

# 2007년 하천유사량 특성 분석

## Analysis of Sediment Characteristic to Rivers in 2007

이연길\*, 권규상\*\*, 이정훈\*\*, 김경희\*\*, 고주연\*\*, 강규상\*\*, 이진원\*\*\*, 정성원\*\*\*\*

Yeon Kil Lee, Kyu Sang Kwon, Jung Hoon Lee, Kyung Hee Kim, Ju Yoen Go,

Kyu Sang Kang, Jin Won Lee, Sung Won Jung

### 요 지

본 연구에서는 여주 등 6개 지점에서 유사의 이동이 활발한 시기인 6~9월에 부유사를 측정하여 하천의 유사량 특성을 파악하였다. 측선 배치는 유사채취의 난이도와 채취시간, 하도의 규모 등을 고려하여 등간격의 5개 측선수를 적용하였다. 시료분석은 여과법, BW관법, 체분석법으로 수행하여 유사량 산정을 위한 기초자료로 이용하였고, 또한 부유사와 하상토 입경분포 분석 결과로 Odén 곡선과 입경가적곡선을 작성하여 대상 지점의 유사특성을 파악하였다. 유량에 따른 총유사량의 관계를 도출하기 위해서 실측된 부유사와 수리량 자료를 이용하였으며, 유사의 거동을 이론적으로 모형화한 간접법으로 총유사량을 추정하였다. 국내 하천의 특성에 적합한 총유사량 추정방법이 아직까지 개발되지 않고 이에 따른 연구 또한 미진한 관계로 기존의 총유사량 산정공식들 중 국내에서 비교적 널리 적용되고 있는 Modified Einstein 공식을 선정하여 대상 지점에 적용하였다. 본 연구에서 선정한 Modified Einstein 공식으로 추정된 총유사량의 적정성을 검토하기 위한 부가적인 수단으로 Engelund&Hansen(1967년), Yang(1973년, 1979년), Ackers&White(1973년) 공식들을 선정하여 Modified Einstein 공식의 추정치와 그 특성을 비교-분석하였다. 그 결과, 일반적으로 모든 지점에서 Modified Einstein 방법으로 추정된 총유사량이 유량에 따라 변동이 크고 상관성이 낮게 분석되었으며, 그 외 3가지 방법으로 추정된 결과는 다소의 변동폭을 가졌으나 대체로 유량의 증가에 따라 유사량도 증가하는 일정한 경향을 나타내었다. 본 연구에서는 각 지점별 유사 유출량과 비유사량을 산정하기 위해서 유량-부유사량관계곡선식과 유량 수문곡선을 이용하였다. 그 결과, 임진강 수계에 위치한 적성 지점에서 가장 크게 산정되었으며, 구례2 지점에서 가장 적은 값을 가졌다. 6개 지점 중 서로 상·하류 관계를 가지는 낙동과 왜관 지점에서 유사량의 특성 변화를 검토한 결과, 상·하류 간의 반전은 저수위 구간을 제외하고는 발생하지 않았으며, 왜관이 낙동 지점보다 큰 값의 유사 유출량을 나타내었다.

**핵심용어** : 부유사량, 총유사량, 하상토, 유량-유사량관계곡선식, Modified Einstein

### 1. 서론

유수에 의한 침식(Erosion), 유송(Transport), 퇴적(Deposition) 작용을 거쳐 하천의 한 지점을 통과하는 유사유출량은 유역종합치수계획을 수립할 때 유량, 수위, 강우자료 등과 더불어 귀중하게 이용된다.

