

# 원환을 이용한 국부세굴방지에 대한 실험적 연구

○ 김지호<sup>\*</sup>, 이규원<sup>\*\*</sup>, 박영진<sup>\*\*\*</sup>, 송재우<sup>\*\*\*\*</sup>

## 1. 서론

자연하천에서의 하상변동은 여러 수리학적 인자들의 영향에 의해 하천에 재해를 유발시킬 수 있다. 이와 같은 하상변동 중의 하나인 국부세굴은 교각 주위에서 발생하는 하상변동을 의미하며, 교량의 안전성 문제와 밀접한 관계가 있다. 이러한 교각주위 국부세굴을 감소시키기 위한 교각세굴 보호공법은 국부세굴을 야기시키는 수리학적인자의 능력을 감소시키는 방법과 하상재료의 저항력을 증대시키는 방법으로 크게 구별되며, 전자에 해당되는 공법중 하나인 원환에 의한 보호공법은 현재까지의 실험결과 하강률을 크게 감소시키는 것으로 나타났으며, 현장에서 시공이 용이하다는 장점이 있다.

본 연구에서는 균등 원형 교각을 직유로부에 설치하여 교각 폭, 수심, 하상재질을 달리한 조건에서 원환의 설치위치에 따른 국부세굴심 감소효과를 실험을 통해 분석함으로써 세굴보호공 설계에 기초자료를 제공하는데 있다.

## 2. 기본이론

### 2.1 세굴구분 및 흐름특성

세굴은 유수에 의하여 수로를 구성하고 있는 하상재료가 이동 또는 제거됨에 따라 수로 단면이 확장되는 현상을 말하고, 일반적으로 장기간 하상상승과 저하, 수축세굴, 국부세굴로 분류되며, 이중 국부세굴이 수공구조물에 가장 큰 영향을 미치게 된다.

그림 2.1에 나타낸 바와 같이 교각에 접근하는 흐름의 특성은 매우 다양하고 세굴공 내에서는 복잡한 양상을 나타내는데, 교각전면의 하강률, 교각하부의 마제형 와, 교각후면의 후류 와, 교각 전면의 수면에서 발생하는 파동으로 대별된다.

### 2.2 원환에 의한 세굴보호공법

그림 2.2는 원환 설치 교각의 개념도를 나타낸 것이며, Carstens(1976)와 Dargahi(1987)는 교각 주위 하강률의 강도를 원환에 의해 감소시킬 수 있다고 하였고, Kikkawa 등(1971)은 흐름을 포텐셜흐름으로 가정하고 원형교각 둘레에 부착된 원환으로 인한 압력변화량을 계산하는 식을 유도하여, 원환의 직경을  $W$ 라 할 때 압력변화량은  $(W/2)^2$ 에 반비례하여 작아진다고 하였다. 최인

\* 홍익대학교 토목공학과 박사과정 수료  
\*\* 홍익대학교 토목공학과 석사졸업  
\*\*\* 서일대학 토목과 전임강사  
\*\*\*\* 홍익대학교 토목공학과 교수

호(1997)는 직유로부에서 원환에 의한 국부세굴의 최대감소효과는 원환위치가 평균수심( $h$ )의 0.2  $h$  만큼 하상 아래에, 만곡부의 경우에는 0.1  $h$  만큼 하상 아래에 설치하였을 때 가장 효과적이라고 하였으며, 심우배 등(1999)의 연구에 의하면, 원환의 형상을 대칭형, 비대칭형 및 반원형으로 달리 하여 실험한 결과, 원환의 형상은 대칭형이 가장 적절하며, 크기는 교각 폭의 두 배인 경우가 경제성과 시공성을 고려할 때 적절한 세굴심 감소효과를 얻는 것으로 제시하였다.

