

## 금강 용담, 공주, 규암 수문 자료를 이용한 기저유출 분리방식 지하수 개발 가능량 예비 산정

김형수 · 원이정

한국수자원공사 수자원연구소, 대전 유성구 전민동 462-1

(E-mail : hskim@kowaco.or.kr)

**요 약 :** 금강 용담, 공주, 규암의 수문 자료를 활용한 최저 기저 유출 분리를 통해 금강권역에 대한 지하수 개발 가능량을 예비적으로 산정하였다. 수문 자료 분석 결과, 전형적인 감수현상은 봄에 비해 가을에 나타나며, 본 연구에서 활용한 최저 기저 유출량은, HYSEP의 지역적 최소 방식(local minimal method)을 활용한 기저 유출량에 비해 절반 내외의 값을 보이는 것으로 나타났다. 지하수 개발 가능량은, 수 십년 간의 전형적 감수 곡선 중, 최소 값을 통해 선정된 최소 기저 유출량을, 특별한 안전율의 적용 없이 대비 시켰으며, 이 결과 금강 유역에서의 지하수 개발 가능량은 하천 유출량 대비 최소 12%에서 최대 25% 인 것으로 평가되었다.

### 1. 서 론

지하수 개발 가능량은, 기본적으로 전체 강우 중 지하 대수층으로 유입되는 함양량을 평가하고 그 중 실질적인 개발이 가능한 양을 도출함으로써 산정된다. 이러한 지하수 개발 가능량을 산정하는 목적은, 궁극적으로 지하 대수층의 자연 지하수위를 강하시키지 않는 범위 내에서 지하수를 개발하여 지하수자원 고갈을 방지하고 지하수자원에 대한 장기적인 보전을 도모하기 위함이다. 실질적으로 전체 강우 중 지하 대수층으로 유입되는 함양량 및 기술적으로 개발 가능한 양을 평가하기 위해서는 지표 및 지하의 수문 환경을 지배하는 요소인 강우, 유출, 증발산 및 지표 토양, 지질 매체의 대수 특성, 지하수위 변동 등 매우 다양한 정보의 확보가 요구된다. 그러나 이러한 지표 및 지하의 수문 관련 자료를 모두 획득한다는 것은 현실적으로 불가능하며, 관측과 수반된 다양한 오차 역시 무시할 수 없으므로 이러한 부족한 관련 정보로부터 가장 진실에 가까운 지하수 함양량 및 개발 가능량을 산정하기 위해 다양한 방법이 시도되어왔다. 크게 이러한 방법은 ① 강우 및 지하수 수위 변화 시계열 자료를 활용하는 방법, ② 지하 모형에 대한 대수 특성 및 수위 변동의 모사를 통한 수치해석적 방법 ③ 전체 물수지 균형을 통해 지하수 함양량을 산정하는 방법, 및 ④ 하천 유출에서 지하대수층을 통해 유입된 기저 유출을 분리하는 방법 등으로 구분 할 수 있다. 국내에서의 지하수 함양량 또는 개발 가능량을 산정하기 위한 연구 중 1996년까지의 자료는, 건설교통부 “지하수관리 기본계획 보고서”(1996)에 정리되어 있으며, 그 이후에도 보다 정확한 지하수 함양량 또는 개발 가능량의 산정을 위한 노력들이 지속적으로 수행되고 있다 (이동률, 윤용남, 1996; 박창근, 1996; 최병수, 안중기, 1998; 박재성 외, 1999; 구민호 외, 2000; 문상기, 우남철, 2001; 구민호, 김형수, 2001). 본 연구 역시 이러한 노력의 일환으로 낙동강권역의 지하수 개발 가능량 산정(원이정 외, 1999; 한국수자원공사, 2000)의 예비 단계에서 적용된 최저 기저 유출 분리 방식과 동일하게, 금강권역의 용담, 공주, 규암에서의

수문 자료를 통해 최저 기저 유출을 분리하여, 금강권역의 지하수 개발 가능량을 예비적으로 추정하기 위한 목적으로 수행되었다.

