

누적 강수량과 지하수위 곡선을 이용한 지하수 함양률 산정 기법
Calculation of Ground Water Recharge Ratio Using Cumulative
Precipitation and Water-level Change

문상기 · 우남철*

연세대학교 지구시스템학과
(e-mail : skmun@ysgeo.yonsei.ac.kr)

ABSTRACT

A calculation technique which estimates natural recharge was proposed and prepared with the existing techniques. And the necessity to obtain representative averages of 'specific yield' was discussed.

Key words : recharge, uncertainty, specific yield, cumulative precipitation, lagging time

1. 서론

지하수 함양률을 추정하는 방법은 크게 물리적인 방법과 화학적인 방법 그리고 수치적인 방법으로 나뉘어 진다(Sophocleous, 1991). 그러나 무슨 방법을 사용하든지 간에 함양률을 추정할 때에는 간과할 수 없을 정도로 불확실성이 매우 크게 나타난다(Simmers, 2000). 본 연구의 목적은 국내의 대표적인 지하수 환경을 특성화하고 이를 바탕으로 불확실성을 가능한 최소화하는 방법을 소개하는 것이다. 본 연구에서 사용한 지하수 함양률 추정 방법은 앞에서 언급한 방법들 중 지하수위를 이용한 방법에 해당한다.

2. 지하수위 변동 분석

관측정에서의 지하수위의 장기 관측자료를 통하여 관측정 설치지역의 지하수위 변동특성을 년도별, 계절별 및 월별 등으로 파악할 수 있다. 관측공의 지하수위 변동은 대부분 계절적인 변화를 보이며 지하수위 변동진폭은 함양량, 양수량 그리고 대수층의 종류에 따라

변화한다.

Figure 1 은 1995년부터 착수하여 진행 중인 국가 지하수 관측망 중에서 바다의 조수간만의 차 영향으로부터 떨어져 있는 세 곳을 선정, 3년간 충적층 지하수위 변화를 그림으로 나타낸 것이다.

