

산지유역의 합리식 유출계수 산정에 관한 연구

A Study on Runoff Coefficient Estimation of Rational Method in Natural Basin

김지호* · 박영진** · 최인호*** · 송재우****

Ji Ho Kim, Young Jin Park, In Ho Chol, Jai Woo Song

요 지

수리·수문 분석시 비교대상으로 사용되고 있는 기존 합리식을 국내의 자료를 통해 고찰하여 적합한 확률론적 합리식을 나타내고, 선행강우조건, 토지 이용도, 경사도, 그리고 재현기간이 고려된 수정 유출계수를 제시한 후, 유출계수의 객관적인 산출이 가능한 GIS기법을 도입하여 설계자의 주관을 배제할 수 있도록 하며, 국내 시험유역에 적용하여 유역 특성이 고려된 유출량을 산정할 수 있도록 하는 것이다.

제안된 수정유출계수는 국내 시험유역의 하나인 설마천 자연하천유역에 도입하여 적합성 여부를 검토하였으며, 자연하천유역에서 사용가능한 수정유출계수를 제안하였다.

핵심용어 : 유출계수, 합리식, GIS

1. 서론

하천설계기준(2002)의 유출계수값은 미국 토목학회에서 제시한 값을 그대로 사용하고 있을 뿐만 아니라 2002년에 개정된 하천설계기준의 경우에도 근거없이 산지지역의 유출계수값이 변화되어 있다. 국내의 경우 국내 유역에 적합한 유출계수를 제시하거나 적용하여 비교·분석한 사례가 없는 실정이며 설계자 역시 이전 하천시설기준의 값이나 주관적인 유출계수 값을 아무런 평가없이 사용하고 있는 실정이다.

국내 제시되어 있는 합리식은 고전적인 방법이며, 매개변수 중 유출계수에 대한 연구가 전무한 상태이므로 미국토목학회(1969)또는 일본에서 제안된 유출계수 값을 기준으로 하고 있다. 유출계수에 대한 문헌 조사결과 기존의 유출계수는 재현기간 2~10년 빈도에 적합한 값이므로 재현기간별로 수정이 요구되는 실정인 것과, 외국의 경우 다양한 유출계수의 영향인자를 고려한 새로운 유출계수가 제시되고 있다는 것을 알았다. 또한 합리식에 대한 기존 연구를 조사한 결과, 재현기간별로 강우강도와 유출량이 비선형관계를 보이기 때문에 유출계수도 재현기간별로 변화한다는 것과 이를 반영한 확률론적 합리식이 제시되어 있으므로 국내 하천에 적합한 수정유출계수와 확률론적 합리식의 도입이 반드시 필요한 것으로 나타났다.

2. 확률론적 합리식

Mulvaney(1851)에 의해 제시된 합리식은 확률론적인 모형의 식은 아니지만 확률론적인 해석으로는 설명할 수 없는 인자가 많이 있기 때문에 확률론적 또는 통계적인 해석을 수행할 경우 설계상황에 충분히 활용이 가능하다. 합리식의 통계적인 해석은 Horner와 Flynt(1936)가 도시유역의 유출계수를 설정하기 위한 하나의 대안적 방법으로 제시된 바 있으며, 그 해석에 대한 구체적인 실증적인 증명은 Schaake 등(1967)에 의해 이루어 졌으나 그들이 사용한 자료의 단편성, 그리고 실험 상황의 제한 등으로 인하여 그 동안 사장되어오다가 French 등(1974)에 의해 자연유역에 적용된 바 있다. 합리식의 확률론적인 해석은 확률론적인 관점에서 합리식의 모순을 확률론적으로 재해석하여 설계상황에 맞게 수정하기 위한 것이다. 확률론적 합리식을

* 정회원 서일대학 토목과 산업체 겸임교수 · E-mail : autocadplus@chol.com
** 정회원 서일대학 토목과 조교수 · E-mail : profpark@seoil.ac.kr
*** 정회원 서일대학 토목과 부교수 · E-mail : cih@seoil.ac.kr
**** 정회원 홍익대학교 토목공학과 교수 · E-mail : jwsong@wow.hongik.ac.kr

나타내면 다음 식 (1)과 같다.

$$Q_p(Y) = \frac{1}{3.6} C(Y) I(t_c, Y) \cdot A \quad (1)$$

여기서, $Q_p(Y)$ 는 재현기간별 침투홍수량(m^3/s), $C(Y)$ 는 재현기간별 무차원 유출계수, $I(t_c, Y)$ 는 재현기간별 강우강도(mm/hr), A 는 유역면적(km^2)을 의미한다.

2.1 기존 유출계수의 특성 분석

기존 유출계수에 영향을 미치는 인자들의 반영여부를 알아보기 위하여 아래와 같은 표 1를 제시하였다.

