

## PC1           창원 대산지구 강변여과수 취수지역의 충적층 지질과 수리전도도

함세영\*, 한정삼<sup>1</sup>, 정재열, 장성, 차용훈, 류수희, 김형수<sup>2</sup>  
부산대학교 지질학과, <sup>1</sup>연세대학교 지구시스템학과,  
<sup>2</sup>한국수자원공사 수자원연구소

### 1. 서    론

유럽, 미국 등 선진국에서는 오래전부터 하상퇴적층의 자정능력을 이용한 취수원 개발을 시행하여 왔다. 독일에서는 19세기 후반부터 라인강을 따라 굴착된 취수정으로부터 강변여과수를 개발하여 음용수로 사용하여 왔다. 그 외에도 네덜란드, 프랑스, 오스트리아, 스웨덴, 미국, 호주, 일본, 중국, 이스라엘 등 여러 나라에서도 간접 또는 직접 인공함양에 의한 취수원 개발 방식을 채택하고 있다.

우리나라의 경우, 창원시는 낙동강 원수가 시민 생활 용수의 주 공급원이지만 낙동강 원수의 오염취약성 및 배분량 한정으로 인해 용수 공급량이 절대적으로 부족할 것으로 예상된다. 따라서 창원시에서는 자체수원 확보방안의 일환으로 오염에 상대적으로 안전하고 갈수기에도 풍부한 물을 공급할 수 있는 강변여과수 개발 타당성 조사를 수행하게 되었다(창원시, 1999). 강변여과수는 일종의 간접인공함양 방식으로서 강물을 강변에 분포하는 충적층을 통과시켜 불순물을 제거하여 취수하는 방식이다. 강변여과수 개발을 위한 조사 지역은 경남 창원시 동읍, 북면, 대산면의 낙동강 본류 하천 연안 지역이며, 지표지질 조사, 지구물리탐사, 시추 조사 및 측정 조사 등을 실시하여 최적 대상지역 선정과 강변여과 방식의 인공함양 취수의 타당성을 조사하였다. 그리고 대상지점선정과 강변여과수 개발 타당성 조사를 수행하였다. 현재 북면 신촌리와 대산면 갈전리 지역에서는 각각 3,000m<sup>3</sup>/일과 2,000m<sup>3</sup>/일씩 강변여과수를 취수하여 주민들에게 식수로 공급하고 있다.

본 연구는 경남 창원시 대산면 갈전리 강변여과수 취수장 주변지역의 충적층 지질과 수리전도도를 파악하고자 하였다. 이를 위하여 8개의 관측공에서 심도 3m 간격으로 토양을 채취하여 입도분석을 실시하고, 이로부터 수리전도도를 구하였다.

### 2. 연구지역의 지질

연구지역의 지질은 하위로부터 중생대 백악기 유천층군의 화산암류(팔용산용회암, 주산안산암질암)를 기반암으로 하고, 그 위에 제 4기 충적층이 부정합으로 피복하고 있다(주식회사 삼중엔지니어링, 1999). 팔용산용회암은 일동, 상리, 상남, 죽동부락의 야산 일원에 분포되어 있으며, 주로 녹회색용회암으로 구성되어 있다. 풍화면은 백색을 띠며, 응회질이암, 세일, 이암 및 사암을 협재하고 있기도 한다. 응회암은 탈유리화된 유리질 암편 및 담회색 암편을 함유하는 니질의 기질 가운데 화산암류의 각상암편 또는 석영, 장

석이 들어 있다.

관측정(D-1 ~ D-8) 주변의 지질은 지표로부터 차례로 세립질 모래층, 중립질 모래층, 세립질 모래층, 조립질 모래층, 모래자갈층으로 구성되어 있다(Table 1). D-4공에서는 최상부에 매립층이 나오고 있으며, D-4와 D-8에서는 모래자갈층 아래에 중립질 모래층이 협재되어 있다. 각 층의 두께를 보면, 모래층이 평균 25.6m이고, 모래자갈층은 평균 2.4m이다. 그러나, 대부분의 관측공의 심도는 30m 정도이므로 모래자갈층을 완전히 관통하지는 못하였다.

