

# 우이천 유역의 횡단 월류형 구조물 철거에 의한 수리영향 분석

## Analysis of Hydraulic effect on Removing Side Overflow Type Structures in Woo Ee Stream Basin

문영일\* · 윤선권\*\* · 전시영\*\*\* · 김종석\*\*\*\*

Moon, Young il · Yoon, Sun kwon · Chun, Si young · Kim, Jong suk

### Abstract

Currently, Stream flow analysis has been accomplished by one or two dimensional equations and was applied by simple momentum equations and fixed energy conservations which contain many reach uppermost limit. In this study, FLOW-3D using CFD(Computational Fluid Dynamics) was applied to stream flow analysis which can solve three dimensional RANS(Reynolds Averaged Navier-Stokes Equation) control equation to find out physical behavior and the effect of hydraulic structures. Numerical simulation accomplished those results was compared by using turbulence models such as  $k-\varepsilon$ , RNG(Renormalized Group Theory)  $k-\varepsilon$  and LES(Large Eddy Simulation). Numerical analysis results have been illustrated by the turbulence energy effects, velocity of flow, water level pressure and eddy flows around the side overflow type structures at Jangwall bridge in urban stream.

**Keywords** : FLOW-3D, Turbulence Model, Side overflow type structure, Urban stream

## 1. 서 론

최근 들어 하천의 기능에 대한 인식이 과거 홍수소통원활과 용수 확보 등의 이·치수 목적에서 인간과 다양한 생명체가 공존하는 서식처로서의 기능을 할 수 있는 생태 환경적 개념으로 변화하는 추세이며, 특히 도시하천의 경우 자전거도로와 하도내 체육시설 등이 조성되어 하루에도 수많은 시민들이 하천을 찾고 있다. 그러나 하도내에 설치되어있는 기능을 상실한 하천 횡단 구조물(낙차공, 우수관 매설, 보, 소형댐 등)에 의하여 장기적인 토사의 퇴적과 수질악화, 하천 생태통로의 차단, 수변 생물서식처의 변화, 경관훼손 등의 문제가 새롭게 수반되고 있으며, 근래 들어 빈번히 발생하고 있는 이상기후적인 강우특성과 돌발홍수 등에 의한 대책은 미흡한 편이다.

본 연구에서는 서울시 관내 지방 2급하천인 우이천 시험유역을 대상으로 횡단 월류형 구조물이 철거 되었을 경우 수리학적 영향을 비교·분석하였다. 적용 난류모형은  $k-\varepsilon$ , RNG(Renormalized Group Theory)  $k-\varepsilon$ , LES(Large Eddy Simulation) 등 3가지 난류모형을 적용하였다. 본 연구의 결과는 도시하천의 기능을 상실한 하천 횡단 구조물의 향후 장기적인 하상변동과 토사의 퇴적, 세굴 및 수질 등의 영향을 파악해 볼 수 있는 기초자료로 활용이 가능하리라 사료된다.

## 2. 수치 모형

### 2.1 FLOW-3D 모형

FLOW-3D 모형은 미국 Flow Science, Inc.에서 개발한 상용 CFD 모형으로 Los Alamos National Laboratory에서 개발된 MAC(Marker and Cell) 방법과 SOLA-VOF(Volume of Fluid)방식을 기초로 하고 있다(Flow Science, 1999). 해석방법은 유체의 비정상 유동상태를 기본으로 하며, 연속방정식과 3차원 RANS를 지배방정식으로 사용한다. FLOW-3D의 지배방정식은 최근 많은 연구에서 제시하고 있기 때문에 본 연구에서는 기재를 생략하도록 하겠다.

\* 정회원 · 서울시립대학교 토목공학과 · 교수 · E-mail: ymoon@uos.ac.kr  
\*\* 서울시립대학교 토목공학과 · 박사과정 · E-mail: skyoon@uos.ac.kr  
\*\*\* 원광대학교 토목환경도시공학부 · 교수 · E-mail: chunsy@wonkang.ac.kr  
\*\*\*\* 서울시립대학교 토목공학과 · 박사수료 · E-mail: jongsuk@uos.ac.kr

## 2.2 경계조건 및 입력자료

본 연구에서는 접근유속을 1m/s로 고정하여 수치모의를 실시하였으며, 과거 실측 호우사상에 대하여 시간에 따른 유량변화를 단면적으로 환산한 값을 적용하여 상부 경계면의 입력 자료로 구성하였다. 대상영역의 Solid 형상은 실제 하천 단면의 측량자료와 구조물 계측자료를 최대한 활용하여 3차원 CAD프로그램으로 구현하였으며, 격자망의 형태는 직사각형 모양의 직각격자(Cartesian coordinates: x, y, z)를 사용하였고 교각주위 등 정밀한 흐름해석이 요구되는 지점에 대해서는 보다 더 세밀하게 격자간격을 분할하였다. 상류단 경계조건으로 지점별 산정된 계획홍수량을 수위와 유속으로 환산한 값을 적용하였으며, 하류단 경계조건은 outflow로 주었다. 대상영역의 격자수는 다음 Table 1과 같다.

