

교각세굴심의 실측치와 이론치의 비교

Comparison of Pier-Scour Depth for Field Data and Scour Equations

안상진*, ○김용용**, 최병만***, 이재경****

1. 서 론

과거 30여년간 세굴에 대한 수많은 연구들이 여러 학자들에 의하여 수행되어져 왔으며 많은 방정식들이 교각의 교각 세굴을 예측하기 위하여 개발되어 졌다. 이들 방정식의 대부분은 실험실에서 자료의 자료를 이용하여 개발되어졌으며, 때로는 제한된 실측 자료를 이용하여 검증되었다. 최근까지도, 이들 방정식을 검증하기 위한 자료들은 매우 제한적이며 그러므로 현장에서 세굴을 예측하기 위하여 이들 방정식을 이용하기에는 미흡한 실정이다. 세굴예측을 위한 많은 공식들도 실험실에서 이루어진 조건들이 알려져 있지 않다. 더욱이 이들 방정식이 유효하도록 만들어 주는 다양한 매개변수들의 범위도 역시 전형적으로 알수가 없다. 비록 실험실의 실험자료등으로 이용된 자료의 범위를 알고있다고 하더라도 실험실내의 작은 축척의 모델들을 원형조건과 어떻게 상관시키느냐는 확실하게 알수가 없다.

따라서 본 연구에서는 국제수문개발계획(IHP)의 대표유역인 금강수계 보청천지역내 산계지점의 수리학적 및 기하학적 자료를 이용하여, 현재 일반적으로 많이 사용되고 있는 기존의 교각 세굴방정식과 비교를 통하여 우리 실정에 맞는 세굴 방정식을 알아보고 추후 교각설계 및 교각의 안전진단에 이용되도록 하는데 그 목적이 있다.

2. 교각세굴방정식

2.1 C.S.U(Colorado State University)공식

미국에서 가장 보편적으로 이용되고 있는 교각세굴방정식은 미연방도로국(FHWA)에서 현장에서의 세굴조사, 세굴방지대책 수립 등을 위한 지침서로 발간된 HEC-18(Hydraulic Engineering Circular No. 18)에서 추천된 C.S.U 공식이며 다음 식(1)과 같다.

-
- * 정회원, 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수
 - ** 정회원, 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정 수료
 - *** 정회원, 한국수자원공사 조사계획처
 - **** 정회원, 대원전문대학 토목과 전임강사

$$\frac{d_s}{b} = 2.0 y K_1 K_2 K_3 (y/b)^{0.35} F^{0.43} \quad (1)$$

여기서, d_s = 세굴심; y = 교각 접근수심; K_1 = 교각 모서리 형상계수; K_2 = 접근각도계수; K_3 = 하상조건 보정계수; b = 교각폭; 및 F = Froude 수이다. 식 (1)에 주어진 관련계수(K_n)는 HEC-18에 주어진 표를 이용하여 얻을 수 있다.

2.2 Melville & Sutherland 공식

Melville 와 Sutherland (1988)는 실험실내의 실험에 기초하여 다음 식과 같은 세굴 모델을 개발하였다.

$$d_s = K_l K_d K_y K_a K_s t \quad (2)$$

여기서, K_l = 흐름강도계수; K_d = 유사크기계수; K_y = 수심 계수; K_a = 정렬계수; 및 K_s = 형상계수이다. K_l 는 한계유속에 대한 접근유속의 함수이며; K_d 는 기하표준편차의 계수이다. 이 인자 K 들은 Melville 와 Sutherland(1988)에서 제공되는 방정식 및 그래프를 통하여 얻을 수 있다.

2.3 Hancu 공식

Hancu(1971)는 다음과 같은 교각세굴 방정식을 제안하였다.

$$d_s = 2.42 b [2(V/V_c) - 1] (V_c^2/gb) \quad (3)$$

$0.05 \leq V^2/(gb) \leq 0.6$ 에서

$$V_c = 1.2 \sqrt{gD_{50} [(\rho_s - \rho)/\rho] (y/D_{50})^{0.5}} \quad (4)$$

이다. 여기서, V = 유속; V_c = 한계유속이다. 정지상세굴조건에서는, 윗식의 항 $(2V/V_c - 1) = 1$ 이다. 방정식 (3)은 $V/V_c \leq 0.5$ 인 조건에서는 적용할 수 없다.

2.4 Neill 공식

Neill(1964)은 Laursen & Toch(1956)에 의하여 기 개발된 곡선식을 수정하여 다음과 같은 세굴 곡선식을 개발하였다.

$$d_s = 1.35 b^{0.7} y^{0.3} \quad (5)$$

2.5 Breuser 공식

Breuser 등(1977)은 다음과 같은 식(6)을 제안하였으며, 이 식은 Hancu 공식과 유사한 식이다.

$$d_s = bf K_1 K_2 [2 \tanh(y/b)] \quad (6)$$

여기서,

$$f = 0 \text{ for } V/V_c \geq 0.5 \quad (7a)$$

$$f = 2V/V_c - 1 \text{ for } 0.5 \leq V/V_c \leq 1 \quad (7b)$$

$$f = 1 \text{ for } V/V_c > 1 \quad (7c)$$

이며, K_1 및 K_2 는 식(1)의 계수와 같다.

