홍수 유출 수문곡선 산출에 단위유량도 적용 오차의 정도 검토

Review on Application Tolerance of Unit Hydrograph for Calculating Flood Runoff Hydrograph

유 주 환 *· 윤 여 진 **

Ju-Hwan Yoo · Yeo Jin Yoon

Abstract

In this study several unit hydrographs by rainfall storms are derived and moving averaged unit hydrograph is extracted from them based on the rainfall-runoff data in a small basin 8.5 km^2 wide. And peak discharges and peak times of the unit hydrographs are investigated and reviewed. And then a representative unit hydrograph of the moving averaged one is applied to the linear convolution integration for obtaining the flood discharge hydrograph and peak discharge and time of its result are researched and inspected. Variance in application of the representative unit hydrograph in a basin on assumption of linearity is appeared and this is given as a counterevidence about that the runoff response from rainfall on a basin has nonlinear characteristics. And As a result of application of derived representative unit hydrograph the errors in peak discharge and time are investigated.

Key words : Unit Hydrograph Theory, Assumptions of Unit Hydrograph, Linearity, Rainfall-Runoff, Flood Discharge

1. 서론

유역내 홍수 방어를 위한 구조물을 설계할 경우나 홍수 피해 예방을 위한 제도적인 대책을 수립하기 위해서 설계 강우나 예측 강우 사상에 상당하는 홍수량이나 홍수 수문곡선을 산출하는 수문분석 과정이 요구된다. 이와 같은 경우로 하천 정비계획이나 하천 치수계획에서 유역내 홍수량이나 홍수 수문곡선을 구하기 위해서 유역평균 강우에 대하여 단위유량도(Sherman, 1932)를 적용하여 유역 홍수량을 산출하는 경우가 대부분이다. 이 경우로 국내에서 Snyder, Clark, Nash, Dooge, HYMO, SCS, Nakayasu, GIUH 등 여러 단위유량도가 적용되어 왔다. 이 때 단위유량도의 기본 가정에는 우선 강우가 유역 내에서 시간 및 공간적으로 균일성을 갖는다는 것이 있다. 즉 강우 지속기간 동안에서 강우강도가 일정해야 하며 공간적으로도 균일하게 분포해야 한다. 그러나 실제 자연 강우의 경우 시간적 또는 공간적으로 다양하게 변화하기 때문에 이 가정은 일반적으로 부합되지 않는다(Singh, 1989; 선우중호, 2006). 이와 더불어 근간을 이루는 가정은 유역내 강우-유출이 선형성을 갖는다는 것이다. 즉 강우가 유역 시스템에 입력되어 홍수량으로 유출되는 경우 유역을 선형 시스템(Linear System)으로 보는 것이다. 그러나 실제적으로 유역 유출에서 이와 같은 선형성(Linearity)의 가정에 대한 논란은 오래되어 왔다(Minshall, 1960; Singh, 1976; 1989외 다수). 그럼에도 불구하고 비선형 유출해석의 어려움에 비하여 단위유량도 이론의 간편성 때문에 국

* 정회원 · 영동대학교 토목환경공학과 부교수 · E-mail : jhyoo@youngdong.ac.kr
** 정회원 · 건양대학교 건설시스템공학과 부교수 · E-mail : yyj0806@konyang.ac.kr

내에서도 많은 연구가 되어 왔다(국내외 연구 다수). 이 때 단위유량도 이론의 기본 가정에 접근하기 위해서는 적용 유역을 소규모로 적용해야 하는 것에는 인식을 같이 해 왔지만 실제 소유역의 규모조차도 구체적으로 검토되지 못하고 있는 형편이다. 요컨대 유역내 홍수 유출은 실제적으로 강우가 시공간적으로 불균등하고 유출의 비선형성인 특성을 갖지만 비선형 유출 해석이 어려운 반면에 선형적 단위유량도 접근법은 간편하기 때문에 실무에서 활용되고 있다. 하지만 앞서 언급한대로 단위유량도 방법의 가정인 강우의 시간적 공간적 균일성, 유역 유출의 선형성에 한계가 있기 때문에 단위유량도를 적용하는 경우 홍수량 또는 홍수수문곡선 산출에 오차를 수반한다.

이에 본 연구에서는 국내 소유역의 강우-유출 자료를 분석하여 소유역에 대한 단위유량도의 적용성을 조사, 검토하였다. 요컨대 선정된 작은 유역의 강우-유출 자료를 기반으로 강우사상별 여러 단위유량도와 이동 평균한 유역 대표 단위유량도를 유도하였고 유역 특성과 단위유량도에 관하여 검토하고 유도한 유역 대표 단위유량도를 강우사상별로 선형적 회선(Convolution) 적분하여 홍수 수문곡선을 산출한 다음 관측 수문곡선과 비교함으로써 단위유량도의 적용에 대한 오차 정도를 조사하고 단위유량도의 적용성을 검토하였다.

