

## 유효우물반경 산정 경험공식의 일반화에 대하여

최 병 수\*

한국지하수협회

## On the Generalized Empirical Equation for Effective Wellbore Radius

Byong-soo Choi\*

Korea Ground water Association

### ABSTRACT

The investigation on the previous paper(Jn. of KoSSGE vol.12, no.3), which proposed three empirical equations for the different aquifers was carried out. To draw out a single equation from the three different equations the mean value of the involution factors was adopted allowing different proportional coefficients for the different aquifers. On the other hand it was found that the square root value of storativity ratio,  $\sqrt{S_p/S_o}$ , in each well is almost equal to its wellbore radius ratio,  $r_e/r_w$ . From this fact, the proportional coefficients can be substituted with assumed aquifer storativity and a generalized empirical equation for the effective wellbore radius has been derived.

**Key word** : single well tests, wellbore radius, effective wellbore radius, aquifer storativity.

### 요 약 문

지하수토양환경학회지 제12권 3호(2007. 6.)에 게재된 단공시험 관련 논문에서 제시한 유효우물반경 산정을 위한 3개의 경험공식을 단일화 하는 방법에 대하여 검토하였다. 검토의 착안사항은 경험공식들의 누층상수가 허용오차범위 내의 비슷한 값을 가지고 있으며, 또한 양수정 및 관측정 저류계수 비의 제곱근( $\sqrt{S_p/S_o}$ ) 값이 유효우물반경과 우물 반경의 비( $r_e/r_w$ )와 거의 일치되게 나타나는 것이다. 이를 기초로 하여 3개의 경험공식을 단일화하고 대수층 조건별 저류계수 대표 값을 추정 적용하여 비례상수 값으로 대체하는 유효우물반경 산정 일반화 공식을 유도 하였다.

**주제어** : 단공시험, 우물반경, 유효우물반경, 대수층 저류계수

### 1. 서 론

우리나라의 지하수개발이 대부분 암반 균열 대수층을 대상으로 하고 있으나 대다수의 양수정이 관측정 없이 운영되고 있어 단공양수시험으로 대수층 수리상수를 해석하게 되는데, 단공시험에서 불가피하게 발생하는 저류계수의 오류를 보정하기 위하여 유효우물반경을 적용하는 것이 필수적이다. 우물의 유효우물반경을 구하고 이를 가상 관측정의 거리로 적용하여 양수정의 시간-수위강하량 자료를 해석하면 저류계수를 보정할 수 있다. 유효우물반경

산정방법에는 단계양수시험에 의한 방법과 스킨계수 방법이 있으나 암반 균열 대수층에는 스킨계수 방법이 효과적 인 것으로 알려져 있다.

한편 유효우물반경 산정에 적용할 수 있는 통계적 경험 공식이 제시되었는데(최병수, 2007) 이것은 국내에서 시행한 다수의 양수시험자료를 바탕으로 하여 양수정에서 산출된 저류계수가 관측정의 자료 해석 결과와 일치되도록 가상 관측공 거리를 구하여 유효우물반경으로 하고, 이 유효우물반경과 양수정 저류계수의 상관관계를 분석함으로써 회귀공식을 유도한 것이다. 이 경험공식을 적용할 경

\*Corresponding author : choibs38@yahoo.co.kr

원고접수일 : 2007. 9. 18 심사일 : 2008. 5. 1 게재승인일 : 2008. 5. 1  
질의 및 토의 : 2008. 8. 31 까지

우 이론식에 근거한 스킨계수 방법의 유효우물반경 산정에 접근되는 결과를 보여주므로 그 적용성은 입증되었으나 대수층 조건별로 조금씩 다른 3개의 공식으로 제시되어 현장 적용에 복잡하고 혼동을 일으키는 요인이 되고 있다.

본고의 목적은 이와 같이 대수층 조건별로 조금씩 다르게 표현된 경험공식들을 단일화하여 일반화된 경험공식으로 유도하는데 있다.

