석하여 본 과업에 활용하여야 함

① 사업계획 지점의 기존 지질 및 지하수 조사자료의 수집 및 분석
② 지질분포 및 지질구조에 관한 사항
③ 토양의 분포현황
④ 기 시행된 시추조사 및 물리탐사 자료
⑤ 지하수 정천현황조사

(2) 지표지질조사

• 지표지질조사를 시행하여, 동 지역의 지질 분포상태와 지질구조 및 지반의 안정성 검토에 필요한 응용지질도와 지질단면도는 1/1,000 또는 1/5,000 지형도를 이용하여 작성함
• 암석분포, 지질구조, 토양분포, 사태의 유무, 식생 및 수계 등 지질 관련 제반 사항을 조사하여

야 함

- 지질구조, 지층경계, 노두의 분포, 피복상태, 풍화정도, 지하수 부존특성, 시추조사 및 물리탐사계획, 재료원의 분포등을 검토 제시하여야 함

(3) 시추조사 및 착정조사

- 조사 착수 이전에 기존 조사 자료를 토대로 다음 지역에 대한 시추위치, 심도 및 경사도 등을 포함한 세부조사계획을 수립하며 탄성파탐사 등 타 조사 결과와 상호 연결하여 분석할 수 있도록 하여야 함
- 시추/착정의 위치가 확정되면 토지사용 허가를 득하고 지하수법의 규정에 의한 굴착행위신고 등 제반 인허가절차를 이행하여야 함
- 시추공은 암반의 분포심도 확인을 위해 기반암 1m까지 시행하고, 미고결층의 시추 및 착정공의 굴착심도는 풍화대를 관통하여 연암 1m까지 시행하며, 충적대수층에 대한 입도 특성, 지층구분 등에 대한 구체적인 자료를 기록하여야 함
- 천공시 시추 및 착정공의 수직도 유지에 만전을 기하여야 하며, 각 공에서 채취한 시료는 규정된 용기에 심도 순으로 배열하고 관찰이 용이하도록 보관하며 천연색 사진을 촬영한 후 다음 사항을 포함하는 시추주상도를 작성함

  - 현장명, 공 번호, 좌표, 표고, 공내 자연수위, 천공 방법, 케이싱 설치심도, 지층의 Graphic Symbol, 심도별 지층상태 및 시료에 대한 설명

- 시료 보관 용기는 합성수지 또는 목재로 제작된 공통규격의 코어상자를 원칙으로 하며, 장기간의 보관에도 손상이 발생하지 않아야 함
- 시료 보관 용기 상판에는 사업명, 사업년도, 공번, 일련번호, 심도 등을 기재하고, 시료 보관용기 전면 좌측에는 사업명, 조사지역, 조사기간, 주관부서, 총심도, 공번, 규격 등 조사현황과 보존연한을 일목요연하게 기재한 아래 양식의 색인표를 부착함

사 업 명			
조사지역		조사기간	
주관부서		규 격	
공 번		총 심 도	(/)
보존기간		보존종료	. . . 종료

5cm

15cm

- 천공시 작업수로는 청수를 사용하여야 하며, 천공작업상 불가피하다고 인정되는 경우에 한하여 감독원의 승인을 받아 점토 또는 화공약품을 첨가할 수 음
- 천공 작업이 끝난 시추 및 착정공에서는 공내 청소를 깨끗이 실시하고 제반 현장시험이 완료된 후에는 공보호공을 설치하여 오염물질의 유입 및 시설의 훼손 등을 최대한 방지토록 하며 지하수위 관측조사에 활용할 수 있도록 함
- 암반층의 지하수 조사를 위한 시추/착정공의 그라우팅 심도는 암반층이 나타나는 심도까지 실시하여 오염물질의 유입을 방지하여야 함
- 시추공의 구경은 NX로 하고, 취수 지점의 미고결층 시추시에는 시료 회수를 위하여 작업수를 사용하지 않는 무수굴착을 실시한다. 암반층 조사공의 시추시에는 미고결층 시료 및 코어를 회수하며 암반 굴착시에는 더블 또는 트리플코어바렐을 사용하고 경암 굴진시에는 다이아몬드 비트를 사용하여야 함

- 채취된 지층시료는 훼손되지 않도록 규정된 용기에 심도순으로 배열하고 천연색 사진을 촬영한 후 관찰이 용이하도록 보관하고 시추주상도를 작성함. 시추주상도에는 일반사항에서 언급한 수록내용에 코어회수율, R.Q.D, 절리의 발달 상태, 불연속면의 발달 상태, 간격, 충진물, 지하수 유동흔적 등을 포함함
- 각 시추공에서 미고결층을 대상으로 주요 대수층 구성물질을 대상으로 공당 2회 이상 입도분석용 토양시료를 채취함
- 관측정은 구경 300㎜로 미고결층을 완전 관통하여 풍화대 하부 연암층 1m까지 굴착한 후 구경 200㎜의 관정자재를 설치함(다만, 오염방지를 위한 그라우팅 구간에 대해서는 구경 400㎜로 굴착). 암반층 조사대상 착정공 구경은 상부 미고결층은 300㎜, 하부 암반층은 200㎜로 굴진하고 구경 150㎜ 관정자재를 설치함
- 미고결층의 지하수 관측공은 지하수위 상부까지는 케이싱을, 지하수위 하부의 포화대에는 스트레나를 설치하며, 스트레나의 개공율과 개공의 크기는 대수층 구성물질의 입도 분석 결과에 따라 결정함
- 미고결층 조사대상 착정공의 공벽과 스크린 사이의 공간에는 충진재를 설치하여 착정공의 유효반경을 넓히고 대수층을 안정시킨다. 충진재는 규산질모래 또는 자갈을 사용함. 충진재 입자는 서로 크기가 균일하며, 일정하고 부드럽게 마모된 것이어야 함. 충진재의 평균 입경은 대수층 구성물질의 입도 분석 결과에 따라 결정하되, 충진재의 균등계수(Uniformity Coefficient)가 2.5이하가 되도록 하여야 함. 충진재에는 세일, 운모류, 점토 등 기타 유기질 불순물이 없어야 하며, 지하수수질에 영향을 미치는 철(Fe), 망간(Mn) 등의 성분이 없어야 함. 충진재 부설시에는 브릿지(bridge)현상이 일어나지 않도록 주의하여야 함
- 케이싱의 재질이나 설치구간 등은 시험정의 보호방법을 고려하여 감독원과 협의하여 결정함. 고결암층내에 공벽의 붕괴가 예상되는 구간이 있을 경우에는 붕괴 방지 및 대수층의 보호를 위하여 케이싱이나 스트레나를 설치함. 스트레나를 설치할 경우에는 개공율 및 개공의 크기는 현지 지층상태를 고려하여 결정함

(바) 정밀조사

① 정밀조사

- 기본조사의 결과를 토대로 조사지역의 충적층 분포, 오염물질의 분포 및 지하수 유동 상태에 대한 수리지질학적 특성을 추정하고 최종적인 강변(해변)여과수의 적정 개발량, 규모 및 예상 수질 등을 정립하여 대상지역의 강변(해변)여과 취수방식의 타당성을 최종 판단하여야 함
- 강변(해변)여과 취수정 개발을 위해 기본조사 수행 이후에 다음과 같은 정밀조사 항목들을 수행하여야 함

Table 235. 취수정 정밀조사

조사구분	내 용	활 용 방 안
상세 지표지질조사	지질암종 및 지층구조, 충적층 퇴적물 및 퇴적상등	·지질 및 지층구조를 통한 수리특성 예측 ·충적층 정호개발 방식 및 설계
정밀 지구물리조사	퇴적층 분포심도 및 지하수위 분포, 지하 하부의 개략적 층서구조 파악	·최적 개발위치 선정 ·지하수 모델링 입력 인자 도출 ·지하수 개발량 산정 ·착정조사 위치 선정
시추조사 및 검층	지층 및 대수층의 분포 상태, 구성물질, 성상, 입도분석	·지하수위 분포 및 지하수질 배경치 ·강변여과 개발시의 수질 추정 ·점토 및 실트질 발달 분포 파악 ·주요 대수층 선정 ·장기 수위/수질 변화 관측
착정 및 대수성 시험	착정, 단계양수시험, 장기양수시험(최소 3개월 이상), 추적자 시험	·대수층 수리특성(수리전도도, 투수량계수, 저류계수, 비산출량) ·영향반경 파악 ·적정양수량 산정 ·지하수-지표수 유입 비율 추정
지하수 모델링	강변여과 수위/수질 모델링	·적정양수량 및 유동방향 확인 ·하천수 유입비율 추정 ·개발보호구역 설정 ·개발방식별 타당성 검증 ·취수 방법 설정 및 제안
수위/수질 특성 조사	지하수/지표수 장기 관측 현장 수질분석, 주요 양이온 및 음이온, 특정 동위 원소, 철 및 망간 농도	·지하수 모델링 기초 입력 자료 ·장기적 개발 가능량 평가 ·강변여과수 수질 변화 추정 ·정호 및 관로 부식 예측 및 관리방안 제안
오염 저감능력시험	현장 수리 분산 컬럼 및 배치 시험	·대수층 오염저감능력 평가 ·수질 개선효과 추정 ·개발 부지 적절성 평가

② 수질특성 조사

• 수질조사는 대상지역 지하수의 물리, 화학적 특성을 조사하고 시·공간적 분포를 관측함으로써 ①상수원으로써의 수질특성 및 적정성, ②지하수의 오염실태, ③지하수 오염원의 특성 등을 밝혀 정수 처리공정의 검토 및 수원 관리의 기초자료를 제공하기 위하여 수행함

- 지하수 수질조사를 위한 시료의 채취는 “지하수 수질보전 등에 관한 업무처리 지침(1997.10, 환경부)”에 규정된 방법을 따름
- 대상지역의 배경 지하수질 조사를 위해서는 양수시험이 시작되기 이전에 일제조사(가능한 1일 이내)를 실시하여 지역의 전반적인 수질특성을 파악하고, 대상지역에 대한 타 연구자료 혹은 조사자료가 있다면 이를 활용하여 계절적인 지하수질 특성을 확인함
- 하천수 및 배후 지하수의 유입에 따른 취수정으로 부터 취수되는 원수의 수질특성을 파악하기 위해 단계 또는 장기양수시험이 실시되는 동안에 하천수와 양수정 및 수질 관측공 등으로 부터 지하수를 적정한 간격(약 2주)으로 샘플링하여 수질 변화양상을 확인함
- 수질검사 항목은 원칙적으로 먹는 물 수질기준으로 하되 취수 목적에 따라 생활용수 및 농업용수 기준에 맞는 수질검사 항목을 채택하여 검사하도록 함
- 3회 이상의 수질검사에도 문제가 되지 않는 항목들은 차후 항목에서 제외 할 수 있으며, 양수정으로 부터의 원수나 하천수의 경우 가능한 1일 혹은 2일 간격으로 현장에 상주하는 관측요원으로 하여금 pH, 온도, 알칼리도, TDS, 칼슘 경도, EC, DO, 탁도, ORP 등과 같은 현장 간이수질을 관측 기록하도록 조치하여야 함
- 또한, 강변(해변)여과 취수정에 대한 양수시험을 수행하기 전 적어도 수주일~수개월 이전부터 꾸준히 하천수와 주변 지하수의 수질변화를 기록하여 실제 강변여과 취수정에서 취수되는 물의 수질 개선효과 등을 검증하여야 험
- 현재까지 국내의 강변 여과수 관련 연구 및 조사자료를 검토하여 보면, 강변 여과수 개발시 정수처리 공정에 영향을 주는 주요 수질항목은 질산성 질소, 철, 망간의 농도으로서 일반적으로 질산성 질소의 오염이 있는 곳에서는 철 및 망간의 함량은 크게 문제가 되지 않고, 반대로 철 및 망간이 수질기준을 상회할 경우에는 질산성 질소의 오염은 잘 나타나지 않는 상반된 환경특성을 갖음
- 철, 망간의 경우 강변 여과수에서는 하천수에서 검출되는 농도보다 높게 검출되어 처리가 필요한 경우가 많으며, 외국의 강변여과 개발지역의 자료에서는 초기 개발시의 높은 철 및 망간의 농도가 지속적인 양수가 수행되면서 점차 감소하는 특징이 있다는 보고가 있으므로, 최초 개발시의 철 및 망간의 농도가 향후 지속적인 수처리 대상이 되지 않을 수도 있다는 점을 간과하지 않도록 함

(사) 취수정 후보지 선정

- 취수지점 선정시 조사결과에 근거하여 다음 각 항들이 충족되는 취수지점을 취수정 후보지로 선정함

(1) 강이나 하천 주변에 넓은 충적층이 펼쳐진 지역
(2) 유효공극율과 투수성이 커 물의 저장과 이동이 양호한 지층조건을 갖는 지역
　즉, 모래층과 자갈층이 분포하는 충적지역(이토질(泥土質) 지점은 피할 것)
(3) 취수지점은 향후 유로변화 또는 하상저하 등의 영향이 없는 지점
(4) 하천개수계획에 지장이 없는 지점
(5) 기존 우물의 취수에 영향을 주지 않는 지점
(6) 주변의 오염원으로부터 지하 침투영향이 없는 지점

(4) 채수층의 결정

- 채수층은 굴착 중에 얻은 다음 자료를 참고로 선정
- 지층이 변할 때마다 채취한 지질시료 및 입도분석결과
- 굴착 중인 점토수의 양적 및 질적인 변화, 용천수 또는 일수(逸水 : spill water) 등의 유무
- 전기저항탐사의 결과
- CCTV 수중카메라 촬영결과
- 대수성시험 결과

(5) 양수량의 결정

① 현장 시험 및 대수성 시험

(1) 현장시험

1) 표준관입시험

- 표준관입시험은 시추조사와 병행하여 미고결층(점토, 모래, 자갈)에 대하여 매 1.0m 및 지층변화 시 마다 KSF 2307 규정에 따라 실시함

(2) 대수성시험

1) 공통사항

- 계약상대자는 선정된 기존 관정 및 착정공을 대상으로 단계양수시험, 장기양수시험 및 회복시험 등의 대수성시험을 실시하여야 하며, 동 시험시 시험정 인근에 기존 관정 및 시추공이 있는 경우에는 이를 관측정으로 활용하여 수위 변화를 함께 측정, 분석함.
- 착정공 및 기존 관정의 대수성시험 자료를 미고결층 및 암반층의 특성에 따라 다양한 해석방법을 적용하고, 각 해석기법별 수리상수를 산정, 비교함
- 대수성시험 실시 이전에 시험정 및 관측정에서 지하수위 측정 기준점을 표시하고, 시험개시전 최소 3회 이상 자연수위를 측정해 두어야 함
- 양수시험시에는 양수된 지하수가 재침투되지 않도록 주의하여야 함
- 수위 측정장비는 품질규격에 합격한 장비를 사용하여야 함
- 강하수위 및 회복수위 측정간격은 특별한 변경 사유가 없는 한 다음 기준에 따라야 함

시험 시작후 시간(분)	측정시간 간격(분)
0 ~ 5	1
5 ~ 60	5
60 ~ 120	15
120 ~ 360	60
360 ~ 종료시	120

2) 단계 양수시험(Step-drawdown test)

- 단계양수시험은 양수량을 최소한 3단계 이상으로 나누어 실시하되 각 단계별 양수 시간은 동일하게 유지하되 최소 1시간이상 지속시켜야 함
- 양수량은 단계별로 점차 증가시키며 각 단계에서의 양수시 양수량을 일정하게 유지시켜야 함