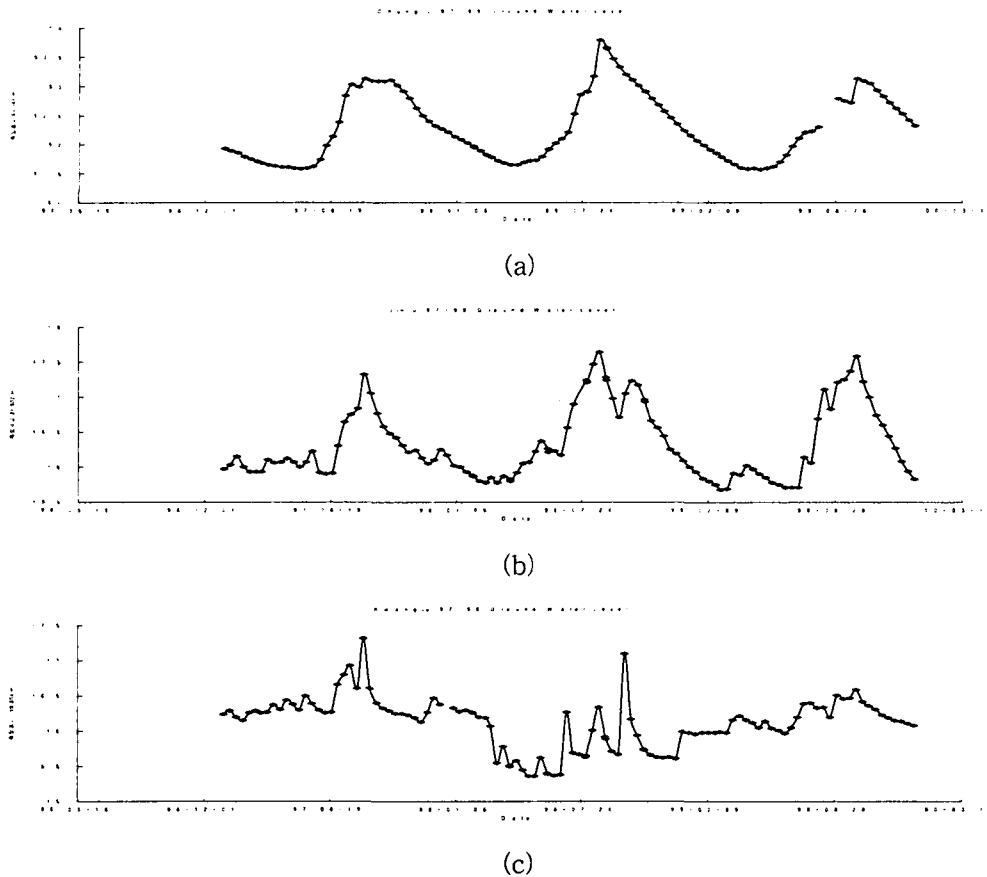


Figure 1. 3년 간 충적층 지하수위 변화(1997-1999) : (a) 충주 (b) 진주 (c) 광주.
단, (a) 충주에서 빈 곳은 자료를 얻지 못한 곳임.

3년 간 각 지역의 강수량 자료는 다음 Table 1 과 같다.

Table 1. 지역별 강수량(단위 : mm, 출처 : 기상청 홈페이지 <http://www.kma.go.kr>)

	1997				1998				1999			
	7월	8월	9월	10월	7월	8월	9월	10월	7월	8월	9월	10월
충주	308	179.9	52.5	35.6	286.6	541.7	183.0	64.5	112.7	298.6	239.6	185.1
진주	387.3	231.7	13.9	1.2	199.7	511.5	275.2	69.6	466.9	438.5	345.2	92.8
광주	358.3	381.9	22.8	14	210.9	531.2	315.7	57.4	184.8	287.1	279.8	126.2

Table에서 알 수 있듯이 3년간 강수량은 년도별로 모든 지역에 대하여 동일한 특성을 가진다. 즉, 97년도에는 7월달에 가장 많은 비가 세 지역에서 모두 내렸고 98년과 99년에는 8월달에 주로 가장 많이 내렸다(단, 99년 진주의 경우는 7월에 가장 많은 양이 내림). 이와 같은 강수량의 분포는 Figure 1 지하수위에 반영되었는데 비가 가장 많이 온 달과 반드시 지하수위의 peak 점이 일치되어 나타나지는 않았다. 예를 들어, 97년의 경우 비는 모두 7월에 가장 많이 내렸으나 지하수위의 peak 점은 모두 8월에 위치하고 있으며 99년의 경우도 비는 7월과 8월에 가장 많이 내렸으나 지하수위의 peak 점은 모두 9월 내지 10월에 나타났다.

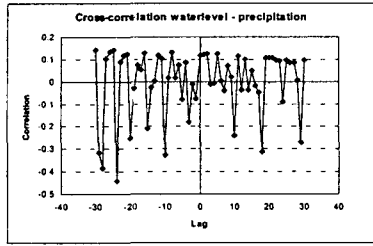
이것은 아마도 식생에 의한 증발산량, 기온에 의한 증발량, 지표면 유출, 지하수 유출, 강수량 등의 대기수문학적 변수들의 복합적인 정량 관계에 의해서만 설명할 수 있을 것이다.

3. 강수량과 지하수위의 상관관계 분석

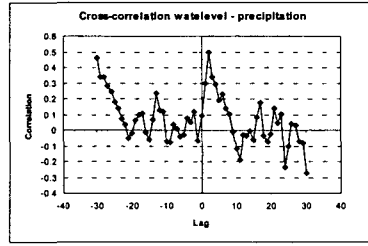
1997년 1월 1일부터 12월 31일까지의 위의 세 지역에 대한 지하수위 자료와 강수량 자료의 상관관계를 분석하였다. 상관관계에 사용한 통계분석 기법은 교차상관(cross-correlation)이다. 각 지역의 자료를 바탕으로 강수량과 지하수위 간의 교차상관관계 즉, 강수가 지하수위에 도달하는데 걸리는 시간(lagging time)을 구함으로써 대수층을 특성화하였다. 각 교차상관관계 그래프 및 결과는 다음 Figure 2 및 Table 2 와 같다.

