

# 기초의 영향을 고려한 원환보호공의 국부세굴 감소효과

○ 이상도<sup>1)</sup>, 김봉상<sup>2)</sup>, 정용태<sup>3)</sup>, 송재우<sup>4)</sup>

## 1. 서론

우리나라는 강우량의 대부분이 여름철에 집중되어 있어 급변하는 기상특성과 더불어, 하상 경사 또한 급한 지리적 특성으로 인하여 세굴의 위험성에 상대적으로 노출되어 있는 상태에 있다. 따라서 기존 혹은 계획중인 모든 교량에 대하여 세굴에 대해 보호될 수 있는 방법이 강구되어야 할 것이다.

세굴보호공법은 하상재료의 저항력을 증대시키는 방법과 세굴발생인자의 능력을 감소시키는 방법으로 분류되는데, 세굴발생인자의 능력을 감소시키는 방법의 하나인 원환보호공법은 현장에서 시공성과 경제성이 우수하고, 연구결과 세굴심을 크게 감소시키는 것으로 나타났다. 그러나 원환보호공에 관한 대부분의 연구들은 주로 기초의 영향을 고려하지 않은 균등한 교각을 중심으로 이루어져 왔다. 실제 하천의 대부분의 교량은 기초 위에 교각이 설치되어 있는 비균등 기하구조로 만들어지므로 수리모형실험의 자료를 실무에 적용하기엔 어려움이 따른다.

따라서, 본 연구의 목적은 기초의 폭과 위치를 달리한 조건에서 비균등 원형교각을 직유로부에 설치하여 접근유속 및 최대세굴심을 측정함으로써 비균등 원형교각주위의 세굴특성 및 기초에 의한 세굴감소효과를 분석하고자 한다. 또한, 비균등 원형교각에 원환의 위치를 달리하여 기초위치에 따른 세굴심 감소효과를 분석함으로써 원환의 최적설치위치를 제안하고자 한다.

## 2. 원환에 의한 교각세굴 보호공

Kikkawa 등(1971)은 흐름을 포텐셜흐름으로 가정하고 원형교각 둘레에 부착된 원환으로 인한 압력변화량을 계산하는 식을 유도하여, 이 식에 의해 원환을 부착하였을 때 압력변화량은  $\left(\frac{W}{2}\right)^2$ 에 반비례하여 작아진다고 하였다. Dargahi(1990)도 교각에 원환을 부착하여 원형교각의 경우에 원환의 위치하상보다 0.015  $h$  낮을 때 세굴심 감소효과가 최대였으며 원환의 위치가 0.25  $h$  이상 그림 1 원환 설치시 교각 개념도 높을 때에는 세굴심에 전혀 영향을 주지 않는다고 하였다.

또한 원환이나 원형교각형상의 변형이 마제형 와의 형성을 방지할 수는 없으며, 원환이 교각의 박리된계층 내에 설치되었을 때 마제형 와의 강도를 효과적으로 감소시킬 수 있다고 발표하였다. 최인호(1997)는 직유로부에서 원환에 의한 국부세굴의 최대감소효과는 원환위치가 평균수심( $h$ )의 0.2  $h$  만큼 하상 아래에, 만곡부의 경우는 0.1  $h$  만큼 하상 아래에 설치하였을 때 가장 효과적이라고 하였으며, 만곡부 흐름 특성을 고려한 비대칭형 원환을 흐름방향에서 외측으로 8°의 각도로 설치하였을 때 만곡부에서 세굴감소효과가 크다고 하였다. 또한, 심우배 등(1999)은 원환의 형상을 대칭형, 비대칭형 및 반원형으로 달리하여 실험한 결과, 대칭형 원환의 경우가 가장 큰 최대세굴

1) 홍익대학교 토목공학과 박사과정  
2) 홍익대학교 토목공학과 석사과정  
3) 순천청암대학 지구환경시스템과 조교수  
4) 홍익대학교 토목공학과 교수

심 감소효과를 나타내었으며, 원환의 크기는 교각폭의 두배인 경우가 경제성과 시공성을 고려할 때 적절한 것으로 제시하였다.

그림 1은 원환 설치 교각의 개념도를 나타낸 것이다.

