

# 주지하수 감수곡선의 추정 및 분석

## Estimation and Analysis of base flow recession characteristics

김 형수\* · °한 명선\*\* · 이동률\*\*\* · 김 중훈\*\*\*\*

### 1. 서 론

지하수 감수곡선은 지하수 함양량 및 유출량 추정, 갈수량 예측과 증발산량의 검토 등 많은 분야에 적용되고 있다. 그러나 감수곡선의 결정은 주관적 및 객관적인 기법에 의한 제시된 많은 연구에도 불구하고 감수곡선에 영향을 주는 복잡한 구조로 인하여 아직까지 만족스러운 방법이 제시되고 있지는 않다.

우리 나라는 최근 가뭄의 빈발 및 용수수요의 증가와 갈수기의 수질문제로 갈수유량에 관한 관심이 점점 커져가고 있는 상황에서 지하수 감수곡선의 연구는 갈수기 가용수량의 예측에 많은 도움을 줄 수 있다. 또한 우리 나라의 수문특성이 홍수기와 갈수기로 뚜렷하게 구분되어 감수곡선의 이용이 좋은 환경을 가지고 있다. 우리나라 강수량의 특성은 7월에 가장 많은 비가 내리고 2월말까지 계속 감소하는 형태를 보인다. 그리고 3월말부터 증가하기 시작하여 7월을 정점으로 다시 감소하는 특성을 지니고 있다. 또한, 유출은 3월부터 4월말까지 증가하다가 6월말까지 감소하고 7-8월 까지 증가하다가 2월까지 감소하는 형태를 보인다.. 이는 3-4월에 증발량이 증가함에 따라 유출을 감소시키기 때문이다. 이동률 등(1993)은 한강, 낙동강, 금강, 섬진강 그리고 영산강유역에서도 동일한 유출특성이 있음을 보여주고 있다. 5-6월의 지하수 유량감수는 증발산의 영향이 크고, 9월부터 다음해 2월까지의 감수는 선행강수량에 의한 지하수 함양량에 많은 영향을 받을 것이다.

지금까지 주지하수 감수곡선을 구하기 위해 상관관계 기법(correlation method), matching strip method, tabulating method 등(Demuth, 1989)과 같은 여러가지 방법들이 제안되어 왔으나 이들은 주지하수 감수곡선을 선정하는데 주관적인 판단이 많은 영향을 미친다 (Nathan and McMahon, 1990). 따라서 본 연구에서는 좀 더 객관적인 방법을 이용해 지하수 함양량 추정, 갈수량 예측, 갈수시 공급용수량 추정등에 필요한 주 지하수 감수곡선을 추정하고, 기존의 연구결과 (이동률, 1995)와 비교 검토해 보고자 한다.

---

\* 선문대학교 건설공학부 전임강사  
\*\* 고려대학교 토목환경공학과 석사과정  
\*\*\* 한국건설기술연구원 선임연구원  
\*\*\*\* 고려대학교 토목환경공학과 부교수

## 2. 지하수 감수 특성

### 2.1 감수곡선식

감수 곡선의 특성을 표시하기 위한 관계식에는 여러 가지가 있으나 Boussinesq (1904; in Hall, 1968)에 의해 제안된 가장 대표적인 선형 관계식 (2.1)과 Barnes (1939)에 의한 식(2.2)를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = Q_0 \exp(-\lambda t) \quad (2.1)$$

$$Q = Q_0 K^t \quad (2.2)$$

식(2.1)과 (2.2)에서  $Q_0$ 는  $t=0$ 일 때의 유량,  $Q$ 는 시간이  $t$ 일 때의 유량,  $K(=\exp(-\lambda))$ 는 무차원 감수상수,  $\lambda$ 는 토양 및 대수층의 특성을 표시하는 계수이다.

식(2.1)을 참고로 일유출량을 반대수지에 그리면 직선 관계로 나타날 것이나 실제로는 완만한 곡선을 나타낸다. 그 이유는 총 유출의 감수곡선을 구성하는 유출의 지연시간이 각기 다른 지표면 유출, 지표하 유출과 지하수 유출로 구성되기 때문이다. 그리고 총 유출수문곡선의 감수곡선 중 마지막 부분 곡선의 경사는 지하수에 대한 특성 값  $K$ 를 대표하는 것으로 본다. 왜냐하면 이 시점에 와서는 지표면 유출이나 지표하 유출은 이미 끝나기 때문이다. 따라서 그림-1의 총유출수문곡선에서 말단부의 직선에 가까운 선을 침투유량 발생시간까지 연장하여 지하수 유출을 분리한다.

