

기 술 검 토 서

NO.

도 로

 —

18

제 목 : 교량 교각기초 세굴방지시설공 설계 적정성 검토

2006. 7

강 원 건 설 사 업 소
춘천 ~ 동홍천기술자문단

기술검토건명	교량 교각기초 세굴방지 시설공 설계 적정성 검토		
공 구	전 공 구	검 토 구 분	도 로
검 토 기 간	2006. 5. 9 ~ 2006. 7. 14	검 토 자	오 관 식
		담 당 자	황 영 규
근 거 공 문	춘천동홍천분소 2006-10	회 신 공 문	용마(홍천) 제 2006 - 038 호

1. 검 토 목 적

고속국도 제60호선 춘천~동홍천간 고속도로 건설공사와 관련하여 하천을 횡단하는 교량 교각 기초부 세굴방지용 사석채움의 포설심도, 범위, 규격에 대하여 하천지형조건 및 유수특성과 설계기준을 고려하여 설계 적정성을 검토하고자 함.

2. 검 토 내 용

가. 세굴방지용 사석채움 설계 현황

1) 현설계 적용현황

공구	교량명	교각 번호	최대세굴심(m)		사석직경 (m)	포설폭 (m)	포설깊이 (m)	비고
			계산값	적 용				
1	동산2교 (서울/양양)	p2	6.18	3.00/3.50	0.81	6.80/7.00	2.43	
	조양2교(R-B)	p2	4.21	3.50	0.38	7.00	1.14	
	조양2교(R-E)	p2	4.21	2.50	0.38	5.00	1.14	
	RAMP-A1교	p1	3.82	3.80	0.54	7.60	1.62	
		p6	3.83	3.80	0.44	7.60	1.32	
	RAMP-E교	p1	3.62	3.50	0.61	7.00	1.83	
4	홍천강교 (서울/양양)	p5	4.15	2.30	0.95	7.60	2.85	
		p6	6.66	2.30/0.20				
		p7	6.66	1.90/2.20				
		p8	4.15	4.15/3.80		8.30/7.60		
	Ramp-A3교 (본선/국도)	p2	5.76/5.97	2.00/1.50	0.60	5.60	1.80	
		p3	4.59/4.68	2.90/3.30		6.60		
		p4	4.87/5.13	4.80		9.60		
		p5	4.98/5.14	2.50		5.60		
	구성포교 (서울/양양)	p6	3.78/4.17	1.10/2.20	0.70	6.80~8.40	2.10	
	Ramp-F교	p1	3.10	3.10	0.30	6.20	0.60	

- 제2공구 및 3공구의 교량은 하천을 횡단하여 가설되지만, 하천폭이 넓지 않아 하상에 교각을 설치하지 않고 횡단하므로 교각설치에 따른 하천의 통수단면이 변하지 않으므로 별도의 수리검토는 없으며, 제3공구 성동천교는 교각주위의 국부적 세굴을 방지하기 위하여 세굴 보호공 설치함.

2) 현실계 적용기준

① 세굴심 검토 홍수량

- 교량 세굴 검토를 위한 홍수량은 『하천설계기준, 2000년』 적용함. 100년 빈도 홍수량이
 $\Rightarrow 200\text{m}^3/\text{sec}$ 이하 : 50년 빈도 이상의 홍수 사상을 선정
 $\Rightarrow 200\text{m}^3/\text{sec}$ 이상 $2000\text{m}^3/\text{sec}$ 이하 : 100년 이상 빈도의 홍수 사상을 선정
 $\Rightarrow 2000\text{m}^3/\text{sec}$ 이상 : 500년 빈도의 홍수량을 산정하여 세굴검토에 사용함.
- 또한, 만약 500년 빈도 홍수량을 결정하기 어려운 경우에는 100년 빈도 홍수량의 1.7배 유량을 500년 빈도 홍수량으로 사용하도록 규정

