

강우-유출 자료에 의한 Clark 모형의 저류상수 결정
Determination of the Storage Constant
for the Clark Model by based on the Observed Rainfall-Runoff Data

안태진*, 최광훈**
Tae Jin Ahn, Kwang Hoon Choi

ABSTRACT

The determination of feasible design flood is the most important to control flood damage in river management. Model parameters should be calibrated using observed discharge but due to deficiency of observed data the parameters have been adopted by engineer's empirical sense. Storage constant in the Clark unit hydrograph method mainly affects magnitude of peak flood. This study is to estimate the storage constant based on the observed rainfall-runoff data at the three stage stations in the Imjin river basin and the three stage stations in the Ansung river basin. In this study four methods have been proposed to estimate the storage constant from observed rainfall-runoff data. The HEC-HMS model has been adopted to execute the sensitivity of storage constant. A criteria has been proposed to determine storage constant based on the results of the observed hydrograph and the HEC-HMS model.

Keywords : Clark Model, Storage Constant, HEC-HMS Model

1. 서 론

Clark 모형의 저류상수(K)는 구간내 저류량의 유출량에 대한 비를 나타내는 상수로서 계측유역의 저류상수는 ① 수문곡선의 변곡점에서의 평균유량을 변곡점의 기울기로 나눈 값을 사용하거나 ② 감수곡선부의 유출량과 저류량의 감소율의 관계를 이용하는 방법 또는 ③ 수문곡선에서 감수곡선 부분을 해석하는 방법이 있다. 그러나 미계측 유역에서는 Clark, Linsley, Sabol, Russel 등의 경험식을 사용하게 된다. 그러나 이와 같은 경험식은 외국에서 개발된 것으로 우리나라의 지형적 특성과 차이가 있음에도 불구하고 각종 유출모의모형에 그대로 이용되고 있는 실정이다. 본 연구에서 Clark 모형의 적용에 있어서 저류상수 추정을 위해 실측수문곡선에서 변곡점을 4가지 방법에 의해 선정하고 각 변곡점에 대한 저류상수는 감수곡선부의 유출량과 저류량의 감소율 관계를 이용해 저류상수를 산출하였다. 또한 실측수문곡선에서 산출된 저류상수의 적합성을 파악하기 위하여 실측수문곡선으로부터 구한 매개변수를 유출량 산정프로그램인 HEC-HMS에 적용시켰다. HEC-HMS 모형을 저류상수에 관하여 실행하여 산정되는 첨두 유출량을 실측수문곡선의 첨두 유출량과 비교함으로써 적절한 저류상수를 결정코자 하였다.

* 정희원·한경대학교 이공대학장·E-mail : ahntj@hknu.ac.kr

** 정희원·한경대학교 토목공학과 석사과정·E-mail : j23p61@hanmail.net

2. Clark 모형의 저류변수 산정

2.1 선형저수지의 저류방정식의 관계를 이용하는 방법

유출수분곡선에서 변곡점에 해당하는 시간에서 유역에 대한 유입이 끝나므로 저류상수 K 는 식 (1)과 같다. 그럼 1에서와 같이 Clark 모형에 적용되는 저류상수는 수분곡선의 변곡점에 접선을 그려 시간축과 만나는 점과 변곡점사이의 시간차로 산정되는 수분곡선에 의한 방법이 적용된다.

$$K = -\frac{O}{dO/dt} \quad (1)$$

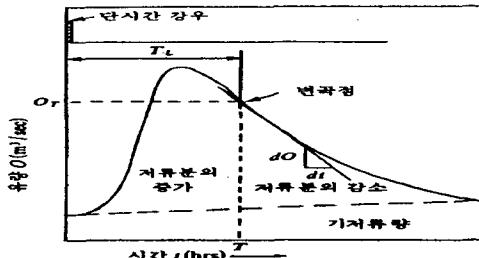


그림 1. 저류방정식 관계를 이용한 저류상수 산정

2.2 실측수분곡선의 감수곡선부의 유출량과 저류량의 감소율의 관계를 이용하는 방법

수분곡선에서 변곡점에서 단위시간 떨어져 있는 수분곡선상의 두 유량점을 취하여 저류상수 K 의 항으로 나타내면 식 (2)와 같다.

