

강변층적층의 토질 분포를 고려한 방사형 집수정의 수평집수관 여재팩 및 스크린 설계

이치형¹ · 이성규¹ · 김민¹ · 박혁진² · 김규범^{3,†}

¹인텔리지오

²세종대학교 에너지자원공학과

³K-water연구원

요약

강변 인근에서 방사형집수정에 의한 대용량 취수시설 개발 시 적절한 여재팩 및 스크린을 설계하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 토질이 다양하게 분포하는 지역(안성천)에서 자재 공급의 용이성과 시공의 효율성을 고려한 여재팩 및 스크린 설계를 추천하였다. 대수층의 수두손실과 입자의 유동 발생을 방지하기 위한 여재의 크기는 대수층이 세립 내지 중립 모래에서는 1-4 mm, 중립 내지 조립 모래에서는 4-10 mm가 추천된다. 여재팩 및 스크린 설계는 설계자 및 시설의 종류에 따라 다양한 기준이 적용될 수 있으므로, 향후 다양한 현장 결과를 활용하여 토질에 대한 여재팩 및 스크린 설계 방법이 개선된다면 방사형집수정의 장기적인 안정성과 취수량 증대에 기여할 것으로 판단된다.

주요어: 강변여과수, 방사형 집수정, 수평집수관, 여재팩, 우물 스크린

Chi-hyung Lee, Seong-Kyu Lee, Min Kim, Hyuck-Jin Park and Gyo-Bum Kim, 2015, Design of filter pack and well screen for the horizontal gallery of radial collector well considering soil distribution in riverside alluvium. Journal of the Geological Society of Korea. v. 51, no. 4, p. 389-395

ABSTRACT: Proper design of the filter pack and well screen is very important in constructing a large sized well, especially in the riverbank filtration system. Considering the timely supply of construction materials and the efficiency of construction, the optimum design of screen and filter pack was studied and proposed in the riverside alluvium (Anseong stream region) with various soil types. The recommended filter size to avoid head loss and particle movement is about 1~4 mm in fine grained and medium sands and 4~10 mm in coarse grained sand. Various designs can be determined based upon the designer's experience and the facility type, and therefore it is expected that the general standard applying to various sediment condition can be proposed by using various and more field data. It will contribute a long-term well stability and an increase of intake quantity.

Key words: riverbank filtration, radial collector well, horizontal gallery, filter pack, well screen

(Chi-Hyung Lee, Seong-Kyu Lee and Min Kim, Intellego Co. Ltd., Seoul 08390, Republic of Korea, Hyuck-Jin Park, Department of Geoinformation Engineering, Sejong University, Seoul 05006, Republic of Korea, Gyu-Bum Kim, K-Water Institute, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 34045, Republic of Korea)

1. 서 언

직접취수 방식인 지표수의 대체수원으로서 일정한 수량 및 수질을 유지할 수 있는 간접취수 방식의 강변여과수(riverbank filtration) 개발이 국내에서 1990년대부터 연구되기 시작하였다. 4대강 살리기 사업 이후 하천수위를 안정적으로 유지하는 것이 가

능해지면서 수량적인 측면에서 강변여과수의 개발여건이 크게 향상되었고, 이에 따라 대용량 취수가 가능한 방사형 집수정(radial collector well)을 통한 강변여과수 개발이 관심 분야로 부각되었다(Kim *et al.*, 2014).

국내 강변 층적층과 같이 다양한 토질이 분포하는 경우, 대용량 간접취수시설을 성공적으로 구축

[†] Corresponding author: +82-42-870-7600, E-mail: gbkim@kwater.or.kr

하기 위해서는 충분한 토질조사를 기초로 입도분포를 고려하여 수평집수관(horizontal gallery)의 스크린(screen) 및 여재팩(filter pack)을 적절하게 설계하는 것이 매우 중요하다. 스크린 및 여재팩의 설치 목적은 대수층에서 취수원의 유입통로를 확보하고, 동시에 취수시설의 구조적인 안정 상태를 유지하기 위한 것으로(Johnson, 1963; Blair, 1968), 취수시설의 개발가능량을 좌우하는 가장 중요한 인자 중 하나라고 할 수 있다.

