

현장실증시험에 의한 단일 및 이중필터층 우물의 해수 여과 특성 연구

송재용¹ · 이상무² · 강병천³ · 이근춘⁴ · 정교철^{5*}

¹산하토건 주식회사, 상무이사

²산하토건 주식회사, 대표이사

³주식회사 산하이앤씨, 전무이사

⁴주식회사 산하이앤씨, 부장

⁵안동대학교 지구환경과학과, 교수

A Study on the Seawater Filtration Characteristics of Single and Dual-filter Layer Well by Field Test

Jae-Yong Song¹ · Sang-Moo Lee² · Byeong-Cheon Kang³ · Geun-Chun Lee⁴ · Gyo-Cheol Jeong^{5*}

¹SanHa Construction Co., Ltd., Managing Director

²SanHa Construction Co., Ltd., President

³SanHa Engineering & Construction Co., Ltd., Executive Director

⁴SanHa Construction Co., Ltd., Deputy Manager

⁵Dept. of Earth and Environmental Sciences, Andong National University, Professor

Abstract

This study performs to evaluate adaptability of seashore filtering type seawater-intake which adapts dual filter well alternative for direct seawater-intake. This study varies filter condition of seashore free surface aquifer which is composed of sand layer then installs real size dual filter well and single filter well to evaluate water permeability and proper pumping amount according to filter condition. According to result of step aquifer test, it is analysed that 110.3% synergy effect of water permeability coefficient is happened compare to single filter since dual filter well has better improvement. dual filter has higher water permeability coefficient compare to same pumping amount, this means dual filter has more improved water permeability than single filter. According to analysis result of continuous aquifer test, it is evaluated that dual filter well (SD1200) has higher water permeability than single filter well (SS800) by analysis of water permeability coefficient using monitoring well and gauging well, it is also analysed dual filter has 110.7% synergy effect of water permeability coefficient. As a evaluation result of pumping amount according to analysis of water level dropping rate, it is analysed that dual filter well increased 122.8% pumping amount compare to single filter well when water level dropping is 2.0 m. As a result of calculating proper pumping amount using water level dropping rate, it is analysed that dual filter well shows 136.0% higher pumping amount compare to single filter well. It is evaluated that proper pumping amount has 122.8~160% improvement compare to single filter, pumping amount improvement rate is 139.6% compare to averaged single filter. In other words, about 40% water intake efficiency can be improved by just installation of dual filter compare to normal well. Proper pumping amount of dual filter well using inflection point is 2843.3 L/min and it is evaluated that daily seawater intake amount is about 4,100 m³/day (≒4094.3 m³/day) in one hole of dual filter well. Since it is possible to intake plenty of water in one hole, higher

OPEN ACCESS

*Corresponding author: Gyo-Cheol Jeong
E-mail: jeong@anu.ac.kr

Received: 16 March, 2019

Revised: 22 March, 2019

Accepted: 27 March, 2019

© 2019 The Korean Society of Engineering Geology



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

adaptability is anticipated. In case of intaking seawater using dual filter well, no worries regarding damages on facilities caused by natural disaster such as severe weather or typhoon, improvement of pollution is anticipated due to seashore sand layer acts like filter. Therefore, It can be alternative of environmental issue for existing seawater intake technique, can save maintenance expenses related to installation fee or damages and has excellent adaptability in economic aspect. The result of this study will be utilized as a basic data of site demonstration test for adaptation of riverside filtered water of upcoming dual filter well and this study is also anticipated to present standard of well design and construction related to riverside filter and seashore filter technique.

Keywords: well, dual filter, single filter, seawater filtration, groundwater

초 록

국내에서는 바닷가 주변의 상가나 수협 등의 활어 위판장 등에 많은 양의 해수가 사용되고 있다. 이러한 해수는 기상악화나 태풍 등에 의해 관련 시설이 수시로 파손되고 조기 폐쇄되어 시간적, 경제적 비용이 많이 소요되고 있는 실정이다. 또한 오염된 해수가 그대로 유입되는 경우가 많아 환경적인 문제를 야기하기도 한다. 본 연구는 직접적인 해수취수의 대안으로 이중필터취수정을 적용한 해변여과 방식의 해수취수 적용성을 평가하고자 수행하였다. 본 연구에서는 토층으로 이루어진 해변의 자유면대수층에서 필터조건을 달리하여 실규모의 이중필터취수정과 단일필터취수정을 각각 설치하고 설치된 우물에서 단계 및 연속대수층시험을 실시하여 필터재 조건에 따른 투수특성 및 적정양수량을 평가하였다. 단계대수층시험 분석결과 이중필터 취수정에서 우물 개량의 정도가 양호하여 단일필터 대비 110.3%의 투수계수 상승효과가 발생하는 것으로 분석되었다. 동일 양수량 대비 이중필터의 투수계수가 높게 나타나며, 이는 이중필터가 단일필터에 비해 투수성이 개선된 영향으로 판단된다. 연속대수층시험 분석결과 관측정 및 양수정을 이용한 투수계수 분석에서 이중필터취수정(SD1200)이 단일필터취수정(SS800)에 비해 높은 투수특성을 나타내는 것으로 평가되었으며, 이중필터가 단일필터 대비 평균 110.7%의 투수계수 상승효과가 발생하는 것으로 분석되었다. 수위강하량 분석을 통한 양수량 평가결과, 수위강하 2.0 m일 때 이중필터 취수정이 단일필터 취수정 대비 122.8% 양수량이 증대되는 것으로 분석되었으며, 비수위강하량을 이용하여 적정양수량을 산정한 결과 이중필터취수정이 단일필터취수정에 비해 136.0% 높은 양수량을 보이는 것으로 분석되었다. 또한 변곡점을 이용한 양수량 평가결과 이중필터가 단일필터에 비해 160.0% 높은 적정양수량을 보이는 것으로 분석되었다. 적정양수량의 경우 분석방법에 따라 단일필터 대비 122.8~160.0%의 개선효과가 있는 것으로 평가되었으며, 이를 평균한 단일필터 대비 이중필터의 양수량 개선율은 139.6%이다. 즉, 이중필터 설치만으로 일반적인 우물 대비 취수효율이 40% 정도 개선될 수 있음을 확인하였다. 변곡점을 이용한 이중필터취수정의 적정양수량은 2843.3 L/min로써 이중필터취수정 단일공의 일 해수취수량은 약 4,100 m³/day (≒4094.3 m³/day)에 달하는 것으로 평가되었다. 이와 같이 공당 다량의 취수가 가능하기 때문에 해수취수의 적용성이 높을 것으로 기대된다. 또한 이중필터취수정을 이용하여 해수취수를 수행하는 경우 기존에 문제시되었던 기상악화나 태풍 등에 의한 파손우려를 해소할 수 있으며, 해변의 모래층이 필터재 역할을 하여 오염정도를 개선하는 효과가 있을 것으로 기대된다. 따라서, 기존 해수취수기술에 대한 환경적인 문제 해결의 대안이 될 수 있고, 설치비용 및 파손등과 관련된 장기적인 유지관리비용 면에서도 유리하여 경제적 측면에서 그 적용성이 매우 높을 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 추후 수행예정인 이중필터취수정의 강변여과수 적용을 위한 현장실증시험의 기초자료로 활용될 예정이며, 그 결과를 종합하여 강변여과 및 해변여과기술과 관련된 우물의 설계 및 시공에 대한 표준화된 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어: 우물, 이중필터, 단일필터, 해변여과, 지하수

서론

해수는 지구상에 존재하는 물의 97%로 그 양은 물론 해수개발의 발전가능성 또한 무한대에 가깝다고 할 수 있다(Gille, D., 2003). 국내에서는 바닷가 주변의 상가나 수협 등의 활어 위판장 등에 많은 양의 해수가 사용되고 있다. 이러한 해수는 해수인입관을 항내 또는 근교의 해변(50~200 m)에 직접 매설하여 취수하고 있는 실정으로 기상악화나 태풍 등에 의해 관련 시설이 수시로 파손되고 취수관 말부의 부식과 생물체의 부착 등에 의해 조기 폐쇄되어 잦은 교체에 따른 시간적, 경제적 비용이 많이 소요되고 있는 실정이다. 또한 항내 또는 해안상가 밀집지역 인접 해변의 경우 해수의 순환이 잘 이루어지

지 않아 오염정도가 상대적으로 심하며 기 설치된 대부분의 해수 취수관은 오염된 해수가 그대로 유입되는 경우가 많아 환경적인 문제를 야기하기도 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근 항내에 여과사로 여과층을 조성하고 여기에 유공관을 매설하여 해수를 직접 취수하는 방식이 제안되어 사용 중에 있으나 여과사의 폐색이 자주 발생하거나 유속이 집중되어 관이 손상되는 등의 문제가 발생된다(Hongik University Institute of Science and Technology, 2011).

