

우리나라 지하수 개발가능량 추정: 1. 개념 정립과 기법의 개발

Estimation of the Available Amount of Groundwater in South Korea: 1. Development of the Method

박창근(Chang - Kun Park)*

요 약 : 지하수법에 용어는 명시되어 있지만 정의되지 않은 지하수 부존량 및 개발가능량을 수문학적 기반에 의하여 실무적으로 쉽게 사용할 수 있도록 그 개념을 명확히 정의하였다. 또한 기존의 지하수 함양량 추정기법들의 비교 분석을 통하여 물리적 의미를 가진 단순한 방법으로 지하수 개발가능량을 산정하는 방법을 제시하였다. 그것은 갈수기간과 지하수 함양기간에서 수문곡선으로부터 지하수유출 곡선의 분리에 기초한 방법으로, 수문곡선 분석시 제시된 기법을 일관성 있게 적용할 수 있다.

Abstract : The potential and the available amount of groundwater are defined precisely based on the hydrologic concept, of which terms are prescribed but not defined in the groundwater law. A simple method to estimate the available amount of groundwater is proposed by the comparison and analysis of the previous methods. The proposed method is based on separations of the groundwater components from the hydrograph for the recession period and the recharge period, and may be applied to the hydrograph analysis consistently.

서 론

지하수법 제2조에 의하면 지하수란 '지하의 지층이나 암석사이의 빈틈을 우고 있는 물'로 정의하고 있는데, 이것은 토양 및 암석 속의 포화 및 비포화 상태에 있는 물을 모두 의미하는 포괄적 개념이다. 수문학적 또는 공학적 측면에서 '지하수는 지하의 투수성이 높은 지층에 포함된 사용가능한 물'로 정의되기도 하고(선우중호, 1983), 또한 '토양과 지층에서 자유수면 아래에서 발생하는 포화된 지표하의 물'이라고도 정의한다(Freeze와 Cherry, 1979).

지하수법 제6조에 '지하수 부존량' 및 '개발가능량'이란 용어가 명시되어 있다. '지하수 부존량'이란 지하수법에서 정의된 지하수의 양을 의미하는 것이라 판단되며, 국내에 분포된 각종 토양 및 암석의 분포면적, 부존심도와 공극율을 이용하여 지하수 부존량을 추정하고 있다. 우리나라 지하수 부존량은 13,240억 m³(농진공, 1992)에서 15,448억 m³(한정상, 1995)까지 추정하고 있으나, 이러한 수치는 단지 상징적인 것에 지나지 않는다. 그것은 수자원 계획 또는 지하수 계획을 수립하는데 있어 어떠한 지표도 제공하지 못한다.

'지하수 개발가능량'이란 '양수된 물의 수량과 수질이 시간에 따라 변하지 않는 평형상태에서 대수층으로부터의 연간 지하수 양수량'이라 정의하고자 한다. 이것은 국가차원의 수자원 종합 계획에서 지하수 적정개발 및 이용의 목표를 설정하는데 있어서 하나의 중요한 지표가 될 수 있다. 그러나 지하수는 대량개발이 어렵다는 특성으로 인하여 용수수요지 인근에서 개발이

이루어져야만 경제성이 확보되기 때문에, 용수수급 계획의 수립에 있어 지하수 개발가능량은 하나의 지표로서 가치가 있고 아무런 여과장치 없이 그대로 수자원 계획에 반영될 성질의 것이 아니다.

용수수급 계획이란 현실적인 문제에서 고려되는 것은 지하수 개발가능량내에서 실질적으로 개발될 수 있는 지하수 규모로서, 그것을 '지하수 적정개발가능량'이라 정의할 수 있다. 이러한 적정개발가능량은 자연적인 요인뿐만 아니라 사회적 및 경제적 요인 등에 의해 제한된다. 따라서 지하수 적정개발가능량은 해당구역의 지표수 부존량 및 지하수 개발가능량, 용수수요와 이용양상, 타 구역에서의 용수배분 양상, 지하수 개발의 경제성 등을 종합적으로 고려하여 정책적으로 결정되어야 할 것이고, 또한 수시로 조정될 수 있는 값이다. 이러한 예는 하와이에서 찾을 수 있는데, 용수의 대부분을 지하수에 의존하고 있는 하와이의 경우, 지하수자원의 보호 관점에서 지하수 개발허용량(sustainable yield)이란 개념을 도입하여 사용하고 있다(Mink, 1992). 그것은 양수되는 물의 수량 및 수질에 영향을 미치지 않고 지속될 수 있을 정도로 강제로 지하수를 채취할 수 있는 양으로 정의되며, 어떤 지역의 지하수 개발허용량은 시간에 따라 고정되는 값이 아니라 사회적 및 경제적 여건변화와 지하수 개발에 따른 영향을 종합적으로 검토, 분석하여 수시로 조정되는 값이다.

