

## 比流砂量 추정방법의 개발(I)

- 개발방향의 설정 및 자료의 수집·분석 -

## Development of Methods for Estimating Sediment Yield Rate (I)

- Modeling Strategies and Field Data Analysis -

유권규\* · 김창완\* · 김형섭\* · 우효섭\*\*

Yu, Kwon Kyu · Kim, Chang Wan · Kim, Hyoung Seop · 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 km<sup>2</sup>. For this purpose, this study adopts an empirical method of statistical approach and another empirical method of weighting the watershed characteristics factors. A total of 13 data points for sediment yield rate, including five data points from reservoir deposit data and eight data points from sampled river-sediment data have been collected. Meanwhile, seven factors that may affect the sediment yield rate of a watershed have been selected. They are drainage density, rainfall erosivity, ground cover and land use, soil erodibility, topography, river-bed material characteristics, and watershed area. In the companion paper following this paper, methods for estimating sediment yield rate are to be developed using the 13 data points collected and seven watershed characteristics factors selected in this study.

## 요 지

본 연구의 주요 목적은 댐 설계를 위한 유역의 비유사량 추정방법을 개발하는 것으로 유역면적 200 km<sup>2</sup>~2,000 km<sup>2</sup> 정도의 중규모 유역을 대상으로 한다. 이를 위하여, 본 연구에서 개발할 비유사량 추정방법으로 통계적 방법에 의한 경험식과 미국 PSIAC 방법과 유사한 도표식 방법을 채택하였다. 이러한 방법들의 개발을 위해 본 연구에서는 과거 '60년대 이후 우리나라에서 수행된 하천유사량 실측자료 및 기존 다목적 및 발전댐 저수지 퇴사자료를 모두 수집 분석하여 비유사량 추정방법의 개발에 이용 가능한 자료 5 점을 도출하였다. 또한, 섬강, 금강상류, 내성천, 위천 등 4 개 조사유역의 8개 지점에서 하천유사량 자료를 실측하여 8개 지점에서의 연평균 비유사량을 산정하였다. 한편, 유역의 비유사량에 영향을 주는 유역특성 인자로 유역면적, 하천밀도, 강우 침식도, 식생 및 토지이용, 토양 침식성, 지형(기복 에너지), 하상재료 등 총 7 개의 유역특성인자를 선정하고, 각 인자의 정량화 방법을 제시하였다. 연구(II)에서는 이러한 유역특성 인자들과 중규모 유역에서 수집된 13 점의 이용가능한 유역 비유사량 자료를 이용하여 비유사량 추정방법을 개발한다.

\* 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원

\*\* 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 수석연구원

## 1. 서 론

比流砂量이란 단위기간에 단위면적당 상류유역에서 유출되어 유역출구의 한 하천지점을 통과하는 流砂量(sediment yield)을 말하며 단위는 보통 tons/km<sup>2</sup>/yr로 표시한다. 比堆砂量이란 비유사량과 마찬가지로 단위기간에 단위면적당 상류유역에서 유출되어 저수지 바닥에 퇴적되는 堆砂量(reservoir deposits)을 말하며 보통 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/yr로 표시한다. 이러한 지표들은 하천에 댐을 계획하는 경우 장래 50년, 100년 후의 貯水位-貯水容量 관계곡선을 결정하고, 댐의 死水位를 결정하는 등 계획댐의 저수지 堆砂관계를 설계하는데 필요한 지표이다.

현재 우리나라에서 이러한 비유사량, 혹은 비퇴사량 자료는 매우 빈약한 형편이다. 따라서, 각종 댐의 계획 및 설계시에 유역의 비유사량 값은 통상 과거 타유역의 비유사량 자료를 그대로 인용하거나, 일본 등 외국의 자료를 이용하여 추정하고 있다. 그 이유는 무엇보다도 우리나라 유역 및 유사 특성에 적합한 비유사량 추정 방법이 없기 때문인 것으로 사료된다.

본 연구는 장차 우리나라의 댐 계획 및 설계시 사용될 유역단위 비유사량을 보다 신뢰성 있게 결정하기 위한 1 단계 연구로서, 본 연구의 내용은 크게 ① 국내의 비유사량 추정방법의 검토 및 개발 방향의 설정, ② 기존 하천 유사량 및 저수지 퇴사량 조사 분석, ③ 시험 조사 유역에서의 유사량 실측 및 비유사량 추정, ④ 유역특성 요소의 산정 등으로 구분된다. 본 논문의 후속논문으로 제시될 2단계 연구에서는 1단계 연구에서 도출한 비유사량 자료 및 유역특성요소를 이용하여 비유사량 추정방법을 개발한다.

## 2. 국내 비유사량 추정방법의 검토

### 2.1 국내의 비유(퇴)사량 추정방법

국내에서 사용되고 있는 비유사량 추정방법은 크게 ① 流量-流砂量 곡선 이용법, ② 유역내 저수지 堆砂資料 이용법, ③ 경험공식 및 ④ 타 유역의 比流砂量 이용법 등으로 구분될 수 있다. 이 밖에도 건설부<sup>1)</sup>의 하천시설기준-댐편에 퇴사량 추정표에

의한 방법 등이 제시되어 있으나 실무에 직접 이용된 사례는 확인되지 않았다. 또한 농림수산부<sup>2)</sup>의 농지 개량사업계획 설계기준-콘크리트 댐편에도 일본에서 개발된 여러 가지 퇴사량 추정방법이 소개되어 있으나 이들 중 대부분 추정식의 실무 적용사례는 확인되지 않았다. 국내에서 개발된 경험공식으로는 새마을 공식<sup>3)</sup>, 윤용남 공식<sup>4)</sup> 등 다수의 공식들이 있으나, 모두 유역면적 100 km<sup>2</sup>이하의 농업용 저수지 퇴사자료를 이용하여 개발된 공식들이므로 그 적용성이 제한되어 있다.

