

이동상 수리모형실험을 통한 만곡부 모래사주의 거동특성 분석

Understanding on Characteristics of the Sand Bars' Movement in the Meandering Reaches by a Movable-Bed Experiment

이삼희*, 황승용**, 박재민***

Samhee LEE, Seung-Yong HWANG, Jaemin PARK

요 지

최근 우리나라에서 하천 및 유역 환경의 급격한 변화로 인하여 하천 형태가 많이 변하고 있는 추세이다. 특히 사행하는 모래 하천에서 만곡부 사주의 형태 변화가 커지고 있다. 이 연구에서는 이와 같은 모래 하천의 만곡부에서 사주의 변화 특성을 평가하고 그 원인을 파악하기 위하여 이동상 수리모형 실험을 실시하였다. 실험에서 하천 및 유역의 여러 상황 변화를 감안하여 유량, 유사 공급량, 공급 시간, 하천 변형 등 다양한 조건을 상정하였다. 연구 대상하천은 낙동강 본류이며, 중점 수리모형 실험대상 구간은 우리나라의 전통 민속마을인 안동 하회마을을 태극형으로 감싸면서 사행하는 만곡부이다. 이동상 실험규모는 수평축적 1/110, 수직축적 1/50로 왜곡도가 2.2로써 비교적 대규모이다. 모형 하상재료는 입경 0.29 mm의 석탄분(anthracite)을 채택하였으며, 현장에서 하상재료조사와 상사해석을 통해 결정하였다.

실험 결과, 유량과 유사 공급량 변화에 따른 사주 변화가 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 특히 유사 공급이 이루어지지 않을 때 국지적 퇴적양상을 보였다. 이는 사주 내 식생활착으로 이어지는 계기가 될 수 있음을 확인할 수 있었다. 그리고 설계홍수량 규모에서 구하도와 과거 사주가 재현되었는데, 이는 지역주민을 통해 입증되었다. 또한 천연기념물인 만송정 주변의 모래둔덕의 형성과정이 입증되었다.

핵심용어 : 낙동강, 하회지구, 만곡부, 이동상, 사주, 수리모형실험, 유사량

1. 서 론

하천의 모습은 유역과 하천의 시·공간적 변화에 응답하면서 끊임없이 변한다. 그 변화가 하천 관리의 허용 범위 내에 있을 경우에는 문제가 되지 않는다. 그러나 최근 우리나라에서 하천 및 유역 환경이 급격히 변화하면서 하상이 현저하게 변하고 있는 추세이다. 특히 사행하는 모래 하천의 만곡부에서 사주의 형태 변화가 커 하천관리에 우려가 되기도 한다. 낙동강 상류에 위치한 안동 하회지구(안동시 풍천면 하회리) 만곡부도 그 중 하나이다. 이동상 하도에서 만곡부 사주의 거동 및 변화 특성을 파악하는 것은 하천관리는 물론 건전한 하천생태계 보전에도 중요할 것이다.

이 연구에서는 낙동강 하회지구의 만곡부에서 사주 특성을 평가하기 위하여 이동상 수리모형 실험을 실시하였다. 만곡부에서의 사주 거동특성을 파악하기 위한, 가장 합리적인 방법인 것으로 판단한 결과이다. 실험에서 하천 및 유역의 여러 상황 변화를 감안하여 유량, 유사 공급량, 공급 시간, 하천 변형 등을 실험조건으로 상정하였다. 이를 통해 수치해석으로는 재현이 어려운 사주 미지형 변화 내용과 천연기념물인 하회마을 만송정 주변 모래둔덕의 형성과정을 분석한다.

* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 책임연구원·E-mail : samhee.lee@kict.re.kr
** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원·E-mail : syhwang@kict.re.kr
*** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 Post-Master·E-mail : jaeminpark@kict.re.kr

2. 연구 대상하천

2.1 대상구간의 현황과 하도특성

안동댐 하류부터 하회지구 하류의 구담교까지 약 35 ~ 40 km 구간에 걸쳐 하상변동과 관련한 일반적 하천 조사를 실시하고, 상류 병산서원 직하류부터 하류 광덕교 직하류까지 약 6 km 구간(그림 1)에 대해서는 수리 모형실험을 실시하였다.

