

春川댐 放流時 橋梁의 安定性 檢討를 위한  
水理模型實驗 研究

Hydraulic Model Test for Bridge Stability Analysis  
at Downstream of Chun-Chon Dam

최 한 규\*      백 효 선\*\*      최 상 순\*\*\*  
Choi, Han-Kyu    Beak, Hyo-Seon    Choi, Sang-Soon

Abstract

In The case of the bridge which is located in the downstream of the dam, effect of the running water and stability of the bridge is studing by using the Hydraulic model test.

1. The water level change of 'Seosang1 bridge' along Chunchon dam spill occurred through this experiment more greatly than a numerical conspiracy.
2. Bight is the spot where a difference occurs in located bridge piers(p18-p28) greatly, and an influence of Chunchon dam occurs in greatly.

1. 서론

1.1 연구의 필요성 및 목적

하천 구조물은 수리학적 특성이 일반적으로 수치모델을 통해서 대부분 규명된 상태이다. 그러나 수치모델값의 정확성은 하천의 하상구성 성분, 지형적 특성등 많은 요인으로 인하여 정확히 규명할 수 있다고는 볼수 없는 실정이다. 특히 일반적인 하천흐름이 아닌 댐 방류에 따른 교각에서의 수리특성을 파악하기란 어려운 일이다. 또한 하천이 직선이 아닌 곡선인 하천에 설치된 교량의 경우 수치모델의 정확성을 수치모델에만 의존하기에는 그 신뢰성을 판단하기 어려운 실정

이라고 하겠다.

따라서 본 연구는 강원도 춘천시 지방도상에 위치한 서상1교를 대상으로 한 모형실험을 실시하여 춘천댐 방류시 일반적인 하천의 유속에 비하여 큰 유속이 순간적으로 발생하는 경우에 발생하는 수리적 특성을 파악하려 하였다.

1.2 연구 방법 및 절차

본 연구의 실험 구간은 홍수량을 토대로 유량을 흘려보냄으로서 수위 및 유속을 측정하고 교각 주변의 유속 및 수위 변화를 측정하였다.

- (1) 기초조사 및 자료조사
- (2) 모형이론의 수립

원형과 모형에서 기하학적 상사성이 만족된 경우 동력학적 상사성을 만족하기 위하여 Froudes 상사법칙과 Redynolds상사법칙을 만족시켜야 하

\* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사  
\*\* 강원대학교 대학원 토목공학과 박사수료  
\*\*\* 산업대학원 토목공학과 석사과정

나 실질적으로 불가능하므로 본 연구에서는 Froudes상사법칙과 Manning의 평균유속공식을 이용하여 상사성을 만족시키는 이론을 수립한다.

(3) 모형제작 및 실험준비

(4) 수치모형에 의한 수리영향 검토

본 연구에서는 사전에 수치모의를 실시한 HEC-RAS 프로그램의 값을 사용하였다.

본 연구를 통해서 수리적 특성을 설계에 반영함으로써 교량의 안정성과 합리적인 설계가 되도록 기본 자료를 제공 하였다.

2. 기본이론

2.1 모형이론 및 상사법칙

본 연구 교량의 유역은 하상경사는 완만하나 춘천댐 방류에 따라 유속과 유량의 변동이 급격히 이루지는 구간으로 하천폭이 넓고 수로의 만곡이 있어 모형의 축척 및 상사법칙의 적용에 어려움이 많다고 하겠다. 따라서 본 장에서는 흐름의 상사법칙에 대한 일반이론을 서술하겠다.

2.2 일반 상사법칙

동역학적 상사성의 충분조건을 결정하는데 있어서 문제를 단순화하기 위하여 일정한 점성을 가지나 밀도는 일정하지 않은 비압축성 유체의 동력학에 대해 고려한다. 운동의 지배 방정식 즉, Navier-Stokes방정식, 비압축성 유체에 관한 식, 그리고 연속방정식을 무차원화하면 다음과 같다.

$$p' = \frac{p}{\rho_0 U^2}, x_j' = \frac{x_j}{L}, t' = \frac{tU'}{L} \quad (1)$$

기하학적 상사성이 성립되면 동력학적 상사를 만족시키기 위하여 한 흐름에서 식(2.1) 무차원 변수들이 다른 흐름의 해당 변수와 같아야 한다.