일본의 경우에는 저수지 설계의 목적으로 比流砂量보다는 比堆砂量에 관심을 두어 저수지 퇴사량 추정공식이 많이 개발되어 있다. 일본의 댐기술센터(ダムの技術センター)<sup>5)</sup>의 분류에 따르면 ① 기존 저수지의 퇴사량 자료로부터 비퇴사량을 추정하는 방법, ② 퇴사자료를 통계처리하는 방법, ③ 推計學의 概念을 도입한 방법 및 ④ 도표식 방법 등으로 구분할 수 있다. 퇴사자료를 통계처리하여 구한 추정식으로는 다나카(田中) 공식<sup>6)</sup>, 에사끼(江崎) 공식<sup>7)</sup>, 수정 에사끼 방법<sup>8)</sup>, 기라(吉良) 공식<sup>9)</sup> 등이 있다. 이 중 에사끼 공식과 그의 수정 공식은 특정 기간 동안의 퇴사량 추정공식이며, 나머지는 비퇴사량 추정공식이다.

구미 등지에서는 比流砂量을 기준으로 저수지 捕捉率과 퇴적도 단위중량을 고려하여 저수지 퇴사량을 추정하여 댐 설계 및 계획에 사용하고 있다. 비유사량을 사용하게 되면 퇴사량 추정은 물론 하천 설계 및 계획에도 사용할 수 있는 장점이 있으므로 비퇴사량보다는 그 활용도가 높다고 할 수 있다. Hadley와 Walling<sup>10)</sup>, Vanoni<sup>11)</sup>, Singh<sup>12)</sup> 등의 분류를 기준으로 하면, 비유사량 추정방법은 크게 ① 流砂 運送比 방법, ② 流量-流砂量 曲線 이용법 및 單位 流出量圖法, ③ 통계적 방법, ④ 확률론적 방법, ⑤ 추계학적 방법, ⑥ 도표식 방법 등으로 구분할 수 있다. 도표식 방법의 대표적인 예로 PSIAC(Pacific Southwest InterAgency Committee) 모형<sup>12)</sup>을 들 수 있으며, 이 모형은 지질, 토양, 기후, 유출, 지형, 식생, 토지이용, 상류지역 및 하천의 침식특성 등 9 개 유역특성 인자를 포함하고 있다.

### 2.2 비유(퇴)사량 추정방법의 국내 적용사례

국내에서 저수지 계획 및 설계에 사용된 방법을 다목적 댐에 대해 조사한 결과는 참고문헌 (21)에 수록되어 있다. 이 결과를 분석해 보면 국내의 비유(퇴)사량 추정에는 다음과 같은 다수의 문제점이 내재되어 있음을 알 수 있다.

- ① 비유사량과 비퇴사량의 구분이 명확하지 않다.
- ② 유역 비유사량 자료의 부족과 적절한 비유사량 추정방법의 부재로 비유사량 추정에 일관성이 없고 댐 설계시 채택한 비유사량 값에 대한 신뢰도 자체가 낮아 보인다.
- ③ 적용된 경험공식에 대한 타당성 검토가 결여되어 있다.
- ④ 두 개 이상의 다른 방법을 적용하여 비유사량(또는 퇴사량)을 구한 후 평균하여 결정하기도 하는데 이는 그 타당성이 의심스럽다.
- ⑤ 우리나라 저수지 퇴사자료 역시 신뢰도에 한계가 있어(대청댐, 소양강댐 등) 정확한 비유사량의 추정이 더욱 어렵다.

### 3. 비유사량 추정방법 개발방향의 설정

#### 3.1 비유사량 추정방법의 개발방향

앞 절에서 제시된 국내의 비유사량 추정방법들을 개발방법에 따라 크게 분류하면 1) 실측에 의한 방법, 2) 통계적 경험방법, 3) 개념모형에 의한 방법 등으로 나눌 수 있다. 본 연구의 목적은 유역의 水文·地相 특성과 하천의 유사운송 특성을 고려하여 비유사량을 추정하는 방법을 개발하는 것이므로, 본 연구에서 개발될 비유사량 추정 방법은 통계적 경험방법인 경험공식과 도표식 방법 등 두가지로 선정되었다.

#### 3.2 유역의 유사유출 관련 인자의 설정

유역의 유사유출 관련인자는 앞에서 검토한 비유사량 추정식에서 사용된 인자들을 종합하여 다음과 같은 기준에 의해 선택하였다.

- ① 유역의 한 지점의 유사량은 침식에 의한 그 유역의 '총 손실량×유사 운송비'라는 개념에서 토양손실과 관련된 인자들(강우, 토양, 지형, 토지이용 등)과 유사 운송비와 관련된 인자들(하천 및 유역의 형태)의 조합으로 표시될 수

있을 것이다.