안동댐 하류의 하천 횡단형은 대부분 하천개수공사로 인해 양안이 제방인 형태 또는 한쪽은 제방이나 대안은 산지부로 이루어진 형태가 주를 이루고 있으며, 만곡부의 점사주 형성으로 이루어진 복단면 형태를 제외한 대부분은 단단면 형태의 횡단형을 보이고 있다. 수리모형 실험구간인 하회지구의 최대곡률반경은 상류 점사주에서 330, 하류 점사주에서 360으로 태극형태의 급만곡부를 이루고 있다. 하상경사는 대상구간인 안동수위표에서 광덕교까지 1/1,500 정도이다. 그리고 현장 하상재료 입경 및 무차원 소류력의 종단 변화는 그림 2와 같다.

하회지구의 지피상황 및 사주 형태에 대한 변화는 그림 3의 항공사진에서 보는 바와 같이 최근 하천 내 식생의 활착이 현저한 것으로 나타나고 있다.

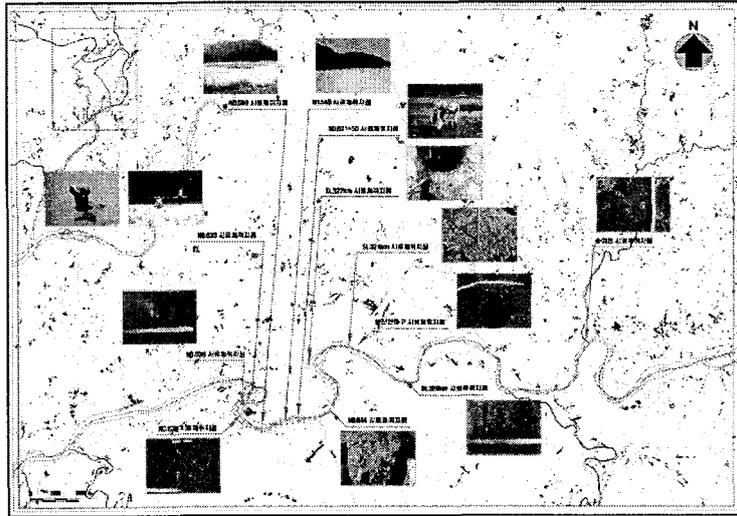


그림 1. 낙동강 하회지구의 연구대상 구간 및 하상재료 분급 현황

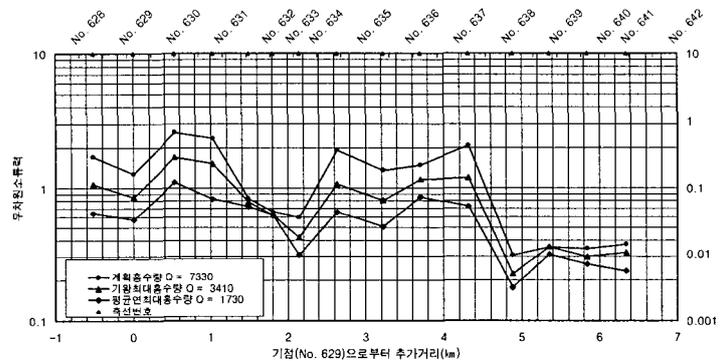


그림 2. 무차원 소류력 및 대표 입경의 종단 변화

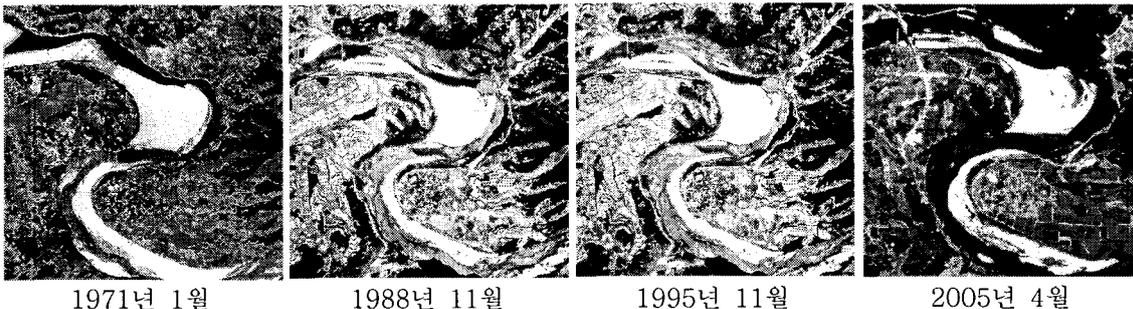


그림 3. 사주와 지피상황의 변화(자료제공: 국토지리정보원)

