

하상재질에 따른 원환보호공법 적용

○ 심우배*, 임장혁**, 조형준**, 송재우***

1. 서론

자연하천에서 장기적인 하상변동이나 국부세굴은 수리학적 인자들의 변화를 야기시켜 하천에 큰 영향을 미칠 수 있다. 특히 교각주위의 국부세굴은 교각의 안전을 위협하므로 세굴로부터 교각을 보호할 세굴보호공이 필요하다. 이러한 교각 국부세굴을 감소시키는 보호공에 관한 연구가 진행되어 왔으나 현재까지 뚜렷한 감소효과나 설계지침 등은 미흡한 실정이다.

교각주변에서 일어나는 국부세굴은 하상재질이 균등한 경우(uniform sediment)와 비균등한 경우(non-uniform sediment)와는 세굴 특성이 상당히 다르다. 세굴심은 하상재질이 균등할 때 가장 크게 나타나며 하상재질이 비균등한 경우에는 상대적으로 굵은 입자로 인하여 보호층(armouring layer)이 형성되며 이로 인한 armouring효과가 나타나므로 세굴심이 작게 된다고 알려져 있다(Raudkivi,1985).

하상재질을 고려한 교각세굴에 관한 연구를 살펴보면, Breusers(1977)에 의해 3종류의 균등한 모래를 혼합한 모래를 대상으로 한 실험에서 세굴심은 균등한 경우보다 약 25%가 작게 나타났으며, 세굴심의 감소는 세굴공내의 보호층효과(armouring effect)때문이라고 하였다. Raudkivi와 Ettema(1977)는 세굴심은 하상입도분포의 표준편차의 함수라고 하였으며, Raudkivi와 Ettema(1983)와 Raudkivi(1986)는 하상재질이 균등한 경우와 비균등한 경우에 발생하는 평형세굴심의 관계를 입도분포의 기하표준편차, $\sigma_g (= \sqrt{d_{84}/d_{16}})$ 의 함수라고 하였다. Shen과 Lu(1983)는 하상의 보호층의 발달과정과 입도구성에 대하여 연구하였다.

또한, 심우배 등(1999)은 원환의 형상을 대칭, 비대칭 및 반원형으로 달리하여 세굴방지효과를 분석하였고, 이상도 등(1999)은 기초의 위치에 따른 세굴심 변화와 원환에 의한 감소효과를 연구하였다.

본 연구의 목적은 중앙입경(d_{50})과 기하학적 표준편차(σ_g)가 다른 다양한 하상재질에 대하여 원형교각 주위의 국부세굴심을 측정하여 유사의 크기가 세굴심에 미치는 영향을 분석하고 입도분포에 따른 하상재료의 armouring효과를 검토하고자 한다. 또한 하상재질에 따른 원환보호공의 국부세굴심 감소효과를 분석하고자 한다.

