

원형 교각의 세굴심 산정식 개발에 대한 실험적 연구

A Experimental Study on the Depth of Scour to Formula Estimated of the Pattern Pier

백경원* · 박수진** · 이영섭*** · 최한규****

Baek, Kyung Won · Park, Soo Jin · Lee, Yeong Seop · Choi, Han Kuy

Abstract

This study was intended to compare and evaluate the value obtained from the existing formula for calculating the depth of scour and the valey from experimental model through the investigation of hydraulic characteristics and pier data in the area of rivers at Gangwon Province, and the sensitivity analysis, which is a statistical method, of the elements affecting the scour of the pier was carried out. As a result, a deviation between the values of existing formulas and experimental model reached about 1.09%~63.98%, indicating that existing formula was found not to be appropriate at the rivers in Gangwon Province. A sensitivity analysis was carried out based on value obtained from experimental model and consequently, the elements affecting the scour were size of pier accounting for 64% and water depth accounting for 36%. Finally, a formula for calculating the scour of the pattern piers at the rivers in Gangwon Province was developed using the regression analysis.

Key words : depth of scour, experimental model, size of pier, water depth

요 지

본 연구는 강원도 지방하천을 중심으로 수리특성 및 교각제원 등을 조사하여 기존 세굴심 산정식의 산정 값과 모형실험 산정 값을 비교·검토 하였으며, 교각의 세굴에 영향을 주는 인자에 대하여 통계학적 방법인 민감도 분석을 하였다. 분석결과, 기존 세굴심 산정식의 경우 전반 적으로 모형실험 측정 값 간의 편차가 1.09%~63.98%를 보이고 있어 강원도 하천의 경우, 기존 세굴심 산정식을 적용하여 산정하기에는 적합하지 않은 것으로 판단되었다. 그리고 모형실험에 의해 산정된 측정값을 토대로 민감도 분석을 수행하였으며, 교각크기 64%, 수심 36% 순으로 세굴심 발생에 유의적인 영향을 미치는 것을 확인하였다. 끝으로 모형실험의 세굴심 산정 값을 토대로 회귀분석을 통하여 강원도 하천에 적합한 원형교각의 세굴심 산정식을 작성하였다.

핵심용어 : 세굴심, 모형실험, 교각, 수심

1. 서 론

세굴이 발생하는 물리적 현상은 하천의 지형적 특성, 하천을 가로지른 위치, 홍수의 특성, 하상구성재료 특성 등 많은 인자들이 서로 복잡하게 연계되어 발생하기 때문에 이를 해석하기는 매우 어려운 실정이다. 우리나라의 경우 교각의 세굴에 대한 관심은 높아지고 있는 실정이나 외국과는 달리 세굴안전에 대한 평가나 세굴진행 상태 등을 평가할 수 있는 공식이나 방법이 개발되어 있지 못한 실정으로 외국에서 개발된 공식들을 적용하여 세굴심을 예측하고 있는 실정이다. 그러나 교각이나 교대 주위 내 세굴심을 예측하는 예측공식이 수심 종류에 이르고 있고, 그 차이가 클 뿐만 아니라 세굴심 산정식의 개발 조건에 따라 유사한 지형적 조건에서도

세굴심 예측한 결과가 10배 이상 차이가 나는 경우도 있다.

이러한 세굴심 산정식의 특성에 따라 본 연구에서는 지역적인 특성을 반영한 세굴심 산정공식을 유도하기 위한 선행 연구로서 강원도 지방하천 중 원형교각으로 설치되어진 지점의 수리특성 및 교각의 제원 등을 조사하여 기존의 세굴심 산정식을 이용하여 세굴심을 산정하였으며, 수리모형실험을 통하여 기존 세굴심 산정식의 값과 비교·분석하여 기존 식 적용의 문제점을 관찰하였다. 또한, 민감도 분석을 통하여 교각의 세굴에 미치는 지배 인자에 대하여 영향력을 정량적으로 산정한 결과를 이용하여 강원도 하천에 적합한 세굴심 산정식을 제안, 하천구조물 설계 시 원형교각에 대한 경제적이 며 안전한 설계가 이루어지도록 하는데 본 연구의 목적이 있다.

*정회원 · 한림성심대학 토목과 교수(E-mail : kwbaek@hsc.ac.kr)

**정회원 · 강원대학교 토목공학과 박사과정 수료

***한국종합엔지니어링

****정회원 · 강원대학교 토목공학과 교수

2. 연구방법

2.1 기존세굴심 산정 적용공식

본 연구에서는 하천설계기준(2005 한국수자원학회)에서 제시된 C.S.U 공식의 5가지 공식을 이용하여 세굴심을 산정하였으며, 본 연구에 적용된 세굴심 산정식에 대한 소개는 아래와 같다.

