

# 방사형 집수정에 의한 강변여과수 산출 특성

## Development of Bank infiltration through Horizontal Collector Wells

정지훈<sup>1)</sup> 박재현<sup>2)</sup> 박창근<sup>3)</sup> 김대근<sup>4)</sup>

Ji-hoon Chung, Jae-hyeon Park, Chang-kun Park, Dae-kun, Kim

### 요 지

강변여과수 취수에 있어 수직정의 문제점을 해결하기 위해 방사형 집수정에 의한 취수 방식을 해결 방안으로 모색되어 지고 있다. 본 연구는 방사형 집수정에 의한 강변여과수 개발시 개략적 산출량 예측을 위한 방법으로 사용하는 경험식 (Petrovic 경험식, Milojevic 경험식) 적용성 및 균우물을 이용한 방사형 집수정 모델링 가능성에 대해 모의 하였다. 강변여과수 산출시 Milojevic 경험식이 하천의 자연조건, 설치 위치 등을 고려하여 강변여과수 적용성이 Petrovic 경험식에 비해 적용성이 크며, 균우물을 이용한 방사형 집수정 지하수위 특성에 대한 모델링에서 수위하강률 등이 유사하게 나타났다. 또한 방사형 집수정의 설치각도등을 조정함으로 수위 하강율을 감소 시킬수 있으며 체류시간 확보에 일정부분 기여 할 것으로 나타났다.

**핵심용어 : 강변여과수, 방사형 집수정, 산출량 예상, 체류시간확보**

### 1. 서론

현재 상수원수 취득은 표류수 위주로 이루어지고 있으나, 표류수의 수질오염 증가, 돌발수질오염사고에 대한 대응 등의 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 고도정수처리기법등이 도입되어지고 있으나 근본적 수질오염의 취약성 문제를 해결하기에 한계를 가지고 있다. 이러한 수질적 안정성 확보를 위해 표류수 중심의 취수 방식을 개선하고, 고도처리 고비용의 문제를 해결하기 위해 강변여과수, 직접인공함양, 지하댐 등을 활용한 양질의 수자원 확보 중요성이 부각되어지고 있다.

특히 낙동강 유역의 부산/경남 상수원수의 대부분을 낙동강 하천 표류수에 의존하고 있으며, 낙동강의 하상계수 등의 특성상 수질 자정에 장기간 소요되는 특징을 가지고 있다. 또한 낙동강 상류도시와 하류도시 간의 물 분쟁 문제, 수자원 다원화요구 등으로 낙동강 하류의 충적층을 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 불가피하

1) 인제대학교 건설기술 연구소 연구원(cyinkai@empal.com)  
2) 인제대학교 토목공학과 조교수 (jh-park@inje.ac.kr)  
3) 관동대학교 건설환경시스템 부교수(ckpark@kwandong.ac.kr)  
4) 대불대학교 토목환경공학과 조교수(greatgkim@mail.daebul.ac.kr)

다. 또한 공간적으로 일정거리 이상 분포하고 있는 수직정 운용 및 관리상의 문제, 과도한 도수관로 설치 등의 한계를 가지고 있다. 이러한 수직형 집수정의 문제를 해결하기 방사형 집수정 등의 특수 집수정 설치를 통한 문제 해결방안이 모색되어지고 있다. 국내 대용량 강변여과수 개발에서 방사형 집수정 설치 사례가 없고, 설계 단계에서 일반적으로 경험식을 사용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 창원시 대산면 일대에서 시행되고 있는 창원시 강변여과수 개발사업을 연구 대상지역으로 선정하여, 개발지역의 지형 및 지하지질 등의 자료를 기초로 하여 방사형 집수정에 의한 강변여과수 개발시 사용되어지는 경험식들의 비교 및 ModFlow를 이용하여 전체적인 수위 변동 특성 연구를 목적으로 한다.

## 2. 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 (그림 1. 참조).

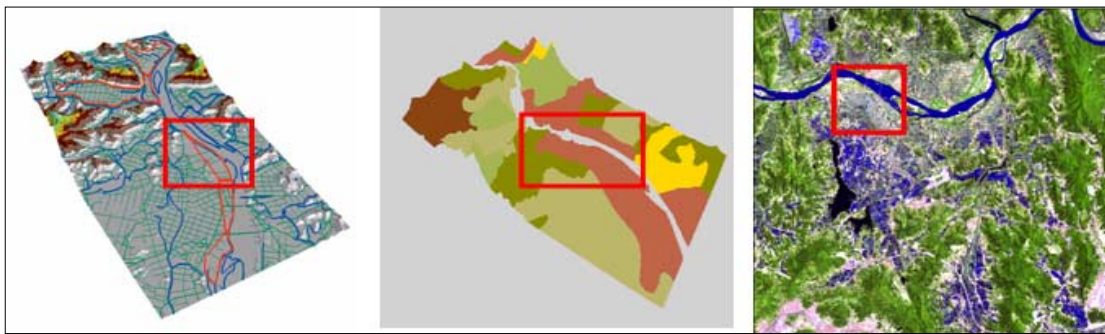


그림 1. 창원시 대산면 갈전지구(DEM, 개략토양도, 위성영상)

