

원환 설치에 의한 원형교각 주위의 수리특성변화 Variation of Hydraulic Characteristics around a Cylindrical Bridge Pier with Circular Collar

진 병 호* / 심 우 배** / 송 재 우***
Jin, Byoung Ho / Sim, Ou Bae / Song, Jai Woo

Abstract

In this study, hydraulic characteristics around bridge piers were analyzed with and without collar through a hydraulic model experiment. The analysis of stage variation in front and back side of pier showed that collar installation did not function as obstacle to the stream flow. Little variation of water level between front and back sides of pier was observed before and after collar installation(0.2cm in front side and 0.1cm in back side of pier). Also, result that analyze velocity variation in front and back side of pier, lateral velocity(u) and transverse(v) before and after collar installation exhibited no alteration in the front and back side of pier. About 16.72% and 15.83% of vertical velocities(w) were reduced for the condition of $y/d=0.33$ in the front side of pier and $y/d=0.67$ in the back side of pier, respectively. This experimental results suggest that the collar installation around pier can minimize the local scouring depth by preventing the downflow that cause the pier scour.

Key words : hydraulic characteristic, collar, scour, downflow

요 지

본 연구에서는 수리모형실험을 통하여 원환 설치 전·후 교각 주위의 수리특성을 분석하였다. 하천 흐름에서 교각 전·후의 수위 변화를 분석한 결과, 교각 전면부에서 원환 설치 전·후의 수위차는 약 0.2cm, 교각 후면부에서 원환 설치 전·후의 수위차는 약 0.1cm로 거의 변화가 없었다. 따라서, 원환이 하천 흐름에 장애가 되지 않는 것으로 판단되었다. 또한, 교각 전·후의 유속 변화를 분석한 결과, 교각 전·후면부에서 원환 설치 전·후의 흐름방향 유속(u)과 횡방향 유속(v)은 변화를 보이지 않았으며, 교각 전면부에서 연직방향 유속(w)은 수심비(y/D)가 0.33인 지점에서 약 16.72% 최대감소효과를 나타냈으며, 교각 후면부에서 연직방향 유속(w)은 수심비(y/D)가 0.67인 지점에서 약 15.83% 최대감소효과를 나타내었다. 원환을 설치했을 경우 교각 주위에서 세굴을 일으키는 하강류의 발생을 억제함으로써 국부세굴심을 감소시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 수리특성, 원환, 세굴, 하강류

* 서울시정개발연구원 도시환경연구부 연구원

** 정희원 · 서울시정개발연구원 도시환경연구부 초빙연구위원

*** 정희원 · 홍익대학교 토목공학과 교수

1. 서 론

교량은 중요한 사회 기반시설로 기존 교량의 붕괴는 인명과 재산 피해, 교통난과 더불어 사회·경제적인 측면에 많은 영향을 미친다. 국·내외 여러 연구결과에서 교량 파괴의 주요 원인 중 하나가 홍수와 세굴로 인한 것으로 알려져 있다(FHWA, 1993 ; Hamill, 1991 ; Melville and Coleman, 1999). 홍수시 교량붕괴의 주요 원인 중의 하나가 교랑기초의 세굴이므로 기존 혹은 계획중인 모든 교량에 대하여 세굴을 방지할 수 있는 방법이 강구되어야 할 것이다.

원환을 이용한 세굴보호공에 관한 연구동향으로는 Laursen 등(1956), Tanaka 등(1967), Kikkawa 등(1971), Dargahi 등(1990)이 원환(collar)에 의한 국부세굴심 감소 효과를 연구하였다. 특히 Kikkawa 등(1971)은 흐름을 포텐셜 흐름으로 가정하고 원형 교각 주위에 부착된 원환으로 인한 압력 변화량의 이론식을 제시하였으며, Ettema(1980)와 Chiew(1992)는 교각 보호공으로 원환이 매우 효과적이라고 발표하였다. 또한, 심우배 등(1999)은 대칭, 비대칭 및 반원형 원환을 설치하여 여러 가지 원환 형상에 따른 세굴 방지효과를 분석하였다.