(1) C.S.U방정식

$$\frac{y_s}{y_1} = 2.0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot \left[\frac{a}{y_1} \right]^{0.65} \cdot Fr^{0.43} \quad (1)$$

여기서, y_s : 세굴심도(m), a : pier 폭
 K_1 : 구조물의 직상류부 수심(m)
 K_2 : 교각형상에 대한 보정계수
 K_3 : 흐름 입사각에 대한 보정계수
 K_4 : 하상조건에 대한 보정계수
 K_1 : 하상재료 크기에 대한 보정계수
 Fr : 구조물 설치 직상류부의 Froude수

(2) Froehlich 공식

$$\frac{y_s}{b} = 0.32 \cdot \phi \cdot \left(\frac{b'}{b} \right)^{0.62} \cdot \left(\frac{y}{b} \right)^{0.46} \cdot F^{0.2} \cdot \left(\frac{b}{D_{50}} \right)^{0.08} + 1r \quad (2)$$

여기서, y_s = 세굴심(m)
 b = 교각폭(m)
 b' = 입사각에 대한 직각방향의 투영교각 폭(m)
 ϕ = 교각 형상계수(사각형:1.4, 원형:1.0, 예각:0.7)
 y = 수심(m)
 D_{50} = 하상입자의 평균입경(m)
 Fr = Froude Number

(3) Neill 공식

$$\frac{y_s}{b} = K_s \cdot \left(\frac{y}{b} \right)^{0.3} \quad (3)$$

여기서, y_s = 세굴심(m)
 $K_s = 1.5$
 b = 교각폭(m)
 y = 구조물 설치 직상류부 수심(m)

(4) Andru 공식

$$Z_s = 0.8 h \quad (4)$$

여기서, Z_s : 최대세굴심 (m)
 h : 교각지점의 수심 (m)

(5) Qureshi 공식

$$Z_s/D = 1.8(h/D)^{0.75} - h/D \quad (5)$$

여기서, Z_s : 최대세굴심 (m)
 h : 교각지점의 수심 (m)
 D : 교각의 폭 (m)

(6) Laursen 공식

$$\frac{b}{y} = 5.5 \cdot \frac{y_s}{y} \left[\left(\frac{y_s}{11.5 \cdot y} + 1 \right)^{1.7} - 1 \right] \quad (6)$$

여기서, Z_s : 최대세굴심 (m)
 K : 교각의 형상계수 (원형 1.0, 사각형 1.4)
 D : 교각의 폭 (m)

2.2 수리특성 및 교각제원 자료조사

본 연구수행을 위하여 강원도 영서지역의 23개 지방하천을 선정하였으며, 그 중 연구지점 내 설치된 교량 중 원형교각으로 이루어진 29개의 교량을 선정하여 연구를 수행하였다. 선정된 지점의 수리특성을 살펴보면 홍수량의 경우 45~5,159 CMS의 범위를 보였으며, 교각부의 접근유속은 최소 1.87 m/sec에서 최대 6 m/sec의 범위를 나타내었다. 다음으로 교각 제원의 경우 교각의 폭이 0.5 m~3.0 m의 범위로 조사되었다. 선정된 연구지점의 수리특성 및 교각제원은 표 1에 정리하였다.

2.3 기존 세굴심 산정식에 의한 세굴심 산정 결과

본 논문에서 소개된 6가지의 산정 식을 이용하여 각 지점에서 조사된 수리특성 및 교각의 폭 등 변수를 이용하여 세굴심을 산정하였다. 산정 결과, 상대적으로 CSU공식과 Andru식이 다른 식에 비하여 세굴심이 크게 산정되었으며, Qureshi식이 다른 식에 비하여 작게 산정되었다. 산정 식 간의 편차는 간척천 을지교 지점이 0.79 m로 가장 작은 편차를 보였으며, 한강 문곡교 지점이 5.34 m로 최대의 편차 범위를 보였다. 전반적으로 수리량이 커질수록 산정 식 간의 산정 값 편차도 크게 발생하였다.

세굴심이 가장 작게 산정된 지점은 간척천 을지교 지점으로 Qureshi식이 0.55 m로 가장 작게 산정되었으며, 가장 크게 산정된 식은 CSU.식이 1.34 m로 가장 크게 산정되었다. 또한, 가장 큰 편차를 보인 한강 문곡교 지점의 경우 Andru 식이 7.74 m로 가장 큰 세굴심을 보였으며, Qureshi식이 3.32 m로 가장 작게 산정되었다. 지점별 세굴심 산정 식 간의 산정 값 범위는 아래 표 2에 정리하여 나타내었으며, 본 연구에서 소개한 기존 세굴심 산정식의 산정 값은 그림 2에 나타내었다.

