

# 만곡부 수로내 세굴 양상에 관한 실험적 연구

## Experimental Study of Scouring Characteristics in Curved Channel

노경범\*, 김용구\*\*, 문병석\*\*\*, 박성천\*\*\*\*

Kyong Bum Roh, Yong Gu Kim, Byoung Seok Moon, Sung Chun Park

### 요 지

하천에서 세굴은 하천공학에 있어서 중요한 요소이며, 이러한 세굴은 주로 하천 만곡부에서 발생하게 된다. 하천 만곡부에서의 세굴은 하천 제방 등 하천 환경 제반 상황의 안정성에 지대한 영향을 미치는 요소이다. 만곡부 내 세굴의 진전 상황에 따라 제방 침식이 발생할 것이며, 최악의 경우 홍수시에는 이로 인해 하천 제방의 파체에 까지 이르러 하천 범람의 원인을 제공하게 된다.

본 연구에서는 이러한 위험성이 상존하고 있는 하천 만곡부에서의 세굴 특성을 실내 실험을 통해 밝히고자 하였다. 이를 위해 곡률반경 4.5m, 곡률 45°의 만곡부를 가지며, 수로폭이 1.5m인 실험수로에서 실험을 진행하였다. 실험은 만곡부에 하천 구조물 설치 유무에 따른 흐름특성, 최대 세굴심, 세굴 범위 등에 관해 검토하기 위해 몇가지 경우에 대하여 실시하였다. 그 결과 하천 구조물을 만곡부에 설치한 경우 설치전과 다른 세굴양상과 수리특성을 보여주었으며, 설치 범위 및 설치 구조물의 형상에 의해서도 세굴 및 수리특성이 변화되는 것을 확인할 수 있었다.

**핵심용어 : 만곡부, 수리특성, 세굴특성, 하천 구조물**

### 1. 서 론

하천에 있어 제방의 붕괴 요인으로는 장기간의 하상 세굴과 침식에 의한 붕괴와 홍수류에 의한 하천 제방의 월류에 의한 제방 침식이 원인이 되어 제방이 붕괴될 수 있다. 이러한 하상 세굴 방지 및 제방 붕괴를 막기 위한 다양한 하천 구조물이 제방 부근에 설치되어 운용되고 있으며, 이러한 구조물은 그 성격에 따라 다양한 방법으로 세굴을 방지하고자 하는 데 설치된다. 이러한 하천 구조물로는 기초다짐공이 있으며, 이와 같은 하천 구조물의 설치를 통해 하상의 안정을 꾀하며, 더 나아가 하상 침식 등에 의한 제방 붕괴의 위험성을 감소시키는 역할을 기대한다.

본 연구에서는 하천 구조물중 세굴 방지공의 하나인 기초다짐공(根固工)을 하도 만곡부에 설치하여 세굴 특성 및 수리특성을 검토하였다. 이를 위해 기초다짐공의 설치 재료를 달리하였으며, 설치 범위와 설치 폭을 변화시켜 실험을 실시하였으며, 그 결과 분석하였다.

세굴 방지 목적의 하천 구조물 및 만곡부에서의 수리특성에 관한 연구로, 이길성(2006) 등은 종방향 유속 분포를 파악하기 위해 180° 순환수로에서 실험을 실시하여, 유속을 측정하였다. 또한, 이삼희(2007) 등은 이동상 수리모형 실험을 통해 만곡부의 모래 사주의 거동특성에 대한 연구를

\* 정회원·동신대학교 토목공학과 연구원·E-mail : [kbyj3711@naver.com](mailto:kbyj3711@naver.com)  
\*\* 정회원·동신대학교 토목공학과 연구원·E-mail : [kyg8987@paran.com](mailto:kyg8987@paran.com)  
\*\*\* 정회원·서남대학교 토목공학과 교수·E-mail : [mbs0235@seonam.ac.kr](mailto:mbs0235@seonam.ac.kr)  
\*\*\*\* 정회원·동신대학교 토목공학과 교수·E-mail : [psc@dsu.ac.kr](mailto:psc@dsu.ac.kr)

실시하였으며, 盧庚範(2004) 등은 이동상 조건에서 만곡부 하도에 설치된 기초다짐공의 슬라이딩 파괴 메커니즘에 관한 연구를 실시하였다.

## 2. 실험 제원 및 방법

실험 수로는 그림 1에 나타난 것과 같이 전장 13m, 폭 1.5m로 하류단으로부터 6m지점에서 곡률 반경 4.5m로 45°로 만곡된 형상을 가진 수로이다.

