

하천 축소부에서의 유사거동 특성에 관한 실험적 연구

Hydraulic Characteristics of Sediment Transport in the Narrow Pass of River

최호균* · 김원일** · 이삼희*** · 안원식****

CHOI, Hokyun · KIM, Wonil · LEE, Samhee · AHN, Wonsik

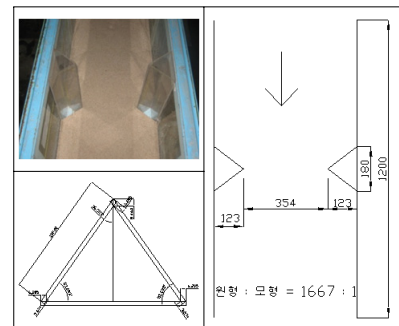
Abstract

There are lots of the narrow pass on alluvial channel of Korea. Most of research about this narrow pass of channel were focused on incremental effect of water level at backwater segment. In the meantime this research showed that it is important to valuate the river-bed variation at backward and forward around narrow pass. The sediment deposit at not only the backward of narrow pass but also the forward affected incremental effect of water level. The sediment deposit at the forward of narrow pass headed by sediment that passed through the narrow passed or scoured right around it.

Key words : river-bed variation, narrow pass of channel, sediment regime

1. 서 론

노년기 지형이 대부분을 이루는 우리나라 하천에는 지형적인 특성에 따라 특이하도 구간이 많이 나타나고 있으며, 특히 하도 협소부가 곳곳에 산재하고 있다. 이와 같은 협소부에서 고정상 개념에 입각한 배수위에 대한 연구가 그동안 주를 이루었으나, 실제 하천은 고정상 형태보다는 이동상 형태가 대부분이며, 특히 하천 협소부와 같은 특이하도에 연구는 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 이동상 하도의 협소부에서 상류의 배수위 영향뿐 아니라 하류 방향에서 하천 관리상 중요하게 고려되어야 할 하상변동 특성에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 하천 협소부 직상류의 수위상승에 따른 재해 취약점을 구조적인 문제보다는 하상과의 거동특성에 따른 연관성을 규명하고, 협소부 직하류의 일정구간에 서도 다시 국지적인 하상퇴적 현상을 하도 수리학적 의미로 밝히고자 한다.



(단위 mm)

그림 1. 협소부의 실험제원

2. 실험조건과 방법

본 실험을 위해 사용한 실험수로는 1/50~1/2,000 까지 경사조절이 가능하며, 길이 17 m, 폭 0.6 m 그리고 높이 0.6 m이다. 하천 협소부에서의 유사거동 특성을 파악하기 위하여 그림 1과 같이 실험수로에 등류구간인 9 m 지점에 단면을 축소시키는 삼각형 구조물을 설치하였다. 축소부에 산정된 구조물의 크기와 형태는 낙동강 선산지구의 축소부 지역을 대상으로 하였으며, 기하학적인 상사만을 고려하여 제작하였다. 그리고 실험수로의 전 바닥에 걸쳐 입경 1 mm의 균일한 모래를

표 1. 설정 유량

구 분	수 심		
	5 cm	10 cm	
	유량(m ³ /s)		
수로 경사	1/400	0.012	0.034
	1/500	0.010	0.029
	1/1,000	0.006	0.018

* 정희원 · 수원대학교 토목공학과 · 석사과정 · E-mail : ghrbs011@nate.com
 ** 정희원 · 수원대학교 토목공학과 · 박사과정수료 · E-mail : wikim@suwon.ac.kr
 *** 정희원 · 한국건설기술연구원 · 책임연구원 · E-mail : samhee.lee@gmail.com
 **** 정희원 · 수원대학교 토목공학과 · 교수 · E-mail : wsan@suwon.ac.kr

수로의 전 구간에 15 cm 두께로 부설하였다. 유사 입경 결정은 1/1,000의 5 cm 등류수심에서의 무차원 한계소류력으로 평가하여 설정하였으며, 실제 예비실험 단계를 통해 소류거동 특성을 검증하였다. 모형 설치지점에서의 흐름상태 및 유사의 이동상태를 확인하기 위하여, 구조물 부근의 하상재료는 각각 구분하여 염색하였고, 최종 결과를 확인하기 위한 하상은 스케치 및 사진촬영과 비디오 촬영을 병행하였다. 하도 축소에 따른 수리학적 특성 규명을 위하여 최종적인 결과는 구조물의 설치 전과 후를 비교하였고, 수로경사는 1/400, 1/500, 1/1,000이며, 각 경사별 초기 수심 5 cm와 10 cm의 등류 수심이 확보되는 유량으로 그림 1과 같이 설정하고 각각의 실험 조건에 따라 30분간 유하시켰다.