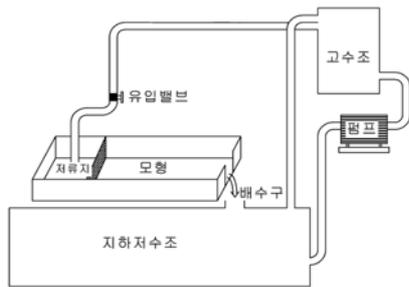
2.4 수리모형실험

2.4.1 수리모형실험 방법

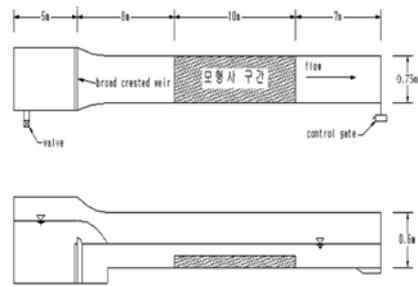
실제 하천에서 발생하는 세굴심을 측정하기 위하여 수리모형 실험을 실시하였다. 모형실험은 그림 1과 같이 고정상 개수로 장치에서 실험을 진행하였으며, 교각은 제작과 설치가 용이한 플라스틱 파이프를 이용하여 제작하였다. 실험방법은 모형의 상사법칙을 적용하여 수리특성 값 및 교각의 크기 등 축척비를 결정하여 실험을 하였다. 세굴심 측정은 포인트 게이지(point gage)를 사용 하였으며, 유속은 LAB.용 유속계를 사용하여 측정하였다. 아래 표 3은 LAB.용 유속계의 제원을 나타내었으며, 아래 표 4는 각 지점별 모형실험 축척비를 나타내었다.

표 1. 지점별 수리특성 및 교각제원

하천명	교량명	계획홍수량 (m ³ /s)	계획빈도 (년)	평균수심 (m)	접근유속 (m/s)	교각폭 (m)	교각형상
간척천	을지교	225.00	50	1.42	3.25	0.5	원형
금산천	류천교	165.00	50	2.08	2.47	1.0	원형
논미천	신논미교	372.00	50	3.78	2.25	1.0	원형
장전평천	연봉교	294	80	3.90	3.31	1.0	원형
마평천	마평교	234.80	100	3.71	3.71	1.0	원형
부귀천	부귀교	179	80	3.50	2.13	1.2	원형
추곡천	추곡교	2334	80	5.26	4.34	1.4	원형
방동천	평화교	45	80	1.85	1.87	1.5	원형
신촌천	신촌2교	65	80	2.45	2.10	1.5	원형
양덕원천	화전교	850	100	3.55	4.21	1.5	원형
성상천	성산교	323	100	2.98	2.72	1.5	원형
품안천	갯밭교	185	80	3.00	2.76	1.5	원형
월송천	서상4교	224	80	3.45	3.68	1.5	원형
산양천	산양교	203	50	3.58	3.09	1.5	원형
가정천	의암교	150	80	3.41	3.09	1.5	원형
성동천	화계1교	449	80	4.49	2.39	1.5	원형
골지천	봉정교	3200	150	6.16	4.85	2.0	원형
골지천	반천1교	2004	200	4.81	3.65	2.0	원형
골지천	새치교	3200	150	8.89	6.01	2.0	원형
연곡천	행신교	1080	100	4.21	3.64	2.2	원형
오대천	신기교	470	150	5.84	4.03	2.2	원형
천기천	상천기1교	470	100	5.75	2.23	2.5	원형
마읍천	토점교	1285	100	5.87	4.57	2.5	원형
옥동천	충혼교	1015	80	5.56	3.50	2.5	원형
옥동천	내덕교	775	80	6.03	2.48	2.5	원형
방태천	진동2교	1215	100	4.21	2.86	2.6	원형
옥동천	옥동교	2744	100	6.25	3.73	2.7	원형
한강	문곡교	5159	150	9.67	3.50	3.0	원형



(a) 수리모형실험의 유량공급과정



(b) 모형수로의 평면도와 측면도



(c) 실험 후 세굴현상 발생(정면)



(d) 실험 후 세굴현상 발생(정면)

그림 1. 수리모형 실험 전경

표 2. 지점별 기존세굴심 산정식 간 산정 값의 범위(m)

