

## Milojevic 경험식을 활용한 주요 국가하천 유역에서 방사형집수정의 강변여과수 취수가능량 평가

오세형\* · 정재훈 · 박상규

팬아시아워터

## Evaluation of pumping capacity of radial collector wells using Milojevic's equation in the National River Watershed, Korea

Se-Hyoung Oh\* · Jae-Hoon Jeong · Sang-Gyu Park

<sup>1</sup>Water Resources Division, Pan Asia Water Co.

### ABSTRACT

The pumping capacity of riverbank filtration using radial collector wells at the Geum, Yeongsan, Seomjin, and Nakdong rivers was evaluated using Milojevic's equation. Assessment of the radial collector wells' pumping capacity in riverbank filtration was carried out using a case study in which one set of collector wells is installed in the watershed of each river. Nakdong River was evaluated to have the highest pumping capacity for riverbank filtration. The areas capable of producing over 10,000 m<sup>3</sup> per day were found mostly in the Nakdong River.

**Key words :** Riverbank filtration, Radial collector well, Milojevic's equation

### 1. 서 론

일반적으로 지하수는 지표수보다 수질이 양호하며, 연중 일정한 수온을 유지하고 있어 음용수 및 생활용수로 널리 활용되고 있다. 하지만 지하수는 양이 제한적으로 대부분의 생활 및 산업 용수는 여전히 지표수에 의존하고 있다. 그러나 지표수의 직접 취수는 돌발적인 오염에 취약할 뿐 아니라, 경제가 성장함에 따라 늘어나는 오염으로 인하여, 안정적 용수 공급이 위협받고 있다. 뿐만 아니라 늘어나는 정수 비용은 고스란히 소비자의 몫으로 돌아오고 있는 실정이다. 이런 문제로 인하여 최근 낙동강 유역의 몇몇 지자체들은 취수원의 다변화 측면에서 강변여과수를 통한 간접 취수방안을 모색하고 있다(오세형 외, 2012).

강변여과수 방식은 하천 인접에서 정호의 양수를 통해 자연지층을 통과한 하천수와 지하수를 간접적으로 취수하는(김형수 외, 1999) 방식으로 홍수기와 갈수기에 관계없이 연중 일정한 수량/수질 확보 가능하며, 지표수의 돌발

적 수질오염 사고에 충격부하 저감으로 능동적 대처가 가능, 정수공정이 단순하여 정수비용 절감, 소독부산물 감소로 정수장의 효율적/경제적 운영이 가능하다는 장점을 지니고 있다(한국수자원공사, 2008). 근대적 의미의 강변여과수 활용은 1810년 영국의 글래스고(Glasgow) 수도국에서 처음으로 도입하였고(경기개발연구원, 2008; 한국수자원공사, 2008)), 강변여과수 취수는 독일, 미국 등에서 이미 100여 년 전부터 활용 되고 있다(이은희 외, 2010). 국내의 경우 현재 창원시 대산면에서 창원시 강변여과수 2단계 개발 사업이 63,000 m<sup>3</sup>/day 진행 중이며, 김해시 판섬에 180,000 m<sup>3</sup>/day 규모의 강변여과수 개발 사업이 진행 중이다. 또한 창녕군 증산리에 350,000 m<sup>3</sup>/day 규모, 의령군 여의리에 28,000 m<sup>3</sup>/day 규모의 강변여과수 개발 사업이 계획 중 이다(창원시, 2004; 경기개발연구원, 2008; (주)팬아시아워터, 2010). 국내의 강변여과수 개발 사업은 2011년 구미지역 단수 사태 및 구미공단 오염물 유출과 같은 일련의 사태로 강변여과수에 대한 관심이 높아지고

\*Corresponding author : purity5302@hanmail.net

원고접수일 : 2012. 5. 14 심사일 : 2012. 6. 18 게재승인일 : 2012. 6. 19  
질의 및 토의 : 2012. 8. 31 까지

있어 점차 사업의 규모가 확장 될 것으로 생각된다. 하지만 방사형 집수정은 설계 및 시공이 어려워 초기 시설비용이 많이 드는 단점이 있다(이은희 외, 2010). 때문에 방사형 집수정을 설치 한 후 목표 취수량이 확보 되지 못하면 많은 경제적인 손실이 뒤따르게 된다. 따라서 방사형 집수정을 설치하기 전 개발지역에 대한 취수가능량에 대한 평가는 반드시 수행되어야 한다. 그러나 기존의 조사는 2009년 취수가능지역 조사사업(환경부, 2009), 부산·경남지역 복류수 및 강변여과수 개발타당성조사(환경부, 부산광역시, 1996) 및 2006년 간접취수 도입을 위한 타당성 조사사업(서울시상하수도 사업본부, 2006)과 같이 일부 지역에 국한되는 조사가 수행되어 강변여과수의 우리나라 전체에 대한 검토는 할 수 없었다.

때문에 본 연구에서는 상수원수 확보를 위한 간접취수 시설의 설치 적합 지역을 선정하기 위한 사전 연구로서 우리나라 주요 국가하천 유역에 대한 방사형집수정의 강변여과수 취수가능량을 평가하였다. 평가를 위하여 주요 국가 하천의 광역 지하수 조사 자료를 활용하였으며, 방사형집수정의 강변여과수 취수량 계산에 주로 활용되는 Milojevic 경험식(Milojevic, 1963)을 통해 방사형집수정의 강변여과수 취수가능량을 계산하였다.

## 2. 연구지역

연구를 위하여 국토해양부 산하 홈페이지인 '국가수자원관리 종합정보 시스템' (<http://www.wamis.go.kr/>)의 국가하천 유역 정보를 활용하였다. 분석 대상은 금강, 영산강-섬진강, 낙동강 유역이다. 한강 유역의 경우 2006년 서울시 상하수도 사업본부에서 수행한 '간접취수 도입을 위한 타당성 조사사업'(서울시상하수도 사업본부, 2006)으로 강변여과수 도입에 대한 검토를 수행하였다. 한강유역의 간접취수 도입을 위한 타당성 조사사업은 서울시 12개 한강 시민공원과 구리시 토평동, 하남시 미사리 둔치에 대한 조사가 이루어져 한강 권역 전체에 대한 평가는 이루어지지 않았으나 한강 권역 최대 물 수요처인 서울시가 강변여과수 부적합 지역으로 평가되어 이번 연구에는 제외하였다.

또한, 연구대상유역의 분석은 각 국가하천 유역 및 1,2차 지류에 속하는 유역을 대상으로 분석하였으며, 포함된 해안 유역의 경우 이번 연구에서 제외하였다.