- ② 이러한 인자들은 PSIAC나 ICOLD(International Committee of Large Dams)<sup>(13)</sup>에서 제시한 9 개 요소로 표시될 수 있다. ICOLD에서 제시한 유역 비유사량 관련 9 개 인자들과 PSIAC 방법에서 제시된 인자들을 비교하면, ICOLD 방법에는 PSIAC 방법상의 지질, 상류지역 침식 인자 대신 배수망의 평면 특성과 유사특성에 관한 인자들이 추가되었다.
  - ③ 상기 9 개 인자들은 Burns<sup>(14)</sup>의 유사량 추정에 관한 일련문에 제시된 에너지(강우, 유출), 장소(지질, 토양, 지형, 하천, 상류지역 침식), 노출(식생, 토지이용) 등의 3 대 요소로 축약될 수 있다.
  - ④ 통계적 경험방법의 개발에 이용될 가용 자료 점의 수(20 점 이하)를 고려하면 가능한 한 유역특성 요소의 수를 줄여야 할 것이다.
  - ⑤ 여기서, '강우 및 유출 인자', '식생 및 토지이용 인자'는 각기 성격상 하나의 인자로 대표될 수 있으며, 토양 인자는 토양구분에 의해, 지형 인자는 지표의 고도 관계로 대표될 수 있다.
  - ⑥ 지질, 하천특성, 유사특성, 상류지역 침식 등도 역시 중요한 인자로 정량화 하기가 어려우나, 이 중 하천특성은 하천밀도를 이용하여 정량화시킬 수 있고, 유사특성은 유역의 지질 특성과 관련하여 그 유역내 하천의 하상재료의 특성을 이용하면 정량화시킬 수 있다.
- 이러한 방법으로 유역의 유사유출 관련 인자로 선정된 것들은 ① 강우, ② 토양, ③ 식생 및 토지이용, ④ 지형, ⑤ 하천밀도, ⑥ 하상재료 등이며, 비유사량 관련 인자의 경우 ⑦ 유역면적 인자가 고려된다. 따라서, 비유사량 추정방법의 개발은 통계적 방법과 PSIAC 방법과 같은 도표식 방법을 병행하여 실시하여 이들 중 우수한 결과를 제시하는 방법을 최종적으로 채택한다.

#### 3.3 추정식의 개발형태

비유사량 추정식 개발에 이용될 유역 비유사량 자료로는 ① 기존 저수지 퇴사자료, ② 기존 하천 유사량 실측자료, ③ 시험유역에서 실측될 하천 유

사랑 자료 등이다. 본 연구에서는 가용한 자료의 제한성을 고려하여 7 개 인자의 통계 분석시 인자들의 조합별 상관분석을 하여 수학적, 물리적으로 보다 타당성있는 인자들을 추출할 수 있었다.

### 3.3.1 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 통계적 경험공식에 의한 유역의 비유사량은 식 (1)과 같이 표시될 수 있다.

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

여기서, 계수  $\alpha, a, d, r, c, k, h, m$ 은 자료점이 충분한 경우 다중 회귀분석을 통하여 결정될 수 있다. 여기서, 자료점이 충분하지 않은 경우 (본 연구의 경우 20 점 이하) 7 가지 요소 전부를 이용하여 물리적으로 타당성이 있는 회귀분석결과를 기대하기 어려우므로 단계별로 회귀분석을 수행하여 최적의 회귀모형을 도출한다. 즉, 수학적으로 상관성이 높지 않거나, 어느 요소와 비유사량은 비례하여야 하나 반비례하게 나타나는 등 물리적으로 타당성이 없는 회귀식들은 차례로 건너뛰고 다음 경우를 분석하게 된다.

### 3.3.2 도표식 방법

도표식 방법은 PSIAC 방법과 같이 유역의 비유사량에 관련된 인자들의 기여도에 점수를 부여하여 각 인자의 기여도 점수의 합에 의해 그 유역의 비유사량을 추정하게 된다. 한 하천유역에서 제 인자들의 기여도 합은 식 (2)와 같다.

$$P = P_A(\text{유역면적}) + P_D(\text{하천밀도}) + P_R(\text{강우 침식도}) + P_C(\text{식생 및 토지이용}) + P_K(\text{토양 침식성}) + P_H(\text{지형 기복}) + P_M(\text{하상재료}) \quad (2)$$

본 연구에서 이용될 유사 유출량 자료점 모두에 대하여 다음 식 (3)과 같이 P 값과  $Y_r$  값을 상관시켜 경험적 관계를 도출한다.

$$Y_r = a P^b ; a, b = \text{회귀 계수} \quad (3)$$

## 4. 비유사량 자료의 수집분석

### 4.1 저수지 퇴사자료

기존 다목적 댐 및 발전댐에 대한 '저수지 퇴사량 조사' 및 '댐 안전도 진단'에 관한 보고서에서, 기존 하구둑 유역에 대한 저수지 퇴사자료는 '토사 침전량 조사 연구'에 관한 보고서에서 퇴사 자료를 수집할 수 있었다. 이들 보고서로부터 조사된 저수지 퇴사량 자료는 안동댐을 포함하여 총 11 개이다. 이 퇴사량 자료를 저수지 포착률로 나누고 퇴적토 단위중량을 곱하여 유사량 자료로 환산하였다. 여기서, 포착률은 Brune<sup>(15)</sup>의 중위곡선으로부터 구하며, 퇴적토 단위중량은 우효섭 등<sup>(16)</sup>의 실측치와 Lara와 Pemberton 공식<sup>(17)</sup>을 고려하여 결정하였다.

