

소하천 유역에서 유출특성 분석

○정재욱* 정현수** 박성민*** 윤세의****

1. 서론

우리나라에서는 소하천보다 대규모 하천관리에 역점을 두어 왔으며 도시화와 인구의 증가로 소하천 부근에서 홍수피해가 빈번히 발생되었고 소하천이 도시를 관통하여 흐르는 경우나 소하천 주위에 오염원이 있을 경우에는 수질, 생태계 등의 보존 문제가 최근에 대두되기 시작하였다. 특히, 대규모 하천의 수질악화 등으로 휴식 및 문화적 공간이 대규모 하천에서 상류지역에 위치한 소하천으로 이동되는 경향도 나타났다. 하지만 소하천 유역은 지역적 특성이 두드러지고 계절에 따른 유량변화도 심하여 치수방재에 주된 요인으로 작용하는 유출량 추정을 위한 자료는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 자연형 하천공법으로 시공된 수원천의 상류하천이며 소하천의 평균규모에 해당하는 창사천을 대상으로 현장관측을 실시하였다. 비교적 농경지 및 산지하천에서 적합한 것으로 알려져 있는 KINEROS 모형을 창사천 유역에 적용하였으며 관측된 시간별 수위 및 유속자료 등을 이용하여 그 결과를 비교하였다. 이를 기초로 하천설계에 필요한 기초자료를 확보하는 것이 목적이다.

2. 수리·수문 관측

창사천은 수원천 최상류 구간으로 산지하천에 속하며 수원천 상류 좌안으로 유입하는 소리골천과 합류하고 있다. 수원천 본류 상류(소리골천)와 연계하여 하구부는 휴식공간 및 유원지, 중·상류부는 등산로로 활용되고 있는 하천이다(그림 1).

유역면적, 경사, 하도길이 등을 구하기 위하여 1/50,000의 지형도를 참조하였으며, 예비답사를 실시하였다. 예비답사 및 실측작업의 일자와 내용은 표 1과 같다. 창사천 유역내에는 강우량 관측소가 설치되어 있지 않으며, 유역의 남서쪽에 위치한 기상청 관측소의 자료를 활용할 수 있다. 기상청 자료로 1964~1996년의 기록에 의하면 일최대치는 1972년의 313.6mm이며, 2일 최대값은 1990년의 529.6mm인 것으로 나타났다. 유역내에 불균등하게 내리는 지점 강우는 검토 소유역의 면적우량으로 환산처리가 필요하다.

- * 국립방재연구소 연구관
- ** 동아건설산업(주)
- *** 경기대학교 대학원 토목공학과 석사과정
- **** 경기대학교 토목·환경공학부 교수

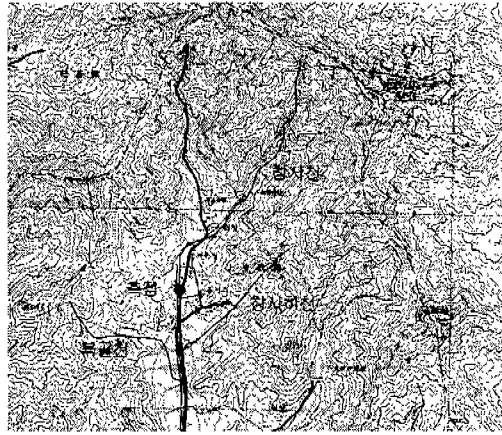


그림 1. 창사천 유역도

표 1. 관측작업 내용

일 시	내 용	비 고
'99. 7. 1. ~ '99. 7. 5.	예비답사(관측을 위한 사전준비)	
'99. 7. 6. ~ '99. 7. 10.	하도단면 측정	
'99. 7. 31. ~ '99. 8. 2.	수심, 유속, 부유사 채취(1)	
'99. 8. 30. ~ '99. 8. 30.	수심, 유속, 부유사 채취(2)	
'99. 9. 20. ~ '99. 9. 20.	수심, 유속 측정(3)	

본 연구에서는 지금까지 수집된 강우자료를 참고하고, 보다 정확한 창사천유역의 강우·유출분 석을 위해 대상유역과 인접한 경기대학교내에 자기우량계를 별도로 설치하였으며, 이로부터 비교적 정확한 강우입력 자료를 확보할 수 있었다(그림 2).



