

2014년도 부유사랑 특성분석 및 레이팅 개발

Characteristic Analysis and Rating Development of Suspended Sediment Discharge in 2014

박용희* / 이정훈** / 권동석*** / 이연길**** / 정성원*****

Yonghee Park, Jung Hoon Lee, Dongseok Kwon, YeonKil Lee ,
SungWon Jung

요 지

하천 유사랑 자료는 하천의 이·치수 목적으로 활용할 수 있는 기본 자료중 하나로서 하상변동 예측, 저수지 퇴사랑 추정, 하도 계획과 설계, 유사조절 계획 수립 및 기타 구조물 등의 영향 평가 등 다양하게 활용할 수 있다. 정도 높은 유사랑 자료를 측정하기 위해서는 현장측정부터 분석까지 정확한 과정과 세밀한 준비가 필요하다. 본 연구에서는 정도 높은 유사랑 자료를 생산하기 위하여 국가 유사랑 관측망 중 19개 지점(울곡, 점촌, 일선교, 구미, 왜관, 선산, 죽고, 진동, 개진2, 정암, 회덕, 마북, 나주, 학교, 남평, 영수, 선암, 구례2, 죽곡, 용서, 곡성)에 대하여 부유사랑 특성분석을 수행하고 이를 반영하여 유량-부유사랑관계곡선식을 개발하였다.

유사랑 측정과정은 사전조사, 현장측정, 실험실분석, 모형적용 단계를 거친다. 사전조사 단계에서는 현장에 대한 현장안전, 지점특성 등의 현장관련 정보를 수집하여 현장측정 계획을 수립한다. 현장측정 단계에서는 사전에 유량측정 자료를 이용하여 측선을 나누는 등유량법과 등간격법을 사용하였으며, ISO 기준 이상의 5~8개 측선을 나누어 측정하였다. 측정장비는 D-74 부유사 채취기를 이용하여 왕복수심적분법으로 부유사랑 샘플을 채취 하였다. 실험실분석은 유량조사사업단 유사분석센터에서 채취 시료에 대한 농도, 레이저 회절법을 이용한 부유사입도분석, 하상도분석(체분석)을 실시하였다. 또한, 유량-부유사랑 농도 변화양상과 부유사랑 특성분석을 이용한 부유사랑 측정결과를 평가하였고 각 지점의 부유사랑특성을 잘 나타낼 수 있는 지수식($Q_{ss} = aQ^b$)을 이용하여 유량-부유사랑관계곡선식을 개발하였다.

핵심용어 : 유사랑측정, 등유량법, 부유사랑 특성분석, 유량-유사랑관계곡선식 개발

1. 서론

하천 유사랑 자료는 하천의 이·치수 목적으로 활용할 수 있는 기본 자료중 하나로서 하상변동 예측, 저수지 퇴사랑 추정, 하도 계획과 설계, 유사조절 계획 수립 및 기타 구조물 등의 영향 평가 등 다양하게 활용할 수 있다. 국토부에서는 2007년부터 현재까지 유량조사사업단을 통하여 유사랑 측정

* 정회원 · 유량조사사업단 유사랑조사실 유사랑팀 · E-mail : nana02p@hsc.re.kr
** 정회원 · 유량조사사업단 유사랑조사실 토양수분증발산팀장 · jjh0817@hsc.re.kr
*** 정회원 · 유량조사사업단 유사랑조사실 유사랑팀장 · E-mail : kds011@hsc.re.kr
**** 정회원 · 유량조사사업단 유사랑조사실 실장 · E-mail : sugawon@hsc.re.kr
***** 정회원 · 유량조사사업단 단장 · swjung@hsc.re.kr

성과를 지속적으로 생산하고 있다. 기존 유사량 측정성과는 국토부에서 기 발간된 유량조사보고서 및 수문조사 보고서를 통하여 배포되고 있으며, 사용자들의 편리를 위하여 한강홍수통제소에서는 수문조사연보를 통해 홈페이지에서도 자료를 배포하고 있다.