유량자료의 경우는 수자원을 담당하고 있는 관련기관에서 이에 대한 중요성을 인식하여 예산확대와 전문전담기관 설립, 연구개발, 전문인력 양성, 측정장비 확보, 측정기준의 보완 등을 통해 자료를 축적해 오고 있으며 현재에는 자료의 품질 또한 개선되어가고 있는 추세에 있다. 그러나 유사량 자료의 경우는 각각의 기관에서 자

\* 정회원 유량조사사업단 유량조사실 유사량그룹 그룹장 · E-mail : sugawon@kict.re.kr  
\*\* 정회원 유량조사사업단 유량조사실 유사량그룹 연구원 · E-mail : geokwon@kict.re.kr  
\*\*\* 정회원 유량조사사업단 유량조사실 실장 · E-mail : jwlee@kict.re.kr  
\*\*\*\* 정회원 유량조사사업단 단장 · E-mail : swjung@kict.re.kr

료의 이용목적에 따라 간헐적으로 수행했을 뿐 전문적으로 이를 측정하고 품질을 개선시키기 위한 연구개발이 미진한 실정에 있다. 따라서 본 과업에서는 유사량 측정자료 생산과 자료처리 과정의 중요성을 인식하고 조사에서 가공에 이르기까지 체계적인 분석 방법을 정립하고 다양한 연구가 진행될 수 있는 기틀을 마련하고자 하였다. 본 과업에서는 수위관측소 지점에서 부유사량과 하상토를 측정하여 일차적으로 유량-부유사량관계곡선식을 개발하고, 부유사량 농도와 하상토 자료 및 수리특성 자료 등의 자료로부터 총유사량을 추정하여 유량-총유사량관계곡선식을 개발하는 데 목적을 두었다.

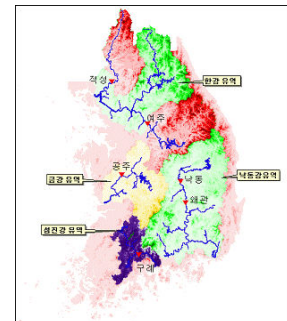
## 2. 연구대상 지점

본 연구에서는 침식, 유송, 퇴적 작용을 거쳐 하천의 한 지점을 통과하는 하천 유사량과 유량과의 관계를 파악하고자 여주, 적성, 낙동, 왜관, 공주, 구레2 지점을 연구대상 지점으로 선정하였다. 본 연구의 대상지점에는 유역의 대표성, 측정 용이성, 하천 특성의 다양성, 상하류 관계 등이 고려되었으며, 표 1, 그림 1에 지점의 특성을 기술하였다.

표 1 유사량 측정지점

권역	하천	지점	위 치	비 고
한강	한강 본류	여주	경기도 여주군 여주읍	여주대교
	임진강 본류	적성	경기도 파주군 적성면	비룡대교
낙동강	낙동강 본류	낙동	경북 상주시 낙동면 낙동리	낙 단 교
	낙동강 본류	왜관	경북 칠곡군 왜관읍 왜관리	(구)왜관철교
금강	금강 본류	공주	충남 공주시 금성동	금강대교
섬진강	섬진강 본류	구레2	전남 구례군 구례읍 신월리	구 레 교

그림 1 연구대상 지점



## 3. 유사량 측정 및 방법

신뢰성 있는 유사특성 분석과 유량-유사량관계곡선식 개발은 유사량 측정과 병행하여 수위, 유속, 유량, 수심, 수면폭, 수면경사, 수온 등과 같은 수리량 측정이 수반될 때 가능하다. 따라서 본 연구에서는 유사량 측정과 병행하여 수리량 측정을 수행하였으나 유량측정은 병행하지 못하였다. 부유사 측정은 대상 지점의 하도특성에 맞는 측선수심과 측선유속, 과업수행 공간 등을 고려하여 D-74와 P-61A의 2가지의 기종으로 수행하였다

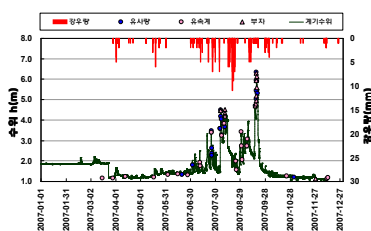


그림 2 유사량 측정성과(여주)

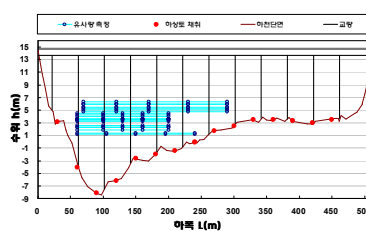


그림 3 측정위치(부유사, 하상토)

