

기존 세굴심 산정식의 적정성 검토 및 세굴심 산정식 개발에 대한 실험적 연구

Review of appropriateness of existing formula for estimating the depth of scour and the experimental study on development of the formula to estimated the depth of scour

최 한 규* 이 영 섭**
Choi, Han-Kuy Lee, Yeong-Seop

Abstract

In this study, the investigation of hydraulic characteristics and the pier data for the rivers in Youngseo area of Gangwon Province was carried out and the evaluation and comparison between the values from existing formulas and the values from the model tests was conducted, along with the statistical sensitivity analysis of the elements influencing the scour. As a result, the deviation between the values calculated from the existing formulas and the model tests appeared to be 1.09%~63.98% as the piers were getting larger, which indicated that the existing formulas were not appropriate to estimate the scour in the rivers in Gangwon area. And the formula which estimates the scour with the size of the pier only, among the existing ones, was far behind in estimating the sensitivity because of insufficient incorporation of the hydraulic characteristics, though it is convenient to estimate the value.

The sensitivity analysis of the value from the model tests and the depth of the scour proved the significant impact on scour by the size of the pier and water depth, indicating 64% and 36%, respectively. In this study, the formula developed through the regression analysis performed based on the values from the model tests, which appeared to be appropriate for the rivers in Gangwon Province, was proposed.

키워드 : 세굴심, 교각, 민감도분석

Keywords : *depth of scour, pier, sensitivity analysis*

1. 서론

유체의 흐름에 의해 교량의 교각 및 교대 주변

의 하상계료가 유실되는 현상을 교량세굴이라 하며, 이로 인해 낮아진 하상고와 자연 하상고와의 차이를 세굴심이라고 한다. 교량 횡단부에서 발생할 수 있는 세굴의 형태는 주로 장기하상변동, 단면축소세굴 그리고 국부세굴이다. 이중 국부세굴은 구조물에 의한 흐름의 방해와 가속된 흐름에 의해 야기된 와류의 발달에 의해 생긴다.

* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사·교신저자

** 강원대학교 대학원 토목공학과 공학석사

본 연구는 기존세굴심 산정식 적용의 문제점을 제시하고, 민감도를 분석, 지배인자에 대한 영향력을 제시하여 강원도 하천에 적합한 세굴심 산정식을 작성하는 게 본 연구의 주요내용이다. 세굴모형실험은 기존교각의 형태를 원형에 국한되어 실시하였는데 이는 기존공식이 교각의 형태에 따라서 계수값을 변동할 수 있게 하는 공식이 있기는 하나, 최근에 신설되는 교각의 형태는 원형으로, 타원형이나 사각형 등의 교각형태는 사용되지 않고 있는 실정이다. 이에 세굴모형실험은 원형 교각에 국한하여 실험을 실시하였다.

따라서, 본 연구에서는 강원도 영서지방의 지방 하천을 중심으로 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 지배인자에 대하여 영향력을 정량적으로 제시하였으며, 지배인자에 대한 통계학적 방법인 다중회귀 분석을 실시하여 강원도 하천에 적합한 세굴심 산정식을 작성하여 제안하였다.

2. 연구방법

2.1 세굴심 산정 적용공식

하천설계기준(2005, 한국수자원학회) 에 제시된 C.S.U의 10가지 공식을 사용하였다.

1) C.S.U방정식

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

- y_s : 세굴심(m), a : pier
- y_1 : 구조물의 직상류부 수심(m)
- K_1 : 교각형상에 대한 보정계수
- K_2 : 흐름 입사각에 대한 보정계수
- K_3 : 하상조건에 대한 보정계수
- K_4 : 하상재료 크기에 대한 보정계수
- Fr : 구조물 설치 직상류부의 Froude수

2) Froehlich 공식

$$\frac{y_s}{b} = 0.32 \cdot \phi \cdot \left(\frac{b'}{b} \right)^{0.62} \cdot \left(\frac{y}{b} \right)^{0.46} \cdot F^{0.2} \cdot \left(\frac{D_{50}}{D_{90}} \right)^{0.08 + 1r}$$

- b = 교각폭(m)
- b' = 투영교각 폭(m)
- ϕ = 교각 형상계수
(사각형:1.3, 원형:1.0, 예각:0.7)
- y = 수심(m)
- D_{50} = 하상입자의 평균입경(m)
- Fr = Froude수

3) Laursen 공식

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

y_s = 세굴심(m), b = 교각폭(m),
 y = 수심(m)

