

원형교각 주위의 돌망태 보호공에 관한 연구

윤태훈* ○김대홍** 최비리**

1. 서론

하천상에 있는 교량이나 기타 수공 구조물은 흐름의 변화를 유발하여 구조물 주위의 세굴현상을 유발한다. 특히 홍수기와 같이 매우 큰 유량이 통과할 경우에는 구조물주위에 최대세굴심이 발생하게 되어 구조물의 안정을 위협한다. 본 연구에서는 교량의 기초가 암반층을 관입하지 않고 최대세굴심 발생시 그 하단이 흐름에 노출되는 경우에 대한 교각주위의 국부세굴을 방지하는 세굴방지 보호공들의 규모결정을 위한 실험이 수행되었다. 사석보호공의 안정에 미치는 중요한 변수인 유속, 수심, 교각폭등을 바탕으로 사석외의 보호공 실험을 수행하여 변수간의 관계를 규명한다. 이러한 결과를 바탕으로 해서 돌망태의 크기를 결정하는 설계식을 유도하였고 사석 보호공과 안정성을 비교하였다.

2. 수리실험

2.1 실험장치

폭 45cm, 길이 12m, 깊이 60cm의 가변 경사 개수로 중앙에 원형 아크릴 교각을 설치하였다. 교각주위에서의 한계상태 조건을 제공하기 위해 교각주위를 제외한 나머지 부분에 모르타르를 반라 고정상 상태를 유지하도록 하였다.

유량은 수로 하류단의 위어를 원류한 물이 보조수조에 모이도록 하고 보조수조에 부착한 사각형 위어를 이용하여 측정하였으며, 전자기 유속계를 이용하여 수로내의 각 단면에서 측정된 유속을 이용하여 검증하였다.

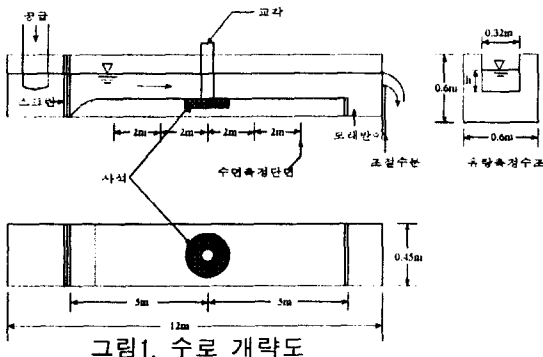


그림1. 수로 개략도

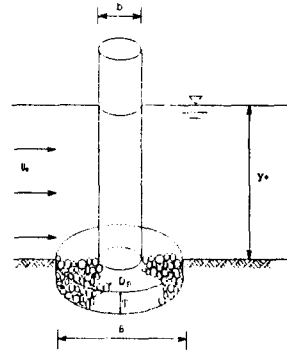


그림2. 보호공의 개념도

* 한양대학교 토목공학과 교수

** 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

2.2 실험방법

교각보호용 돌망대는 주위 하상고와 부선면이 일치하도록, 원형교각주위에 원형으로 부선하였다. 여기서 돌망대의 부선범위는 20cm로 일정하게 하였고 리칭현상을 방지하기 위하여 필더를 바닥에 설치하였다. 돌망대의 종류는 사석부선층의 두께와 같은 직경을 가지는 원통형 돌망대의 길이를 변화하여 3가지 크기로 분류하였다.

먼저 정해진 직경의 교각과 돌망대를 설치하고, 하류단의 수문을 올린 다음, 수심이 큰 상태에서 정해진 유량이 공급되도록 유량공급밸브를 조정하여 고정하였다. 유량이 고정된 상태에서 부정류가 발생하지 않도록 수로하류단 수문을 매우 서서히 내려, 수로의 수심을 점차 감소시키고 유속을 증가시켜 나가면 교각측면부 돌망대가 이동하기 시작하는 한계점에 도달하게 되며, 이때의 교각 상류부 비교란 유속을 한계유속이라 정의하였다. 비교란 유속은 교각에 의한 배수영향이 나타나지 않는 상류부에서의 수심평균된 유속을 의미하며 수심을 측정하여 통수단면적을 구하고 유량을 통수단면적으로 나누어 구하였다.