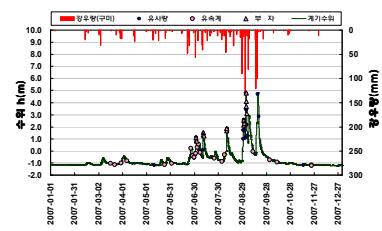


그림 4 유사량 측정성과(적성)

국제표준화 기구(International Organization for Standardization ; ISO)에서는 수면폭에 따라 유사 측선수를 5~7개 이상을 규정하고 있다. 본 연구에서는 ISO 기준에 준하여 측선 배치에 따른 측선수를 계획하였으나 유사채취의 난이도와 채취시간, 하도의 규모 등을 고려하여 중간격법의 5개 측선수를 적용하였다. 본 연구에서는 수면폭에 따른 측선배치 기준준수 여부를 지점별로 분석하였다. 지점별로 분석결과, 섬진강 수계에 위치한 구레2 지점만이 ISO 기준을 모두 만족하였으나 나머지 5개 지점은 수면폭 300m 이하의 성과들만 만족하였다. 본 연구에서는 연구 대상지점에서 수심적분법으로 유사를 채취했을 때 채취기의 이동속도가 얼마나 적정했는지를 분석하였다. 최적의 기준과 허용범위를 지점별로 분석한 결과, 구레2 지점이 Edwards와 Glysson 등이 제시한 기

준에 가장 근접한 측정성과를 확보한 것으로 분석되었다.

#### 4. 시료분석

본 연구에서는 여주 등 6개 지점에서 유사량 측정과 더불어 수리량을 측정하였으며, 또한 홍수기 전·후로 각각 2회의 하상토를 채취하였다. 시료분석은 여과법, BW관, 체분석법으로 수행하였다. 이와 같이 분석된 결과를 유사량 산정을 위한 기초자료로 이용하였으며, 각 시료별 입경분포는 Odén Curve를 작성하여 분석하였다.

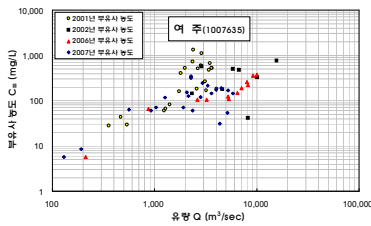


그림 5 부유사 농도(여주)

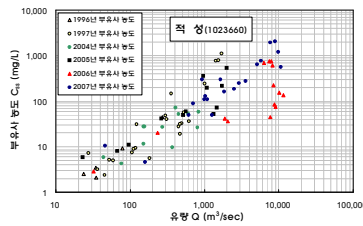


그림 6 부유사 농도(적성)

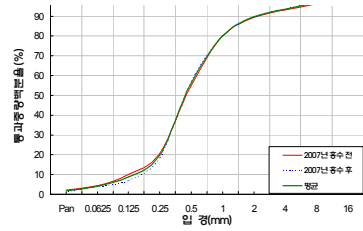


그림 7 하상토 입도분포곡선(낙동)

본 연구대상 지점에서 채취된 하상토 자료를 분석하여 유량규모별 총유사량을 산정하기 위해서 각각의 시료에 대하여 입경분포를 분석하였다. 대상 하도의 특성을 충분히 반영하도록 하천단면상의 15개 축선에서 하상토를 채취하여 입경분포 분석을 수행하였다. 하상토를 분석하는 방법에는 시료의 특성에 따라 여러 가지가 있겠지만 본 연구대상 지점에서 채취된 시료가 대부분 조립질임을 감안하여 체분석법을 이용하였다.

#### 5. 유사량 산정 및 분석

본 연구에서는 각 지점별로 산정된 부유사 농도와 2007년 개발된 수위-유량관계곡선식의 유량으로 부유사량을 산정하여 유량규모별 부유사량 특성을 분석하였다. 그 결과, 유량규모별 부유사량이 전체적으로 변동폭이 크고 경향성과 일관성이 낮은 것으로 분석되었다.

