

원환 크기에 따른 교각 주위의 세굴형상 및 하류부 퇴적고의 변화

Variation of Scour Shape and Deposition Height with Various Size of Circular Collar

심우배^{*} · 이성수^{**} · 정용태^{***} · 송재우^{****}

1. 서론

세굴에 의한 교량붕괴 사고를 방지하기 위해서는 교량 설계시 교각의 세굴심을 정확히 예측하여 기초를 세굴의 영향범위 보다 깊게 설치하는 것이 최선의 방법이라 할 수 있지만 자연하천에서 세굴심의 정확한 예측은 거의 불가능한 실정이다. 그러나 수로상의 기존 혹은 계획중인 모든 교량은 피해에 노출되어 있기 때문에 취할 수 있는 모든 수단과 방법을 고려해야 하고, 일정한 기간마다 세굴상태를 점검하여 설계시 예상하지 못한 과도한 세굴이 발생할 우려가 있는 경우 세굴 방지공 설치 등의 대책을 강구해야 한다.

본 연구에서는 교각전면의 하강류에 의한 말굽형 와류를 제어하여 세굴을 방지 또는 감소시키는 원환을 이용하여 원환의 크기에 따른 균등 원형교각 주위의 세굴형상, 국부세굴심 감소효과 및 교각 하류부의 퇴적고의 변화를 분석하고자 한다.

2. 연구방법 및 실험결과

본 연구에서 수행된 원환 설치 전·후의 세굴특성을 분석하기 위한 수리모형 실험장치는 그림 1과 같다.

수로의 제원은 유입·유출부의 직유로부 길이는 8.0m, 폭 0.9m, 높이 0.45m, 수로중심선에 대한 곡률반경 2.5m, 만곡각 180°, 조도계수 0.012이다. 또한, 유량을 공급하기 위한 장치는 고수조 (1.8m×1.2m×0.6m, 1.8m×1.2m×0.6m), 저수조(2.4m×2.4m×0.6m, 1.2m×2.4m×0.6m), 펌프(12HP)로 구성되고 고수조에는 유입된 물을 받아 유량을 조절할 수 있는 직사각형 위어(0.46m×0.3m)가 설치되어 있다.

수로의 제원은 유입·유출부의 직유로부 길이는 8.0m, 폭 0.9m, 높이 0.45m, 수로중심선에 대한 곡률반경 2.5m, 만곡각 180°, 조도계수 0.012이다. 또한, 유량을 공급하기 위한 장치는 고수조

* 홍익대학교 토목공학과 박사과정 수료

** 홍익대학교 토목공학과 석사

*** 순천청암대학 보건환경위생과 부교수

**** 홍익대학교 토목공학과 교수

(1.8m×1.2m×0.6m, 1.8m×1.2m×0.6m), 저수조(2.4m×2.4m×0.6m, 1.2m×2.4m×0.6m), 펌프(12HP)로 구성되고 고수조에는 유입된 물을 받아 유량을 조절할 수 있는 직사각형 위어(0.46m×0.3m)가 설치되어 있다.

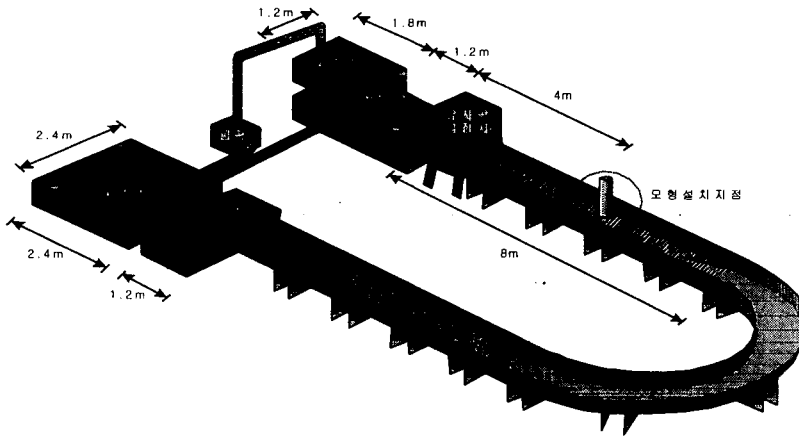


그림 1. 수리모형 실험장치

교각 직경(D)이 60mm인 투명한 균등원형교각을 실험수로 직유로부 중심에 유입부의 영향을 고려하여 유입부로부터 4m 떨어진 곳에 설치하였으며, 급격한 유량변화에 따른 하상형의 변화를 감소시키기 위해 유출부에 설치된 수문을 조절하여 교각 주위의 국부세굴 실험을 실시하였다. 유사공급은 하류부에서 1분당 유출되는 모래의 중량을 측정하여 유입구에 설치되어 있는 유사공급장치로부터 같은 양이 공급되도록 조절하였다.