스크린이 갖추어야 할 공학적 요구사항은 1) 우물 내로 모래 유입을 방지, 2) 공막힘(clogging)이 발생하지 않는 효율적 개공형상(opening), 3) 최대의 개공 면적(open area), 4) 붕괴를 방지할 적절한 강도(strength), 5) 우물 내로 유입에 대한 최소저항 등이 있다(Blair, 1968). 여재팩은 우물의 스크린과 대수층 사이에 설치되는 모래나 자갈을 지칭하며, 여재의 기본 요건은 우물의 안정성을 확보하고 수두손실을 최소화할 수 있어야 한다. 과거에는 자갈팩(gravel pack)이란 용어를 사용하였으나 실제로 여재(filter)는 자갈과 모래 모두 사용하므로, 현재는 용어에 따른 오해를 피하기 위하여 점차 여재팩을 일반적인 용어로 사용하고 있다(Johnson, 1963).

본 연구에서는 여재팩 및 스크린 설계에 대하여 현재까지 연구되고 적용된 기본 이론을 재검토하고, 이를 기초로 안성천 인근의 현장 시험시설에 적용한 사례를 토대로 다양한 토질이 분포하는 국내 강변여과수 개발 현장에서 대용량 취수시설에 적합한 설계 방법을 제안하고, 향후 설계지침 마련을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 연구 지역

연구지역은 경기도 안성천 일원의 강변 충적층으로 방사형집수정 설치 위치는 행정구역상 천안시로 안성시와 평택시가 인접한 지역이다(그림 1). 연구지역의 기반암은 선캠브리아기의 흑운모편마암과 이를 관입한 주라기의 흑운모화강암으로 구성되어 있고, 이들 기반암 상부에 강변 충적층이 분포하고 있다. 시추조사 결과 충적층 평균 두께는 7.6 m로 상부에는 투수성이 낮은 점토와 실트가 우세하고, 하부에는 비교적 투수성이 좋은 모래가 1~4 m 두께로 분포하고 있다. 실규모 양수시험에 의해 분석된 충적층의 평균 수리전도도는 약 7×10^{-3} cm/sec이다.

3. 연구내용

토질분포가 다양한 강변 충적층에 개발되는 방사형집수정의 수평집수관 설계를 위하여 충적층 시료를 채취하고 입도분석을 수행하였으며, 스크린과 여

Table 1. Distribution of soil type based on the sieve analysis of soil samples.

No.	GP	SW	SP	SM	ML
#3	4%	0%	12%	80%	4%
#5	0%	11%	0%	89%	0%
#7	4%	39%	22%	35%	0%
#8	12%	40%	44%	12%	0%

Remark) GP: poorly graded gravel, SW: well graded sand, SP: poorly graded sand, SM: silty sand, ML: inorganic silt and very fine sand, or clayey silts with slight plasticity.



Fig. 1. Location of the study area.

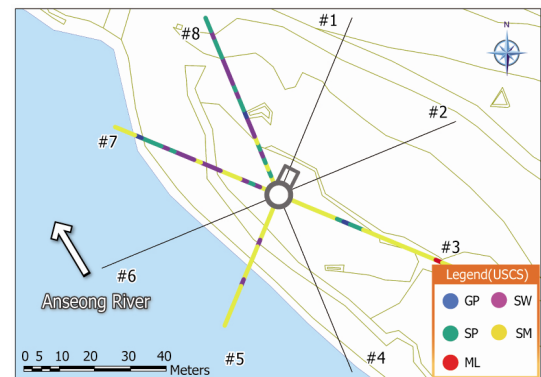


Fig. 2. Map showing the distribution of soil type.