본 연구는 직접적인 해수취수의 대안으로 이중필터취수정을 적용한 해변여과 방식의 해수취수 적용성을 평가하고자 수행하였다. 우물에서 필터층의 설치는 급격한 효율저하를 방지하고 우물의 스크린 주변에 양호한 투수성대를 형성시켜 주는 인공 우물개량의 한 방법이다(Han, 1998; Driscoll, Fletcher G, 1986). 자유면대수층을 활용하는 우물의 취수량, 취수효율 및 장기적인 안정성 등은 정호설치 지점의 지하수위 분포상태, 토층 구성상태에 따른 수리지질조건, 스크린의 성능, 필터층의 유무 및 조건 등에 의해 좌우된다(Song et al., 2016).

취수정의 효율과 필터조건에 대한 많은 연구가 수행된 바 있다. Smith (1954)는 최상의 취수량 확보를 위한 대수층의 입도 대비 필터재의 특정입도와의 비를 4~6 사이로 제시하였다. Blair (1970)는 효과적인 필터층 설계를 위해 최적 입경, 입자형태, 두께에 대한 권장안을 제시하였다. Rafferty (2001)는 필터재의 효율적인 입경, 균질계수, 두께, 형태, 배치에 관한 가이드라인 등을 포함하는 설계안을 제시하였다. 또한 Kim (2014)은 이중필터팩과 단일필터팩에 대한 수리전도도와 우물효율을 분석하여 필터조건이 수리특성과 우물효율에 미치는 영향을 분석하였다. Song et al. (2016, 2017)은 자유면 대수층을 모사하여 필터층이 취수량 및 우물효율에 미치는 영향을 실내시험을 통해 분석하였다. 또한 3개월에 걸친 장기 모형시험을 통해 충적우물에서 필터층 변화에 따른 투수특성, 적정양수량 및 장기적 안정성을 평가하기 연구가 수행된 바 있으며, 해당 연구를 통해 필터재 조건에 따른 성능을 검증한 바 있다(Song et al., 2018).

이중필터취수정의 해수취수 적용성에 대한 평가를 목적으로 수행한 본 연구에서는 토층으로 이루어진 해변의 자유면 대수층에서 필터조건을 달리하여 실규모의 이중필터취수정과 단일필터취수정을 각각 설치하고 설치된 우물에서 단계 및 연속대수성시험을 실시하여 필터재 조건에 따른 투수특성 및 적정양수량을 평가하였다. 또한 평가결과를 토대로 해수취수에서의 단일필터취수정 대비 이중필터취수정의 효율향상 정도를 객관적으로 도출하고 궁극적으로 해수취수에 대한 이중필터취수정의 적용가능성을 제시하고자 하였다.

본 연구의 결과는 추후 수행예정인 이중필터취수정의 강변여과수 적용을 위한 현장실증시험의 기초자료로 활용될 예정이며, 그 결과를 종합하여 충적층 우물의 설계 및 시공에 대한 표준화된 기준을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

우물설계 및 설치

지층구성

각 토사지층의 물리적 특성을 파악하기 위하여 3공의 시추조사를 수행하였으며, 시추조사공은 대수성시험 과정에서 관측정으로 활용하였다. 지층구성은 모래층, 자갈층, 풍화토, 풍화암, 연암으로 구성되며, 주요 대수층이 되는 모래, 자갈층의 층후는 이중필터 취수정 설치위치에서는 9.7 m, 단일필터 취수정 설치위치에서는 9.6 m로 유사한 지층구성 및 층후를 보인다(Fig. 1).

시추조사 시 표준관입시험으로 채취된 토사시료에 대하여 한국공업규격(KS F)에 의거하여 각 공당 3회씩 총 9회의 실내시험을 실시하였다(Table 1). 체분석결과 주 자유면대수층의 역할을 하는 풍화대 상부 지층은 모래 및 자갈로 구성되고 통일분류상 SP로 분류되었다. 육안관찰시에도 전반적으로 입도분포는 불량하나 세립질의 함량이 거의 없어 양호한 대수층을 형성할 것으로 평가되었다.

Table 1. Particle size distribution of alluvium

| Hole No. | Depth (m) | USCS | Sieve analysis | | | Grain size (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 | - |

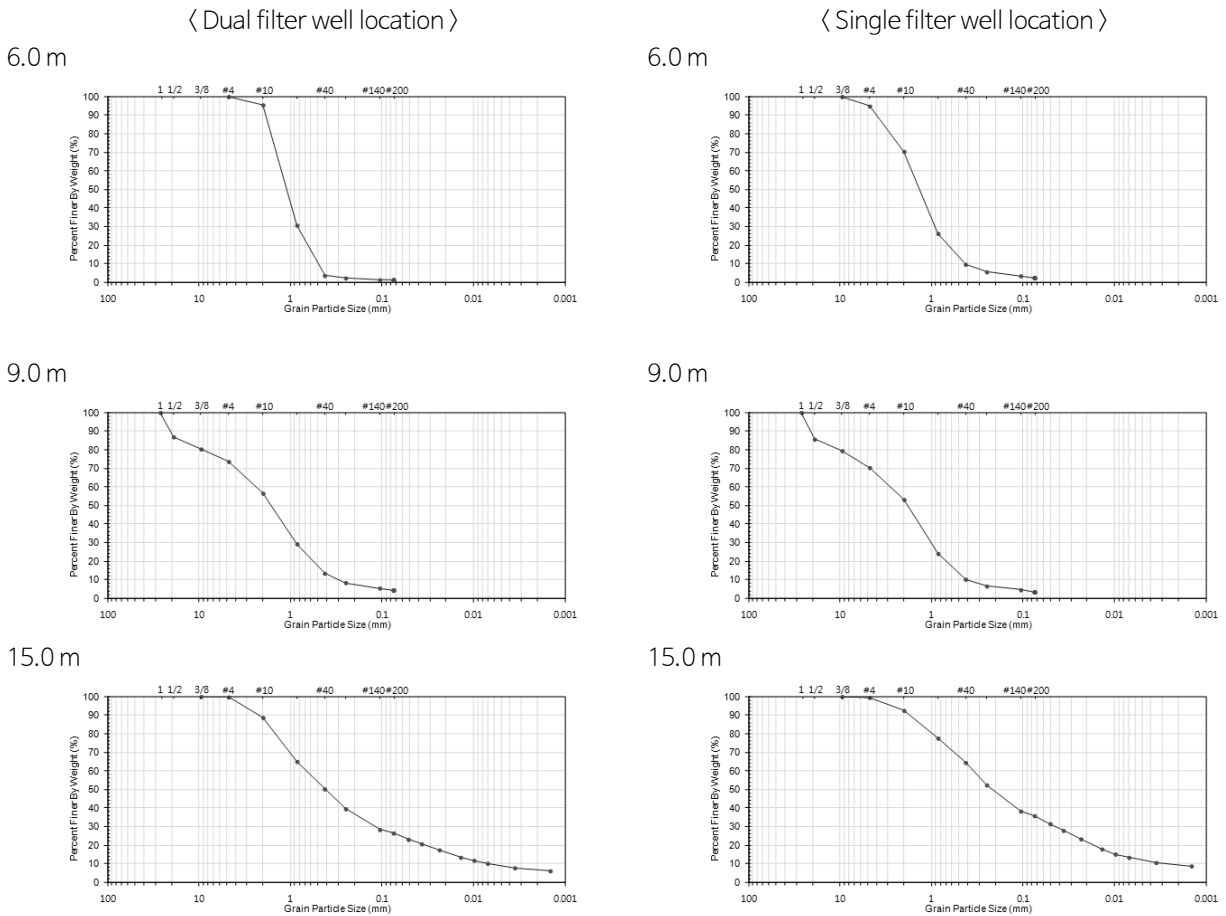


Fig. 1. Grain-size distribution curve of well install locations.

