

比流砂量 추정방법의 개발(II)

- 모형의 개발 및 검토 -

Development of Methods for Estimating Sediment Yield Rate(II)

- Development of Models -

김창완* · 김형섭* · 유권규* · 우효섭**

Kim, Chang Wan · Kim, Hyoung Seop · Yu, Kwon Kyu · Woo, Hyo Seop

Abstract

The major objective of this study is to develop practical methods for estimating sediment yield rates of medium size watersheds of which areas range from 200 to 2,000 km². In the first phase of the study that were presented in the companion paper followed by this paper, a methodology for estimating sediment yield rate was introduced and a total of 13 data points including eight sampled river-sediment data and five reservoir deposit data were collected. In this study, a three-parameter empirical model and a six-parameter rating model, both of which are based on empiricism, have been developed. By limited comparisons, the models developed in this study appear to be more reliable and applicable than the existing ones. According to the sediment yield data collected and the estimations by the models, meanwhile, the lowest value for the sediment yield rate of medium size watersheds in Korea is estimated to be about 100 tons/km²/yr, and the maximum to be about 1,000 tons/km²/yr.

요 지

본 연구의 주요 목적은 댐 설계를 위한 유역의 비유사량 추정방법을 개발하는 것으로 유역면적 200 km²~2,000 km²의 중규모 유역을 대상으로 한다. 이를 위하여, 먼저 연구(I)에서는 비유사량 추정방법의 개발방향을 결정하고, 기존 저수지 퇴사자료에서 5점과 하천 유사량 실측 자료에서 8 점 등 총 13점의 비유사량 자료를 도출하였다. 본 연구(II)에서는 이러한 중규모 유역에서 수집된 유역 비유사량 자료와 유역특성 인자들을 이용하여 3 변수 경험공식과 6 변수 도표식 방법을 개발하였다. 제한된 범위와 비교 분석 결과, 본 연구에서 개발된 방법들은 기존의 방법들보다 모형 개발에 이용된 자료의 범위와 신뢰도 면에서 적용성이 높은 것으로 나타났다. 한편, 본 연구에서 수집된 비유사량 자료 및 개발된 모형에 의하면, 우리나라에서 중규모 유역의 경우 비유사량의 하한치는 100 tons/km²/yr 정도이며 상한치는 1,000 tons/km²/yr 정도로 추정된다.

* 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원

** 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 수석연구원

1. 서 론

본 논문은 비유사량 추정방법의 개발의 1 단계 연구인 -개발방향의 설정 및 자료의 수집 분석- 에 이은 2단계 연구로서, 우리나라에서 유역면적 200 km²~2,000 km²의 중규모 유역을 대상으로 비유사량 추정방법을 개발하고 그 결과를 검토한다. 본 연구에서 최종적으로 이용될 자료는 저수지 퇴사 자료 5 점(다목적 댐 3 점, 하구둑 2 점)과 본 연구에서 수행한 4 개 유역에서의 하천유사량 실측 자료 8 점 등 총 13 점이다. 한편 유역의 비유사량에 영향을 줄 수 있는 유역특성인자로 유역면적 등 7개 요소를 선정하였다. 이러한 자료를 다시 정리하면 표 1과 같다.

2. 비유사량 추정방법의 개발

연구(I)에서 제시한 바와 같이 본 연구에서 고려되는 비유사량 추정방법은 통계적인 경험방법과 대표식 방법 두가지이다.

2.1 통계적 경험방법

유역의 한 하천지점의 비유사량을 Y_r 이라 하고, 유역면적을 A, 하천밀도를 D, 강우 침식도를 R, 식생 및 토지이용 인자를 C, 토양의 침식성을 K, 지형 인자를 H, 하상재료의 크기를 M 이라 하면 유역의 비유사량은 식 (1)과 같이 표시할 수 있다.

$$Y_r = \alpha A^a D^d R^r C^c K^k H^h M^m \quad (\alpha \neq 0) \quad (1)$$

표 1. 지점별 비유사량 및 유역 특성인자

구분	유역명	비퇴사량 V_r (m ³ /km ² /yr)	비유사량 Y_r (tons/km ² /yr)	유역면적 A (km ²)	하천밀도 D(km/km ²)	강우 침식도 R (J/ha)	식생 토지이용 C(%)	토양 침식성 K(tons/J)	기복도 H(m)	하상재료 M (mm)	
시 합	섬 강 장현교	—	219	923	0.57	475	14.0	0.26	412	3.2	
	섬 강 화전교	—	136	188	0.52	424	6.1	0.25	460	6.3	
	내성천	—	453	491	0.55	305	15.8	0.26	331	1.0	
	송리원교	—	501	299	0.56	302	14.9	0.25	395	1.0	
	유 역	석포교	—	324	567	0.65	251	14.4	0.22	282	2.0
		위 천 봉황교	—	154	282	0.65	251	16.5	0.20	289	4.0
		위 천 나호교	—	107	971	0.56	411	13.9	0.25	439	5.0
		용담댐	—	103	574	0.57	412	15.3	0.26	453	6.3
		외송교	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	댐 및 하 구 둑	남강댐	357	436	2,285	0.57	456	14.6	0.26	491	2.0
안동댐		230	207	1,584	0.59	276	4.0	0.22	437	3.2	
섬진강댐		460	414	763	0.59	452	12.0	0.27	301	2.5	
삼교호		279	408	1,263	0.42	567	22.4	0.29	147	1.0	
아산호		226	326	1,369	0.40	559	23.5	0.28	79	1.0	