3. 실험결과의 분석

본 실험 결과로 실측된 수리량의 관측 및 분석은 유속, 수심, 마찰속도, 무차원소류력, 폭-수심비, 수심-입경비, 하상 변동량 등이다. 그런데, 유사입경이 1 mm 균일사를 사용하였으므로 마찰속도는 무차원소류력, 수심과 수심-입경비는 폭-수심비에서 평가되므로 유속, 무차원소류력, 폭-수심비만을 대상으로 평가하였으며, 각 단면의 수리량은 평균치를 사용하여 결과값을 정리하였다. 그리고 하상의 미지형 변동특성 분석에서는 1/1,000의 수위 5 cm에서 이동성을 허용하는 한계소류력을 채택하여 1/1,000의 수위 5 cm에서 하상표층의 이동성을 확인하였으며, 1/1,000의 수위 10 cm에서는 표층 전반에 걸쳐 이동성을 확인하였다. 단, 1/1,000의 경사에서는 구조물 설치전·후에서 유사레짐에 대한 평가를 할 수 있는 의미 있는 하상과가 관측되지 않아 미지형 변동분석에서는 제외하였다.

3.1 수리량 분석 결과

(1) 유속(그림 2)

구조물 설치 전 1/1,000 경사에서는 수심차이에 따른 유속변화가 미미하고, 구조물 설치 후에도 수심별 종단 유속변화 양상은 거의 비슷한 양상을 보이고 있는데, 구조물 설치 직전구간에서 유속증가가 시작되어 구조물 지점에서 형성된 최대치가 직후까지 다소 이어진 후 구조물 설치 전 단계로 회복되는 양상을 보이고 있다. 이는 이동상이 활발하지 않아 통상 고정상 수로에서 나타나는 양상과도 유사한 것으로 평가된다. 구조물 설치 전 1/500 경사에서는 수심별 파형의 변화를 보이기 는 하나 거의 비슷한 양상으로 일정한 종단변화를 보여 주고 있으나, 구조물 설치후의 종단 유속변화 양상과는 다소 다르게 나타나고 있다. 구조물 설치 직전구간에서 감소했던 유속이 설치지점(5 cm 경우) 또는 설치지점 통과후(10 cm 경우), 설치 전 단계로 회복된 후 일정구간을 지나서는 유속이 증가하고, 다시 일정구간을 지나 회복되는 양상을 보이고 있다. 구조물 설치 전 1/400 경사에서 수심 5 cm와 10 cm를 비교하면, 5 cm에서는 긴 파장의 파형을 보이고 10 cm에서는 다소 짧은 파장의 파형이 형성되는 특징을 보이고 있다. 구조물 설치 후 5 cm에서는 구조물설치 상단부의 설치 직전보다 증가했던 유속이 설치지점에 이를 때까지 유속이 급감하는 양상을 보이고 있다. 그리고 이후 설치 지점 직후를 향하면서 설치 전보다 유속이 급증하는 것을 알 수 있다. 그러나 수심 10 cm에서는 구조물 설치 전과 거의 유사한 파형을 보이는데, 구조물 설치 지점에서도 유속의 큰 변화는 발생하지 않는다는 확인되었다.

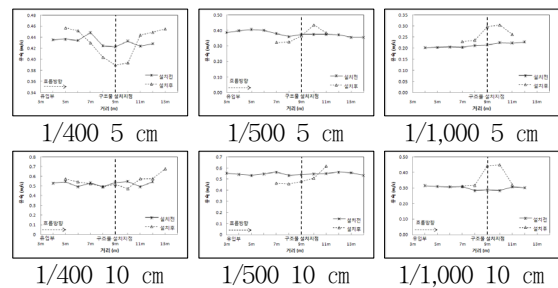


그림 2. 각 case별 설치전·후의 유속 비교

(2) 무차원 소류력(그림 3)

