

미계측 유역의 수리계수 산정을 위한 연구

A Study on Estimation of Hydraulic Coefficient in Ungaged Basin

이종소*, 김수전**, 김덕길***, 이임열****, 김형수*****
Jong So Lee, Soo Jun Kim, Duck Gil Kim, Lim Yeol Lee, Hung Soo Kim

요 지

수리계수는 하천의 수리학적 특성을 대표하는 인자라고 할 수 있다. 따라서 우리는 하천정비기본계획에 의하여 하천을 측량하고 그 측량성과를 바탕으로 수리계수를 산정하여 왔다. 이러한 수리계수는 하천의 홍수위, 유사량, 수질 산정을 위하여 중요한 매개변수로 활용할 수 있다. 하지만, 하천 측량성과가 없는 미계측 유역의 경우 수리계수를 산정할 수 없는 한계가 있는 것이 사실이다. 이러한 문제점을 극복하고자 SWAT 모형의 방법론을 검토하고 미계측 유역에서 수리계수를 산정하는 방안을 제시하고자 하였다. SWAT에서는 하도 단면을 사다리꼴로 가정하여 대상 유량에 대한 유속 및 수위를 산정하게 되는데, 이의 관계를 활용하면 유량-유속, 유량-수심에 대한 회귀방정식을 지수식으로 산정할 수 있다.

본 연구에서 검토하고자 하는 방법론을 적용하고자 계측유역인 경안천 유역을 미계측 유역으로 가정하여 SWAT 모형을 적용하였다. 따라서 계측유역에 일반적으로 적용하는 방법인 HEC-RAS 모형을 이용한 수리계수 산정 결과와 본 연구에서 미계측 유역을 대상으로 적용하고자 하는 SWAT을 이용한 결과를 비교하였다. 비교결과 SWAT 모형을 이용한 방법론이 일반적인 방법론과 차이가 있음을 확인할 수 있었으며 이는 경안천이 자연하천이 아닌 정비된 제방하천이기 때문인 것으로 판단되었다. 따라서 자연하천에 대한 적용을 통한 검증 또는 제방하천에 대한 적용 방법의 개선이 필요할 것으로 판단되었다.

핵심어 : 수리계수, 미계측유역, SWAT

1. 서론

수질오염총량관리제(TMDL; Total Maximum Daily Loads)에서 수질모형은 목표수질 설정을 위한 핵심요소이나, 대상하천에 대한 수리학적 기초정보의 수집이 어렵고, 서로 다른 정보가 산재되어 있을 뿐 아니라 모델구축에 활용하기에는 제한적이다. 또한, 유역 환경변화가 수질에 미치는 영향에 대한 예측을 위한 모델 입력자료 구축에 상당시간이 소요되며, 동일한 하천에 대해서도 서로 다른 수리학적 정보가 입력됨에 따라 예측결과의 일관성 결여 및 신뢰성의 문제를 유발하고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 환경부에서는 한강수계에 대한 Reach File을 설계 및 구축하고, 이를 활용할 수질 모델 입력 자료 자동생성 모듈 및 관련 프로그램을 개발하고 있다.

TMDL에서 수질모의를 지원하기 위해서는 Stream Reach별 수리계수와 다양한 오염원 및 오염부하량 자료가 필요한데, 이 중 수리계수는 하천단면에 대한 수리학적 특성을 대표하는 계수로서 유량-유속, 유량-수심과의 관계를 나타낸다.

수리계수를 산정하기 위해서는 하천정비기본계획의 성과인 하천단면 자료를 수집하여야 한다. 국가하천

* 정회원 · 인하대학교 대학원 토목공학과 석사과정 · E-mail : stynrehero@naver.com
** 정회원 · 인하대학교 대학원 토목공학과 공학박사 · E-mail : soojuny@empal.com
*** 정회원 · 인하대학교 대학원 토목공학과 박사과정 · E-mail : k1004dk@hamail.net
**** 비회원 · 인하대학교 대학원 토목공학과 석사과정 · E-mail : air12@nate.com
***** 정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학과 교수 · E-mail : sookim@inha.ac.kr

구간에 대하여 HEC-RAS 모형을 통하여 유량에 따른 유속과 수심에 대한 정보를 추출해야하는 것이다. 하지만 우리나라는 모든 유역에 대하여 HEC-RAS로 하천단면 자료가 구축 되어있지 않다. 그래서 이러한 미계측 유역에 대하여 TMDL에서 수질모의를 지원하기 위해 어떻게 수리계수를 산정해 나가야할 것인가는 매우 중요한 사항이라 할 수 있다. 이러한 구간에 대한 수리계수 산정 방법을 모색하던 중 SWAT모형을 이용하면 수리계수를 산정할 수 있다는 것을 알게 되었고 SWAT을 이용한 방법과 HEC-RAS를 이용한 방법이 얼마나 차이를 보이는가를 연구 하였다.

