

# Case Study: 구하도 복원수로의 흐름특성과 퇴적경향 분석

## Case study: Analysis of flow characteristic and deposition on abandoned channel

여흥구\* / 강준구\*\* / 이금찬\*\*\* / 권보애\*\*\*\*

Hong Koo Yeo, Joon Gu Kang, Keum Chan Lee, Bo Ae Kwon

### 요 지

최근 국내 하천복원사업의 방향(패러다임)이 구하도를 포함한 홍수터의 중요성을 인식하게 됨에 따라 과거 하천사업 시 발생되었던 폐천구역을 가능한 한 하천구역에 편입하여 보존하려는 노력이 시도되고 있다.

본 연구는 하천복원사업의 일환으로 함평천 구하도 복원을 함으로써 발생할 수 있는 흐름특성변화 및 하상변화를 파악하기 위한 목적으로 수리모형실험과 수치모의를 수행하였다. 실험대상구간은 함평천 중류 구하도 복원구간(1.34 km)이며, 수리모형은 Froude 상사법칙에 따라 수평축척 1/50, 연직축척 1/25의 모형으로 제작하였다.

실험조건으로는 재현기간 50년, 100년의 홍수량과 강턱유량 두 케이스(100 m<sup>3</sup>/s, 120 m<sup>3</sup>/s)를 적용하였고, 구하도 복원수로의 흐름특성은 고정상 조건에 대해 분석하였다. 구하도 복원전/후의 홍수위 비교를 통해 구하도 복원후의 하도에서는 단면확대로 인한 통수능 증가로 홍수위 저감효과를 확인 할 수 있었다. 구하도 복원후의 유속변화는 통수능의 증가로 복원전에 비해 저감되었다. 기존하도와 복원하도간의 유속차가 다소 크게 나타났는데 이는 복원하도의 단면형상과 와류발생으로 인해 나타난 것으로 판단된다. 복원하도내의 유황은 일부구간에서 흐름정체현상과 역류현상이 발생되는데 이 구간에는 퇴적현상이 예측된다. 수리모형실험의 유사퇴적경향과 FESWMS 모형의 하상전단력을 비교한 결과는 유사하게 나타났으며, 복원하도의 넓은 둔치 지역에 넓은 퇴적층이 형성되어 차후 환경구조물 등을 이용한 흐름제어 및 유지관리대책에 의한 문제해결이 필요할 것으로 판단된다.

**핵심용어:** 함평천, 구하도 복원, 수리모형실험, FESWMS, 퇴적경향

## 1. 서 론

폐천 및 구하도 복원은 경지정리, 치수사업 등으로 획일화된 현재의 하도를 과거의 하도와 비교분석하여 구하도의 지형학적 복원을 피하는 것으로서, 하천 본래(구하도)의 습지, 수충부, 생태거점, 하중도 등의 요소를 되살려 복원하는 것이다. 폐천 및 구하도 복원은 하천복원의 시작이라 할 수 있으며, 물길복원으로 하천환경을 정비하기 위해서는 매우 중요한 부분이다.

국내 기존 하천복원사업은 제방으로 이미 좁혀진 기존 하도내로 제한하여 하도내 생태공간을 조성하는 소극적 복원이 주를 이루고 있다. 하지만 본 연구의 하천복원사업은 하천구역 확대로 상대적 홍수안전도를 향상하고 추이대 및 수변의 생태거점 개선효과, 다양한 생물 서식처 제공하여 지역사회의 자연보전, 문화 및 전통 유지, 친수공간 제공하는데 목적이 있다. 하지만 본 연구의 하천복원도 현재 하도를 유지하면서 구하도

\* 정희원 · 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 책임연구원 E-mail : yeo917@kict.re.kr

\*\* 정희원 · 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 선임연구원 E-mail : jgkang02@kict.re.kr

\*\*\* 정희원 · 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 연구원 E-mail : kc0410@kict.re.kr

\*\*\*\* 정희원 · 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 연구원 E-mail : bborane@kict.re.kr

를 복원하는 것으로 하천정비 이전의 물길은 완전히 복원하는 것은 아니다. 이로 인해 구하도 단면 설계는 현하도를 유지하면서 새로운 하도를 제안해야하는 어려움이 있다. 또한 폐천 및 구하도 복원은 폐천 및 구하도는 다양한 형태로 유지 또는 유용되고 있고 하천은 외적요소에 급격히 변화할 수 있어 복원을 위해서는 하도설계 하천수리학의 종합적인 요소를 고려해야하는 어려움이 있다.

