교량 기초 세굴방지공 설치기준 개선

제공처 : 한국도로공사 설계처

출처 : 2009년도 고속도로 설계 실무자료집(2010, 한국도로공사)

1. 일반현황

(1) 고속도로 하천횡단 교량의 하천설계기준과 상이한 세굴심도 및 사석규격 등에 관한 기존의 방침 재정립 필요

(2) 하천내 위치별 세굴방지공 설치 등에 관한 세부기준을 수립함으로써 합리적인 설계 · 시공 도모코자 함

2. 현황 및 문제점

2.1 추진 경위

(1) 1998. 11 : 교량세굴방지를 위한 사석보호공 기준 검토(설심일 15212-1682, 1998.11.30)

(2) 2000. 5 : 하천설계기준 개정

(2.1) 세굴평가와 세굴보호공 신설

(3) 2002. 12 : 교량세굴에 대한 세굴평가법 개발 및 세굴보호공 표준화 검토(도로교통연구원)

(4) 2005. 5 : 하천설계기준 개정

(4.1) 세굴량 및 사석보호공 크기 산정 기준 변경

2.2 문제점

(1) 세굴심도 및 사석규격 등에 관한 기존의 방침(설심일 15212-1682, 1998.11.30)내용이 하천설계기준과 상이

(2) 기초가 위치하는 지반특성을 고려하지 않고 세굴심도와 기초저면 높이에 의해서만 세굴방지공 설치 검토

(2.1) 세굴심도 산정공식은 토사지반을 기준으로 함(고속도로의 공용중인 교량의 세굴안정대책 수립(II), 2001.12 도로교통연구원)

(3) 하천내 고수부지 세굴심도 산출 및 설치기준 부재

3. 개선내용

3.1 현행기준과 하천설계기준 비교 및 적용방안

(1) 수리모형 실험 및 홍수량 산정

현행기준 (설심일15212-1682)	하천설계기준(2005)	적용방안
o수리모형실험 실시여부 전문기술자 판단 o홍수량 산정빈도 기준 미제시	□조석의 영향이 없는 경우 o교각폭이 3m이상, 홍수시의 수심 9m이상, 홍수시의 유속 3m/s이상인 경우 등은 세굴실험을 통한 세굴량 산정 o홍수량 산정 : 100년 빈도 홍수량 산정후 그 값에 따라 구분 -Q≤200㎥/s :50년 빈도 홍수량 -200㎥/s≤Q≤2,000㎥/s:100년 빈도 홍수량 -Q〉 2,000㎥/s :500년 빈도 홍수량 -500년 빈도 홍수량 산정 곤란시 : 100년 빈도 홍수량 × 1.7 □조석의 영향이 있는 경우 o Q〉 2,000㎥/s :실험을 통하여 세굴량 산정	하천설계기준 적용

(2) 세굴심도 산정 기준

구 분	현행기준 (설심일15212-1682)	하천설계기준(2005)	적용방안
장기하상 변동	구체적 공식 미제시	연속방정식, Yang공식, Ackers&White공식, Engelund&Hansen공식 중 1개 사용	하천설계기준 적용 (국부세굴은 2개 이상을 택하여 산술 평균)
수축세굴	Laursen 공식	Laursen 공식 (단면수축 미비시 생략 가능)	
국부세굴	C.S.U공식, Neil공식, Laursen 공식, Melvill공식, Forehlich 공식, Jain&Fisher공식 중 산술평균	C.S.U공식, Neil공식, Laursen 공식, Forehlich 공식 중 최소 2개 이상을 택하여 세굴량 산정	

※ 세굴심도 = 장기하상변동 + 수축세굴심 + 국부세굴심

(3) 사석의 크기 산정

구분	현행기준 (설심일15212-1682)	하천설계기준(2005)	적용방안
사석의 크기	o Isbash공식, Cartens공식, Neil공식, Breuser공식, Richardson 공식, Parola공식, Quazi&Peterson 공식, Tomas&Joglekar 공식 중 산술평균	o Isbash 공식, Richardson 공식 중 큰 것 사용 o 국토해양부의 승인을 받은 국내 공식 또는 직접 현장 실험을 수행한 결과 사용	하천설계기준 적용