4) Neill 공식

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

y_s = 세굴심(m)
 K_s = 1.5
 y = 구조물 설치 직상류부 수심(m)

5) Andru 공식

$$Z_s = 0.8h$$

Z_s : 최대세굴심 (m)
 h : 교각지점의 수심 (m)

6) Qureshi 공식

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

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

7) Japan Rail 공식

$$Z_s = 1.6D$$

Z_s : 최대 세굴심 (m)
 D : 교각의 폭 (m)

8) Breusers 공식

$$Z_s = 1.4D$$

Z_s : 최대세굴심 (m)
 D : 교각의 폭 (m)

9) Larras 공식

$$Z_s = 3.33KD^{3/4}$$

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

10) Jain&Fisher

$$Z_s/D = 1.84 \left(\frac{h}{D} \right)^{0.3} (Fr)^{0.25}$$

Z_s : 최대세굴심 (m)
 D : 교각의 폭 (m)
 h : 교각지점의 수심 (m)
 Fr : Froude수

2.2 연구지점 선정

본 연구 수행을 위하여 적용한 하천은 영서지역에 위치한 29개의 하천을 선정하여 본 연구를 수

행하였다. 선정된 연구지점의 하천명 과 수리특성은 아래 표 1에 정리하였다.

표 1 연구지점별 수리특성

하천명	교량명	계획홍수량 (m^3/s)	빈도 (년)	수심 (m)	유속 (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	갓밭교	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	충훈교	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

2.3 지점별 기존식 세굴심 산정결과

기존 10가지 산정식을 적용하여 연구 지점별 세굴심을 산정하였다. 산정 결과는 다음 표 2, 표 3과 같으며, 산정된 결과를 보면 Andru, C.S.U 산정식이 다른 산정식에 비하여 큰 세굴심을 보였으

며 Larras 산정식은 작은 세굴심을 보였다. 또한 산정식간최대 세굴심과 최소 세굴심간의 편차는 0.08m~5.34m의 편차를 보였다. 이는 산정식에 적용된 수리특성이 다르기 때문에 발생한 결과로 보인다.

표 2 지점별 기존식 산정결과 I (m)

하천명	교량명	Andru	Qureshi	Japan Rail	Breusers	Larras
간척천	을지교	1.14	0.55	0.80	0.70	0.63
금산천	류천교	1.66	1.04	1.60	1.40	1.05
논미천	신논미교	3.02	1.10	1.60	1.40	1.05
장전평천	연봉교	3.12	1.10	1.60	1.40	1.05
마평천	마평교	2.97	1.10	1.60	1.40	1.05
부귀천	부귀교	2.80	1.32	1.92	1.68	1.21
추곡천	추곡교	4.20	1.54	2.24	1.96	1.36
방동천	평화교	1.48	1.31	2.40	2.10	1.43
신촌천	신촌2교	1.96	1.45	2.40	2.10	1.43
양덕원천	화전교	2.84	1.60	2.40	2.10	1.43
성상천	성산교	2.38	1.54	2.40	2.10	1.43
품안천	жат발교	2.40	1.54	2.40	2.10	1.43
월송천	서상4교	2.76	1.59	2.40	2.10	1.43
산양천	산양교	2.86	1.60	2.40	2.10	1.43
가경천	의암교	2.73	1.59	2.40	2.10	1.43
성동천	화계1교	3.59	1.65	2.40	2.10	1.43
골지천	봉정교	4.93	2.21	3.20	2.80	1.77
하수남천	하수교	3.30	2.07	3.20	2.80	1.77
골지천	반천1교	3.85	2.14	3.20	2.80	1.77
골지천	새치교	7.11	2.13	3.20	2.80	1.77
연곡천	행신교	3.37	2.23	3.52	3.08	1.90
오대천	신기교	4.67	2.40	3.52	3.08	1.90
천기천	상천기1교	4.60	2.65	4.00	3.50	2.09
마읍천	토점교	4.70	2.67	4.00	3.50	2.09
옥동천	충훈교	4.45	2.64	4.00	3.50	2.09
옥동천	내덕교	4.82	2.68	4.00	3.50	2.09
방태천	진동2교	3.37	2.51	4.16	3.64	2.16
옥동천	옥동교	5.00	2.87	4.32	3.78	2.22
한강	문곡교	7.74	3.32	4.80	4.20	2.40

표 2 지점별 기존식 산정결과II(m)

