한국도시방재학회논문집
제3권 2호 2003년 6월
pp. 139 ~ 145

원환 크기의 변화에 따른 균등원통교각 주위의 세굴심 감소효과에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Reduction Effect of Scour Depth arounding Uniform Cylindrical Pier with Various Size of Circular Collar

심 우 배* / 송 재 우**
Sim, Ou Bae / Song, Jai Woo

Abstract

This study is to propose reduction effect of scour depth and a optimum size of cicular collar through experimental analyses with various collar sizes. To do so, we carried out hydraulic model experiments. In the case of with considering the collar, the effect of reduction of scour depth increased according to the increase of collar size. When size of collar is 2 as the ratio of collar diameter(W) to pier diameter(D), scour depth is decreased about 67% and deposition height is increased about 70%. The optimal size of collar proposed in this study is W/D=2 by analyzing reduction effect of scour depth, size of scour hole, and deposition height

Key words : circular collar, local scour, reduction effect, deposition height

요 지

본 연구에서는 다양한 크기의 원환에 따른 균등원통교각 주위의 세굴심을 분석하여 세굴심 감소효과 및 원환의 적정 크기를 제시하였다. 이를 위하여 수리모형실험을 실시하였으며, 교각에 원환을 설치한 경우 원환을 하상 위보다 하상 아래에 설치하는 것이 더욱 효과적이었으며, 원환의 크기가 클수록 세굴심 감소 효과가 뚜렷하였다. 교각 직경에 대한 원환 직경의 비(W/D)가 2인 경우 약 67% 세굴심이 감소하였으며, 퇴적고는 약 70%정도 증가하였다. 세굴심 감소 효과, 세굴공 및 퇴적고의 분석 결과를 토대로 W/D=2인 원환을 최적 크기로 제안하였다.

핵심용어 : 원환, 국부세굴, 감소효과, 퇴적고

* 정회원 · 서울시정개발연구원 도시환경연구부 초빙연구위원(obsim@sdi.re.kr)
* 정회원 · 홍익대학교 토목공학과 교수(jwsong@wow.hongik.ac.kr)

Ⅰ. 서 론

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 과다한 세굴이 발생될 우려가 있는 경우 세굴방지공 설치 등의 대책을 강구해야 한다.

기존교량의 교각을 세굴로부터 보호하는 방안에는 (1)하상물질의 저항력 증가와 (2)세굴유발인자의 약화의 두 가지 방안이 있는데 하상물질의 저항력을 증가시키는 방법은 기존 교량의 세굴공 보호에 주로 이용되며, 보호공에 의해 하상조도를 증가시켜 하강류를 하상입자 사이로 통과시킴으로써 하강류의 에너지를 일부 소산시키는 방법이고, 세굴유발인자를 약화시키는 방법은 주로 신설교량에 세굴방지용 구조물을 부착하여 교각전면의 하강류에 의한 말굽형 와류를 제어하여 세굴을 방지 또는 감소시키는 방법인데 그 중 세굴 발생인자의 능력을 감소시키는 방법의 하나인 원환보호공은 연구결과 세굴심을 크게 감소시키는 것으로 나타났다 (Laursen 등, 1956; Tanaka 등, 1967, Kikkawa 등, 1971; Dargahi 등, 1990; 심우배, 1999; Kumar 등, 1999).

본 연구에서는 원환의 크기를 달리한 수리모형 실험을 통하여 균등원통교각 주위의 국부세굴심을 측정하여 세굴심 감소효과 및 퇴적고의 변화를 분석하고자 한다.

2. 연구방법 및 실험결과

2.1 연구방법

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 측정할 수 있는 직사각형 위어(0.46m×0.3m)가 설치되어 있다.

교각 직경(D)이 60mm인 투명한 균등원통교각을 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. 중앙입경 d_{50}=0.47, 하상재질 입경의 표준편차 σ_g=1.63인 유사를 두께 15cm, 길이 6m로 포설하였으며, 교각 직경(D)에 대한 원환 폭(W)의 비 즉, W/D = 1.25, 1.5, 2, 3인 다양한 크기의 원환을 원통교각에 설치하여 원환 크기에 따른 국부세굴심을 측정하고 세굴심 감소효과를 분석하였다. 또한, 원환이 하상에 위치한 경우에 대하여 세굴공의 크기와 교각 후

