

교각주위내 접근각도를 고려한 국부세굴 방지를 위한 사석보호공에 관한 연구

최계운*, ○김현태**, 최승규**

1. 서 론

오늘날 급격히 늘어나는 교통량을 소화하기 위하여 도로망의 확충에 따라 하천을 횡단하는 교량이 증가하고 있다. 1993년에 행주 2대교의 붕괴와 1995년 충북 괴산군 도안면의 충북선 화성철교에서의 무궁화호 열차탈선 사고는 교각에서의 세굴에 대한 중요성을 인식시켜주고 있다. 하천내 교각 설치시 교각주위내 흐름장에 변화를 주어 교각주위 하상재료들이 움직이게 되는 국부세굴이 발생하게 되며 이와 같은 국부세굴은 교각의 형상, 하천흐름, 하상재료의 특성과 같은 여러 요소의 지배를 받기 때문에 정확한 예측은 상당히 어렵다. 따라서, 위와 같은 여러 요소들을 고려하여 적용하기란 매우 어려우므로 수치적인 접근보다는 실험에 의한 연구가 진행되고 있다.

교각주위의 국부세굴을 방지하기 위한 방법으로 사석보호공법이 흔히 사용되고 있으나 국내에서는 사용빈도에 비하여 사석보호공에 관한 연구는 미흡하여 기존에 외국에서 제안된 경험공식들을 사용하는 실정이다. 외국에서 제안된 사석보호공 경험식들은 많은 식들이 제안되어 있어 어느 하나의 공식을 선정하기 위해서는 공식이 유도된 조건을 검토하여 검증은 하여야 하나 공식마다 주요인자도 다르고 교각의 형상들도 다르기 때문에 어느 하나의 공식을 선정하기란 많은 어려움이 있으므로 국내 여건에 맞는 국내 적용공식의 도출이 요망되고 있다.

그러므로 본 연구에서는 문헌연구를 통하여 기존에 제시된 사석보호공 결정식들에 대해 비교 검토하고 모형수로에서의 실험을 통하여 교각의 접근흐름각도, 장폭비, 개도비에 따라 한계유속을 측정함으로써 교각에서의 국부 세굴에 영향을 미치는 주요인자들과 한계사석직경과의 관계를 파악하고자 한다.

2. 사석보호공에 관한 연구

기존의 사석보호공에 관한 연구를 살펴보면 교각 주위 사석보호공 설계식의 대부분은 구조물이 없는 하상에서의 사석크기를 결정하는 Isbash(1935)의 경험식을 변형한 형태이다. Isbash의 연구를 기초로 하여 유도된 설계식은 Carstens(1966), Neill(1975), Breusers 등(1977) 및 Richardson 등(1993)이 제안한 식들로서 대부분이 Isbash식의 계수만을 조정하여 유도된 식들이다. Quazi 등(1973)은 Isbash의 연구결과에 접근수심의 영향을 추가시켰으며, Parola(1993)는 비교적 상세한 실험을 실시하고 그 결과를 이용하여 교각폭의 영향을 설계식에 반영하였다. Chiew(1995)는 국부세굴의 경험식에 기초하여 수심 및 교각폭의 영향을 동시에 고려하였다. 그리고 Bonasoundas(1973)는 유속만으로 사석의 크기를 결정하는 경험식을 제안하였으며, 국내연구는 윤 등(1996)에 의하여 접근수심, 접근유속, 사석부설폭, 교각폭을 고려한 경험식을 제안하였으나 기존에 제안된 사석크기 결정식들은 식에 적용된 주요 인자들도 다르고 식마다 사석크기도 차이가 크게 발생하고 있다.

* 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수

** 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험 장치

교각주위에서의 국부세굴 방지를 위한 사석보호공 실험장치는 수로 길이 18m, 수로 폭 70cm, 수로 높이 80cm의 개수로 장치를 이용하였다.

설치된 개수로 장치는 양측벽면이 유리로 되어 있어 흐름 및 세굴양상을 관찰할 수 있고, 펌프를 이용하여 저수조로부터 웨어수조로 물을 공급하고 재순환 시킬 수 있다. 개수로의 하도 경사는 0~1/50까지 경사를 조절할 수 있으며, 유량은 유량조절 밸브를 이용하여 조절할 수 있다. 웨어수조와 개수로장치 사이에는 스크린이 설치되어 있어 흐름을 정류상태로 유지시키며, 웨어수조의 삼각웨어 및 사각웨어에 의하여 유량을 측정할 수 있다. 그림 1은 모형수로의 개략도를 보여주고 있다.