교각 주위의 세굴보호공법 중 원환은 세굴심 감소효과가 탁월하고 시공성 및 경제성이 우수하다고 여러 연구자에 의해 제시되었으나, 실제 하천 전체의 흐름에 미치는 영향이 분석되지 못하였다. 따라서, 본 연구에서는 교각에 원환을 설치했을 경우 하천 흐름에 미치는 영향을 검토하기 위해 교각 주위에서의 원환 설치 전·후의 수리특성을 분석하고자 한다.

2. 실험방법 및 결과

2.1 실험방법

본 연구에서 원환 설치에 따른 원형교각 주위에서의 수리특성을 분석하기 위한 수리모형 실험장치는 그림 1과 같다.

실험장치는 유입·유출부의 직유로부 길이 8.0m, 폭 0.9m, 높이 0.45m, 수로중심선에 대한 곡률반경 2.5m, 반곡각 180°, 조도계수가 0.012인 유로만곡수로를 이용하였다. 또한, 유량을 공급하기 위한 장치로는 고수조(1.8m×1.2m×0.6m, 1.8m×1.2m×0.6m), 저수조(2.4m×2.4m×0.6m, 1.2m×2.4×0.6m), 펌프(10 HP)가 설치되어 있으며, 고수조에는 유입된 물을 받아 유량을 조절할 수 있는 직사각형 위어(0.46m×0.3m)가 설치되어 있다.

교각 직경 (D)이 60mm인 투명한 균등 원형 교각을 실험수로 직유로부 중심에 유입부의 영향을 고려하여 유입부로부터 4m 떨어진 곳에 설치하였으며, 급격한 유량변화에 따른 하상의 변화를 감소시키기 위해 유출부에 설치된 수문개폐장치로 수위를 조절하였다.

교각 주위의 유속과 수위는 3차원 유속계인 ADV(Acoustic Doppler Velocimeter)와 포인트 게이지를 이용하여 교각 전·후면부, 좌·우측면부를 측정하였으며, 교각 직경의 2배인 원환의 폭 ($W/D = 2.0$)과 원환이 설치되기 전 최대세굴심에 대한 하상으로부터 원환의 설치 위치의 비 ($y_c / d_{s(max)}$)를 0.39로 고정시킨 다음, 3가지 경우의 유량조건으로 원환 설치 전·후 교각 주위의 수위와 유속 변화를 분석하였다.