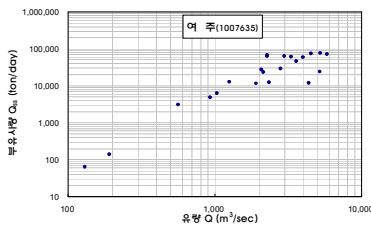


그림 8 부유사량(여주)

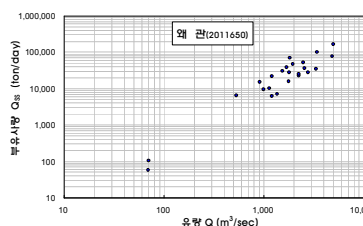


그림 9 부유사량(왜관)

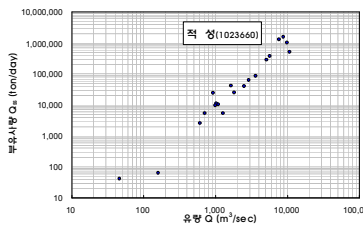


그림 10 부유사량(적성)

본 연구에서는 수위의 상승과 하강에 따라 발생하는 부유사량의 경향성과 사상별 특성의 정도를 파악하기 위해서 지점별 부유사량 특성분석을 실시하였다. 남한강수계에 위치한 여주 지점의 분석은 2007년 7월 25일(Type-I), 2007년 08월 04~2007년 08월 06일(Type-II), 2007년 09월 15일~2007년 09월 18일(Type-III) 계열로 구분하여 수행하였다. Type-I 계열이 선별된 3개의 계열 중에서 유량의 규모가 적고, 유사측정 시기는 가장 빠른 경우에 해당된다. 계열별 유사특성 분석 결과를 보면, Type-I의 경우는 전체적으로 유량의 규모가 증가될 때 하천의 횡단면상에서 단위시간 당 유출되는 부유사량이 증가하는 일반적인 경향을 나타내었다. Type-II의 경우도 수위가 상승과 하강될 때 유량과 부유사량 관계의 복잡성으로 환(Loop)이 발생되어 유사 유량규모에서 부유사량의 변동폭이 큰 것으로 분석되었다. 또한 수위의 상승 시에는 부유사량의 변동폭은 적었으나 하강 시에는 크게 발생하였다. Type-III의 경우도 Type-II의 경우처럼 수위가 상승과 하강될 때 유량과 부유사량 관계의 복잡성으로 환(Loop)이 발생되어 유사 유량규모에서 부유사량의 변동폭이 큰 것으로 분석되었다. 또한 수위의 상승 시에는 부유사량이 일정하게 증가하는 경향을 나타내어 Type-II의 경우와 특성을 달리하였다.

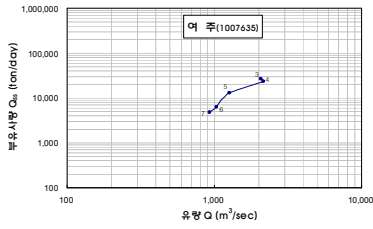


그림 11 특성분석(Type I)

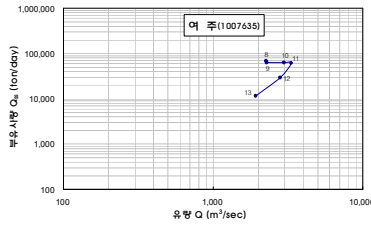


그림 12 특성분석(II)

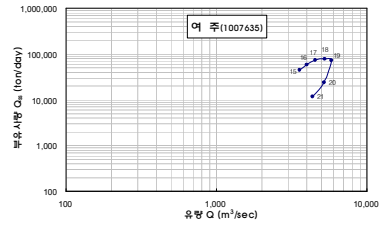


그림 13 특성분석(III)

국내 하천의 특성에 적합한 총유사량 추정방법이 아직까지 개발되지 않고 이에 따른 연구 또한 미진한 관계로 기존의 총유사량 산정공식들 중에 국내에서 비교적 널리 적용되고 있는 Modified Einstein 공식을 선정하여 대상 지점에 적용하였다. 본 과업에서 선정한 Modified Einstein 공식으로 추정된 총유사량의 적정성을 검토하기 위한 추가적인 수단으로 Engelund & Hansen(1967년), Yang(1973년, 1979년), Ackers & White(1973년) 공식들을 선정하여 Modified Einstein 공식의 추정치와 그 특성을 비교·분석하였다.