2. 수리계수 산정 이론

2.1 계측유역

본 연구에서 적용하고자 물의 흐름은 정상 부등류로 가정한다. 수리·수문 특성을 결정하기 위하여, 유속, 수심 및 단면적을 결정해야 한다. 이는 계산요소의 수문학적 특성치와 유량과의 관계는 수리계수를 산정함으로써 가능하다.

떡급수 관계식은 평균유속과 수심을 유량과 상관시키기 위하여 적용될 수 있다.

$$aQ \tag{2-1}$$

$$H = cQ^d \tag{2-2}$$

여기서, H는 평균수심이고, a, b, 및 d는 수위-유량 관계곡선으로부터 결정되는 경험적인 상수이다.

2.2 미계측유역

SWAT에서는 주하천, 하도들의 단면을 사다리꼴로 가정한다. 하천의 유량을 모의하기 위해서는 하도길이, 하도경사, Manning의 조도계수 'n' 뿐만 아니라, 만수일 때의 수면폭과 수심을 정의해 주어야 한다.

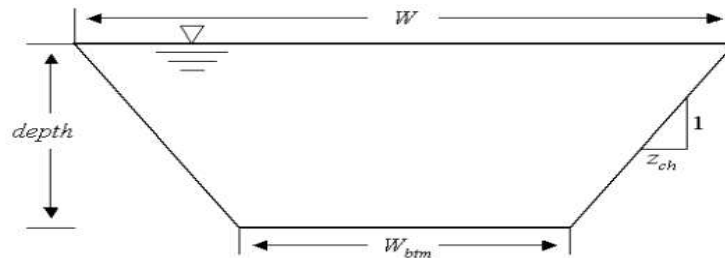


Fig. 2-1. SWAT 모형의 하도 가형(사다리꼴 단면)

층류 흐름에 대하여 유량과 유속을 계산하기 위하여 Manning 식이 이용된다.

$$q_h = \frac{A_{ch} \cdot R_{ch}^{2/3} \cdot slp_{ch}^{1/2}}{n} \tag{2-3}$$

$$v_c = \frac{R^{2/3} \cdot slp_{ch}^{1/2}}{n} \tag{2-4}$$

여기서, q_{ch} : 하도에서의 유량(m^3/s), A_{ch} : 하도에서의 흐름 단면적 (m^2), R_{ch} : 주어진 수심에 대한 수리반경 (m), slp_{ch} :하도의 길이에 따른 경사 (m/m), n : Manning의 조도계수 "n", v_c :유속 (m/s) 이다.

주어진 시간 간격에 대하여 수심을 계산하기 위하여 다음과 같이 정리된다.

$$e_{pth} = z_h^{ch} + \left(\frac{W_{btm}}{2 \cdot z_{ch}} \right)^2 - \frac{W_{btm}}{2 \cdot z_{ch}} \quad (2-5)$$

여기서, $depth$: 수심 (m), A_{ch} : 주어진 수심에 대한 흐름 단면적 (m^2), W_{btm} : 하도의 바닥폭 (m), z_{ch} : 하도 측면경사의 역수이다. 따라서 유량과 유속 계산에 필요한 모든 값이 결정되고, 식 (2-1)와 식 (2-2)에 대한 수리계수를 산정할 수 있다.

3. HEC-RAS 모형을 이용한 수리계수 산정

경안천유역에 대한 수리계수를 산정하기 위하여 하천정비기본계획의 성과인 하천단면 자료를 수집하였다. 하천정비기본계획의 하천 단면 측량 성과를 활용하여 Reach를 구성하고 하천 단면을 입력하여 하천의 기하학적 정보를 입력하였다. 하천길이 및 조도계수, 단면축소계수, 단면확대계수 등의 기하정보 및 흐름정보를 구성하게 되면, 경계조건을 입력하여 입력 유량에 따른 수위를 계산할 수 있고 이 계산된 수위로 수면 곡선을 산정할 수 있다.

HEC-RAS 모형을 통하여 유량에 따른 유속과 수심에 대한 정보를 추출하였다.