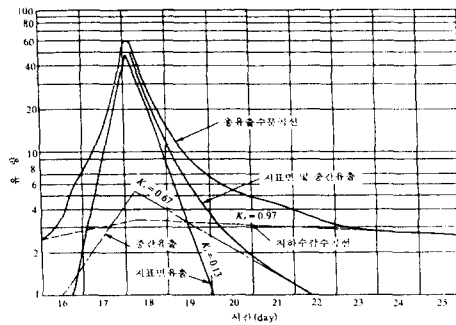


그림 1. 유출 수문곡선 (윤용남, 1986)

### 2.2 기저유출의 분리

위의 단일 호우사상에 대한 기저유출과는 달리 실제로는 복합호우사상이 거의 대부분이며, 서론에서 언급했던 여러 가지 방법들은 주지하수 감수곡선을 구하는데 주관적인 요소가 많은 영향을 미친다. 따라서 좀더 객관적인 방법으로 구하기 위하여 Sugiyama (1996)는 기본적인 그래프 방법을 개선시켜 주지하수 감수곡선을 구하여 기저유출을 분리하였으며 다음과 같이 그 절차를 제안하였다.

- 1) 이동평균 기법(moving average method)을 이용하여 유역의 일유출 자료를 감수곡선 특징이 잘 나타나는 자료로 변환시킨다.
- 2) 13일 이상 무강우기간으로 생긴 감수 곡선을 추출한다. 무강우기간이 13-15일 일 때 감수

곡선과 잘 맞는다.

- 3) 추출된 감수곡선 끝의 최대값을 구한다. 이 값을 주지하수 감수곡선의 초기유출( $Q_0$ )로 가정한다 (그림 2 의 C점).
- 4) 초기 유출  $Q_0$  값을 선정하고 그림 3 처럼 감수곡선기울기를 가정한다. 그러면서 가정한 직선과 추출한 감수곡선의 접선 개수를 구한다. 일반적으로  $\lambda$  값은 처음에  $0.001(d^{-1})$ 에서부터 시작한다. 만약 닿지 않을 경우 추출된 감수곡선 끝을 그림 4 와 같이 평행이동 시킨다.
- 5)  $\Delta \lambda$  을  $0.005$ 로 놓고 1번에서부터 4번을 반복한다.
- 6)  $\lambda$  가  $0.2(d^{-1})$ 가 될 때까지 반복한다. 일반적으로  $\lambda$  가  $0.2$ 값을 넘지 않는다.
- 7) 가장 많은 접선을 가진 경사를 주감수곡선으로 결정한다.

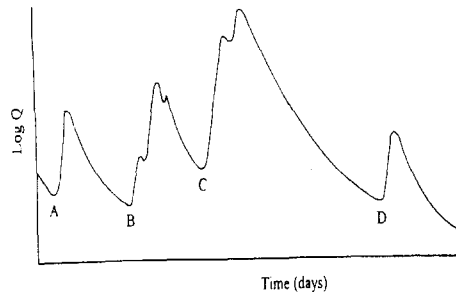


그림 2. 일유출곡선

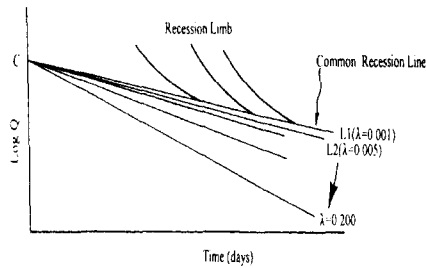


그림 3. 주감수곡선의 기울기 조정

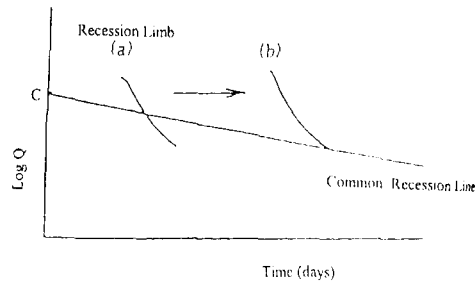


그림 4. 평행 이동

그러나 Sugiyama(1996)의 방법은 그 대상이 일본 지역이었기 때문에 우리나라의 경우와 강우특성이 다르고, 가정한 직선과 감수곡선의 접점을 판별 할 때 주관적인 판단이 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 Sugiyama의 방법을 다음과 같이 개선하여 분석을 실시하였다.

- 1) 대상자료를 분석해 본 결과 일본과 다르게 무강우기간이 13일 정도로는 확연하게 주지하수 감수곡선이 나타나지 않고 무강우기간을 13일 이상에서 22-25일로 하였다. 소유역에서는 무강우기간이 30일이 넘으면 일정량이 흘러버리는 경향이 있어 감수곡선을 구하기가 어렵기 때문이다.
- 2) 가정한 직선과 감수곡선의 접점을 판별할 때 주관적인 면을 줄이기 위하여 주관적인 판단을 하지 않고 추출된 감수곡선 끝 유출자료 7개를 회귀분석하여 기울기를 구하였다. 그래서 얼마의 보정 값을 주어 실제 감수 곡선과 맞추었다.