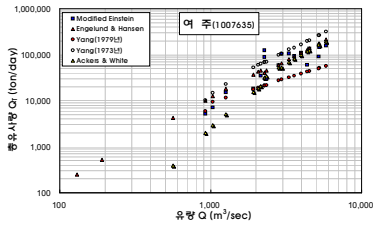


그림 14 총유사량 비교(여주)

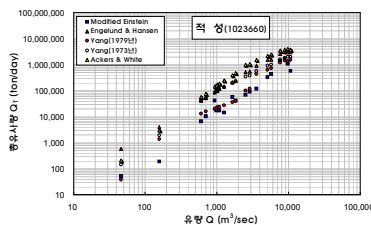


그림 15 총유사량 비교(적성)

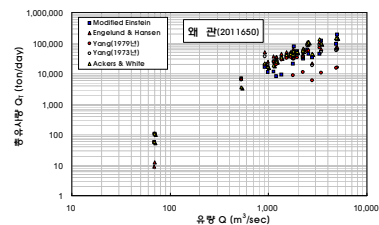


그림 16 총유사량 비교(왜관)

그 결과, 일반적으로 모든 지점에서 Modified Einstein 방법으로 추정된 총유사량이 유량에 따라 변동이 크고 상관성도 낮게 분석되었으며, 그 외 3가지 방법으로 추정된 결과는 다소의 변동폭을 가졌으나 대체로 유량의 증가에 따라 유사량도 증가는 일정한 경향을 나타내었다.

## 6. 유량-유사량관계곡선식 개발

본 과업에서는 하천단면의 측정선에서 각각 측정된 부유사와 수리량, 2007년에 개발된 수위-유량관계곡선식으로부터 산정한 유량자료로 부유사량과 총유사량을 산정하여 식 (1)으로 유량-유사량관계곡선식을 개발하였다.

$$Q_{ss} = a Q^b \quad (1)$$

여기서  $Q_{ss}$ 는 부유사량(ton/day),  $a$ 는 계수,  $Q$ 는 유량( $m^3/sec$ ),  $b$ 는 부유사 입경과 흐름 특성에 따라 변하는 지수이며 일반적으로 1~3 사이의 값을 가진다.

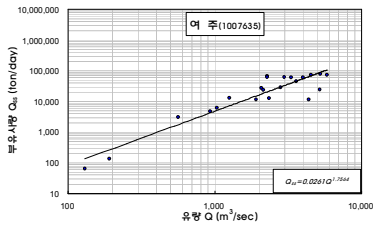


그림 17 유량-부유사량관계(여주)

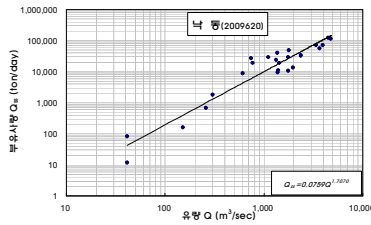


그림 18 유량-부유사량 관계(낙동)

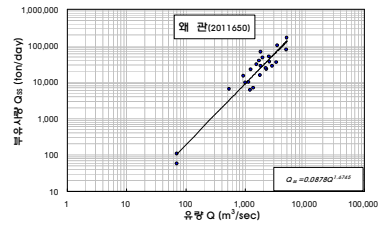


그림 19 유량-부유사량 관계(왜관)

## 7. 유사 유출량 분석

본 연구에서 각 지점별 유사 유출량을 산정한 결과, 유사 유출량은 임진강 수계에 위치한 적성 지점에서 가장 크게 산정되었으며, 구례2 지점에서 가장 적은 값을 나타내었다. 6개 지점 중 서로 상·하류 관계를 가지는 낙

동과 왜관 지점에서 유사 유출량의 특성 변화를 검토한 결과, 상·하류 간의 반전은 저수위 구간을 제외하고는 발생하지 않은 것으로 분석되었다.