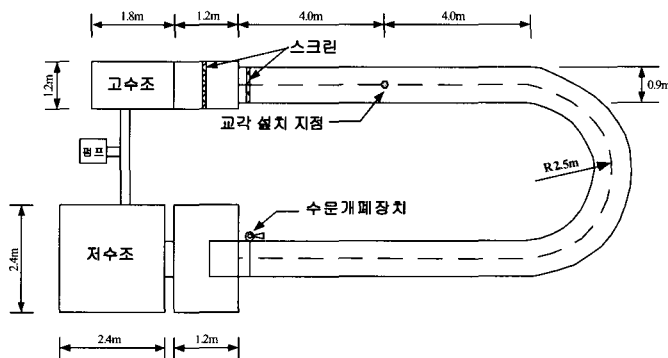


그림 1. 수리모형 실험장치

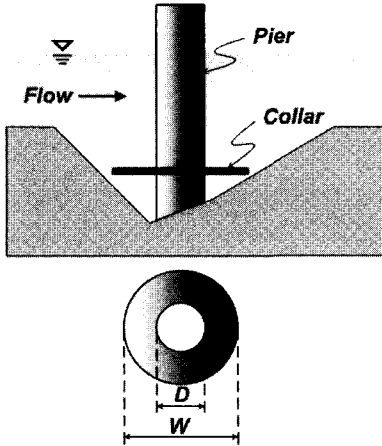


그림 2. 원환이 설치된 교각 개념도

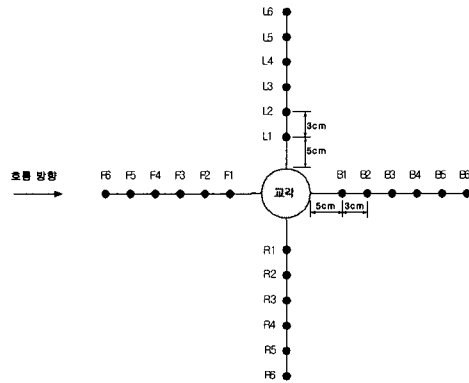


그림 3. 교각주위의 수위 및 유속측정 지점

표 1. 유량 변화에 따른 원환 설치 전·후의 측정별 수위[cm]

수위측정 지점		유량 (l/sec)					
		24.0		28.0		32.0	
		전	후	전	후	전	후
전면부	F0	10.60	10.50	10.80	10.60	11.40	11.25
	F1	10.20	10.12	10.40	10.30	10.30	10.20
	F2	10.10	10.04	10.20	10.10	10.15	10.08
	F3	10.05	10.03	10.05	10.03	10.10	10.40
	F4	10.00	10.00	10.03	10.01	10.06	10.00
	F5	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
	F6	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
후면부	B0	9.55	9.50	9.50	9.45	9.35	9.28
	B1	9.80	9.76	9.80	9.75	9.79	9.75
	B2	9.92	9.89	9.90	9.81	9.90	9.86
	B3	9.97	9.95	9.95	9.90	9.94	9.90
	B4	9.99	9.98	9.98	9.96	9.97	9.94
	B5	10.00	9.99	10.00	9.99	9.99	9.98
	B6	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
좌측면부	L0	10.20	10.15	10.30	10.20	10.57	10.30
	L1	10.08	10.04	10.20	10.10	10.22	10.17
	L2	9.98	9.95	10.06	10.04	10.07	10.05
	L3	9.97	9.94	9.96	9.95	9.98	9.96
	L4	9.96	9.93	9.97	9.96	9.96	9.95
	L5	9.98	9.97	9.98	9.97	9.98	9.97
	L6	9.99	9.99	9.99	9.98	9.99	9.99
우측면부	R0	10.20	10.15	10.30	10.20	10.57	10.00
	R1	10.08	10.04	10.20	10.10	10.22	10.30
	R2	9.98	9.95	10.06	10.04	10.07	10.17
	R3	9.97	9.94	9.96	9.95	9.98	10.05
	R4	9.96	9.93	9.97	9.96	9.96	9.96
	R5	9.98	9.97	9.98	9.97	9.98	9.95
	R6	9.99	9.99	9.99	9.98	9.99	9.98

표 2. 유량 변화에 따른 원환 설치 전 교각 전·후면부의 수심별 유속[cm/sec]