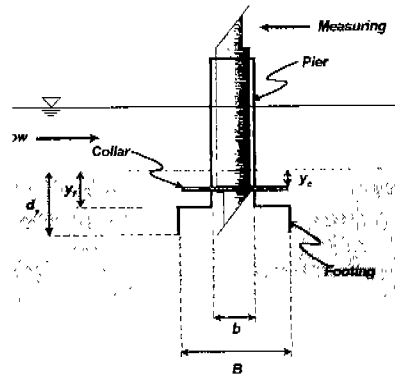


그림 1 원환 설치시 교각 개념도

### 3. 수리모형 실험장치 및 실험방법

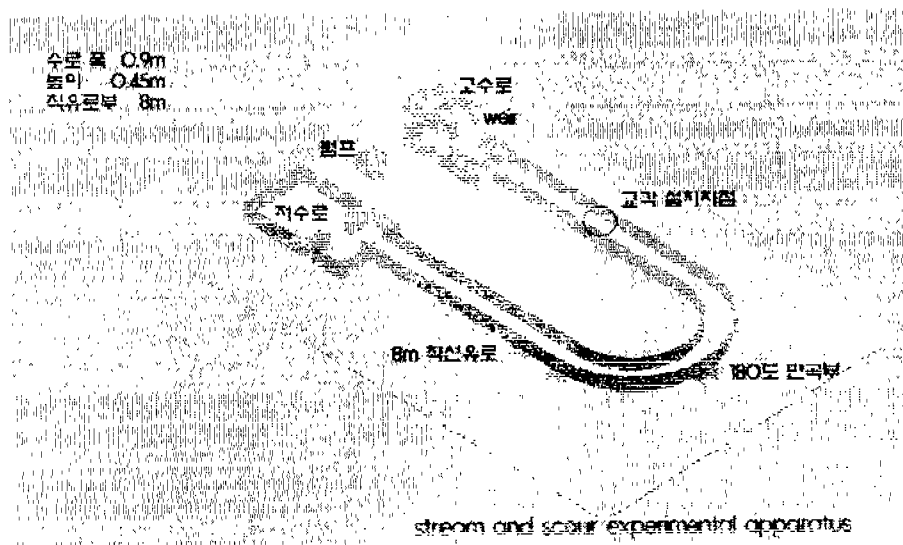


그림 2 수리모형 실험장치

본 연구에서는 균등 및 비균등 원형교각주위에서 세굴특성 및 원환에 의한 감소효과를 분석하기 위하여 그림 2과 같은 수리모형 실험장치를 이용하여 수리모형실험을 수행하였다. 수리모형수로의 제원은 폭 0.9m, 높이 0.45m, 유입·유출부의 직유로부 길이 8.0m, 수로중심선에 대한 곡률반경이 2.5m인 180° 만곡수로이며, 중앙입경( $d_{50}$ )이 0.47, 기하학적 표준편차( $\sigma_g$ )가 1.63인 비균등 유사를 직유로부에 15cm 두께로 포설하였다.

실험은 유입부의 영향을 고려하여 유입부에서 5m 떨어진 직유로부의 중심에 교각직경이 60mm인 균등 및 비균등 원형교각을 설치하여 접근유속과 실시간 세굴심을 측정하였다. 유량조건은 25.5 l/sec 이며, 하류단에

설치된 수분을 조절하여 수심을 일정하기 유지시켰다. 유속측정은 3차원 유속계인 ADV(Acoustic Doppler Velocimeter)를 이용하여 모형교각의 전면부에서 측정하였으며, 세굴심은 잠망경의 원리를 이용한 세굴심 측정장치를 이용하여 측정하였다.

균등 원형교각에 대하여 접근유속 및 세굴심을 실시간으로 측정하였으며, 원환직경( $W$ )에 대한 교각직경( $b$ )의 비가 2인 원환을 하상으로부터 1cm씩 아래로 위치시키면서 최대세굴심 감소효과를 분석하였다.

기초에 의한 세굴심 감소효과를 분석하기 위해 기초가 하상위로 노출된 경우, 하상에 접한 경우, 하상아래에 위치한 경우로 나누어 수리모형실험을 수행하였다. 기초가 하상아래에 위치한 경우에는 하상으로부터 기초상단면을 1cm씩 내려가면서 균등교각의 최대세굴심 아래까지 위치시켰다. 또한, 기초의 위치에 따른 원환의 세굴심 감소효과를 분석하기 위해, 비균등 원형교각의 각 경우에 대하여 원환의 위치를 달리하여 수리모형실험을 실시하였다. 또한, 기초폭을 120, 180mm로 달리하여 기초폭에 대한 세굴양상을 관측하였다.

#### 4. 실험결과 및 비교분석

##### 1) 기초에 의한 세굴심 감소효과

표 1은 두 가지 경우의 기초폭에 대하여  $y_f/b$ 의 변화에 따른 최대세굴심 감소효과를 나타낸다.

