

## 방사형 집수정에 의한 강변여과수 산출량 산정에 관한 연구

정지훈<sup>1)</sup> · 박재현<sup>2)</sup> · 박창근<sup>3)</sup> · 양정석<sup>1)</sup> · 김대근<sup>4)</sup> · 정교철<sup>5)</sup> · 최용선<sup>6)</sup> · 부성안<sup>7)</sup>

<sup>1)</sup>인제대학교 건설기술연구소, <sup>2)</sup>인제대학교 토목공학과, <sup>3)</sup>관동대학교 토목환경공학과

<sup>4)</sup>대불대학교 토목공학과, <sup>5)</sup>안동대학교 지구환경과학과, <sup>6)</sup>인제대학교 시스템경영공학과

<sup>7)</sup>농업기반공사 농어촌연구원

## Calculation of the Yield of Bank Filtration by Using the Horizontal Collector Wells

Ji-hoon Chung<sup>1)</sup>, Jae-hyeon Park<sup>2)</sup>, Chang-kun Park<sup>3)</sup>, Jung-suk Yang<sup>1)</sup>

Dae-kun Kim<sup>4)</sup>, Kyo-cheol Jeong<sup>5)</sup>, Youg-sun Choi<sup>6)</sup>, Sung-an Bu<sup>7)</sup>

<sup>1)</sup>Construction Technology & Research Center, Inje University

<sup>2)</sup>Dept. of Civil Engineering, Inje University,

<sup>3)</sup>Dept. of Civil Engineering, Kwandong University

<sup>4)</sup>Dept. of Civil&Environmental Engineering, Daebul University

<sup>5)</sup>Dept. of Earth and Environmental Sciences, Andong National University

<sup>6)</sup>Dept. of Systems Management Engineering, Inje University

<sup>7)</sup>Rural Research Institute in Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation

강변여과수 취수에 있어 수직정의 문제점을 해결하기 위해 방사형 집수정에 의한 취수 방식을 해결 방안으로 모색되어 지고 있다. 본 연구는 방사형 집수정에 의한 강변여과수 개발 시 개략적 산출량 예측을 위한 방법으로 사용하는 경험식(Petrovic식, Milojevic식)의 적용성 및 균우물을 이용한 방사형 집수정 모델링 가능성에 대해 검토하였다. 강변여과수 산출량 계산 시 Milojevic 경험식은 하천의 자연조건, 스크린의 직경, 설치위치 등을 고려하기 때문에 Petrovic 경험식에 비해 적용성이 큰 것으로 나타났고, 균우물을 이용한 방사형 집수정 지하수위 특성에 대한 모델링과 수위하강 특성 등이 유사하게 나타났다. 또한 방사형 집수정 설치 시 수평정 각도 등을 조정함으로써 지하수위 하강을 감소시킬 수 있으며 체류시간 확보에 일정부분 기여 할 것으로 나타났다.

**주요어 :** 강변여과수, 방사형 집수정, 산출량, 체류시간

The horizontal collector well is used to treat some weak points of the vertical well in the bank filtration site. In this study two empirical formulas(Milojevic and Petrovic) are selected to examine the applicability for calculating the yield of the horizontal collector. And they are compared with the compute simulation results for multiple wells. Milojevic empirical formula which considers the conditions such as aquifer, well location, the diameter of screen etc. is more applicable than Petrovic formula. Draw-down characteristics of horizontal collector was well simulated by using the computer simulation for multiple wells. The results are well agreement with Milojevic formula, and the draw-down and the retention time of the horizontal collector can be controlled by adjusting the angle of lateral screens.

**Key words :** River Bank Filtration, Horizontal Collector Well, Yield, Retention Time

\* Corresponding author : jh-park@inje.ac.kr

## 서 론

상수원수 확보는 거의 대부분을 표류수에 의존하고 있는데, 표류수의 경우 수질오염 증가와 돌발수질오염사고에 대한 대응 등의 취약점을 안고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 고도정수처리기법 등이 도입되어지고 있으나 근본적으로 수질오염에 대한 문제를 해결하기에 한계를 가지고 있다. 원수 수질의 안정성 확보를 위해 표류수 중심의 취수 방식을 개선하고, 고도처리 고비용의 문제를 해결하기 위해 강변여과수, 직접인공함양, 지하댐 등을 활용한 양질의 수자원 확보 중요성이 부각되어지고 있다.

낙동강 유역하류에 위치한 부산/경남지역의 상수원수 취수는 대부분 낙동강 하천 표류수에 의존하고 있는데, 낙동강은 하상계수, 하상경사 등 하천공학특정상 수질 자정에 장기간 소요되는 특징을 가지고 있다. 이러한 문제뿐만 아니라 상류지역과 하류지역 간의 물 분쟁, 수자원의 다원화 요구 등의 문제가 상존하고 있다. 이러한 문제를 극복하기 위한 방안으로 낙동강 하류의 총적층을 활용하는 강변여과수 개발 사업이 추진되어지고 있다(환경부 등, 2000).