Figure 2 에서 peak 가 모두 오른쪽에 나타난 것은 첫 번째 변수인 지하수위가 두 번째 변수인 강수에 의해서 영향을 받았음을 의미하는 것이다. 또 peak 즉, 교차 상관계수가 가장 클 때의 lagging time 이 강수가 지하수위에 도달하는데 걸리는 시간을 나타낸다.

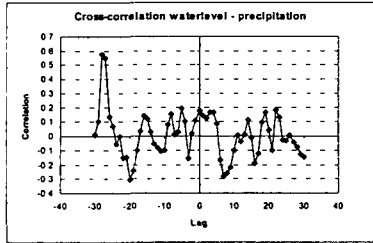
Table 2 에서와 같이 봄에는 상관관계가 여름보다 적게 나타나고 있으며 비포화대 두께가 얇을수록 상관관계가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 비포화대 두께에 따라 시차의 크기도 변화하는데 지역별 시차는 보통 하루 내지 이틀에 해당했다.



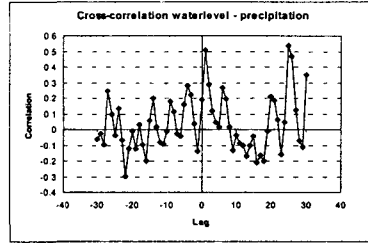
(a) 봄(3,4월), 충주



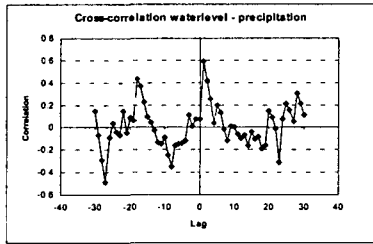
(b) 여름(7,8월), 충주



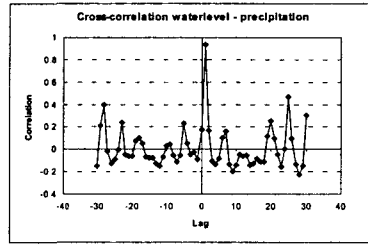
(c) 봄, 진주



(d) 여름, 진주



(e) 봄, 광주



(f) 여름, 광주

Figure 2. 교차상관 그래프

Table 2. 지역별 수리지질특성 및 시차(lagging time)

	충주	광주	진주
측정 기준점 표고	63 m	19.6 m	21.5 m
3,4월 평균 수위	51.62 m	16.35 m	16.07 m
7,8월 평균 수위	52.97 m	16.8 m	16.84 m
3,4월 비포화대 두께	11.38 m	3.25 m	5.43 m
7,8월 비포화대 두께	10.03 m	2.8 m	4.66 m
3,4월 γ	0.123	0.588	0.172
7,8월 γ	0.497	0.936	0.508
3,4월 lagging time	2일	1일	0일
7,8월 lagging time	2일	1일	1일

4. 지하수 함양률 산정 기법

Theis(1937)는 함양이 일어나지 않는 기간 동안 지하수위의 감소율과 비산출률(Specific

Yield)의 곱으로서 지하수위 자료를 이용한 지하수 함양률 산정 방법을 제안했다. 또한 함양이 일어나는 기간에도 지하수위의 상승률과 비산출률(Specific Yield)의 곱으로서 함양률을 계산할 수 있는데 단, 이 경우의 지하수위 상승률은 함양이 없거나 감소하는 기간 동안 지하수위가 감소하는 비율을 나타내는 이전 단계의 지하수위 감수 곡선으로부터 구한(extrapolation) 지하수위 상승률이어야 한다. 국내에서 무강우 기간 지하수위 감수 곡선을 이용하여 지하수 함양률을 계산한 최병수의 두 방법(1996-이하 A 방법, 1998-이하 B 방법)과 본 연구에서 시도한 새로운 방법을 진주와 충주 지역에 적용, 비교하여 보았다.

최병수의 A 방법에서 유도된 지하수 함양률(α)은

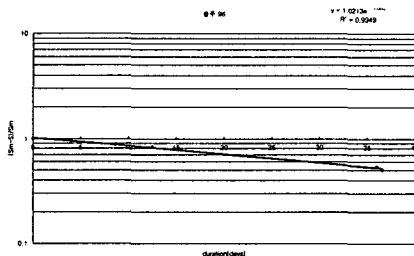
$$\log\left(1 - \frac{s}{s_m}\right) = -\frac{1}{2.3\alpha} \cdot \frac{t}{t_m}$$

여기서, s : 지하수위 강하량, s_m : 최대 지하수위 강하량, t : 시간, t_m : 무강우 경과일수이다.

