

하천유사량산정기법의 개발 - '93 IHP 연구

우 효 섭¹⁾, 유 권 규²⁾

1. 서론

물과 모래가 함께 흘러가는 冲積河川에서 流砂量을 결정하는 문제는 流量을 결정하는 문제만큼 중요하다. 일반 하천에서 유량자료는 홍수시 홍수량이나 저수시 갈수량의 결정 등 하천관리면에서 기본적인 자료이듯이 충적하천에서 유사량 자료는 하상변동, 저수지퇴사, 국부세굴 등 河川流砂 관리면에서 기본적인 자료이다.

충적하천에서 유사량은 제한된 신뢰도 내에서 하천의 수리량과 하상재료의 특성을 가지고 결정될 수 있다. 이 때 이용되는 공식을 통상 유사량공식이라 한다. 문제는 이러한 유사량공식은 아직 유량공식 (또는 평균유속공식) 만큼 그 신뢰도가 높지 않다는 것이다. 즉, 지금까지 개발된 하천유사량 공식들간의 차이가 크기는 수백배까지 나기 때문에 적절한 공식을 선정하는 것 자체가 유사량 결정에 매우 중요한 요소가 된다.

우리나라의 경우 1960년대부터 土聯(지금의 농어촌진흥공사)에서 Einstein 공식 등 몇가지 하천유사량 공식들이 소개된 이래, 하천실무에서 Einstein 공식이나 Toffaleti 공식 등을 이용하여 하천유사량을 산정하여 왔다. 이러한 공식들의 신뢰도 문제가 이미 잘 알려져 있음에도 불구하고 실무에서 계속 이용되어 온 것은 우리나라 하천실무의 바이블격인 '하천시설기준'에서 상기 공식들을 계속 소개하고 있기 때문일 것이다.

본 연구의 목적은 엄선된 외국의 하천 유사량 자료와 우리나라 하천 유사량자료를 이용하여 기존의 유사량공식을 재평가하는 것이다. 이를 위해서 국내의 과거 유사량 실측자료를 수집·분석하여 본 연구에 이용될 수 있는 자료를 선별하였다. 또한, 외국에서 수집된 유사량 자료중에서 본 연구에 이용될 수 있는 하천 유사량자료를 선별하였다. 외국의 하천 유사량자료는 문헌상에 수천점 이상 알려져 있으며, 따라서 이러한 자료를 이용하는데 있어 자료의 한계는 사실상 없다고 볼 수 있다. 국내의 하천유사량 자료도 수백점 정도 알려져 있으나, 관련 수리량 및 하상토 재료의 자료가 없어서 본

1) 한국건설기술연구원 수자원연구실장

2) 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원

연구에서 이용될 수 있는 자료는 수집점 내외로 제한된다. 따라서, 국내자료의 한계로 인한 본 연구성과의 한계는 피할 수 없다.

본 연구에서 평가될 유사량공식으로 최근까지의 국내외 유사량 공식의 평가 결과를 토대로 구미의 공식 8개와 일본의 공식 2개, 도합 10개를 선정하였다. 한편, 본 연구에서 이용되는 국내자료는 1989년 건기연의 연구¹⁾와 1992년 건설부에서 수행한 '댐설계를 위한 유역단위 비유사량 조사·연구'²⁾에서 수집한 것이며, 국외자료는 1980년 미국의 Brownlie³⁾가 그 동안의 세계 전체에서 수집한 하천유사량 자료를 정리한 것중에서 선별하였다.

2. 국내외 하천유사량공식 연구경향

역사적으로, 유럽은 소류사량 공식을 중심으로 연구가 진행되었으며, 미국은 부유사량 공식을 중심으로 연구가 진행되었다. 일본의 경우 하천특성성 소류사량 공식을 중심으로 연구가 진행되었으며, 일본에서의 유사량 연구의 한가지 특징은 유사량을 부피단위로 표시한다는 것이다. 한국에서는 '60년대 이후 일반적으로 건설부와 수자원공사에서는 아인쉬타인공식이나 토팔레티공식을 선호하여 왔으며, 농수산부와 농진공에서는 Engelund & Hansen공식을 선호한 듯 하다.

지금까지 문헌에 알려진 하천 유사량공식의 평가 결과를 요약하면¹⁾ 일반적으로 Engelund & Hansen공식과 Ackers & White 공식 등이 비교적 우수한 것으로 나타났으며, 반면에 아인쉬타인공식이나 토팔레티 공식 등은 신뢰도가 미흡한 것으로 나타났다. Yang 공식은 평가자에 따라 크게 다르게 나타났다.