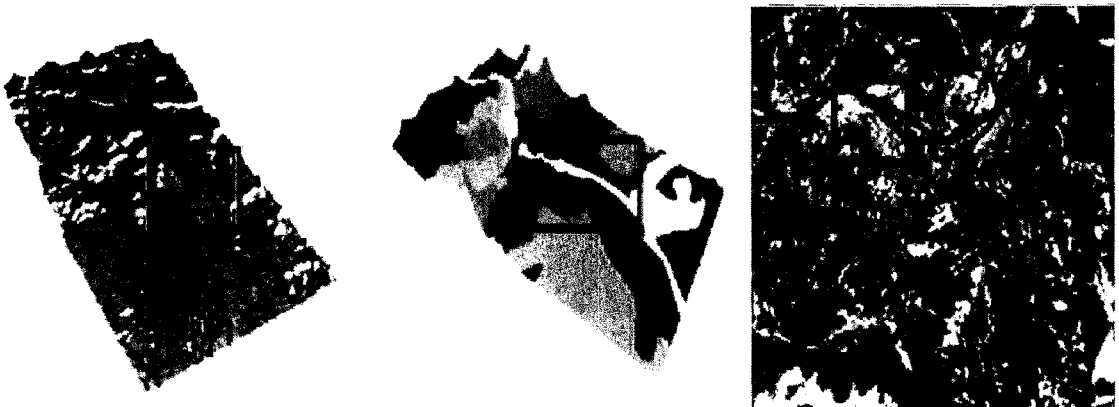
현재의 강변여과수 개발은 수직정 위주의 개발 방식으로 이루어지고 있으나 수직정을 이용한 취수방식은 산출량의 한계를 가지고 있어 대용량 취수를 위해서는 많은 취수정 착정이 불가피하다. 또한 관정의 취수효율을 위하여 영향반경 이상의 거리를 두어야 하기 때문에 과도한 취수정의 수, 도수관로 연장증가 등 관리상의 어려움을 안고 있다. 이러한 수직형 집수정의 문제를 해결하기 위하여 방사형 집수정(Horizontal Collector Well)을 이용한 문제 해결방안이 모색되어

지고 있다. 국내의 경우 대용량 강변여과수 개발 방사형 집수정이 설치된 사례가 없다. 국내에서 1형 집수정을 설치하는 경우 설계 단계에서 일반적으로 경험식을 사용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 원시 대산면 일대에서 시행되고 있는 창원시 강변여과수 개발사업을 연구 대상지역으로 선정하여, 개발 지역의 지형 및 지하지질 등의 자료를 기초로 하여 방사형 집수정을 이용한 강변여과수 개발시 사용되어지는 경험식들의 타당성을 비교 검토하고자 한다. 이를 위해 Visual Modflow를 이용하여 수치해석을 통해 경험식의 특성을 검토하고 방사형 집수정 설계시 산출량 및 전체 수위 변동에 영향을 주는 주요 인자들을 검토하고자 한다.

## 연구대상 지역

연구대상 지역인 창원시 대산면 갈전지구 일대는 현재 '창원시 읍면지구 상수도 사업'이 진행 중이며, 국내에서 최초로 시행되는 총 연장 19km에 달하는 대규모 강변여과수 개발 지역이다. 대산면 갈전지구의 DEM자료, 토양도, 인공위성사진은 Fig. 1과 같다.

창원시 대산면 일대 구성 지질은 대부분이 유천층군에 해당하는 화산암류와 퇴적암류로 구분되어지며, 화산암류들은 안산암질응회암, 유문암질응회암, 역질응회암 등으로 구성되어 있다. 또한 낙동강 본류에서 창원시 및 김해시 진영읍 주남저수지 일대까지 총적층이 상당히 넓게 발달해 있다. 물리탐사 및 시추조사에 의하면 총 대수층의 두께가 33m~40m, 자갈 및 모



DEM, Soil Map and Satellite Image for Daesan myeon Galjun Area in Changwon City

래로 이루어진 주대수층은 총적층의 최하부로 12.5m~16.0m로 조사되어졌다 (창원시 강변여과수 개발 타당성 조사 보고서, 1998). 본 연구 대상지구의 투수계수(K)는 제외지, 제내지 및 각 토양 및 지질 특성에 따라 다양하게 나타났다.

현재 강변여과수 개발 1단계 사업이 진행 중에 있으며 강변에서 80m~160m 지점의 제외지에 2배열 방식으로 시행되고 있으며, 공당 2000m<sup>3</sup>/day의 수직정 취수 방식으로 건설되어지고 있으며, 기 완료된 취수정에서 현재 10,000m<sup>3</sup>/day 강변여과수를 취수하고 있다. 연구대상 지역에서 하천수 및 강변여과수의 수질 분석 의뢰 및 자체 수질 측정(2003년 4월 ~ 2004년 10월) 모니터링결과 강변여과수의 경우 하천수에 비해 모든 항목에서 아주 우수하나 철/망간 검출이 하천수에 비해 높게 나타났다(창원시, 2003).

