

## 모래와 실트의 혼합층에서 순간충격시험에 의한 지하수위 강하구역의 공극체적 산정

김태영<sup>1</sup> · 강동환<sup>2\*</sup> · 정상용<sup>1</sup> · 양성일<sup>1</sup> · 이민희<sup>1</sup>

<sup>1</sup>부경대학교 환경지질과학과, <sup>2</sup>부경대학교 지질환경연구소

## The Pore Volume of Groundwater Level Drawdown Zone Through Slug/Bail Tests in Sand and Silt Soils

Tae Yeong Kim<sup>1</sup> · Dong Hwan Kang<sup>2\*</sup> · Sang Yong Chung<sup>1</sup> · Sung Il Yang<sup>1</sup> · Minhee Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Geosciences, Pukyong National University, Busan, Korea

<sup>2</sup>Institute of Environmental Geosciences of Pukyong National University, Korea

### ABSTRACT

Slug/bail tests were conducted in sand layer (sbt-1 well), silty sand layer (sbt-2 well), and mixed sand and silty sand layer (sbt-3 well). Hydraulic conductivity and specific storage coefficient were estimated through slug/bail tests. Pore volumes of groundwater level drawdown zone for bail test were estimated by using hydraulic conductivity and specific storage coefficient. KGS model was most suitable interpretation method of slug/bail tests. Average hydraulic conductivity for slug/bail tests were estimated to be  $6.65 \times 10^{-5}$  m/sec in sbt-1 well,  $6.33 \times 10^{-6}$  m/sec in sbt-2 well, and  $3.72 \times 10^{-5}$  m/sec in sbt-3 well. Average specific storage coefficient for slug/bail tests were estimated to be 0.0225 in sbt-1 well, 0.0177 in sbt-2 well, and 0.0259 in sbt-3 well. Dimensionless time and dimensionless wellbore storage were estimated by use of transmissivity, storativity, test time, and specification of test wells. And, dimensionless drawdown were selected by parameter  $\alpha$  and  $\beta$  parameter from Cooper et al. (1967). Radius of influence were estimated by estimated dimensionless time, dimensionless wellbore storage, and dimensionless drawdown. The average radius of influence for slug/bail tests were estimated to be 1.377 m in sbt-1 well, 1.253 m in sbt-2 well, and 1.558 m in sbt-3 well. Pore volume at groundwater level drawdown zone by dummy withdrawal for bail tests were estimated to be 145,636 cm<sup>3</sup> in sbt-1 well, 71,561 cm<sup>3</sup> in sbt-2 well, and 100,418 cm<sup>3</sup> in sbt-3 well. Pore volume excepted well volume at groundwater level drawdown zone by dummy withdrawal for bail tests were estimated to be 145,410 cm<sup>3</sup> in sbt-1 well, 71,353 cm<sup>3</sup> in sbt-2 well, and 100,192 cm<sup>3</sup> in sbt-3 well.

**Key words :** Soils, Slug/bail test, Radius of influence, Groundwater level drawdown zone, Pore volume

### 요 약 문

본 연구에서는 모래층(sbt-1공), 실트질 모래층(sbt-2공) 및 모래와 실트질 모래의 혼합층(sbt-3공)에서 순간충격시험이 수행되었다. 그리고, 현장시험에 의해 산정된 수리전도도와 비저류계수를 이용하여 회수시험 시 지하수위 강하구역의 공극체적을 산정하였다. 순간충격시험의 해석은 KGS 모델이 가장 적합하였으며, 주입시험과 회수시험 시 평균수리전도도는 sbt-1공  $6.65 \times 10^{-5}$  m/sec, sbt-2공  $6.33 \times 10^{-6}$  m/sec, sbt-3공  $3.72 \times 10^{-5}$  m/sec이며, 평균비저류계수는 sbt-1공 0.0225, sbt-2공 0.0177, sbt-3공 0.0259로 산정되었다. 투수량계수, 저류계수, 시험시간 및 시험공 재원을 이용하여 무차원 시간과 무차원 우물저류계수를 산정하였다. 그리고, Cooper 등(1967)이 제시한 변수  $\alpha$ 와  $\beta$ 를 이용하여 무차원 수두강하량이 선정되었다. 산정된 무차원 시간, 무차원 우물저류계수 및 무차원 수두강하량을 이용하여 순간충격시험 시의 영향반경이 산정되었다. 주입시험과 회수시험 시 평균영향반경은 sbt-1공 1.377 m, sbt-2공 1.253 m, sbt-3공 1.558 m로 산정되었다. 그리고, 회수시험 시 더미 회수에 의한 지하수위 강하구역의 공극체적은 sbt-1공

\*Corresponding author : dhkang@pknu.ac.kr

원고접수일 : 2007. 5. 19 게재승인일 : 2007. 8. 9

질의 및 토의 : 2007. 10. 31 까지

\*본 논문은 2007년 춘계학술발표회 특별호 논문입니다.