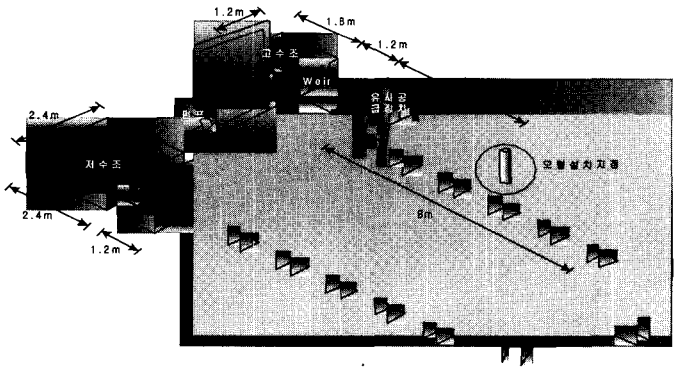


그림 1. 수리모형 실험장치

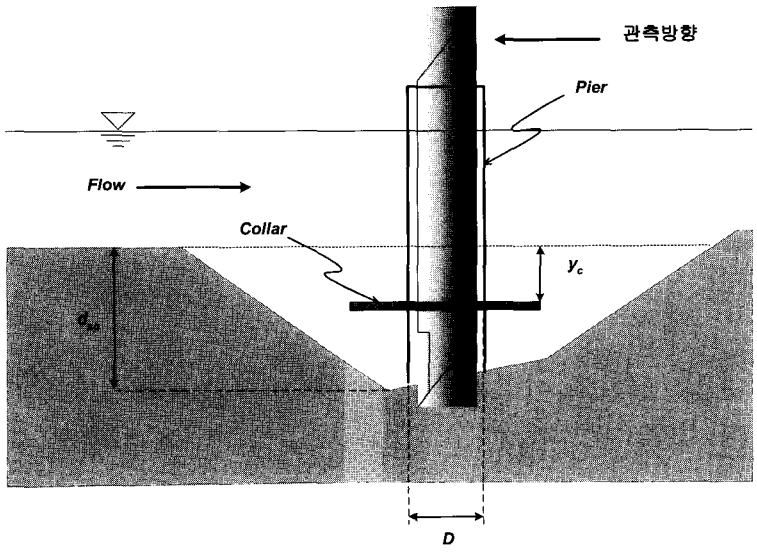


그림 2. 교각모형 개념도

표 1. 원환의 위치별 최대세굴심 및 세굴심 감소효과

($Fr=0.4$, $d_s=70\,\mathrm{mm}$)

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

면의 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.

그림 2는 본 연구에서 사용된 모형교각 및 세굴심 측정장치를 나타낸 것이다. 그림 2에서 D는 교각직경, d_{sc}는 원환 설치에 따른 최대세굴심, y_c는 하상에서 원환까지의 거리이다.

2.2 실험결과

F_r수, 하상재질의 조건을 동일하게 한 후, 원환의 크기와 위치를 변화시키면서 균등한 원통 교각 주위의 세굴심, 세굴폭 및 교각 후면의 퇴적고의 위치를 측정한 결과는 표 1과 같다. 표 2는 원환 설치 전·후의 균등원통 교각에 대한 실시간 세굴심 측정 결과이며, 원환의 위치는 하상에 접한 경우이다. 여기서, d_s는 원환 설치전 최대세굴심을 나타낸다.

3. 비교 및 분석

그림 3은 원환을 설치하지 않은 경우와 원통 교각에 크기가 다른 원환을 하상에 설치하였을 때의 실시간 세굴심을 나타낸다.

그림 3에서 보는 바와 같이, 대부분의 세굴은 실

표 2. 원환 설치 전·후의 실시간 세굴심(단위:mm)

(W/D = 2, Fr = 0.4)

실시간 (분)	원환무	W/D=1.25	W/D=1.5	W/D=2	W/D=3
0.5	41	5.0	2.0	9.0	0.0
1.0	46	34	30	13	5.0
1.5	49	36	35	16	5.0
2.0	53	41	39	24	5.0
2.5	56	45	42	25	5.0
3.0	57	46	44	25	5.0
4.0	61	48	47	25	5.0
5.0	65	50	49	26	5.0
10	69	55	52	27	6.0
15	68	57	53	29	6.0
20	69	58	54	30	7.0
25	70	60	54	32	8.0
30	72	61	54	35	8.0