Table 2. Results for the design of screen slot sizes based on the average value.

Soil samples of horizontal gallery	Sediment layer				Slot size without filter	
	D ₈₅	D ₅₀	D ₃₀	D ₁₀		
#3	min.	0.41	0.14	0.03	0.2	
	max.	21.45	2.59	1.37	0.57	
	aver.	3.12	0.55	0.22	0.07	0.8
#5	min.	1.65	0.43	0.11	0.01	0.6
	max.	9.97	1.34	0.77	0.25	1.7
	aver.	3.62	0.69	0.25	0.05	1.0
#7	min.	2.75	0.70	0.23	0.02	1.0
	max.	12.05	2.77	1.40	0.51	3.8
	aver.	5.75	1.23	0.63	0.19	1.7
#8	min.	2.06	0.54	0.14	0.02	0.9
	max.	15.30	2.02	1.14	0.63	3.8
	aver.	6.71	1.23	0.60	0.19	1.8
Total	min.	1.72	0.45	0.13	0.02	0.7
	max.	14.69	2.18	1.17	0.49	3.2
	aver.	4.80	0.92	0.42	0.12	1.3

Remark) Solt size : without filter=D₅₀ of aquifer, with filter=D₁₀ of filter pack.

재팩에 대한 국내·외 설계 기준을 검토하였다.

현장 시공은 총 8개의 수평집수관을 계획하고, 2014년 11월에 1차적으로 지표하 심도 6.8 m에서 하천 평행 방향 및 직각 방향으로 4개의 수평집수관을 굴착하였다(그림 2)

3.1 주대수층 입도분석 결과

주 대수층의 정확한 토질분포를 파악하기 위하여 수평집수관 4공(#3, #5, #7 및 #8)에서 매 2 m 마다 시료를 채취하고 입도를 분석하였다. 본 연구지역은 방사형 집수정을 중심으로 반경 50m 이내의 위치별 토질분포가 매우 다양하게 나타나는 것으로 조사되었다(표 1, 그림 2). 입도 분석 결과 수평집수관 #8은 중립질 모래(SP) 이상이 88%로 투수성이 양호하나, 수평집수관 #3에서는 실트질모래(SM) 이하가 84%로 투수성이 매우 불량하게 나타났다. 이와 같이 입도분포가 다양한 충적층에서는 충분한 수직시추 결과를 기초로 수평천공 결과를 반영하여 여재팩 및 스크린을 설계하여야 한다.

3.2 국내·외 설계기준 검토

방사형집수정 수평집수관의 여재팩 및 스크린을 설계하기 위한 국내·외 기준은 없으며, 일반적으로 수직우물의 설계기준을 준용한다. 수직우물의 여재

팩 및 스크린 설계에 대한 국내 기준은 지하수업무수행지침(K-water and MOCT, 2003)이 유일하며, 국외는 Terzaghi (1951)에 의해 최초로 제안된 이후 Smith (1954), Kruse (1960), Stow (1962), Nold and Co (1962), Funchs (1963) 및 Johnson (1966) 등에 의해 연구되어 왔다.

현재까지 일반적으로 적용되는 방식은, 우물 스크린의 슬롯 크기는 토질 입도분석 결과를 토대로 스크린이 토립자를 통과시키는 비율로 결정하며, 1) 여재를 충전하지 않는 경우와 2) 여재를 충전하는 경우로 구분하여 설계한다. 연구자에 따라 설계기준이 다양하지만, 이 중 가장 많이 제시된 스크린의 크기는 1) 여재를 충전하지 않는 경우는 대수층 토립자를 60% 통과시킬 수 있는 크기(D₆₀)로 설계하며, 2) 여재를 충전하는 경우는 여재를 10% 통과시킬 수 있는 크기(D₁₀)로 설계한다. 여재는 크기가 대수층 평균 입경의 5배이고, 균등계수(coefficient of uniformity, D₆₀/D₁₀)가 3이하인 모래 또는 자갈이어야 하며, 두께는 경험적으로 최소 3인치, 최대 9인치 두께를 추천하고 있다(Blair, 1968). 국내의 스크린 및 여재팩 설계는 방사형집수정 주변에 다양한 크기의 입도가 분포하더라도 시공의 편의를 위해 평균입도 한 가지 값으로 설계하고 있는 실정이다.