### 2.1. 금강유역

금강권역은 한반도의 중서부에 위치하며, 행정 구역상

전라도일부와 충청남북도 및 대전지역에 해당되며 일부 서해안 지역을 포함한다. 금강권역 전체 면적은 금강유역 9,880 km<sup>2</sup>, 서해안유역 4,590.1 km<sup>2</sup>을 합해 총 14,470.1 km<sup>2</sup>이다(한국수자원공사, 2002)(Fig. 1a). 이 중 분석대상이 아닌 서해안유역을 제외하고, 금강유역의 10개 소유역에 방사형집수정이 설치 됐을 경우 강변여과수 취수가능량을 분석하였다.

### 2.2. 섬진강-영산강 유역

섬진강과 영산강 권역은 한반도의 남서부에 위치하며, 섬진강은 전라북도와 전라남도의 동부지역을 남류하여 경상남도 하동군과 전라남도 광양시 경계에서 남해로 흘러드는 강으로, 길이 225 km, 유역면적 4,896 km<sup>2</sup>이다(Fig. 1b; 1c). 영산강은 전라남도 담양군·장성군·광주광역시·나주시·함평군·무안군·영암군·목포시 등을 지나 서해로 흘러드는 강으로 길이 138.75 km, 유역면적 3,371 km<sup>2</sup>이다(한국수자원공사, 1999).

영산강과 섬진강 유역 조사는 '영산강-섬진강 권역 광역 지하수조사'보고서(한국수자원공사, 1999)를 기초로 하여 실시하였으며, 조사 대상 지역은 영산강, 섬진강, 만경강, 동진강, 탐진강 및 서해안, 남해안유역을 포함하는 총 18,810 km<sup>2</sup>의 영산강-섬진강 권역이나, 이번 연구의 분석대상이 아닌 서해안 및 남해안 유역은 분석에서 제외하였다.

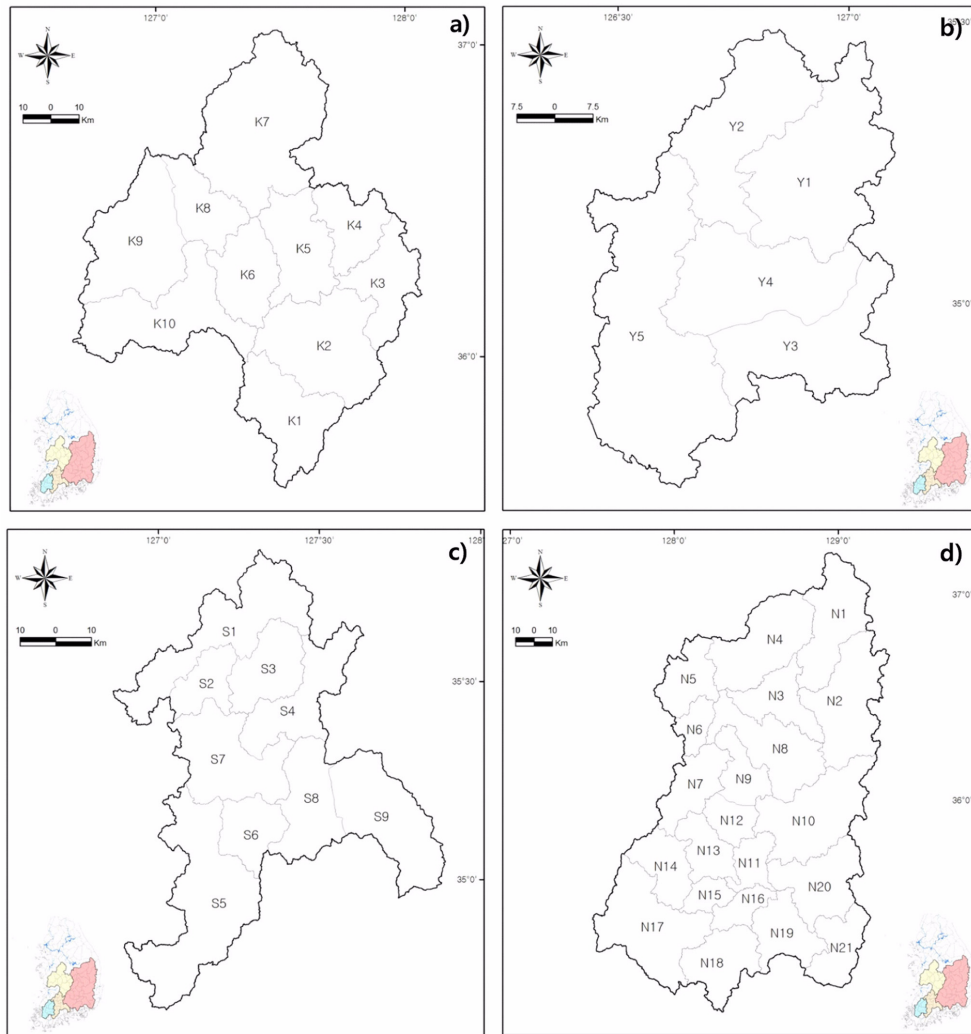
### 2.3. 낙동강 유역

낙동강권역은 한반도 동남부에 위치하며, 권역 중앙을 유하하는 낙동강 유역 전체와 낙동강 유역 이외의 경상도 동해안 및 남해안 지역을 포함한다. 낙동강권역 전체 면적은 총 31,776 km<sup>2</sup>이고(도서 지역 제외 시 30,786 km<sup>2</sup>), 각각의 유역 면적은 낙동강 유역 23,728 km<sup>2</sup>, 동해안 유역 5,642 km<sup>2</sup>(도서 지역 제외 시 5,569 km<sup>2</sup>), 남해안유역 2,406 km<sup>2</sup>(도서 지역 제외 시, 1,489 km<sup>2</sup>)이다(한국수자원공사, 2000)(Fig. 1d).

낙동강 유역은 강변여과에 대한 조사가 가장 잘되어 있으며, 강변여과수 개발 사업이 활발히 진행되고 있는 유역이다. 낙동강 유역 역시 이번 연구의 분석대상이 아닌 남해안 및 동해안 유역은 분석에서 제외하였다.

## 3. 방사형집수정의 강변여과수 취수가능량 산정 방법

방사형집수정의 강변여과수 취수가능량을 평가하는 방법에는 모델링에 의한 예측 방법과 경험식에 의한 산출



**Fig. 1.** Maps showing the study area a) Guem River watershed, b) Yeongsan River watershed, c) Seomjin River watershed and d) Nakdong River watershed.