2. 수리모형실험

2.1 실험장치 및 방법

* 홍익대학교 토목공학과 박사과정 수료

** 홍익대학교 토목공학과 석사과정

*** 홍익대학교 토목공학과 교수

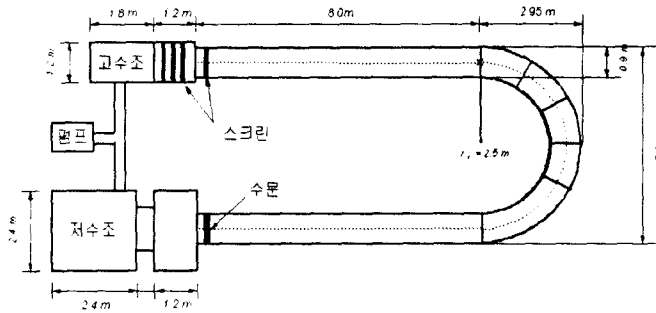


그림 1. 수리모형실험 장치

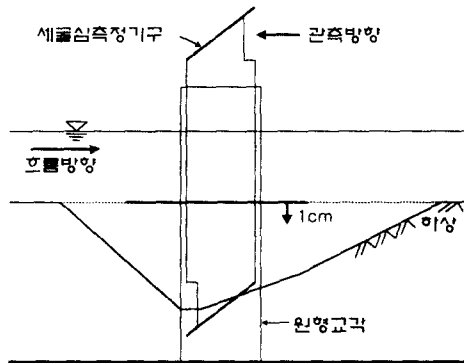


그림 2. 교각모형 및 세굴심 측정장치

원환보호공을 이용하여 하상재질에 따른 국부세굴심 감소효과를 분석하고자 수리모형실험을 실시하였으며, 수로의 제원은 그림 1에서 보는 바와 같이 만곡각 180° , 수로폭은 0.9m, 수로중심선을 따른 곡률반경은 2.5m, 유입, 유출부의 직유로부 길이는 8.0m, 곡률반경-하폭 비는 2.78이다. 수로 직유로부의 중심에 직경 60mm 원형교각을 유입부의 영향이 없도록 유입부에서 5m 떨어진 곳에 설치하였으며, 유량은 25.5 l/sec 이며, 다양한 크기의 하상재료를 15cm 높이로 포설하였다. 수심은 하류단의 수문을 이용하여 일정하게 유지시켰으며, 교각 전면에서 세굴심 측정기구를 이용하여 실시간으로 세굴심을 측정하였다. 접근유속은 3차원 유속계인 ADV(Acoustic Doppler Velocimeter)를 이용하여 측정하였다.

표 1. 실험에 이용된 하상재료의 분류

구분	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
d_{50}	0.2	0.59	0.56	0.44	0.48
σ_g	1	1.29	1.40	1.59	1.63

여기서, d_{50} 은 중앙입경이며, $\sigma_g (= \sqrt{d_{84}/d_{16}})$ 는 기하학적 표준편차이다. Raudkivi와 Ettema(1982)와 Melville과 Sutherland(1988)에 의하면 $\sigma_g < 1.3 \sim 1.5$ 이면 하상의 armouring작용이 일어나지 않으므로 균등사로 보아도 좋을 것이다. 따라서, Case 1~3은 균등사, Case 4~5는 비균등사로 구분한다. 각 Case에 대하여 원환이 없는 원형교각주위에서 실시간 세굴심 및 접근유속을 측정하였으며, 원환직경 (W)에 대한 교각직경 (D)의 비가 2인 원환을 하상으로부터 1cm 씩 아래로 위치시키면서 세굴심을 측정함으로써 각 하상재질에 따른 원환에 의한 세굴심 감소효과를 분석하였다.

2.2 실험 결과

원환이 없는 균등교각에서 각 Case에 대한 최대세굴심 측정결과를 표 2와 같다. 여기서,

d_s 는 최대세굴심이며 D 는 교각직경이다.

표 2. 원환을 설치하기전 균등한 원형교각 주위의 최대세굴심(단위:mm)

구분	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
d_s	99	84	86	82	73
d_s/D	1.65	1.40	1.43	1.37	1.22

표 3은 각 Case에 대해 원환을 설치한 후의 최대세굴심과 최대세굴심 감소효과를 나타낸다. 여기서, y_c 는 하상으로부터 원환까지의 거리이다.

