

유송잡물이 집적된 교각 주위의 세굴 및 수리특성

○강필식*, 김지호**, 김윤태**, 송재우***

1. 서론

홍수시 하천에는 많은 유송잡물이 떠다니게 된다. 이러한 유송잡물이 교각에 집적될 경우 하천의 통수능력을 감소시키고 세굴을 증가시키며 교량에 흐름방향 힘을 증가시킬 뿐만 아니라 상류부의 수심을 증가시키는 등 여러 가지 수리학적 변화를 야기시킨다. 만곡부에 위치한 교량의 경우 유송잡물이 하천의 외측에 집중되기 때문에 그 위험도는 더욱 크다. 유송잡물이 집적된 교량의 경우 실측으로 세굴심을 측정하기는 매우 어렵다. 기존의 예측식을 이용할 수는 있으나 이 예측식들은 유송잡물의 영향을 고려하지 않았기 때문에 이로 인한 세굴심의 증가를 예측할 수 없다. 유송잡물이 집적된 교각의 수리학적 특성은 일반 교각과 다른 양상을 보이게 되는데 이러한 특성과 증가된 세굴심을 보정할 수 있는 방법에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 수리실험을 통하여 유송잡물이 집적된 교각의 수리학적 및 세굴특성을 유송잡물이 없는 교각과 비교하였으며 정확한 세굴심을 예측하기 위한 방법을 제시하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

그림 1은 본 연구에서 사용한 실험수로를 나타내고 있으며 수로의 제원은 만곡각 180°, 수로 폭은 0.9m, 수로중심선을 따른 곡률반경은 2.5m, 유입, 유출부의 직유로부 길이는 8.0m, 곡률반경-하폭 비는 2.78이다.

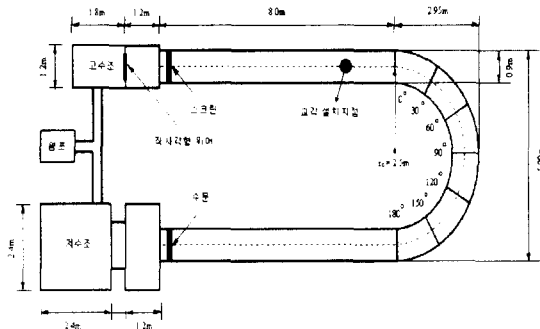


그림 1. 실험장치

* 경호기술단 수자원부
 ** 홍익대학교 토목공학과 박사과정
 *** 홍익대학교 토목공학과 교수

2.2 실험방법

실험은 유입부의 영향을 고려하여 유입부에서 6m 떨어진 지점의 중심에 직경 60mm의 투명한 원형 교각을 설치하여 실시하였으며 유속, 수심, 세굴심을 측정하였다. 유송잡물 모형은 원통형이며 폭은 교각직경의 2, 3, 4배로 두께는 교각직경의 1, 1.5, 2배로 달리하여 아크릴로 제작하였다. 유송잡물이 집적된 교각의 세굴실험전에 유송잡물이 없는 교각에 대하여 실험을 실시하였으며 각각의 결과를 비교하였다.

수심은 교각의 접근 수심을 측정하였고, 유속은 교각의 전면부에서 수심을 10mm 간격으로 나누어 각각의 지점에서 3차원 유속계인 Acoustic Doppler Velocimeter를 사용하여 측정하였다. 유속의 측정지점은 유송잡물로 인해 정체되는 유속은 측정하지 않기 위하여 하상에서부터 6cm 떨어진 지점까지 1cm 간격으로 측정하였으며 세굴심은 최대 세굴심을 교각 내에 설치된 세굴심 측정 장비를 사용하여 측정하였다.

유송잡물 모형의 개념도를 그림 2에 나타내었다.

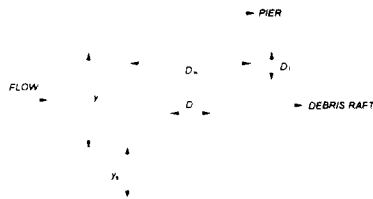


그림 2. 유송잡물 모형의 개념도

3. 실험결과

3.1 최대 세굴심의 변화

유송잡물로 인한 최대 세굴심의 변화가 나타내는 경향을 알아보기 위하여 최대 세굴심을 유송잡물 모형의 두께와 폭에 대하여 다음의 그림 3에 나타내었다.

