

總流砂量 算定을 위한 流砂濃度式의 導出

Derivation of Sediment Concentration for the Computation of Total Sediment Discharge

이 중 석* · 김 진 규** · 차 영 기***
Lee, Jong Seok · Kim, Jin Kyoo · Cha, Young Kee

Abstract

Quantitative computation of sediment discharge in alluvial channels is conducted by the determined method based on the incipient motion or the sediment transport concept. The derived formulation of sediment concentration in this study was developed in order to compute the total sediment discharge by a regression analysis method, one of the determined methods by the sediment transport concept. The used data set in derived formulation consists of the total 360 data including 135 and 225 measured data in natural channels and experimental channels, respectively. Also, the formulation by the multiple regression analysis was composed of independent variables of flow depth, mean velocity, channel slope, Froude number and median diameter in bed materials.

요 지

충적수로에서 유사량의 정량적인 산정은 초기운동개념이나 유사이송개념에 의한 방법에 기초하여 구하고 있다. 본 연구에서는 유사이송개념에 의한 결정방법 중의 하나인 회귀분석법에 의해 총유사량을 산정할 수 있는 유사농도에 관한 관계식을 유도하였다. 관계식의 유도에는 135개의 현장자료와 225개의 실험자료가 포함된 360개의 실측자료가 이용되었다. 또한 다중회귀분석법에 의한 관계식은 수심, 평균유속, 수로경사, Froude 수 및 하상재료의 중앙입경을 독립변수로 하여 유도되었다.

1. 서 론

강우로 인한 유역내의 지표면 유출과 토사의 침식, 유송 및 퇴적의 반복작용에 따른 유사이송은

* 단국대학교 토목공학과 시간강사
** 서울산업대학교 토목공학과 교수
*** 단국대학교 토목공학과 교수

하천의 수리학과 형태학을 보다 명확하게 이해하기 위한 중요성 때문에 수공학자들과 지질학자들의 주요 관심의 대상으로 연구되어왔다. 또한 유수와 토사이송간의 복잡한 상호작용으로 인해 아직까지 유사이송 문제는 경험적이거나 반경험적으로 다루고 있으며, 이에 대한 연구도 불완전한 것이 사실이다. 이러한 유사이송 체계는 흐름과 유사특성을 포함하는 대부분의 변수들이 유사이송율과 변수들 사이의 밀접한 상호관계를 정확하게 규명하기 어려우므로 이론적인 취급은 흔히 단순화하거나 이상적인 가정에 기초한다. 이것은 보통 유사이송율이 유량, 평균유속, 에너지 경사 중의 하나 또는 두개의 주요변수에 의해 결정될 수 있다고 가정한다. 유사이송에 관한 대다수의 방정식은 이들 가정에 기초하여 개발되어 왔으며, 개개의 방정식은 제한된 실험자료와 현장자료에 의해서 만들어지는 것이 보통이다. 그래서 서로 다른 방정식을 임의 총적수로에 적용하였을 때 그 계산 결과는 측정치와 비교하여 아주 다르게 나타나는 경우가 많다.

총적수로의 유사량 산정에 관한 연구는 Du Boys를 비롯하여 Einstein과 Meyer-Peter, Johnson, Lacey와 Blench 및 Inglis 등의 많은 학자들에 의하여 소류사에 관해 연구되었고, 부유사에 관해서는 Smith, Rouse, Rijn 등에 의해 연구되었으며, 총유사량에 대해서는 Colby와 Hembree, Shen과 Hung, Laursen, Banold, White 등의 여러 학자들에 의해 연구되어 왔다. 또한 국내에서의 유사량 산정에 관한 연구는 강주복(1982), 김진규(1995), 우효섭과 유권규(1989) 등이 연구하였다.

본 연구에서는 초기운동개념과 유사이송개념에 기초한 총적수로에서의 총유사량 산정방법 중 회귀분석법에 의해 총유사량의 산정을 위한 유사농도에 관한 관계식을 유도한다.

2. 이론적 배경과 유사량 산정

2.1 이론적 고찰

유사량 산정에 관한 이론은 크게 초기운동개념과 유사이송개념에 의한 방법으로 나눌 수 있다. 그 중 초기운동개념은 유사입자에 작용하는 힘의 평형

으로부터 얻을 수 있는데, 하상의 유사입자가 움직이기 시작하는 흐름조건 즉, 초기운동조건에 관계되는 힘의 크기는 전단응력이나 유속에 의한 방법으로 결정할 수 있다(Talapatra와 Ghosh, 1983).

전단응력법은 초기운동개념에 의해 만들어진 Shields의 도표를 이용하여 유사량을 산정하는 것이 가장 널리 사용되는 방법이다. 초기운동조건을 결정하는 중요한 변수들은 전단응력, 유사 및 유체의 밀도차, 입자의 직경, 동점성계수, 중력 가속도가 있는데, 이들 변수간의 관계는 무차원 변수식으로 나타내고 실험에 의해 결정한다(Vanoni, 1975).