기존 연구로는 2010년 하천 유사량 특성분석(고주연 등, 2011)을 통하여 유사특성에 대한 연구가 수행되었으며, 효율적인 유사량관측을 위해 유사량 관측망 설계에 관한 연구(이연길 등, 2011)가 수행되었다. 정도 높은 유사량 자료를 측정하기 위해서는 현장측정부터 분석까지 정확한 과정과 세밀한 준비가 필요하다.

본 연구에서는 국가 유사량 관측망 중 19개 지점에 대하여 2014년 수행한 유사량 측정성과에 대하여 특성분석을 수행하고 유량-부유사량관계곡선식을 개발하였다. 유사량 측정과정은 사전조사, 현장측정, 실험실분석, 모형적용 단계를 거친다. 사전조사 단계에서는 현장에 대한 현장측정 시 안전, 지점특성 등을 현장정보를 수집하여 현장측정 계획을 수립한다. 현장측정에서는 사전에 유량측정 자료를 이용하여 측선을 나누는 등유량법을 사용하여 ISO 기준 이상의 5~7개 단면을 선정하였다. 측정장비는 D-74 부유사 채취기를 이용하여 왕복수심적분법으로 부유사량 샘플을 채취 하였다. 실험실 분석은 유량조사사업단 유사분석센터에서 채취 시료에 대한 농도, 레이저회절법을 이용한 입도분석, 하상토분석(체분석)을 실시하였다. 총유사량 산정을 위한 모형적용 단계에서는 수정-아인슈타인법(Modified Einstein Method)을 적용하였다. 또한, 유량-부유사량 농도 변화양상과 부유사량 특성분석을 이용한 부유사량 측정결과를 평가하고 각 지점의 부유사량 특성을 잘 나타낼 수 있는 지수식($Q_{ss} = aQ^b$)을 이용하여 유량-부유사량관계곡선식을 개발하였다.

2. 대상지점 및 연구방법

2.1 대상지점

2014년도 유사량 조사지점은 한강 4개 지점(남한강, 율곡, 흥천, 흑천교), 낙동강 10개 지점(점촌, 일선교, 구미, 왜관, 선산, 개진2, 죽고, 진동, 정암, 동문), 금강 2개 지점(회덕, 우성), 영산강 10개 지점(마북, 나주, 학교, 남평, 영수, 선암, 구레2, 죽곡, 용서, 곡성) 총 26개 지점이다. 2014년 선정 지점은 사전조사를 통하여 지점선정, 측정방법결정, 장비선정, 측정단면 결정, 측정 안전확보 등 현장측정 시작 전 사전에 현장특성을 조사하여 실제 측정작업이 원활히 수행될 수 있도록 하였다. 측정은 총 225회가 계획 되어 있었으나, 측정계획을 68.9% 초과한 380회를 측정하였다.

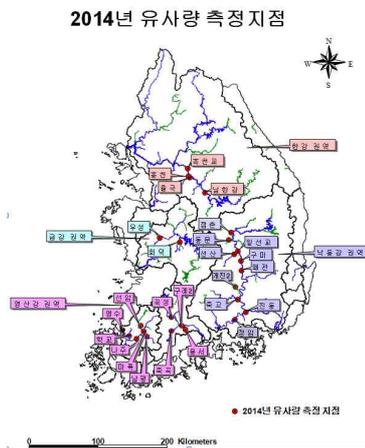


그림 1. 2014년도 유사량 측정지점



그림 2. 2014년도 유사량 측정사진

2.2 측정 및 분석방법

등유량법으로 부유사 측정을 위해 그림3과 같이 각 지점의 측선거리별 유량비율을 과거측정성과를 이용하여 측정할 위치를 계산하였다. 그림4와 같이 계산된 측정위치에서 D-74 부유사 측정장비를 이용하여 각 측선별 왕복수심적분법으로 샘플을 채취했다. 측정시 현장의 기상, 바람의 강도, 온도, 수위, 수온 등 유수량 분석시 활용할 수 있는 현장상황을 자세히 유수량 측정성과표에 정리하며 수위변동 및 기타 상황을 분석시 사용할 수 있도록 사진기록을 확보했다.

