

5. 冲積河川の 流砂量算定을 위한 수정 Einstein 方法의 改良에 대한 研究

中央大學校 工科大廳 教授 李 培 浩  
中央大學校 大學院 이 광 만  
中央大學校 大學院 김 형 성



총적 하천의 유수량 산정을 위한 수정 Einstein방법의 개량에 관한 연구

\*A study on The Improvement of The modified Einstein Procedure for Computing The Total sediment Load in Alluvial Channels\*

중앙대 토목과 교수 이 배 호  
중앙대 토목과 원생 이 광 만  
김 형 성

1. 서론

1. 연구의 목적

본 논문은 Colby와 Hembree의 방법을 채택하고 Lara가 지적한 실제 하천에서 얻어진 자료에 오차가 있을 경우 이로 인한 오차를 최소로 하기 위해 농도분포 계수를 최적화 기법을 사용하여 구하고 이 값을 써서 전유수량을 산정하는 방법을 다루고 있다. 그리고 하천에서 필요한 현장측정과 분석과정을 다루어서 실제하천에 대하여 유수량을 산정할 수 있는 방법을 제시하고 있다.

2. 연구 방법 및 범위

Lara의 방법을 참고로 Colby와 Hembree의 이론을 개량하기 위해 다음과 같이 수정한다. 전입경구간에 걸쳐 적용할 수 있는 부유사의 농도분포 계수를 결정하기 위해 Colby와 Hembree가 사용한 상수 값을 최소자승법으로 구하고 이 값을 사용하여 전유수량을 산정

하고자 한다. 또한 계산절차의 복잡성과 도포의 사용을 피하기 위해 전계산 과정에 computer program을 이용하였다.

## 2. Einstein의 유사이론 및 수정방법의 비교

### 1. Einstein의 유사량 공식의 개요

Einstein 유사량 공식의 기본 개념은 수로 단위폭의 전유사량  $q_{st}$ 를 부유사량  $q_{fs}$ 와 소유사량  $q_b$ 의 합으로 보고 유사량은 하상을 형성하는 토입자의 입경구간별 유사량의 합으로 계산하였다.

Einstein 공식의 주요 계산 과정을 열거하면 소유사량은

$$q_b = \bar{v}_* \rho_s g^{3/2} d_s^{3/2} (\rho_s / \rho_f - 1)^{1/2} \quad (1)$$

여기서 흙의 단위 중량 :  $\rho_s$

물의 단위 중량 :  $\rho_f$

중력 가속도 :  $g$

입자의 기하학적 평균 직경 :  $d_s$

$$\bar{v}_* = \zeta \gamma (\beta^2 / \beta \lambda^2) \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \cdot \frac{d}{s K_h}$$

$$\bar{v}_* = \frac{q_{fs}}{\rho_s} \sqrt{\frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} \cdot \frac{1}{(g \cdot d_s^3)}}$$

또한 부유사의 농도분포는 Rouse식을 사용하고 있다.

$$\frac{C_y}{C_a} = \left( \frac{D-y}{y} \cdot \frac{a}{D-a} \right)^2 \quad (2)$$

여기서 수면으로부터 규이의 농도 :  $C_y$

소유 사량의 경계면에서 농도 :  $C_a$

하천의 수심 :  $D$

수면으로부터 규이의 수심 :  $y$

농도 분포 계수 (Rouse의 수 =  $\frac{W}{K u_*}$ )

Karman 사수 :  $K$

입자의 침강 속도 :  $w$

부유 사량  $q_s$ 는

$$q_s = \int_a^b C_y u_y dy \quad \text{--- (3)}$$

따라서 전유 사량  $q_t$ 는

$$q_t = q_b + q_s$$

## 2. 수정 Einstein 방법(1)

calby와 Hembree는 *unsampled zone*에 대한 보완책으로 부유 시를 *sampled zone*과 *unsampled zone*으로 나누어 농도 분포 계수  $Z$ 를 구하고 있다.

$$r' = \frac{i_s' q_s'}{i_B q_B} = C(A', Z) \cdot R(A', Z, P) \quad \text{--- (4)}$$

여기서 채취된 부유 사의 각 입경구간의 구성비 :  $i_s$

채취된 부유사의 각입경구간에 대한양 :  $q_{s'}$

각입경구간의 소유사 구성비 :  $i_0$

각입경구간의 소유사량 :  $q_B$

또한 부유사의 농도분포 계수  $Z$ 를 결정하는데 있어서 Rouse의 수를 사용하지 않고 대표구간의 평균입경에 대한 농도분포 계수  $Z$ 를 식 (4)를 시산으로 풀어 결정하고 다른 입경구간에 대하여는 평균입경의 침강속도  $w$ 를 구하여 각각의  $Z$ 값을 다음식으로 나타냈다.

$$Z = Z_f \left( \frac{w}{w_f} \right)^{0.1} \quad \text{--- (5)}$$

입경구간별 전유사량은

$$i_1 q_{s'} = i_0 q_B + i_{s'} q_{s'} \frac{r}{r'} = i_0 q_B + i_{s'} q_{s'} \frac{pJ_1 + J_2}{pJ_1' + J_2'} \quad \text{--- (6)}$$

가 된다. Colby와 Hembree에 의하면 위과정을 통해 얻어진 유사량은 Einstein 소유사량공식보다 우수하다고 한다.

