

개수로에서의 소류사량 산정방법에 관한 연구

(Study on calculation of Bed-Load
Transport rate in Open-Channel)

김원규 (부산대학교 토목과 박사과정)

강주복 (부산대학교 토목과 교수)

정연태 (부산대학교 토목과 박사과정)

1. 서 론

유사의 문제는 차수, 이수에 있어서 기본적인고도 중요한 문제라 할 수 있다. 이동상 하천에서 토사의 이동형태는 소류와 부유로 대별할 수 있다.

홍수시에는 부유사가 차지하는 비율이 매우 크나 평상시 흐름에서는 대부분이 소류사가 되므로 이 소류사에 대한 해석은 하도 설계 등의 문제에서 상당히 중요한 문제이다.

이러한 소류사에 대한 연구는 1879년 Du-Boys의 연구를 발단으로 다수의 실험적, 이론적 연구가 행하여져 왔다.

본 연구는 소류사 이동을 하상표면을 따라 구르거나 도약에 의해 이동하는 것으로 정의하고 소류층 두께를 도약높이로 생각하였고 소류사량은 입자의 이동속도와 소류층의 두께, 소류사 농도의 곱으로 정의하여 무차원 파라메타 D_{*} 와 T_{*} 에 관한 함수형의 새로운 소류사량 산정식을 유도하고 수리실험을 통하여 실제문제에 적용할 수 있도록 필요한 계수를 구하였다.

2. 소류사량 산정식의 유도

(1) 입자 이동속도

M.S Yalin¹⁾은 평균입자 이동속도를 이론적으로 유도하여 식 (1)을 제시하였다.

$$\frac{u_b}{u_*} = (\text{const})_* \left[1 - \frac{1}{a T_*} \ln (1 + a T_*) \right] \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } T_* &= \frac{\tau_{*e}}{\tau_{*c}} - 1 \\ a &= 2.45 \frac{\sqrt{u_{*c}}}{S^{0.4}} \end{aligned}$$

$$s = \frac{\rho^s}{\rho}$$

(const)_u : 유속에 따른 계수

u_b : 입자 이동속도

u_{*} : 마찰속도

본 연구에서는 식 (1) 에서 (Const)_u 를 미지의 계수로 놓고 이식을 소류사량 산정식을 구하기 위한 입자이동속도의 식으로 이용하였다.

식 (1) 에서 T_{*} 를 구하기 위해서는 유효마찰속도 (u_{*e}) 와 한계마찰속도 (u_{*c}) 를 구할 필요가 있다. 그러므로 유효마찰속도를 구하기 위해 芦田 이 평균유속을 사용하여 제시한 식 (2) 를 이용하였다.

$$\frac{u}{u_{*e}} = 6.0 + 5.75 \log_{10} \frac{R}{d(1 + 2\tau_*)} \quad (2)$$

여기서 : 평균유속

그리고 한계마찰 속도를 구하는때는 岩垣 이 많은 실험을 통하여 제시한 식 (3) 을 이용하였다.

$$d \geq 0.303 \text{ cm} \quad : \quad u_{*c}^2 = 80.9 d$$

$$0.118 \leq d \leq 0.303 \quad : \quad u_{*c}^2 = 134.6 d^{31/22} \quad (3)$$

$$0.0565 \leq d \leq 0.118 \quad : \quad u_{*c}^2 = 8.41 d^{11/32}$$

$$d \geq 0.0065 \quad : \quad u_{*c}^2 = 226 d$$

여기서 d = 입자의 직경

(2) 소류층 두께

본 연구에서는 입자의 도약높이를 소류층 두께로 보았다. Leo, C, Van Rijn⁴⁾ 은 수치해석을 통하여 무차원 파라메타 D_{*}, T_{*}의 관계를 이용해서 근사식인 식 (4) 를 얻었다.