② 사석규격

- 현실계의 사석크기 산정 기준은 『하천설계기준, 2000년』에서 제시한 Isbash공식과 Richardson 공식 계산값 중 큰값을 적용

③ 세굴심도

- 현실계의 세굴심도 산정 기준은 『하천설계기준, 2000년』에서 제시한 C.S.U공식, Froehlich공식, Laursen공식, Neill공식에 의한 값을 평균하여 산정하였으며, 암선(연암 이상)의 깊이가 세굴심보다 위에 위치 할 경우 암선의 깊이를 적용

나. 검토방향

1) 현장조사

- 하천지형 및 하상내(홍수위시) 교각기초 설치여부를 조사하여 세굴피해가 우려되는 구간에 세굴방지 시설공 설치 검토

2) 하천설계기준(2005.1) 적용 검토

- 세굴심도 및 사석규격 관련 변경 내용

구 분	교량 세굴방지를 위한 사석보호공 기준 검토 (설심일 15212-168호, 1998.11.30)	하천설계기준 (2005.1, 건설교통부)
세굴심도	C.S.U 공식 등 6개 공식 평균값	C.S.U 공식 주로사용, Froehlich, Laursen, Neil 공식 중 2개 공식으로 검증
사석규격	Isbash 공식 등 11개 공식 평균값	Isbash, Richardson 공식 계산값 중 큰 값

다. 현장조사 결과

1) 제1공구

교 량	횡단하천	조사교각	조사결과	비 고
동산2교	굴지천	p2	- 하상내 위치, 세굴검토 필요	
조양2교(R-B)	굴지천	p2	- 하상내 위치, 세굴검토 필요	
조양2교(R-E)	굴지천	p2	- 하상내 위치, 세굴검토 필요	
Ramp-A1교	모래재천	p1, p6	- 하상내 위치, 세굴검토 필요	
Ramp-E교	모래재천	p1	- 하상내 위치, 세굴검토 필요	

2) 제2공구

- 동산4교는 하천을 횡단하여 가설되지만, 하천폭이 넓지 않아 하상에 교각을 설치하지 않고 횡단하므로 교각설치에 따른 하천의 수리적인 영향은 없음.

3) 제3공구

- 성동천교는 하천을 횡단하여 가설되지만, 하천폭이 넓지 않아 하상에 교각을 설치하지 않고 횡단하므로 교각설치에 따른 하천의 수리적인 영향은 없으나, 교각 p5(양양방향), p6(서울방향)의 일부 기초터파기를 실시한 부분이 하천에 접하여 홍수시 세굴에 영향이 있을것으로 판단됨.

4) 제4공구

교 량	횡단하천	조사교각	조사결과	비 고
홍천강교	홍천강	p5	- 교각이 하상외 위치, 기초 터파기 일부구간 하천과 접하여 세굴우려	양양방향
			- 하상내 위치, 세굴검토 필요	서울방향
		p6	- 하상내 위치, 세굴검토 필요	
		p7	- 하상내 위치, 세굴검토 필요	
		p8	- 하상내 위치, 세굴검토 필요	양양방향
			- 교각이 제방법면에 위치, 기초 터파기 일부 구간 하천과 접하여 세굴우려	서울방향
Ramp-A3교	홍천강	p2	- 하상내 위치, 세굴검토 필요	
		p3	- 하상내 위치, 세굴검토 필요	
		p4	- 하상내 위치, 세굴검토 필요	
		p5	- 하상내 위치, 세굴검토 필요	
구성포교	풍 천	p6	- 교각이 제방법면에 위치, 기초 터파기 일부 구간 하천과 접하여 세굴우려	
Ramp-F교	백이동천	p1	- 하상내 위치, 세굴검토 필요	

라. 세굴심도 및 세굴보호공 설치여부 검토

1) 국부세굴심 예측공식

① C.S.U.(Colorado State University)공식

- C.S.U.공식은 세굴심이 평형상태에 도달하였을 때의 세굴심

$$\frac{d_s}{a} = 2.0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \left(\frac{y}{a} \right)^{0.35} \cdot F_r^{0.43}$$