3) 연속 양수시험

- 연속 양수시험은 24시간을 기준으로 하되, 안정수위가 유지될 때까지 실시함.
- 이 때 양수기의 고장이나 기타 불량한 기록을 초래하게 하는 원인이 발생하면 재시험을 실시함
- 양수시험시 매시간마다 양수된 지하수의 수온 및 전기전도도를 측정하여 그 변화 유무를 확인하고 양수일보에 기록하여야 함

4) 회복시험

- 연속양수시험 종료후에는 즉시 양수기의 가동을 중지하고 각 시험정 및 관측정에서 수위가 완전히 회복될 때까지 회복수위를 측정하여야 함
- 회복시험성과를 분석하여 양수시험 성과 분석결과의 검증에 활용하여야 함

5) 순간수위변화시험

- 순간충격시험이 필요한 시추조사공에 대해서는 체적을 알고 있는 물체(dummy)를 이용하여 순간충격시험을 실시함
- 관측정내에 투입시켰을 때와 뽑아냈을 때 경과시관별 수위의 변동치를 측정함
- 순간수위변화시험은 최소 2회 이상 실시하여야 하며, 시추코어 분석결과와 연계하여 평가하고 수리상수를 산정, 검토하여야 함

(3) 수질조사

- 수질분석은 해당 취수정의 취수목적에 따라 먹는물, 생활용수 및 농업용수 기준을 선택하여 해당기준에 맞는 수질조사 항목을 선정하여 실시하며, 조사주기는 감독관과 협의 후 결정함
- 수질분석을 위한 지하수 물시료의 채취는 원칙적으로 '지하수의 수질 보전 등에 관한 업무처리지침(2014, 환경부)'을 기준으로 하고, 채취된 시료의 보관은 수질오염 공정시험기준(환경부고시 제2017-4호)을 준수해야 하며, 사전에 충분한 교육을 받은 자가 물시료를 채취함

(4) 실내시험

1) 토성시험

- 시추공의 SPT시료를 대상으로 KS 규정 또는 이에 준하는 기준에 의거, 실내 입도분석을 실시하여 토질특성과 통과율에 근거한 입도분포곡선을 작성하고, D10, D15, D30, D50, D60, D85 값과 균등계수, 공극률, 수리전도도 등을 도출하여야 함
- 분석은 건설기술관리법에 의한 품질검사전문기관 또는 동등이상의 자격을 등록한 기관에 의뢰하여야 함
- 이상의 실내 입도분석에 의하여 도출된 결과는 양수시험 성과에 의하여 도출된 대수층의 수리특성과 비교 검토하고 토양특성 등을 관찰하여 미고결층에 대한 수리특성 분석 등에 활용함

(5) 수리특성평가

- 수리특성평가시 현장 조사한 결과를 최대한 활용하여 분석함
- 지하수 관측조사, 시추조사 결과와 대수성시험에서 도출된 수리상수, 미고결층 입도 등과의 상관관계를 검토하여 대수층의 수리성을 평가함

• 제반 조사성과를 토대로 조사지역 일원의 대수층의 분포 범위, 수리특성을 종합하여 2차원 및 3차원 지층 분포도를 작성한다. 이를 토대로 세부조사대상지점별로 대용량 지하수 확보 가능성을 평가함

(6) 위치측량
• 각 시추공에 대해서는 수준 및 다각측량을 실시하여 정확한 위치 및 표고를 측정하여야 하고 각 조사지점에 대하여 소재파악이 용이하도록 점의조서를 작성, 보고서에 수록하여야 함

(7) 원상복구
• 조사가 완료된 시추공, 관측공은 일반인이 재활용하거나, 향후 양수시험시에 관측공으로 활용 가능여부를 검토하고, 활용되지 않는 공은 '지하수 업무수행 지침(2015, 국토교통부)' 제5장 지하수 불용공(방치공) 관리에 의거 되메움 조치를 함

(6) 이중필터 취수정 설계

(가) 취수정 설계

① 취수정 배치
• 하천으로부터 취수정의 이격거리는 하천수의 초기 유입비율 및 하천수의 대수층 통과시간에 영향을 미치기 때문에 대부분의 경우 하천에서 약50m 이내에 취수정을 설치
• 취수정을 2개 이상 설치할 경우에는 일반적으로 지하수의 흐름방향과 직각으로 지그재그로 배치하고 우물간의 간격은 양수량의 상호간섭이 가능한 한 적도록 설정
• 취수정의 간격과 배열 또한 취수정의 수위강하에 영향을 미치므로 적절한 설계를 위해서는 수리모델링과 양수시험을 통하여 그 적정 간격과 배열을 정해야 함. 일반적으로 취수정의 배열은 1~2열로 배열하며, 이는 해당지역 토질조건에 의한 대수층 통과시간(투수성)에 따라 결정

② 취수정 심도
• 취수정의 설치심도는 시험공 또는 시추공을 굴착해서 취득한 지층, 토질 및 지하수 정보나 취수정 설치예정지점 인근의 동일 대수층에 기 설치된 기존우물의 지질자료를 이용하여 결정
• 일반적으로 취수정의 설치심도는 대수층 하부까지 완전 굴착한 후 우물자재를 설치하지만 대수층 중에서 공내로 유입되는 지하수량이 최대치가 되도록 현장여건에 맞게 설계함

③ 취수정 구경
• 취수정의 구경은 우물로부터 양수량과 우물자재의 규격, 이중필터재의 두께 등 제반조건을 고려하여 결정
• 취수정 내로 지하수가 유입되는 면적(개공율)이 충분하도록 설계
• 취수본관 직경, 스크린의 길이와 슬롯 폭, 필터재의 직경 등 우물자재 규격 고려하여 설계
• 필터재는 스크린과 공벽사이 공간에 설치되며 다음의 필터재 설치목적에 부응하도록 설계
  ·스크린의 개공율과 투수율을 높이고 유입속도를 낮추는 효과
  ·우물의 유효반경을 넓히는 효과
  ·스크린을 우물중앙에 안정적으로 위치하기 위하여 설치

- 충진재 두께는 대수층 특성에 따라 결정하되 일반적으로 충진재의 두께는 3″~8″(76.2~200mm)이며 단일필터 기준으로 최대 12″(300mm), 이중필터 기준으로 최대 16″(400mm)를 초과하지 않는 것이 좋으며, 이 보다 두꺼울 경우는 우물개량이 어려워 질 수 있음
- 충진재의 최대크기는 1cm를 초과하지 않는 것이 좋음
- 아래 표와 같이 최적의 양수기 구경, 취수본관 및 취수관을 연결하는 플랜지의 직경을 감안하여 취수관의 직경을 결정

Table 236. 취수량에 따른 최적의 양수기 구경 및 취수관경(ID : 내경)

취 수 량		양수기 구경 (인치)	최적 취수관 경	최소 취수관 경
㎥ / 분	㎥ / 일			
< 0.35	< 500	4″	6″ ID	5″ ID
0.28 ~ 0.6	400 ~ 900	5″	8″ ID	6″ ID
0.55 ~ 1.5	800 ~ 2,000	6″(152mm)	10″ ID	8″ ID
1.3 ~ 2.5	1,800 ~ 3,600	8″(203mm)	12″ ID	10″ ID
2.3 ~ 3.5	3,300 ~ 5,000	10″	14″ ID	12″ ID
3.3 ~ 5.0	4,700 ~ 7,200	12″	16″ ID	14″ ID
4.5 ~ 6.8	6,500 ~ 9,800	14″	20″ ID	16″ ID
6.0 ~ 11.5	8,600 ~ 16,500	16″	24″ ID	20″ ID

(나) 스크린 선정

① 일반사항

- 우물 내에 설치해야 할 스크린의 최적 길이는 대수층의 층서 및 두께와 양수에 따른 수위강하량 및 대수층의 종류에 따라 결정
- 우물용 스크린은 다음 각 항에 따름
  ·설치위치는 대수층으로 하고 스크린의 최하부에는 유사관로서 무공관을 연결
  ·채수층을 구성하는 모래자갈 등의 형상과 입경에 적합한 구조로 함
  ·강도나 내식성이 풍부한 재질로 함

② 스크린 길이 결정

1) 균질 피압대수층

- 피압대수층의 두께가 8m 이상인 경우에는 스크린을 대수층 두께의 70%만 설치하고, 대수층의 두께가 8~16m 정도인 경우에는 76%, 15m 이상인 경우에는 80% 이상 스크린 설치

2) 불균질 피압대수층

- 1개 대수층에서 대수층이 가장 양호한 구간에만 스크린 설치

3) 균질 자유면대수층

- 통상 대수층의 저면에서부터 대수층 전체 두께의 33%(1/3) 정도만 설치(간혹 비양수량을 증가시키기 위해서 대수층 전 두께의 50% 범위까지 스크린을 설치하는 경우도 있음)

4) 불균질 자유면대수층

- 불균질 피압대수층의 설계기준과 원칙적으로 동일 적용.(투수성이 가장 양호한 구간의 최하단부에 스크린 설치)

5) 자유면 대수층에 설치한 우물에서 허용 수위강하량(allowable drawdown)은 항상 스크린의 최상단부보다 약간 높은 지점
6) 스크린은 반드시 대수층 하부구간이나 대수층 저면을 관통하여 설치

③ 스크린 개공율

1) 스크린의 개공규격은 각 대수층에서 채취한 대표시료의 체분석 결과를 이용하여 선정
2) 대부분의 대수층은 균질이 아닌 불균질 층상 퇴적물로서 여러 개의 층으로 구성되어 있어 각 층에 적합한 서로 다른 이중필터재 및 스크린의 개공규격을 사용
3) 불균질 대수층에서 스크린의 개공규격 선정은 일반적으로 다음과 같다.

- 세립질 퇴적층이 조립질 퇴적층 위에 분포할 때는 세립질층의 D60 입경 규격을 갖는 스크린을 하부 조립질 퇴적층에 약 60cm 가량 더 연장해서 설치
- 하부 조립질 퇴적층에 설치한 스크린의 개공크기는 상부 스크린 개공크기의 2배 이상되지 않도록 해야 함
- 만일 위 규정을 무시하고 임의의 스크린을 서로 다르게 설치했을 때는 하부 조립질 퇴적층의 세립질 물질이 스크린 주위에서 60% 이상 배출됨에 따라 상부 세립질 물질이 하부로 침하하여 소위 토사출(sand pumping) 현상이 발생

④ 스크린 직경 및 슬롯간격

- 지하수 수질 및 수량에 알맞게 스크린의 직경을 선정하고, 주대수층의 지질특성(입경)에 적합한 스크린의 개공면적 및 규격을 선정하여야 함
- 스크린의 직경은 개공크기나 스크린의 길이를 먼저 확정한 후에 결정
- 각 대수층에서 토층 시료를 채취하여 체분석을 실시하여 층별 입도곡선을 작성한 후 각 층의 최소입도와 위치를 파악하여 슬롯간격을 결정
- 지하수가 스크린을 통해 우물로 유입될 때 그 유입속도가 임계유속인 3㎝/sec이상 되지 않는 개공면적을 가질 수 있도록 스크린의 직경을 조절
- 세계적으로 가장 널리 사용되는 죤슨 웰 스크린의 스크린 개공규격과 직경에 따른 유입면적은 다음과 같음

Table 237. Johnson well screen의 개공면적(in^2)

스크린의 직경(in)	개공 유입면적(in2)						
	Slot No.10	Slot No.20	Slot No.40	Slot No.60	Slot No.80	Slot No.100	Slot No.150
3	10	19	32	42	43	55	65
4	14	26	44	57	58	74	88
5	18	33	55	72	73	94	112
6	21	39	65	85	87	111	132
8	28	51	87	113	116	131	160
10	36	65	110	143	147	166	203
12	42	77	130	170	174	180	223
14OD	38	71	123	163	177	198	251
15OD	39	76	132	175	190	217	268
16OD	35	69	123	163	171	198	250
18OD	39	78	139	186	193	224	283
20OD	47	88	156	209	218	252	318
24OD	46	87	158	217	266	307	389
26OD	49	91	166	227	278	321	406
30OD	57	108	192	268	329	379	480
36OD	65	124	224	307	376	434	550

⑤ 스크린의 재질

1) 스크린의 재질은 부식 및 스케일 현상을 고려하여 선정

- 스크린이 부식되면 개공부가 확대되어 세립질 물질이 우물내로 유입됨에 따라 모래의 토사출 현상이 발생할 수 있고, 부식에 의한 스크린 강도의 저하로 인해 우물이 붕괴될 수 있음

2) [부식성이 있는 지하수]

- pH : 산도 7 이하의 산성
- 용존산소 : 2mg/L이상 (주로 산성지하수에서 잘 나타남)
- H2S : 1mg/L이상 (부식성이 매우 강한 썩은 계란냄새)
- TDS(전고용물) : 100mg/L이상 (전해부식현상)
- CO2 : 50mg/L이상
- 염소이온 : 500mg/L이상
- 유류와 같은 탄화수소계 오염물질에 의해 심하게 오염된 지하수

3) 스크린의 안쪽이나 스크린 주위의 대수층 및 필터재 표면에 침전물이 가라앉아 응결되는 스케일 현상은 대수층의 공극을 메우거나 스크린의 개공부를 폐쇄시켜 통수능력을 감소시키므로 이런 침전물을 제거하기 위한 산처리에 충분히 견딜 수 있는 재질이어야 함

4) [스케일 현상을 유발하는 요인]
• pH : 산도
• 경도 : 300mg/L 이상인 경우에는 칼슘의 침전
• 철분 : 1mg/L 이상
• 망간 : 1mg/L 이상
• 박테리아의 유무 : 철박테리아는 철분을 침전시킴
5) 완공된 우물의 스크린에는 항상 파이프의 하중과 지층의 횡압력이 작용하기 때문에 스크린 주변에 작용하는 횡압력은 유공관의 붕괴를 초래할 수 있고, 하중압력과 횡압력에 대한 스크린의 저항력은 스크린 재질의 탄성계수에 정비례하므로 내구력을 고려하여 설계에 반영(탄성계수가 동합금관의 2배인 스테인레스 스틸의 경우에 내구력은 전자의 2배)
6) 스크린 선정시 적절한 내구력과 최대 개공면적, 상대적인 가격 및 수질과의 연관성도 고려

⑥ 이중필터재
1) 필터재는 스크린과 공벽사이의 공간에 설치하며, ①모래의 유입을 방지하여 대수층을 안정시키고, ②스크린의 개공율과 투수성을 높이고 유입속도를 낮추며, ③우물의 유효반경을 넓히고, ④스크린을 우물중앙에 안정적으로 위치하게 하기 위하여 실시
2) 우물 설치 시 필터재를 반드시 설치해야 하는 지층조건
가. 세립질의 균질 모래층
• 지층에 필터재를 사용하면 스크린 개공면적을 증가시킬 수 있음
• 대수층의 입도 분석결과 D60의 입경크기가 0.01인치(0.25mm)이하(No. 10 슬롯)인 지층은 필터재를 반드시 부설
• 피각작용의 방지를 위하여 입경크기를 0.01인치 대신 0.015 또는 0.02인치를 사용할 수도 있으나 이는 지하수의 수질특성에 따라 결정
나. 두꺼운 피압 대수층
• 스크린을 길게 설치해야 하거나, 펌프를 스크린 구간에 설치해야 하는 두께가 두터운 피압대수층에서는 큰 구경으로 착정해서 착정구경보다 구경이 작은 스크린을 설치하고 이들 사이의 주변공간에 필터재를 부설
다. 미고결 사질 대수층
• 일반적으로 사질층은 투수성이 양호하여 우물에 필터재를 설치하지 않고 나공상태(open hole)로 스크린을 설치하면 대수층 내에 포함된 세립질 모래가 붕괴되어 토사출현상이 일어날 가능성이 있기 때문에 스크린 주위에 필터재를 부설하면 더욱 좋은 우물을 형성
라. 분포가 넓은 충적 퇴적물
• 입도가 서로 다른 퇴적층이 여러 층으로 분포되어 있는 충적퇴적층은 각 층의 심도를 파악하여 각 층에 맞는 이중필터재와 이에 맞는 스크린을 설치
• 필터재의 크기와 스크린의 개공크기는 최소 세립질의 입도(D60 & F10)를 기준으로 선정
3) 이중필터재의 층위구성으로 수직취수정 설치시 이중필터재의 구성조건은 다음과 같음
• 외부필터재는 각 대수지층의 토질특성에 적합한 필터재의 입경조건을 산정하여 세립질의 여과사를 적용
• 내부필터재는 각 대수지층의 외부필터재에 적합한 필터재의 입경조건을 산정하여 조립질의 여과