표 1 기초에 의한 최대세굴심 감소효과

교각형상	$B$ (mm)	$y_f/b$	$d_s$ (mm)	감소효과 (%)
비균등 교각	120	0.50*	102	-24
		0.00	39	52
		0.17	35	57
		0.33	33	60
		0.50	30	63
		0.67	40	51
		0.83	50	39
		1.00	60	27
	180	1.17	70	15
		1.33	80	2
		0.50*	115	-40
		0.00	41	50
		0.17	32	61
		0.33	30	63
		0.50	30	63
		0.67	40	51
0.83	50	39		
1.00	60	27		
1.17	70	15		
1.33	80	2		

표 1에서 감소효과는 균등교각에 대한 비균등교각의 최대세굴심 감소량을 %로 나타냈다. (\*)는  $y_f/b$ 에서 기초가 하상위로 노출된 것을 의미하며 감소효과에서 (-)는 최대세굴심의 증가를 의미한다. Parola 등(1996)의 실험결과와 마찬가지로 기초가 하상위로 노출되었을 때는 기초폭이 장애

물의 역할을 하여 균등교각에 비해 최대세굴심이 상대적으로 증가하였으나, 하상아래에 위치하였을 때는 감소하였다.  $y_f/b$ 가 0.5일 때 약 63%로 가장 큰 최대세굴심 감소효과가 나타났으며,  $y_f/b$ 가 0.5이상이 되면 최대세굴심 감소효과가 현저하게 줄어들었다.

## 2) 원환에 의한 세굴 감소효과(균등교각)

균등 및 비균등 원형교각에서의 세굴특성과 원환에 의한 세굴감소효과를 분석하기 위하여 수리모형실험을 수행한 결과를 표 2에 나타내었다.

표 2 원환설치 후 최대세굴심 및 감소효과

$y_c/b$	$d_s$ (mm)	감소효과 (%)
無	82	-
0.00	60	27
0.17	58	29
0.33	53	35
0.50	30	63
0.67	40	51
0.83	50	39
1.00	60	27
1.17	70	15
1.33	80	2

無는 원환을 설치하지 않은 경우를 의미하며,  $y_c$ 는 하상에서 아래로 원환까지 거리, 감소효과는 원환 설치 전에 대한 설치 후의 최대세굴심 감소량을 %로 나타내었다.

표 2에서 보는바와 같이, 원환을 설치한 후 세굴심 감소효과가 뚜렷이 나타났으며, 원환이 하상에 설치된 경우보다는 하상아래로 설치되었을 때 대체로 감소효과가 좋았다.  $y_c/b$ 가 0.5일 때 약 63%로 감소효과가 가장 크게 나타났다.

### 3) 원환에 의한 세굴심 감소효과(비균등교각)

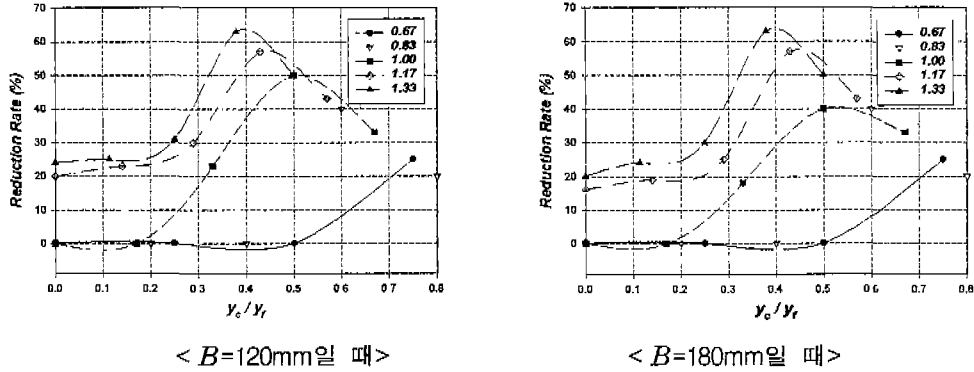


그림 3. 기초위치에 따른 최대세굴심 감소효과

그림 3에서 보는바와 같이  $y_f/b$ 가 클수록 원환에 의한 감소효과가 크게 나타났으며, 기초폭에 관계없이 유사한 경향을 나타냈다.