여기서,

d_s : 세굴심, a : 교각폭

K_1 : 교각형상에 따른 보정계수

K_2 : 접근각에 따른 보정계수 또는, $K_2 = (\cos\theta + L/a \sin\theta)0.65$

K_3 : 하상조건에 따른 보정계수, K_4 : 하상재료의 크기에 따른 보정계수

y : 수심, Fr : Froude수

■ 교각형상에 따른 보정계수 K_1

교각 형상	직사각형	등 근 형	원 형	예 연 형	원형 교각군
K_1	1.1	1.0	1.0	0.9	1.0

■ 접근각에 따른 보정계수 K_2

접 근 각	$L/a = 4$	$L/a = 8$	$L/a = 12$
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
L : 교각단면의 길이(m), a : 교각단면 폭(m)			

■ 하상조건에 따른 보정계수 K_3

하 상 상 태	언 덕 높 이 H(m)	K_3
정 적 세 굴	없음	1.1
평탄하상 및 역사구호름	없음	1.1
작 은 사 구	$10 > H > 21$	1.1
중 간 사 구	$30 > H > 10$	1.1 ~ 1.2
큰 사 구	$H > 30$	1.3

■ 하상재료에 따른 보정계수 K_4

구 분	d_{50}	$d_{90} / d_{50} \geq$	최대유속 V_1	K_4
모 래	< 20	-	-	1.0
자 갈	2 ~ 32	-	-	1.0
큰 자 갈	32 ~ 64	4 ~ 3	$V_1 \leq 0.7V_c$	0.95
조 약 돌	64 ~ 250	3 ~ 2	$V_1 \leq 0.8V_c$	0.90
	250 ~ 500	2 ~ 1	$V_1 \leq 0.8V_c$	0.85
	> 500	1	$V_1 \leq 0.9V_c$	0.80
여기서, $V_c = 6.19 y^{1/6} d_{50}^{1/3}$				

② Froehlich 공식

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

여기서, y_s : 세굴심, b : 교각 폭

Φ : 교각 형상계수 (사각형:1.3, 원형:1.0, 예각:0.7)

b' : 입사각에 대한 직각방향의 투영교각 폭 ($b' = b \cdot \cos \alpha + L \cdot \sin \alpha$)

L : 교각 길이, α : 흐름 입사각

y : 직상류부 수심, Fr : Froude 수

D_{50} : 하상입자의 평균 입경

③ Laursen 공식

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

여기서, b : 교각 폭, y : 직상류부 수심

y_s : 세굴심

④ Neill(1964) 공식

$$\frac{d_s}{a} = K_s \left(\frac{y}{a} \right)^{0.3}$$

여기서, d_s : 세굴심, K_s : 1.5(직사각형), 1.35(원형)

a : 교각폭, y : 수심

2) 교각별 세굴보호공 설치 검토

① C.S.U공식에 의한 세굴심 산정

공구	교량명	교각 번호	교각폭 (m)	F_r	k_1	k_2	k_3	k_4	수심 (m)	유속 (m/sec)	세굴심 (m)	비고
1	동산2교	p2	3.4	1.78	1.10	1.36	1.10	1.00	0.42	3.61	6.90	서울
			3.4	1.06	1.10	1.36	1.10	1.00	1.19	3.61	7.94	양양
	조양2교(R-B)	p2	2.5	0.56	1.00	1.00	1.10	1.00	2.62	2.8	4.33	
	조양2교(R-E)	p2	2.5	0.48	1.00	1.00	1.10	1.00	3.51	2.8	4.51	
	RAMP-A1교	p1	2.8	0.85	1.00	1.00	1.10	1.00	1.59	3.35	4.71	
		p6	2.8	0.80	1.00	1.00	1.10	1.00	1.82	3.35	4.79	
4	RAMP-E교	p1	2.8	0.96	1.00	1.00	1.10	1.00	1.25	3.35	4.56	
		p5	3.8	0.48	1.00	1.00	1.10	1.00	6.58	3.86	7.39	서울
		p6	3.8	0.48	1.00	1.00	1.10	1.00	6.63	3.86	7.40	
		p7	3.8	0.55	1.00	1.00	1.10	1.00	4.97	3.86	7.12	
	홍천강교	p8	3.8	0.76	1.00	1.00	1.10	1.00	2.61	3.86	6.52	양양
		p2	2.8	0.49	1.00	1.00	1.10	1.00	3.69	2.97	5.01	
		p3	2.8	0.38	1.00	1.00	1.10	1.00	6.23	2.97	5.38	
		p4	2.8	0.37	1.00	1.00	1.10	1.00	6.51	2.97	5.41	
	Ramp-A3교	p5	2.8	0.39	1.00	1.00	1.10	1.00	6.04	2.97	5.35	
		p6	3.4	1.07	1.00	1.00	1.10	1.00	1.13	3.55	5.23	
	구성포교	p6	3.4	1.07	1.00	1.00	1.10	1.00	1.13	3.55	5.23	
	Ramp-F교	p1	2.2	0.39	1.00	1.00	1.10	1.00	2.18	1.82	3.23	