$$\frac{\delta_b}{d} = 0.3 D_*^{0.7} T_*^{0.5} \quad (4)$$

여기서 δ_b : 입자의 도약높이

$$T_* = \frac{\tau_{*c}}{\tau_{*c}} - 1$$

$$D_{*x} = d \left[\frac{sg}{v^2} \right]^{1/3}$$

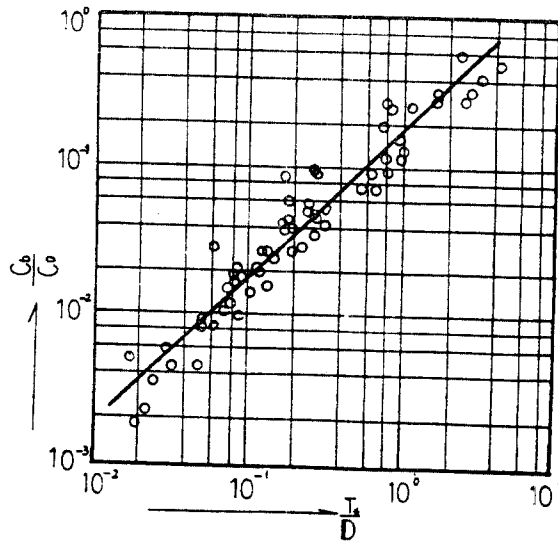
g = 중력 가속도

$$s : \frac{\sigma}{\rho} - 1$$

그리고 Williams가 다른 폭과 깊이의 수로에서 실험을 행하였는데 측정에 의하면 의 영역내에서 소류사의 입자들이 움직인다는 것을 알았다. Williams의 data를 식(4)에 대입해 보면 약10d의 도약높이가 구해지는데 이값은 관측한 값과 상당히 근접하고 있음을 알 수 있으므로 본 연구에서도 소류층 두께를 구하기 위해 식(4)를 이용하였다.

2) 소류사 농도

Van Rijn은 많은 실험data를 이용하여 (Fig.1) 과 같이 소류사 농도와 $\frac{T_*}{D_*}$ 에 대한 관계를 얻어 소류사 농도에 관한식(5)를 제안하였다.



(Fig.1) Relationship between $\frac{T_*}{D_*}$ and $\frac{C_b}{C_o}$

$$\frac{C_b}{C_o} = 0.18 \frac{T_*}{D_*} \quad (5)$$

여기서 C_b : 소류사 농도

C_o : 최대소류농도 (=0.65)

Van Rijn이 제안한 식 (5)에서 소류농도는 $\frac{T_*}{D_*}$ 와 간단한 함수 관계가 있다는 것을 알 수 있으므로 본 연구에서는 소류사의 농도에 관하여 식 (6)을 가정하였다.

$$C_b = B \frac{T_*}{D_*} \quad (6)$$

여기서 B : 계수

(4) 소류사량 산정식

소류사량은 입자의 이동속도와 소류층의 두께, 소류사 농도의 곱으로 정의 하였으므로 식 (1), (4)를 다시 쓰면 식 (7), (8)이 된다.

$$u_b = u_* \cdot A \left[1 - \frac{1}{a T_*} \ln (1 + a T_*) \right] \quad (7)$$

여기서 A : 미지계수

$$\delta_b = 0.3 d D_*^{0.7} T_*^{0.5} \quad (8)$$

식 (6), (7), (8)을 이용하여 단위폭당 소류사량을 구하면

$$q_b = A B \times 0.3 \frac{T_*^{1.5}}{D_*^{0.3}} \left[1 - \frac{1}{a T_*} \ln (1 + a T_*) \right] u_* d$$

그러므로

$$\frac{q_b}{u_* d} = A B \times 0.3 \frac{T_*^{1.5}}{D_*^{0.3}} \left[1 - \frac{1}{a T_*} \ln (1 + a T_*) \right] \quad (9)$$

식 (9)에서 $0.3 \times AB$ 를 한계의 미지계수 K라 하면 식 (10)으로 표현할 수 있다.

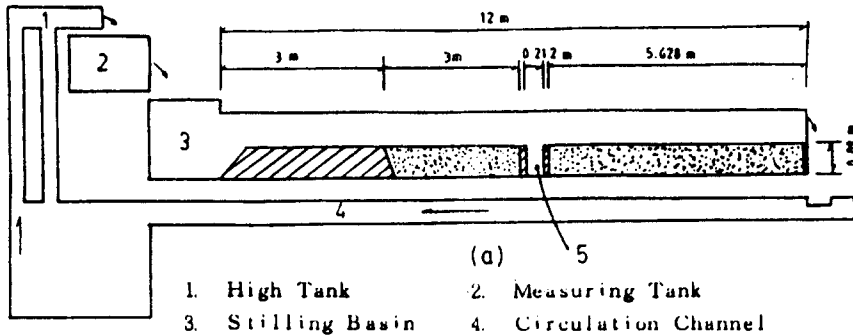
$$\frac{q_b}{u_* d} = K \times \frac{T_*^{1.5}}{D_*^{0.3}} \left[1 - \frac{1}{a T_*} \ln (1 + a T_*) \right] \quad (10)$$