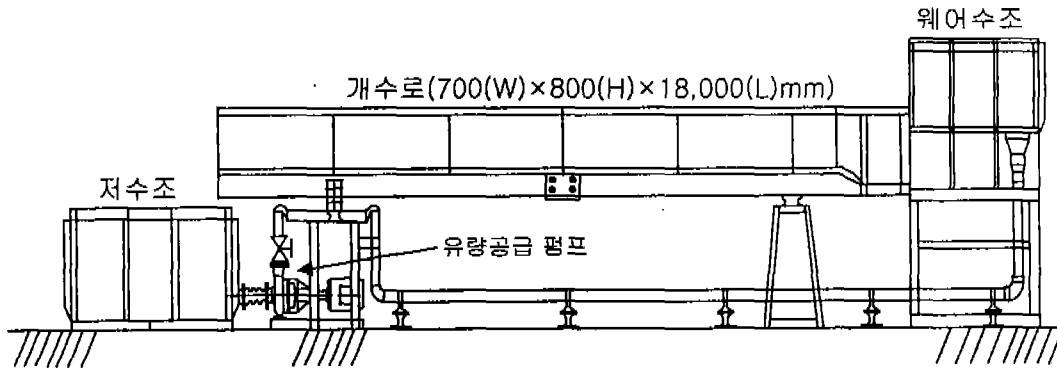


그림 1. 모형개수로의 개략도

실험에 사용된 모형교각은 투명아크릴로 제작하였으며, 그림 2와 같이 교각 직경이 각각 3.5cm, 5.0cm, 7.0cm로 제작하였다. 교각의 모양은 국내에서 많이 볼 수 있는 교각으로 원형 및 반원형이 되도록 제작하였으며, 교각의 길이(L)와 폭(b)의 장폭비(L/b)가 1, 2, 3, 4가 되도록 조립 및 분리가 가능하도록 하였다.

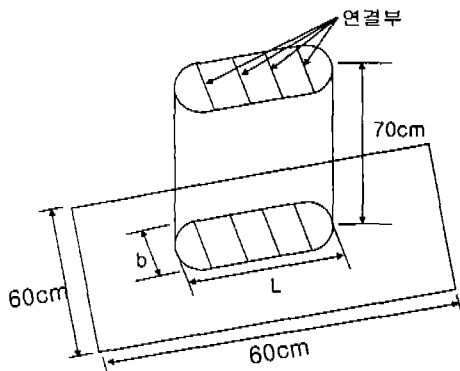


그림 2. 모형 교각

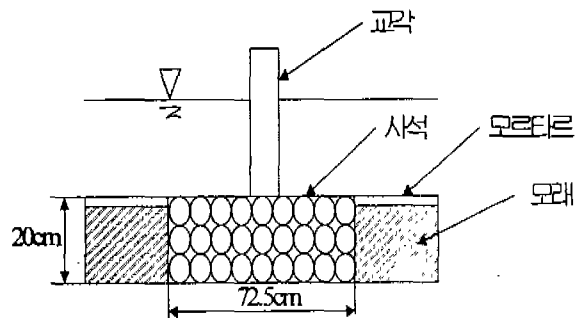


그림 3. 모형수로에 사석 및 교각의 배치도

실험에 사용된 사석은 잡석을 일정 크기로 체분석하여 사용하였으며, 유속측정은 3차원 유속계를 이용하였으며, 유속계에 의한 세굴영향을 배제하기 위해 교각 전면 1m지점에서 흐름방향의 유속을 측정하였다.

3.2 실험방법

본 실험에 앞서 모형수로의 중앙부 72.5cm를 제외한 수로의 전체 부분에 걸쳐 잔모래를 포설한 후 모르타르로 마감하여 약 20cm의 두께가 되도록 하였다. 정적세굴실험을 하기 위하여 하상의 표면을 모르타르로 마감하였기 때문에 본래 하상입자의 조도계수와는 차이가 있어, 하상입자의 조도와 비슷하게 하기 위하여 모르타르 마감 전에 모형수로의 경사 및 수심변화를 통하여 조도계수의 크기를 결정한 후 모르타르를 마무리 할 때 조도계수를 조절하기 위해 굵은 입자를 모르타르 표면에 설치하였다.

모르타르 마감 후 교각을 그림 3과 같이 수로 중앙에 위치시킨 후 흐름방향 길이 72.5cm, 폭 70cm로 하여 사석을 부설하였다. 유량조절 밸브를 조금씩 천천히 개폐함으로써 갑작스런 유속 증가로 인한 사석이 떠내려가는 것을 방지하였다. 유량조절밸브를 조절하여 사석이 3~4개 떠내려가는 시점을 한계상태라 정의하고 그 때의 유속 및 수심을 측정하였다.

