

낙동강 중류지역 하천수위 상승에 따른 강변여과수 개발가능량의 평가

김규범¹ · 정재훈² · 이승현^{1,*}

¹K-water연구원

²팬아시아워터

요 약

본 연구에서는 보의 건설에 따른 하천수위와 주변 제외지 지하수위 상승 특성을 분석하고 이로부터 방사형 집수정을 활용한 강변여과수 개발가능량을 3개의 경험식(Petrovic, Milojevic 및 Kordas 경험식)을 활용하여 분석하였다. 낙동강변의 구미 괴평 지역을 대상으로 보 담수 전후의 강변여과수 개발가능량을 산정한 결과, 각 방법별로 41.8%, 94.1% 및 96.9%의 추가 개발이 가능한 것으로 평가되었다. 또한, 수평집수관의 길이, 개수, 수위강하량 및 관경 등의 설계인자에 대한 민감도를 평가한 결과, 수위강하량도 개발가능량에 영향을 미치고 있어 보 건설 이후 상승된 지하수위가 강변여과수 취수량 확보에 긍정적으로 작용하는 것으로 분석되었다.

주요어: 강변여과수, 수위강하량, Petrovic 경험식, Milojevic 경험식, Kordas 경험식

Gyoo-Bum Kim, Jae-Hoon Jeong and Seung-Hyun Lee, 2014, Evaluation of groundwater yield from riverbank filtration system considering water levels' increase in the middle Nakdong River. Journal of the Geological Society of Korea. v. 50, no. 3, p. 401-407

ABSTRACT: The characteristics of the changes in river water and groundwater levels after a barrage construction are analyzed and also the yields of collector wells in the riversides are estimated using three empirical models (Petrovic, Milojevic and Kordas models) in the study area, Gyepyung area in Gumi city. The results by three models show that the higher groundwater levels after a barrage construction can produce the increases of 41.8%, 94.1% and 96.9% of the yields, respectively. The sensitivity analysis for some design factors of the models, which are the length and the number of horizontal wells, drawdown, and well diameter, indicates that the drawdown affects the yields as well as the others. Consequently, it indicates that the rise of groundwater levels after a barrage construction brings a positive effect on the amount of groundwater yield at the riverbank filtration sites.

Key words: River bank filtration, Drawdown, Petrovic equation, Milojevic equation, Kordas equation

(Gyoo-Bum Kim and Seung-Hyun Lee, K-water Institute, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730, Republic of Korea; Jae-Hoon Jeong, Pan Asia Water co., Daejeon 305-330, Republic of Korea)

1. 서 언

강변여과수 개발은 인공함양(Artificial recharge)의 한 방법으로서 국내의 경우 1990년대 말부터 생활수 및 하천 유지용수 확보 등을 위하여 추진되어 왔다. 강변여과수는 하천수와 혼합된 천부의 지하수가 모래 자갈층을 통과하면서 느리게 이동하여 수질이 개선되므로 지표수의 수질 사고 및 고탁도 문제 등에 대응할 수 있는 장점을 갖고 있다(K-water,

2008; Kyunggi Research Institute, 2008).

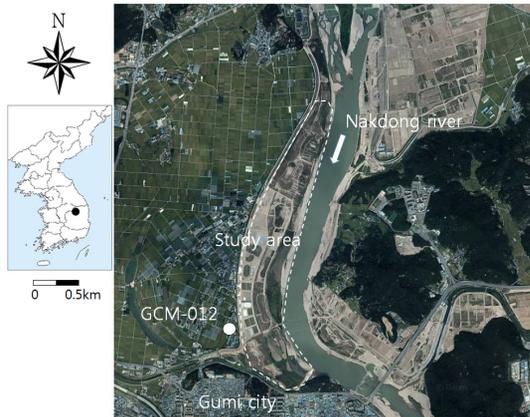
최근 국내에서 하천 정비 사업이 추진되면서 보의 건설로 하천수위가 상승하고 수문 조작에 의하여 일정하게 수위를 유지할 수 있게 되었다. 오스트리아 비엔나의 다뉴브강에는 Freudenu 보의 건설 이후 증가된 수량을 활용하는 강변여과수 개발이 활발하며, 슬로바키아의 다뉴브강에서도 Gabčikovo 보 상류 Mokrad에서 강변여과수를 개발하고 있다 (Mucha, 1999).