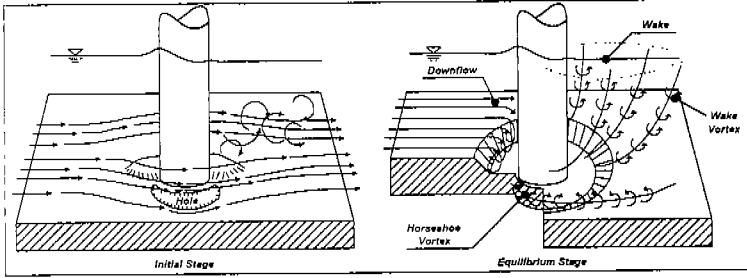


그림 2.1 원형교각 주위 흐름 개념도

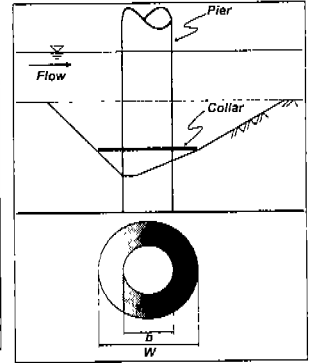


그림 2.2 원환 설치 교각

### 3. 수리모형실험

#### 3.1 실험장치 및 방법

본 연구에 사용된 실험수로는 그림 3.1에 나타내었으며, 수로의 제원은 만곡각 180°, 수로 폭은 0.9m, 수로중심선을 따른 곡률반경은 2.5m, 유입, 유출부의 직유로부 길이는 8.0m, 곡률반경-하폭 비는 2.78이다. 원환보호공에 의한 균등교각 주위의 국부세굴심 감소효과를 분석하기 위하여 실험수로 직유로부의 중심에 모형교각을 유입부의 영향이 없도록 유입부에서 5m 떨어진 곳에 설치하였고, 유속은 3차원 유속계인 ADV를 이용하여 교각 접근유속을 측정하였다. 유량은 25.5  $\ell$ /sec 로 하였고, 하상재로는  $\sigma_g = 1.29, 1.63$ 인 두 종류에 대하여 15cm 높이로 포설하였으며, 모형교각의 직경은 3cm와 6cm로 달리하여 실험하였다. 그림 3.2는 본 연구에 사용된 모형교각의 개

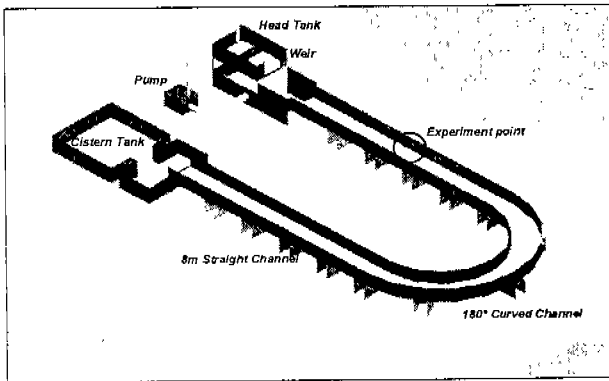


그림 3.1 수리모형 실험 장치

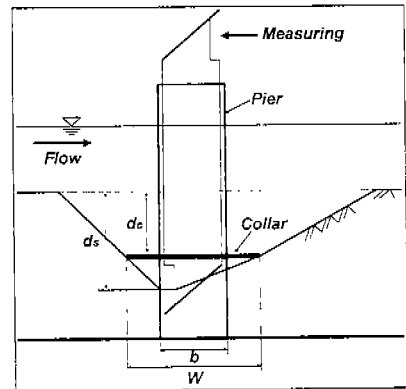


그림 3.2 모형교각 개념도

념도를 나타낸 것으로써,  $d_c$  : 하상으로부터 원환까지의 거리,  $d_s$  : 최대세굴심,  $b$  : 교각 폭,  $W$  : 원환의 폭이다. 본 연구에서는 교각 폭에 대한 원환 폭의 비를  $W/b = 2$ 로 하여 하상에 접한 위

치부터 하상 아래로 1cm 씩 하강하면서 설치하여 실험을 수행하였으며, 실험시의 오차를 줄이기 위하여 매 실험마다 반복실험을 실시하여, 원환을 설치하지 않은 경우에 대하여 먼저 실험을 실시하고, 원환을 설치한 경우와 비교하여 원환에 의한 세굴감소효과를 분석하였다.

