

일유량 자료에 기초한 기저유출량 및 함양량 산정

이도훈*, 장원재**, ○ 한형구***

1. 서론

유역의 지하수 함양량 및 기저유출량의 파악은 수자원의 효율적인 개발 및 관리에 필요한 중요한 요소중에 하나이다. 유출수문곡선 분리 기술은 수문학적인 배분의 지하수성분과 함양비율의 추정량을 산정하기 위해 사용되어져 왔다. 본 연구에서는 댐에 의해 영향을 받지 않은 중규모 유역에서 일유출량 자료를 수집하여 HYSEP 분석 프로그램과 Automated digital filter technique을 이용하여 하천유출 유출수문곡선을 분석하고 기저유량과 함양량을 추정함으로써 두 분석기법에 대한 적용성을 판단하였다.

2. 유역특성

본 연구에서는 중대하천 유역이면서 댐이 건설되어 있지 않고 하천정비가 시행된 지 10년이 넘어 하천이 비교적 안정상태에 이른 홍천강 유역을 대상으로 하였으며 유역내에 우량 관측자료와 유출자료를 비교적 많이 보유하고 있는 수계를 대상으로 유역을 선정하였다. 북한강의 제 1 지류인 홍천강의 유역면적은 895.69km², 유로연장은 140.2km의 수지상 유역이며, 연평균 강우량은 1,300.7mm이다.

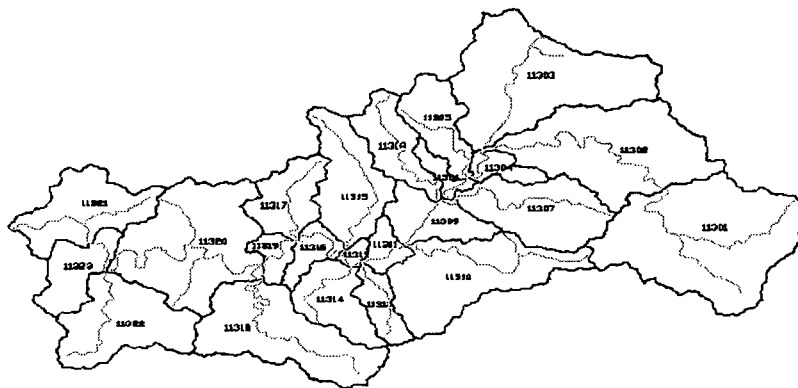


그림 1 홍천강 유역도

- * 경희대학교 토목공학과 교수
- ** 경희대학교 토목공학과 석사과정
- *** 경희대학교 토목공학과 석사과정

홍천강의 양안에는 범람원과 하안단구, 선상지 등의 하천지형이 형성되어 있는데, 이 지형면들은 경작지와 취락 및 도로 등으로 이용되고 있다. 홍천강은 각각 1986년과 1990년에 하천정비기본계획(강원도, 1986; 강원도 1990)이 수립되어 대부분이 개수가 이루어진 상태이다.

3. 기본이론

3.1 HYSEP (HYdrograph SEparation Program) 프로그램의 개요

HYSEP은 U.S. Geological Survey(USGS)에 의해 개발되어서 배급된 공공의 도메인 컴퓨터 프로그램(public domain computer program)이다. HYSEP 프로그램은 하천흐름 유출 수문곡선의 기저유량과 표면유출의 분리를 위해, Fixed interval, Sliding interval, 그리고 Local minimum 기법의 세가지 방법을 사용한다. 이 방법들은 하천유출 유출수문곡선의 낮은점(low point) 사이에서 규칙적으로 그려져 연결되는 선에 대해 세 개의 다른 알고리즘을 가지게 된다. 이 연결되는 선의 배열은 기저유출 수문곡선으로 규정한다. 그 기술은 Pettyjohn 와 Henning (1979)에 의해 개발되어졌다.

지표면 유출의 기간은 경험적인 관계로부터로 계산된다 :

$$N = A^{0.2}$$

(1)

여기서 N은 지표면유출 정지 후에 날의 수, 그리고 A는 배수면적이다. 지수 0.2는 경험적으로 얻어지는 값이다. 유출수문곡선 분리에 대해 사용된 간격 $2N^*$ 는 2N에서 가장 가까운 3과 11사이의 홀수이다(Pettyjohn and Henning, 1979).