145,636 cm<sup>3</sup>, sbt-2공 71,561 cm<sup>3</sup>, sbt-3공 100,418 cm<sup>3</sup>로 산정되었으며, 시험공의 부피를 제외한 지하수위 강하구역의 공극체적은 sbt-1공 145,410 cm<sup>3</sup>, sbt-2공 71,353 cm<sup>3</sup>, sbt-3공 100,192 cm<sup>3</sup>이었다.

**주제어** : 토양층, 순간충격시험, 영향반경, 지하수위 강하구역, 공극체적

## 1. 서 론

순간충격시험(slug/bail test)은 대수층의 수리전도도 산정에 있어 경제적이고 간편한 방법으로서 널리 이용되고 있다. 특히, 양수한 물을 처리해야 하는 오염된 부지나 수리전도도가 낮은 저투수성 매질에서 양수시험(pumping test)을 대체할 수 있는 유용한 현장 투수시험법이다(함세영 등, 2001).

국내에서 수행된 순간충격시험에 관한 연구로는 시험 해석법에 따른 비교·분석 및 산정된 수리상수들간의 관련성 연구(함세영 등, 2001), 유한요소기법을 이용하여 새로운 순간충격시험 모델의 타당성 및 유용성에 관한 연구(한해정·최종근, 2000), 순간충격시험에 의한 수리상수 산정의 오차와 불확실성 요인들에 대한 분석(이진용 등, 1999) 등이 있다.

순간충격시험 시 영향반경 산정에 관한 연구로서 Guyonnet 등(1993)은 이론적인 유형곡선(type curve)과 무차원 우물저류(dimensionless wellbore storage)와 무차원 수두(dimensionless head)의 조합에서 순간충격시험의 영향반경을 보여주는 회귀방정식을 유도하였다. 또한 Bouwer와 Rice (1976)는 서로 값이 다른 대수층의 두께, 지하수위, 스크린의 길이 및 굴착경에 따라 영향반경을 결정할 수 있는 경험식을 유도하였다.

순간충격시험이 수행된 대수층 체적을 산정하기 위한 연구들이 수행된 바 있다. Ferris 등(1962)은 순간충격시험에 의해 결정된 수리전도도는 시험정 인근 대수층의 대표 값으로 한정하였다. Barker와 Black(1983)은 단열암반 대수층에서 순간충격시험의 해석을 위한 방법을 제시하였으며, 압력의 차이와 시험정으로부터 도달되는 최대 방사상 거리의 관계를 연구하였다. 최대 방사상 거리는 오직 층의 비저유량과 시험구간의 무차원에 의존함을 보여주었으며, 다른 저지들에 의해 순간충격시험의 '범위(range)' 표현되고 있다. Sageev(1986)는 우물로부터 측정 가능한 입력변동에 의해 이동되는 방사상 거리를 나타내는 '조사반경(radius of investigation)' 용어를 사용하였으며, 시험공 내 초기수두강하량이 1%일 때의 최대 방사상 거리를 산정하기 위한 경험식을 제시하였다.

본 연구에서는 Guyonnet 등(1993)의 방법을 이용하여 순간충격시험 시 시험공 주변 대수층의 영향반경을 산정

하였다. 산정된 영향반경을 이용하여 더미 회수 시 지하수위 강하구역의 공극체적을 산정하였으며, 또한 공극체적 산정 시 시험공의 체적이 미치는 영향성을 분석하였다.

## 2. 순간충격시험

순간충격시험은 체적을 알고 있는 물체를 순간적으로 우물에 주입/회수 시켜 해당 체적만큼의 지하수위를 순간적으로 상승/강하시킨 후 시험공 내 수위의 변화를 측정 및 해석하여 대수층의 수리전도도를 산정하는 방법이다. 시험의 해석은 Bower and Rice, Cooper-Bredehoeft-Papadopoulos, Hvorslev, Dagan 및 KGS 방법 등이 있으며, 시험 조건에 적합한 해석법을 선정하여야 한다(Todd and Mays, 2005).