방법이 주로 사용되고 있다. 그 중에서 경험식에 의한 산출 방법으로는 Petrovic(Petrovic, 1956) 경험식과 Milojevic(Milojevic, 1963) 경험식이 주로 사용되는 것으로 알려져 있다(한정상, 1998). 일반적으로 Petrovic 경험식은 상수가 너무 많을 뿐 아니라 하천과의 이격거리, 스크린 구경 등을 고려하지 않는 단점이 있고, Milojevic 경험식은 집수관의 설치 심도를 역으로 계산하는 것에는 문제가 있지만 하천 이격 거리와 같은 방사형 집수정의 설치 위치에 대한 정보가 반영되므로(한정상, 1998; 정지훈 외, 2004) 방사형집수정에서의 강변여과수 취수량 산정에 Milojevic 경험식을 사용하는 것이 옳다 판단하였다.

때문에 본 연구에서는 Milojevic 경험식을 적용하여 국가 주요하천의 각 소유역에 방사형집수정 1기가 설치됐을 때, 방사형집수정의 강변여과수 취수가능량을 평가하

였다. 경험식에 사용되는 각 유역의 수리지질 특성 자료는 ‘금강권역 광역 지하수조사 연구’(한국수자원공사, 2002), ‘영산강-섬진강 권역 광역 지하수조사 연구’(한국수자원공사, 1999), ‘낙동강권역 광역 지하수조사 연구’(한국수자원공사, 2000) 자료를 활용하였다.

### 3.1. Milojevic 경험식

하천 인근에 설치한 방사형 집수정은 하천 유로까지의 거리와 밀접한 관계가 있기 때문에 Milojevic 경험식(Milojevic, 1963)을 적용하여 취수량을 구한다(한정상, 1998).

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

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

식에서 D는 수평집수관의 관경, L은 수평집수관의 길이, m은 수평집수관의 개수, k는 대수층의 수리전도도, t는 바닥으로부터 수평집수관의 높이이며, b는 대수층의 두께, r은 하천으로 부터의 이격거리, H-h는 집수정의 수위 강하량, Q는 집수정의 취수량을 나타낸다.

여기서 마지막 항은 하천까지 거리에 따른 보정 항으로서  $r = 5L$ 일 경우 1.0이고,  $r > 5L$ 이면 1.0보다 적고,  $r < 5L$ 이면 1.0보다 큰 값을 갖는다. A는 수평 집수정의 개수와 길이에 따른 값으로 0.9~1.2 범위이다. 채수 가능량은 대구경 우물(large-diameter well)의 경우에 준하여 산정한다(한정상, 1998).

### 3.2. 강변여과수 취수가능량 산정을 위한 적용인자

방사형집수정의 강변여과수 취수량 산정을 위한 Milojevic 경험식의 적용을 위해 대수층의 수리특성인자는 앞서 언급한 바와 같이 각 국가 주요하천의 광역지하수 조사 데이터를 활용 하였다. 하지만 광역지하수 조사 데이터의 경우 대수층이 충적층 심도와 사력층의 두께로 조사되어 대수층의 두께를 파악에 어려움이 있었다. 때문에 조사된 투수량계수로부터 수리전도도를 산정할 수 없는 문제가 있어, 본 연구에서는 Milojevic 경험식을 활용하기 위하여 조사된 소유역의 주 대수층이 사력층인 것으로 가정하여 사력층의 두께 대수층 두께로 반영하였고, 이를 이용하여 사력층의 수리전도도를 산출하였다. 이와 같이 사력층을 대수층으로 가정했을 경우 수리전도도가 다소 과소 평가되거나 혹은 과대평가 될 우려가 있다. 그러나 광역 지하수 조사 자료의 경우 조사 자료의 상당 부분이 '전국 충적층 지하수 조사 보고서'(한국수자원공사, 1996)의 조사 자료가 활용되었고, 전국 충적층 지하수 보고서의 경우 지하수 자연수위 평균값은 1.30 m로 지하수면이 지표로부터 비교적 가까이 위치하는 것으로 조사되었다. 또한, 조사된 충적층이 대부분 사력층으로 구성된 것으로 조사되어(한국수자원공사, 1996) 사력층을 주 대수층으로 가정하여 수리전도도를 산출하여도 큰 무리가 없을 것으로 판단하였다. 투수량계수가 범위로 나타나 있는 경우 중앙값을 반영하였다. 개발할 방사형집수정은 수평집수관 집수관길이(L) = 50 m, 수평집수관 개수 6개, 하천이격거리(r) = 50 m, 집수관 규격(Ø)은 300 mm, 수위강하량(h-h)은 대수층 두께의 65%로 적용하여 고정 값으로 사용하였다(단, 대수층의 두께가 범위로 나타 있는 경우 평균값의

75%를 적용하였다).

## 4. 강변여과수 취수가능량 평가 결과

Milojevic 경험식을 사용하여 주요 국가하천의 소유역에 대한 방사형집수정의 강변여과수 취수가능량을 산정한 결과는 Tables. 1~5와 같다. 각 국가하천의 산정된 방사형 집수정 강변여과수 취수가능량을 살펴보면 낙동강 유역에서 평균 취수량이 8,039 m<sup>3</sup>/day로 가장 큰 값을 갖는 것으로 나타났으며, 섬진강 유역에서 3,237 m<sup>3</sup>/day 가장 작은 값을 갖는 것으로 나타났다. 영산강 유역과 금강유역의 경우 계산된 평균 취수량은 4,245 m<sup>3</sup>/day와 3,318 m<sup>3</sup>/day로 각각 나타나 낙동강을 제외한 다른 유역의 강변 여과수 취수가능량은 큰 차이를 보이지 않는다. 각 국가 하천의 유역 별 비교를 해 보면, 금강유역은 중류 지역에서 4,736 m<sup>3</sup>/day로 가장 큰 값을 보였으며, 상류(4,061 m<sup>3</sup>/day), 하류(935 m<sup>3</sup>/day) 순으로 나타났다. 영산강의 경우도 중류 지역에서 5,929 m<sup>3</sup>/day로 가장 큰 값을 보이며, 상류(5,702 m<sup>3</sup>/day), 하류(1,973 m<sup>3</sup>/day) 순으로 나타났다. 섬진강의 경우는 평균 취수량이 하류에서 12,160 m<sup>3</sup>/day 가장 큰 값을 보이지만 자료의 불충분으로 인하여 1지점에서 산정된 결과이므로 평균값에 대한 의미가 없다. 때문에 상류와 하류에 대한 비교만 실시하였고, 비교 결과 중류에서 4,179 m<sup>3</sup>/day로 상류(361 m<sup>3</sup>/day)보다 큰 값을 나타냈다. 낙동강의 경우는 다른 유역과는 달리 상류 유역에서 평균 10,264 m<sup>3</sup>/day로 가장 큰 값을 나타냈으며, 이어서 중류(8,603 m<sup>3</sup>/day)와 하류(5,967 m<sup>3</sup>/day) 순으로 나타났다. 이러한 결과는 대수층으로 가정한 사력층의 두께와 수리전도도의 변화에 의한 결과이며, 그 예로 금강 유역의 경우 상류에서 사력층은 평균 3.71 m 두께를 보이며, 중류와 하류에서 평균 7.33, 7.57 m의 두께를 각각 보여, 하류에서 가장 두꺼운 대수층을 나타낸다. 그러나 투수량계수 분포는 상류에서 405 m<sup>2</sup>/day를 보이며, 중류(289 m<sup>2</sup>/day), 하류(52 m<sup>2</sup>/day) 순으로 작아지는 경향을 보여, 결과적으로 중간 두께의 대수층과 투수량계수를 갖는 중류에서 가장 큰 값을 갖는 결과로 나타났다. 이와 같은 대수층(사력층)의 두께와 투수량계수에 의한 강변여과수 취수가능량의 변화는 영산강, 섬진강 및 낙동강 유역에서도 나타난다. 정지훈 외가 2004년에 발표한 논문에서는 Milojevic 경험식은 수평정의 개수와 관경 길이 등의 방사형 집수정 재원에 관련된 변수들 보다 자연적 조건 즉, 투수량계수(대수층수리특성) 및 대수층 두께가 방사형 집수정의 강변여과수 취수량을 결정한다고 언급한 바 있