본 연구에서 수집된 11개의 퇴사자료중 퇴사측량 자료의 신뢰도가 의심스럽거나, 상류유역에 다른 댐이 있어 유사유출의 일관성이 상실되었거나, 유역의 일부가 DMZ이북에 있어 유역특성요소의 산정이 불가능한 자료점을 제외하고 자료의 상태가 양호한 5개의 자료점을 최종적으로 선정하였다.

### 4.2 기존 하천 유사량 자료

본 연구에서는 '60년대 이후 현재까지 각종 수자원 관련 보고서나 기록에서 구할 수 있는 국내의 하천 유사량 측정 자료를 총망라하여 수집하고 기존 하천유사량 자료중 적합한 자료를 선별하여 만경강의 대천 지점을 포함한 전국 10 개 지점의 비유사량을 추정하였다. 본 연구에서는 유량지속곡선과 유량-유사량 관계곡선에 의한 방법을 이용하여 비유사량을 추정하였다.

그러나, 이러한 기존 하천유사량 자료들은 1) 유역면적의 과대, 2)상류 유역에 다른 댐의 존재, 3) 유사량 실측년대의 차이, 4) 유량 및 유사량 자료의 신뢰도 문제 등으로 본 연구의 비유사량 추정방법의 개발에 이용되지 못했다.

### 4.3 하천유사량 실측

본 연구에서 하천 유사량 실측 대상 지점들은 표 1과 같이 한 유역에 상·하류 2 개 지점씩 선정되었으며, 각 하천 유역의 경계는 그림 1과 같다.

하천 부유사 시료의 실측은 미 지질조사국의 P-61과 D-74 부유사 채취기 및 일본의 간이채수기 등을 이용하여 교량에서 등간격법 (equal-width in-

표 1. 하천 유사량 실측 지점

수 계	하 천	지 점		비 고
		상 류	하 류	
한 강	섬 강	화전교: 강원 횡성군 갑천면 화전리 유역면적: 188 km <sup>2</sup> 하상재료: 자갈+호박돌	장현교: 강원 원주군 호저면 매호리 유역면적: 923 km <sup>2</sup> 하상재료: 자갈+모래	횡성담 예정지
낙동강	내성천	석포교: 경북 영풍군 이산면 석포리 유역면적: 299 km <sup>2</sup> 하상재료: 모래	송리원교: 경북 영풍군 평은면 금광리 유역면적: 491 km <sup>2</sup> 하상재료: 모래	유사량 풍부
낙동강	위 천	나호교: 경북 군위군 우보면 봉산리 유역면적: 282 km <sup>2</sup> 하상재료: 자갈+모래	봉황교: 경북 군위군 소보면 봉황리 유역면적: 567 km <sup>2</sup> 하상재료: 자갈+모래	IHP 조사유역
금 강	금 강	외송교: 전북 진안군 상전면 수동리 유역면적: 574 km <sup>2</sup> 하상재료: 호박돌+자갈	대소교: 전북 무주군 부남면 대소리 유역면적: 971 km <sup>2</sup> 하상재료: 호박돌+자갈	용담담 예정지

(주) IHP: 국제수문개발계획

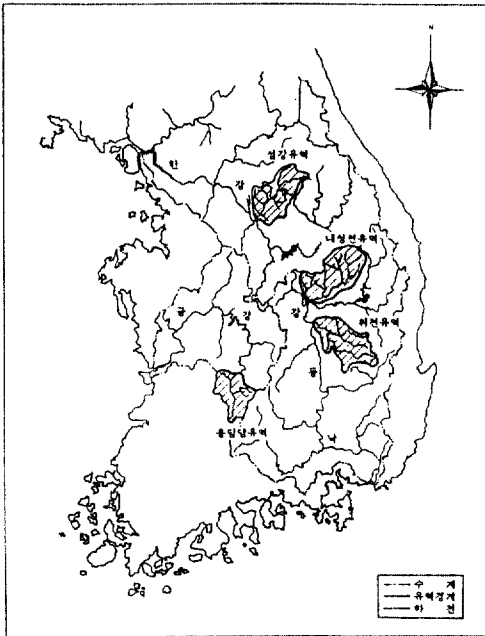


그림 1. 4개 시험 조사 유역 위치도

crements)으로 주로 홍수시에 한 지점당 12~15점을 채취하였다. 이 때 하상토 시료의 채취 및 유량, 수심, 수면경사, 수온측정 등도 병행하였다. 채취된 부유사 시료는 실험실에서 체분석 및 B/W 튜브 등을 이용하여 입경분석을 수행하였으며, 오븐에서 건조시켜 농도분석을 수행하였다. 이렇게 획득된 부유사 농도에 해당유량을 곱하여 유사량을 산정하고, 그림 2~9와 같이 각 지점별 유량-유사량 곡선을 작성하였다. 이때, 섬강, 금강 등은 하상토가 대부분 자갈과 호박돌로 구성되어 실질적으로 소류사의 이송이 없으므로 측정된 부유사 농도를 전체 유사농도로 간주하였다. 그러나, 내성천, 위천의 경우 하상토가 주로 모래로 구성되어 Colby와 Hembree<sup>(18)</sup>가 제안한 수정아인쉬타인 방법을 이용하여 미측정 유사량을 보정하여 총 유사량을 산정하였다.