* Corresponding author:

E-mail: sope365@kwater.or.kr

Table 1. Hydraulic conductivities for the gravel layer estimated from field and laboratory tests.

Pumping test (m/s)	Field permeability test (m/s)	Lab. permeability test (m/s)	Grain size analysis (m/s)	Average (m/s)
7.370×10^{-3}	4.306×10^{-3}	1.018×10^{-3}	9.044×10^{-1}	3.410×10^{-2}

**Fig. 1.** Location of the study area.

일반적으로 강변여과수 개발가능량 평가는 경험식과 수치모델링 등을 통하여 수행된다. Oh *et al.* (2012)은 광역 지하수조사 연구 자료와 전국 충적층 지하수 조사 보고서(K-water, 1996)의 자료를 Milojevic 경험식에 적용하여 주요 국가하천 유역에 방사형집수정의 강변여과수 취수가능량을 평가한 바 있다. 정부에서는 취수가능지역 조사사업을 통하여 낙동강 수계에 대하여 취수가능지역을 검토하고 Thiem 공식과 모델링을 통해 취수가능량을 산정한 바 있다 (ME, 2009). 또한, 강변여과수와 관련된 요소기술로서 수직 취수정 설치시의 Skin 효과 및 현장에서의 지중 철망간 처리 기법 등에 대한 연구가 수행되는 등 최근 들어 강변여과수에 대한 다양한 연구가 시도되고 있다(Ryu *et al.*, 2011; Kim and Yi, 2013).

본 연구에서는 4대강 하천 정비 사업 이후 보 상류 지역에서의 하천수위 상승에 따른 강변여과수 개발가능량을 경험식을 이용하여 산정하고 담수 이전의 조건과 비교 평가함으로써 변화된 강변여과수 개발 사업 여건을 제시하고자 하였다.

2. 연구지역

연구지역은 경상북도 구미시 고아읍 괴평리의 낙

동강변 일대로서 제외지에 연장 약 3 km, 폭 600 m 정도의 충적층이 발달하며, 하류 13 km 지점에 칠곡보가 위치하고 있다(그림 1). 기존 시추자료에 의하면, 상부 모래층이 약 3.0~6.5 m 깊이, 하부 자갈층이 약 12.0~14.4 m 깊이까지 분포하며 하부에 풍화암이 발달한다(ME, 2009).

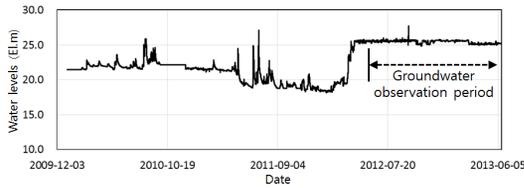
기존 조사에서 양수정을 설치하여 실시한 단계(1시간 단위 4단계 시험) 및 장기 양수시험(양수량 2,500 m³/d로 24시간 시행) 결과에 의하면 대수층의 수리전도도는 7.370×10^{-3} m/s 정도로 추정되었으나(ME, 2009), 이는 연구지역내 1개 지점에서 실시된 결과로서 연구지역 전체의 평균값을 적용하기 위하여 시추공 시료에 대한 현장투수시험 및 실내시험 등을 실시한 후 이들의 기하평균값인 3.410×10^{-2} m/s을 대수층의 수리전도도로 결정하였다(표 1).

