

교각형상에 따른 국부세굴범위에 대한 실험 연구

Experimental Study on Scouring Range according to Bridge Pier Shape

이갑용* · 최성녕** · 최성욱*** · 박무종****

Lee, Kap Yong · Choi, Sung Nyung · Choi, Sung Wook · Park, Moo Jong

Abstract

Hydraulic experiment was executed to identify the scouring range of bridge pier. The experiment categorized three kind of bridge pier shape, that is composed of circle shape, square shape and the special shape. Measured scouring data was compared with the results by empirical CSU formula which was generally used in practice. As empirical formula could not consider backfill, measured scouring range is by far smaller than results of CSU formula. Therefore in case of design anti-scouring structure, there is the possibility of overestimation in case of using empirical formula.

key words : local scour, model experiment, CSU formula

1. 서론

일반적으로 하도계획이 수립된 후 계획하도에 대한 홍수 통수능의 확인, 제방법선의 적용성 검토 등의 포괄적인 검토를 위해서는 고정상 실험으로 가능하다. 그러나 계획하도의 전반적인 상승(aggradation) 및 저하(degradation) 등이나 국부적인 세굴 또는 퇴적 및 거시적인 종단방향의 하상변동에 대한 현상규명은 고정상 실험을 통해서서는 거의 불가능하다. 즉, 실제 하상이 항상 연속적으로 변화하고 변동된 하상에 따라 새로운 수리현상이 나타나게 되므로 하상변동에 따른 제방 하천특성을 판단하기 위해서는 이동상 수리모형 실험이 필요하다.

본 실험은 금강 횡단교량인 금강1교를 대상으로 수행하였다. 교각의 형상은 일반적으로 적용되는 원형 형태의 교각과 사각형 교각, 유수의 흐름을 안정적으로 유도할 수 있는 특수 형태의 교각을 적용하였다. 실험은 3가지 교각형상에 대해 동일조건으로 이동상 실험을 실시하여 국부세굴의 발생범위와 세굴형태와 세굴심을 측정하였다. 또한, 모형실험 결과를 CSU 공식에 의한 결과와 비교하여 실무에서 세굴보호공의 규모가 적절하게 계획되고 있는지 평가하였다.

2. 실험조건 및 방법

금강유역의 금강1교에 대상구간 교량길이는 730m, 폭 31m, 하천 폭 680m로 이루어져 있으며 일반적으로 적용되는 사각형태 혹은 원형형태의 교각과 유수의 흐름을 안정적으로 유도 할 수 있는 특수형태의 교각에 대해 이동상 실험을 실시하여 세굴심, 세굴범위, 발생형태를 비교하였다. 실험을 수행하기 위한 수로의 폭은 0.3m이고, 수로의 높이는 0.3m, 수로의 길이는 8.5m이며, 실제 수로위에 모래를 깔아 놓은 길이는 7m이다. 교각은 하류단으로부터 3m지점에 설치하였고, 하상경사는 최대 0.015까지 부여할 수 있다. 개수로 상류단에는 고수조에 유입된 물을 받아 유량을 조절할 수 있는 위어가 설치되어 있으며 수로의 끝에는 수위를 조절할 수 있는 수문이 설치되어 있다. 유량 공급 장치는 고수조(2.4m X 1.2m X 0.68mH), 저수조(3m X 2m X 1mH), 펌프(15마력, 최대공급유량 100 ℓ/sec)로 구성되어 있다.

* 한서대학교 토목공학과 공학사 · E-mail : bluesky_love@nate.com) - 발표자

** 한서대학교 토목공학과 공학사 · E-mail : 6class@hanmail.net)

*** 한서대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : eternity0722@naver.com)

**** 정희원 · 한서대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사 · E-mail : mjpark@hanseo.ac.kr)

2.1 축척 결정

본 수리모형 실험은 모형 적용구간을 금강 횡단교량인 금강1교를 대상으로 하며, 모형의 평면적인 수평축척 L_r 과 연직축척 y_r 은 실험실의 규모를 고려하여 표 1과 같이 결정하였다.

표 1 모형에 적용된 축척

	표 시	비 율
수 평 축 척	L_r	1/120
연 직 축 척	y_r	1/120
왜 곡 도	$\alpha = y_r / L_r$	1

2.2 모형의 상사법칙 적용

유체의 이동을 일으키는 여러 가지 힘(중력, 압력, 점성력, 표면장력, 관성력 등) 중에서 중력이 우세한 개수로에서는 원형과 모형간에 Froude 상사율을 적용하여 수리량을 환산하였다. 결과는 표 2와 같다.

표 2 모형과 원형에 대한 각 수리량 비

	표 시	비 율
면 적 비	$A_r = L_r \times y_r$	1/14,400
유 량 비	$Q_r = L_r \times y_r^{3/2}$	1/157,744
유 속 비	$V_r = y_r^{1/2}$	1/11
경 사 비	$I_r = y_r \times L_r^{-1}$	1
조 도 계 수	$n_r = y_r^{2/3} \times L_r^{-1/2}$	1/2.22

대상구간의 제원은 “금강 수계하천정비 기본계획”에 의해 아래 표와 같이 제원을 산정하였으며, 상사법칙을 적용하여 모형에서의 제원을 산정하였다. 여기서 평균유속은 실험에서의 정확한 값을 얻을 수 없으므로 평균유속 표면법을 사용하여 산출한 유속으로 실험에 적용하였다(표 3 참조).