유사이송 개념에 의한 유사량의 산정은 유사이송 방정식의 유도에 적용한 접근방법에 따라 확률론법, 확률론법 및 회귀분석에 의한 방법으로 구할 수 있다(Yang, 1972). 확률론법은 종속변수와 독립변수 사이에 1대 1 대응관계가 있다고 가정하여 독립변수의 값이 주어진 경우 유사이송율 또는 농도를 직접 계산할 수 있으나, 가정한 1대 1 대응관계가 존재하지 않거나 어떤 특별한 조건하에 있을 때 그 계산결과는 신뢰성이 떨어진다. 확률론법은 흐름상태 및 난류변동과 연관되어 있으므로 유사의 평균이송율과 유사이송의 시작과 종료를 확률 개념으로 표현할 수 있는데, 대표적인 Einstein(1950)의 소류사 이송함수는 계수들의 수학적 공식화가 매우 복잡하기 때문에 실질적으로 실험과 현장연구에 의해 검증되며, 계수와 함수 관계식의 대부분은 제한된 관측치로부터 만들어진다. 회귀분석법은 확률론법이나 확률론법에 의한 유사량의 산정은 비교적 부정확한 결과를 나타내므로 흐름 및 유사이송간의 상호작용을 고려하여 서로 관련된 여러 변수들의 상관관계를 고려함으로써 보다 더 정확한 관계식을 얻고자 회귀분석법이 사용된다. 이 방법은 신뢰할 수 있는 자료가 회귀분석에 사용될 경우 아주 적절한 해를 얻을 수 있기 때문에 유도된 관계식은 그 방정식을 얻기 위해 사용된 자료와 같은 범위내의 흐름 및 유사조건에 경우에는 유용하게 적용할 수 있으므로, 본 연구에서는 이 방법을 이용하여 총유사량의 산정에 관한 관계식을 유도한다.

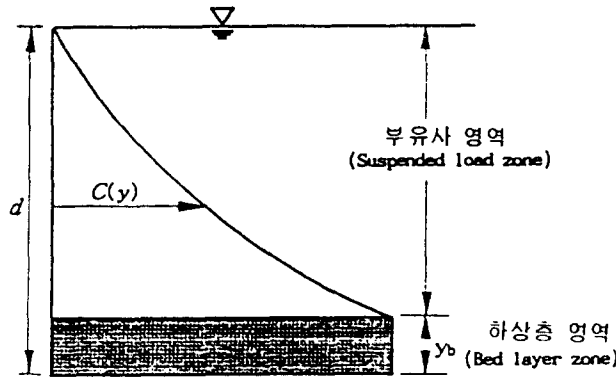


그림 1. 총적하천에서의 총유사량 산정 모형

2.2 총유사량의 산정

유수에 의한 토사의 이송은 그림 1과 같이 입자의 활동과 전동 및 도약에 의해 이루어지는 하상부근의 하상층 영역과 그 윗부분을 부유사 영역으로 구분하고, 이들 두 이웃하는 영역에서 발생하는 소류사와 부유사를 합산하여 총유사량을 산정한다. 하상층 영역의 유사농도 C_b 는 일정한 것으로 가정하고, 그 윗부분인 부유사 영역의 농도분포 $C(y)$ 는 두 영역 사이의 경계에서 연속성을 갖는 것으로 한다.

단위폭당 총유사량 q_t 는 단위폭당의 부유사량 q_s 와 소류사량 q_b 로 나누어 유사농도와 유속의 곱을 수심에 관해 적분함으로써 다음과 같이 계산한다.

$$q_t = q_s + q_b = \int_{y_b}^d C v_s dy + C_b \int_0^{y_b} v_s dy \quad (1)$$

여기서 C 는 임의 수심 y 에서의 유사농도이고, v_s 와 v_b 는 부유사 영역 및 하상층 영역의 유사속도이며, d 는 수심, y_b 는 하상층의 두께이다.

식 (1)의 q_s , q_b 및 q_t 를 계산하기 위해서는 수심에 따른 유속의 연직분포와 하상층의 유사입자 속도, 수심에 따른 유사농도 분포, 하상층 두께 및 하상층 영역의 유사농도가 필요하다.

2.2.1 유속과 유사농도 분포 및 하상층 두께

수심에 따른 유속의 연직분포는 하상부근에서의 유속분포를 쉽게 나타낼 수 있는 Zimmermann과 Kennedy(1978)가 발표한 멱법칙 분포를 사용한다.

$$\frac{v}{V} = \frac{n+1}{n} \left(\frac{y}{d}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

여기서 v 는 임의 수심에서의 유속이고, V 는 평균 유속이며, n 는 $[\kappa(8/f)^{1/2}]$, κ 는 Karman의 상수, f 는 Darcy-Weisbach의 마찰계수이다. 본 연구에서는 식 (2)를 흐름방향 유속의 연직분포 식으로 사용하고, 부유사 영역에 있어 유사속도도 이 분포를 갖는 것으로 가정한다.

