

원형 교각의 세굴심 산정식 개발에 대한 실험적 연구

A experimental study on the depth of scour to formula estimated of the pattern pier

박수진*, 이영섭**, 이정용***, 백경원****, 최한규*****

Park Soo-Jin, Lee, Yeong-Seop, Lee Jung-Yung, Baek Kyung-won, Choi Han-Kuy

요 지

본 연구는 강원도 영서지방의 지방하천을 중심으로 수리특성 및 교각제원 등을 조사하여 기존 세굴심 산정식의 산정 값과 모형실험 산정 값을 비교·검토 하였으며, 또한 교각의 세굴에 영향을 주는 인자에 대하여 통계학적 방법인 민감도 분석을 하였다. 이에 따른 분석결과 기존 세굴심 산정식의 경우 전체 적으로 교각 크기가 커지면서 산정 값과 모형실험 산정 값간의 편차가 1.09%~63.98% 를 보이고 있어, 강원도 하천의 경우 기존 세굴심 산정식을 적용하여 산정하기에는 적합하지 않은 것으로 판단되었으며, 기존 세굴심 산정식 중 교각크기만으로 형성된 산정식의 경우 세굴심산정이 간편하기는 하나, 수리특성을 충분히 반영하지 못한 산정식의 경우 민감도가 크게 떨어지는 것을 확인 할 수 있었다.

모형실험 산정 값과 세굴심에 대한 민감도 분석결과, 교각크기 64%, 수심 36% 순으로 세굴심 발생에 유의적인 영향을 미쳤으며, 모형실험의 세굴심 값을 토대로 회귀분석을 통하여 강원도 하천에 적합한 세굴심 산정식을 제안 하였다.

핵심용어 : 세굴심, 교각, 수심, 민감도분석

1. 서론

본 연구는 기존세굴심 산정식 적용의 문제점을 제시하고, 민감도를 분석, 지배인자에 대한 영향력을 제시하여 강원도 하천에 적합한 세굴심 산정식을 작성하는 게 본 연구의 주요내용이다.

따라서, 본 연구에서는 강원도 영서지방의 지방하천을 대상으로 수리특성 및 교각의 제원 등을 조사하여 기존의 세굴심 산정식을 이용하여 세굴심을 산정하였으며, 다음으로 수리모형실험을 통하여 기존 세굴심 산정식의 산정 값과 비교·분석하여 기존식 적용의 문제점을 제시하였다. 마지막으로 민감도 분석을 통하여 교각의 세굴에 미치는 지배 인자에 대하여 영향력을 정량적으로 제시하였으며, 지배인자에 대한 통계학적 방법인 다중회귀분석을 실시하여 강원도 하천에 적합한 세굴심 산정식을 작성하여 제안하였다.

* 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정수료·E-mail : parksj@kangwon.ac.kr

** 강원대학교 대학원 토목공학과 공학석사

*** 강원대학교 산업대학원 토목공학과 석사과정

**** 한림성심대학 토목과 교수 공학박사 · E-mail : hallym-cc@ac.kr

***** 강원대학교 토목공학과 교수 공학박사 · E-mail : kangwon.ac.kr

2. 연구방법

2.1 세굴심 산정 적용공식

하천설계기준(2005, 한국수자원학회)에 제시된 C.S.U의 6가지 공식을 사용하여 세굴심을 검토하였다. 본 연구에서 적용된 기존 세굴심 산정식을 아래 식에 기술하였다.

1) C.S.U방정식

$$\frac{y_s}{y_1} = 2.0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot \left[\frac{a}{y_1} \right]^{0.65} \cdot Fr^{0.43}$$

2) Froehlich 공식

$$\frac{y_s}{b} = 0.32 \cdot \phi \cdot \left(\frac{b'}{b} \right)^{0.62} \cdot \left(\frac{y}{b} \right)^{0.46} \cdot F^{0.2} \cdot \left(\frac{b}{D_{50}} \right)^{0.08 + 1r}$$

4) Neill 공식

$$\frac{y_s}{b} = K_s \cdot \left(\frac{y}{b} \right)^{0.3}$$

5) Andru 공식

$$Z_s = 0.8h$$

6) Qureshi 공식

$$Z_s/D = 1.8(h/D)^{0.75} - h/D$$

2.2 연구지점 선정

본 연구 수행을 위하여 적용한 하천은 영서지역에 위치한 29개의 하천을 선정하여 본 연구를 수행하였다. 선정된 연구지점의 하천명 과 수리특성을

2.3 지점별 기존식 세굴심 산정결과

기존 10가지 산정식을 적용하여 연구 지점별 세굴심을 산정하였다. 산정된 결과를 보면 Andru, C.S.U 산정식이 다른 산정식에 비하여 큰 세굴심을 보였으며 Larras 산정식은 작은 세굴심을 보였다. 또한 산정식간 최대 세굴심과 최소 세굴심간의 편차는 0.08m~5.34m의 편차를 보였다. 이는 산정식에 적용된 수리특성이 다르기 때문에 발생한 결과로 보인다.