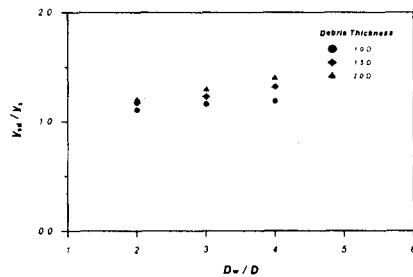


그림 3. 유송잡물 모형별 세굴심 변화

여기서, y_s 는 유송잡물이 없는 교각에서의 세굴심이고 y_{sd} 는 유송잡물이 집적된 경우의 세굴심이다.

그림에서 알 수 있듯이 유송잡물로 인한 세굴의 증가는 폭이 커질수록 증가하였으며 폭이 동일한 경우 두께의 증가에 따라 세굴심도 증가하였으며 유송잡물의 두께가 2D 이고 폭이 4D 인 경우에 최대 40%의 세굴심의 증가를 보였다.

3.2 상류부 수심의 변화

유송잡물이 교각에 집적될 경우 배수(backwater)효과에 의해서 상류부의 수심은 증가하게되며, 상류부 수심의 변화를 그림 4에 도시하였다.

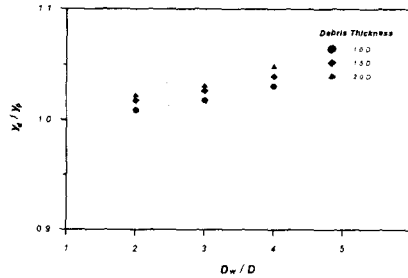


그림 4. 유송잡물로 인한 상류부 수심의 변화

여기서 y_{sp} 는 유송잡물이 없는 교각에 대한 상류부 수심이고 y_d 는 유송잡물이 집적된 교각의 상류부 수심이다.

그림 4에서 알 수 있듯이 일반적으로 유송잡물 모형의 두께와 폭이 증가할수록 상류부 수심이 증가하였고 유송잡물의 두께가 2 D이고 D_w / D 가 4일 경우 상류부 수심이 가장 크게 나타났으며 유송잡물이 없는 교각에 비해 약 4.8% 증가하였다.

3.3 유속분포

교각 앞에서 측정된 유속을 유송잡물의 두께에 따라 다음의 그림 5~7에 나타내었으며 유송잡물이 없는 교각에서의 유속분포도 함께 도시하였다.

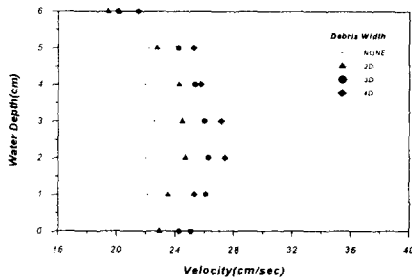


그림 5. 두께가 1 D인 경우의 유속분포

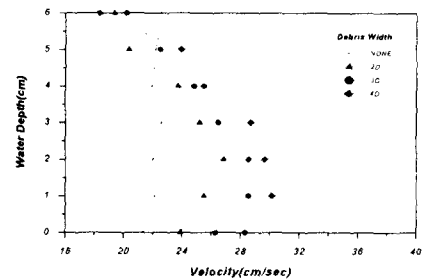


그림 6. 두께가 1.5 D인 경우의 유속분포

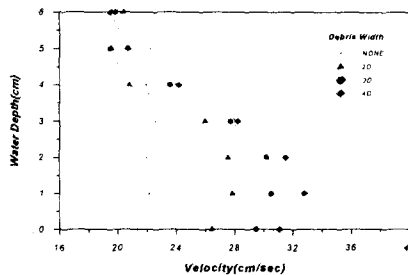


그림 7. 두께가 2 D인 경우의 유속분포

그림 5~7에서 알 수 있듯이 유송잡물이 집적된 모든 경우가 유송잡물이 없는 교각의 유속분포 형태와 다르게 나타났다. 유송잡물이 없는 교각의 경우 하부로 갈수록 유속이 감소하는 전형적인 경향을 보였으나 유송잡물이 집적된 교각의 유속분포의 경우 유송잡물의 전면에서는 정체현상으로 유송잡물이 없는 교각에서보다 감소되어 나타났으나 유송잡물의 밑면에서는 유속이 증가하는 형태를 보였다. 유속의 최대값은 유송잡물의 폭이 $4D$ 이고 두께가 $2D$ 인 경우에 유송잡물의 하부에서 나타났고 유송잡물이 없는 교각의 최대값에 비해 약 45% 증가하였다. 유송잡물 하부에서의 유속증가는 유송잡물이 없는 교각에 비해 세굴심이 증가되는 가장 중요한 원인이라고 사료된다.