본 연구는 하천복원사업의 일환으로 국가하천인 함평천에 조성되는 구하도 복원구간 하도설계에 대하여 흐름특성변화와 복원하도 유사도적영향을 검토하기 위해 수리모형실험과 수치모의를 수행하였다. 본 연구는 수리모형실험과 수치모의를 비교검토하여 제안된 하도설계의 문제점을 파악하여 최적의 복원하도설계를 위한 대안을 제안하는 것과 다양한 수치모의를 위한 기본자료를 제공하는데 목적이 있다.

## 2. 실험 방법

함평천은 영산강의 제 1지류로서 유역면적 196.4 km<sup>2</sup>, 유로연장 28.8 km, 유역평균폭은 6.82 km, 하상경사는 하류부 약 1/1,800, 상류부 약 1/800의 국가하천이다. 하상의 상류는 주로 모래질로 구성되고 하류부는 모래질 실트로 구성되어 있다. 본 연구의 대상지역은 ‘함평천 테마형 생태하천조성사업’의 일환으로 함평천 중류에 조성되는 생태공원 중 학교면 기각리 대경보로부터 하류방향 1.34 km의 구하도 구간이다(그림 1). 그림 2는 복원후의 조감도를 나타낸 것이다.

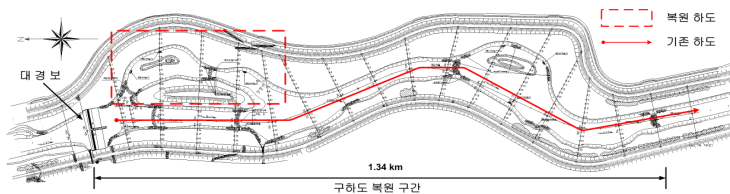


그림 1. 사업구간 설계도



그림 2. 구하도 복원 조감도

본 연구에서의 수리모형실험은 구하도 복원으로 인한 수위, 유속특성 및 유사도적 경향을 분석하기 위해 수행하였으며, 실험조건은 표 1과 같다. 본 수리모형실험의 축척은 Froude 상사법칙을 따라 수평축척 1/50, 연직축척 1/25인 왜곡도 2의 모형으로 결정하였으며, 지형제작은 총 사업구간 측량성과를 바탕으로 모형 축척에 맞게 제작하였다(그림 3). 수리모형실험의 상,하류 경계조건은 「함평2지구 하천환경정비사업 실시설계 보고서(2006)」의 재현기간별 홍수량 50년, 100년 빈도와 일차원 수치모의를 통해 결정된 강터유량(100 m<sup>3</sup>/s, 120 m<sup>3</sup>/s)을 이용하였고, 조도계수는 「함평천 하천정비기본계획(보완) (1999)」에 적용된 값을 사용하기 위해 하천정비기본계획(1999) 단면별 홍수위를 수리모형실험의 측정수위와 비교하며 조도보정을 거친 후 적용하였다. 수위 및 유속 측정구간은 대경보 직상류로부터 1.6 m 간격으로 18개 단면으로 나누고 구하도 복원구간의 세밀한 측정을 위해 유입부와 유출부에 각 2개 측선을 추가하여 수위, 유속을 측정하였다. 각 측선의 측점은 일반적으로 10 cm 간격을 유지하면서 측정하였고, 추가되는 측점은 지형의 특성을 고려하여 배치하고 측정하였다. 수위와 유속측정은 각각 수위측정계(PH-355, KENEK)와 1차원 유속계(VO1000, KENEK) 및 LSPIV기법을 사용하였다. 유사도적경향을 알아보기 위해 모형축척을 고려한 유사입경을 선정하고, 일정량의 유사를 공급하였다.