Fixed-interval 방법은 기록기간의 첫 날을 시작한 일정한 간격에서 최소유량으로 배정한다. 이 방법은 구한 간격($2N^*$)으로 일정한 값을 배분함으로써 최소량을 계산한다. 이 방법은 바가 수문곡선을 처음으로 가로지를 때까지 윗 방향으로 bar가 $2N^*$ 간격만큼 이동함으로써 보여질 수 있다. Sliding-interval 방법은 고려되고 있는 간격[$0.5(2N^*-1)$]에서 최소의 유량을 알 수 있다. 이 방법은 수문곡선과 만날때까지 $2N^*$ 크기의 bar로 표현되며 각 지점의 유량은 간격의 중간 날짜로 배정된다. 이 bar는 다음 날짜까지 sliding되고 반복 진행된다. Local-minimum 방법은 [$0.5(2N^*-1)$] 간격으로 최소의 함유량인지를 각 날짜별로 확인한다. 만약 만족한다면, 다음에 그것은 local minimum이고 인접한 local minimum과 직선에 의해 연결된다. local minimum 사이의 각각의 날 동안 기저유출 값은 직선보간법에 의해 추정된다.

3.2 Automated digital filter technique의 개요

Automated digital filter technique을 이용하여 유출량에서 기저유출(baseflow)분리할 수 있다. 총유출량에서 기저유출 분리(Baseflow Separation)는 다음 방정식(Nathan and

McMahon, 1990)으로부터 계산된다.

$$q_t = \beta q_{t-1} + (1 + \beta)/2 \times (Q_t - Q_{t-1})$$

(2)

여기서, q_t 는 시간 t(일)에 대한 지표유출이고, Q 는 총유출, β 는 유출계수로서 0.925로 결정하여 사용한다. 그리고 기저유출(Baseflow)은

$$b_t = Q_t - q_t$$

(3)

로서 총유출에서 지표유출을 감함으로써 계산된다. 기저유출은 세가지 기법(3-pass)을 통해 산정된다.

3.3 지하수 함양량 (Ground Water Recharge)

지하수 함양량은 'The recession curve displacement method'를 이용하였고 이 방법은 Arnold & Allen(1999)에 의해 수정되어 다음의 계산절차에 의해 함양량을 계산한다.

- 1) 일유출량을 가로지르는 기저유출곡선에서 하나의 경로(pass)를 만든다.
- 2) 총유출곡선과 기저유출곡선이 만나는 지점(A점)을 찾고 감소상수(a)를 계산한다.

$$a = \ln(q_N/q_A)/N$$

(4)

여기서, q_N , q_A 는 N, A점에서의 유출량, N은 감소기간이고, a의 정확한 추정을 위해 감소기간(N)은 적어도 10일 이상이어야만 한다.

- 3) 총유출량곡선과 기저유출곡선이 만나는 다음점(B_1)을 찾는다.
- 4) A점에서 감수곡선으로 추정하여 B_2 점을 찾는다.

$$q_{B_2} = \frac{q_A}{e^{(nd \times a)}}$$

(5)

여기서 q_{B_2} 은 B_2 점의 유출량이고, nd는 A점에서 B점까지의 기간(일)을 나타낸다.

- 5) A점에서 B점 사이의 기간의 함양량을 계산한다.

$$R = (q_A - q_{B_2}) \times nd$$

(6)

$$R = 0.0372 \times (q_A - q_{B_2}) \times nd / da$$

(7)

여기서 q 는 유출량(cfs), 그리고 da 는 유역면적(mi^2), R 은 길이단위(inch)로 나타낸 함양량이다.

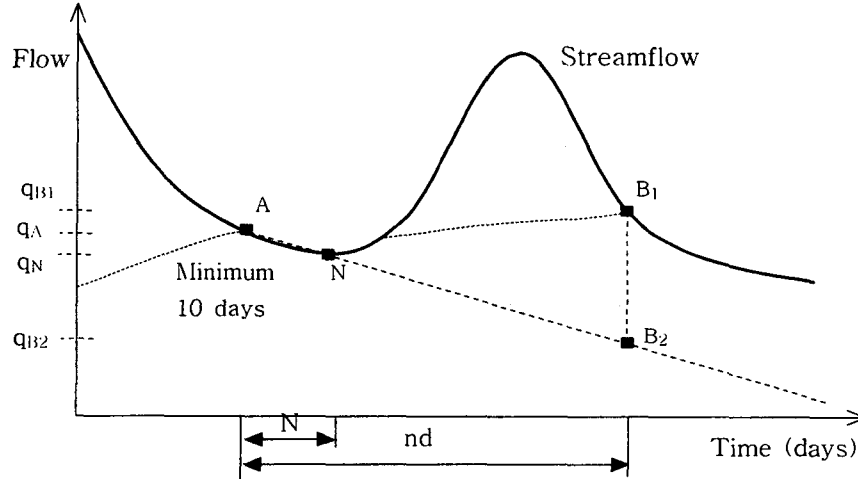


그림 2. 일 하천유출량로부터 추정되는 지하수 함양량의 분석기법

4. 기저유출과 함양량 산정 결과.