**2. 유효우물반경 산정공식**

단계양수시험에서 Jacob방법에 의한 대수층손실계수를 적용하여 유효우물반경을 산정하는 공식은 다음과 같이 유도된다(Roscoe Moss, 1990).

$$r_e = \sqrt{\frac{2.25Tt^*}{S \cdot e^{4\pi TB}}} \text{ 또는 } r_e = \sqrt{\frac{2.25Tt^*}{S \cdot 10^{5.46TB}}} \quad (1)$$

여기서  $r_e$ 는 유효우물반경,  $T$ 는 대수층투수량계수,  $S$ 는 대수층저류계수,  $t^*$ 는 단계별 양수시간,  $B$ 는 대수층손실계수이다.

균열 암반대수층에 개발한 우물에서는 암반의 스킨계수 (skin factor)를 적용하여 유효우물반경을 산정하는 공식이 다음과 같이 제시되었다(Hawkins, 1956, Brons and Miller, 1961, Earlougher, 1977, Kaehler and Hsieh, 1993).

$$r_e = r_w e^{-\sigma} \quad (2)$$

여기서  $r_w$ 는 실 우물반경,  $\sigma$ 는 암반 스킨계수이며,  $\sigma$ 는 다음과 같이 구할 수 있다(Novakowski, 1990).

$$\sigma = \frac{2\pi T \Delta s}{Q} - 1.15 \cdot \log \frac{2.25Tt}{Sr_w^2} \quad (3)$$

여기서  $T$ ,  $S$ 는 앞의 설명과 같고,  $Q$ 는 양수량,  $\Delta s$ 는 양수경과시간  $t=1$ 분에 해당하는 수위강하량을 나타낸다.

최병수(2007)는 유효우물반경 산정에 적용할 수 있는 통계적 경험공식을 제시하였는데 그 방법은 양수정과 관측정의 수위를 동시에 관측하면서 시행한 136곳의 양수 시험자료를 바탕으로, 양수정에서의 시간-수위강하량 자료 해석으로 산출된 저류계수가 관측정의 시간-수위강하량 자료 해석 결과와 일치되도록 가상 관측공의 거리를 구하여 이를 유효우물반경으로 하고, 유효우물반경과 양수정에서 구해진 저류계수의 상관관계를 통계적으로 분석함으로써 회귀공식을 유도한 것이다. 이 분석에 적용된 조사공별 저류계수와 유효우물반경 자료는 Table 1과 같고, 대

**Table 1.** Storativity and effective wellbore radius of each well (after Choi, 2007.)

Area	well no.	$S_p$	$S_o$	Aquifer	$\frac{r_e}{r_w}$	$\sqrt{\frac{S_p}{S_o}}$
울진	QS-1	1.298	0.0177	U	8	8.563
"	QS-2	1.38	0.0961	U	4.5	3.789
"	QS-3	0.0368	0.0356	U	1	1.017
"	QS-5	0.648	0.0157	U	6.5	6.424
"	QS-6	9.96	0.062	U	13	12.674
"	QS-7	18.1	0.088	U	14.4	14.341
"	QS-8	10.8	0.078	U	11.8	11.767
"	QS-10	11.19	0.1231	U	9.5	9.534
"	RS-1	0.0937	0.0159	U	2.4	2.427
"	RS-2	0.0804	0.00122	L	8	8.118
"	RS-3	0.143	0.00198	L	8.5	8.498
"	RS-5	0.158	0.001	L	12	12.570
"	RS-6	0.0515	0.00033	C	12.5	12.492
"	RS-7	0.164	0.0034	L	7	6.945
"	RS-8	0.148	0.0043	L	6	5.867
"	RS-9	0.09	0.00216	L	6.5	6.455
"	RS-10	0.16	0.00297	L	7.3	7.340
울산	UJE-2	0.4426	0.0009	C	22	22.176
"	UJE-4	0.408	0.00019	C	45	46.340
"	UJE-6	0.526	0.00038	C	36	37.205
"	UJE-8	0.0996	0.0422	U	1.5	1.536
"	UJE11	0.348	0.00229	L	12	12.327
"	BGE.2	0.1237	0.00599	L	4.7	4.544
"	BGE.4	0.6236	0.0236	U	5	5.140
"	BGE.6	0.1345	0.00036	C	19	19.329
영덕	YW-1	0.3914	0.0043	L	10	9.541
"	YW-2	0.239	0.00176	L	13	11.653
"	YW-3	0.553	0.014	U	6	6.285
"	YW-6	0.365	0.0064	L	7.5	7.552
"	YW-7	0.537	0.0028	L	14	13.849
"	YW-8	0.492	0.00189	L	16	16.134
영천	YCE-1	0.763	0.00101	L	25	27.485
"	YCE-2	0.117	0.00697	L	4	4.097
"	YCE-3	0.027	0.0352	U	1	0.876
"	YCE-4	12.3	0.00314	L	63	62.587
"	YCE-6	5.027	0.1397	U	6	5.999
"	YCE-7	0.102	0.00016	C	23	25.249
"	YCE-9	0.567	0.00077	C	45	27.136
"	YCE10	0.111	0.00007	C	37	39.264
"	YCE11	0.0425	0.00014	C	16	17.361
"	YCE12	0.94	0.00017	C	75	75.025

