

소유역 침투홍수량 과다 산정에 대처하는 매개변수 조정 방안

Parameter Adjustment to Prevent the Overestimation of Peak Discharge in a Small Watershed

김종천* · 정종호**

Kim, JongChun*, and Jeong, Jongho**

Abstract

We revisit empirical methods to prevent the overestimation of peak discharge in a small watershed, in particular investigating the time-area method, which has not been considered in the overestimation problem of peak discharge. To avoid misapplying the same inlet time between the unit hydrograph and rational formula, distinct parameter adjustments for each method are proposed. We adopt the secondary basin response time for the unit hydrograph, rainfall duration for the rational formula, and time of concentration for the time-area method, as suitable parameters to adjust the estimation of peak discharge. In conclusion, adding 10 minutes to secondary basin response time, 20 minutes to rainfall duration, and 30 minutes to time of concentration, respectively, yields estimates within a reasonable range of specific discharge in a small watershed.

Key words : Small Watershed, Flood, Unit Hydrograph, Rational Formula, Time-Area Method

요 지

실무에서 소유역 침투홍수량이 크게 산정되는 문제에 대처하고자 경험적으로 제시된 기존 방법의 이론적 배경을 재검토하였다. 소유역 침투홍수량 과다 산정 문제에서 다루지 않았던 시간-면적방법도 처음으로 고려하였다. 그동안 유입시간 개념으로 증가시킨 도달시간을 단위도법과 합리식에 동일하게 적용하여 발생한 혼란을 해결하고자 홍수량 산정방법별로 구분하여 매개변수를 조정하는 방안을 제안하였다. 침투홍수량을 조정하는 매개변수로 단위도법은 2차 유역반응시간, 합리식은 강우지속기간, 시간-면적방법은 도달시간을 채택하였다. 비홍수량 비교를 통하여 단위도법은 2차 유역반응시간에 10분(7~10분), 합리식은 강우지속기간에 20분(15~30분), 시간-면적방법은 도달시간에 30분(20~40분)을 각각 더하는 것이 실무에서 활용가능한 적정 매개변수 조정 방안으로 검토되었다.

핵심용어 : 소유역, 홍수량, 단위도, 합리식, 시간-면적방법

1. 소유역 침투홍수량 과다 산정 원인 및 혼선 유발 요인

소유역의 홍수량을 단위도법, 합리식 등으로 산정할 경우 침투홍수량이 지나치게 크게 계산되는 경향이 있으며, 이는 그동안 국내외에서 지속해서 논의된 문제이다(e.g., Melching and Marquardt, 1997; Straub et al., 2000; Jeong and Yoon, 2003; Jeong, 2005; Kim et al., 2017). 소유역에서 침투홍수량

이 과다하게 산정되는 원인으로 짧은 도달시간(T_c , time of concentration)을 들 수 있다. 도달시간은 표면류 흐름의 유하시간과 하도 흐름의 유하시간의 합으로 계산되는데, 연속형 Kraven 공식(MLTMA, 2012)과 같은 유속 기반의 도달시간 경험공식을 적용하면 대부분 소유역의 도달시간은 1분 미만으로 매우 짧게 계산된다. 이때, 짧은 도달시간이 과다한 침투홍수량으로 이어지는 관련 매개변수는 홍수량 산정 방법마다 차이가 있다. Clark (1945) 단위도, SCS (1956)

*교신저자, 정회원, 하준이앤씨(주) 기업부설연구소 부소장/차장(Tel: +82-31-450-6396, Fax: +82-31-450-6397, E-mail: arz6oiof@naver.com)

Corresponding Author, Member, Acting Director, Hajon Engineers and Consultants Co., Ltd.

**정회원, 하준이앤씨(주) 대표이사(E-mail: jhwater@hotmail.com)

Member, CEO, Hajon Engineers and Consultants Co., Ltd.

단위도 등 단위도법에서는 짧은 도달시간에 의한 짧은 유역 반응시간이 단위도의 침투값을 크게 산정하여 유역 대비 과도한 침투홍수량을 야기한다(Fig. 1). 반면, 합리식에서는 짧은 도달시간을 그대로 강우지속기간에 반영하면 매우 큰 강우강도가 적용되어 유역면적 대비 과도한 침투홍수량이 산정된다.