식 (1)의 양변에 대수를 취하면 다음 식과 같이 선형식으로 표시된다.

$$\log Y_i = \log a + a \log A + d \log D + r \log R + c \log C + \log K + h \log H + m \log M \quad (2)$$

식 (2)의 우변에 나열된 7개의 독립변수 중 1 개, 2 개, ..., 7 개를 조합으로 취하는 방법을 택하면, 수학적으로 ${}^7C_1 + {}^7C_2 + {}^7C_3 + {}^7C_4 + {}^7C_5 + {}^7C_6 + {}^7C_7 = 127$ 개의 회귀모형식이 가능하다. 이 중에서 수학적으로 신뢰도가 높고 물리적으로도 타당한 모형식을 도출할 수 있다.

먼저 표 1의 13 개의 자료점을 이용하여 각 변수 사이의 1:1 상관분석을 하였으며 그 결과는 표 2와 같다. 이 표에서 보는 바와 같이, 비유사량 Y_i 과 가장 상관성이 높은 인자는 하상 재료 인자 M이며, 다음으로 지형 인자 H, 식생 및 토지이용 인자 C, 토양 침식성 인자 K이며, 유역 면적 A와는 상관도가 낮은 것으로 나타났다. 한편, 이 표에서 Y_i 과 R, C, K 등은 모두 양의 상관성을 보여주고 있으며, 이는 물리적으로도 타당하다. 그러나 Y_i 과 D와의 관계가 음이 나온 것은 일반적으로 하천밀도가 높으면 유사유출이 높다는 외국의 경우와 상반되는 것으로, 이 결과는 본 연구에서 이용된 자료들의 1:1 상관특성으로 이해하여야 할 것이다. 또한, Y_i 과 H와의 관계 역시 음이 나온 것은 우리나라에서는 일본 등 외국의 경우와는 달리 고산성 유역에서의 유사유출이 저산성 유역의 유사유출보다 반드시 높지는 않다는 것을 부분적으로 보여주고 있다.

본 연구에서 다중 회귀분석된 127개의 모형들

중에서 물리적으로 타당하고 수학적으로 신뢰도가 비교적 높은 것들중 2변수와 3변수 모형들만 정리하면 표 3과 같다. 이 표에 나타난 6개 식들 모두 하상재료인자 M값에 크게 의존하고 있으며, 유역 면적인자 A에는 상대적으로 의존도가 낮다. 여기서, 한 유역의 평균 K 값의 결정은 강우 침식도 인자 R값 결정보다 객관성이 약하며, 또한 본 조사유역에서 K 값은 표 1에서 보는 바와 같이 0.20~0.30 정도로 변화폭이 매우 작다. 이러한 점에서 K보다는 R이나 D의 선택이 모형의 적용에 유리하리라 사료된다. 한편, 우리나라에서 아직 유역평균고도와 유사유출간의 상관성이 뚜렷하지 않으므로 지형(기복 에너지)인자 H가 고려된 모형의 경우도 본 연구에서 제외한다. 이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 2변수 모형으로 식 ②를, 3변수 모형으로 식 ④를 채택하였다.

이러한 모형들에 의한 결과와 실측치(여러가지 불확실성이 내재하고 있지만 본 연구에서는 퇴사량 자료로부터 유도된 유사량 값을 실측치로 봄)와의 일치성은 각각 그림 1과 2와 같다. 이 두 그림에서 보는 바와 같이 2변수 모형의 경우 특히 점진강담의 자료가 1:1 일치선에서 많이 벗어나 있으며, 이는 통계적 방법에 의한 경험공식의 한계를 보여주고 있다. 3변수 모형의 경우 2변수 모형보다는 분명히 우수하며, 일반적으로 자료점들이 1:1 일치선 주위에서 크게 벗어나지 않고 있다.