### 3. 수정 Einstein 방법(1)

Lara는 C.F. Nordin 이 제공한 자료를 이용하여 미국내 57 하천의 부유사 농도분포 계수에 관하여 연구하였다. Lara를 부유입자의 침강속도와  $Z$ 와의 관계를 회귀분석하여 다음식을 얻었다.

$$Z = b_1 w^{b_2} \quad \text{--- (7)}$$

그 결과 상수  $b_1$  가  $b_2$ 의 값은 여러하천에 대하여 다른 값을 얻었다.

식 7에서 지수  $b_2$ 의 범위는 0.30~0.47사이로 Colby와 Hembree가 제안한 0.1과는 상당한 차이가 있으므로 식5에서 타당하다고 가정할 0.1은 수정되어야 한다.

Lara는  $\alpha$  값을 결정하기 위해 아래식을 제안했다.

$$t' = \frac{i_s}{i_b} = \frac{q_b'}{q_s'} \cdot C(A, E) R(A', z, P) \quad \text{--- (8)}$$

$i_b$ 와  $i_s'$ 가 결정되면  $i_b' = i_b$ ,  $i_s' = i_s'$ 로 하고 식 6을 사용하여 전유사량을 산정하는 것이다. 이 방법은 실제하천에서 얻은 자료를 사용하여  $\alpha$  값을 결정하므로 Colby와 Hembree 방법보다 우수하다.

#### 4. 수정 Einstein 방법의 개량방법

본 논문에서는 다음과 같은 방법으로 농도분포를 결정하고자 한다.

부유사와 소유사가 공존하는 입경구간을 얻고 식 5의 상수를 미지수이라 놓으면

$$\alpha = \alpha_r \left( \frac{w}{w_r} \right) R_1 \quad \text{--- (9)}$$

여기서  $\alpha$ 와  $w_r$ 을 대표 입경구간의 대표입경에 대한 농도분포 계수와 침강속도이다.  $R_1$ 을 결정하기 위해 식 8을 변형한다.

$$i_s' = \frac{i_b \cdot q_b}{q_s'} \cdot C(A, z) R(A', z, P) \quad \text{--- (10)}$$

이른치  $i_s''$ 와 실측치  $i_s'$ 와의 차를 작승한다. 이과정은 부유사와 소유사가 공존하는 입경구간에 적용하여

$$\alpha = \alpha \left[ \left( \frac{i_s' - i_s''}{i_s'} \right)^2 + \left( \frac{i_b - i_b'}{i_b} \right)^2 \right] \quad \text{--- (12)}$$

목적함수  $\alpha$ 가 최소가 되는  $R_1$ 을 결정한다. 이  $R_1$ 을 사용하여 다시 식 9에서  $\alpha$  값을 결정하여 전유사량을 구한다.

## 5. 분석결과의 비교

본 연구를 위해서 사용한 자료는 colby 와 Hembree 가 사용한 Niobrara 강에서 얻은 자료이다. 자료는 Table-2 (본논문 p26)

계산결과는 Table-3 에서는 colby 와 Hembree의 방법 Table-4 에서는 Lara의 방법, Table-5 에서는 본 연구 방법으로 구한 값을 보여주고 있다. (본논문 p 27-29)

계산표에서 colby 와 Hembree의 방법으로 얻은 값이 431 t/day이며 Lara의 방법에 의한 것이 525 ton/day 이며 본 연구방법에 의한 것이 575 ton/day 를 나타내고 있다. 이 분석결과로서 다음 2가지 사실을 얻을 수 있다. 첫째 본 연구방법에 의한 그 값의 결정은 Lara 에 못지않게 정확성을 보여주며, 둘째 Lara의 방법보다도 더욱 간편히 농도분포 Z 값을 결정할 수 있다는 것이다. 따라서 본 연구방법도 절차와 방법에 있어서 어느 방법보다도 간편하고 정확한 유사량을 산정할 수 있는 것으로 볼 수 있다.

## 3. 개량방법에 의한 유사량 산정절차

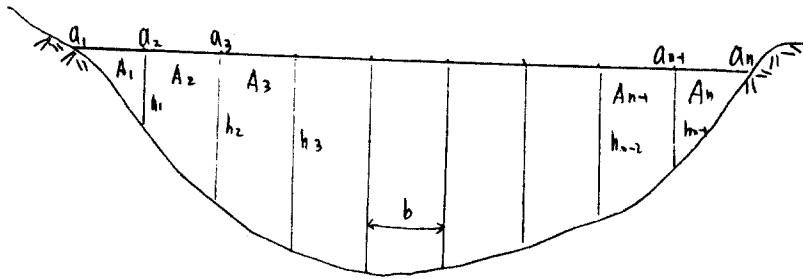
### 1. 현장측정

본장에서는 개량방법으로 유사량을 산정하는데 필요한 자료를 현장에서 어떻게 채취하고 결정하는가를 순서대로 설명한다.