**Table 1.** Input data of calculation and pumping capacity in Guem River Watershed

Watershed		Thickness of Sand-and-gravel layer (m)	Transmissivity (m <sup>2</sup> /day)	t (m)	b (m)	k (m/day)	H-h (m)	2r/L	A	Q (m <sup>3</sup> /day)
Geum River upstream	K1	2.8	730	0.28	2.8	260.7	1.876	2.0	0.97	5,328
		5.5	220	0.55	5.5	40.0	3.685	2.0	0.94	3,218
		3.2	110	0.32	3.2	34.4	2.144	2.0	0.97	923
		4.7	660	0.47	4.7	140.4	3.149	2.0	0.95	8,229
	Cheon Stream	4.2	-	-	-	-	-	-	-	-
		3	-	-	-	-	-	-	-	-
	K2	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-
		6.4	930	0.64	6.4	145.3	4.288	2.0	0.94	15,839
	K3	2.1	-	-	-	-	-	-	-	-
	K4	3.6	-	-	-	-	-	-	-	-
	K5	3.71	405	-	-	-	-	-	-	-
	Average	3.71	405	-	-	-	-	-	-	4,601
Geum River Midstream	K6	5.6	55	0.56	5.6	9.8	3.752	2.0	0.94	819
		8.1	305	0.81	8.1	37.7	5.427	2.0	0.92	6,557
		6	325	0.6	6	54.2	4.02	2.0	0.94	5,189
		5.4	496	0.54	5.4	91.9	3.618	2.0	0.94	7,121
		7.5	490	0.75	7.5	65.3	5.025	2.0	0.93	9,768
		5.4	935	0.54	5.4	173.1	3.618	2.0	0.94	13,424
		6.8	440	0.68	6.8	64.7	4.556	2.0	0.93	7,960
		10	-	-	-	-	-	-	-	-
		4.8	-	-	-	-	-	-	-	-
		6.4	1355	0.64	6.4	211.7	4.288	2.0	0.94	23,078
	K7	3.8	330	0.38	3.8	86.8	2.546	2.0	0.96	3,308
		8.2	-	0.82	8.2	-	-	-	-	-
		13.5	230	1.35	13.5	17.0	9.045	2.0	0.88	8,034
		5.4	315	0.54	5.4	58.3	3.618	2.0	0.94	4,523
		5.6	110	0.56	5.6	19.6	3.752	2.0	0.94	1,638
		7.5	360	0.75	7.5	48.0	5.025	2.0	0.93	7,176
		6.5	65	0.65	6.5	10.0	4.355	2.0	0.93	1,124
		6.2	115	0.62	6.2	18.5	4.154	2.0	0.94	1,897
		7.1	530	0.71	7.1	74.6	4.757	2.0	0.93	10,008
		6	-	-	-	-	-	-	-	-
	K8	11	-	-	-	-	-	-	-	-
		12	-	-	-	-	-	-	-	-
		6.3	85	0.63	6.3	13.5	4.221	2.0	0.94	1,425
		4.7	-	-	-	-	-	-	-	-
		6.5	590	0.65	6.5	90.8	4.355	2.0	0.93	10,205
		9.1	405	0.91	9.1	44.5	6.097	2.0	0.91	9,751
		6	5225	0.6	6	870.8	4.02	2.0	0.94	83,420
		6	140	0.6	6	23.3	4.02	2.0	0.94	2,235
		7.5	-	-	-	-	-	-	-	-
		12.5	-	-	-	-	-	-	-	-
	K9	1.9	35	0.19	1.9	18.4	1.273	2.0	0.98	170
		3	260	0.3	3	86.7	2.01	2.0	0.97	2,039
		16.5	255	1.65	16.5	15.5	11.055	2.0	0.86	10,674
		13	-	-	-	-	-	-	-	-
		12.5	-	-	-	-	-	-	-	-
		7.5	490	0.75	7.5	65.3	5.025	2.0	0.93	9,768
		8.5	165	0.85	8.5	19.4	5.695	2.0	0.92	3,718
		4.8	440	0.48	4.8	91.7	3.216	2.0	0.95	5,605
		6.8	170	0.68	6.8	25.0	4.556	2.0	0.93	3,076
		5.4	1935	0.54	5.4	358.3	3.618	2.0	0.94	27,782
	K10	4.6	330	0.46	4.6	71.7	3.082	2.0	0.95	4,025
		6	55	0.6	6	9.2	4.02	2.0	0.94	878
		7.33	289	-	-	-	-	-	-	4,736
		6	55	0.6	6	9.2	4.02	2.0	0.94	878
		12.5	-	-	-	-	-	-	-	-
		6.7	100	0.67	6.7	14.9	4.489	2.0	0.93	1,783
		2.8	25	0.28	2.8	8.9	1.876	2.0	0.97	182
		9.1	405	0.91	9.1	44.5	6.097	2.0	0.91	9,751
		8	15	0.8	8	1.9	5.36	2.0	0.92	319
		6.6	310	0.66	6.6	47.0	4.422	2.0	0.93	5,444
		6.5	65	0.65	6.5	10.0	4.355	2.0	0.93	1,124
Geum River Downstream	Nonsang Stream	10.3	360	1.03	10.3	35.0	6.901	2.0	0.90	9,762
		7.4	5	0.74	7.4	0.7	4.958	2.0	0.93	98
		7.4	5	0.74	7.4	0.7	4.958	2.0	0.93	98
	Seokjeong Stream	7.4	5	0.74	7.4	0.7	4.958	2.0	0.93	98
		7.4	5	0.74	7.4	0.7	4.958	2.0	0.93	98
		7.4	5	0.74	7.4	0.7	4.958	2.0	0.93	98
	Average	7.57	52	-	-	-	-	-	-	935
	Total Average	-	-	-	-	-	-	-	-	3,318