## 2. 예비 지하수 개발량 산정

기저유출 분리방식을 통한 지하수 개발가능량 산정은 기본적으로 하천의 유출수문곡선에서 순수하게 지하수로부터 유입된 기저 유출을 분리하여 이 값을 지하수 함양량으로 평가하는 기법을 활용한다. 이 지하수 함양량은 기본적으로 특정 지역의 지하수 개발가능량의 지표가 되는 가장 주요한 요소로 국내의 경우, 지하수 함양량의 70% 내외를 그 지역의 지하수 개발가능량으로 산정하지만 그 비율은 다소 임의적이다. 본 연구에서는 금강 유역의 용담, 공주, 규암 수위표 지점의 하천수위자료를 사용하여 기저유출 분리를 시도하였다(그림 1 참조).

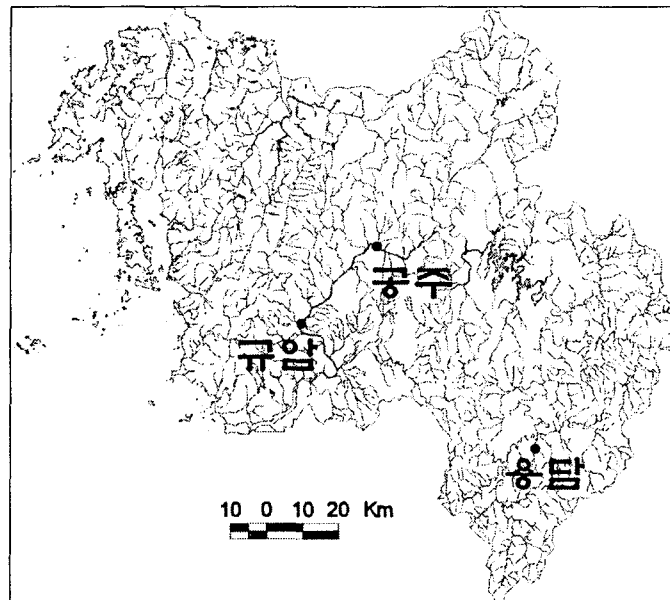


그림 1 지하수 개발 가능량 예비 선정 활용 수위표 지점

기저유출 분리 방식을 통한 지하수 개발 가능량 산정은, 이미 기존의 몇몇 연구를 통해 수행되었으나 각 연구마다 기저 유출 분리를 위한 객관적 기준이 모호하므로, 본 연구에서는 최소 기저 유출 분리 방식을 적용하여 지하수 개발 가능량을 산정하였다. 우선, 본 연구에서는, 금강의 대표적 3개소 수위표 지점의 유출 자료 중, 인위적 하천 유수의 조작(댐 등)이 없었던 시기의 자료를, 이동률(1995)의 연구를 참조하여 선정하고, 다시, 이들 자료 중, 연간 유출량이 평균적인 유출량에 비해 너무 크거나 적지 않은 자료들을 선별적으로 취합하여 활용하였다. 이렇게 선별된 자료의 유출 곡선을 분석한 결과, 1년에 크게 두 번의 갈수기와 두 번의 풍수기가 뚜렷이 관찰되었으며, 특히, 9월을 전후로 하여 시작되는 갈수기의 경우가, 3월을 전후로 하여 나타나는 갈수기에 비해 전형적인 감수 유출 형태를 보여주는 것으로 나타났다. 최적 기저 유출 분리를 위해서, 이들 9월 전후의 전형적인 감수 유출 현상을 보이는 자료 중, 연평균 유출량에 해당되는 날을 기준으로 그 이전 10일부터 그 이후 90일 동안의 유출 수문 곡선을 중첩, 분석하였으며(그림 2 참조), 그 결과 연평균 유출량 교차점을 전후로 수문 곡선의 기울기가 급격히 변화함을 알 수 있었다. 이러한 기울기의

급격한 변화는 지표 유출(surface runoff) 이후의 기저유출 시점을 지시하는 것으로 판단되며, 이들 중첩된 감수 유출 곡선의 최소 값들을 연결하여 최소 기저 유출을 산정하였다.

