

# 하천유사량 특성분석을 위한 유사량산정시스템 개발

## Development of Sediment Discharge Computation System for Characteristic Analysis of River Sediment Discharge

이연길\* / 고주연\*\* / 이진원\*\*\* / 정성원\*\*\*\*

Lee, Yeon Kil\* / Go, ju Yeon\*\* / Lee, Jin Won\*\*\* / Jung, Sung Won\*\*\*\*

### Abstract

본 연구에서는 유사량 측정의 적절성과 산정결과에 대한 정확성을 도모하고자 총유사량과 하상토유사량을 일관적으로 계산하고, 분석 및 관리할 수 있는 유사량산정시스템(Sediment Discharge Computation System; SDCS)을 개발하였다. 유사량산정시스템(SDCS)은 Microsoft사의 Excel VBA(Visual Basic for Applications)로 개발되어져 실행 및 분석이 간단-용이하고, 또한 유사량 산정결과를 저장하고 관리할 수 있는 DBFPAD가 내재되어 있다. 본 시스템은 크게 총유사량과 하상토유사량 산정 모듈로 구성되어 있어 각각의 모듈에서 유량규모에 대응하는 유사량과 농도를 산정할 수 있다. 총유사량 산정 모듈은 대표적인 확산-이송형 모형이라 할 수 있는 Modified Einstein 공식을 토대로 하였으며, 하상토유사량 산정 모듈은 Einstein, Ackers & White, Engelund & Hansen, Yang의 유사량 공식을 근간으로 되었다. 본 시스템은 크게 총 5개의 모듈을 가지며, 총 20개의 서브프로그램(Subroutine Program)과 23개의 사용자정의함수 구문으로 개발되었다. 또한 단면의 특성변화 분석모듈과 DBFPAD 저장 및 관리모듈이 포함되어 있어 산정된 결과를 용이하게 비교·분석할 수 있고, 기존 자료와의 비교도 쉽게 수행할 수 있도록 구성하였다.

핵심용어 : 총유사량, 하상토 유사량, DBFPAD, 유사량산정시스템(SDCS)

## 1. 서론

유수에 의한 침식(Erosion), 유송(Transport), 퇴적(Deposition) 작용을 거쳐 하천의 한 지점을 통과하는 유사유출량은 유역종합치수계획을 수립할 때 유량, 수위, 강우자료 등과 더불어 귀중하게 이용된다. 그러나 유사량 조사는 각각의 기관에서 자료의 이용목적에 따라 간헐적으로 수행했을 뿐 전문적으로 이를 측정하고 품질을 개선시키기 위한 연구개발이 미진한 실정에 있다. 그리고 누구나 이용하기 쉬운 유사량산정시스템이 개발되지 않아 측정결과와 산정과 분석에 번거로움이 많이 따르고 산정결과 또한 일관성이 부족하다. 따라서 본 연구에서는 유사량 측정자료의 생산과 분석, 자료처리 과정의 중요성을 인식하고 조사에서 가공에 이르기까지 체계적인 분석 방법을 정립하고 다양한 연구가 진행될 수 있는 기틀을 마련하고자 유사량산정시스템(Sediment Discharge Computation System; SDCS)을 개발하였다.

\* 유량조사사업단 그룹장, 공학박사, 선임연구원, E-mail : sugawon@kict.re.kr

\*\* 유량조사사업단 팀장, 연구원, E-mail : ballet8199@kict.re.kr

\*\*\* 유량조사사업단 실장, 공학박사, E-mail : jwlee@kict.re.kr

\*\*\*\* 유량조사사업단 단장, 공학박사, E-mail : swjung@kict.re.kr

## 2. 유사량모형의 이론적 배경

### 2.1 Modified Einstein

아인슈타인 공식은 소류사 함수로서 유사의 이송강도(transport intensity)  $\Phi_*$ 와 흐름강도  $\Psi_*$ 는 식 2.1과 같다.

