

# 급경사 만곡수로의 Manning 조도계수에 대한 외측벽면의 영향 Effect of Outside Wall for Manning's roughness in Steep Curved Channel

박상덕\*, 지민규\*\*, 이승규\*\*\*, 남아름\*\*\*\*, 신승숙\*\*\*\*\*

Sang Deog Park, Min Gyu Ji, Seung Kyu Lee, A Reum Nam, Seung Suk Shin

## 요 지

산지하천은 지형 및 지질적인 요인으로 경사가 급하고 만곡수충부가 많이 발달되어 있기 때문에 홍수시 수충부에서 호안과피의 문제가 많이 발생한다. 본 연구에서는 급경사 만곡수로의 외측벽면에 돌출줄눈을 설치할 때 조도계수에 미치는 영향을 조사하였다. 실험유량은 100ℓ/s, 120ℓ/s, 140ℓ/s이고, 수로경사는 1/50으로 고정하였다. 모든 구간에서 돌출줄눈의 영향으로 약 5-63%의 조도계수 변화가 발생하였다. 상대적으로 유량이 많을 때 외측벽면조도에 의한 조도계수의 증가는 더 크다. 이는 급경사 만곡수충부의 조도계수가 돌출줄눈에 의하여 제어될 수 있음을 나타내는 것이다.

**핵심용어 : 만곡수로, 외측벽면, 수리모형실험, 조도계수, 산지하천**

## 1. 서 론

산지하천은 지형 및 지질적인 요인으로 경사가 급하고 만곡수충부가 많이 발달되어 있기 때문에 홍수시 빠른 유속과 만곡수충부에서의 수위상승, 급격한 횡방향 수위변동은 도로와 같은 사회간접자본시설에 큰 피해를 입힌다 이러한 시설물들을 보호하기 위해서는 호안의 설치가 필수적이며, 보통 콘크리트 옹벽을 설치한다. 하지만 콘크리트 옹벽은 하상보다 매끄러운 재료특성으로 인하여 홍수시 옹벽을 따라 더욱 빠른 유속이 흐르고 편수위 발생시 어떠한 저감효과도 가져오지 않는다. 본 연구에서는 급경사 만곡수로의 벽면에 돌출줄눈을 설치하여 Manning 조도계수를 조사하였다.

## 2. 수리모형실험 조건

### 2.1 상사법칙

흐름의 상사성의 첫 조건은 원형과 모형의 기하학적 상사를 만족하여야 한다. 실제 수공구조물의 규모가 일반적으로 크기 때문에 일정한 축척으로 축소하여 수리모형을 만들게 되면 한 흐름의 변수가 다른 흐름의 변수와 비례관계에 있게 되므로 두 흐름은 동역학적 상사성을 갖는다고 정의

\* 정회원-강릉원주대학교 토목공학과 교수-E-mail : sdpark@gwnu.ac.kr

\*\* 정회원-강릉원주대학교 토목공학과 석사과정-E-mail : yshinje@naver.com

\*\*\* 정회원-강릉원주대학교 토목공학과 박사과정-E-mail : ef2377@nate.com

\*\*\*\* 학생회원-강릉원주대학교 토목공학과 석사과정-E-mail : dreamnam0115@nate.com

\*\*\*\*\* 정회원-강릉원주대학교 방재연구소 전임연구원 공학박사-E-mail : cewsook@hanmail.net

될 수 있다. 개수로 모형실험은 중력에 지배되므로 관성력과 중력의 비인 Froude 수가 모형과 원형에서 일치되도록 다음 식 (1)과 같은 Froude 상사법칙을 적용한다.

$$\frac{V_r}{g_r Y_r} = 1 \quad (1)$$

일반적으로 수심에 비하여 하폭이 큰 하천수리모형실험에서는 연직축척  $Y_r$  이 수평축척  $X_r$  보다 큰 왜곡모형을 사용하여 수심 및 유속측정 등에서 발생하는 문제를 줄일 수 있다. 본 연구에서는 수평축척 1/40 및 연직축척 1/25의 왜곡모형으로 만곡수로를 표 1과 같이 제작하였다.

**표 1. 상사율에 의한 환산계수 및 모형조건**

	상사율	환산계수		모형조건	비고
수평	$X_r$	40	하폭(cm)	100	
연직	$Y_r$	25	홍수수심(cm)	12	왜곡도1.6
유속	$Y_r^{1/2}$	5.0	실험유속	1.167	
유량	$X_r Y_r^{3/2}$	5000.0	유량(l/s)	140, 120, 100	
경사	$X_r^{-1} Y_r$	0.6	경사	0.02	
조도계수	$X_r^{-1} Y_r^{2/3}$	0.2137	조도계수	0.0524	

## 2.2 실험장치

산지하천 만곡수충부의 수리모형실험수로는 그림 3과 같이 유입수로 길이 5m, 만곡수충부 길이 5.67m(내측수로, 반경 2.6m)와 7.2m(외측수로, 반경 3.3m), 출구수로 길이 2.5m가 되는 고정상 수로이다. 만곡부수로의 단면형상은 산지하천 만곡부에서 대표적인 형상의 하나로 분류된 외측유심형이다. 만곡부 외측벽면조도가 Manning 조도계수에 미치는 영향을 조사하기 위하여 외측벽면에 그림 1 및 그림 2와 같은 돌출눈줄을 설치하였고 그 제원은 표 2와 같다.