실무에서는 이미 소유역에서 침투홍수량이 과도하게 산정되는 문제를 인지하고 있었으나 이에 대한 명확한 대안이 정리되지 않아 혼선이 발생하고 있다. 단위도법의 유역반응시간을 조정하는 방안과 합리식의 강우지속기간을 조정하는 방안을 동일시하는 경우가 그 예이다. 일본하천협회에서는 2 km^2 이하 소유역에 합리식을 적용할 때 급경사유역에는 20분을, 하수도정비구역이나 산지유역에는 30분을 각각 강우지속기간 산정을 위한 유입시간으로 고려하도록 제안하고 있다(RAJ, 1961). 일본의 경우를 참고하여 국내에서도 소유역의 홍수량을 산정할 때 급경사유역과 산지유역에 각각 20분과 30분을 유입시간에 더해주는 방안을 제시하였다(Ministry of Construction, 1993). 일본의 방법에서 유입시간은 합리식의 강우지속기간을 길게 하여 침투홍수량을 낮추는 개념이지만, 국내의 방법은 유입시간으로 도달시간을 길게 하여 단위도의 침투를 낮추는 부분까지 확대 적용한 것으로 서로 차이가 있음에도 같은 조정값을 적용하였다. 이후 유역반응시간에 적용하는 20분 또는 30분 조정은 과한 값으로 판단되어 해당 내용은 수정되었고(KWRA, 2005), 유역반응시간의 적정 조정값으로 5~10분이 제시되었다(Jeong and Yoon, 2003; Kim et al., 2017). 그러나 KWWA (2005; 2011)에서는 반대로 합리식의 강우강도 강우지속기간 조정의 적정 값으로 5~10분을 제시하는 등 단위도의 유역반응시간 조정과 합리식의 강우지속기간 조정 개념이 여전히 혼용되고 있다.

본 연구에서는 경험적으로 제시된 기존의 소유역 침투홍수량 조정 방안에 대하여 그들의 이론적 배경을 재검토하였

다. 매개변수별 조정 개념을 명확히 구분하고 조정 방안을 객관화하여 실무에서 발생하는 혼선을 없애고자 하였다. 추가로 도시유역 홍수량 산정에 많이 사용되고 있지만 소유역 침투홍수량 과다 산정 조정에서 다루지 않았던 시간-면적 방법의 매개변수 조정도 함께 고려하였다.

이어지는 2장에서는 기존의 소유역 침투홍수량 조정 방안을 정리하고, 3장에서는 비홍수량 비교를 통한 단위도법, 합리식, 시간-면적방법의 매개변수 조정 방안을 검토한다. 4장에서는 적정 매개변수 조정 방안을 제안하고, 끝으로 5장에서 요약 및 결론을 제시하는 것으로 본고를 구성하고자 한다.

2. 기존 실무적 조정 방안

2.1 도달시간 조정 방안

지금까지 소유역 침투홍수량 과다 산정 문제에 대처하는 방안은 공통으로 도달시간을 조정하였다. 1차 유역반응시간인 도달시간을 증가시키는 방안은 홍수량 산정방법 대부분에 활용가능하여 적용성 측면에서 유리하다. 도달시간의 증가는 각각 단위도법에서는 유역반응시간의 증가, 합리식에서는 강우강도를 결정하는 강우지속기간의 증가, 시간-면적방법에서는 전이(translation) 과정의 시간-면적 곡선의 연장 등으로 각각 다르게 연계되어 침투홍수량을 낮추게 된다.

도달시간을 증가시키는 방법을 구체적으로 살펴보면 소유역에서 도달시간이 15~20분 이상으로 비교적 크게 산정되는 Rziha 공식을 사용하는 방법, 도달시간에 7~10분을 더해 주는 방법(KWRA, 2005)이 있다. 또한, 짧은 표면류 흐름의 유하시간을 무시하고 대신에 20~30분의 일정 유입시간을 대입하는 방법(Ministry of Construction, 1993)과 표면류 흐름의 유하시간이 비교적 크게 산정되는 Kerby (1959) 공식을 이용하는 방법이 여기에 해당한다.