3. 수문환경 변화

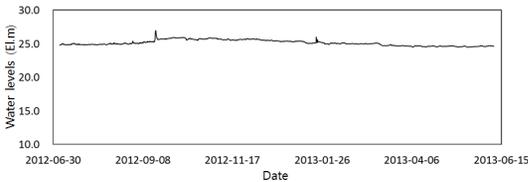
낙동강 하천 부지내인 제외지의 지하수위는 하천수위에 영향을 받는데, 연구지역의 경우 하류 칠곡보의 설치로 인한 하천 수위 상승이 지하수위에 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는, 보의 건설 전후의 하천 수위를 토대로 제외지 지하수위의 변화를 추정하였다. 구미 수위국에서 측정된 보 건설 이전의 10년 평균 하천수위는 22.2 m (m.s.l.)이었으며, 보의 담수 이후의 관리수위는 25.5 m (m.s.l.)로서 약 3.3 m의 하천 수위 상승이 발생하였다(그림 2a). 하천수위 계측자료를 보면, 보의 담수 이전에는 강우시 하천수위 상승이 빠르게 반응하고 있었으나 담수 이후에는 호우시를 제외하고는 거의 수위 변화가 없는 것으로 나타나 보 지점에서의 갑문에 의한 수위 조절 효과를 보여준다. 제내지에 설치된 지하수 관측정(CGM-012, 그림 1 참조)에서 2012년 7월부터 2013년 6월까지 보 담수 이후의 지하수위를 보면 1 m 이내의 범위에서 거의 일정하게 유지되며, 하천수위와는 약 0.52의 Pearson 상관계수를 나타낸다. 이 기간 동안의 지하수위는 평균 25.1 m (m.s.l.)로서 하천수

Table 2. Number of horizontal wells and the Petrovic constant.

Number of horizontal wells	A	B	C
4	4	3	5.25
8	3	2.9	7.31
12	4.068	3.068	10.0
16	3.718	2.718	11.2



(a) River water levels



(b) Groundwater levels at GCM-012

Fig. 2. Variations of river water fluctuations in Gumi water level gauging station (a) and the groundwater fluctuations in GCM-012 monitoring well (b).

위 평균 25.5 m (m.s.l.)와 약 40 cm의 차이로서 유사한 값을 보이고 있다(그림 2b). 강변여과 개발 예정지인 제외지의 경우에는 하천에 보다 근접할 뿐 아니라 주변 양수 영향 등이 거의 없으므로 하천 수위와 동일한 것으로 고려하여 분석을 수행하였다.

4. 연구방법

이상 분석된 보 담수 전후의 지하수위 조건하에서 방사형 집수정을 설치할 경우의 개발가능량을 상호 비교해 보았다. 강변여과수의 개발가능량은 모델링 기법을 사용하거나 수리인자를 토대로 경험식을 적용하여 추정할 수 있다. 경험식을 사용하는 것이 모델링 기법에 비하여 편리하므로 일반적으로 설계시 많이 사용되고 있는데, 주로 Petrovic 경험식(Petrovic, 1956), Milojevic 경험식(Milojevic, 1963a, 1963b), McWhorter와 Sunada 경험식(McWhorter and Sunada,

1977) 및 Kordas 경험식(Kordas, 1960) 등이 사용된다. 이중 McWhorter와 Sunada 경험식을 제외한 나머지 3개 식을 분석에 활용하였다.

Petrovic 경험식은 다음과 같으며, 일반적으로 하천에서 이격된 경우에 주로 적용하고 있다(Patel *et al.*, 2010).

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

여기에서, Q 는 집수정의 채수량(m^3/d), A , B 및 C 는 수평집수관의 개수에 의하여 정해지는 Petrovic 상수, k 는 수리전도도(m/d), L 은 수평집수관의 본당 길이(m), H 는 안정수위시 대수층의 두께(m), h 는 양수 시 대수층의 두께(m), m 은 수평집수관의 개수이다. 여기에서, Petrovic 상수는 수평집수관의 개수를 고려하여 표 2의 값을 적용한다.