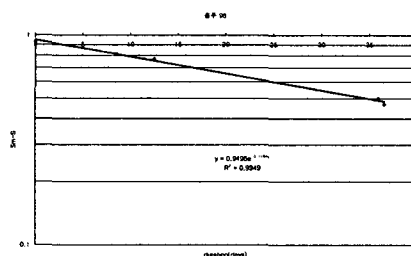
최병수의 B 방법에서 유도된 지하수 함양률(α)은

$$\alpha = \frac{1}{\ln\left(\frac{1}{\delta}\right)} \cdot \gamma = C \cdot \frac{s_{30}}{s_m}$$

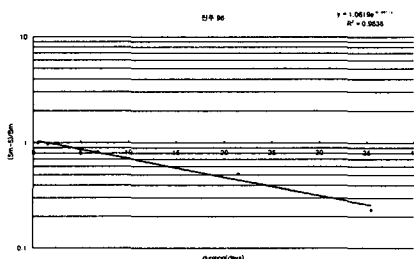
여기서, δ : 0.001~ 0.1 범위의 상수이다.



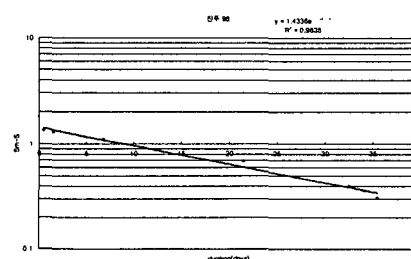
(a) A 방법, 충주



(b) B 방법, 충주



(c) A 방법, 진주



(d) B 방법, 진주

Figure 3. 지하수위 감수곡선을 이용한 방법

Table 3. 무강우 지속 일수 동안의 지하수위 감수곡선을 이용한 방법

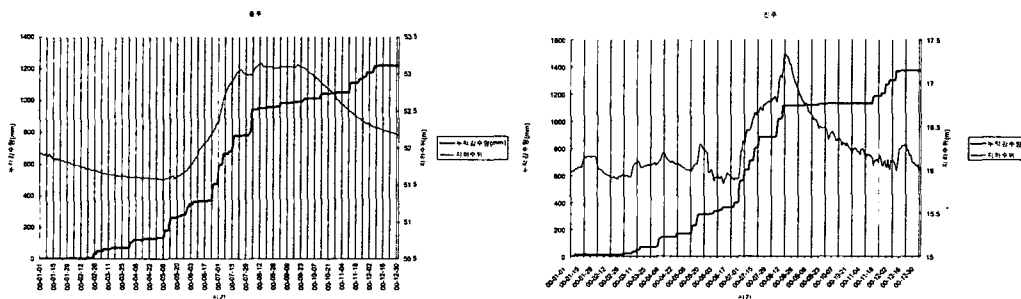
	최대 강하량	지속 기간(t_m)	t	S_m	S_{30}	k	R^2	함양률 (ratio)	비고
진주초전	1.35	59		1.4336	1.003101	0.0401	0.9838	0.152396	B 방법
진주초전	1.35	59	18.28322	1.0619		0.0401	0.9838	0.44707	A 방법
충주가금	0.93	92		0.9498	0.402908	0.0184	0.9949	0.092391	B 방법
충주가금	0.93	92	13.27282	1.0213		0.0184	0.9949	0.646534	A 방법

※ $\delta = 0.01$, $C = 0.2178$, k : 지하수위 감쇠상수

본 연구에서는 Theis(1937) 가 제안한 방법 중에서 함양이 일어나는 기간 동안 즉, 누적 강우에 대한 반동되는 지하수위의 변동폭의 비율로서 함양률을 산정하였다. 즉, 본 연구에 방법에 사용된 수식은 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{\Delta h}{P} \cdot S_y$$

여기서, Δh : 지하수위 반동치, P : 일정 기간 누적강수량이다.