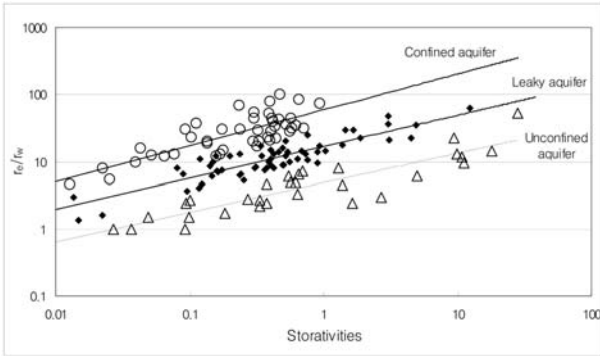
Table 1. continued

Area	well no.	$S_p$	$S_o$	Aqui-fer	$\frac{r_e}{r_w}$	$\sqrt{\frac{S_p}{S_o}}$
고흥	GHE-4	0.565	0.0242	U	5	4.832
"	GHE-5	4.49	0.0082	L	22	23.400
"	GHE-8	0.3224	0.00036	C	29	29.926
"	GHE-9	3.118	0.0065	L	21	21.902
"	GHE10	0.135	0.00035	C	20	19.640
"	GHE11	3.053	0.00221	L	36	37.168
"	GHE12	0.431	0.00038	C	34	33.678
진해	JHE-2	1.634	0.302	U	2.4	2.326
"	MSE-1	0.466	0.0021	L	14	14.896
"	MSE-3	0.199	0.0013	L	12	12.372
포항	PHE-3	0.4	0.00006	C	80	80.322
"	PHE-5	0.0014	0.00135	L	1	1.018
"	PHE-7	0.614	0.00059	C	35	32.260
"	PHE-9	0.653	0.00008	C	85	90.346
"	PHE11	0.0644	0.00047	C	12	11.632
"	PHE13	1.456	0.00177	L	29	28.681
"	PHE15	0.1	0.0137	U	2.7	2.702
"	PHE17	0.472	0.00005	C	100	101.296
"	PHE19	0.0155	0.00004	C	21	21.044
"	PHE21	0.699	0.0137	U	7.2	7.143
"	PHE23	9.41	0.01845	U	22.5	22.584
"	PHE25	0.0224	0.00031	C	8	8.473
대구	BGE-2	0.508	0.00652	L	9	8.827
"	DGE-2	0.307	0.00446	L	8	8.297
"	DSE-2	0.6806	0.00355	L	14.2	13.846
"	DSE-4	28.4	0.0107	U	52	51.519
"	DSE-6	0.256	0.0089	L	5.3	5.363
"	DSE-8	0.388	0.00014	C	52	52.644
천안	CAE-2	0.3315	0.0704	U	2.2	2.170
"	CAE-4	0.183	0.064	U	1.7	1.691
"	CAE-6	0.2325	0.00005	C	69	67.519
"	CAE-8	0.4016	0.00185	L	14.6	14.734
"	CAE10	0.238	0.0059	L	6.3	6.351
"	CAE12	0.336	0.0480	U	2.7	2.646
"	CAE14	0.383	0.0007	C	23	23.391
"	CAE18	0.735	0.00434	L	13	13.014
"	CAE20	0.0225	0.00966	L	1.6	1.516
"	CAE22	1.673	0.00205	L	29	28.567
"	CAE24	0.402	0.00049	C	28	28.643
"	CAE26	0.0149	0.00945	L	1.35	1.256
"	CAE28	0.295	0.00073	C	20	20.102
"	CAE32	0.092	0.00010	C	30	30.957
"	CAE34	0.173	0.00016	C	30	33.195
목포	KJ-1	0.0958	0.00675	L	3.7	3.767
"	KY-1	0.343	0.00108	L	17	17.821
"	CM-1	0.766	0.00689	L	10.5	10.544
"	HJ-1	0.12	0.00104	L	11	10.742
"	YWO.2	0.638	0.00522	L	11	11.055