Table 3. Results for the validation of screen slot sizes for horizontal gallery.

Depth (m)	Slot size $\geq D_{70}$ of aquifer or slot size $\leq D_{50}$ of aquifer															
	#3				#5				#7				#8			
	Aquifer		Slot		Aquifer		Slot		Aquifer		Slot		Aquifer		Slot	
	D ₇₀	D ₅₀	1.3 mm	0.8 mm	D ₇₀	D ₅₀	1.3 mm	1.0 mm	D ₇₀	D ₅₀	1.3 mm	1.7 mm	D ₇₀	D ₅₀	1.3 mm	1.8 mm
2	1.04	0.51	1	0	1.25	0.62	1	0	1.44	0.70	0	1	1.25	0.54	1	1
4	0.95	0.40	1	0	0.83	0.44	1	1	1.74	1.01	0	0	2.83	1.68	1	0
6	1.60	0.51	0	0	1.23	0.45	1	0	2.21	1.31	1	0	1.32	0.58	0	1
8	1.51	0.58	0	0	1.27	0.55	1	0	2.13	1.16	0	0	2.06	1.05	0	0
10	1.43	0.66	0	0	1.13	0.43	1	0	1.56	0.77	0	1	1.98	1.21	0	0
12	0.71	0.26	1	1	1.37	0.88	0	0	3.66	1.18	0	0	2.15	1.24	0	0
14	0.68	0.20	1	1	1.49	0.64	0	0	1.49	0.79	0	1	2.72	1.13	0	0
16	3.25	1.66	1	1	1.66	0.70	0	0	5.28	2.77	1	1	2.62	1.19	0	0
18	8.61	5.07	1	1	1.46	0.74	0	0	5.08	1.39	1	0	1.41	0.87	0	1
20	4.80	2.59	1	1	1.63	0.71	0	0	2.37	1.25	0	0	2.13	1.22	0	0
22	6.03	1.78	1	1	1.64	0.80	0	0	1.75	0.70	0	0	10.2	5.11	1	1
24	0.41	0.17	1	1	2.46	1.34	1	1	1.77	1.16	0	0	3.41	1.03	0	0
26	0.95	0.33	1	0	1.82	0.73	0	0	1.77	1.04	0	0	5.20	1.68	1	0
28	0.81	0.32	1	1	1.50	0.59	0	0	2.02	1.21	0	0	2.66	1.30	1	0
30	0.41	0.14	1	1	1.89	0.87	0	0	3.13	1.55	1	0	3.74	1.54	1	0
32	0.39	0.22	1	1	1.52	0.76	0	0	3.63	1.56	1	0	2.12	1.07	0	0
34	0.39	0.22	1	1	0.43	0.14	1	1	2.27	1.30	1	0	1.56	0.90	0	1
36	0.75	0.38	1	1	0.52	0.19	1	1	2.59	1.35	1	0	6.30	1.52	1	0
38	0.52	0.18	1	1					2.35	1.27	0	0	2.88	1.04	0	0
40	0.79	0.38	1	1					21.5	18.7	1	1	4.79	1.63	1	0
42	1.05	0.40	1	0									5.60	1.47	1	0
44	0.76	0.28	1	1									2.59	1.40	1	0
46	0.20	0.06	1	1									1.67	0.88	0	1
48	0.48	0.24	1	1									8.04	2.54	1	1
50	0.29	0.16	1	1									5.96	2.02	1	1
Unsuitabeness	(m)		22	18	(ea)		8	4	(ea)		8	5	(ea)		12	8
	(%)		88	72	(%)		44	22	(%)		40	25	(%)		48	32

Remark) if slot size $\geq D_{70}$ of aquifer or slot size $\leq D_{50}$ of aquifer then 1, not if then 0.