초기조건과 경계조건의 상사성이 만족되었다고 가정했을 때  $F = U/\sqrt{gL}$ 와  $R_e \equiv UL/\nu$  이 두 흐름에서 같으면 두 흐름은 상사하다.

3. 모형제작 및 실험준비

3.1 모형제작

본 모형의 제작은 교량 신설지점을 기준으로 하여 모형을 제작하였으며, 이에 따른 교량신설 지점의 단면형중 대표단면은 그림1~3과 같으며 현재의 단면형과 시설에 따른 단면변화에 중점을 두고 모형 제작을 하였다.

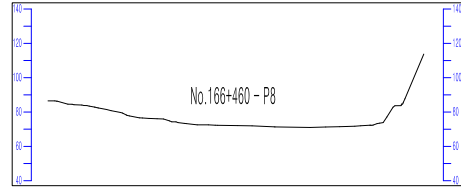


그림 1 P8 횡단면도

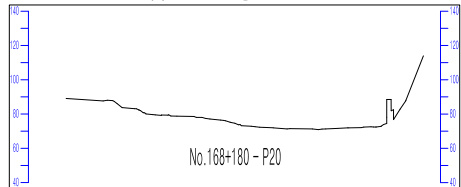


그림 2 P20 횡단면도

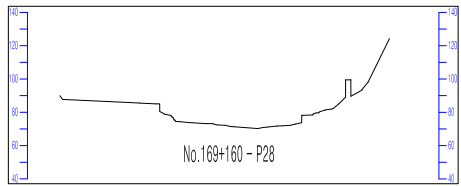


그림 3 P28 횡단면도

3.2 실험유량의 결정

본 연구지점은 2002년 북한강 기본계획이 제 수립된 하천으로 북한강 기본계획상의 계획홍수량(11,100CMS)에 따라 본 실험을 실시하였으며, 서상1교 지점은 기본계획뿐만 아니라 춘천댐 방류량에 따라서 홍수량이 결정될 수 있으므로 춘천댐의 설계당시의 가능최대 방류량(12,600CMS)에 대해서도 실험을 실시하였다.

4. 수치모형에 의한 수리영향 검토

4.1 개요

본 연구의 수행 전에 수치모형을 통한 하천의 홍수위에 대해 사전 검토 작업을 함으로서 실험 중에 일어날 수 있는 실험 과오나 이상 값의 발견을 미연에 방지하는데 있으며 본 연구에서는 사전에 수치모의를 실시한 HEC-RAS 프로그램의 값을 사용하였다.

4.2 수치모형 결과

수치모형 결과 서상1교를 추가로 설치하더라도 북한강 홍수위 변동에는 큰 차이가 발생하지 않았으며 교각의 높이도 홍수위에 충분한 여유를 보이고 있는 것으로 산정되었다.

표1은 HEC-RAS에 의한 홍수위 산정결과이며 그림4와 그림5는 수치해석된 결과를 도식한 그림이다.

표 1 서상1교 홍수위계산 결과(HEC-RAS)