또한, 1차원 부유사의 대류확산 방정식은 멱법칙 분포의 부유사 농도분포를 사용하고, Reynolds의 해석과 Danushkodi(1975)의 실험결과를 이용함으로써 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$wC + (du) \left(\frac{n}{n+1}\right) \beta \kappa \left(1 - \frac{y}{d}\right) \left(\frac{y}{d}\right)^{(1-\frac{1}{n})} \frac{dC}{dy} = 0 \quad (3)$$

여기서 w 는 유사 입자의 침강속도이고, β 는 비례 상수이다. 식 (3)을 농도 C 에 관해 적분하여 $y/d = \eta$ 로 놓고 진 유리 분수식(proper rational

fraction) $\int \frac{1}{\eta^{1-(1/n)}(1-\eta)} d\eta$ 는 $\sum_{i=1}^{\infty} \frac{\eta^{i-(1-\frac{1}{n})}}{i-(1-\frac{1}{n})}$ 또는

$\sum_{i=1}^{\infty} \frac{\eta^{(i+\frac{1}{n})}}{i+\frac{1}{n}}$ 인 부분 분수식(partial fraction)의 합

으로 분해할 수 있으므로 다음과 같이 표고 $y=y_b$ 에서의 기준 농도 C_b 를 얻는다. 여기서 $\sum_{i=1}^{\infty}$ 또는 $\sum_{i=0}^{\infty}$ 는 부분 분수식의 합이며, i 는 합의 각항의 순서이다.

$$\frac{C}{C_b} = \exp\left[-Z_k \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\eta^{(\frac{1}{n}+i)} - \eta_b^{(\frac{1}{n}+i)}}{(\frac{1}{n}+i)}\right] \quad (4)$$

여기서 $\eta_b = (y_b/d)$ 이고, $Z_k = [(n+1)/n](w/\beta\kappa u_*)$ 이며, 하상층의 두께는 Karim(1981)이 제안한 다음 식을 사용한다.

$$y_b = D_{50} \frac{u_*}{u_{*c}} \quad (5)$$

여기서 D_{50} 은 하상재료의 중앙입경이고, u_* 는 한계 전단속도이다.

2.2.2 기준농도

단위폭당의 전유사량에 관한 식을 풀기 위해 유속분포 및 기준농도에 관한 식 (2)와 (4)를 식 (1)에 대입하면 다음 식을 얻는다.

$$q_t = \int_{y_b}^d C_b \exp\left[-Z_k \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\eta^{(\frac{1}{n}+i)} - \eta_b^{(\frac{1}{n}+i)}}{(\frac{1}{n}+i)}\right] V\left(\frac{n+1}{n}\right) \eta^{\frac{1}{n}} dy + C_b \int_0^{y_b} V\left(\frac{n+1}{n}\right) \eta^{\frac{1}{n}} \left(\frac{w}{u_*}\right)^{-0.50} dy$$

$$= C_b V d \left[\int_{\eta_b}^1 \left(\frac{n+1}{n}\right) \eta^{\frac{1}{n}} \exp\left\{-Z_k \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\eta^{(\frac{1}{n}+i)} - \eta_b^{(\frac{1}{n}+i)}}{(\frac{1}{n}+i)}\right\} d\eta + \eta_b^{\frac{1}{n}+1} \left(\frac{w}{u_*}\right)^{-0.50} \right] \quad (6)$$

식 (6)에 단위폭당의 유량 $q(=Vd)$ 에 대한 총 유사량 q_t 의 비를 $\bar{C} (= \frac{q_t}{q})$ 로 정의하여 도입하면 C_b 는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$C_b = \frac{\bar{C}}{\int_{\eta_b}^1 \left(\frac{n+1}{n}\right) \eta^{\frac{1}{n}} \exp\left\{-Z_k \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\eta^{(\frac{1}{n}+i)} - \eta_b^{(\frac{1}{n}+i)}}{(\frac{1}{n}+i)}\right\} d\eta + \eta_b^{\frac{1}{n}+1} \left(\frac{w}{u_*}\right)^{-0.50}} \quad (7)$$

식 (7)의 분모에서 적분은 부유사량의 분포를 나타내고, 두 번째 항은 소류사량의 분포를 나타내는데, (w/u_*) 값이 작은 경우 무시할 수 있으므로, 하상층 영역의 유사농도 C_b 는 n , Z_k , y_b 및 \bar{C} 로부터 계산할 수 있다. C_b 의 값은 여러 학자들에 의해 연구된 현장 및 실험수로에서의 측정자료를 사용하여 다중회귀분석에 의한 독립변수들의 조합으로 구할 수 있는데 이에 관해서는 다음절에서 기술된다.

