

소류사 실측에 의한 총유사량 산정

Computation of Total Sediment Discharge with Measured Bed Load

강규상 *, 이연길 **, 이진원 ***, 정성원 ****
Kang Kyu Sang *, Lee Yeon Kil **, Lee Jin Won ***, Jung Sung Won ****

요 지

국내에서 비교적 널리 이용되고 있는 유사량 모형의 특성을 파악하기 위해 낙동강 유역에 위치한 왜관 수위관측소에서 부유사, 소류사, 하상토를 각각 채취하였다. 총유사량 산정을 위해 이용된 자료는 부유사, 소류사, 하상토, 수리량 등이며, 이로부터 실측 유사량과 모의 유사량을 산정하였다. 본 연구에서는 실측 총유사량(세류사량 제외)을 부유사량과 소류사량의 합으로 산정하였으며, 추정 값은 Modified Einstein(1955), Engelund & Hansen(1967), Yang(1973, 1979), Ackers & White(1973)의 모형으로 각각 모의하였다.

실측치와 모의치를 비교·분석한 결과, Ackers & White에서 비교적 가장 낮은 불일치율을 보였으며, Engelund & Hansen, Yang, Modified Einstein의 모의 결과는 Ackers & White 보다 높은 불일치율을 보였다. 또한 불일치율이 가장 낮은 모델을 이용하여 유량-유사량관계곡선식을 개발하였으며, 개발된 곡선식을 이용하여 연간 총유사량과 비유사량을 추정하였다.

핵심용어 : 실측 유사량, 소류사, 부유사, Ackers & White, 수리특성

1. 서론

하천의 하상재료나 하도의 형태 등은 각각의 위치마다 항상 다른 조건들을 가지고 있으며, 그 형태나 재료가 지속적으로 변동되기 때문에 실측 자료와의 비교가 없는 모델로 추정하게 되면 상당한 오류를 범할 수가 있다. 국내의 유사량 측정은 대부분이 부유사량만을 측정하였으며, 실측 부유사량이 포함되는 Modified Einstein(1955) 모형을 대부분 사용하였다. 그러나 부유사량만을 가지고 총유사량을 추정하는 데에는 한계가 있다. 따라서 부유사와 함께 소류사의 측정이 반드시 이루어져야 한다.

본 연구에서는 왜관 수위관측소를 대상으로 하상토, 부유사, 소류사의 채취, 수면경사 측량 등을 수행하여 실측 총유사량을 산정하고자 하였다. 실측된 부유사량과 소류사량의 합으로 총유사량을 산정하였으며 하상토 자료와 여러 수리량을 이용하여 네 가지 총유사량 추정 모델을 이용하여 총유사량을 산정하였다. 실측 총유사량과 추정 총유사량을 비교 분석하여 가장 적합한 공식을 선정하였으며, 선정된 공식을 이용하여 연간 총유사량과 비유사량을 추정하였다.

* 정회원·유량조사사업단 유량조사실 유사량 그룹 연구원 · E-mail : kskang@kict.re.kr
** 정회원·유량조사사업단 유량조사실 유사량 그룹 그룹장 · E-mail : sugawon@kict.re.kr
*** 정회원·유량조사사업단 유량조사실 실장·E-mail : jwlee@kict.re.kr
**** 정회원·유량조사사업단 단장 · E-mail : swjung@kict.re.kr

2. 대상 지점

2.1 왜관 수위관측소

낙동강 수계에 위치한 왜관 수위관측소는 하도의 평면과 종단 특성이 상·하류 구간으로 일정하고 유사의 특성을 지니는 구조물은 없으며, 평수시 수심은 깊은 편이다. 하상의 재질은 주로 모래와 굵은 자갈(수위표 교각)로 구성되어 있으며 단면은 복단면형을 이루고 있다. 수면경사를 관측할 수 있는 보조수위표는 왜관철교 하류방향(우안 제방사면, 수위표와의 거리 : 377.8m)에 설치되어 있다.