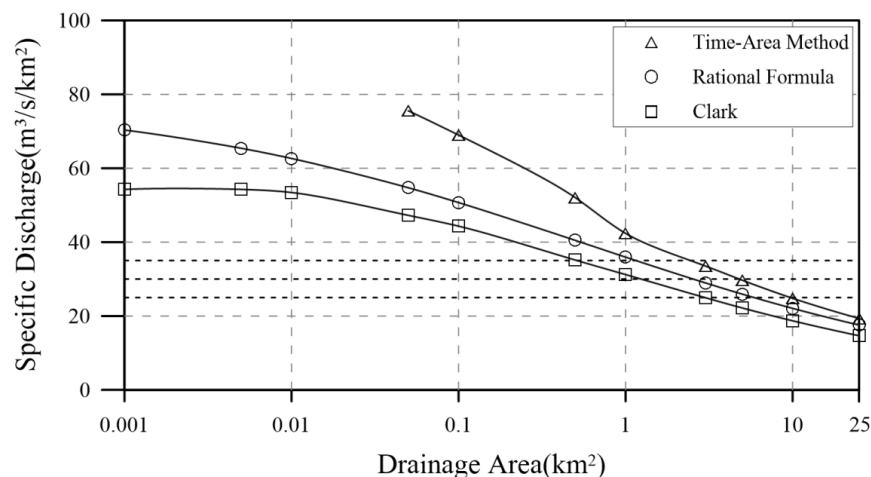


Fig. 1. Relationships between Specific Discharge and Drainage Area of Small Watershed

그러나 표면류 흐름 시간을 임의로 길게 하면, 유역에서 거리상 매우 짧은 최상류 구간보다 상대적으로 긴 하도 구간에서의 유하시간이 상대적으로 짧아진다. Clark 단위도의 시간-면적 곡선은 전체 도달시간을 일정 시간간격으로 균등하게 나누기 때문에 왜곡된 표면류 흐름의 유하시간과 하도 흐름의 유하시간은 등시간선도의 개념을 위배하게 된다. Kerby 공식의 경우 표면류 흐름의 유하시간 비중이 도달시간 대부분을 차지하여 상대적으로 유로가 짧은 소유역의 도달시간이 오히려 유로가 긴 소유역보다 크게 산정되는 경우도 발생한다. 무엇보다도 1차 유역반응시간을 증가시키는 방안은 계산된 도달시간을 유로연장으로 나눈 평균 유속이 매우 작은 등 유역의 물리적 특성을 왜곡한다는 근본적인 문제점을 갖고 있다.

2.2 홍수량 산정방법별 조정 방안 적용 현황

단위도법의 경우 도달시간을 조정하는 방안의 한계점을 보완하고자 유역의 도달시간은 실제 유속에 해당하는 값을 그대로 사용하되 2차 유역반응시간에 해당하는 저류상수(K , storage coefficient), 지체시간(T_c , lag time) 등을 조정하는 방안(Jeong and Yoon, 2003)이 있다. 도달시간 대신 2차 유역반응시간만 조정하더라도 소유역의 과다한 침투홍수량을 효과적으로 낮출 수 있으며(Jeong, 2005; Kim et al., 2017), 시간-면적 곡선 작성시 등시간선도 개념을 위배하거나 평균유속을 왜곡하는 문제가 생기지 않는다. 실무에서 주로 사용하는 단위도에는 대부분 2차 유역반응시간이 존재하기 때문에 적용성 측면에서 유리하여 적극 추천하는 방법이다.

합리식의 경우 20~30분을 유입시간으로 고려하는 일본 건설성(RAJ, 1961)과 건설부(Ministry of Construction, 1993)의 방안은 도달시간을 크게 하여 강우지속기간을 증가시킨다는 점에서 결국 도달시간을 조정하는 방안과 동일한 개념이다. KWWA (2011)에서 하수관거 설계시 유입시간에 일정 시간을 더하여 강우강도를 낮추는 방안이나 Kerby 공식을 적용하는 경우도 마찬가지이다. 다만, 강우강도식의 강우지속기간 증가량과 단위도의 유역반응시간 증가량을 동일하게 간주하고 합리식의 강우지속기간 조정량으로 7~10분이나 20~30분을 혼용하고 있어서 이에 대한 기준을 명확히 할 필요가 있다.