3.4 항력의 변화

수중에 잠겨있는 물체가 받는 항력은 물체의 투영면적과 흐름의 유속에 크게 지배된다. 교각에 유송잡물이 집적될 경우 투영면적을 증가시킬 뿐만 아니라 유속도 증가하게 되어 교각에 미치는 항력은 매우 커지게 된다. 그림 8은 유송잡물이 집적된 교각이 받는 항력을 나타낸다. 여기서 D_{fd} 는 유송잡물이 집적된 교각이 받는 항력이고 D_{fb} 는 유송잡물이 없는 교각이 받는 항력이다.

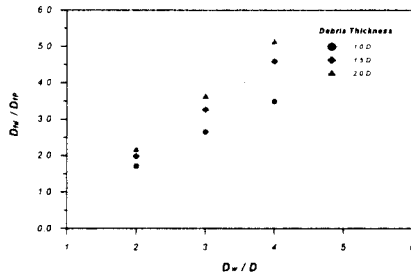


그림 8. 유송잡물이 집적된 교각이 받는 항력

그림 8에서 보는 바와 같이, 유송잡물의 폭이 $4D$ 이고 두께가 $2D$ 일 때 항력이 가장 크게 나타났으며 이것은 유송잡물이 없는 교각이 받는 항력에 비해 약 5.1배이다. 이러한 항력의 증가는 교량에 미치는 힘을 증가시킴으로써 교량의 안정성에 많은 영향을 주게되므로 교량 설계시 항력에 대한 검토가 보다 충분히 이루어져야 될 것으로 생각된다.

3.5 CSU 공식의 적용

표 1은 HEC-18에서 권장하는 균등교각 세굴심 예측식인 CSU 공식에 실험 조건을 적용하여 얻은 결과를 나타내며 그림 9에 도시하였다.

표 1. 예측치와 실측치의 비교

	유송잡물의 두께 (cm)	유송잡물의 폭 (cm)	실측치	예측치
실험 1	×	×	7.5	8.4
실험 2	6(1 D)	12(2 D)	8.3	8.6
실험 3		18(3 D)	8.7	8.8
실험 4		24(4 D)	8.9	8.9
실험 5	9(1.5 D)	12(2 D)	8.8	8.7
실험 6		18(3 D)	9.2	9.0
실험 7		24(4 D)	9.9	9.1
실험 8	12(2 D)	12(2 D)	9.0	8.8
실험 9		18(3 D)	9.7	9.0
실험 10		24(4 D)	10.5	9.2

표 1에서 보는 바와 같이, 실험 1에서 실험 4까지는 예측치가 실측치보다 다소 크게 나타났고 실험 5에서 실험 10까지의 경우에는 예측치가 실측치보다 작은 값을 나타내었다. 이와 같이 CSU 공식에 일반적으로 사용되는 평균유속을 적용한 경우에는 유송잡물에 의한 세굴심의 증가를 충분히 예측하지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 유송잡물 하부에서의 평균유속을 사용하여 CSU 공식에 적용하였고 결과를 그림 10에 도시하였다.