수심이 큰 경우, 교각후면부에 비대칭 교호와류(alternating vortex)가 강하게 발생하여, 교각 측면부의 한계점 이전에 후면부의 돌망대가 교각직후면 즉 주흐름과 반대편으로 일부 먼저 이동하는 경우가 있었으나, 본 연구에서의 한계유속은 교각측면부의 돌망대가 움직이기 시작하는 때의 유속으로 일관되게 정하였다.

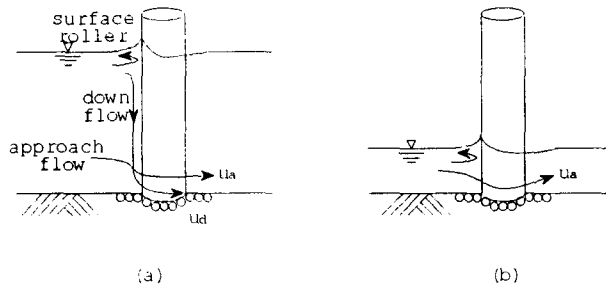


그림 3. 수심에 따른 보호공 표층에서의 흐름양상 개념도 (a)큰 수심, (b)작은 수심.

주어진 보호공의 크기와 교각폭에 대해서는 수심이 작은 경우 수심이 증가할수록 한계유속도 증가하나, 수심이 어느 값보다 커지면 반대로 수심이 증가할수록 한계유속이 감소하는 경향을 보인다. 교각주위에 포설한 보호공의 안정은 사석표층에 작용하는 흐름의 전단력과 깊은 관계가 있으며, 흐름의 전단력은 유속의 크기 및 변화기울기에 따라 결정된다. 그림 3에 보인 바와 같이 수심이 큰 경우 보호공 표층부의 유속은 하강류(down flow) u_d 와 접근류(approach flow) u_a 가 중첩되고 교각에 의해 배제되어 가속되므로 교각전면 대칭축으로부터 45°정도의 양측면부에서 최대가 되고 보호공에 작용하는 전단력도 최대가 된다. 수심이 감소하게 되면 교각전면의 수면부근에 발생하는 표면와류(surface roller)가 접근유속의 연직분포에 영향을 주어 교각전면에서의 하강류를 감소시키므로 교각측면부의 유속은 그만큼 약화된다. Ettema(1980)와 Chiew(1984)등은 교각에 의한 국부세굴 실험을 통하여 접근유속이 같을 때 세굴심이 수심감소에 따라 무차원 수심 y_0/b 의 역승으로 감소함을 보였으며, 그 이유로서 전술한 바와 같이 수심감소에 따른 하강류 약화를 지적한 바 있다.

이러한 유체역학적인 상황을 보호공에 적용시켜보면, 작은 수심일 때 하강류가 매우 미약하여

접근류가 교각에 의해 배제되어 가속된 흐름만이 보호공의 시동(initiation of motion)에 영향을 주게 되므로, 교각이 없는 하상에 포선된 보호공의 경우와 같이, 수심이 증가할수록 한계유속이 증가되어 안정성이 증대된다. 수심이 어느 값보다 커지면 하강류가 발생하기 시작하고, 수심이 증가함에 따라 하강류가 점점 강해지므로, 보호공의 안정은 하강류의 영향을 주로 받게 되어 주어진 보호공에 대한 한계유속은 점점 감소하게 되는 것으로 유추된다.

3. 실험결과 및 실험식의 도출

그림 4는 돌망태를 구성하는 사석의 크기를 달리하여 같은 크기로 돌망태를 만들어서 실험한 유속과 수위와의 관계를 도식한 것으로 돌망태의 거동은 구성사석 크기에는 거의 영향을 받지 않고 돌망태 전체의 크기 영향을 받음을 알 수 있다.