Table 1. continued

Area	well no.	$S_p$	$S_o$	Aqui-fer	$\frac{r_e}{r_w}$	$\sqrt{\frac{S_p}{S_o}}$
목포	HO-1	0.937	0.00349	L	17	16.385
"	WN-1	0.425	0.0022	L	13	13.899
"	KHO-2	0.31	0.00442	L	8.3	8.375
"	HPN-1	0.377	0.00563	L	8	8.183
"	CS-1	0.715	0.00090	C	32	28.249
"	CG-1	0.4608	0.00021	C	43	46.732
"	MSUN	0.395	0.00088	C	21	21.186
"	JUK-1	0.561	0.00068	C	28	28.808
"	SAN-1	0.302	0.00014	C	45	46.117
"	CCN-1	0.092	0.0913	U	1	1.004
광주	GJE-5	0.554	0.0054	L	9.8	10.129
"	GJE-6	0.9035	0.00971	L	9.5	9.646
"	GJE-7	1.028	0.00468	L	14.5	14.821
"	GJE-8	3.056	0.00136	L	47	47.403
밀양	MYE-4	0.521	0.0033	L	12	12.565
"	MYE-5	0.412	0.0054	L	8.5	8.735
김제	GJE-1	0.9052	0.00414	L	14	14.787
"	GJE-2	0.242	0.00557	L	6.5	6.591
"	GJE-3	0.403	0.00345	L	11	10.808
전주	JJE-1	0.0806	0.0012	L	8	8.195
"	JJE-2	0.327	0.00084	C	20	19.683
"	JJE-3	1.38	0.0039	L	17.5	18.811
칠곡	CGE-1	0.4935	0.00668	L	9	8.595
"	CGE-5	0.237	0.00026	C	30	30.134
"	CGE-7	0.5253	0.00123	L	20	20.666
대전	DJE-2	0.0127	0.00058	C	4.6	4.671
홍성	HSE-2	0.58	0.00053	C	32	33.018
관측망	청도	0.6387	0.0588	U	3.3	3.296
"	보은	0.27	0.0742	U	2.8	1.908
"	안동	2.684	0.27	U	3	3.153
"	임실	0.049	0.022	U	1.5	1.492
"	의령	0.374	0.016	U	4.7	4.835
"	예산	0.428	0.074	U	2.4	2.405
먹는샘물	지리산	0.423	0.00747	L	8	7.525
"	모악산	0.149	0.00179	L	10	9.124
"	용문	1.897	0.00281	L	22	25.982
"	영주2	4.906	0.0051	L	35	31.015
"	영주4	0.175	0.0066	L	7.5	5.149
"	옥천	0.025	0.00057	C	5.5	6.623
"	삼성산	0.168	0.00097	C	13	13.160
"	구례1	0.2994	0.00029	C	55	32.131
"	구례2	0.4163	0.00042	C	40	31.483
"	찬마루1	0.0768	0.00031	C	13	15.740
"	찬마루2	0.178	0.00084	C	15	14.591
"	찬마루3	0.0395	0.00041	C	10	9.768
"	찬마루4	0.3193	0.00085	C	17	19.416
"	찬마루5	0.0136	0.00157	L	3	2.943

$S_p$  : Storativity in the pumping well  
 $S_o$  : Storativity in the observation well  
 U : Unconfined,, L : Leaky, C : Confined.