### 3.2 실험 결과

표 3.1 원환을 설치하지 않은 경우의 최대세굴심

$Q$ ( $l/s$ )	$\sigma_g$	$b$ (cm)	$h$ (cm)	$y$ (cm)	$V$ (cm/sec)	$F_r$	$d_s$ (cm)	
25.5	1.63	6	7.0	8.3	39.1	0.43	7.3	
			8.0	9.2	36.7	0.39	7.0	
			9.0	10.3	35.4	0.35	6.0	
			10.0	11.4	31.2	0.29	5.4	
			12.0	13.3	24.1	0.21	3.6	
	1.29	6	7.0	7.0	7.7	38.0	0.44	4.9
				8.0	8.6	37.8	0.41	4.2
				9.0	9.6	33.6	0.35	3.7
				10.0	10.6	31.4	0.31	3.5
				7.0	8.3	36.0	0.40	8.4

표 3.2 원환을 설치한 경우의 최대세굴심

$\sigma_g$	$b$ (cm)	$h$ (cm)	$y$ (cm)	$W/b$	$d_c$ (cm)	$d_s$ (cm)	감소효과 (%)	$d_c/d_s$
1.63	6	7.0	8.3	2	無	7.3	-	-
					0	7.2	1.4	0.00
					-1	6.4	12.3	0.14
					-2	6.2	15.1	0.27
					-3	3.0	58.9	0.41
		-4	4.0	45.2	0.55			
		10.0	11.4	2	無	5.4	-	-
					0	3.5	35.2	0.00
					-1	2.7	50.0	0.19
					-2	2.0	63.0	0.37
	-3				3.0	44.4	0.56	
	3	7.0	7.7	2	無	4.9	-	-
					0	4.8	2.0	0.00
					-1	3.5	28.6	0.20
					-2	2.0	59.2	0.41
-3					3.0	38.8	0.61	
1.29	6	7.0	8.3	2	無	8.4	-	-
					0	8.1	3.6	0.00
					-1	7.5	10.7	0.12
					-2	7.4	11.9	0.24
					-3	3.0	64.3	0.36
-4	4.0	52.4	0.48					

\* 원환위치( $d_c$ )에서 無는 원환이 설치되지 않은 경우이고, -는 하상 아래로의 하강을 뜻함

원환을 설치하지 않은 경우에, 유사크기, 교각 폭, 수심을 달리하였을 때의 수리모형실험을 수행한 결과를 표 3.1에 나타내었으며,  $\sigma_g$  : 하상재료의 기하학적 표준편차,  $b$  : 교각 폭,  $h$  : 평

관수심,  $y$  : 접근수심,  $V$  : 접근유속,  $Fr$  : Froude 수,  $d_s$  : 최대세굴심이다. 또한, 원환을 설치한 경우에도 동일한 방법으로 유사크기, 교각 폭, 수심 및 원환의 위치를 달리하여 수리모형실험을 수행한 결과를 표 3.2에 나타내었으며, 음영처리된 부분은 원환에 의한 국부세굴심의 최대감소효과이고,  $W/b$  : 교각 폭에 대한 원환 폭의 비,  $d_c$  : 하상으로부터 원환까지의 거리이다.

#### 4. 비교 및 분석

##### 4.1 유속분포

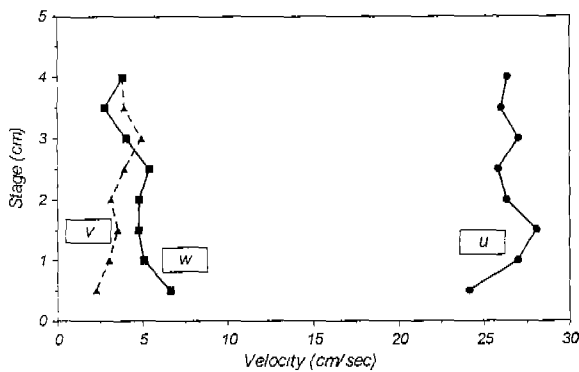


그림 4.1 교각 직상류의 유속분포

3차원 ADV유속계를 이용하여 교각 직상류에서 측정된 유속분포를 그림 4.1에 나타내었으며, 수면에서 하상으로 접근할수록 흐름 방향( $u$ ) 및 횡방향 유속( $v$ )은 감소되는 경향을 보였으나, 연직방향 유속( $w$ )의 경우에는 하상으로 접근할수록 하강류가 점차적으로 증가되는 경향을 나타내었다. 기존 연구자들의 실험 결과에서도 원환보호공을 하상아래에 설치할 때에 국부세굴심 감소효과가 더 크게 나타났고, 본 연구에서도 유속분포를 고려할 때 원환 보호공을 이용하여 국부세굴심을 감소시키기

위해서는 하강류를 크게 감소시킬 수 있도록 하상 아래에 원환을 설치하는 것이 적절한 것으로 나타났다.