지점	누가거리	계획홍수량	최심하상	계획홍수위	노선지반고	교량전홍수위	교량후홍수위	교각상단	Pier 번호
No.	m	m/s	EL.m	EL.m	EL.m	EL.m	EL.m	EL.m	
162	81.04	11,100	67.23	78.18		78.01	78.01		
163	81.54	"	67.54	78.67		78.55	78.55		
164	82.04	"	67.72	79.56		79.47	79.47		
165	82.54	"	68.54	79.80		79.84	79.84		
166	83.04	"	70.82	80.03		79.96	79.96		
166.08	83.12	"	70.86	80.18	83.30	80.14	80.14	82.12	A1
166.14	83.18	"	70.89	80.29	76.69	80.27	80.28	82.26	P01
166.20	83.24	"	70.92	80.41	73.16	80.39	80.42	82.49	P02
166.26	83.30	"	70.96	80.52	73.04	80.50	80.55	82.74	P03
166.32	83.36	"	70.99	80.63	71.63	80.61	80.67	83.00	P04
166.38	83.42	"	71.02	80.74	71.92	80.72	80.79	83.25	P05
166.44	83.48	"	71.05	80.86	71.90	80.82	80.91	83.50	P06
167	83.54	"	71.08	80.97	72.00	80.91	81.02	83.79	P07
167.06	83.60	"	71.09	81.04	72.70	80.98	81.09	83.05	P08
167.12	83.66	"	71.09	81.12	72.23	81.04	81.18	83.36	P09
167.18	83.72	"	71.09	81.19	72.11	81.11	81.26	83.66	P10
167.24	83.78	"	71.10	81.27	73.19	81.19	81.35	83.96	P11
167.30	83.84	"	71.10	81.34	73.38	81.27	81.44	84.26	P12
167.36	83.90	"	71.11	81.42	72.93	81.35	81.53	84.55	P13
167.42	83.96	"	71.11	81.49	73.08	81.44	81.62	84.88	P14
167.48	84.02	"	71.12	81.57	72.42	81.53	81.72	85.15	P15
168	84.04	"	71.12	81.59		81.53	81.72		
168.05	84.10	"	71.06	81.66	73.86	81.70	81.90	85.38	P16
168.11	84.15	"	71.00	81.72	72.52	81.84	82.05	85.68	P17
168.16	84.21	"	70.94	81.79	74.14	81.95	82.16	85.98	P18
168.22	84.26	"	70.88	81.86	76.30	82.04	82.25	86.27	P19
168.27	84.32	"	70.82	81.93	76.20	82.08	82.30	86.60	P20
168.33	84.37	"	70.76	81.99	74.99	82.11	82.34	86.87	P21
168.38	84.43	"	70.70	82.06	73.37	82.12	82.37	87.18	P22
168.44	84.48	"	70.64	82.13	72.86	82.12	82.40	87.40	P23
168.49	84.54	"	70.58	82.19	72.93	82.10	82.42	87.70	P24
169	84.54	"	70.57	82.20		82.10	82.42		
169.05	84.59	"	70.46	82.29	73.26	82.29	82.63	87.99	P25
169.10	84.64	"	70.36	82.38	73.80	82.49	82.84	88.32	P26
169.15	84.69	"	70.25	82.48	73.28	82.68	83.02	88.70	P27
169.20	84.74	"	70.15	82.57	73.43	82.83	83.18	89.66	P28
169.25	84.79	"	70.04	82.66	72.86	82.97	83.31	91.15	P29
169.30	84.84	"	69.94	82.75	78.75	83.09	83.42	93.20	P30
169.34	84.89	"	69.84	82.84		82.83	83.16		
169.35	84.89	"	69.94	82.85	79.46	82.86	83.19	95.71	P31
169.40	84.94	"	71.23	82.94	102.92	83.52	83.82	98.87	A2
169.42	84.96	"	71.80	104.90		104.90	104.90		

주) 누가거리는 북한강기본계획상의 누가거리임.

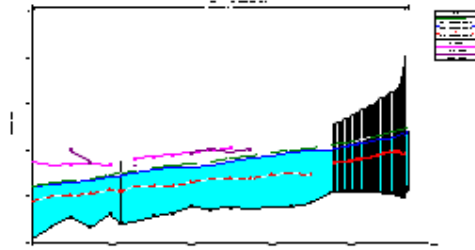


그림 4 수치해석 홍수위 종단

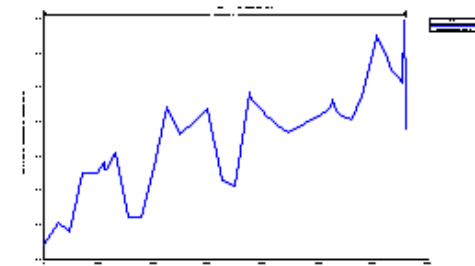


그림 5 유속분포도(수치해석)