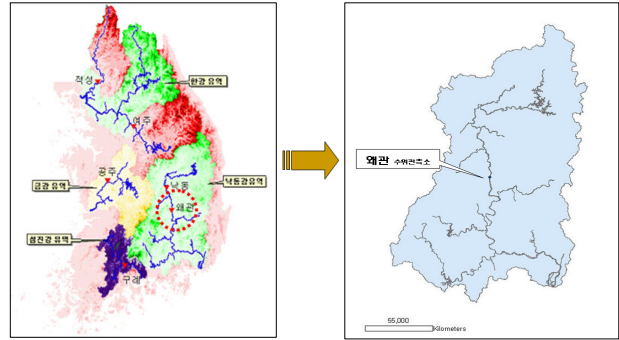


그림 1 왜관 수위관측소 위치도

3. 유사량 측정 및 분석

3.1 유사량 측정성과

본 연구에서는 왜관 지점의 유사량 측정과 더불어 수리량을 측정하였다. 부유사는 총 19회를 채취하였으며, 부유사와 동시에 소류사 측정을 총 8회 측정을 하였다. 또한 홍수기 전·후로 각각 2회씩 하상토를 채취하였으며 그 결과를 표 1에 나타내었다. 추가로 현장 측정에서 수위과 상승함에 수위 2.0m(평균수심 약 4.0m) 이상에서는 소류사 채취기(BL-84)가 유심부의 빠른 유속에 의해 하류 방향으로 처지는 현상이 발생하여 실제 측정 값에 다소 오차가 발생한 것으로 판단된다. 또한 소류사 측정 시에 유속이 빠름에도 불구하고 자갈(교각보호사석) 하상에서는 소류사가 전혀 채취되지 않았다.

표 1 유사량 측정성과(왜관)

DM No.	시작-종료 시간	수위 (m)	수면폭 (m)	단면적 (m ²)	평균 유속 (m/s)	평균 수심 (m)	유량 (m ³ /s)	복자관 수위변화 (m)	유사량 측정수	수온 (°C)	수면경사	수리반경 (m)
2011650_08_01*	2008-06-25 13:35~15:37	-1.00	357.0	548.8	0.17	2.47	129.50	0.00	5	24.5	0.000085	1.54
2011650_08_02*	2008-07-20 11:25~12:30	-0.03	347.0	718.7	0.63	2.12	460.20	+0.25	4	25.4	0.000188	1.61
2011650_08_03*	2008-07-20 17:40~18:30	0.36	359.0	842.7	0.80	2.34	668.40	+0.02	5	25.5	0.000185	1.88
2011650_08_04*	2008-07-21 09:15~10:05	0.19	353.0	782.8	0.73	2.21	571.80	-0.03	5	24.1	0.000164	1.75
2011650_08_05	2008-07-25 20:16~21:26	-0.18	342.0	725.5	0.54	2.11	392.40	+0.12	5	24.8	0.000261	1.63
2011650_08_06	2008-07-26 00:22~01:03	1.10	370.0	1,103.6	1.08	2.99	1,201.00	+0.20	5	24.3	0.000371	2.42
2011650_08_07	2008-07-26 03:00~03:30	1.91	377.0	1,404.6	1.43	3.73	2,010.40	+0.09	5	23.9	0.000371	3.05
2011650_08_08*	2008-07-26 05:22~05:50	2.25	379.5	1,533.9	1.48	4.05	2,275.00	+0.09	5	23.3	0.000424	3.31
2011650_08_09	2008-07-26 07:10~07:59	2.37	379.6	1,578.2	1.50	4.16	2,373.00	+0.04	5	23.4	0.000318	3.40
2011650_08_10	2008-07-26 10:14~11:00	2.42	379.6	1,596.8	1.51	4.21	2,415.20	-0.02	5	23.5	0.000318	3.44
2011650_08_11*	2008-07-26 14:57~15:34	2.13	379.6	1,489.4	1.46	3.93	2,179.20	-0.05	5	24.0	0.000053	3.21
2011650_08_12*	2008-07-26 23:45~00:20	1.49	373.6	1,247.8	1.25	3.35	1,561.00	-0.02	5	23.4	0.000291	2.73
2011650_08_13*	2008-07-27 11:23~11:52	0.86	367.0	1,018.2	0.99	2.78	1,007.40	-0.02	5	24.6	0.000265	2.24
2011650_08_14	2008-08-16 10:57~11:51	0.90	367.0	1,032.8	1.00	2.82	1,038.30	+0.81	5	24.6	0.000318	2.27
2011650_08_15	2008-08-06 16:40~17:15	2.00	378.0	1,439.2	1.44	3.81	2,078.40	+0.10	5	24.7	0.000371	3.12
2011650_08_16	2008-08-17 00:20~00:50	2.99	383.0	1,815.9	1.61	4.74	2,925.10	+0.01	5	22.0	0.000424	3.88
2011650_08_17	2008-08-17 19:20~19:50	2.14	379.0	1,493.5	1.46	3.94	2,187.10	-0.02	5	21.9	0.000424	3.22
2011650_08_18	2008-08-18 08:35~09:05	1.18	371.0	1,133.5	1.12	3.06	1,270.20	-0.06	5	21.8	0.000318	2.48
2011650_08_19	2008-11-13 14:03~15:00	-1.35	297.2	394.0	0.12	1.46	52.30	0.00	5	13.0	0.000000	1.35

