2009년 하천 유사량 특성 분석

The Characteristic Analysis of Sediment Discharge in 2009

고주연*, 이연길**, 이진원***, 정성원****

Ju Yeon Go, Yeon Kil Lee, Jin Won Lee, Sung Won Jung

요 지

본 연구에서는 7개 지점(여주, 적성, 왜관, 진동, 공주, 구례2, 나주)에 대해 유사량 특성 분석을 수행하였다. 부유사량은 강우가 집중되는 홍수기와 이의 전·후시기인 저·평수기(2회)로 나누어 왕복수심적분법(D-74)으로 측정하였고, 하상토는 BM-54, Grab Sampler(60 L), 선격자 등을 이용하여 홍수기 전·후로 2회 채취하였다. 채취된 시료는 그 목적에 따라 여과법(부유사농도), BW관법(부유사입도분포), 체분석법(하상토입도분포)으로 분석하였고, 그 결과로 작성된 평균 부유사농도 및 Odén Curve와 입도분포곡선과 수리량(수위, 유속, 측정수심, 수면폭, 수면경사, 수온)등의 자료를 이용하여 총유사량(미측정구간의 유사량 포함)을 추정(실측+계산: Modified Einstein)하였다. 총유사량 추정시, 세류사량을 제외한 부유사량을 적용하였다.

유량-부유사농도와 부유사량 및 총유사량 관계에 대한 결과는 다음과 같다: 1) 하나의 강우사상의 수위상승-첨두-하강에 대한 측정성과는 대체적으로 Loop 형태를 보였고 이로 인해 일부 지점에서 측정성과들 간의 산포도가 다소 크게 나타났으며 수위 하강 때보다 상승시 초기 탁도의 증가 현상으로 부유사농도가 더 높은 것을 볼 수 있었다. 2) 유량-부유사농도, 부유사량, 총유사량 관계에서 왜관과 공주 지점의 경우, 첨두 수위에서 값들의 최고치를 보였고 나머지 지점들은 첨두 수위의 앞선 측정 수위에서 최고치를 보였다. 이는 강우사상별, 강우강도, 댐 방류량, 수위 상승-하강부, 유량에 따른 부유사농도와 부유사량의 특성이 각각 다른 점과 총유사량 추정시, 추정방법에서 추천하는 범위에서 벗어나는 자료를 적용해서 나타나는 결과로 판단된다. 여기서 유량, 수심, 하상토의 입도크기 등 자료의 범위가 추정공식들이 추천하는 범위에서 벗어나면 그 분석 결과도 서로 다르게 나타난다는 것은 그만큼 총유사량 공식의 범용성이 적다는 것을 의미한다. 이러한 점에서 때로는 자료 전체에 대해 전반적으로 양호한 결과를 보이는 공식보다는 정확한 답을 원하는 자료의 범위 내에서 예측하는 공식을 선정하는 것이 필요하다. 즉, 공식을 적용하여 유사량을 추정하고자 하는 하천이나 수로의 특성에 맞는 유사량 공식을 선정하는 것이 중요하다는 것이다.

핵심용어: 부유사량, 총유사량, 유량-유사량관계식

1. 서 론

유사량 자료는 유량과 더불어 효율적인 유역종합치수계획을 수립할 때 사용되는 기본 자료이지만 아직까지 이를 측정 및 분석할 수 있는 방법이 체계화되지 않은 상태에 있다. 따라서 본 연구에서는 유사량 자료의 중요성을 인식하고 측정에서 분석에 이르기까지 체계화하여 다양한 연구가 진행될 수 있는 기틀을 마련하고자 하였다. 본 연구에서는 7개소의 수위관측소에서 부유사 및 하상토를 측정하여 일차적으로 유량-부유사량관계식을 개발하고, 부유사량과 하상토 및 수리특성 등의 자료를 이용하여 총유사량을 추정하였다.