본 연구지역에서 수행된 순간충격시험 주변대수층의 매질은 모래층(sbt-1공), 실트질 모래층(sbt-2공) 및 모래와 실트질 모래가 혼합된 층(sbt-3공)이며, 토양주상도가 Fig. 1에 도시되어 있다. 순간충격시험이 수행된 3개 시험공 내 자연수위(natural groundwater level)는 sbt-1공 1.94 m, sbt-2공 1.98 m, sbt-3공 2.96 m이다.

순간충격시험에 이용된 시험공의 제원이 Table 1에 정리되어 있다. 시험공의 지표면 하 개발심도는 sbt-1공 7.53 m, sbt-2공 6.54 m, sbt-3공 6.93 m 정도이며, 시험공의 내경은 sbt-1공 0.0375 m, sbt-2공과 sbt-3공은 0.05 m이다. 자갈로 충전된 두께는 sbt-1공 0.0375 m이고 sbt-2공과 sbt-3공은 0.025 m이므로 3개공의 유효반경(effective radius)은 모두 0.075 m이다. 스크린 구간의 길이는 sbt-1공 5.02 m, sbt-2공 5.80 m, sbt-3공 5.87 m이다.

순간충격시험은 체적이 750 mL인 더미를 이용하여 주입시험(slug test)과 회수시험(bail test)의 두 단계로 수행되었다. 순간충격시험 시 경과시간별 수위변화 자료를 AQTESOLV 3.01 프로그램에 입력한 후, KGS 해석법을 적용하여 수리전도도와 비저류계수를 산정하였다. KGS 해석법은 부분관통(partial penetration), 이방성(anisotropy), 유한한 반경의 우물 표면(finite-radius well skins), 그리고 고정수두(constant-head) 또는 시험대수층의 상·하부에 존재하는 불투수층(impermeable form) 경계의 영향을 통합한 모델이다(Hyder et al., 1994). 본 연구에서 수행된 순간충격시험에 의해 산정된 수리전도도는 Table 2에 정

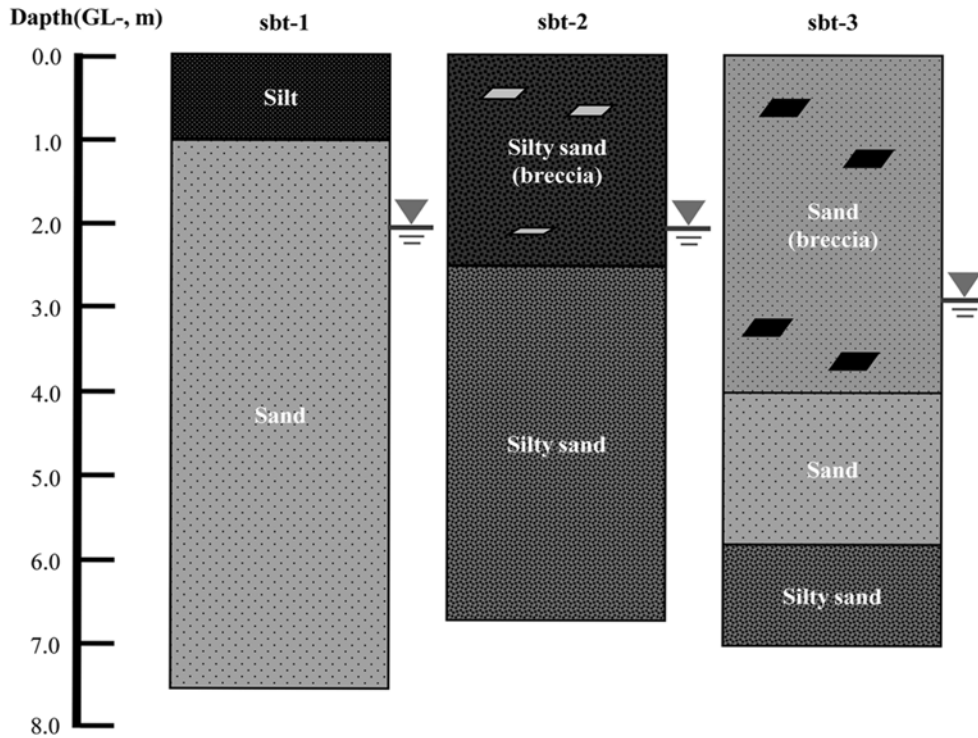


Fig. 1. Soil cross-sections of test aquifers.