예를 들면 아래그림과 같은 하천 단면이 있다고 할때 하천폭을 임의의 등간격로 분할하고 그 위치를 표시한다. 하천단면은 경



사가 급하지 않고 상하류의 상당구간이 동류에 가까운 곳을 택한다.



### 하천단면

1) 하천수로폭의 결정

2) 평균 유속의 결정

$$U_i = \frac{U_{0.2} + U_{0.8}}{2}$$

3) 하천 단면의 결정

$$A = \sum \left( \frac{h_{i-1} + h_i}{2} \right) \cdot b$$

4) 유량의 결정

$$Q = \sum \left( \frac{u_i + u_{i+1}}{2} \right) \cdot \Delta A_i$$

5) 평균수심의 결정

$$h_m = A/W$$

6) 소유사의 채취

7) 부유사의 채취

8) 부유사와 소유사의 입도분석

9) 동점성 계수 및 수온

위와같이 1—9에 걸친 자료를 얻으면 본 논문에서 제안한 가량 방법으로 유사량을 산정할 수 있다. 이와같은 방법은 Einstein이 제안한 방법보다 자료측정이 간편하다.

## 2. 기량방법에 의한 분석절차

기량방법으로 유사량을 계산하는 절차는 다음과 같은 순서이다.

- 1) 유체의 동정성 계수를 계산한다.
- 2) Fig 4(본 논문 12)에서  $x$ 값을 결정하고  $p$ 를 계산한다.
- 3) 채취한 부유사량은 다음식으로 구한다.

$$Q_s' = Q_T^* \cdot C$$

여기서  $Q_T^*$  = Sampled zone에 대한 유량

$C$  : 부유사의 농도

- 4) 입도분석한 자료를 사용하여 입경을 소준구간으로 나누고 부유사와 소유사가 동시에 존재하는 구간을 설정하고 분포가 가장 큰 구간을 찾아 대표입경을 구한다.
- 5) 대표입경을 사용하여  $K$ 과  $w_p$ 을 결정한다.
- 6) 4)에서 얻어진 자료와 함께  $K$ 을 구한다.
- 7)  $K$ 과  $D_p$ 를 Simpson법칙으로 수치적분한다.  
식(10)을 사용하여
- 8) 전유사량을 계산한다.

## 3. 전산 program

전술한 과정을 거쳐 하천에서 자료가 얻어지면 이 자료를 사용하여 유사량을 구할 수 있다. 먼저 입도분석표에서 대표구간을 찾

이 대표입경을 결정하고 다음과 같은 절차를 거쳐 전유사량을 산정한다.

- 1) 대표입경에 대한  $Z_r$  및  $W_r$ 을 구한다.
- 2)  $Z = Z_r (w/w_r)^k$  에서  $Z$ 를 구하여 식 10에 대입하여 이론치  $i_b'$ 를 구한다. 다음 실측치  $i_b$ 와 차를 작성한다.
- 3) 2)와 같은 절차로 이론치  $i_b'$ 와 실측치  $i_b$ 의 차를 작성한다.
- 4) 2)~3)의 과정을 부유사와 소유사가 공존하는 전입경 구간에 적용하여 오차 작성이 최소가 되는  $R_1$ 을 산정한다.
- 5) 결정된  $R_1$ 을 사용하여 다시 2)에서  $Z$ 값을 구해  $I_1$ 과  $I_2$ 를 수치적으로 구분한다.
- 6) 전입경 구간에 대한 유사량을 구한다.

이와같은 계산방법은 Einstein방법이나 colby혹은 Lara의 방법보다 더욱 간단하며 정확한 값을 계산할 수 있다.

## 6. 결론

본 연구에서는 Lara의 단점을 보완하고 colby와 Hembree의 수정 Einstein방법을 개량시킬 목적으로 전술한 것과 같은 과정으로 이론을 전개시켰다. 그 결과 본 연구방법이 상당한 타당성이 있으며 실제 하천에서 사용하기에는 적절한 방법으로 생각된다. 수정 Einstein방법을 개량하는 과정에서 얻은 결론은 아래와 같다.

- 1) Lara가 지적했듯이 유사차취과정에서  $i_b'$ 와  $i_b$ 의 값에 다소오차가 개질될 수 있으며 이 오차는 유소량에 다소 영향을 미친다.

- 2) 계산결과를 보면 Gibby와 Hembree의 값과는 다소 차이가 있으나 Lam의 방법과는 별 차이가 없다.
- 3) 종래에 사용하던 도표 대신에 전계산과정을 computer program화하여 계산의 정확도와 간편화가 이루어졌다.
- 4) 유사량을 산정하는 실무적인 과정을 상세히 설명함으로써 실무에서 사용할 수 있는 방법을 제시하고 있다.