**Fig. 1.** Correlation between the storativity values from pumping-well data and the ratio of effective wellbore radius with actual wellbore radius (after Choi, 2007).

수층 상태에 따라 자유면대수층, 누수대수층, 피압대수층으로 계열별 회귀분석을 시행한 결과 Fig. 1과 같이 유효

우물반경과 실우물반경의 비( $\frac{r_e}{r_w}$ )가 양수정 저류계수  $S_p$ 의

누승에 비례하는 것으로 나타났다. 즉, 자유면지하수의 경우 :

$$\frac{r_e}{r_w} = 4.8 \cdot S_p^{0.48} \tag{4}$$

누수지하수의 경우 :

$$\frac{r_e}{r_w} = 16.7 \cdot S_p^{0.46} \tag{5}$$

피압지하수의 경우 :

$$\frac{r_e}{r_w} = 58.9 \cdot S_p^{0.58} \tag{6}$$

이 회귀분석에 의한 경험공식을 적용하여 유효우물반경을 계산할 때 스킨계수 방법을 적용할 경우와 매우 비슷한 결과를 얻을 수 있어 통계적 경험공식의 적용성이 입증되었다. 그러나 경험공식이 대수층 조건별로 조금씩 다르게 3개의 공식으로 제시되어 있어 현장 적용이 번잡하고 혼동을 가져올 수 있으므로 이를 통합하여 단일화된 경험공식으로 나타내는 것이 필요하다.

### 3. 경험공식의 일반화

Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 경험공식의 누승상수를 나타내는 세 직선의 기울기가 거의 평행하게 되어 있음에

착안하면 누승상수의 단일화가 가능할 것으로 판단된다. 즉, 누승 상수의 차이는 대수층 종류별로 자료를 구분하여 계열별 회귀분석을 시행하였기 때문에 불가피하게 생기는 오차범위 내의 차이라고 볼 수 있으며, 세 식의 누승상수(0.48, 0.46, 0.58)의 평균값 0.5를 취하여 단일 누승상수로 적용하여도 무리가 없을 것으로 판단된다.

식 (4), (5), (6)에서  $S_p$ 의 누승상수를  $0.5(=1/2)$ 로 단일화 하고 비례상수  $C$ 를 도입하면 위 3개의 식은 다음과 같이 1개의 공식으로 통합할 수 있다.

$$\frac{r_e}{r_w} = CS_p^{1/2} = C\sqrt{S_p} \tag{7}$$

여기서 비례상수  $C$ 는 대수층 조건에 따른 식 (4), (5), (6)의 비례상수(자유면지하수: 4.8, 누수지하수: 16.7, 피압지하수: 58.9)를 적용한다.

한편 조사공별 양수정 저류계수와 관측정 저류계수의

비를 구하고 이의 제곱근( $\sqrt{\frac{S_p}{S_o}}$ )을 계산하여 Table 1에 수

록하였는 바, 그 값이 유효우물반경과 우물반경의 비( $\frac{r_e}{r_w}$ )

에 매우 근접하게 나타나고, 양자의 상관관계를 회귀분석한 결과 Fig. 2와 같이 두 함수의 직선적인 대등관계가 성립하므로 다음 등식으로 표시할 수 있다.

$$\frac{r_e}{r_w} = \sqrt{\frac{S_p}{S_o}} \tag{8}$$

식 (8)에서  $\frac{1}{\sqrt{S_o}}$ 를 비례상수  $C$ 로 놓으면 식 (7)과 일

치되므로 이를 유효우물반경 산정에 적용할 수 있다. 그러나 관측정이 없는 단공시험에 적용하기 위하여 관측정 저류계수  $S_o$ 를 조사 대수층의 추정저류계수(assumed stoativity :  $S_a$ )로 대체할 필요가 있다. 그러므로 단공양수 시험에 의한 양수정 저류계수와 대수층의 추정 저류계수를 이용하여 다음 식으로 조사공의 유효우물반경을 구할 수 있다.