Table 1. Designs of test wells

Well No.	Well depth (GL-, m)	Inner diameter (m)	Filter gravel thickness (m)	Screen interval (m)
sbt-1	7.53	0.075	0.0375	1.41~6.43
sbt-2	6.54	0.1	0.025	0.43~6.23
sbt-3	6.93	0.1	0.025	0.96~6.83

Table 2. Hydraulic conductivities and specific storage coefficients estimated by KGS model

Well No.	Aquifer type	Test condition	Hydraulic conductivity (m/sec)	Specific storage coefficient ( $m^{-1}$ )
sbt-1		slug	$1.01 \times 10^{-4}$	0.0228
		bail	$3.19 \times 10^{-5}$	0.0223
sbt-2	unconfined aquifer	slug	$7.23 \times 10^{-6}$	0.0235
		bail	$5.42 \times 10^{-6}$	0.0119
sbt-3		slug	$3.82 \times 10^{-5}$	0.0259
		bail	$3.62 \times 10^{-5}$	0.0259

리되어 있으며, 주입시험에 의한 수리전도도가 회수시험에 비해 1.05~3.17배 정도 크게 나타났다. 이러한 결과는 시험 기구의 조건에 따른 영향(이진용 등, 1999)과 시험공 주변의 표면 효과(skin effect)에 의한 영향(함세영 등, 2001)으로 판단된다.

### 3. 영향반경 산정

Cooper 등 (1967)은 유한한 직경의 우물에서 순간충격

시험 시 무차원 수두강하량 (dimensionless drawdown)을 아래의 식으로 표현하였다.

$$h_D(r_D, t_D) = L^{-1} \left[ \frac{K_0(r_D \sqrt{p})}{pK_0(\sqrt{p}) + \frac{\sqrt{p}}{C_D} K_1(\sqrt{p})} \right] \quad (1)$$

여기서  $h_D$ 는 거리가  $r_D$ 이며 시간이  $t_D$ 일 때의 무차원 수두강하량,  $r_D$ 는 무차원 거리,  $L^{-1}$ 은 역 라플라스 변환 연산자,  $p$ 는 라플라스 변수,  $K_0$ 와  $k_1$ 은 각각 0차와 1차의

변형된 베셀 (Bessel) 2종 함수이다. 또한,  $t_D$ 는 무차원 시간,  $C_D$ 는 무차원 우물저류계수를 나타내며, 아래의 식으로 산정한다.

$$t_D = \frac{Tt}{Sr_w^2} \tag{3}$$

$$C_D = \frac{C}{2\pi r_w^2 S} \tag{4}$$

여기서  $T$ 는 투수량계수 [ $L^2/T$ ],  $S$ 는 저류계수 [무차원],  $r_w$ 는 우물의 유효반경 [ $L$ ],  $C$ 는 우물저류계수 [무차원]이며 순간충격시험의 결과가 수렴하는 경우 다음의 식을 사용한다.

$$C = \pi r_c^2 \tag{5}$$

여기서  $r_c$ 는 케이싱의 반경 [ $L$ ]이다.

순간충격시험 시 영향반경(radius of influence)은 지하수위의 변동에 따른 수평적인 범위로서 더미의 체적 및 대수층의 투수성과 저류성에 의해 지배된다. Guyonnet 등 (1993)은 순간충격시험 시 이론적인 유형곡선과 무차원 우물저류계수 및 무차원 수두의 조합에서, 무차원 수두강하량이 1%, 5% 및 10%일 때 순간충격시험 시 영향반경을 산정할 수 있는 회귀방정식을 도출하였다. Guyonnet 등 (1993)의 방법을 적용하기 위하여 3개 시험공에서 무차원 시간과 무차원 우물저류계수를 산정하고 무차원 수두강하량이 1%, 5% 및 10%일 때의  $t_D^n/C_D^m$ 값을 산정하였다 (Table 3). 무차원 수두강하량이 1%, 5% 및 10%일 때의  $t_D^n/C_D^m$ 값이 무차원 수두강하량이 1%, 5% 및 10%일 때의  $x$ 값 보다 크면 무차원 영향반경( $R_{Di}$ )은 무차원 최대 영향반경( $R_{Dimax}$ )이 되며, 아래의 식으로 표현된다.

$$R_{Di} = R_i / r_w \tag{6}$$

$$R_{Dimax} = R_{imax} / r_w \tag{7}$$

여기서  $R_i$ 는 영향반경 [ $L$ ],  $R_{imax}$ 는 최대영향반경 [ $L$ ]이다. 무차원 수두강하량이 1%, 5% 및 10%일 때의  $n$ 과