사리를 적용

4) 이중필터재의 두께

- 자연우물은 대수층이 스크린에 대해 측면지지를 해주지 않으므로 우물개량을 시킬 때 대수층 내에 포함된 느슨한 상태의 모래들이 붕괴되어 스크린을 파손시킬 우려가 있지만 필터재를 부설하면 이러한 현상을 방지할 수 있음
- 이중필터층 형성시 외부필터와 내부필터의 두께비는 1 : 2 비율로 구성
- 이중필터재의 부설시 두께는 대수층 특성에 따라 결정하는데 일반적으로 3″~8″(76.2~200mm)이며, 이중필터 기준으로 최대 16″(400mm)를 초과하지 않도록 함(단일필터 기준으로 최대 12″(300mm) 이내)

가. 외부필터재의 규격 산정

- 각 해당 대수층의 D60~D70입경의 4~6배로 한다. 단, 대수층이 세립 · 균질일 때는 4배를, 대수층이 조립 및 불균질일 때는 6배의 것을 사용 [F60~F70 : (4~6) · (D60~D70)]
- 위에서 구한 외부필터재의 크기는 여과사 입도곡선의 F60~F70 입경과 같아야 하고, 균등계수가 2.5 이하가 되도록 입도곡선을 재작도하여 필터재의 최대·최소 입경을 결정
- 스크린 개공크기는 위에서 재작도한 여과사 입도곡선 중 F10의 입경과 동일한 것을 사용 [스크린 개공크기 = F10]

나. 내부필터재의 규격 산정

- 내부필터재의 크기는 해당 외부필터재의 D60~D70입경의 4~6배로 하여야 한다. 대수층이 세립 · 균질일 때는 4배를, 대수층이 조립 및 불균질일 때는 6배의 것을 사용[F60~F70 : (4~6) · (D60~D70)]
- 위에서 구한 내부필터재의 크기는 여과력 입도곡선의 F60~F70 입경과 같아야 하고, 균등계수가 2.5 이하가 되도록 입도곡선을 재작도하여 필터재의 최대·최소 입경을 결정
- 스크린 개공크기는 위에서 재작도한 여과력 입도곡선 중 F10의 입경과 동일한 것을 사용 [스크린 개공크기 = F10]

다. 필터재의 최대 크기는 10mm를 기준으로 하나, 모래-자갈층의 경우 대수층의 입경을 고려하여 최대 입경을 산정토록 함

라. 입도분석결과에 근거한 각 지층별(실트질 모래층, 모래질 자갈층으로 구성) 이중필터재 산정방법에 대한 사례는 다음과 같음

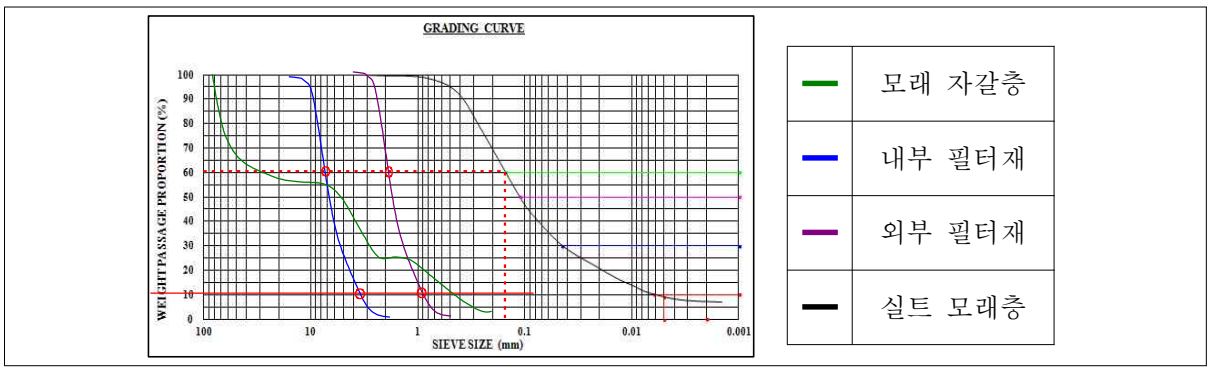


Fig 234. 이중필터재의 산정방법(예시)

자. 유지관리지침서

(1) 일반사항

(가) 목적

• 이 지침은 취수원으로 이중필터를 이용한 강변(해변) 여과수 취수공의 유지관리 지침을 제시하는 데 목적이 있음

(나) 적용 범위

• 이 지침의 적용범위는 강변 및 해변에서 착정공을 이용하여 취수하는 생활용수, 농·어업용수, 공업용수 등 용수를 공급하는 취수시설의 유지관리에 적용함

① 강변여과수 이중필터 취수시설

• 이 지침은 강변여과수 이중필터 취수시설의 유지관리에 필요한 일반적인 사항에 대하여 규정함

② 해변여과수 이중필터 취수시설

• 이 기준은 해변여과수 이중필터 취수시설의 유지관리에 필요한 일반적인 사항에 대하여 규정함
• 해수(표층수)를 취수시설로 할 경우, 해수 염도에 대한 영향을 고려하여 대책을 강구함

(다) 참고 기준

• 이 기준을 적용 할 때 관련 기준과 법규를 고려하여야 하며, 이 기준과 관련된 기준과 법규는 다음과 같다.

① 관련 기준

(1) KDS 51 14 35 이수계획
(2) KDS 57 45 00 상수도 취수시설 설계기준
(3) KCS 57 20 15 복류수.강변여과수 취수시설 설치공사
(4) KCS 57 20 25 해수 취수시설 설치공사

②관련 법규

(1) 지하수법(환경부)
(2) 하천법(국토교통부, 환경부)
(3) 해양환경관리법

(라) 용어 정의

(1) 필터재 : 충적층내 대구경 우물 천공 후 굴착경과 스크린 사이에 설치하는 여과재(모래-자갈), 지하수의 원활한 흐름과 원지반 토양내 미립자의 유출을 방지 역할
(2) 이중필터 : 굴착경과 스크린 사이에 설치하는 필터재를 입도를 달리하여 원지반측에 여과사, 스크린과 접하는 부분에 여과사리를 설치하는 방식
(3) 취수시설 : 수원에서 소요수량을 취수하기 위하여 설치한 시설

(4) 취수관 : 필터재를 통과한 지하수를 취수하기 위하여 지중에 수직으로 설치하는 관으로 무공관, 스크린 및 유사관을 포함하여 일컫는 용어
(5) 취수본관 : 취수관내로 흘러 들어온 지하수를 수중펌프를 사용하여 지상으로 양수하는 관

(마) 기호의 정의

• 내용 없음

(바) 이중필터 취수시설의 구성

• 이중필터 취수시설은 취수방식이나 그 역할에 따라 다음과 같이 구분함
(1) 취수정 및 관측정
(2) 취수관(무공관, 스크린, 유사관)
(3) 심정펌프 및 취수본관
(4) 상부 맨홀

(2) 이중필터취수정 기술

(가) 기술의 특성

(1) 이중필터취수정 기술은 주로 오실레이터와 같은 대구경 착정기를 사용하여 외부케이싱을 압입하면서 지반을 굴착한 후 내부케이싱과 취수관을 설치하고, 취수관 주변에 이중필터층을 형성시켜서 취수정 주변지반과 필터층의 교란에 의한 투수성 저하를 방지하고 각 토질특성에 적합한 필터재와 스크린을 적용함으로서 취수정의 취수량을 극대화하면서 장기적으로 안정적인 취수효율을 유지할 수 있는 기술
(2) 취수구간의 각 토층 입도에 적합한 필터재의 입경과 두께로 설치하므로 투수성을 증대시켜 충분한 원수 확보가 가능
(3) 이중필터층 형성시 외부필터(외부케이싱과 내부케이싱 사이)와 내부필터(내부케이싱과 취수관 사이)의 간격비는 1:2 비율에서 최적의 취수효율을 갖음
(4) 외부케이싱과 내부케이싱 사이의 외부필터재는 세립질의 여과사로, 그리고 내부케이싱과 취수관 사이의 내부필터재는 조립질의 여과사(리)로 필터재를 충진하여 투수성을 향상시켜 취수량을 증대하고 장기적 취수효율을 유지시킴
(5) 내부케이싱 인발시 여과사와 여과사리 사이에 와력을 가하지 않고 저속유압잭으로 인발하기 때문에 필터재의 교란이 없어 취수율 관리에 유리함
(6) 고효율 스크린(STS)과 필터재(여과사 및 여과사리 등)를 적용하여 장기간의 시간경과에 따른 취수량 감소를 억제하여 취수정의 취수효율을 안정화 시킴

(나) 시공 관리

① 측량

• 측량은 지적공사에서 공식적으로 지정하는 기준점의 좌표값을 근거로 하여 광파기 및 GPS 를 사용하여 위치 측량하고 그 좌표값을 기록

• 측량결과, 표기된 취수정 위치는 중심점에 Pole을 세우고, 이를 중심으로 직경 Ø1,200mm의 원형을 마킹하여 외부케이싱을 설치 및 굴착할 수 있도록 준비

② 굴착

(1) 이중필터취수정을 설치하기 위하여 사용되는 주요 굴착장비는 대구경 오실레이터(Oscillator), Hammer Grab와 Power Pack, 내외부 케이싱 등과, 지원장비로서 크레인, 백호, 발전기 및 콤프레셔 등이 사용

(2) 굴착방법은 Ø1200mm의 외부케이싱을 오실레이터에 설치한 후 외부케이싱을 좌우로 유동하면서 압입한 후 외부케이싱 내의 토사 및 자갈을 Hammer Grab로 들어내는 방법으로 굴착하여 소정의 설계심도까지 외부케이싱의 압입과 토사 제거를 반복하여 굴진

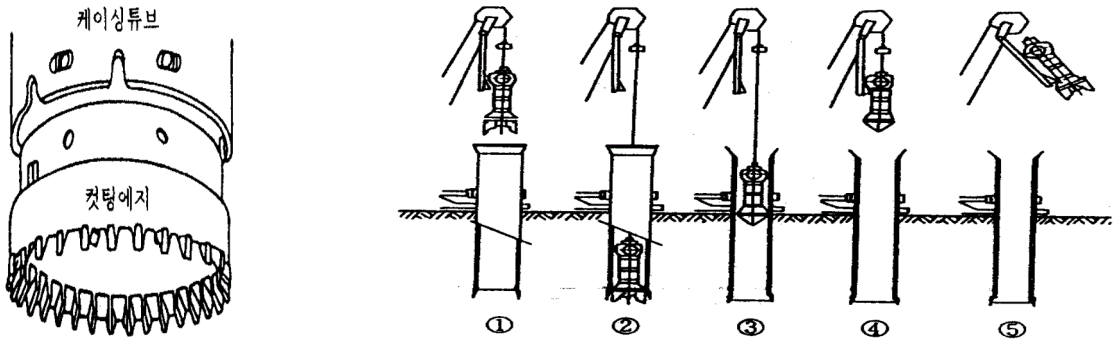


Fig 235. 굴착방법

③ 케이싱 및 스크린 설치

(1) 굴착 완료 후 외부케이싱 중앙에 내부케이싱을 삽입하여 필터재의 두께를 확보한 후 취수관을 삽입하고, 취수관은 수직도를 유지하기 위하여 Band형태의 Spacer를 용접하여 부착

(2) 취수목적에 따라 반영구적 취수용으로 사용되는 경우 스크린과 무공관 및 유사관의 재질은 스테인레스관(SUS관)을 사용토록 하고, 이들의 연결시에는 가급적 부식을 억제하기 위해 CO2 용접방법을 적용



Fig 236. 케이싱 및 스크린 설치

④ 이중필터재 설치

(1) 이중필터재는 여과사, 여과사리 및 양질의 굴착모래를 사용하며, 양질의 굴착토를 사용할 경우는 체가름 하여 사용

(2) 이중필터재의 충진방법은 내부케이싱과 취수관 사이에는 트레미관을 공저 2m 상부까지 삽입하여 중력 충진하도록 하고, 외부케이싱과 내부케이싱 사이는 중력으로 상부에서 충전하면서 진동다짐을 병행함

(3) 진동다짐은 인발기 또는 외부케이싱에 부착된 바이브레이터(Vibrator)를 사용하여 필터재 충진 후 진동다짐을 실시

(4) 최초 필터재 충진 후 외부 및 내부케이싱은 6m씩 인발하면서 단계적으로 필터재 충진과 케이싱 인발을 반복하면서 필터재를 충진



Fig 237. 필터재 충전

⑤ 케이싱 인발

(1) 내부케이싱 인발은 여과사, 여과사리 및 기타 충진재의 교란을 방지하면서 원지반의 횡압력을 지탱해 주는 외부케이싱(Φ1200㎜) 내에서 저속유압잭을 사용하여 0.5m/min 정도의 속도로 수직 인발

(2) 외부케이싱 인발은 내부케이싱 인발 후 오실레이터의 좌우이동 및 유압으로 수직 인발토록 하여 원지반 공벽에 피막형성 억제 및 필터재의 교란을 방지하도록 함

(3) 내 · 외부 케이싱의 인발 순서는 스크린관과 필터재에 작용되는 토압을 최소화 하기 위하여 내부 케이싱을 선 인발한 후에 외부케이싱을 인발하도록 함



Fig 238. 케이싱 인발

⑥ 심정펌프 및 취수본관 설치

(1) 심정펌프와 취수본관, 취수본관과 취수본관의 연결은 플랜지로 연결하여 볼트로 체결한 후 크레인을 사용하여 설치

(2) 취수본관 설치시 관 내부를 점검하여 이물질이 없는가를 확인한 후, 금속 부스러기 및 먼지를 깨끗이 청소

(3) 취수본관 설치를 끝마쳤을 때 또는 일시 배관을 중지할 때에는 배관 입구를 플러그 및 캡 등으로 완전히 막아 이 물질이 들어가지 않도록 주의

(4) 플렌지 접합시는 패킹의 두께는 3㎜ 이하의 것을 사용하고, 먼저 관 내경과 일치하도록 플렌지를 서로 맞추고 볼트를 대각선 방향 순서로 균등하게 조임

(5) 심정펌프는 설치 양정고와 수송거리, 소요전력, 취수량 등을 고려하여 적정펌프를 선정

(6) 전선은 수중에 침수되는 것을 감안하여 수분의 완전밀폐가 가능토록 봉합하여 연결

(다) 송·배수관 관리

① 송수관의 설치

(1) 현장에 반입한 배관은 계획 관로를 따라 배열하며, 송수관은 가능한 한 관로를 따라 통행에 지장이 없도록 배열하여 배관 부설작업이 용이하도록 하여야 함.