시간-면적방법의 경우 지금까지 소유역의 침투홍수량이 과다하게 산정되는 문제를 제기하거나, 이에 대한 대처 방안을 논의한 사례는 없었다. 다만, 경험적으로 시간-면적방법에도 도달시간에 10분을 더해주는 1차 유역반응시간 조정 개념을 적용하였다. 그러나 소유역의 침투홍수량 과다 산정 문제가 해결되지 않아 유출계수(runoff coefficient)를 크게 낮추거나 Horton (1933) 침투능을 크게 하여 유효우량을 작게 하는 편법까지 사용되고 있는 실정이다. 이는 현재 설계기준에서 유출계수의 적용 범위가 매우 크고, Horton 침투능 관련 기준이 명확하지 않은 점을 이용하는 것으로

임의성이 지나치게 높기 때문에 지양되어야 한다.

3. 매개변수 조정 방안 검토

3.1 홍수량 산정조건

홍수량 산정방법으로 Clark 단위도법, 합리식을 선택하여 매개변수 조정에 따른 소유역의 침투홍수량 변화를 살펴본다. 또한, 도시유역모형에서 주로 사용되지만, 지금까지 소유역 침투홍수량 조정에서 다루지 않았던 시간-면적방법을 추가하여 검토하였다.

기상청 대전관측소의 52개년(1969~2020년) 강우량 자료를 분석한 50년빈도 확률강우량을 설계강우로 채택하였다. 강우강도식으로 General형(Kiefer and Chu, 1957)을 사용하였으며, 확률강우량의 시간분포는 MLTMA (2011)에서 제시하는 Huff (1967) 방법의 3분위 호우를 적용하였다. Clark 단위도법과 시간-면적방법의 경우 임계지속기간을 고려하기 위하여 강우지속기간을 5분 간격으로 증가시키면서 설계홍수량을 산정하고 그 중 최댓값을 선택하였다.

면적확률강우량 적용 면적의 하한계(25.9 km^2)를 고려하여 검토 대상 유역면적을 25 km^2 이하로 설정함으로써 강우가 유역내 공간적으로 균일하게 발생하는 조건으로 가정하였다. 유역면적에 따른 유로연장은 국내 현황을 고려한 경험 공식(Jeong, 2005; Eq. (1))으로 계산하였다.

$$L = 1.76 A^{0.546} \quad (1)$$

여기서 L 은 유로연장(km), A 는 유역면적(km^2)이다. 유속은 2.5 m/s 로 가정하여 도달시간을 산정하였으며, Clark 단위도법의 저류상수(hr)는 Sabol 공식(Sabol, 1988; Eq. (2))을 적용하였다.

$$K = \frac{T_c}{1.46 - 0.0867 \frac{L^2}{A}} \quad (2)$$

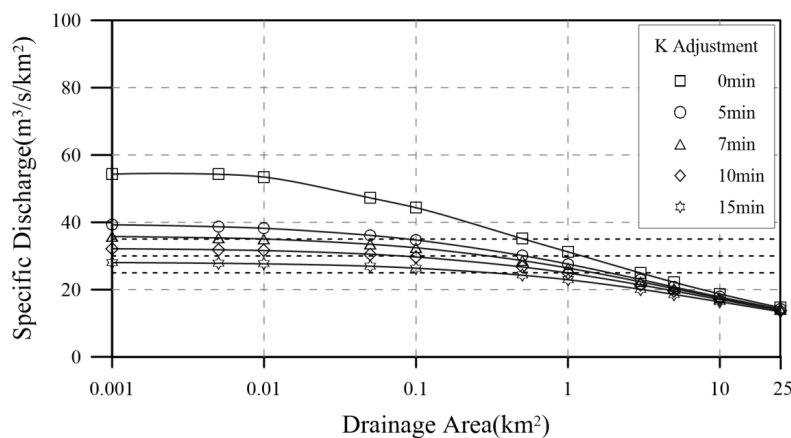
여기서 T_c 는 도달시간(hr) L 은 유로연장(km), A 는 유역면적(km^2)이다.

침투조건으로 Clark 단위도의 경우 SCS (1956) 방법으로 CN 90을 적용하였고, 합리식과 시간-면적방법의 경우 유출계수 0.8을 각각 적용하였다. 또한, 소유역을 대상으로 하기 때문에 기저유량은 고려하지 않았다.

본 연구에서 중점을 두는 것은 홍수량의 절대적인 값보다는 매개변수 조정에 따른 침투홍수량의 변화 양상이다. 따라서 위에서 설정한 홍수량 산정조건이 매개변수 조정에 따른 침투홍수량 변화를 살펴보는 데 큰 문제가 없다는 가정하에 분석을 진행하였다.