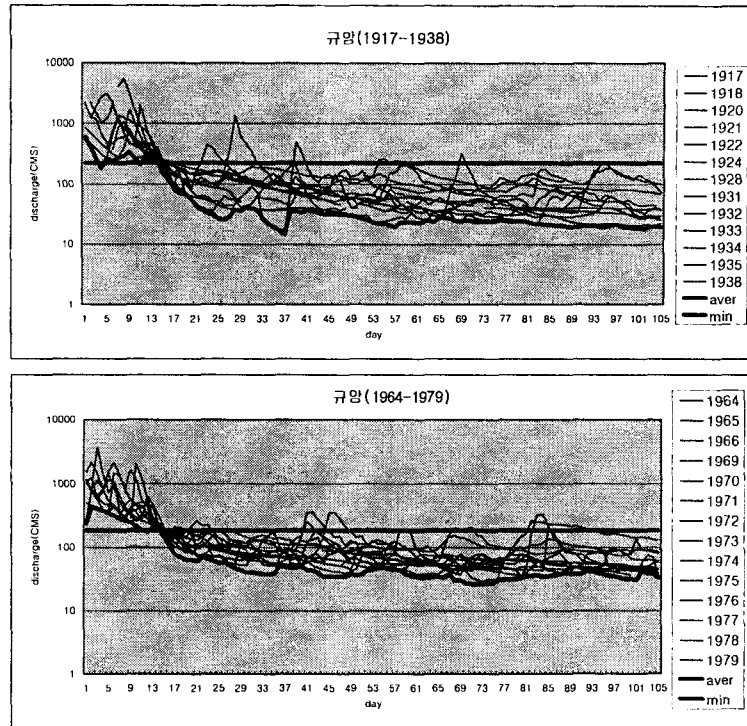


그림 2 규암 지역의 유출 수문곡선에서의 최소 기저유출 분리 예

전술한 바와 같이, 본 연구에서는 선별된 여러 해의 수문 곡선 중 최저 값만의 연결을 통해, 기저 유출을 분리하였으며, 이렇게 분석된 값은, 적어도, 분석에 활용된 기간에 대해서는 최소 기저 유출에 해당될 것이므로, 본 연구에서는 이 최소 기저 유출량을 특별한 안전을 없이 직접 지하수 개발 가능량으로 대비시켰다. 본 연구 방식에 의해 산정된 예비적인 지하수 개발 가능량(즉, 최소 기저 유출량)은, 일반적으로 많이 이용되는 기저 유출 분리 프로그램인, HYSEP(Sloto and Crouse, 1996)의 지역적 최소기법(local minimal method)을 이용하여 분리된 하천의 기저 유출량과 비교한 결과, 일반적 기저 유출량의 50% 내외인 것으로 나타났다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구를 통해 평가된 지하수 개발 가능량에 대한 하천 유출대비 비율 및 강우대비 비율은 표 1과 같다.

표 1 지하수 개발 가능량 대비 비율

| 적용 기법 | 지점 | 기간        | 지하수개발 가능량                    |            | HYSEP                   |                       | 강우대비<br>하천유출량 |
|-------|----|-----------|------------------------------|------------|-------------------------|-----------------------|---------------|
|       |    |           | 최저 기저유출<br>(가을 감수곡선)<br>유출대비 | 방식<br>강우대비 | Local<br>기저 유출량<br>유출대비 | minimal<br>방식<br>강우대비 |               |
| 용담    |    | 1935~1992 | 20%                          | 15%        | 45%                     | 35%                   | 77%           |
| 공주    |    | 1918~1938 | 25%                          | 15%        | 39%                     | 23%                   | 58%           |
|       |    | 1966~1978 | 22%                          | 11%        | 35%                     | 18%                   | 50%           |
| 규암    |    | 1917~1938 | 12%                          | 9%         | 29%                     | 22%                   | 77%           |
|       |    | 1964~1979 | 23%                          | 13%        | 35%                     | 20%                   | 58%           |