본 연구에서는 기저유출의 분리를 통한 기저유량 산정과 함양량 추정을 위하여 비교적 중대규모($895.69km^2$)인 홍천강 유역을 대상지점으로 선정하였다. 유출수문곡선의 자료기간으로는 1995년 1월부터 12월까지를 분석하였다. HYSEP 프로그램에서는 기저유출율(baseflow/streamflow)이 21.04 ~ 22.06 %의 범위였으며 또 다른 프로그램인 filter method에서는 15.57 ~ 36.12 %의 범위로 계산되었다. filter method에 의한 함양량 추정은 약 36.8 %를 나타내었다. HYSEP 프로그램은 세가지 방법이 대체로 고른 값을 가지는 반면에 필터 방법은 기법(pass)에 따라서 약 15%정도의 차이를 나타냈고 기법2 (Pass 2)가 HYSEP 프로그램의 기저유출과 대략적으로 비슷한 값을 보였다.

표 1은 HYSEP 프로그램으로 계산된 전체 하천유출과 기저유출율을 나타내었고 그림 3은 Local-minimum 방법으로 계산된 기저유출을 보여준다. 표 2는 Digital filter method에 의한 기저유출과 함양량 추정을 계산하였고 그림 6은 Digital filter method로 산정된 홍천강의 기저유출을 보여준다.

Year	Method	Mean stream flow (m ³ /s)	Mean base flow (m ³ /s)	Mean surface runoff (m ³ /s)	Total stream flow (mm)	Total base flow (mm)	BF/stream flow (%)	Base flow (m ³ /s/km ²)
95	fixed-interval		4.17	15.02		147.04	21.72	0.00466
	sliding-interval	19.18	4.04	15.14	676.97	142.46	21.04	0.00452
	local-minimum		4.23	14.95		149.33	22.06	0.00474

표 1 HYSEP method 결과

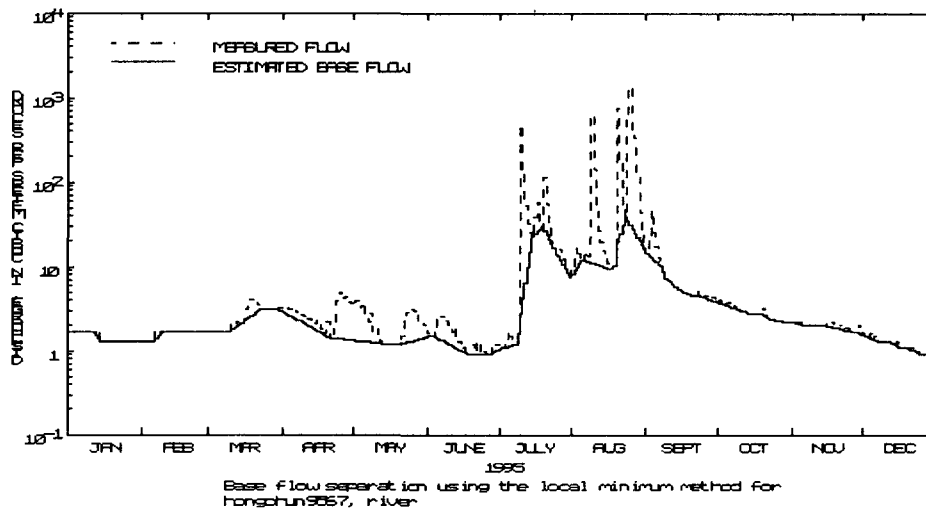


그림 4 Local-minimum 방법 결과

Year	Total Stream flow (mm)	Base flow (pass1) (mm)	BF/stream flow (pass1) (%)	Base flow (pass2) (mm)	BF/stream flow (pass2) (%)	Base flow (pass3) (mm)	BF/stream flow (pass3) (%)	Re-charge (mm)	R/stream flow (%)
1995	675.28	243.94	36.12	140.83	20.85	105.13	15.57	248.49	36.80