Table 1. Geology of observation wells

	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8	Min.	Max.	Av.	Median	Std.Dev	Kurtosis	Skewnee
filled layer	-	-	-	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
fine sand	14.6	20.7	7.4	2.5	7.5	8.6	-	-	2.5	20.7	10.2	8.1	6.4	0.4	0.8
medium sand	-	8.3	20.3	11.3	20.6	6.4	28.2	12.1	6.4	28.2	15.3	12.1	7.9	-0.8	0.6
fine sand	-	-	-	-	-	4.5	-	14.6	4.5	14.6	9.6	-	-	-	-
coarse sand	8.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sandy gravel	1.0	0.5	2.3	3.0	2.9	-	1.3	3.0	0.5	3.0	2.0	2.3	1.1	-2.0	-0.4
medium sand	-	-	-	7.7	-	8.9	-	5.3	5.3	8.9	7.3	7.7	1.8	-	-0.9
sandy gravel	-	-	-	1.7	-	3.6	-	1.0	1.0	3.6	2.1	1.7	1.3	-	1.2

### 3. 입도분석에 따른 수리전도도 산출

창원시 대산면 갈전리 강면 여과수 취수장 지역의 8개 관측공(D-1~D-8)에서 채취한 252개 시료의 입도분석을 실시하였다(Table 2). 토양의 입도는 체분석이나 비중계분석으로 구한다. 조립토는 체분석을 실시하고 세립토는 비중계분석을 그리고 혼합토는 체분석과 비중계분석을 병행하여 입도를 구하게 된다(이상덕, 1997). 본 연구에서는 체분석을 통하여 입도를 구하였다. 체분석은 ASTM의 분류기준에 따라 실시하였다(Table 3).

미고결 퇴적층의 수리상수를 구하는 식들은 매질의 종류와 특성을 고려하여 실험을 통해 유도되었다(Kasenow, 2002). 수리상수를 구하기 위한 경험식들(Table 4)은 다음 식을 바탕으로 나타내어진다.

$$K=(g/u)(\beta)(v(n))(de^2) \quad (1)$$

여기서, K는 수리전도도(LT-1), g는 중력가속도(MT-2), u는 동점성계수(L<sup>2</sup>T-1), β는 다공질 매질의 특징에 따른 무차원 계수(조직, 입자의 모양, 암석의 조성, 이방성 등), v(n)은 공극율 함수, n은 공극율(무차원), de는 다공질 매질의 유효입경(L)이다.

Table 2. Sample points in depth

Depth(m)	Hole no.	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8
2m				○					
3m(upper)		○		○	○	○	○	○	○
3m(lower)		○	○	○	○	○	○	○	○
4m				○					
5m				○					
6m(upper)		○	○	○		○	○	○	○
6m(lower)		○	○	○		○	○	○	○
7m						○			
8m				○					○
9m(upper)		○	○	○	○	○	○	○	○
9m(lower)		○	○	○		○	○	○	○
10m				○	○	○			○
11m				○	○				○
12m(upper)		○	○	○	○	○	○	○	○
12m(lower)		○	○			○	○	○	○
13m(upper)				○	○	○			
13m(lower)				○					
14m					○	○			○
15m(upper)		○	○	○	○	○	○	○	○
15m(lower)		○	○	○		○	○	○	○
16m				○	○	○			○
17m				○	○	○			
18m(upper)		○	○	○	○	○	○	○	○
18m(lower)		○	○	○		○	○	○	○
19m				○	○	○			
20m									○
21m(upper)		○	○	○	○	○	○	○	○
21m(lower)		○	○	○	○	○	○	○	○
23m									○
24m(upper)		○	○	○	○	○	○	○	○
24m(lower)		○	○	○	○	○	○	○	○
25m									○
27m(upper)		○	○	○	○	○		○	○
27m(lower)		○	○	○	○	○		○	○
29m									○
30m(upper)		○	○	○	○			○	○
30m(lower)		○	○	○	○			○	○
32m									○
33m(upper)									○
33m(lower)									○
34m									○

Table 3. Sieve number and sieve diameter

Sieve no.	Sieve dia.(mm)	Sieve no.	Sieve dia.(mm)
4	4.75	40	0.425
6	3.35	60	0.25
8	2.36	100	0.15
10	2.00	140	0.106
20	0.85	200	0.075

Hazen(1892)식은 균등계수(C)가 5보다 작고 0.1mm<d<sub>e</sub><3mm인 시료에 적용하였다. Beyer식의 적용범위는 1<C<20이고 0.06mm<d<sub>e</sub><0.6mm이다. Kozeny식은 주로 조립질 모래에 적용한다. Sauerbrei식은 모래와 모래질 점토에 적용되고, d<0.5mm에 적용된다. 또한 Sauerbrei식은 온도에 따른 보정(τ)을 해주어야 한다(식 2).

$$K=(g/u)(\beta)(\nu(n))\tau(d_{172}) \quad (2)$$

여기서 τ는 18°C에서 1이다.