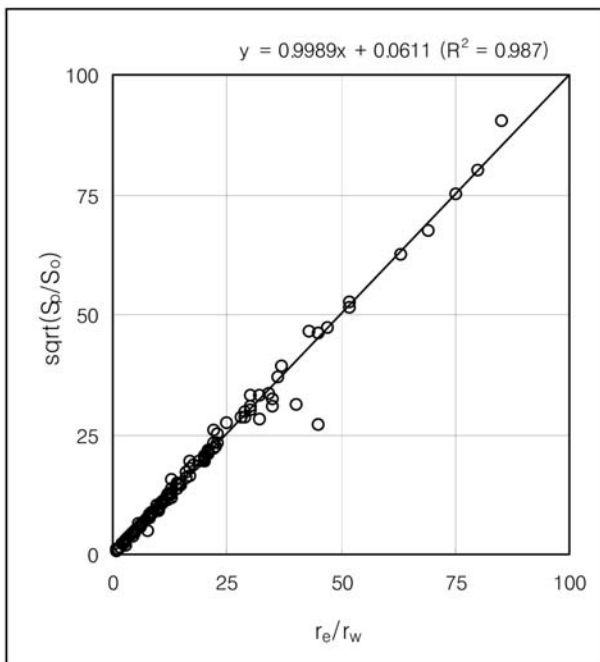
$$r_e = r_w \sqrt{\frac{S_p}{S_a}} \tag{9}$$

여기서  $r_w$ : 우물반경(m),  $r_e$ : 유효우물반경(m),  $S_p$ : 양수정 수위자료에 의한 저류계수,  $S_a$ : 대수층 상태별 추정저류계수이다.

대수층의 추정저류계수는 대수층 조건에 따라 대수층

**Table 2.** Deviations of recreated coefficients  $C^*$  from original coefficients  $C$

구분	Uncon-fined	Leaky	Confined	Related equ.
$C$	4.8	16.7	58.9	(4), (5), (6)
Assumed storativity	0.05	0.005	0.0005	
$C^*$	4.47	14.14	44.72	(9)
$\frac{C^*-C}{C}$	-0.07	-0.15	-0.24	



**Fig. 2.** Correlation between  $\frac{r_e}{r_w}$  and  $\sqrt{\frac{S_p}{S_0}}$

종류별 저류계수의 평균값을 적용하여야 하나 평균 대상이 미정인 상태에서는 저류계수 범위의 중앙값을 대표값으로 추정하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 대수층의 상태에 따라 저류계수의 범위를 구분하는 기준은 엄밀하게 설정되어 있지 않고 저자마다 다소의 차이가 있으나(Todd, 1980, Driscoll, 1979, Freeze, 1979, Fetter, 1994), 국내에서 적용하고 있는 일반적 기준은 자유면대수층에서 0.1~0.01, 누수대수층에서 0.01~0.001, 피압대수층에서 0.001~0.0001의 범위로 보고 있다(농어촌진흥공사, 1998). 이 기준은 앞의 저자들 저서에서 제시하는 범위를 대체로 수용하고 있어 이를 적용하여도 문제점은 없을 것으로 판단된다. 그러므로 이 기준 각 범위의 중앙값을 대수층별 저류계수 대표 값으로 추정하면 자유면대수층에서 0.05, 누수대수층에서 0.005, 피압대수층에서 0.0005를 취할 수 있다.