2.2 도표식 방법

도표식 방법은 PSIAC 방법¹⁾과 같이 유역의 비

표 2. 유역특성인자들과 비유사량과의 단순 상관계수

	Y_i	A	D	R	C	K	H	M
Y_i	1.00	0.25	-0.22	0.06	0.32	0.34	-0.34	-0.89
A	0.25	1.00	-0.30	0.44	0.11	0.36	-0.23	-0.25
D	-0.22	-0.30	1.00	-0.75	-0.37	-0.75	0.73	0.47
R	0.06	0.44	-0.75	1.00	0.34	0.87	-0.38	-0.10
C	0.32	0.11	-0.37	0.34	1.00	0.41	-0.57	-0.50
K	0.34	0.36	-0.75	0.87	0.41	1.00	-0.36	-0.39
H	-0.34	-0.23	0.73	-0.38	-0.57	-0.36	1.00	0.60
M	-0.89	-0.25	0.47	-0.10	-0.50	-0.39	0.60	1.00

표 3. 다중회귀분석 결과

인자의 수	인 자	회 귀 식	결정계수(R ²)	비 고
2	H, M	$Y_r = 87 H^{0.318} M^{-0.867}$	0.851	①
	D, M	$Y_r = 972 D^{1.039} M^{-0.825}$	0.848	√ ②
	A, M	$Y_r = 426 A^{0.017} M^{-0.721}$	0.796	③
3	D, R, M	$Y_r = 17.6 D^{2.572} R^{0.847} M^{-0.938}$	0.913	√ ④
	D, K, M	$Y_r = 19266 D^{1.965} K^{1.764} M^{-0.812}$	0.893	⑤
	D, H, M	$Y_r = 246 D^{0.614} H^{0.202} M^{-0.875}$	0.862	⑥

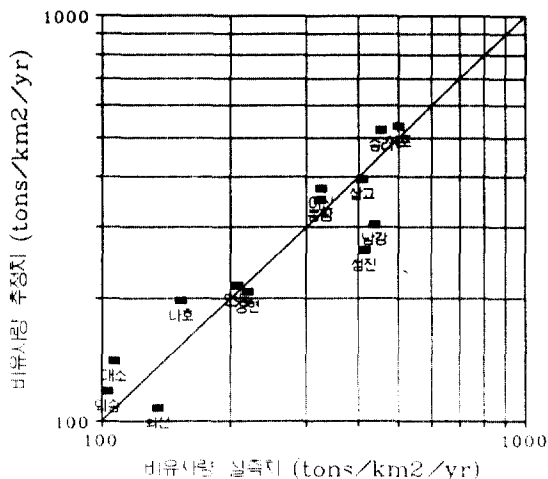


그림 1. 2변수 모형에 의한 추정치와 실측치와의 비교

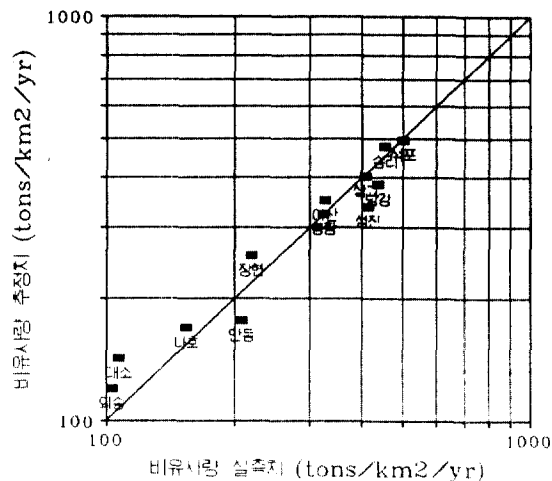


그림 2. 3변수 모형에 의한 추정치와 실측치와의 비교

유사량에 관련된 인자들의 기여도에 점수를 부여하여 각 인자의 기여도 점수의 합에 의해 그 지역의 유사량을 추정하게 된다. 한 하천유역에서 제 인자들의 기여도 합은 식 (3)과 같다.

$$P = P_A(\text{유역면적}) + P_D(\text{하천밀도}) + P_R(\text{강우 침식도}) + P_C(\text{식생 및 토지이용}) + P_K(\text{토양 침식성}) + P_H(\text{지형 기복}) + P_M(\text{하상재료}) \quad (3)$$

본 연구에서 미국 PSIAC 방법과 유사한 도표에 의한 비유사량 추정 방법을 개발하기 위하여 경험식 방법 개발의 경우와 마찬가지로 표 1의 13 개 자료를 이용하였다. 7 개의 유역 특성인자들 중에서 유역면적 인자(A)와 하상재료 인자(M)를 제외한 5개 인자들의 경우 어느 인자 값과 그 인자에 의한 유

사유출 기여도의 배점은 그림 3과 같이 선형비례한다고 가정하였다. 다만, 유역면적이거나 하상재료 인자의 경우에는 그 인자의 역수에 비례한다고 가정하였다. 그 이유는 유역면적이거나 하상재료의 경우 이러한 값들의 증가가 유사유출량을 감소시키는 것을 적절히 반영하기 위해서이다.