Table 1. Specific Discharge ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) in the Critical Duration Varying with K Adjustment in Clark Unit Hydrograph Method

Area (km^2)	Time of concentration (min)	Parameter adjustment in minutes				
		0	5	7	10	15
0.001	0.3	54.27	39.25	35.75	32.14	28.03
0.010	0.9	53.43	38.21	35.04	31.60	27.66
0.050	2.3	47.25	36.11	33.48	30.52	26.95
0.100	3.3	44.32	34.73	32.44	29.70	26.36
0.500	8.0	35.15	30.12	28.63	26.73	24.28
1.000	11.7	31.21	27.60	26.41	24.93	22.93
5.000	28.3	22.18	20.77	20.28	19.59	18.57
25.000	68.0	14.67	14.23	14.06	13.82	13.42

**Fig. 2.** Relationships between Specific Discharge in the Critical Duration and Drainage Area Depending on K Adjustment in Clark Unit Hydrograph Method

3.2 매개변수 조정에 따른 비홍수량 비교

Clark 단위도법의 저류상수를 각각 0분, 5분, 7분, 10분, 15분을 조정하여 임계지속기간의 첨두홍수량을 계산하고, 유역면적으로 나눈 비홍수량을 살펴보았다(Table 1). 저류상수를 조정하지 않은 경우, 유역면적이 작아질수록 비홍수량이 급격하게 증가하며 유역면적이 0.01 km^2 (1 ha) 일 때, 비홍수량이 $53.43 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 로 매우 크게 나타난다(Table 1, Fig. 2). 이론적으로 유역면적 25 km^2 이상에 적용하여야 할 단위도법을 소유역에 일방적으로 적용하여 단위도의 첨두가 크게 산정된 것이 주요 요인이다. 유역면적이 증가할수록 저류상수의 조정 효과가 상대적으로 낮아지므로 비홍수량의 변화량은 적어진다. 유역면적이 5 km^2 에서 저류상수 조정에 따른 비홍수량의 범위는 $18.57 \sim 22.18 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 로 그 변화가 크지 않기 때문에 유역면적 5 km^2 미만에서는 저류상수의 조정이 필요하지만, 5 km^2 이상에서는 저류상수의 조정이 반드시 필요한 것은 아니다.

합리식의 경우 강우지속기간에 각각 0분, 10분, 15분, 20분, 30분을 조정하면서 첨두홍수량에서 비홍수량의 변화를 살펴보았다(Fig. 3). Clark 단위도법과 마찬가지로 유역면

적이 작아질수록 비홍수량이 급격히 증가하여 유역면적이 0.01 km^2 인 경우 비홍수량 $62.65 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에 이른다(Table 2). 짧은 도달시간이 적용되어 해당 강우지속기간의 강우강도가 큰 것이 원인이다. 유역면적 5 km^2 미만에서는 강우지속기간 조정에 의한 비홍수량의 변화가 여전히 크기 때문에 소유역의 매개변수 조정이 필요하다.

시간-면적방법은 합리식을 기반으로 계산하기 때문에 강우강도를 낮추는 방향으로 소유역 매개변수를 조정하여야 한다. 그러나 도달시간에 해당하는 강우강도에 대하여 첨두홍수량만 계산하는 합리식과 달리 시간-면적방법에서는 Huff 방법 등 확률강우량의 시간 분포를 동시에 고려하기 때문에, 총강우량을 유지한 채로 강우강도만 낮추기가 어렵다. 본 연구에서는 시간-면적방법에서 유일한 유역 매개변수인 도달시간의 활용가능성을 검토하였다. 시간-면적방법에서 도달시간을 증가시킬 경우 유역의 등시간선(isochrone) 개수가 늘어나면서 전이 과정에서 유역 전반에 걸친 유출이 발생하는데 필요한 강우지속기간이 늘어나게 된다. 즉, 도달시간을 증가시키는 것은 시간-면적 곡선이 길어지게 하여 첨두홍수량에 기여하는 강우강도가 간접적으로 낮아지는

Table 2. Specific Discharge ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) Varying with Rainfall Duration Adjustment in Rational Formula