### 방사형 집수정에 의한 강변여과수 개발

강변여과는 강변에 자연적으로 존재하는 총적층의 오염저감 능력을 이용하여 간접취수 하는 방식으로 원수를 장기간 강변의 대수층에 체류시켜 자연자정능력을 이용하여 원수의 오염물질이 여과, 제거된 물을 취수하는 방법으로 오염된 하천 표류수를 직접 취수하는데 따른 정수문제, 수질오염사고의 취약성을 등을 개선하기 위한 간접 취수 방법 중에 하나이다(Fig. 2). 특히 방사형 집수정은 미 고결 포화 퇴적층에서 지하수를 생산하기 위해 고안되어 발전된 취수 방식, 투수성이 비교적 양호한 총적 대수층으로부터 대용량의 천층 지하수를 개발하기 위하여 하천변에 설치하거나

오염된 지하수를 투수층 내로 유도한 후 수질을 개선시키기 위해 설치하는 취수 시설을 의미 한다.

방사형 집수정은 우물의 표면적이 크므로 대수층과 필터, 스크린 사이의 경계 유속이 낮아, 한 집수정에서 많은 양의 취수 가능하고, 홍수와 손상에 대한 보호가 용이하며, 에너지 및 유지관리를 위한 운전효율 항상 이 증가되는 장점을 가지고 있다.

### 경험식을 이용한 산출량 예상

방사형 집수정에서 산출량을 예측할 경우 일반적으로 대응 수직정의 효율경은 특수집수정의 수평 집수관 길이의 75%로 취하는 것이 통례이며 대수층의 두께, 수평집수관의 본 수, 설치위치 및 길이, 지하수의 강하 정도 등에 따라 산출량이 결정되어 진다.

특수 집수정에서 개략적인 산출량 산정법은 수평 집수관의 개수와 수평천공 심도를 결정하기 위해 기존의 시행된 방사형 집수정 설계에 대해 농업기반공사에서 검토 및 실행한 결과에 의하면 Petrovic 경험식, Milojevic 경험식을 주로 사용하는 것으로 알려져 있다(한정상, 2000)

#### a. Petrovic 경험식

Petrovic 경험식은 하천에서 어느 정도 거리에 떨어져 있는 지점에서 방사형 집수정을 설치하였을 때 예상되는 산출량 산정에 사용되어진다.

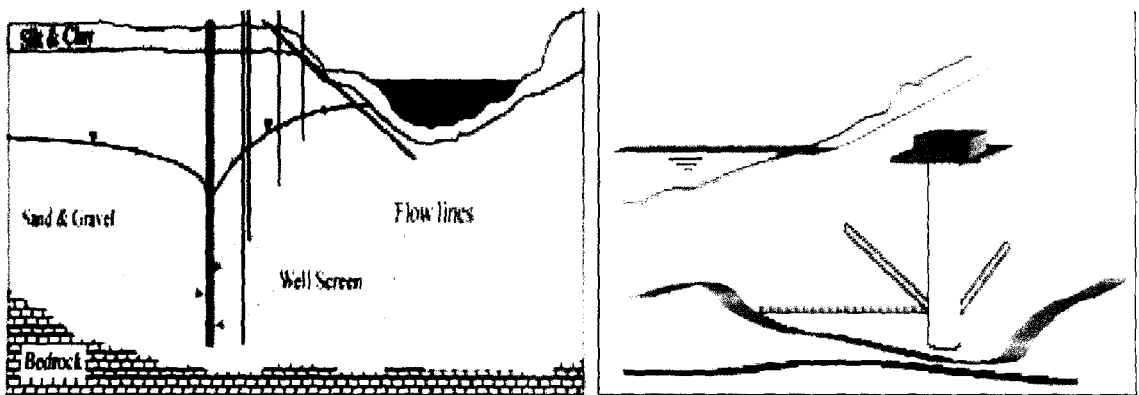


Fig. 3. Schematic Illustration of River Bank Filtration and Horizontal Collector Well

Table 1. Parameters of Petrovic Formula

Number of Horizontal Screen	A	B	C
4	4	3	5.25
8	3	2.9	7.31
12	4.068	3.068	10.00
16	3.718	2.718	11.2

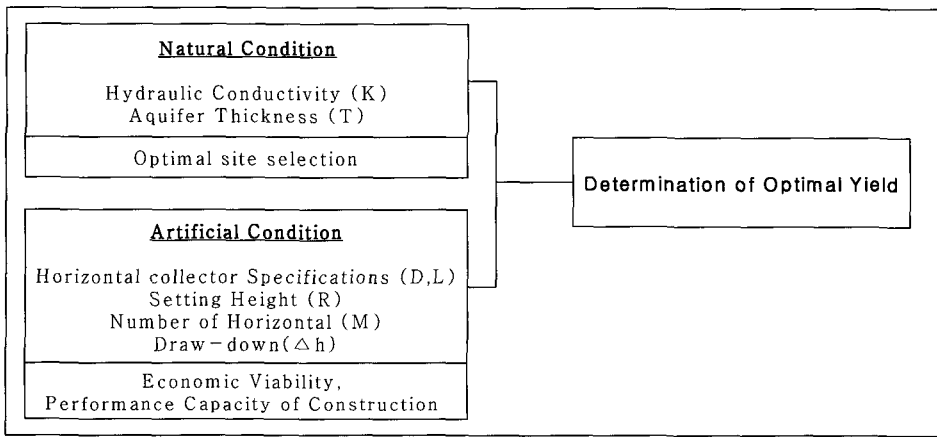


Fig. 3. Conditions for Determination of the Optimal Yield

$$Q = \frac{L \times m \times k \times H \sqrt{A - B \times h / H - 1}}{C} \quad (1)$$