(2) 송수관을 배열할 때에는 관의 양쪽을 완충용 목재나 모래주머니 기타 적절한 방법으로 받침을 하여 관외면 도복부가 자갈이나 암석 등에 의한 손상을 입지 않도록 하여 굴름에 의한 안전사고를 방지하여야 함.

(3) 송수관을 설치하기 전에 관체를 검사하고 균열이나 기타 결함이 없는가를 확인함.

(4) 송수관을 달아 내릴 때 흙막이용 버팀보를 일시적으로 떼어 낼 필요가 있을 경우에는 반드시 적절한 보강을 하고 안전을 확인한 다음 시행함.

(5) 송수관을 굴착한 관로 내로 달아 내릴 때에는 안전을 위하여 관로의 홈 안(관을 내릴 장소)에 작업원이 들어가 있지 않도록 조치함.

(6) 송수관의 부설은 원칙적으로 낮은 곳에서부터 높은 곳으로 향하여 부설하고 소켓(Socket)이 있는 관은 소켓이 높은 곳으로 향하도록 배관을 시공 관리함.

(7) 현장 필렛(Fillet)용접용으로 제작된 벨엔드(Bell End)형의 관은 수구의 방향이 물의 유입 방향으로 향하도록 배열하여 관리함.

(8) 송수관을 설치할 때에는 관 내부를 청소하고 레벨, 트렌시트 등을 이용해서 중심선과 높낮이를 조정, 정확하게 설치 또, 관체의 표시 기호를 확인함과 동시에 관의 몸체에 표시되어 있는 지름, 제작 연도 등의 기호가 위로 향하도록 설치하여 관리함.

(9) 직관의 이음개소 에서 각도가 생긴 휨 배관은 피하도록 하고, 공사현장의 상황에 따라 시공상 부득이한 경우에는 현장여건에 맞게 설치함.

(10) 매일 부설 작업이 완료된 뒤에는 관내에 토사, 오수 등이 유입하지 않도록 나무 마개 등으로 관 끝을 막아야 하며 관내에 헝겊, 공구류 등을 두지 않도록 함.

② 송수관의 절단

(1) 송수관을 절단하고자 할 때에는 관의 절단 길이 및 절단 개소를 정확히 정하고 절단선의 표선을 관 둘레 전체에 표시

(2) 송수관의 절단은 관축에 대하여 직각으로 실시하고, 절관이 필요할 때에는 잔재를 대조, 조사하여 가능한 한 잔재를 사용함.

(3) 송수관을 절단하는 장소 근처에 가연성 물질이 있는 경우에는 보안상 필요한 조치를 취한 다음 주의해서 시행

(4) 주철관의 절단

① 주철관의 절단은 절단기로 하는 것을 원칙으로 하며, 이형관은 절단불가

② 동력원으로 엔진을 사용하는 절단기는 소음에 대한 배려 및 대책마련

③ T형 소켓관을 절단한 경우에는 삽입구의 단면을 그라인더 등으로 규정된 모따기를 하고 삽입 치수를 백선으로 표시

④ 주철관의 절단면은 위생상의 해가 없는 방식으로 도장

(5) 강관의 절단

① 강관의 절단은 절단선을 중심으로 폭 30cm 범위의 도복장을 벗겨내고 절단 선을 표시하여 절단

② 절단 중에는 관 내 외면의 도복장에 인화되지 않도록 주의하고 적절한 보호조치를 취할 것

③ 강관의 절단을 완료한 뒤에 신관의 끝 부분 모양과 같이 신중하게 접합부를 마무리해야 하며, 절단부분의 도복장은 신관과 동일한 치수로 다듬어서 처리

(6) 기타 관의 절단

① 관을 절단하고자 할 때에는 절단개소가 관 축에 직각이 되도록 매직잉크 등으로 전체 둘레에 걸쳐서 표선으로 마킹

② 절단면은 줄 등으로 평활하게 마무리함과 동시에 안팎둘레를 가볍게 모따기 실행

(3) 취수정 운영방안

(가) 관측공 모니터링

(1) 관측공의 직경은 100mm크기 이상으로 천공하며 취수정 배후측 상·하류에 2개소 이상 설치

(2) 관측공은 지면과 수평유지 및 훼손 방지를 위해 콘크리트 타설을 하여 고정시키고, 주변으로 볼라드 및 안전시설을 설치하여 외부 충격으로부터 시설물을 보호

(3) 설치되는 관측공은 자동측정 또는 수동측정 관측공을 설치할 수 있음

(4) 모니터링을 통하여 배후측 오염원 유입을 모니터링하여 취수정 주변 오염에 대비

(5) 지하수위 관측은 1시간 간격으로 주기적 측정을 실시하는 것을 원칙으로 하고 오염원 유입과 취수정의 영향권, 하천과 수리적 연결성, 효율변화를 확인

(나) 수질 모니터링

(1) 환경정책 기본법 시행령의 상수원수(하천수) 수질기준인 pH, EC, BOD, COD, DO, 탁도, 대장균군 등을 모니터링 함

(2) 수질분석 모니터링

1) 이중필터 취수정 수질분석을 위해 수질측정 샘플러를 설치

2) 채수되는 물시료는 설치된 다항목 수질측정기기에서 자동으로 수질분석이 이루어지게 함

3) 다항목수질측정기는 센서 상부까지 채울 수 있게 구성된 flow cell에 담겨져 있어야 하며 배출구를 통해 물의 흐름이 지속되어야 함

4) 다항목수질측정기에서 측정된 데이터는 Data Base 구축이 가능하도록 통신선을 연결해 통합운영시스템으로 보낼수 있도록 구성해야 함.

5) 다항목수질측정기기는 장기운영 시 감도가 떨어지거나 오류 가능성이 상존하므로 주기적으로 검·보정을 실시해야 함

6) 또한 정기적으로 수질시료를 채수하여 용도별 기준(먹는물, 생활용 등)에 맞추어 분석을 수행

(다) 유량 제어관리

(1) 유량계 설치

1) 배관의 관경과 동일한 크기의 유량계를 배관에 접합시켜 설치

2) 유량계 설치시 유량계 정류별로 상류측 과 하류측 수평직관부의 거리는 한국 산업(KS) 규격에 의함

- 검출기 전단의 직선 배관길이는 유량계 직경(D)의 최소 5배
- 검출기 후단의 직선 배관길이는 유량계 직경(D)의 최소 3배

3) 배관에 사용되는 바킹(가스켓)은 플랜지 규격에 적합한 것을 사용하며, 측정대상에 적절한 재질을 선택

4) 기존 배관을 절단하지 않고 유체 흐름을 중단하지 않은 상태에서 시공이 가능해야 함



유량계



삽입식 유량계



유량지시계

Fig 239. 유량계 설치

(라) 운영관리

① 시험운영

(1) 강변(해변)여과수 이중필터 취수시설 시공 완료 후 설계과정에서 산출된 취수가능량의 목표 수량확보 및 정상운영을 위한 검증단계로 각 시설이 설계에 규정된 성능으로 정상가동을 하는지 준공 전 점검하고, 발생된 문제를 수정·보완하며, 각 기기별, 설비간의 연계작동을 총괄적으로 검토하여 시설운영이 정상적으로 이루어지도록 해야 함

(2) 취수정을 시험 운영함으로써 주변간섭 등 영향을 통한 시공완료 초기 유량을 파악하여 향후 운영에 기초자료로 활용

(3) 사전점검

1) 부대시설 점검

① 시운전 개시후 원수유입 부족 수질관련 문제 등이 발생하지 않도록 관로를 점검

② 배수지 위치 및 급수구역, 시운전 일정에 따른 운영계획 등을 점검

2) 구조물 점검

① 각 구조물의 최종 마감상태(균열, 누수 등)를 확인

3) 기계·배관공사 점검

① 기기설치 점검은 설치위치, 수평도, Centering의 정확도 등을 확인

② 각종 회전기기, 밸브류 등에 대한 모든 포장재료, 테이프재료 등을 제거하고 가동부 틈새 등 외관 검사 및 수동작동 범위내에서 점검을 시행

③ 배관 Support, Paint 등 육안점검

4) 전기·계측제어공사 점검

① 전기·계측제어공사점검은 결선상태, 절연 등을 확인

② 전체 배선에 대한 누전 및 절연시험 실시

③ 계측설비 각종 센서류 등의 설치 및 결선상태를 확인

(4) 취수정 시험운영

① 정수위, 정유량시험 등 목적에 따른 취수정 및 주변 관측공의 수위 안정도를 확인할 수 있도록 최소 3개월 이상의 일정기간 양수량 검증 및 수질검증을 진행함

② 장기운영 기간동안 일간/주간/월간/ 수량, 수질변화를 관측·기록함

- 주변 전체관측공의 지하수위 증감 모니터링을 수행함
- 설계과정에서 산출된 안정취수량 미달로 판정될 경우 추가 시공여부에 대한 대안을 마련함

② 교육훈련

(1) 시설물 전반을 운영할 관리자는 시공도면, 시방 및 현장에 관해 숙지하고, 시설 운영방법, 장비 개/보수, 시스템 정비 등에 관한 기본 및 심화사항을 습득할 수 있도록 교육훈련 실시

Table 238. 교육훈련 계획

구분	교육과목	내용
실무교육	• 기초 지하수이론 • 시설물 운영이론 • 운영관리기술 최적화	• 기본이론 • 운영관리 요령 • 비상시 대처 및 운전요령
설비 및 전기계측 교육	• 전기설비 일반 • 수전변 및 동력설비	• 기본이론 • 강변여과수 적용관련 운영관리 요령
시스템 운영교육	• 네트워크 구성 및 장애관리 • 하드웨어 장애진단 방법 및 복구 • 소프트웨어 운영 및 설정방법	• 운전 상세교육 및 유지관리 • 비상 조치 방법

(마) 유지관리 방안

① 일반사항

(1) 화학적, 물리적원인으로 스크린, 취수관 등은 부식 및 스케일 등으로 양수량이 감소할 수 있으며 생물학적 작용으로 Slime이 스크린에 부착되어 통수단면을 감소시키기도 함

(2) 또한, 세사의 유입으로 스크린이 막히는 경우가 발생하며, 이에 따라 에어써징이나 세정제 사용 등 유지관리를 위한 조치가 고려되어 함

(3) 지속적인 정호상태 평가를 위해 양수량 및 수위 모니터링이 필요하며, 수위강하에 따른 양수량이 최초 개발량의 70%이하로 감소할 경우 취수정의 양수량 회복을 위한 재개발 또한 대책마련이 필요함

② 사전작업

(1) 사전 양수량 평가

1) 취수가능량을 평가하는 목적으로 실시하며, 취수가능량은 현장시험을 통해 계측하고, 양수시험 결과해석을 통해 해당 취수시설의 현재시점에서 취수가능량을 평가

(2) 공내영상촬영

1) 정호 설치상태 및 폐색진행 여부 미세립자 퇴적 정도를 육안으로 확인하기 위해 실시

2) 정호에 수중카메라를 투입하여 전방, 측방 모두 촬영하여 정호자재인 스크린 파손여부 및 막힘, 퇴적물을 식별하며, 막힘구간이나 퇴적구간을 기록하고, 우물청소시 집중적으로 적용

3) 또한 스크린 파손 혹은 함몰되어 있는 경우 우물청소를 진행하지 않고 정호는 폐공 처리

③ 세정작업

(1) 에어써징

1) 우물청소에 가장 많이 활용되는 방법으로 고압의 공기를 불어넣어 정호내부 미세립자 및 스케일을 제거하는 방법

2) 취수관 내부뿐만 아니라 필터층에 에어써징관을 설치하여 에어써징을 수행함으로써 이중필터 취수시설의 양수량을 개선

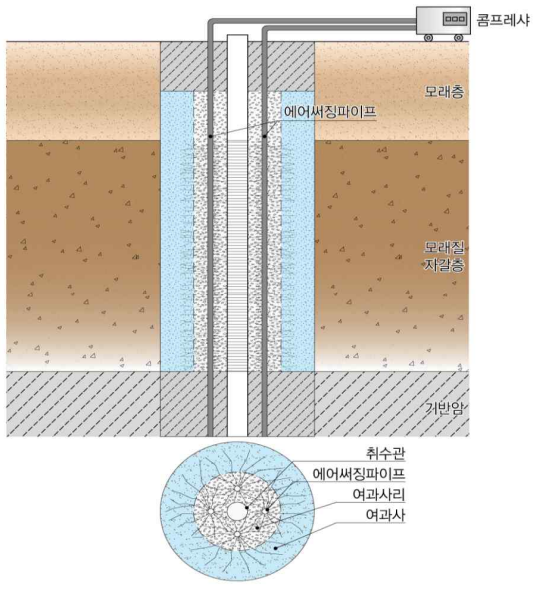


Fig 240. 현장 에어써징 개념도

④ 유지관리 주기선정

(1) 유지관리 주기선정

1) 스크린 및 대수층의 막힘현상 수중모터의 손상 등이 최소화될 수 있도록 사후관리를 위해 설치일자, 심도, 구경, 안정수위, 스크린제원 등 시설에 관한 사항들을 기록보관 함

2) 최초 개발 시와 비교하여 정호 비양수량(단위 수위강하에 따른 양수능력)이 70%이하로 감소되기 전에 재개발조치를 수행하여 세립자 혹은 생물막이 정호 인접 대수층으로 확산되지 않도록 해야 함

(바) 비상 대처 방안

① 풍수해 재해방지 대책

(1) 간접취수시설은 설치지역이 하천변에 설치되는 특수성이 따르는 만큼 태풍, 집중호우 등 자연재해에 대비하여 풍수해 예방대책을 수립하여 피해가 발생하지 않도록 사전대비 및 비상시 신속한 조치를 실시하여 인적·물적 피해를 최소화하여야 함

(2) 풍수해로 인한 재해방지 대책

① 위험지역 관리감독자를 지정, 사전점검 및 관리감독 강화

② 비상근무조 편성 및 연락망 운영

③ 수해대비 자재 및 장비 준비

④ 현장 특성별 비상시나리오 준비 및 훈련실시

⑤ 시설 폐쇄, 운영지속/중단 등 계획 수립

(사) 체크리스트를 통한 유지관리

① 취수정 시설 체크리스트

5.1 취수정 시설 체크리스트 [제1호 서식]

취수정 시설 제원

취수정 N0.			관측정의 종류	암반 / 충적층		
위 치	주소 : 경도 : 위도 : 표고:					
설치일자	년 월 일					
발주기관			시공기관			
정호심도	m		굴착구경	상부	mm	
				하부	mm	
케 이 싱	외 부	설치 구간	~ m			
		규격(직경)	mm			
	내 부	설치 구간	~ m			
		규격(직경)	mm			
무 공 관	설치 구간	~ m				
	규격(직경)	mm				
	재 질					
스트레나	설치 구간	~ m				
	규격(직경)	mm				
	재 질					
필 터 재	직경(내부)	mm	직경(내부)	mm		
자동관측기	설치유무	유 / 무	설치 심도	GL- m		
	제작회사					
	제 품 명		계기번호			
수질상태	pH		수온	℃	EC	μS/cm
	탁도		DO		NO3-	
	Fe		Mn		TDS	
지 층 구 성	심 도	지 층 명	특 성			
지 하 수 위	자연수위	GL- m	안정수위	GL- m		
측 정 일 시	년 월 일					

② 취수정 공사 체크리스트

5.2 취수정 공사 체크리스트

시공 CHECK LIST (이중필터 취수정)

[2017년 월 일]

NO.	점 검 항 목	점 검 사 항		점검 결과	서명
1	취수정 설치위치의 측량결과 좌표값은 어떠한가?	X			
		Y			
		Z			
2	천공시 외부케이싱의 수직도는 정확한가?				
3	지표에서 표토층의 심도와 두께는 몇 m인가?	심도			
		두께			
4	지표에서 모래층의 심도와 두께는 몇 m인가?	심도			
		두께			
5	지표에서 자갈층의 심도와 두께는 몇 m인가?	심도			
		두께			
6	지표에서 풍화암의 심도와 두께는 몇 m인가?	심도			
		두께			
7	최종 굴착심도는 몇 m인가?				
8	지하수위는 지표에서 몇 m인가?				
9	입도분석용 토층별 시료는 채취하였는가?	모래층 :	m		
		자갈층 :	m		
10	내부케이싱은 중심에 정확히 설치하였는가?				
11	취수관(스크린+무공관)은 중심에 정확히 설치하였는가?				
12	여과사 충진 후 진동다짐은 하였는가?				
13	에어써징은 30분 이상 하였는가?				
14	에어써징 후 지하수위는 지표에서 몇 m인가?				
15	지표면 취수관 상부주변 차수벽은 시행하였는가?				
16	취수정 설치완료 후 주변 평탄작업는 완료하였는가?				