3.3 여재를 충전하지 않는 경우

여재를 충전하지 않는 경우 입도 분석에서 제시된 결과를 토대로 단일 값으로 설계하는 방식에 대하여 다음 2가지 경우로 구분하여 적용해 보았다; 1) 수평집수관별 평균값으로 동일하게 설계하는 경우와 2) 수평집수관 위치별 토질 분포에 따라 설계를 달리하는 경우. 입도 분석 결과에서 보듯이, 여재를 충전하지 않는 경우에 본 연구지역에서 스크린 슬롯의 크기를 전체 방사형집수정의 평균값으로 설

계하면 1.3 mm, 수평집수관별 평균값으로 설계하면 슬롯 크기를 #3은 0.8 mm, #5는 1.0 mm, #7은 1.7 mm 및 #8은 1.8 mm로 각각 설계할 수 있다(표 2).

각 설계결과에 대한 타당성 검토를 위해 수평집수관 매 2 m마다 설계된 슬롯의 크기와 실제로 분포하는 토질의 D₆₀과 비교하여 설계기준인 분포토질의 D₆₀으로 설계되지 않은 경우를 검토하였다. 검토결과 수평집수관 #3의 경우 전체 평균값인 1.3 mm로 슬롯 크기를 설계한 경우 88%, 수평집수관 #3의 평균값

Table 4. Results for design of screen slot sizes based on the soil distributions.

Depth (m)	Slot size without filter pack				Depth (m)	Slot size without filter pack			
	#3	#5	#7	#8		#3	#5	#7	#8
2	0.73	0.89	1.03	0.85	30	-	1.28	2.05	2.33
4	0.62	0.61	1.32	2.05	32	-	1.09	2.16	1.49
6	0.90	0.77	1.67	0.90	34	-	-	1.68	1.19
8	0.99	0.84	1.55	1.46	36	-	-	1.80	2.84
10	0.99	0.69	1.11	1.55	38	-	-	1.65	1.62
12	-	1.10	1.85	1.61	40	-	-	20.0	2.55
14	-	0.98	1.09	1.66	42	-	-	1.05	2.64
16	2.32	1.08	3.83	1.64	44	-	-	-	1.78
18	6.61	1.06	2.36	1.11	46	-	-	-	1.21
20	3.52	1.10	1.66	1.58	48	-	-	-	4.83
22	3.11	1.16	1.10	7.79	50	-	-	-	3.80
24	-	1.73	1.43	1.62					
26	-	1.17	1.36	2.70	min	0.6	0.6	1.0	0.9
28	-	0.99	1.56	1.81	max	6.6	1.7	20.0	7.8

Remark) Screen slot size: D_{60} of aquifer (mm).

인 0.8 mm 설계한 경우 72%가 부적절하게 설계되었다. 같은 방법으로 수평집수관 #5, #7 및 #8에 대하여 검토한 결과 전체 평균값에 의한 설계한 경우 40~48%, 수평집수관별 평균값에 의한 설계한 경우 22~32% 구간이 부적절하게 설계되었음을 알 수 있었다(표 3).

연구지역과 같이 대수층의 토질 분포가 매우 다양한 지역에서는 전체 수평집수관의 평균 또는 수평집수관별 평균값으로 설계하는 것이 특정 시료의 영향으로 인해 평균값이 과대 혹은 과소평가되므로, 설계의 오류가 발생할 수 있음을 보여준다. 따라서, 안전성과 같이 다양한 토질이 분포하는 강변충적층에서는 토질의 평균값으로 스크린을 설계하는 것은 적절하지 않으며, 토질 분포에 따라 스크린과 여재가 다르게 설계되어야 할 것으로 판단된다.