필터재 선정

우무의 필터재로 사용되는 모래 및 자갈은 국내 주문진사를 이용하는 것을 권장하고 있으며, 국내에서 생산되는 주문진사의 규격에 맞춰 필터재의 설계가 요구된다. 따라서, 필터설계기준(NAVFAC, 1986)에 따른 모래층의 필터조건, 즉

(D15)필터 < 9.07mm, 1.92mm < (D15)필터 < 9.6mm, (D50)필터 < 29.825mm에 부합되는 필터재는 2.0~5.0m로 평가되었다. 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 판단하였다. 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 타당한 것으로 평가하였다.

주요장치 구성

본 연구에서 이중필터취수정 및 단일필터취수정의 설치에 필요한 주요 장치는 케이싱, 필터재, 스크린, 취수관 및 취수본관, 수중모터펌프, 지하수위계, 유량계 등이 필요하며, 각각의 장치 및 재료에 대한 사양은 아래 Table 2와 같다.

Table 2. Device composition of well

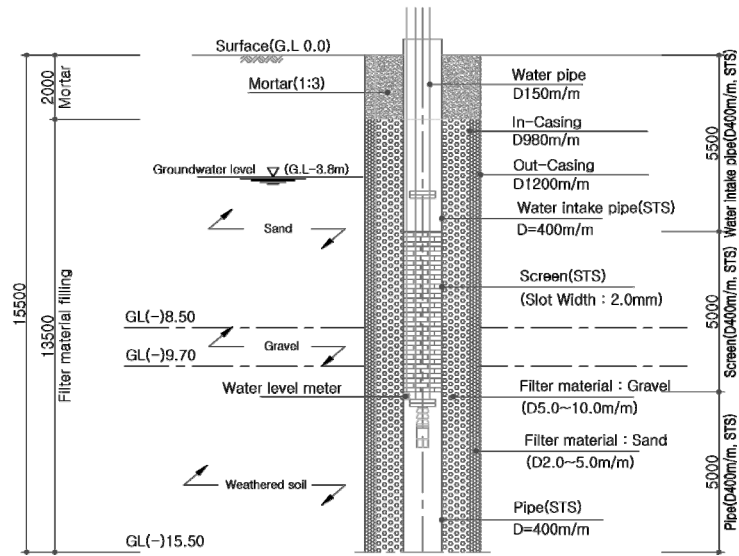
| | Standard | |
|----------------------|---|---|
| | Dual filter well | Single filter well |
| Casing | <ul style="list-style-type: none"> In-Casing OD: 980 mm, ID: 940 mm Out-Casing OD: 1200 mm, ID: 1100 mm | <ul style="list-style-type: none"> Casing D: 800 mm |
| Filter material | <ul style="list-style-type: none"> Filter material (Sand) : D2.0~5.0 mm Filter material (Gravel) : D5.0~10.0 mm | <ul style="list-style-type: none"> Filter material (Sand) : D2.0~5.0 mm |
| Screen | <ul style="list-style-type: none"> External diameter : Ø408 mm Slot width : 2.0 mm Vent Ratio : 22.7% Material : STS 316L | <ul style="list-style-type: none"> External diameter : Ø408 mm Slot width : 2.0 mm Vent Ratio : 22.7% Material : STS 316L |
| Water pipe | <ul style="list-style-type: none"> D150mm | <ul style="list-style-type: none"> D150 mm |
| Water intake pipe | <ul style="list-style-type: none"> STS D400 mm | <ul style="list-style-type: none"> STS D400 mm |
| Submerged motor pump | <ul style="list-style-type: none"> 380 V, 40 HP | <ul style="list-style-type: none"> 380 V, 15 HP |
| Water level meter | <ul style="list-style-type: none"> D22 mm × H129 mm Accuracy : ±0.05% | <ul style="list-style-type: none"> D22 mm × H129 mm Accuracy : ±0.05% |
| Ultrasonic flowmeter | <ul style="list-style-type: none"> Sensor range : 15~100 mm Accuracy : ±1% | <ul style="list-style-type: none"> Sensor range : 15~100 mm Accuracy : ±1% |

우물설계

이중필터취수정의 경우, GL-8.5까지 모래층, GL-8.5~9.7까지 자갈질모래, GL-9.7하부로는 풍화토로 구성되어 있으며, 총 굴착심도는 15.5 m로 계획하였다. 필터재 충전 층후는 13.5 m로 하였으며, 두께는 총 80 cm로 내부필터재는 직경 5~10 mm의 여과사리를 적용하였고, 외부필터재는 직경 2~5 mm의 여과사를 적용하였다. 스크린의 슬롯폭은 2 mm이며, 총 길이는 5 m로 취수관에 포함되고 모래층, 자갈질모래층, 풍화토층에 걸쳐 설치되도록 하였다.

단일필터취수정의 경우, GL-8.0까지 모래층, GL-8.0~9.6까지 자갈질모래, GL-9.6하부로는 풍화토로 구성되어 있으며, 총 굴착심도는 15.5 m로 계획하였다. 필터재 충전 층후는 13.5 m로 하였으며, 두께는 총 40 cm로 필터재는 직경 2~5 mm의 여과사를 적용하였다. 스크린의 규격 및 설치내용은 이중필터취수정과 동일하게 설계하였다. 각각의 설계에 대한 내용은 Fig. 2와 같다.

Dual filter well Cross section (SD1200)



Single filter well Cross section (SS800)

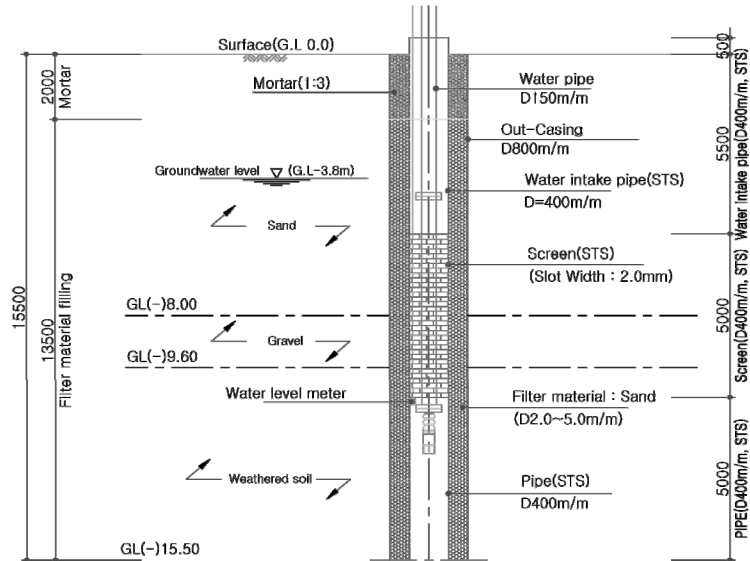


Fig. 2. Dual and single filter well cross section.

우물설치

이중필터 취수정과 같은 400 mm 이상 규격의 취수정은 일반적인 천공장비로 굴착이 불가능하기 때문에 케이싱을 압입하여 굴착하는 방식을 사용한다. 본 연구에서의 이중필터 및 단일필터 취수정의 설치순서는 다음과 같다(Fig. 3).