그림 3. 수리모형 하도제작

표 1. 실험 조건

구분	경계조건	측정 여부					
		유속	수위	LSPIV	유황	유사 공급	
설계안	홍수 빈도	50년 빈도 (740 m <sup>3</sup> /s)	○	○	○	○	○
		100년 빈도 (840 m <sup>3</sup> /s)	○	○	○	○	○
	강터 유량	100 m <sup>3</sup> /s	○	○	○	○	○
		120 m <sup>3</sup> /s	○	○	○	○	○

### 3. 실험결과 분석

#### 3.1 구하도 복원전/후 흐름특성변화 분석

수리모형실험은 고정상 조건으로 수행하였다. 홍수위 비교는 재현기간 100년빈도 설계홍수량에 대한 구하도 복원전후 하도에 대하여 수행하였으며, 구하도 복원전 하도 홍수위는 일차원 수치모의에 의한 계획홍수위를 적용하였고 구하도 복원후 하도 홍수위는 기존하도와 복원하도로 나누어 수리모형실험의 홍수위를 적용하였다.

구하도 복원전후의 홍수위 비교 결과를 그림 4에 도시하였다. 구하도 복원전 하도의 홍수위 분포는 상하류간 최대 0.69 m의 수위차를 보이며 선형으로 감소하였다. 복원전후 하도의 홍수위변화는 복원구간에서 0.38 m ~ 0.14 m의 홍수위차가 나타났으며, 함평천 구하도 복원에 의한 단면확대는 홍수위 저감효과를 발생시켜 치수안전성을 확보할 수 있는 것으로 판단된다. 반면 복원후 하도 하류단 홍수위의 경우 복원전 하도에 비해 다소 높게 나타났다. 이러한 현상은 수리모형실험과 수치모의 시 국부적인 대상구간만을 고려한 제약 때문인 것으로 판단된다.

구하도 복원에 따른 기존하도와 복원하도의 유속분포 현황을 알아보기 위해 재현기간 100년 빈도 설계홍수량을 수리모형실험에 적용하였다. 구하도 복원후의 유속분포 결과를 그림 5에 도시하였다. 복원구간에서 유속분포는 기존하도에 비해 복원하도의 유속이 다소 작게 나타났다. 복원하도 유입부의 경우 하중도에 의해 하도가 분리 되면서 하폭이 좁아져 1.8 m/s의 큰 유속값을 나타냈다. 반면 복원하도 유출부에서는 기존하도 흐름에 의해 흐름이 정체되어 작은 유속값을 보였다. 복원구간이후의 유속변화는 유사하게 나타났다. 복원구간 이후 하폭이 좁아지면서 우안쪽으로 굽어져 흐르는 단면형상을 가지는 지점에서 최고유속(2.25 m/s)이 발생하였다.