하천명	교량명	C.S.U	Froehlich	Neill	Jain&Fisher	Laursen
간척천	을지교	1.34	0.75	0.82	1.22	0.93
금산천	류천교	1.97	1.42	1.49	1.97	1.58
논미천	신논미교	2.06	1.51	1.79	2.14	2.10
장전평천	연봉교	2.44	1.56	1.81	2.37	2.15
마평천	마평교	2.54	1.56	1.78	2.41	2.12
부귀천	부귀교	2.24	1.75	1.99	2.36	2.25
추곡천	추곡교	3.55	2.21	2.50	3.38	2.98
방동천	평화교	2.24	1.99	1.92	2.39	1.82
신촌천	신촌2교	2.45	2.05	2.09	2.59	1.98
양덕원천	화전교	3.47	2.23	2.33	3.29	2.53
성상천	성산교	2.81	2.13	2.21	2.86	2.32
품안천	жат밭교	2.83	2.13	2.22	2.87	2.33
월송천	서상4교	3.27	2.20	2.31	3.16	2.50
산양천	산양교	3.04	2.19	2.34	3.05	2.54
가정천	의암교	3.02	2.17	2.30	3.02	2.48
성동천	화계1교	2.81	2.21	2.50	2.97	2.85
골지천	봉정교	4.79	3.09	3.36	4.58	3.86
하수남천	하수교	4.23	2.91	2.98	4.10	3.15
골지천	반천1교	4.10	2.94	3.12	4.09	3.40
골지천	새치교	5.52	3.30	3.75	5.16	4.64
연곡천	행신교	4.28	3.15	3.21	4.27	3.34
오대천	신기교	4.68	3.29	3.54	4.64	3.94
천기천	상천기1교	3.93	3.55	3.85	4.36	4.16
마읍천	토점교	5.37	3.72	3.88	5.24	4.21
옥동천	충훈교	4.75	3.63	3.81	4.85	4.09
옥동천	내덕교	4.14	3.59	3.91	4.51	4.26
방태천	진동2교	4.30	3.61	3.61	4.52	3.62
옥동천	옥동교	5.21	3.95	4.17	5.31	4.51
한강	문곡교	5.76	4.55	5.11	6.07	5.92

2.4 수리모형실험

실제 하천에서 발생하는 세굴심을 측정하기 위하여 세굴심 수리모형 실험을 실시하였다. 실험 개요와 과정은 다음과 같다. 실험장치의 제원은 폭 0.75m, 깊이 0.60m, 길이 30m의 콘크리트 직선수로로 세굴심을 관측할 수 있는 부분은 유리로 되어있다. 물은 펌프에 의해 고수조로 이동하고 자연유하 방식으로 물이 공급된다. 유량의 안정적인 흐름을 위하여 상단에는 광정웨어가 설치되어 있고 하류부에는 수심 조절용 수문이 설치되어 있다.

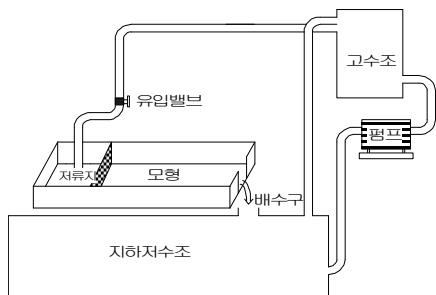


그림 1 수리모형 실험의 유량 공급과정

세굴심을 측정하기 위하여 그림 2와 같이 10m의 모형사 구간에 세굴심을 관측할 수 있도록 벽면이 유리로된 부분을 중심으로 폭 0.75m, 높이 0.15m, 길이 10m로 모형사를 포설하고 실험을 진행하였으며 교각은 제작과 설치가 용이한 플라스틱 파이프를 사용하였다.

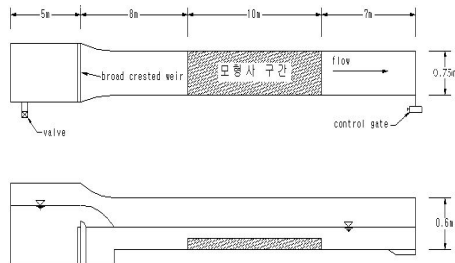


그림 2 모형수로의 평면도와 측면도

수위와 세굴심도는 포인트 게이지(point gage)를 사용하였으며 유속은 Lap 용 유속계를 사용하였다. 실험의 정확도를 위하여 한 지점당 3번의 실험을 진행하였으며 실험 결과의 평균값은 다음 표 3과 같다.