3.2 세굴방지공 설치 방법

3.2.1 세굴방지공 설치 검토시 기초가 위치하는 지반특성 반영

3.2.1.1 기초가 토사지반에 위치한 경우(파일기초)

(1) 예상세굴심이 기초 하단 EL보다 낮은 경우에는 기초EL을 예상세굴심보다 낮게 설치하는 경우와 세굴방지공 설치시의 경제성을 비교 검토하여 적용

(1.1) 세굴방지공 설치시는 〈그림1〉 참조

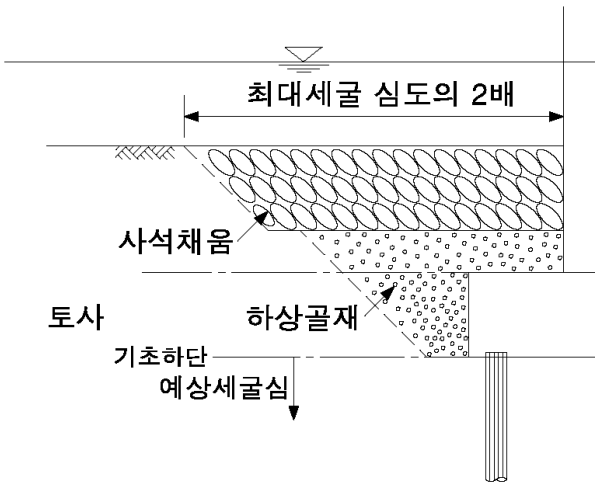
(2) 예상세굴심이 기초 상단EL~하단EL에 위치하는 경우 세굴방지공 불필요하나, 기초 되메우기부 원지반이 흐트러진 상태가 되므로 유수에 저항할 수 있도록 사석채움 실시 〈그림 2〉

(2.1) 세굴심도가 기초저면보다 위에 있는 경우에도 토사 · 풍화암의 경우 하상전체 침식에 의한 세굴이 발생될 수 있음

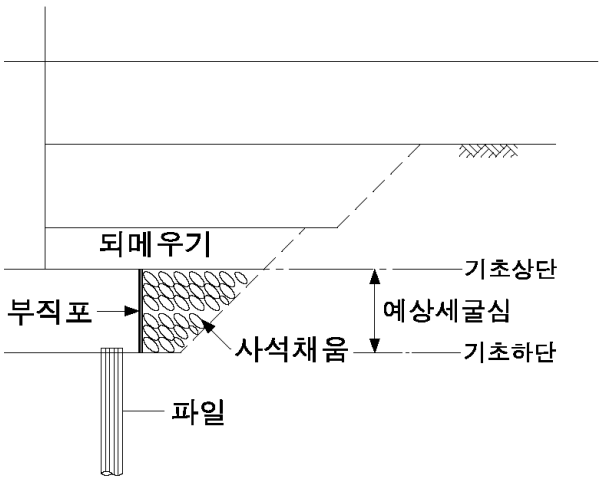
(교량 세굴의 예측과 대책 P25, 대한토목학회 2004.10)

(2.2) 기초부 아래도 물의 침입 최소화를 위해 밀폐시켜야 하며 굴착된 부분은 사석으로 채워 흐름에 저항할 수 있어야 한다

(교량 세굴의 예측과 대책 P181, 대한토목학회, 2004. 10)



