

중소하천에서의 유사특성에 대한 연구

A Study of Characteristics of Total Sediment in the Stream

최계운*, 서종옥**, 장연규***

Gye Woon Choi, Jong Ok Seo, Yeon Gyu Jang

요 지

유사(sediment)란 지각의 풍화작용에 의해 생성되어 유수나 바람 등에 의해 침식, 이송, 퇴적된 물질을 말하며, 일반적으로 하천유사(fluvial sediment)를 말한다.

유사의 크기는 작게는 미세한 점토입자부터 크게는 자갈에 이르기까지 매우 다양하며, 하천에서의 소류사량과 부유사량을 포함한 총유사량의 추정치는 하천유사 문제의 기본이며 하천내의 수리구조물의 설계 및 유지관리, 하천개수 및 하도의 안정, 홍수터 관리, 저수지의 설계 및 운영 등 수자원 개발 및 관리를 위한 하천계획에 필요한 기본적 요소 중 하나이다.

본 연구에서는 중소하천에서의 실측을 통한 유사산정을 위해 대상하천에서 각 유량에 따른 부유사를 채취하여 시료분석을 통한 결과와 대상하천의 수리특성을 분석하여 총유사량의 산정 및 분석을 하였다.

이를 위하여 대상하천에 대하여 알맞은 측정조사지점을 선정하여 15회에 걸쳐 현장측정을 시행하였으며, 현장 측정시 유량측정을 위한 수위 및 유속을 측정하였고, 부유사농도 및 부유사입도분석을 위한 시료를 채취하여 실내 실험시 SS분석 및 BW관 분석을 시행하였다.

대상하천의 현장실험 측정성과와 수리특성을 기초자료로 하여 각 회차에 걸친 총유사량의 산정을 하였으며, 총유사량의 산정은 총유사량 추정 방법들인 직접 실측에 의한 방법, 간접계산에 의한 방법, '실측+계산'에 의한 방법 중 신뢰도가 높으며 경제성이 높은 '실측+계산'에 의한 방법과 간접계산에 의한 방법을 사용하는 공식으로 산정하였다.

결과들의 비교와 대상하천의 수리특성들에 대한 연구를 통해 적정공식을 선정하고 공식의 선정 원인에 대한 연구를 시행하였다.

핵심용어 : 부유사농도, 유사량, 입도분포, 중소하천, sediment, suspended sediment

1. 서 론

하천에서의 소류사량과 부유사량을 포함한 총유사량의 추정은 하천유사 해결을 위한 자료획득의 기본이며 수자원 개발 및 관리를 위한 하천계획에 필요한 기본적 요소 중 하나이다.

유사량을 추정하는 방법은 Einstein 공식이나 Toffaleti 공식 등과 같은 하천 유사량 공식을 이용한 방법이 있으나 유사량 공식을 이용한 추정은 아직도 그 신뢰성이 떨어지며, 대부분의 기존 유사량 공식들이 하천의 특성에 따라 정확도가 많이 떨어지는 것으로 알려져 있다. 따라서, 현재까지 가장 신뢰할 수 있는 방법은 현장실측에 의한 방법이며, 유사량 공식은 부득이한 경우에만 이용하는 것이 바람직하다.

* 정회원·인천대학교 토목환경시스템공학과 교수·E-mail : gyewoon@incheon.ac.kr

** 정회원·인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정·E-mail : sharlina@hanmail.net

*** 정회원·인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정·E-mail : ravage@incheon.ac.kr

우리나라의 경우 1960년대 4대강 유역조사사업의 일환으로 이들 하천에서의 측정이 상당수 수행되었으나 이후 하천유지관리 차원의 지속적인 관측이 이루어지지 못하여 상세한 정보가 결여되어 있어서 각종 제시된 자료의 효용성이 떨어진다. 앞으로, 효율적인 유역 수자원 계획 및 개발을 위해서 실측을 통한 하천의 적정 유사공식의 조사가 필요하다.

2. 조사대상 지점

2.1 조사지점의 선정

유사량 조사지점은 유사량 측정의 목적과 측정하고자 하는 자료의 종류 및 측정 장비의 종류에 따라 적절한 지점이 선정되어야 하며, 이런 적합한 지점이란 그 지점이 유역을 대표할 수 있는 지점으로서 채취가 용이하고 정확한 시료채취를 할 수 있는 곳이어야 한다. 또한, 대상 하천의 수리·수문학적 특성과 유사적 특성을 잘 반영하고 이런 특성이 안정적으로 유지되며, 실제 측정 작업이 용이한 곳이어야 한다.