*:부유사 측정 + 소류사 측정

3.2 시료분석 결과

시료분석은 여과법, BW관법, 체분석법으로 수행하였고, 이와 같이 분석된 결과를 바탕으로 총유사량 산정 및 추정을 위한 기초자료로 이용하였다.

각 시료별 입경분포 분석 결과는 Odén Curve를 작성하여 분석하였으며, 그 결과를 표 2~표 3 및 그림 2~그림 3에 나타내었다. 하상토 등급 분석에서는 1등급~8등급까지 각각 0.43, 2.06, 20.30, 52.01, 13.37, 1.82, 1.17, 8.85로 분석되었으며, Gradation Coefficient는 5.30으로 산정되었다.

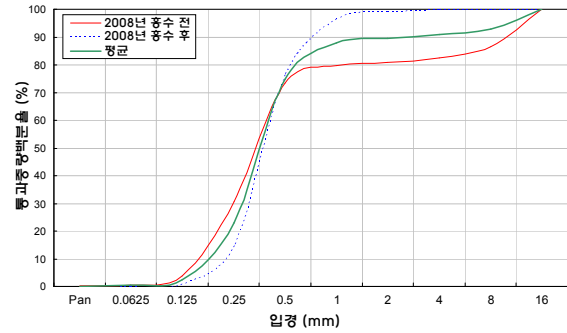


그림 2 2008년 평균하상토 분포

표 2 부유사 등급 백분율

등급	입경범위 (mm)	등급 백분율																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0.002~0.062	84.0	92.0	87.5	93.0	93.5	92.0	84.0	86.1	88.6	87.7	82.9	82.0	84.8	78.8	75.9	73.1	87.4	88.5	94.5
2	0.063~0.125	15.8	7.8	12.3	6.8	6.3	7.8	15.8	13.7	11.2	12.1	16.9	17.8	15.0	21.0	23.9	26.7	12.4	11.3	5.3
3	0.126~0.25	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
4	0.26~0.50	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5	0.51~1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	1.1~2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	2.1~4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	4.1~8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

4. 총유사량 산정

표 3은 실측 총유사량과 추정 총유사량의 산정결과를 나타낸 것으로, 이를 이용하여 추정된 총유사량과 실측 총유사량을 비교하여 가장 적합한 공식을 선정하고자 하였다. 그림 3은 각 공식별 총유사량 추정 결과를 실측 총유사량과 비교하여 불일치율(C_p/C_o)로 나타낸 것이다. 평균 불일치율이 가장 낮은 것은 Ackers & White(불일치율 2.7)로 분석이 되었으며, Engelund & Hansen이 두 번째로 낮은 평균 불일치율(4.7)을 보였으며, Modified Einstein은 평균 불일치율이 11.0 정도로 분석되었다. Yang(1973, 1979)은 불일치율 10,600, 160 정도를 보였다. 따라서 왜관 수위관 측소에서는 Ackers & White(1973) 모형을 적용하는 것이 가장 적합할 것으로 판단된다.

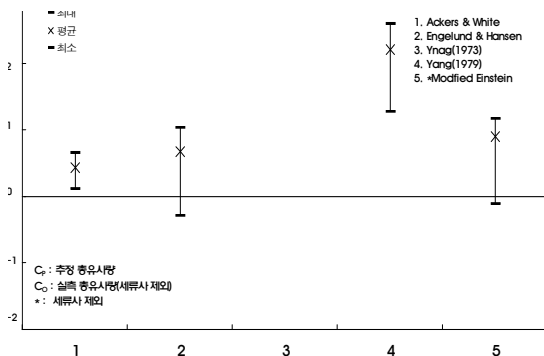


그림 3 추정 총유사량/실측 총유사량 비교

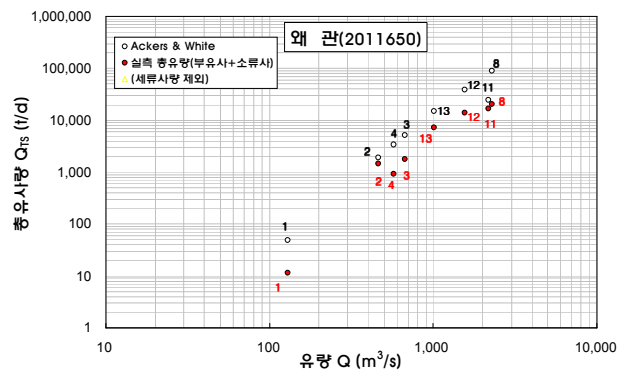


그림 4 Ackers & White 모형과 실측 총유사량 비교

표 3 추정방법별 총유사량과 실측 총유사량 비교(왜관)