〈그림1〉 세굴방지공 설치



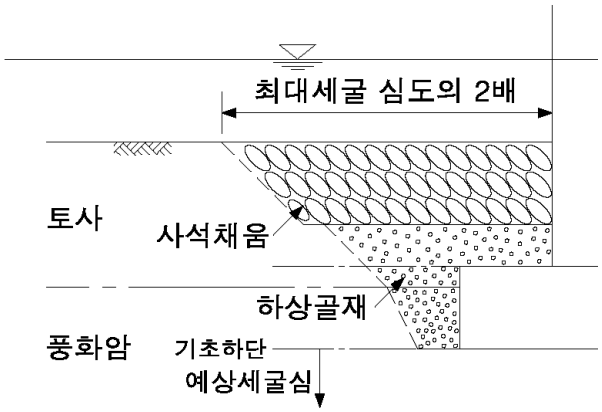
〈그림2〉 세굴방지공 미설치시

3.2.1.2 기초가 풍화암 지반에 위치하는 경우

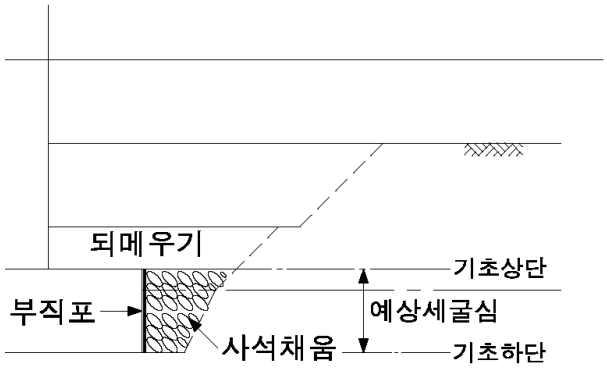
(1) 예상세굴심이 기초 하단EL보다 낮을 경우에는 기초EL을 예상세굴심보다 낮게 설치하는 경우와 세굴방지공 설치시의 경제성을 비교 검토하여 적용

(1.1) 세굴방지공 설치시는 〈그림3〉 참조

(2) 예상세굴심이 기초 상단EL ~ 하단EL에 위치하는 경우 세굴방지공 불필요하나, 기초 되메우기부 원지반이 흐트러진 상태가 되므로 유수에 저항할 수 있도록 사석채움 실시 〈그림 2〉



〈그림3〉 세굴방지공 설치시



〈그림4〉 세굴방지공 미설치시

3.2.1.3 기초가 연 · 경암 지반에 위치하는 경우

(1) 예상세굴심이 기초 하단 EL보다 낮을 경우 〈그림5〉

(1.1) 장기적으로 기초저면부에 국부세굴 발생 가능성이 있으므로 기초를 암반에

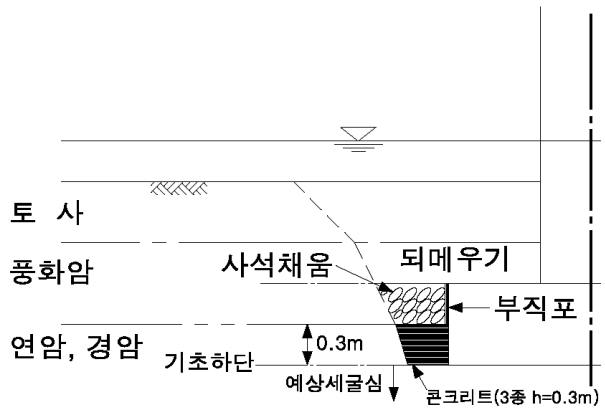
0.3m 근입시키고, 암반 되메우기부는 콘크리트 타설후(3종, h=0.3m) 상부에 사석채움 실시

(1.2) 기초 하단부를 세굴에 저항이 큰 암반 바로 위에 위치시키면 세굴에 안전한 기초임 : (교량 세굴의 예측과 대책 P181, 대한토목학회 2004.10)