Area (km^2)	Time of concentration (min)	Parameter adjustment in minutes				
		0	10	15	20	30
0.001	0.3	70.34	37.53	32.82	29.56	25.20
0.005	0.7	65.40	37.09	32.53	29.35	25.06
0.010	0.9	62.65	36.76	32.31	29.19	24.96
0.050	2.3	54.72	35.38	31.38	28.50	24.53
0.100	3.3	50.70	34.41	30.70	27.99	24.20
0.500	8.0	40.47	30.89	28.13	26.00	22.87
1.000	11.7	35.93	28.78	26.51	24.70	21.96
5.000	28.3	25.92	22.81	21.62	20.58	18.88

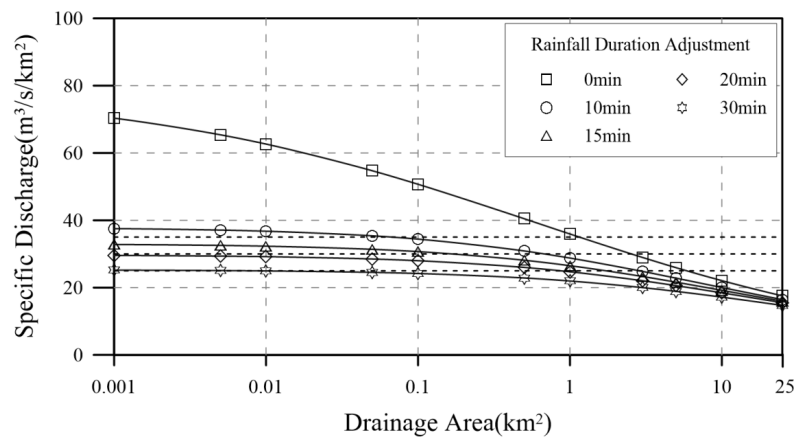


Fig. 3. Relationships between Specific Discharge and Drainage Area Depending on Rainfall Duration Adjustment in Rational Formula

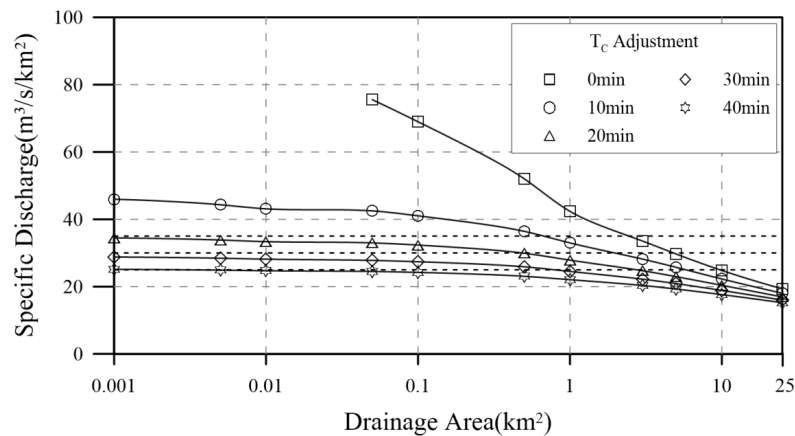


Fig. 4. Relationships between Specific Discharge in the Critical Duration and Drainage Area Depending on T_c Adjustment in Time-Area Method

효과를 발휘하게 된다.

시간-면적방법의 도달시간을 각각 0분, 10분, 20분, 30분, 40분 조정하면서 첨두홍수량의 비홍수량의 변화를 살펴보았다(Fig. 4). 유역면적이 감소할수록 비홍수량이 증가하는 경향은 다른 산정방법의 결과와 같지만, 유역면적이 0.05 km^2

(5 ha) 일 때, 비홍수량이 $75.54 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 로 Clark 단위도법, 합리식과 비교하여 가장 크게 산정되었다(Table 3, Fig. 4). 기존의 적용 현황처럼 도달시간에 10분을 더할 경우, 유역면적 0.05 km^2 의 비홍수량이 $42.50 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 으로 감소한다. 그러나 이는 실무에서 감당하기에 여전히 큰 값이며 실무에

Table 3. Specific Discharge ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) in the Critical Duration Varying with T_c Adjustment in Time-Area Method

Area (km^2)	Time of concentration (min)	Parameter adjustment in minutes				
		0	10	20	30	40
0.010	0.9	(divergence)	43.11	33.36	28.16	24.71
0.050	2.3	75.54	42.50	32.99	27.78	24.50
0.100	3.3	68.98	41.03	32.34	27.39	24.22
0.500	8.0	52.04	36.42	29.92	25.89	23.06
1.000	11.7	42.37	32.99	27.87	24.51	22.06
5.000	28.3	29.69	25.74	22.96	20.89	19.28

Table 4. Appropriate Parameter Adjustment Minutes for Flood Estimation in a Small Watershed

Method	Parameter for adjustment	Range of minutes
Unit hydrographs	Storage coefficient	7~10
Rational formula	Rainfall duration	15~30
Time-area method	Time of concentration	20~40

서 허용가능한 첨두홍수량으로 낮추기 위해서는 도달시간에 30분 정도의 보다 큰 값을 더해줘야 한다.