② 교각별 세굴보호공 설치여부 검토

교량세굴방지를 위한 사석보호공 기준 검토 【설심일 15212-1682, '98.11.30】

• 세굴심도 > 안전심도 (교각기초저면 깊이)
세굴방지 대책 수립

• 세굴심도 < 안전심도 (교각기초저면 깊이)
세굴방지 대책 불필요

공구	교량명	교각 번호	C.S.U 공식	Froehlich 공식	Laursen 공식	Neill 공식	세굴보호공 적용여부 검토				비고
							최대 세굴심	< >	교각기초 저면깊이	검토 결과	
1	동산2교	p2	6.90	4.11	6.51	4.88	6.90	>	3.26	필요	서울
			7.94	4.11	6.51	4.88	7.94	>	5.42	필요	양양
	조양2교(R-B)	p2	4.33	5.31	2.91	4.42	4.33	>	3.82	필요	
	조양2교(R-E)	p2	4.51	5.31	2.91	4.42	4.51	>	2.53	필요	
	RAMP-A1교	p1	4.71	2.31	3.98	3.56	4.71	>	3.91	필요	
		p6	4.79	2.59	4.03	3.81	4.79	>	3.94	필요	
4	RAMP-E교	p1	4.56	2.13	3.89	3.40	4.56	>	3.32	필요	
		p5	7.39	4.99	2.79	4.06	7.39	>	4.79	필요	서울
		p6	7.40	6.19	5.98	6.37	7.40	>	4.24	필요	
		p7	7.12	6.19	5.98	6.37	7.12	>	3.19	필요	
	홍천강교	p8	6.52	4.99	2.79	4.06	6.52	>	4.26	필요	양양
		p2	5.01	4.59	4.87	4.98	5.01	>	3.59	필요	
		p3	5.38	4.59	4.87	4.98	5.38	>	3.57	필요	
		p4	5.41	4.68	5.13	5.14	5.41	>	5.41	필요	
	Ramp-A3교	p5	5.35	4.59	4.87	4.98	5.35	>	3.09	필요	
		p6	5.23	4.86	2.51	4.05	5.23	>	4.60	필요	
	구성포교	p6	5.23	4.86	2.51	4.05	5.23	>	4.60	필요	
	Ramp-F교	p1	3.23	3.22	2.48	3.03	3.23	<	6.03	불필요	

마. 사석규모 검토

1) 적용기준

① 사석직경

- Isbash 공식과 Richardson 공식 계산값 중 큰 값 적용.