## 5. 수리모형실험

### 5.1 실험장치

본 연구를 수행하기 위해 제작된 모형의 개략적인 형태는 그림6에 도시되었다. 그림7은 지하저수조와 펌프를 이용하여 모형실험에 사용되는 물공급장치의 순환계통을 보여 주고 있으며 최종적으로 제작된 모형은 그림8 이다.

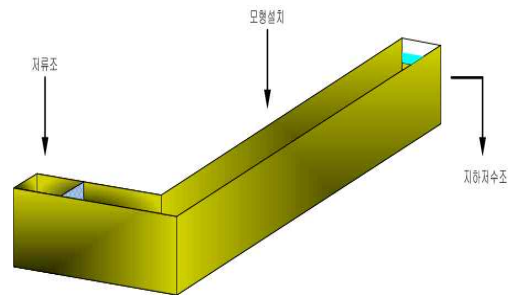


그림 6 모형설치 개략도

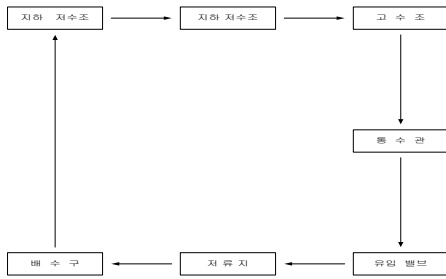


그림 7 물공급장치 순환계통도



그림 9 하천모형 실험과정 사진

표 2 모형실험 성과표

Pier 번호	HEC-RA S 유속 m/sec	실험평균 유속 m/sec	교각부 유속 m/sec	실험 수위 (EL.m)	비고
	4.43	4.30	4.16	80.2	
A1	4.31	4.20	3.95	80.3	교량시점
P01	4.23	4.18	3.94	80.5	
P02	4.15	4.05	3.96	80.7	
P03	4.08	4.10	4.02	80.7	
P04	4.01	4.15	4.05	80.8	
P05	3.95	4.12	4.07	80.9	
P06	3.9	4.10	4.02	80.95	
P07	3.85	3.95	3.84	81.05	
P08	3.89	3.97	3.73	81.1	
P09	3.93	4.02	3.80	81.32	서원수위표
P10	3.97	4.04	3.85	81.45	
P11	4.02	4.08	3.95	81.5	
P12	4.06	4.10	3.91	81.72	서상2교
P13	4.11	4.15	3.45	81.7	
P14	4.15	4.17	3.27	82.6	
P15	4.2	4.19	2.70	81.85	
	4.31	4.12	2.45	82.4	
P16	4.17	4.29	2.36	81.85	
P17	4.09	4.68	2.71	81.2	
P18	4.04	4.37	2.04	82.15	
P19	4.04	4.21	3.13	82.3	
P20	4.18	4.76	4.36	81.85	
P21	4.37	4.50	5.52	82.2	
P22	4.6	4.46	5.83	83.15	
P23	4.88	3.83	5.14	82.6	
P24	5.23	4.33	6.89	82.7	
	5.27	4.83	5.66	82.9	
P25	5.13	5.27	6.25	83.35	
P26	4.98	4.92	5.21	84.3	
P27	4.84	5.79	6.82	84.65	
P28	4.73	5.52	5.78	84.4	
P29	4.64	5.27	4.14	84.75	
P30	4.56	5.37	4.92	84.4	
	5.48	5.31	2.75	83.85	서상1교(구)
P31	5.45	5.35	2.28	84	
A2	4.44	5.43	1.75	84.05	교량종점
	3.87				춘천댐



그림 8 모형제작과정

## 5.2 하천모형실험

본 연구에서는 교량의 X방향 200 Y방향 100의 왜곡 축척을 사용한 모형으로 제작하여 실험하였다. 이에 따른 유속비는 앞장에서 설명한 이론에 의해 7.07값을 얻었다.