그림 2. 자기우량계(buket)



그림 3. 유속 및 수심 측정(99. 8. 30)

수위와 유속은 99. 7.31~99. 8.2, 99. 8.30 및 99. 9.20의 세 경우에 대해 실측하였으나 99. 7.31~

99. 8.2의 자료는 첫 실측으로서 신빙성이 적어 유출 수문곡선 추정에는 사용하지 않았고 99. 8. 30일의 자료를 유출모형의 기본자료로 사용하였다(그림 3). 99. 9. 20일 측정된 자료는 수위-유량곡선을 작성하는 자료로만 사용되었다.

하천의 횡단면은 대상구역 중 상, 하류의 수리학적으로 안정된 지점을 선정하여 평균하폭을 측정하였으며 수위계 설치지점에서는 평균하폭과 더불어 하천의 횡단측량을 실시하였다. 수면경사의 측정을 위하여 하도가 비교적 직선이고, 유속이 급격히 변하지 않으며, 하폭이 급축소 또는 급확대되지 않는 구간을 선정하였다. 또한, 유속계 및 부표에 의한 유속측정을 병행하였다. 수위 및 유속 측정을 위하여 하도는 직선에 가깝고 접근이 용이한 도로상이나 또는 이에 인접해야 한다는 점을 참고하였다. 야간작업을 위한 안전 등도 고려하여 측정지점을 비교적 차량통행이 드문 창사천 유역의 광고회판 지점으로 선정하였는데, 차량을 상주시켜 놓고 관측하는데 위험이 없을 것으로 판단되었다.

먼저 현지답사시 수위표를 설치하기 위하여 교량의 높이를 측정하였으며, 교량의 폭 및 길이와 유수의 흐름상태를 관찰하였고, 인근 주민들로부터 기왕의 홍수흔적 자료를 탐문하였다. 수위가 증가함에 따른 유속증가를 고려하여 하상으로부터 다리위까지 연결시킬 수 있는 버팀대를 이용하였으며, 이 곳에 수치가 표시된 간이수위측정기를 부착하였고, 유속측정에는 MiniAir2 유속계와 부자가 사용되었다.

3. 강우 · 유출 모형

하천 유역의 유출 및 유사량산정을 위해서는 물의 순환을 구성하고 있는 수학적 모형들이 필요하다. 강우자료와 모형의 변수들은 유출과정에 영향을 끼치는데, 시간 및 공간적인 요소들이 변하기 때문에 모형의 변수들을 규명하는 문제는 중요하다. 본 연구에서는 창사천 지점(그림 1)에서 관측된 시간별 수위 및 유속자료 등을 이용하여 모형의 적용성을 평가하였다. 적용된 수치모형은 비교적 농경지 및 산지하천에 적합한 것으로 알려져 있으며 운동과방정식으로 구성된 KINEROS 모형을 사용하였다.

3.1 지표면 유출

강우율이 침투능을 초과하고 물이 표면장력 효과를 극복하고 지표면에 고일때, 본 모형에서는 Horton의 지표류 계산방법을 적용한다. 미시적 입장에서 보면 지표류는 매우 복잡한 3차원 과정이지만, 거시적 입장에서 보면 식(1)과 같이 단위면적당 저류량과 관련되는 1 차원 흐름으로 표시할 수 있다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q(x, t) \quad (1)$$

여기서, h는 수심, Q는 유량, t는 시간, x는 흐름방향의 거리, q(x,t)는 측방유입량이며 유량은 각 시간 및 격점에서 계산된 수심과 유속에 분할소유역의 폭을 계산하여 산정된다.

