

# 문산천의 장·단기 하상변동 분석

## An Analysis of Long & Short Term Variation for Riverbed in the Moonsancheon

강경석\*, 박문현\*\*, 김서영\*\*\*, 김국일\*\*\*\*, 박봉진\*\*\*\*\*

Kyung Seok Kang, Mun Hyun Park, Seo Young Kim, Kook Il Kim, Bong Jin Park

### 요 지

하천의 평형상태를 판단하기 위해 필요한 두가지 관점은 첫째, 대상 하천이 현재 평형상태에 있는 가이고 둘째, 하천에 하상변동을 일으킬 수 있는 인위적인 영향을 가한 후에 하천반응을 통해 궁극적으로 결정되는 평형상태를 예측하는 것이다. 따라서 본 연구는 하도의 특성을 토대로 하여 현 하도의 평형상태를 정성적인 측면에서 검토하고, 흐름과 유사 이송에 관련된 수확모형을 수치적으로 해석하는 하상변동모형의 분석을 통한 현하도의 안정성 및 하상변동 양상을 파악하는데 그 목적이 있다.

본 연구는 임진강 유역의 충적하천인 문산천을 대상으로 지배유량을 산정한 후 지배유량 유하시의 마찰속도와 무차원 소류력 등의 하도특성량을 산정하여 토사이송이 크게 발생하는 구간을 정성적으로 예측하였다. 예측된 구간의 현장조사결과 No. 29 ~ No. 35 구간의 하상의 상승은 개수공사와 수해복구공사로 인한 인위적인 굴착에 대한 퇴적으로 하천이 평형상태로 환원하고자 하는 것으로 판단되었고, No. 41 ~ No. 54 구간의 하상저하는 문산천 상류구간의 큰 하상경사와 보의 영향인 것으로 조사되었다. 또한 1, 2차원 모형에 의한 장·단기 하상변동 분석결과 하도특성량을 이용한 하도의 안정성 평가와 유사한 결과를 보였다. 따라서 문산천의 경우 하상변동의 양상 파악 및 하도의 안정성 판단을 하는데 있어 하도특성량을 근거로 판단하는 방법의 적용가능성을 파악할 수 있었다.

**핵심용어:** 하상변동, 하상변동모형, 충적하천, 지배유량, 하도특성량

### 1. 서 론

충적하천은 하상이 여러 형태의 재료들로 구성되어 있으며 다양한 범위의 흐름에 의해 그 형태가 변화한다. 이러한 충적하천에서 일정한 유량이 지속적으로 흐르는 경우 현재 하도의 형태와 같게 만드는 가상적인 유량이 하도형성유량(Channel forming discharge) 또는 지배유량(Dominant discharge)이며, 하천의 형태와 크기 및 변화과정을 제어하는 유량이 된다. 안정하도에서 흐름과 하도와의 관계를 연결시켜 주는 지배유량은 하도의 수심, 폭, 하상경사, 만곡 등을 결정하는데 지배적인 역할을 하는 유량이다.

\* 정회원 · 동부엔지니어링 수자원환경부 부장 · 공학박사 · E-mail: kskang@dongbueng.co.kr  
\*\* 정회원 · 동부엔지니어링 수자원환경부 과장 · E-mail: moonth@dongbueng.co.kr  
\*\*\* 정회원 · 동부엔지니어링 수자원환경부 사원 · E-mail: roma98@dongbueng.co.kr  
\*\*\*\* 정회원 · 동부엔지니어링 사장 · 수자원개발기술사 · E-mail: kookil@dongbueng.co.kr  
\*\*\*\*\* 정회원 · 한국수자원공사 조사기획처 과장 · 수자원개발기술사 · E-mail: bongjinpark@kowaco.or.kr

본 연구는 임진강 유역의 충적하천인 문산천을 대상으로 지배유량을 산정한 후 지배유량 유효시의 마찰속도와 무차원 소류력등 하도 특성량을 산정하여 토사이송이 크게 발생하는 구간을 조사하였다. 또한 현장조사를 통하여 하도 특성을 평가하였고 그 구간에서의 단기 하상변동 양상을 살펴보기 위하여 계획홍수량 규모의 유량에 대하여 2차원 하상변동 수치모의를 실시하였다. 또한 장기하상변동 예측을 위해 지배유량을 이용하여 문산천의 전체하도구간에 대하여 HEC-6 모형을 적용하였다.