유속측정 지점			유량 (l/sec)								
			24.0			28.0			32.0		
			u	v	w	u	v	w	u	v	w
전 면 부	F1	$y/D = 0.67$	24.83	3.23	4.32	27.65	4.37	6.52	30.94	4.95	7.12
		$y/D = 0.50$	24.51	2.98	4.67	27.17	4.18	6.71	30.69	4.76	7.98
		$y/D = 0.33$	23.89	2.40	5.35	25.02	3.68	7.41	28.81	3.97	9.63
	F2	$y/D = 0.67$	25.62	2.92	3.27	28.85	3.00	5.58	31.28	3.26	6.00
		$y/D = 0.50$	25.21	2.77	3.42	27.41	2.81	5.74	30.80	3.03	6.33
		$y/D = 0.33$	24.39	2.50	4.32	26.12	2.62	6.01	29.83	2.89	6.70
	F3	$y/D = 0.67$	26.54	2.37	2.43	29.79	2.42	3.44	33.34	2.64	3.63
		$y/D = 0.50$	26.11	2.28	2.56	29.15	2.26	3.56	32.57	2.50	3.72
		$y/D = 0.33$	25.04	2.16	2.72	28.70	2.15	3.72	31.12	2.31	3.99
	F4	$y/D = 0.67$	27.92	1.65	2.12	31.61	1.97	1.52	35.55	1.80	1.10
		$y/D = 0.50$	27.31	1.62	2.21	30.31	1.80	1.59	33.50	1.77	1.14
		$y/D = 0.33$	25.86	1.50	2.37	29.35	1.76	1.67	33.00	1.75	1.20
	F5	$y/D = 0.67$	29.59	1.24	1.41	33.06	1.20	1.12	36.60	1.19	0.90
		$y/D = 0.50$	28.74	1.16	1.45	31.89	1.18	1.15	35.00	1.15	0.92
		$y/D = 0.33$	27.03	1.11	1.55	30.18	1.15	1.23	33.14	1.12	0.97
	F6	$y/D = 0.67$	29.81	0.81	0.71	33.52	0.75	0.64	36.78	0.64	0.62
		$y/D = 0.50$	28.83	0.80	0.80	32.40	0.71	0.69	35.23	0.62	0.67
		$y/D = 0.33$	27.11	0.78	0.92	30.62	0.66	0.73	33.36	0.59	0.71
후 면 부	B1	$y/D = 0.67$	8.57	2.66	5.14	10.50	2.78	7.13	11.60	2.93	10.42
		$y/D = 0.50$	9.38	2.78	4.08	11.58	2.91	6.04	12.10	3.09	9.27
		$y/D = 0.33$	10.51	3.10	3.67	12.22	3.14	5.71	12.95	3.30	8.47
	B2	$y/D = 0.67$	11.38	2.36	4.32	13.84	2.57	6.46	14.36	2.60	7.23
		$y/D = 0.50$	12.49	2.42	3.42	14.15	2.62	5.31	14.57	2.76	6.45
		$y/D = 0.33$	13.06	2.57	3.27	14.69	2.79	5.06	14.84	2.98	6.19
	B3	$y/D = 0.67$	13.43	2.18	3.32	20.72	2.29	4.32	23.99	2.31	4.95
		$y/D = 0.50$	14.17	2.25	2.94	21.11	2.39	4.11	24.20	2.42	4.67
		$y/D = 0.33$	14.55	2.38	2.74	21.36	2.48	3.89	24.30	2.61	4.52
	B4	$y/D = 0.67$	20.67	1.92	2.37	25.56	1.82	3.02	29.99	1.70	3.38
		$y/D = 0.50$	20.05	1.94	2.21	24.97	1.85	2.79	29.20	1.73	3.12
		$y/D = 0.33$	19.18	1.97	2.12	23.82	1.88	2.58	28.00	1.77	2.82
	B5	$y/D = 0.67$	23.03	1.56	1.55	26.53	1.23	1.63	31.25	1.08	1.85
		$y/D = 0.50$	22.72	1.57	1.45	24.83	1.24	1.56	29.47	1.09	1.77
		$y/D = 0.33$	21.81	1.58	1.41	23.65	1.25	1.51	28.87	1.12	1.60
	B6	$y/D = 0.67$	24.14	1.19	1.20	26.03	0.99	1.24	31.47	0.80	1.33
		$y/D = 0.50$	23.83	1.20	1.18	25.26	1.01	1.19	30.60	0.81	1.25
		$y/D = 0.33$	23.67	1.22	1.17	24.01	1.02	1.18	29.30	0.82	1.20

그림 2는 원환이 설치된 교각의 개념도를 나타낸 것이며, 그림 3은 교각 주위의 수위 및 유속측정 지점을 나타낸 것이다.

수위는 교각 전·후, 좌·우측면부에서 5cm 떨어진 지점부터 3cm씩 6개 지점을 거리별로 측정하였고, 유속은 수위측정 지점과 동일한 지점에서 하상을 기준으로 수심이 2cm 지점부터 1cm씩 수면

으로 접근하면서 수심별로 측정하였다.

