

# 중소하천 유제부구간에서의 하상재료 분포 및 이동특성 평가

## A Study on Characteristics of Mobile Bed Material in Medium and Small River with Levees

이삼희\*, 황승용\*\*

Samhee LEE, Seung-Yong HWANG

### 요 지

하상재료의 공급은 하도를 통해 유입하는 유역의 토양침식과 측방침식에 의해 이루어진다. 우리나라의 경우 대부분의 중소하천은 측방침식을 허용하지 않도록 호안으로 이루어진 제방이 축조되어 있다. 본 연구에서 이와 같은 중소하천에서의 하상재료의 분포 및 이동 특성을 파악하기 위해 하천의 두미천을 조사 대상으로 삼았다. 조사 및 평가기법으로는 충적하천에서 그 적용성이 높은 하도특성론을 채택하였다. 조사결과, 하상재료의 분포 특성은 상류 일부구간외에 비교적 균일한 입도( $D_{50}=2$  mm)분포 특성을 지니고 있었는데, 일반적인 하도특성과는 다소 다른 양상을 보였다. 이는 공급원인 유역의 토양특성과 공급 가능량, 인위적인 유역개발(골프장 등) 등의 영향을 받고 있음이 시사되었다.

**핵심용어** : 두미천, 중소하천, 유제부, 하상재료, 하도특성량

## 1. 서 론

하도를 통해 유입하는 유역의 토양침식과 측방침식에 의해 유사가 공급된다. 공급된 유사는 하도의 하도 수리량에 따라 퇴적, 세굴, 이송하면서 하도형태가 이루어진다. 우리나라의 경우 대부분의 중소하천들은 유역 공급원과 가까운 산지하천의 형태를 이루고 있어, 생성된 유사에 곧바로 반응하는 하도형태를 나타내고 있다. 그리고, 이들은 대개 호안으로 이루어진 제방이 축조되어 있어 지천유입에 의하지 않고서는 측방침식에 따른 유사 공급은 거의 일어나지 않는다.

본 연구에서는 이와 같은 우리나라 중소하천에서의 하상재료 분포 및 이동특성을 파악하기 위하여 조사 대상하천을 선정하여 조사하였다. 조사하천은 적은 비용으로 조사가 가능하고, 분석에 필요한 기초 자료가 비교적 갖추어져 있으면서 유사이송이 활발한 두미천을 대상으로 하였다. 조사 및 평가기법으로는 충적하천에서 그 적용성이 높은 하도특성론에 입각한 하도 수리량을 산정하여 분석하였다. 하도특성 조사는 일반적으로 그 대상은 중대하천이지만, 본 연구에서는 두미천과 같은 중소하천에서의 그 적용성을 검토하였다.

## 2. 조사대상 하천의 현황

### 2.1 대상하천 개요

지방 2급하천인 두미천 수계는 원두천의 1차 지류로서 경기도 이천시 내에 위치하고 있다. 수계형태는 수

\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원·E-mail : samhee.lee@kict.re.kr  
\*\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원·E-mail : syhwang@kict.re.kr

지형으로 유역면적은 19.09 km<sup>2</sup>이다. 유로 연장이 7.56 km 이다. 두미천 유역의 지질은 화강암층이 대부분을 차지하고 있으며, 암질이 풍화에 대한 저항이 약하여 사질이 많은 지역이다. 두미천 유역의 평균경사는 36.1 % 이다.

두미천의 경우 과거와 최근의 평균 연최대유량 규모의 홍수에 대응하는 각 지점의 수면폭을 저수로폭으로 설정하였으며, 그림 1에 저수로 폭의 종단변화를 나타내었다. 중류부에서 소폭으로 확장되어 가는 양상을 보이고, 그 외 구간에서는 변화가 거의 없는 것으로 보이고 있다. 그림 2의 두미천의 평균하상고의 종단변화에서 보는 바와 같이 적으나마 하상저화 현상이 나타나고 있음을 알 수 있다.