3. 수리모형 실험 내용

3.1 실험 개요

이동상 실험규모는 수평축척 1/110, 연직축척 1/50로 왜곡도가 2.2로써 비교적 대규모이다. 대상 구간에 대한 하상재료조사에서 하상재료의 대표입경은 약 2 mm였다. 상사해석을 통해 결정된 모형 하상재료는 0.29 mm의 석탄분(anthracite)이다. 실험실의 공간이 허락하는 한 모형의 축척을 가능한 크게 하였으나 관측 가능한 수심의 유지를 위해 약간의 왜곡은 감수하였다.

실험 조건은 평균연최대 홍수량, 기왕최대 홍수량, 그리고 계획 홍수량으로 공급 유량을 구분하고, 다시 모형 하상재료의 상류 공급 유무에 따라 나누었다. 기왕최대 홍수량에 대해서는 하회지구 하류 점사주 외측의 준설 안에 대해 추가로 검토하였으며, 계획홍수량에 대해서는 상류 공급 유사 가 없는 경우로 한정하였다. 평균연최대 홍수량은 안동수위표 지점에서 최근 10년간 연최대 홍수량을 평균한 값에 안동수위표와 하회지구 사이에 유입되는 지천인 송야천 합류 전후 계획 홍수량의 비율을 고려하여 1,730 m³/s로 산정하였으며, 하회지구에 대한 지배유량 규모로 판단하였다. 기왕최대 홍수량은 안동수위표 지점에서 기록된 최대 홍수량 3,025 m³/s에 지천 합류를 고려하여 3,410 m³/s로 설정하였다. 이에 따라 실험조건을 정리하면 표 1과 같다.

표 1. 이동상 수리모형실험 조건 설정

약어	유량 (m ³ /s)	통수시간(h)	급사유무	비고
M-I	1,730	2.5	x	
M-II	1,730	2.5	o	상류 급사량 0.555 m ³
M-III	3,410	1.0	o	상류 급사량 0.555 m ³
M-IV	7,330	0.5	x	
M-V	3,410	1.0	o	상류 급사량 0.555 m ³ 하류점사주 일부 준설

3.2 실험 결과

3.2.1 이동상 실험에 따른 하상형태

이동상 실험조건에 따른 실험후의 하상형태는 그림 4 ~ 그림 8과 같다.

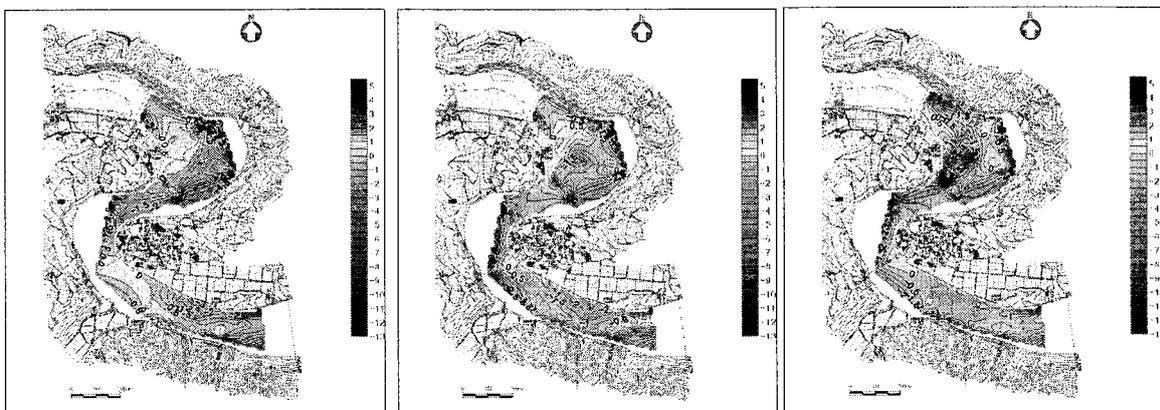


그림 4. M-I(1,730m³/s, 2.5 h 동안 유사 미공급) 그림 5. M-II(1,730 m³/s, 2.5 h 동안 0.555 m³ 공급) 그림 6. M-III(3,410 m³/s, 1 h 동안 0.555 m³공급)