2.4 수리모형실험

실제 하천에서 발생하는 세굴심을 측정하기 위하여 세굴심 수리모형 실험을 실시하였다. 세굴심

실험은 아래 2와 같이 10m의 모형사 구간에 세굴심을 관측할 수 있도록 벽면이 유리로 된 부분을 중심으로 폭 0.75m, 높이 0.15m, 길이 10m로 모형사를 포설하고 실험을 진행하였으며 교각은 제작과 설치가 용이한 플라스틱 파이프를 이용하여 제작하였다. 세굴심 측정은 포인트 게이지(point gage)를 사용 하였으며 유속은 Lap 용 유속계를 사용하였다. 실험의 정확도를 위하여 한 지점당 3번의 실험을 진행하였다.

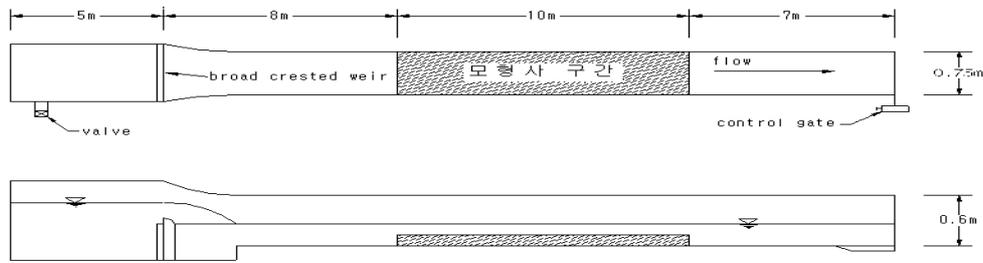
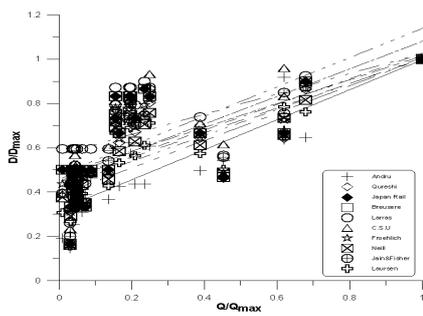


그림 2. 모형수로의 평면도와 측면도

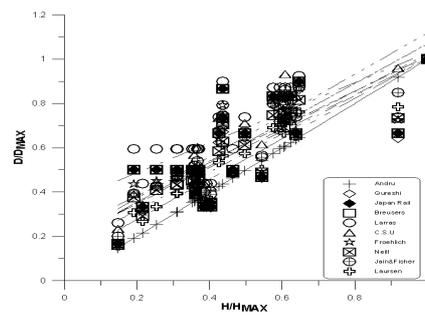
3. 분석 및 고찰

3.1 기존 세굴심 산정식에 대한 세굴인자 영향력검토

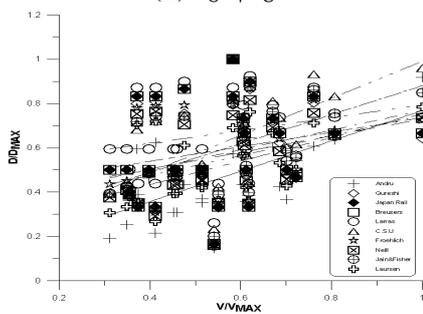
기존 세굴심 산정식에 대하여 세굴의 영향을 미치는 지배인자에 대하여 민감도 분석을 실시하였다. 분석결과, 식 별로 홍수량에 대해서는 큰 차이를 보이지 않았으나 Andru식이 85%로 홍수량에 가장 민감하게 반응 하였으며, 유속에 대해서는 25%~56%로 전반적으로 민감도가 떨어지는 경향을 보였다. 다음으로 교각크기에 대해서는 기존식이 78%~100% 으로 비슷한 경향을 보였다.