**Table 2.** Input data of calculation and pumping capacity in Yeong-san River Watershed

Watershed		Thickness of Sand-and-gravel layer (m)	Transmissivity (m <sup>2</sup> /day)	t (m)	b (m)	k (m/day)	H-h (m)	2r/L	A	Q (m <sup>3</sup> /day)		
Yeongsan River Upstream	Y1	Yeongsan River	5.6	840	0.56	5.6	150.0	3.752	2.0	0.94	12,512	
			5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	
			5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	
			4.9	860	0.49	4.9	175.5	3.283	2.0	0.95	11,188	
			5.1	505	0.51	5.1	99.0	3.417	2.0	0.95	6,843	
			4.8	1,140	0.48	4.8	237.5	3.216	2.0	0.95	14,523	
			5.9	380	0.59	5.9	64.4	3.953	2.0	0.94	5,965	
	Geumseong Stream		2.7	-	-	-	-	-	-	-	-	
			5.6	80	0.56	5.6	14.3	3.752	2.0	0.94	1,192	
			5.6	70	0.56	5.6	12.5	3.752	2.0	0.94	1,043	
	Damyang Lake		5.9	690	0.59	5.9	116.9	3.953	2.0	0.94	10,832	
Average		5.2	571							5,702		
Yeongsan River Midstream	Y2	Hwang ryong River	4.8	600	0.48	4.8	125.0	3.216	2.0	0.95	7,644	
			4.7	-	-	-	-	-	-	-	-	
			3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	
			1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Y3	jiseok Stream	3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	
			4.4	560	0.44	4.4	127.3	2.948	2.0	0.95	6,527	
			6.8	416	0.68	6.8	61.2	4.556	2.0	0.93	7,526	
	Daecho Stream		4.4	560	0.44	4.4	127.3	2.948	2.0	0.95	6,527	
			4.6	170	0.46	4.6	37.0	3.082	2.0	0.95	2,074	
			3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Y4	Yeongsan River	2.6	-	-	-	-	-	-	-	-	
			6.8	300	0.68	6.8	44.1	4.556	2.0	0.93	5,428	
			5.7	435	0.57	5.7	76.3	3.819	2.0	0.94	6,596	
			3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	
			3.4	-	-	-	-	-	-	-	-	
			7.0	310	0.7	7	44.3	4.69	2.0	0.93	5,772	
			3.6	-	-	-	-	-	-	-	-	
			5.4	600	0.54	5.4	111.1	3.618	2.0	0.94	8,615	
Average		4.4	439							5,929		
Yeongsan River Downstream	Y5	Yeongsan River	4.9	250	0.49	4.9	51.0	3.283	2.0	0.95	3,252	
			2.8	-	-	-	-	-	-	-	-	
			5.4	160	0.54	5.4	29.6	3.618	2.0	0.94	2,297	
			5.2	185	0.52	5.2	35.6	3.484	2.0	0.95	2,557	
			4.8	-	-	-	-	-	-	-	-	
			4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	
			6.6	-	-	-	-	-	-	-	-	
			12.3	13	1.23	12.3	1.1	8.241	2.0	0.89	417	
			12.3	13	1.23	12.3	1.1	8.241	2.0	0.89	417	
			6.1	630	0.61	6.1	103.3	4.087	2.0	0.94	10,226	
			4.7	275	0.47	4.7	58.5	3.149	2.0	0.95	3,429	
		Average		5.1	425							1,973
		Total Average										4,245

**Table 3.** Input data of calculation and pumping capacity in Seom-jin River Watershed

Area	Watershed		Thickness of Sand-and-gravel layer (m)	Transmissivity (m <sup>2</sup> /day)	t (m)	b (m)	k (m/day)	H-h (m)	2r/L	A	Q (m <sup>3</sup> /day)
Seomjin River Upstream	S1	Okjeong Lake	4.3	30	0.43	4.3	7.0	2.881	2.0	0.96	342
			4.8	30	0.48	4.8	6.3	3.216	2.0	0.95	382
			Average	4.55	30						
Seomjin River Midstream	S2	Seomjin River	4.3	580	0.43	4.3	134.9	2.881	2.0	0.96	6,603
			5.6	580	0.56	5.6	103.6	3.752	2.0	0.94	8,639
			6	100	0.6	6	16.7	4.02	2.0	0.94	1,597
	S4	Yo Stream	4.7	550	0.47	4.7	117.0	3.149	2.0	0.95	6,858
			5.9	20	0.59	5.9	3.4	3.953	2.0	0.94	314
			5.3	-	-	-	-	-	-	-	-
			4	61	0.4	4	15.3	2.68	2.0	0.96	645
			3.7	1,310	0.37	3.7	354.1	2.479	2.0	0.96	12,776
	S5	Boseong River	3.6	975	0.36	3.6	270.8	2.412	2.0	0.96	9,243
			5.4	635	0.54	5.4	117.6	3.618	2.0	0.94	9,117
			3.6	670	0.36	3.6	186.1	2.412	2.0	0.96	6,352
			Average	7	1,400	0.7	7	200.0	4.69	2.0	0.93
	S7	Seomjin River	6.2	-	-	-	-	-	-	-	-
			4.6	-	-	-	-	-	-	-	-
			6.3	75	0.63	6.3	11.9	4.221	2.0	0.94	1,257
	Average			5.08	580						
Seomjin River Downstream	S8	Seomjin River	8	-	-	-	-	-	-	-	-
			6.2	737	0.62	6.2	118.9	4.154	2.0	0.94	12,160
	S9	Seomjin River	18	-	-	-	-	-	-	-	-
			30	-	-	-	-	-	-	-	-
			7.2	-	-	-	-	-	-	-	-
			27.8	-	-	-	-	-	-	-	-
			Average			16.20	737				
Total Average											3,237

다. 결국, 방사형 집수정을 개발함에 있어서 대수층의 두께가 두껍고 투수량계수가 큰 지역을 선정하는 것이 방사형집수정의 취수량을 확보하는 방법이며, 강변여과수 취수량가능량 산정 결과에 의해 연구 유역 중 낙동강 유역이 다른 유역에 비하여 자연적 조건이 양호한 지역인 것으로 판단할 수 있다.