지하수 개발가능량이라는 손에 잘 잡히지 않는 개념적 물리량을 추정하여야 할 경우 기존에 개발된 많은 모형들을 이용할 수 있다. 그러나 대상구역은 공간적으로 비균질한 특성을 가지고 있으므로 어느 한 구역에 적합하다고 판단되는 방법이 다른 구역에 적합하다고는 할 수 없다. 더구나 개념적인 물리량인 지

*한국건설기술연구원 수자원연구실(Water Resources Eng. Div., KICT, 142, Umyeong-Dong, Seocho-Gu, Seoul 137-140, Korea)

하수 개발가능량 추정시 적합하다고 판단한 모형에 의한 결과를 검증(verification)할 방법이 현재로서는 없다. 따라서 실용적인 면에서 볼 때 보다 복잡한 모형을 사용하더라도 현실의 상태를 결코 더 잘 설명할 수 없는 경우에는 단순한 모형을 사용하는 것이 바람직할 것이다. 단순한 모형의 물리적 의미가 현실의 상태를 비교적 적절히 설명할 수 있다면, 그것을 모든 유역에 일관성 있게 적용할 수가 있다. 본 고에서는 지하수 개발가능량을 추정하는 모형을 제시함에 있어 물리적 의미를 가지고 있으면서 가능한 단순한 기법의 사용에 초점을 맞추고자 한다.

지하수 유출의 개념

일반적으로 유출은 지표유출(surface flow), 중간유출(interflow) 및 기저유출(baseflow)의 세가지 성분으로 구성되어 있다. 여기서 지표유출과 중간유출을 직접유출이라 하고, 기저유출을 지하수유출(groundwater flow)이라고도 한다. 강우에 의한 자연유역으로부터 유출은 매우 복잡한 과정을 거쳐 발생하고, 양적인 면에서 각 성분을 정확히 분석한다는 것은 거의 불가능하다. 따라서 유출의 개념을 설명하는 많은 이견과 다양한 방법론이 사용되어 질 수 있고 또한 어떠한 개념에 의하여 유출을 설명하여도 나름대로의 타당성을 가질 것이다.

지하수 유출의 근원이 지표면에서 침투되어 대수층으로 함양된 물이므로, 지하수 유출량은 결국 강우에 의한 '지하수 함양량'과 같게 된다. 따라서 본 고에서는 지하수 유출량과 지하수 함양량을 같은 개념으로 정의하고자 한다. 여기서 정의되는 지하수 함양량은 지표면을 통해 침투된 물중 증발산되지 않고 자유수면으로 침투(percolation)되는 물로서 협의의 개념이다. 또한 엄밀한 의미에서 지하수 함양량은 지하수 유출량과 지하수 이용량과의 합이다. 그러나 지하수 유출량 계산시 댐과 같은 하천구조물에 의해 조절되지 않는 자료(unregulated data)를 이용하여야 하므로 대부분의 자료가 1970년대 이전 자료이므로 지하수이용량을 무시할 수가 있을 것이다.

나아가 서론에서 언급한 바와 같이 평형상태에서 대수층으로부터 연간 지하수 양수량으로 정의된 지하수 개발가능량을 지하수 함양량과 같다고 하여도 별 무리가 없을 것이다. 이와 같은 추상적인 개념인 지하수 개발가능량을 지하수 함양량으로 정의하고 사용한 경우의 예는 한정상(1995), 이천복(1994) 등에서 찾아 볼 수 있다. 따라서 본 고에서는 지하수 함양량, 지하수 유출량 및 지하수 개발가능량을 같은 개념으로 사용하고자 한다.

기추정된 지하수 함양량

지하수 개발가능량과 같은 의미인 지하수 함양량을 산정하는 방법으로는 물수지 방법, 지하수 관리분석 방법, 해석적 방법, 기저유출 분석 방법 등이 있다.