2.2 실험결과

표 1은 유량 변화에 따른 원환 ($W/D = 2.0$) 설치 전·후의 측정별 수위를 측정하여 나타낸 것이다.

표 2와 3은 유량 변화에 따른 원환 ($W/D =$

표 3. 유량 변화에 따른 원환 설치 후 교각 전·후면부의 수심별 유속[cm/sec]

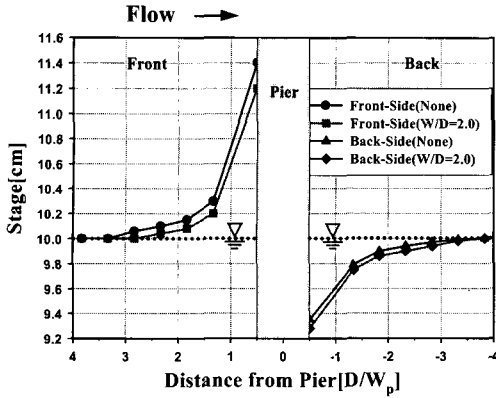
유속측정 지점		유량 (l/sec)									
		24.0			28.0			32.0			
		u	v	w	u	v	w	u	v	w	
전 면 부	F1	$y/D = 0.67$	24.51	3.19	4.03	27.34	4.12	5.61	30.51	4.78	6.34
		$y/D = 0.50$	24.04	2.92	4.12	26.88	3.85	5.73	30.37	4.57	6.98
		$y/D = 0.33$	23.17	2.27	4.67	24.72	3.38	6.27	29.20	3.60	8.02
	F2	$y/D = 0.67$	25.27	2.89	3.05	28.43	2.84	5.08	30.98	3.11	5.40
		$y/D = 0.50$	24.80	2.75	3.11	27.52	2.63	5.23	30.02	2.99	5.75
		$y/D = 0.33$	23.54	2.42	4.12	25.94	2.40	5.47	29.44	2.73	6.30
	F3	$y/D = 0.67$	26.18	2.35	2.63	29.66	2.37	3.32	33.12	2.56	3.54
		$y/D = 0.50$	25.69	2.26	2.71	28.72	2.21	3.45	32.13	2.45	3.62
		$y/D = 0.33$	24.43	2.12	2.90	28.28	2.09	3.58	30.77	2.21	3.66
	F4	$y/D = 0.67$	22.71	1.63	1.96	31.22	1.91	1.49	35.46	1.78	1.06
		$y/D = 0.50$	26.99	1.59	2.03	29.97	1.76	1.56	33.40	1.75	1.10
		$y/D = 0.33$	25.32	1.46	2.14	28.74	1.59	1.63	32.88	1.73	1.13
	F5	$y/D = 0.67$	29.50	1.23	1.35	32.86	1.18	1.07	36.58	1.17	0.87
		$y/D = 0.50$	28.68	1.13	1.39	31.77	1.15	1.12	34.42	1.12	0.90
		$y/D = 0.33$	27.00	1.08	1.46	30.12	1.10	1.20	33.10	1.10	0.96
	F6	$y/D = 0.67$	29.80	0.80	0.70	33.50	0.72	0.61	36.77	0.63	0.60
		$y/D = 0.50$	28.81	0.78	0.77	32.38	0.70	0.65	35.22	0.61	0.63
		$y/D = 0.33$	27.09	0.77	0.80	30.61	0.65	0.69	33.65	0.60	0.65
후 면 부	B1	$y/D = 0.67$	8.30	2.49	4.35	10.12	2.65	6.28	11.18	2.85	9.37
		$y/D = 0.50$	9.12	2.61	3.47	11.19	2.84	5.74	11.84	2.83	8.43
		$y/D = 0.33$	10.31	2.94	3.27	11.85	3.03	5.21	12.67	3.06	7.72
	B2	$y/D = 0.67$	11.26	2.29	3.54	13.60	2.38	5.85	14.14	2.49	6.40
		$y/D = 0.50$	12.70	2.38	3.19	13.95	2.51	5.04	14.40	2.53	6.17
		$y/D = 0.33$	13.20	2.53	3.15	14.53	2.68	4.26	14.64	2.82	5.98
	B3	$y/D = 0.67$	13.29	2.15	2.93	20.53	2.26	4.16	23.70	2.24	4.60
		$y/D = 0.50$	14.07	2.22	2.75	21.02	2.31	3.92	24.02	2.35	4.44
		$y/D = 0.33$	14.52	2.34	2.63	21.24	2.37	3.74	24.17	2.52	4.37
	B4	$y/D = 0.67$	20.64	1.90	2.24	25.51	1.79	2.93	29.82	1.65	3.20
		$y/D = 0.50$	20.02	1.93	2.14	24.93	1.81	2.89	28.16	1.72	2.90
		$y/D = 0.33$	19.15	1.95	2.10	23.73	1.83	2.54	27.88	1.79	2.73
	B5	$y/D = 0.67$	23.01	1.54	1.44	26.46	1.20	1.60	31.20	1.06	1.80
		$y/D = 0.50$	22.68	1.56	1.40	24.72	1.21	1.54	29.40	1.07	1.74
		$y/D = 0.33$	21.77	1.57	1.39	23.64	1.22	1.50	28.85	1.10	1.58
	B6	$y/D = 0.67$	24.12	1.18	1.17	26.01	0.97	1.22	31.46	0.79	1.30
		$y/D = 0.50$	23.80	1.19	1.16	25.24	0.99	1.18	30.58	0.80	1.22
		$y/D = 0.33$	23.65	1.21	1.15	23.99	1.00	1.17	29.27	0.81	1.19