4. 적정 매개변수 조정 방안

관측자료를 통한 매개변수 검정이 어려운 상황에서 매개변수 조정의 적정값을 결정하는데 다음의 내용을 고려할 수 있다. 먼저, 자연유역에서 설계홍수량 산정을 위한 표준모형(e.g., MLTMA, 2012)으로 그동안 설계에 다수 활용된 Clark 단위도법의 홍수량을 참고하는 것이다. 특히, 합리식의 적정 매개변수 조정값으로 5~10분, 20분, 30분 등 다양한 값이 시도되었던 것과 달리 Clark 단위도법의 경우 제시된 소유역 매개변수 조정값은 항상 7~10분으로 일정한 범위를 유지하였다. 같은 수문조건에서 홍수량 산정방법마다 산정된 홍수량이 크게 다르지 않아야 한다는 가정하에 Clark 단위도법을 기준으로 적정 매개변수 조정값을 살펴보았다. 또한, 실무에서 경험적으로 적용하는 비홍수량의 범위를 함께 참고하였다.

Clark 단위도법의 저류상수를 10분 조정할 때, 유역면적이 0.01 km^2 (1 ha)인 경우 첨두홍수량의 비홍수량은 $31.60 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 로 실무에서 허용가능한 비홍수량 범위에 해당한다. 이때, 조정값 10분은 기존의 실무적 조정 방안에서 제시하는 수치에 부합하는 결과이다(Jeong and Yoon, 2003; Kim et al., 2017). 따라서 Clark 단위도의 소유역 매개변수 조정은 저류상수에 10분을 더하는 것이 합리적이다. 합리식은 강우 지속시간을 20분 더했을 때, 동일한 유역면적(0.01 km^2)에서 비홍수량이 $29.19 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 로 조정되었다. 시간-면적방법은 도달시간에 30분을 더했을 때, 0.01 km^2 의 유역면적에서 비홍수량이 $28.16 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 로 설계에 적정한 수준으로 조정

되었다.

소유역 첨두홍수량의 조정 기준은 홍수량 산정조건에 따라 편차가 발생할 수 있기 때문에 조정량을 특정 값으로 고정하기보다는 일정 범위로 제한하는 것이 실무적용성 측면에서 유연할 것으로 판단된다(Table 4). Clark 단위도법의 저류상수는 7~10분, 합리식의 강우지속기간은 15~30분, 시간-면적방법의 도달시간은 20~40분을 조정하는 것이 합리적이다. 이때, 단위도법은 Clark 단위도에 국한하는 것이 아니라 SCS 단위도의 지체시간과 같이 2차 유역반응시간을 매개변수로 가진 단위도법에 공통으로 적용할 수 있다. 또한, 유량측정성과 침수흔적 등을 통한 매개변수 검정이 가능하고 Table 4에서 제시하는 조정 범위내라면 검정에 의한 조정값을 채택할 수도 있다.

다음으로 매개변수 조정 대상 유역면적 기준을 고려하여야 한다. Clark 단위도법의 저류상수에 10분, 합리식의 강우 지속시간에 20분, 시간-면적방법의 도달시간에 30분을 더하는 경우와 매개변수를 조정하지 않는 경우의 비홍수량 차이는 0.01 km^2 의 유역면적에서 $21.83\sim33.46 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 5 km^2 의 유역면적에서 $8.80 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 이하로 급격히 줄어든다(Figs. 2-4). 따라서 5 km^2 이하의 소유역에서는 반드시 매개변수를 조정할 필요가 있으며, 그보다 큰 유역면적에서는 매개변수 조정의 필요성이 상대적으로 낮을 것으로 판단된다. 이때, 소유역 매개변수 조정으로 발생할 수 있는 홍수량의 불연속 문제를 함께 고려하여야 한다. 유역면적이 증가할수록 매개변수 조정에 의한 첨두홍수량 저감량이 점차 감소하지만, 적용 대상 유역면적 경계에서 매개변수 조정 여부에 따라서 홍수량이 역전되거나 임계지속기간 결정에 영향을 미칠 수 있다. 이에 관하여 유역면적 0 km^2 부터 25 km^2 까지 조정값을 일정하게 감소시켜 적용한 연구(Jeong, 2005), 실무에서