3. 총유사량의 산정에 관한 관계식 유도

앞절에서 기술한 바와 같이 본 연구에서는 회귀 분석법에 의한 총유사량의 산정 관계식을 표 1의 자료를 사용하여 유도한다. 식의 유도에는 통계처리용 범용 프로그램인 SAS를 이용하였으며, 이에 필요한 자료들은 Karim (1981) 등의 문헌을 이용하였다.

표 1. 통계처리에 사용된 실측자료

자료명	수심 d (m)	평균유속 V (m/s)	수로경사 S ($\times 10^3$)	중앙입자 D_{50} (mm)	입자형상 표준편차 σ_s	동점성계수 $\nu(m^2/s)$ ($\times 10^{-6}$)	Froude 수 F_r	총유사량 C (ppm)
1. Fort Collins (0.19mm)	0.155 ~0.332	0.316 ~1.319	0.430 ~9.499	0.190	1.30	1.021 ~1.142	0.23 ~0.95	29.0 ~47300.0
2. Fort Collins (0.27mm)	0.137 ~0.329	0.405 ~1.502	0.650 ~10.221	0.270	1.56	1.049 ~1.309	2.30 ~1.17	98.0 ~35800.0
3. Fort Collins (0.28mm)	0.091 ~0.268	0.137 ~1.502	0.730 ~10.069	0.280	1.67	1.086 ~1.309	0.24 ~1.33	20.0 ~36100.0
4. Fort Collins (0.32mm)	0.164 ~0.225	0.377 ~1.746	1.100 ~16.200	0.320	1.57	0.836 ~1.430	0.30 ~1.29	55.0 ~49300.0
5. Fort Collins (0.45mm)	0.082 ~0.292	0.435 ~1.883	0.780 ~10.100	0.450	1.60	1.021 ~1.254	0.28 ~1.70	268.0 ~15100.0
6. Fort Collins (0.93mm)	0.115 ~0.338	0.548 ~1.786	1.300 ~12.600	0.930	1.54	0.966 ~1.077	0.42 ~1.56	201.0 ~10200.0
7. Willams (0.93mm)	0.088 ~0.155	0.469 ~1.036	1.330 ~10.880	1.350	1.25	0.873 ~1.124	0.41 ~1.09	27.4 ~2609.0
8. Vanoni et al.	0.060 ~0.167	0.316 ~0.810	0.700 ~2.800	0.137 ~0.145	1.30 ~1.38	0.891 ~1.124	0.25 ~0.96	268.0 ~5600.0
9. Missouri R. (Cat A)	2.383 ~5.288	0.670 ~1.996	0.153	0.177 ~0.305	1.19 ~1.93	0.882 ~1.755	0.15 ~0.34	149.0 ~1927.0
10. Missouri R. (Cat BC)	2.898 ~4.038	1.161 ~1.652	0.153	0.177 ~0.257	1.19 ~1.34	0.891 ~1.393	0.20 ~0.31	246.0 ~1596.0
11. Missouri R. (Cat RS)	2.773 ~3.596	1.286 ~1.676	1.530	0.190 ~0.340	1.25	0.891 ~1.635	0.22 ~0.30	165.0 ~830.0
12. Sato et al. #1	0.228 ~0.502	0.438 ~1.054	0.380 ~2.560	1.038 ~3.760	1.00	0.891 ~1.523	0.24 ~0.52	24.2 ~402.0
13. Meyer et al.	0.057 ~0.441	0.932 ~2.398	3.180 ~22.700	5.210 ~28.650	1.00	1.783	0.75 ~1.33	28.7 ~6999.9
14. Gilbert	0.030 ~0.140	0.387 ~1.182	2.766 ~24.348	0.786 ~1.170	1.13 ~1.34	1.783	0.42 ~2.06	185.0 ~25000.0
15. WWES #1	0.076 ~0.243	0.371 ~0.527	1.000	0.937 ~1.203	1.18 ~1.53	0.901 ~1.003	0.34 ~0.44	30.3 ~157.0
16. Wilis et al.	0.100 ~0.149	0.329 ~1.197	0.864 ~8.580	0.540	1.21	0.687 ~1.263	0.41 ~1.15	170.0 ~6670.0
17. Missouri R. (Sioux C.)	2.264 ~5.010	0.774 ~1.246	0.175 ~0.186	0.220 ~0.310	1.40	0.938 ~1.783	0.14 ~0.25	140.0 ~1526.0
18. Middle Loup R.	0.271 ~0.420	0.594 ~0.941	0.928 ~1.344	0.300 ~0.400	1.50 ~2.00	0.845 ~1.755	0.33 ~0.54	553.0 ~2600.0
19. Niobrara R.	0.420 ~0.509	0.624 ~1.100	1.174 ~1.704	0.270	1.58	0.817 ~1.523	0.30 ~0.50	392.0 ~2200.0
20. ACOP Canals	1.463 ~4.084	0.914 ~0.896	0.088 ~0.165	0.123 ~0.208	1.22 ~1.53	0.783 ~1.114	0.14 ~0.17	65.0 ~755.0
21. Rio Grande R.	0.158 ~1.155	0.356 ~2.002	0.760 ~0.890	0.280	1.58	0.863 ~1.291	0.26 ~0.61	183.0 ~7240.0
22. Elkhorn R.	0.826 ~1.886	0.624 ~1.828	0.351 ~0.475	0.230	1.49	0.338 ~1.690	0.19 ~0.51	513.0 ~21000.0
23. Sato et al. #2	0.201 ~0.472	0.487 ~0.950	0.820 ~3.030	2.210 ~3.760	1.00	0.929	0.34 ~0.49	9.1 ~499.6
24. WWES #2	0.073 ~0.271	0.377 ~0.563	1.000	0.850 ~0.919	1.00 ~1.21	0.929	0.29 ~0.45	41.0 ~195.5