③ 안전관리 체크리스트

5.3 안전관리 체크리스트

안전 CHECK LIST (이중필터 취수정)

[2017년 월 일]

NO.	점 검 항 목	점검결과	서명
1	근로자가 안전모 등 안전보호구를 착용하였는가?		
2	작업장비 운전원의 자격여부는 확인 하였는가?		
3	작업장비는 장비등록증을 구비한 것을 투입 하였는가?		
4	작업에 필요한 작업공간 및 자재적치장은 확보하였는가?		
5	작업장 주변에 외부인 출입금지 조치를 하였는가?		
6	천공케이싱 및 취수관 자재는 평탄한 지반에 적치 하였는가?		
7	천공케이싱 및 취수관 자재는 견고한 받침대로 고정 하였는가?		
8	지반상태 불량으로 인한 작업장비의 전도위험은 없는가?		
9	작업장비 운전 중 안전신호수는 배치하였는가?		
10	작업장비 운전 중 타 근로자 접근을 차단하였는가?		
11	크레인 와이어로프는 꼬이거나 손상되지 않고 양호한가?		
12	천공케이싱 및 취수관 인양 시 줄걸이는 양호한가?		
13	크레인으로 자재 인양 중 아웃트리거 설치는 잘 되었는가?		
14	오실레이터의 유압실리더 및 고압호스 상태는 양호한가?		
15	분전함의 접지 및 누전차단기/덮개 설치는 양호한가?		
16	작업장내 전기 사용 중 전선의 피복상태는 양호한가?		
17	작업장 정리정돈 상태는 양호한가?		

차. 소프트웨어

번호	종류	명 칭	종류	저작자(법인명)	법인등록번호	창작연월일	등록연월일
01	저작권 등록	**이중필터 성능 평가 프로그램**	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술>수치계산용S/W	강원대학교 산학협력단	140171-0003228	2019.08.28	2019.08.30



제 C-2019-023884 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	이중필터 성능 평가 프로그램
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술>수치계산용 S/W
3. 저작자 성명(법인명)	강원대학교 산학협력단 강원도 춘천시 강원대학길
4. 생년월일(법인등록번호)	140171-0003228
5. 창작연월일	2019년08월28일
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2019년08월30일
8. 등록사항	저작자 : 강원대학교 산학협력단, 창작 : 2019.08.28

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2019년 08월 30일

한국저작권위원회

2-8. 연구결과

가. 기술적성과

(가) 기존 강변여과 기술에 대한 경쟁력 검토

• 개발기술은 기존 기술에 대한 문제점을 보완 개선한 것으로써 현재 일반적으로 적용되는 충적층 여과기술인 일반 단일필터취수정 및 방사상집수정과 실질적인 경쟁관계에 놓일 수 있음

Table 239. 개발기술과 기존기술의 비교

구 분		개 요		특 징
기존 기술	단일필터취수정		•T4 or 바버드릴로 수직착정 후 취수관과 수중펌프를 설치하여 취수하는 공법	•강변 및 하상여과방식 •시공기간 : 4일/공
	방사상집수정		•대구경 우물통을 설치하고, 수평착정으로 수평 취수관을 매설하여 집수 후 취수하는 공법	•강변 및 하상여과방식 •시공기간 : 5개월/공
개발 기술	이중필터취수정		•대구경 착정기 굴착으로 이중케이싱을 설치한 후 이중필터층을 형성하여 취수하는 공법	•강변 및 하상여과방식 •시공기간 : 4일/공

• 개발기술과 경쟁기술의 장단점을 분석하면 개발기술이 경쟁기술 대비 높은 우월성이 있음

Table 240. 개발기술에 대한 경쟁기술의 강점 및 약점

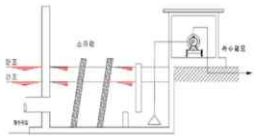
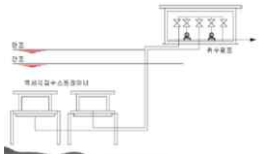
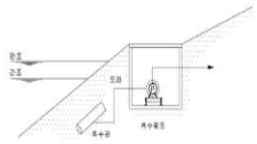
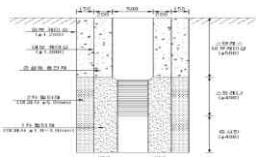
구 분	개발기술 대비 강점	개발기술 대비 약점
단일필터 취수정	•저비용으로 소규모의 취수량을 확보할 경우 적합 •취수정별 가동중단시 물량 확보에 대한 위험부담이 매우 적음	•중규모의 취수량 확보에 적합한 개발기술 대비 낮은 초기취수량과 장기적 취수효율이 급격히 감소 •취수효율저하에 따른 유지관리비 증대 •취수정 수명이 짧음 •설치공수 증가에 따른 소요 부지면적 증대
방사상 집수정	•단일공으로 대규모 취수량 확보에 유리 •수평정 굴진 길이에 따라 취수량 조절의 선택폭이 넓음	•공사비가 매우 고가 •취수정별 가동중단시 물량확보에 대한 위험부담이 매우 큼 •작업공정이 복잡하여 장기간의 공사기간 소요(5개월/공) •유지관리가 복잡하고 고비용 소요 •시간이 지남에 따라 취수량이 감소

(나) 기존 해수 취수 기술에 대한 경쟁력 검토

• 일반적인 기존 해수 취수방식은 해변에서 일정거리 떨어진 해저에 취수배관을 매설하여 해수를 직접 취수하는 방식으로 장기간 경과에 따라 취수구 입구나 그 주변에 해조류나 어폐류 등이 부착하여 성장하기 때문에 취수구 입구를 막거나 폭풍우시에는 온갖 부유물들이 유입되어 양질의 해수취수에 어려움이 발생. 개발기술은 해저 사력층에서 자연 여과된 해수를 취수하기 때문에 태

풍과 같은 폭풍우나 각종 해조류 및 어패류의 생장에 의한 수량부족 또는 수질악화 문제와는 무관하게 전천후로 취수할 수 있는 장점이 있음

Table 241. 개발기술과 경쟁기술의 공법개요 및 특징

구 분			개 요
기존 기술	대용량 해수취수설비		•수심이 비교적 얕고 안정적인 수원이 확보된 곳에 관로에 의한 자연도수 방식으로 육지의 취수조까지 유입되는 방식 •직접 취수
	스트레이너 장착 해수취수설비		•해저 취수탑에 스트레이너를 설치하여 취수, 취수저항이 커지면 펌프1대는 역세, 나머지1대는 취수를 하는 방식 •직접 취수
	투수관이용 해수취수설비		•해안의 모래밭에서 취수하는 방법 •장치형 매설식 해수취수시설 신기술의 경우 조수간만의 영향을 적게 받음 •간접 취수
개발 기술	이중필터취수정		•대구경 관정에 의해 지하 해수를 취수하는 방법 •대구경 착정기로 굴착하여 이중케이싱을 설치한 후 이중필터층을 형성하여 취수하는 공법 •간접 취수

- 해수취수를 수행하는 경우 기존에 문제시되었던 기상악화나 태풍 등에 의한 파손우려를 해소할 수 있으며, 해변 모래층이 필터재 역할을 하여 오염정도를 개선하는 효과가 있을 것으로 기대됨
- 특히, 개발기술은 중규모의 안정적인 수량 및 수질 확보 가능하고, 태풍 등의 기후변화에 무관하게 운영가능하며, 염분농도가 낮은 염지하수 취수 가능하다는 장점이 있으며, 특히 기존 간접취수방식의 유지관리성능을 향상시킬 수 있음을 실증시험을 통해 확인하였음

Table 242. 개발기술에 대한 경쟁기술의 강점 및 약점 검토

구 분	강 점	약 점
대용량 해수취수설비	•대용량 취수 가능 •시설비 비교적 저렴 •공사기간 비교적 짧음	•조수간만의 차가 적어야 함 •원수의 오염발생 지역은 운영비 높음 •해양생물의 고착을 고려하여 취수관을 크게 해야 하고 주기적으로 관청소가 필요 •전처리 비용이 비교적 높음
스트레이너 장착 해수취수설비	•대규모 안정적 수질 확보 가능	•시설비가 비쌈 •공사기간이 김 •스트레이너의 주기적인 교체비 필요 •조수간만의 차가 적어야 함
투수관이용 해수취수설비	•소규모 안정적인 수량 및 수질확보 가능 •태풍 등 기후변화에 무관하게 운영가능 •매설식이므로 대수층 조건 불필요	•시설 설치비용 필요 •모래 및 스트레이너 등 주기적인 교체비 필요 등 유지관리비 높음 •공사기간이 상대적으로 김

구분	이중필터취수정	단일필터취수정	방사상집수정
개요			
공법 설명	• 대구경 착정기 굴착으로 이중케이싱을 설치한 후 이중필터층을 형성하여 취수하는 공법	• T4 or 바버드릴로 수직착정 후 취수관과 수중펌프를 설치하여 취수하는 공법	• 대구경 우물통을 설치하고, 수평착정으로 수평 취수관을 매설하여 집수후 취수하는 공법
주요 공정	① 굴착 및 외부케이싱 압입 ② 내부케이싱 설치 ③ 취수관 설치 ④ 이중필터재 충진 [1차 필터재 (외부-내부)·2차 필터재 (내부-취수관) 충진] ⑤ 외부 및 내부·케이싱 인발 ⑥ 심정펌프 및 취수본관 설치	① 바버 천공 ② 케이싱 설치 ③ 취수관 설치 (Φ200~300mm) ④ 단일필터재 충진 ⑤ 외부케이싱 인발 ⑥ 심정펌프 및 취수본관 설치	① 슈 & 우물통 제작 설치 ② 우물통내 토사 제거 ③ 우물통내 압입과 굴착 반복 → 완료 ④ 우물통내 작업대 설치 ⑤ 천공/우물자재 설치 수평천공 → 스트레나 설치 → 외부케이싱제거 → 슬리브·제수변 설치 ⑥ 펌프 및 취수관 설치
특징	• 시공기간 : 4일/공	• 시공기간 : 4일/공	• 시공기간 : 5개월/공
장점	• 원지반과 필터재의 교란 최소화로 대수층 투수율 확보가능 • 고효율 스크린과 이중필터재 적용하여 취수용량 극대화로 안정적 취수가능	• 저비용으로 소규모의 취수량 확보할 경우 적합 • 바버드릴 착정으로 시공기간이 짧음 • 충적층의 여과작용으로 수질 개선효과 있음	• 충적층의 여과작용으로 수질 개선효과 양호 및 돌발수질 오염사고 대처 가능 • 수평정 굴진 길이에 따라 취수량 조절의 선택폭이 넓음
평균 양수량	2,000㎥/일	500㎥/일	12,000㎥/일
유지 관리성	• 기간이 지남에 따라 양수효율 거의 일정 • Surging : 1회/2년	• 필터층이 얇아 시간이 지남에 따라 양수효율 감소 • Surging : 1회/2년	• 기간이 지남에 따라 양수효율 감소 • 유지관리 어려움
경제성	73,000원/톤	102,000원/톤	196,000원/톤
검토 결과	• 대산 및 칠서정수장에 적용된 지 18년이 지난 현재까지 안정적으로 취수하고 있는 검증된 공법 • 충적층 여과작용으로 양호한 수질확보가 가능하고, 고효율 스크린과 이중필터재 사용으로 취수용량을 극대화하여 톤당 취수비가 가장 저렴하여 농업용수 공급에 최적임	• 돌발적인 취수정 작동 중단시 위험부담은 낮으나 필터층이 얇아 시간경과에 따라 막힘현상의 발생으로 취수량이 감소되면서 취수 효율이 저하되어 취수정 수명이 단축됨 • 또한 취수 효율개선을 위한 유지관리비가 많이 듬	• 충적층 여과작용으로 안정적인 수질확보가 가능하나 돌발적인 취수정 작동중단시 취수량 확보에 대한 위험부담이 크고 공사비가 매우 고가임

(다) 공사비용 절감효과

• 초기투자비용은 설계비, 감리·기타비용, 공사비의 합으로 전국 가축분뇨 처리시설을 대상으로 조사를 실시하였으며, 물가상승률을 반영한 초기투자비용의 총합과 톤당 초기투자비용으로 분석

Table 243. 원가계산에 따른 공사비 산출

구 분			이중필터취수정	단일필터취수정	방사상집수정
			D1200mm	D300mm	굴착경D6000mm + 수평정D200mm
			개발기술	기존공법	기존공법
공사원가	재료비	직접재료비	32,414,431	11,688,420	673,713,698
		간접재료비			
		작업물,부산물 (-)			
		소계	32,414,431	11,688,420	673,713,698
	노무비	직접노무비	43,393,906	14,816,224	717,761,007
		간접노무비	5,511,026	1,881,660	91,155,647
		소계	48,904,932	16,697,884	808,916,654
	경비	기계경비	25,566,176	9,184,196	247,537,653
		산재보험료	1,833,934	626,170	30,334,374
		고용보험료	425,472	145,271	7,037,574
		건강보험료	1,401,623	478,564	23,183,680
		연금보험료	1,952,725	666,730	32,299,245
		노인장기건강보험료	119,278	40,726	1,972,931
		퇴직공제부금비	998,059	340,773	16,508,503
		산업안전관리비	2,221,184	776,586	40,770,208
		기타경비	7,156,103	2,497,994	130,471,470
		소계	41,674,554	14,757,010	530,115,638
순공사비			122,993,917	43,143,314	2,012,745,990
일반관리비(6%)			7,379,635	2,588,598	120,764,759
이윤(15%)			14,693,868	5,106,523	218,969,557
총원가			145,067,420	50,838,434	2,352,480,306

Table 244. 유지관리비용

구 분	개발기술	기존기술	
	이중필터취수정	단일필터취수정	방사상집수정
평균양수량	2,000㎥/일	500㎥/일	12,000㎥/일
경 제 성 (톤당공사비)	73,000원/톤	102,000원/톤	196,000원/톤
	이중필터 대비	28% 절감	63% 절감

(라) 유지관리비용 절감효과

- 취수량을 12,000톤/일을 기준으로 하는 경우 방사상집수정 1공, 이중필터취수정 6공, 단일필터취수정 24공의 설치가 필요(대산정수장 사례 적용)
- 유지관리 기간은 이중필터취수정과 단일필터취수정은 1회/2년으로 설정하였으며, 방사상집수정은 대산정수장에서 설치 후 1회 세정한 것으로 고려하여 1회/4년을 적용
- 20년을 운영한다고 가정하는 경우 이중필터취수의 유지관리비용은 228백만원으로써 단일필터취수정 대비 75%, 방사상집수정 대비 약 80%의 유지관리비용절감 효과 발생
- 단일필터취수정이 수명이 10년 내외로 짧은 것을 감안하면 단일필터취수정 대비 유지관리비용 절감효과는 더욱더 증대될 것으로 예상됨