$$K = \frac{A}{(O_1 - O_2)} \quad (2)$$

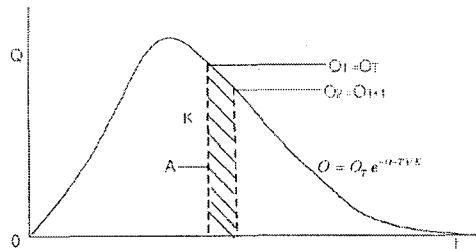


그림 2. 감수곡선부의 유출량과 저류량 감소율의 관계를 이용한 방법

2.3 수분곡선에서 감수곡선 부분을 해석하는 방법

Sabol(1998)은 다음과 같이 계측유역에서의 수분곡선에서 변곡점 이후의 수분곡선의 감수곡선 부분을 해석함으로써 Clark모형에서의 저류상수 값을 추정해낸 바 있으며 저류상수 K 는 식 (3)으로 얻을 수 있다.

$$K = \frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{\ln K_r} \quad (3)$$

여기에서 K_r 은 감소계수이다.

식 (3)으로 나타내어지는 수분곡선 감수분석에 의해 Clark 모형의 저류상수를 추정할 수 있다.

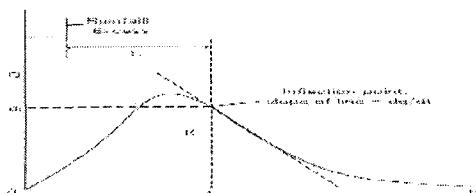


그림 3. 감수곡선 부분을 해석하는 방법

3. 저류상수의 산정

본 연구에서는 변곡점을 이용한 저류상수 결정시 임의성을 내포하고 있는 변곡점 선정방법을 정량적으로 판단하기 위해 Method1 ~ Method4로 정리 제안하고 각 방법에 따른 변곡점을 선정 후 변곡점에 대한 저류상수는 실측수문곡선을 이용한 저류상수 산정방법 중 감수곡선부의 유출량과 저류량의 감소율의 관계를 이용하는 방법을 적용하여 산출하였고, 제안된 각 변곡점 산정방법에 대해 관측수문곡선에 적용시 나타나는 문제점을 파악하고 최적의 변곡점 산정 방법을 결정하고자 한다.

3.1 $T_p = T_c$ 를 이용한 방법(Method 1)

정현식을 이용한 저류상수 결정방법 중 Russel공식과 $K=T_p$ (윤석영과 홍일표, 1995)를 이용하여 아래와 같은 가정하에 실측수문곡선에 적용하였으며, 세부 방법은 아래와 같다.

step 1.

$K = \alpha T_c$, $\alpha = 0.8 \sim 1.2$ 의 범위에서 주관적으로 적용하며 대부분 1.0을 적용함. 따라서 $K=T_c$

step 2.

$K = T_p$

step 3.

$T_p = T_c$ 이 되며 실측 강우-유출자료에서 구해진 T_p 값을 유효우량의 끝점에서 T_p 값 만큼의 시간간격을 두어 그 지점을 변곡점으로 지정후 감수곡선부의 유출량과 저류량의 감소율의 관계를 이용하여 저류상수를 결정함. 1개의 도달시간과 1개의 저류상수 산정.

3.2 수문곡선의 도심을 이용한 방법(Method 2)

step 1. 수문곡선의 도심을 변곡점으로 지정(Subramanya, 1994).

step 2. 수문곡선 도심을 변곡점으로 지정한 후 두개의 도달시간 T_c 을 산정. 즉, 유효우량 끝점부터 변곡점까지의 시간을 도달시간1(T_{c1}), 유효우량의 중심부터 변곡점까지의 시간을 도달시간2(T_{c2})으로 산정.

step 3. 변곡점에서의 감수곡선부의 유출량과 저류량의 감소율의 관계를 이용하여 저류상수를 결정. 1개의 저류상수와 2개 도달시간을 산정.