하천명	교량명	최대값	최소값	편차	하천명	교량명	최대값	최소값	편차
간척천	을지교	1.34	0.55	0.79	성동천	화계1교	3.59	1.43	2.16
금산천	류천교	1.97	1.04	0.94	골지천	봉정교	4.93	1.77	3.16
논미천	신논미교	3.02	1.05	1.97	하수남천	하수교	4.23	1.77	2.46
장전평천	연봉교	3.12	1.05	2.07	골지천	반천1교	4.10	1.77	2.33
마평천	마평교	2.97	1.05	1.91	골지천	새치교	7.11	1.77	5.34
부귀천	부귀교	2.80	1.21	1.59	연곡천	행신교	4.28	1.90	2.38
추곡천	추곡교	4.20	1.36	2.84	오대천	신기교	4.68	1.90	2.77
방동천	평화교	2.40	1.31	1.09	천기천	상천기1교	4.60	2.09	2.51
신촌천	신촌2교	2.59	1.43	1.16	마읍천	토점교	5.37	2.09	3.27
양덕원천	화전교	3.47	1.43	2.05	옥동천	충훈교	4.85	2.09	2.76
성상천	성산교	2.86	1.43	1.43	옥동천	내덕교	4.82	2.09	2.73
품안천	жат발교	2.87	1.43	1.44	방태천	진동2교	4.52	2.16	2.36
월송천	서상4교	3.27	1.43	1.84	옥동천	옥동교	5.31	2.22	3.09
산양천	산양교	3.05	1.43	1.62	한강	문곡교	7.74	2.40	5.34
가정천	의암교	3.02	1.43	1.60					

표 3. LAB. 용 유속계 제원

MODEL	Producing Company	Measuring range	Measurement precision	Average Time
VO100	KENEK	3~200 cm/sec	±3cm/sec	1.5,10,20,40,60 sec

~3.98 m의 큰 편차를 보이는 것을 확인 할 수 있었다. 그림 2는 기존식과 모형실험에서 산정된 값을 그래프로 도시하였다.

3. 분석 및 고찰

3.1 기존 세굴심 산정식에 대한 세굴인자 영향력 검토

기존 세굴심 산정 식에 대한 세굴인자의 영향력 검토결과, 본 논문에서 소개된 기존 세굴심 산정식의 경우 홍수량에 대해서는 전체적으로 큰 민감도의 차이는 보이지 않았으며, Andru식이 85%로 홍수량에 가장 큰 민감도를 보였다. 수심의 경우 전체적으로 홍수량과 비슷한 경향을 보였으며,

2.4.2 기존 세굴심 산정식과 모형실험 값의 비교 검토

본문에서는 기존 식의 산정 값과 모형실험에서 산정된 값을 비교·검토하였다. 검토 결과, 본 연구지점의 경우 Neil산정식이 대체로 모형실험에서 산정된 값과 유사한 경향을 보였으며, 모형실험 값을 기준으로 기존 산정식의 편차가 -2.31 m

표 4. 지점별 모형실험 축척비

하천명	교량명	교각	수심	유속	하천명	교량명	교각	수심	유속
간척천	을지교	1/10	1/10	1/3.16	성동천	화계1교	1/25	1/25	1/5
금산천	류천교	1/11	1/11	1/3.33	골지천	봉정교	1/33.3	1/33	1/6
논미천	신논미교	1/20	1/20	1/4.47	하수남천	하수교	1/22	1/22	1/5
장전평천	연봉교	1/17	1/17	1/4	골지천	반천1교	1/22	1/22	1/5
마평천	마평교	1/25	1/25	1/5	골지천	새치교	1/40	1/40	1/6
부귀천	부귀교	1/13	1/13	1/4	연곡천	행신교	1/24	1/24	1/5
추곡천	추곡교	1/23	1/23	1/5	오대천	신기교	1/37	1/37	1/6
방동천	평화교	1/17	1/17	1/4	천기천	상천기1교	1/28	1/28	1/5
신촌천	신촌2교	1/17	1/17	1/4	마읍천	토점교	1/28	1/28	1/5
양덕원천	화전교	1/20	1/20	1/5	옥동천	충훈교	1/28	1/28	1/5
성상천	성산교	1/17	1/17	1/4	옥동천	내덕교	1/28	1/28	1/5
품안천	жат발교	1/17	1/17	1/4	방태천	진동2교	1/29	1/29	1/5
월송천	서상4교	1/17	1/17	1/4	옥동천	옥동교	1/45	1/45	1/7
산양천	산양교	1/18	1/18	1/4	한강	문곡교	1/42	1/42	1/6
가정천	의암교	1/17	1/17	1/4					