따라서 강우 침식도, 토양 침식성, 식생 및 토지 이용, 지형, 하천 밀도 인자의 경우 기여도 배점 P_X 는 식 (4)와 같이 주어진다. 여기서, X는 각 인자를 나타낸다. 유역면적의 경우 기여도 배점 P_A 는 식 (5), 하상재료의 경우 기여도 배점 P_M 은 식 (6)에 의해 주어진다. 각 인자의 최대값과 최소값은 본 연구에서 이용된 자료값들의 상한치와 하한치를 고려하여 표 4와 같이 결정하였다.

표 4. 제 인자의 최대값과 최소값

인 자	유역면적 (A)	하천밀도 (D)	강 우 (R)	식 생 (C)	토 양 (K)	지 형 (H)	하상재료 (M)
최대값	3,000	1	1,000	50	0.6	1,000	10
최소값	100	0	0	0	0	0	1

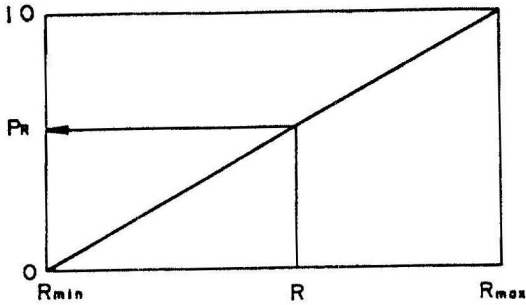


그림 3. 강우 침식도와 가중치

$$P_X = \frac{P_{X_{max}}}{X_{max} - X_{min}} (X - X_{min}) \quad (4)$$

$$P_A = \frac{P_{A_{max}}}{\frac{1}{A_{min}} - \frac{1}{A_{max}}} \left(\frac{1}{A} - \frac{1}{A_{max}} \right) \quad (5)$$

$$P_M = \frac{P_{M_{max}}}{\frac{1}{M_{min}} - \frac{1}{M_{max}}} \left(\frac{1}{M} - \frac{1}{M_{max}} \right) \quad (6)$$

식 (4)~(6)에 의해 계산된 각 인자들의 배점을

표 5. 각 인자의 배점 분포(계산 결과의 일부)

번호	A	D	R	C	K	H	M	a	b	SEE	r
343	10	10	10	0	10	10	50	3.503	1.171	93.2	0.858
346	10	10	10	0	0	20	50	3.022	1.215	91.3	0.858
268	10	40	10	0	0	0	40	0.4066	1.695	90.7	0.863
401	10	30	20	0	0	0	40	0.6978	1.57	94.1	0.855
357	10	30	10	0	10	0	40	0.6563	1.584	92.8	0.857
289	10	30	10	0	0	10	40	0.4678	1.679	90.7	0.861
486	10	20	10	0	20	0	40	1.067	1.469	95.1	0.849
482	10	20	20	0	0	10	40	0.8631	1.533	93.5	0.849
428	10	20	10	0	10	10	40	0.7939	1.553	92.5	0.853
421	10	20	10	0	0	20	40	0.5978	1.635	90.8	0.853
265	10	50	10	0	0	0	30	0.022	2.438	88.9	0.863
353	10	40	20	0	0	0	30	0.0486	2.254	91	0.857
324	10	40	10	0	10	0	30	0.0459	2.266	90.3	0.859
264	10	40	10	0	0	10	30	0.0227	2.459	90.5	0.863
493	10	30	10	0	20	0	30	0.1017	2.074	93	0.848
458	10	30	20	0	0	10	30	0.0593	2.228	90.7	0.851
405	10	30	10	0	10	10	30	0.0535	2.252	90.7	0.854
450	10	30	10	0	0	20	30	0.0303	2.412	92.6	0.851
319	10	50	10	0	10	0	20	0.0001	3.755	90	0.859
200	10	50	20	0	0	0	20	0.0001	3.834	84.9	0.868

식 (3)에 의해 모두 합산하여 P를 구하고 이를 비유사량 Y_i에 대해 지수함수 형태로 상관을 시켰다.

이때, 각 인자의 기여도 배점의 최대값들의 합이 100이 되도록 하고, 각 인자 배점의 최대값을 0점에서 100점까지 10점 단위씩 조정하여 어느 경우의 조합이 상관을 최대로 만드는 지를 검토한 후 모형을 결정하도록 하였다.