- ① 오실레이터 셋팅 : 취수정 설치위치에 케이싱 압입을 위한 장치인 오실레이터 설치.
- ② 외부케이싱 압입 및 굴착 : 오실레이터를 사용하여 외부케이싱을 좌우로 회전시키며 압입. 케이싱 내 토사는 해머글래브, 치즐을 이용하여 굴착 및 제거.
- ③ 내부케이싱 설치 : 설치된 외부케이싱 내부에 설치되며, 이중필터를 생성시키는 역할을 수행. 단일필터 취수정에서는 본 공정이 제외됨
- ④ 취수관 제작 : 무공관과 스크린이 결합된 취수관 제작
- ⑤ 취수관 설치 : 내부케이싱 내에 설치되며, 하부에 지하수가 유입될 수 있도록 스크린이 설치되며, 내부에는 수증펌

프가 설치되어 지하수를 취수할 수 있는 구조임

- ⑥ 필터재 충전: 이중필터에는 2개 규격, 단일필터에는 1개 규격의 필터재가 충전되며, 이중필터에서 입도가 큰 필터재는 내부케이싱과 취수관사이에 설치되고, 입도가 작은 필터재는 외부케이싱과 내부케이싱에 설치
- ⑦ 내부케이싱 인발: 케이싱 내외부의 압력 차이를 최소화하기 위해 먼저 수직 인발. 단일필터 취수정에서는 본 공정이 제외됨
- ⑧ 외부케이싱 인발: 필터재와 원지반의 교란최소화를 고려해 수직 인발
- ⑨ 몰탈채움: 우수 등의 공내 진입을 차단하기 위해 취수정 상부에 시멘트 몰탈 시공
- ⑩ 우물자재 설치: 수중펌프, 지하수위 측정관 등 취수 및 관측용 장치 설치



Fig. 3. Photograph of installation process(SD1200(A)).

시험조건 및 결과

시험방법

설치된 이중필터 및 단일필터취수정을 대상으로 단계대수성시험, 연속대수성시험, 수위회복시험 수행하였다(Table 3). 단계대수성시험은 양수량에 따른 수위강하량을 평가하여 양수정의 효율이나 영향반경, 수리상수 등을 결정할 수 있다(Dawson and Isotak, 1991). 단계대수성시험은 적어도 3단계 이상 진행되어야 하며(Choi et al., 2010) 본 연구에서는 5단계로 수행하였으며, 각 단계별 소요시간은 2시간씩으로 취수정 당 총 10시간 시험을 수행하였다. 시험방법은 양수정안에 수중모터펌프를 설치하여 각 단계별로 양수율을 일정하게 유지하면서 양수정에서의 양수시간에 따른 지하수위를 측정하였다.

연속대수성시험은 단계대수성시험 완료 후 지하수위가 회복된 다음에 일정 양수율 조건에서 양수정 및 관측정에서의 양수시간에 따른 지하수위를 측정하였다. 양수시험시 측정하는 사항은 양수전의 자연수위, 양수시작과 종료시간, 양수량, 양수 중의 일정시간별 수위, 그리고 양수량의 변화시간 측정하였다. 연속대수성시험의 시험시간은 16시간으로 설정하였다.

회복시험은 연속대수성시험의 종료와 동시에 펌프작동을 중지시키고 양수시간에 따른 회복수위 측정하였다. 시험시간은 별도 확정하지 않고 양수정의 수위가 최소수위에 도달하는 시점까지 수행하였으며, 결과적으로 취수정당 4.3시간 회복시험을 수행하였다.

Table 3. Condition of field test

| Test No. | Out casing size (mm) | Screen size (mm) | Filter condition | | | | Test time(hr) | | |
|----------|----------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------|---------------|
| | | | Inner | | Outer | | Step drawdown test | Pumping test | Recovery test |
| | | | Filter material | Thickness (mm) | Filter material | Thickness (mm) | | | |
| SD1200 | 1200 | 400 | Gravel | 290 | Sand | 110 | 2 hr × 5 step | 16 hr | 4.3 hr |
| SS800 | 800 | 400 | Sand | 200 | - | | | | |

단계대수성시험 결과

이중필터인 SD1200(A)의 경우, 약 1단계 평균 1513.4 L/min에서 5단계 평균 3248.0 L/min로 양수를 수행하였으며, 이때의 취수정에서의 수위 강하량의 평균값은 99.8 cm~468.0 cm로 나타났다. 취수정에서 4.8 m 이격되어 있는 관측정(OW-1)에서는 5단계 시험에서 평균 125.57 cm 수위강하량을 보였으며, 14.95 m 이격되어 있는 관측정(OW-2)에서는 5 단계에서 평균 53.65 cm의 수위강하량을 보였다.

단일필터인 SS800의 경우, 약 1단계 평균 523.7 L/min에서 5단계 평균 2476.7 L/min로 양수를 수행하였으며, 이때의 취수정에서의 수위 강하량의 평균값은 44.95 m~291.15 cm로 확인되었다. 취수정에서 5.6 m 이격되어 있는 관측정(OW-1)에서는 5단계 시험에서 평균 112.95 cm 수위강하량을 보였으며, 21.30 m 이격되어 있는 관측정(OW-2)에서는 5 단계에서 평균 49.71 cm의 수위강하량을 보였다. 단계대수성 시험결과는 Table 4, Fig. 4와 같다.

Table 4. 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 |

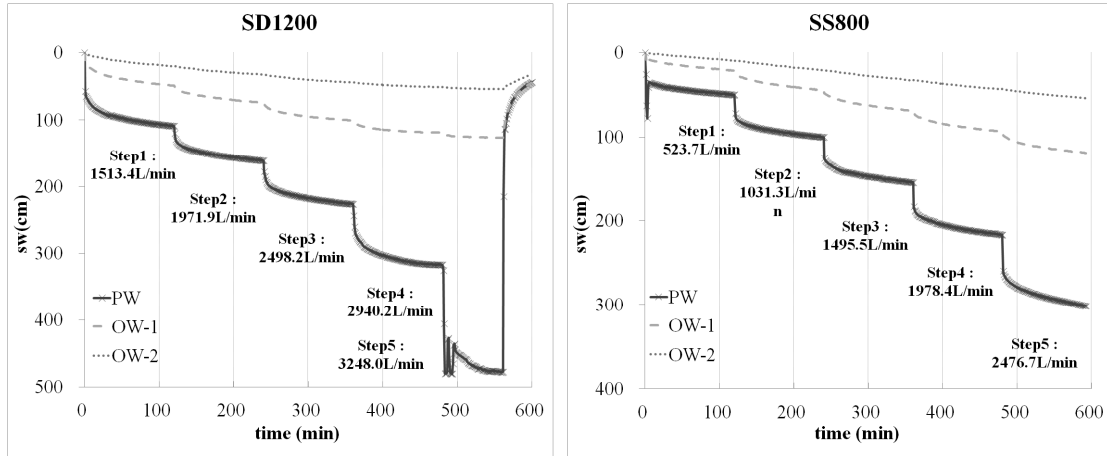


Fig. 4. Variation of yield and water drawdown level in step drawdown test.

연속대수성시험 결과

연속대수성시험은 단계양수시험에서 변곡점을 이용한 적정양수량의 약 90%에 해당하는 양수량으로 시험을 수행하였으며 그 결과는 Fig. 5와 같다. 이중필터취수정에서 평균 2509.8 L/min, 단일필터취수정에서 1595.7 L/min로 양수를 수행하였으며 이때의 양수정에서의 수위강하량은 이중필터취수정에서 257.8 cm, 단일필터취수정에서 175.7 cm로 관측되었다. 수위강하량을 변화양상을 볼 때, 이중필터취수정의 경우 지속적으로 지하수위가 낮아지는 양상을 보이다가 시험시작 후 500분 이후부터는 양수정 및 관측정의 수위변화가 거의 발생하지 않고 일정하게 유지되는 양상을 보였다. 이는 양수량과 지하수 공급량이 평형을 이루기 때문으로 판단된다. 단일필터취수정의 경우에는 시간이 경과할수록 지하수위가 지속적으로 낮아지는 형태를 보이고 있다.