Milojevic 경험식은 강변여과수 방사형 집수정 시설이 하천에 인접하여 설치하는 경우에 주로 적용되는데, 하천까지의 거리 인자가 개발가능량에 큰 영향을 미치는 경험식으로서 다음과 같다.

$$Q = kT(H-h) \left\{ \left(\frac{t}{L} \right)^{0.10} \times \left(\frac{D}{L} \right)^{0.15} \times \left[4.13m^{0.1415} - 1.22 \left(\frac{T}{L} \right) \left(1 / \left(\log_{10} \frac{2r}{L} \right) \right)^4 \right] \right\} \quad (2)$$

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

여기에서, Q 는 집수정의 채수량(m^3/d), t 는 불투수층으로부터 수평집수관의 높이(m), D 는 수평집수관의 관경(m), L 은 수평집수관 길이(m), m 은 수평집수관의 개수, r 은 집수정에서 하천유로까지 거리(m), T 는 대수층 두께(m), k 는 대수층 수리전도도(m/d), $H-h$ 는 집수정의 수위강하량(m)에 해당한다.

Kordas가 제시한 개발가능량 추정 경험식은 다음과 같다.

$$Q = 4.52kL(H-h) \frac{m^{0.175} \left(\frac{t}{L} \right)^{0.10} \left(\frac{d}{2L} \right)^{0.15} \arctan \left(\frac{T}{L} \right)}{\log_{10} \frac{R_0}{1.93L}} \quad (4)$$

여기에서, k 는 대수층의 투수 계수(m/d), L 은 수

Table 3. Changes in aquifer condition before and after water-filling at the barrage.

Inputs	Before water filling at the barrage (m)	After water filling at the barrage (m)	Remarks
Aquifer thickness (H or T) (m)	7.8	11.1	
Draw down in a collector well ($H-h$) (m)	5.1	7.2	65% of aquifer thickness
Water levels in a collector well during pumping (m)	2.7	3.9	

Table 4. Input data and total groundwater yields estimated with three empirical equations.

Contents		Petrovic method	Milojevic method	Kordas method
Yield from a collector well (m^3/d)	Before water-filling	3,076	2,542	1,549
	After water-filling	4,362	4,934	3,050
Distance between adjacent collector wells (m)			250	
Total length a target area along the river (km)			2.8	
Number of collector well			11	
Safety rate for a well loss			0.8	
Total estimated yields (m^3/d) at 11 collector wells	Before water-filling	27,070	22,365	13,633
	After water-filling	38,383	43,430	26,842
	Increase	11,314 (41.8%)	21,054 (94.1%)	13,209 (96.9%)

평집수관이 길이(m), m 은 수평집수관의 개수, H 는 대수층 기저부에서부터의 정류시 지하수위 높이 (m), h 는 양수조건하에서 대수층 기저부 상단에 위치한 집수정내에서의 물의 높이(m), d 는 수평집수관의 관경(m), T 는 대수층의 두께(m), R_a 는 집수정의 영향 반경(m)을 의미한다.

보 담수 이후 지하수위의 상승은 집수정의 개발가능량 평가를 위한 대수층의 특성 변화를 가져오는데, 지하수위 상승은 집수정에서의 수위 강하량 증가 효과를 초래하여 식(1), 식(2) 및 식(4)에서 보는 바와 같이 추가적인 취수가 가능하게 된다. 본 연구에서 적용된 양수시 집수정내의 수위 강하($H-h$)는 포화대수층 두께의 65% 정도로 설정하였으며, 집수정내 양수시 수위는 안정수위시의 대수층 두께에서 수위강하량을 뺀 값을 적용하였다(표 3).