표 3 실험 제원

	원형(proto)		모형(model)	
	100년	500년	100년	500년
유 량	378.67m ³ /s	643.73m ³ /s	3.60m ³ /s	6.12m ³ /s
평 균 유 속	1.66m/s	1.74m/s	0.15m/s	0.16m/s
수 심	18.49m	18.49m	15.4cm	15.4cm
표 면 유 속	1.95m/s	2.04m/s	0.17m/s	0.18m/s

2.3 모형사 결정

현지조사결과 현지하상재료의 평균입경은 실험대상 금강에서 2~4mm(금강1교 부근 : 3.4mm)정도로 나타났다. 모형사는 축척 $L_r=1/120$ 인 모형상에서 금강1교의 현지유사량과 상사성을 갖는 재료로서 이것을 모형전구간의 하상재료로 사용할 경우에는 하상류의 입경분포의 착오가 있어 전구간을 통한 유사량 상사성을 기대하기에는 다소간 문제점이 있다. 이동상 실험에서 사용될 수 있는 엔트로사이트의 직경 0.1mm 와 비중 1.47을 적용하여 모형사의 평균입경을 실물의 것으로 다음과 같이 환산하여 보면 적절한 것으로 판단되어 엔트로사이트를 본 실험의 모형사로 결정(표 4 참조)하였다.

$$d_p = \frac{Y_r^2 d_m}{L_r (\sigma - \rho)_r} = \frac{(120)^2 \times 0.1}{120 \times (2.65 - 1)} = 3.418 \approx 3.4$$

표 4 모형사 결정

	평균 입경	비 중	공 극 률	침강 속도	비 고
엔트로사이트	0.1 mm	1.47	57%	0.29cm/sec	흑갈색

2.4 모형 제작

본 실험구간에 적용된 특수형은 유수의 흐름을 안정적으로 유도하기 위해서 흐름방향으로 곡선형태로 구성되어 있으며, 원형교각의 투영 길이는 8m x 8m 이다. 사각형과 원형은 특수형의 최대내접사각형의 유효단적에 넓이로 이때의 제원은 6.6m x 7.44m, $\varnothing 7.92\text{m}$ 이며, 1/120의 축척을 적용하였으며, 그림 1과 같다.

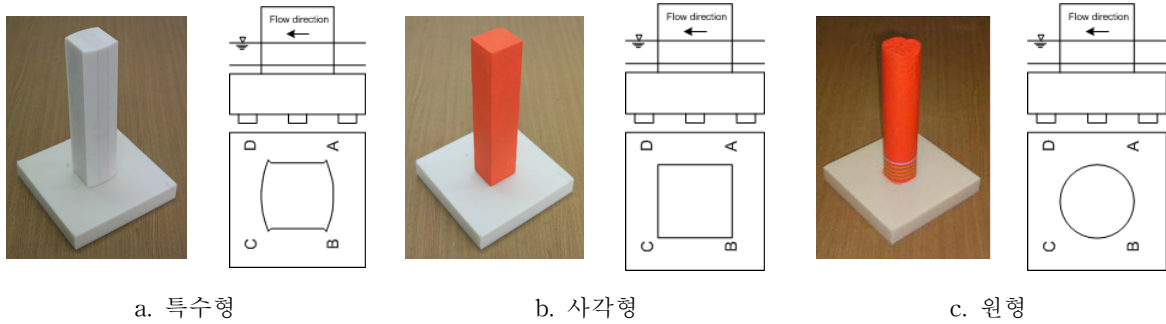


그림 1 교각 모형

2.5 실험 방법

1/120의 축척으로 금강1교의 단일교각을 수로의 중앙구간에 설치하고 하상재료를 포설한 후 수로 하류부의 수문을 닫고 미소유량을 수로 내에 공급하면서 하상재료를 공급을 채운 뒤 하상표면 위에 수면이 다소 올라오면 서서히 유량을 증가시켜 실험 유량이 되도록 조절하였다. 실험이 완료되면 유량공급을 서서히 줄이면서 사류형태의 변동이 오지 않도록 주의 깊게 실험수로 내의 물을 배수한 후의 세굴 결과를 측정하였다. 그러나 본 과업에서의 하천 단면은 폭이 큰 광폭단면으로 유속이 느린편이다. 그렇기 때문에 세굴에 영향을 주는 유속 및 유량이 세굴의 영향을 받기에는 작은 편이므로 모형에서 역시 세굴현상이 매우 미세하게 나타났다.