다양한 토질이 분포하는 곳에서 평균값으로 설계하는 오류를 보완하기 위하여, 스크린 슬롯의 크기를 매 2 m 마다 채취된 시료의 D_{60} 으로 설계하였다. 단, 실제 설계시 슬롯의 크기가 0.5 mm 이하로 산정되면 취수 가능량이 매우 적은 구간으로 판단하였으며 우물의 안정성 및 시공성을 고려하여 해당 구간은 스크린을 설치하지 않도록 설계하였다(Johnson, 1966). 설계 결과 스크린 슬롯의 크기는 0.6~20 mm로 매우 다양하게 나타났다(표 4).

이상과 같이 토질분포에 따라 심도별로 다양한

스크린의 설계가 이론적으로는 가능하나, 실제 현장 시공에서는 굴착과 동시에 토질을 분석하고 이에 근거한 신속한 자재 확보가 불가한 실정이다. 이와 같은 경우에 경험적으로 여재팩을 충전하는 방법으로 스크린 슬롯의 크기를 단순화 시켜 시공성을 확보할 수 있는데, 대수층 입경이 4배 이상 차이가 나는 경우는 반드시 개별 대수층에 대하여 적합하게 적용할 것을 권장하고 있다(Ahrens, 1958).

3.4 여재를 충전하는 경우

본 연구 지역은 균등계수가 10 이상의 매우 불균등한 대수층 조건을 갖고 있으며, 이 중에서 스크린 설치가 필요한 대수층인 D_{50} 이 0.25~2 mm 범위인 세립 내지 중립질 모래층에 대하여 여재를 검토하였다. 대수층내 토립자의 크기가 4배 이상 차이나는 경우에는 개별 설계를 하도록 제안하고 있으므로, 본 연구에서는 대수층을 2종으로 구분하여 설계하였는데, D_{50} 이 0.25~1 mm인 경우와 1~2 mm인 두 가지로 구분하였다. 여재는 공급의 용이성과 시공성을 고려하여 10 mm 이하의 모래를 대상으로 선정하였다. 여재의 D_{50} 은 대수층의 D_{50} 인 0.5 mm와 1.4 mm의 5배로 선정하고, 균등계수가 2 미만이 되도록 조정하였다. 그 결과 최종 선정된 여재는 각각 D_{50} 이 2.5 mm와 7.0 mm이며 균등계수는 2.0과 1.8이다(표 5; 그림 3).

이때 스크린 슬롯의 크기는 여재의 D_{10} 이하로 설계할 수 있고, 1~4 mm 크기의 여재를 충전하는 경우는 슬롯크기 1.4 mm를, 4~10 mm 크기의 여재를 충전하는 경우는 슬롯크기 4.2 mm를 추천한다.

선정된 여재가 NAVFAC 토질역학 설계 매뉴얼 기준(NAVFAC, 1986)에 의해 수두손실 발생과 입자간의 유동을 방지하는지 검토하였으며, NAVFAC

의 기준은 다음과 같다.

- C1)수두손실 발생 방지 : $(D_{15_f}/D_{15_a}) > 4$
- C2)입자간의 유동 방지 : $(D_{15_f}/D_{85_a}) < 5$
- C3)입자간의 유동 방지 : $(D_{50_f}/D_{50_a}) < 25$
- C4)입자간의 유동 방지 : $(D_{15_f}/D_{15_a}) < 40$
if $Cu > 4$

Table 5. Specification for filters proposed with variable grain size in riverside alluvium.