**표 2. 돌출눈줄 제원**

		길이 (cm)	비고	
하폭		100		
중앙폭		115		
만곡중심각(deg)		125°	고정	
옹벽호안 좌우 돌출눈줄	폭(a)	0.75	상하스트립	
	깊이(b)	0.75		
	간격(c)	2.5		
옹벽호안 표면상하 돌출눈줄	넓이(d)	1.2	좌우스트립	
	폭(e)	1.125		
	위치	f		4
		g		8
h		12		

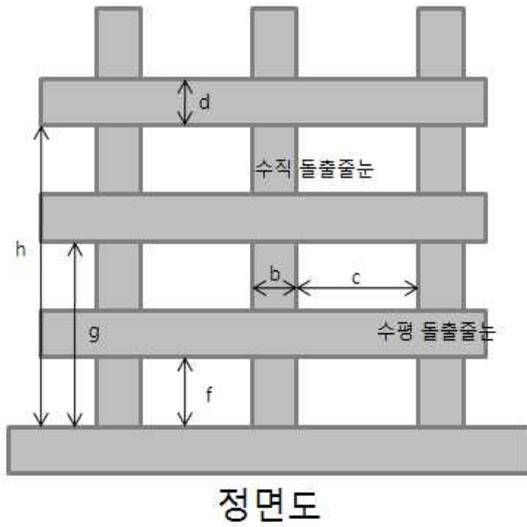


그림 1. 돌출줄눈 정면도

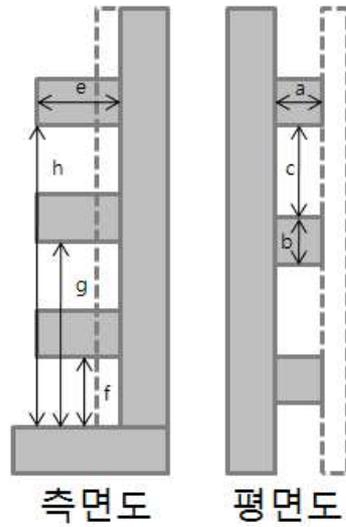


그림 2. 돌출줄눈 측면도와 평면도

입구부터 시작하여 출구부까지 만곡부를 15° 간격으로 분할한 횡단면에서 횡단면수위분포를 측정하여 구간별 Manning 조도계수를 산정하였다.