본 조사의 대상하천인 계양하천내의 상기 사항들의 적합한 조사대상 지점으로 펌프장 지점과 원당교 지점을 선정하였다.

2.2 조사지점의 특성

조사 대상하천인 계양천은 인천광역시 서구 검단동에 위치한 연장 3.60km의 하천이며, 경기도 김포시와 인천광역시 서구 검단동을 가로지르는 계양천은 상류로부터 감안교를 통해 한강하구로 유출된다.

본 대상하천의 조사지점인 펌프장 지점과 원당교 지점의 특성은 표 1에 나타냈으며, 그림 1과 그림 2는 펌프장지점과 원당교 지점의 횡단면이다.

표 1. 조사지점의 평균수리량

	측정일	수심	유속	유량	하상토입경		부유사입경	
					D_{35}	D_{65}	D_{35}	D_{65}
펌프장	평수기	0.15	0.35	0.30	0.420	2.430	0.017	0.015
	홍수기	0.53	1.03	12.50	0.420	2.430	0.036	0.019
원당교	평수기	0.14	0.28	0.67	0.420	2.430	0.017	0.015
	홍수기	0.67	0.90	10.50	0.420	2.430	0.045	0.018

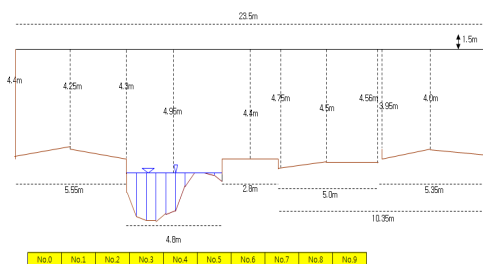


그림 1. 펌프장 지점의 횡단면

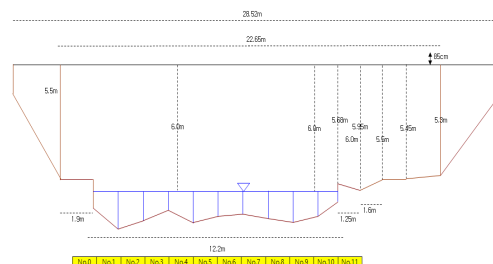


그림 2. 원당교 지점의 횡단면

3. 현장측정성과

2007년 8월 6일부터 2008년 2월 15일까지 전 조사지점에 대해 총 15회에 걸친 조사를 실시하였으며, 표 2 와 표 3 은 계양천내의 조사지점인 펌프장 지점과 원당교 지점의 유량 및 부유사량 측정성과이며, 그림 3 과 그림 4 는 측정지점의 수위-유량 곡선이다.

표 3. 부유사량 측정성과 (평수기)

	관측일시	수심 (m)	유량 (CMS)	부유사량 (ton/day)
펌프장	2007-08-06	0.21	0.3675	0.71
	2007-08-26	0.20	0.3371	0.51
	2007-09-26	0.23	0.4107	0.83
	2007-10-15	0.18	0.3123	0.54
	2007-11-04	0.12	0.1767	0.22
원당교	2007-08-06	0.18	0.6922	1.67
	2007-08-26	0.17	0.6447	1.32
	2007-09-26	0.19	0.7488	1.81
	2007-10-15	0.15	0.5354	1.18
	2007-11-04	0.11	0.3848	0.83

표 4. 부유사량 측정성과 (홍수기)

	관측일시	수심 (m)	유량 (CMS)	부유사량 (ton/day)
펌프장	2007-08-04	0.57	13.68	109.95
	2007-08-07	0.54	12.38	91.43
	2007-08-08	0.52	11.72	84.53
	2007-09-06	0.50	11.27	77.79
	2007-09-15	0.55	13.04	101.88
원당교	2007-08-04	0.68	10.99	99.13
	2007-08-07	0.66	10.31	77.56
	2007-08-08	0.64	9.85	70.98
	2007-09-06	0.63	9.56	61.40
	2007-09-15	0.67	10.69	91.06

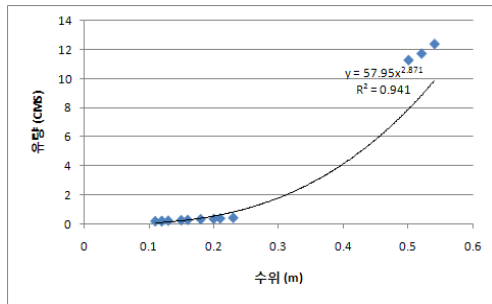


그림 3. 수위-유량곡선 (펌프장)