관계식의 유도에 사용된 표 1의 자료는 현장 및 실험수로에서 측정된 실측자료로서 현장자료의 경우는 9개 하천에서 흐름조건 및 유사특성이 서로 다른 15개씩의 자료 135개를, 실험자료의 경우에는 15개의 실험수로에서 각각 15개씩 225개의 자료를 선택하여 총 360개의 자료가 사용되었다.

회귀분석은 다중회귀 분석방법을 사용하였으며, 흐름조건과 여러 가지 유사특성을 포함하는 변수들 중에서 정량적으로 측정이 용이하고 자료의 습득이 가능한 7개의 변수 즉, 수심과 유속, 수로경사, 하상재료의 중앙입경, 입자형상의 표준편차, 동점성계수 및 Froude 수를 변수로 선택하여 통계처리에 사용하였다. 여기에 변수선택의 방법은 모든 가능한 회귀방법과 단계별 회귀방법을 사용하였으며, 모형의 판정은 결정계수 r_b^2 과 잔차 자승평균 MSE_b 및 총자승 오차인 Mallows의 C_b 를 기준으로 하여 최적의 모형을 선택하였다.

4. 분석 및 고찰

실측자료 360개를 이용하여 유도된 총유사량 산정에 관한 관계식은 다중회귀 분석방법에 의해 회귀 가능한 128(=2⁷)개 모형중 5개의 변수를 갖는 모형이 최적모형으로 나타났다. 유도된 관계식에서 5개의 변수 값의 범위는 표 2와 같이 수심은 0.030~5.288m이고, 평균유속은 0.316~1.996m/sec이며, 수로경사는 0.000080~0.024348, 하상재료의 중앙입경은 0.190~28.650mm, Froude 수는 0.140~2.060의 값을 갖는 것으로 나타났다.

그리고, 다중회귀분석에서 선택된 수심과 평균유속, 수로경사, 하상재료의 중앙입경, Froude 수와 유사농도간의 대수변환을 통한 상관관계는 그림 2~6과 같이 나타났다.

그림 2~6에서 5개의 독립변수와 유사농도간의 상관관계는 그림 3과 6의 평균유속과 Froude 수의 관계가 가장 좋은 것으로 나타났고, 수심과는 상관관계가 좋지 않은 것으로 나타났다.