이렇게 하여 계산된 경우의 수는 총 8,007개이다. 이러한 방법에 의해 결정된 모형들 중 상관성이 비교적 높은 모형들의 각 인자별 배점 분포는 표 5와 같다. 이 표에서 볼 수 있듯이, 경험식의 경우와 마찬가지로 비유사량에 대한 기여도에서 하상재료의 비중이 제일 크게 나타나며 그 밖의 인자들은 비교적 골고루 나타난다. 여기서, 가끔씩 많은 인자들에 배점이 나타나고, 특히 유역면적 인자를 고려한 모형들 중에서 하상재료의 비중이 상대적으로 큰 것은 428번 모형으로 식 (7)과 같다. 이 식의 표준추정오차(SEE)는 93 tons/km²/yr이며 상관계수는 0.85이다. 채택된 모형의 유역특성인자별 최대배점은 표 6과 같다.

$$Y_i = 0.794 P^{1.553} \quad (7)$$

본 연구에서 모형 428번을 선택한 구체적인 이유는 다음과 같다.

- ① 모형 428번에는 비교적 골고루 제인자들이 고려되어 있어 소수의 인자들로 구성된 모형들보다 실제 적용시 엉뚱한 결과를 초래할 우려가 상대적으로 작다.
- ② 모형 428번은 b값이 2 이상 지나치게 크지 않으므로 P 값에 대해 지나치게 예민하지 않으며, M값의 기여도도 지나치게 크지 않다.
- ③ 표 5에 일부 제시된 모형들의 표준추정오차와 상관계수는 큰 차이가 없으므로 절대적인 선정기준이 되지 못한다.

채택된 모형에 의한 비유사량 계산값과 실측값과

표 6. 채택된 모형의 인자별 최대배점

인 자	A	D	R	C	K	H	M
배 점	10	20	10	0	10	10	40

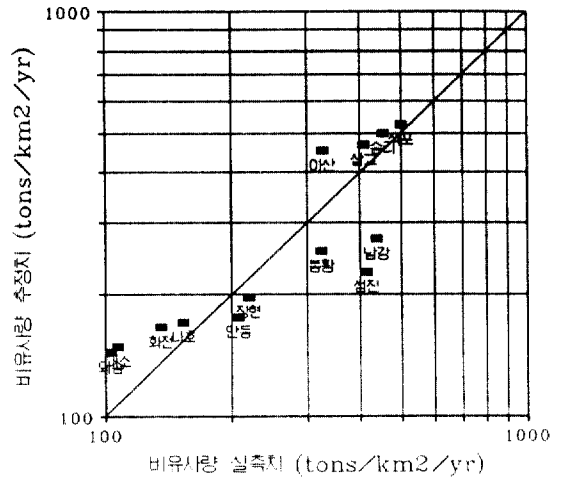


그림 4. 도표식 방법에 의한 비유사량 추정치와 실측치의 비교

의 일치성은 그림 4와 같다. 이 그림에서 보는 바와 같이, 도표식 방법을 전술한 경험공식의 결과와 비교하면 3 변수 모형보다는 그 신뢰도가 떨어지며 2 변수 모형 수준 정도로 보인다.

3. 결과의 검토

3.1 추정식의 검토

본 연구에서 중규모 유역의 비유사량을 추정할 수 있는 방법으로 개발된 것들은 다음과 같은 2 개의 경험공식들과 1 개의 도표식 방법이다.

$$Y_i = 972 D^{1.039} M^{0.825} \quad (8)$$

$$Y_i = 17.6 D^{2.572} R^{0.847} M^{-0.938} \quad (9)$$

$$Y_i = 0.794 P^{1.553} \quad (10)$$

식 (8)은 하상재료 M과 하천밀도 D에 의존하며, 식 (9)는 강우 침식도 R에도 의존한다. 여기서, 2 변수 모형인 식 (8)과 3 변수 모형인 식(9)는 결정 계수가 0.85~0.90 정도로 대체적으로 큰 차이가 없다. 다만 식 (9)의 경우 비유사량 값이 R값에 관계하기 때문에, 이러한 점에서 식 (8)보다는 식 (9)가 물리적으로 보다 타당하고 적용성이 크다 할 수 있다.

식 (10)으로 표시되는 도표식 방법은 식 (9)와 같은 경험공식에 비해 관련 인자의 수가 많고 계산상 적용하기가 조금 불편하나, 전술한 바와 같이 관련

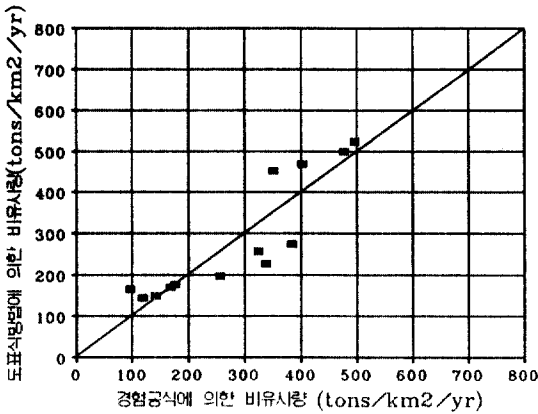


그림 5. 도표식 방법과 경험공식 결과의 비교

표 7. 경험공식과 도표식 방법에 의한 계산결과의 비교 (단위 : tons/km²/yr)

구 분	보성강댐	소양강댐	대천 수위표
경험공식 (식 9)	449	66	315
도표식방법 (식 10)	260	122	187

인자가 6 개이므로 계산 결과가 어느 한 인자에 지나치게 의존하지 않으며, 따라서 유역특성 인자 추정치의 오차에 따른 위험이 상대적으로 적게 나타난다.