$m$ 의 상수와  $x$ 의 값은 Guyonnet 등(1993)의 Table 1을 적용하여 구하였다.

sbt-1공의 순간충격시험 자료에서 무차원 수두강하량이 1%일 때 주입시험, 5%와 10%일 때의 주입시험과 회수 시험에서  $t_D^n/C_D^m$  값이  $x$ 값보다 크게 나타났다(Table 3). 이러한 경우에는 무차원 최대영향반경과 우물저류계수의 회귀방정식을 이용하여 무차원 영향반경을 산정하였다. 무차원 수두강하량이 1%, 5% 및 10%일 때, 3개 시험공의  $t_D^n/C_D^m$ 에 따른  $R_{Di}/C_D^m$ 의 값을 Guyonnet 등(1993)의 Fig. 3에 중복(overlapping)으로 도시하였다(Fig. 2).

무차원 수두강하량이 1%, 5% 및 10%일 때의 영향반경은 식 (6)과 (7)에 의해 산정된다. 3개의 시험공에서 수행된 순간충격시험에 의해 산정된 영향반경은 Table 4에 정리되어 있다. sbt-1공에서 무차원 수두강하량이 1%인 경우에는 주입시험 시의 영향반경이 높고 5%와 10%인 경우에는 회수시험 시의 영향반경이 더욱 높은 것으로 산정되었다. 이는 무차원 수두강하량이 1%인 경우에는 주입시험 시의 영향반경이 최대영향반경이 되고, 또한 무차원 수두강하량이 5%와 10%인 경우에는, 무차원 우물저류계수가 회수시험 시에 더욱 높기 때문이다. 무차원 수

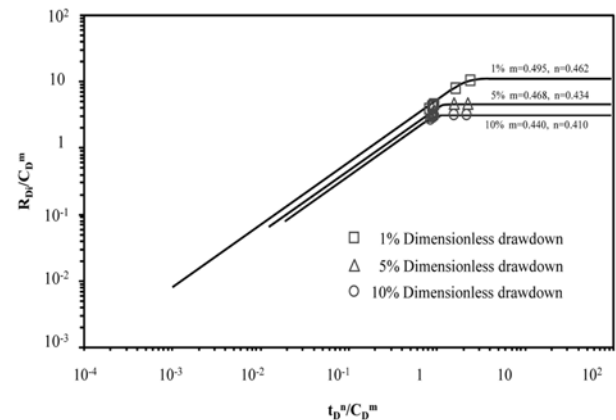


Fig. 2. Plots of  $R_{Di}/C_D^m$  versus  $t_D^n/C_D^m$  by Guyonnet method with 1%, 5% and 10% for dimensionless drawdown (modified by Guyonnet et al., 1993, Fig. 4).

Table 3. Calculation of  $t_D^n/C_D^m$  value at three test well with 1%, 5% and 10% for dimensionless drawdown

Well No.	Test condition	$t_D$	$C_D$	1%, $t_D^n/C_D^m$	5%, $t_D^n/C_D^m$	10%, $t_D^n/C_D^m$
sbt-1	slug	378.386	33.437	2.732	2.544	2.434
	bail	152.675	34.217	1.776	1.697	1.661
sbt-2	slug	52.462	44.443	0.953	0.945	0.955
	bail	77.747	87.878	0.815	0.814	0.832
sbt-3	slug	47.338	44.438	0.908	0.903	0.916
	bail	44.788	44.438	0.886	0.882	0.895