2.0) 설치 전·후의 측정 지점에 따른 교각 전·후면부의 수심별 (y/D) 유속을 나타낸 것이다.

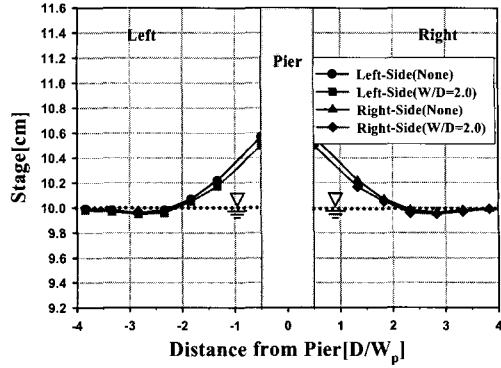
3. 비교 및 분석

그림 4는 최대유입유량이 32.0 l/sec일 경우 원환 ($W/D = 2.0$) 설치 전·후 교각 주위에서의 거리에 따른 수위 변화를 도시한 것이다.

그림 4에서 보는 바와 같이, 교각 전면부에서 원환 설치 전·후의 수위차는 약 0.2cm, 교각 후면부에서 원환 설치 전·후의 수위차는 약 0.1cm를 나타내었고, 교각 좌·우측면부에서 원환 설치 전·후의 수위차는 약 0.1cm로 거의 변화가 없었다. 이 수치는 중소하천의 이형축척($Y_r = \frac{1}{20}$)을 적용하면 실제 중소하천인 경우 0.2cm \Rightarrow 4cm, 0.1cm 2cm



(a) 교각 전 · 후면부



(b) 교각 좌 · 우측면부

그림 4. 교각 주위에서의 거리에 따른 수위 변화

가 된다. 따라서, 원환이 하천 흐름에 장애가 되지 않는 것으로 판단된다.

그림5는 최대유입유량이 32.0 l/sec일 경우 교각 전 · 후면부에서 5cm 떨어진 F1, B1 지점에서 수심비 (y/D)에 따른 원환 설치 ($W/D = 2.0$) 전 · 후의 유속 변화를 나타낸 것이다.