한편, 모형개발에 이용된 13개 자료점을 이용하여 도표식 방법에 의한 결과와 3변수 경험공식의 결과를 비교하면 그림 5와 같다. 여기서, 도표식 방법의 표준오차는 92 인 반면 3변수 경험공식은 41로서 후자가 전자보다 자료점을 더 잘 모의하는 것으로 나타났다.

자료의 신뢰도 문제로 본 연구에서 이용되지 않은 보성강댐, 소양강댐, 대천수위표 세 자료를 본 연구에서 개발된 방법들에 의해 계산한 결과는 표 7과 같다. 이 표에서 볼 수 있듯이, 두 방법이 추정하는 비유사량 값은 상당히 다르게 나타나며, 따라서 통계적인 면에서 비교적 우수한 경험공식이 추천된다. 경험공식은 적용의 간편성이 있고, 도표식 방법은 경험공식에서 고려하지 못하는 유역면적, 토양 침식성 인자, 지형 인자들이 고려될 수 있는 면이 있다. 따라서, 현재로서는 두 방법에 대한 우열을 가리기가 어려우며, 앞으로 계속 비유사량 자료가 수집되는

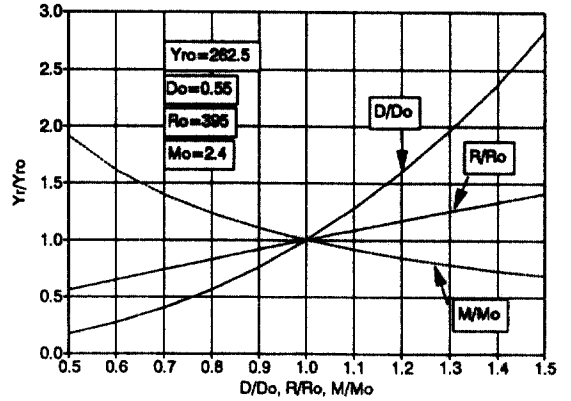


그림 6. 경험공식의 민감도

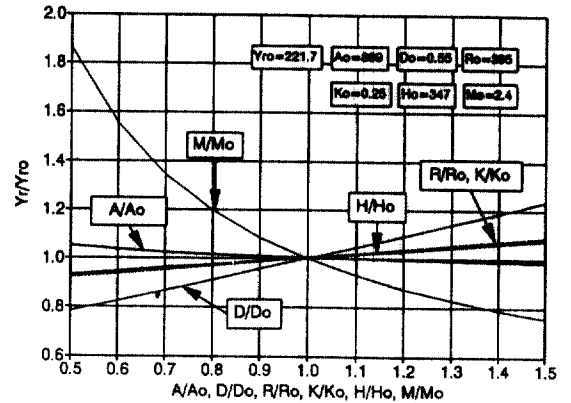


그림 7. 도표식 방법의 민감도

대로 이러한 방법들에 대한 보다 구체적인 분석이 수행되어야 할 것이다. 따라서, 본 연구에서 개발된 방법들의 신뢰도상의 한계성을 고려하여 앞으로 댐 계획 및 설계시 위의 두 방법을 이용하고자 하는 경우 두 방법에 의한 비유사량 값 중 큰 값을 채택하는 것이 보다 안전할 것이다.

3.2 개발된 방법의 민감도 분석

3 변수 모형의 각 인자에 대한 비유사량 추정치의 민감도분석 결과는 그림 6과 같다. 이 그림에서 보는 바와 같이, 3 변수 모형은 D 값에 제일 민감하며, R 값에 둔감하게 나타난다. 여기서, 한 유역의 D 값은 비교적 정확히 결정할 수 있고 R 값 역시 비교적 객관적으로 결정할 수 있으나, M 값의 경우 주관적인 면이 있으므로 결정시 다른 자료와 비교

하는 등 상당한 주의를 요한다.

도표식 방법의 민감도분석 결과는 그림 7과 같다 이 그림에서 보는 바와 같이, 표 6에 나타나 있는 제 인자들의 기여도가 바로 민감도가 된다.