* 정회원 · 유량조사사업단 탐장, 연구원 · E-mail : ballet8199@hsc.re.kr

** 정회원 · 유량조사사업단 연구개발실장, 공학박사 · E-mail : sugawon@hsc.re.kr

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 책임연구원, 공학박사 · E-mail : jwlee@kict.re.kr

**** 정회원 · 유량조사사업단 단장 공학박사 · E-mail : swjung@kict.re.kr

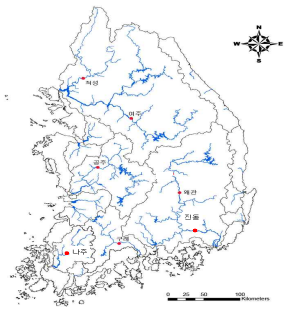
2. 연구대상 지점

본 연구에서는 침식, 유송, 퇴적 작용을 거쳐 하천의 한 지점을 통과하는 하천 유사량과 유량과의 관계를 파악하고자 여주, 적성, 왜관, 진동, 공주, 구례2, 나주 지점을 연구대상(표 1, 그림 1)으로 선정하였고, 이들 지점 모두는 홍수 예·경보 지점으로 유사량 측정에 있어 의의가 있는 지점이다. 하상재료의 특성을 보면 여주, 왜관, 진동 지점의 경우는 모래가 주를 이루고 나머지 지점의 경우는 각각 자갈과 호박돌(적성), 모래와 자갈(공주, 구례2, 나주)로 구성되어 있다. 하상재료에서 모래가 주를 이루는 경우가 아닌 지점은 그 특성에 맞는 하상토 채취방법과 총유사량 추정공식을 적용해야 한다.

표 2. 유사량 측정 지점

수계	하천	지점	위치	비고
한강	한강	여주	경기도 여주군 여주읍	여주대교
	임진강	적성	경기도 파주군 적성면	비룡대교
낙동강	낙동강	왜관	경북 칠곡군 왜관읍 왜관리	(구)왜관철교
		진동	경남 창녕군 남지읍	남지대교
금강	금강	공주	충남 공주시 금성동	금강대교
영산강	섬진강	구례2	전남 구례군 구례읍 신월리	구례교
	영산강	나주	전남 나주시 삼도동	나주대교

그림 1. 측정 위치도



3. 유사량 측정

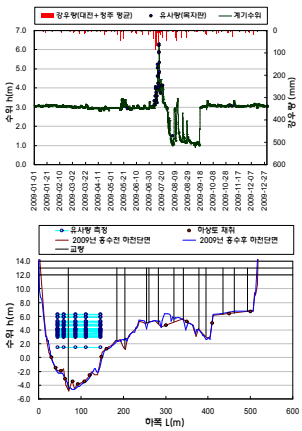
유사량을 측정하는 데 적용된 방법과 수리량 측정현황에 대해서는 표 2와 같이 지점별로 나타내었다. 측정시기는 저·평수기(홍수 전·후)와 홍수기이고 주로 유사 이송이 활발한 홍수기에 집중적으로 측정을 하였다. 하상토 채취의 경우, 지점들의 하상재료 특성에 따라 Grab Sampler(60 L), 줄자(선격자)를 이용하여 홍수기 전·후에 실시(15개 측선)하였다.

표 2. 유사량 측정방법 및 수리량 측정현황

지점	측정장비	노즐직경(in)	측선수(개)	측선배치	측정방법	유속*	채취시간	수면경사	수온(℃)
여주 공주 구례2 나주	D-74	3/16	5(7)	등간격	왕복수심적분(표면법)	미측정	측정	간접측정	측정
적성	D-74	3/16	5	등간격	왕복수심적분 표면법	미측정	측정	측정	측정
왜관 진동	D-74	3/16	5	등간격	왕복수심적분	미측정	측정	측정	측정

* : 2009년 수위-유량관계곡선식을 이용하여 산정

그림 2. 측정 성과 및 위치(공주)



4. 시료분석

본 연구에서는 채취 시료에 대해서 각 특성에 적합한 분석법을 적용하였고 그 결과는 그림 3 ~ 그림5와 같다. 그림 3은 2009년도에 산정된 부유사농도에 대한 기존자료와의 비교를 나타낸 것이고, 그림 4의 Odén Curve는 BW관법을 이용하여 분석한 부유사 입도분포 결과이며 그림 5

의 경우는 체분석법으로 분석된 하상토 입도분포 분석결과이다. 그림 3에서 부유사농도 산정은 5개 측선에 대한 각각의 부유사농도를 산술평균한 것으로 동일 유량에서의 큰 변동성과 기존성과와 비교시 전체적으로 산포도가 큰 것을 볼 수 있다. 이는 유사량 측정방법과 분석오차 및 강우사상, 댐방류량 등이 영향을 끼친 것으로 판단된다. 그림 4의 Odén Curve에서는 부유사의 입도분포와 등급 등을, 그림 5의 하상토 입도분포곡선에서는 하상토 등급, 중앙입도 등을 산정하였으며 이러한 분석결과를 이용하여 총유사량 추정을 하였다.