3.3 수문곡선의 상승기점에서 첨두유량발생시간까지 시간차를 이용한 방법(Method 3)

step 1. 도달시간은 수문곡선의 상승기점에서 첨두유량 발생시각까지의 시간(윤태훈과 박진원, 2002).

step 2. 우효우량 끝점부터 도달시간을 적용함으로써 변곡점1을 결정

step 3. 유효우량의 중심부터 도달시간을 적용함으로써 변곡점2를 결정

step 4. 두개의 변곡점에 대한 저류상수를 감수곡선부의 유출량과 저류량의 감소율의 관계를 이용하여 결정. 2개의 저류상수와 1개의 도달시간 산정.

3.4 수문곡선의 첨두유량 발생시각과 도심을 이용한 방법 (Method 4)

step 1. 직접유출 수문곡선의 첨두시간과 수문곡선의 1차모멘트 값사이에 변곡점이 있음을 확인(윤석영과 홍일표, 1995).

step 2. 첨두유량 발생지점과 수문곡선의 도심 사이의 단위시간당 유량지점을 변곡점으로 선정.

step 3. 구간내의 변곡점에 대한 감수곡선부의 유출량과 저류량의 감소율의 관계를 이용 저류상수결정.

step 4. 각 변곡점에 대한 도달시간 산정(두 개의 값을 산정)

- 도달시간의 시작점을 유효우량의 끝점을 기준으로 한 경우
- 도달시간의 시작점을 유효우량의 중심점으로 한 경우

step 5. 한 개의 저류상수 값에 두개의 도달시간 산정

4. 저류상수의 결정

유출수문곡선의 변곡점 산정을 위해 제안된 4가지 방법에 대해 실측수문곡선에 적용 분석한 결과 Method 1과 Method 3은 실측수문곡선의 감수부 측에 너무 치우쳐 변곡점의 정의(하강수문곡선상의 변곡점은 하천으로의 지표면 유출이 끝나는 시각을 표시)에 어긋났으며 산출된 저류상수 또한 각각 산출되어 실측수문곡선에서 저류상수를 산출하기 위한 변곡점 산정방법으로 적절하지 못한 것으로 판단된다. Method 4의 경우 설계자의 주관적인 판단에 의해 변곡점이 선정될 소지가 있고 첨두유량 발생시간과 수문곡선 도심내에 위치하는 변곡점에 대한 저류상수도 편차가 심하여 많은 임의성을 내포하고 있었다. 반면 Method 2의 경우에는 실측수문곡선에서 변곡점 선정방법이 가장 독립적이었으며 산출된 값 또한 기준에 제시된 값들과 잘 부합하였다. 따라서 실측수문곡선을 이용한 변곡점 산정 후 저류상수 결정시, 유출수문곡선의 도심을 이용한 변곡점 산정 방법(Method 2)이 타당한 것으로 판단된다.

HEC-HMS를 통해 모의된 저류상수를 관측수문곡선상에서 계산된 저류상수와 비교시 수문곡선 형상에 따라 약간의 차이를 보였다. 우선 단순수문곡선 형태를 보이는 호우사상에서는 비교적 HMS를 통해 모의된 저류상수와 Method 2에 의해 산정된 저류상수가 유사한 수치를 보였으나 복합수문곡선 형태의 호우사상에서는 두 저류상수의 값이 차이를 보여 Method 2 방법은 단순수문곡선에 적용시 좋은 결과를 모의 할 수 있는 것으로 판단된다. 따라서 관측강우-유출자료를 이용한 저류상수의 결정에 있어서 유출수문곡선의 형상을 단순형상인 경우가 추천되며, 복합형상인 경우는 수문곡선의 도심이 왜곡되는 경우가 빈번하므로 배제하는 것이 바람직하다.

적정 저류상수 결정하기 위하여 Method 2와 같이 실측수문곡선을 이용해 산정된 저류상수(K_{O_2})와 모의된 저류상수(K_c)를 이용하여 다음과 같은 기준 1 및 기준 2를 제시하였다.