## 2. 문산천의 하도특성량 조사

### 2.1 대상유역 개요

본 연구의 대상유역으로 임진강 유역의 충적하천인 문산천을 선정하였다. 문산천은 경기도 파주시 탄현면 내포리 임진강 하류부 좌안측으로 유입, 임진강에 합류되는 유역면적 188.20 km<sup>2</sup>, 유로연장 29.2 km인 한강의 제2지류로서 유역의 동쪽은 신천유역과 서남쪽으로는 탄포천 및 곡릉천유역 그리고 북쪽으로는 임진강 본류 잔유역과 접하고 있으며 유역내 행정구역은 경기도 파주시 및 양주시 등 2시, 3읍, 3면을 포함하고 있다.



그림 1. 문산천 유역도

하상은 조수의 영향을 받는 하류부에서는 Silt질 Loam 으로 형성되어 있고 상류부는 굵은 모래와 자갈등의 골재가 분포되어 있다. 하폭은 하류부에서 약 200 m, 중상류부에서는 130 m정도이며 하상경사는 하류부에서는 1/5,300으로 아주 완만하고 상류부는 1/540로서 다소 급한편이며, 군사분계선과 멀지 않은 지역이란 유역의 특수성을 가지고 있다. 문산천 유역의 유역도는 그림 1과 같다.

### 2.2 지배유량 산정

본 연구의 하도특성량 산정에 사용된 지배유량은 저수로의 강터(bankfull)에 해당되며 하도의 크기와 평면형태를 결정하는 유량이다. 본 연구의 지배유량은 문산천 유역의 지배유량 산정(강경석 등, 2005)의 결과를 이용하였으며, 표 1과 같이 충적하천구간의 시작인 No. 29 지점에 대한 강터유량(166 m<sup>3</sup>/s)의 재현기간에 해당하는 1.3년 빈도유량을 문산천 국가하천구간에 대한 지배유량으로 선정하였다.

표 1. 대상지점의 강터유량에 대한 특정 재현기간 산정

대상지점	유역면적 (km <sup>2</sup> )	유로연장 (km)	강터유량 (m <sup>3</sup> /s)	재현기간 (년)	홍수량 (m <sup>3</sup> /s)
No.29 ~ No.44	98.11	23.7	138 ~ 170	1.1	98
				1.3	165
				1.5	232
				2	317
				3	417
				5	531
				30	891
				50	994
				80	1,085
100	1,128				

### 2.3 하도특성량 산정

하도는 유량, 하상경사, 유사량, 하상과 제방의 유수에 대한 저항, 지형 및 지질 그리고 인간의 각종 활동 등에 따라 그 특성이 달라진다. 이들 인자는 상호간에 관계를 맺으면서 어떤 하도의 특

성을 규정짓게 되고 각 인자의 중요도에 따라 하도의 물리적 특성을 달리하게 된다. 현 하도의 특성을 파악하는 것은 하도계획을 수립하는데 있어서 조도계수의 산정과 하도의 안정성 등을 판단하기 위해 필수적이며, 이러한 하도의 특성인자는 ① 하상경사, ② 대표입경, ③ 저수로내 평균수심, ④ 에너지 경사, ⑤ 마찰속도, ⑥ 무차원 소류력, ⑦ 수면폭-수심비, ⑧ 수심-입경비 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 지배유량 유하시 저수로내 평균 하상고에서 산정된 하상경사와 대표입경을 이용하여 유사한 하도특성을 갖는 하도구간으로 분할하는 ‘세그먼트 구분’을 그림 2와 같이 분류하였으며 각각의 세그먼트의 평균 에너지 경사를 이용하여 표 2와 같이 마찰속도와 무차원 소류력을 산정하였다.