3.3 기존 방법들과의 비교

본 연구에서 개발된 방법을 기존의 방법들과 비교하기 위하여 본 연구에서 제시된 댐 퇴사량 자료를 이용하였다. 기존의 비유사량 추정방법들은 정확히 말하면 비퇴사량 추정방법들이며, 따라서 본 연구에서도 상호 비교를 위하여 비유사량 계산치를 비퇴사량으로 환산하였다. 환산에 필요한 저수지 포착률과 퇴적도 단위증량은 본 연구(I)에서 사용하였던 자료를 그대로 이용하였다.

표 8은 본 연구에서 개발된 방법과 기존의 방법들에 의한 비유사량 값들을 비교한 결과이다. 이 표에서 제시된 운용남 공식⁽²⁾과 새마을 공식⁽³⁾은 유역면적 100 km² 이하의 소유역자료를 이용하여 개발된 것들로 엄격히 논하면 본 비교에 적용될 수 없다. 더우기, 이 표에 제시된 자료들은 본 연구에서 이미 모형의 개발에 이용되었기 때문에 기존의 방법들과 본 연구에서 개발된 방법을 직접 비교하는 것은 큰 의미는 없다.

한편, 일본의 기라(吉良)방법⁽⁴⁾은 비퇴사량을 매우 과소추정하고 있으며, 이러한 결과는 외국에서 개발된 비퇴사량 추정방법을 검증없이 국내에 적용하는데 있어서의 문제점을 단적으로 보여주고 있다.

3.4 우리나라 비유사량값의 한계

우리나라에서 중규모 유역의 비유사량 값의 상한

치로 식 (10)에 P=100을 대입하여 계산된 비유사량은 약 1,000 tons/km²/yr 정도로 가정할 수 있다. 이러한 가정은 본 연구에서 저수지 퇴사자료에 의한 비유사량값이 남양호 자료를 고려하는 경우 최대 700 tons/km²/yr이라는 결과에 의해 뒷받침되고 있다. 한편, 비유사량 값의 하한치는 실측자료를 기준으로 100 tons/km²/yr 정도로 볼 수 있을 것이다.

3.5 비유사량 추정방법의 신뢰도

본 연구에서 비유사량 추정방법을 개발하기 위해 이용된 자료점은 전술한 바와 같이 총 13개 점으로서, 자료점의 수가 충분하지 못하다. 더욱이, 이러한 자료에는 하천유사량 자료의 경우 유량, 유사농도, 유량-유사농도관계 등과 저수지 퇴사자료의 경우 퇴사측량, 포착률, 퇴적도 단위증량 자료의 수집, 정리, 분석 과정에 여러가지 불확실성이 존재한다. 여기에 추정 방법 자체의 불확실성을 고려하면 이 방법들에 의한 비유사량의 추정오차는 크게 100% 이상이 될 수 있다. 따라서, 기존의 기술 수준에 의해 비유사량을 추정할 때 크게 100% 정도의 오차가 내재될 수 있다는 점을 하천 실무자들이 유사량 관련 계획 및 설계시 인지하여야 할 것이다.

4. 모형의 적용

4.1 적용시 유의 사항

본 연구에서 개발된 중규모 유역의 비유사량 추정방법(경험공식과 도표식 방법)을 하천실무에 적용하기 위해서는 우선 대상유역의 크기를 고려하여야 한다. 즉, 원칙적으로 조사대상 하천의 유역면적이

표 8. 본 연구의 방법들과 기존 방법들과의 비교(비퇴사량)

(단위: m³/km²/yr)

댐 유역	실측치	경험공식	도표식	운용남 공식	새마을 공식	기타공식
섬진강댐	460	376	251	357	554	677
삽교호	279	276	320	207	136	6
아산호	226	243	313	238	173	8
안동댐	230	197	196	294	534	1,465
남상댐	357	314	224	200	135	25
표준오차		59	154	128	241	776

200~2,000 km² 이내에 들어오는 경우에만 본 연구에서 개발된 방법들을 적용할 수 있다. 두번째로, 조사대상 지점 상류의 인위적인 유역특성 변화로서 제일 먼저 상류유역내 상당한 규모를 갖춘 댐의 존재 여부를 고려하여야 한다. 여기서 상당한 규모라면 조사대상 유역면적의 10 % 이상되는 유역면적을 가진 댐을 지칭할 수 있다. 이 경우 상류유역에서 유출되는 유사의 일부가 댐에 의해 포착될 것이므로 본 연구에서 개발된 방법들은 실제의 비유사량보다 어느 정도 과대평가할 우려가 있다.

4.2 적용 예

본 연구에서 개발된 방법들을 적용하기 위해서는 유역면적 이외에 강우침식도 인자 R(J/ha), 하상 재료 인자 M(mm), 하천 밀도 인자 D(km/km²), 토양 침식성 인자 K(tons/J)와 지형 인자 H(m) 등이 요구된다. 다만, 경험공식을 사용하는 경우 하천밀도와 강우 침식도 인자 및 하상 재료 인자만 요구된다.