3.2 하도 유출

하도는 상류경계에서의 지표면이나 한, 두개의 하도 또는 하도의 양측면으로부터 측방유입류를

받아들인다. 측방유입류를 고려한 하도에서의 연속방정식은 식(2)와 같다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_c(x, t) \quad (2)$$

여기서, A는 단면적, Q는 하도유량, $q_c(x, t)$ 는 하도의 단위길이당 순 측방유입량이며, 운동학적인 가정하에서 유량(Q)은 하도단면적(A)과의 함수로 표현할 수 있다.

하도에 대한 운동과 방정식은 4점 음해법(implicit method)을 수치적으로 사용하여 해결하는데, 식(2)의 유한 차분식은 식(3)과 같다. 미지의 면적(A_{j+1}^{i+1})은 Newton의 반복법을 이용하여 해결한다.

$$\begin{aligned} & A_{j+1}^{i+1} - A_{j+1}^i + A_j^{i+1} - A_j^i + \\ & \frac{2\Delta t}{\Delta x} \left\{ \theta_w \left[\frac{dQ}{dA} \right]^{i+1} (A_{j+1}^{i+1} - A_j^{i+1}) \right\} + \\ & (1 - \theta_w) \left[\frac{dQ}{dA} \right]^i (A_{j+1}^i - A_j^i) \Big\} - \\ & 0.5 \Delta t (q_c \Big|_{j+1}^{i+1} + q_c \Big|_j^{i+1} + q_c \Big|_{j+1}^i + q_c \Big|_j^i) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

본 연구에서 사용된 KINEROS 모형의 흐름도는 그림 4와 같다. 먼저, 유역을 본류의 상단부 소유역과 측방흐름에 기여하는 소유역으로 나누어 해석한다.

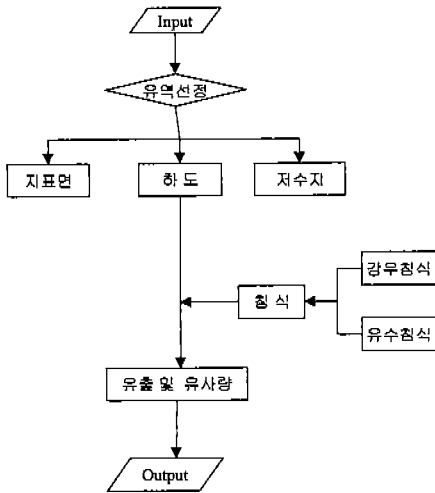


그림 4. KINEROS 모형 흐름도

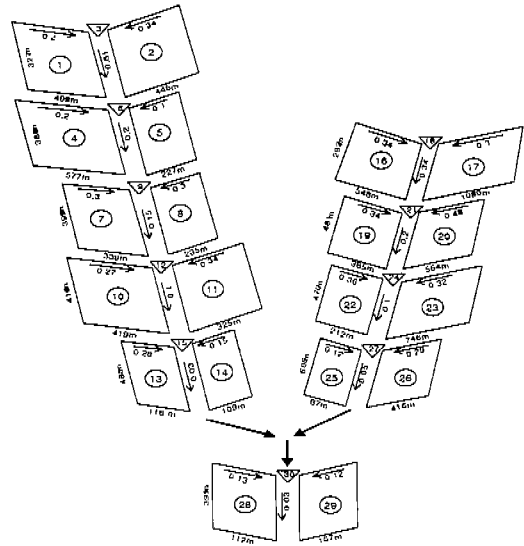


그림 5. 소유역 분할도

지점강우자료 및 유역의 기하특성치가 입력되면 지표면, 하도 그리고 저수지 등이 구분되고 이로부터 유출량을 산정하며 현재의 유출량 모의 시간단계에서 다음 시간단계로 넘어가기 전에 침식을 선택하여 유사량을 산정한다. 이때, 유출은 지표면 및 본류를 통하여 하류로 진행되며, 지표면 유출과 침투는 강우가 그쳐도 상당기간 잔류흐름이 하류로 지속되도록 상호 작용한다. 또한, 침식 조건을 선택하여 침식, 퇴적, 유사이송 그리고 하상변동을 모의할 수 있다.