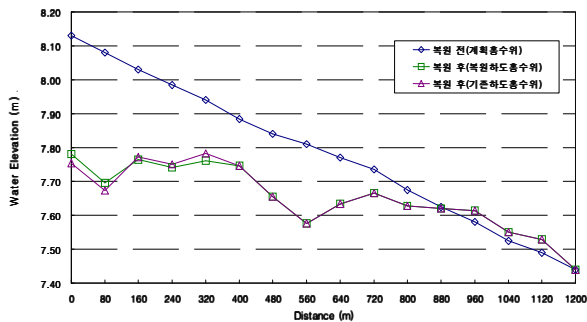


그림 4. 설계홍수량에 의한 구하도 복원전/후 홍수위 비교

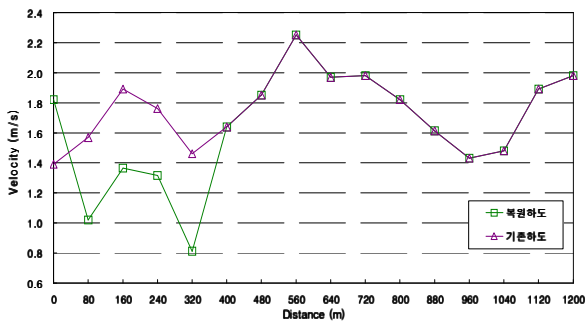
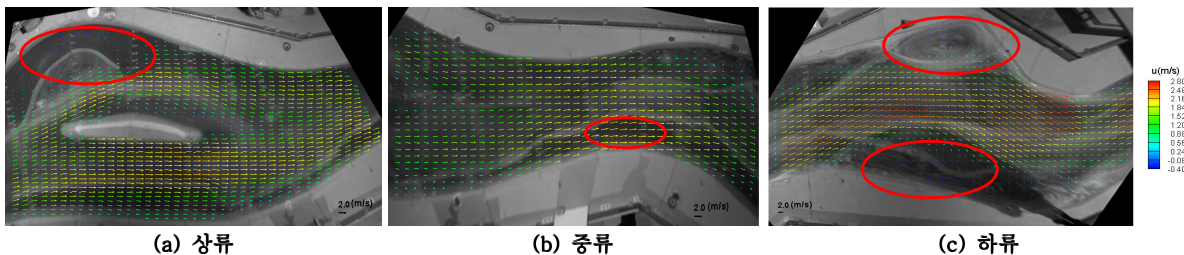


그림 5. 설계홍수량에 의한 구하도 복원후의 유속변화

LSPIV 측정에 의한 설계홍수량 유속분포도를 그림 6에 도시하였다. 복원하도 유속의 경우 복원구간으로 분기된 흐름이 제방의 만곡형상으로 인해 와류가 발생하면서 넓은 둔치부에서 흐름이 정체되는 현상이 발생하였으며, 복원구간 유출입구간에서의 유속은 복원하도 단면의 형상과 기존하도 흐름의 상관관계로 인해 상대적으로 큰 유속차가 나타났다. 이러한 유속분포로 인해 홍수 시 구하도 복원구간에 유사이동으로 인한 하상변화가 생길 것으로 예측된다.



(a) 상류

(b) 중류

(c) 하류

그림 6. 설계홍수량에 의한 구하도 복원후의 유속분포도(LSPIV 측정)

강덕유량은 안정하도 설계시 필요한 주요인자로 함평천 구하도 복원구간의 강덕유량은 일차원 수치모의를 통해 100 m<sup>3</sup>/s와 120 m<sup>3</sup>/s로 선정하였다. 이 두 가지 케이스를 수리모형실험을 통해 구하도 복원 후 기존하도와 복원하도에서의 흐름특성변화를 분석해 보았다.

강덕유량으로 인한 수면형 변화는 전 구간에 걸쳐 유사하게 나타났으며, 각 케이스별 수위분포는 100 m<sup>3</sup>/s 시 EL. 4.12 ~ 4.80 m였으며, 120 m<sup>3</sup>/s시에는 EL. 4.25 ~ 4.95 m로 관측되었다(그림 7). 두 케이스간 홍수 위차는 0.1 ~ 0.2 m로 나타났고, 기존하도에 비해 복원하도의 수위가 약 0.1m 감소되는 경향을 보였다.

유속변화 또한 전 구간에 걸쳐 유사하게 나타났으나, 복원하도의 하중도 끝단 흐름에서 발생한 와류의 영향으로 기존하도와 약 2.0 m/s의 유속차가 나타났다(그림 8). 복원하도와 기존하도의 유속차 및 와류발생으로 인해 복원하도구간에 유속저감현상이 나타났다. 이러한 현상은 LSPIV 측정을 통해서도 확인 되었으며, 복원하도구간의 흐름정체현상을 야기시켜 유사 퇴적으로 인한 문제를 발생시킬 수 있을 것으로 예측된다.