### 3. 관측 자료 및 적용

#### 3.1 대상지역 및 자료

자료는 우리나라 수자원관리의 대부분을 차지하는 5대강 유역의 지점들을 선정하였다(이동률, 1995). 그 중 연유출률이 0.2-0.8 사이에 있지 않는 것은 제외하였고, 그 외 지점선정기준은 첫째, 계절별 지하수 유출량과 감수를 측정하기 위하여 일년 중 흐름이 끊기지 않아야 한다. 둘째, 상류의 유량조절, 대규모 지하수 개발등 인위적인 영향이 없는 자연유량 특성을 가지는 곳 이여야 한다. 셋째, 계절별 지하수 유량의 신뢰성 있는 추정을 위하여 충분한 기록을 제공할 수 있는 곳 이여야 한다.

일유출수문곡선은 위 지점의 수위자료를 기초로 하여 수위-유량관계곡선을 이용하여 작성하였으며, 분석 대상유역, 지점, 유역면적, 자료기간 등을 표-1에 표시하였다.

표 1. 분석 대상자료에 대한 정보

하천	지점	유역면적(km <sup>2</sup> )	자료기간	하천	지점	유역면적(km <sup>2</sup> )	자료기간
한강	고안	23607.9	1919-1940	낙동강	독산	2304.1	1957-1969
	충주	6412.5	1917-1940		규암	8261.0	1916-1940
	후포	1606.2	1963-1985	금강	공주	7531.0	1917-1938
낙동강	진동	20311.0	1930-1940		섬진강	용담	989.5
			1958-1979	송정			
	현풍	14000.9	1930-1940	영산강	나주	2058.7	1962-1979
			1958-1979				회화
	왜관	11074.4	1924-1940	안성천	양령	388.0	1959-1975
	낙동	9369.0	1924-1940				회화
1958-1977			양령	388.0	1929-1939		
정암	3280.0	1957-1969					

3.2. 기존 연구와의 비교

본 연구의 결과를 유출의 최저 지점을 연결하여 Eye fitting 에 의해 구한 이동률(1995)의 연구 결과와 비교, 검토하기 위하여 표 2와 같이 4월과 9월의 감수곡선에 대한 감수상수(K)와 초기유량(Q<sub>0</sub>)들을 비교하였다.

표 2. 감수상수와 초기유량값의 비교

유역	지점	본연구 결과				이동률(1995)			
		4월감수곡선		9월감수곡선		4월감수곡선		9월감수곡선	
		K	Q <sub>0</sub>	K	Q <sub>0</sub>	K	Q <sub>0</sub>	K	Q <sub>0</sub>
한강	고안	0.9580	116.9	0.9869	174.2	0.9869	112.4	0.9895	191.0
	동량(충주)	0.9603	60.0	0.9727	95.5	0.9865	36.4	0.9888	74.2
	후포	0.9682	14.9	0.9816	21.4	0.9870	14.8	0.9882	19.3
낙동강	진동(30-40)	0.9861	135.7	0.9881	234.3	0.9883	86.4	0.9898	185.9
	진동(58-79)	0.9836	135.7	0.9878	202.6	0.9856	107.6	0.9888	191.4
	현풍(18-40)	0.9675	34.8	0.9783	86.0	0.9864	52.0	0.9887	99.7
	현풍(65-79)	0.9678	26.6	0.9774	85.1	0.9837	57.6	0.9870	111.8
	왜관(24-40)	0.9692	44.0	0.9885	63.9	0.9860	36.2	0.9891	73.0
	왜관(58-77)	0.9713	100.0	0.9852	136.7	0.9863	72.6	0.9896	106.0
	낙동(24-40)	0.9750	63.4	0.9786	124.1	0.9858	46.3	0.9892	100.7
	낙동(58-77)	0.9747	49.1	0.9886	102.0	0.9862	51.8	0.9896	73.7
정암	0.9796	12.3	0.9813	46.8	0.9836	16.4	0.9873	29.2	
금강	독산	0.9666	6.1	0.9822	23.8	0.9832	11.6	0.9862	25.2
	규암	0.9617	34.8	0.9848	125.2	0.9858	39.0	0.9879	113.4
	공주(17-38)	0.9724	33.1	0.9824	84.2	0.9887	46.0	0.9907	98.3
	공주(66-77)	0.9535	37.3	0.9822	77.3	0.9880	49.9	0.9906	77.7
섬진강	용담	0.9769	18.6	0.9875	22.3	0.9872	11.2	0.9894	13.6
	송정(19-40)	0.9802	30.2	0.9849	43.6	0.9866	26.6	0.9886	41.1
영산강	송정(62-79)	0.9778	46.6	0.9848	56.5	0.9864	27.1	0.9886	39.0
	나주(16-40)	0.9817	6.9	0.9840	13.9	0.9864	6.4	0.9896	11.1
안성천	나주(59-79)	0.9891	11.7	0.9896	22.9	0.9869	12.1	0.9896	16.2
	회화	0.9828	1.0	0.9890	1.0	0.9877	0.5	0.9896	1.1
	양령	0.9858	1.1	0.9872	3.0	0.9882	1.1	0.9894	1.9