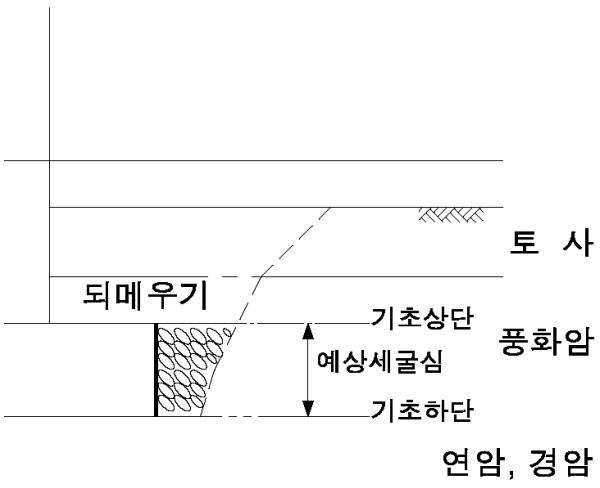
(2) 예상세굴심이 기초 상단EL ~ 하단EL에 위치하는 경우 〈그림6〉

(2.1) 기초 하면의 세굴은 발생치 않으므로 세굴보호공은 불필요하나

(2.2) 기초 되메우기부는 원지반이 흐트러진 상태가 되므로 유수에 저항 할 수 있도록 사석채움 실시



〈그림5〉 콘크리트 타설후 사석채움 설치시



〈그림6〉 사석채움 설치시

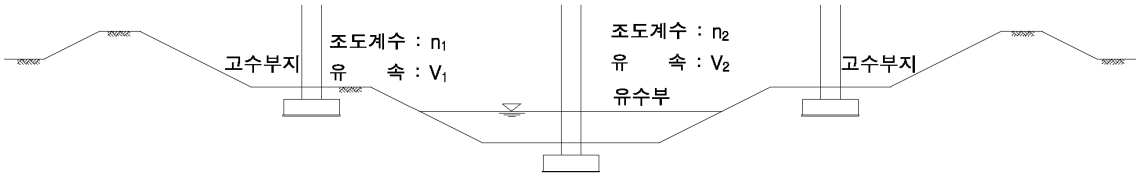
3.2.2 고수부지의 세굴 검토 기준

(1) 세굴의 대부분은 홍수시에 발생되므로 고수부지도 유수부와 동일하게 다음 절차에 따라 세굴심도 검토 〈그림7〉

(1.1) 식생분포 상황등을 판단하여 조도계수(n) 결정

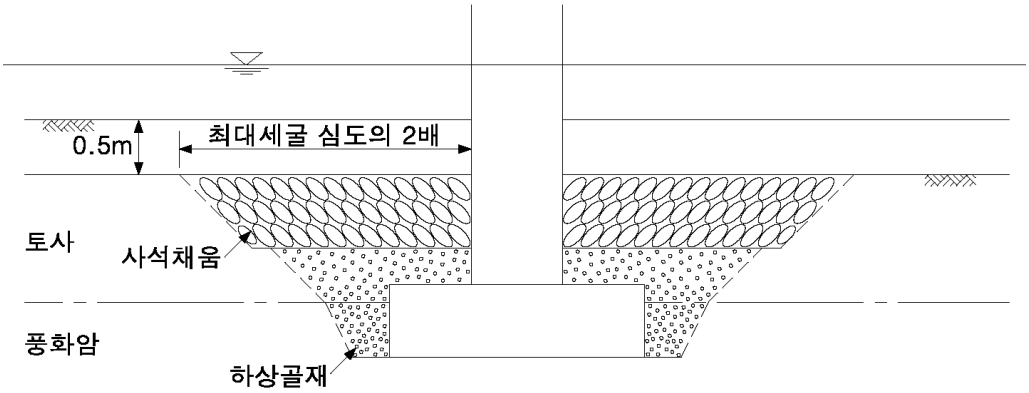
(1.2) 배수위산정 프로그램(HEC-RAS) 이용하여 유속(V) 산정

(1.3) 세굴검토 공식(수축세굴, 국부세굴 등)으로 세굴량 산정



〈그림7〉

(2) 세굴방지공 사석채움은 하상변동에 의한 지반노출을 고려하여 원지반에서 0.5m(수종식물 생육심도) 아래에 설치 〈그림8〉



〈그림8〉

4. 결론

(1) 수리모형 및 홍수량 산정, 세굴량 · 사석보호공 크기 산정 기준은 하천 설계기준 적용하며 사석의 품질 기준(비중, 사용암석 등)은 기존 방침(설심일 15212-1682, 1998.11.30) 적용