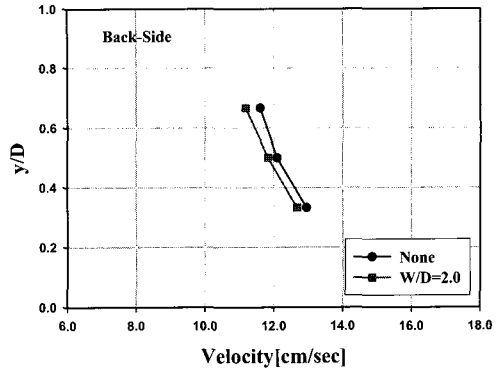
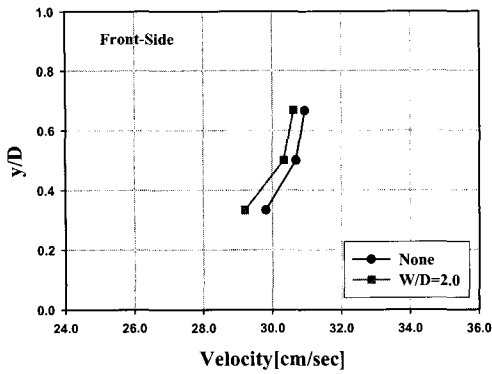
그림 5에서 보는 바와 같이, 흐름방향 유속(u)의 분포를 보면 교각 전면부에서는 원환을 설치했을 경우 원환 설치 전에 비해 수심비 (y/D)가 0.67에서는 1.07%, 0.50에서는 1.14%, 0.33에서는 2.05% 감소하였으며, 교각 후면부에서는 원환을 설치했을 경우 원환 설치 전에 비해 수심비 (y/D)가 0.67에서는 2.53%, 0.50에서는 1.34%, 0.33에서는 1.03% 감소되었다. 횡방향 유속(v)의 분포를 보면 원환 설치 유무와 관계없이 교각 전면부에서는 하상에 접근할수록 감소하였으며, 교각 후면부에서는 하상에 접근할수록 증가하였다. 연직방향 유속(w)의 분포를 보면 교각 전면부에서는 원환을 설치했을 경우 원환 설치 전에 비해 수심비 (y/D)가 0.67에서는 10.96%, 0.50에서는 12.53%, 0.33에서는 16.72% 감소하였으며, 교각 후면부에서는 원환을 설치했을 경우 원환 설치 전에 비해 수심비 (y/D)가 0.67에서는 15.83%, 0.50에서는 13.38%, 0.33에서는 10.04% 감소하였다.

위의 실험결과로부터, 교각에 원환을 설치했을 경우 연직방향 유속(w)이 크게 감소되므로, 원환은 교각 주위에 세굴을 일으키는 하강류의 크기를 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

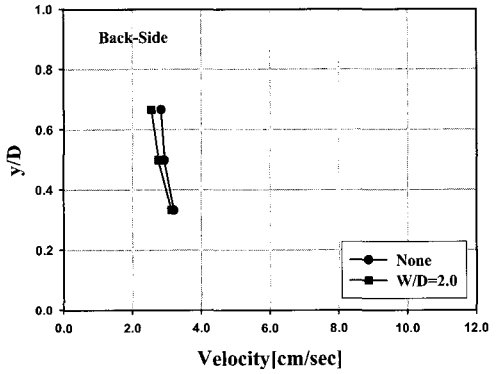
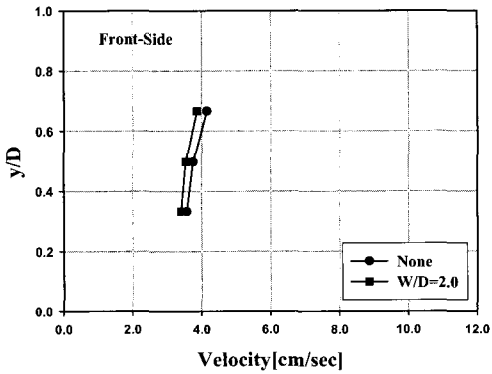
4. 결 론

본 연구에서 수리모형실험을 통하여 원환 설치 전 · 후 교각 주위의 수리특성을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