관측정 수위는 이중필터취수정의 경우, 취수정에서 4.8 m 이격되어 있는 관측정(OW-1)에서는 97.4 cm 수위강하량을 보였으며, 15.00 m 이격되어 있는 관측정(OW-2)에서는 46.2 cm의 수위강하량을 나타냈다. 단일필터취수정의 경우에는 취수정에서 5.6 m 이격되어 있는 관측정(OW-1)에서는 76.7 cm 수위강하량을 보였으며, 21.3 m 이격되어 있는 관측정(OW-2)에서는 33.6 cm의 수위강하량을 보였다.

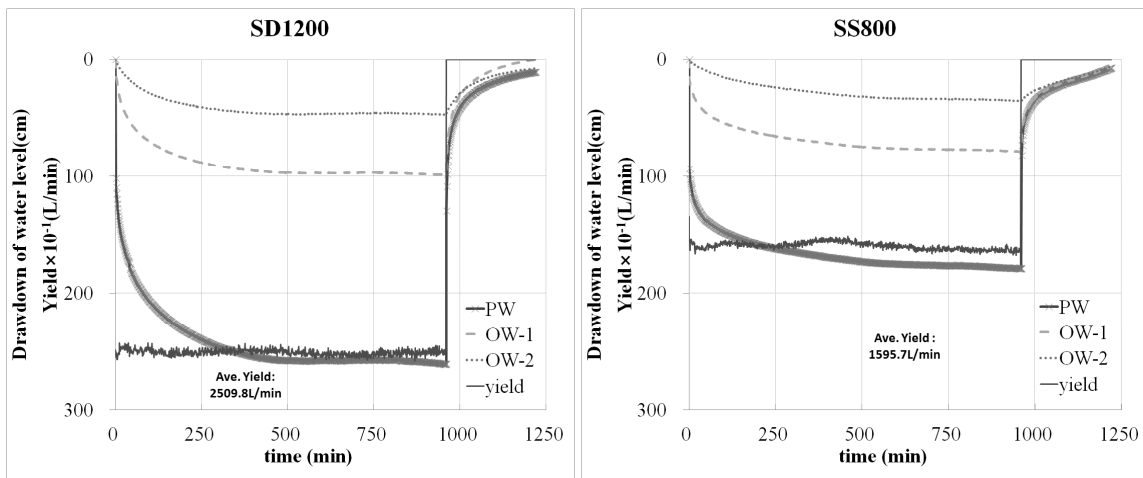


Fig. 5. Variation of yield and water drawdown level in pumping test.

회복시험 결과

이중필터취수정에서의 수위회복은 양수가 종료된 즉시 발생되었으며, 이중필터 및 단일필터 취수정 모두에서 양수종료 후 30분 정도에 시험전 지하수위의 약 80%의 회복율을 보였다(Fig. 6). 시험전 지하수위 90% 이상 회복된 시점을 보면, 이중필터취수정은 양수종료 92분, 단일필터취수정은 152분이 소요되었다. 단일필터취수정이 이중필터취수정에 비해 수위강하량이 상대적으로 낮았음을 고려할 때, 수위회복 양상은 유사할 것으로 판단된다.

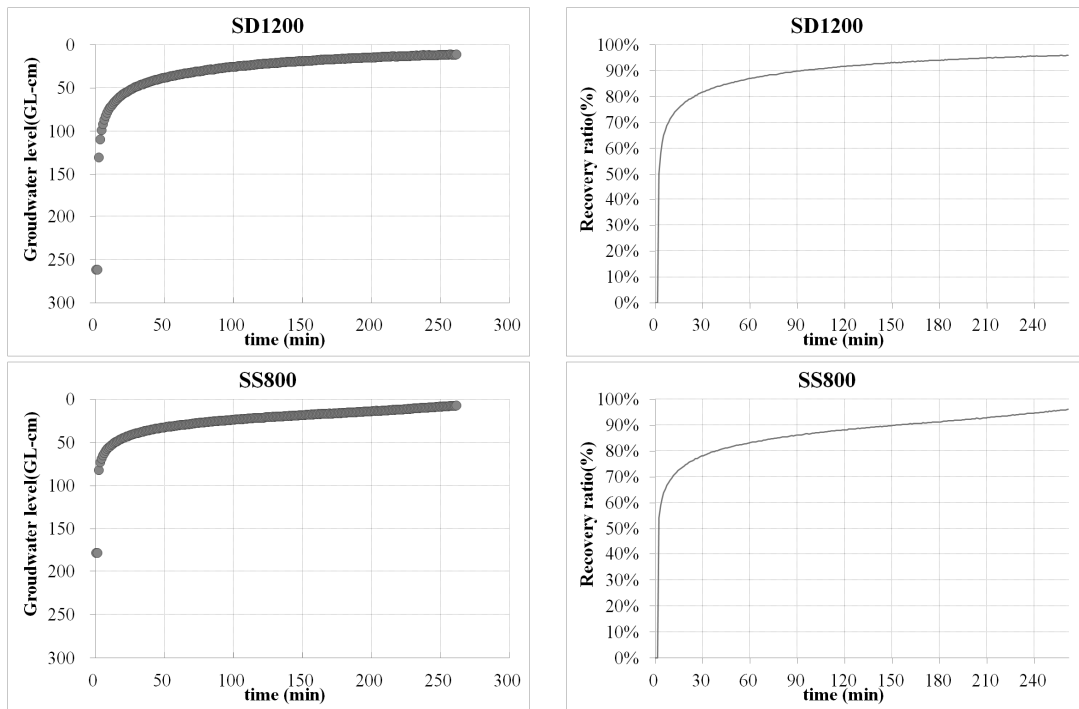


Fig. 6. Variation of groundwater level and recovery ratio in recovery test.

결과해석 및 고찰

투수특성 분석

자유면대수층에서의 투수계수의 산정은 양수정의 수위강하량과 영향권을 이용하는 방법과 수두를 측정할 수 있는 2개 이상의 관측정을 이용하는 방법을 적용할 수 있다. 양수정을 이용하는 경우, 투수계수는 $r = r_w$ 일때, $h = h_w$, $r = R$ 일때, $h = H$ 이므로 다음 식에 의해 계산 가능하다. 또한 관측정을 이용하는 경우의 투수계수는 $r = r_1$ 일때, $h = h_1$, $r = r_2$ 일때, $h = h_2$ 이므로 다음 식에 의해 계산할 수 있다.

$$\int_{r_w}^R \frac{dr}{r} = \frac{2\pi K}{Q} \int_{h_w}^H h dh, \quad K = \frac{2.3 Q \log(R/r_w)}{\pi(H^2 - h_w^2)} \quad (1)$$

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

또한 관측정을 이용하는 경우의 투수계수는 $r = r_1$ 일때, $h = h_1$, $r = r_2$ 일때, $h = h_2$ 이므로 다음 식에 의해 계산할 수 있다(Thiem, 1906).

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

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

양수정을 이용하는 경우 영향반경을 산출해야 하며, 본 연구에서는 각 취수정의 영향반경을 50 m로 적용하여 분석하였다. 또한 관측정의 지하수위는 시험직전 측정하여 적용하였으며, 자유면대수층의 두께는 시추조사 성과를 반영하였다. 본 연구에서 반영된 대수층두께, 관측정의 거리, 지하수위, 영향반경, 우물(취수본관)의 반경은 Table 5와 같다.