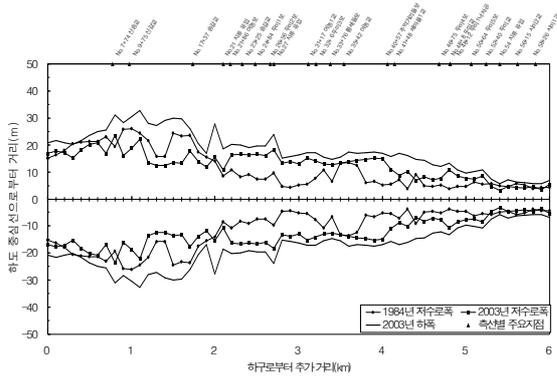


그림 1. 저수로폭의 변화

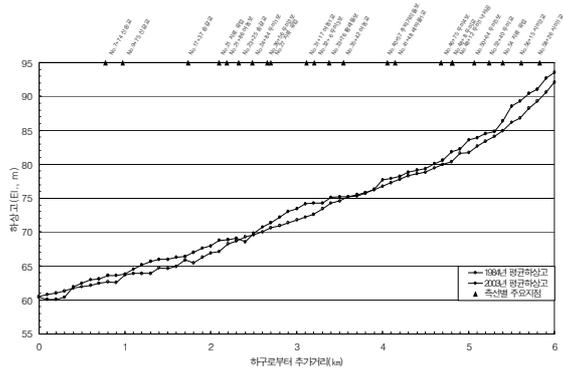


그림 2. 평균하상고의 변화

## 2.2 하천유사 분급 특성

두미천의 종단 입경분포는 그림 3에서 보는 바와 같다. 원두천 합류점으로부터 약 3.8 km이전까지는 하상재료의  $D_{50}=2$  mm 내외로 변화가 거의 없는 편이다. 그 상류는 입경의 변화가 심하다. 최상류 하상재료는 선격자법을 이용하여 분석한 결과 최대 입경은 340 mm으로 나타내고 있다.

두미천에서 유사 채취는 각 하천의 하류부에 해당하는 두미천 신갈교 지점에서 실시하였다. 부유사의 채취는 수심이 대략 1 m 이내로 깊지 않고 평시 수면경사가 두미천 지점이 1/250로 매우 급하므로 홍수 때에는 연직 방향으로 완전히 혼합된다고 가정하여 표면채수법을 이용하였다. 수정 아인슈타인 방법을 이용하여 총유사량을 추정하였다. 관측한 유량과 추정한 총유사량에 의한 유량-유사량 곡선은 표 1과 그림 4와 같다.

두미천 신갈교 지점에 대한 유량-유사량 곡선식은  $Q_s=7.88Q^2$  으로 유사 이송이 매우 큼을 알 수 있다.

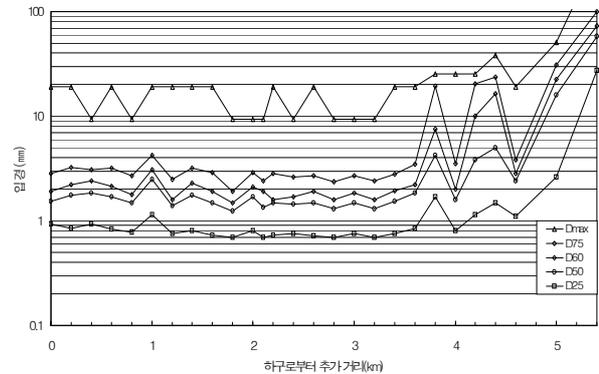


그림 3. 저수로 하상재료의 종단입경변화

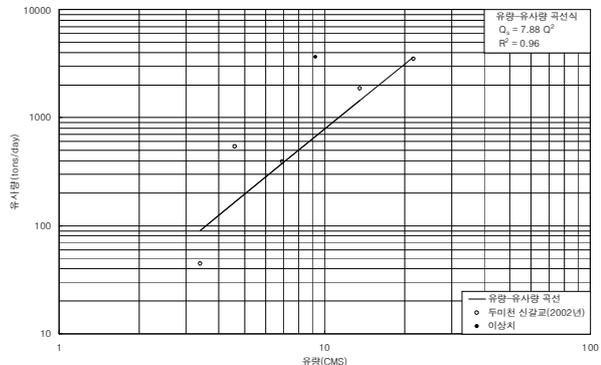


그림 4. 두미천 신갈교 지점의 유량-유사량 관계(2002년)