$$X_R = B_R = P_R = 200$$

$$Y_R = H_R = 100$$

$$V_R = \frac{Y_R}{\sqrt{X_R}} = 7.07$$

$$n_R = \frac{X_R^{1/2}}{Y_R} Y_R^{2/3} \left(\frac{Y_R}{X_R}\right)^{1/2} = 2.154$$

위와 같은 축척과 유속비에 의하여 본 연구 대상교량에 대하여 모형을 실시하였으며 모형실험환경은 그림9와 같으며 모형실험 성과표는 표 2, 유속과 수위에 대한 평면적 그림은 그림13이다. 이에 따른 상호비교를 위하여 그림10과 같이 도식하고 표3과 같이 그 차이를 산정하였다.

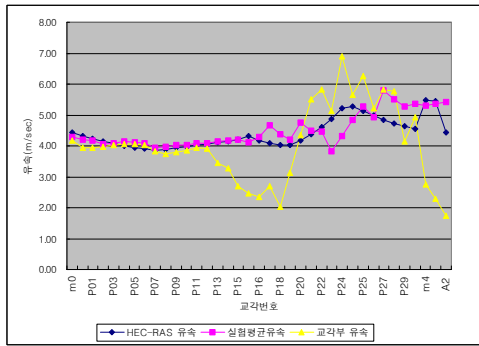


그림 10 지점별 유속분포도

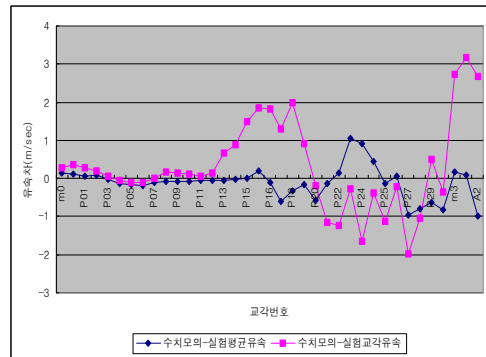


그림 11 산정방법별 유속차 변화도

표 3 수치모의와 모형실험 비교표

Pier 번호	수치모의- 실험 평균유속 m/sec	수치모의- 실험교각 유속 m/sec	수치모의- 실험수위 m/sec	비 고
	0.13	0.27	-0.24	
A1	0.11	0.36	-0.16	교량시점
P01	0.05	0.29	-0.22	
P02	0.10	0.19	-0.28	
P03	-0.02	0.06	-0.15	
P04	-0.14	-0.04	-0.13	
P05	-0.17	-0.12	-0.11	
P06	-0.20	-0.12	-0.04	
P07	-0.10	0.01	-0.03	
P08	-0.08	0.16	-0.01	
P09	-0.09	0.13	-0.14	
P10	-0.07	0.12	-0.19	
P11	-0.06	0.07	-0.15	
P12	-0.04	0.15	-0.28	서상2교
P13	-0.04	0.66	-0.17	
P14	-0.02	0.88	-0.98	
P15	0.01	1.50	-0.13	
	0.19	1.86	-0.68	
P16	-0.12	1.81	0.05	
P17	-0.59	1.38	0.85	
P18	-0.33	2.00	0.01	
P19	-0.17	0.91	-0.05	
P20	-0.58	-0.18	0.45	
P21	-0.13	-1.15	0.14	
P22	0.14	-1.23	-0.78	
P23	1.05	-0.26	-0.20	
P24	0.90	-1.66	-0.28	
	0.44	-0.39	-0.48	
P25	-0.14	-1.12	-0.72	
P26	0.06	-0.23	-1.46	
P27	-0.95	-1.98	-1.63	
P28	-0.79	-1.05	-1.22	
P29	-0.63	0.50	-1.44	
P30	-0.81	-0.36	-0.98	
	0.17	2.73	-0.69	서상1교(구)
P31	0.10	3.17	-0.81	
A2	-0.99	2.69	-0.23	교량종점
	3.87	3.87	104.90	출천댐

그림11에서 보는 바와 같이 본 연구지점의 중간부분과 출천댐과 인접한 지점의 교각의 경우 수치모형값과 유속차이가 크게 발생하는 것을 확인 하였으며, 그림12에서 보는 바와 같이 수위편차도 크게 발생함을 확인하였다.