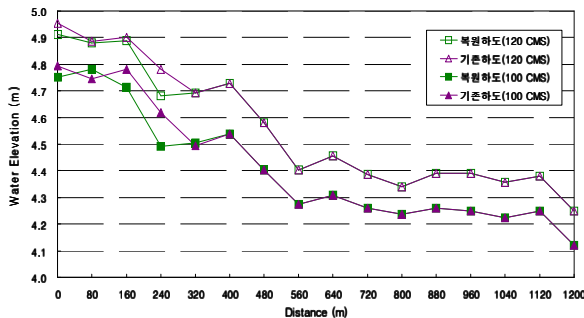


그림 7. 강덕유량별 수면형 변화

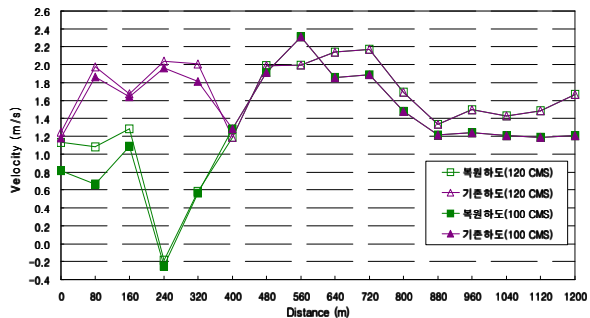
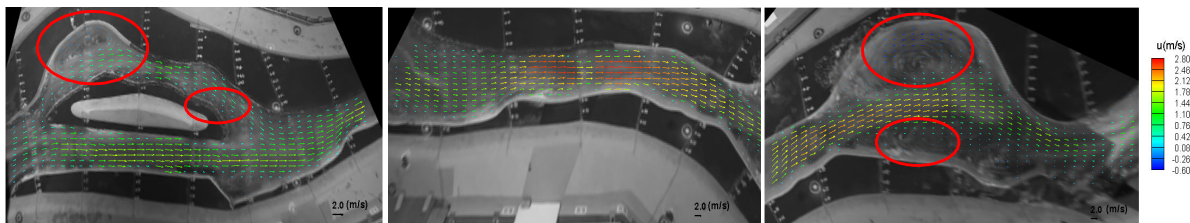


그림 8. 강덕유량별 유속변화

LSPIV 측정에 의한 강덕유량 120 m<sup>3</sup>/s시의 유속분포도를 그림 9에 도시하였다. 구하도 복원으로 인한 단면 확대 구간 양안에서 퇴적현상이 발생할 수 있을 것으로 예측되며, 수제, 보호공 등의 하천구조물을 이용해 흐름제어를 할 필요성이 있을 것으로 판단된다.



(a) 상류 (b) 중류 (c) 하류  
그림 9. 강덕유량에 의한 구하도 복원후의 유속분포도(120 m<sup>3</sup>/s, LSPIV 측정)

### 3.2 유사퇴적영향 분석

재현기간별 홍수량에 의한 유사이동으로 발생하는 유사퇴적경향을 알아보기 위해 수리모형실험과 수치모의를 실시하였다. 수리모형실험은 일정량의 유사를 공급한 후 유사퇴적 경향을 살펴봐왔으며, 하상전단력 분포경향을 알아보기 위해서는 FESWMS 모형을 사용하였다. FESWMS 모형은 정상류와 비정상류상태의 이차원 천수흐름을 모의하며 기본적으로 하상전단력과 난류저항에 의한 영향을 고려한다. 또한 선택사양에 바람에 의한 수면 전단력 저항과 편향력을 고려할 수 있다.

수리모형실험과 수치모의 비교결과, 유사퇴적경향은 유사하게 나타났으며, 복원하도의 둔치지역에 주로 퇴적이 발생하였다(그림 10-11). 복원하도 발생하는 퇴적현상은 홍수시에 토사류 이송, 퇴적에 의한 문제와 불필요한 식생활착 등의 문제를 일으킬 수 있을 것으로 판단되며, 하천구조물을 이용한 흐름제어 및 유지관리대책에 의한 문제해결이 필요할 것으로 판단된다.