① 물수지 방법은 물수지 방정식을 이용하여 강수에 의한 지하수 함양량을 산정하는 방법이다. ② 지하수관리 분석(groundwater regime analysis) 방법은 장기간의 지하수 관측자료를 이용하여 강우함양계수(coefficient of rainfall recharge)를

결정하여 지하수 함양량을 산정하는 방법이다. 여기서 강우함양계수란 강우량에 대한 단위면적당 지하수 함양량을 의미한다. ③ 해석적 방법은 단순화된 대상유역에 수학적 모형을 적용시켜 강우에 대한 기저유출량 또는 지하수 함양량을 계산하는 방법이다. ④ 기저유출 분석(baseflow analysis) 방법은 유출수문곡선으로부터 기저유출 곡선을 분리하여 지하수 함양량을 추정하는 기법이다. 각 방법의 장단점을 요약하면 Table 1과 같다.

Table 2에 수록된 바와 같이 많은 연구자 또는 기관이 우리나라 연간 지하수 개발가능량 또는 지하수 함양량을 추정하였는데, 주로 물수지 방법을 이용하였다. 비교적 체계적인 방법으로 기저유출량을 분석한 것은 수자원공사(1993, 94, 95)와 이동률(1995)의 경우라 판단된다. 그러나 수자원공사(1994, 95)의 경우 기저유출량의 70%를 적정개발가능량으로 산정하였는데, 안정률 70%에 대한 명확한 산출근거가 미약하다. 이동률(1995)은 지하수 감수곡선을 이용하여 5대강 유역을 대상으로 하여 감수기간의 자료만을 이용하여 지하수 함양량을 추정한다.

기저유출 분리 기법

기저유출의 정의에 대하여 이견이 있을 수 있으나, 본 고에서는 기저유출은 지하수 유출을 의미한다. 따라서 수문곡선으로부터 기저유출의 분리를 갈수기간과 함양기간으로 나누어 고려할 수 있다. 여기서 우리나라의 경우 4월~6월, 9월~다음해 2월이 갈수기간에 해당하고(이동률, 1995), 함양기간은 강수에 의한 2월~4월, 6월~9월을 의미한다.

갈수기간의 기저유출 분리

갈수기간의 기저유출 분리 방법으로는 해석적 방법, 추적자 이용 방법, 실험적 방법, 대표곡선 이용 방법 등으로 나눌 수 있다. 여기서는 해석적 방법중 흐름방정식(flow equation)을 이용하는 방법만 살펴보고자 한다.

흐름방정식을 이용하는 기법은 물리적 특성이 단순화된 대수층에 흐름방정식을 적용하여 해석적으로 기저유출 곡선을 유도하는 방법이다. 이 방법에 의한 대표적 결과로는 시간 t에서 기저유출 $Q_b(t)$ 가 다음과 같이 표시된다.

$$Q_b(t) = Q_0 \cdot 10^{-t/K} \tag{1}$$

Table 1. Methods to estimate groundwater recharge

| 방법 | 장점 | 단점 | 연구자(들) |
|-------------|-------------|---------------------------|-------------------|
| 물수지 방법 | 사용된 이론이 명확함 | 증발량 계산이 어려움 | Lesack(1993) |
| 지하수관리 분석 방법 | 적용이 간편함 | 많은 관측정에 대한 장기간의 관측자료가 필요함 | Liu와 Zhang (1993) |
| 해석적 방법 | 개념이 명확함 | 자연상태를 정확히 모의하지 못함 | Su(1994) |
| 기저유출 분석 방법 | 자연상태를 잘 설명 | 기저유출 분리에 임의성 내재 | 이동률(1995) |