3.2.2 이동상 실험에 대한 분석

평균연최대 유량 규모에서 2.5 h 동안 유사의 공급유무에 따른 미지형의 하상변동을 관찰하였다. 공급유사량은 예비 실험에서 공급 없이 2.5 h 동안 세굴된 양을 측정하여 결정하였다. 그림 4와 그림 5에서 보는 바와 같이 유사공급 유무에 따라 미지형의 변화가 다르게 나타나는 것이 확인되었다. 즉, 유사가 공급될 경우(M-II)

는 사주가 이동성이 활발한 반면, 유사가 공급되지 않을 때(M-I) 상류의 점사주내 국지적 퇴적 양상을 보이고 하류에서도 점사주가 커지는 것을 확인할 수 있다. 특히 현재의 미지형 변화 형태를 알 수 있는 그림 2의 무차원소류력의 중단변화 양상과 거의 일치함을 알 수 있다. 한편, 그림 4의 상류 점사주의 퇴적 지점에서 현재 식생이 활착되고 있음을 현장 조사를 통하여 확인할 수 있었다. 결국 상류에서 유사 공급이 중단되거나 줄어들 때 사주 내 국지적 퇴적 현상이 뚜렷하다는 것이 입증되었다.

기왕최대 홍수량에 대해 유사를 공급하면서 1 h 동안 실험(M-III)한 경우, 상류 점사주 내 이동성은 M-II 실험과 같이 매우 활발하다. 하류 점사주의 경우 홍수 때 유심부(流心部)가 형성되면서 구하도의 모습이 나타났다. 그림 9와 그림 10에서 보는 바와 천연기념물인 만송정 부근에서 상당한 하상퇴적 현상이 나타났다. 그리고 M-IV 조건인 계획 홍수량에서 유사의 공급 없이 0.5시간 방류했을 경우, 상류 점사주에서는 유사 공급이 없는 M-I 과 같이 사주 내 국지적 퇴적 현상이 일어났다. 한편, 만송정 부근의 퇴적현상과 하류 점사주 내 구하도 형성은 M-III과 거의 같은 모습을 볼 수 있다. 여기에서 공급 유량이 기왕최대 홍수량 규모보다 큰 경우, 상류 점사주 내 국지적 퇴적은 유사의 공급 유무에 직접 관계가 있음을 알 수 있다. 한편, 만송정 부근의 퇴적과 하류 점사주 내 구하도의 형성은 유사 공급 유무보다는 주로 홍수량의 크기에 의존됨을 알 수 있다.

M-V은 M-III의 실험 때 형성된 구하도의 유심부에서 점사주의 좌측을 저수로 깊이까지 준설했을 때(그림 11 참조) 유사 공급을 하면서 1 h 정도 방류하였다. 실험결과 하류의 준설이 상류

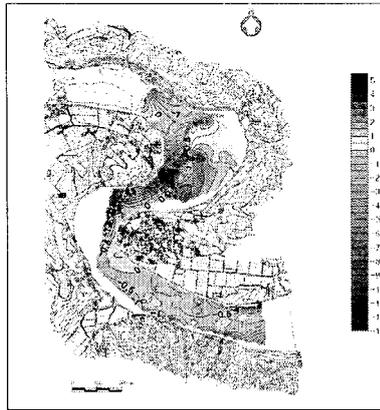


그림 7. M-IV(7,330 m³/s, 0.5 h 동안 유사 미공급)

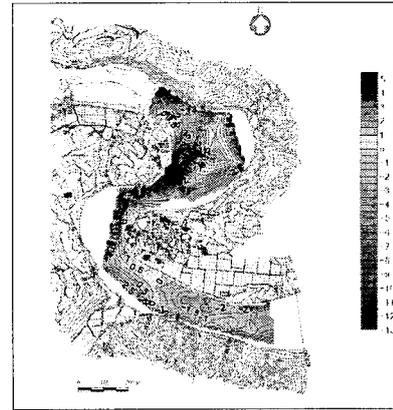


그림 8. M-V(3,410 m³/s, 1 h 동안 0.555 m³공급)