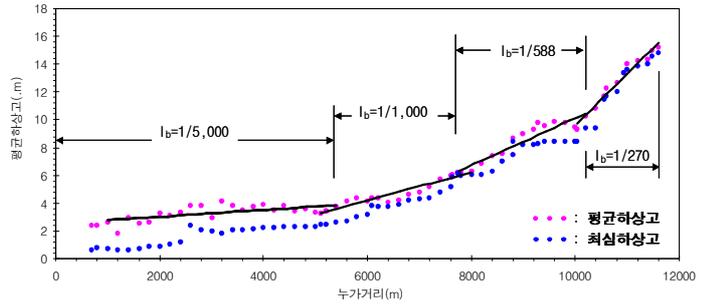


그림 2. 문산천의 세그먼트 구분

표 2. 지배유량 유하시 마찰속도와 무차원 소류력

측점 (No.)	마찰속도 (cm/s)	무차원 소류력	측점 (No.)	마찰속도 (cm/s)	무차원 소류력	측점 (No.)	마찰속도 (cm/s)	무차원 소류력
29	11.49	3.49	39	11.31	1.05	49	8.80	0.03
30	12.68	3.60	40	11.46	1.06	50	10.41	0.07
31	12.02	2.05	41	8.98	0.05	51	8.35	0.03
32	13.31	3.62	42	7.50	0.02	52	10.19	0.03
33	12.78	5.80	43	7.91	0.02	53	10.45	0.04
34	11.84	0.87	44	9.20	0.37	54	9.69	0.03
35	11.81	2.16	45	9.51	0.08	55	12.24	0.07
36	11.02	0.46	46	8.83	0.07	56	12.17	0.19
37	10.13	0.06	47	8.71	0.03	57	12.28	0.09
38	10.98	0.49	48	8.00	0.04	58	9.78	0.03

## 2.4 하도의 안정성 평가

하도의 수리량에 기초한 현 하도의 평형상태에 대한 분석은 마찰속도와 대표입경의 관계와 무차원 소류력과 대표입경의 관계로부터 판단해 볼 수 있다. 그러나 국내의 경우 전국의 평형상태에 이른 하천 구간의 마찰속도와 무차원 소류력의 자료가 정리되어 있지 않은 상태에서는 직접 적용이 어려우나, 자연 친화적 하천정비기법 개발 보고서(건교부, 2001)에 따르면, 일본의 하천특성과 우리나라의 하천특성에 따른 적용성 문제는 크지 않을 것으로 가정하여 마찰속도-하상재료입경관계를 하도의 안정성 판단을 위한 정성적인 방법의 하나로 제시하고 있으므로 이를 이용하여 금회 문산천에 대한 안정성 문제를 검토하였다. 그러나 하도의 수리량에 기초한 방법의 경우 일본의 평형하천에 대해 조사된 관계를 이용하는 것으로 국내 하천의 자료가 아닌 점을 주지하여 판단의 범위를 대상구간에 대한 전반적인 특성을 검토하는 수준으로 하였다.

하도수리량을 기초로 현 하도의 안정성을 검토하기 위해 하류의 조석의 영향을 받는 구간을 제외한 총적하천구간인 No. 29 ~ No. 58에 대하여 마찰속도( $u_*$ )와 대표입경( $d_R$ )의 관계와 무차원 소류력( $\tau_{*R}$ )과 대표입경( $d_R$ )의 관계를 도식한 결과는 그림 3과 그림 4와 같다. 자연 친화적 하천정비기법 개발 보고서(건교부, 2001)에 따르면 그림 4의 마찰속도와 대표입경간의 관계에서 한 구간의 마찰속도가 곡선 위에 위치할 때는 마찰속도가 감소되는 경향을 갖게 될 것이고, 곡선 아래 위치할 때는 마찰속도가 증가하는 경향을 갖게 될 것이다. 마찰속도가 감소한다는 것은 저수로 수심이 감소하는 것을 의미하므로 저수로폭이 고정되어 있는 경우 하상의 상승이 발생하며, 마찰속도가 증가한다는 것은 하상저하가 발생할 수 있다는 것을 정성적으로 예측할 수 있다.