Table 2. Estimated values of groundwater recharge per year

| 연구자 또는 기관 | 용어 | 추정량(억톤/년) | 연평균 강우량에 대한 비율 | 추정방법 |
|------------------------|---------------|-----------|----------------|---|
| 선우중호(1992) | 적정개발가능량 | 100~150 | 7.9~11.8% | Cheremisinoff(1988)의 기준, 물수지 |
| 한정상(1995) 이천복(1994) | 지하수 함양량 | 228 | 18% | 물수지(건설부 통계편람, 1991) |
| 최병수(1992) | 지하수 함양량 | 205 | 16% | 물수지(건설부 통계편람, 1991) |
| | 경제적 지하수 이용가능량 | 143 | 11.3% | 함양량의 70% |
| 수자원공사(1993) | 적정개발가능량 | 134.3 | 10.6% | 지하수자원 기본조사 보고서(1993), 물수지, 유역별 적정개발가능량 분석, 대상지역: 5대강 유역 |
| 수자원공사(1994) | 기저유출량 | 193.9 | 15.3% | 지하수자원 기본조사 보고서(1994), 다목적댐유입량(갈수시 3개월) → 기저유출량 산정 |
| | 적정개발가능량 | 131.6 | 10.7% | 안정율 70% |
| 이용수자원공사(1995) | 기저유출량 | 186.3 | 14.7% | 지하수자원 기본조사 보고서(1995), 1994년 자료 이용, Ridge regression 기법 이용 |
| | 적정개발가능량 | 132.7 | 10.3% | 안정율 70% |
| 이용이동률(1995) | 지하수 함양량 | 72.0 | 7.8% | 지하수감수곡선 이용, 5대강 유역, 지하수 감수기간의 지하수 유출량 고려 |

여기서 Q_0 는 감수초기의 유량이고, K_1 은 감수계수(recession coefficient)이다. 다른 형태로는 다음 식들이 있다(Singh, 1992).

$$Q_b(t) = Q_0 \cdot k^t \quad (2)$$

$$Q_b(t) = Q_0 / (1 + \sigma)^t \quad (3)$$

여기서 k 와 σ 는 감수계수이다. 또한 식(1)을 series 형태로 표시한 식도 있다(Nutbrown, 1975).

수문곡선 분리를 일관성 있게 하기 위하여 이론적 기반을 가진 가능한 단순한 기저유출 곡선 분리 방법을 선정하고자 한다. 따라서 수문곡선에서 기저유출이 반대수지상에 직선으로 나타나는 식(1)을 갈수기간의 지하수유출 곡선으로 선택한다.

함양기간의 기저유출 분리

함양기간에서 수문곡선으로부터 감수곡선을 외삽하여 분리하고자 할 경우, 다음 Figure 1에서와 같이 몇가지 방법이 제안되고 있다.

함양기간중 가상적인 지하수유출 곡선을 나타내는 Figure 1에서 곡선 ①의 경우는 직접유출이 시작되면 즉시 기저유출(지하수유출)이 증가하고 직접유출이 감소하면 기저유출 역시 감소하다가 감수곡선과 만난다. 곡선 ②의 경우는 직접유출이 시작되더라도 지하수유출은 기존의 감수곡선을 따라 발생하다가 어느 시점에서 증가하여 감수곡선과 만난다. 함양기간중 기저유출은 분석자의 주관에 따라 곡선 ①과 곡선 ②사이의 임의의 곡선을 따라 발생할 것으로 예견된다. 일반적으로 수문곡선에서 기저유출 분리시 어떠한 방법을 사용하더라도 사용된 방법이 일관성만 유지될 수 있다면 전체적인 관점에서 볼 때 그 오차는 무시할 수 있다고 알려져 있다(선우중호; 1983, 이원환; 1989).

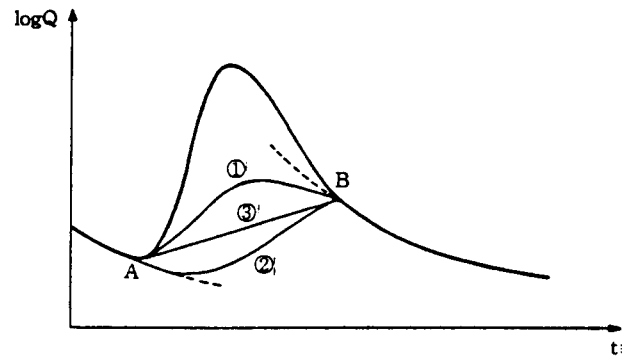


Figure 1. Separation of baseflow.

따라서 본 연구에서는 일관성을 유지하기에 가장 편리한 방법으로 Figure 1에서 곡선 ③과 같이 두 갈수기간 사이의 기저유출 곡선에서 종점(점A)과 시점(점B)을 직선으로 외삽한 곡선을 함양기간의 지하수유출 곡선으로 선택하고자 한다. 여기서 Figure 1에 도시된 수문곡선에서 y축, 즉 유량은 상용대수값이다.