2. 단위유량도 산출 검토

2.1 대상 유역 및 수문자료 선택

단위유량도 적용성을 검토하기 위해서 기본 가정에 접근할 수 있도록 소규모 유역을 택하였다. 대상 유역은 충분히 작은 유역으로서 한국건설기술연구원이 운영하고 있는 설마천 시험유역을 선택하였다. 위치는 한강권역 내 속해 있는 임진강의 하구로부터 상류 방향으로 약 46 km 지점에 있으며 적용 대상은 설마천 유역내 있는 전적비교 관측소 지점 유역을 택하였다. 경위도상으로는 동경 126° 55′ 54″ ~ 126° 54′ 57″, 북위 37° 54′ 57″~ 37° 56′ 23″ 에 위치한다. 적용 유역의 면적은 8.5 km^2 이고 유로 연장이 5.8 km 정도 되는 미개발 지대로서 대부분이 산림지대이고 약간의 전답이 있는 상황이다. 그리고 본 연구에서는 총 10개 강우 사상을 선택하였다(유주환과 윤여진, 2009). 강우-유출 자료로부터 직접유출량과 초과우량을 산출하여 이로부터 유역의 단위유량도를 유도하였다. 직접 유출량은 유출 수문곡선에서 수평직선분리법으로 기저유출을 분리하여 산출하였고 초과우량은 Horton의 침투모형을 이용한 방법을 적용하였다.

2.2 단위유량도 유도

2.2.1 강우사상별 단위유량도

10개 강우사상별 단위유량도를 각각 유도하였다. 강우량, 유출량, 단위도 종거를 각각 $P_i(i=1,2,...,L)$, $Q_i(i=1,2,...,N)$, $U_i(i=1,2,...,M)$이라 하면 선형 회선적분(Linear convolution Integration)에 의한 유출 수문곡선의 중첩은 다음과 같은 행렬식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} P_1 & 0 & \cdots & 0 \\ P_2 & P_1 & \cdots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ 0 & P_L & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ 0 & 0 & 0\,0\,0 & P_L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ U_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Q_N \end{bmatrix} \tag{1a}$$

$$\underline{P}\,\underline{U} = \underline{Q} \tag{1b}$$

여기서 L은 강우량의 종거 수이고M은 단위유량도의 종거 수이고 N은 유출 수문곡선의 종거 수로서 $N = M + L - 1$이 성립된다. 이 행렬식으로부터 단위도 종거 벡터인 $\underline{U}$를 구하기 위해서 선형회귀분석법을 적용할 수 있고 행렬식으로는 다음 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\underline{U} = [\underline{P}^T \underline{P}]^{-1} \underline{P}^T \underline{Q} \tag{2}$$

호우별로 단위유량도를 산출하면 단위 유량도가 상당한 편차를 보였다. 강우 사상별로 유도된 단위유량도의 첨두치(Peak discharge)와 첨두 발생시간(Peak time)을 정리하면 표 1과 같다.

표 1. 단위도의 첨두량과 첨두발생시간

Storm No	첨두유량(A)	lA-Blx100/B(%)	첨두발생시간(C)	lC-Blx100/B(%)
1	0.150	19.7	5	29.6
2	0.108	42.5	2	71.8
3	0.060	67.7	14	97.2
4	0.118	36.7	2	71.8
5	0.161	13.7	22	209.9
6	0.334	78.7	12	69.0
7	0.164	12.4	4	43.7
8	0.355	89.9	1	85.9
9	0.219	17.1	4	43.7
10	0.200	7.0	5	29.6
평균(B)	0.1870	38.5	7	75.2
분산	0.0090		46	