그림 3의 무차원 소류력과 대표입경간의 관계를 보면 No. 29~No. 35까지의 무차원 소류력들이 평형곡선의 위쪽에 위치하고 있고 No. 41~No. 54는 평형곡선 아래쪽에 위치하고 있다. 또한 그림 4의 마찰속도와 대표입경간의 관계도 동일한 경향을 보여주고 있다. 여기서 No. 29~No. 35 구간의 하상의 상승은 그림 5와 같이 문산천이 '96, '98, '99년에 대홍수를 겪으면서 2000~2002년 동안 개수공사와 수해복구공사로 인한 인위적인 굴착에 대한 퇴적으로 하천이 평형상태로 환원하고자 하는 것으로 판단되며, No. 41~No. 54 구간의 하상의 저하는 문산천의 상류구간으로 큰 하상경사와 백석보(No. 44+10), 너부여보(No. 52+150) 그리고 연당보(No. 54+140)의 영향인 것으로 판단된다.

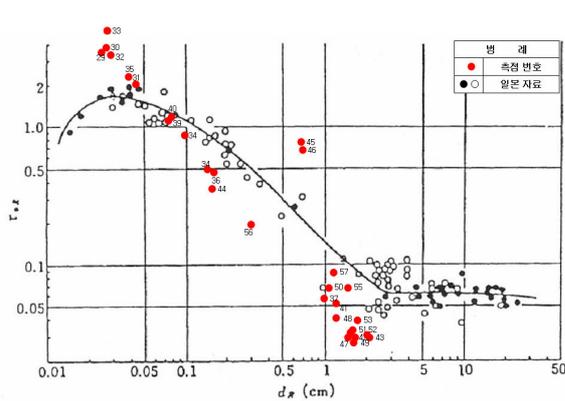


그림 3. 문산천의  $\tau_{*R} - d_R$  관계

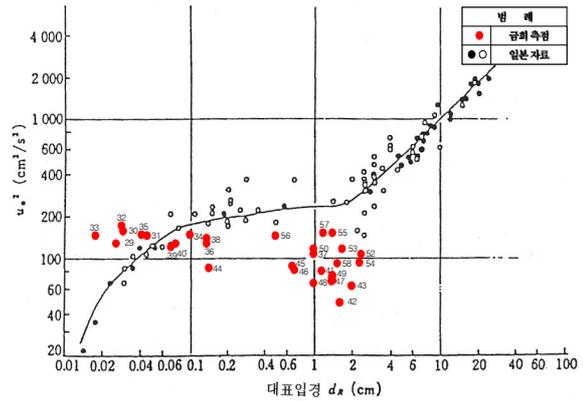


그림 4. 문산천의  $u_*^2 - d_R$  관계



그림 5. 옥석교(No.30+80) 상류의 하도변화사례

### 3. 하상변동예측

#### 3.1 RMA2/SED2D에 의한 단기하상변동 예측

그림 5의 옥석교(No. 30+80)상류의 하상변동양상을 살펴보기 위하여 2차원 하상변동 수치모의를 실시하였다. 흐름과 하상변동을 모의하기 위하여 미공병단에서 개발한 RMA2와 SED2모형이 각각 사용되었다. 본 모의대상은 그림 6과 같이 문산천 월룡교(No.38)하류부터 옥석교(No.31) 사이 1.43 km 구간으로 완만한 만곡수로를 이루고 있으며 홍수터에 식생이 발달되어 있는 특징이 있다. 수치모의는 지속시간 24시간의 100년 빈도 홍수가 발생하는 경우를 가정하여 형성되는 흐름양상과 하상변동 특성을 살펴보았다. 상류단 유입유사량은 임진강-문산천 하상변동조사보고서(건

교부, 2001)에서 산정된 유사량 공식을 이용하였으며 수치모의에 적용된 조도계수는 각 측선마다 저수로와 고수부지로 나누어 구한 조도계수를 평균하여 전체하도에 적용하였다.