표 3 모형실험에 의한 세굴심 측정결과

하천명	교량명	평균(m)
간척천	을지교	0.92
금산천	류천교	1.11
논미천	신논미교	1.27
장전평천	연봉교	1.42
마평천	마평교	2.68
부귀천	부귀교	1.79
추곡천	추곡교	2.57
방동천	평화교	1.86
신촌천	신촌2교	1.98
양덕원천	화전교	2.08
성상천	성산교	2.14
품안천	갓밭교	2.21
월송천	서상4교	2.25
산양천	산양교	2.30
가정천	의암교	2.34
성동천	화계1교	2.45
골지천	봉정교	3.00
하수남천	하수교	3.06
골지천	반천1교	3.09
골지천	새치교	3.13
연곡천	행신교	2.73
오대천	신기교	3.37
천기천	상천기1교	3.33
마읍천	토점교	3.60
옥동천	충혼교	3.63
옥동천	내덕교	3.70
방태천	진동2교	2.58
옥동천	옥동교	4.14
한강	문곡교	4.72

3. 분석 및 고찰

3.1 기존 세굴심 산정식에 대한 세굴인자 영향력 검토

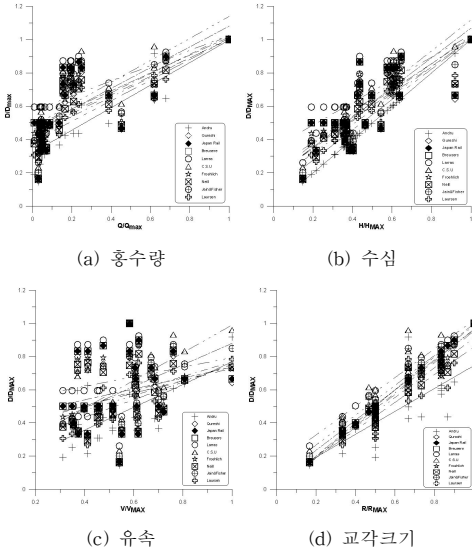


그림 3 기존 세굴심 산정식과 민감도

홍수량에 대해서는 각 식별로 민감도의 큰 차이는 보이지 않았다. 다만, Andrus식이 85%로 홍수량에 가장 민감하게 반응 하였으며, 다음으로 Larss 식 62%, Breusers식 63% 으로 낮은 민감도를 보였다. 수심에 대해서는 홍수량에 대하여 분석한 결과와 비슷한 양상을 보였으며, Andrus 식이 100%로 가장 민감한 결과를 보였다. 이는 Andrus식의 경우 수심의 함수로만 이루어진 식으로 이러한 영향력을 보인 것을 알 수 있다. 유속에 대해서는 기존 산정식은 25%~56%로 전반적으로 민감도가 떨어지는 경향을 보였으며, 교각크기에 대해서는 기존식이 78%~100% 으로 비슷한 경향을 보이고 있는데, 이는 본 연구에서도 알 수 있듯이 기존식에 대해서도 교각의 크기에 높은 영향력을 받고 있는 것을 알 수 있다.

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 나타났으며, 또한 각 인자들의 결정계수(R square)는 0.161~0.821의 범위의 값을 보였다.

이는 각 인자들이 하나의 변수인 세굴심에 16%~82%의 설명력을 보인다는 것을 알 수 있었다.

표 4 모형실험 세굴심-세굴심 인자간 상관분석

수리특성 인자	자료수	상관계수	p-value
교각크기	29	0.906	0.000
수심	29	0.835	0.000
홍수량	29	0.715	0.000
유속	29	0.401	0.031