표 1, 대상 하천의 유수량과 농도

하천	취일	유량	부유사량	소류사량	총유사량	부유사농도	총유사농도
		(m <sup>3</sup> /s)	(tons/day)	(tons/day)	(tons/day)	(mg/l)	(mg/l)
두미천	8월 8일 1회	21.6	507.2	2,976.0	3,483.2	272.0	1,868.0
	8월 8일 2회	6.9	141.4	251.9	393.3	236.6	658.0
	8월 27일 1회	9.2	1,612.1	2,043.2	3,655.3	2,025.9	4,594.0
	8월 27일 2회	3.4	15.1	29.1	44.2	51.3	150.0
	8월 31일	4.6	80.4	460.1	540.5	203.2	1,366.0
	9월 1일	13.6	562.6	1,306.2	1,868.8	423.6	1,407.0

### 3. 홍수시 하도특성량과 하도특성

#### 3.1 대표유량과 하상경사

두미천에서 2002년 8월 6일 경에 발생한 홍수가 하안 만배유량에 근접함을 확인하고, 이를 대표유량을 하고 75 m<sup>3</sup>/s로 설정하였다. 두미천에 대해 대표유량에 의한 평균하상고를 계산하여 동일 하상경사구간을 결정하였다. 여기에 평균수심(수리평균심,  $H_L$ )과 최심하상고와 평균하상고의 차( $\Delta Z$ )도 함께 도시하였다(그림 9). 유입 유수량이 과다하여 대부분의 낙차공이 본래의 기능을 상실한 경우가 많고 (사진 1), 상류의 낙차공은 위치가 적절하여 중류의 보를 제외하고는 하도 전체 하상경사에 큰 영향은 없는 것으로 보인다.



사진 1. 두미천 중류 낙차공

#### 3.2 대표유량에 따른 하도특성량

##### 가. 하폭-수심비, 수심-입경비

중규모 하상과의 특성을 나타내는 두미천의 하폭-수심비는 그림 5와 같다. 그리고, 소규모 하상과의 형성을 나타내는 수심-입경비는 에서 각각 그림 6과 같다. 여기서 하폭과 수심은 대표유량에 대한 부등류 계산에서 수면폭과 수리평균심을 이용하였고, 대표입경은  $d_{60}$ 으로 하였다.

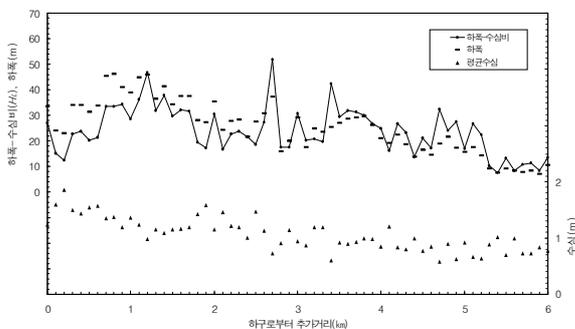


그림 5. 하폭-수심비의 종단변화

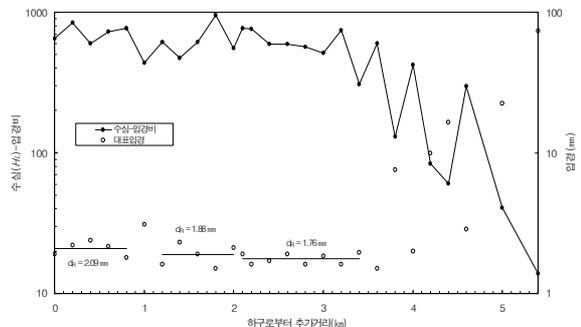


그림 6. 수심-입경비의 종단변화

하폭-수심비는 대략 7.5 ~ 52(동일 하상경사구간에 대한 평균값은 16 ~ 28)정도이며 대체로 교호사주가 형성될 수 있음을 나타내고 있으며, 하류부에서는 교호사주의 일부에서 고수부지가 발달할 가능성이 있음을 보이고 있다. 그리고, 수심-입경비는 13 ~ 955(동일 하상경사구간에 대한 평균값은 14 ~ 670) 정도이다. 여기서, 상류 일부구간을 제외하면 대표입경은 2 mm 안팎으로 상·하류 큰 변화가 없는 점을 감안하면, 일반적인 흐름에서도 Lower 레짐에서 High 레짐으로 급격히 전환되는 속성을 나타낼 수 있음을 추정할 수 있다.