D_{50}	Aquifer 0.25 ~ 1 mm			Filter A 1 ~ 4 mm	Aquifer 1 ~ 2mm			Filter B 4 ~ 10 mm
	0.25	0.5	1.0		1.0	1.4	2.0	
D_{90}	0.47	0.94	1.88	3.6	1.88	2.63	3.76	9.7
D_{85}	0.44	0.88	1.77	3.5	1.77	2.48	3.54	9.3
D_{70}	0.36	0.72	1.44	3.1	1.44	2.01	2.88	8.3
D_{60}	0.30	0.61	1.22	2.8	1.22	1.71	2.44	7.7
D_{50}	0.25	0.50	1.00	2.5	1.00	1.40	2.00	7.0
D_{40}	0.20	0.39	0.78	2.2	0.78	1.09	1.56	6.3
D_{30}	0.14	0.28	0.56	1.9	0.56	0.79	1.12	5.7
D_{15}	0.06	0.12	0.23	1.5	0.23	0.32	0.46	4.7
D_{10}	0.03	0.06	0.12	1.4	0.12	0.17	0.24	4.3

Table 6. Number of inappropriate filter pack size for horizontal gallery in the study area.

NG	Gallery no. 3				Gallery no. 5				Gallery no. 7				Gallery no. 8			
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
count	0	0	0	7	0	0	0	5	0	0	0	3	0	0	0	2
%	-	-	-	29.2	-	-	-	35.7	-	-	-	15.0	-	-	-	8.0
m	-	-	-	14	-	-	-	10	-	-	-	6	-	-	-	4

Remark) if C1: $D_{15_f}/D_{15_a} > 4$, C2: $D_{15_f}/D_{85_a} < 5$, C3: $D_{50_f}/D_{50_a} < 25$, C4: $D_{15_f}/D_{15_a} < 40$ then 0, not if then 1.

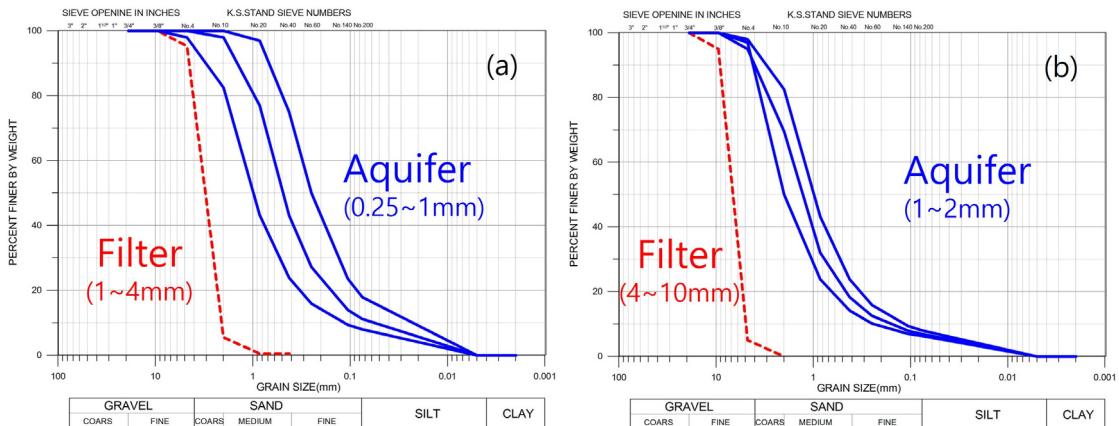


Fig. 3. Comparison of soil distributions for filter and aquifer.

여기서, D_{x_f} 는 여재팩의 통과중량 백분율, D_{x_a} 는 대수층의 통과중량 백분율, C_u 는 균등계수이다.

연구지역에 분포하는 토질에 대하여 선정된 여재가 적합한지를 NAVFAC 기준에 의해 검토한 결과, 세립 ~ 중립 모래층에는 1~4 mm, 자갈 또는 자갈질 모래층에는 4~10 mm의 여재를 적용한 결과, 수평집수관 #3, #5, #7 및 #8 모두 수두손실은 발생하지 않았고, 입자의 유동은 D_{85} , D_{50} 및 D_{30} 에서는 발생하지 않았다. 그러나 균등계수가 35 이상의 매우 불균등한 지층에서는 D_{10} 이 0.02 mm 이하인 세립 모래에서 입자유동이 일부 발생하였다(표 6).