설치 목적에 따라 다를 수 있으나 실제 방사형 집수정이 개발되는 지역은 강이나 하천 변의 하상 퇴적지인 포인트바(point bar)가 대부분일 것이다. 때문에 앞서 제시한 각 유역을 상, 중, 하류로 나누어 실시한 평균 분석은 다소 광역적이며, 추상적인 결과일 것으로 판단되어 진다. Fig. 2는 각 연구 유역의 소유역에 대한 강변여과수 취수량가능량 분포를 도시한 그림으로 방사형집수정 개발유망소유역을 파악하기 위하여 도시하였다. 일 10,000 m<sup>3</sup> 이상 취수가능 지역은 붉은 색으로 표시 하였으며, 조사자료의

부재로 인하여 결과 값이 없는 유역은 표기에서 제외 하였다. 도시 결과 10,000 m<sup>3</sup> 이상 취수가능 유역이 가장 많이 분포하고 있는 지역은 낙동강 유역(Fig. 2d)으로 낙동강의 지류가 아닌 본류에 속하는 유역은 대부분 10,000 m<sup>3</sup>/day 이상의 취수량을 갖는 것으로 나타났다. 반면 영산강 유역(Fig. 2b)의 경우 10,000 m<sup>3</sup>/day 이상의 취수량을 갖는 소유역이 한 곳도 존재하지 않는 것으로 나타났으며, 금강(Fig. 2a) 및 섬진강(Fig. 2c)의 경우 각각 1곳과 2곳이 10,000 m<sup>3</sup>/day 이상의 강변여과수 취수가능소유역을 포함하는 것으로 나타났다. 앞서 실시하였던 유역의 평균 강변여과수 취수가능량 비교에서와 동일하게 소유역에 대한 비교에서도 낙동강 유역이 방사형집수정을 통한 취수량의 확보에 유리한 것으로 판단되며, 그 중에서도 낙동강의 본류에 속하는 지역이 적합 할 것으로 판단된다.

**Table 4.** Input data of calculation and pumping capacity in Nak-dong River Watershed (Midstream)

Area	Watershed	Thickness of Sand-and-gravel layer (m)	Transmissivity (m <sup>2</sup> /day)	t (m)	b (m)	k (m/day)	H-h (m)	2r/L	A	Q (m <sup>3</sup> /day)
Nakdong River Midstream	N6 Byeongseong Stream	8.4	-	-	-	-	-	-	-	-
	N7 Gam Stream (Nakdong River Cross Include)	5.1	1330	0.51	5.1	260.8	3.417	2.0	0.95	18,021
		6.7	430	0.67	6.7	64.2	4.489	2.0	0.93	7,666
		6.4	850	0.64	6.4	132.8	4.288	2.0	0.94	14,477
		8.3	1200	0.83	8.3	144.6	5.561	2.0	0.92	26,422
		8	750	0.8	8	93.8	5.36	2.0	0.92	15,930
		6	830	0.6	6	138.3	4.02	2.0	0.94	13,251
	N8 Wi Stream	4	-	-	-	-	-	-	-	-
		8.5	265	0.85	8.5	31.2	5.695	2.0	0.92	5,972
		8.5	-	-	-	-	-	-	-	-
		8.5	-	-	-	-	-	-	-	-
		8.5	-	-	-	-	-	-	-	-
		7	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	2100	-	-	-	-	2.0	-	-
		-	130	-	-	-	-	2.0	-	-
		4.7	86	0.47	4.7	18.3	3.149	2.0	0.95	1,072
		4.7	1200	0.47	4.7	255.3	3.149	2.0	0.95	14,963
	Sahoe Stream	8	13	0.8	8	1.6	5.36	2.0	0.92	276
		4.7	370	0.47	4.7	78.7	3.149	2.0	0.95	4,613
		-	770	-	-	-	-	2.0	1.02	-
	N9 Nakdong River	8.5	-	-	-	-	-	-	-	-
		10.3	-	-	-	-	-	-	-	-
		11.3	-	-	-	-	-	-	-	-
		12.3	-	-	-	-	-	-	-	-
		10	-	-	-	-	-	-	-	-
		6	830	0.6	6	138.3	4.02	2.0	0.94	13,251
		6.4	5360	0.64	6.4	837.5	4.288	2.0	0.94	91,288
		8.8	29200	0.88	8.8	3318.2	5.896	2.0	0.91	680,597
		7.8	240	0.78	7.8	30.8	5.226	2.0	0.92	4,973
		9.3	255	0.93	9.3	27.4	6.231	2.0	0.91	6,270
	N10 Geumho River	2.6	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.8	-	-	-	-	-	-	-	-
		3.1	340	0.31	3.1	109.7	2.077	2.0	0.97	2,760
	N12 Nakdong River	14.5	-	-	-	-	-	-	-	-
		20.3	-	-	-	-	-	-	-	-
		7	1120	0.7	7	160.0	4.69	2.0	0.93	20,855
		8.8	1250	0.88	8.8	142.0	5.896	2.0	0.91	29,135
		8.5	27	0.85	8.5	3.2	5.695	2.0	0.92	608
		7.3	330	0.73	7.3	45.2	4.891	2.0	0.93	6,405
		10.3	-	-	-	-	-	-	-	-
		7.8	1150	0.78	7.8	147.4	5.226	2.0	0.92	23,827
		10	-	-	-	-	-	-	-	-
		13.5	22	1.35	13.5	1.6	9.045	2.0	0.88	769
	BackStream	5.2	750	0.52	5.2	144.2	3.484	2.0	0.95	10,364
	N13 Hoe Stream	5.5	650	0.55	5.5	118.2	3.685	2.0	0.94	9,507
	Gacheon Stream	8.2	900	0.82	8.2	109.8	5.494	2.0	0.92	19,583
	N14 Yang Stream	3.6	1210	0.36	3.6	336.1	2.412	2.0	0.96	11,471
	Hapcheon Lake	5.3	450	0.53	5.3	84.9	3.551	2.0	0.95	6,340
	N15 Hwang River	11.5	-	-	-	-	-	-	-	-
		6	180	0.6	6	30.0	4.02	2.0	0.94	2,874
		13.4	-	-	-	-	-	-	-	-
	N16 Nakdong River	13.4	-	-	-	-	-	-	-	-
		20	-	-	-	-	-	-	-	-
		14.5	-	-	-	-	-	-	-	-
		8.6	95	0.86	8.6	11.0	5.762	2.0	0.92	2,165
		10.3	660	1.03	10.3	64.1	6.901	2.0	0.90	17,898
		13	-	-	-	-	-	-	-	-
		5.1	-	-	-	-	-	-	-	-
		20.5	-	-	-	-	-	-	-	-
		4.9	900	0.49	4.9	183.7	3.283	2.0	0.95	11,709
		5.2	660	0.52	5.2	126.9	3.484	2.0	0.95	9,121
	Sinban Stream	5.1	-	-	-	-	-	-	-	-
	Jogu River	5.1	-	-	-	-	-	-	-	-
Average		8.48	499.18							8,603