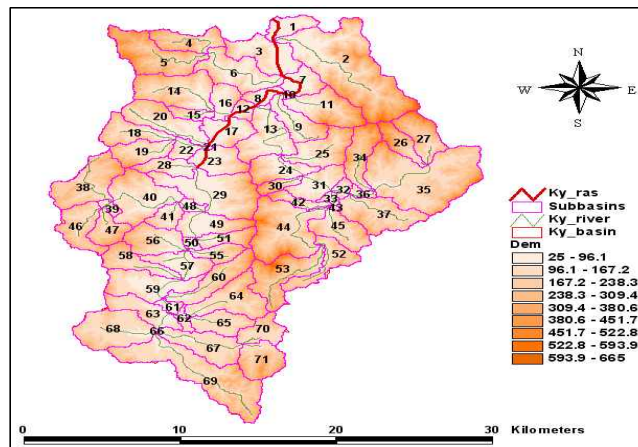


Fig. 3-1. 경안천의 하천정비기본계획 수질구간

하천정비기본계획의 미수립 하천에 대하여 SWAT 모형을 이용하여 산정한 수리계수가 얼마나 타당한 결과를 보여주는지에 대한 검증은 수행하고자 실제 하천정비기본계획에서 하천단면 측량 성과를 이용하여 산정한 HEC-RAS 모형의 결과인 수리계수와 비교하였다. 우선 HEC-RAS 모형으로 산정하여 단면별 수리계수에 대한 Reach별 대표값을 산정하기 위하여 조화평균을 이용하였으며, 그 결과를 정리하면 Table 3-1과 같다.

Table 3-1. 경안천의 Reach 별 수리특성 인자 추출

Subbasin	속도계수 (a)	속도지수 (b)	수심계수 (c)	수심지수 (d)	누계거리 (m)
1	0.195	0.257	0.066	0.403	500
3	0.032	0.284	0.099	0.152	4,000
7	0.077	0.302	0.122	0.344	6,500
10	0.129	0.391	0.144	0.418	7,400
8	0.013	0.510	0.084	0.245	9,972
12	0.040	0.412	0.066	0.252	12,043
17	0.135	0.221	0.079	0.492	15,103
21	0.347	0.092	0.046	0.521	16,023
23	0.190	0.289	0.105	0.332	17,523

4. SWAT 모형을 이용한 수리계수 산정

본연구에서는 미계측 구간에 대한 수리계수 산정 결과가 어느 정도의 타당성이 있는지에 대한 검토를 수행하기 위하여 하천정비기본계획이 이미 수립되어 있는 구간에 대하여 SWAT모형을 적용함으로써 비교하였다. 경안천 유역에 대한 1:25,000 수치지도를 활용하여 30m×30m DEM을 구성하였다. 기존 하천망(지방하천 수준)과 유사한 하천이 형성될 수 있도록 Threshold Area를 200ha로 설정하여 하천을 생성하고 HEC-RAS의 경우와 같은 조건을 만들기 위해 유역출구를 기존 유역출구와 동일하게 정의 하였다. 소유역은 총 71개가 추출되었으며, 이에 따라 Reach도 총 71개가 정의 되었다(Fig. 4-1). 각 Reach는 SWAT에서 가정한 사다리꼴 형상의 하천 생성 결과를 보여주게 되며, 총 71개의 Reach중 하천정비기본계획이 수립되어 있는 구간은 하류부근이며 Fig.4-2에서 보는바와 같이 총 9개의 Reach를 포함한다.

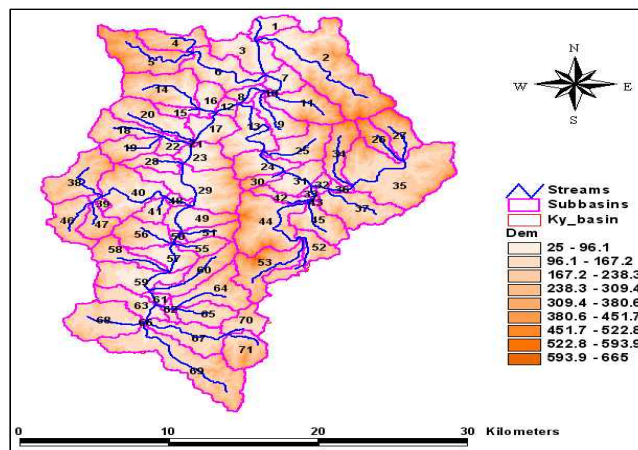


Fig. 4-1. 경안천 유역의 Reach 구분

경안천의 하천정비 수립구간에 대하여 SWAT 모형을 이용하여 추출한 하도정보는 유역면적, 하도길이, 하도경사, 하천폭, 하천깊이 이다 이러한 수리특성인자를 이용하여 산정한 수리계수는 Table 4-1과 같다.