3. 모형 실험 결과

특수형, 사각형, 원형 형태의 교각에 대한 이동상 실험을 수행한 결과는 각각 표 5, 표 6, 표 7과 같다. 100년 빈도와 500년 빈도의 홍수량을 적용하여 산정된 세굴범위와 CSU 공식에 의한 세굴심을 비교한 결과 CSU 공식이 과대산정되고 있음을 확인하였다(표 5 참조). 이는 뒤채움을 고려하지 못하는 경험공식의 한계인 것으로 판단되며, 경험공식에 의한 세굴보호공의 설치는 과대산정의 가능성이 있음을 시사하고 있다.

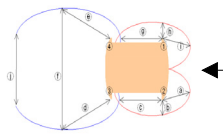
3.1 특수형

표 5 특수형 결과 분석

(mm) 세굴심		100년빈도					500년빈도					
		위치	A	B	C	D	CSU	위치	A	B	C	D
세굴심 (m)		-25.33	-24.83	13.67	15.67	80	세굴심 (m)	-27.33	-27.17	12.5	15.33	81.7
범위(mm) 세굴	빈도	㉠	㉡	㉢	㉣	㉤	㉥	㉦	㉧	㉨	㉩	㉪
	100	33.33	33.33	31.67	83.67	75.67	177.33	34	33.67	32.67	114	
	500	34.67	35	38.33	112.67	102.67	188.33	38.67	35.67	35.33	126.67	

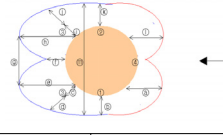
3.2 사각형

표 6 사각형 결과 분석

		사각형의 경우 특수형과 거의 유사한 형태의 세굴심과 세굴범위가 나타났으며 특수형보다 유속과 유량이 증가하게 되면 뒤채움현상이 덜 나타나는 것으로 판단되고 유속과 유량이 증가되는 조건하에 사각형이 특수형보다 세굴이 더 많이 발생하므로 안정성을 보장 할 수 없다고 판단된다.										
(mm)	세굴심	100년빈도					500년빈도					
		위치	A	B	C	D	CSU	위치	A	B	C	D
	세굴심 (m)	-23	-21.67	11.33	13	82.5	세굴심 (m)	-26.83	-27.50	11.67	12.33	83.3
(mm)	범위 세굴	빈도	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
		100	28.33	31.33	34.33	27.33	49.67	25	51	190	116.67	32.67
		500	32	34.33	36.33	43	47.67	27	59	203.67	145	37

3.3 원형

표 7 원형 결과 분석

		실험결과를 비교를 해보면 다른 모형에 비해 세굴범위와 세굴심이 가장 적게 나타나는 것으로 나타났다. 유속을 받는 교각의 유효면적이 곡선으로 이루어져 있어 와류현상이 덜 발생된 것으로 판단되며 본 실험의 결과에만 비교를 한다면 원형교각이 가장 안전하다고 볼 수 있다.													
(mm)	세굴심	100년빈도					500년빈도								
		위치	A	B	C	D	CSU	위치	A	B	C	D	CSU		
	세굴심 (m)	-13.33	-13.67	8.67	-2.67	80	세굴심 (m)	-14.17	-14.33	9.50	-3	81.7			
(mm)	범위 세굴	빈도	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
		100	20.67	22.67	35.33	31.33	52	29.67	51.67	44	28.67	28.33	21	20.67	130.67
		500	23.33	25	33.67	22	58	38.67	58.33	58.67	37.67	20.67	23.33	21.67	134.33

4. 결론

세굴 실험을 한 결과 세굴공의 형태는 교각 전면부에서는 반원이고, 후면부에서는 반타원의 형태를 보이고 있으며, 교각의 세굴을 일으키는 주원인의 하나인 말발굽형 와류로서 교각주위의 흐름 지배하는 주된 요소로 판단이 되었다. 최대 세굴심은 흐름이 교각과 부딪쳐서 교각전면부에 발생되었다. 이는 하강류가 모형 교각 전면부의 모래를 후면으로 이송시키는 역할을 하기 때문이며, 실험을 통해 모형 교각 후면부의 하류구간에서 모형 교각에 의해 교란된 흐름의 영향으로 인한 세굴의 형상을 분석하여 보면 세굴의 경사가 후면부에서는 완만하게 형성되어 있었고, 하류구간에는 침식, 이동된 토사가 퇴적되어 하상이 원하상고보다 높게 형성된 것을 관찰할 수 있었다. 교각 형상에 따른 세굴심의 크기는 사각형, 특수형, 원형의 순이었고, 모형에 따라 세굴심의 크기가 다를 수 있었다 각 모형에 따른 실험을 통한 교각 주위의 흐름을 통해 교각 주위의 흐름 해석을 이용하여 교각 주위의 입체적인 세굴범위를 확인 할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청에서 출연하고 국가자연재난상황관리기술개발사업에 의한 풍수해 대응체계 고도화 기술개발(NEMA-06-NH-11)의 연구 성과입니다.

참고문헌

1. 건설교통부(2002), “금강 수계 하천 정비 기본계획”
2. 윤용남(2005), “수리학(기초와 응용)” 청문각