Table 5. 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 | 970 | 480 | 1500 | 395 | 5000 | 20 |
| SS800 | 960 | 560 | 2130 | 406 | 5000 | 20 |

단계대수성시험 성과를 분석하면, 이중필터취수정에서 평균 투수계수는 관측정을 활용한 경우 0.274 cm/sec, 양수정을 활용한 경우 0.342 cm/sec로 분석되어 양수정을 활용한 분석에서 높은 값을 보였다. 단일필터 취수정의 평균 투수계수는 0.296 cm/sec와 0.310 cm/sec로 분석되었다(Table 6). 이중필터취수정이 관측정을 이용하는 경우 단일필터취수정보다 낮은 투수계수 값을 보이거나 양수정을 이용하는 경우 더 크게 나타나는데, 이는 Fig. 7에 제시된 바와 같이 이중필터취수

Table 6. 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 | Average (3~5 step) | by step | Average (3~5 step) |
| SD1200 | step1 | 1513.4 | 99.80 | 41.23 | 14.51 | 0.313 | | 0.422 | |
| | step2 | 1971.9 | 153.20 | 68.18 | 28.37 | 0.284 | | 0.378 | |
| | step3 | 2498.2 | 217.69 | 95.18 | 40.56 | 0.272 | 0.274 | 0.360 | 0.342 |
| | 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 | | 0.321 | |
| | step2 | 1031.3 | 93.77 | 38.81 | 16.09 | 0.305 | | 0.317 | |
| | step3 | 1495.5 | 147.49 | 62.79 | 27.89 | 0.298 | 0.296 | 0.309 | 0.310 |
| | 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 | |

정 내의 수위강하량이 단일필터취수정에 비해 낮기 때문인 이중필터취수정의 대수층의 포화도가 상대적으로 높는데 기인한 것으로 판단된다. 즉, 양수정에서의 투수계수를 분석한 결과를 볼 때, 이중필터 취수정에서 우물 개량의 정도가 양호하여 단일필터 대비 110.3%의 투수계수 상승효과가 발생하는 것으로 판단된다.

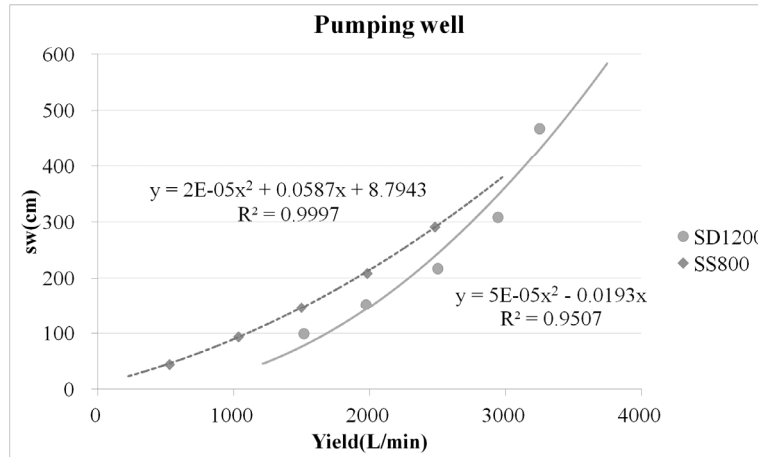


Fig. 7. Comparison of Relationship between yield and Drawdown water level (cm) for dual and single filter well.

단계별 투수계수 변화 양상을 분석하면, 관측정을 이용한 투수계수 평가결과 유량증가에 따라 단일필터와 이중필터 모두에서 일정한 비율로 투수계수가 감소하는 양상을 보이며, 그 차이는 크지 않은 것을 알 수 있다(Fig. 8). 그러나 양수정을 이용한 투수계수 분석결과에서는 동일 양수량 대비 이중필터의 투수계수가 높게 나타나며(Fig. 8), 이는 이중필터가 단일 필터에 비해 투수성이 개선된 영향으로 판단된다.

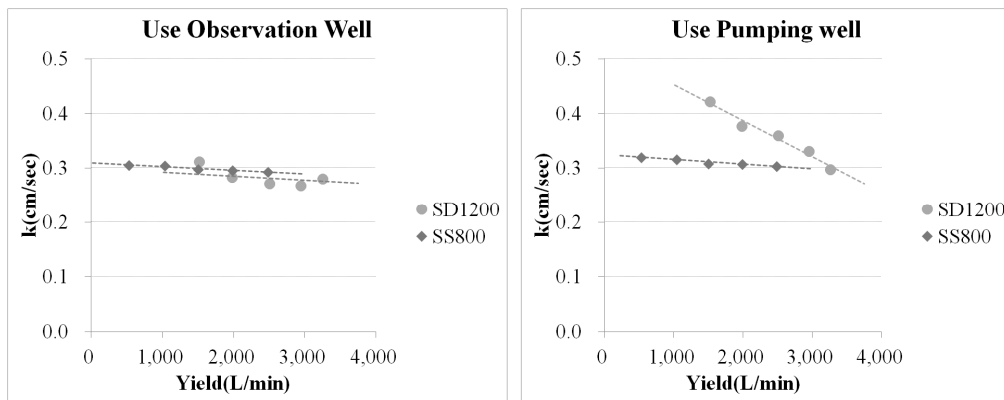


Fig. 8. Change of hydraulic conductivity according to yield.

장기대수성시험에 따른 투수계수는 이중필터취수정에서 관측정을 이용하여 분석한 경우에는 0.309 cm/sec로 평가되었으며, 양수정을 이용한 경우에는 0.337 cm/sec로 양수정을 이용한 평가에서 더 높은 값을 보였다. 단일필터 취수정의 경우에는 관측정을 이용한 경우 0.279 cm/sec로 평가되었으며, 양수정을 이용한 경우 0.304 cm/sec로 분석되었다(Table 7).

Table 7. Hydraulic Conductivity 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 | 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 |

장기대수성시험에서 시간경과에 따른 투수성의 변화양상을 분석한 결과 이중필터취수정(SD1200)과 단일필터취수정(SS800)에서 모두 초기에는 높은 투수계수 값을 보이나 시간이 경과할수록 점차 감소하는 양상을 나타내며 시험 시작 후 500분 이후 구간에서는 안정화되어 일정한 투수계수값을 나타내는 것으로 확인되었다. 이중필터 취수정(SD1200)은 단일필터 취수정(SS800)에 비해 전체적으로 높은 투수특성을 나타내고 있으며(Fig. 9), 결과적으로 이중필터취수정은 단일필터취수정 대비 평균 110.7%의 투수계수 상승효과가 발생하는 것으로 분석되었다.

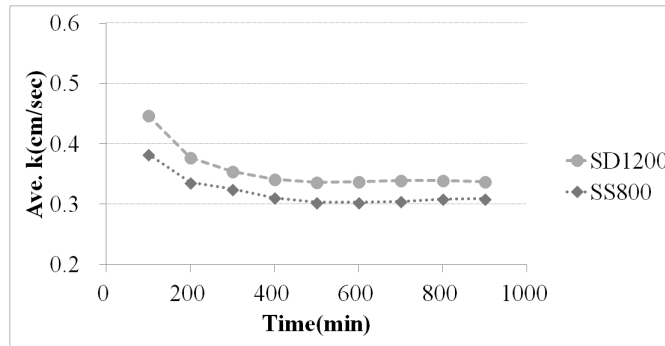


Fig. 9. Hydraulic conductivity changes over time for dual and single filter well in pumping test.

회복시험 데이터를 대상으로 수리해석 프로그램인 AQTESOLV를 활용하여 수리상수를 분석하였다. 분석결과 이중필터취수정인 SD1200에서 0.286 cm/sec, 단일필터취수정인 SS800에서 0.285 cm/sec로 평가되었다(Table 8). 분석결과 이중필터취수정과 단일필터취수정의 투수계수가 거의 동일한 값을 보이고 있으며, 이는 이중필터와 단일필터 취수정의 지층구성 및 대수층 분포심도가 차이가 없기 때문에 양수종료 후 수위상승의 패턴이 일치하는데 기인하는 것으로 판단된다. 결과적으로 양수종료 후 수위상승을 분석한 회복시험의 투수계수는 필터재의 역할보다는 원지반의 투수성에 따른 영향에 지배를 받는 것으로 판단된다.