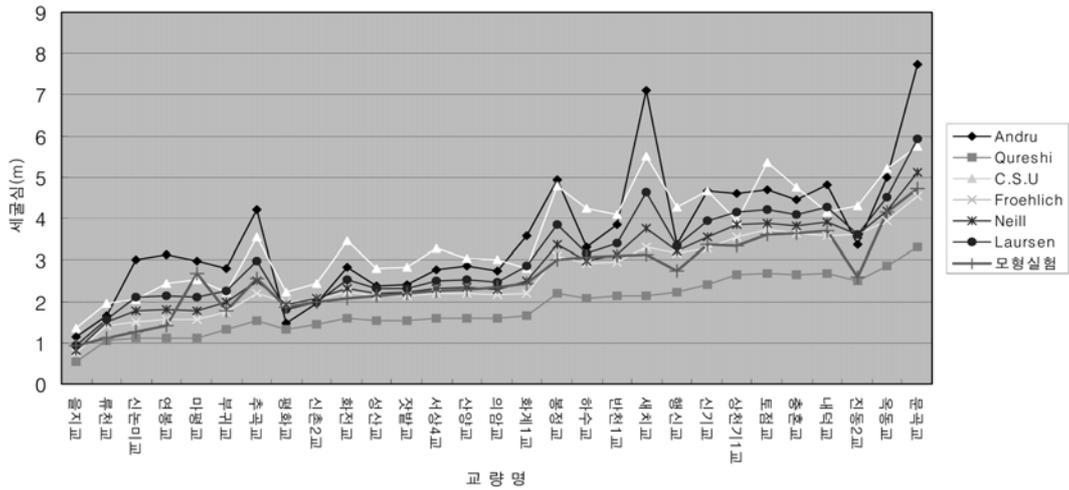
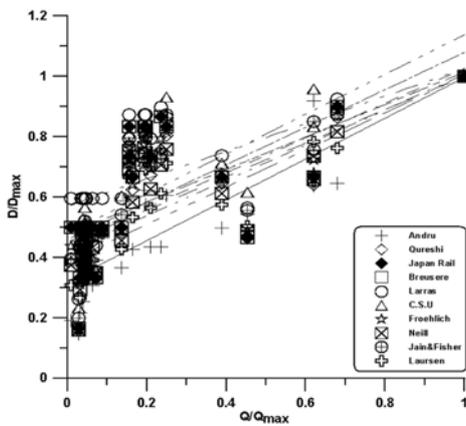
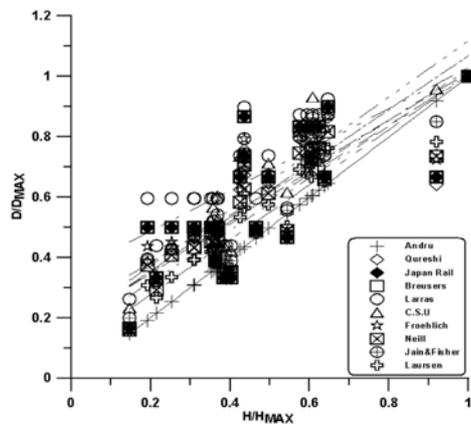