표 2 Digital Filter method 결과

Hongchun (1995)

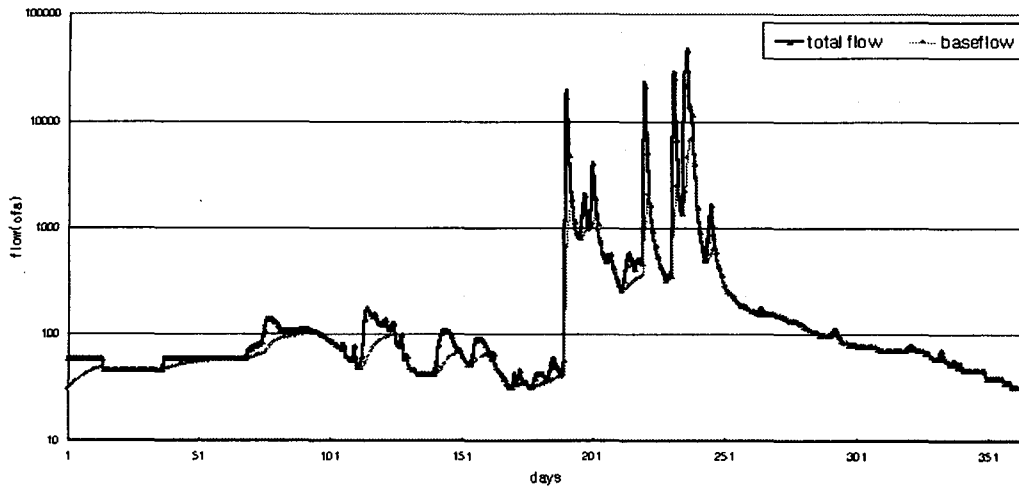


그림 5 Digital filter method에 의한 결과

5. 결론 및 토의

본 연구는 홍천강 유역의 기저유출과 함양량의 상태와 동향을 적은 시간을 가지고 능률적으로 계산함으로써 홍천강 유역의 기저유출과 함양량 특성을 파악하고자 하였다.

기저유출율은 10월부터 상승하기 시작하여 건기인 1-3월을 거쳐서 4월에 이르러 줄어들고 우기인 7, 8월에는 최소가 된다. 지하수 함양량은 강수의 지하침투량과 해당지역의 지하수 이용량에 따라 변하는 수문요소이다. 홍천강 유역에서는 산악지형과 전답이 많아서 지하수 함양율이 높게 나타난 것으로 보인다. 비록 HYSEP 프로그램과 Digital filter method가 유출수문곡선 분리에 대해 알고리즘들을 일관되게 적용할 지라도, 유출수문곡선 분리는 주관적인 과정으로 남게되므로 신중한 판단이 요구된다.

사사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(M101KI010001-01K0901-01011)에 의해 수행되었습니다.

6. 참고문헌

김경수, 조기태, 2000. 대청댐 유역의 기저유출분리를 통한 기저유량 산정에 관한 연구, Journal of the Korean Society of Groundwater Environment, Vol. 7, No. 1, 15-19.

Kirk A. Sinclair and Charles F. Pitz. 1999. Estimated Baseflow Characteristics of Selected Washington Rivers and Streams. Water Supply Bulletin No. 60.

J. G. Arnold and P. M. Allen, 1999 Automated methods for estimating baseflow and

ground water recharge from streamflow records, Journal of The American Water Resources Association Vol.35 , No.2, page 411~424

A.T.Rutledge and C.C.Daniel,III. 1994. Testing an Automated Method to Estimate Groundwater Recharge from Streamflow Records. Ground Water Vol.32, No, 2.

박재성, 김경호, 전민우, 김지수, 1999. 소유역의 지하수함양을 추정기법, Journal of the Korean Society of Groundwater Environment, Vol.6, No.2

김성준, 채효석, 1998. 격자기반의 토양수분추적에 의한 지하수 함양량 추정기법 개발. 한국농공학회 학술발표회 논문집.

이동률, 윤용남. 1996. 우리나라의 지하수 함양량 추정과 분석. 대한토목학회 논문집, 제 16권 제 II-4호

한정상, 한찬, 1999. 3차원 지하수모델과 응용, p834-852