No.	측정 시간	수위(m)	유량(m^3/s)	총유사량(t/d)					**실측
				*Modified Einstein	Ackers & White	Engelund & Hansen	Yang		
							1973년	1979년	
1	2008-06-25 13:35~15:37	-1.00	129.5	***11.5	49.7	3,130.0	32,400.0	84,300.0	11.5
2	2008-07-20 11:25~12:30	-0.03	460.2	1,142.5	1,940.0	3,670.0	40,100.0	64,400.0	1,486.4
3	2008-07-20 17:40~18:30	0.36	668.4	13,550.1	5,140.0	7,430.0	143,000.0	221,000.0	1,753.4
4	2008-07-21 09:15~10:05	0.19	571.8	3,190.1	3,360.0	4,750.0	49,400.0	76,800.0	926.6
5	2008-07-25 20:16~21:26	-0.18	392.4	5,087.8	1,540.0	4,740.0	40,600.0	68,500.0	-
6	2008-07-26 00:22~01:03	1.10	1,201.0	12,292.8	26,500.0	58,500.0	805,000.0	1,220,000.0	-
7	2008-07-26 03:00~03:30	1.91	2,010.4	229,156.2	71,100.0	144,000.0	4,180,000.0	6,180,000.0	-
8	2008-07-26 05:22~05:50	2.25	2,275.0	298,655.3	89,700.0	215,000.0	5,280,000.0	7,790,000.0	20,011.0
9	2008-07-26 07:10~07:59	2.37	2,373.0	257,055.8	81,200.0	150,000.0	3,020,000.0	4,500,000.0	-
10	2008-07-26 10:14~11:00	2.42	2,415.2	221,189.6	82,900.0	154,000.0	3,340,000.0	4,990,000.0	-
11	2008-07-26 14:57~15:34	2.13	2,179.2	231,054.0	24,300.0	8,840.0	229,000.0	324,000.0	16,984.1
12	2008-07-26 23:45~00:20	1.49	1,561.0	85,465.3	38,600.0	64,200.0	2,090,000.0	3,150,000.0	13,799.5
13	2008-07-27 11:23~11:52	0.86	1,007.4	65,916.1	15,200.0	26,000.0	668,000.0	1,030,000.0	7,392.7
14	2008-08-16 10:57~11:51	0.90	1,038.3	17,376.1	18,000.0	36,000.0	1,310,000.0	2,010,000.0	-
15	2008-08-06 16:40~17:15	2.00	2,078.4	47,892.4	72,900.0	152,000.0	6,570,000.0	9,770,000.0	-
16	2008-08-17 00:20~00:50	2.99	2,925.1	39,412.0	129,000.0	325,000.0	15,500,000.0	23,200,000.0	-
17	2008-08-17 19:20~19:50	2.14	2,187.1	12,380.4	88,500.0	202,000.0	4,640,000.0	6,820,000.0	-
18	2008-08-18 08:35~09:05	1.18	1,270.2	4,041.4	28,100.0	51,200.0	1,070,000.0	1,620,000.0	-
19	2008-11-13 13:15~15:00	-1.35	52.3	***2.8	-	-	0.0	-	2.8

* : 세류사량 제외, ** : 부유사량+ 소류사량(세류사량 제외), *** : 부유사량
 사용 프로그램 : Guide Ver. 2(kict)

4. 연간 총유사량과 비유사량 추정

4.1 유량-총유사량관계식 개발

본 연구에서는 하천단면의 측선에서 각각 측정된 유사와 수리량, 2008년에 개발된 왜관 수위 관측소의 수위-유량관계곡선식으로부터 산정한 유량자료를 이용하여 유량-총유사량 관계식을 개발하였다. 유량-총유사량 관계식은 실측 소류사와 부유사의 합으로 산정하여 개발해야 한다. 그러나 실제 고수위에서 소류사의 측정은 처짐현상으로 정확하게 측정하기가 쉽지 않다. 따라서 일부 실측된 소류사 측정성과를 이용하여 불일치율이 가장 낮은 Ackers & White(1973) 모형으로 곡선식을 개발하였으며 그 결과를 그림 5에 도시하였다.