##### 4.2 원환보호공에 의한 국부세굴심 감소효과

###### (1) 교각 폭이 다른 경우의 세굴심 감소효과

동일한 유량조건( $Q=25.5 \text{ l/sec}$ )에서 평균수심이 7cm인 경우에 가장 큰 세굴심이 관측되어 최대세굴심이 발생한 수심인 7cm의 경우를 대상으로 비교 및 분석하였으며, 교각 폭이 다른 경우의 원환위치에 따른 국부세굴심의 변화를 그림 4.2에 나타내었다.

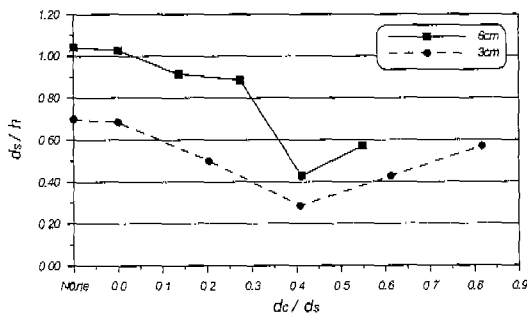


그림 4.2 교각 폭이 다른 경우의 세굴심도

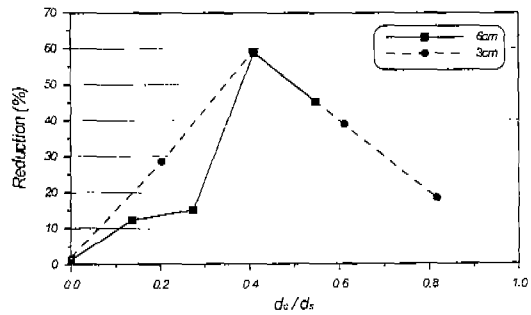


그림 4.3 교각 폭이 다른 경우의 세굴심 감소효과

그림 4.2에서  $dc/ds$ 는 원환을 설치하지 않았을 때의 최대세굴심에 대한 원환 위치의 비율

나타낸 것이며,  $dc/ds = \text{None}$ 인 경우는 원환을 설치하지 않았을 때의 최대세굴심이다. 원환을 하상에서부터 1cm씩 하강시켜가며 실험한 결과, 원환의 설치위치가  $dc/ds \approx 0.41$  일 때 3cm, 6cm 두 경우 모두의 국부세굴심이 가장 작게 나타났다.

그림 4.3은 동일한 유량조건에서 교각 폭이 다른 경우의 세굴심 감소효과를 나타낸 것이며, 가로축은 최대세굴심에 대한 원환 위치의 비, 세로축은 감소효과(%)를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 원환의 위치를  $dc/ds \approx 0.41$ 로 하였을 때 3cm, 6cm 두 경우 모두가 약 59%로 원환에 의한 국부세굴심의 최대감소효과를 나타내었다.

(2) 하상재질이 다른 경우의 세굴심 감소효과

하상재질을 비균등사( $\sigma_g = 1.63$ )와 균등사( $\sigma_g = 1.29$ )로 달리하였을 때 원환의 위치에 따른 세굴심 변화와 감소효과를 그림 4.4~4.5에 나타내었다.