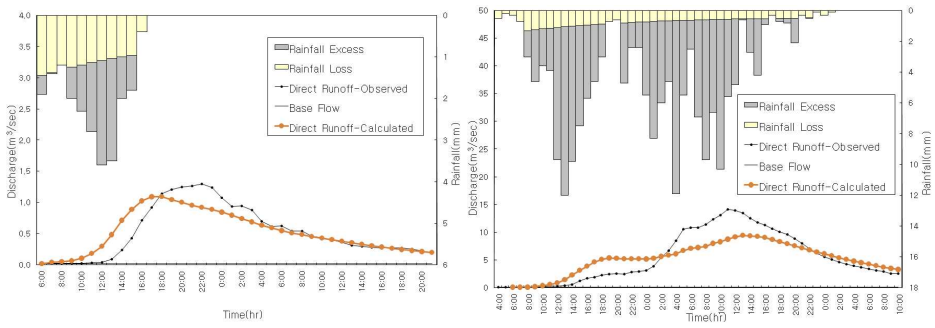
10개 강우 사상으로부터 유도한 단위유량도의 첨두량 평균치는 0.187 $(m^3/s)/(mm/hr)$이고 첨두발생시간은 7 hr로 나타났다. 단위유량도의 첨두치는 평균치 0.187보다 크게는 90%까지, 평균 38% 정도의 차이를 보였다. 그리고 첨두 발생시간은 평균치 7 hr보다 크게는 2배 이상, 평균 75% 정도의 차이를 보여 유도한 단위유량도의 특성치가 상당히 큰 분산을 보이고 있다. 이는 단위유량도의 평균치에 상당한 분산이 있으므로 평균 단위유량도를 유역 대표치로 이용하는 것은 큰 오차를 수반할 수 있다는 것을 암시한다. 물론 이 원인에는 유출수문곡선 관측치에는 수위-유량곡선을 적용한 오차도 있을 수 있지만 첨두치와 발생치의 분산이 심한 정도를 볼 때 유역 유출의 선형성에 의문을 갖게 한다. 한편 강우강도가 단위유량도에 미치는 영향을 분석하기 위해서 강우강도와 단위유량도의 첨두치와 첨두시간의 관계를 분석하면 강우강도가 증가하면 단위유량도의 첨두치는 증가하고 첨두시간은 감소하는 경향을 보여준다.

2.2.2 유역 대표 단위유량도 선택

한편 단위유량도의 이론에 따라 유역을 대표하는 단위유량도를 구하기 위해서 강우사상별로 유도한 단위유량도를 평균하였다. 산술평균한 단위유량도는 강우사상별로 유도한 단위유량도에 내재한 진동부분으로 인하여 단위유량도 곡선의 상승부와 하강부에 진동이 나타난다. 이와 같은 진동 부분에 이동평균(Moving Average)을 적용하여 진동을 제거하였고 종거의 합계가 단위량이 되도록 하였다.

3. 단위유량도 적용 검토

앞서 산출한 유역 대표 단위유량도의 종거를 벡터 $\underline{U}$로 하여 회선적분 식 (1)에 적용하여 유출량($\underline{Q}$)을 산출할 수 있다. 10개 중 2개의 강우 사상에 대하여 대표 단위유량도를 적용하여 유출수문곡선을 구하고 관측한 수문곡선과 비교하기 위해서 도시하면 그림 1과 같다.



(a) the storm No.1(1998.3.19)　　(b) the storm No.5(2000.9.15)

그림 1. 수문곡선 관측치와 대표단위유량도 적용치 비교

그림 1에서 보는 바와 같이 직접유출 수문곡선 첨두치 및 발생시간의 관측치와 계산치 사이에 상당한 차이를 보이고 있다. 첨두치와 발생시간을 비교하면 유출량 첨두치의 경우 가장 크게는 58%까지, 평균 30% 정도 차이를 보였고 발생시간을 보면 가장 크게는 57%까지, 평균 25% 정도의 편차를 보이고 있다.

4. 결론

1). 앞서 조사된 바와 같이 분산이 심한 평균 단위유량도를 유역 대표단위도로 이용할 경우 상당한 오차를 수반할 수 있다는 것을 암시하고 첨두치와 첨두 발생시간에 심한 분산은 유역 유출의 비선형성을 반증한다.

2). 적용한 소유역의 유출 또한 비선형적 거동을 보여주고 소유역의 홍수 유출량을 산출에 단위유량도를 사용할 경우에도 일정 부분 오차가 수반됨을 시사해 준다.

3). 기본가정과 달리 단위유량도는 강우강도에 따라 달라지는 경향을 보여주기 때문에 추후 이에 대한 보다 심층적인 연구가 필요하다.

참고문헌

선우중호(2006), **수문학** 제2판, 동명사

유주환, 윤여진(2009). "Horton의 침투 공식을 적용한 초과우량 산출 사례." **대한토목학회 정기학술대회 발표논문집**, 대한토목학회, pp. 582-585.

Minshall, N.E.(1960). "Predicting storm runoff on small experimental watersheds." Journal of the hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers 86(HY8), pp.17-38.

Sherman, L.K.(1932). "Stream flow from rainfall by the unit graph method." *Engineering News-Record* 108, pp.501-505.

Singh, V.P.(1979). "A uniformly nonlinear hydrologic cascade model." *Irrigation and Power* 36(3), pp.301-317.

Singh, V.P.(1988). *Hydrologic Systems, Rainfall-runoff Modeling Vol. I*, Prentice-Hall.