(2) 세굴 방지공 설치 검토시 기초가 위치하는 지반 특성 반영

(2.1) 기초가 토사 및 풍화암 지반에 위치한 경우

(2.1.1) 예상세굴심이 기초 하단 EL보다 낮을 경우에는 기초EL 하향 조정과 세굴방지공 설치시의 경제성을 비교하여 적용하고,

(2.1.2) 예상세굴심이 기초 하단EL~상단EL에 위치할 경우에는 세굴방지공 불필요하나 기초 되메우기부 사석채움 실시

(2.2) 기초가 연 · 경암 지반에 위치하는 경우

(2.2.1) 예상세굴심이 기초 하단 EL보다 낮을 경우 : 장기적으로 기초저면부에 국부세굴 발생 가능성이 있으므로 기초를 암반에 0.3m 근입시키고, 암반 되메우기부는 콘크리트 타설후(3종, h=0.3m) 사석채움 실시

(2.2.2) 예상세굴심이 기초 하단EL~상단EL에 위치할 경우

(2.2.2.1) 기초 하면의 세굴은 발생치 않으므로 세굴방지공은 불필요하나

(2.2.2.2) 기초 되메우기부는 원지반이 흐트러진 상태가 되므로 유수에 저항할 수 있도록 사석채움 실시

(3) 하천내 고수부지는 조도계수 등을 고려하여 홍수시 유속을 산출하여 세굴심 결정 후 세굴방지공 검토

(4) 적용 방안

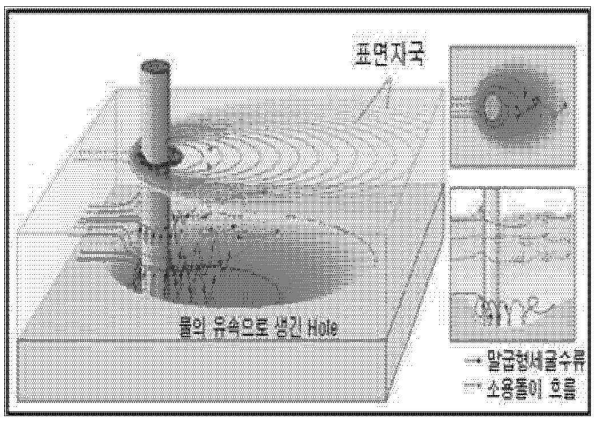
(4.1) 실시설계중인 노선 : 본 방침 적용

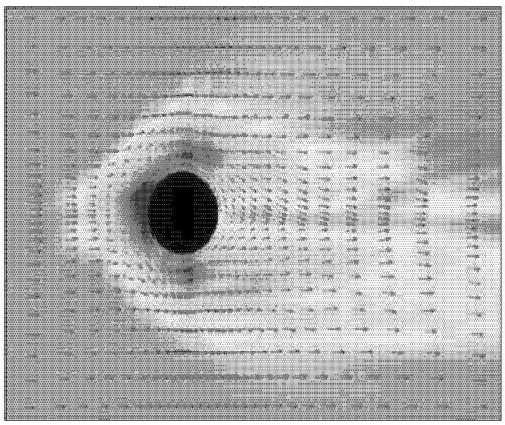
(4.2) 실시설계 완료 또는 공사중인 노선 : 공사시행부서 판단

5. 기타

5.1 세굴의 종류 및 원인

구 분		원 인	내 용
장기적 변화에 의한 원인		• 하천내 유사이동에 따른 하상의 상승 및 하강작용	유역내 또는 제방으로부터 발생하는 토사의 퇴적 및 침식을 되풀이 하면서 하상의 상승 및 하강
단기적 변화에 의한 원인	수축 세굴	• 통수단면의 축소	통수단면의 자연 또는 인공적인 요인으로부터 축소되어 발생하는 하상변화
	국부 세굴	• 와류발생에 따른 하상변화	구조물 설치에 따른 물흐름 간섭으로 인한 와류에 의해 발생되는 하상의 국부적 변화