결과 표에서 알 수 있듯이 최저 기저 유출량은 HYSEP의 지역적 최소기법을 적용한 기저 유출량에 비해 절반 내외인 것으로 평가되었으며, 본 연구를 통한 금강권역의 개략적 지하수 개발 가능량은 강우대비 9 내지 15%, 하천 유출 대비 12 내지 25% 정도인 것으로 평가 되었다. 이러한 결과는 지하수관리 기본계획 보고서(건설교통부, 1996)의 금강유역의 지하수 함양 강우대비 비율 12.4%와 거의 유사한 값이나, 본 연구에서는 최저 기저 유출량을 지하수 개발 가능량으로 산정하였으므로 기존의 지하수 개발 가능량에 비해 금번 연구 결과가 다소 큰 지하수 개발 가능량을 지시하고 있다.

하천의 기저유출 분리방식을 이용한 지하수 함양량 또는 개발 가능량 평가의 정확성 및 신뢰성은, 아직까지 다소 미흡한 점이 많아 현재 국가 지하수 관측망을 통해 수집되는 직접적인 지하수위 또는 수온 변화 자료를 분석하는 방법이 보다 바람직하지만, 충분한 기간 동안의 지하수위 및 온도 변화 자료가 확보되고, 국가 지하수 관측망 자료를 활용한 지하수 함양량에 대한 객관적 함양량 평가 방식이 선정될 때까지는 예비적으로 지하수 개발 가능량을 추정하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 한편, 하천 수문 자료로부터 정확한 지하수 함양량 또는 개발 가능량을 산정하기 위해서는, 각 수위표의 유출이 대표하는 유역 특성, 하천 발달 밀도, 선구조선 발달 밀도, 지하 지질의 대수성 및 지표 토양의 투수성 등을 고려한 지하수 개발 가능량에 대한 변화 요소에 대한 정량적 평가가 필요하며, 이러한 요소에 대한 영향 연구는 현재 한국수자원공사에서 수행되고 있는 금강권역 광역지하수 조사 연구를 통해 수행될 계획이다.

#### 4. 참고문헌

- 건설교통부, 1996, 지하수관리 기본계획 보고서
- 구민호, 김형수, 안경환, 2000, 지하수 수위 및 수온의 장기 측정자료 분석, 대한지질공학회 춘계 학술발표논문집.
- 구민호, 김형수, 2001, 지하수 및 토양의 온도 관측 자료를 이용한 함양량 산정 기법, 한국지하수토양환경학회, 추계학술발표회 논문집.
- 문상기, 우남철, 2001, 누적 강수량과 지하수위 곡선을 이용한 지하수 함양률 추정 기법, 한국지하수토양환경학회지, 6(1), 33-43.
- 박재성, 김경호, 전민우, 김지수, 1999, 소유역의 지하수함양을 추정기법, 지하수환경, 6(2), 76-86.

- 박창근, 1996, 우리나라 지하수 개발가능량 추정: 1. 개념 정립과 기법의 개발, 지하수환경, 3(1), 15-20.
- 원이정, 김형수, 한찬, 2000, 낙동강 진동 및 왜관 수문자료를 이용한 기저유출 분리방식 지하수 개발가능량 산정, 한국지하수토양환경학회 창립총회 및 춘계학술발표논문집.
- 이동률, 1995, 지하수 감수곡선을 이용한 지하수 함양량 추정과 장기갈수량 예측, 고려대학교 박사학위논문.
- 이동률, 윤용남, 1996, 우리나라의 지하수 함양량 추정과 분석, 대한토목학회, 16, 321-334.
- 최병수, 안중기, 1998, 지역단위 지하수 자연함양을 산정방법 연구, 지하수환경, 5(2), 57-65.
- 한국수자원공사, 2000, 낙동강권역 광역지하수 조사 연구 보고서
- Sloto, R.A. and Crouse, M.Y., 1996, HYSEP: A Computer program for streamflow hydrograph separation and analysis, U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 96-4040.