그리고, 이들 변수에 대수변환을 취해 얻은 최적 회귀 방정식의 회귀분석 결과는 표 3과 같이 결정

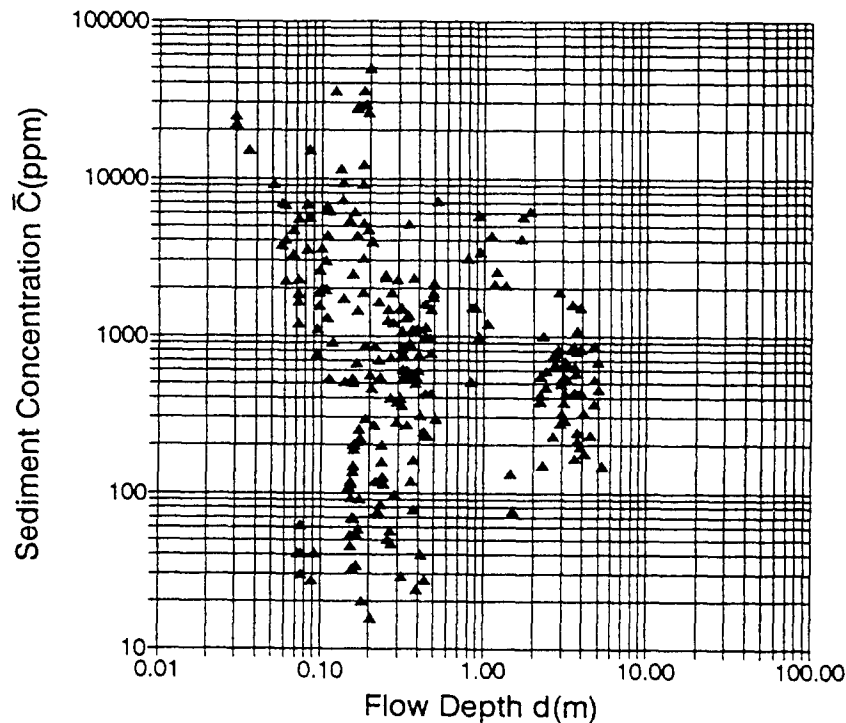


그림 2. 수심과 유사농도의 관계

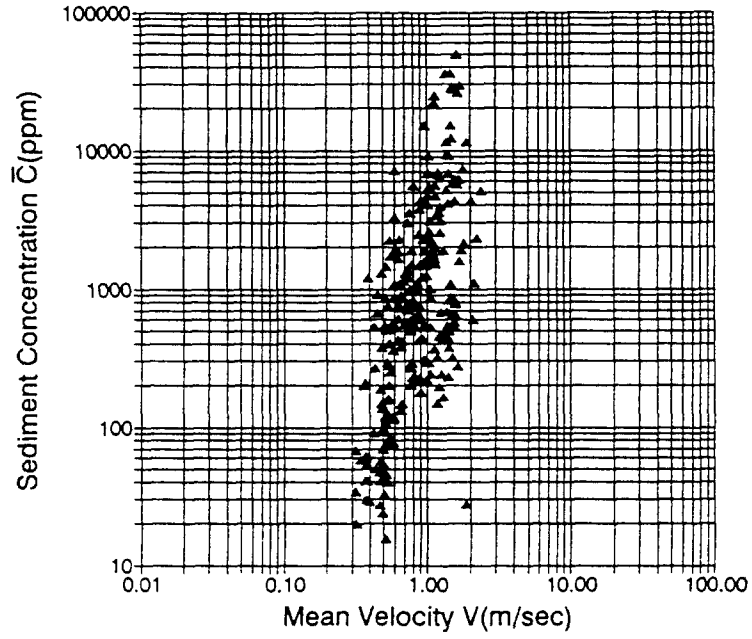


그림 3. 평균유속과 유사농도의 관계

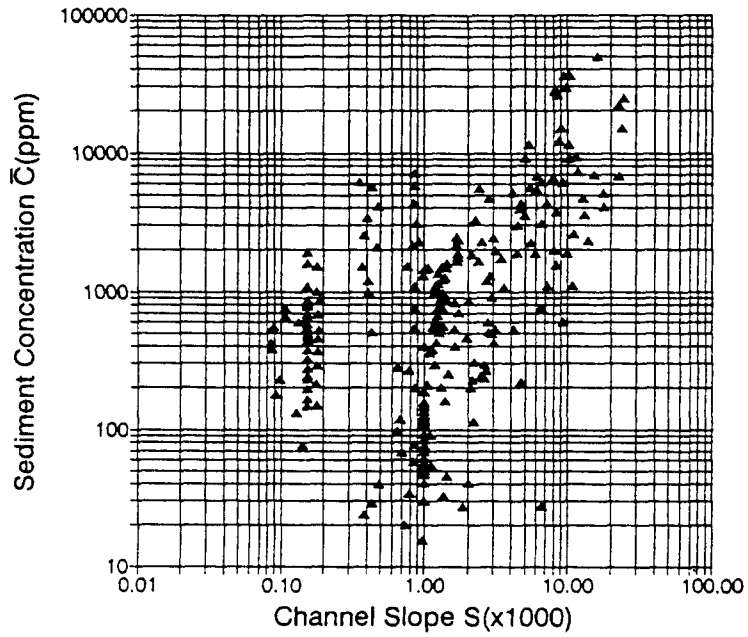


그림 4. 수로경사와 유사농도의 관계

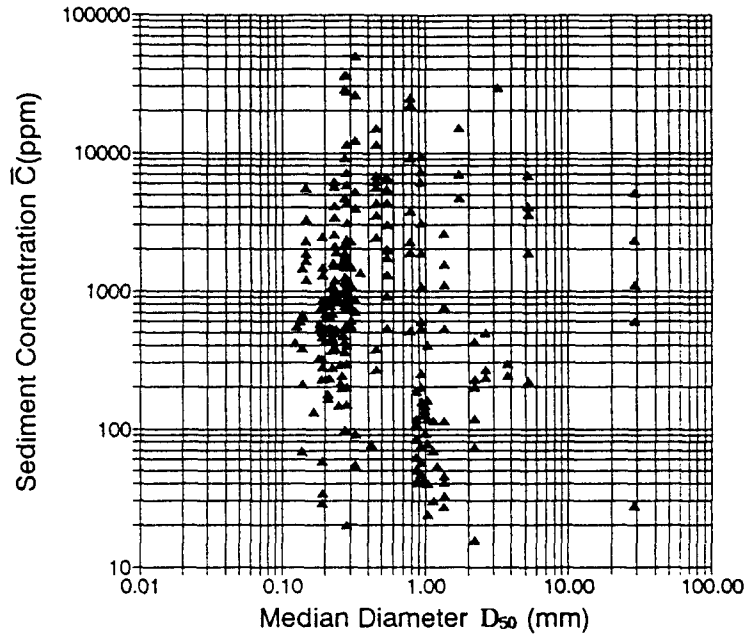


그림 5. 하상재료의 중앙입경과 유사농도의 관계

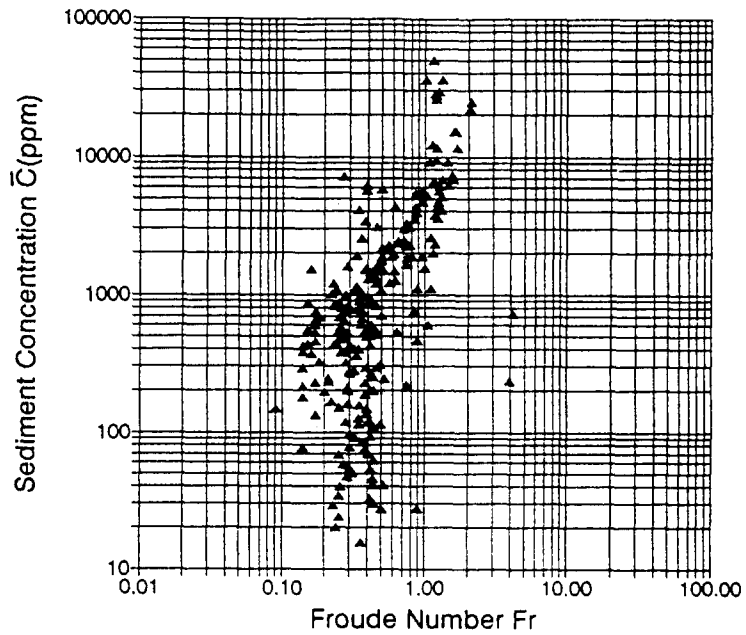


그림 6. Froude 수와 유사농도의 관계

표 2. 관계식의 유도에서 선택된 변수와 그 값의 범위

선택된 변수명	변수 값의 범위
수 심 $d(m)$	0.030 ~ 5.288
평균유속 $V(m/sec)$	0.316 ~ 1.588
수로경사 $S(\times 10^3)$	0.153 ~ 24.348
중양입경 $D_{50}(mm)$	0.190 ~ 28.650
Froude 수 F_r	0.140 ~ 2.060

표 3. 유도된 관계식의 회귀분석 결과

판정기준 및 변수	회귀계수 값
결정계수 r_p^2	0.80080
잔차 자승평균 MSE_p	0.62951
총자승 오차 C_p	9.52981
절편 (intercept)	7.27698
수 심 $d(m)$	0.51874
