

수초에 의한 교각세굴방지

윤태훈¹⁾, ○ 김용득²⁾

1. 서론

교각 주위에서 발생하는 국부세굴의 예측과 세굴방지에 대한 많은 연구와 수리실험이 수행되어 왔다. 세굴방지를 위한 방법은 크게 세굴유발인자를 제어하는 방법과 하상물질의 세굴에 대한 저항력을 증가시키는 방법으로 나뉘어진다. 전자에 대한 보호공으로는 교각에 원환을 설치하거나 네모구멍을 뚫는 방법과 희생파일 및 vane을 설치하는 것 등이 사용되어 왔으며 사석보호공, 콘크리트 블럭매트, 테트라포트 등을 이용한 방법은 후자에 해당된다.

하천은 강우에 의한 유출의 통로로서 인식되어, 하천에서의 수초는 조도변화에 관계되며 수로의 단면적을 감소시켜 통수능을 저하시키는 원인으로 취급되어 왔다. 또한 시공 및 통수능 예측의 편의를 위해 수로벽면에 블럭을 설치하거나 Concrete Lining을 함으로써 통수 단면적 증가와 수로단면의 균일성에 많은 노력을 기울였다. 그러나 최근 외국에서는 하천의 복원사업이 활발히 진행되고 있으며 국내에서도 이러한 하천복원에 대한 관심이 고조되고 있다. 본 연구에서는 이러한 연구동향에 맞춰 교각 상류부에 인공수초를 매설함으로써 흐름을 교란하여 세굴유발인자 중 가장 영향이 큰 유속의 제어를 시도함으로써 세굴방지의 가능성을 살펴보았다. 이에 대한 검토를 위하여 수초영역의 매설길이와 폭, 교각과 수초영역간의 거리를 변화시키고 다양한 수초높이에 대한 최대세굴심 측정을 수행하였다.

2. 실험재료 및 실험방법

2.1 실험재료

본 연구에 사용된 인공수초는 아크릴 판에 일정한 간격으로 구멍을 뚫어 가는 갈대를 부착한 것으로 단위모형의 제원은 그림 1과 같다. 단위모형은 교각 폭에 대한 수초영역의 폭 및 길이 비를 일정하게 변화시키기 위하여 $0.5b \times b$ 의 일정한 크기로 제작되었으며, 모형의 수를 추가함으로써 폭과 길이 변화에 따른 세굴심 감소를 측정하였다. 교각은 지름

1) 한양대학교 토목공학과 교수
2) 한양대학교 토목공학과 석사과정

5cm의 원형 아크릴 기둥을 사용하였으며, 수로에 부설된 하천모래의 평균입경(d_{50})은 입경가적곡선에서 0.58mm로 채택되었고 기하표준편차(σ_g)는 $d_{84}/d_{50} = 1.72 > 1.25$ 로서 불균등분포를 갖는다.

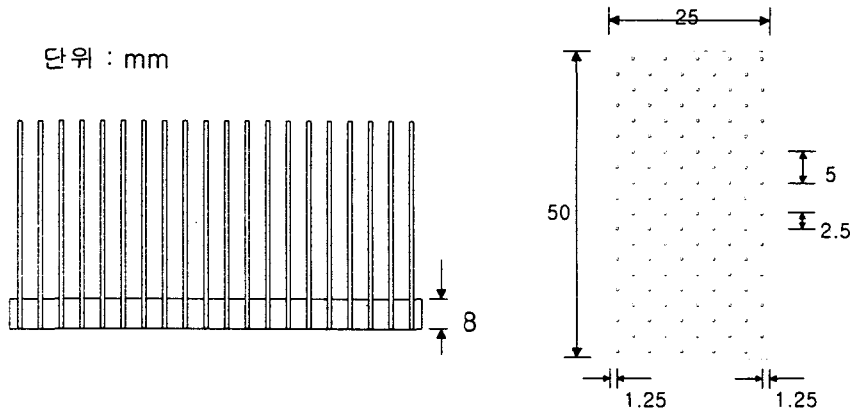


그림 1 인공수초 모형

2.2 실험방법

실험에 사용된 수로는 폭 45cm, 길이 12m, 깊이 60cm의 가변경사 개수로이며 평균입경 $d_{50}=0.58\text{mm}$ 인 하천모래를 15cm의 두께로 부설하고, 그림 2와 같이 인공수초를 직경 5cm의 원형 아크릴 교각 상류부에 설치하였다. 모든 실험은 유속 20cm/s, 수심 15cm, 유량 0.0135cms의 동일한 실험조건에서 4시간 동안 수행되었으며 실험시작과 종료시 발생하는 하상변형을 최소화하기 위해 밸브와 수문조작에 주의하였다. 최대세굴심은 포인트 게이지를 사용하여 교각 전면부의 실험 전·후 하상표고차를 측정하였다.