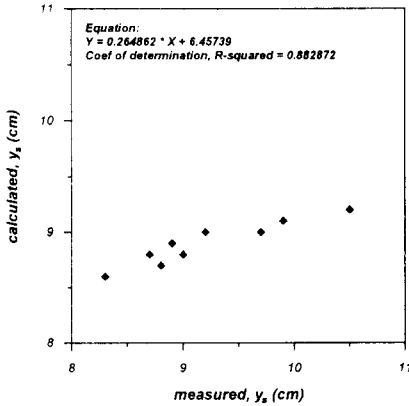


그림 9. 교각 전면부의 평균유속을 사용한 경우

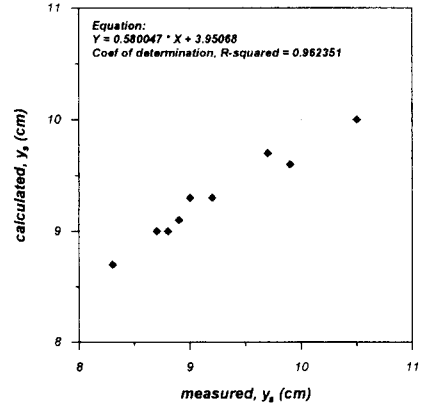


그림 10. 유송잡물 하부의 평균유속을 사용한 경우

그림 9와 10에서 나타난 것과 같이, 유송잡물 하부의 평균유속을 사용한 경우 예측값이 실측값에 보다 잘 일치함을 알 수 있다. 따라서 CSU 공식을 이용하여 유송잡물로 인한 세굴심을 예측하는 경우에는 유송잡물 하부의 평균유속을 사용하는 것이 합리적일 것이라고 생각된다.

또한 그림 9와 10에서 유송잡물의 두께가 작은 경우, 즉 수심에서 차지하는 비율이 작은 경우에는 앞에서 적용한 두가지 경우의 유속에 상관없이 실측값 이상의 예측값을 보였다. 이로부터 유송잡물의 두께가 수심에서 차지하는 비율이 커져야지만 세굴심을 과소하게 예측하는 것을 알 수 있으며 추후 유송잡물 두께에 대한 수심의 비를 달리한 다양한 실험을 통해 유송잡물의 두께가 수심에서 차지하는 비율이 세굴심에 미치는 영향을 검토하면 유송잡물로 인한 세굴심의 영향을 보다 정확히 분석할 수 있을 것이라 생각된다.

4. 결론

1. 유송잡물이 집적된 교각의 경우 모두가 유송잡물이 없는 교각보다 큰 세굴심이 나타났으며 두께와 폭이 증가할수록 차이는 심해졌다. 본 실험에서는 두께가 $2D$ 이고 폭이 $4D$ 일 경우 유송잡물이 없는 교각의 세굴심에 비해 40%의 증가가 나타났다.
2. 유송잡물 모형의 두께와 폭이 증가할수록 상류부 수심이 증가하였고 유송잡물의 두께가 $2D$ 이고 폭이 $4D$ 일 경우 상류부 수심이 가장 크게 나타났으며 유송잡물이 없는 교각에 비해 약 4.8% 증가하였다.
3. 단일교각의 경우 하부로 갈수록 유속이 감소하는 경향을 보였으며 유송잡물이 집적된 교각의 유속분포의 경우 유송잡물의 전면에서는 정체현상으로 유속이 유송잡물이 없는 교각에서보다 감소되어 나타났으나 유송잡물의 밀면에서는 유송잡물이 없는 교각에 비해 유속이 증가하는 형태를 보였다. 유속의 최대값은 유송잡물의 폭이 $4D$ 이고 두께가 $2D$ 인 경우에 유송잡물의 하부에서 나타났고 유송잡물이 없는 교각의 최대값에 비해 약 45% 증가하였다.
4. 유송잡물의 폭이 $4D$ 이고 두께가 $2D$ 일 때 항력이 가장 크게 나타났는데 이는 단면적의 증

가뿐만 아니라 유속도 가장 크게 나타났기 때문이며, 유송잡물이 없는 교각에 비해 약 5.1배 증가하였다.

5. 유송잡물로 인한 세굴심의 예측시 교각 상류부의 평균유속을 CSU 공식에 적용하여 예측한 값은 큰 오차를 나타내었으나 유송잡물 하부에서의 평균유속을 사용하여 예측한 값은 교각 상류부의 평균유속을 사용하여 얻은 값보다 실측치에 더 근접한 결과를 나타내었다.

5. 참고문헌

- [1] Breusers, H. N. C., and Raudkivi, A. J., "Scouring", Balkema, 1991.
- [2] Chiew, Y. M., and Melville, B. W., "Local Scour around Bridge Pier", Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol. 25, No. 1, 1987, pp. 15~26.
- [3] Melville, B. W., and Dongol D. M., "Bridge Pier Scour with Debris Accumulation", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 9, 1992, pp. 1306~1310.
- [4] Richardson, E. V., et al., "Evaluating Scour at Bridges", Hydraulic Engineering Circular No. 18, FHWA-IP-90-017, FHWA, 1993.
- [5] Timothy, H. D., "Potential Drift Accumulation at Bridges", Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-RD-97-028, 1997.