실험은 하나의 사석에 대하여 교각의 폭, 흐름접근 각도에 따라 총 48회를 실시하여 한계 접근 유속 및 접근수심을 측정하였으며, 사석의 크기를 바꾸어가며 위와 같은 방법으로 실험을 실시하였다.

4. 실험 결과

교각주위에서 국부세굴을 방지하기 위한 사석보호공의 사석 크기를 결정하는데 크게 영향을 주는 수심, F_{r_b} 수, 접근흐름각을 택하여 이들 인자에 따른 사석보호공의 사석크기에 미치는 영향을 실험결과를 가지고 비교 분석하였다.

4.1 수심에 의한 영향

수심에 의한 영향을 파악하기 위하여 개도별로 실험을 실시하였으며, 실험결과는 수심(y)과 사석크기(D_{50})와의 관계를 교각 폭(b)에 의하여 무차원화시켜 비교, 분석하였다. 그림 4~그림 7은 그 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 수심이 증가하면 교각쪽에 무차원화된 사석의 크기도 증가한다. 즉, 수심이 증가하면 안정사석의 크기도 커져야 한다는 결과를 보여주고 있다.

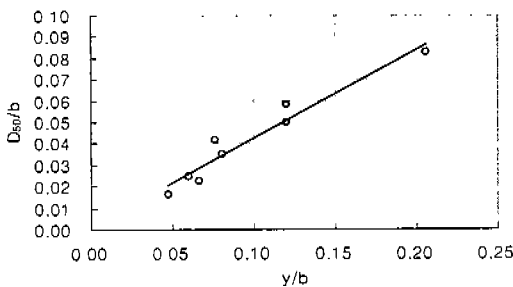


그림 4. 장폭비(L/b)=1일 때 무차원화된 수심과 사석의 관계

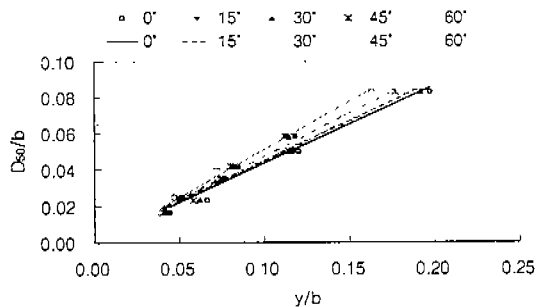


그림 5. 장폭비(L/b)=2일 때 무차원화된 수심과 사석의 관계

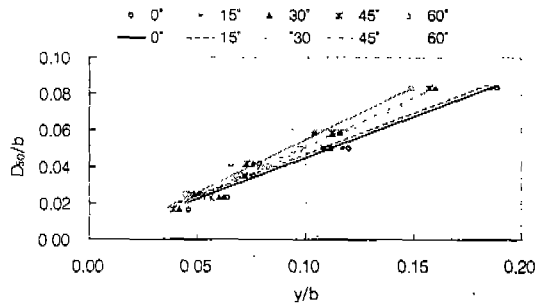


그림 6. 장폭비(L/b)=3일 때 무차원화된 수심과 사석의 관계

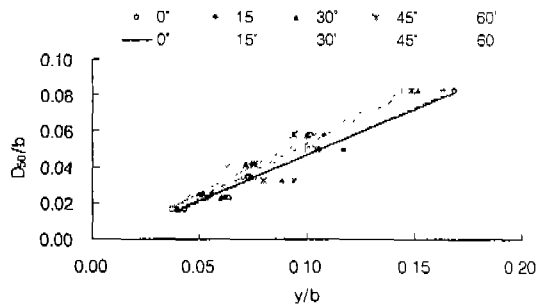


그림 7. 장폭비(L/b)=4일 때 무차원화된 수심과 사석의 관계

4.2 Froude수에 의한 영향

교각 $Fr_b (=V/\sqrt{gb})$ 수는 무차원수로서 교각폭과 유속에 대한 영향을 나타낸 것이다. 장폭비(L/b)가 1~4일 때 접근흐름각도별로 도시한 결과는 그림 8~그림 11과 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 Fr_b 수가 증가할수록 D_{50}/b 가 선형으로 증가하는 결과를 보여주고 있다. 그리고 흐름접근각도가 $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ 로 증가함에 따라 같은 Fr_b 수에서 사석의 크기도 더 크게 나타났다. 즉, Fr_b 수가 증가할수록, 흐름접근각도가 증가할수록 교각주위 세굴에 대해 안정하기 위해서는 사석의 크기도 증가하여야 하며, 특히 장폭비(L/b)가 커지면 같은 흐름접근각도에서 교각의 투영폭이 증가하므로 더 큰 사석의 크기가 필요하다.