Table 8. Hydraulic Conductivity and Transmissivity by recovery test results

| Test No. | Ave Yield (L/min) | k (cm/sec) | T (cm ² /sec) |
|-----------|-------------------|------------|--------------------------|
| SD1200(A) | 2509.76 | 0.286 | 157.2 |
| SS800 | 1595.72 | 0.285 | 151.2 |
| SD1200(B) | 1677.44 | 0.330 | 320.1 |

양수량 분석

각 단계별 평균양수량과 양수정에서의 수위강하량과의 관계를 분석하여 적정양수량을 평가하였다. 이중필터취수정

(SD1200)과 단일필터취수정(SS800)에 대한 지하수위강하량과 양수량과의 관계는 Fig. 10에 도시한 바와 같다.

관계식을 근거로 하여 수위강하 심도가 200 cm인 경우로 가정하여 각각의 조건에 대하여 평가하면 이중필터취수정의 적정양수량은 2350.2 L/min로 평가되었으며, 단일필터취수정의 적정양수량은 1913.2 L/min로 평가되어 이중필터취수정이 단일필터취수정 대비 약 437.1 L/min 높은 적정양수량을 보인다(Table 9). 즉, 이중필터취수정을 설치하는 것이 단일필터취수정을 설치하는 것보다 122.8% 양수량이 증대되는 것으로 분석되었다.

Table 9. optimum yeild for yield regression equation in sand formation (drawdown level = 200 cm)

| 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 |

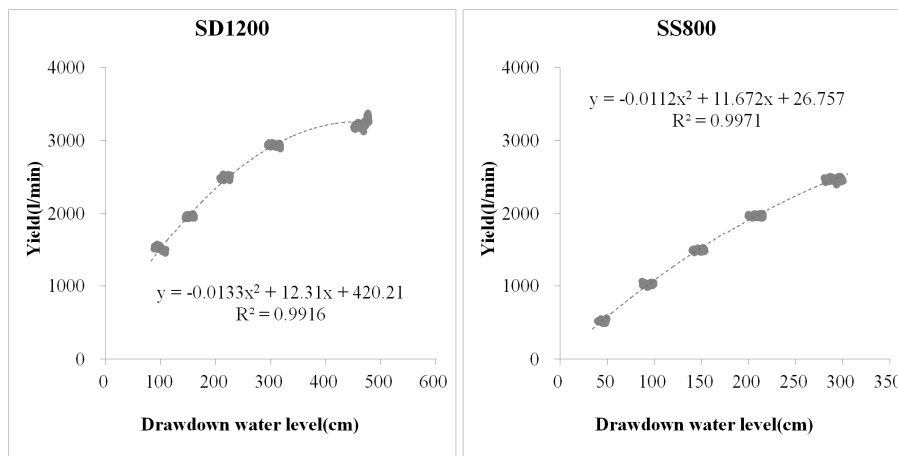


Fig. 10. Relationship of drawdown water level and yield in each test well.

단계별 평균양수량과 양수정에서의 수위강하량과의 관계를 분석하면 수위강하량의 정도에 따른 적정양수량을 평가할 수 있다. 또한 지하수위 강하량과 우물 손실계수를 토대로 적정양수량 평가가 가능하다. 지하수위 강하량(s_w)은 양수량 (Q), 수리전도도, 비산출량, 우물로부터의 거리, 양수시간과 연관된 함수이다(Atkinson et. al. 2010). 우물 인접부 물의 흐름은 난류형태를 보이며, 우물로부터 멀어질수록 유속이 감소하여 층류형태가 된다. 난류는 필터의 클로킹을 야기하며, 시간이 지속될수록 수리저항이 증대되어 우물 손실을 야기할 수 있으며, 대수층과 우물에서 발생하는 층류 및 난류흐름에 따른 수리저항은 수위강하를 유발한다. 우물의 적정양수량은 수위강하량을 양수량으로 나눈 값인 비수위강하량(s_w/Q)이 안정된 상태에서 가능한 양수량을 의미한다. Jacob(1947)은 단계양수시험시 수위강하를 다음과 같이 정의하였다.

$$s_w = BQ + CQ^2 \tag{3}$$

여기서, s_w : 수위강하량, Q : 양수량, B : 선형우물 손실계수, C : 비선형우물 손실계수를 나타낸다. 또한 Rorabaugh (1953)는 양수정에서 지하수를 채수할 때 전체 수위강하량(s_w)을 다음 식으로 표현하였으며, n 은 통상 2~3의 범위를 갖으나 Jacob(1947)이 제시한 2값이 가장 보편적으로 적용된다(Skinner, 1988).

$$s_w = BQ + CQ^n \tag{4}$$

B와 C값은 단계양수시험을 통해 계산할 수 있으며, 생산능력을 표현하는 비양수량(Q/s_w)은 양수량이 증가함에 따라 감소되는 특성이 있다. B와 C값은 비수위강하량(s_w/Q)과의 관계를 통해 계산이 가능하며, 관계식은 다음과 같다.

$$s_w/Q = B + CQ \tag{5}$$

비수위강하량과 양수량의 관계를 분석한 결과(Table 10), 단일필터취수정인 SS800은 이중필터취수정인 SD1200 대비 동일유량에서 높은 비수위강하량을 보이고 있다. 이는 Fig. 11에 나타난 바와 같이 단일필터취수정이 이중필터취수정에 비해 우물에서의 수위강하가 많이 발생하고 이로 인하여 양수량이 저하되는 것으로 판단된다.

Table 10. Specific drawdown for dual and single filter well

| Test No. | Step | Q | | sw | | sw/Q |
|----------|-------|---------|-----------------------|--------|--------|-----------------------|
| | | (L/min) | (m ³ /day) | (cm) | (m) | (day/m ²) |
| SD1200 | 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 |

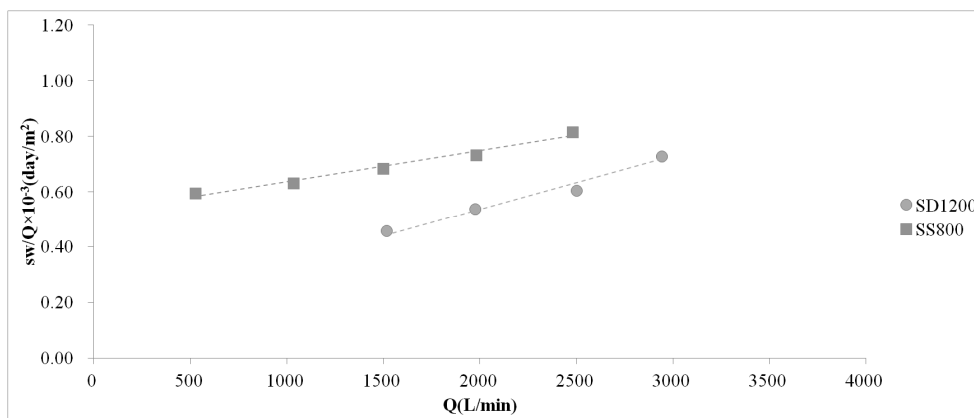


Fig. 11. Relationship of Specific drawdown and yield in each well.

비수위강하량을 이용하여 지하수위면에서 2.0 m 수위강하시의 적정양수량을 산정한 결과 이중필터인 SD1200의 경우, 2552.4 L/min로 분석되었으며, 단일필터인 SS800의 경우, 1875.3 L/min로 평가되었다(Table 11). 결과적으로 이중

필터취수정이 단일필터취수에 비해 136.0% 높은 적정양수량을 보이는 것으로 분석되었다.