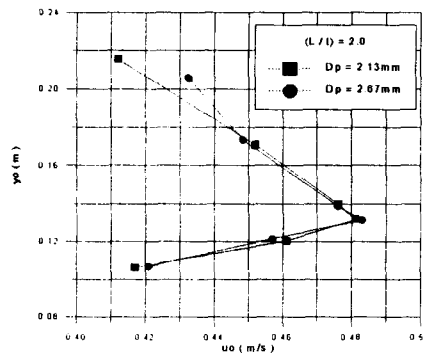


그림 4. 돌망태 구성 사석크기의 영향

그림 5에서 보여지는 것처럼 수심이 감소할수록 한계유속이 커지다가 일정한 지점에 이르렀을 때 수심이 감소할수록 한계유속이 다시 작아지는 경향을 보인다. 이는 전술한 바와 같이 수심이 작을 때에는 하강류의 영향이 작고 수심이 클 때 하강류의 영향을 많이 받는 것이며, 다시 수심이 계속 증가하면 하강류의 영향이 일정해지는 것으로 풀이할 수 있다.

이 관계를 규명하기 위해 교각이 없을 때의 한계유속공식 $U = \sqrt{0.0056(S_s - 1)D_p} 7.66(y_o/D_p)^{1/6}$ (Chiew, 1995)을 사용하여 u_o/U 와 y_o/b 의 관계를 그림 6과 같이 도식하였다. 각각의 자료를 돌망태의 길이와 교각폭에 대한 단면적경의 비로 무차원화 하면 그림 7과 같은 결과를 유도할 수 있으며 최대유속값을 기준으로 두 개의 함수가 존재함을 알 수 있다.

이를 식으로 나타내면

$$L = \frac{1}{52220000} u_o^{5.388} \times y_o^{2.510} \times t^{-4.969} \times b^{0.766} \quad (1)$$

$$L = 8.576 \times u_o^{1.992} \times y_o^{-2.251} \times t^{1.495} \times b^{0.760} \quad (2)$$

여기서, L은 돌망태의 길이(m), u_o 는 수심평균된 비교관유속(m/sec), y_o 는 접근수심(m), b는 교각폭(m), 그리고 t는 돌망태의 직경(m)이다. 이와 같이 유도된 식 (1)과 (2)에 실험조건을 대입하여 계산된 곡선과 실험자료를 도식하면 그림 6에서 보여지듯이 식과 실험치가 비교적 잘 일치함

을 알 수 있다.