$y_f/b$ 에 대하여  $y_c/y_f$ 가 0.4 ~ 0.7일 때 가장 큰 최대세굴심 감소효과가 나타났으며, 이때의 감소효과는 약 25 ~ 63%이다. 또한,  $y_f/b$ 가 클수록  $y_c/y_f$ 가 0.4에 근접하였으며,  $y_f/b$ 가 작을수록  $y_c/y_f$ 가 0.7에 근접함을 알 수 있다. 또한,  $y_f/b$ 가 1.33이고  $y_c/y_f$ 가 0.38일 때 63%로 가장 큰 최대세굴심 감소효과가 발생하였다.

### 5. 결론

균등 및 비균등 원형교각에서 국부세굴 특성과 원환보호공에 의한 최대세굴심 감소효과를 분석하기 위하여 수리모형실험을 수행한 본 논문의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 비균등교각에서 기초폭 변화에 따른 최대세굴심의 변화는 거의 없었으며, 기초가 하상 근처에 위치했을 때 즉,  $y_f/b$ 가 0 ~ 0.5에서는  $y_f/b$ 가 증가할수록 최대세굴심이 감소하였으나  $y_f/b$ 가 0.5 ~ 1.33에서는 증가하였다. 또한, 기초폭에 관계없이  $y_f/b$ 가 0.5일 때 최대세굴심이 가장 적게 발생하였다.
2. 균등교각에서 원환을 설치하여 실험한 결과, 세굴심 감소효과가 뚜렷이 나타났으며, 원환이 하상에 설치된 경우보다는 하상아래로 설치되었을 때 대체로 감소효과가 좋았다.  $y_c/b$ 가 0.5일 때 약 63%로 감소효과가 가장 크게 나타났다.
3. 비균등교각에서 원환을 설치하여 실험한 결과,  $y_f/b$ 가 0 ~ 0.5에서는 기초에 의한 세굴심 감소효과로 인해 원환에 의한 감소효과가 거의 없으므로 이 범위에서는 원환을 설치하지 않아도 될 것으로 사료된다.
4. 비균등교각에서 원환을 설치하여 실험한 결과,  $y_f/b$ 가 0.5이상인 경우는  $y_f/b$ 가 클수록 원환에 의한 감소효과가 크게 나타났으며, 기초폭에 관계없이 유사한 경향을 나타냈다.  $y_f/b$ 에 대하여

$y_c / y_f$ 가 0.38 ~ 0.75일 때 가장 큰 최대세굴심 감소효과가 나타났으며, 이때의 감소효과는 약 25 ~ 63%이다.

추후, 수심, 교각폭, 기초폭, 하상재질 등에 대하여 다양한 실험을 수행한다면 다양한 조건에서 원환보호공의 최적위치 및 세굴심 예측식을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

## 6. 참고문헌

- 1) 박영진, “만곡수로에서의 비균등 원형교각 주위 국부세굴심과 하상변동에 관한 연구”, 박사학위논문, 홍익대학교 대학원, 1997.
- 2) 심우배 외 3인, “원환을 이용한 원형 교각 주위의 국부세굴 방지 효과”, 대한토목학회 학술발표회 논문집 III, 1999, pp. 121~124.
- 3) 이규원, “원환보호공에 의한 균등교각 주위의 국부세굴심 감소효과”, 석사학위논문, 홍익대학교 대학원, 2000.
- 4) 윤태훈 외 2인, “푸팅이 상류 바닥판에 의한 교각주위 국부세굴 감소”, 대한토목학회 학술발표회 논문집, 1996, pp. 91~94.
- 5) 이상도 외 3인, “기초의 영향을 고려한 원환의 효과분석”, 대한토목학회 학술발표회 논문집 III, 1999, pp. 355~358.
- 6) Bruce W. Melville and Arved J. Raudkivi, “Effect of foundation geometry on bridge pier scour”, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 4, 1996, pp. 203~209.
- 7) Hoffmans, G. J. C. M. and Verheij, H. J., *Scour Manual*, A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1997, pp. 7~127.
- 8) Jones, J. S., “Effects of Footing Location of Bridge Pier by Scour”, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 118, No. 2, 1992, pp. 280~290.
- 9) Meville, B. W. and Raudkivi A. J., “Effects of Foundation Geometry on Bridge Pier Scour”, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 4, 1996, pp. 203~209.
- 10) Parola, A. C., “Effects of Rectangular Foundation Geometry on Local Pier Scour”, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 1, 1996, pp. 35~45.
- 11) Virender Kumar, Kittur G. Ranga Raju and Nandana Vittal, “Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars”, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 125, No. 12, 1999, pp. 1302~1305.