

## 대표 입경과 하도 특성의 관계 분석

### Research on Relationship of Bed Material and Channel Characteristics

이두한\*, 손민우\*\*, 김명환\*\*\*, 김창완\*\*\*

Du Han Lee, Minwoo Son, Myoung Hwan Kim, Chang Wan Kim

---

#### Abstract

Bed material in natural streams is affected by geological characteristics of upstream and acting force by flow of stream. Acting force in streams are also affected by bed slope and discharge of streams. Yamamoto(1994) suggested that channel reaches with similar slope share similar characteristics values in representative bed material size, tractive force, channel width and depth. He also suggested that main factors dominating channel characteristics are mean annual discharge, representative bed material size and bed slope. Bed material shows physical and ecological characteristics of channels. In this research, characteristics of bed material in natural or close to natural streams were studied and compared with Japanese stream data. In the result, characteristics of gravel and sand material can be presented in the term of non-dimensional tractive force, bed slope and bed material size

*Key words* : Channel Characteristics, Bed Material, Bed Slope, Non-dimensional Tractive Force

---

#### 요 지

개별 하천에 존재하는 하상재료는 상류의 지질특성과 유수에 의한 작용력의 특성을 반영하고 있으며 유수에 의한 작용력은 하상경사와 유량규모에 지배적인 영향을 받는다. 山本 晃一(1994)에 의하면 자연하천에서 동일한 경사를 가지는 하도 구간은 하상재료, 소류력, 저수로 폭, 수심 등이 대체로 동일한 값을 나타내고 있으며, 하도 특성을 지배하는 주요인자로 각 하천의 평균연최대유량, 하상재료의 대표입경, 하상경사 등을 설정하고 있다.

하상재료는 하도의 물리적, 생태적 특성을 지배하는 대표적인 인자로 의미가 있으나 국내에서는 이와 관련된 연구가 미비한 실정이다. 본 연구에서는 국내 하천의 하도 특성을 분석하는 기초 연구로서 대표하천에 대한 하상재료를 채취하여 분석하였으며 이를 분급도와 하상경사와의 관계로 도시하여 하상재료 분포 특성을 분석하였으며 이를 일본 하천의 하상재료 특성과 비교하였다.

분석결과에 의하면 분급도, 무차원 소류력, 하상경사와의 관계 분석을 통해서 자갈과 모래하천은 그 특성이 뚜렷이 구분됨을 확인할 수 있었으며, 하상경사와 대표입경의 관계도 모래와 자갈을 구분하여 접근하여야 함을 확인하였다.

**핵심용어** : 하도 특성, 하상재료, 하상 경사, 무차원 소류력

---

\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 · E-mail : dhlee@kict.re.kr  
\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 · E-mail : minwooson@gmail.com  
\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 · E-mail : arrowgate@kict.re.kr  
\*\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 · E-mail : ncwkim@kict.re.kr

## 1. 서론

하천의 하상재료의 특성은 공급되는 유사의 특성과 하천의 작용력에 영향을 받는다. 공급유사의 특성은 상류의 지질 및 토양에 의해 결정되며, 하천으로 유입된 유사는 유수의 작용력에 부합되는 크기로 분급되어 하천에 존재한다. 즉, 개별 하천에 존재하는 하상재료는 상류의 지질특성과 유수에 의한 작용력의 특성을 반영하고 있으며 유수에 의한 작용력은 하상경사와 유량규모에 지배적인 영향을 받는다. 山本 晃一(1994)에 의하면 자연하천에서 동일한 경사를 가지는 하도 구간은 하상재료, 소류력, 저수로 폭, 수심 등이 대체로 동일한 값을 나타내고 있으며, 하도 특성을 지배하는 주요인자로 각 하천의 평균연최대유량, 하상재료의 대표입경, 하상경사 등을 설정하고 있다.

하상재료는 하도의 물리적, 생태적 특성을 지배하는 대표적인 인자로 의미가 있으나 국내에서는 이와 관련된 연구가 미비한 실정이다. 본 연구에서는 국내 하천의 하도 특성을 분석하는 기초 연구로서 대표하천에 대한 하상재료를 채취하여 분석하였으며 이를 분급도와 하상경사와의 관계로 도시하여 하상재료 분포 특성을 분석하였으며 이를 일본 하천의 하상재료 특성과 비교하였다.