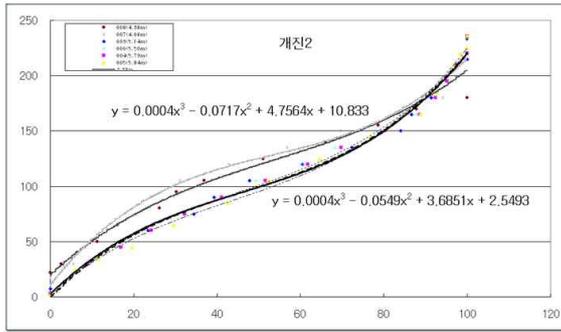


그림 3. 유량비율별 측선거리(개진2)

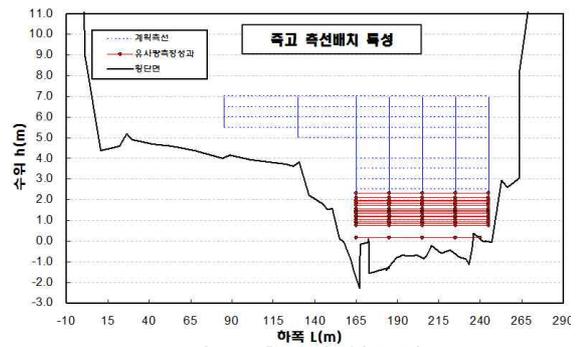


그림 4. 측정위치(측고)

측정된 성과들은 실험실에서 여과법을 이용한 농도를 분석하고 레이저회절법을 이용하여 부유사입도를 분석하였다. 또한, 채취된 하상토를 체분석법을 이용하여 하상토 입도분포를 산정했다.



그림 5. 농도분석장비(여과법)



그림 6. 부유사량 입도분석(레이저회절법)



그림 7. 하상토 입도분석(체분석법)

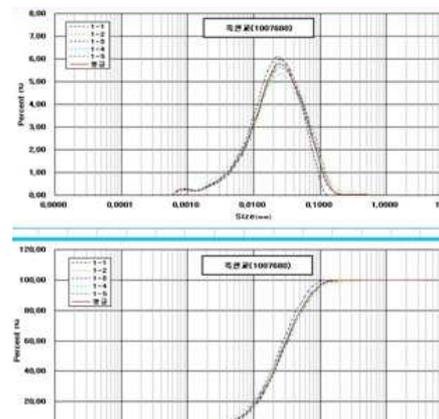


그림 8. 부유사량 입도분석 결과

3. 유량-부유사량관계곡선식 개발

유량-부유사량관계곡선식 개발은 실험실에서 분석된 성과를 사용하여 개발한다. 본 연구에서는 각 지점을 대표할 수 있는 유량-부유사량관계곡선식을 개발하기 위해 총 5가지의 내용을 고려하였다. 첫째, 측정된 유사량자료에 대한 수위 상승부와 하강부 특성을 분석했다. 일반적으로 일정 수위이상에서는 수위상승부가 하강부보다 농도가 크게 나타난다(인위적인 하천공사, 유역개발, 등의 영향은 제외). 둘째, 작성된 유량-유사량관계곡선에서 시간별 사상에 따른 자료의 경향성을 분석했다. 일반적으로 하나의 사상에서 측정된 자료는 하나의 경향성을 나타내나 시간이 지남에 따라 경향성이 우측으로 편향되는 현상이 나타난다. 셋째, 대상지점의 과거 유사량자료와 금회 생산된 유사량 자료의 특성을 비교·분석 했다. 넷째, 이전 단계에서 분석된 결과를 바탕으로 이상치를 선별했다. 전단계의 결과에 의하면 지점별로 산정된 유사량자료에는 정상성을 지닌 자료와 특성이 상이한 자료가 서로 공존한다. 이에 따라 이를 구분하여 유량-부유사량관계곡선식 개발시 적용했다. 다섯째, 본 연구에서는 유량-부유사량관계곡선식의 곡선형을 지수식으로 결정했다. 유량-부유사량관계곡선식은 유량과 부유사량의 관계를 나타내는 회귀식으로 일반적으로 지수식 또는 다항식 외에도 여러 형식으로 나타낼 수 있으나, 비선형 자료의 경향성을 판단하기 위해 지수식($Q_{ss} = aQ^b$)을 사용하였다. 이 식은 ASCE(1975)에서 비교적 대하천인 콜로라도 강과 소하천인 Niobrara강 실측 유사량 자료와 기존 유사량 공식들을 비교·평가하는데 사용하였으며 유량과 유사량과의 관계를 경험식으로 표시하기 위하여 지수식을 사용했다. 이 식에서 b는 모래 하천의 경우 보통 1.5~3정도(우효섭과 류권규, 1993) 범위를 나타내며, 세류사의 경우 유량과 유사량 관계 자체가 1:1로 나타나지 않으나, 개략적으로 나타나는 경우 b는 1~2 정도이며 1보다 작을 수 있다.(우효섭, 2001) 위의 고려사항을 참조하여 지점의 수위자료, 측선분석, 사상별 경향성 분석을 통하여 이상치를 판단하고 과거자료와 비교하여 유량-부유사량관계곡선식을 개발했다.