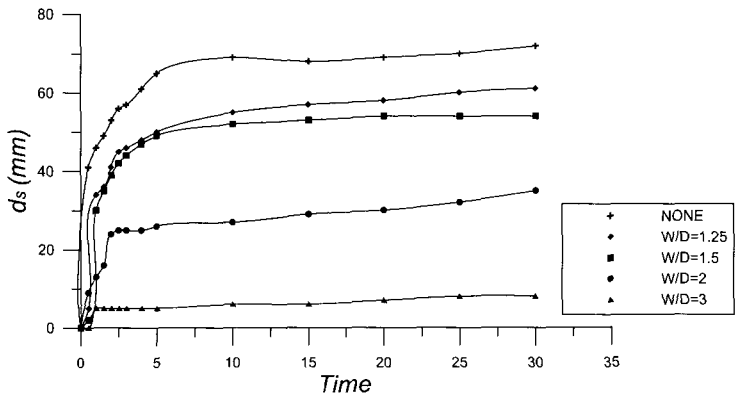


그림 3. 원환 크기에 따른 실시간 세굴심($y_c/d_s = 0$)

험초기에 급격하게 발생하였으며, 원환의 직경이 클수록 세굴심 감소효과가 뚜렷하게 나타났다. 또한, 원환 설치에 따라 세굴심 감소효과 이외에 최대세굴심 발생시간을 지연시키는 효과도 있었다.

그림 4는 W/D에 따른 최대세굴심 감소효과를 도시한 결과이다.

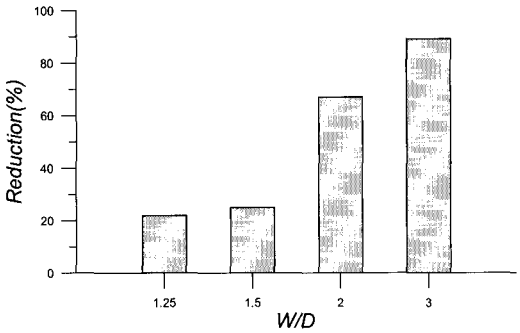


그림 4. W/D에 따른 최대세굴심 감소효과

그림 4에서, 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 원통 교각 주위 45°간격으로 측정한 세굴폭의 크기와 교각 후면인 경우에는 최대 퇴적고 및 발생위치를 나타낸다. 표 3에 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 20%~150% 증가하였고 W/D=2인 경우에는 약 70% 증가하였다.

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 4에서와 같이 원환은 교각 전면부의 최대세굴심을 감소시키는 효과가 있는 반면에 표 3에서 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 5는 원환 설치 유무에 따른 세굴공 및 퇴적고의 형상을 나타낸다.

그림 6은 원환 설치 위치에 따른 최대세굴심 변화도이다. 원환 크기에 따라 원환을 하상 위, 하상, 하상 아래로 위치를 변화시켜가면서 원환에 의한 세굴심 감소효과를 분석하였다.

표 3과 그림 6에서 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.

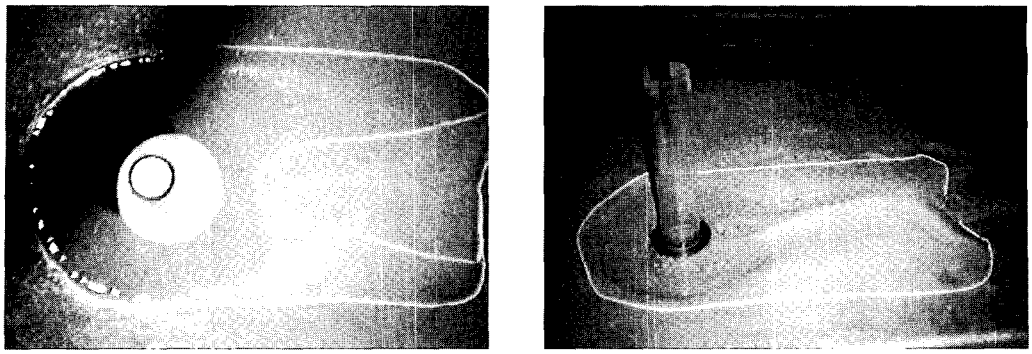
결과적으로 원환에 의한 세굴심 감소효과는 원환의 크기와 원환의 설치 위치에 좌우된다. 그러나 원환의 크기만을 증가시킨다는 것은 경제성이나 시공성에 문제가 되므로 세굴심 감소효과, 세굴공 및 퇴적고의 분석 결과를 토대로 W/D=2인 원환을 원환의 최적 크기로 제안한다.