표 1. 기존 유출계수의 유출계수 영향인자 반영여부

연구자 및 기관	유출계수에 영향을 미치는 인자					비고
	①	②	③	④	⑤	
미국토목학회(1969)	●			●		도시 및 교외유역
Stephenson(1981)	●	●	●	●	강수량	도시 및 교외유역
Bernald(1935)	●	●	●			농업지대
Schwab(1971)	●	●	●			자연유역
McCuen(1998)	●	●	●	●	CN값	도시 및 교외지역
Austin 시	●	●		●		개발 및 미개발지역
텍사스주	●	●	●	●	표면저류	자연유역
워싱턴주	●	●		●		도시 및 교외유역
일본건설성	●					도시 및 교외유역
모노노베	●					자연유역

주) ①지표면 피복상태 ②유역의 지형상태 ③ 토양특성(침투) ④ 재현기간 ⑤ 기타인자

또한 기존 유출계수의 토지이용특성별 범위를 알아보기 위하여 아래 그림 1을 이용하여 분석하였다.

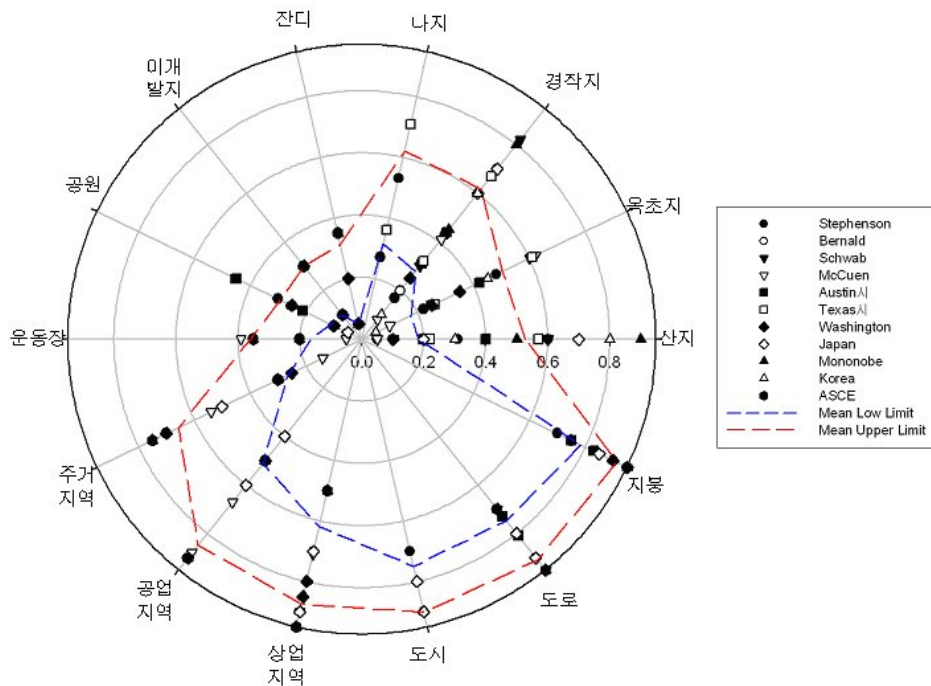


그림 1. 기존 유출계수들의 토지이용별 범위 비교표

그림 1에서 보는 바와 같이 유출계수마다 토지이용 특성별 범위가 많이 산포되어 있으며 산지나 경작지의 경우 그 차가 큰 것으로 나타나 이에 대한 보정이 요구된다. 그 외의 경우에는 평균하한값과 평균상한값을 도시한 결과 비교적 토지이용별 정성적인 의미가 있는 것으로 나타났다.

3. 적용 및 검증

설마천은 건설기술연구원에서 97년부터 지속적으로 수위-유량곡선식의 개발과 강우-유출사상이 연속적으로 있어 적합한 수위-유량곡선을 가지고 있는 유일한 시험유역이라 하겠다.