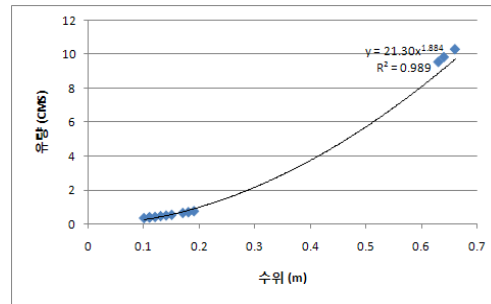


그림 4. 수위-유량곡선 (원당교)

펌프장 지점의 수위-유량곡선 작도결과 $y = 57.95x^{2.871}$ 추세선식의 분산 $R^2 = 0.941$ 이며, 원당교 지점의 유량-유사량곡선 작도결과 $y = 21.30x^{1.884}$ 추세선식의 분산 $R^2 = 0.989$ 이다.

4. 총유사량 산정

총유사량을 추정하는 방법으로는 실측을 통한 직접적인 방법과 몇 가지 유사 및 수리량 자료를 이용한 계산에 의한 간접적인 방법, 그리고 수정아인슈타인 공식과 같이 실측과 수리량 자료를 이용한 계산을 혼합하는 계산+ 실측 방법이 있다.

신뢰도는 직접적인 방법이 높으나, 소류사의 실측이 어려워 계산+ 실측 방법이 권고되고 있으며, 수정아인슈타인 공식이 대표적인 계산+ 실측 방법이다. 표 5와 표 6 은 해당지점의 측정된 자료를 바탕으로 각 유사공식의 산정결과를 비교한 것이다.

표 5. 펌프장 지점의 총유사량의 산정공식별 비교 (단위 : ton/day)

구분	관측일시	Modified Einstein	Toffaleti	Ackers & White	Engelud & Hansen	Van Rijn	Ranga Raju	Shen & Hung	Yang (1973)	Yang (1979)
평수기	2007/08/06	1.0	66.2	8.4	45.2	45.3	4.5	14.8	30.8	62.9
	2007/08/26	0.7	0.6	7.1	39.1	40.1	3.7	12.5	26.6	55.0
	2007/09/26	1.1	0.7	9.5	53.0	45.6	5.4	17.0	36.4	72.3
	2007/10/15	0.8	0.6	8.8	34.9	63.5	3.8	12.8	29.8	53.2
	2007/11/04	0.4	0.3	3.6	13.1	47.5	1.2	5.9	15.9	27.0
	2007/11/30	0.6	0.5	7.4	24.9	69.3	2.8	9.9	25.3	42.4
	2007/12/13	0.6	0.5	8.4	28.1	68.0	3.2	11.2	29.4	48.2
	2007/12/26	0.5	0.4	6.5	19.3	78.8	2.3	8.2	21.9	35.5
	2008/01/29	0.4	0.4	5.7	16.4	80.7	2.0	7.2	19.5	31.3
	2008/02/15	0.3	0.3	4.9	13.7	82.4	1.7	6.1	17.1	27.3
홍수기	2007/08/04	439.5	592	2,150	8,650	9,800	6,680	4,910	7,530	8,780
	2007/08/07	368.3	485	1,880	7,310	8,600	5,250	4,160	6,360	7,610
	2007/08/08	338.4	443	1,800	6,680	8,330	4,630	3,840	5,880	7,100
	2007/09/06	327.4	423	2,000	6,300	9,150	4,400	3,740	5,940	7,060
	2007/09/15	403.5	536	2,280	8,000	10,100	6,110	4,650	7,310	8,510

표 6. 원당교 지점의 총유사량의 산정공식별 비교 (단위 : ton/day)