다음은 개발된 방법들을 이용하여 보성강댐 유역의 비유사량을 산정하는 절차를 보인 것이다.

(예) 보성강댐 유역의 유역특성인자는 다음과 같다.

- 유역 면적 인자 A = 275 km²
- 하천 밀도 인자 D = 0.62 km/km²
- 강우 침식도 인자 R = 539 J/ha
- 토양 침식성 인자 K = 0.27 tons/J
- 지형 인자 H = 261 m
- 하상 재료 인자 M = 2.5 mm

(1) 경험공식

① 비유사량

$$Y_r = 17.6 D^{2.572} R^{0.847} M^{-0.938}$$

$$= 17.6 (0.62)^{2.572} (539)^{0.847} (2.5)^{-0.938}$$

$$= 449 \text{ (tons/km}^2\text{/yr)}$$

② 비퇴사량

$$V_r = Y_r \times (\text{포착률}) / (\text{퇴적도 단위중량})$$

$$= 448 \times 0.7 / 1.1 = 285 \text{ (m}^3\text{/km}^2\text{/yr)}$$

(2) 도표식 방법

① 유역 면적 인자 기여도

$$P_A = 103.5 \times 10 \times \left(\frac{1}{275} - \frac{1}{3000} \right) = 3.4$$

② 하천 밀도 인자 기여도

$$P_D = \frac{0.62}{1} \times 20 = 12.4$$

③ 강우 침식도 인자 기여도

$$P_R = \frac{539}{1,000} \times 10 = 5.4$$

④ 토양 침식성 인자 기여도

$$P_K = \frac{0.27}{0.6} \times 10 = 4.5$$

⑤ 지형(기복) 인자 기여도

$$P_H = \frac{261}{1,000} \times 10 = 2.6$$

⑥ 하상 재료 인자 기여도

$$P_M = 1.11 \times 40 \times \left(\frac{1}{2.5} - \frac{1}{10} \right) = 13.3$$

⑦ 총 기여도 P = 3.4 + 12.4 + 5.4 + 4.5 + 2.6 + 13.3 = 41.6

⑧ 비유사량 Y_r = 0.794 (41.6)^{1.553} = 260 (tons/km²/yr)

⑨ 비퇴사량 V_r = Y_r × 포착률 / 퇴적도 단위중량 = 260 × 0.7 / 1.1 = 166 (m³/km²/yr)

5. 결 론

본 연구에서 얻은 주요 결론은 다음과 같다.

1) 본 연구에서 자료로 이용된 유역특성과 큰 차이가 없는 유역면적 200~2,000 km² 정도의 중 규모 유역의 비유사량은 결정계수 0.8~0.9 수준에서 식 (9)의 통계적 경험식과 결정계수 0.7~0.8 수준에서 식 (10)의 도표식 방법으로 추정될 수 있다. 이들 방법에 의해 비유사량을 추정하고자 하는 경우 두 방법들에 의한 추정치중 보다 큰 값을 채택할 수 있을 것이다.

2) 유사유출 자료의 신뢰도 문제와 유사유출 기구의 복잡성 등으로, 기존의 비유사량 추정방법은 물론 본 연구에서 개발된 비유사량 추정방법들도 경우에 따서는 100 % 정도의 불확실성이 내재될 수 있다.

3) 비유사량 자료의 분석 결과, 유역의 비유사량은 그 유역내 하천의 하상재료의 특성에 가장 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 즉 유역의 비유사량은 모래하천의 경우 크며, 하상재료의 크기가 클수록 즉 자갈하천의 경우 상대적으로 작은 것으로 나타났다.

4) 본 연구에서 개발된 비유사량 추정방법들은 제한된 자료를 이용하였으므로 추후 보다 많은 자료를 이용하여 개선될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구를 수행하는데 많은 도움을 주신 건설부 수자원국장과 댐계획과 직원 여러분께 깊은 감사를

표한다.

참 고 문 헌

1. Pacific Southwest Interagency Committee, *Report on Factors Affecting Sediment Yield in the Pacific Southwest Area*, Water Management Subcommittee, Sedimentation Task Force Report, 1968.
2. Yoon, Y. N., "Estimation of Silting Load and Capacity Loss Rate of Irrigation Reservoirs in Korea," *Fourteenth International Congress on Large Dams*, Rio de Janeiro, Brazil, pp.175-188, 1982.
3. 건설부, 새마을 수문조사사업 최종기술보고서, 1978.
4. 댐기술센터(댐의技術센터-), *多目的댐의建設*, 第 2卷, 調査編, 1987.

(接受 : 1993. 1. 28)