## 2. 하상재료 채취 및 분석

국내 하천의 특성을 대표할 수 있는 하상재료의 특성 분석을 위해서 전국적으로 청미천 등 총 17개 하천을 선정하여 조사하였으며, 이 중 대표성이 있는 45개 지점의 하상재료 자료를 분석에 이용하였다.

표 1. 조사 대상 하천

하천명	유역면적 (km <sup>2</sup> )	하도연장 (km)	하상경사	지질 및 토양 특성	비고
청미천	615	60.5	1/320~1/1,160	화강암, 일부 호상편마암	다수의 보 존재
양화천	183	33.2	1/60~1/1,140	흑운모화강암, 화강암질 편마암	다수의 보 존재
북하천	308	34.8	1/140~1/600	화강암	다수의 보 존재
내성천	1,806	108.2	약 1/1,000	화강암	일부 준설
미호천	1,852	89.2	1/1,600~1/2,300	화강암	일부 준설
탐진강	505	55	1/400~1/1,100	분출암류, 응회암류, 화성암류	하류 댐
금강	9,91	397.8	1/2,290~1/7,490	편마암류, 화강암류, 변성퇴적암	골재 채취
섬진강	4,911	223.9	1/446~1/2,333	편마암류, 반성암, 화강암	최상류 댐
영산강	3,455	129.5	1/387~1/3,301	퇴적암류, 화강암류, 맥강암류	댐 영향
조종천	260	39.3	1/11~1/235	변성암, 화성암, 층적층	보, 배수구
내린천	400	66.3	1/57~1/138	화강암, 편마암	다수의 보
마읍천	151	30.3	1/8~1/319	지질 및 토양 미조사 지역	다수의 보
서천남원천	364	53	1/39~1/598	화강암류, 맥암류, 층적층	호안공
충남남원천	91	19.3	1/477~1/2,046	대보화강암, 층적층	호안공
전천	170	26.3	1/54~1/209	화강암류, 변성편마암	토사 유입
무주남대천	287	34	1/41~1/185	화성암, 편마암, 화강암	호안공
감천	325	30	1/40~1/200	층적층 및 대보화강암	다수의 보 존재

### 2.1 대상하천 및 조사 지점의 선정

인공적인 개수 및 공사의 영향을 덜 받고 교량, 보 등의 하천 횡단구조물이 드문 하천을 위주

로 하였으며, 분석을 위해서 2000년 이후 하천정비기본계획이 수립되어 최근의 하천 측량 자료를 수집할 수 있는 하천으로 한정하였으며 20 km 이상의 연장을 가져 상류에서 하류 이동함에 따라 하천의 물리적 특성이 변화하는 하천을 선정하였다(표 1).

선정된 하천에서 조사지점이 구간의 대표성을 갖도록 하기 위해서 최심하상고, 에너지 경사, 수면 경사 등을 이용하여 전체 하도의 종단특성을 2개 이상으로 구분하여 각 구간의 대표성을 나타낼 것으로 예상되는 횡단지점 선정을 선정하였다. 보, 낙차공, 호안공 등 하천 구조물과 최근의 공사 등으로 하천의 흐름 및 하상재료에 인위적 교란이 발생할 것으로 예상되는 지점은 제외하였다.

## 2.2 하상재료의 채취

하상재료를 채취할 하천횡단선을 결정한 후, 현장 여건을 고려하여 유심선과 최대한 근접한 지점에서 채취하였다. 채취 지점은 주로 하상 및 고수시의 하상재료 이동 및 퇴적이 발생하는 사주 부에서 실시하였으며, 하상재료가 모래인 경우에는 일정 부피 채취법(Volumetric Sampling, 그림 1)로 채취하여 실내에서 분석하였으며 자갈인 경우에는 선격자법을 적용하여 현장에서 조사하였다. 잔자갈과 모래가 혼재된 혼합사 하상재료의 경우에는 현장 상황에 따라 일정 부피 채취법 또는 선격자법을 혼용하였다.