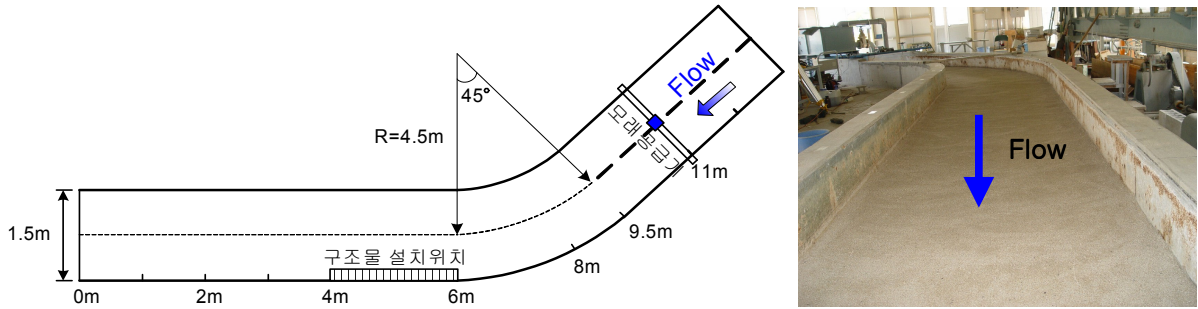


그림 1. 실험 수로 현황

실험조건은 표 1에 나타난 것과 같이 상류로부터 유량은 50ℓ/s, 하류단의 수위는 등류 수심인 8.3cm로 설정하여 실험을 실시하였다. 또한, 평형 하상을 유지하기 위해 상류단 11m지점에서 16 ℓ/hour의 모래를 공급하여주어 평형 하상 조건을 맞추고자 하였으며, 이러한 조건하에서 실험을 실시하여 각 조건에 부합하는 상태의 결과를 얻고자 하였다.

표 1. 실험 조건

실험유량	초기하상구배	모래 공급량	하류단 수심	하상 모래의 입경
50 ℓ/s	1/800	16 ℓ/hour	8.3 cm	0.8 mm

표 2에 나타난 것과 같이 실험은 3가지 경우에 대해 실시하였으며, Case1은 수로상 구조물이 설치되지 않은 경우이며, Case2는 Case1이 실험 결과 얻어진 세굴 특성에 의해 입경이 8cm 정도 인 자갈을 만곡부 외측에 하류로부터 3.5m~7.5m지점까지 포설하여 실험을 수행하였다. 그리고, Case3에서는 실제 하천에서 이용되고 있는 세굴방지공을 상정하여 제작된 블록을 이용하여 실험을 실시하였다. Case2의 자갈의 설치폭은 상하류 부분에서 흐름 방향에 대해 경사지게 설치하였으며, 만곡부에서 설치폭이 최대 30cm를 유지하였다. Case3의 각각의 블록은 상호 상호 연결되어 있어 세굴 진행에 따라 세굴면으로 꺾여지며, 일정 유수에 의해 손실이 발생하지 않는다.

표 2. 실험 Case 별 조건

구 분	Case1	Case2	Case3
구조물 설치범위여부	설치하지 않음	자갈	기초다짐공
설 치 범 위	-	3.5m~7.5m	3.5m~7.5m
설 치 폭	-	최대 30cm	28cm

### 3. 실험 결과 및 분석

각각의 경우에 대한 이동상 실험은 하상이 안정될 때까지 통수를 시켰으며, 평형하상 조건이 이루어진 시간은 실험 시작으로부터 8시간이 경과한 후에 나타났다. 이후 2시간이상 통수를 시켜 유속 및 하상형상을 측정하였다.