무차원 소류력은 마찰속도와 입경비, 입경의 수심비중과 상관관계가 있어 입경의 종단 분포에 따라 달라질 수 있다. 그러나 본 실험에서는 표준 모형을 1 mm의 균일사를 대상으로 하였으므로 무차원 소류력의 종단 변화는 마찰속도와 같은 양상을 보이게 된다. 여기서 경사가 증가함에 따라 무차원 소류력이 한계소류력을 크게 넘어서는 전형적인 이동상 특징을 보여 주고 있다. 특히 구조물 설치 후의 경우에는 구조물

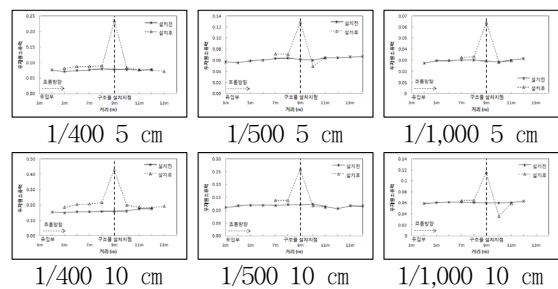


그림 3. 각 case별 설치전·후의 무차원소류력 비교

설치지점 직전에서 시작된 세굴 능력이 설치지점에 도달하여서는 무차원 소류력이 최대치를 보이고 있으며, 이후 급속히 이동한 유사가 퇴적하는 양상인 무차원 소류력이 급감하고 있다. 1/1,000의 수심 10 cm와 1/500의 수심 5 cm에서 무차원 소류력의 현저한 중단변화가 나타나는데, 이는 구조물설치에 기인하는 하상과의 변동으로 이해된다. 즉 구조물 설치 지점을 통과한 유사가 짧은 구간에서 걸쳐 퇴적한 후 다시 세굴되는 양상과 일치하는 것으로 분석된다. 하지만 이러한 현상은 일반적인 이동상 하도에서의 하상과 변동특성과는 성격이 다른 것으로 이해된다.

(3) 폭-수심비(그림 4)

폭-수심비는 전술한 수심의 중단변화의 반대양상을 보이는데, 이는 고정된 단단면 형태의 실내실험수로이며, 하안변화가 허용되지 않기 때문이다. 폭-수심비가 가지는 물리적 특징으로서 구조물 설치 후 설치지점에서 전·후와 비교해 볼 때 1/1,000의 10 cm를 제외하면 유사이동성이 왕성하고, 하상과의 성격이 전후와는 크게 다르다는 것을 보여주고 있다. 경사가 급할수록 설치지점의 상·하류구간에서 하상과의 이동성과 그 형태, 즉 유사레짐이 다소 다른 양상을 보일 수 있음을 보여 주고 있다.

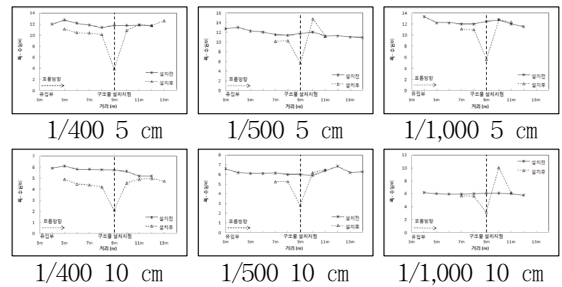
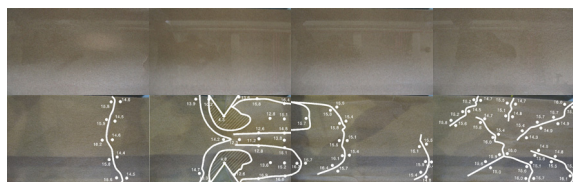