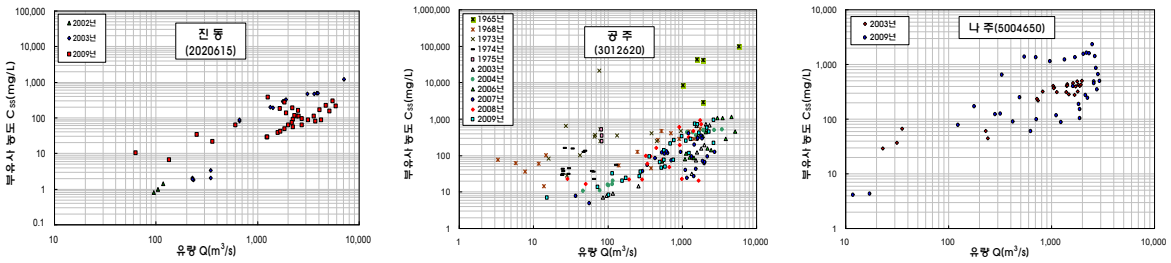
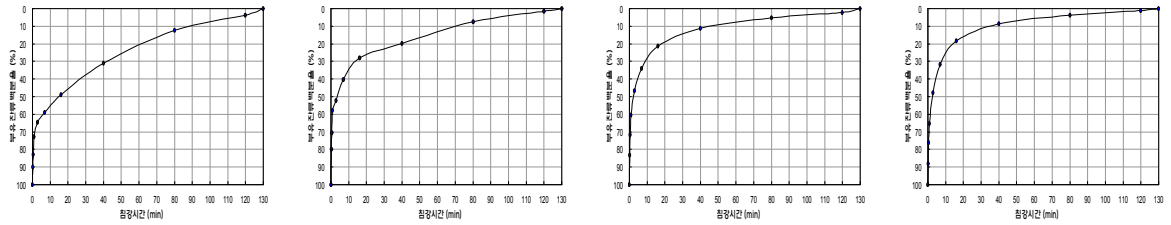


그림 3. 유량-부유사농도 관계_기존자료와의 비교(진동, 공주, 나주)



저・평수기 홍수기

그림 4. Odén Curve(공주)

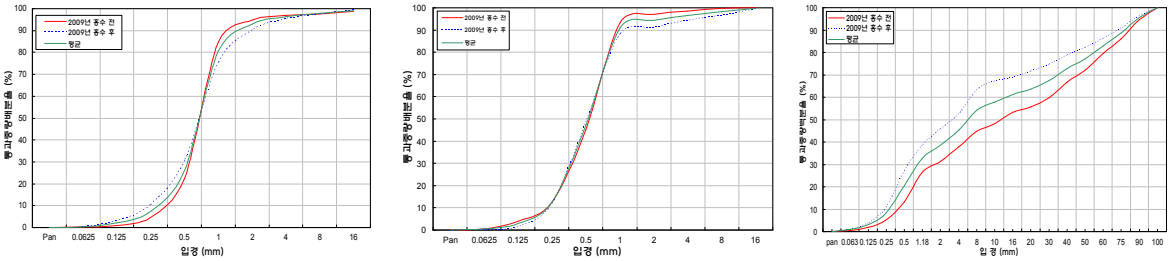


그림 5. 하상토 입도분포곡선(왜관, 진동, 공주)

5. 유사량 산정 및 특성 분석

앞서 유량-부유사농도의 관계에서 동일 유량에 대한 큰 변동성을 볼 수 있었다. 부유사량 또한 이와 같은 경향을 보였고 측정성과간의 특성을 파악하고자 그림 6과 같이 나타내었다. 전체적으로 루프(Loop)현상을 보였고 강우사상의 초기에 유사량이 많이 발생하는 것을 볼 수 있었다. 특히 나주 지점에서는 상승 및 하강부가 확실히 구분이 되는 것을 볼 수 있다. 이는(Loop현상) 초기 강우에 의해 유사의 이송이 활발하게 이루어지는 일반적인 특성으로 보인다. 왜관, 공주 지점은 첨두수위에서 첨두부유사량이 나타났고 진동, 나주 지점에서는 첨두수위의 앞 선 측정수위에서 나타났다.