따라서, 두미천은 교호사주를 의미하는 지표가 산출되어도 뚜렷하지 않을 수 있고, 유사레짐 역시 쉽게 평탄하상에 전환될 가능성이 높음을 보이고 있다.

#### 나. 마찰속도, 무차원 소류력, 유속계수

두미천에 대한 마찰속도와 무차원 소류력의 종단변화 그리고 유속계수를 각각 그림 7과 그림 8에서 나타내고 있다. 마찰속도는 대략  $320 \sim 705 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ (동일경사 평균값  $320 \sim 730 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ ), 무차원 소류력은 대략 0.03 ~ 1.31, 그리고 유속계수는 대략 9 ~ 13의 범위으로써 동일경사에 대한 평균값을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 무차원소류력의 종단특성을 살펴 보면, 4 km 상류에서는 퇴적보다 침식 지향적이며, 4 km 하류에서는 국부적인 세굴/퇴적 경향은 있으나 전체적으로 공급된 유사가 그대로 이송될 수 있음을 나타내고 있다. 여기서 상류구간 일부를 제외하고는 상류에서 공급되는 토사의 대표입경 그대로 하상재료를 형성하면서 하류 방향으로 연속적으로 활발히 이송되고 있음을 시사한다고 볼 수 있다.

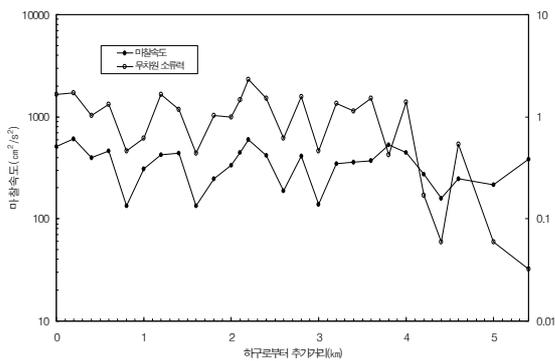


그림 7. 마찰속도와 무차원소류력

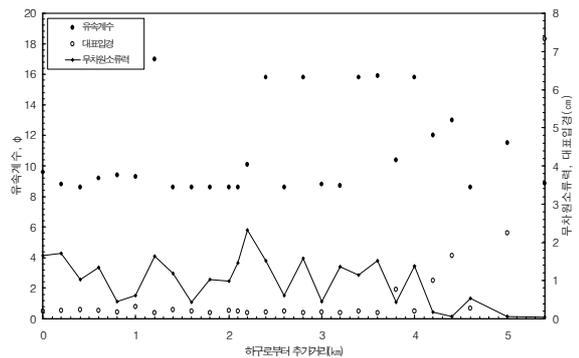


그림 8. 유속계수의 종단변화

#### 다. 세그먼트 특성

하도특성량을 고려하여 대상하천에서 유사한 하도특성을 갖는 구간을 세그먼트라고 정의하며, 그림 9에 이의 구분과 해당구간의 하도특성량을 나타내고 있다. 두미천은 하상경사가 매우 급하나 하상재료의 입경은 매우 작은 편이다. 즉, 세그먼트를 구분할 때 하상경사는 적절하나 하상재료가 부합하지 않은 결과가 나타나는 것이다. 이와 같은 불일치는 최상류를 제외한 대부분의 구간에 걸쳐 나타난다. 즉, 하도의 전 구간이 세그먼트 1에 해당하나 하상재료는 최상류 구간을 제외하고는 대체로 세그먼트 2-2 구간에서 나타나는 2 mm 안팎의 범위에 있다.