표 2 비유사량 산정

지 점	자료 이용 기간	유사 유출량 (ton/yr)	비유사량 (전체유역면적) (ton/km <sup>2</sup> /yr)	비유사량 (순유역면적) (ton/km <sup>2</sup> /yr)
여 주	2007.01.01~2007.12.31	943,101.66	84.93	341.16
적 성	2007.01.01~2007.12.31	2,832,169.49	419.56	-
낙 동	2007.01.01~2007.12.31	666,823.45	71.17	104.90
왜 관	2007.01.01~2007.12.31	952,407.86	86.60	118.13
공 주	2007.01.01~2007.12.31	301,343.94	42.15	99.93
구례2	2007.01.01~2007.12.31	219,843.50	60.07	116.50

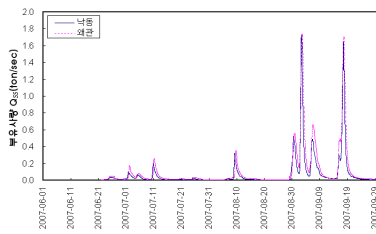


그림 20 유사유출량(낙동-왜관)

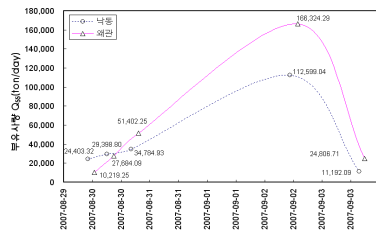


그림 21 부유사량(낙동-왜관)

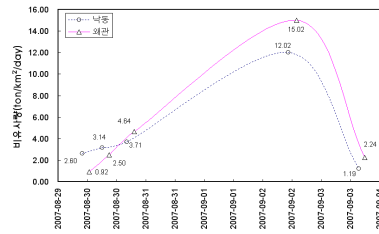


그림 22 비유사량(낙동-왜관)

## 8. 결론

본 연구에서는 측정된 유사량 성과가 ISO 기준을 어느 정도 준수했는지를 파악하기 위해서 측선수, 채취기 이동속도 분석 등을 실시하였다. 총유사량은 국내 하천의 특성에 적합한 방법이 아직까지 개발되지 않은 관계로 기존의 총유사량 추정공식들 중에 국내에서 비교적 널리 적용되고 있는 Modified Einstein 공식을 적용하였다. 본 연구를 통해서 얻어진 결론은 아래와 같다.

1. 본 연구에서는 ISO에서 수면폭에 따라 유사 측선수를 5~7개 이상을 규정하고 있어 ISO 기준에 준하여 수면폭에 따라 측선수를 계획하였으나 유사채취의 난이도와 채취시간, 하도의 규모 등을 고려하여 등간격법의 5개 측선수를 적용하였다.
2. 유량규모별 부유사량의 특성은 전체적으로 변동폭이 크고 경향성과 일관성이 낮은 것으로 분석되었다.
3. 국내 하천의 특성에 적합한 총유사량 추정방법이 아직까지 개발되지 않고 이에 따른 연구 또한 미진한 관계로 기존의 총유사량 산정공식들 중 국내에서 비교적 널리 적용되고 있는 Modified Einstein 공식을 선정하였다. Modified Einstein 공식의 적정성을 검토하기 위한 수단으로 Engelund & Hansen(1967년), Yang(1973년, 1979년), Ackers & White(1973년) 공식들을 이용하였다. 그 결과, 방법별로 그 특성이 서로 상이하였고, 경향성과 변동폭도 크게 발생하였다.
4. 본 연구대상 지점에서 개발된 곡선식은 유량-부유사량관계식만이 관계식으로서 의의가 있을 것으로 판단되나, 곡선식의 신뢰도 분석과 검증이 실시되지 않았기 때문에 적용 시에는 상당한 주의가 요구된다.

## 참고문헌

1. 한국건설기술연구원(1989), 하천유사량 산정방법의 선정기준 개발.
2. 한국건설기술연구원(1990), 수정아인쉬타인 방법의 한국 하천에서의 적용.
3. 우효섭, 류권규(1990), '하천유사량 공식들의 비교평가', 대한토목학회 논문집, 제10권, 제4호.
4. 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.