Table 2는 이와 같이 대수층 종류별 저류계수 대표값을 적용하여 비례상수  $C^* = \frac{1}{\sqrt{S_a}}$  를 구하고 당초 경험공식의

비례상수  $C$ 와 비교한 것으로 최대 -24%의 오차를 보여 주는데, 일반적으로 대수층 저류계수 산정과정에서 1 order(10배) 내외의 오차가 생기는 경우가 흔히 있으므로 여기서의 오차는 허용오차의 범위라고 판단된다.

한편 스킨계수에 의한 유효우물반경 공식 (2)를 (9)식에 대입하여 스킨계수( $\sigma$ )의 식을 다시 쓰면

$$e^{-\sigma} = \frac{r_e}{r_w} = \sqrt{\frac{S_p}{S_a}}$$

$$\sigma = -\ln \sqrt{\frac{S_p}{S_a}} = -1.15 \cdot \log \frac{S_p}{S_a} \quad (10)$$

로 표시할 수 있으며 스킨계수 공식 (3)이 단순화된다.

#### 4. 결 론

단공시험에서 양수정의 수위강하 자료를 이용하여 대수층상수를 해석하면 저류계수는 실제보다 크게 산정되므로 유효우물반경을 관측정 거리로 적용하여 저류계수를 보정하여야 한다. 유효우물반경 산정에 적용할 수 있는 통계적 경험공식이 제시되었으나 대수층 조건별로 3개의 식으로 되어 있어 실무 적용이 복잡하므로 저류계수 누설상수를 평균값으로 단일화하고 대수층 조건별 비례상수를 조정하여 대수층 저류계수 추정 값을 적용하는 일반화된 경험공식으로 대체할 수 있다. 이는 식 (9)와 같이 표시할 수 있고, 양수정에서 구해진 저류계수를 조사대상 대수층의 추정 저류계수로 나눈 값의 제곱근을 구하면 간편하게 유효우물반경이 구해지므로 현장에서 사용하기에 매우 편리 하다.

또한 식 (9)를 다시 정리하면  $r_e^2 S_a = r_w^2 S_p$ 로 쓸 수 있으며, 이는 Theis 비평형우물함수 중의 멱차상수  $r^2 S$ 가 유효우물반경 내부에서 일정한 값을 갖는다는 것을 보여 주는 것이라고 판단된다.

#### 사 사

본 논문의 심사에 수고하시고 논문 내용과 논리 전개에 조언을 주신 심사위원님들께 감사사를 드립니다.

#### 참 고 문 헌

농어촌진흥공사, 1998, 지하수영향조사 실무지침, p. 259.

- 최병수, 2007, 단공시험 해석에서 저류계수의 보정방법, 한국지하수토양학회지 **12**(3), 36-43.
- Brons, F. and Miller, W.C., 1961, A simple method for correcting spot pressure readings, *Petroleum Technology*, **13**(8), 803-805.
- Todd, D.K., 1980, *Groundwater Hydrology*, John Wiley & Sons, 2nd edi., p. 535.
- Driscoll, F.G., 1979, *Ground Water and Wells*, Johnson Division, p. 257-260.
- Earlougher, R.C., 1977, *Advances in well test analysis*, SPE Monograph Series, p. 264.
- Fetter, C.W., 1994, *Applied Hydrogeology*, Prentice-Hall Inc, 3rd edi., p. 691.
- Freeze R.A. and Cherry J.A., 1979, *Groundwater*, Prentice-Hall Inc, p. 604.
- Hawkins, M.F., 1956, A note on the skin effect, *Transactions of the American Institute of Mechanical Engineers*, v**207**, 356-357.
- Kaehler, C.A. and Hsieh, P.A., 1993, Hydraulic properties of a fractured aquifer, Lee Valley, San Diego County, California, U.S. *Geological water supply paper* **2394**, 31-32.
- McConnell, C.L., 1993, Double porosity well testing in the fractured carbonate rocks of the Ozarks, *Ground Water*, **31**(1), 75-83.
- Novakowski, K.S., 1990, Analysis of aquifer tests conducted in fractured rock, *Ground Water*, **28**(1), 99-107.
- Roscoe Moss Company, 1990, *Handbook of ground water development*, John Wiley & Sons, p. 493.