Table 245. 우물별 유지관리 비용 검토

구분	이중필터취수정	단일필터취수정	방사상집수정
취수량	12,000	12,000	12,000
공당취수량	2,000	500	12,000
설치공수	6공	24공	1공
유지관리 단가	3,800,000원/공	3,800,000원/공	225,000,000원/공
유지관리 기간	1회/2년	1회/2년	1회/4년
유지관리 비용(20년)	228,000,000원	912,000,000	1,125,000,000



(마) 경제성 분석 결과

- LCC 분석에 있어 기능을 동일한 조건으로 맞추어 분석하기 위해 취수량을 12,000톤/일을 기준으로 하는 경우 방사상집수정 1공, 이중필터취수정 6공, 단일필터취수정 24공의 설치가 필요(대산정수장 사례 적용)함
- 유지관리 기간은 이중필터취수정과 단일필터취수정은 1회/2년으로 설정하였으며, 방사상집수정은 대산정수장에서 설치 후 1회 세정한 것으로 고려하여 1회/4년을 적용하였음
- 이중필터취수정의 초기건설비용은 145,067,420원, 단일필터취수정 50,838,434원, 방사상집수정 2,352,480,306원이 투자되며, 12,000톤/일을 생산하기 위한 공수를 근거로 유지관리비용을 적용하여 산정하였음

- 분석기간 20년을 적용하여 분석한 결과 이중필터취수의 LCC는 할인율 4.5%기준 296.6백만원으로 단일필터취수정 대비 55%(657.0백만원), 방사상집수정 대비 약 90%(3,067.4백만원)의 비용절감 효과 발생하는 것으로 분석됨
- 단일필터취수정이 수명이 10년 내외로 짧은 것을 감안하여 운영기간중 2회 설치하는 것으로 분석하여 비교 평가함
- 단일필터취수정의 수명을 고려하여 분석한 결과 할인율 4.5%적용시 단일필터취수정의 비용현가는 678.1백만원으로 이중필터취수가 56% 개선되어 경제성이 있는 것으로 분석됨

Table 246. LCC 산정의 비용 요소

구 분	이중필터취수정	단일필터취수정	방사상집수정
	D1200mm	D300mm	굴착경D6000mm + 수평정D200mm
	신기술공법	기존공법	기존공법
초기건설비용	145,067,420	50,838,434	2,352,480,306
취수량	12,000	12,000	12,000
공당취수량	2,000	500	12,000
설치공수	6공	24공	1공
유지관리 단가	3,800,000원/공	3,800,000원/공	225,000,000원/공
유지관리 기간	1회/2년	1회/2년	1회/4년

Table 247. 할인율 3% 적용시 (단위 : 원)

구 분	이중필터취수정	단일필터취수정	단일필터취수정	방사상집수정
	D1200mm (내구년수20년)	D300mm (내구년수20년)	D300mm (내구년수10년)	굴착경D6000mm+수평정D200mm (내구년수20년)
	신기술공법	기존공법	기존공법	기존공법
2020	145,067,420	50,838,434	50,838,434	2,352,480,306
2021	22,135,922	88,543,689	88,543,689	-
2023	20,865,230	83,460,919	83,460,919	205,906,873
2025	19,667,480	78,669,921	78,669,921	-
2027	18,538,486	74,153,946	74,153,946	182,945,590
2029	17,474,301	69,897,206	69,897,206	-
2031	16,471,205	65,884,820	36,726,766	162,544,787
2032	-	-	63,965,845	-
2033	15,525,691	62,102,762	-	-
2034	-	-	60,293,944	-
2035	14,634,452	58,537,810	-	144,418,938
2036	-	-	56,832,825	-
2037	13,794,375	55,177,500	-	-
2038	-	-	53,570,388	-
2039	13,002,521	52,010,086	-	128,314,356
2040	-	-	50,495,229	-
총 계	317,177,085	739,277,093	767,449,113	3,176,610,851
	이중필터 대비	57% 개선	58.6% 개선	90% 개선

Table 248. 할인율 4.5% 적용시 (단위 : 원)

구 분	이중필터취수정	단일필터취수정	단일필터취수정	방사상집수정
	D1200mm (내구년수20년)	D300mm (내구년수20년)	D300mm (내구년수10년)	굴착경D6000mm+수평정D200mm (내구년수20년)
	신기술공법	기존공법	기존공법	기존공법
2020	145,067,420	50,838,434	50,838,434	2,352,480,306
2021	21,818,182	87,272,727	87,272,727	-
2023	19,979,563	79,918,250	79,918,250	197,166,736
2025	18,295,884	73,183,535	73,183,535	-
2027	16,754,089	67,016,355	67,016,355	165,336,403
2029	15,342,221	61,368,884	61,368,884	-
2031	14,049,331	56,197,325	31,326,579	138,644,716
2032	-	-	53,777,344	-
2033	12,865,393	51,461,574	-	-
2034	-	-	49,245,525	-
2035	11,781,226	47,124,904	-	116,262,100
2036	-	-	45,095,602	-
2037	10,788,422	43,153,686	-	-
2038	-	-	41,295,394	-
2039	9,879,281	39,517,123	-	97,492,902
2040	-	-	37,815,429	-
총 계	296,621,011	657,052,799	678,154,059	3,067,383,163
	이중필터 대비	54.8% 개선	56.2% 개선	90.3% 개선

Table 249. 할인율 5.5% 적용시 (단위 : 원)

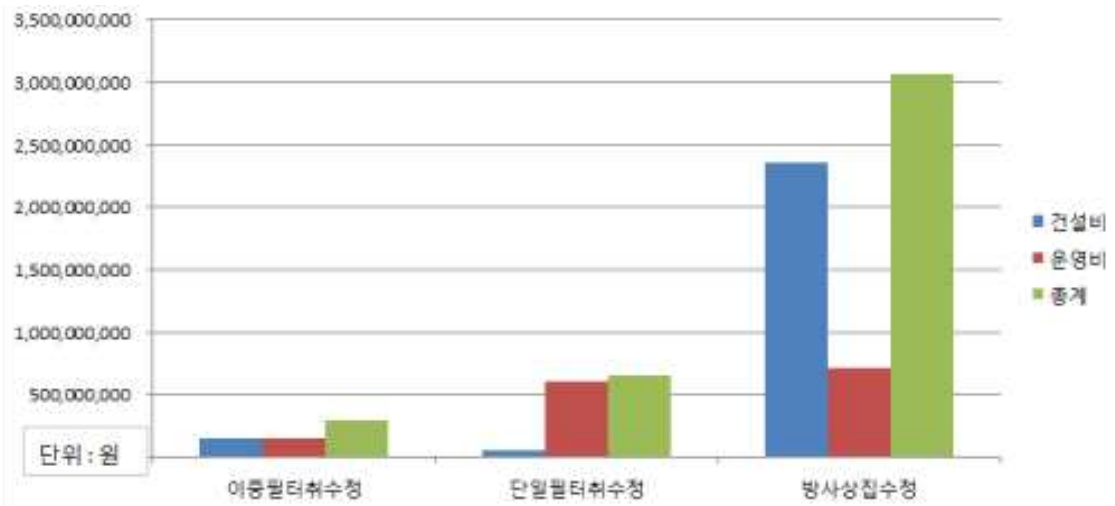
구 분	이중필터취수정	단일필터취수정	단일필터취수정	방사상집수정
	D1200mm (내구년수20년)	D300mm (내구년수20년)	D300mm (내구년수10년)	굴착경D6000mm+수평정D200mm (내구년수20년)
	신기술공법	기존공법	기존공법	기존공법
2020	145,067,420	50,838,434	50,838,434	2,352,480,306
2021	21,611,374	86,445,498	86,445,498	-
2023	19,416,792	77,667,166	77,667,166	191,613,074
2025	17,445,063	69,780,253	69,780,253	-
2027	15,673,559	62,694,237	62,694,237	154,673,282
2029	14,081,947	56,327,789	56,327,789	-
2031	12,651,959	50,607,838	28,210,781	124,854,863
2032	-	-	47,969,514	-
2033	11,367,184	45,468,734	-	-
2034	-	-	43,098,326	-
2035	10,212,873	40,851,494	-	100,784,936
2036	-	-	38,721,795	-
2037	9,175,781	36,703,123	-	-
2038	-	-	34,789,690	-
2039	8,244,002	32,976,010	-	81,355,288
2040	-	-	31,256,881	-
총 계	284,947,955	610,360,576	627,800,365	3,005,761,749
	이중필터 대비	53.3% 개선	54.6% 개선	90.5% 개선

• 유지관리 단가는 3,800,000원/공으로 유지관리 기간을 고려하여 분석한 결과 20년(할인율 4.5%) 이중필터취수정 296,621,011 원, 단일필터취수정 657,052,799 원, 방사상집수정 3,067,383,163 원으로 각각 분석됨

구 분	이중필터취수정	단일필터취수정	방사상집수정
	D1200mm	D300mm	굴착경D6000mm + 수평정D200mm
	신기술공법	기존공법	기존공법
초기건설비용	145,067,420	50,838,434	2,352,480,306
취수량	12,000	12,000	12,000
공당취수량	2,000	500	12,000
설치공수	6공	24공	1공
유지관리 단가	3,800,000원/공	3,800,000원/공	225,000,000원/공
유지관리 기간	1회/2년	1회/2년	1회/4년
할인율 3%(20년)	317,177,085 원	739,277,093 원	3,176,610,851 원
할인율 4.5%(20년)	296,621,011 원	657,052,799 원	3,067,383,163 원
할인율 5.5%(20년)	284,947,955 원	610,360,576 원	3,005,761,749 원

• 이중필터취수정의 초기건설비용은 단일필터취수정 보다 2.85배 투자되나, 운영비는 151,553,591원(20년, 할인율 4.5%)으로 4배 이상 경제적인 것으로 분석되었으며, 단일필터취수정보다 360,431,787원 절감되며, 방사상집수정 대비 2,770,782,152원 절감되는 것으로 분석됨

구 분	이중필터취수정	단일필터취수정	방사상집수정
	D1200mm	D300mm	굴착경D6000mm + 수평정D200mm
	신기술공법	기존공법	기존공법
건설비 (원)	145,067,420	50,838,434	2,352,480,306
운영비 (원)	151,553,591	606,214,365	714,902,857
총 계 (원)	296,621,011	657,052,799	3,067,383,163
	이중필터 대비	54.8% 절감	90.3% 절감



(바) 연구 실적물

- 1차년도 성과

구 분		성 과		비고 (실적/계획)
		건 수	명 칭	
공인인증	특허	출원 1건	• 교체가 가능한 2중 필터팩을 사용하는 충적정호 및 이의 시공 방법	출원 1건 / 1건
	논문게재	1건	• 자유면대수층에서 필터층이 취수량 및 우물효율에 미치는 영향에 대한 실험적 연구 • 이중필터 성능평가를 위한 단계양수시험 연구(탈락)	1건 / 2건

- 2차년도 성과

구 분		성 과		비고
		건 수	명 칭	
공인인증	특허	출원 2건, 등록 3건	• 취수정의 여과재 교체 및 유지 보수 방법 • 교체가 가능한 2중 필터팩을 사용하는 충적정호 및 이의 시공 방법 • 충적호와 결합한 지중 열교환장치	출원 2건 / 1건 등록 1건 / 0건
	논문게재	2건	• 충적우물에서 필터층 변화에 따른 투수특성, 적정양수량 및 장기적 안정성에 대한 연구 • Current status and management for the sustainable groundwater resources in Korea	2건 / 2건 (일반 1건 SCI 1건)

- 3차년도 성과

구 분		성 과		비고
		건 수	명 칭	
공인인증	신기술	-	• 지층 특성별 이중필터 구조를 갖는 강변(해변) 여과수 대구경 수직취수공법(이중필터 취수공법)	재신청 (준비)
	논문게재	2건	• 현장실증시험에 의한 단일 및 이중필터층 우물의 해수 여과 특성 연구	3건 / 2건 (게재완료)
			• 산업단지 지하수 오염원 위치 및 누출 이력규명 기술의 특성분석	
			• 강변여과수 취수를 위한 충적우물에서 필터층이 수위강하특성, 투수성, 적정양수량 및 우물효율에 미치는 영향에 대한 현장실증 연구	

– 기타 성과

구 분	내 용	비 고 (홍보 일시)
1. 사업화 실적	• 사업화 실적 2건 (2018년 1건, 2019년 1건) 가. 수자원공사, 지하수 인공함양관정 및 부대시설 설치공사(109백만원)	2018. 10. 04
	나. 한국농어촌공사, 진주단목지구 지하수 함양사업(261백만원)	2019. 04. 01
2. 성과홍보	• 한국농어촌공사 경남지역본부 성과홍보(구매상담회) (집단하우스시설 재배단지 농업용수공급사업)	2018. 02. 01
	• 보령축협, 대천시 관계자 성과홍보 (대천항 수협위판장 용수공급사업)	2018. 02. 12 (2018. 02. 05)
	• 한국농어촌공사 함안지사 및 함안군 성과홍보 (집단하우스시설 재배단지 농업용수공급사업)	2018. 03. 08
	• 강릉원주대 해양생물연구교육센타 성과 홍보 (해양생물 사육용 해수공급사업)	2018. 04. 12
	• 한국농어촌공사 강원지역본부 성과홍보 (농업용수 공급사업, 중소기업제품 구매상담회)	2018. 06. 14
	• 한국농어촌공사 경북지역본부 성과홍보 (농업용수 공급사업, 중소기업제품 구매상담회)	2018. 09. 13
	• 한국농어촌공사 충남지역본부 성과홍보 (농업용수 공급사업, 중소기업제품 구매상담회)	2018. 10. 12

나. 경제적성과

(1) 사회/경제적 이슈

• 강변 및 해변여과 취수기술은 매질에 의한 자연 정화기능과 충분한 용수확보가 가능하다는 측면에서 농업, 어업 및 다양한 분야의 용수공급 사업에 활용이 가능하며, 저비용의 용수공급을 통해 해당 산업의 경쟁력 개선 및 일자리 창출이 가능

국 내	해 외
• 우리나라 인구와 1인당 가용 수자원량을 예측한 결과 2005년에는 1,453㎥이며, 2025년에는 1,340㎥으로 감소할 것으로 전망(국제인구행동연구소(PAI) 연구보고서, 2003) • 향후 발생가능한 물부족 사태를 대비하여 다양한 수원을 대상으로 취수기술을 확보할 필요가 있으며, 이러한 차원에서 본 연구기술이 유용하게 활용될 수 있음 • 현재 국내 강변여과수 시장과 해변여과수 및 해수담수화 사업 등 본 기술과 연관될 수 있는 시장이 지속적으로 성장할 것으로 예상됨	• 인구증가에 따른 세계적인 물 부족 현상, 산업발달에 따른 심각한 물 오염 등 문제발생 • 특히, 개발도상국의 경우 인구증가, 경제성장로 인한 물수요 증가, 기후변화로 인한 가뭄 등의 재난으로 물부족 및 수질확보가 이슈화되고 있음 • 이에 따라 물산업에 대한 지속적인 투자로 연 평균 4.9% 씩 성장할 것으로 예상됨 • 해외시장 중에서도 아직 환경설비가 갖추어지지 않고 발전이 지속되고 있는 동남아시아 및 중국시장에 대한 관심이 요구됨
연합뉴스 〈새해 구상〉 허성곤 김해시장 "시 발전에 여야 따로 없다" "내년 중 100% 강변여과수 공급, 현안사업 예산 과감히 투자"	전자신문 etnews 국토부, UAE와 해수담수화 등 수자원분야 협력 체계 구축한다