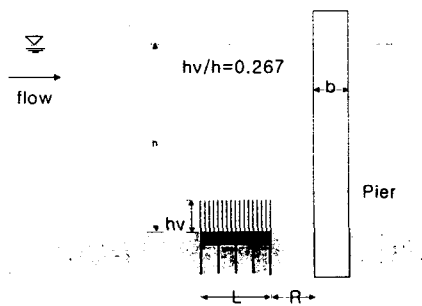


그림 2 실험의 개략도

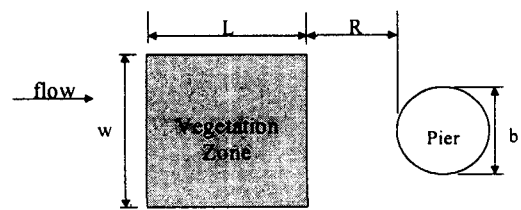


그림 3 인공 수초의 매설모습

수초영역의 길이와 폭, 교각과 수초영역의 거리, 수심과 수초높이와의 비를 세굴심 변화에 영향을 주는 인자로 채택하였으며 이를 검토하기 위한 실험순서는 다음과 같다.

- ① 교각만 설치했을 때의 평형세굴심을 측정

- ② 수초영역의 매설길이를 변화시켜 최대세굴심을 측정하고 매설길이를 결정
- ③ 매설폭을 변화시켜 최대세굴심을 측정하고 적절한 매설폭을 결정
- ④ 교각과 수초영역과의 간격을 변화시켜 이 때의 최대세굴심을 측정
- ⑤ 수초길이를 변화시켜 최대세굴심을 측정

하나의 인자를 변화시키면서 실험을 수행한 후 적절한 값을 결정하고 그 값을 적용하여 다음 단계의 실험을 수행하였다. 즉, 본 연구에서 매설길이를 변화시켜 최대세굴심을 측정한 실험에서 매설길이가 2.5b일 때 가장 세굴이 감소한다고 보여지므로(그림 5), 매설폭을 변화시키는 다음 실험에서는 매설길이를 2.5b로 선택하고 폭을 변화시켜 최대세굴심을 측정하였다.

3. 실험결과

3.1 수초영역의 매설길이에 따른 최대세굴심 변화

먼저 교각만을 설치한 경우의 평형세굴심을 측정한 뒤, 수초를 매설하여 4시간 후의 최대세굴심과 비교하였다. 직경 5cm의 원형교각 전면부에 교각과 수초의 거리가 b(b는 교각직경)인 경우에 대하여 매설길이를 변화시키면서 실험을 수행하였다. 여기서 사용된 수초의 폭은 2b이며 이는 임의로 정한 값이다. 그림 4는 각각의 매설길이에 대한 수로 중앙단면에서의 하상변화를 보여주는 것으로 최대 세굴은 교각 전면부에서 발생함을 알 수 있었고, 따라서 교각 세굴에서 관심이 되는 측정지점은 교각 전면부가 될 것이다. 또한 교