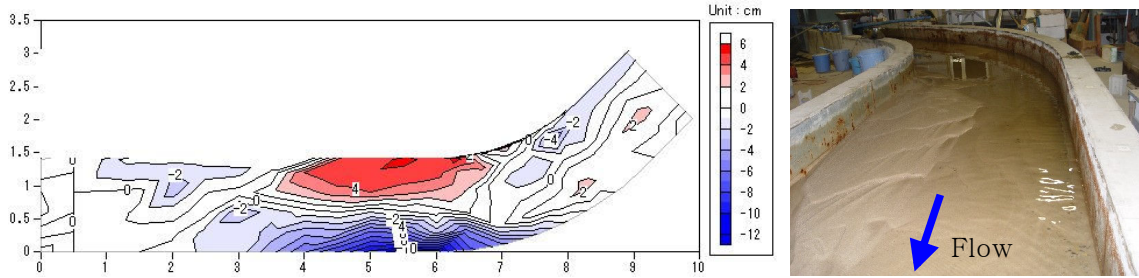


그림 2. Case1-수로내 아무것도 설치되지 않음

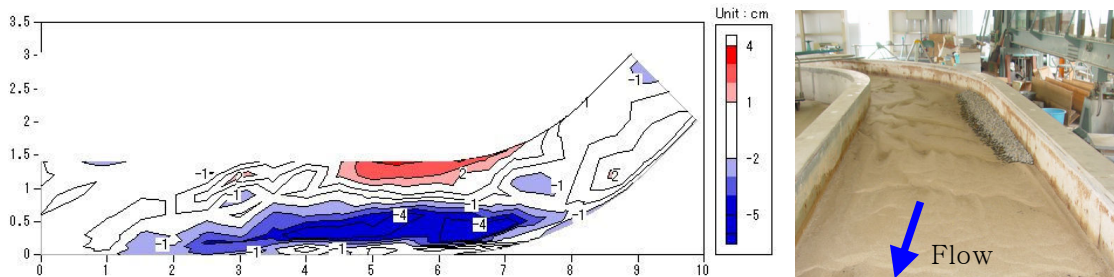


그림 3. Case2-만곡부 외측에 자갈 포설

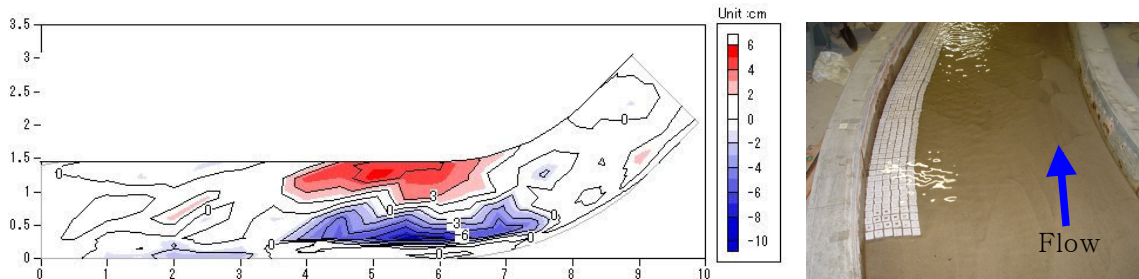


그림 4. Case2-만곡부 외측에 기초다짐공 설치

그림 2 ~ 그림 4에 통수 10시간이 경과한 후의 각 Case별 세굴별 특성을 Contour로 나타냈다. 그 결과 Case1의 수로내 구조물이 설치되지 않은 경우에서 최대 세굴심이 발생한 위치는 하류로부터 5.5m지점에서 11.6cm정도 세굴이 발생하였다. 최대 세굴심은 각각 Case2는 7.0m지점에서 5.9cm, Case3는 5.5m지점에서 8.4cm로 구조물 설치에 따라 세굴심은 Case1에 비해 감소되어 구조물에 의한 세굴 경감 효과를 확인할 수 있었다. 또한, 세굴 발생 위치가 구조물 설치에 의해 제방측에서 수로 안쪽으로 이동하여 발생되고 있으며, 퇴적 높이 역시 감소되어 넓게 분포되어 유로의 협소화를 방지하고 있다. 이는 구조물에 의해 만곡부에서의 2차류를 감쇄시킴으로써 발생하는 현상이다.

Case2의 경우 Case3보다 최대세굴심은 작지만, 세굴 발생 범위가 하류까지 넓게 분포하고 있다는 것을 알 수 있으며, Case3에서는 기초다짐공이 설치된 직상류 및 구조물의 측면에서 세굴이 크게 발생되고 있으나 세굴 범위는 Case2에 비해 넓지 않다는 것을 알 수 있다. 또한, Case2의 경

우 유수에 의해 자갈의 유실이 발생되고 있음을 확인 할 수 있는데, 이로 인해 장기간 통수를 실시할 경우 자갈의 유실 현상은 더욱 심화되어질 것으로 판단되며, 이는 결국 제방에 악영향을 미치게 될 것으로 보인다. 자갈 유실의 원인으로서는 자갈 상호간에 연결되어 있지 않으므로써 유수에 의해 이동되고 있으며, 이동에 의해 자갈이 유수를 방해함으로써 이동된 자갈 주변에 새로운 세굴은 발생되고 있다. 이와 같이 자갈과 같이 상호간에 연결되지 않은 구조물의 포설에 의한 세굴 방지 역할을 담당하기에는 무리가 있다고 판단된다.