(a) 충주

(b) 진주

Figure 4. 지하수위 곡선과 누적 강수량 분포

이 방법은 Leach(1980)가 제안한 월강우량과 월함양량의 관계식과 유사하다. 특히, 이 방법에서 고려해야 하는 것은 앞 절에서 산출하였던 시차(lagging time)이다. 즉, 누적 강수량과 지하수위 반동치를 실제 계산하기 위하여 기간을 산정할 때 두 값들은 시차만큼 기간을 달리해야 한다. 왜냐하면 강수가 지하수위에 도달하는데 시차만큼 시간이 걸리기 때문이다. 이 방법에서 중요한 것은 Δh , P , S_y 는 모두 측정치이다. 그러나 본 연구에서는 S_y 의 측정치가 없었으므로 자유면 대수층의 비산출률의 범위인 0.01 ~ 0.3 (Freeze and Cherry, 1979)을 가정하여 계산하였다(Table 4). 그 결과는 아래 Table 4 와 같다.

Table 4. 함양 기간 강수에 의한 지하수위 반등 비율을 이용한 방법 - 충적층 지하수

	최소수위기록일	최대수위기록일	수위반등치 (mm)	누적강수량 (mm)	함양률 ($S_y=0.01$)	함양률 ($S_y=0.3$)
진주 초전	5월30일	8월12일	1440	866.6	0.01662	0.4986
충주 가금	5월7일	7월24일	1480	641.8	0.02306	0.6918

이 결과는 최병수의 A, B 방법에 대한 결과에 비교해 볼 때, S_y 를 최대로 한 0.3 의 경우 최병수 A 방법의 결과치와 유사하며 S_y 를 최소로 한 0.01 의 경우는 각기 0.016, 0.023 으로서 가장 낮은 함양률을 보인다.

5. 토의 및 결론

본 연구에서는 관측정에서의 장기 수위변화 자료를 활용하여 지역적인 지하수 함양률을 평가하는 방법을 제시하고자 하였다. 이 방법은 간단한 통계기법과 강수 및 수위변화자료를 누적곡선으로 나타내어 함양량을 계산하는 간단한 방법이나 현장 실측자료로서의 S_y 값이 주요한 변수로 작용한다. 이는 시공간적으로 변화하는 함수이므로 지하수의 자연함양률 역시 이에 따라 변화된다. Sophocleous(1992) 역시 미국 Kansas 지역에서 지하수 함양률을 산정하여 광역화하는 연구에서 지하수의 자연 함양률은 시간적, 공간적으로 매우 다양한 값을 보이고 있음을 보여주었다. 그러므로 우리 나라 지하수 자원에 대한 양적인 평가에서도 이러한 함양률의 변화에 대한 인식과 함께 지하수 유역별로 고유의 함양률을 계산하기 위한 인자들의 측정 등 다양한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- 건설교통부. 1998, 1999, 2000. 지하수 관측연보.
- 기상청. 인터넷 홈페이지, <http://www.kma.go.kr>
- 최병수, 1996. 자유면 대수층 지역에서 지하수위 변동자료 해석에 의한 대수층 특성연구. 농공기술 제51호. p. 3-13.
- 최병수, 1998. 지역단위 지하수 자연함양률 산정방법 연구. 지하수환경. 제5권 제2호. p. 57-65.
- Sophocleous, M. A. 1991. Combining the soil water balance and water-level fluctuation methods to estimate natural groundwater recharge: practical aspects, Journal of Hydrology. vol. 124. p. 229-241.
- Sophocleous, M. A. 1992. Groundwater recharge estimation and regionalization: the

Great Bend Prairie of central Kansas and its recharge statistics, *Journal of Hydrology*, vol. 137. p. 113-140.

Simmers, I. 2000. Estimating Groundwater Recharge: A Review. In: Yanxin Wang (ed.) *Proceedings of the International Symposium on Hydrology and the environment*. p. 417-425.

Leach, L. M. 1980. Natural Recharge in the Mossamann and Mulgrave Areas and its Relationship to Rainfall. *Proceedings of the Groundwater Recharge Conference, Australian Water Resources Council*. p.108-118.

Theis, C. V. 1937. Amount of Groundwater Recharge in the Southern High Plains. *Transactions of the American Geophysical Union*. vol. 564. p. 64.