창원시 대산면 갈전지구는 물리탐사 및 시추조사를 통해 총 대수층의 두께가 33m~40m이며, 자갈 및 모래로 이루어진 주대수층은 충적층의 최하부로 12.5m~ 16.0m로 조사되어졌다 (창원시 강변여과수 개발 타당성 조사 보고서, 1998). 갈전지구의 투수계수(K)는 제외지, 제내 및 각 토양 및 지질 특성에 따라 다양하게 나타났다. 현재 강변여과수 개발 1단계 사업이 진행중에 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 9월) 모니터링결과 강변여과수의 경우 하천수에 비해 모든 항목에서 아주 우수하나 철/망간 검출이 하천수에 비해 높게 나타났다

## 3. 방사형 집수정(Riverbank Filtration with Horizontal Collector Wells)에 의한 강변여과수 산출 특성

강변여과는 강변에 자연적으로 존재하는 충적층의 오염저감 능력을 이용하여 간접취수하는 방

식으로 원수를 장기간 강변의 대수층에 체류시켜 자연자정능력을 이용하여 원수의 오염물질이 여과, 제거된 물을 취수하는 방법으로 오염된 하천 표류수를 직접 취수하는데 따른 정수문제, 수질 오염사고의 취약성을 등을 개선하기 위한 간접 취수 방법 중에 하나다 (그림 2. 참조). 특히 방사형 집수정은 미 고결 포화 퇴적층에서 지하수를 생산하기 위해 고안되어 발전된 취수 방식, 투수성이 비교적 양호한 충적 대수층으로부터 대용량의 천층 지하수를 개발하기 위하여 하천변에 설치하거나 오염된 지하수를 투수층 내로 유도한 후 수질을 개선시키기 위해 설치하는 취수 시설을 의미 한다 (창원시 등, 2003).

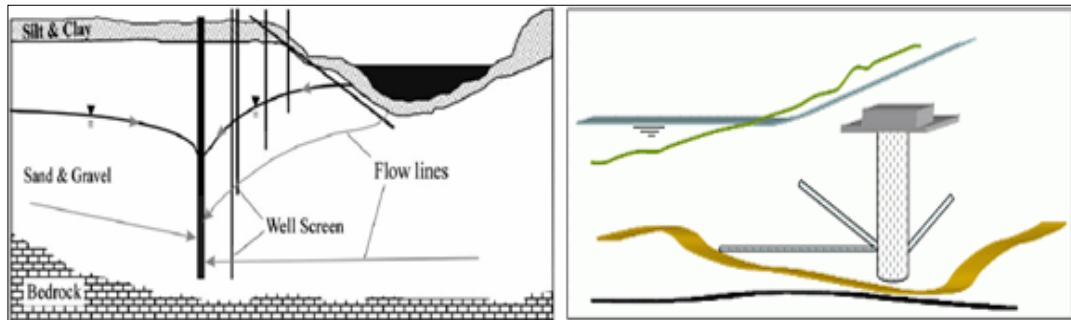


그림 2. 강변여과수 및 방사형 집수정 모식도

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

방사형 집수정에서 산출량을 예측 및 지하수 모델링은 일반적으로 대응 수직정의 효율경은 특수집수정의 수평 집수관 길이의 75%로 취하는 것이 통례이며 대수층의 두께, 수평집수관의 본수, 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 의해 Petrovic 경험식 , Milojevic 경험식을 주소 사용한다.

#### □ Petrovic 경험식

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

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

Q : 총채수량(m<sup>3</sup>/일), m : 수평 집수관의 수(개), A, B, C : Petrovic의 상수(표 3.1 참조), k : 대수층 수리전도도(m/일), L : 수평 집수관의 본당 길이(m), H : 갈수기 때 대수층 두께(m), h : 안정수위시 대수층 두께(m)

<표 3.1> Petrovic의 상수

수평 착정 공수	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

□ Milojevic 경험식

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

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

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

투수계수, 대수층의 두께 등의 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 부적절하다. Petrovic 경험식은 상수가 많고 하천과의 거리, 스크린 관경등을 고려하지 않았고, Milojevic 경험식은 계산이 복잡하고, 수평관의 설치 심도를 가정하거나 역으로 추산하는 문제를 가지고 있으나 하천과의 거리(설치위치) 등을 고려하여 하천변 강변여과수 개발에서 개략적 산출량 예측은 Milojevic 경험식이 하천변 방사형 집수정 산출 예상에 근접하리라 판단되어진다.

방사형 집수정에 의한 강변여과수 개발을 위한 모델링은 대응 수직정의 효율 반경을 이용하여 예측하며 실제 방사형 집수정 보다 주변에 수위 하강정도가 크다 (그림 3. 참조).