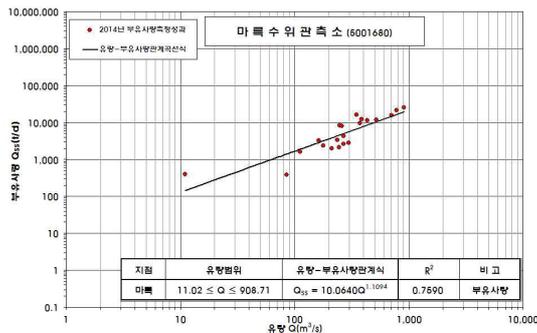


그림 9. 마룩 지점 유량-부유사량관계곡선식

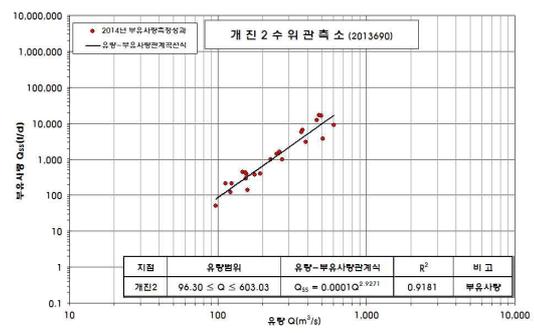


그림 10. 개진2 지점 유량-부유사량관계곡선식

4. 결과

본 연구에서는 2014년 측정된 26개 지점의 유사량측정성과 중 19개 지점자료를 분석·평가하여 표 1과 같이 유량-부유사량관계곡선식을 개발했다. 각 지점에서 개발된 곡선의 R²는 최소 0.6135, 최대 0.9864로 나타나고 있다. 이는 각 지점의 지점특성, 측정지점의 공사현황, 상류 구조물, 측정자의 오차, 수위 상·하류부의 측정성과, 지점수리특성 등 여러 요소에 따라 측정성과의 산포가 다르게 나타나는 결과로 보인다. 그림 9, 10과 같이 유량-부유사량관계곡선식 개발결과 곡선의 경향은 일반적으로 적합하게 나타나고 유사량특성 분석 및 과거자료와의 비교평가 시 안정된 자료를 확보할 수 있는 지점이 확인 되었으나 일부 지점에서는 공사의 영향 및 유역특성인자의 변화로 인하여 기존성과와 다른 특성을 보이는 지점이 확인되었다. 이러한 분석 등을 통하여 최종적으로 유량-부유사량관계곡선식을 개발하였다.