5.2 세굴검토 관련 공식

5.2.1 세굴심도 검토 공식

(1) Laursen

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

여기서 ds : 세굴심

y : 수심

b : 교각폭

(2) C.S.U

(2.1) $\frac{d_s}{y_1}=2.0K_1K_2K_3K_4\left(\frac{a}{y_1}\right)^{0.65}F_r^{0.43}$

여기서 ds = 세굴심 [ft]

y_1 = 교각 직상류부에서의 수심 [ft]

K1 = 교각전면부 형상에 대한 보정계수 [-]

K2 = 흐름의 유입각에 대한 보정계수 [-]

K3 = 하상조건에 대한 보정계수 [-]

K4 = 하상재료에 대한 보정계수 [-]

a = 교각의 폭 [ft]

Fr = Froude수 ; V / (gy)1/2 [-]

V = 교각 직상류부에서의 평균유속

※ 상기 공식은 Fr이 0.8이하일 경우에 적용하며 Fr1이 0.8보다 큰 경우에는 HEC-18지침서에서 교각국부세굴 최대심도는 교각폭의 3배로 산정토록 하고 있다.

(2.2) 교각 돌출부 상에 따른 수정계수 K1

교 각 돌 출 부 형 상	K1
(a) 정방향 모양	1.1
(b) 둥그런 모양	1.0
(c) 원 형 모양	1.0
(d) 뾰족한 모양	0.9
(e) 다수의 모양	1.0

(2.3) 흐름의 접근각도에 따른 수정계수 K2

각 도	L/a=4	L/a=8	L/a=12
0	1.0	1.0	1.0
15	1.5	2.0	2.5
30	2.0	2.75	3.5
45	2.3	3.3	4.3
90	2.5	3.9	5.0
각도 = 흐름의 굽은 각도			L = 교각의 길이

※ 주 : 교각돌출부의 형상에 따른 수정계수는 K1은 접근각도를 5° 올려서 결정한다.

최대한의 각도는 K2에 의하여 K1은 1.0으로 간주할 수 있다.

만약 L/a가 12보다 크면 L/a = 12의 최대값을 사용한다.

(2.4) 하상상태 따른 증가하는 평형 교각세굴심 K3

하 상 상 태	언덕높이 H(M)	K3
정지상 세굴	N /A	1.1
평면하상이 아주작은 언덕흐름	N /A	1.1
작은 언덕	10 〉 H 〉 2	1.1
중간형 언덕	30 〉 H 〉 10	1.1 ~ 1.2
큰 언덕	H 〉 30	1.3

(2.5) 하상재료에 따른 보정계수 K4

구 분	d50	d90 / d50 ≥	최대유속 V1	K4
모 래	< 20	-	-	1.0
자 갈	2 ~ 32	-	-	1.0
큰 자 갈	32 ~ 64	4 ~ 3	V1 ≤ 0.7Vc	0.95
조 약 돌	64 ~ 250	3 ~ 2	V1 ≤ 0.8Vc	0.90
	250 ~ 500	2 ~ 1	V1 ≤ 0.8Vc	0.85
	> 500	1	V1 ≤ 0.9Vc	0.80
여기서, Vc = 6.19 y $^{1/6}$ d50 $^{1/3}$				

(3) Neill

$$\frac{d_s}{b} = 1.5\left(\frac{y}{b}\right)^{0.3}$$

(4) Melville

$$11.5y = \frac{d_s}{\left(1+\frac{0.182}{d_s/b}\right)^{0.589} - 1} \quad (F_r < 0.5)$$

$$d_s = 3.4bF_r^{0.67} \quad (F_r > 0.5)$$

여기서, ds = 세굴심 [ft]

y = 교각 직상류부에서의 수심 [ft]

b = 교각의 폭 [ft]

Fr = Froude수 ; V / (gy)1/2 [-]