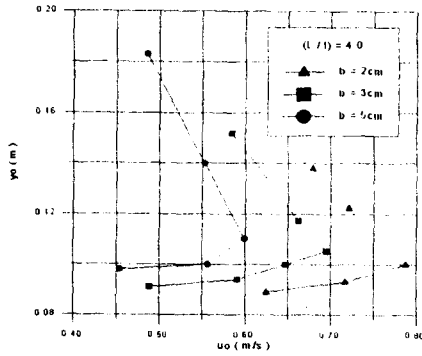


그림 5. 수심과 한계유속

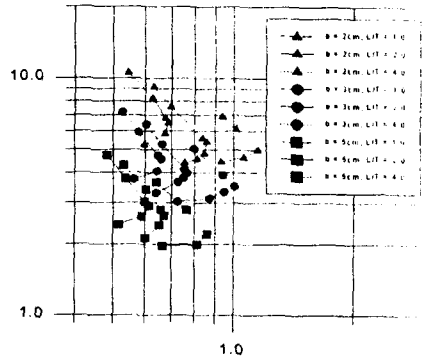


그림 6. (y_0/b) 와 (u_0/U) 의 관계

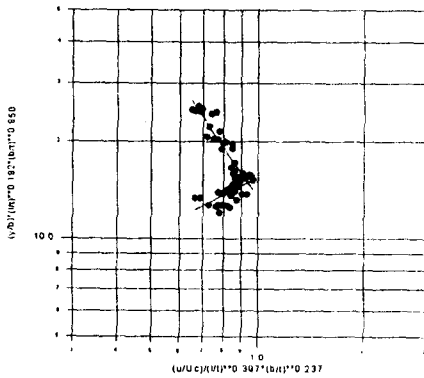


그림 7. 보정한 결과

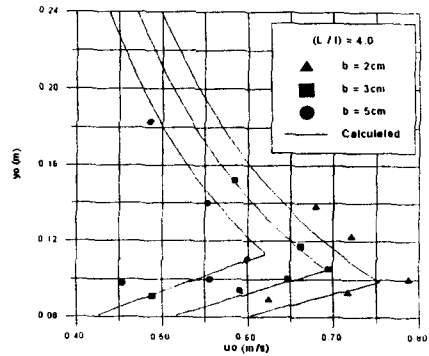


그림 8. 실험치와 식과의 비교

4. 사석보호공의 안정성

주어진 흐름조건하에서 하상의 사석이 안정을 유지할 수 있는 조건은 Isbash(1935)의 연구에 기초하여 다음의 입자안정수(stability number) N_c 의 함수로 주어진다.

$$N_c = \frac{u_0^2}{(S_s - 1)gD_p} \quad (3)$$

여기서, u_0 는 수심 평균된 접근유속 즉 비교란 유속(m/sec)이다.

윤 등(1996)은 사석보호공에 대한 광범위한 실험을 실시하고, 교각주위 보호공의 거동에 영향을 주는 주요인자중 교각폭, 수심, 접근유속, 부설폭과 사석직경의 영향을 분석하여 다음과 같은 식을 제시하였다.

$$D_p = 0.330 \frac{u_c^{1.68} b^{0.20} y_u^{0.36}}{(S_s - 1)^{0.84} g^{0.84} B^{0.40}} \quad (4)$$

$$D_p = 0.123 \frac{u_c^{1.32} b^{0.24} B^{0.45}}{(S_s - 1)^{0.66} g^{0.66} y_u^{0.36}} \quad (5)$$

5. 결과

그림 9는 돌망태와 사석보호공의 입자안정수 관계를 비교한 것이고 그림 10은 식 (4)와 (5)를 이용하여 돌망태와 사석의 한계유속과 수심과의 관계를 비교한 것으로 돌망태를 이용함으로써 사석의 안정성을 증대시키는데 매우 큰 효과를 볼 수 있음을 알 수 있다.

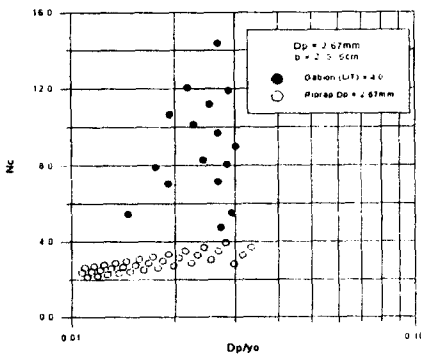


그림 9. 돌망태 구성 사석직경과 돌망태의 입자안정수의 관계

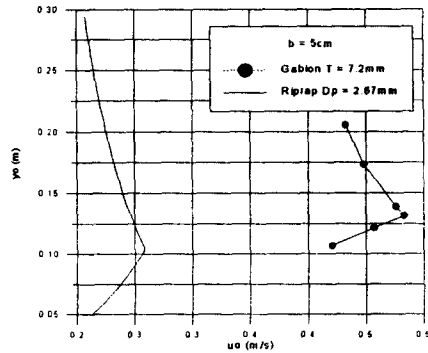


그림 10 돌망태 구성 사석직경과 돌망태의 수위-유속 곡선 비교

6. 참고문헌

1. 윤태훈, 윤성범, 윤광석, 1996, 교각세굴 사석보호공의 기존설계식의 비교해석, 대한 토목학회논문집, 16권 II-5호, pp411~420.
2. Chiew, Y.-M., 1992, Scour protection at bridge piers, J. Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 9, pp. 1260-1269.
3. Melville, B.W. and Sutherland, A.J., 1988, Design method for local scour at bridge piers, J. Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 10, pp. 1210-1228.
4. Parola, A.C., 1993, Stability of riprap at bridge piers, J. Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 119, No. 10, pp. 1080-1093.