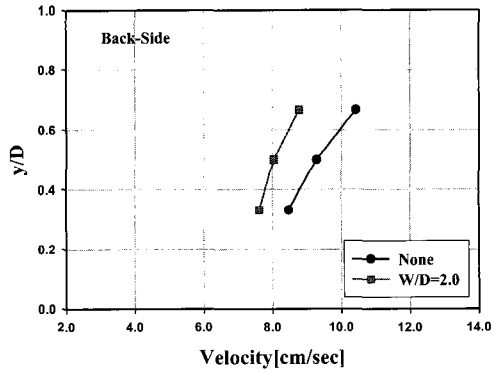
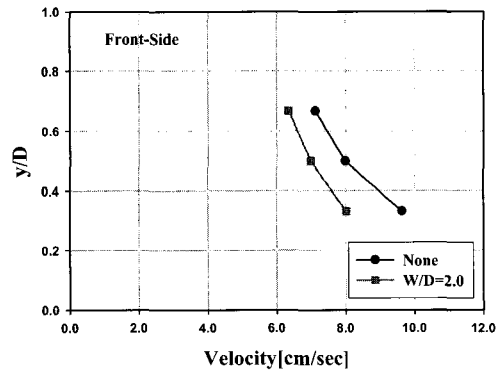
1. 하천 흐름에서 교각 전 · 후의 수위 변화를 분석한 결과, 최대유입유량이 $Q=32.0$ l/sec 일 경우 교각 전면부에서 원환 설치 전 · 후의 수위차는 약 0.2cm, 교각 후면부에서 원환 설치 전 · 후의 수위차는 약 0.1cm로 거의 변화가 없었다. 따라서, 원환이 하천 흐름에 장애가 되지 않는 것으로 판단된다.
2. 교각 전 · 후의 유속 변화를 분석한 결과, 최대유입유량이 $Q=32.0$ l/sec일 경우 교각 전 · 후면부에서 원환 설치 전 · 후의 흐름방향 유속(u)과 횡방향 유속(v)은 변화를 보이지 않았으나, 연직방향 유속(w) 변화를 보면, 교각 전면부에서는 수심비 (y/D)가 0.33인 지점에서 약 16.72%로 최대감소효과를 나타냈으며, 교각 후면부에서는 수심비 (y/D)가 0.67인 지점에서 약 15.83%로 최대감소효과를 나타내었다. 따라서, 원환을 교각에 설치했을 경우 연직방향 유속(w)이 크게 감소되므로, 교각 주위에 세굴을 일으키는 하강류의 크기를 감소시켜 세굴심 감소효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.



(a) 흐름방향 유속(u)



(b) 횡방향 유속(v)



(c) 연직방향 유속(w)

그림 5. 수심비 (y/D)에 따른 원환 설치 전·후의 유속 변화

참고 문헌

강진구, 심우배, 송재우(2001), “신경망 이론을 이용한 교각 주위 국부세굴심 예측”, 대한토목학회 논문집, 제 22 권, 제 2-B 호, 2002.
 심우배, 강진구, 백경원, 송재우(2002), “하상재질의 특성을 고려한 국부세굴심 예측”, 한국수자원학

회 학술발표회 논문집
 Bruce W. Melville and Arved J. Raudkivi(1996), “Effect of Foundation Geometry on Bridge Pier Scour”, *Journal of Hydraulic engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 4, pp. 203~209
 Chiew, Y. M.(1995), “Mechanics of Riprap Failure at Bridge Piers”, *Journal of Hydraulic*

Engineering, ASCE, Vol. 121, No. 9, pp. 635~643
FHWA(1993), "*Evaluating Scour at Bridge*",
Hydraulic Engineering Circular No. 18, FHWA-
IP-90-017.

Hamill, L.(1999), "*Bridge Hydraulics*", E & FN
SPON.
Melville, B. W. and Coleman, S. E.(1999), "*Bridge
Scour*", Water Resources Publications, LLC.