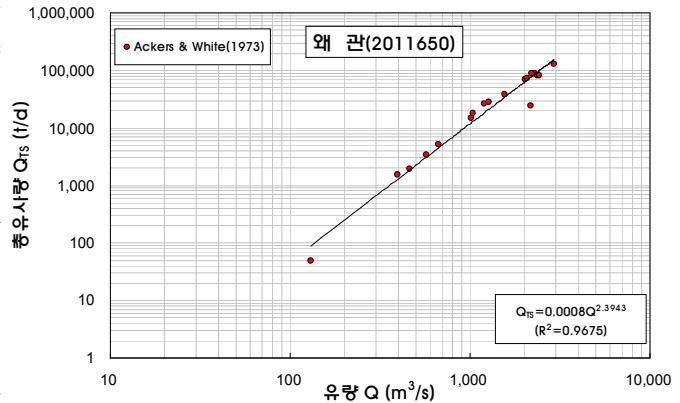


그림 5 유량-총유사량관계(Ackers & White)

4.2 연간 총유사량과 비유사량 산정

총유사량과 비유사량을 산정하기 위해서 개발된 유량-총유사량관계식을 이용하여 유량 수문곡선으로부터 유사 유출량 수문곡선을 생성하였다. 생성된 곡선으로부터 연간 유사 유출량과 비유사량을 산정하였으며 산정된 총유사 유출량은 336,046 t/yr, 비유사량은 41.68 t/km²/yr로 산정되었다.

5. 결론

본 연구에서는 낙동강 유역의 하천 관리 및 설계에 기초 자료가 될 수 있는 유사량을 실측하였다. 2008년 6월부터 2008년 11월까지 부유사 19회, 하상토 2회(홍수기 전·후), 소류사 8회를 측정하여 기본 자료를 확보하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 낙동강 유역의 왜관 수위관측소에서 실측 총유사량과 추정 총유사량(Modified Einstein(1955), Engelund & Hansen(1967), Yang(1973, 1979), Ackers & White(1973))과의 불일치율이 가장 낮은 모형을 선정하였다.

불일치율이 가장 낮은 모형은 Ackers & White(1973)였으며 평균 불일치율이 2.7 정도였다.

2. 왜관 수위관측소에 적용된 Ackers & White(1973) 모형을 적용하여 유량-총유사량관계곡선식을 추정하였으며, 곡선식은 $Q_{TS} = 0.0008Q^{2.3943}$ (t/d, $R^2=0.9675$)로 추정되었다.

3. 추정된 총유사량 곡선식을 이용하여 연간 총유사 유출량과 비유사량을 산정하였다. 연간 총유사 유출량은 336,046(t/yr), 비유사량은 30.34(t/km²/yr, 댐면적 포함), 41.68(t/km²/yr, 댐면적 제외)로 산정되었다.

본 연구는 국내 하천의 장기적인 유사량 측정을 위하여 국토해양부에서 추진 중인 수문조사선진화5개년 계획의 일환으로 유량조사사업단에서 수행되었다. 2006년 전국 4대강 4개소를 시작으로 2007년에는 2개소가 추가되어 7개 지점으로 확대되었으며, 2008년까지 수행되었다. 2009년에는 소류사 측정 방법론에 대한 연구가 더욱 더 활발하게 추진되고 있는 중이며 향후 총유사량 산정 방법이 개선될 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Chih Ted Yang, "Sediment Transport Theory and Practice", Krieger Publishing Co., Malabar, Florida. 2003 (우효섭, 정관수, 이삼희, 류권규, 최성욱, 손광익 공역, 청문각, 경기도 파주, 2007).
2. 한국건설기술연구원, "수정 아인슈타인 방법의 한국 하천에의 적용", 기본 연구과제 보고서, 건기연 90-WR-112, 1989.
3. 한국건설기술연구원, "하천 유사량 산정방법의 선정기준 개발" 기본 연구과제 보고서", 건기연 89-WR-113, 1989.
4. 국토해양부, "2008년도 유량조사 보고서" VII. 유사량 측정.
5. 우효섭, "하천수리학", 청문각, pp. 321-706, 2007.