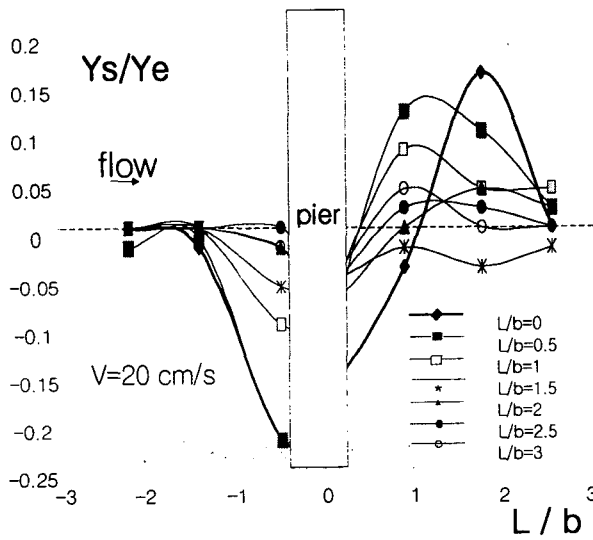


그림 4 매설길이에 따른 중앙단면의 세굴심 변화

각 하류부에서 볼록하게 사구를 이루는 현상이 관측되는 것을 볼 수 있는데 이는 교각 전면부와 좌우 측면에서 발생하는 하강류와 말굽형화에 의해 이송된 하상입자들이 교각을 지나면서 교각에 의한 에너지 손실로 유속이 감소하면서 퇴적된 결과라고 판단된다.

그림 5에 보이는 바와 같이 수초영역의 매설길이가 증가할수록 교각 전면부의 최대 세굴심이 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나 $L/b=2.5$ 이상에서는 매설길이의 증가에 따른 세굴심의 감소 효과가 미미한 것으로 나타났다.

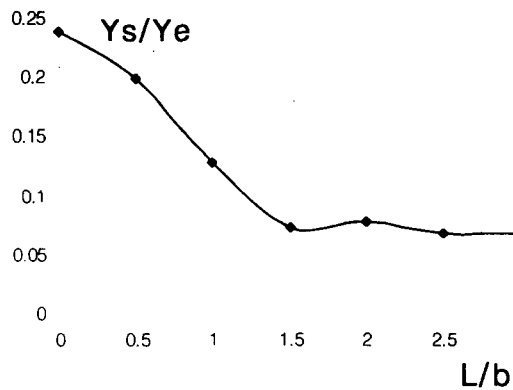


그림 5 매설길이에 따른 최대세굴심 변화

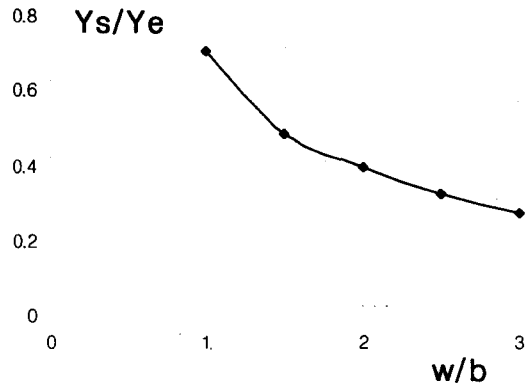


그림 6 매설폭에 따른 최대세굴심 변화

3.2 수초영역의 매설폭에 따른 최대세굴심 변화

3.1의 결과에서 수초영역의 매설길이를 2.5b로 선택하고, 매설폭을 변화시켜 실험을 수행한 결과, 수초의 매설폭이 증가함에 따라 세굴심이 감소함을 관찰할 수 있었다. 이는 수초의 매설폭이 증가하면서 교각 하단부 양단에서의 유속이 감소하여 그 결과 세굴이 감소한 것으로 판단된다(그림 6).