- Q: 총취수량(m<sup>3</sup>/일),
- m: 수평 집수관의 수(개)
- A, B, C: Petrovic의 상수(Table 1 참조)
- k: 대수층 수리전도도(m/일)
- L: 수평 집수관의 분당 길이(m),
- H: 갈수기 때 대수층 두께(m),
- h: 안정수위시 대수층 두께(m)

b. Milojevic 경험식

$$\frac{Q}{kT(H-h)} = \left(\frac{t}{L}\right)^{0.10} \times \left(\frac{D}{L}\right)^{0.15} \times \left[4.13 m^{0.1415} - 1.22\left(\frac{T}{L}\right)\right] \left(\frac{1}{\log \frac{2r}{L}}\right)^A \quad (2)$$

$$A = 0.914 + 0.0183 - 0.348 \left(\frac{T}{L}\right)^{\frac{2}{3}}$$

- D: 수평 집수관 관경
- t: 불투수층으로부터 수평 집수관 높이
- L: 수평 집수관 길이
- m: 수평 집수관 개수
- r: 집수정에서 하천유로까지 거리
- T: 대수층 두께
- k: 대수층 수리전도도
- H-h: 집수정의 수위강하량
- Q: 집수정의 채수량

Table 2 Impact Factors and Expected Yield

Rank	Impact Factors	Remark
1	Hydraulic Conductivity : 15m/day(from pumping test), Depth of Aquifer 38m , Draw-down : 12m~14m , Location : 80m from River	Yield
2	Horizontal Screen : D=0.25m, L=30m, Number of Horizontal Screens: 12, Setting Height:14m	Construction Capacity
Expected Yield : about 15000m <sup>3</sup> /day		

투수계수, 대수층의 두께 등의 일부 동일조건하에서 위 두 경험식의 산출량을 비교할 때 Petrovic 경험식에 의한 산출량에 비해 Milojevic 경험식에 의한 산출량이 약 1.5 배 이상 더 산출되어진다. 그러나 적용인자들(하천과의 거리 등)의 차이로 산출량 비교가 부적절한 것으로 판단되어진다. Petrovic 경험식은 상수가 많으며, 하천과의 거리, 스크린 관경 등을 고려하지 않는 단점이 있다. Milojevic 경험식은 수평관의 설치 심도를 가정하거나 역으로 추산하는 문제를 가지고 있으나 하천과의 거리(설치위치) 등을 고려하는 인자들을 포함하고 있다. 따라서 하천변 강변여과수 개발에서 개략적 산출량 예측은 Milojevic 경험식이 하천변 방사형 집수정 산출량 예측에 적합하리라 판단되어진다.

Milojevic 공식을 이용한 강변여과수 산출량은 자연적 조건(대수층의 특성) 및 인위적 조건인 강변에서부터의 위치, 수평정 제원, 인위적 수위 하강율에 따라 산출량이 결정되어진다(Fig. 3 참조).

위에서 언급한 바와 같이 자연적 조건, 시공성 및 경제성고려 관경, 설치위치 설치심도 등을 조정하여 연구지역에 대한 방사형 집수정에 의한 예상 산출량을 결정하였다.

식 2 의 좌·우항을 정리하면  $Q = A \times kT(H - h)$ 와 같이 예상 산출량은 인위적 조건(수평정의 제원 및 설치위치, 개수, 대수층두께, 설치위치 등에 대한 보정) × 자연적 조건(대수층의 특성: 투수계수, 대수층 두께) × 수위 하강률로 나타내어진다. 보정항 A의 경우 무차원 단위로서 일정 수준의 수평정 제원이 결정되면 2~4의 상수 값을 가지며, 수평정 개수, 관경 길이 등의 변화에 대한 상수 값 변화가 미소하다. 위 공식에서 산출량에 가장 큰 영향을 주는 인자는 자연적 조건(투수계

수, 대수층두께) 및 인위적 수위하강률이며, 산출량의 변화에 민감하게 작용한다. 즉 방사형 집수정 개발에 있어 자연적 조건이 우수한 적지를 선정하는 하는 것이 중요한 요소라고 할 수 있다.

#### 군우물을 이용한 방사형 집수정의 수위하강 특성 분석

수평정 집수관을 이용한 지하수 개발은 수직정 개발과 달리 집수관 형태에 따라 조금 다르지만 대개 집수관 중심에서 최대 수위하강이 발생한다. 수평정 설치 개수를 늘리고 대형형으로 설치할 경우 최대 수위하강지점은 집수관 우물통 벽면에 가까워지는 특성을 가지고 있다.