구분	관측일시	Modified Einstein	Toffaleti	Ackers & White	Engelud & Hansen	Van Rijn	Shen & Hung
평수기	2007/08/06	2.1	0.04	65.6	5,890	264	507
	2007/08/26	1.7	0.04	60.5	5,220	244	457
	2007/09/26	2.2	0.05	80.8	6,780	317	582
	2007/10/15	1.4	0.03	76.0	3,950	261	369
	2007/11/04	1.0	0.02	78.0	2,290	265	250
	2007/11/30	1.1	0.03	85.3	3,080	267	313
	2007/12/13	1.3	0.02	94.7	3,370	253	331
	2007/12/26	1.1	0.02	82.4	2,550	242	267
	2008/01/29	0.8	0.02	86.2	2,290	270	253
	2008/02/15	0.6	0.02	83.1	1,920	271	222
홍수기	2007/08/04	237.6	847	3,270	562,000	25,400	58,300
	2007/08/07	197.3	741	3,010	505,000	23,000	51,700
	2007/08/08	186.1	687	2,980	468,000	22,100	48,000
	2007/09/06	169.7	626	3,600	447,000	22,800	46,600
	2007/09/15	220.9	7a65	3,830	535,000	25,800	56,100

본 연구의 조사지점인 계양천의 경우 평수기시 0.16~1.67 ton/day, 홍수기시 61.40~109.95 ton/day 의 부유사량이 실측되었다. 유사입경과 수리량 그리고 실측치를 이용하여 계산하는 Modified Einstein 공식으로 총유사량을 산정한 결과 평수기시 0.4~2.2ton/day, 홍수기시 169.7~439.5ton/day 의 총유사량이 산정되었으며, 수리량과 유사입경을 이용하여 총유사량을 추정하는 간접적인 방법 중에는 Toffaleti 공식이 가장 유사한 값을 추정하였다.

5. 결 론

본 연구의 조사지점인 계양천에서 현장실측 및 수리량과 입경분포를 이용한 총유사량의 산정 등을 수행한 결과 다음과 같은 결과가 나타났다.

첫째, 본연구의 대상지점인 계양천의 경우 평수기시 0.16~1.67 ton/day, 홍수기시 61.40~109.95 ton/day 의 부유사량이 실측되었다.

둘째, 유사입경과 수리량 그리고 실측치를 이용하여 계산하는 Modified Einstein 공식으로 총유사량을 산정한 결과 평수기시 0.4~2.2ton/day, 홍수기시 169.7~439.5ton/day 의 총유사량이 산정되었으며, 수리량과 유사입경을 이용하여 총유사량을 추정하는 간접적인 방법 중에는 Toffaleti 공식이 가장 유사한 값을 추정하였다.

셋째, Yang 공식은 유사량이 단위무게의 물의 위치에너지 감소율 즉 단위유수력(Unit Stream Power)에 의존한다고 가정하여 계산을 수행하는데 해당하천의 경우 하상의 입경이 작아 소류사량을 과도하게 높게 추정한 것으로 판단된다.

넷째, 하상형상에 따른 민감도가 높은 Engelud&Hansen 공식과 Ranga Raju 공식의 경우 과다추정하는 경향이 있었으며, D_{35} 가 0.25mm 이하일 경우 과다추정하는 Ackers&White 공식의 경우도 대상하천의 입경이 작아 총유사량을 과다추정 하였다.

참 고 문 헌

1. Ackers, P. and White, W. R.(1973). "Sediment Transport : New Approach and analysis", J. of Hy. Div., ASCE, Vol.99, HY11.
2. Yang, C. T.(1979). "Unit Stream Power Equation for Total Load", J. of Hydrology, Vol.40, No.1, pp.123-138.
3. Hubbell, D. W.(1964). "Apparatus and Techniques for Measuring Bedload", Water Supply Paper 1748, U.S. Geological Survey.
4. USGS(1982). "Measurement and Computation of Streamflow : Vol.1 Measurement of Stage and Discharge".
5. 우효섭(2001). "하천수리학". 청문각.
6. 윤용남(1997). "수리학 기초와 응용". 청문각.
7. 일본 건설성 수문연구회(1996). "수문관측".
8. 지정환(1984). "삼척오십천 하류부의 유사량 산정에 관한 연구", 삼척공업전문대 연구논문집 제 17집
9. 최계운(2005). "교량수리학". 대가.
10. 토련(1967). "유사량 조사와 그 계산". 기술지도서 제59호.
11. 한국건설기술연구원(1989). "하천유사량 산정방법의 선정기준 개발".
12. 한국건설기술연구원(1990). "수정 아인쉬타인 방법의 한국 하천에의 적용(하천 총유사량의 추정)".
13. 한국건설기술연구원(1990). "이용자 지침서(제1편 하천유사량 산정방법의 선정기준, 제2편 수정 아인쉬타인 방법의 적용)".
14. 한국수자원개발공사 한강유역협동조사단(1970). "한강유역조사사업보고서".