Case3는 각 블록간 연결되어있어 세굴에 의해 측면이나 전면이 침하될 경우, 구조물이 연동되어 움직이고 있으며 구조물 아래의 모래를 차단함으로써 세굴면의 각도가 안식각보다 큼에도 불구하고 모래가 슬라이딩되지 않으며, 2차류에 의한 추가적인 세굴을 방지하고 있다. Case3에서는 구조물 전면이 유수와 직각을 이루며, 전면 부분에 수층부가 발생되어 전면부에서 최대세굴심이 발생되고 있는 특징을 나타냈다. 실험 결과로부터 알 수 있듯이 Case3에서의 최대 세굴심은 Case2에 비해 크지만 장기적인 관점으로 볼 때는 이러한 블록 형태의 구조물에 의한 세굴 방지효과가 자갈 포설법 등에 비해 클 것으로 판단된다.

그림 5, 그림 6은 Case1과 Case3에 대해 유속분포를 실측한 결과를 나타내고 있다. 그 결과 Case1의 경우 유속은 만곡부 외측을 따라 급속히 증가하고 있음을 확인할 수 있으며, 만곡부 외측에서 최대 0.37m/s의 유속을 나타내고 있다. Case3의 경우 구조물 설치에 따라 구조물 주변에서의 유속이 0.34m/s로 가장 크게 나타나고 있으며, 구조물 위에서는 구조물의 영향에 의해 0.02~0.06m/s의 유속분포를 보였다.

그림 5에 나타난 것과 같이 Case1의 경우에 있어서는 유수의 흐름이 만곡부 외안에 집중됨에 따라 만곡부에 수층부를 형성하고 이로 인해 최대 세굴심 발생 위치 또한 만곡부 외안에 형성되고 있다. Case3의 경우 구조물이 만곡부 외안에 설치됨에 따라 구조물 설치 전면에 수층부가 형성됨을 확인할 수 있으며, 최대 세굴심 또한 이곳에 형성되었다.

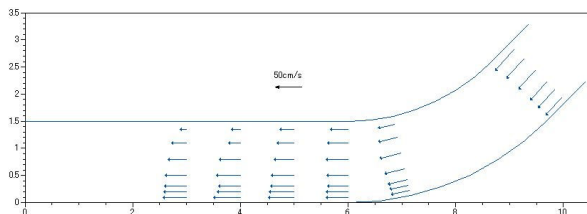


그림 5. Case1의 유속분포

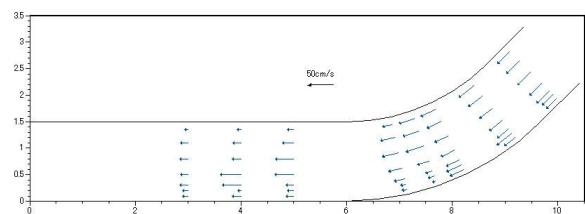


그림 6. Case3의 유속분포

#### 4. 결 론

본 연구에서는 만곡부 주변에서의 세굴 특성 및 수리 특성을 검토하기 위해 3가지 경우에 대해 실험을 실시하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각각의 경우 최대 세굴심은 Case1-11.6cm, Case2-5.9cm 그리고 Case3-8.4cm로 Case1>Case3>Case2의 순으로 세굴심이 크게 나타났다.
2. 최대세굴심의 발생 위치는 만곡부 시작부에서 발생되었으며, 이는 2차류의 영향이 가장 큰 곳은 하류로부터 5.5m~6.0m지점에서 발생되었다.
3. 유속분포 분석 결과 Case1은 만곡부 외안측을 따라 최대 유속이 발생하고 있으며, Case3의 경우 구조물 설치의 영향에 의해 수로 내측으로 최대 유속 발생 위치가 변화되었으며, 구조물 위에서의 유속은 구조물의 영향에 의해 크게 감소되었다.

본 연구에서는 실험을 통해 하도 만곡부의 세굴 특성과 구조물 설치에 유무에 따른 세굴 경감 효과를 확인할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. 이길성, 김태원, 박재현(2006). 급변만곡부에서 종방향 유속의 연직분포, 한국수자원학회 논문집, 제39권 제12호, pp. 1023-1030
2. 이삼희, 황승용, 박재민(2007). 이동상 수리모형실험을 통한 만곡부 모래사주의 거동특성 분석, 한국수자원학회 07 학술발표회 논문집, pp.1679-1683
3. 盧庚範, 內田龍彦, 土井豆政廣, 山形勝己, 福岡捷二(2004). 河道湾曲部に設置された根固め工の滑り破壊の実験的検討, 2004年 日本土木学会中國支部研究發表會發表概要集, 日本土木学会, pp. 97-98
4. Kyong-bum Roh, Masahiro Tsuchiizu, Tatshhiko Uchida(2004). Experimental study on the slide failure of foot protection works due to bed scouring. Proceedings of International Conference on Civil and Enviromental Engineering ICCEE-2004, pp.263-268