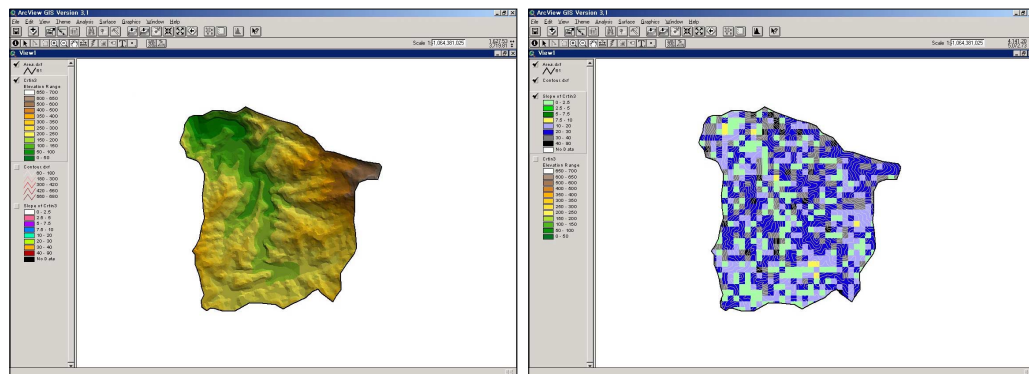


그림 2. GIS기법에 의한 설마천 유역도 및 유출계수 산정을 위한 격자망

3.1 산지유역의 새로운 유출계수

본 연구에서는 기존의 유출계수들을 참조하여 기본 범위를 설정한 후 재현기간과 선행강우조건을 추가로 고려함으로써 강우조건을 알게 되는 경우 침투유출량을 예측할 수 있도록 확률론적 합리식을 수정하였다. 제안된 유출계수 공식은 다음과 같다.

$$C_{YN} = C \times C_a \times C_f \quad (2)$$

여기서 C_{YN} : 산지유역에서의 유출계수, C : 토지이용 및 경사도별 산지유역의 유출계수, C_a : 선행강우 보정계수, C_f : 재현기간별 조정계수이다.

① C : 토지이용 및 경사도별 산지유역의 유출계수

기존 유출계수의 특성분석에 의하면 유출계수마다 토지이용 특성별 범위가 많이 산포되어 있으며 산지나 경작지의 경우 그 차가 큰 것으로 나타나 이에 대한 보정이 요구되는 실정이다. 평균상한값과 평균하한값을 분석해 본 결과 텍사스 주 수송국의 유출계수의 범위가 비교적 유사한 범위를 나타내고 있으므로 이를 기준으로 하고 경사도에 따라 세분화하여 새로운 산지유역 유출계수를 제안하였으며 다음 표 2와 같다.

표 2. 산지유역 유출계수, C

토지이용	경사도에 따른 분류(%)							
	0-2.5	5	7.5	10	20	30	40	40%이상
산지	0.22	0.3	0.34	0.38	0.43	0.48	0.53	0.57
나지	0.36	0.44	0.48	0.52	0.57	0.62	0.67	0.71
논	0.32	0.4	0.44	0.48	0.53	0.58	0.63	0.67
밭, 목초지	0.26	0.34	0.38	0.42	0.47	0.52	0.57	0.61

② C_A : 선행강우 보정계수

선행토양함수조건(Antecedent Soil Moisture Condition, AMC)에 따라 AMC-I, AMC-II, AMC-III의 세 가지로 선행강우 보정계수를 제시하였다.

선행강우 보정계수는 실제 설마천 강우사상과 유출사상을 분석하여 실제 유출을 모의할 수 있는 가정값을 사용하였다.

표 3. 선행강우 보정계수, C_A 와 재현기간별 보정계수 C_f

AMC	선행강우 보정계수, C_A	재현기간(years)	재현기간별 보정계수, C_f
I II III	0.6 0.8 1.0	1년 이하	0.4
		2	0.6
		5	0.8
		2-10	1.0
		25	1.1
		50	1.2
		100	1.25

③ C_F : 재현기간별 조정계수

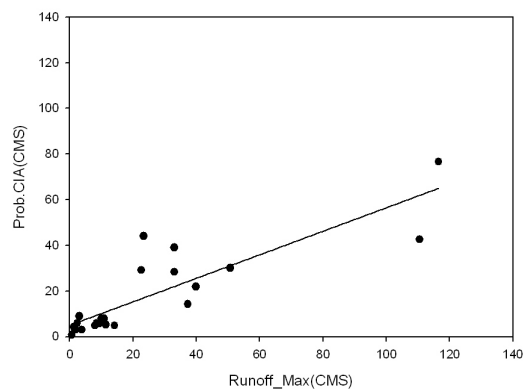
호주와 미국의 경우를 기초로 하여 재현기간별 보정계수를 나타내었으며, 호주의 재현기간별 보정계수를 기준으로 하여 10년 빈도 이하의 값에 대해서도 적절한 보정계수를 제시하였다.

3.2 시험유역 적용

표 4. 수정 유출계수의 설마천 유역 적용 결과

토지이용		경사도에 따른 분류(%)							유출계수	
		0-2.5	5	7.5	10	20	30	40		40% 이상
산지	유출계수	0.22	0.30	0.34	0.38	0.43	0.48	0.53	0.57	0.426
	면적	1.62	0	0	0.05	1.89	3.19	1.24	0.22	
논	유출계수	0.32	0.40	0.44	0.48	0.53	0.58	0.63	0.67	
	면적	0.16	0	0	0.03	0.06	0.04	0	0	

실측된 침투유출량과 확률론적 합리식에 의해 계산된 침투유출량을 그림 3에 도시하였다. AMC I 조건과 AMCII조건의 경우 유역 내 침투나 그 외 손실이 불규칙하여 전반적으로 발산되는 경향을 보였으나 그림3에서 보듯이 AMCIII 조건의 경우 상관계수가 0.858로 전반적으로 좋은 상관관계를 보이고 있으며 특히, 20CMS 이상의 실측 침투유출량에서는 비교적 정확한 예측이 가능한 것으로 판단된다.