본 연구에서 작성된 유량-유사량 관계곡선들 중 洗流砂(wash load)가 대부분인 섬강의 경우 유량-유사량 관계는 상대적으로 많이 산포된 반면, 모래와

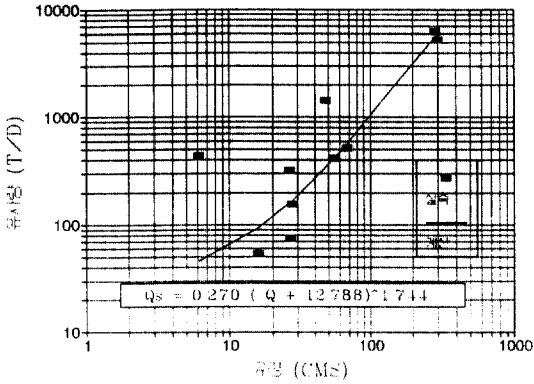


그림 2. 섬강 화성교 지점의 유량유사량 곡선

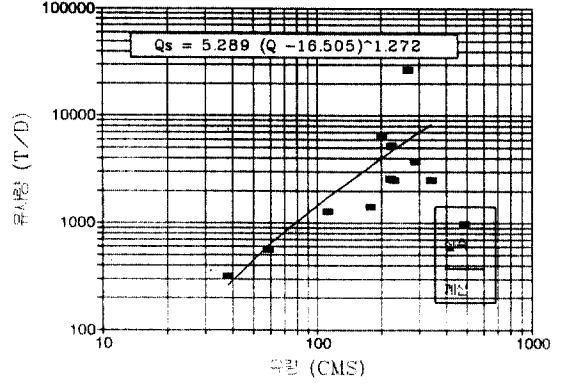


그림 3. 섬강 장현교 지점의 유량유사량 곡선

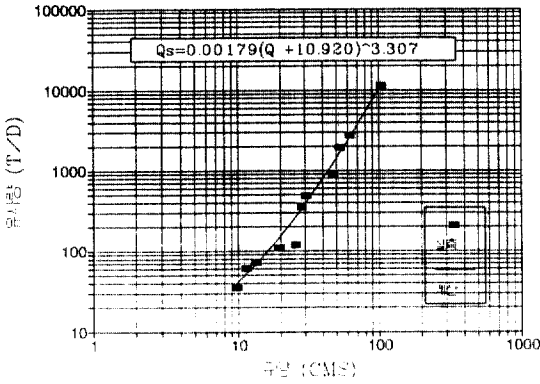


그림 4. 내성천 석포교 지점의 유량유사량 곡선

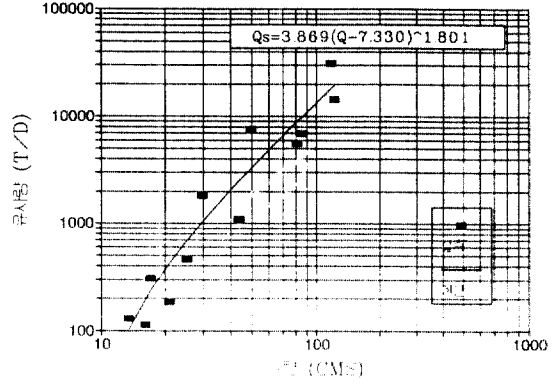


그림 5. 내성천 송리원교 지점의 유량유사량 곡선

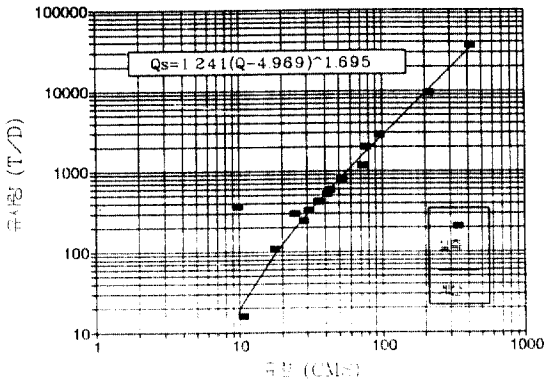


그림 6. 위천 나호교 지점의 유량유사량 곡선

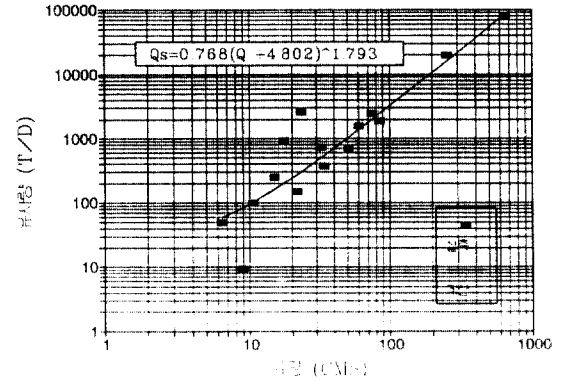


그림 7. 위천 봉황교 지점의 유량유사량 곡선

같은 하상토 유사 (bed sediment)가 대부분인 내성천의 경우 유량-유사량 관계는 비교적 양호한 상관성을 보여준다. 이러한 사실은 세류사는 기본적으로 유수의 유사 이송능력보다는 상류에서의 공급에 더 의존하기 때문인 것으로, 세류사가 주종인