3.3 교각과 수초영역간의 거리에 따른 최대세굴심 변화

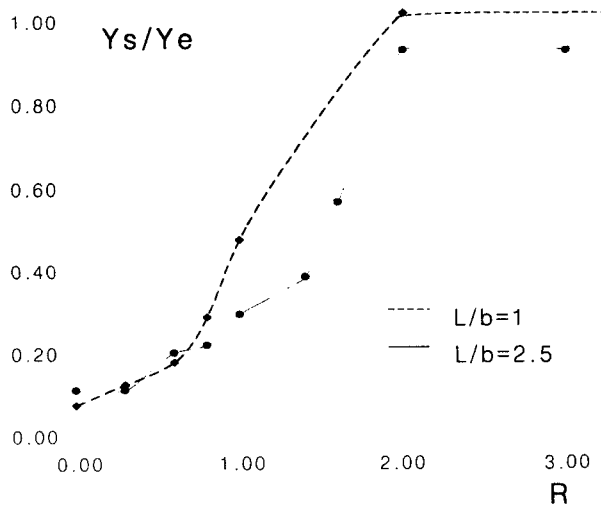


그림 7 교각과 수초영역간의 거리에 따른 최대 세굴심 변화

교각과 수초영역간의 거리를 변화하면서 그에 따른 최대세굴심의 감소현상을 관찰하였다. 그림 5.6에서 보여지듯이 교각과 수초영역과의 거리가 0에서 b까지의 구간에서 세굴심 감소가 뚜렷하게 관찰되었다. 수초를 교각에 밀착시킨 경우 그 효과가 가장 컸으며 교각과의 거리가 증가함에 따라 최대세굴심이 증가함을 알 수 있었다. 수초의 매설길이가 다른 두 개의 그래프를 비교하여 3.1에서 언급한 것과 마찬가지로 매설길이가 2.5b인 경우에 b인 경우보다 세굴심의 감소효과가 크게 나타남을 확인할 수 있었다.

3.4 수초높이에 따른 최대세굴심 변화

수초높이를 변화시켰을 때 나타나는 최대세굴심의 양상을 조사하였다. 그림 8에 보여지는 것과 같이 수초높이가 증가함에 따라 최대세굴심은 감소하였으며 수심에 대한 수초높이의 비가 0.33 이상에서는 그 감소효과가 줄어들었다. $h_v/h=0.4$ 이상에서도 세굴감소효과가 예상되나 실제 하천에 존재하는 식생의 높이를 고려하거나 보호공으로서 인공수초를 시공할 때의 현실성에 비추어 그 이상의 실험에는 큰 의미를 두지 않았다.

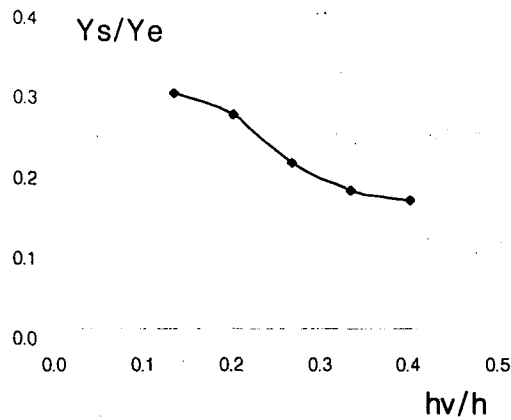


그림 8 수초높이에 따른 최대세굴심 변화

3.5 기호

- d_{50} : 평균입경 (mm)
- h_v : 수초높이 (cm)
- h : 수심 (15cm 일정)
- L : 수초영역의 매설길이 (cm)
- R : 교각과 수초영역간의 거리 (cm)
- w : 수초영역의 매설폭 (cm)
- b : 교각직경 (cm)
- v : 유속 (20cm/s 일정)
- Y_s : 최대세굴심 (cm)
- Y_e : 평형세굴심 (cm)

4. 결론

상류부에 수초영역이 존재하는 교각에서의 세굴특성을 조사하기 위한 실험을 통하여 다음과 같은 몇 가지 사항을 알 수 있었다. 수초영역의 매설길이와 폭이 증가함에 따라 세굴심은 감소하며 이는 유체가 수초를 통과하면서 교란되어 에너지가 손실되며 그 결과 교각 전면 및 측면에 발생하는 하강류와 말굽형와의 강도가 감소된 것으로 판단된다. 또한 수초가 교각에 밀착하였을 때 가장 세굴심이 작은 것으로 측정되었고 교각과 수초영역간의 거리가 증가할수록 세굴심은 증가하였다. 이는 수초에 의해 교란된 흐름이 하류로 이동되면서 본래의 흐름특성을 회복하기 때문인 것으로 보여진다.

5. 참고문헌

- (1) Arved J. Raudkivi(1986), "Functional Trends of Scour at Bridge Piers" , Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 112, No. 1, January, pp. 1-13
- (2) Arved J. Raudkivi and Rovert Ettema(1983), "Clear-Water Scour at Cylindrical Piers" , Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 109, No. 3, March, pp. 338-350
- (3) Fu-Chun Wu, Hsieh Wen Shen, Yi-Ju Chou(1999), "Variation of Roughness Coefficients for Unsubmerged and Submerged Vegetation" , Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 125, No. 9, September, pp. 934-942
- (4) 윤태훈, 신용진(2000), "인공수초에 의한 세굴방지에 대한 연구" , 한국수자원학회 학술 발표회 논문집, 2000년 5월, pp. 592-597 1226-1408
- (5) 우효섭(2001), 하천수리학, 청문각