5. 강변여과수 개발가능량 평가

방사형 집수정에 의한 강변여과수 개발가능량을 평가하기 위한 설계 조건은 기존의 사례인 경상남도

김해시 탄섬의 경우를 적용하였다(Kimhae city, 2005; Daewoo co., 2006). 방사형 집수정의 수평집수관은 총 8개를 설치하고, 수평집수관의 길이는 30 m, 방사형 집수정간의 간격은 250 m, 수리전도도는 담수 이전과 이후에 변화가 없이 동일하게 적용하였다(표 4). 또한, 추가 인자로서 불투수층에서 수평집수관까지의 높이는 91 cm, 수평집수관의 관경은 20 cm, 집수정에서 하천까지의 거리는 90 m를 각각 적용하였다. 본 연구지역의 면적을 고려할 때 총 11개의 방사형집수정이 설치 가능한 것으로 보고 총 개발가능량을 평가해 보았다.

표 4에서 보는 바와 같이, 모든 경험식에 담수 이전에 비하여 담수 이후에 개발가능량이 증가하는 것으로 나타났다. 방사형 집수정 1기당 개발가능량은 Petrovic 경험식에 의하면 보의 담수 이전에는 약 $3,076 m^3/d$ 에서 담수 이후에는 약 $4,362 m^3/d$ 로 증가하였고, Milojevic 경험식에 의하면 약 $2,542 m^3/d$ 에서 약 $4,934 m^3/d$ 로 증가하였으며, Kordas 경험식에서는 약 $1,406 m^3/d$ 에서 약 $2,749 m^3/d$ 로 증가하였다. 총 11기의 방사형 집수정이 제외지를 따라

설치될 경우의 담수 전후의 연구지역내에서의 총 지하수 개발가능량은 Petrovic 경험식에서는 27,070 m³/d에서 38,383 m³/d로 41.8%, Milojevic 경험식은 22,365 m³/d에서 43,430 m³/d로 94.1%, Kordas 경험식에서는 13,633 m³/d에서 26,842 m³/d로 96.9%의 증가율을 보였다. 이상과 같이 주어진 설계 조건 하에서 지하수위 상승 효과를 반영한 추가 수위강하를 적용할 경우, Milojevic 경험식에서 강변여과수 개발가능량의 증가가 가장 크며 Kordas 경험식에서 증가율이 가장 높은 것으로 해석되었으나, 각 방법

별로 약 2배 정도의 차이가 존재하므로 보다 정밀한 현장 조사 및 수치모델링을 활용한 집수정간 간섭 효과 평가 등 개발가능량 적정성 평가가 수반될 필요가 있다.

6. 설계 제원별 민감도 분석

그림 3은 실제 일반적으로 적용되는 설계 제원(수평집수관 길이, 개수, 수위강하율, 수평집수관 구경, 하천으로부터의 거리 등)의 범위내에서 제원을 달리