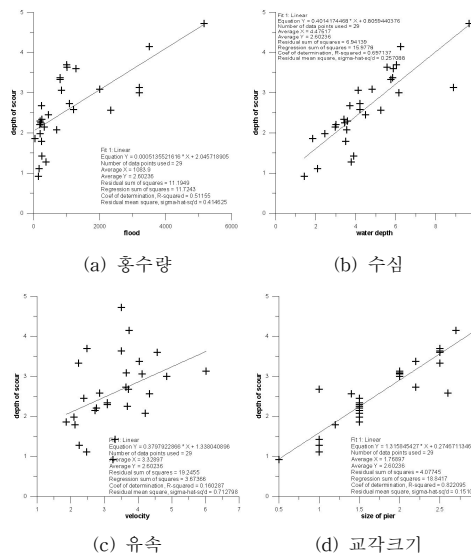


그림 4 모형실험 세굴심-세굴심 인자간 상관도

3.3 세굴심과 수리특성 인자간 다중회귀분석

세굴심에 가장 큰 영향을 미치는 지배인자의 영향력을 제시하고, 세굴심예측에 사용할 수 있는 회귀식을 개발하기 위하여 다중회귀분석을 실시하였다. 세굴심을 종속변수로 놓고 그 외 홍수량, 수심, 유속, 교각크기를 독립변수로 하였다. 첫 번째 다중회귀분석 결과는 표 5와 같으며 이 다중회귀식은 결정계수 (R square) 0.884로 유의한 것으로 확인 하였으나, 독립변수중 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 후 표 6과 같이 다중회귀분석을 실시하여 다음과 같이 회귀식을 개발하였다.

$$y = 0.182 + 0.924x_{\text{교각크기}} + 0.175x_{\text{수심}}$$

표 5 다중회귀분석 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 6 다중회귀분석 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

3.4 회귀식과 기존세굴심 산정식 비교검토

세굴심과 수리특성 인자간 상관분석 결과 상관성이 가장 크게 나온 인자는 교각크기이다. 따라서 교각 크기에 따라 회귀식과 기존 산정식으로 산정된 세굴심을 분류한 후 실험에 의한 세굴심 값과의 편차와 편차율을 산정해 보았다. 결과는 그림 5 그림 6과 같으며 교각크기만으로 이루어진 산정식에서는 편차가 회귀식과 비슷한 경향을 보였으며, 기존 세굴심 산정식은 -2.32~3.02m의 편차를 보였다. 전체적으로 교각 크기가 커지면서 기존 세굴심 산정식은 1.09%~63.98%의 편차를 보였으며, 회귀식은 0.71%~3.26%의 편차를 보였다. 따라서 세굴심 산정시 본 연구에서 제시한 회귀식을 사용한다면 다른 기존식들보다 신뢰적인 세굴심을 산정할 수 있을 것으로 사료된다.



그림 5 교각 크기에 따른 실험 세굴심-세굴심 산정식 편차

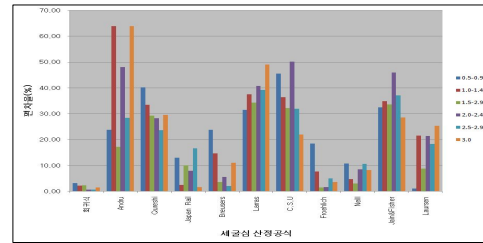


그림 6 교각 크기에 따른 실험 세굴심-세굴심 산정식 편차율

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 값간의 편차가 1.09%~63.98%를 보이고 있어, 강원도 하천의 경우 기존 세굴심 산정식을 적용하여 산정

산업기술연구(강원대학교 산업기술연구소 논문집), 제29권 A호, 2009.

기존 세굴심 산정식의 적정성 검토 및 세굴심 산정식 개발에 대한 실험적 연구

하기에는 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 할 수 있었다.

$$y = 0.182 + 0.924x_{\text{(교각크기)}} + 0.175x_{\text{(수심)}}$$

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, “교량세굴 평가 및 유지관리 시스템”, 2005.
- [2] 정창동, “기존 세굴심 산정공식 적용을 위한 모형실험과의 비교연구”, 강원대학교 대학원, 2004.
- [3] 한국도로공사 도로교통기술원, “교량 예방적 유지관리 방안 연구”, 2005.
- [4] 원창희, “교각 국부세굴의 축척 효과에 대한 수치 모의”, 동의대학교 대학원, 2007.
- [5] “하천설계기준”, 한국수자원학회, 2005.
- [6] 시설안전기술공단, “교량에서의 흐름 안정성과 세굴”, 1997.
- [7] 건설교통부 국립건설시험소, “교량 기초부 세굴방지를 위한 수리측성 조사실험 보고서”, 1998.
- [8] 오창혁, SPSS와 SAS를 이용한 인자분석, 교우사, 2001.

[9] 정수일 외 3인, 공업 통계학, 청문각, 2004.

[10] 이승훈, “하천교량 세굴 분석 및 대책 적용 연구”, 부산대학교 대학원, 2004.

[11] 이재진, “월형교각 주위의 돌망태 세굴 보호공”, 한양대학교 대학원, 2002.