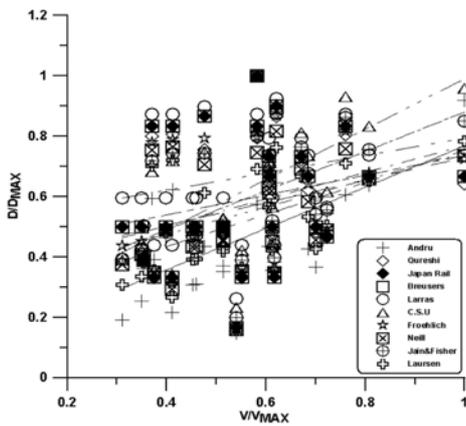
그림 2. 기존 산정식과 모형실험 세굴심 값의 비교



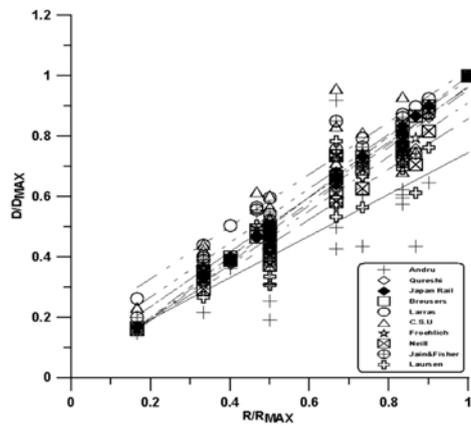
(a) 홍수량



(b) 수심



(c) 유속



(d) 교각크기

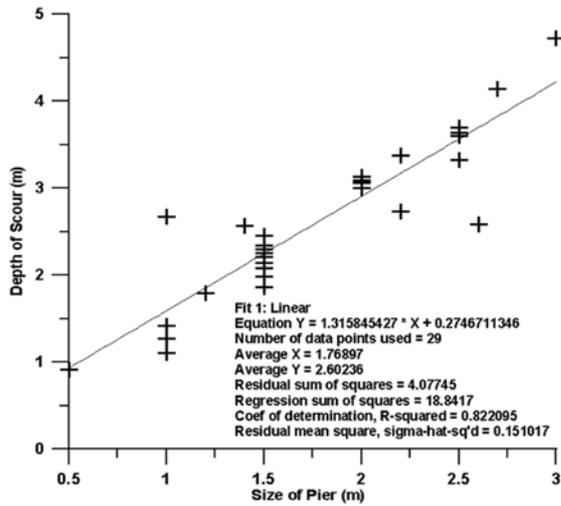
그림 3. 기존 이론식 세굴심과 세굴인자 간의 민감

Andru식이 100%의 민감도를 보였다. 다음으로 유속에 대해서는 전반적으로 25%~56%의 낮은 민감도를 보였으며, 끝으로 교각크기의 경우 전체적으로 기존 이론식에서 75%~100%의 높은 민감도를 보였다. 그림 3은 기존 세굴심 산정식의 세굴심과 세굴인자 간 민감도를 나타내었다.

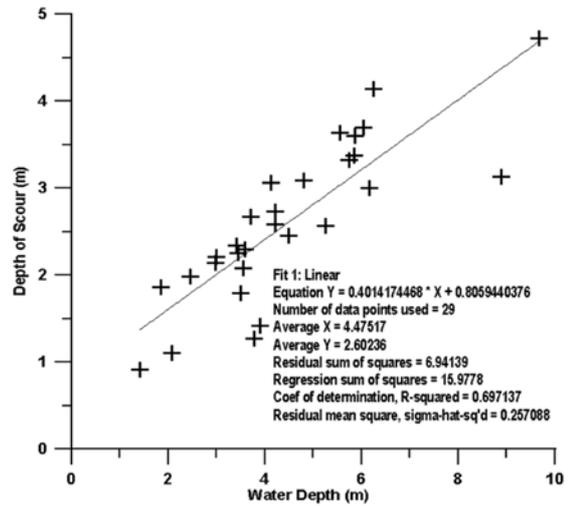
3.2 수리모형 세굴심 - 세굴심 인자간 상관분석

수리모형 세굴심과 세굴심 인자 간 변수들의 상관력을 관

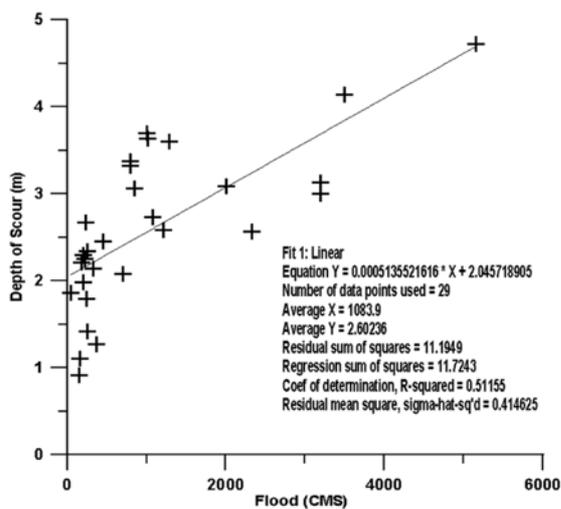
찰하기 위하여 상관분석을 하였다. 분석결과, 교각크기에서 상관계수(R)가 0.91로 가장 높은 설명력을 보였으며 수심이 0.84, 홍수량 0.71, 유속 0.40의 설명력을 보였다. 본 결과에서 알 수 있듯이 세굴 발생에 영향을 주는 인자의 영향력은 교각크기 > 수심 > 홍수량 > 유속 순으로 영향을 주는 것을 알 수 있다. 그림 4는 모형실험 세굴심 - 세굴인자 간 상관도를 나타내었으며, 모형실험 세굴심 - 세굴인자에 대한 통계분석 결과는 표 5에 나타내었다.