그림 1. 일정 부피 채취법



그림 2. 선격자법

## 2.3 자료 분석

일정 부피 채취법 및 선격자법을 통해서 수집된 하상재료 입도분포 자료는 대표입경과 분급도의 관계, 대표입경과 하상경사의 관계, 무차원소류력 분석 등에 이용되었다. 대표입경은  $d_{65}$ 로 설정하였으며, 분급도는  $d_{84}/d_{16}$ 으로 표시하였다. 하상경사는 자연하천의 경우 종단방향의 고저의 차이가 심하여 쉽게 산정되지 않는다. 본 연구에서는 1차원 부등류 모형인 HEC-RAS를 계산 결과를 이용하여 일정 구간의 에너지 경사를 평균하여 이를 하상경사로 설정하였다. 이 경우에는 조도계수 설정과 유량 설정이 문제가 되는데 조도계수는 하천정비기본계획 상의 조도계수를 기준으로 하였으며, 유량은 저수로 만제 유량을 기준으로 설정하였다.

무차원 소류력은 흐름이 하상재료에 미치는 소류력과 저항력의 비로, 하상재료 이동의 용이성을 나타내며(1)과 같다.

$$\tau_* = U_*^2 / (s \cdot g \cdot d_R) \quad (1)$$

여기서  $s$ 는 하상재료의 수중비중으로 1.65,  $d_R$ 은 하상재료 대표입경으로  $d_{60}$ 이며 동수 반경 및 에너지경사 등 각종 수리값을 산정하기 위해 적용되는 유량은 저수로 만제 유량을 기준으로 하였다. 마찰속도( $U_*$ )는 흐름에 의해 발생하는 바닥면의 최대 전단력(소류력)을 물의 밀도로 나눈 값으로 (2)와 같다.

$$U_* = (g \cdot R \cdot I_e)^{0.5} \quad (2)$$

여기서  $g$ 는 중력가속도,  $R$ 은 동수반경,  $I_e$ 는 에너지경사 등이다.

### 3. 분석결과

그림 3은 하상재료의 평균입경과 하상재료의 분급도( $d_{84}/d_{16}$ )의 관계를 도시한 것으로 일본의 자료와 본 연구의 하상재료 분석결과를 같이 나타내고 있다. 일본의 경우에는 충적평야, 화강암 풍화대, 중간대(추이대), 산간부(선상지, 산간급류부)의 크게 네 가지 지형적 특성에 따라 평균입경과 분급도의 관계가 구분된다. 전체적인 경향은 산간급류부를 제외하고는 입경이 증가함에 따라서 분급도가 증가하는 경향을 나타낸다. 충적평야에서는 평균입경이 0.8mm이하이며 분급도는 5이하로 나타나며, 화강암 풍화대의 경우에는 입경은 대략 1-2mm 사이에 분포하며, 분급도는 3-8사이를 나타낸다. 중간대에서는 입경은 1-10mm, 분급도는 7-13정도에 분포하며, 산간부의 경우에는 입경은 10mm이상이며 분급도는 1-100으로 넓게 분포하고 있다. 평균입경이 큰 경우 분급도가 큰 것이 일반적인 경향이나 입경 2mm 이상의 자갈의 경우에는 세립자가 존재하지 않는 경우 분급도가 낮은 경우가 있다.

국내 하천의 조사결과를 도시하여 비교하면, 그림 1과 같은데 분급도는 모래, 분급도가 큰 자갈, 분급도가 작은 자갈의 크게 3개의 특성을 가지는 그룹으로 구분할 수 있다. 입경 2mm 이하인 모래의 경우에는 하상재료 대표입경과 분급도가 비례하는 관계를 나타내며 일본의 기준으로 대체로 화강암 풍화지대의 특성을 보이는 그룹에 속한다. 그러나 잔자갈에 해당되는 입경이 대표입경이 되는 경우가 본 연구에서는 나타나지 않아 일본의 기준으로 중간대 또는 추이대로 해당하는 재료는 없었다. 모래의 경우 무차원 소류력은 0.2에서 1.0 사이의 분포를 나타낸다.

자갈 재료의 경우에는 대체적으로 분급도 10을 기준으로 분급도 큰 그룹과 작은 그룹으로 구분할 수 있는데 일본의 기준으로는 산간 급류부에서는 분급도가 작게 나타나고 선상지나 일반적인 산간지에서는 분급도가 크게 나타나고 있다. 그러나 본 연구에서는 분급도의 차이가 나타나는 지형적 특성을 명확하게 파악할 수는 없었다.