방사형 집수정에 의한 강변여과수 개발을 위한 지하수 모델링은 수평정의 효율 반경을 이용한 대응수직정의 지하수 모델링을 기초로 분석한다. 그러나 이러한 대응 수직정 모델링의 경우 실제 수평정 수위 하강 특성과는 다르게 집수정 중심에서 급하강 경향이 뚜렷하다. 그러나 Fig. 4 와 같이 수평정의 경우 완만한 수위 하강 및 집수관 중심에서 급격한 수위 하강 특성이 나타나지 않는다.

지하수 모델링은 수평정길이(30m)의 75% 효율 반경을 가지는 대응수직정 및 수평정 반경내 소형 군우물을 (+) 형태로 설치하는 것을 가정하였다. 또한 예상 산출량 산정 시 적용했던 대수층 특성 인자를 사용하였고, 양수량 15000m<sup>3</sup>/day, River Boundaries(연 하천 평균수위)조건, 강수 및 인공 함양 조건은 고려하지 않았다.

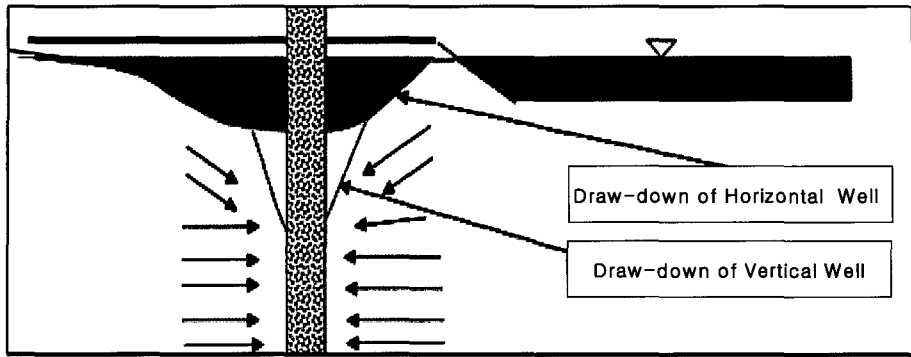


Fig. 4. Draw-down Characteristics of Horizontal and vertical well in RBF

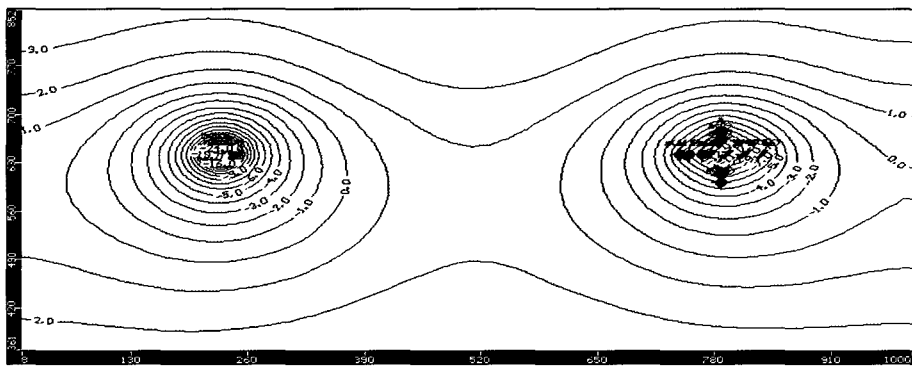


Fig. 5. Simulated Draw-down Results for the Corresponding Vertical Well and Multiple Wells

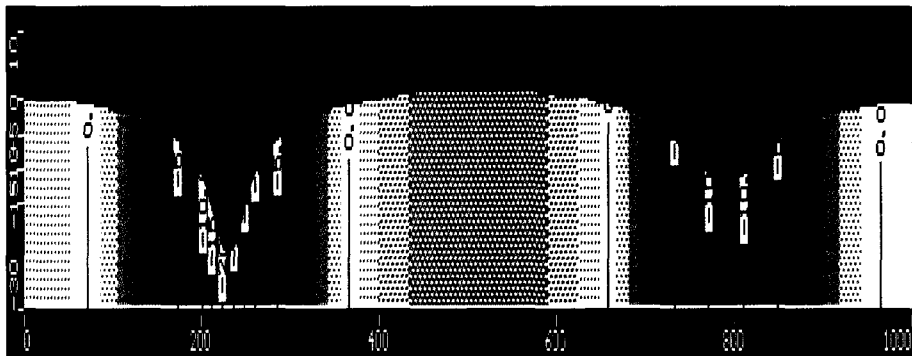


Fig. 6. Simulated Draw-down Results (Cross Section for River Flow Direction)