지하수 함양량 추정 방법

갈수기간의 관계식 정리와 함양기간의 관계식 유도

갈수기간에서 기저유출은 식(1)과 같이 표시될 수 있으므로, 식(1)을 이용하여 갈수기간중 기저유출량을 계산하는 절차는 다음과 같다(Meyboom; 1961, 이동률; 1995). Figure 2에서와 같이 (i) 감수곡선에 대하여 감수시점 $t_0^{(i)}$ 에서 시작되는 기저유출은 강우에 의한 지하수 함양이 없다면 무한히 계속될 것이며, 상기 기간동안의 기저유출량을 잠재지하수 유출량($V_i^{(i)}$, total

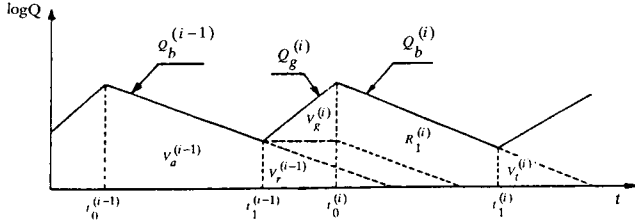


Figure 2. Schematic diagram to estimate the amount of baseflow by the method of separation of baseflow.

- $Q_b^{(i)}$: 갈수기간에서 (i) 감수곡선
- $Q_g^{(i)}$: 함양기간에서 (i) 지하수유출 곡선
- $t_1^{(i-1)}$: (i-1) 감수곡선 종점 또는 (i) 지하수유출 곡선 시점
- $t_0^{(i)}$: (i) 지하수유출 곡선 종점 또는 (i) 감수곡선 시점
- $V_a^{(i-1)}$: 갈수기간($t_0^{(i-1)} \sim t_1^{(i-1)}$)에서 실제 지하수유출량
- $V_g^{(i)}$: 함양기간($t_1^{(i-1)} \sim t_0^{(i)}$)에서 지하수유출량
- $V_r^{(i-1)}$: (i-1) 감수곡선 종점에서 잔여 지하수유출량
- $R_1^{(i)}$: $V_r^{(i-1)}, V_r^{(i-1)}$
- $V_i^{(i)}$: 잠재지하수 유출량, $t_0^{(i)}$ 에서 $Q_b^{(i)}=0$ 인 시간까지의 지하수유출량

potential groundwater discharge)이라 하고 이것은 다음과 같이 계산된다. 이때 계산의 편의상 $t_0^{(i)}=0$ 이다.

$$V_i^{(i)} = \int_{t_0^{(i)}}^{\infty} Q_b^{(i)} dt = \frac{Q_0^{(i)} K_1}{2.3} \quad (4)$$

감수시점 $t_0^{(i)}$ 에서 감수종점 $t_1^{(i)}$ 까지 실제로 대수층으로부터 유출되는 지하수 유출량을 실제지하수 유출량($V_a^{(i)}$, actual groundwater discharge)이라 한다.

$$V_d^{(i)} = \int_{t_0^{(i)}}^{t_1^{(i)}} Q_b^{(i)} dt = \frac{Q_0^{(i)} K_1}{2.3} - \frac{Q_0^{(i)} K_1 / 2.3}{10^{t_1^{(i)}/K_1}} \quad (5)$$

잠재지하수 유출량($V_i^{(i)}$)과 실제지하수 유출량($V_a^{(i)}$)과의 차를 잔여지하수 유출량($V_r^{(i)}$, remaining potential groundwater discharge)이라 하며, 이것은 감수종점에서 대수층이 보유하고 있는 지하수 저류량을 의미한다.

$$V_r^{(i)} = V_i^{(i)} - V_d^{(i)} = \frac{V_i^{(i)}}{10^{t_1^{(i)}/K_1}} \quad (6)$$

함양기간 동안 함양된 지하수량중 함양기간 동안 유출된 지하수량을 제외한 양을 $R_1^{(i)}$ 라 하고, 그것은 Figure 2를 참조하면 다음 식으로 계산된다.

$$R_1^{(i)} = V_i^{(i)} - V_r^{(i-1)} \quad (7)$$

두 감수곡선의 종점을 기준으로 하여 지하수 불수지 분석을 실시하면, 다음과 같이 대수층에서 지하수 변화량 $\Delta S^{(i)}$ 는 각 잔여지하수 유출량의 차로 표시된다.