식 (10)을 유사강도 ϕ_B 에 관하여 다시 쓰면 식 (11)이 된다.

$$\phi_B = K \frac{T_*^{1.5}}{D_*^{0.3}} \sqrt{\tau_{*c}} \left[1 - \frac{1}{a T_*} \ln (1 + a T_*) \right] \quad (11)$$

3. 수리실험

실험장치는 Fig.2와 같다.



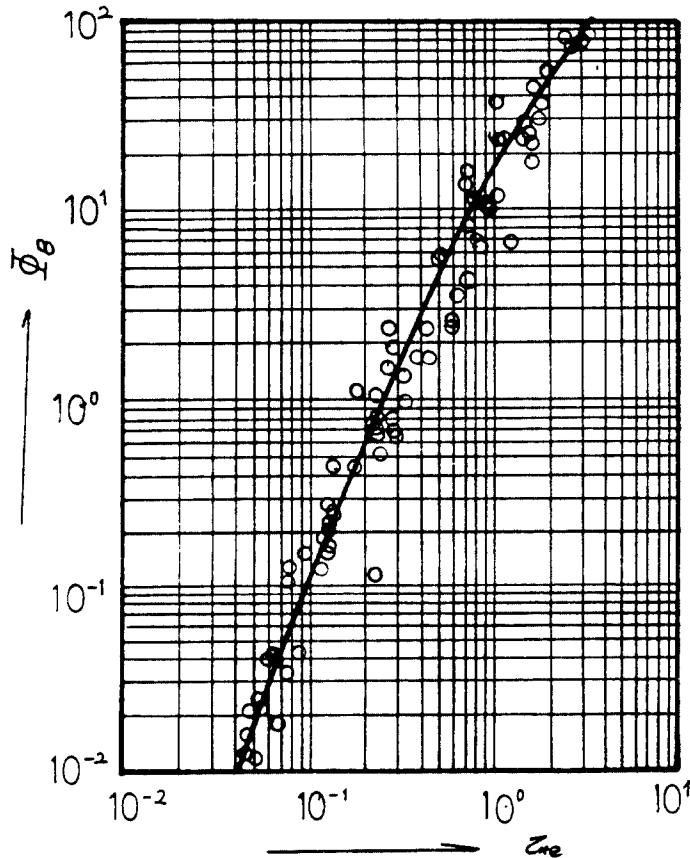
(Fig. 5) Experimental Apparatus

4. 고찰

식 (10)에서 실제문제에 이식을 적용할 수 있도록 수리실험을 통하여 필요한 계수를 구하기 위해 $\frac{q}{u_* d} = Y$,
 $\frac{T_*^{1.5}}{D_*^{0.3}} \left[1 - \frac{1}{aT_*} \ln(1 + aT_*) \right] = X$ 라 놓고
 수리실험을 통해 얻은 결과를 이용하여 최소자승법으로 K를 구하면 식 (11)을 얻을 수 있다.

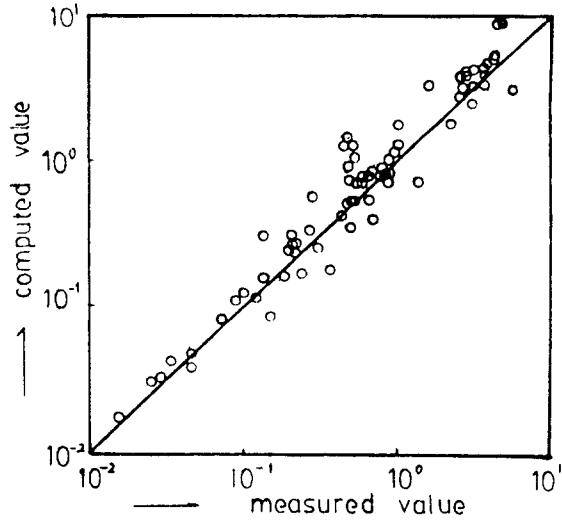
$\frac{q_B}{u_* d} = 0.65 \frac{T_*^{1.5}}{D_*^{0.3}} \left[1 - \frac{1}{aT_*} \ln(1 + aT_*) \right]$
 이 식을 유사강도 $\phi_B(q_B / \sqrt{sgd^3})$ 에 관해 다시 쓰면
 식 (12)가 된다.