그림 5는 창사천유역의 소유역분할도를 나타낸 것이다. 창사천유역의 하류단 관측점에서 유역면

적은 3.30km² 이며, 지표면과 하도의 기하학적 특성을 고려하여 10개의 등도달 유역과 30개의 소유역으로 구분하였고 이때 사용된 ○는 유역을, ▽은 유로를 나타내었다.

4. 비교 고찰

본 연구에서는 창사천유역에서 자기우량계로부터 얻은 강우자료, 토양도, 측량된 하도단면 등을 적용하여 유출해석을 실시하고 KINEROS 모형의 적용성을 검토하였다. 또한 실무에서 비교적 널리 사용되고 있는 SCS, Clark, RRL 모형 등과도 비교하였다. 그림 6은 창사천유역의 실측수문곡선과 모형의 계산치를 비교한 것이다.

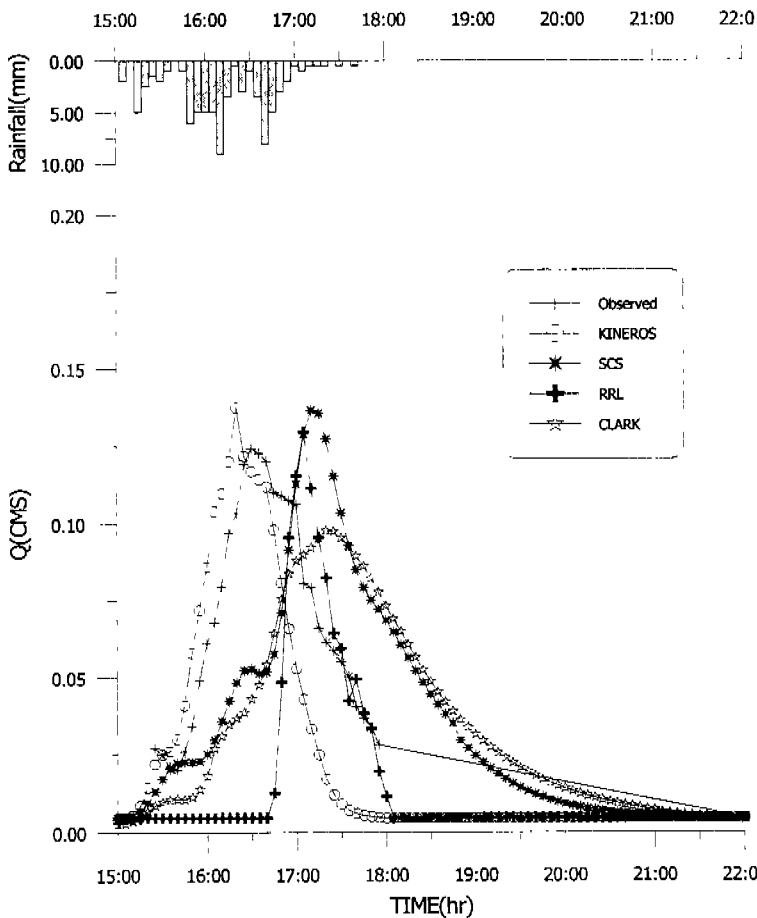


그림 6. 유출수문곡선(창사천, 99. 8. 30)

창사천 광고회관 지점에서 99년 8월 30일 15:00에서 22:00까지 매 5~10분 간격으로 실측된 결과는 강우발생 후에 증가하던 유출량이 약간 감소한 뒤 이후 증가하다가 강우시작 95분(현지시각 : 오후 4시 35분) 후에 첨두유량이 나타났다. 그리고 다시 감소하여 120분(현지시각 : 오후 5시) 구간에서 약간의 증가 추세를 보이며 이후 감수곡선을 그리고 있는데 우량주상도의 형태를 비교적 잘

재현해 주고 있다.