$$\frac{A_*\Phi_*}{1+A_*\Phi_*} = 1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-B_*\Psi_*-2}^{B_*\Psi_*-2} e^{-t^2} dt \quad (2.1)$$

$A_*$ 와  $B_*$ 는 경험적으로 결정되는 실험수로자료이며, 입경에 대한 이송강도  $\Phi_*$ 와 흐름강도  $\Psi_*$ 는 각각 식 2.2와 2.3과 같이 표시된다.

$$\Phi_* = \frac{i_B q_B}{i_b \gamma_s} \left( \frac{1}{gD^3} \frac{\gamma}{\gamma_s - 1} \right)^{1/2} \quad (2.2)$$

$$\Psi_* = \xi_i Y \left( \frac{\beta}{\beta_x} \right)^2 \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) \frac{D_i}{R_b' S} \quad (2.3)$$

아인슈타인은 개수로의 유속  $u$ 의 연직 분포로 Keulegan(1938)이 제안한 식 2.4와 같은 대수 분포식을 이용하였으며, 부유사의 농도  $C$ 의 분포는 식 2.5와 같은 Rouse식(1937)을 이용한다.

$$\frac{u}{u_*} = 5.75 \log(30.2 y/\Delta) \quad (2.4)$$

$$\frac{C}{C_a} = \left( \frac{R_b - y}{y} \frac{a}{R_b - a} \right)^2 \quad (2.5)$$

위의 식 2.4와 2.5를 이용하여 각 입경별 부유사량  $q_{si}$ 를 식 2.6과 같이 나타낼 수 있으며, 입경  $i$ 의 유사량을 합한 단위폭당 총유사량  $q_t$ 는 식 2.7과 같다.

$$q_{si} = \int_a^{R_b} C u dy \quad (2.6)$$

$$q_t = \sum (i_B q_B + q_{si}) = \sum i_B q_B [II_1 + I_2 + 1] \quad (2.7)$$

### 2.2 Engelund & Hansen

Engelund & Hansen 공식(1967)은 하천의 상사이론(similarity principle)에 기초하여 만들어졌으며, 다음 식 2.8과 같다.

$$q_t = 0.05 \gamma_s V^2 \frac{(d \cdot S)^{\frac{3}{2}}}{D_{50} \sqrt{g} (s-1)^2} \quad (2.8)$$

Engelund와 Hansen은 수심과 유속 등의 수리량과 유사량을 동시에 구할 수 있는 도표를 제시하였으며, 수리량이 실측된 경우는 그 실측치를 직접 이용하여 유사량을 산정할 것을 권장하고 있다. 유사입경  $D_{50} < 0.15 \text{mm}$ 인 경우에는 식 2.8를 이용하지 말도록 권고하고 있다. 또한 식 2.8은 경계 Reynolds 수가 12 이상인 Dune 하상에 적용하도록 되어 있으나 실제 적용 결과 Ripple 하상을 제외한 다른 하상에서도 잘 맞는 것으로 알려져 있다.

## 2.3 Yang

Yang(1973, 1979)은 하천에서 유사량은 물이 가지는 위치 에너지의 감소율에 관계한다고 전제하였다. 즉, 하천이  $\Delta t$  시간에  $\Delta z$  만큼 위치 에너지가 떨어지면 위치 에너지 감소율은

$$\frac{\Delta z}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \frac{\Delta z}{\Delta x} = VS \quad (2.9)$$

여기서, Yang은  $VS$ 를 단위 수류력이라고 불렀으며, 이는 단위중량당 물이 가지는 동력이다. 반면에 Bagnold의 수류력  $\tau_0$ ,  $V$ 는 하상 단위면적당 물이 가지는 동력이다. Yang은 단위 수류력을 변수로 하여 기존의 유사량 자료를 이용한 회귀식을 다음과 같이 표시하였다.