표 2. 녹지자연도 등급구분에 의한 식생피복 및 토지 이용 인자값

등급	1	2-별	2-논	3	4	5	6	7	8	9	10	0
인자 C	0	100	1	5	30	10	5	1	1	1	1	0

주) 서울대학교 농과대학 농업연구소<sup>(23)</sup>, 강예목 등<sup>(24)</sup> 자료 종합

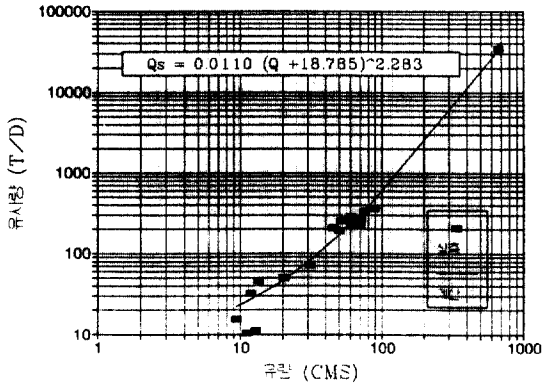


그림 8. 금강(용담댐) 외송교 지점의 유량-유수량 곡선

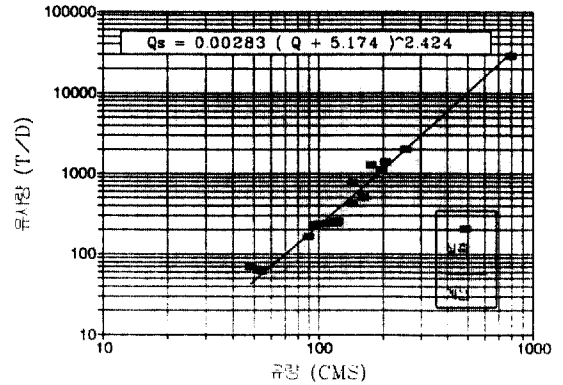


그림 9. 금강(용담댐) 대소교 지점의 유량-유수량 곡선

표 3. 지점별 비유수량 및 유역 특성인자

구분	유역명	비퇴수량 V <sub>r</sub> (m <sup>3</sup> / km <sup>2</sup> /yr)	비유수량 Y <sub>r</sub> (tons/ km <sup>2</sup> /yr)	유역 면적 A (km <sup>2</sup> )	하천 밀도 D(km/ km <sup>2</sup> )	강우 침식도 R (J/ha)	식생 토지 이용 C(%)	토양 침식성 K(tons /J)	기 복 도 H(m)	하 상 재 료 M (mm)	
시 험 유 역	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 송리원교	-	453	491	0.55	305	15.8	0.26	331	1.0	
	내성천 석포교	-	501	299	0.56	302	14.9	0.25	395	1.0	
	위 천 봉황교	-	324	567	0.65	251	14.4	0.22	282	2.0	
	위 천 나호교	-	154	282	0.65	251	16.5	0.20	289	4.0	
	용담댐 대소교	-	107	971	0.56	411	13.9	0.25	439	5.0	
	용담댐 외송교	-	103	574	0.57	412	15.3	0.26	453	6.3	
	댐 및 하 구 부 속	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	

하천에서 유량-유사량 관계 수립의 한계를 시사한다.

비유사량 산정에는 전술한 유량지속곡선과 유량-유사량 관계곡선을 이용한 방법을 사용하였다. 이러한 방법으로 산정된 지점별 비유사량은 표 3에 나타나 있다.

이 표에서 보는 바와 같이 유역면적 200~2,000 km<sup>2</sup> 규모 유역에서 하천유사량을 실측하여 얻어진 비유사량은 100~500 tons/km<sup>2</sup>/yr 정도이며, 저수지 퇴사자료에서 추정된 비유사량은 200~500 tons/km<sup>2</sup>/yr 정도이다. 따라서, 전체적으로 유역면적 200~2,000 km<sup>2</sup> 정도에서 우리나라의 비유사량 값들은 100~500 tons/km<sup>2</sup>/yr 정도의 범위에 있는 것으로 추정된다.

한편, 본 연구에서 도출된 중규모 유역의 비유사량 자료를 분석한 결과 유역의 비유사량은 그 유역내 하천의 하상재료 특성에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 즉, 모래하천에서 流砂流出이 활발하며, 자갈하천에서는 이토나 점토질의 洗流砂 (wash load) 밖에 없으므로 상대적으로 유사유출이 적은 것으로 나타났다. 또한, 중규모 유역에서 유역면적은 그 유역의 비유사량과 직접적인 관계가 없는 것으로 나타났다. 이러한 사실은 유사량 실측 결과 유역면적 299 km<sup>2</sup>의 모래하천인 내성천 석포교 지점의 비유사량이 501 tons/km<sup>2</sup>/yr 으로 나타난 반면, 이보다 유역면적이 작은 자갈과 호박돌 하천인 섬강 화전교 지점 (유역면적 188 km<sup>2</sup>)의 비유사량이 136 tons/km<sup>2</sup>/yr 로 나타난 사실로도 알 수 있다.