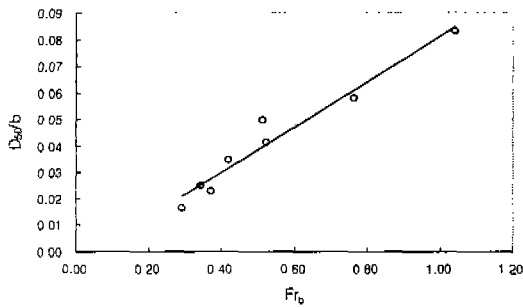


그림 8. 장폭비(L/b)=1일 때 Fr_b 수와 무차원의 사석의 크기와의 관계

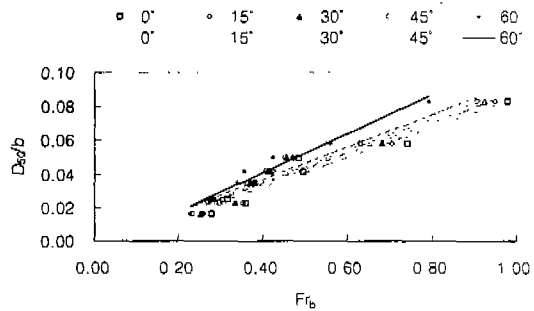


그림 9. 장폭비(L/b)=2일 때 Fr_b 수와 무차원의 사석의 크기와의 관계

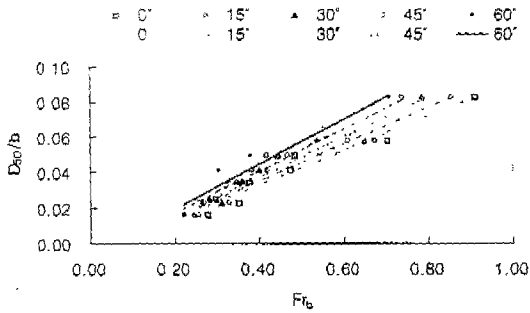


그림 10. 장폭비(L/b)=3일 때 Fr_b 수와 무차원의 사석의 크기와의 관계

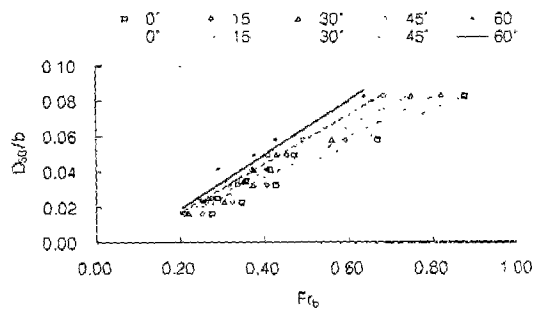


그림 11. 장폭비(L/b)=4일 때 Fr_b 수와 무차원의 사석의 크기와의 관계

4.3 접근흐름각에 의한 영향

접근각도에 대한 영향을 분석하기 위하여 교각폭이 7.0cm일 때 사석크기별 장폭비(L/b)에 따라서 흐름접근각도에 대한 Fr_b 수와의 관계를 그림 12~그림 14에 도시하였다.