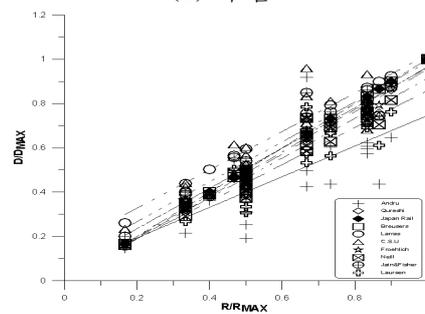
(a) 홍수량



(b) 수심



(c) 유속



(d) 교각크기

그림 3 기존 세굴심 산정식과 민감도

3.2 수리모형실험 세굴심-세굴심 인자간 상관분석

상관분석결과 각 세굴심에 영향을 주는 수리특성 인자들의 상관계수(R)는 홍수량 : 0.715 수심 : 0.835, 유속 : 0.401, 교각크기 : 0.906의 값을 보였다. 세굴심에 영향을 주는 인자들은 교각크기 > 수심 > 홍수량 > 유속 순으로 영향을 주는 것으로 결과가 나타났다.

3.3 세굴심과 수리특성 인자간 다중회귀분석

세굴심에 가장 큰 영향을 미치는 지배인자의 영향력을 제시하고, 세굴심예측에 사용할 수 있는 회귀식을 개발하기 위하여 다중회귀분석을 실시하였다. 지배인자 중 홍수량과 유속의 P-value가 0.955, 0.511 로 통계치가 모수치를 대표함에 있어 오차가 5% 이상임을 의미함으로 종속변수에 미치는 영향이 무의함을 알 수 있다. 따라서, 홍수량과 유속을 독립변수에서 배제시킨 다중회귀분석을 실시하여 다음과 같이 회귀식을 개발하였다.

표 5. 회귀분석 결과

회귀식(regression equation)	결정계수(R^2)	P-value
$y = 0.182 + 0.924x_{\text{교각크기}} + 0.175x_{\text{수심}}$	0.88	0.000

3.4 회귀식과 기존세굴심 산정식 비교검토

기존 세굴심 산정식의 경우 실험 값과 -2.32~3.02m 의 편차를 보였다. 전체적으로 교각 크기가 커지면서 기존 세굴심 산정식은 1.09%~63.98%의 큰 편차를 보였으며, 회귀식은 0.71%~3.26%의 낮은 편차율을 보였다. 따라서 세굴심 산정시 본 연구에서 제시한 회귀식을 사용한다면 다른 기존식들 보다 신뢰적인 세굴심을 산정할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구는 강원도 영서지방의 지방하천을 중심으로 수리특성 및 교각제원 등을 조사하여 기존 세굴심 산정식의 산정 값과 모형실험 산정 값을 비교·검토하였으며, 또한 교각의 세굴에 영향을 주는 인자에 대하여 통계학적 방법인 민감도 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 기존 세굴심 산정식의 경우 전체적으로 교각 크기가 커지면서 산정 값과 모형실험 산정 값 간의 편차가 1.09%~63.98% 를 보이고 있어, 강원도 하천의 경우 기존 세굴심 산정식을 적용하여 산정하기에는 적합하지 않은 것으로 판단된다.
- 2) 기존 세굴심 산정식 중 교각크기만으로 형성된 산정식의 경우 세굴심산정이 간편하기는 하나, 수리특성을 충분히 반영하지 못한 산정식의 경우 민감도가 크게 떨어지는 것을 확인 할 수 있었다.
- 3) 기존 세굴심 산정식의 민감도 및 모형실험과의 비교 결과, 교각의 크기와 수심 등을 고려한

산정식에서 편차가 작게 산정되었으며, 강원도 하천의 경우 Neill 식이 모형실험 값과 비슷한 경향을 보이고 있는 것을 알 수 있다.

4) 모형실험 산정 값과 세굴심에 대한 민감도 분석결과, 교각크기 64%, 수심 36% 순으로 세굴심 발생에 유의적인 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다.

5) 모형실험의 세굴심 값을 토대로 회귀분석을 통하여 강원도 하천에 적합한 세굴심 산정식을 제안 하였다.

6) 본 연구에서 제안된 세굴심 산정식과 모형실험 값의 비교·검토결과, 편차율이 0.71%~3.26%로 낮은 편차를 보였다. 따라서, 이를 이용하여 교각의 세굴심을 산정한다면 경제적 및 신뢰 있는 세굴심 산정이 가능 할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

1. 한국건설교통기술평가원(2005), 교량세굴 평가 및 유지관리 시스템
2. 정창동(2004), 기존 세굴심 산정공식 적용을 위한 모형실험과의 비교연구, 강원대학교 대학원.
3. 한국도로공사 도로교통기술원(2005), 교량 예방적 유지관리 방안 연구
4. 원창희(2007), 교각 국부세굴의 축척 효과에 대한 수치 모의, 동의대학교 대학원
5. “하천설계기준”, 한국수자원학회, 2005.
6. 시설안전기술공단(1997), 교량에서의 흐름 안정성과 세굴
7. 건설교통부 국립건설시험소(1998), 교량 기초부-세굴방지를 위한 수리측정 조사실험 보고서