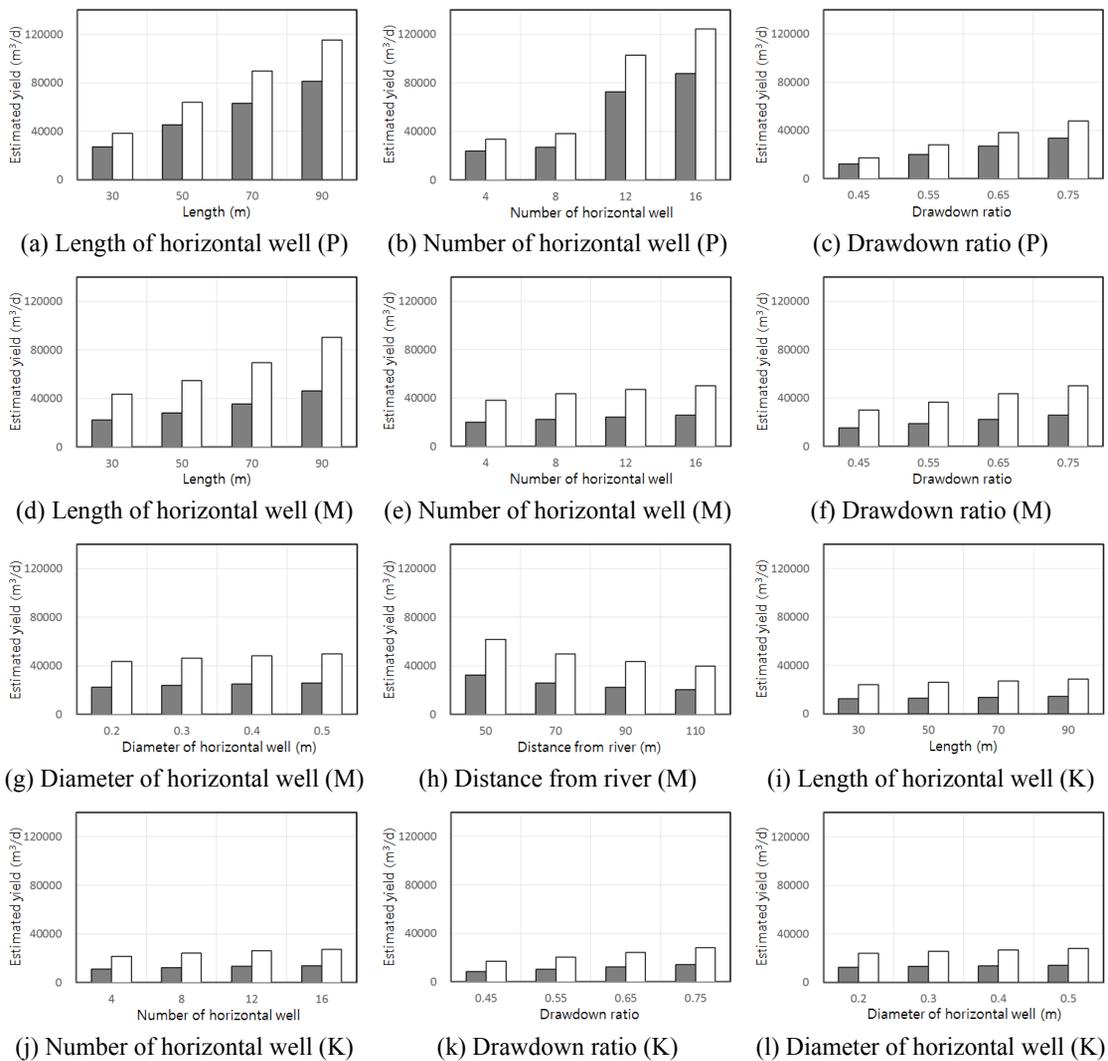


Fig. 3. Changes in total estimated yields and their increasing rates according to the design condition of a collector well before (grey colored) and after (white colored) water-filling at the barrage (P: Petrovic equation, M: Milojevic equation, K: Kordas equation).

할 경우, 각 방법별 개발가능량의 차이 및 민감도를 분석한 결과이다. 그림 3a~c는 Petrovic 경험식을 적용한 경우이다. 그림 3a는 수평집수관이 길이를 30 m, 50 m, 70 m, 90 m 등으로 변경할 경우의 개발가능량의 변화를 도시한 것으로서, 식 (1)에서 보는 바와 같이 개발가능량은 수평집수관의 길이와 비례 관계를 보여 선형으로 증가함을 알 수 있으며, 담수 후의 추가 개발량도 41.8%로 길이에 관계없이 동일함을 보여준다. 그림 3b는 수평집수관의 개수를 4, 8, 12 및 16개로 변경할 경우의 개발가능량으로서, 수평집수관의 개수가 증가할수록 개발가능량도 급격히 증가한다. 그림 3c는 집수정내의 수위 강하량을 변경(대수층 두께의 45%, 55%, 65% 및 75%)할 경우의 담수 전후의 강변여과수 개발가능량으로서 수위강하율이 높을수록 개발가능량이 선형으로 증가하고 있다.