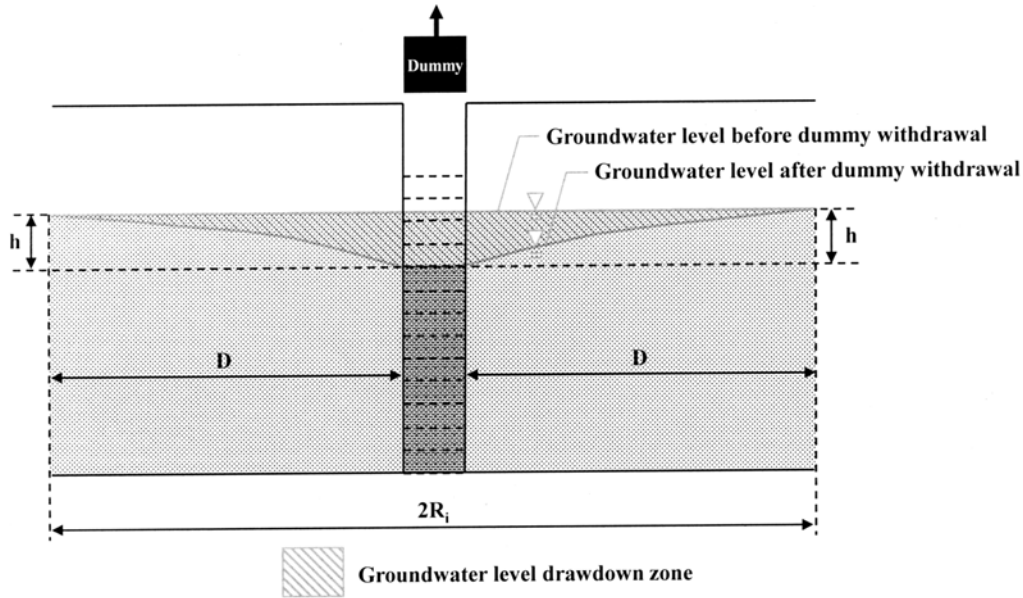


Fig. 3. Schematic groundwater level drawdown zone through withdrawal of dummy.

Table 4. Radius of influence with 1%, 5% and 10% for dimensionless drawdown

Well No.	Test condition	1%, $R_i$ (m)	5%, $R_i$ (m)	10%, $R_i$ (m)
sbt-1	slug	3.567	1.368	0.815
	bail	2.710	1.383	0.823
sbt-2	slug	1.654	1.146	0.898
	bail	1.984	1.359	1.055
sbt-3	slug	1.578	1.096	0.861
	bail	1.538	1.070	0.841

두강하량이 1%, 5% 및 10%의 모든 경우에 있어 산정된 영향반경이 sbt-2공에서는 회수시험 시에 높고, sbt-3공에서는 주입시험 시에 약간 높게 나타났다. 이는 무차원 시간이 sbt-2공에서는 회수시험 시에 크고, sbt-3공에서는 주입시험 시에 더욱 크게 나타났기 때문이다.

본 연구에서 수행된 1%, 5% 및 10%의 무차원 수두강하량 중 가장 적합한 무차원 수두강하량을 선정하여, 최적의 영향반경을 산정하였다. Cooper 등(1967)은 아래의 식으로 구할 수 있는 변수  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 대표값에 대한 무차원 수두강하량을 제시하였다.

$$\alpha = r_w^2 S / r_c^2 \tag{8}$$

$$\beta = Tt / r_c^2 \tag{9}$$

식 (8)과 (9)에 의해 산정된  $\alpha$ 와  $\beta$ 값이 Table 5에 정리되어 있다. sbt-1공과 sbt-2공에서 주입시험과 회수시험 모두  $\alpha$ 는  $10^{-1}$ ,  $\beta$ 는  $1.00 \times 10^1$ 에 근사하며, sbt-3공에서 주입시험 시  $\alpha$ 는  $10^{-1}$ ,  $\beta$ 는  $1.00 \times 10^2$ 에 근사하며, 회수시험 시  $\alpha$ 는  $10^{-1}$ ,  $\beta$ 는  $7.00 \times 10^1$ 에 근사하게 나타났다. Cooper 등(1967)이 제시한  $\alpha$ 와  $\beta$  값에 따른 무차원 수두강하량을 이용하여 3개 시험공의 무차원 수두강하

Table 5. Calculated  $\alpha$ ,  $\beta$  and estimated approximate dimensionless drawdown and radius of influence

Well No.	Test condition	$\alpha$	$\beta$	Approximate dimensionless drawdown	$R_i$ (m)
sbt-1	slug	$2.250 \times 10^{-1}$	$1.065 \times 10^1$	0.03065	1.368
	bail	$2.250 \times 10^{-1}$	$1.008 \times 10^1$	0.03065	1.383
sbt-2	slug	$2.250 \times 10^{-1}$	$1.180 \times 10^1$	0.03065	1.146
	bail	$1.138 \times 10^{-1}$	$8.847 \times 10^0$	0.03065	1.359
sbt-3	slug	$3.884 \times 10^{-1}$	$1.470 \times 10^2$	0.00372	1.578
	bail	$3.795 \times 10^{-1}$	$5.795 \times 10^1$	0.00118	1.538