표 1. 2014년도 유량-부유사량관계곡선식

권역	지점	적용 유량범위	유량-부유사량관계곡선식	R^2	사용자료수
한강	울곡	$0.68 \leq Q \leq 15.43$	$Q_{SS} = 1.9603 Q^{1.6189}$	0.8508	9
낙동강	점촌	$0.78 \leq Q \leq 329.40$	$Q_{SS} = 0.1806 Q^{1.4760}$	0.8660	16
	일선교	$43.47 \leq Q \leq 2,095.40$	$Q_{SS} = 0.0677 Q^{1.4417}$	0.7890	16
	구미	$37.88 \leq Q \leq 2,255.69$	$Q_{SS} = 0.0151 Q^{1.8034}$	0.9564	18
	왜관	$12.40 \leq Q \leq 2,493.16$	$Q_{SS} = 0.0203 Q^{1.6773}$	0.9033	23
	선산	$7.30 \leq Q \leq 515.72$	$Q_{SS} = 0.1003 Q^{1.8876}$	0.8718	16
	개진2	$96.30 \leq Q \leq 603.03$	$Q_{SS} = 0.0001 Q^{2.9271}$	0.9181	23
	죽고	$22.26 \leq Q \leq 260.67$	$Q_{SS} = 1.1759 Q^{1.3631}$	0.6135	21
	진동	$35.29 \leq Q \leq 4,912.11$	$Q_{SS} = 0.0095 Q^{1.8622}$	0.8959	24
정암	$398.05 \leq Q \leq 1,251.42$	$Q_{SS} = 0.0150 Q^{1.8475}$	0.6197	15	
금강	회덕	$1.58 \leq Q \leq 505.31$	$Q_{SS} = 0.5986 Q^{1.4933}$	0.8908	18
영산강	마북	$11.02 \leq Q \leq 908.71$	$Q_{SS} = 10.0640 Q^{1.1094}$	0.7590	21
	나주	$366.48 \leq Q \leq 2,918.18$	$Q_{SS} = 0.0192 Q^{1.9295}$	0.9585	20
	학교	$0.69 \leq Q \leq 55.51$	$Q_{SS} = 2.4708 Q^{1.1943}$	0.8249	15
	남평	$36.27 \leq Q \leq 673.81$	$Q_{SS} = 0.0127 Q^{2.0967}$	0.9764	20
	선암	$14.59 \leq Q \leq 867.71$	$Q_{SS} = 0.0458 Q^{1.9591}$	0.9538	15
	구례2	$223.69 \leq Q \leq 2,585.44$	$Q_{SS} = 0.0008 Q^{2.3638}$	0.8824	25
	죽곡	$8.35 \leq Q \leq 635.47$	$Q_{SS} = 0.0381 Q^{1.9078}$	0.9864	15
	용서	$8.75 \leq Q \leq 489.00$	$Q_{SS} = 0.0185 Q^{2.1482}$	0.8830	15

본 연구의 결과들은 지속적인 측정이 바탕이 된다면 유량-부유사량관계의 변화특성을 이해하고, 각 지점의 유사량을 규명하여 우리나라 수자원 관리계획 및 구조물 관리에 많은 기여를 할 것으로 판단된다.

- 1) 본 연구에서는 정확도 높은 부유사 자료를 획득하기 위하여 사전조사부터 현장 안전계획, 실험실 분석, 측정자 교육을 통하여 최대한 정확한 부유사 자료를 확보하고자 하였다.
- 2) 또한, 측정성가에 대해 총 5가지 내용을 고려하여 분석을 실시하였으며, 유역특성에 따른 이상치 판단 및 자료의 적합성 판단을 실시하였다.
- 3) 유량-부유사량관계곡선식 개발결과 곡선의 경향은 일반적으로 적합하게 나타나고 있으나 각종 공사 및 상류구조물의 운영에 의한 영향으로 일부 경향이 다르게 나타남을 확인 할 수 있었다.
- 4) 본 연구에 사용된 부유사농도, 부유사 입도분포, 하상토 입도분포, 분석결과 등의 자세한 자료는 2014년도 수문조사 보고서 유사량편을 참조하기 바란다.
- 5) 기타 유사분석에 관한 자세한 내용은 그림 11과 같이 유튜브 홈페이지에서 확인할 수 있다.



그림 11. 유사분석과정 소개 동영상(Youtube)

참고문헌

1. 국토해양부(2007~2013). 유량조사보고서 및 수문조사보고서
2. 고주연, 이연길, 정성원(2011). 2010년 하천 유사량 특성분석. 한국수자원학회 2011년도 학술발표회.
3. 이연길, 고주연, 장복진, 정성원(2011). 유사량 관측망 설계에 관한 연구. 한국수자원학회 2011년도 학술발표회.
4. 우효섭, 류권규(1993). 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서, 건설부.
5. 우효섭(2001). 하천수리학
6. ASCE(1975). Sedimentation Engineering, ASCE-Mannual and Reports on Engineering Practice, no. 54, V. Vanoni ed.