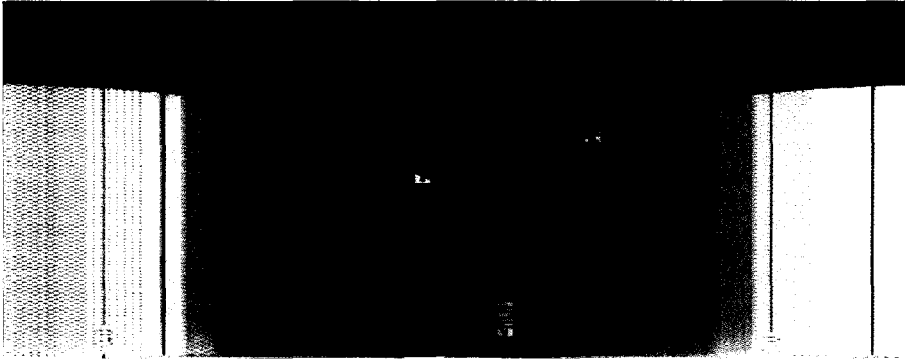


Fig. 7. Comparison of Simulated Draw-down Result around Wells(Cross Section for Parallel with River Flow Direction)



Fig. 8. Comparison of Simulated Draw-down Result around Wells (Cross Section for Perpendicular to River Flow Direction)

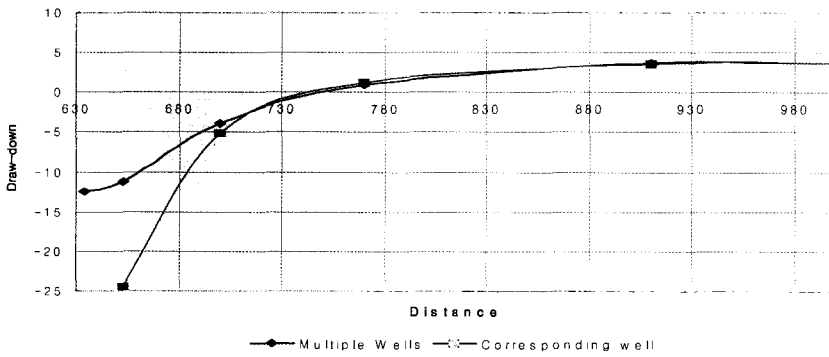


Fig. 9. Comparisons of Draw-down from the Center of Well

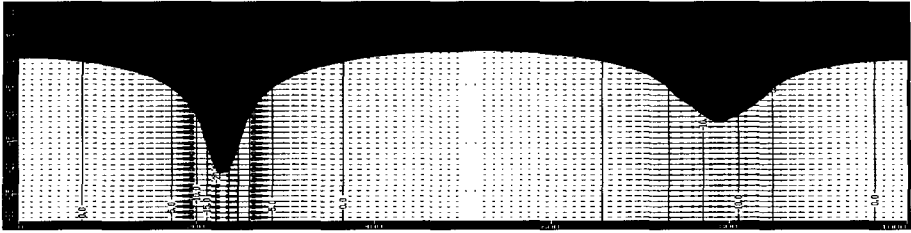


Fig. 10. Comparison of Approaching Velocities for the Corresponding Vertical Well and Multiple Wells

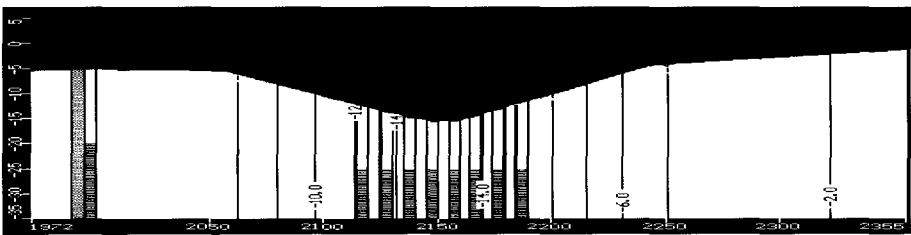


Fig. 11. Simulated Draw-down (cross section for parallel with river flow direction)

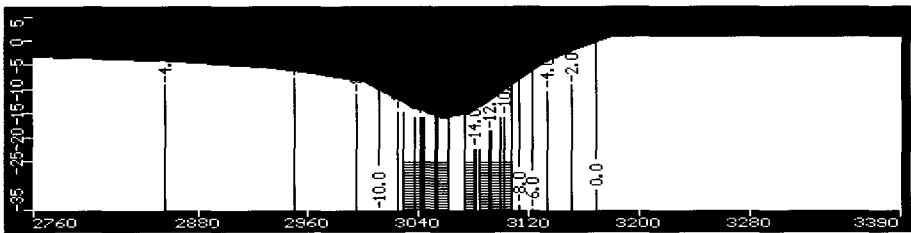


Fig. 12. Simulated Draw-down (cross section for perpendicular to river flow direction)

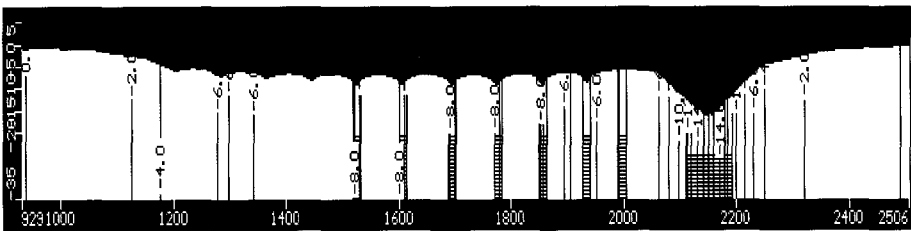


Fig. 13. Simulated Draw-down on the 1st Row(80m from River)