## 5. 유역특성 요소산정

앞에서 언급한 7개 요소의 정량화 방법으로는, 강우 요소는 Wischmeier와 Smith<sup>(19)</sup>가 제안한 범용토양손실 공식(Universal Soil Loss Equation, USLE)에서의 降雨 浸蝕度(rainfall erosivity) R을, 토양 요소는 USLE에서의 土壤 浸蝕性(soil erodibility) K를 이용할 수 있으며, 식생 및 토지이용은 단위 유역면적당 피복상태를, 지형은 단위 면적당 기복 에너지를, 하천침도는 단위 유역면적당 하천 연장율, 하상재료는 하상재료들의 기하평균(mm)을 이용하였다. 각 유역특성 요소의 산정방법을 요약하면 다음과 같다.

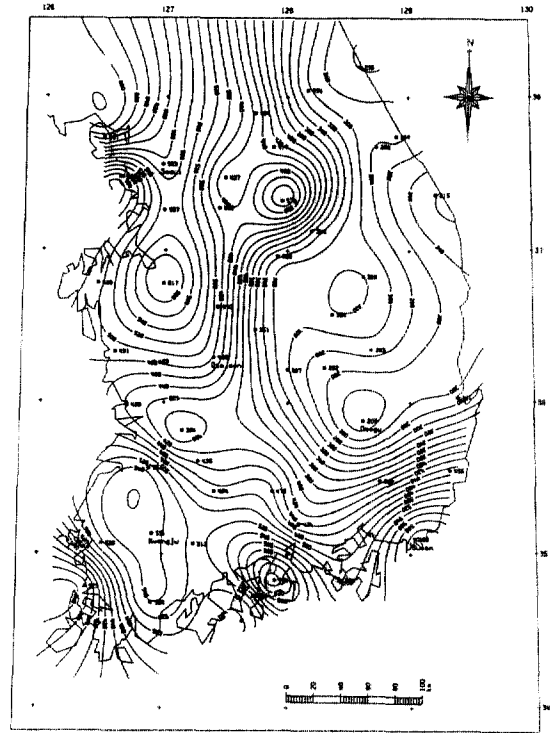


그림 10. 한국의 R값 분포도

- ① 유역면적 인자 A :  
구직기를 이용하여 해당 하천유역의 면적을 측정한다.
- ② 강우 침식도 인자 R :  
강우 침식도 인자 R 값의 유역평균은 정필근 등<sup>(20)</sup>의 연구결과를 토대로 그림 10과 같이 전국 R 값의 분포도를 작성하여 대상유역에 대하여 등우선법으로 가중평균하여 결정하였다. R 값은 강우에너지와 30 분 최대 강우강도의 곱으로 표시된다.
- ③ 토양 침식성 인자 K :  
유역의 평균 토양 침식성 인자 K 값은 1:250,000 개략 토양도상에서 토양통별로 구성비를 추정하여 각 토양통별 K값을 곱해 결정한다. 각 토양통별 K값은 건설부<sup>(21)</sup>의 **댐설계를 위한 유역단위 비유사량 조사·연구(부록)** 표 .1.4에 수록되어 있다.
- ④ 지형 인자 H :  
유역의 지형인자값은 1:250,000 지형도에서 4



×4 km<sup>2</sup>의 격자를 구성하고 각 격자내 지형의 최고점과 최저점과의 차이 (기복량)를 구해 유역평균하여 결정한다.

⑤ 하천밀도 인자 D :

하천밀도인자는 1:250,000 지도상에서 해당유역의 하천 총 연장을 구하여 유역면적으로 나누어 결정한다.

⑥ 식생 및 토지이용 인자 C :

식생 및 토지 이용인자는 환경치<sup>(22)</sup>의 **녹지자연도**를 이용하여 하천유역에 포함된 식생 및 토지이용 구분별 격자(1 km×1 km)수를 세어 가중평균하여 구한다. 이 때 등급별 C 인자값은 표 2와 같다.

⑦ 하상 재료 인자 M :

하상 재료 인자값은 대상 하천지점(댐의 경우 댐 계획지점)의 하상재료를 조사하여 모래(직경 2mm 이하)와 자갈/호박돌 (직경 2mm 이상, 보통 10~100 mm)의 구성비를 추정하여 결정한다. 하상재료의 조사시 교량이나 구조물 주위, 임시로 모래가 흩뿌려진 곳이나 자갈로 장갑화된 곳, 하상에 이토나 점토가 지배적인 곳, 지류가 유입되는 곳 등은 대표하상재료를 결정하기 어려우므로 가급적 피한다. M 값은 식 (4)와 같이 모래 구성비와 자갈 구성비를 기하평균하여 구한다.

$$M = 10^{(\log 1x \text{ 모래 구성비} + \log 10x \text{ 자갈/호박돌 구성비})} = 10^2 \quad (4)$$

여기서, r<sub>2</sub>는 하상재료 중 자갈과 호박돌의 구성비이다.

## 6. 지점별 비유수량 및 유역특성 인자

이러한 방법으로 본 연구에서 최종적으로 도출된 유역면적 200~2,000 km<sup>2</sup> 범위 유역에서의 비유수량 자료는 저수지 퇴사 자료 5 점(다목적 댐 3 점, 하구둑 2 점)과 본 연구에서 수행한 하천 유수량 실측 자료 8 점(4 개 유역) 등 총 13 점이다. 이러한 자료를 정리하면 표 3과 같다.

## 7. 결 론

본 연구에서 얻은 주요 결론은 다음과 같다.