하도 특성을 파악할 수 있는 또다른 유용한 관계는 하상경사와 대표입경의 관계(그림 4)인데, 하상경사는 개별하천의 유량규모를 고려하지 않지만 하상에 작용하는 작용력의 척도로서 의미를 가지며 작용력에 따라 하상재료의 대표입경은 상당한 관계가 있을 것으로 추정할 수 있다. 기존의 하천 특성에 대한 접근 방식은 종단 거리에 따른 하상재료의 입경이나 종단거리에 따른 하상경사의 변화를 통계적으로 분석하였으나, 하상경사와 하상재료를 직접적으로 연결시켜 분석한 경우는 드물다.

하상재료와 대표입경의 관계에서도 자갈과 모래는 다른 양상을 나타낸다. 하상의 장감화 및 흐름 정체 구역과 같은 특이치를 제외할 경우 자갈과 모래에서 동일하게 하상경사와 하상재료는 비례의 관계를 나타내나 그 형태는 다르다. 즉, 자갈과 모래를 동시에 고려한 단일한 하상경사-대표입경 관계식이 성립할 수 없음을 보여준다. 특히 하상경사가 1/200에서 1/2,000의 범위에서는 하상

재료는 자갈 또는 모래가 나타날 수 있다. 이는 하천의 하상재료가 하상경사만이 아닌 공급유사의 질에 크게 영향을 받고 있음을 나타낸다.

#### 4. 결론

국내 하천 중 인위적 교란이 작은 하천에 대한 하상재료 분석을 통해서 국내 하천의 하상재료의 특성을 일부 도출하였다. 분급도, 무차원 소류력, 하상경사와의 관계 분석을 통해서 자갈과 모래하천은 그 특성이 뚜렷이 구분됨을 확인할 수 있었으며, 하상경사와 대표입경의 관계도 모래와 자갈을 구분하여 접근하여야 함을 확인하였다.

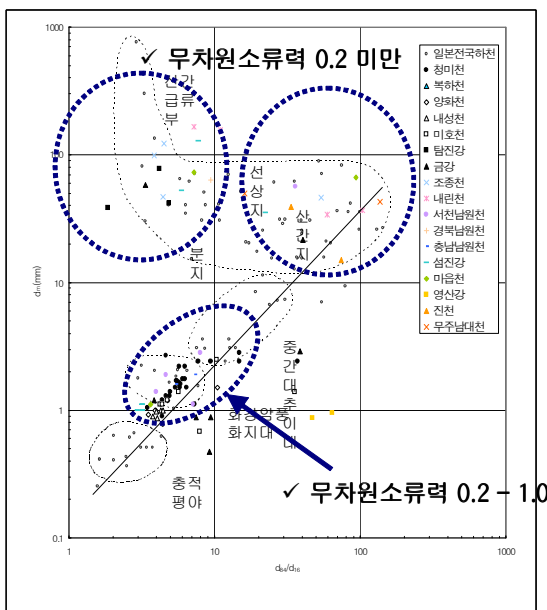


그림 3. 하상재료 분급도 특성

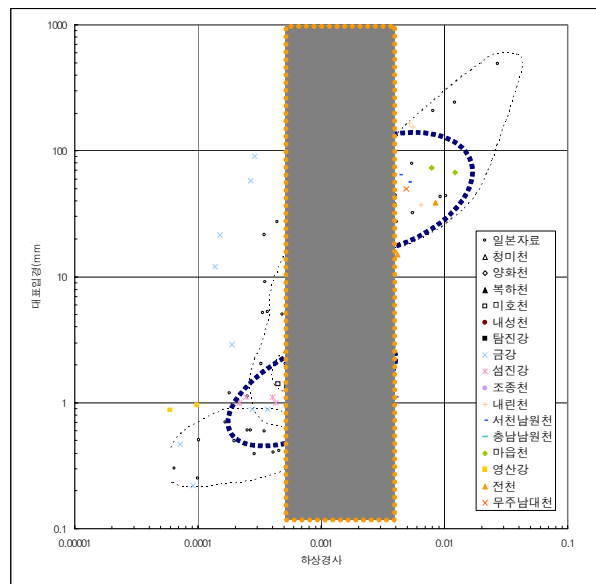


그림 4. 하상재료와 경사의 관계

#### 감사의 글

본 연구는 2005년 한국건설기술연구원 기관고유사업인 '다기능 하천실험사업'의 일환으로 수행한 것입니다.

#### 참고문헌

1. 한국건설기술연구원(2005) 다기능 하천실험사업.
2. 山本 晃一 (1994) 沖積河川學, 山海堂.