자료의 수가 적어서 상관관계를 알아보기가 힘들지만 회귀관계를 알아보면 그림 5와 같고 결정계수는 0.14가 나왔다. 기존 연구 결과(이동률,1995)에 나타난 초기유량( $Q_0$ ) 값보다 연구의 값이 전반적으로 크게 나타나고 감수계수는 작게 나타나는 경향을 보이고 있다.

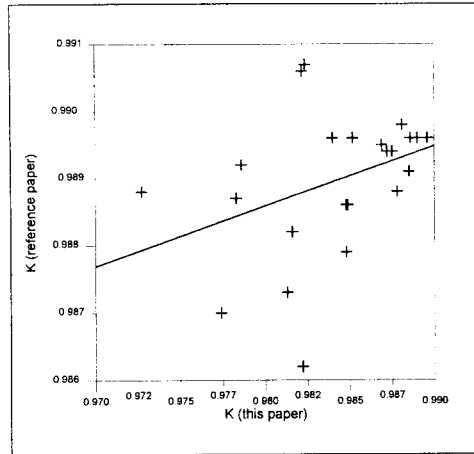


그림 5 감수상수간의 상관 관계

그리고 4월 감수 곡선의 상대적으로 감수계수 값이 작게 나타난다. 그 이유는 우리나라 기후 영향을 볼 때 4월 가뭄이 9월 가뭄에 비해 기간이 짧고 그 기간 중 적은 강우량이 있어 계속적으로 감수하는 구간이 많이 있지 않고, 그 감수 곡선이 완전히 지하수 유출형태를 보이지 않기 때문이다. 그러나 9월(9-2) 가뭄같이 가뭄 기간이 길고 지하수 유출형태가 확연히 구분되는 경우에는 위 두 방법 모두 비슷한 값이 나온다.

#### 4. 결 론

지하수 흐름의 종합적인 지표로 정의되는 주지하수 감수곡선의 감수상수는 일유출 수문 곡선의 감수부분의 종합적인 분석에서 구할 수 있다. 감수 곡선식은 식(2.1),(2.2)에서 보여지는 것과 같이 지수형태로 가정된다.

본 연구에서는 주지하수 감수 곡선의 감수 상수를 기존의 방법과는 다르게 좀더 객관적으로 구하기 위하여 회귀곡선을 구하여 비교하였다. 연구결과 값을 비교해 보면 전반적으로 감수상수가 작게 나왔고 유량은 크게 나왔다. 4월 감수의 경우 감수 기간이 상대적으로 짧아 감수 상수의 편차가 컸다. 이번에 제안된 방법은 지하수 유출 형태가 잘 구분되는 9월 감수 경우에 일반적인 그래프 방법보다 객관적이고 편리하다. 그리고 무강우기간이나 유출곡선 끝 회귀곡선을 구하는 날 수를 다양하게 해보면 좀더 정확하게 감수 유출 모형을 구할 수 있을 것이다.

## 5. 참고문헌

- Barnes, B.S (1939). "The Structure of discharge-regression curve."
- Demuth, S. (1989). " The Application of the West German IHP Recommendations for the Analysis of Data from Small Research Basins", FRIENDS in Hydrology, IAHS Pub. No. 187:47-60.
- Sugiyama, H.(1996). "Analysis and Extraction of Low Flow Recession Characteristics.", Water Resources Bulletin, June 32(3), pp491-497.
- Hall, F.R. (1968). "Base-flow Recessions - A Review." Water Resources Research 4(5), pp 973-983.
- Nathan, R. J. and T. A. McMahon, (1990). "Evaluation of Automated Techniques for Base Flow and Recession Analyses", Water Resources Research 26(7), pp 1465-1473.
- 윤용남, 1986, 공업수문학, 청문각
- 이동률, 1995, 지하수 감수곡선을 이용한 지하구 함양량 추정과 장기 갈수량 예측, 고려대학교 토목환경공학과 박사학위논문