유속과 수심을 변화시켜 접근수심 및 Fr 수 변화에 따른 국부세굴심을 측정하였으며, 중앙입경 $d_{50}=0.2, 0.44, 0.47, 0.56, 0.59$, 기하학적 표준편차 $\sigma_g(=\sqrt{d_{84.1}/d_{15.9}})=1.00, 1.29, 1.40, 1.59, 1.63$ 인 유사를 두께 15cm, 길이 6m로 포설하여 국부세굴심을 측정하였다.

또한, 교각 직경(D)에 대한 원환 폭(W)의 비 즉, $W/D = 1.25, 1.5, 2, 3$ 인 다양한 크기의 원환을 원형교각에 설치하여 원환 크기에 따른 국부세굴심을 측정하고 세굴심 감소효과를 분석하였으며, 원환이 하상에 위치한 경우에 대하여 세굴공의 크기와 교각 후면의 퇴적고의 변화를 측정하였다.

접근유속은 3차원 유속계인 ADV(Acoustic Doppler Velocimeter)를 이용하여 교각 전면부에서 측정하였으며, 국부세굴심은 잠망경의 원리를 이용한 세굴심 측정장치를 이용하여 1mm의 하상변동이 없을 때까지 실시간으로 측정하였다.

Fr 수, 하상재질의 조건을 동일하게 한 후, 원환의 크기와 위치를 변화시키면서 균등한 원형교각 주위의 세굴심, 세굴폭 및 교각 후면의 퇴적고의 위치를 측정한 결과는 표 1과 같다.

표 1. 원환의 위치별 최대세굴심 및 세굴심 감소효과
 ($Fr=0.4$, $d_{50}=0.47$, $\sigma_g=1.63$, $d_s=70$ mm)

W/D	y_c/d_s	d_{sc} (mm)	최대세굴심 감소효과(%)
1.25	-0.77	66	8
	-0.39	65	10
	0.00	61	15
	0.39	56	22
	0.77	63	13
1.5	-0.77	60	17
	-0.39	58	19
	0.00	54	25
	0.39	54	25
	0.77	63	13
2	-0.77	59	18
	-0.39	48	33
	0.00	35	51
	0.39	24	67
	0.77	51	29
3	-0.77	54	25
	-0.39	51	29
	0.00	08	89
	0.39	44	39
	0.77	51	29

3. 비교 및 분석

그림 2는 원환을 설치하지 않은 경우와 원형교각에 크기가 다른 원환을 하상에 설치하였을 때의 실시간 세굴심을 나타낸다.

그림 2에서 보는 바와 같이, 대부분의 세굴은 실험초기에 급격하게 발생하였으며, 원환의 직경이 클수록 세굴심 감소효과가 뚜렷하게 나타났다. 또한, 원환 설치에 따라 세굴심 감소효과 이외에 최대세굴심 발생시간을 지연시키는 효과도 있었다.

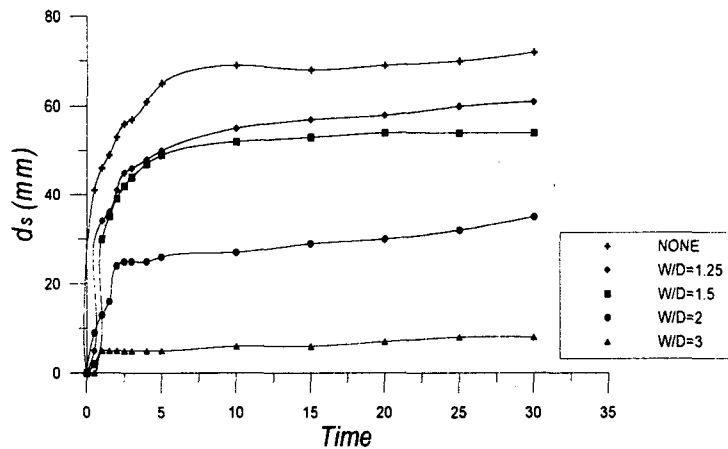


그림 2. 원환 크기에 따른 실시간 세굴심 ($y_c/d_s=0$)

그림 3은 W/D에 따른 최대세굴심 감소효과를 도시한 결과이다.