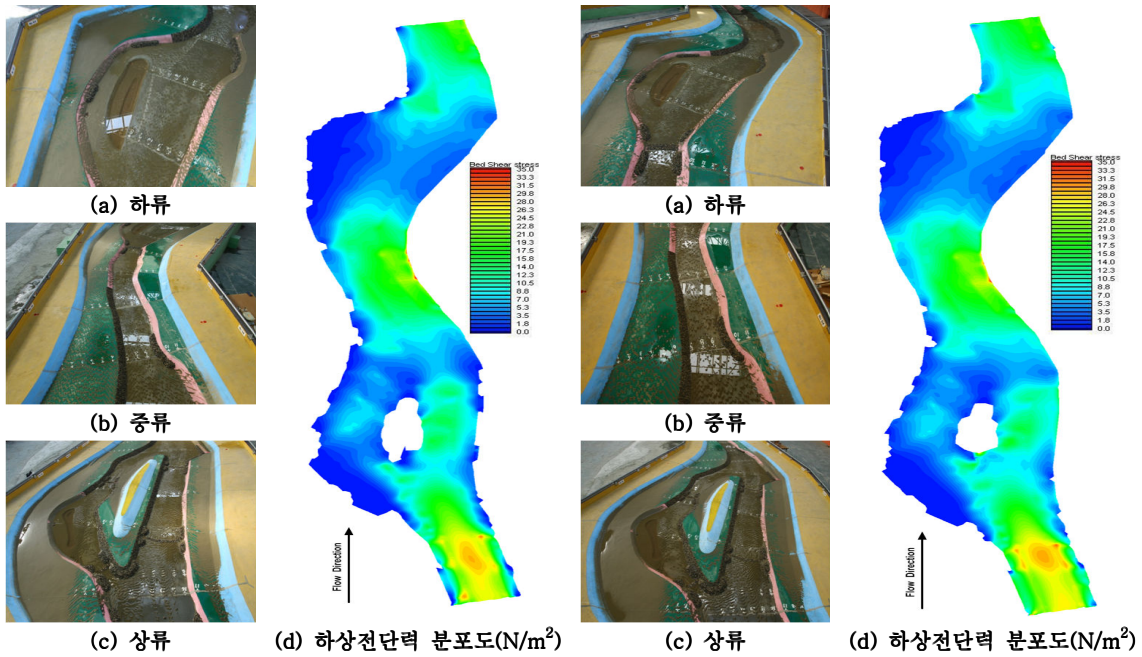


그림 10. 유사퇴적경향과 하상전단력 비교(50 yr)

그림 11. 유사퇴적경향과 하상전단력 비교(100 yr)

## 5. Conclusion

본 연구에서는 ‘함평천 테마형 생태하천조성사업’의 일환으로 함평천 중류에 조성되는 구하도 복원구간 설계하도를 대상으로 수리모형실험과 수치모의를 이용하여 구하도 복원전후의 치수안정성과 유사퇴적영향을 검토하였다. 설계홍수량에 대한 구하도 복원전후 홍수위 비교에서 복원전 하도에 비하여 복원후 하도에서 평균 0.2 m의 홍수위 저감효과를 확인할 수 있었다. 이와같은 결과는 복원하도로 인한 단면확대로 통수능이 증가했기 때문이다. 구하도 복원후의 유속변화는 통수능의 증가로 복원전에 비해 저감되었다. 기존하도와 복원하도간의 유속차가 다소 크게 나타났는데 이는 복원하도의 단면형상과 와류발생으로 인해 나타난 것으로 판단된다. 복원하도내의 유황은 일부구간에서 흐름정체현상과 역류현상이 발생하는데 이 구간에는 퇴적현상이 예측된다. 수리모형실험의 유사퇴적경향과 FESWMS 모형의 하상전단력을 비교한 결과는 유사하게 나타났으며, 복원하도의 넓은 둔치지역에 주로 퇴적층이 나타났다. 복원하도 발생하는 퇴적현상은 홍수시에 토사류 이송, 퇴적에 의한 문제와 불필요한 식생활착 등의 문제를 일으킬 수 있을 것으로 판단되며, 환경구조물을 이용한 흐름제어 및 유지관리대책에 의한 문제해결이 필요할 것으로 판단된다.

함평천 구하도 복원 설계하도 검토 결과, 본 설계안은 치수적으로 안정하지만 복원하도 국부흐름을 고려할 때 자연형 구조물 등의 대책이 필요하다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 및 한국건설교통기술평가원의 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(건설핵심B01)에 의해 수행되었습니다.

## 참고 문헌

1. 건설교통부 익산지방국토관리청(2006). 함평2지구 하천환경정비사업 실시설계 보고서.
2. 건설교통부 익산지방국토관리청(1999). 함평천 하천정비기본계획(보완).
3. FHWA(2002). User's Manual for FESWMS FST2DH.