Table 4. Empirical formulas for calculating hydraulic conductivity

Author	Value of β	Function of porosity ((ν(n))	Effective grain diameter (d <sub>e</sub> )	Domain of application
Hazen	6×10 <sup>-4</sup>	(1+10(n-0.26))	d <sub>e</sub> =d <sub>10</sub>	0.1mm<d <sub>e</sub> <3mm C<5
Beyer	6×10 <sup>-4</sup> log(500/C)	1	d <sub>e</sub> =d <sub>10</sub>	0.06mm<d <sub>e</sub> <0.6mm 1<C<20
Kozeny	8.3×10 <sup>-3</sup>	n <sup>3</sup> /(1-n) <sup>2</sup>	d <sub>e</sub> =d <sub>10</sub>	Coarse sand
Sauerbrei	3.75×10 <sup>-3</sup>	n <sup>3</sup> /(1-n) <sup>2</sup>	d <sub>e</sub> =d <sub>17</sub>	Sand and sandy clay d<0.5mm

각 시료에 대해서 수리전도도를 구하고, 구해진 수리전도도를 층 별로 묶어서 각 층의 평균 수리전도도를 구하였다(Table 5). 모래자갈층(1.2E-3m/s)을 제외한 모든 층의 수리전도도는 10<sup>-4</sup>m/s 범위에 있으며, 함세영 외(2002)가 구한 수리전도도도 10<sup>-4</sup>m/s 범위에 있다. 따라서 본 연구지역 충적층의 수리전도도는 분급이 잘된 모래층의 범위에 속한다(Fetter, 2001). 이는 본 연구지역 충적층의 투수성이 양호하다는 것을 의미하며, 본 연구지역이 강변여과수 취수지역으로서 적당한 지역임을 지시한다.

Table 5. Estimated hydraulic conductivity (m/s) by grain size analysis

	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8	Min.	Max.	Av.	Median	Std.Dev	Kurtosis	Skewnee
fine sand	8.1E-5	3.0E-4	2.8E-4	1.4E-4	-	-	-	-	8.1E-5	3.0E-4	2.0E-4	2.1E-4	1.1E-4	-4.5	-0.2
medium sand	-	2.9E-4	2.9E-4	3.4E-4	2.4E-4	8.6E-5	2.8E-4	1.9E-4	8.6E-5	3.4E-3	2.4E-4	2.8E-4	8.5E-5	1.3	-1.2
fine sand	-	-	-	-	-	1.9E-4	-	4.8E-4	1.9E-4	4.8E-4	3.4E-4	-	-	-	-
coarse sand	4.0E-4	-	-	-	-	1.9E-4	-	-	1.9E-4	4.0E-4	2.9E-4	-	-	-	-
sandy gravel	-	-	2.9E-3	6.1E-4	-	-	-	2.1E-4	2.1E-4	2.9E-3	1.2E-3	6.1E-4	1.4E-3	-	1.6
medium sand	-	-	-	3.7E-4	-	-	-	2.3E-4	2.3E-4	3.7E-4	3.0E-4	-	-	-	-
sandy gravel	-	-	-	4.0E-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

#### 4. 결 론

본 연구지역 충적층의 지질은 지표로부터 차례로 세립질 모래층, 중립질 모래층, 세립질 모래층, 조립질 모래층, 모래자갈층으로 구성되어 있다. 모래층(세립질 모래층, 중립질 모래층, 세립질 모래층, 조립질 모래층)의 평균 두께는 25.6m이고, 모래자갈층은 평균 2.4m이다. 그러나, 시추가 모래자갈층을 관통하지 못하였으므로 실제 모래자갈층은 이 보다 두꺼운 12m로 판단된다(함세영 외, 2002).

모래자갈층( $1.2E-3m/s$ )을 제외한 모든 층의 수리전도도는  $10^{-4}m/s$  범위에 있다. 이는 본 연구지역 충적층의 투수성이 양호하다는 것을 의미하며, 본 연구지역이 강변여과수 취수지역으로서 적당한 지역임을 지시한다.

#### 감사의 글

본 연구는 21세기 프런티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 3-4-1)에 의해 수행되었다. 연구비를 지원해주신 프런티어 사업단에 감사드린다. 아울러서 현장조사에 협조해주신 창원시청 관계자께도 감사드린다.

#### 참 고 문 헌

- 이상덕, 1997, (기본) 토질시험 : 원리와 방법, 새론, 서울, 428p.
- 주식회사 삼중엔지니어링, 1999, 창원시 대산면 상수도 취수정 설치공사 지하수영향조사 보고서, 71p.
- 창원시, 1999, 창원시 상수도 확장사업 실시설계보고서(부록)
- 함세영, 정재열, 류상민, 김무진, 김형수, 2002, 창원시 대산면 강변여과수 취수지역의 수리지질 특성, 지질학회지, 38권, 3호, p. 595-610.
- Fetter, C. W., 2001, Applied Hydrogeology, Prentice-Hall, Inc., 4th ed., p. 66-112.
- Hazen, A., 1892, Some physical properties of sands and gravels, Rept. Massachusetts State Board of Health.
- Kasenow, M., 2002, Determination of Hydraulic Conductivity from Grain Size Analysis, Water Resources Publications, LLC, p. 47-84.