**Table 5.** Input data of calculation and pumping capacity in Nak-dong River Watershed (Upstream and Down stream)

Area	Watershed		Thickness of Sand-and-gravel layer (m)	Transmissivity (m <sup>2</sup> /day)	t (m)	b (m)	k (m/day)	H-h (m)	2r/L	A	Q (m <sup>3</sup> /day)	
Nakdong River Upstream	N1	Nakdong River	6.7	1180	0.67	6.7	176.1	4.489	2.0	0.93	21,036	
			8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	
			6.5	-	-	-	-	-	-	-	-	
			6.7	-	-	-	-	-	-	-	-	
			11	1590	1.1	11	144.5	7.37	2.0	0.90	45,894	
	N3	Gilan Stream	6	430	0.6	6	71.7	4.02	2.0	0.94	6,865	
			4.7	210	0.47	4.7	44.7	3.149	2.0	0.95	2,618	
			3.6	3400	0.36	3.6	944.4	2.412	2.0	0.96	32,232	
			9.5	446	0.95	9.5	46.9	6.365	2.0	0.91	11,193	
	N4	Naeseong Stream	Songya Stream	2.8	-	-	-	-	-	-	-	
			8.4	-	-	-	-	-	-	-	-	
			7.1	375	0.71	7.1	52.8	4.757	2.0	0.93	7,081	
			8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	
	N5	Yeong Stream	9	-	-	-	-	-	-	-	-	
			6.4	1000	0.64	6.4	156.3	4.288	2.0	0.94	17,031	
			8.7	720	0.87	8.7	82.8	5.829	2.0	0.92	16,597	
			6.7	395	0.67	6.7	59.0	4.489	2.0	0.93	7,042	
	Average			5.4	335	0.54	5.4	62.0	3.618	2.0	0.94	4,810
				6.2	500	0.62	6.2	80.6	4.154	2.0	0.94	8,250
				4.8	400	0.48	4.8	83.3	3.216	2.0	0.95	5,096
				8	380	0.8	8	47.5	5.36	2.0	0.92	8,071
6.91				595.04								10,264
Nakdong River Downstream	N17	Yang Stream	Namgye Stream	6	250	0.6	6	41.7	4.02	2.0	0.94	3,991
			Doeokcheon Stream	4.8	-	-	-	-	-	-	-	-
	N18	Nam River	7	1040	0.7	7	148.6	4.69	2.0	0.93	19,365	
			2.8	45	0.28	2.8	16.1	1.876	2.0	0.97	328	
			3.6	1210	0.36	3.6	336.1	2.412	2.0	0.96	11,471	
			6.3	150	0.63	6.3	23.8	4.221	2.0	0.94	2,515	
	N19	Ssanggye Stream	Jinyang Lake	4.3	-	-	-	-	-	-	-	
			18.8	-	-	-	-	-	-	-	-	
			8.5	1650	0.85	8.5	194.1	5.695	2.0	0.92	37,183	
			11.6	170	1.16	11.6	14.7	7.772	2.0	0.89	5,159	
	N20	Milyang River	3	170	0.3	3	56.7	2.01	2.0	0.97	1,333	
			16	208	1.6	16	13.0	10.72	2.0	0.86	8,472	
			5.8	190	0.58	5.8	32.8	3.886	2.0	0.94	2,932	
			4.5	2300	0.45	4.5	511.1	3.015	2.0	0.95	27,432	
	N21	Nakdong River	Yu Stream	29	-	-	-	-	-	-	-	
27.5			-	-	-	-	-	-	-	-		
9.7			37	0.97	9.7	3.8	6.499	2.0	0.91	947		
28			-	-	-	-	-	-	-	-		
24.5			-	-	-	-	-	-	-	-		
6			-	-	-	-	-	-	-	-		
4.9			-	-	-	-	-	-	-	-		
9.8			-	-	-	-	-	-	-	-		
16			122	1.6	16	7.6	10.72	2.0	0.86	4,969		
5			200	0.5	5	40.0	3.35	2.0	0.95	2,656		
N22	Jogu River	7.7	600	0.77	7.7	77.9	5.159	2.0	0.92	12,275		
		4.3	560	0.43	4.3	130.2	2.881	2.0	0.96	6,375		
		6.9	-	-	-	-	-	-	-	-		
		4.8	-	-	-	-	-	-	-	-		
Total Average			7	760	0.7	7	108.6	4.69	2.0	0.93	14,151	
			7	760	0.7	7	108.6	4.69	2.0	0.93	14,151	
Total Average			17	-	-	-	-	-	-	-	-	
			24.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			27.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			8.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Average			11.5	730	1.15	11.5	63.5	7.705	2.0	0.89	21,972	
			11.13	338.88								5,967
Total Average											8,039	