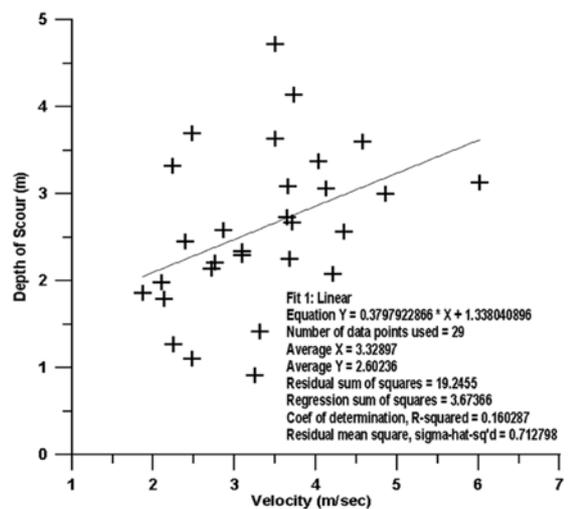
(a) 교각크기



(b) 수심



(c) 홍수량



(d) 유속

그림 4. 모형실험 세굴심 - 세굴인자 간 상관도

3.3 세굴심 산정을 위한 회귀식 제안

세굴심에 영향을 미치는 지배인자의 영향력을 제시하고, 세굴심 예측에 쉽게 이용할 수 있는 식을 작성하기 위하여 다중회귀분석을 수행하였다. 회귀분석 결과, 회귀식의 결정계수가 0.88로 유의하였으나, 표 6에서 보는바와 같이 독립변수 중 홍수량과 유속의 변수가 신뢰수준 95%일 때 P-value값이 0.955, 0.511로 통계치가 모수치를 대표함에 있어 오차가 5% 이상임을 의미하므로 종속변수에 미치는 영향이 무의미함을 알 수 있다. 따라서, 홍수량과 유속의 변수를 배제시킨 후 다중회귀분석을 실시하였다. 다음으로 회귀식의 적합도 검증

결과, 결정계수가 0.882로 전체 관찰 값의 88%가량이 회귀식과 적합한 관계를 갖는 것을 확인하였다. 회귀식의 다중공산성 문제는 Tolerance(공차한계)와 VIF.(분산팽창요인)의 값을 기준으로 Tolerance 1이하의 값, VIF. 10 이하의 값으로 정의하며, 표 5에서 보는 바와 같이 본 회귀식의 경우 Tolerance 0.456, VIF 2.194로 다중공산성 문제가 해결되었음을 확인하였다.

3.4 회귀식 검증

본 연구에서 제안한 회귀식 검증을 위하여 인근 하천에서의 세굴심 산정 값과 본 연구에서 제안한 회귀식 산정 값과 비교·검증하였다. 검증결과, 본 연구에서 제안한 회귀식의 경우 0.42 m, 0.28 m, 0.18 m의 편차를 보였으며, 평균적으로 11%의 편차를 보였다. 기존 산정식의 경우 편차가 크기는 사남교 1.52 m, 연당교 1.93 m, 신운학교 1.78 m의 편차를 보였다. 따라서, 지속적으로 자료를 축적하여 회귀식의 신뢰성을 향상한다면 다른 기존 식들 보다 신뢰적인 세굴심 산정이 가능할 것으로 보인다.

표 5. 모형실험 세굴심 - 세굴인자간 통계분석 결과

수리특성인자	자료수(N)	상관계수(R)	p-value	Std. Error
교각크기	29	0.906	0.000	0.389
수심	29	0.835	0.000	0.507
홍수량	29	0.715	0.000	0.644
유속	29	0.401	0.031	0.844

표 6. 다중 회귀분석 결과(I)

계수 (Coefficients)						
변수	B(회귀계수)	β (표준화계수)	t -value	p -value	Tolerance	VIF
constant	0.037	-	0.111	0.912	-	-
flood	-5.45E-06	-0.008	-0.057	0.955	0.268	3.730
water depth	0.155	0.322	2.015	0.055	0.189	5.302
velocity	0.056	0.059	0.667	0.511	0.608	1.645
pier	0.955	0.658	6.108	0.000	0.416	2.405
분산분석(Analysis of Variance)						
Model	Sum of squares	df	Mean squares	F-value	P-value	
SSR	20.254	4	5.063	45.779	0.000	
SSE	2.655	24	0.111	-	-	
SST	22.908	28	-	-	-	
회귀식(Regression equation)						
$y = 0.037 - (5.45E-06)x_{\text{홍수량}} + 0.155x_{\text{수심}} + 0.056x_{\text{유속}} + 0.955x_{\text{교각크기}}$						
Model Summary						
R	R-square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate			
0.940	0.884	0.865	0.33258			

표 7. 다중 회귀분석 결과 (II)

계수 (Coefficients)						
변수	B(회귀계수)	β (표준화계수)	t -value	p -value	Tolerance	VIF
constant	0.182	-	0.987	0.334	-	-
pier	0.924	0.637	6.382	0.000	0.456	2.194
water depth	0.175	0.365	3.656	0.001	0.456	2.194
분산분석(Analysis of Variance)						
Model	Sum of squares	df	Mean squares	F-value	P-value	
SSR	20.204	2	10.102	97.121	0.000	
SSE	2.704	26	0.104	-	-	
SST	22.908	28	-	-	-	
회귀식(Regression equation)						
$y = 0.182 + 0.924x_{\text{교각크기}} + 0.175x_{\text{수심}}$						
Model Summary						
R	R-square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate			
0.939	0.882	0.873	0.32251			