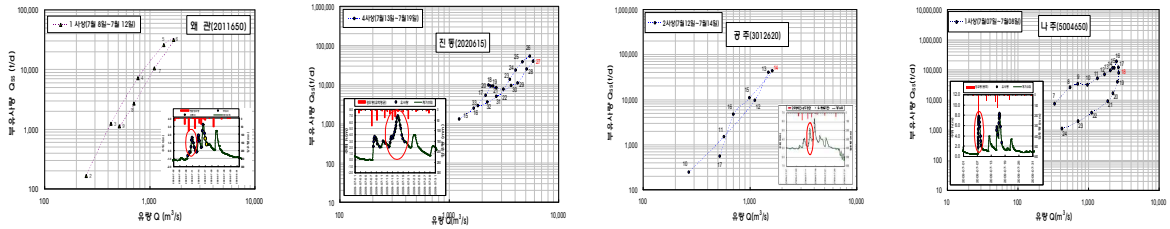


그림 6. 사상별 부유사량 특성 분석(왜관, 진동, 공주, 나주)

위와 같은 분석 자료를 가지고 총유사량을 추정하는 데 있어, 실측 부유사량의 특성을 반영하는 Modified Einstein(1955) 방법을 적용하였다. 총유사량 추정방법은 계산과정에서의 입력변수인 유량, 유속, 수심, 수면경사, 중앙입도 등을 적용하는데, 이러한 변수들은 각 추정방법으로부터 나온 결과의 경향성을 변화시킨다. 다시 말하면 하천규모나 중앙입도의 크기, 하상재료 등의 원인에 따라 각각의 추정방법에 대한 적정한 적용범위가 있다. 입력변수들이 각 추정방법의 적정한 범위를 벗어나면 총유사량 값이 과대 또는 과소로 추정될 수 있다. 그림 7은 세류사(Wash Load)량의 포함여부에 따른 총유사량을 나타낸 것이다. 홍수기에는 총유사량에 대한 세류사량이 약 50 %이상 차지하는 것으로 분석되었다.

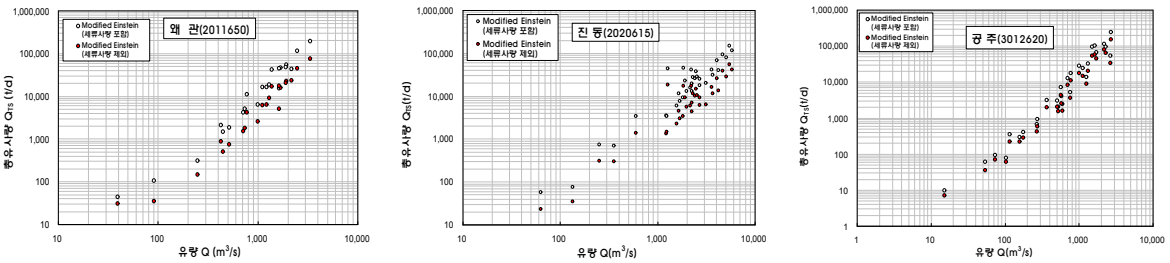


그림 7. 세류사량에 대한 총유사량 비교(왜관, 진동, 공주)

6. 유량-유사량관계식 개발

본 연구에서는 하천단면의 측정선에 각각 측정된 부유사농도와 수리량, 2009년에 개발된 수위-유량관계곡선식으로부터 산정한 유량자료로 부유사량을 산정하여 다음과 같이 유량-유사량관계식을 개발하였다.

$$Q_{ss} = a\,Q^{b}$$

여기서 Q_{ss}는 부유사량(t/d), Q는 유량(m^3/s), a는 계수, b는 부유사 입도와 흐름 특성에 따라 변하는 지수이다. 그림 8과 같이 개발된 유량-부유사량관계식은 분석결과간의 큰 산포도와 신뢰도 분석을 실시하지 않았기 때문에 적용시에는 주의가 요구된다.