$$\Delta S_{(i)} = V_i^{(i)} - V_i^{(i-1)} \quad (8)$$

Figure 2를 엄밀히 살펴보면 갈수기간의 기저유출량 $V_a^{(i)}$ 와 식 (7)의 $R_1^{(i)}$ 는 일치하지 않는다. 그러나 식(8)에서 수년간의 지하수 변화량 $\Delta S^{(i)}$ 를 평균하면 $\Delta S^{(i)} \approx 0$ 가 된다(이동불, 1995). 따라

서 식(8)에서 근사적으로 $V_r^{(i-1)}=V_r^{(i)}$ 로 표시할 수 있으므로, $R_1^{(i)}$ 를 갈수기간의 기저유출량이라 가정하여도 큰 오차는 없을 것이다.

Figure 2에서와 같이 함양기간($t_1^{(i-1)} \sim t_0^{(i)}$) 동안 지하수 유출곡선이 두 감수곡선 사이에서 지하수유출량의 상용대수값과 시간이 선형으로 나타난다는 가정에 의하여 홍수기간동안 지하수유출 곡선 $Q_g^{(i)}(t)$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$Q_g^{(i)}(t) = Q_0^{(i-1)} 10^{Kt}; \quad Q_g^{(i)} = Q_0^{(i)} \quad \text{at } t=t_0^{(i)} \quad (9)$$

여기서 K 는 상수이고, $Q_0^{(i-1)}$ 는 $t_1^{(i-1)}$ 에서의 유량 즉 (i-1) 감수곡선 종점에서의 유량이고, $Q_0^{(i)}$ 는 $t_0^{(i)}$ 에서의 유량 즉 (i) 감수곡선 시점에서의 유량이다. 여기서 계산의 편의상 $t_1^{(i-1)}=0$ 로 가정하였다. 상기 식을 정리하면 다음과 같다.

$$Q_g^{(i)}(t) = Q_0^{(i-1)} 10^{\frac{t - \log(Q_0^{(i)}/Q_0^{(i-1)})}{2.3K}} \quad (10)$$

함양기간동안, 즉 (i-1)과 (i)감수곡선 사이에서 지하수 유출량 $V_g^{(i)}$ 는 식(10)을 이용하면 다음과 같이 계산된다.

$$V_g^{(i)} = \int_{t_0^{(i-1)}}^{t_0^{(i)}} Q_g^{(i)} dt = \frac{Q_0^{(i-1)}}{2.3K} (10^{Kt_0^{(i)}} - 1) = \frac{t_0^{(i)} (Q_0^{(i)} - Q_0^{(i-1)})}{2.3 \log(Q_0^{(i)}/Q_0^{(i-1)})} \quad (11)$$

따라서 결론적으로 함양기간($t_1^{(i-1)} \sim t_0^{(i)}$)동안 강우에 의한 지하수 함양량 $R^{(i)}$ 는 함양기간의 기저유출량과 갈수기간의 기저유출량의 합으로 표시될 수 있다.

$$R^{(i)} = V_g^{(i)} + R_1^{(i)} \quad (12)$$

여기서 우변의 첫째항 $V_g^{(i)}$ 는 함양기간동안 지하수 유출량을 의미하고, 둘째항은 갈수기간동안 지하수 유출량을 의미한다. 따라서 식(12)를 이용하여 주어진 수문곡선을 분리하여 지하수 함양량 즉 지하수 개발가능량을 추정할 수 있다. 단 여기서 사용되는 수문곡선은 댐 등과 같은 하천구조물에 의해 조절되지 않은 자료(unregulated data)이어야 한다.

추정 절차

지하수 함양량은 다음의 절차에 의하여 산정될 수 있다.