그림 3d~h는 Milojevic 경험식을 적용하는 경우이다. 그림 3d에서 개발가능량은 수평집수관의 길이에 비례하여 급격히 증가하며, 담수 이전 개발량의 약 94.1~95.2%가 추가로 개발 가능하여 Petrovic 경험식의 결과보다 증가율이 큰 것으로 나타났다. 그림 3e는 수평집수관의 개수가 증가하는 경우 개발가능량이 서서히 증가하고 있으나, Petrovic 경험식에 비하여 증가율이 훨씬 낮음을 알 수 있다. 이는 수평집수관 개수가 Milojevic 경험식보다 Petrovic 경험식에서 훨씬 민감함을 보여준다. 그림 3f는 집수정내의 수위 강하량을 변경(대수층 두께의 45%, 55%, 65% 및 75%)할 경우의 담수 전후의 강변여과수 개발가능량으로서, 수위 강하량이 클 경우에 개발가능량이 크게 나타나고 있어 Petrovic 경험식과 유사한 경향을 보인다. 그림 3g는 수평집수관 관경이 증가하더라도 개발가능량의 현저한 증가가 나타나지 않음을 알 수 있다. 그림 3h는 집수정이 하천으로부터 멀리 떨어질수록 개발가능량은 지수함수적으로 감소하는 경향을 보여준다.

그림 3i~l은 Kordas의 경험식을 적용한 경우이다. 그림 3i에서 보듯이, 수평집수관의 길이가 길어질 경우 상기 두 방법에 비하여 개발가능량의 증가가 현저하지는 않으나, 담수 전후를 비교하면 96.9~100.6%의 증가를 보이고 있다. 그림 3j는 수평집수관의 개수가 증가하는 경우 개발가능량이 서서히 증가하고 있으나, 상기 방법들에 비하여 큰 변화가 없음을 알

수 있다. 그림 3k는 집수정내의 수위 강하량을 변경(대수층 두께의 45%, 55%, 65% 및 75%)할 경우의 담수 전후의 강변여과수 개발가능량은 상대적으로 큰 변화가 없는 것으로 나타나고 있다. 또한, 그림 3l에서 수평집수관 관경이 증가하더라도 개발가능량의 현저한 증가가 나타나지 않음을 알 수 있다.

이상에서 보듯이 각 방법별 강변여과수 개발가능량에 영향을 미치는 설계 인자의 민감도가 다양하게 나타났다. Petrovic 경험식에서는 수평집수관의 길이 및 수평집수관의 개수가 가장 민감도가 크며, Milojevic 경험식에서는 수평집수관의 길이가 가장 큰 것으로 나타났다. 수평집수관의 길이는 강변여과수 유입 면적을 증대시키는 효과를 초래하여 길이에 따른 개발가능량 증가 효과가 뚜렷한 것으로 평가되며, 수평집수관이 조밀하게 되면 수평집수관의 상호 간섭효과에 의하여 유입량이 감소하여 상대적인 민감도가 낮은 것으로 추정된다. 반면에, Kordas 경험식에서는 각 설계인자의 민감도가 유사하나 그 중에서도 수위강하량이 가장 큰 것으로 나타났으며, Milojevic 경험식에서는 하천으로부터의 거리도 개발가능량 산정에 상당한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 전반적으로는 Petrovic 경험식이 설계 인자에 따른 개발가능량 변화가 가장 크며, Kordas 경험식이 제반 설계인자가 변하더라도 개발가능량 변화가 가장 작음을 알 수 있다.

7. 토론 및 결론

본 연구에서는 강변여과수 설계에서 개발가능량 추정시 사용되는 3가지 경험식을 활용하여 보 담수 이전과 이후의 강변여과수 개발가능량의 변화 및 설계인자별 민감도를 평가해 보았다. 연구지역에서 약 3.3 m의 지하수위 상승은 최대 100% 정도의 추가적인 강변여과수 개발이 가능한 것으로 평가되었으며, 설계 제원에 따른 민감도는 지하수 유입단면을 결정하는 수평집수관의 길이가 가장 큰 것으로 나타났다. 이상 결과는 다양한 설계 조건하에서 경험식을 적용한 예비적인 평가 결과로서, 실제 사업 추진시에는 현장의 수리적 특성을 반영한 정밀 수치모델링을 통하여 보완할 필요가 있겠다.