흐름해석에 대하여는 100년빈도 홍수량에 대하여 10시간 동안의 2차원 부정류 해석을 실시하였으며 침투유량 유입시의 유속분포는 그림 7과 같다. 이러한 2차원 흐름해석 결과를 바탕으로 SED2D에 의한 2차원 하상변동 수치모의를 수행하였고 10시간 모의 후 최종 하상고 및 변동량은 그림 8과 그림 9와 같다. SED2D와 RMA2는 수치모형상에서 연계되지 않아 하상변동에 의한 흐름변화를 반영할 수 없다는 단점이 있다. 또한 상류단으로부터 하류방향 400~700 m 사이에서 하상경사의 감소로 인한 퇴적층의 두께증가는 이 구간이 평면도 상에서 만곡부에 해당되며 만곡부에서 상대적으로 큰 퇴적이 발생하는 이유를 설명해준다.



그림 6. 단기하상변동 수치모의 대상구간

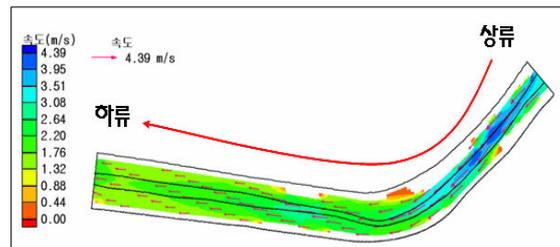


그림 7. 침투유량 유입시 유속분포

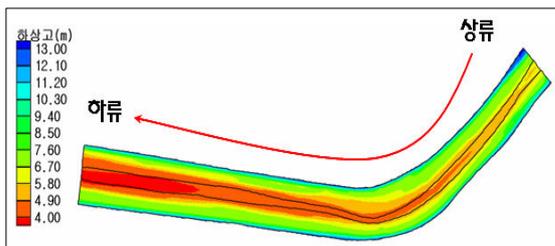


그림 8. 모의 하상고(10시간 후)

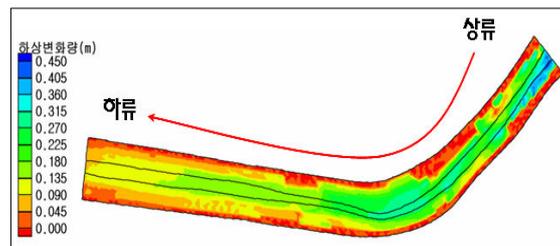


그림 9. 하상 변동량(10시간 후)

### 3.2 HEC-6에 의한 장기하상변동 예측

정성적인 방법에 의한 하도의 안정성은 2.4절에서 검토한 결과 향후 하도의 변화에 따른 장기적인 영향을 고려하기 위하여 장기 하상변동 모의의 필요성이 있다. 본 연구에서는 일차원 하상변동모형으로 하도정비지침: 안정하상설계(건교부, 2002)에서 제안된 HEC-6모형을 이용하여 문산천 국가하천구간에 대하여 장기 하상변동을 모의하였다.

모형의 수행조건으로는 국가하천 도시구간 하천환경정비 기본조사(1권역)(건교부, 2004)의 측량성과를 이용하여 하천 횡단구조물인 보를 고정상 모형으로 보고 모의를 수행하였고 하상재료의 입도를 이용한 조도계수를 각각의 단면에 사용하였으며, 입도등급별 하상토의 구성비 자료는 하상재료 조사성과를 이용하였다. 모형의 수행을 위한 수문자료는 강경석 등(2005)이 적성수위표자료를 이용하여 만든 유행곡선을 사용하였고 각 지천의 유입유량은 유역 면적비에 근거하여 결정하였으며 하류의 기점수위는 HEC-RAS모형을 이용한 부정류 계산을 통하여 산정하였다. 위의 수문자료를 장기 하상변동 예측기간에 해당하는 만큼의 유량을 반복하여 적용하였으며 하상의 최대세굴심도와 유사량공식은 임진강·문산천 하상변동조사보고서(2001, 건교부)와 동일하게 사용하였다.