1) 4개 대표유역의 8개 지점에서 하천유수량 실측을 토대로 분석하여 얻은 결과에 의하면, 우리나라에서 유역면적 200~2,000 km<sup>2</sup> 정도의 중규모 유역의 비유수량은 100~500 tons/km<sup>2</sup>/yr 정도로 추정된다.

2) 유역의 비유수량은 그 유역내 하상재료의 특성에 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 즉 유역의 비유수량은 모래하천의 경우 크며, 하상재료의 크기가 클수록 즉 자갈하천의 경우 상대적으로 작은 것으로 나타났다.

3) 우리나라 비유수량 자료의 부족과 적절한 비유수량 추정방법의 부재로, 지금까지 각종 댐 설계시 이용된 비퇴사량(비유수량) 추정방법은 일관성이 미흡하다.

4) 댐 계획시 저수지 용적측량 자료의 신뢰도 문제로 기존 저수지 퇴사량 자료중 소양강댐 등 일부자료는 신뢰도가 낮기 때문에 유수량 관련 조사 연구에 이용하기 어렵다.

5) 기존 하천유수량 실측자료는 자료의 수집, 정리, 분석과정이 분명하지 않고, 일부 오류가 발견되므로 유수량 관련 조사·연구에 직접 이용하기 어렵다.

## 감사의 글

본 연구는 건설부의 **댐설계를 위한 유역단위 비유수량의 조사·연구** 결과를 논문화 한 것이다. 본 연구 중 하천유수량 실측은 내성천의 경우 경북대학교 서승덕 교수, 위천의 경우 영남대학교 이순탁 교수, 금강의 경우 전북대학교 이재형 교수팀이 수행하였으며 다시 한번 그분들의 노력에 사의를 표한다. 또한 본 연구를 수행하는데 많은 도움을 주신 건설부 수자원 국장과 댐계획과 직원 여러분께 깊은 감사를 표한다.

## 참 고 문 헌

1. 건설부, **하천시설기준(댐편)**, 1982.
2. 농림수산부, **농지개발사업계획 설계기준-콘크리트**

- 댐편, 1989.
3. 건설부, 새마을 수문조사사업 최종기술보고서, 1978.
  4. 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.
  5. 댐기술센터(댐의技術센터-), 多目的댐의建設, 第 2卷, 調査編, 1987.
  6. 田中治雄, "わが國における貯水池の埋没に關する應用地學的研究," 技術研究報告, 電力中央研究所, 土木 57011, pp. 173-263, 1957.
  7. 江崎一博, "貯水池の堆砂に關する研究," 土木研究所報告, 第128號の 2, pp. 655-673, 1966.
  8. 江崎一博, "貯水池の堆砂量の豫測に關する研究," 土木學會論文報告集, 第262號, pp. 67-78, 1977.
  9. Hadley, R. F. and Walling D. E., *Erosion and Sediment Yield : Some Methods of Measurement and Modelling*, University Press, 1984.
  10. Vanoni, Vito A., *Sedimentation Engineering*, ASCE Manual No. 54, 1975.
  11. Singh, V. P., *Hydrologic Systems Volume II-Watershed Modeling*, Prentice-Hall, 1989.
  12. Pacific Southwest Interagency Committee, *Report on Factors Affecting Sediment Yield in the Pacific Southwest Area*, Water Management Subcommittee, Sedimentation Task Force Report, 1968.
  13. International Committee of Large Dams, Committee on Sedimentation of Reservoirs, *Sedimentation Control of Reservoirs - Guidelines*, 1989.
  14. Burns, R. G., *An Improved Sediment Delivery Model for Piedmont Forests*, Technical Report ERC 03-79, Environmental Research Center, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, 1979.
  15. Brune, G. M., "Trap Efficiency of Reservoirs," *Transactions*, American Geophysical Union, Vol. 34, No. 3, pp. 407-418, June, 1953.
  16. 우효섭, 김형섭, 안영욱, 김우구, "안동다목적댐 퇴사 특성에 대한 기초 조사 연구," 대한토목학회 학술발표회 개요집(III), 1992년도 학술발표회, 대한토목학회, pp. 125-128, 1992.
  17. Lara, J. M. and Pemberton, E. L., "Initial Unit Weight of Deposited Sediments," *Proceedings of Federal Inter-Agency Sedimentation Conference, 1963*, Miscellaneous Publication No. 970, U.S. Agriculture Research Service, pp. 818-845, 1965.
  18. Colby, B. R. and Hembree, C. H., *Computations of Total Sediment Discharge Niobrara River Near Cody, Nebraska*, Water Supply Paper 1357, U.S. Geological Survey, Washington, D.C., 1955.
  19. Wischmeier, W. H. and Smith, D. D., "A Universal Soil Equation to Guide Conservation Farm Planning," *Transactions*, 7th International Congress of Soil Science, Vol. 1, pp. 418-424, 1960.
  20. 정필권, 고문환, 임정남, 임기태, 최대용, "토양유실량 예측을 위한 강유인자의 분석," 한국토양비료학회지, 제16권, 제2호, pp. 112-118, 1983.
  21. 건설부, 댐설계를 위한 유역단위 비유사량 조사 연구, 1992.
  22. 환경처, 녹지자연도(축척 : 1/250,000), 1991.
  23. 서울대학교 농과대학 농업연구소, 산지종합개발의 개발기법에 관한 연구(II), 1988.
  24. 강예복, 황 은, 조성섭, 김철기, 농지조성학, 향문사, 1987.

(接受 : 1993. 1. 28)