(2) 상수도 원수에 대한 수요자의 불안감 해소 및 안정적 수량 확보를 위한 이중필터 취수시설의 적용성

- 우리나라에서는 각종 오염의 증대로 인하여 먹는 물의 원수인 지표수 수질이 갈수록 악화 위험 속에 있음
- 특히, 낙동강 하류지역은 상류에서 내려오는 오염물질이 누적되어 수질 오염도가 높아 양질의 먹는 물 확보에 어려움을 겪고 있음
- 낙동강변 고수부지는 강변 여과수의 개발여건이 양호하며 표류수의 수질 악화나 돌발상황으로 인한 오염에 대해 자연 여과효과 및 자정효과를 기대할 수 있음
- 강변 여과수는 4대강변 및 지역하천을 대상으로 소요 수량을 안정적으로 확보할 수 있어 물부족 해소에 효과적으로 대응할 수 있음

(3) 수변지역 대규모 시설재배지의 농업용 취수시설로서의 보급성

- 계절적 가뭄에 따른 농가의 물부족 해소와 집단 시설재배면적 확대에 따라 증가하는 농업용수 소요량 해결을 위하여 본 기술을 적용함으로써 농가의 영농활동에 지장 없도록 지원가능
- 특히, 수막재배 농가에 대해 갈수기인 겨울철에 수막용수를 안정적으로 공급함으로써 혹한에 의한 작물의 집단폐사를 방지하고 난방비 부담을 경감하여 농업 경쟁력을 높일 수 있음

(4) 어항 현대화 및 다기능 어항 확충를 위한 해수 취수시설로서의 보급성

- 본 기술은 해변 근거리에서 수요처의 필요 해수량을 연중무휴로 공급할 수 있는 해수 취수시설로서, 국가 및 지방 어항, 어촌계 및 수협 위판장에 해수를 공급하는 공익성 역할 외에 수산물시장·직매장, 냉동·가공공장 등 유통·가공시설 및 회센터 등에 활용 편리성 제공
- 또한, 수자원 감소로 어선이 감척 및 폐선되고 있으며 노령화로 인해 어업인력이 감소되는 상황에서 새로운 어업외 소득원 개발이 절실한 현실에서 숙박·사우나, 위락시설 등 휴게시설에 해수 공급같이 해수 활용시설로 활용범위를 확대시켜 일자리 창출에 기여할 수 있음

(5) 국내 소규모 해수 담수화 시설용 해수 취수시설로서의 보급성

- 도서지역의 물 문제 해결을 위한 해수 담수화 사업은 꾸준히 증가할 것으로 예측되며, 본 기술을 도서지역 해수 담수화 시설의 취수시설로서 활용 가능함

(6) 바다로 방류되는 수자원의 효과적 활용성

- 하천이나 강을 따라 흐르는 표류수는 대부분 바다로 흘러 들어가고, 일부가 강변(하천변) 바닥에 형성된 충적층을 통해 지하로 유입되어 충적대수층을 형성하게 되는데 이 수자원을 활용하는 본 기술은 우수한 취수효율과 시설 집약화를 통해 무분별한 착정에 의한 지하수 난개발을 억제하여 지하수 자원의 효과적 활용 및 유지관리에 기여

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표

가. 최종 성과 목표 및 평가 방법

성과목표	평가방법
보유기술의 개선	• 지층에 따른 필터재의 층위, 두께변화에 따른 최적 이중필터취수정 개발 • 이중필터취수정에서의 필터재 진동 다짐기술 개발과 적용성 확인 및 취수효율 평가 • 이중필터취수정에서의 에어써징기술 개발과 적용성 확인 및 취수효율 평가 • 이중필터 설치기술과 진동다짐기술, 에어써징 기술을 결합한 이중필터 강변(해변)여과수 취수기술 개발
실내/현장 실증시험 및 수치모의를 통한 검증과 논문게재, 지적재산권 취득	• 실내시험 및 현장실증시험을 통한 개발기술의 우수성 및 적용성 검증 • 실내/현장시험 결과를 바탕으로 한 수치해석 및 모델링을 기초로 단일필터 대비 이중필터의 성능 및 효과를 검증, 최적 설계방안 도출 및 장기적 안정성 평가 • 추가적인 특허, 신기술 출원 및 등록
테스트베드 구축 및 실규모 검증을 통한 기술수준 향상	• 테스트베드 설계, 구축 및 운영매뉴얼 개발 • 지층구성이 다른 테스트베드를 선정하고 각 테스트베드에서 실규모의 실증시험을 수행 및 기술보완
설계 및 시공기술 표준화	• 표준화된 설계서(설계도면 및 사양서 등)와 체계적이고 구체적인 시공을 위한 시방서 기준 수립
현장적용 효과	• 기술개발 결과물의 현장 시험적용 • 기술개발 결과물에 대한 수요자의 요구 만족도 측정(설문조사 등)
비용절감 효과 분석 및 사업화	• 취수용량 대비 공사비용 및 유지보수비용 절감효과 분석 • LCC 절감 효과 분석 • 기술실시권 확보와 정량화되어 검증된 개발기술을 가지고 관련기관에 홍보하여 사업화 추진

나. 단계 성과 목표 및 평가 방법

구분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	단계별 설명
기초연구단계	TRL 1	해당없음	해당없음	해당없음	해당없음	【기초실험】 기본원리발견
	TRL 2					【개념정립】 기술개념과 적용분야의 확립
실험단계	TRL 3					【기본성능검증】 분석과 실험을 통한 기술개념 검증
	TRL 4					【부품/시스템 성능검증】 연구실 환경에서의 Working Model 개발
시작품단계	TRL 5					【장치/시스템 시제품 제작】 유사 환경에서의 Working Model 검증
	TRL 6	■	□	□	□	【시제품 성능평가】 유사 환경에서의 프로토타입 개발
실용화단계	TRL 7	□	■	□	□	【시제품 신뢰성평가】 실제 환경에서 시제품 데모
	TRL 8	□	□	■	□	【시제품 인증】 상용제품 시험평가 및 신뢰성 검증
양산단계	TRL 9	□	□	□	■	【사업화】 상용제품생산

다. 연차별 성과 목표

(1) 1차년도 성과점검 기준표

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		성과지표		1차년도 질적성과			측정 방법	검증 방법	해당 기관	예산 (백만)	1차년도 양적 성과		
							목표치	가중치	달성치					목표치	가중치	달성치
총괄	A	보유기술의 개선	A-1	테스트베드 조사/설계	①	조사성과/도면	1건	1	1건	도면 작성	보고서	동부	50.4	보고서 : 1건	9.4	100%
			A-2	성능시험	①	취수효율	20%향상	6	160%	유량계	보고서	산하토건	299.5	보고서 : 1건	56.1	100%
					②	다짐율	5%향상	2	8.3% 향상	체적	보고서					
					③	에어써징 효율	5%향상	3	64.7% 향상	유량계	보고서					
	B	시험 및 수치모의를 통한 검증과 논문게재, 지적재산권 취득	B-1	시제품 성능	①	수치모의	1건	4	1건	보고서 작성	보고서	강원대	42.5	보고서 : 1건	8.0	100%
			B-2	학술지 게재 및 발표	①	논문게재	2건	1	1건	논문 작성	논문	산하토건 강원대	31.0	논문게재 : 2건	5.8	50% (1건 심사탈락)
			B-3	지적재산권 취득 건수	①	특허출원	1건	1	3건	신청	출원 번호	산하토건 동부	31.4	특허출원 : 1건	5.9	100% (특허출원 2건 초과 달성)
	C	테스트베드 구축 및 기술수준 향상	C-2	테스트베드 운영 지침 및 매뉴얼 개발	①	기술보고서	1건	2	1건	보고서 작성	보고서	동부	79.2	보고서 : 1건	14.8	100%
계								20					534	특허 출원 : 1건 논문게재 : 2건 보고서 : 4건	100	특허 출원 : 3건 논문게재 : 1건 보고서 : 4건

(2) 2차년도 성과점검 기준표

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		성과지표		2차년도 질적성과			측정 방법	검증 방법	해당 기관	예산 (백만원)	2차년도 양적 성과		
							목표치	가중치	달성치					목표치	가중치	달성치
총괄	A	보유기술의 개선	A-1	테스트베드 조사/설계	①	조사성과 / 도면	1건	1	1건	도면 작성	보고서	동부	52.5	보고서 : 1건	8.3	100%
	B	시험 및 수치모의를 통한 검증과 논문게재, 지적재산권 취득	B-1	시제품 성능	①	수치모의	1건	3	1건	보고서 작성	보고서	강원대	25.5	보고서 : 1건	4.0	100%
			B-2	학술지 게재 및 발표	①	논문게재	2건	1	1건	논문 작성	논문	산하토건 강원대	34.1	논문게재 : 2건	5.4	100%
			B-4	지적재산권 취득 건수	①	특허출원	1건	1	등록2건	신청	출원 번호	산하토건 동부	37.5	특허출원 : 1건	6.0	100% (등록 2건 초과 달성)
	C	테스트베드 구축 및 기술수준 향상	C-1	테스트베드 구축 및 개선 건수	①	시제품 제작	1건	5	1건	설치	현장 확인	산하토건	202.5	시제품 : 1건	32.2	100%
			C-2	테스트베드 운영 지침 및 매뉴얼 개발	①	기술보고서	1건	2	1건	보고서 작성	보고서	동부	82.5	보고서 : 1건	13.1	100%
			C-3	테스트베드를 통한 기술수준 향상도	①	취수효율	20% 향상	6	39.2%	양수 시험	보고서	산하토건	195.4	시험성적서 : 3건 보고서 : 1건	31.0	100%
					②	에어써징 효율	5% 향상	1	29.3%							
계								20					630	특허출원 : 1건 논문게재 : 2건 시제품 : 1건 시험성적서 : 3건 보고서 : 4건 안전성 : 1건	100	특허등록 : 2건 논문게재 : 2건 시제품 : 1건 시험성적서 : 3건 보고서 : 4건 실시계약 : 1건 안전성 : 1건

(3) 3차년도 성과점검 기준표

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		3차년도 질적 성과							해당 기관	예산 (백만원)	3차년도 양적 성과		
						질적 성과지표	목표치	가중치	달성치	측정 방법	검증 방법			목표치	가중치	달성치
총괄	B	시험 및 수치모의를 통한 검증과 논문게재, 지적재산권 취득	B-1	시제품 성능	①	수치모의	2건	3	2건	보고서 S/W	보고서 S/W	강원대	17.0	보고서 : 1건 S/W : 1건	3	보고서 : 1건 S/W : 1건
			B-2	학술지 게재 및 발표	①	논문게재	2건	1	3건	논문 작성	논문	산하토건 강원대	-	-	-	-
			B-4	지적재산권 취득 건수	①	특허등록	1건	1	1건	등록	등록 번호	산하토건 동부	21.3	특허: 등록 1건 신기술 : 1건	3	특허: 등록 1건 신기술 : 0건 (재신청 준비)
					②	신기술	1건		신청	등록	등록 번호					
	C	테스트베드 구축 및 기술수준 향상	C-1	테스트베드 구축 및 개선 건수	①	시제품 제작	1건	5	1건	설치	현장 확인	산하토건	246.8	시제품 : 1건	39	시제품 : 1건
			C-3	테스트베드를 통한 기술수준 향상도	①	취수효율	20% 향상	6	48.6% 향상	양수 시험	보고서	산하토건	161.0	시험성적서 : 3건 보고서 : 1건	26	시험성적서 : 3건 보고서 : 1건
					②	에어써징 효율	5%향상		50.5% 향상							
	D	설계 및 시공기술 표준화	D-1	표준화	①	설계서 및 사양서	1건	1	1건	보고서 작성	보고서	동부	82.5	보고서 : 1건	13	보고서 : 1건
					②	운영매뉴얼	1건		1건							
					③	표준시방서	1건		1건							
	E	현장적용 효과검증	E-1	현장적용 건수	①	현장적용 건수	2건	1	2건	계약서	계약서	산하토건	23.0	계약서 : 2건 설문지 : 2건	4	계약서 : 2건 설문지 : 2건
			E-2	수요자 만족도	①	수혜자 만족도	2건		1건	설문 조사	설문지					
	F	비용절감 효과 분석 및 사업화	F-1	공사비용 절감효과	①	기술보고서	1건	2	1건	보고서 작성	보고서	동부	45.0	보고서 : 1건	12	보고서 : 1건
			F-2	유지보수비용 절감효과	①	기술보고서	1건		1건							
			F-3	LCC 절감효과	①	기술보고서	1건		1건							
			F-4	사업화 실시계약 건수	①	기술실시계약건수	1건	1	1건	계약서	계약서	산하토건 동부	33.4	계약서 : 0건	-	계약서 : 1건
계								20					630	특허 : 등록 1건 신기술: 등록 1건 시제품 : 1건 시험성적서 : 3건 S/W : 1건 계약서 : 2건 보고서 : 4건 인력양성 : 3건	100	특허 : 등록 1건 신기술: 등록 0건 시제품 : 1건 시험성적서 : 3건 S/W : 1건 계약서 : 3건 보고서 : 4건 인력양성 : 3건

(4) 성과점검기준표 (최종 목표 및 성과)

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		질적 목표 및 성과						해당 기관	예산 (백만원)	양적 목표 및 성과			증빙자료
					성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치		목표치	가중치	달성치	
총괄	A	보유기술의 개선	A-1	테스트베드 조사/설계	①	조사성과/도면	2건	2건	도면 작성	보고서	1	동부	65.5	보고서 : 2건	5	보고서 : 2건	증빙 A-1-1 증빙 A-1-2
			A-2	성능시험	①	취수효율	20%향상	160%향상	유량계	보고서	3	산하토건	151.5	보고서 : 1건	16	보고서 : 1건	증빙 A-2-1
					②	다짐율	5%향상	8.3%향상	체적	보고서							
					③	에어써징효율	5%향상	64.7%향상	유량계	보고서							
	B	시험 및 수치모의를 통한 검증과 논문게재, 지적재산권 취득	B-1	시제품 성능	①	수치모의	3건	3건	보고서 작성	보고서	3	강원대	54.0	보고서 : 3건 S/W : 1건	16	보고서 : 3건 S/W : 1건	증빙 B-1-1 증빙 B-1-2 증빙 B-1-3 증빙 B-1-4
			B-2	학술지 게재 및 발표	①	논문게재	6건	6건	논문 작성	논문	1	산하토건 강원대	-	-	-	-	증빙 B-2-1(출원) 증빙 B-2-2(출원) 증빙 B-2-3(출원) 증빙 B-2-4(등록) 증빙 B-2-5(등록) 증빙 B-2-6(등록)
			B-4	지적재산권 취득 건수	①	특허출원	2건	3건	신청	출원 번호	1	산하토건 동부	57.4	특허 : 출원 2건 등록 1건 신기술 : 1건	5	특허 : 출원 3건 등록 3건 신기술 : 0건	증빙 B-4-1 증빙 B-4-2 증빙 B-4-3 증빙 B-4-4 증빙 B-4-5 증빙 B-4-6
					②	신기술	1건	신기술 불인정	등록	등록 번호							
	C	테스트베드 구축 및 기술수준향상	C-1	테스트베드 구축 및 개선 건수	①	시제품 제작	2건	2건	설치	현장 확인	5	산하토건	391.0	시제품 : 2건	27	시제품 : 2건	증빙 C-1-1 증빙 C-1-2
			C-2	테스트베드 운영 지침 및 매뉴얼 개발	①	기술보고서	2건	2건	보고서 작성	보고서	1	동부	103.0	보고서 : 2건	5	보고서 : 2건	증빙 C-2-1 증빙 C-2-2
			C-3	테스트베드를 통한 기술수준 향상도	①	취수효율	20%향상	39.2~48.6% 향상	양수 시험	보고서	2	산하토건	202.8	시험성적서 : 6건 보고서 : 2건	10	시험성적서 : 6건 보고서 : 2건	증빙 C-3-1 증빙 C-3-2 증빙 C-3-3 증빙 C-3-4