$$\log C_t = 5.165 - 0.153 \log \frac{wD}{\nu} - 0.297 \log \frac{u_*}{w} + (1.780 - 0.360 \log \frac{wD}{\nu} - 0.480 \frac{u_*}{w}) \times \log \left( \frac{VS}{w} \right) \quad (2.10)$$

## 2.4 Acker & White

Ackers & White(1973) 공식은 일종의 에너지 개념 형태의 식이다. 그러나 시작은 다음과 같이 무차원 유사량은 이동 수(mobility number)에 관계한다는 차원 해석에서 출발한다.

$$G_{gr} = C \left( \frac{F_{gr}}{A} - 1 \right)^m \quad (2.11)$$

$$F_{gr} = \frac{u_*^n}{\sqrt{gD(s-1)}} \left( \frac{V}{\sqrt{32 \log(10d/D)}} \right)^{1-n} \quad (2.12)$$

위 식들에서  $C_t$ 는 무게비로 표시한 유사 농도이며,  $C$ ,  $A$ ,  $m$ ,  $n$ 은 무차원 입경  $D_*$ 의 함수로 나타낼 수 있다.

## 3. 유사량산정시스템(SDCS)의 개발

본 연구에서는 유사량 측정의 적절성과 산정결과에 대한 정확성을 도모하고자 총유사량과 하상토유사량을 일관적으로 계산하고 분석 및 관리할 수 있는 유사량산정시스템(Sediment Discharge Computation System; SDCS)을 개발하였다. 유사량산정시스템(SDCS)은 Microsoft사의 Excel VBA(Visual Basic for Applications)로 개발되어져 실행 및 분석이 간단·용이하고, 또한 유사량 산정결과를 저장하고 관리할 수 있는 DBFPAD를 포함하고 있다. 본 시스템은 크게 총유사량과 하상토유사량 산정 모듈로 구성되어 있어 각각의 모듈에서 유량규모에 대응하는 유사량과 농도를 산정할 수 있다. 총유사량 산정 모듈은 대표적인 확산-이송형 모형이라 할 수 있는 Modified Einstein 공식을 토대로 하였으며, 하상토유사량 산정 모듈은 Einstein, Ackers & White, Engelund & Hansen, Yang의 유사량 공식을 근간으로 작성하였다. 본 시스템은 크게 총 5개의 모듈을 가지며, 총 20개의 부프로그램(Subroutine Program)과 23개의 사용자정의함수 구문으로 개발되었다. 또한 단면의 특성변화 분석모듈과 DBFPAD 저장 및 관리모듈이 포함되어 있어 산정된 결과를 용이하게 비교·분석할 수 있고, 기존 자료와의 비교도 쉽게 수행할 수 있도록 구성하였다. 그림 1 ~ 그림 4에 유사량산정시스템의 흐름도와 산정시스템, 통합관리시스템을 나타내었다.