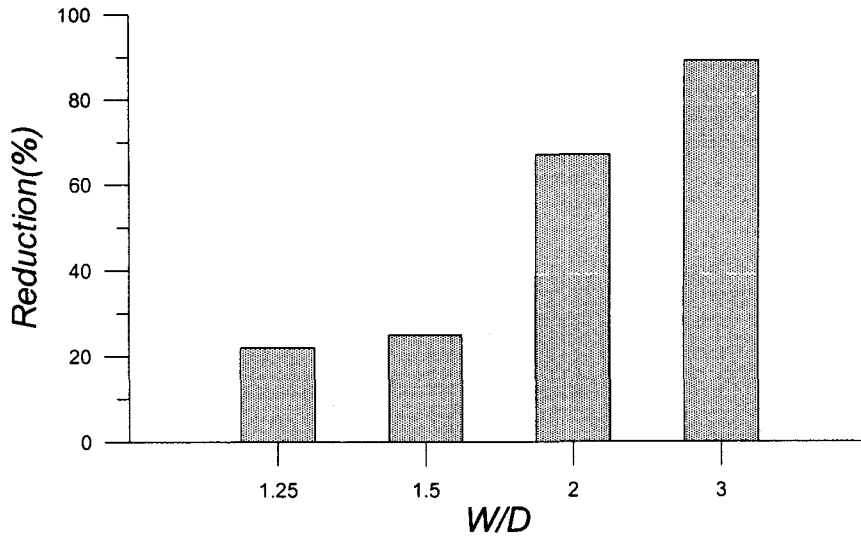


그림 3. W/D에 따른 최대세굴심 감소효과

그림 3에서, 원환 크기에 따른 최대세굴심 감소효과는 W/D=1.25인 경우에는 약 22%, W/D=1.5인 경우 약 25%, W/D=2인 경우 약 67%, W/D=3일 때 약 89%로 나타났다. W/D가 증가함에 따라 세굴심 감소효과가 증가하였으나 W/D=3인 경우에는 거의 세굴이 발생하지 않았다.

표 3은 원형 교각 주위 45°간격으로 측정된 세굴폭의 크기와 교각 후면인 경우에는 최대 퇴적고 및 발생위치를 나타낸다. 표 2에 나타난 바와 같이, 원환의 크기가 클수록 세굴공의 폭이 작아졌으며, 교각 후면의 최대 퇴적고의 발생위치는 원환 유무에 관계없이 유사하나 원환을 설치하지 않은 경우에 비하여 퇴적고는 약 17%~60% 증가하였고 W/D=2인 경우에는 약 41% 증가하였다.

표 2. 교각 주위의 세굴폭 및 퇴적고(단위 : mm)
($F_r=0.4$, $d_{50}=0.47$ mm, $\sigma_g=1.63$, $y_c/d_s=0.0$)

구분	원환무	W/D=1.25	W/D=1.5	W/D=2	W/D=3
전방	100	78	92	40	30
45	96	77	91	40	30
측방	111	86	92	45	30
135	130	98	105	50	35
퇴적길이	246(10)	230(25) 60%	245(15) 33%	250(17) 41%	272(12) 17%

주) ()안은 퇴적고이며, %은 원환 설치에 따른 퇴적고의 증가율임.

원환은 흐름을 원환 위와 아래의 두 영역으로 분할시킨다. 원환 위의 영역에서는 하강류의 강도를 줄이는 장애물로서 작용하며, 원환 아래 영역에서는 하강류 감소로 인한 마제형와를 감소시키는 작용을 하게 된다. 따라서, 그림 3에서와 같이 원환은 교각 전면부의 최대세굴심을 감소시키는 효과가 있는 반면에 표 2에서 보는 바와 같이, 원환은 교각 하류부에 후류와(wake)를 발달시켜 교각 하류부의 세굴을 조금 더 발생시키고 퇴적고를 증가시키게 된다. 이러한 경향은 Kumar(1999)의 연구에서도 입증되었다.

그림 4는 원환 설치 위치에 따른 최대세굴심 변화도이다. 원환 크기에 따라 원환을 하상 위, 하상, 하상 아래로 위치를 변화시켜가면서 원환에 의한 세굴심 감소효과를 분석하였다.