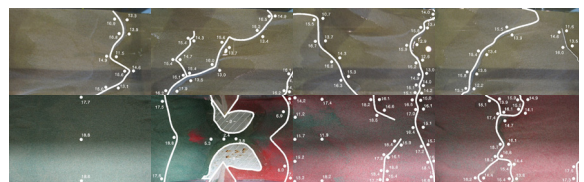
그림 4. 각 case별 설치전·후의 폭-수심비 비교

3.2 하상변동량 분석 결과

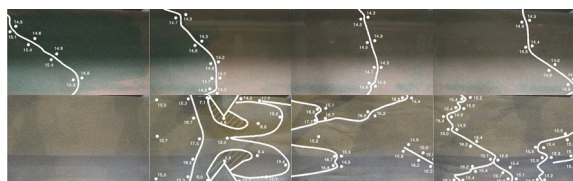
하상변동량 해석은 1 mm 균일사를 15 cm 두께로 부설하여, 바닥을 기준으로 표기된 상기 그림으로 확인하였다. 그림 5와 같이 경사 1/500의 수심 5 cm에서 구조물 설치 전에는 표토층의 이동성은 확인할 수 있었으나, 아주 미세한 이동으로써 하상파가 형성되지는 않았으나, 구조물 설치 후에는 구조물 주변의 미지형 변화가 뚜렷하게 나타났다. 구조물 전단부에 집중적인 국소세굴양상이 확인되었고, 8 m 지점에서는 이동형태의 사구가 형성되었지만, 그의 이동성은 미미한 정도였다. 한편, 10 m 지점에서는 퇴적에 따른 사구 형태를 보이고 있으며, 11 m 지점에서는 불완전한 사륜형태가 형성되고 있다. 이는 구조물 영향에 따른 흐름의 변화가 하류방향으로 불안정하게 영향을 미치기 때문인 것으로 추정된다. 그림 6과 같이 1/500의 10 cm에서 구조물 설치 전 하상파의 형태인 사구가 형성되어 이동하고 있음을 확인할 수 있었다. 구조물 설치 후 설치지점의 전단부에서는 바다 경계까지 국소세굴이 발생한 것을 알 수 있으며, 설치지점의 직하류 구간에선 전 단면에 걸쳐 세굴되면서 10 m에 이르러서는 퇴적된 사구를 확인할 수 있었다. 한편 설치 지점 직상류에서는 이동성이 크게 둔화된 퇴적형태가 전반적으로 형성되었는데, 이는 공급된 유사가 구조물이 설치됨에 따라 배수위의 영향으로 유사이동능력이 떨어진 것 때문이라 평가된다. 구조물 설치지점 이후의 하상파는 설치 전보다 불안정한 사구로 이동되고 있음이 확인되었다. 그림 7과 같이 경사 1/400의 수심 5 cm에서 구조물 설치 전에는 전형적인 사구가 형성되어 이동성이 활발한 모습을 보였다. 구조물 설치이후는 1/500의 10 cm와 다소 유사한 형태를 보이고 있다. 다만, 구조물 설치 후 설치지점의 전단부에서는



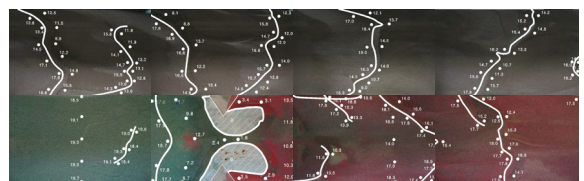
8 m 지점 9 m 지점 10 m 지점 11 m 지점
그림 5. 구조물 설치전(상)·후(하)의 하상변화(경사 : 1/500, 수심 : 5 cm)



8 m 지점 9 m 지점 10 m 지점 11 m 지점
그림 6. 구조물 설치전(상)·후(하)의 하상변화(경사 : 1/500, 수심 : 10 cm)



8 m 지점 9 m 지점 10 m 지점 11 m 지점
그림 7. 구조물 설치전(상)·후(하)의 하상변화(경사 : 1/400, 수심 : 5 cm)



8 m 지점 9 m 지점 10 m 지점 11 m 지점
그림 8. 구조물 설치전(상)·후(하)의 하상변화(경사 : 1/400, 수심 : 10 cm)

바닥경계까지 국소세굴 되지 않았다. 그리고 설치지점의 직상단부의 사주 전선부가 설치지점까지 근방까지 형성되었으며, 설치지점 이후는 불안정한 퇴적 지향성의 사구가 형성되고 있음을 확인할 수 있다. 그림 8과 같이 경사 1/400의 수심 10 cm에서 구조물 설치 전 하상과의 형태는 사구에서 평탄하상으로 이동하는 천이단계의 초기양상을 보여주고 있다. 특히 사구의 높이가 1/400의 5 cm에 비해 크게 커지고 있음을 확인할 수 있었다. 구조물 설치 후 설치지점의 전단부에서는 바닥경계까지 국소세굴 되었으며, 설치지점의 직하류 구간에선 10 m지점에서부터 접안사주형태의 사구가 형성되면서 11 m에 이르러서는 퇴적된 사구를 확인할 수 있었다.