표 3. 원환을 설치한 경우의 최대세굴심 및 감소효과

구분	y_c (mm)	d_s (mm)	감소효과(%)	y_c/d_s	d_s/D
Case 1	원환무	99			1.65
	0	83	16.16	0	1.38
	10	65	34.34	0.10	1.08
	20	61	38.38	0.20	1.02
	30	48	51.52	0.30	0.80
	40	40	59.60	0.40	0.67
	50	50	49.50	0.51	0.83
Case 2	원환무	84			1.40
	0	81	3.57	0.0	1.35
	10	74	11.96	0.12	1.23
	20	74	11.9	0.24	1.23
	30	32	61.9	0.36	0.53
	40	40	52.38	0.48	0.67
	50	50	40.48	0.60	0.83
Case 3	원환무	86			1.43
	0	75	12.79	0	1.25
	10	64	25.58	0.12	1.07
	20	57	33.72	0.23	0.95
	30	40	53.49	0.35	0.67
	40	45	47.67	0.48	0.75
	50	50	33.33	0.58	0.83
Case 4	원환무	82			1.37
	0	73	10.97	0	1.22
	10	70	14.63	0.12	1.17
	20	41	50	0.24	0.68
	30	30	63.41	0.37	0.50
	40	40	51.22	0.48	0.67
Case 5	원환무	73			1.22
	0	72	1.37	0	1.20
	10	64	12.33	0.14	1.07
	20	62	15.07	0.27	1.03
	30	30	58.90	0.41	0.50
	40	40	45.21	0.55	0.67

3. 비교 및 분석

3.1 원환설치전 하상재질에 따른 세굴심 변화

그림 3은 실험에 사용된 각 하상재질의 시간변화에 따른 세굴심의 변화를 나타내고 있으며, 가로축은 시간(min)이고 세로축은 세굴심(mm)이다.

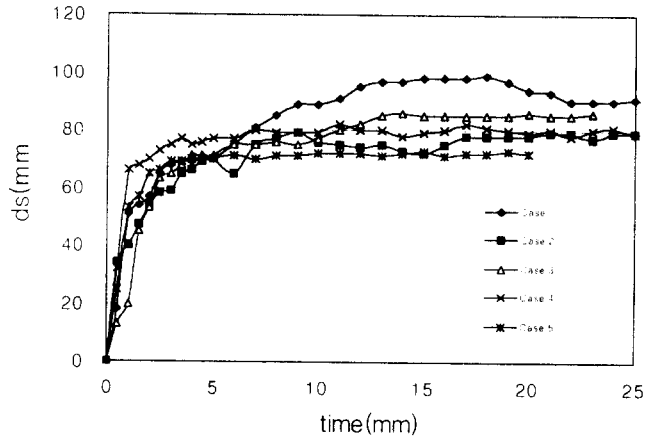


그림 3. 하상재질에 따른 국부세굴심의 시간적 변화

그림 3에서 보는 바와 같이, 하상재질에 관계없이 비슷한 세굴양상을 보이고 있으며, 실험 초기 5분안에 급격한 세굴이 발생하였다. 세굴심이 급격히 발생한 이후에는 큰 변화가 없었다. 균등사인 Case 1~3인 경우가 비균등사인 Case 4~5인 경우에 비해 세굴심이 크게 발생하였다.

그림 4는 하상재질의 기하학적 표준편차 σ_g 에 따른 최대세굴심의 변화를 나타내었다. 가로축은 σ_g 로, 세로축은 최대세굴심(d_s)을 교각직경(D)으로 무차원 시켰다.

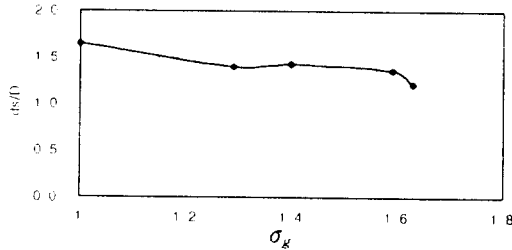


그림 4. 하상재질의 기하학적 표준편차(σ_g)에 의한 최대세굴심의 변화

그림 4에서, 하상재질의 기하학적 표준편차(σ_g)의 값이 증가함에 따라 최대세굴심이 감소하였으며, 이것은 세굴공과 하상 근처에 피복층(armor layer)이 형성되어 armouring의 영향으로 세굴심이 감소한다는 기존의 연구와 일치하고 있다(최인호,1998 ; Raudkivi,1985). Ettema(1976)의 연구에서는 정적조건에서 세굴심이 σ_g 의 증가에 따라 급격히 감소하였으나 Baker(1986)의 이동상 실험에서는 급격한 감소없이 완만히 감소하였으며, 매우 빠른 흐름($U/U_c > 4.0$)에서 세굴심은 σ_g 에 거의 관계가 없었다.