KINEROS 모형의 경우, 침투유출량 도달시간이 실측치에 비해 약간 빠르게 나타났으며 나머지는 실측치보다 지체되었다. RRL 모형에서는 유출계수가 커짐에 따라 침투유량은 증가하였고 도달시간은 감소하였다. Clark 모형에 있어서 전체적인 경향은 비교적 유사하게 나타났지만 침투유량은 실측치에 비해 약 20%정도 작게 나타났으며 도달시간도 지체되었다. SCS 모형에서 도달시간을 변화시키며 계산한 결과 소유역별 지체시간이 커질수록 침투유량은 작아지고 하류부의 침투유출량 도달시간은 증가하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 창사천유역 하류단에서 수리·수문량에 대한 관측을 실시하였으며 KINEROS, Clark, SCS, RRL 모형과 비교하였다. 도달시간은 KINEROS, RRL, SCS, Clark의 순으로 빠르게 나타났으며, 침투유량은 Clark의 경우, 실측치보다 작게, 나머지 3개모형은 실측치에 비해 크게 계산되었다. 도달시간에 있어서는 KINEROS 모형이, 유출용적은 SCS, 침투유량은 RRL 모형이 비교적 실측치에 접근하였다.

앞에서 언급한 각 모형들에 관한 분석 결과는 어느 정도의 오차를 포함하고 있다고 판단된다. 소유역에 가장 합리적으로 적용 가능한 모형을 제시하고 모형에 포함된 변수들에 관한 특성치를 지역에 따라 분석하여 실무자들이 사용하기 쉬운 홍수유출량 계산방법을 제시해야 한다. 소하천 유역은 지역에 따라 그 특성이 크게 달라지고 계절에 따른 유량변화도 심하기 때문에 장기간에 걸친 수리·수문 실측자료가 요구되며, 지역특성에 적절한 매개변수 분석을 통한 자료구축도 필요하다. 이를 위해서는 전국을 대상으로 몇 개의 구역을 분할하여 소하천에 장기적이고 지속적인 수리·수문 관측 시스템의 구축과 이를 관리할 수 있는 환경이 조성되어야 할 것으로 생각된다.

6. 참고문헌

- 수원시(1997), 소하천 정비종합계획 보고서.
- 윤세의, 이종태, 정재욱(1997), "하천유역의 유사량 산정 및 하상변동 예측을 위한 영향인자의 평가 분석", 한국수자원학회 논문집(한국과학재단), 제30권, 제5호, pp. 561-570.
- 이종태, 윤세의, 정재욱(1993), "소유역에서의 유출 및 유사량 산정모형 : KINEROS", 대한토목학회 학술발표회 논문집(II), 대한토목학회, pp. 169~171.
- 이종태, 윤세의, 정재욱(1994), "하상변동 예측을 위한 유사량 산정식 및 포장계수의 영향분석", 대한토목학회 학술발표회 논문집(II), 대한토목학회, pp. 121~124
- Meyer, L. D., Wischmeier, W. H.(1969), Mathematical Simulation of the Process of Soil Erosion by Water, ASAE 12(6), pp. 754-762.
- Podmore, T. H., Huggins, L. F.(1980), Surface Roughness Effects on Overland Flow, ASAE 23(5), pp. 1434-1439, 1445.
- Prezewojnski, B., Blazejewski, R., and Pilarczyk, K.W.(1995), "River Training Techniques", pp. 414-486, 1995.
- Smith, R. E.(1981), A Kinematic Model for Surface Mine Sediment Yield, ASAE 24(6), pp. 1508-1514.