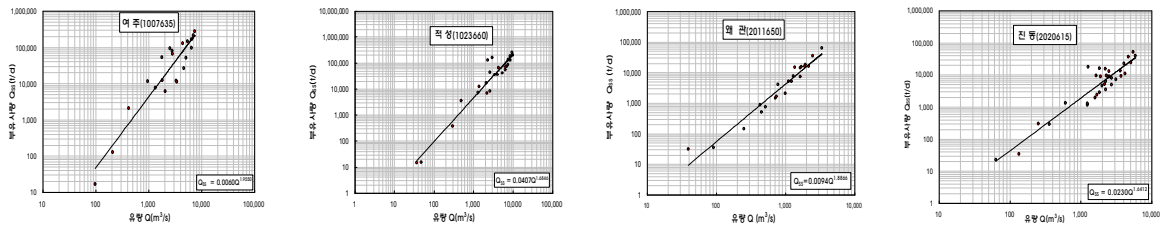
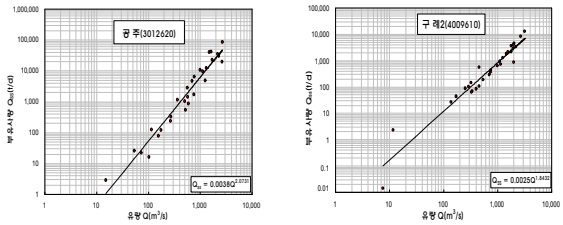


그림 8. 유량-부유사량관계식(여주, 적성, 왜관, 진동, 공주, 구례2, 나주)



지점	유량-부유사량관계식
여주	$Q_{SS} = 0.0060Q^{1.9550}$
적성	$Q_{SS} = 0.0407Q^{1.6846}$
왜관	$Q_{SS} = 0.0094Q^{1.8866}$
진동	$Q_{SS} = 0.0230Q^{1.6412}$
공주	$Q_{SS} = 0.0038Q^{2.0731}$
구례2	$Q_{SS} = 0.0025Q^{1.8432}$
나주	$Q_{SS} = 0.0529Q^{1.7696}$

그림 8. 유량-부유사량관계식(여주, 적성, 왜관, 진동, 공주, 구례2, 나주)(계속)

7. 결론

본 연구에서는 7개 지점에서 부유사 및 하상토를 측정하여 유량-부유사량관계식을 개발하고, 부유사농도와 하상토 및 수리특성 자료 등의 자료로부터 총유사량을 추정하였다. 이에 대한 결과는 다음과 같다.

1. 유량-부유사농도 관계: 동일 유량에서의 큰 변동성과 기존성과와 비교시 전체적으로 산포도가 큰 것을 볼 수 있다. 이는 유사량 측정방법과 관련된 요인들, 강우사상, 댐 방류량 등이 영향을 끼친 것으로 판단된다.
2. 유량-부유사량 특성: 전체적으로 루프(Loop)현상을 보이며 강우사상의 초기에는 많은 유사량이 발생하는데 이는 초기 강우에 의해 유사의 이송이 활발하게 이루어지는 일반적인 특성이다. 또한 추후 수위 상승-하강에 따른 부유사량 자료가 더욱더 확보된다면 수위 상승부와 하강부로 구분하여 유량-부유사량관계식을 개발하는 것도 의의가 있을 것으로 판단된다.
3. 유량-총유사량 관계: 추정된 총유사량 결과들의 상충은 하천의 수리, 유사특성과 추정방법의 적용한계 등의 서로 다른 제한된 범위의 자료들을 이용하여 분석하는 데에서 오는 차이 때문이고 기타 원인으로 추정방법을 잘못 적용하는 데에서 오는 오류 등으로 판단된다. 또한 홍수기시, 총유사량에 대한 세류사량은 대략 50 %이상 차지하는 것으로 분석되었다.
4. 유량-유사량관계식 개발: 연구대상 지점들의 개발된 유량-부유사량관계식은 분석결과들의 큰 산포도와 신뢰도 분석을 실시하지 않았기 때문에 적용 시에는 주의가 요구된다.

참고문헌

1. 하천유사량 산정방법의 선정기준 개발, 한국건설기술연구원(1989)
2. 수정아인쉬타인 방법의 한국 하천에서의 적용, 한국건설기술연구원(1990)
3. 평형하상경사 결정방법의 개발, 한국건설기술연구원(1993)
4. 유사이송 이론과 실무, Chih Ted Yang, 청문각
5. Einstein, H. A.(1950), 'The Bed-Load Function for Sediment Transportation on Open Channel Flow', US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Technical Bulletin No. 1026.
6. Toffaleti, F. B.(1969), 'Definitive computations of Sand Discharge in Rivers', J. of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 95, No. HYI.