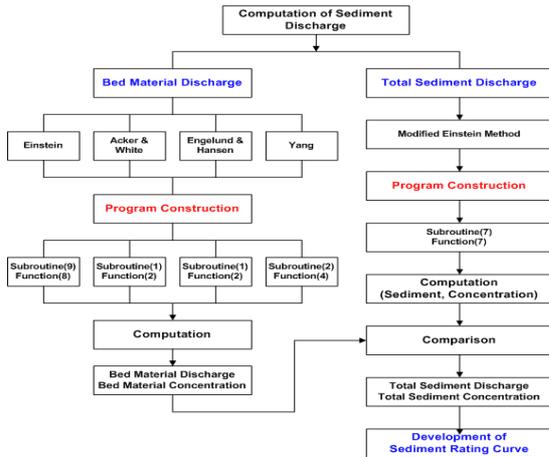


그림 1 SDCS 흐름

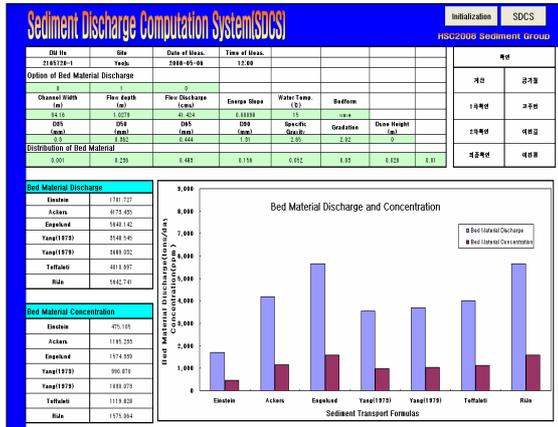


그림 2 하상토 유사량산정시스템(SDCS)

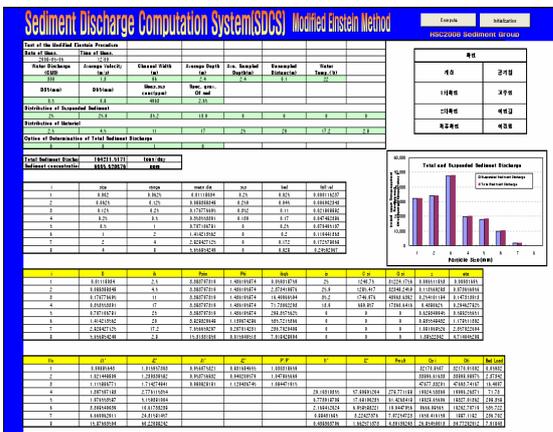


그림 3 Modified Einstein Model

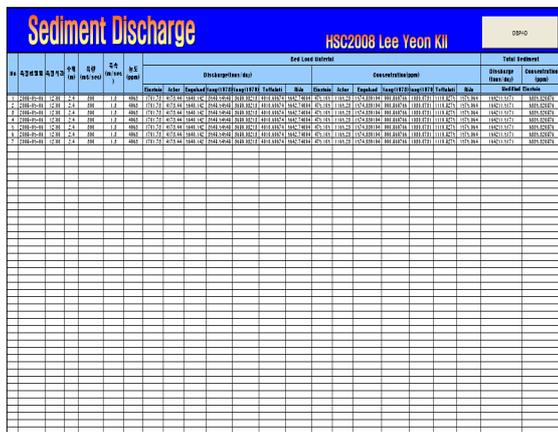


그림 4 자료 통합관리시스템

#### 4. 유사량산정시스템(SDCS)의 적용

본 연구에서는 남한강 수계에 위치한 여주 수위관측소에서 2008년 유량규모별로 채취된 부유사와 하상토 시료, 수리량 등을 유사량산정시스템(SDCS)에 적용하여 유사량을 산정하였다. 유사량 산정 이전 단계에서는 수위 수문곡선 상에 채취된 부유사와 유량자료를 그림 5와 같이 도시하여, 본 관측소에서 채취된 부유사와 하상토, 수리량 등의 특성을 파악하였다. 또한 그림 6으로부터 홍수기 전·후로 채취된 하상토와 부유사의 측정위치, 측선 수 등도 파악하였다. 본 연구에서 개발된 SDCS에 적용하여 유사량을 산정하기 위해서 부유사는 BW 관으로, 하상토는 체분식으로 시료의 입경을 분류하였으며, 그림 8에 본 수위관측소 지점에서 홍수 전·후로 채취된 하상토의 입경가적곡선을 나타내었다. 유사량산정시스템(SDCS)에 적용된 결과를 그림 9에 나타내었으며, 본 결과에서 알 수 있는 것 처럼 동일 유량규모에 대응하는 유사량이 각각의 공식별로 큰 특성을 나타내고 있다.