③ AMCIII조건($r : 0.858$)

그림 3. 실측 침투유출량과 계산된 침투유출량

4. 결 론

우리나라 하천유역에 적합한 확률론적 합리식의 유출계수를 제시하기 위하여 국내외 자료를 비교·분석한 후 유역 특성 및 재현기간이 고려된 수정 유출계수를 제시하였다. 본 연구에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 기존 유출계수의 특성을 분석한 결과 도시하천유역에 대한 유출계수는 많은 연구자들이 유사한 범위를 제시하였으나 산지나 목초지와 같은 자연하천유역의 경우에는 지역적 특성이 다른 관계로 큰 편차를 보이고 있으므로 우리나라 자연하천유역에 적합한 유출계수가 반드시 필요하다는 것을 밝혀냈다.
2. 경사도, 토지이용상태, 재현기간을 고려하고 GIS기법에 의해 산정될 수 있는 유출계수를 제시하여 확률론적 합리식에 의한 홍수량 산정시 기초 자료로 활용할 수 있도록 하였다.
3. 수정된 유출계수를 설마천 유역의 기왕의 모든 강우사상에 적용한 결과 기존에 제시된 산지지역에 대한 유출범위가 과소하게 산정된 것을 밝혀 내었으며 다양한 강우조건에 대해 적합하게 산정되기 위해서는 선행강우조건을 고려해야 함을 입증하였다.
4. 경사도, 토지이용상태, 재현기간, 그리고 선행강우조건을 고려한 산지유역에 적합한 유출계수를 재산정하여 제시한 결과 AMC I 조건의 경우 손실이 상대적으로 큰 작은 유출량(3CMS)이하에서는 발산되는 경향을 보였으나 그 외의 모든 강우사상에 대해서는 비교적 정확한 예측이 가능한 것으로 나타났다.

본 연구에서 얻어진 GIS기법에 적합한 산지유역의 유출계수는 검증할 수 있는 시험유역이 적은 관계로 현재까지는 우리나라 산지유역을 대표할 수 는 없는 값이지만 추후 더 많은 국내의 실측수문자료(도시유역 및 자연하천유역)를 수집, 분석함으로써 국내유역에 적합한 수정 유출계수를 확립시 표준적인 지표가 될 수 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 최철웅(1999) 지형공간정보체계를 이용한 수문지형인자 결정에 관한 연구. 박사학위논문, 부산대학교.
2. 한국건설기술연구원(1995~2001) 시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구.
3. 日本下水道協會(2001) 下水道施設計劃·設計指針と解説.
4. Arnell, V., Harremoes, P., Jensen, M., Johansen, N.B. and Niemczynowicz, J. (1984) Review of Rainfall Data Application for Design and Analysis. Water Science Tech., Copenhagen, Vol. 16, pp. 1~45.
5. Chamier, G. (1897) Capacities Required for Culverts and Flood Openings. Min Proc. Instn. Civil Engrs. Vol. 134, pp. 313
6. Haan, C. T., Barfield, B. J. and Hayesm J. C., (1994) Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments.
7. Horner, W. W. and Flynt, F. L. (1936) Relation Between Rainfall and Runoff from Small Urban Area. Transactions of ASCE, Vol. 101, pp. 140~183.
8. Kuichling, E. (1889) The Relation Between the Rainfall and the Discharge of Sewers in Populous Districts. Transactions of ASCE, Vol. 20, pp. 37~40.
9. Larry W. Mays, PH. D. and P.E., P.H. (2001) Water Resources Engineering. Jojn Wiley & Sons, Inc. pp. 561~571.
10. McCuen, R.H., Wong, S.L. and Rawls, W.L. (1984) Estimation Urban Time of Concentration. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 110, No. 7, pp. 887~904.
11. Schwab, G.O., Fangmeier, D.D., Elliot, W.J. and Freveret, R.K.(1003) Soil and water conservation engineering. J. Wiley and sons. New York. 507 pp.
12. Singh, V.P. (1988) Hydrologic Systems, Rainfall-Runoff Modelling Vol. 1. Prentice Hall.
13. Stephenson, D. (1981) Stormwater Hydrology and Drainage Developments in Water Science Series No. 14. Elsevier Science Publishing , Amsterdam.