② 사석포설 폭 및 두께

- 세굴 방지를 위한 사석보호공의 포설 범위는 HEC-18 기준에 의하면 폭은 교각 폭의 2배 이상, 두께는 사석 직경의 3배 이상을 제안하고 있으며, 국내의 연구문헌 「하천횡단 구조물의 세굴 안전진단 시스템의 개발 (건설교통부 : 1997.12.)」에서는 포설폭을 세굴 심도의 2배 이상으로 적용토록 권장함에 따라 **포설두께는 사석 직경의 3배 이상, 포설 폭은 세굴심도의 2배 및 교각폭의 2배중 큰값을 적용함.**

2) 사석직경 산정 적용 공식

Isbash 공식	Richardson 공식
$D = \frac{V^2}{2gC^2(r_r - 1)(\cos a - \sin a)}$	$D_{50} = \frac{0.692(KV)^2}{2g(\frac{\gamma_r - \gamma}{\gamma})}$
여기서, D : 사석의 대표입경(m), r_r : 사석의 비중(2.65 t/m³) V : 사석의 주변에서의 유속(m/s), g : 중력가속도 a : 하상의 경사각, γ : 물의 비중 C : Isbash의 정수 (파묻힌 돌 : 1.20, 노출된 돌 : 0.86) K : 교각형상계수(사각형 : 1.7, 원형 : 1.5)	

3) 사석직경 및 포설두께 산정

공구	교량명	교각번호	사석직경 계산		사석직경 적용 (m)		포설두께 (m)		비고
			Isbash 공식	Richardson 공식	현설계	검토안	현설계	검토안	
1	동산2교(서울, 양양)	p2	0.28	0.81	0.81	0.81	2.43	2.43	
	조양2교(R-B), (R-E)	p2	0.17	0.38	0.38	0.38	1.14	1.14	
	RAMP-A1교	p1	0.24	0.54	0.54	0.54	1.62	1.62	
		p6	0.20	0.44	0.44	0.44	1.32	1.32	
	RAMP-E교	p1	0.28	0.61	0.61	0.61	1.83	1.83	
4	홍천강교	p5,p6,p7,p8	0.61	0.95	0.95	0.95	2.85	2.85	
	Ramp-A3교	p2,p3,p4,p5	0.37	0.57	0.60	0.60	1.80	1.80	
	구성포교	p6(양양)	0.45	0.89	0.70	0.70	2.10	2.10	
		p6(서울)	0.42	0.85					
	Ramp-F교	p1	0.12	0.19	0.30	-	0.60	-	

4) 사석포설 폭 산정

- 사석포설폭은 세굴심도의 2배 및 교각폭의 2배중 큰값을 적용
- 라. 2)항의 교각별 최대 세굴심 산정결과, 교각 대부분의 경우 세굴심이 암반선보다 깊게 산정됨.
- 세굴심은 하상입자의 크기에 따라 영향을 받으며, 세굴심을 계산함에 있어서는 하상의 지표면으로부터 암반층까지의 토질이 균일하게 분포되어 있는 것으로 가정하여 하상입자를 적용하므로 계산된 세굴심은 암반층이 지표면으로부터 얇은 경우에는 현실적으로 암반층 이상의 표토층만 세굴이 발생하게 됨.
- 따라서, 사석포설폭에 적용되는 세굴심은 계산된 세굴심과 현지반에서 암반층까지의 깊이를 비교 검토하여 적용 세굴심으로 결정함.