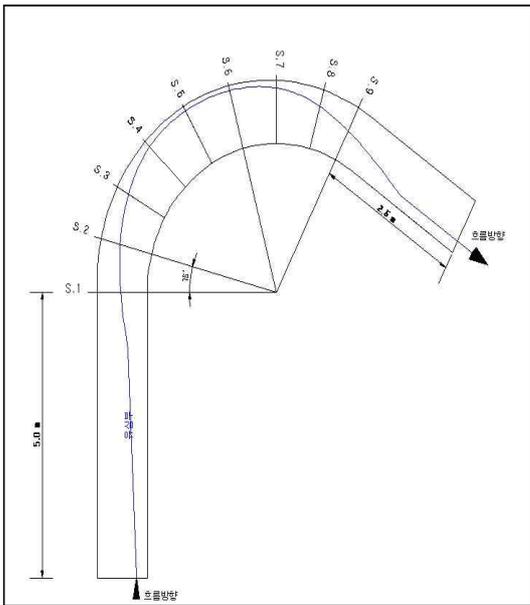


그림 3. 수로 평면도



그림 4. 돌출줄눈이 있을 때(위)와 있을 때(아래)의 실험모습

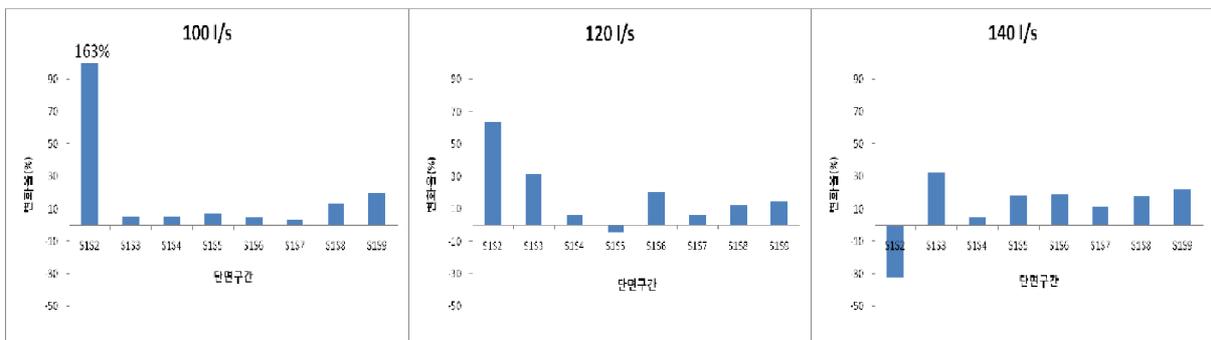
### 3. 실험결과 분석

실험유량은 100l/s, 120l/s, 140l/s 의 3단계로 조정하여 외측벽면에 돌출줄눈여부에 따른 조도계수를 비교하였다. 모든 실험유량에 대하여 유입수로와 만곡구간에서 Fr수가 1.1 이상인 사류

를 나타냈다. 표 3은 만곡부의 단면구간별 조도계수를 나타낸 것으로 전반적으로 돌출줄눈의 영향으로 조도계수가 증가하는 추세를 나타내고 있다. 최대 조도계수 증가는 유량 100l/s 일 때 S1S2 구간에서 0.11 이다. 유량 120l/s 일 때 조도계수가 0.007로 증가하였으나, 유량 140l/s에서는 0.004가 감소하여 만곡부입구구간에서는 유량증가에 따라 조도계수 증가가 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 유입수로와 만곡수로의 흐름이 유량증가에 따라 상호간섭을 하는 정도의 차이에 따른 것으로 판단된다. 유량 140l/s에서 돌출줄눈이 있을 때의 S1S2 평균유속은 2.17m/s 이고 돌출줄눈이 없을 때의 구간 평균유속은 2.27m/s 로 나타났다. 그림 5의 140l/s 조도계수 변화율을 보면 돌출줄눈이 있을 때 S1S2구간에서 조도계수가 감소하는 결과를 보이는데 이는 유량이 증가하면서 만곡부입구구간에 경사도수의 영향이 작용한 결과라고 판단된다. 유량증가에 따른 경사도수에 관한 연구가 필요하다는 것을 나타낸다. 제 1 수층지점인 S1S4 구간과 제 2 수층지점인 S1S7 구간은 강한 저항이 발생하여 높은 조도계수를 보였다. 또한, 유량이 증가함에 따라 상대적으로 조도계수가 증가하는 것을 알 수 있다.

**표 3. 단면간 조도계수 변화**

단면구간	유량					
	100l/s		120l/s		140l/s	
	돌출줄눈		돌출줄눈		돌출줄눈	
	무	유	무	유	무	유
S1S2	0.007	0.018	0.011	0.018	0.012	0.008
S1S3	0.012	0.012	0.012	0.016	0.010	0.014
S1S4	0.018	0.019	0.019	0.020	0.018	0.019
S1S5	0.010	0.010	0.012	0.011	0.012	0.014
S1S6	0.012	0.012	0.010	0.012	0.011	0.013
S1S7	0.016	0.016	0.016	0.017	0.016	0.017
S1S8	0.011	0.013	0.012	0.014	0.012	0.014
S1S9	0.012	0.014	0.012	0.014	0.011	0.014



**그림 5. 돌출줄눈이 없을 때를 기준으로 한 조도계수 변화율(%)**

#### 4. 결론

본 연구에서는 급경사 만곡수로의 조도계수에 미치는 외측벽면의 영향을 파악하기 위하여 외측벽면에 돌출줄눈을 설치하고 Manning 조도계수를 조사하였다. 실험결과, 유량 100l/s일 때 만곡부입구구간에서 외측벽면 돌출줄눈이 조도계수에 가장 큰 영향을 미쳤다. 전반적으로 돌출줄눈이 조

도계수를 증가시켰으나, 유량 140ℓ/s일 때 만곡입구구간에서는 돌출줄눈이 조도계수를 감소시켰다. 본 연구의 결과는 만곡수로의 조도계수가 외측벽면조도에 의해 제어될 수 있음을 확인하는 것이며, 향후 수로형상, 수로경사, 옹벽호안조도 등과의 관계를 지속적으로 연구하여 만곡수충부의 흐름제어기법을 개발하고자 한다.

## 감 사 의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호# '08 지역기술혁신 B-01)에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

1. 건설교통부 국립건설시험소. 남한강 수리모형실험 중간보고서, pp.18-29
2. 전민우, 조용수, 김훈(2005). 보청천 유역의 평균조도계수 산정, 충북대학교 건설기술논문집 제 24권 제 1호, pp.137-148
3. 이원환(1997). 수리학, 문운당.
4. 차영기, 김이현(2002). 만곡하천에서 수공구조물에 의한 하천범람 예방, 대한토목학회 논문집, 제22권 제3-B호, pp. 341-351.
5. ASCE, Hydraulic Modeling, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 97.