2.6 Jain & Fishcher 공식

Jain 과 Fischer(1979)는 실험을 기초로 한 방정식을 개발하였다. $(F - F_c) > 0.2$ 인 조건에서는

$$d_s = 2.0b(F - F_c)^{0.25} (y/b)^{0.5} \quad (8)$$

이 되며, 여기서, $F_c =$ 한계 Froude 수 $= V_c / (gy)^{0.5}$ 이다. $(F - F_c) < 0.2$ 일 때는

$$d_s = 1.85b(F_c)^{0.25} (y/b)^{0.5} \quad (9)$$

을 사용한다. $0 < (F - F_c) < 0.2$ 인 경우에는, 식(8) 및 식(9)로부터 계산된 두 세굴심의 값 중에서 큰 값을 이용한다.

2.7 Laursen 공식

Laursen(1956)은 원형 교각에서의 실험을 기초로 다음과 같은 실험식을 개발하였다.

$$d_s = 1.5K_2b^{0.7}y^{0.3} \quad (10)$$

여기서 K_2 는 식(1)의 계수와 같다.

3. 보청천내 수리학적 자료 및 실측자료

하천에서 세굴심도산정을 위하여는 적용하천의 수리학적 자료 및 교각에 대한 자료가 필요하다. 수리학적 자료로는 크게 물의 흐름자료와 하상재료에 관한 자료로 대별할수 있으며, 홍수시 수심과 유속, 이에따른 Froude수 등이 있다. 국제수문개발계획(IHP)의 대표유역인 금강수계 보청천은 1982년부터 1996년까지 각종 수문자료가 측정되어 있으며 여기서 얻은 수문자료와 1996년 홍수기를 이용하여 실측한 세굴심 자료는 Table 1과 같다.

Table 1. Summery of Field Data

Median particle size D_{50} (mm)	Pier width b(m)	Footing width B(m)	Slope S(%)	Roughness coefficient n	Flow depth y(m)	y/b	Flow velocity v(m/s)	Observed scour depth d_s (m)	d_s/b	Froude number F
0.85	1.0	2.0	0.025	0.027~ 0.048	0.48	0.48	0.80	0.17	0.17	0.37
					1.88	1.88	1.23	1.75	1.75	0.28
					1.96	1.96	1.63	1.78	1.78	0.37
					1.96	1.96	1.65	1.80	1.80	0.38
					2.52	2.52	1.82	1.37	1.37	0.24
					2.60	2.60	1.85	1.42	1.42	0.37
					3.40	3.40	2.21	1.59	1.59	0.38
					3.55	3.55	2.45	1.64	1.64	0.41

4. 결과의 비교분석

4.1 실측치와 이론치의 편기값 분석

각 방법에서 계산되는 세굴심은 예측값과 실측치 사이의 편기값(bias)을 표현하여 인자를 계산함으로써 관측세굴심을 비교하였다. 편기값 β 는 다음식과 같다.

$$\beta = d_{sc}/d_{so} \quad (11)$$

여기서 β 는 편기값이며, 첨자 c와 o는 각각 계산값과 관측값을 나타낸다.

식(11)에 의해 나타난 편기값의 결과는 Fig. 1과 같다. 편기값은 0.8~7까지의 범위를 가졌으며 그림에서 보는 바와 같이 Jain and Fishcher공식의 편기값이 가장 크게 나타났으며 Hancu 공식은 0보다 작은 편기값으로 산정되었다. 편기값이 가장 작은 방정식으로는 C.S.U공식으로 나타났다.

대부분의 방정식이 실측치보다 높게 나타나고 있으며 세굴심이 증가할수록 편기율은 점차 줄어들고 있음을 알 수 있다.