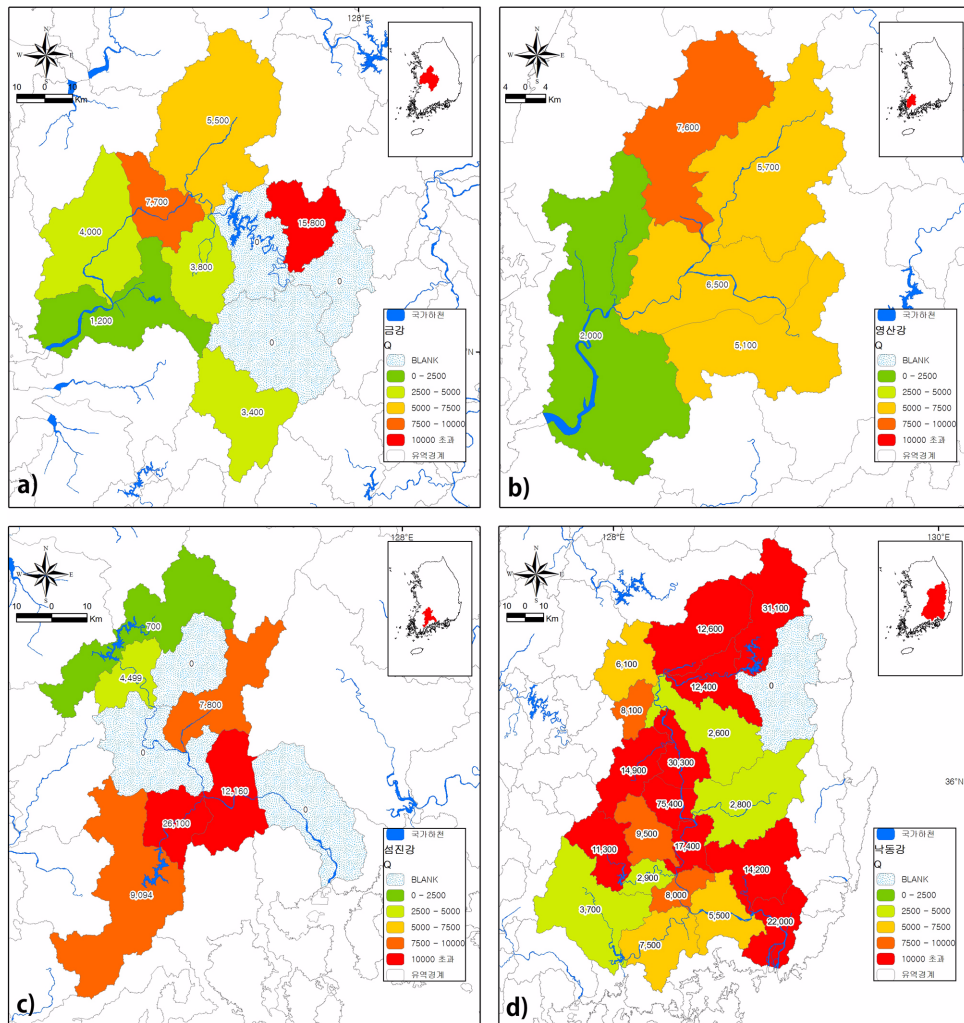


Fig. 2. Distribution of the pumping capacity in a) Guem River watershed, b) Yeongsan River watershed, c) Seomjin River watershed, and d) Nakdong River watershed.

## 5. 토의 및 결론

방사형집수정 개발 유망지역의 파악을 위하여 주요 국가하천(금강, 영산강, 섬진강 및 낙동강) 유역에 대한 방사형집수정 1기에서의 강변여과수 취수가능량 평가를 실시하였다. 평가 결과 낙동강 유역에 방사형집수정 1기가 설치됐을 경우 평균취수량은 약 8,000 m<sup>3</sup>/day으로 금강(약 3,300 m<sup>3</sup>/day), 영산강(약 4,200 m<sup>3</sup>/day) 및 섬진강(약 3,200 m<sup>3</sup>/day) 보다 큰 것으로 산출되어, 연구지역 중 낙동강 유역이 강변여과수 개발에 더 유망한 것으로 나타났다. 또한, 금강 및 섬진강의 10,000 m<sup>3</sup>/day 이상의 취수량을 갖는 일부 유역의 경우 강변여과수 개발지로서 검토가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구는 간접취수시설

의 설치 적합 지역을 선정하기 위한 사전 검토를 위해 수행되었으며, 검토결과 낙동강 유역이 다른 유역에 비해 강변여과수 개발에 더 유망한 것으로 나타남에 따라, 낙동강 유역에 대한 정밀 검토를 통해 실제 강변여과수 시설의 설치 지점을 선정할 예정이다.

본 연구의 결과는 광역 지하수 조사데이터를 활용하여 소유역에 방사형집수정 1기가 설치됐을 경우 취수량을 평가한 것으로 실제 방사형집수정의 개발이 이루어지는 하천변 대수층에 대한 정밀한 평가로 보는 것은 다소 무리가 있을 것이다. 그러나 국가 하천 유역 전체를 대상으로 경험식을 사용하여 방사형집수정의 강변여과수 취수량을 평가한 최초의 시도로서 강변여과수를 개발하는데 있어 각 유역을 검토하는 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업인 수자원의 활용기술 고도화연구단 3세부과제(과제번호-11기술혁신 CO5-3)의 연구비 지원을 받아 수행 되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 경기개발연구원, 2008, 간접취수 방식을 통한 수자원 확보방안 연구, p. 23, 37.
- 국가수자원관리 종합정보 시스템, 2012, 2, 28, <http://www.wamis.go.kr/>
- 김형수, 한찬, 유정아, 1999, 지하수함양 활용증대방안 연구, WRR-IG-99-1, 한국 수자원공사 연구보고서, 한국수자원공사, p. 198.
- 서울시 상하수도 사업본부, 2006, 간접취수 도입을 위한 타당성 조사사업보고서.
- 오세형, 정재훈, 이재성, 2012, 의령군 낙동강 유역 간접취수에 의한 지하수 유동 모의, 한국지하수토양환경학회 춘계학술발표회, 세종대학교, p. 273.
- 이은희, 한운정, 이강근, 김형수, 정재훈, 2010, 경남 창원군 증산리 일대 방사형집수정을 활용한 강변여과수 개발량 평가, 지하수 토양환경, 15(4), 1-12.
- 정지훈, 박재현, 박창근, 양정석, 정교철, 최용선, 부성안, 2004, 방사형집수정에 의한 강변여과수 산출량 산정에 관한 연구, 지질 공학회지, 14(4), 417-427.
- 창원시, 2004, 창원시 강변여과수 개발사업(2단계) 실시설계 보고서, p. VII-76.
- 팬아시아워터, 2011, 의령군 강변여과수 개발사업 기본 및 실시 설계 취수시설 기반조사용역 보고서.
- 한국수자원공사, 2008, 취수체계 개편에 대비한 강변여과 기술 지침서, p. 5-10.
- 한국수자원공사, 2002, 금강권역 광역 지하수조사 연구 보고서.
- 한국수자원공사, 1999, 영산강-섬진강권역 광역 지하수조사 연구 보고서.
- 한국수자원공사, 2000, 낙동강권역 광역 지하수조사 연구 보고서.
- 한국수자원공사, 1996, 전국 충적층 지하수 조사보고서, p. 46-65.
- 한정상, 1998, 지하수환경과 오염, 박영사, p.389-391.
- 환경부, 2009, 취수가능지역 조사사업 보고서.
- 환경부, 부산광역시, 1996, 부산 · 경남지역 복류수 및 강변여과수 개발타당성조사 보고서.
- Milojevic. M., 1963, Radial collector wells adjacent to river banks, *J. Hydraul. Div. ASCE* 89, 133-151.
- Petrovic, S., 1956, Snabdevanje naselja vodom. Water Supplies, Beograd, Serbia.