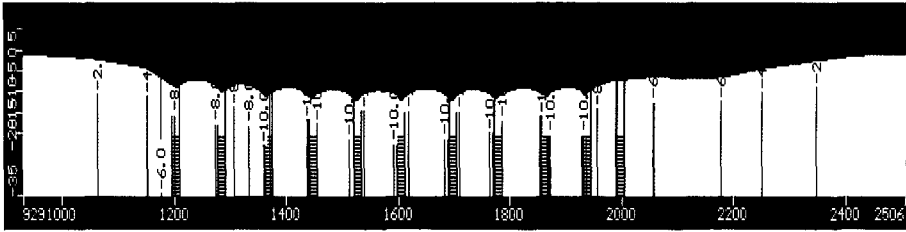


Fig. 14. Simulated Draw-down on the 2nd Row(160m from River)

또한 균 우물 양수량의 경우 총 양수량을 각 우물에 동일하게 배분하여 총 양수량을 동일하게 적용하여 지하수위 변동 특성을 파악하였다.

대응 수직정 및 균우물을 이용한 지하수 모델링 결과는 다음 Fig. 5~Fig. 9와 같다. Fig. 5는 대응 수직정과 균우물의 전체적인 수위 하강 특성을 나타내고 있다. 여기서 전체적인 영향 반경 및 수위 하강 특성을 유사하게 나타냈으나 집수관 중심에 근접할수록 수위 하강 양상은 서로 상이하게 나타났다.

Fig. 6은 하천흐름과 평행인 방향의 수위하강 특성을 나타낸 것으로 대응수직정과 균우물의 수위 하강 특성을 표현하고 있다. 대응 수직정과 균우물의 최대 수위 하강 차이는 약 14m이며, 집수관 중심부위 수위 하강 특성이 상이함을 잘 보여주고 있다.

Fig. 7, 8, 9는 하천흐름과 평행/수직인 방향에서 집수관 중심부의 수위 하강 특성을 중첩시킨 그림이다. 대응 수직정의 경우 집수관 중심에서 급격한 수위 하강 특성을 보인 반면 균우물 집수정의 경우 완만한 수위 하강 특성을 나타냈다. 균우물의 경우 하천에 가까울수록 수위하강 반응이 빠르나 수평정 반경 내에서 완만하게 하강하는 특성을 보였으며 대응 수직정의 경우 효율반경 내에서 급격하게 수위하강양상이 발생하였다.

대응 수직정과 균우물의 유입속도를 비교하면 대응 수직정 중심에서 최대 0.00046m/s로 나타났으며 균우물의 경우 중심에서의 유입속도는 0.00009m/s로 약 1/5 저속으로 유입되는 특성을 보였다(Fig. 10 참조).

대응 수직정 및 균우물 모델링 결과 두 집수정의 영향 반경은 거의 동일하나 집수정 부근의 수위 하강 양상 및 유입속도 등에 대하여 다르게 나타났다. 균우물을 이용한 모델링은 방사형 집수정 수위하강 양상과 유사함을 알 수 있었다. 따라서 방사형 집수정에 의한 강변여과수 산출시 지하수위 모델링에 균우물을 이용

하면 보다 정확한 모델링 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단되어진다.

현재 진행되고 있는 창원시 대산면 일대 강변여과수 개발 사업지역 내 방사형 집수정 설치 시 예상되어지는 지하수위변동 특성을 균우물을 이용하여 모델링을 수행하였다. 창원시 대산면 일대 강변여과수 개발 사업에서 최근 완료된 취수정(20개, 2열, 40,000m<sup>3</sup>/day) 및 방사형 집수정(수평정 길이 30m, 하천변 80m 지점 설치, 15,000m<sup>3</sup>/day) 산출 예상량을 포함한 총 55,000m<sup>3</sup>/day 산출시 예상되는 지하수위 특성 및 방사형 집수정 인근의 수위하강 특성 모델링 결과는 다음 Fig. 11 ~ Fig. 15와 같다.

균우물 모델링 수행결과에 의하면 경험식(Melojevic공식)을 이용할 때 가정하였던 수위하강(14m)과 유사한 특성을 나타냈다. 균우물은 방사형 집수정 지하수위 모델링시 수위하강 경향이 실제 수평정 하강 특성과 유사하며, 산출량 산정시 수위하강률과 유사하였다. 따라서 기존의 수평정에 대한 모델링에 대한 수치해석 프로그램이 없는 상황에서 균우물을 이용한 지하수위 모델링을 적용함으로써 실제와 유사한 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단되어진다.