표 3. 교각 주위의 세굴폭 및 퇴적고 (단위 : mm)

($y_c/d_s=0.0$)

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
후방퇴적길이 (퇴적고)	246(10)	230(25) 150%	245(15) 50%	250(17) 70%	272(12) 20%

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



(a) 원환 설치전 (b) 원환 설치후

그림 5. 원환 설치 유무에 따른 세굴공 및 퇴적고의 형상(W/D=1.25)

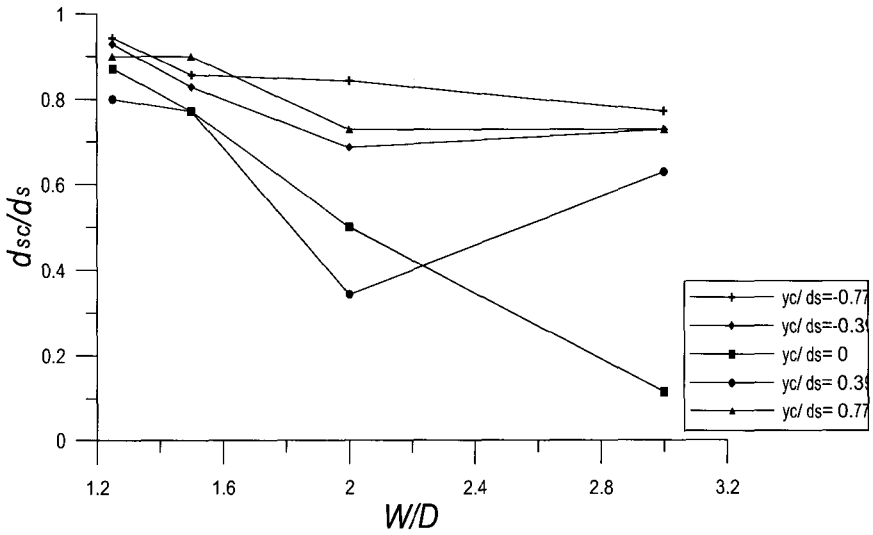


그림 6. 원환 설치 위치에 따른 최대세굴심 변화

4. 결 론

원환 크기에 따른 균등한 원통교각 주위에서 세굴심을 측정하여 세굴심 감소효과와 최적의 원환 크기를 제시한 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=1.25인 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.
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=2인 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 퇴적

고를 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. 원환의 크기와 설치 위치에 관계없이 W/D=2인 경우에 가장 작은 세굴심을 얻었으며, 세굴심 감소효과, 세굴공 및 퇴적고의 분석 결과를 토대로 W/D=2인 원환을 최적 크기로 제안하였다.

참 고 문 헌

서울특별시(1998), "한강교량기초 수리모형실험 보고서".

심우배, 임장혁, 조형준, 송재우(2000), "하상재료에 따른 원환보호공법 적용", 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 604~609.

심우배, 최인호, 강예석, 송재우(1999). "원환을 이용한 원형교각 주위의 국부세굴 방지 효과 ", 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 121~124.

Breusers, H. N. C., Nicollet, G., and Shen, H. W.(1997), "Local Scour around Cylinderical Piers", *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 15, pp. 211~252.

Dey, S., Bose, S. K., and Sastry, G. L. N.(1995), "Clear Water Scour at Circular Piers: A MODEL", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 121, No. 12, pp. 869~876.

Ettema, R.(1980), *Scour at bridge Piers*, Report No. 216, School of Engineering, The University of Auckland, Auckland.

Melville, B. W. and Coleman, S. E.(1999), *Bridge Scour*, Water Resources Publications, LLC.

Raudkivi, A. J. and Ettma, R.(1983), "Clear-Water Scour at Cylinderical Pier", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 109, No. 3, pp. 338~350.

Richardson, E. V., et al.(1993), *Evaluating Scour at Bidges*, Hydraulic Engineering Circular No. 18, FHWA-IP-90-017, February.

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 Preventation", *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.

Dargahi, B.(1990), "Controlling Mechanism of Local Scouring", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 116, No. 10, October, pp. 1197~1214.

Yanmaz, A. M. and Altmblick, H. D.(1991), "Study of Time-Dependent Local Scour around Bridge Piers", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 10, pp. 1247~1268.