- ① 유량에 상용대수값을 취하여 일유출수문곡선을 작성한다.
- ② 갈수기간에서 연속적인 최소 하천유량을 직선으로 연결하여 갈수기간의 감수곡선 작성을 작성한다.
- ③ 식(1)을 참조하면, 작성된 감수곡선에서 유량의 1-log cycle에 해당하는 시간 간격을 감수계수 K_1 의 값으로 산정한다. 또한 식(1)과 식(2)를 비교하면 $k=10^{(1/K_1)}$ 의 관계가 성립하므로, k 를 계산할 수 있다. 여기서 계산된 k 를 다음 표의 중간유출(interflow)의 한계치 0.9보다 큰지를 검토하여 산정된 K_1 값의 타당성 여부를 검토한다.
- ④ 감수곡선 종점과 다음 감수곡선 시점을 직선으로 연결하여 함양기간의 지하수 유출곡선을 작성한다.
- ⑤ 각 감수곡선의 시점과 종점에서 유량($Q_0^{(i)}$, $Q_0^{(i-1)}$)을 읽고, 함양기간($t_1^{(i-1)} \sim t_0^{(i)}$)과 갈수기간($t_0^{(i)} \sim t_1^{(i)}$)을 계산한다. 감

Table 3. Recession coefficients according to the outflow components (Pilgrim and Cordery, 1993)

| Flow Components | k, hourly | k, daily |
|-----------------|-------------|-------------|
| Groundwater | 0.998 | 0.950 |
| Interflow | 0.990 | 0.800-0.900 |
| Surface runoff | 0.950-0.990 | 0.300-0.800 |

수곡선의 시점과 종점을 선정할 때 어느 정도 주관적인 오차가 발생할 여지가 있지만, 선정 작업에서 일관성을 유지한다면 그러한 오차는 지하수 함양량 추정에 큰 영향을 미치지 않는다(Meyboom, 1961).

- ⑥ 식(11)을 이용하여 함양기간동안 지하수 유출량($V_g^{(i)}$)을 계산한다.
- ⑦ 식(5)와 식(6)에 의해 각각 감수기간동안 실제지하수 유출량 $V_a^{(i)}$ 와 잔여지하수 유출량 $V_r^{(i)}$ 을 계산한 후, 함양기간동안 함양된 지하수량중 함양기간동안 유출된 지하수량을 제외한 양 $R_1^{(i)}$ 을 식(7)에 의하여 계산한다.
- ⑧ 함양기간($t_1^{(i-1)} \sim t_0^{(i)}$) 동안 함양된 지하수량(즉 지하수 함양량) $R^{(i)}$ 를 식(12)에 의하여 계산하고, ($t_1^{(i-1)} \sim t_1^{(i)}$) 기간 동안 지하수 유출량($V^{(i)}$)을 $V^{(i)} = V_g^{(i)} + V_a^{(i)}$ 에 의하여 계산한다.
- ⑨ 연속되는 다음의 일유출수문곡선으로부터 (2)~(8)의 과정을 반복한다.
- ⑩ 지하수 水文年을 기준으로 하면 함양기간과 감수기간은 각각 두번씩 발생하므로, 그것을 고려하여 연간 지하수 함양량과 지하수 유출량을 추정한다.

요약 및 결론

본 고에서는 지하수법에 명시는 되어있지만 정의되지 않은 용어를 수문학적 기반에 기초하여 실무적으로 쉽게 사용할 수 있도록 다음과 같이 정의하였다. 지하수법 제6조에 명시된 지하수 부존량은 지하수법에서 정의된 지하수의 양을 의미하며, 그것은 수자원계획에 있어 어떠한 지표도 제공하지 못하고 단지 상징적인 용어에 지나지 않는다. 지하수 개발가능량은 양수된 물의 수량과 수질이 시간에 따라 변하지 않는 평형상태에서 대수층으로부터의 연간 지하수 양수량이라 정의하였고, 그것은 수문학적으로 지하수 유출량과 동일하며 개념적으로 지하수 함양량과도 동일하다. 따라서 그것은 수자원 또는 지하수와 관련된 제반 계획에서 중요한 지표로 사용될 수 있다.

우리나라 지하수 함양량 또는 적정개발량을 추정함에 있어 많은 기존의 연구들을 분석한 결과, 대부분 물수지 방법을 사용하였다. 물수지 방법은 증발량 계산에 있어 연구자의 주관에 강하게 의존하는 관계로 바람직한 방법이 아니라고 판단된다. 한편 이동률(1995)은 지하수 감수곡선을 이용하여 5대강 유역의 지하수 함양량을 추정하였는데, 그는 지하수 감수기간의 지하수 유출량만을 고려하였다.