강변여과수 개발에 있어 가장 중요한 수질 결정 요인으로 하천 표류수가 대수층을 통과하는 동안 각종 미생물이 흡착되어 정화되는데 필요한 체류시간 확보가 필요하다. 그러나 국내 체류시간에 대한 기준이 없으며 유럽의 경우 50일 체류를 기준으로 하고 있다. 집수정에 의한 산출량 증가에 따른 수위하강 폭이 커지면 체류 시간이 급격히 감소하면 방사형 집수정에 의한 강변여과수 개발시 수평정에 대한 모델링 및 경험식 등에 대한 한계성으로 체류시간을 예측하기 힘들다.

방사형 집수정 설치위치 및 각도 조정으로 수위하강 감소를 위한 예측에 대한 가능성을 균우물 취수정을 이용하여 평가하였으며, 균 우물의 취수정의 설치

각도를 조정함으로써 수위가 1~1.5m 상승하는 것으로 나타났다.

## 결 론

본 연구는 창원시 대산면 일대에서 시행되고 있는 창원시 강변여과수 개발사업을 연구 대상지역으로 선정하여 방사형 집수정에 의한 강변여과수 개발 시 예상 산출량 및 특성에 파악에 사용되는 경험식 비교와, 방사형 집수정에 의한 수위 하강 특성을 모색하였다.

방사형 집수정에 의한 강변여과수 개발설 하천변 대수층 특성, 설치위치 등을 인자로 하는 Milojevic 경험식이 유리하다고 판단되어진다. 또한 균우물 집수정을 이용한 방사형 집수정 모델링 수행결과 방사형 집수정 지하수위 하강 특성과 유사한 결과를 나타내 방사형 집수정의 지하수 적용가능성을 제시하였다. 방사형 집수정의 설치위치 및 설치 각도 조정을 통해 수위 하강율을 낮출 수 있으며, 이로 인한 강변여과수의 충격층 내 체류시간을 증가시킬 수 있을 것으로 판단되어진다.

현재 방사형 집수정에 의한 강변여과수 개발은 시작단계에 있어 지하수위 및 산출량에 대한 모델링 및 예측에 한계를 가지고 있다. 이러한 한계점을 해결하기 위해 Pilot Plant를 설치하여 산출량 및 지하수위 특성 파악이 요구되어진다. 또한 실내 모형실험을 통해 강변여과수 이동에 대한 수리특성을 분석할 필요가 있으며, 기존의 수직형 집수정 위주의 수치 모델링을 개선할 수 있는 수치모델 프로그램 개발이 시급한 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 한정상, 2000, 지하수환경과 오염, 박영사  
 한정상 외, 1999, 3차원 지하수 모델과 응용, 박영사  
 창원시, 2003, 창원시 강변여과수 개발관련 자료집  
 창원시, 2003, 방사형 집수정에 의한 강변지하수 개발 타당성 조사 및 Pilot-Plant 조사연구  
 창원시, 2003, 강변지하수 개발에 대한 주변영향 조사 연구  
 국립환경연구원, 1993, 독일의 지하수 관리  
 한국수자원공사, 1999, 지하수 함양 및 활용 증대방안 연구  
 Ray, Chittaramjan, 2003, Riverbank Filtration

,Kluwer

Sheets R.A., 2002, Lag times of Bank filtration at a well filed, Cincinnati, Ohio, USA, Journal of Hydrology, 266(2002), pp.161~ 174

Saleh A., 2001, Ground water quality of the Nile west bank related to soil characteristics and geological setting, Journal of Arid Environments, 49(2001) pp. 761~784

투 고 일 2004년 10월 22일

심 사 일 2004년 10월 23일

심사완료일 2004년 12월 11일

정지훈(Ji-Hoon Chung)

인제대학교 건설기술 연구소

621-749 경남김해시 어방동 607번지

TEL : 055-324-9798

Email : cyinkai@naver.com

박재현(Jae-Hyeoun Park)

인제대학교 토목공학과

621-749 경남 김해시 어방동 607

TEL : 055-320-3725

Email : jh\_park@ijnc.inje.ac.kr

박창근(Chang-Kun Park)

관동대학교 토목공학과

215-702 강원도 양양군 양양읍 임천리 산 7번지

TEL :033-670-3320

Email : ckpark@kwandong.ac.kr

양정석(Jung-suk Yang)

인제대학교 건설기술 연구소

621-749 경남김해시 어방동 607번지

TEL : 055-324-9798

Email : jeongyang88@yahoo.co.kr

김대근  
대불대학교 토목환경공학과  
526-895 전남 영암군 삼호면 산호리 72  
TEL : 061-469-1322  
E-mail: greatgkim@mail.daebul.ac.kr

정교철  
안동대학교 지구환경과학과  
760-749 경북 안동시 송천동 388번지  
Tel: 054-820-5753  
Fax: 054-823-1627  
E-mail: jcong@andong.ac.kr

최용선  
인제대학교 시스템경영공학과  
621-749 경남 김해시 어방동 607  
TEL: 055 320 - 3117  
E-mail: yschoi@ijnc.inje.ac.kr

부성안  
농업기반공사 농어촌연구원  
426-908 경기도 안산시 상록구 사동 1031-7  
TEL: 031-400-1855  
E-mail: booh2700@karico.co.kr