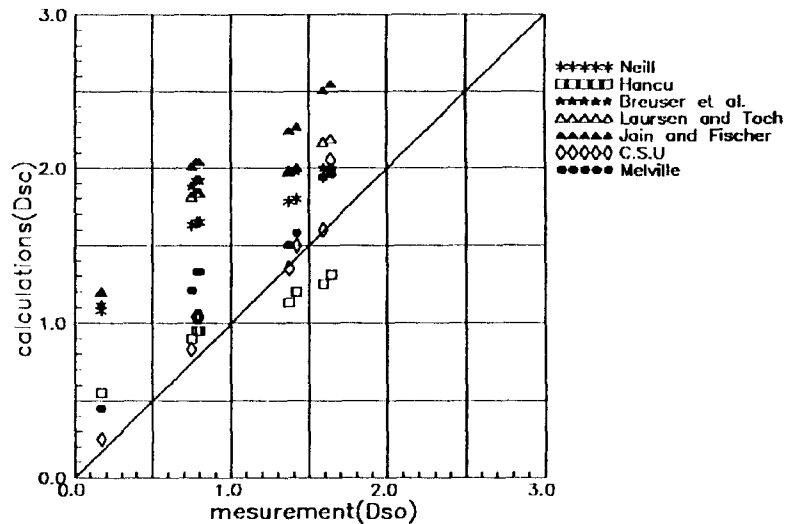


Fig. 1 Bias between the Computed and Observed Scour Depth

4.2 실측치와 이론치의 비교

세굴심 식(1)에서 식(10)의 7가지 공식에 의하여 계산되었으며 가정과 단순화를 시켜 산정하였으며 산정결과는 Fig.2와 같다. 7가지 공식에 의하여 수심의 증가에 따라 최대 평형세굴심을 산정한 결과 대부분의 방정식이 실측치보다 큰 세굴심을 나타내었으며 증가 경향은 둔화하고 있음을 알 수 있다. 또한 Laursen공식은 산정 결과 직선으로 나타났으며, Hancu공식은 수심이 증가함에 따라 실측치보다 작은 값으로 산정 되었으며, Melville공식 및 C.S.U 공식이 실측치에 근사하고 있음을 알 수 있다.

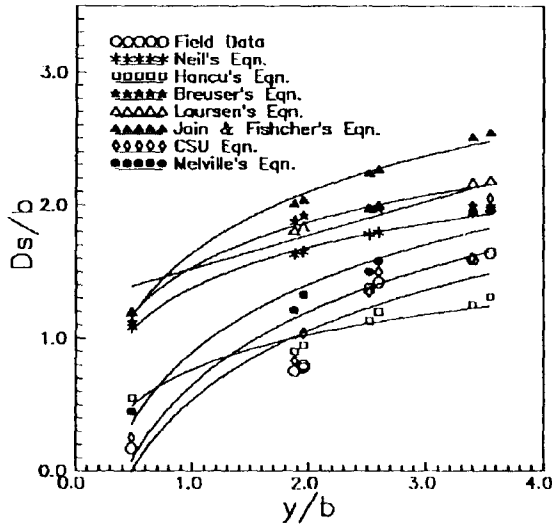


Fig.2 Comparison of Observed Data and Scour Equations

5. 결 론

본 연구는 IHP 대표유역인 금강수계 보청천지역내 산계지점의 수리학적 및 기하학적 자료와 실측 세굴심을 이용하여, 현재 일반적으로 많이 사용되고 있는 기존의 교각 세굴방정식과 비교를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 각 방정식에 의해 산정된 결과와 실측치와의 비교 결과 편기값은 0.8~7까지의 범위를 나타내었으며; C.S.U공식 및 Melville공식이 실측치와 근사한 결과를 나타내었다.

둘째, 각 방정식의 산정결과에서 대부분이 슬롯치에 비하여 최대세굴심이 크게 나타났다. 따라서 이들 방정식을 우리 실정에 맞게 이용하려면, 이들 방정식의 각 매개변수들의 보정이 필요하다고 사료된다.

셋째, 각 방정식의 산정결과 세굴심도는 수심의 증가에 따라 증가하고 있으나 그 증가율은 둔화하는 것으로 나타났다.

이상의 결과는 많은 가정을 포함하였고 실측자료의 부족으로 실무에 바로 적용하는 데는 다소 무리가 따를 것으로 예견되며 향후, 보다 폭넓은 세굴심도의 실측자료의 분석으로 보완되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Richardson, et al.(1993), "*Evaluating scour at bridges*", Hydraulic Engineering Circular No. 18 2nd Ed., FHWA, U. S. Dept. of Transportation.
2. Melville, B. W. and Sutherland, A. J.(1988), "*Design method for local scour at bridge Piers*", J. of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 10.
3. Hancu, S. (1971). "Sur le calcul des affouillements locaux dans la zone des piles de ponts." Proc., 14th IAHR Congr., Vol. 3, 299-313.
4. Neill, C. R. (1964). "River bed scour, a review for bridge engineers." Contract No. 281, Res. Council of Alberta, Calgary, Alberta, Canada.
5. Breusers, H. N. C., G. Nicollet, H. W. Shen(1977), "*Local scour around cylindrical piers*", J. of Hydraulic Research, Vol. 114, No.10, pp.221~252.
6. Jain, S. C., and Fischer, E. E. (1979). "Scour around circular bridge piers at high Froude numbers."Rep. No. FHWA-RD-79-104, Federal Hwy. Administration(FHWA), Washington, D.C.
7. Laursen, E.M. and A. Toch A. (1953), "A Generalized Model Study of Scour around Bridge Piers and Abutments, Proc. IAHR
8. Jones, J. S. (1983). "Comparison of prediction equations for bridge pier and abutment scour." Transp. Res. Rec. 950; Second Bridge Engrg. Conf., Vol. 2, Transp. Res. Board, Washington, D.C.
9. 안상진, 최계운, 김종섭, 안창진(1993), "보청천내 교각설치에 따른 국부세굴심도의 산정", 대한토목학회지 논문집, 제13권 제3호, pp.93~105.