따라서 본 고에서 제시된 지하수 함양량 즉 지하수 개발가능량 추정 방법은 감수기간뿐만 아니라 함양기간의 지하수유출을 고려한 것이다. 수문곡선으로부터 지하수유출 곡선을 분리하기

위해 제안된 방법은 물리적 의미를 가지면서 단순한 기법을 이용한 것으로, 모든 유역 또는 수문곡선에 일관성 있게 적용할 수 있는 방법이다. 즉 갈수기간의 지하수유출은 반대수지상에 직선으로 나타나는 감수곡선으로 표시되고, 함양기간의 지하수 유출은 두 감수곡선 사이에서 지하수유출량의 상용대수값과 시간이 선형으로 표시된다고 가정하였다. 이와 같이 갈수기간 및 함양기간에서 지하수유출 곡선을 단순화시킴으로서 쉽고 일관성 있게 수문곡선으로부터 지하수유출 곡선을 분리하여 지하수 함양량 즉 지하수 개발가능량을 계산할 수 있을 것이다.

참고문헌

선우중호, 1983, 수문학, 동명사, p.169-174.
 선우중호, 1992, 우리나라 지하수 개발의 필요성, 물 관련 정책토론회, 건설부 한국수자원공사, p.99-119.
 수자원공사, 1993, 지하수자원 기본조사 보고서.
 수자원공사, 1994, 지하수자원 기본조사(2차) : 지하수 이용관리법안 수립 및 대체용수원 개발지역 산정조사 보고서.
 수자원공사, 1995, 지하수자원 기본조사(3차) : 지하수 관리조사 보고서.
 이동률, 1995, 지하수 감수곡선을 이용한 지하수 함양량 추정과 장기갈수량 예측, 고려대학교 박사학위논문.
 이원환, 1989, 수문학, 문운당, p.78-85.
 이천복, 1994, 한국의 지하수자원과 개발방향, 지하수개발과 농어촌용수, 농어촌진흥공사, p.133-164.
 최병수, 1992, 지하수 개발의 현황과 문제점, 물관련 정책토론회, 건설부 한국수자원공사, p.157-170.
 한정상, 1995, 지하수개발과 관리대책, 수자원 개발과 보존대책, 한국수자원공사, p.39-103.
 Chermisinoff, Paul et al. edited, 1988, Civil Engineering Practice, Chapt. 5: Water Use and Public Policy, Technomic Publishing Co.
 Dewalle, D. R., Swistock, B. R. and William, E. S., 1988, Three-Component Tracer Model for Storm Flow on a Small Appalachian Forested Catchment, Jr. of Hydrology, 104, p.301-310.
 Freeze, R. A. and Cherry, J. A., 1979, Groundwater, Prentice Hall, p.2-3.
 Lesack, F. W., 1993, Water Balance and Hydrologic Characteristics of a Rain Forest Catchment in the Central Amazon Basin, W. R. R., 29(3), p.759-773.
 Liu, Y. and Zhang, C., 1993, A Comparative Study of Calculation Methods for Recharge of Rain Fall Seepage to Ground Water in Plain Area, Ground Water, 31(1), p.12-18.
 Meyboom, P., 1961, Estimating Ground-water Recharge from Stream Hydrology, Jr. of Geophysical Research, 66(4), p.1203-1214.
 Mink, J. F., 1992, Groundwater Occurrence, Development and Sustainable Yields: Cheju Island, Korea, '92 Annual Joint Symposium on Water Resources and Water Quality Management, and Development and Conservation of Groundwater Resources in Che-Ju Do, Center for Water Resources and Quality

박 창 근

- Management, Choong-Buk Nat'l Univ., p.69-73.
- Nutbrown, D. A., 1975, Normal Mode Analysis of the Linear Equation of Groundwater Flow, *W. R. R.*, 11(6), p.979-987.
- Pilgrim, D. H. and Cordery, I., 1993, Flood Runoff, Chap. 9 in *Handbook of Hydrology*, D. R. Maidment (ed.), McGraw-Hill, New York.
- Singh, V. P., 1992, *Elementary Hydrology*, Prentice Hall, p.308-323.
- Su, N., 1994, A Formula for Computation of Time-Varing Recharge of Groundwater, *Jr. of Hydrology*, 160, p.123-135.
- Tallaksen, L. M., 1995, A Review of Baseflow Recession Analysis, *Jr. of Hydrology*, 165, p.349-370.