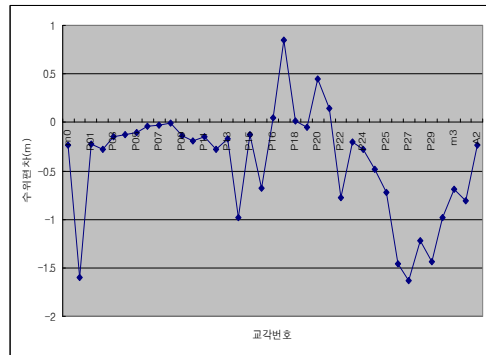


그림 12 수치모형과의 수위편차도

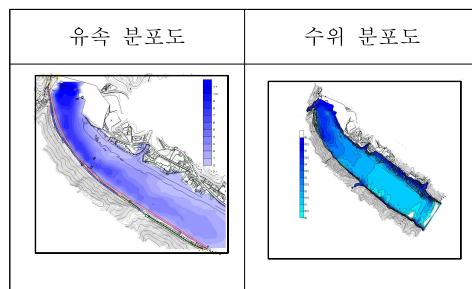


그림 13 하천 유속 및 수위 분포도

## 6. 결론

관한 실험적 연구”, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.186-195, 1991.

본 실험을 통하여 서상1교 설치에 따른 홍수위 변동과 유속변동 및 서상1교 교각부의 문제점 등에 대하여 연구 고찰하였으며 이에 따라 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 실험을 통하여 춘천댐 방류에 따른 서상1교의 수위변동은 수치모의 보다 크게 발생하였다. 특히 만곡부의 위치한 교각부(P18~P29)에서는 차이가 크게 발생하여 춘천댐의 영향이 크게 발생하는 지점이었다.

2. 유속을 측정된 결과 일반적인 하천의 경우보다 큰 유속이 측정되는데 이는 춘천댐 방류로 인한 것으로 HEC-RAS에서는 하천전체 단면에 대하여 산정되므로 교각 및 만곡부의 국부적인 단면에 대해서는 오차가 발생하므로 모형실험에 의한 값을 사용하여 설계에 반영함이 바람직 할 것으로 판단되어 진다.

3. 유향 및 교각부의 유체흐름을 관찰한 결과 교각 P24~P26이 춘천댐 방류수에 크게 영향을 받는 지점으로 유속 및 수위를 고려한 홍수와 압력을 고려한 교각의 설계가 이루어져야 할 것으로 판단되어 진다.

## 참고 문헌

- [1] "Air Entertainment In Free-Surface Flows", Edited by Ian R. Wood, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1991.
- [2] Civil ENG Guidelines for Planning and Designing Hydroelectric Developments, Volumel, 2~43 Page.
- [3] S. K. Godunov, A difference method for the numerical calculation of discontinuous solutions of hydrodynamic equations, Mat. Sbornik 47, 3, pp. 271~306, (1959). Translated as JPRS 7225 by US Dept. of Commerce, November 1960.
- [4] 한국건설기술연구원, "댐설계기준에 대한 비교검토", 1986.
- [5] 안상진, 연기석, 김종섭, 김응용, "수위변화에 따른 교각주위에서의 세굴현상연구", *대한토목학회 학술발표회 논문집*, pp.67-70, 1996.
- [6] 윤태훈, 윤성범, 윤광석, "원형교각에서의 세굴방지를 위한 사석보호공의 설계", *한국수자원학회 학술발표회 논문집*, pp.48-53, 1995.
- [7] 이정규, 유권규, "교각 주변에서의 국부적 세굴에