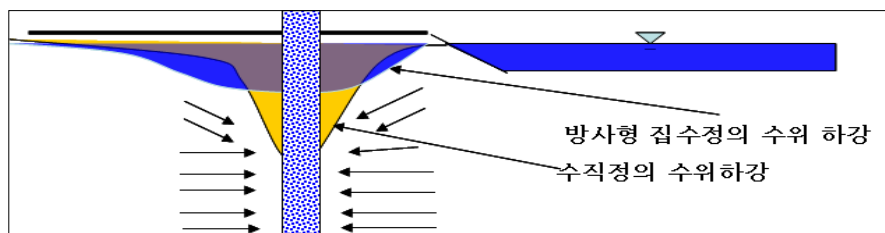


그림 3. 강변여과수 수위 하강 특성

기존 방사형 집수정에 의한 설치 사례는 국내의 경우 주로 지하 암반수를 개발에 적용되어졌다 (한국수자원공사, 1999). 방사형 집수정에 의한 강변여과수 산출량은 자연 대수층의 특성, 설치 위치 등에 대한 주요 변수들이 산출량에 중요하게 적용되어지면, 대응 수직정에 의한 모델링을 주로 실행한다. 방사형 집수정의 지하수위 모델링과 유사한 균우물 형태의 취수정을 이용하여 방사

형 집수정(수평정) 지하수 모델링을 실행하다.(그림 4. 참조)

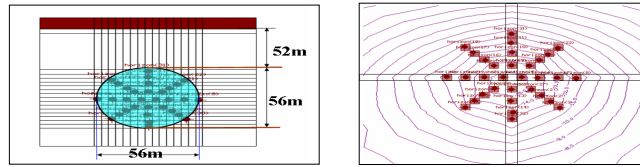


그림 4. 균우물 설치 및 집수정내 수위하강

현재 창원시 대산면 일대 강변여과수 개발 사업 지구의 대수층 특성을 이용하였으며, 하천에서 80m 지점에 방사형 설치 및 수평정 길이 25m를 가정하여, 반경 28m(집수정 포함)내의 균우물에서 15,000m<sup>3</sup>/day 양수를 통한 수위 하강 특성과, 현재 창원시 대산면 일대 강변여과수 개발 사업에서 시추된 취수정(20개, 2열)을 포함한 총 55,000m<sup>3</sup>/day 산출시 예상되는 지하수위 특성 및 방사형 집수정 인근의 수위 하강 특성을 모델링을 수행하였다 (그림 5. ~ 그림 9. 참조).

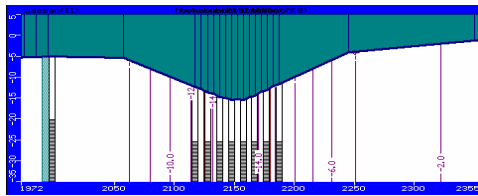


그림 5 하천흐름과 평행방향

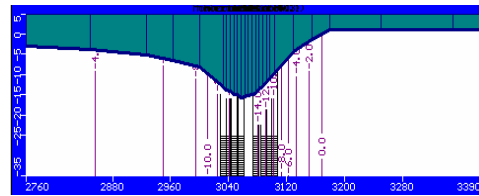


그림 6 하천 흐름과 수직방향

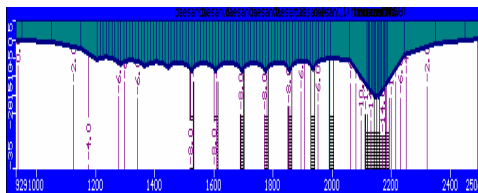


그림 7 하천에서 80m 지점(1열)

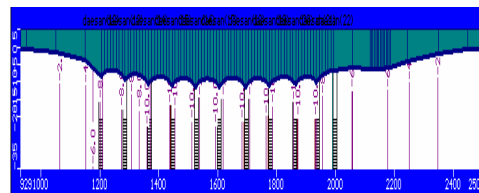


그림 8 하천에서 160m 지점(2열)

균우물을 이용한 방사형 집수정 모델링 결과 대응 수직정에서 발생하는 집수정 중심의 급격한 수위 하강 현상이 감소하였으며, 개략적 산출량 예상 시 가정하였던 수위하강(14m)과 유사한 수위 하강 특성을 나타냈다.

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(창원시, 2003). 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, 균우물의 취수정의 설치각도를 조정함으로써 수위가 1~2m 상승하는 것으로 나타났다.

#### 4. 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 개발실 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 충적층 내 체류시간을 증가 시킬 수 있다.

현재 방사형 집수정에 의한 강변여과수 개발은 시작단계에 있어 지하수위 및 산출량에 대한 모델링 및 예측에 한계를 가지고 있다. Pilot Plant를 설치하여 산출량 및 지하수위 특성 파악이 요구되어진다. 또한 실내 모형실험을 통해 강변여과수 이동 특성을 파악 및 기존의 수직형 집수정 위주의 수치 모델링을 개선할 수 있는 수치모델 프로그램 개발의 필요성을 제시하고자 한다.

#### \* 참고문헌

한정상, 2000, 지하수환경과 오염, 박영사

창원시, 2003, 창원시 강변여과수 개발관련 자료집

창원시, 2003, 방사형 집수정에 의한 강변여과수 개발타당성 조사 보고서

국립환경연구원, 1993, 독일의 지하수 관리

한국수자원공사, 1999, 지하수 함양 및 활용 증대방안 연구

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