량의 근사치를 구한 결과, sbt-1공과 sbt-2공에서 주입시험과 회수시험 모두 0.03065로 나타났으며, sbt-3공은 주입시험 시 0.00372로, 회수시험 시 0.00118로 나타났다 (Table 5). 따라서, 무차원 수두강하량은 sbt-1공과 sbt-2공은 5%로 sbt-3공은 1%로 선정되었다. 최적의 영향반경은 주입시험 시 sbt-1공 1.368 m, sbt-2공 1.146 m, sbt-3공 1.578 m이며, 회수시험 시 sbt-1공 1.383 m, sbt-2공 1.359 m, sbt-3공 1.538 m인 것으로 산정되었다. sbt-1공과 sbt-2공에서는 회수시험 시의 영향반경이 높았으나, sbt-3공에서는 주입시험시의 영향반경이 0.04 m 정도 높은 것으로 나타났다.

#### 4. 지하수위 강하구역의 공극체적 산정

순간충격시험 시 더미 회수에 의한 지하수위 강하구역에 대한 모식도는 Fig. 3에 예 도시되어 있다. 더미의 회수에 의해 지하수면이 순간적으로 h 만큼 강하하며, 그에 따라 R, 만큼의 영향반경이 나타난다. 이러한 과정에서 포화대이었던 지역이 불포화대로 변하는 지하수위 강하구역 (groundwater level drawdown zone)이 형성되며, 본 연구에서는 이러한 지하수위 강하구역의 공극체적을 산정하였다.

본 연구에서는 더미 회수에 의한 수위강하가 직선이며, 대수층은 균질 등방하다고 가정하여 지하수위 강하구역의 전체체적을 산정하였다 (Table 6). 지하수위 강하구역의 전체체적 산정 시 영향반경은 Table 5의 회수시험 자료를 적용하였다. 지하수위 강하구역의 공극체적 산정 시 시험공 내 부피가 포함된 경우와 고려되지 않은 경우의 공극체적이 Table 7에 산정되어 있다. 시험공의 부피를 포함한 지하수위 강하구역의 공극체적은 sbt-1공에서 145,636 cm<sup>3</sup>, sbt-2공에서 71,561 cm<sup>3</sup>, sbt-3공에서 100,418 cm<sup>3</sup>이었다.

그리고, 시험공의 부피를 제외한 공극체적은 sbt-1공 145,410 cm<sup>3</sup>, sbt-2공 71,353 cm<sup>3</sup>, sbt-3공 100,192 cm<sup>3</sup>로 산정되었다. 따라서, 더미 회수에 의한 지하수위 강하구역의 공극체적은 sbt-1공 > sbt-3공 > sbt-2공 순으로 나타났으며, 이는 동일한 에너지(체적) 감소에 대해 모래질 토양이 실트질 토양에 비해 수량의 변동이 크다는 것을 의미한다 (Rovey C. W. and Cherkauer D. S., 1995). 우물의 체적을 고려한 공극체적과 우물의 체적을 무시한 공극체적의 차이가 0.3% 미만이었으며, 이는 더미 회수 시 영향반경 내 지하수의 양에 비해 우물 체적이 무시될 만큼 적었기 때문이다.

#### 5. 결 론

1) 모래와 실트로 구성된 토양층에서 순간충격시험을 이용하여 KGS 해석법에 의한 주입시험과 회수시험 시 평균 수리전도도는 sbt-1공  $6.65 \times 10^{-5}$  m/sec, sbt-2공  $6.33 \times 10^{-6}$  m/sec, sbt-3공  $3.72 \times 10^{-5}$  m/sec이며, 평균비저류계수는 sbt-1공 0.0225, sbt-2공 0.0177, sbt-3공 0.0259로 산정되었다.

2) 순간충격시험 시 무차원 수두강하량이 1%, 5% 및 10%인 경우에 수위 변화에 따른 영향반경의 산정 결과, sbt-1공에서 무차원 수두강하량이 1%인 경우에는 주입시험 시, 5%와 10%인 경우에는 회수시험 시 영향반경이 더욱 넓은 것으로 산정되었다. sbt-2공에서는 회수시험 시 영향반경이 더욱 넓은 것으로, sbt-3공에서는 산정된 영향반경은 무차원 수두강하량이 1%, 5% 및 10% 모두 주입시험 시에 약간 넓은 것으로 산정되었다.