여기서 기존의 평가 결과를 전적으로 수용하기에는 다음과 같은 문제가 있다. 첫째, 유사량 자료수의 제한으로 평가결과의 보편성이 부족하고, 둘째 신뢰도 낮은 자료의 사용으로 평가결과의 신뢰성이 낮으며, 마지막으로 유사량공식 적용시 패러미터의 결정 등에 오류발생 가능성이 있다. 따라서 본연구에서는 문헌상 가용한 전체의 자료중에서 상대적으로 신뢰도가 높은 것으로 판단되는 자료만을 사용하여 유사량공식을 정밀하게 재검토한다.

3. 평가대상 유사량 공식의 선정

본 연구에서 평가 대상 유사량공식으로 선정된 것들은 다음과 같다.

① 비교적 우수한 것으로 알려진 공식들

Ackers & White(AW), Engelund & Hansen(EH), van Rijn(RJ) 공식 등

② 우리나라에 비교적 많이 소개된 공식들

Einstein(ES), Laursen(LS), Toffaleti(TF) 공식 등

③ 비교적 최근에 그 우수성이 인정된 공식들

Yang(YN), Brownlie(BR) 공식 등

④ 일본에서 개발된 공식들

篠原·椿(Sinohara & Tsubaki, ST), 吉川·石川(Kikkawa & Ishikawa, KI) 공식 등

4. 유사량공식의 평가

본 평가에 이용될 실측자료는 모래하천에서 수집된 하천 총유사량 자료로서 유량-유사량 상관관계가 명확한 자료세트만을 선정하였다. 여기서 유량-유사량 상관관계가 분명하다는 것은 상관계수 R^2 가 0.81 이상으로 자료점들이 전대수지상에 직선상에 분포되어 있는 것을 의미한다. 그림 1과 2는 그 예로서, 그림 1에 나타난 자료들은 그림 2에 나타난 자료들 보다 유사량 공식을 객관적으로 평가하는데 유리한 것으로 사료된다. 이러한 기준으로 선정된 자료는 국외자료로 15개 하천자료의 722점과 국내자료로 3개 하천자료의 27개 점이다.

표 1. 유사량 공식의 평가결과(불일치율)

유사량 공식	계산 자료수	기하 평균	기하표준 편차	16백 분위	84백 분위	정확도 (%)
AW	722	0.959	2.628	0.365	2.520	59.7
BR	722	0.737	2.086	0.353	1.538	69.1
ES	694	0.148	7.176	0.021	1.061	15.0
EH	722	0.962	2.371	0.406	2.281	64.7
LS	700	0.618	3.503	0.176	2.165	38.9
RJ	721	1.043	2.681	0.389	2.796	61.6
ST	721	0.515	2.607	0.198	1.343	43.8
TF	722	0.269	2.802	0.096	0.753	24.8
YN	722	0.442	2.899	0.152	1.280	42.9
KI	648	0.580	5.531	0.105	3.208	52.3

주) '정확도'란 불일치율(계산치/실측치)이 0.5-2.0 사이에 드는 자료점의 비율임

표1은 이러한 자료만을 이용하여 선정된 10개 공식들을 평가한 결과이다. 이 표에서 보는 바와 같이 EH, AW, RJ, BR 공식 등이 비교적 우수한 것으로 나타났다. 여기서, 소하천의 경우 EH, AW 공식 등이, 대하천의 경우 RJ 공식이 우수한 것으로 보이며, 중 규모 하천의 경우 상기 세 공식들은 공통적으로 적용성이 있는 것으로 보인다.¹⁾ 그러나 세사($D_{50} < 0.25$ mm)의 경우 AW 공식은 적용이 불가하다.⁴⁾ 한편, 신뢰도에 논란이 많은 Yang 공식은 본 연구에서는 신뢰도가 보통 정도로 나타났다.