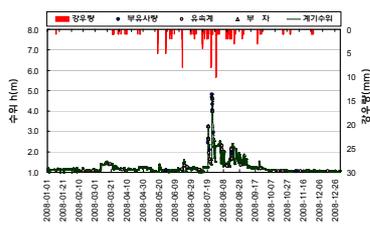


그림 5 유사량측정 현황

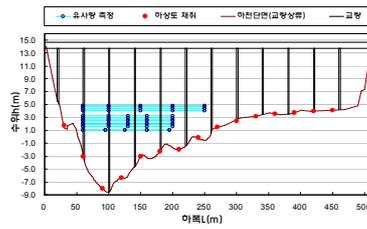


그림 6 채취위치

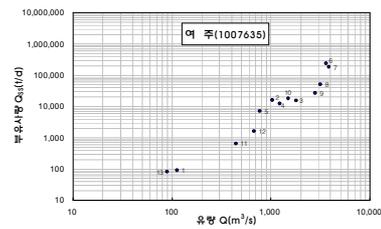


그림 7 부유사량

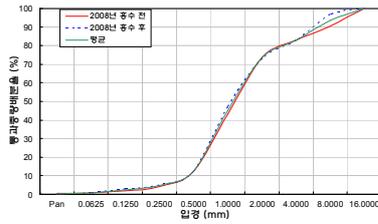


그림 8 입경가적곡선

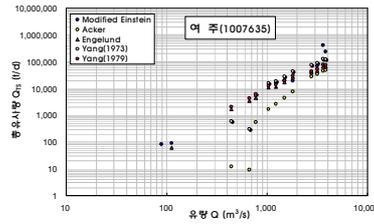


그림 9 모의된 총유사량

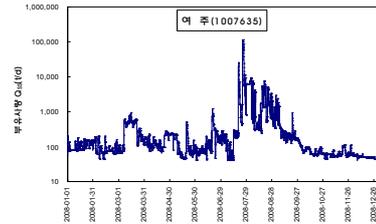


그림 10 유사유출량

## 5. 결론

본 연구에서는 유사량 측정의 적절성과 산정결과에 대한 정확성을 도모하고자 총유사량과 하상토유사량을 일관적으로 계산하고 분석 및 관리할 수 있는 유사량산정시스템(Sediment Discharge Computation System; SDCS)을 개발하여 여주 수위관측소 지점에 적용한 결과는 다음과 같다.

1. 유사량산정시스템(SDCS)은 Microsoft사의 Excel VBA(Visual Basic for Applications)로 개발되어져 실행 및 분석이 간단·용이하고, 또한 유사량 산정결과를 저장하고 관리할 수 있는 DBFPAD가 내재되어 있기 때문에 기존의 유사량산정 모형에 비해 유사량 산정 및 분석, 자료의 저장 및 관리 기능이 탁월하였다.

2. 유사량산정시스템(SDCS)은 크게 총유사량과 하상토유사량 산정 모듈로 구성되며, 총유사량 산정 모듈은 대표적인 확산-이송형 모형이라 할 수 있는 Modified Einstein 공식을 토대로 하였다. 또한 하상토유사량 산정 모듈은 Einstein, Ackers & White, Engelund & Hansen, Yang의 유사량 공식을 근간으로 하였다.

3. 유사량산정시스템(SDCS)을 적용한 결과, Modified Einstein 방법으로 산정된 총유사량이 유량에 따라 변동이 크고 상관성이 낮게 분석되었으며, 그 외의 방법은 다소의 변동폭을 가졌으나 대체로 유량의 증가에 따라 유사량도 증가하는 일정한 경향을 나타내었다.

## 참고문헌

1. 한국건설기술연구원(1989), 하천유사량 산정방법의 선정기준 개발.
2. 한국건설기술연구원(1990), 수정아인쉬타인 방법의 한국 하천에서의 적용.
3. Einstein, H. A.(1950), The Bed-Load Function for Sediment Transportation on Open Channel Flow, US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Technical Bulletin No. 1026.