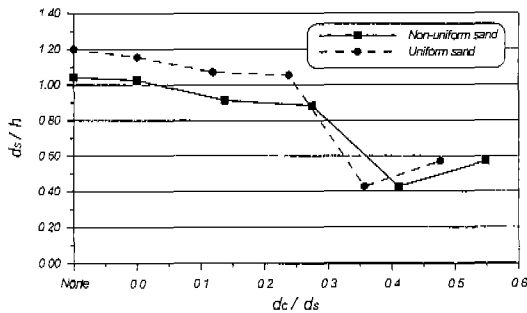


그림 4.4 비균등사와 균등사에서의 세굴심도

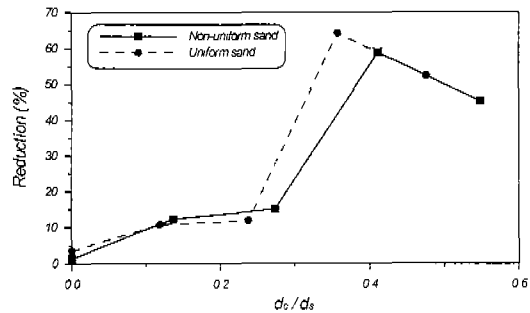


그림 4.5 비균등사와 균등사의 세굴심 감소효과

그림에서  $dc/ds = \text{None}$ 인 경우는 원환이 설치되지 않은 경우로써, 그때의 국부세굴심은 하상재질이 비균등사인 경우에 세굴심이 더 작게 나타났다. 또한, 기존의 연구에서도  $\sigma_g$ 의 값이 증가함에 따라 세굴공과 하상 근처에 피복층이 형성되므로 하상 장갑화의 영향으로 세굴심이 감소한다고 하였다(Ettema(1976), Baker(1986)). 원환의 위치를 하상에서부터 1cm씩 하강하면서 실험한 결과, 원환의 효과로 인하여 점차적으로 세굴심이 감소하였으며, 균등사인 경우는  $dc/ds \approx 0.36$ , 비균등사인 경우는  $dc/ds \approx 0.41$  되는 지점에 설치하였을 때 가장 감소효과가 좋은 것으로 나타났으며, 그때의 최대감소효과는 각각 약 59%, 64%이었다.

5. 결론

균등 원형교각 주위에서의 국부세굴특성과 세굴방지공법 중의 하나인 원환보호공에 의한 국부세굴심 감소효과를 분석하기 위하여 교각 폭, 수심, 하상재질, 원환의 위치를 변화시키며 수리 모형실험을 실시한 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 교각 직상류에서의 유속분포는 수면에서 하상으로 접근할수록 하강류의 발달로 인해 연직방향 유속은 증가되고, 흐름 방향 및 횡방향 유속은 감소되는 경향을 나타냈다.

(2) 하상재질을 달리하여 원환을 설치하지 않은 경우의 세굴심은  $\sigma_g = 1.63$ 인 비균등사가  $\sigma_g = 1.29$ 인 균등사보다 더 작게 측정되었으며, 이는 하상재질이  $\sigma_g$ 의 값이 증가함에 따라 하상

장갑화의 영향으로 인해 세굴심이 더 작게 나타난 것으로 사료된다.

(3) 원환을 설치하여 국부세굴실험을 수행한 결과, 본 연구의 조건에서 국부세굴심의 최대 감소효과는 약 59%~64%로 나타났으며, 하상 아래로 최대세굴심의 약 36%~41%되는 지점에 원환을 설치할 때 국부세굴심의 감소효과가 가장 큰 것으로 나타났다.

추후 교각 폭, 수심, 하상재질 등에 대하여 좀 더 다양하게 실험을 수행한다면 원환을 이용한 교각 국부세굴 보호공법의 설계를 보다 정확히 할 수 있으리라 사료된다.

## 6. 참고문헌

- 1) 송재우, 수리학, 구미서관, 1999, pp. 320~324.
- 2) 심우배 외 3인, "원환을 이용한 원형 교각 주위의 국부세굴 방지 효과", 대한토목학회 학술발표회논문집 III, 1999, pp. 121~124.
- 3) 윤태훈 외 2인, "교각 세굴에 대한 사석보호공 해석" 대한토목학회 학술발표회논문집, 1995, pp. 240~243.
- 4) 이정규 외 3인, "하천 교각의 세굴방지 대책에 대한 실험적 연구", 대한토목학회 논문집, 제 15 권, 제 1 호, 1995, pp. 165~172.
- 5) 최인호 외 2인, "만곡부에 위치한 교각주위의 국부세굴 보호공에 관한 실험적 연구", 한국수자원학회 논문집, 제 31 권, 제 3 호, 1998, pp. 269~277.
- 6) Breusers, H. N. C. and Raudkivi, A. J., *Scouring*, A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1991, pp. 7~98.
- 7) Chiew, Y. M., "Scour Protection at Bridge Piers", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 118, No. 9, 1992, pp. 1260~1269.
- 8) Herbich, J. B., *Handbook of Coastal and Ocean Engineering Vol. 2-Offshore Structures Marine Foundations Sediment Processes and Modeling*, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1998, pp. 867~958.
- 9) Hoffmans, G. J. C. M. and Verheij, H. J., *Scour Manual*, A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1997, pp. 7~127.
- 10) Kikkawa, H., et al., "Study on Scouring around a Bridge Pier and Its Prevention", *Proc. of JSCE*, Vol. 194, October, 1971, pp. 83~90.
- 11) Ruff, J. F. and Nickelson, J. R., "Riprap Coverage around Bridge Piers", *Conference Proceeding of Hydraulic Engineering*, ASCE, 1993, pp. 1540~1545.