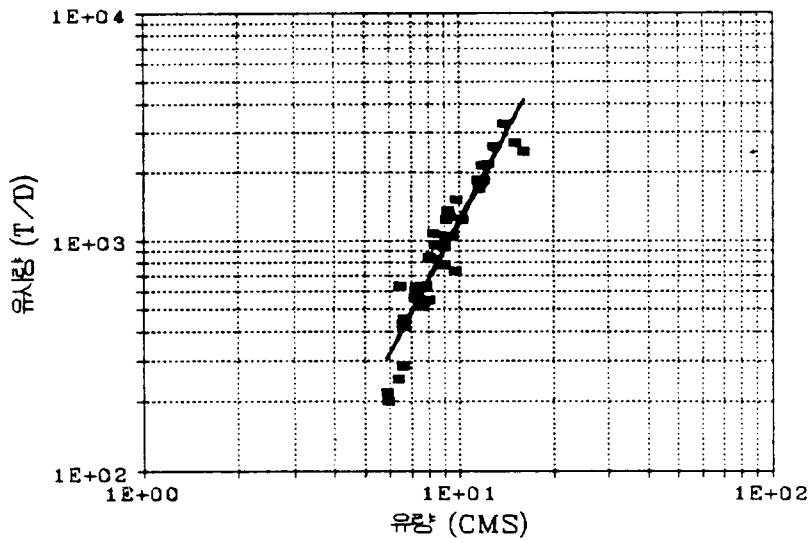


그림 1. Niobrara 강의 유량-유사량 관계($R^2=0.89$)

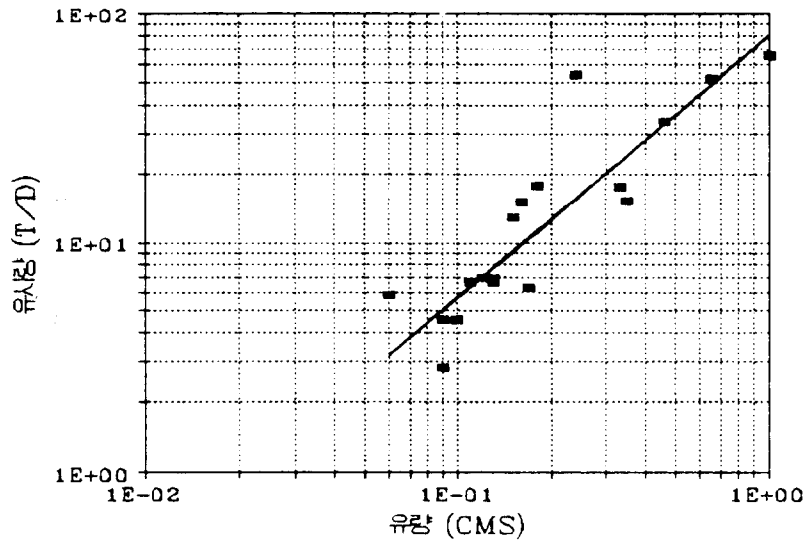


그림 2. West Goose Creek의 유량-유사량 관계($R^2 = 0.78$)

한편, 국내자료를 이용한 평가결과는 그림 3과 4에 보이는 바와 같이 Laursen 공식이 비교적 실측치에 근사한 것으로 나타났으나, 자료수의 제한(27점)으로 현재 결과는 불확실하게 보인다. 따라서, 추후 국내 실측자료가 보완된 후 재검토할 필요가 있다.

5. 결론

본 연구에서 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 평가된 10개의 유사량공식들중에서 하천유사량을 비교적 잘 산정하는 공식들은 Engelund & Hansen, van Rijn, Ackers & White 공식들이다. 이 중 Engelund & Hansen, Ackers & White 공식은 소하천에, van Rijn 공식은 대하천에 적합하며, 중규모 하천에 대해서는 상기 세 공식을 모두 적용 가능하다. 그러나, Ackers & White 공식은 하상토의 크기가 0.25 mm 이하가 되는 細砂의 경우 적용할 수 없다.

(2) Yang공식은 개발자가 주장하는 것 만큼 신뢰도가 높지 않게 나타났다.

(3) 일본에서 개발된 공식들은 구미의 것들보다 신뢰도가 상대적으로 낮게 나타났다.

(4) 우리나라의 유사량 자료를 이용하여 유사량공식들을 검토한 결과는 가용 자료의 수가 매우 제한되어 현재로서는 불분명하다.

참고적으로, 우리나라의 하천은 외국에 개발된 유사량공식을 그대로 적용할 수 있는 沖積河川이 많지 않다. 오히려 자갈 河床에 홍수시 wash load(細流砂)의 형태로 이송되는 하천이 많으며, 이 경우 기존 유사량공식의 적용은 불가능하다. 또한, 일반적으로 우수한 유사량 공식이라도 모든 하천에 대해 공통적으로 우수한 것은 아니다. 이런 점에서 유사량을 추정하고자 하는 하천의 특성에 적합한 유사량 공식을 선정하여 적용할 필요가 있다.

6. 감사의 글

이 연구는 1993년 건설부 IHP 사업에서 지원하여 수행된 것으로 관계자들에게 심심한 사의를 표한다.