기준 1 : 계산첨두유량(Q_{pc})이 관측첨두유량(Q_{po})에 근접하는 계산 저류상수(K_c)를 K^* 로 확정

기준 2 : 계산첨두유량(Q_{pc})이 관측첨두유량(Q_{po})에 근접하는 계산 저류상수(K_c)가 K_{O_2} 와 유사하면

K^* 로 확정

단, 기준1과 기준2의 값이 상이할 때, 유출수문곡선의 형상이 단순형일 경우에는 기준2의 K_{O_2} 값으로 결정하고, 복합형상일 경우에는 기준1의 저류상수를 따른다.

실측수문곡선에서 변곡점을 이용한 저류상수 산정결과, 각 지점의 호우사상에 적당한 저류상수는 다음과 같다. 임진강 유역의 관인지점 03년 8월 6일 호우사상의 경우 8.0hr, 군남지점의 03년 8월 6일의 경우 21.0hr, 06년 7월 15일의 경우 17.0hr가 저류상수로 적정할 것으로 사료되며, 작성 지점의 03년 8월 23일의 강우사상에 적당한 저류상수는 17.73hr로 판단된다.

안성천 유역의 각 지점별 저류상수의 적정저류상수는 우선 공도 지점의 06년 7월 27일의 경우 10.27hr, 평택 지점의 98년 8월 6일은 12.0hr이며 02년 8월 6일의 경우 13.89hr가 적정할 것으로 판단되며, 마지막으로 동연교 지점의 98년 8월 6일 호우사상의 저류상수는 11.0hr가 타당하다고 사료된다. 각 지점의 해당 호우사상에서 홍수량 산정시에는 제시된 저류상수 활용함으로써 적정 홍수량을 산정할 수 있을 것이다.

5. 결 론

1. 실측수문곡선상에서 변곡점을 이용한 저류상수 산정방법을 4가지로 제안하였으며, 각 방법을 관측수문곡선에 적용해 본 결과 Method 1과 Method 3은 실측수문곡선의 감수부 측에 너무 치우치며 산출된 저류상수 값이 각각 산출되었고, Method 4의 경우 설계자의 주관적인 판단에 의해 변곡점이 선정될 소지가 있고 산정된 저류상수도 편차가 심하여 위의 방법은 적절하지 못한 것으로 판단된다. Method 2의 경우 변곡점 선정방법이 가장 독립적이며 산출된 값 또한 기준에 제시된 값들과 잘 부합하여 실측수문곡선에 적용에 적절하다고 사료된다.

2. HEC-HMS를 통해 모의된 저류상수를 관측수문곡선상에서 계산된 저류상수와 비교시 단순수문곡선 형태를 보이는 호우사상에서는 비교적 HMS를 통해 모의된 저류상수와 Method 2에 의해 산정된 저류상수가 유사한 수치를 보였으나 복합수문곡선 형태의 호우사상에서는 두 저류상수의 값이 차이를 보여 Method 2 방법은 단순수문곡선에 적용시 좋은 결과를 모의 할 수 있는 것으로 판단된다.

3. 적정 저류상수 결정하기 위하여 Method 2와 같이 실측수문곡선을 이용해 산정된 저류상수와 모의된 저류상수를 이용 기준 1 및 기준 2를 제시하였으며, 임진강 및 안성천 수위 관측소 지점에서의 강우-유출량자료에 적용한 결과, 적절한 기준임을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(06건설핵심B01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 윤석영, 홍일표 (1995). “Clark 모형의 매개변수 산정방법 개선.” 대한토목 학회논문집, 대한토목학회, 제 15 권, 제 5호, pp. 1287-1300.
2. 윤태훈, 박진원 (2002). “Clark 단위도의 저류상수 산정방법의 개선.” 한국수자원학회 학술발표회 논문집 (II), pp. 1334 ~ 1339.
3. 정종호, 금종호, 윤용남 (2002). “도달시간 산정 방법의 개발”, 한국수자원학회, 학술논문집, 제 35권, 제 6 호, pp. 715-727.
4. Subramanya, K., Engineering Hydrology, McGraw-Hill Office, 1994