Table 4-1. 경안천의 Reach 별 수리특성 인자 추출

Subbasin	속도계수 (a)	속도지수 (b)	수심계수 (c)	수심지수 (d)	누적거리 (m)
1	0.250	0.356	0.098	0.581	490
3	0.294	0.363	0.082	0.589	3,879
7	0.359	0.364	0.072	0.587	6,414
10	0.445	0.357	0.066	0.572	7,118
8	0.396	0.364	0.067	0.588	9,936
12	0.451	0.346	0.089	0.574	11,886
17	0.368	0.336	0.119	0.569	15,057
21	0.445	0.342	0.098	0.575	15,389
23	0.428	0.337	0.109	0.572	17,468

5. 결과 및 결론

각 수리계수를 비교한 결과는 Fig. 5-1과 같이 나타났다. 검토한 결과 SWAT 모형으로 산정한 결과를 살펴보면 우선, SWAT 모형은 각 Reach별로 수리계수의 변동폭이 작음을 알 수 있었지만 실제 측량성과를 이용한 HEC-RAS의 경우 수리계수의 변동폭이 상당히 큼을 알 수 있었다. 이는

우리나라의 하천이 자연하천이 아닌 정비된 제방하천이기 때문에 자연하도로 고려하여 수리계수를 산정하는 SWAT 모형의 결과와는 차이가 있는 것으로 판단되었다.

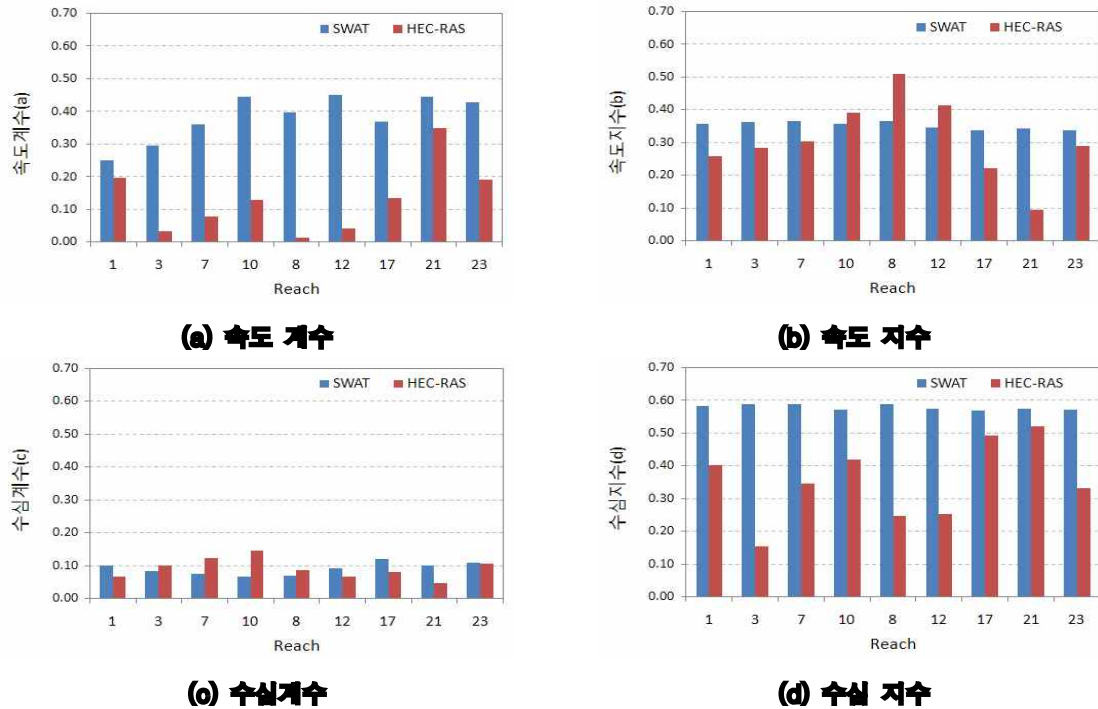


Fig. 5-1. 수리계수 산정 결과 비교

측량성과가 없는 하천구간에 대한 수리계수 산정은 하천정보의 일관적인 구축과 수질오염총량 관리 등의 물 관리 업무를 위하여 반드시 필요하다. 따라서 본 연구에서는 하천단면을 사다리꼴로 가정하는 SWAT 모형을 이용하여 수리계수를 산정하는 방법을 고려하였지만 실제 하천의 특성을 제대로 반영하지 못하였다. 따라서, 추후 위성영상 자료 및 하천지도와 같은 가용한 자료를 통하여 우리나라에서 적용할 수 있는 미계측 구간에 대한 하천수리계수를 산정할 수 있도록 방법론을 개선하는 연구가 지속적으로 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국립환경과학원 연구용역사업의 일환인 「낙동강 및 영산강수계 한국형 Reach File 구축」 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 건설교통부, 1998, 경안천 하천정비기본계획(보완)
2. 건설교통부, 1992, 한강 수계치수기본계획
3. 광주시, 2004, 경기도 광주시 수질오염총량관리계획.
4. 국립환경연구원, 2004, 오염총량관리를 위한 하천수질모델의 개발(I).
5. 국토해양부 한강홍수통제소, 2008, 한국하천일람.
6. 박지혜, 2001, 경안천 유역의 오염총량관리제 도입을 위한 오염삭감량 산정에 관한 연구, 수원대학교 석사학위논문.