3) 무차원 수두강하량은 sbt-1공과 sbt-2공에서는 5%로 sbt-3공은 1%로 선정되었으며, 3개 시험공에서 영향반경은 주입시험 시 sbt-1공 1.368 m, sbt-2공 1.146 m, sbt-3

**Table 6.** Total volume of groundwater level drawdown zone through withdrawal of dummy

Well No.	Volume (cm <sup>3</sup> )	Volume excepted well volume (cm <sup>3</sup> )	Volume differential ratio (%)
sbt-1	469,793	469,064	0.155
sbt-2	269,117	250,362	0.290
sbt-3	323,930	323,120	0.225

**Table 7.** Pore volume of ground water level drawdown zone through withdrawal of dummy

Well No.	Porosity (%)	Pore volume (cm <sup>3</sup> )	Pore volume excepted well volume (cm <sup>3</sup> )	Volume differential ratio (%)
sbt-1	0.310	145,636	145,410	0.155
sbt-2	0.280	71,561	71,353	0.290
sbt-3	0.310	100,418	100,192	0.225

공 1.578 m이며, 회수시험 시 sbt-1공 1.383 m, sbt-2공 1.359 m, sbt-3공 1.538 m로 산정되었다.

4) 더미의 회수에 의한 지하수위 강하구역의 공극체적을 산정한 결과, 시험공의 부피를 포함한 지하수위 강하구역의 공극체적은 sbt-1공 145,636 cm<sup>3</sup>, sbt-2공 71,561 cm<sup>3</sup>, sbt-3공 100,418 cm<sup>3</sup> 이었다. 그리고, 시험공의 부피를 제외한 공극체적은 sbt-1공 145,410 cm<sup>3</sup>, sbt-2공 71,353 cm<sup>3</sup>, sbt-3공 100,192 cm<sup>3</sup>로 산정되었다. 따라서, 본 연구의 시험대수층에서는 더미 회수에 의한 공극체적 산정 시 우물 체적의 영향성이 0.3% 미만으로 매우 미미하였다.

## 사 사

이 논문은 부경대학교 BK21 지구환경시스템 사업단에 의하여 연구비가 지원되었으며, 지원기관에 감사한다. 그리고, 익명의 심사위원들에게도 감사한다.

## 참 고 문 헌

부산철도차량관리단, 2005, 부산철도차량관리단 지하수오염확산 모니터링 보고서, p. 115.

이진용, 이강근, 정형재, 배광옥, 1999, 순간수위변화 및 양수시험을 통한 수리상수 산정의 문제점 분석, *지하수환경*, 6(1), 14-22.

한혜정, 최종근, 2000, 유한요소기법을 이용한 Slug시험 모델의 타당성 및 유용성 연구, *지하수환경*, 7(2), 89-96.

함세영, 김문수, 성익환, 이병대, 김광성, 2001, 순간충격시험에

의한 화강암지역의 수리적 매개변수 산출, *지질공학*, 11(1), 63-79.

Barker, J.A. and Black, J.H., 1983, Slug tests in fissured aquifers, *Water Resour. Res.*, 19(6), 1558-1564.

Bouwer, H. and Rice, R.C., 1976, A slug test method for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells, *Water Resour. Res.*, 12(3), 423-428.

Cooper, H.H., Bredehoeft, J.D., and Papadopoulos, I.S., 1967, Response of a finite-diameter well to an instantaneous charge of water, *Water Resour. Res.*, 3(1), 263-269.

Guyonnet, D., Mishra, S., and McCord, J., 1993, Evaluating the volume of porous medium investigated during slug tests, *Ground Water*, 31(4), 627-633.

Hyder Z., Butler Jr, J.J., McElwee, C.D., and Lui, W.Z., 1994, Slug tests in partially penetrating wells, *Water Resour. Res.*, 30(11), 2945-2957.

Karasaki, K., Long, J.C.S., and Witherspoon, 1988, Analytical model of slug tests, *Water Resour. Res.*, 24(1), 115-126.

Rovey, C.W. and Cherkauer D.S., 1995, Scale dependency of hydraulic conductivity measurements, *Ground Water*, 33(5), 769-780.

Sageev, A., Slug test analysis, 1986, *Water Resour. Res.*, 22(8), 1323-1333.

Todd, D.K. and Mays, L.W., 2005, *Groundwater Hydrology*, Third edition, WILEY p. 353-255.

Ferris, J.G., Knowles, D.B., Brown, R.H., and Stallman, R.W., 1962, *Theory of aquifer tests*. US Geology Survey. Water-Supply Paper 1536-E.