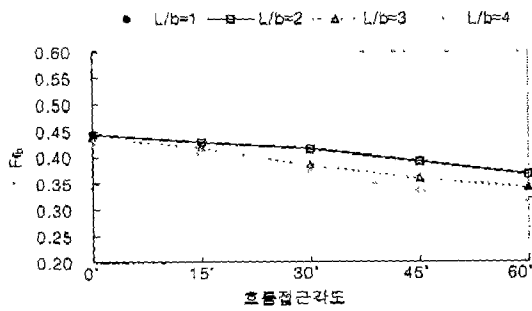


그림 12. $D_{50} = 2.91\text{mm}$ 일 때의 안정사석의 한계 Fr_b 수의 변화

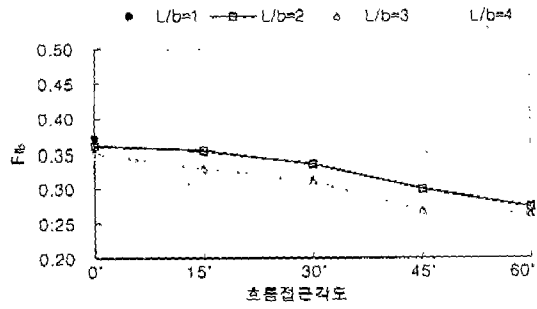


그림 13. $D_{50} = 1.745\text{mm}$ 일 때의 안정사석의 한계 Fr_b 수의 변화

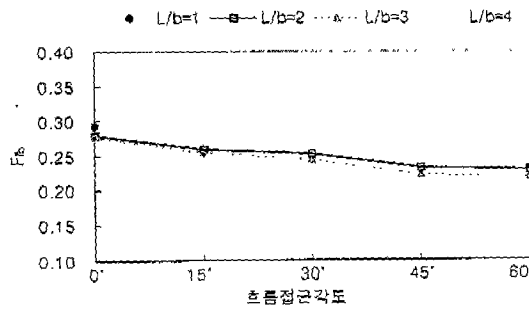


그림 14. $D_{50} = 1.15\text{mm}$ 일 때의 안정사석의 한계 Fr_b 수의 변화

같은 크기의 사석에서 흐름접근각도가 0° 에서 60° 로 증가하면 흐름에 저항할 수 있는 Fr_b 수의 크기는 작아지는 결과를 보여주며, 장폭비가(L/b)가 커지면 사석이 흐름에 저항할 수 있는 Fr_b

수는 더 작아지는 것으로 나타났다. 그리고 사석의 크기가 작아질수록 흐름접근각도에 대한 F_{r_b} 수의 값은 더 작아지는 것으로 나타났다. 즉, 흐름접근각도가 커지면 같은 흐름에서 더 큰 사석의 크기를 필요로 한다는 것을 알 수 있으며, 장폭비가 커지면 흐름접근각도의 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 교각주위의 세굴을 지배하는 국부세굴에 대하여 교량을 보호할 수 있는 사석보호공에 관한 모형실험을 실시한 결과 사석크기의 결정에 영향을 미치는 주요인자는 수심, F_{r_b} 수, 교각폭, 흐름접근각 등이 사석의 크기를 결정하는데 있어 크게 영향을 주는 것을 알 수 있었으며 수심, F_{r_b} 수, 흐름접근각도가 증가할수록 교각주위 국부세굴에 대해 사석이 안정하기 위해서는 사석의 크기도 증가하여야 한다. 실험 결과 사석이 안정할 수 있는 한계 F_{r_b} 수는 흐름접근각 0° 에 대해 15° , 30° , 45° , 60° 각각 장폭비가 2일 경우 9%, 12%, 16%, 23% 감소하고, 장폭비가 3일 경우 13%, 17%, 23%, 28% 감소하고, 장폭비가 4일 경우 16%, 22%, 28%, 33%로 감소하였다. 그러므로 장폭비(L/b)가 커지면 같은 교각폭이라도 교각의 투영폭이 커져서 사석이 불안정하게 된다. 그러므로 사석크기를 결정하는데 있어 장폭비에 따른 흐름접근각도의 영향을 고려해야 할 것이다.

앞으로 지속적인 연구를 통하여 사석크기를 결정하는데 있어 국부세굴에 영향을 주는 접근흐름각도 등의 주요인자를 고려한 사석크기를 결정할 수 있는 경험식을 도출할 것이다.

6. 참고문헌

- Breusers, H. N. C., Nicollet, G., and Shen, H.W. "Local scour around cylindrical piers." *Journal of Hydraulic Resources.*, Delft, The Netherlands, 15(3), pp.211~252, 1977.
- Chiew, Y. M. "Mechanics of riprap failure at bridge piers." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 121(9), pp.635~643, 1995
- Chiew, Y. M., Member, ASCE, and Foo-Hoat Lim, "Failure behavior of riprap Layer at bridge piers under live-bed conditions." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 126(1), pp.43~55, 2000.
- Melville, W. B., Coleman, E. S., "Bridge Scour", Water Resources Publications LLC National Highway Institute, "Stream Stability and Scour at Highway Bridge", Publication No. FHWA HI-91-011, 1995.
- Parola, A. C. "Stability of riprap at bridge piers" *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 119(10), pp.1080~1093, 1993.
- Posey, C. J. "Tests of scour protection for bridge pier" *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 100(12), pp.1773~1783, 1974.
- 윤태훈, 윤성범, 윤광석, "교각 세굴 사석보호공의 기존 설계식의 비교 해석", 대한토목학회 논문집, 제16권, 제II-5호, pp.411~420, 1996.
- 윤태훈, 윤성범, 오철승, "원형교각 세굴방지공의 사석직경결정식", 대한토목학회 논문집, 제18권, 제II-1호, pp.13~12, 1998.