또한, 그림 5는 중앙입경(d_{50})에 따른 최대세굴심의 변화를 나타내고 있다.

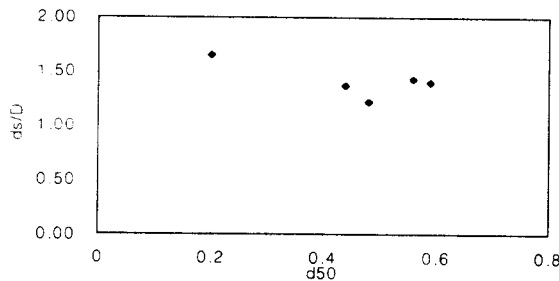


그림 5. 중앙입경(d_{50})에 따른 ds/D 의 변화

기존의 연구결과에 의하면, d_{50} 이 증가함에 따라 굵은 입자들은 하강류가 하상을 통과하도록 하여 흐름에너지의 일부를 소산시키기 때문에 최대세굴심이 감소하는 경향을 나타내고 있는데, 그림 5에서는 유사한 경향을 보이다가 Case 2와 3이 이러한 결과에서 어긋나 있다. 이것은 중앙입경(d_{50})의 차이는 얼마나지 않지만 기하학적 표준편차(σ_g)가 Case 2, 3에 비해 Case 4와 5가 훨씬 크기 때문에 일어나는 armouring 효과의 영향으로 생각된다. 이정규(1993), Raudkivi와 Ettem(1985)등의 연구결과와 일치한다. 따라서 중앙입경(d_{50})보다 기하학적 표준편차(σ_g)가 세굴심에 더 큰 영향을 미친다고 판단된다.

3.2 하상재질에 따른 원환에 의한 세굴심 감소효과

그림 6은 각 Case에 대한 원환 위치변화에 따른 세굴심을 나타내고 있으며, 가로축은 최대세굴심에 대한 원환 위치의 비(y_c/d_s)이며, 세로축은 최대세굴심에 대한 교각직경비(d_s/D)이다.

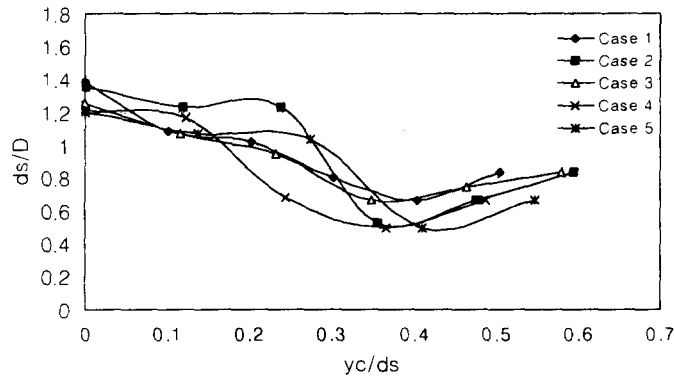


그림 6. 원환위치에 따른 세굴심 변화

그림 6에서 보는 바와 같이, 원환보호공이 설치되었을 때 최대세굴심이 가장 적게 발생한 위치는 $y_c/d_s = 0.35 \sim 0.41$ 이었으며, 균등사인 Case 2, 3은 $y_c/d_s \approx 0.35$, 비균등사인 Case 4, 5는 $y_c/d_s \approx 0.41$ 에서 최대세굴심이 가장 적게 발생하였다. $d_{50} = 0.2mm$, $\sigma_g = 1$ 인 Case 1은 원환설치전 최대세굴심이 가장 크게 나타났으나, 원환에 의한 감소효과가 뛰어났으며, $y_c/d_s \approx 0.40$ 일 때 최대세굴심이 가장 적게 발생하였다.