(5) Froehlich

$$\frac{d_s}{b} = 0.32\Phi\left(\frac{b'}{b}\right)^{0.62}\left(\frac{y}{b}\right)^{0.46}F_r^{0.2}\left(\frac{b}{D_{50}}\right)^{0.08} + 1$$

여기서, ds = 세굴심 [ft]

b = 교각의 폭 [ft]

b' = 투영교각의 폭 [ft]

Fr = Froude수 ; V / (gy)1/2 [-]

D50= 평균입경 [-]

Φ = 교각의 형상계수 [ft]

(6) Jain & Fisher

$$\frac{d_s}{b} = 2.0(F_r - F_c)^{0.25}\left(\frac{y}{b}\right)^{0.5} \quad (0.2 \le F_r - F_c)$$

$$\frac{d_s}{b} = 1.84\left(\frac{y}{b}\right)^{0.3} F_{rc}^{0.25} \; (F_r \leq F_c)$$

여기서, ds = 세굴심 [ft]

y = 수심 [ft]

b = 교각의 폭 [ft]

Fr = Froude수 ; V / (gy)1/2 [-]

Frc = 한계Froude수 [-]

5.2.2 사석직경 산정 공식

(1) Carstens

$$V_0 = \frac{0.86}{2}\sqrt{2gD_u\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}}$$

여기서, V_0 : 구조물이 없는 상태에서의 접근유속

g : 중력가속도

D_u : 사석의 구체환산직경

γ_s : 사석의 비중

γ : 물의 비중

(2) Neill

$$V_0 = \frac{0.86}{1.5}\sqrt{2gD_u\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}}$$

(3) Isbash

$$D = \frac{V^2}{2gY^2(r-1)(\cos\alpha - \sin\alpha)}$$

여기서, D : 사석의 대표입경 (m)

V : 사석의 주변에서의 유속 (m/sec)

g : 중력가속도

Y : Isbash의 정수 (파묻힌돌:1.20, 노출된돌:0.86)

r : 사석의 비중 (2.65t/m3)

α : 사면의 경사각

(4) Richardson(HEC-18 공식)

$$D_{50} = \frac{0.692\,(KV)^2}{2g\dfrac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma}}$$

여기서, V = 유속(m/sec) : 유심부일 경우는 1.7배하여 적용

K = PIER 형상계수 (원형 : 1.5, 직사각형 : 1.7)

(5) Quazi and Peterson

$$\frac{p\,V_0^2}{(\gamma_s-\gamma)} = 1.44\,D_p^{0.82} y_0^{0.18}$$

(6) Parola

$$\frac{p\,V_0^2}{(\gamma_s-\gamma)} = 0.8\,D_p, 20 < \frac{b}{D_u} < 33$$

$$\frac{p\,V_0^2}{(\gamma_s-\gamma)} = 1.0\,D_p, 7 < \frac{b}{D_u} < 14$$

$$\frac{p\,V_0^2}{(\gamma_s-\gamma)} = 1.2\,D_p, 4 < \frac{b}{D_u} < 7$$

(7) Chiew

$$D_u = \frac{U_0^3}{10.47\sqrt{y0}}$$

$$K_b = 0.783\left(\frac{y_0}{b}\right)^{0.322} - 0.106, 0 < \frac{y_0}{b} < 3$$

$$K_b = 1, \frac{y_0}{b} \geq 3$$

$$K_y = 0.398\ln\left(\frac{b}{D_u}\right), 1 < \frac{b}{D_u} < 50$$

$$K_y = 1, \frac{b}{D_u} \geq 50$$

이로부터 사석직경은 다음과 같이 결정된다.

$$D_u = \frac{1}{5.956\sqrt{y_0}}\left(\frac{U_0 K_y K_b}{0.3\sqrt{(S_s-1)g}}\right)^3$$

(8) Bonasundas

$$D_u = 0.01\times(6-3.3\,V_0+4\,V_0^2)$$

여기서, V_0 : 구조물이 없는 상태에서의 접근유속

g : 중력가속도

D_u : 사석의 구체환산직경

γ_s : 사석의 비중

γ : 물의 비중