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		질적 목표 및 성과						해당 기관	예산 (백만원)	양적 목표 및 성과			증빙자료
					성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치		목표치	가중치	달성치	
총괄	D	설계 및 시공기술 표준화	D-1	표준화	①	설계서 및 사양서	1건	1건	보고서 작성	보고서	1	동부	52.5	보고서 : 1건	5	보고서 : 1건	증빙 D-1-1
					②	운영매뉴얼	1건	1건									증빙 D-1-2
					③	표준시방서	1건	1건									증빙 D-1-3
	E	현장적용 효과검증	E-1	현장적용 건수	①	현장적용 건수	2건	2건	계약서	계약서	0.5	산하토건	14.6	계약서 : 2건 설문지 : 2건	3	계약서 : 2건 설문지 : 2건	증빙 E-1-1(계약서) 증빙 E-1-2(계약서) 증빙 E-2-1(설문지) 증빙 E-2-2(설문지)
			E-2	수요자 만족도	①	수혜자 만족도	2건	1건	설문 조사	설문지							
	F	비용절감 효과 분석 및 사업화	F-1	공사비용 절감효과	①	기술보고서	1건		보고서 작성	보고서	1	동부	28.7	보고서 : 1건	5	보고서 : 1건	증빙 F-1-1,2,3
			F-2	유지보수비용 절감효과	①	기술보고서	1건										
			F-3	LCC 절감효과	①	기술보고서	1건										
			F-4	사업화 실시 계약 건수	①	기술실시계약건수	1건	2건	계약서	계약서	0.5	산하토건 동부	21.3	계약서 : 1건	3	계약서 : 2건	증빙 F-4-1 증빙 F-4-2
계											20		1,142.3	특허 : 출원 2건 등록 1건 신기술 : 등록 1건 시제품 : 2건 S/W : 1건 시험성적서 : 6건 계약서 : 3건 보고서 : 12건 안전성 : 4건	100	특허 : 출원 3건 등록 3건 신기술 : 등록 0건 시제품 : 2건 S/W : 1건 시험성적서 : 6건 계약서 : 4건 보고서 : 12건 안전성 : 4 건	

3-2. 목표 달성여부

가. 달성도

- 1차년도(전차년도) 필수 성과목표 달성 여부

구분		1차년도 목표치	달성치	성과점검기준표 증빙서류 상 관련 페이지	비고 (미달성 사유)
신규고용인력		계획없었음	-	-	-
매출액		계획없었음	-	-	-
공인인증	특허	출원 1건	출원 3건	증빙 B-4-1,2,3	
	논문게재	2건	1건	증빙 B-2-1	1건 논문심사 탈락
보 고 서		4건	4건	증빙 A-1-1, 증빙 A-2-1 증빙 B-1-1, 증빙 C-2-1	

- 2차년도(당해년도) 필수 성과목표 달성 여부

구분		2차년도 목표치	달성치	성과점검기준표 증빙서류 상 관련 페이지	비고 (미달성 사유)
신규고용인력		계획없었음	-	-	-
매출액(계약)		계획없었음	1건, 109백만원	증빙 F-4-1	-
공인인증	특허	출원 1건	등록 2건	증빙 B-4-4,5	-
	논문게재	2건	2건	증빙 B-2-2,3	-
보 고 서		4건	4건	증빙 A-1-2, 증빙 B-1-2 증빙 C-2-2, 증빙 C-3-1	-
인력양성		1건	1건	대학원생 1	-

- 3차년도(당해년도) 필수 성과목표 달성 여부

구분		3차년도 목표치	달성치	성과점검기준표 증빙서류 상 관련 페이지	비고 (미달성 사유)
신규고용인력		계획없었음	1	-	-
매출액(계약)		2건	1건, 261백만원	증빙 F-4-2	-
공인인증	신기술	등록1건	불인정	-	1차심의 불인정 (재신청 준비)
	특허	-	등록 1건	증빙 B-4-6	-
	논문게재	2건	3건	증빙 B-2-4,5,6	-
보 고 서		4건	4건	증빙 B-1-3, 증빙 C-3-2 증빙 D-1-1,2,3, 증빙 F-1,2,3	-
인력양성		3건	3건	대학원생 3인	-

* 당초에 연구수행기간 동안에는 매출발생을 계획하지 못하였고, 2020년부터 매출규모(3억)를 계획함

3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

- 본 연구에서 최종성과지표는 신기술 등록을 제외한 모든 성과는 달성 또는 초과달성하였음.
- 성과지표상 초과달성부문은 우선 연구의 매우 우수한 질적성과가 보고서에 수록되어 있고, 특허등록도 당초계획 1건에서 3건 실적, 논문 6건 중 SCI 논문을 포함하고 있으며, 사업화 실시계약건수도 당초계획 1건에서 2건 실적, 인력양성도 4건의 실적을 달성하고 있음.
- 본 다만, 신기술 지정을 신청 하였으나 1차 심의에서 아쉽게 불인정(찬성 7/12) 되었음
- 불인정 사유로 1차심의에서 심사항목별 주요 의견을 보면,
  - 첫번째로 신규성 부문에서 차별성, 안정성, 독창성 및 자립성은 높은 것으로 인정 받았음.
  - 두 번째 진보성 부문에서는 품징향상, 개량정도에서 완공시설에 대한 발주처 기준자료 추가 제시 및 추수율 지속성에 대한 근거자료를 추가 제시하면 해결될 수 있음. 첨단기술성은 인정 받음.
  - 세 번째 경제성 부문에서는 설계시공비 절감은 동일 조건하에서 분석되었기에 제시한 분석결과에 문제가 없으나 유지관리비용 절감은 슬러지 이물질 처리비용, 우물수명예측에 따른 교체비용 등을 추가제시 필요
- 상기 지적사항들을 상호 보완하여 신기술을 재신청 한다면 충분히 신기술 지정등록 될 수 있다고 판단되어 재신청을 준비하고 있음.

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

본 공법은 강변 여과수와 해변 여과수를 취수하여 활용하고자 하는 모든 사업에 서 다음과 같은 분야에서 적용될 수 있음

가. 생활용수용 취수정 설치사업(정수장 등)

- 4대 강변이나 하천변에서 강변(하천변)여과수를 취수하여 용수를 공급하는 사업
- 창원 대산정수장, 함안 칠서정수장, 김해 생림정수장처럼 강변여과수를 취수하여 정화처리 후 생활용수를 공급하는 취수정 설치사업 활용 가능
- 도서지역 소규모 해수담수화사업에서 해수공급용 취수정 설치사업

나. 농업용수용 취수정 설치사업

- 4대강을 중심으로 한 수변지역의 충적평야에는 대규모 시설재배지가 조성되어 있이 여기에 공급하는 다량의 농업용수 공급사업에 적용
- 농업용수를 확보를 위해 통상 기존 단일피터 수직정 공법으로 관정을 설치하나 취수효율이 낮고, 관정의 수명이 짧아 수년 내 폐공되는 경우가 많으므로 지속적으로 신규 관정을 설치해야 하는 실정이므로 이 우물의 대체가 가능
- 시설재배지가 위치하는 충적평야는 충적 대수층이 양호하게 발달하는 지역으로 본 공법을 적용하기에 적합한 지반조건을 갖고 있음
- 수변지역 하우스 시설재배지에 본 공법을 적용할 경우 기존 단일필터 공법에 비해 설치 공수를 줄이고 취수량은 늘릴 수 있어 안정적인 용수 공급이 가능함
- 주 수요처 : 한국농어촌공사, 영농조합 등
- 관련 사업 : 대규모 하우스시설재배지 용수공급사업, 하천변 농업용수 공급사업
  지하댐, 인공함양 방식에 의한 취수정 설치사업
- 향후 전망 : 쌀 개방에 따른 쌀농사의 경쟁력 약화로 시설재배면적은 지속적으로 확대될 것이며, 따라서 농업용수 소요량 증대에 따는 취수정 수요가 증가할 것으로 예상됨

다. 해변여과수용 취수정 설치사업

- 직접 해수를 취수하는 방식의 경우 부유물질 유입 및 불안정적인 해수취수로 어류가 집단 폐사하는 사례가 빈번하며 전처리설비가 복잡해지고 태풍 등 기상조건에 따라 취수가 불안정한 문제점이 있음
- 본 공법을 적용하면 부유물질을 감소시켜 수질을 개선하고, 시설이 지중에 설치되어 기상조건에 영향을 받지 않으므로 필요 해수 수요량을 연중무휴로 공급할 수 있음
- 주 수요처 : 각 지자체 양식장, 어촌계 및 수협위판장, 수산물시장·직매장, 냉동·가공공장 등 유통·가공시설 및 회센타, 숙박·목욕, 오락시설 등 휴게시설에 해수를 필요로 하는 시설
- 관련 사업 : 양식장 해수공급용 취수정 설치사업,
  어판장(어촌계) 해수공급용 취수정 설치사업 ,
  휴게시설(숙박, 목욕)의 해수공급사업, 해수 담수화 사업 등

- 향후 전망 : 어항기본사업(국가어항 지정항에 대한 사업), 어항정비사업, 어항 환경개선사업(어항 정화 및 어촌관광 활성화를 위한 사업) 등이 지속될 예정임

라. 공업용수용 취수정 설치사업

- 대산석유화학단지 처럼 공업용수를 공급하기 위한 해수담수화사업에서 해수공급용 취수정 설치사업으로 적용가능
- 주 수요처 : 한국수자원공사, 각 지자체
- 관련 사업 : 해수담수화사업, 대규모 석유화학단지 및 각 산업단지 공업용수공급용 취수정 설치사업
- 향후 전망 : 향후 수년 내 신규시장이 창출될 것으로 예상됨

마. 지하수 함양 사업

- 대규모 시설재배지에서는 다량의 용수를 안정적으로 공급할 필요가 있으나 무분별한 난개발로 인해 지하수 자원이 고갈되는 사례가 있음
- 특히 수막재배를 하는 농가에서는 갈수기인 동절기에 필요한 수막용수를 활용할 수 없어 중유보일러 등에 난방을 의존해야하므로 부담이 가중됨
- 이러한 문제점을 개선하기 위해 강변의 풍부한 지하수를 양수하여 상류지역에 함양해 줌으로써 지하수 자원을 안정적으로 유지하고자 하는 시도가 활발히 진행 중임
- 지하수 함양 사업에 활용할 양수정을 설치하는데 있어서도 본 공법의 적용성이 매우 높음
- 주 수요처 : 한국농어촌공사
- 관련 사업 : 현재까지 본격적인 사업이 시행되지는 않았으나 활발한 연구가 진행 중이며 일부 시범사업이 수행되고 있음
- 향후 전망 : 향후 수년 내 신규시장이 창출될 것으로 예상됨

붙임. 참고문헌

이진용, 김성준, 박경우, 유동렬, 천정용, 김용철, 김태희, 박영진, 이강근, 1999, 현장수리시험 지침서, 서울대학교 수리지구환경연구실, 72p.

한정상, 1998, 지하수환경과 오염, 박영사, 1071p.

Atkinson LC, Kemping PG, Wright JC, Liu H., 2010, The Challenges of Dewatering at the Victor Diamond Mine in Northern Ontario, Canada. Mine Water Environ, 29(2):99—01

Batu, V., 1998, Aquifer Hydraulics— Comprehensive Guide to Hydrogeologic Data Analysis, 113−27. New York: John Wiley & Sons.

Blair, A.H. 1970. Well screens and gravel packs. Ground Water 8, no. 1: 10-1.

Choi, H. M., Lee, J. Y., Cheon, J. Y., Jun, S. C., and Kwon, H. P., 2010, Estimation of optimal puming rate, well efficiency and radius of influence using step−drawdown tests, Journal of Engineering Geology, 20(2), 127−136(in Korean with English abstract).

Dawson, K. J. and Isotok, J. D., 1991, Aquifer testing: design and analysis of pumping and slug tests, Lewis Publishers, 344P.

Driscoll, Fletcher G .. 1986, Ground Water and Wells: Johnson Division

Gille, D., 2003, Seawater intakes for desalination plants, Desalination, 156(1), 249−256, DOI: http://dx.doi.org/10.1016/S0011−9164(03)00347−3.

Han, J.S., 1998, Groundwater Environment and Pollution, Pakyoungsa, 1071p.

Han, 1998, Groundwater Environment and Pollution, Pakyoungsa, 1071p

Hongik University Institute of Science and Technology, 2011, The Report of 3D Numerical Simulation for Near part Seawater Intake Facility (in Korea).

Jacob, C.E., 1947. Drawdown test to determine effective radius of artesian well, Trans. Amer. Soc. of Civil Engrs., vol. 112, paper 2321, pp. 1047−1064.

K water., 2016, A Study on the revision of the dam water supply regulation about rate exemption

Kim, B.W., 2014, Effect of Filter Designs on Hydraulic Properties and Well Efficiency, Ground Water 52:175-185

Naval Facilities Engineering Command(NAVFAC), 1986, Soils and foundations design manual

Rafferty, K. 2001. Specification of water wells. ASHRAE Transactions: Symposia 107, pt. 2; 408-93.

Rorabaugh, M.I., 1953, Graphical and theoretical analysis of step−drawdown test of artesian well, Proc. Amer. Soc. Civil Engrs., 79, p. 23.

Skinner, A.C., 1988, Practical experience of borehole performance evaluation, J. Inst. Water Environ. Manage., 2, 332−340.

Smith, H.F. 1954. Gravel packing water wells. Water Well Journal 8, no. 1: 31-4.

Song, J.Y., Kim, K.J., Oh, S.J., Lee, G.C., Jeong, G.C., 2016, Experimental Study on Effects of Filter Layers in Pumping Well, Journal of Engineering Geology, 26(3), 361−370

Song, J.Y., Lee, S.M., Choi, Y.S., Jeong, G.C., 2017, Experimental Study on the Effect of Filter Layers on Pumping Capacity and Well Efficiency in an Unconfined Aquifer, Journal of Engineering Geology, 27(4), 405−416

Song, J.Y., Lee, S.M., Choi, Y.S., Kim, K.J., Jeong, G.C., 2018, Study on Permeability, Optimum

Yield and Long-term Stability in Alluvial Well with Filter Layer Change, Journal of Engineering Geology, 28(1), 101-115

Song, J.Y., Lee, S.M., Kang, B.C., Lee, G.C., Jeong, G.C., 2019, A Study on the Seawater Filtration Characteristics of Single and Dual-filter Layer Well by Field Test, Journal of Engineering Geology, 29(1), 51-68

Thiem, Günther, 1906, "Hydrologische methoden" (in German). Leipzig: J. M. Gebhardt: 56

2016, Experimental Study on Effects of Filter Layers in Pumping Well, Journal of Engineering Geology, 26(3), 361-370.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통과학기술진흥원에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통과학기술진흥원에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.