그림 7은 각 하상재질에 따른 원환보호공에 따른 최대세굴심 감소효과를 나타내고 있으며, 가로축은 최대세굴심에 대한 원환 위치의 비인 y_c/d_s 로, 세로축은 감소효과를 백분율로 표시하였다. 여기서, 감소효과의 백분율은 각 Case의 원환설치전 최대세굴심(d_s)를 기준으로 하였다.

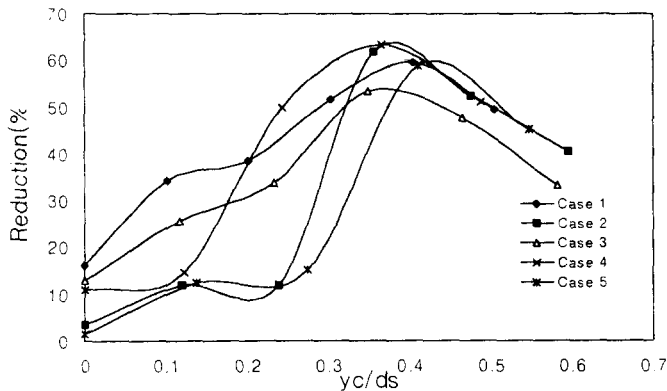


그림 7. 원환보호공에 따른 세굴심 감소효과

그림 7에서 보는 바와 같이, 원환의 위치가 $y_c/d_s = 0.35 \sim 0.41$ 의 범위에서 원환에 의한 최대세굴심의 감소효과가 가장 크게 나타났으며, 최대 감소효과는 약 53%~64%였다.

4. 결 론

하상재질에 따른 균등한 원형교각 주위의 국부세굴심 특성과 원환보호공의 최대세굴심 감소효과를 분석하기 위해 수리모형실험을 수행한 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 하상재질에 관계없이 비슷한 세굴양상을 나타냈으며, 균등사인 Case 1~3인 경우가 비균등사인 Case 4~5인 경우에 비해 세굴심이 크게 발생하였다.
- (2) 하상재질의 중앙입경(d_{50})과 기하학적 표준편차(σ_g)의 값이 증가함에 따라 최대세굴심이 감소하였다. Case 2와 3은 이러한 결과에서 어긋나 있는데 이것은 중앙입경(d_{50})의 차이는 얼마나지 않지만 기하학적 표준편차(σ_g)가 Case 2, 3에 비해 Case 4와 5가 훨씬 크기 때문에 일어나는 armouring 효과의 영향으로 생각된다. 따라서 중앙입경(d_{50})보다 기하학적 표준편차(σ_g)가 세굴심에 더 큰 영향을 미친다고 판단된다.
- (3) 원환보호공이 설치되었을 때 $y_c/d_s = 0.35 \sim 0.41$ 에서 최대세굴심이 가장 작게 발생하였으며, 이때 발생한 최대세굴심 감소효과는 약 53%~64%였다.

5. 참고문헌

- 1) 심우배 외 3인, "원환을 이용한 원형 교각 주위의 국부세굴 방지 효과", 대한토목학회 학술발표회논문집 III, 1999, pp. 121~124.
- 2) 이규원, "원환보호공에 의한 균등교각 주위의 국부세굴심 감소효과", 홍익대학교 석사학위 청구논문, 1999.
- 3) 이상도 외 3인, "기초의 영향을 고려한 원환의 효과분석", 대한토목학회 학술발표회논문집 III, 1999, pp. 355~358.
- 4) 이정규, "교각의 세굴에 미치는 Armouring 효과", 한국수자원학회 논문집, 제 26 권, 제 4 호, 1993, pp. 107~115.
- 5) B. W. Melville and A. J. Sutherland, "Design Method for Local Scour at Bridge Piers", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 114, No. 10, 1988, pp. 1210~1226.
- 6) Breusers, H. N. C. and Raudkivi, A. J., *Scouring*, A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1991, pp. 7~98.
- 7) Raudkivi and Robert Ettema, "Scour at Cylindrical Bridge Piers in Armored Beds", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 111, No. 4, 1985, pp. 713~731