7. 참고문헌

- (1) 한국건설기술연구원, 하천유사량산정방법의 선정기준 개발, WR-89-112, 1989.
- (2) 건설부, 댐설계를 위한 유역단위 비유사량 조사. 연구, 1992.
- (3) Brownlie, W.R., Compilation of Alluvial Channel Data, Laboratory and Field, W.M. Keck Lab of Hydraulics and Water Resource, Report No KH-R-438, California Institute of Technology, Pasadena, California, Nov, 1981.
- (4) Woo, H., Yoo, K., and Seoh, B., Performance Test of Some Selected Sediment Transport Formulas, Proc. of the 1990 National Hydraulic Engineering Conference, Vol 1, edited by H.H. Chang and J.C.Hill, ASCE, San Diego, 1990.

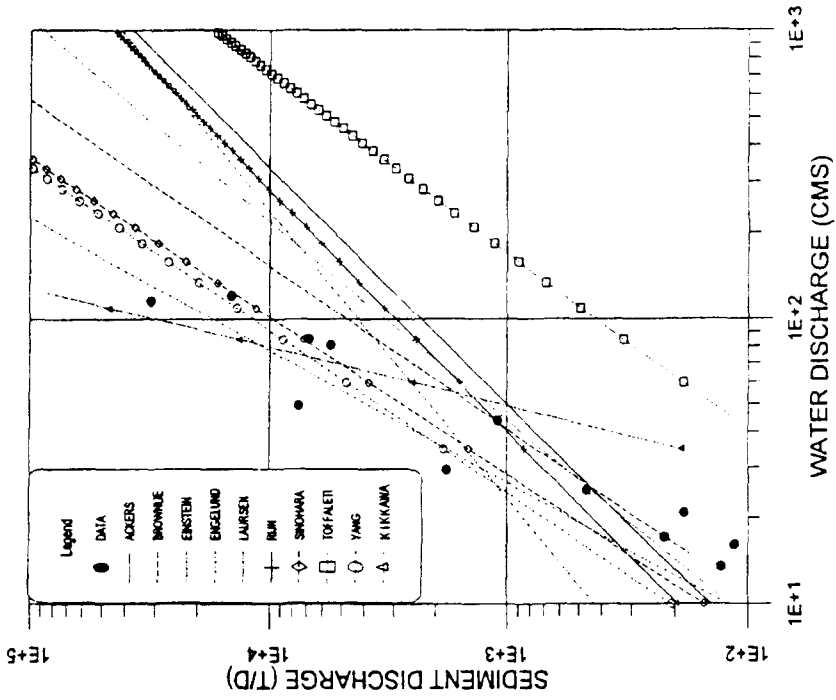


그림 4. 유사량 공식들의 비교(내성천 송리원교)

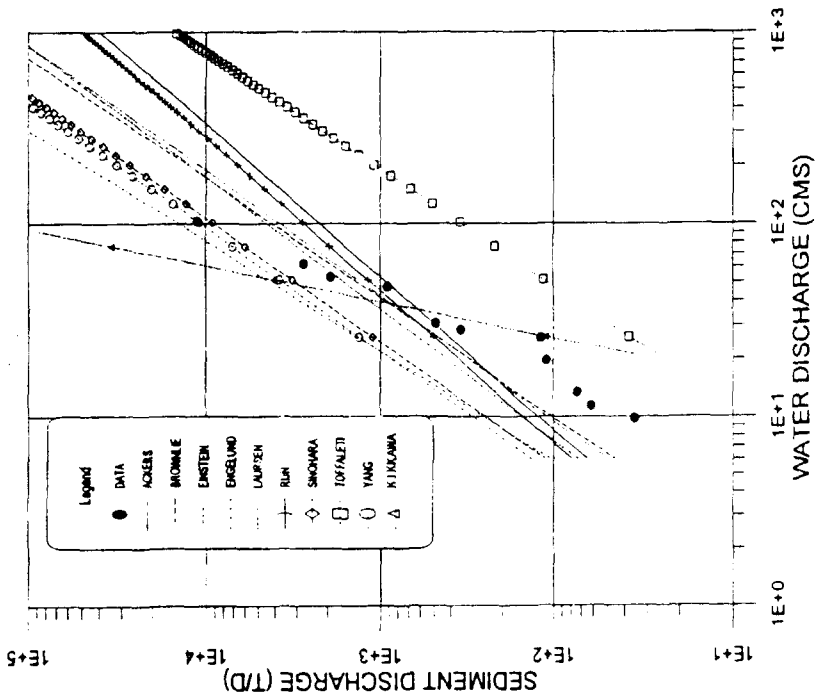


그림 3. 유사량 공식들의 비교(내성천 석포교)