평균유속 $V(m/sec)$	0.58880
수로경사 $S(\times 10^3)$	0.88982
중양입경 $D_{50}(mm)$	-0.99176
Froude 수 F_r	1.20958

계수 r_p^2 은 0.80080이고, 잔차 자승평균 MSE_p 는 0.62951이며, 총자승 오차 C_p 는 9.52981로 나타났

다. 또한 절편의 값은 7.27698이고, 수심의 회귀계수는 0.51874이며, 평균유속의 경우는 0.58891, 수로경사는 0.88982, 하상재료의 중양입경은 -0.99176, Froude 수의 회귀계수 값은 1.20958로 각각 나타났다.

그러므로, 표 3의 다중회귀 분석결과를 정리하면 다음과 같은 관계식이 유도된다.

$$\ln(\hat{C}_b) = 7.27698 + 0.51874 \ln(d) + 0.58891 \ln(V) + 0.88982 \ln(S) - 0.99176 \ln(D_{50}) + 1.20958 \ln(F_r) \quad (8)$$

또는

$$\hat{C}_b = 1446.68(d)^{0.51874} (V)^{0.58891} (S)^{0.88982} (D_{50})^{-0.99176} (F_r)^{1.20958} \quad (9)$$

여기서 \hat{C}_b 는 예측치 총유사량에 대한 농도이고, d 는 수심(m)이며, V 는 평균 유속(m/sec), S 는 수로 경사($\times 10^3$), D_{50} 은 하상재료의 중양입경(mm), F_r 은 Froude 수이다.