Table 11. Optimum yield estimation used specific drawdown equation (drawdown level = 2.0 m)

| Test No. | Regression equation($\times 10^{-3} \text{ d/m}^2$) | B | C | Optimum Yield (L/min) |
|-----------|---|------------|-------------|-----------------------|
| SD1200(A) | $s_w = 0.0001 Q^2 + 0.1766 Q$ | 0.1766E-03 | 0.0001E-03 | 2552.4 |
| SS800 | $s_w = 0.00008 Q^2 + 0.5246 Q$ | 0.5246E-03 | 0.00008E-03 | 1875.3 |

일반적으로 우물의 적정양수량을 평가하는 방법은 변곡점을 활용하는 방법이다. 변곡점을 이용하는 평가는 수위강하량에 따른 양수량의 변화추이를 바탕으로 2개의 선형식을 사용하여 그 접점에 해당하는 적정양수량을 산출한다(Fig. 12).

변곡점을 이용한 평가결과 이중필터취수정 SD1200의 적정양수량은 2848.3L/min로 평가되었으며, 단일필터취수정인 SS800의 적정양수량은 1777.5L/min로 평가되었다(Table 12). 이중필터와 단일필터취수정의 적정양수량을 비교하면, 이중필터가 단일필터에 비해 160.0% 높은 적정양수량을 보이는 것으로 분석되었다.

Table 12. Optimum yield estimation used point of inflection in sand formation

| Test No. | Regression equation | sw (cm) | Optimum Yield (L/min) |
|----------|---------------------------------------|---------|-----------------------|
| SD1200 | 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 $Q = 6.0603 \times s_w + 712.24$ | | |

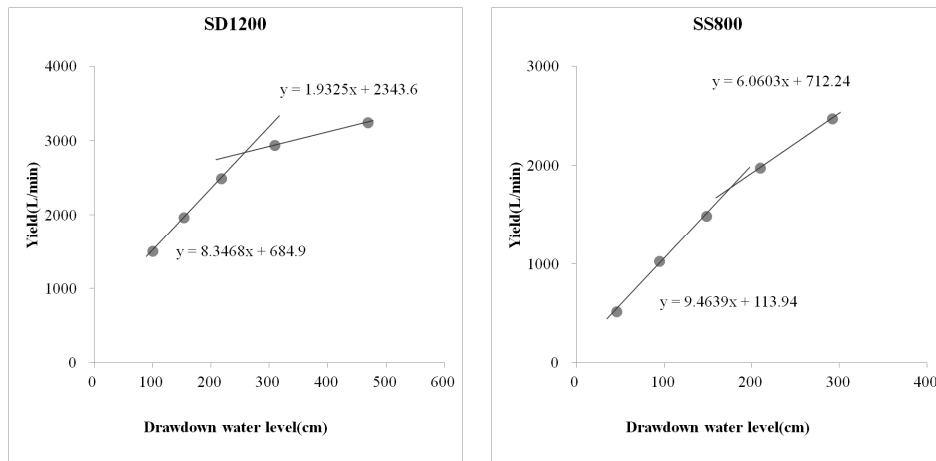


Fig. 12. Graph of inflection point estimation used linear equation.

결론

이중필터취수정의 해수취수 적용성에 대한 평가를 목적으로 수행한 본 연구에서는 토층으로 이루어진 해변의 자유면 대수층에서 필터조건을 달리하여 실규모의 이중필터취수정과 단일필터취수정을 각각 설치하고 설치된 우물에서 단계 및 연속대수성시험을 실시하여 필터재 조건에 따른 투수특성 및 적정양수량을 평가하였다.

단계대수성시험 분석결과 이중필터 취수정에서 우물 개량의 정도가 양호하여 단일필터 대비 110.3%의 투수계수 상승 효과가 발생하는 것으로 분석되었다. 동일 양수량 대비 이중필터의 투수계수가 높게 나타나며, 이는 이중필터가 단일필터에 비해 투수성이 개선된 영향으로 판단된다. 연속대수성시험 분석결과 관측정 및 양수정을 이용한 투수계수 분석에서 이중필터취수정(SD1200)이 단일필터취수정(SS800)에 비해 높은 투수특성을 나타내는 것으로 평가되었으며, 이중필터가 단일필터 대비 평균 110.7%의 투수계수 상승효과가 발생하는 것으로 분석되었다. 회복시험 분석결과, 이중필터취수정(SD1200)과 단일필터취수정(SS800)이 동일한 투수특성을 나타내는 것으로 평가되었으며, 이는 양수가 종료된 후의 투수계수가 필터재의 역할보다는 원지반의 투수성에 따른 영향에 지배를 받기 때문으로 판단된다.

수위강하량 분석을 통한 양수량 평가결과, 수위강하 2.0 m일 때 이중필터 취수정이 단일필터 취수정 대비 약 437.1 L/min 높은 적정양수량을 보이는 것으로 평가되었으며, 이는 단일필터 취수정 대비 이중필터 취수정이 122.8% 양수량이 증대되는 것을 의미한다. 비수위강하량과 양수량의 관계를 분석한 결과 단일필터취수정에서 이중필터취수정에 비해 우물에서의 수위강하가 많이 발생하고 이로 인하여 양수량이 저하되는 것으로 판단된다. 비수위강하량을 이용하여 지하수 위면에서 2.0 m 수위강하시의 적정양수량을 산정한 결과 이중필터취수정이 단일필터취수정에 비해 136.0% 높은 양수량을 보이는 것으로 분석되었다. 변곡점을 이용한 양수량 평가결과 이중필터가 단일필터에 비해 160.0% 높은 적정양수량을 보이는 것으로 분석되었다.

결과적으로 우물의 필터층을 이중필터로 적용하는 경우 우물개량에 따른 투수특성이 개선되고 이로 인하여 취수량이 증대되는 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 적정양수량의 경우 분석방법에 따라 단일필터 대비 122.8~160.0%의 개선효과가 있는 것으로 평가되었으며, 이를 평균한 단일필터 대비 이중필터의 양수량 개선율은 139.6%이다. 즉, 이중필터 설치만으로 일반적인 우물 대비 취수효율이 40% 정도 개선될 수 있음을 확인하였다.

변곡점을 이용한 이중필터취수정의 적정양수량은 2843.3 L/min로써 이중필터취수정 단일공의 일 해수취수량은 약 4,100 m³/day (≒4094.3 m³/day)에 달하는 것으로 평가되었다. 이와 같이 공당 다량의 취수가 가능하기 때문에 해수취수의 적용성이 높을 것으로 기대된다. 이중필터취수정을 이용하여 해수취수를 수행하는 경우 기존에 문제시되었던 기상악화나 태풍 등에 의한 파손우려를 해소할 수 있으며, 해변의 모래층이 필터재 역할을 하여 오염정도를 개선하는 효과가 있을 것으로 기대된다. 따라서, 기존 해수취수기술에 대한 환경적인 문제 해결의 대안이 될 수 있고, 설치비용 및 파손등과 관련된 장기적인 유지관리비용 면에서도 유리하여 경제적 측면에서 그 적용성이 매우 높을 것으로 판단된다. 다만, 해변과의 거리 및 담수지하수의 유입정도에 따라 해수의 염도가 변동될 수 있어 사용목적에 따라 적합여부가 달라질 수 있기 때문에 향후 이에 대한 추가적인 연구를 수행할 필요가 있다.

사사

이 논문은 국토교통부의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구사업(과제번호: 17TBIP-C125148-01)입니다. 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

- Atkinson, L.C., Kemping, P.G., Wright, J.C., Liu, H., 2010, The challenges of dewatering at the victor diamond mine in Northern Ontario, Canada. *Mine Water Environ*, 29(2), 99-01.
- Blair, A.H., 1970, Well screens and gravel packs, *Groundwater*, 8(1), 10-21.

- Choi, H.M., Lee, J.Y., Cheon, J.Y., Jun, S.C., Kwon, H.P., 2010, Estimation of optimal pumping 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., 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](http://dx.doi.org/10.1016/S0011-9164(03)00347-3).
- Han, J.S., 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.*, 112(2321), 1047-1064.
- 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, 23p.
- 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(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.
- Thiem, Günther, 1906, "Hydrologische methoden" (in German). Leipzig: J. M. Gebhardt: 56.