표 8. 세굴심 산정 회귀식 제안

구분	Regression equation	결정계수(R^2)
세굴심 예측 회귀식	$y = 0.182 + 0.924x_{\text{교각크기}} + 0.175x_{\text{수심}}$	0.94

표 9. 회귀식 검증

지점명	회귀식에 의해 산정된 세굴심	기존 세굴심의 산정 값	모형실험 세굴심	편차(m)	편차율(%)
쌍용천 서남교	2.60m	2.76m ~ 3.7m	2.18m	0.42m	16%
운학천 연당교	2.68m	2.05m ~ 4.3m	2.40m	0.28m	10.4%
연당천 신운학교	2.68m	1.77m ~ 4.3m	2.52m	0.18m	5.9%

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

- 1) 기존 세굴심 산정 값과 모형실험 세굴심 측정값이 크게는 63%의 편차를 보였으며 특히, 교각크기 및 홍수량의 값이 커지면서 산정 값 간의 편차는 증가하였다. 따라서 강원도의 경우 하천지형적인 특성으로 인하여 기존 세굴심 산정 식을 이용한 세굴심을 추정하기에는 부적합한 것으로 연구되었다.
- 2) 기존 세굴심 산정 값의 경우 교각의 크기와 수심 등을 고려한 산정 식에서 편차가 적게 발생하였으며, 본 연구 대상지의 경우 Neil식이 모형실험 값과의 편차가 가장 작게 산정됨을 확인 수 있었다.
- 3) 모형실험을 통한 세굴인자에 대한 민감도 분석결과 교각 크기 64%, 수심이 37%로 다른 요인보다는 교각 및 수심의 민감도가 크게 산정되고 있음을 알 수 있었다.
- 4) 세굴심 발생에 영향을 주는 지배 인자 중 교각크기 및 수심에 대한 회귀분석을 통하여 연구대상지를 대표할 수 있는 적합한 세굴심 산정 식을 산정 할 수 있었다.
- 5) 본 연구에서 제안한 세굴심 산정식과 모형실험 값의 비교·검증결과 제안식의 편차가 11%의 편차로 신뢰성 있는 세굴심 산정이 가능 하였다.

감사의 글

이 논문은 한국건설교통기술평가원에서 지원한 수충부 및 토석류 방재기술단 연구성과입니다. 연구지원에 감사드립니다.

- 강원도 (2002) 2002 강원수해백서.
 국립방재연구소 (2002.10) 태풍 루사(RUSA)로 인한 강릉지역 수해원인 분석.
 심우배, 강진구, 백경원, 송재우 (2002) 하상재질의 특성을 고려한 국부세굴심 예측. 2002 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp.811-816.
 양구군 (2008) 쌍용천 하천기본계획.
 양구군 (2009) 연당천 하천기본계획.
 양구군 (2009) 운학천 하천기본계획.
 원창희 (2007) 교각 국부세굴의 축척효과에 대한 수치모의, 석사학위논문, 동의대학교.
 이승훈 (2005) 하천교량 세굴 분석 및 대책 적용 연구, 석사학위논문, 부산대학교.
 이재진 (2002) 원형교각 주위의 돌망태 세굴 보호공, 석사학위논문, 한양대학교.
 정수일 외 3인 (1999) 공업통계학. 청문각.
 정중호, 윤영남 (2007) 수자원설계실무. 구미서관
 정창동 (2004) 기존 세굴심 산정공식 적용을 위한 모형실험과의 비교연구, 석사학위논문, 강원대학교.
 최한규, 백경원, 구본수, 최용목 (2001) 교각의 형상과 배열에 따른 하상세굴 특성에 관한 실험적 연구. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제 21권, 제 2-B호, pp.409-415.
 최한규, 백경원, 최용목 (2000) 연속교각 및 말뚝에서의 세굴특성에 관한 실험적 연구. 2000 대한토목학회 학술발표회 논문집, 대한토목학회, pp.351-354.
 한국수자원공사 (2002. 9) 2002 전국 홍수조사 보고서.
 한국수자원학회 (2002. 10) 2002년 홍수피해의 종합 조사보고서.
 한국수자원학회 (2005) 하천설계기준.
 한상연 (2007) 교각 국부세굴의 시간적 변화에 관한 실험적 연구, 석사학위논문, 명지대학교.

- ◎ 논문접수일 : 09년 11월 26일
- ◎ 심사의뢰일 : 09년 11월 30일
- ◎ 심사완료일 : 10년 02월 11일