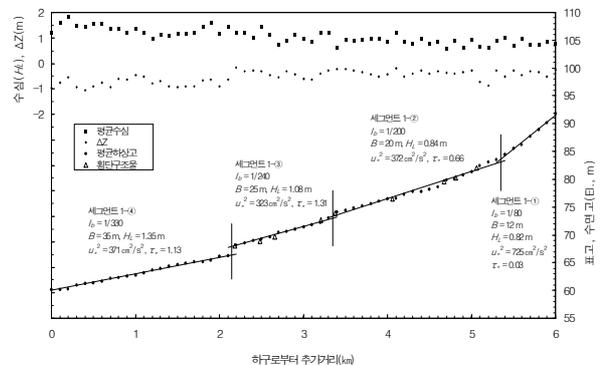


그림 9. 두미천 세그먼트의 특성

#### 4. 결론

일반적인 하도특성과는 달리 두미천에서 대표입경 2 mm 정도의 하상재료가 상류구간 일부를 제외하고 분포하고 있다는 것은 본 연구에서 큰 의미가 있다고 볼 수 있다. 무차원 소류력의 종단변화를 통해 상류 유역에서 공급되는 토사의 대표입경이 2 mm 정도로써 이들이 그대로 하류방향으로 이송되고 있음을 시사한다고 볼 수 있다. 이는 유사량 측정 결과에서 보는 바와 같이 상류의 산지유역에서 발생하는 과도한 토사의 공급과 지질조건에 그 원인이 있을 것이다. 유역 상류 지형이 사질이 많은 풍화 생성물(마사토)로 이루어져 토사유출이 매우 용이하며, 최근 10년간 유역 상류에서 이루어진 각종 개발 사업(고속도로 공사, 골프장 건설 등)으로 상당량의 토사유출이 있었을 것으로 추정된다. 유역 산정에 위치한 두 개의 골프장은 그 면적이 두미천 유역의 약 20%에 달하며, 1994년과 2003년에 개장했음을 감안한다면 착공 시기부터 막대한 양의 토사가 유출되었을 것으로 추정되며, 유사관측을 통해 과도한 바와 같이 현재도 그 영향이 지속되고 있는 것으로 보여지고 있다. 또한 하폭-수심비에서 보이는 바와 같이 측방침식을 유도할 가능성이 있는 교호사주가 활발히 일어나는 속성을 지니고 있는 하도이다. 그러나 호안으로 이루어진 유체부로 되어 있어 측방침식에 의한 유사공급은 차단되어 있지만, 하도응답을 다양화하는 흐름의 변화가 적어 하상재료의 상하류 균일화에 어느 정도 기여할 수 있다고 볼 수 있다.

따라서, 두미천은 유로가 짧아 유역 상류 산지의 영향을 직접적으로 받는 문제도 있어 유사 유출이 과도하고 경사에 비해 지나치게 작은 하상재료가 존재하는 등의 문제가 발생하였다고 볼 수 있다. 본 연구를 통해 우리나라 중소하천에서 하도특성론에 입각한 이동상 해석 방법은 매우 유효한 수단이 될 수 있으나, 일반적으로 중대하천에서 분류한 각 세그먼트에 대응하는 하상재료와 같은 형태로 하상재료가 분급되지 않을 수 있다는 것이 입증되었다. 결국 하상재료는 사주와 하폭, 유사량에 영향을 미칠 수도 있다. 이는 산지하천에 가까운 우리나라 대부분의 소하천에서 하도특성을 평가하는데, 유역에서의 토사생산원과 그 양에 대한 면밀한 조사가 필요함을 의미한다.

#### 감사의 글

본 연구는 한강유역조사 사업(2002-2004)의 일환으로 이루어졌으며, 이에 대해 건설교통부, 한국수자원공사, 한강유역조사사업단에 감사의 뜻을 표합니다.

#### 참 고 문 헌

1. 한강유역조사 하도특성조사 자문보고서(2004, 미발간), 건설교통부/한국수자원공사/한국건설기술연구원.
2. 國土技術研究センター(2002). 河道計劃檢討の手案引き. 山海堂.
3. Biedenharn, D.S., Copeland, R.R., Thorne, C.R., Soar, P.J., Hey, R.D. and Watson, C.C (2000). Effective Discharge Calculation: A Practical Guide. U.S. Army Corps of Engineers.