$\phi_B = 0.65 \frac{T_*^{1.5}}{D_*^{0.3}} \sqrt{\tau_{*e}} \left[1 - \frac{1}{aT_*} \ln(1 + aT_*) \right]$
 수리실험을 통해 얻은 결과를 τ_{*e} 와 ϕ_B 에 관하여 Plot하면 Fig.3과 같다.



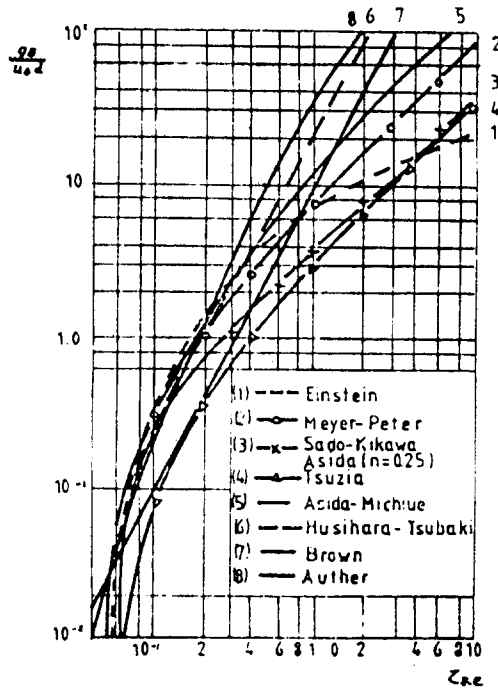
(Fig.3) Relationship between ϕ_B and τ_{*e}

유도한 식 (12)의 결과를 실험결과치와 비교해 보면 Fig.4에
 서 볼 수 있듯이 상당히 잘 일치됨을 알 수 있다.



(Fig.4) Relationship between measured Value
 and computed value, ϕ_n

본 연구의 결과와 다른 연구자들과의 식과 비교해 보면
 Fig.5와 같다.



(Fig.5) Comparison with other investigators
 on the relationship between $\frac{\tau_{*c}}{\rho u_*^2}$ and z_{*c} .

5. 결 론

본 연구는 소류입자 운동의 특성을 조사하고 종래에 소류사량 산정을 위해 사용하였던 파라메타와는 다른 무차원 파라메타 D_* 와 T_* 를 사용, 새로운 소류사량식을 유도하였으며 식중의 계수는 실험결과를 이용하였다.

그리고 다음의 결과를 알 수 있다.

1) 소류사 농도는 $\frac{T_*}{D_*}$ 에 관한 간단한 1차함수로 나타낼 수 있었고 이 농도식을 사용하여 유도한 소류사량식의 결과는 실험치와 비교해 본 결과 상당히 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다.

2) 본 연구에서 구한 소류사량식의 결과를 타연구자들의 결과와 비교해 본 결과 거의 일치되고 있으나 소류력이 커짐에 따라 소류사량이 약간 크게 나타나고 있다.

3) 각 연구자들 마다 한계수심을 구하는데 상당한 차이를 보이고 있고 식을 유도할때 모두가 입자의 형상을 완전한 구라고 가정하였기 때문에 보다 정확한 소류사량을 구하기 위해서는 차후로 한계수심을 구하는데 더욱 많은 연구가 필요하며 그리고 입자의 형상에 따른 광범위한 연구가 있어야 하겠다.

참 고 문 헌

- 1) Yalim, M.S., "Mechanics of Sediment Transport" Pergamon Press, New York N.Y. (1972)
- 2) 芦田和男, 道上正規, "移動床流れの低抗と掃流砂量に關する基礎的研究", 日本土木學會論文報告集, 第 206 號 (1972), pp. 59-69.
- 3) 岩垣雄一, "限界掃流力の 流體力學的 研究", 日本土木學會論文集 41 號 (1956), P1~21.
- 4) Leo.C.Van,Rijn; "Sediment Transport, Part : Bed Load Transport Jour. of hyclraulic division ASCE. Vol.110 No.10(1984) PP1431~1457.
- 5) Williams.P.G., "Flume width and water Depth Effects in Sediment Transport Experiments" Geal. survey prof paper 526-II, page H5, (1970)