식 (8) 또는 (9)를 이용하여 구한 예측치 유사

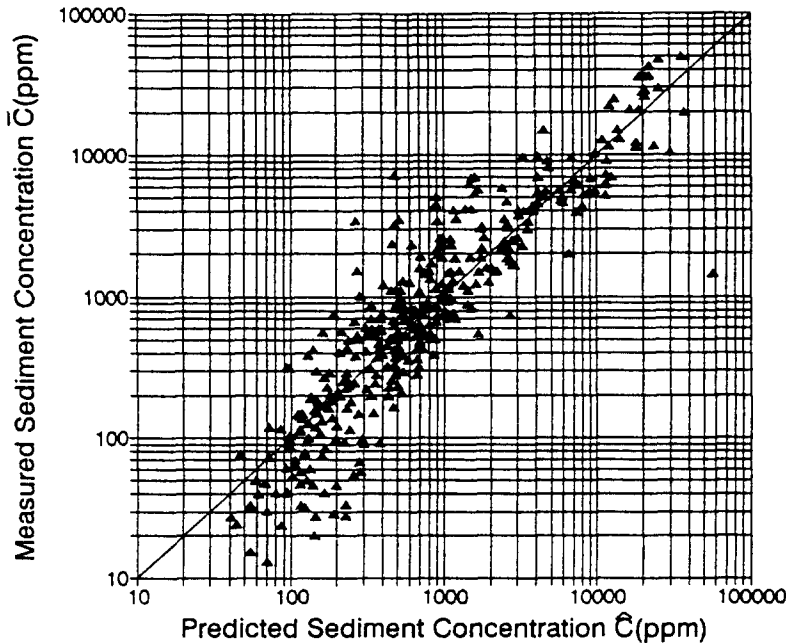


그림 7. 예측치와 실측치 유사농도의 상관관계

농도와 실측치의 상관관계는 그림 7과 같이 대체로 양호한 결과를 나타냈다.

5. 결 론

본 연구에서는 총유사량의 산정을 위한 유사농도에 관한 관계식을 유도하기 위해 유사이송개념중 회귀분석법을 사용하였다. 관계식의 유도에는 실험수로와 하천으로부터 실측된 서로 다른 흐름 및 유사특성을 갖는 225개의 실험자료와 135개의 현장자료를 합한 총 360개의 자료가 이용되었으며, 이들 자료를 사용한 다중회귀분석 결과는 식 (8) 또는 (9)를 유도할 수 있었다.

유도된 관계식은 유사특성과 흐름조건을 포함하는 여러 변수들중 수심과 유속, 수로경사, 하상재료의 중앙입경 및 Froude 수를 변수로 갖는 것으로 나타났다. 또한 유도된 관계식은 수심이 0.030~5.288m이고, 평균유속은 0.316~1.996m/sec이며, 수로경사는 0.000080~0.024348, 하상재료의 중앙입경은 0.190~28.650mm, Froude 수는 0.140~2.060의 범위 내에서 총유사량의 산정에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

강주복 (1982). "유사량 산정에 관한 기초적 연구," 박사학위논문, 동아대학교.
김진규 (1995). "총유사량 산정에 관한 연구." '94년도 학술조성비 최종 결과 보고서, 서울산업대학교.

우효섭, 유권규 (1989). "하천유사량 산정방법의 선정 기준 개발." 연구보고서, 한국건설기술연구원.

Danuskhodi, V. (1975). "An experimental investigation of the turbulent structure of sediment suspension," PhD. dissertation, University of Iowa.

Einstein, H.A. (1950). "The bedload function for sediment transportation in open channel flows." *Tech. Bull., No. 1026*, U. S. Dept. Agri., Soil Conservation Service.

Karim, M.F. (1981). "Computer-based predictors for sediment discharge and friction factor of alluvial stream," PhD dissertation, University of Iowa.

Talapatra, S.C., and Ghosh, S.N. (1983). "Incipient motion criteria for flow over a mobile bed soil." *Proceedings of the Second International Symposium on River Sedimentation*, Nanjing, China, pp. 459-471.

Vanoni, V.A., ed. (1975). *Sedimentation engineering*. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, No. 54, New York, N.Y.

Yang, C.T. (1972). "Unit stream power and sediment transport." *J. Hydr. Div., ASCE*, Vol. 18, No. 10, pp. 1805-1826.

Zimmermann, C., and Kennedy, J.F. (1978). "Transverse bed slope in curved alluvial streams." *J. Hydr. Div., ASCE*, Vol. 104, No. 10, pp. 33-48.

(접수: 1995년 8월 7일)