이상 여재의 적용성을 검토한 결과, 균등계수가 10~35 범위의 불균질한 모래층에서도 잘 적합한 것으로 나타났다. 균등계수 35 이상인 경우에 여재를 통해 통과중량 백분율 15% 이하의 세립토가 유출되는 것은 수평집수관에 대한 충분한 우물 개발(well development)을 통하여 안정적 취수량이 확보될 수 있도록 개선하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론 및 토의

방사형 집수정과 같이 대규모 수평집수관 주변의 여재 충전은 수직우물과 달리 고도의 기술이 요구된다. 본 연구지역과 같이 다양한 토질이 분포하는 경우에는, 토질의 전체 평균 또는 수평집수관별 평균값으로 스크린과 여재를 설계한다면 특정 시료의 영향으로 인해 평균값이 과대 혹은 과소평가되어 설계 오류가 발생할 수 있음을 알 수 있었다.

연구지역에서 대수층의 수두손실과 입자간 유동 발생을 방지하고 일반적으로 적용할 수 있는 여재를 검토한 결과, 세립 및 중립 모래층인 경우의 여재는 1~4 mm, 중립 내지 조립 모래층에는 4~10 mm가 추천되었다. 한편, 여재 충전이 불량하여 수평집수관 설치 후에 세립 모래가 지속적으로 유출되는 경우에는 시설물의 안정성을 해칠 뿐 아니라 취수량에도 영향을 미칠 수 있으므로 스크린 주변에 여재를 공장에서 미리 충전한 형태로 제작한 프리팩 스크린의 적용 여부도 검토할 필요가 있다.

본 연구는 안성천 지역에서 수행된 결과에 의해 제안된 것으로서 향후 다양한 현장에서 취득된 자료를 활용하여 보완 검토된다면 국내 실정에 맞는 스크린

및 여재 설계 기준이 마련될 수 있을 것으로 본다.

사 사

본 연구는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원에서 위탁시행한 물관리연구사업(11기 슬렉신C05)에 의한 '수변지하수활용고도화' 연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Ahrens, T.P., 1958, Water well engineering, more on well design criteria. *Water Well Journal*, November-December.
- Blair, A.H., 1968, Well screen and gravel packs. *Ground Water*, 8(1), 10-21.
- Funchs, G., 1963, The most efficient grain size for gravel packs in boreholes. *Mitt. Inst. Wasserbau u. Wasserwirt.*, 65-95 (in German).
- Johnson, A.I., 1963, Filter pack and well screen design. USGS hydrologic Lab., 17 p.
- Johnson, E.E., 1966, Ground water and wells; a reference book for the water well industry. St. Paul, Minnesota, USA, 440 p.
- Kim, G.B., Jeong, J.H. and Lee, S.H., 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*, 50(3), 401-407 (in Korean with English abstract).
- Kruse, G., 1960, Selection of gravel packs for wells in unconsolidated aquifers. Fort Collins, Colorado, Colorado State Univ. Exp. Sta., Tech. Bull. no. 66, 22 p.
- K-water and MOCT (Min. of Construction and Transport), 2003, Guideline for Groundwater and Well Development, 357-360.
- NAVFAC (Naval Facilities Engineering Command), 1986, Soil mechanics design manual 7.01. 1-273.
- Nold, J.F. and Co, 1962, Nold-brunnenfilter-bunch, 3rd Ed. Stockstade am Rhein.
- Smith, H.F., 1954, Gravel packing water wells. Illinois Dept. of Registration and Education Circular no. 44, 4 p.
- Stow, G.R.S., 1962, Modern water-well efficiency. *Journal of American Water Works Association*, 57, 996-1010.
- Terzaghi, K., 1943, Theoretical soil mechanics. New York, Wiley, 510 p.

Received : June 8, 2015
 Revised : July 8, 2015
 Accepted : July 9, 2015