3. 실험결과에 대한 평가(결론)

하상미지형의 변화 지표를 대표하는 무차원 소류력의 산정 결과가 실험에 따른 하상의 미지형 변동특성 거의 일치한다는 사실을 확인할 수 있었다. 구조물 설치 후를 설치 전과 비교해 볼 때, 구조물 설치지점에서 무차원 소류력이 최대치가 발생하였는데, 실험결과에서도 설치지점 전단부에서 대체로 최대국소세굴이 발생하였음을 확인하였다. 특히 설치지점 상단부에서 설치 후 무차원소류력이 저하하였는데, 실험에서도 설치 전에 형성되던 하상과가 사라지고 공급된 토사가 쌓여 오히려 퇴적하는 양상을 보여 주었다. 한편, 설치지점의 하단부에서는 무차원 소류력이 크게 감소하였는데, 실험결과에서도 퇴적현상이 일어나 동일한 의미의 양상을 보여 주는 것을 알 수 있다.

그동안의 고정상 형태를 전제한 하도 연구에서 통상 하천 협소부 직상류에서는 배수위 영향으로 수위상승이 기대되고 이에 대한 해석이 주를 이루었다. 본 실험결과에서도 하천 구조물 설치지점 이전의 수위 상승 효과를 확인하는 것으로 그 현상이 입증되었다. 그러나 이동상에 의한 수리모형 실험결과, 기존의 하천공학적 관심사를 넘어서는 의미있는 현상을 규명할 수 있었다. 첫째 하천 협소부 직상류의 수위상승 효과가 단순히 구조물의 영향만 아니라 하상과의 거동 특성과도 연관이 있음을 확인할 수 있었다. 즉 배수위에 대한 영향은 곧 바로 하상과의 형태와 거동양상에 영향을 미치는데, 그것은 주로 퇴적양상으로 나타나고 이에 따라 수위상승에 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다. 그리고 구조물 직하류에 일정구간에서도 다시 국지적인 하상퇴적 현상이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 일정구간에 걸쳐 안정하도를 형성하던 하도가 협소부로 인해 세굴지향적인 불안정한 하상이 안정하도로 회복되는 단계에서 국지적인 퇴적현상이 일어난다는 사실이다. 이는 하천 협소부 하류부에서 불안정한 하상과에 따른 하안침식과 같은 취약한 요소외에 구조물 직상단부의 배수위 영향권과는 전혀 성격이 다른 퇴적에 비롯되는 수위 상승이 있을 수 있다. 특히 1/400의 10 cm의 실험결과에서도 확인할 수 있었다. 하천구조물에 의한 수위 및 하도특성량 변화는 단순한 주어진 유량과 하천 형태, 경사, 일정 조도 등에만 국한되는 것이 아니라, 미지형에 따른 시공간적 수리특성이 중요하다는 것을 확인할 수 있었다. 특히 조도계수도 하상과에 의한 유사레짐뿐만 아니라, 하상과가 수위와 유량 조건 그리고 하상변동 특성에 따라 유체력으로 작용할 수 있다는 것을 확인하고, 본 실험결과가 향후 연구의 기폭제로 활용될 수 있음을 기대할 수 있다.

감사의 글

본 연구를 위한 수리모형실험은 육군사관학교 수리모형실험장에서 이루어진 것으로, 육군사관학교 학교당국에 감사드립니다.

참고문헌

1. 서일원 · 정태성 · 김영한 (1998), “이동상 하천모형이론의 수립과 적용”, 「한국수자원학회논문집」, 제31권 제5호, p. 575-586.
2. 손광익 · 김문모 (2004), “이동상 하도내 하천시설물의 위치결정에 대한 기술적 검토”, 「2004년도 분과위원회 연구과업보고서 수공기술분과」, 한국수자원학회,
3. 옥기영 · 이삼희 (2006), “하도의 이동성 감소에 따른 하천 지형의 변화 연구 (지석천을 대상으로)”, 「한국수자원학회 2006 학술발표회 논문집」, p. 1042-1046.
4. 山本晃一 (2004), 「構造沖積河川學」, 山海堂.
5. R.S.E.W. Leuven, A.M.J. Ragas, A.J.M. Smits, G.van der Velde (2006), “Living Rivers: Trends and Challenges in Science and Management (Developments in Hydrobiology)”, Springer; 1 edition, 372 pages, July 28.