문산천의 최심하상고를 HEC-6 모형에 의해 수치모의한 결과와 최심하상고의 변동량을 5년 간격으로 도시한 결과는 그림 10과 그림 11과 같으며 예측결과 최심하상고의 장기변화는 1m 이내로

변화가 크지 않으나 변화가 큰 상류의 경우는 백석보(No. 44+10), 너부여보(No. 52+150) 그리고 연당보(No. 54+140)의 영향인 것으로 판단되며 No. 31~No. 37 구간의 퇴적은 현장조사 결과에서도 사주의 형성이 많은 지역으로 2.4절에서도 언급했던 것처럼 인위적인 굴착에 대한 퇴적으로 하천이 평형상태로 환원하고자 하는 과정인 것으로 판단된다.

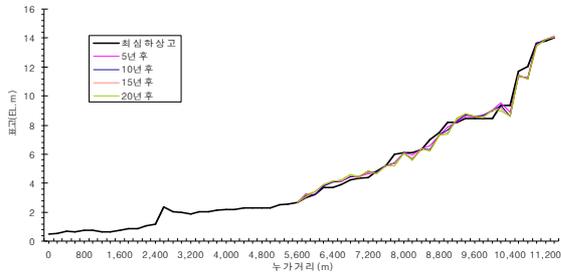


그림 10. 최심하상고의 장기예측

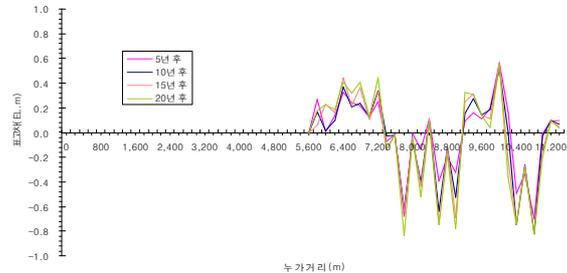


그림 11. 최심하상고의 변동량

#### 4. 결론

본 연구에서는 임진강 유역의 충적하천인 문산천을 대상으로 지배유량을 산정한 후 지배유량 유하시의 마찰속도와 무차원소류력 등의 하도특성량을 산정하여 토사이송이 크게 발생하는 구간을 정성적으로 예측하였다. 예측된 구간의 현장조사결과 No.29~No.35 구간의 하상의 상승은 개수공사와 수해복구공사로 인한 인위적인 굴착에 대한 퇴적으로 하천이 평형상태로 환원하고자 하는 것으로 판단되었고, No.41~No.54 구간의 하상저하는 문산천 상류구간의 큰 하상경사와 보의 영향인 것으로 조사되었다. 또한 1, 2차원 모형에 의한 장·단기 하상변동 분석결과 하도특성량을 이용한 하도의 안정성 평가와 유사한 결과를 보였다. 따라서 문산천의 경우 하상변동의 양상 파악 및 하도의 안정성 판단을 하는데 있어 하도특성량을 근거로 판단하는 방법의 적용가능성을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 임진강 유역조사용역 중 하도특성조사의 일환으로 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

1. 강경석 등(2005). 문산천 유역의 지배유량 산정, 2005년도 학술발표회 논문집, 대한토목학회, pp. 2547-2550.
2. 건설교통부(1997). 문산천(직할하천) 하천정비기본계획.
3. 건설교통부(2001). 임진강·문산천 하상변동조사보고서.
4. 건설교통부(2001). 자연 친화적 하천정비기법 개발 보고서.
5. 건설교통부(2002). 하도정비지침: 안정하상설계.
6. 건설교통부(2005). 국가하천 도시구간 하천환경정비 기본조사(1권역).