강변여과수 개발가능량은 이상에서 보듯이 경험식에 따라 2배 정도의 차이를 보일 수 있으며, 설계

인자에 따라서도 계산 결과에 영향을 미치는 등 강변여과수의 최적 설계에 대한 논쟁이 존재할 수 있다. 일부 경험식의 경우 집수정내의 수위 강하량도 강변여과수 개발가능량 결정의 중요한 요인으로 작용하고 있어 보 담수 이후의 지하수위 상승이 강변여과수 부존량을 증대시키는 등 개발 여건을 개선시키고 있음을 보여준다. 현재 국내에는 강변여과수 개발 기술에 대한 다양한 의견이 존재하고 있어 선진국 수준의 조사, 평가 및 시공 기술이 마련될 필요가 있으며, 이를 통하여 강변여과수 개발 사업이 조속히 정착되길 기대한다.

사 사

본 연구는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원에서 위탁시행한 물관리연구사업(11기 술혁신C05)에 의한 '수변지하수활용고도화' 연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Daewoo co., 2006, Report on the Design of the Riverbank Filtration Development Project in Kimhae City (in Korean).
- Kim, G.B. and Yi, M.J., 2013, Optimum design of oxygenized water injection wells for an in-situ removal of iron and manganese in groundwater. *Journal of the Geological Society of Korea*, 49(5), 579-586 (in Korean with English abstract).
- Kimhae city, 2005, Report on the Basic and Detailed Design for the Riverbank Filtration Project, 144 p (in Korean).
- Kordas, B., 1960, Conference d'Hydraulique. Proceeding of Conference of d'Hydraulique, Association of d'Hydraulique, Budapest, Hungary.
- K-water, 1996, Report on the Groundwater Survey for the Alluvial Regions in Korea. Daejeon, 46-65 (in Korean).
- K-water, 2008, Technical Manual for the Survey and Construction of the Riverbank Filtration Facility. Daejeon, 5-10 (in Korean).
- Kyunggi Research Institute, 2008, Research on the Water Resources Security by the Riverbank Filtration Technology. Seoul, 24-55 (in Korean).
- McWhorter, D.B. and Sunada, D.K., 1977, *Groundwater Hydrology and Hydraulics*, Water Resources Publications Inc., Fort Collins, Colorado, 290 p.
- Milojevic, M., 1963a, Discussion on flow of groundwater to collector wells. *Journal of the Hydraulics Division*, 89(2), 193-194.
- Milojevic, M., 1963b, Radial collector wells adjacent to the riverbank. *Journal of the Hydraulics Division*, 89(6), 133-151.
- Ministry of Environment (ME), 2009, Investigation Report on the Feasibility of Riverbank Filtration Development. Seoul, 796 p.
- Mucha, I., 1999, Gabčikovo Part of the Hydroelectric Power Project; Environmental Impact Review. Ground Water Consulting Ltd., Bratislava, Slovak, 399 p.
- Oh, S.H., Jeong, J.H. and Park, S.G., 2010, Evaluation of pumping capacity of radial collect wells using Milojevic equation in the national river watershed, Korea. *Journal of Soil and Groundwater Environment*, 17(3), 10-20 (in Korean with English abstract).
- Patel, H.M., Eldho, T.I. and Rastogi, A.K., 2010, Simulation of radial collector well in shallow alluvial riverbed aquifer using analytic element method. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(2), 107-119.
- Petrovic, S., 1956, *Snabdevanje Naselja Vodom*. Water Supplies, Beograd, Serbia.
- Ryu, S.H., Kim, G.B. and Kim, S.H., 2011, Comparison of well productivity considering a skin factor. *Journal of the Geological Society of Korea*, 47(1), 73-80 (in Korean with English abstract).

투 고 일 : 2014년 4월 28일

심 사 일 : 2014년 4월 28일

심사완료일 : 2014년 5월 19일