주로 다루는 소유역 면적 분포를 고려하여 5 km²까지는 조정값을 상수로 적용하고 5 km²부터 25 km²까지 조정값을 일정하게 감소시키는 수정 선형 함수연구(Kim et al., 2017)를 참고할 수 있다.

5. 요약 및 결론

소유역에서 과다하게 산정되는 침투홍수량을 낮추기 위한 기존의 실무적 방안을 재검토하고, 침투홍수량의 비홍수량 비교를 통한 적정 매개변수 조정 방안은 다음과 같다.

- 단위도법: 2차 유역반응시간(저류상수, 지체시간 등)을 10 (7~10)분 조정
- 합리식: 강우지속시간을 20 (15~30)분 조정
- 시간-면적방법: 도달시간을 30 (20~40)분 조정

본 연구에서는 이상적인 유역조건을 가정하고 홍수량 산정방법별 매개변수 조정에 중점을 두었으나, 향후 실제 유역에서 매개변수 조정값을 유역특성별로 정량화하는 등의 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 지능형 도시수자원 관리 사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2019002950001).

References

- Clark, C.O. (1945). Storage and the unit hydrograph. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 110, pp. 1419-1446.
- Horton, R.E. (1933). The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Transactions American Geophysical Union*, Vol. 14, No. 1, pp. 446-460.
- Huff, F.A. (1967). Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources Research*, Vol. 3, No. 4, pp. 1007-1019.
- Jeong, J. (2005). *A development of practical method for flood estimation*. Ph.D. dissertation, Korea University Press (in Korean).
- Jeong, J., and Yoon, Y. (2003). *Water resources engineering design practice*. Goomi Publishing Co. (in Korean).
- Kerby, W.S. (1959). Time of concentration for overland flow. *Civil Engineering*, Vol. 29, No. 3, p. 174.
- Kiefer, C.J., and Chu, H.H. (1957). Synthetic storm pattern for drainage design. *ASCE Journal of the Hydraulics Division*, Vol. 83, No. 4, pp. 1-25.
- Kim, J., Ryu, G., and Jeong, J. (2017). A Practical method to prevent an overestimation of peak discharge in a small watershed. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 17, No. 4, pp. 295-305 (in Korean).
- Korea Water and Wastewater Works Association (KWWA). (2005). *Drainage sewer design guideline* (in Korean).
- Korea Water and Wastewater Works Association (KWWA). (2011). *Drainage sewer design guideline* (in Korean).
- Korea Water Resources Association (KWRA). (2005). *River design guideline and commentary* (in Korean).
- Melching, C.S., and Marquardt, J.S. (1997). *Equations for estimating synthetic unit-hydrograph parameter values for small watersheds in Lake County*. Illinois (No. 96-474), U.S. Geological Survey.
- Ministry of Construction. (1993). *River facility criteria* (in Korean).
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA). (2011). *Improvement and supplement of probability rainfall in South Korea*. Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (in Korean).
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA). (2012). *Design flood estimation guide* (in Korean).
- River Administration in Japan (RAJ). (1961). *Technical standards and commentary for river sand control in Japan*, Ministry of Construction in Japan (Translation from Japanese into Korean by Ministry of Construction and Transportation, 2003).
- Sabol, G.V. (1988). Clark unit hydrograph and R-parameter estimation. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 114, No. 1, pp. 103-111.
- Soil Conservation Service (SCS). (1956). *Hydrology*. National Engineering Handbook, Supplement A, Section 4, Chapter 10, Soil Conservation Service, U.S.D.A., Washington.
- Straub, T.D., Melching, C.S., and Kocher, K.E. (2000). *Equations for estimating Clark unit-hydrograph parameters for small rural watersheds in Illinois* (No. 2000-4184), U.S. Geological Survey.

Received	October 21, 2021
Revised	October 22, 2021
Accepted	October 28, 2021