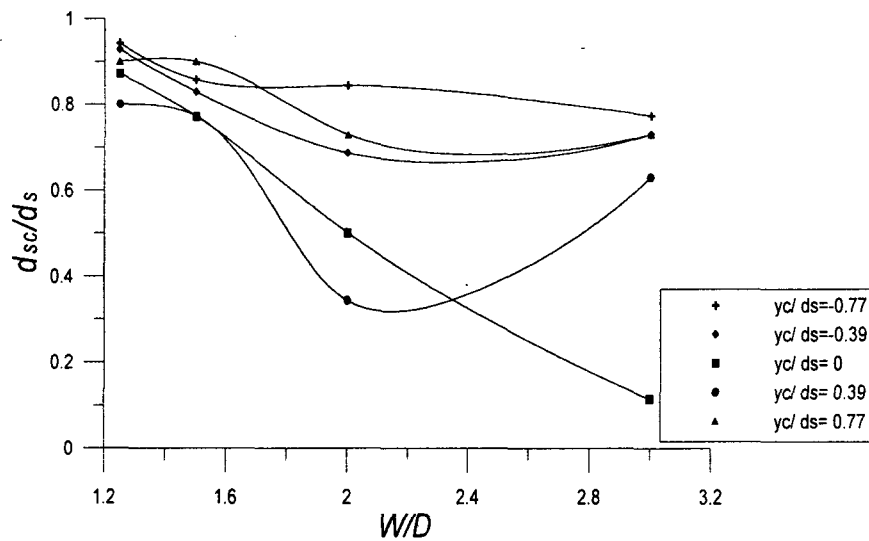


그림 4. 원환 설치 위치에 따른 최대세굴심 변화

표 2와 그림 4에서 보는 바와 같이, 원환을 하상 위보다 하상 아래에 설치하는 것이 더욱 효과적이고 원환의 크기가 클수록 세굴심 감소효과가 뚜렷함을 알 수 있다. 대부분의 경우, 원환의 크기와 설치 위치에 관계없이 W/D=2인 경우에 가장 작은 세굴심을 얻었다.

결과적으로 원환에 의한 세굴심 감소효과는 원환의 크기와 원환의 설치 위치에 좌우된다. 그러나 원환의 크기만을 증가시킨다는 것은 경제성이나 시공성에 문제가 되므로 세굴심 감소효과, 세굴공 및 퇴적고의 분석 결과를 토대로 W/D=2인 원환을 최적 크기로 제안한다.

4. 결론

원환 설치에 따른 균등 원형교각 주위에서 세굴심을 측정하여 세굴양상, 세굴심 감소효과 및 하류부 퇴적고의 변화를 분석한 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 원환 설치 전·후의 실시간 세굴심을 분석한 결과, 대부분의 세굴은 실험초기에 급격하게

발생하였으며, 원환의 직경이 클수록 세굴심 감소효과가 뚜렷하게 나타났다. 또한, 원환은 세굴심 감소효과 이외에 최대세굴심 발생시간을 지연시키는 효과도 있었으며, 원환 크기에 따른 최대세굴심 감소효과는 교각 직경(D)에 대한 원환 폭(W)의 비 즉, $W/D=1.25$ 인 경우에는 약 22%, $W/D=1.5$ 인 경우 약 25%, $W/D=2$ 인 경우 약 67%, $W/D=3$ 일 때 약 89%로 나타났다. W/D 가 증가함에 따라 세굴심 감소효과가 증가하였으나 $W/D=3$ 인 경우에는 거의 세굴이 발생하지 않았다.

2. 원환의 크기가 클수록 세굴공의 폭이 작아졌으며, 교각 후면의 최대퇴적고의 발생위치는 원환 유무에 관계없이 유사하나 원환을 설치하지 않은 경우에 비하여 퇴적고는 약 17%~60% 증가하였고, $W/D=2$ 인 경우에는 약 41% 증가하였다. 원환은 교각 전면부의 최대세굴심을 감소시키는 효과가 있는 반면에, 원환은 교각 하류부에 후류와(wake)를 발달시켜 교각 하류부의 세굴을 조금 더 발생시키고 퇴적고를 증가시키게 된다
3. 원환 크기와 설치 위치에 따른 세굴심 변화를 분석한 결과, 원환을 하상 위보다 하상 아래에 설치하는 것이 더욱 효과적이었고 원환의 크기가 클수록 세굴심 감소효과가 뚜렷하였다. 대부분의 경우, 원환의 크기와 설치 위치에 관계없이 $W/D=2$ 인 경우에 가장 작은 세굴심을 얻었으며, 세굴심 감소효과, 세굴공 및 퇴적고의 분석 결과를 토대로 $W/D=2$ 인 원환을 최적 크기로 제안하였다.

5. 참고문헌

- 심우배, 임장혁, 조형준, 송재우(2000), "하상재질에 따른 원환보호공법 적용", 한국수자원학회 학술 발표회 논문집, pp. 604~609.
- 심우배, 최인호, 강예석, 송재우(1999). " 원환을 이용한 원형교각 주위의 국부세굴 방지 효과 " , 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 121~124.
- Melville, B. W. and Coleman, S. E.(1999), *Bridge Scour*, Water Resources Publications, LLC.
- Tanaka, S. and Yano, M.(1967), "Local Scour around a Circular Cylinder", *Proc. 12th Congress of IAHR*, 3, Fort Collins, Colorado, USA, pp. 193~201.
- Kikkawa, H., et al.(1971), "Study on Scouring around a Bridge Pier and Its Prevention", *Proc. of JSCE*, Vol. 194, pp. 83~90.
- Kumar, B. V., Raju, K. G. and Vittal, N.(1999), "Reduction of Local Scour around Bridge Piers using Slots and Collars", *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 125, No. 12, 1999, pp. 1302~1305.