공구	교량명	교각 번호	교각폭 (m)	암층위치 (m)	최대세굴심 (m)		포설폭 (m)		비고	
					현 설 계		검토안	현설계		검토안
					계산값	적 용				
1	동산2교	p2	3.4	3.00	6.18	3.00	3.00	6.80	6.80	서울
			3.4	3.50	6.18	3.50	3.50	7.00	7.00	양양
	조양2교(R-B)	p2	2.5	3.50	4.21	3.50	3.50	7.00	7.00	
	조양2교(R-E)	p2	2.5	2.50	4.21	2.50	2.50	5.00	5.00	
	RAMP-A1교	p1	2.8	3.80	3.82	3.80	3.80	7.60	7.60	
		p6	2.8	3.80	3.83	3.80	3.80	7.60	7.60	
	RAMP-E교	p1	2.8	3.50	3.62	3.50	3.50	7.00	7.00	
4	홍천강교	p5	3.8	2.30	4.15	2.30	2.30	7.60	7.60	서울
				2.26	4.15	2.30	2.30	7.60	7.60	양양
		p6	3.8	2.30	6.66	2.30	2.30	7.60	7.60	서울
				0.12	6.66	0.20	0.20	7.60	7.60	양양
		p7	3.8	1.84	6.66	1.90	1.90	7.60	7.60	서울
				2.16	6.66	2.20	2.20	7.60	7.60	양양
		p8	3.8	8.57	4.15	4.15	6.52	8.30	8.30	서울
				3.78	4.15	3.80	3.80	7.60	7.60	양양
	Ramp-A3교	p2	2.8	1.96	5.76	2.00	2.00	5.60	5.60	본선
				1.50	5.97	1.50	1.50	5.60	5.60	국도
		p3	2.8	2.87	4.59	2.90	2.90	6.60	5.80	본선
				3.27	4.68	3.30	3.30	6.60	6.60	국도
		p4	2.8	4.81	4.87	4.80	4.80	9.60	9.60	본선
				4.81	5.13	4.80	4.80	9.60	9.60	국도
		p5	2.8	2.47	4.98	2.50	2.50	5.60	5.60	본선
				2.50	5.14	2.50	2.50	5.60	5.60	국도
	구성포교	p6	3.4~4.2	1.10	3.78	1.10	1.10	6.8~8.4	6.8~8.4	서울
				2.16	4.17	2.20	2.20	6.8~8.4	6.8~8.4	양양
	Ramp-F교	p1	2.2	3.10	3.10	3.10	3.10	6.20	-	

3. 검토 결론

1) 교량의 세굴심 검토

- 춘천~동홍천간 고속도로 하천을 횡단하는 교량의 교각부에 대한 세굴심 산정결과, 현설계의 사석채움 적용교량 중 제4공구 RAMP-F교 P1을 제외한 교량 모두 세굴방지 보호공이 필요한 것으로 검토되었으며, **(제4공구 RAMP-F교 P1 세굴방지 보호공 불필요)**

- 현장조사 결과와 같이

- 제3공구 성동천교(양양 p5, 서울 p6)
- 제4공구 홍천강교(양양 p5, 서울 p8), 구성포교(p6) 구간은

하상에 교각을 설치하지 않고 횡단하므로 교각설치에 따른 하천의 수리적인 영향은 없으나, 일부 기초터파기를 실시한 부분이 하천에 접하여 홍수시 세굴에 영향이 우려되므로 현설계의 세굴방지보호공 설치는 적절한 것으로 판단됨.

2) 세굴방지대책에 대한 사석규모 검토

① 사석직경 및 포설두께 산정

- 현설계의 사석직경은 Isbash공식과 Richardson공식 계산값 중 큰 값이 적용되었으며, 사석포설 깊이 또한 사석직경에 3배를 적용하여 설계기준에 부합되므로 현설계 적정함.

② 사석포설폭 산정

- 세굴심은 하상입자의 크기에 따라 영향을 받으며, 세굴심을 계산함에 있어서는 하상의 지표면으로부터 암반층까지의 토질이 균일하게 분포되어 있는 것으로 가정하여 하상 입자를 적용하므로 계산된 세굴심은 암반층이 지표면으로부터 얇은 경우에는 현실적으로 암반층 이상의 표토층만 세굴이 발생하게 됨.
- 따라서, 사석포설폭에 적용되는 세굴심은 계산된 세굴심과 현지반에서 암반층까지의 깊이를 비교 검토하여 적용 세굴심으로 결정한 현설계는 적정하며, 사석포설폭 결정시 적용 세굴심의 2배 및 교각폭의 2배중 큰값을 적용한 현설계는 적절한 것으로 사료됨.

- ③ 그러나, 제4공구 RAMP- A3교 P3(본선방향)의 사석 포설폭은 최대세굴심(2.9m)의 2배를 적용하여 6.60m→5.80m로 변경하는 것이 타당하며, RAMP- F교 P1은 세굴심 검토에서와 같이 세굴방지 보호공이 불필요하므로 사석채움을 삭제함이 타당할 것으로 사료됨.