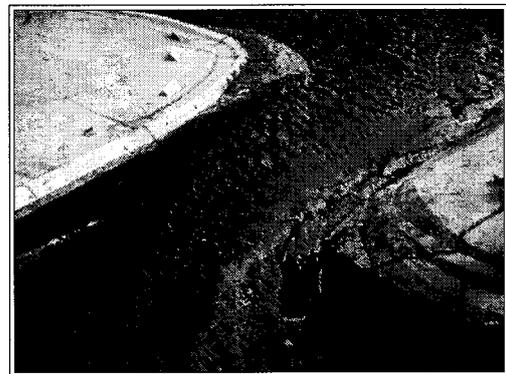


그림 9. M-III에서 만송정 부근 및 구하도(왼쪽: 우안의 만송정, 오른쪽: 부용대)

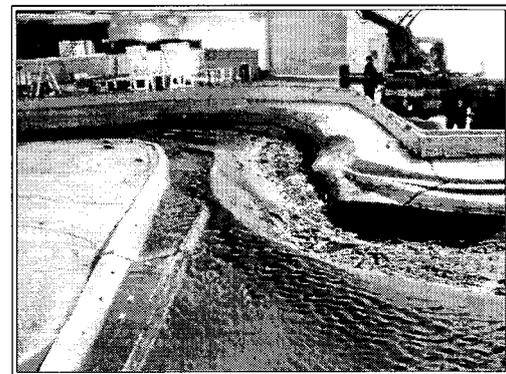


그림 10. M-IV에서 만송정 부근 및 구하도(왼쪽: 우안의 만송정, 오른쪽: 부용대)

점사주의 하상저하에 큰 영향을 미치지 않는다는 사실을 확인할 수 있었다. 그리고 준설한 구간에서 원하상고로 회복되면서 하류 점사주 내 구하도(그림 12 참조)가 형성됨을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

이동상 모래하천의 만곡부에서 유량과 유사 공급량에 따라 사주양상이 달라진다는 사실을 확인하였다. 평균연 최대 홍수량 규모에서 상류의 유사 공급이 중단되거나 줄어들 때 사주 내 국지적 퇴적 현상이 뚜렷하다는 것이 입증되었다. 이는 실제하도에서의 무차원소류력의 중단변화에 따른 미지형 변화특성과 일치함을 알 수 있었다.

기왕최대 홍수량 이상의 규모일 때 만송정 부근의 퇴적과 하류 점사주 내 구하도가 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 특히 상류 점사주 내 국지적 퇴적은 유사의 공급 유무에 직접 관계가 있음을 알 수 있다. 그러나 만송정 부근의 퇴적과 하류 점사주 내 구하도의 형성 원인은 유사 공급 유무보다는 홍수량의 크기임을 알 수 있다.

하류 점사주 일부를 준설하고 유사를 공급할 경우, 상류 점사주의 하상저하에 큰 영향을 미치지 않고도 준설 구간이 원래의 하상고로 회복되고 하류 점사주 내 구하도가 형성되는 사실을 확인할 수 있었다.

결국 낙동강 하회지구 만곡부에서 이동상 사주가 변화하는 원인은 근본적으로 유량과 유사량의 변화에 기인한다는 사실을 알 수 있다. 또한 이 연구에서 이동상 하도에서 미지형 사주변화는 물론 정확한 하상변동의 원인을 규명하고 예측할 때 이동상 수리모형실험이 매우 유효한 수단임을 확인할 수 있었다.

감 사 의 글

이 연구는 건설교통부에서 국가하천 관리 방향을 설정하기 위한 일환으로 수행하게 되었으며, 수리모형실험은 한국건설기술연구원의 하천실험실에서 수행하였다. 실험에 참여한 하천실험실의 윤 병모 선임기술원을 비롯한 여러 기술자들에게 감사드린다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(2006). 낙동강 하회지구 하상변동 특성 및 안정화 기법에 관한 연구 보고서(자문용 초안)
2. 수문 자료(건설교통부, 국가 수자원관리 종합정보시스템, <http://www.wamis.go.kr>)



그림 11. M-V의 하류단 점사주 준설구간(왼쪽: 우안, 오른쪽: 좌안)



그림 12. M-V에서 구하도 (왼쪽: 좌안, 오른쪽: 우안)