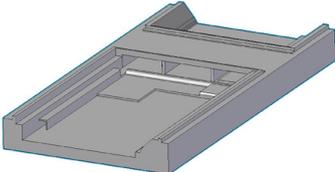
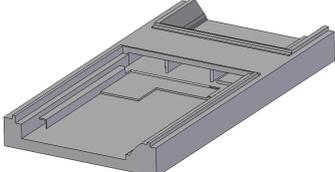
Table 1. Number of Grid at x, y, z Direction

x direction	y direction	z direction	Total
95	116	15	165,300

## 2.3 횡단 월류형 구조물 철거 전·후의 Solid형상 구현

장월교 지점의 교각과 하단 횡단월류형 구조물의 철거에 의한 배수위 및 통수능의 영향검토를 위하여 현장 사진 촬영 자료와 실제 하천 단면의 측량자료 및 구조물 계측자료를 최대한 활용하여 3차원 CAD프로그램인 Solid Edge를 이용하여 형상을 구현하다. 다음 Table 2는 장월교 지점의 월류형 구조물 철거 전·후의 현장사진과 3차원 형상이다.

Table 2. Before and after shape of removing Overflow type Structure

Division	Before removing structure	After removing structure
Field study Pictures		
Numerical Analysis Area of 3D Solid shapes		

## 3. 수치모의 결과

### 3.1 횡단 월류형 구조물 철거 전

횡단 월류형 구조물 철거 전의 장월교 지점 교량 설치구간의 난류 모델별 수치모의 결과 교각전면부의 배수위 영향과 후면부에서의 후류 특성을 잘 표현해 주고 있으며, 장월교 직하류 횡단 월류형 구조물이 설치되어 있는 지점의 유속이 가속화되고 수위가 급격히 감소하는 양상을 효과적으로 파악할 수 있도록 모의 되었다. 횡단 월류형 구조물의 배수위 영향에 의한 교량상부 수위가 상당부분 상승하였고, 교량 하부 좌안 쪽의 콘크리트 구조물에 의해 홍수소통이 불규칙한 모습을 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 다음 Fig. 1은 교각주위의 횡단 유속 분포(X-Z Plane)와 월류형 구조물주변의 횡단유속 분포(X-Z Plane), 하천 중방향 유속분포(Y-Z Plane)를 나타내었다.

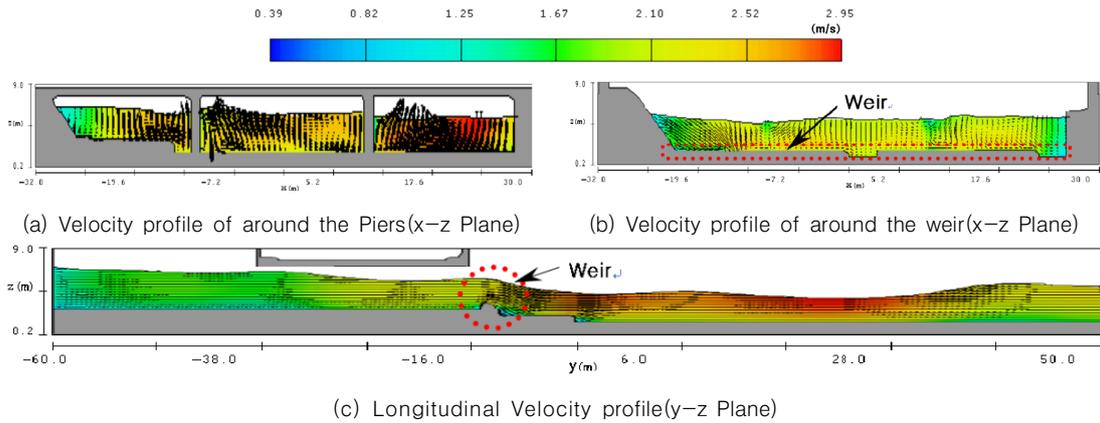


Fig. 1. Numerical Simulation Results(before)

### 3.2 횡단 월류형 구조물 철거 후

횡단 월류형 구조물 철거 후의 장월교 지점 교량 설치구간의 난류 모델별 수치모의 결과 교각전면부의 배수위 영향과 후면부에서의 후류 특성을 잘 표현해 주고 있다. 교량 설치부 직하류 월류형 구조물에 의한 배수위 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났으며, 교량상부 수위도 상당부분 저하되었다. 또한 교량 하부 좌안 쪽의 콘크리트 구조물제거에 의한 홍수소통이 원활해지는 모습을 확인할 수 있었다. 다음 Fig. 2는 교각주위의 횡단 유속 분포(X-Z Plane)와 월류형 구조물주변의 횡단유속 분포(X-Z Plane), 하천 종방향 유속분포(Y-Z Plane)를 나타내었다.

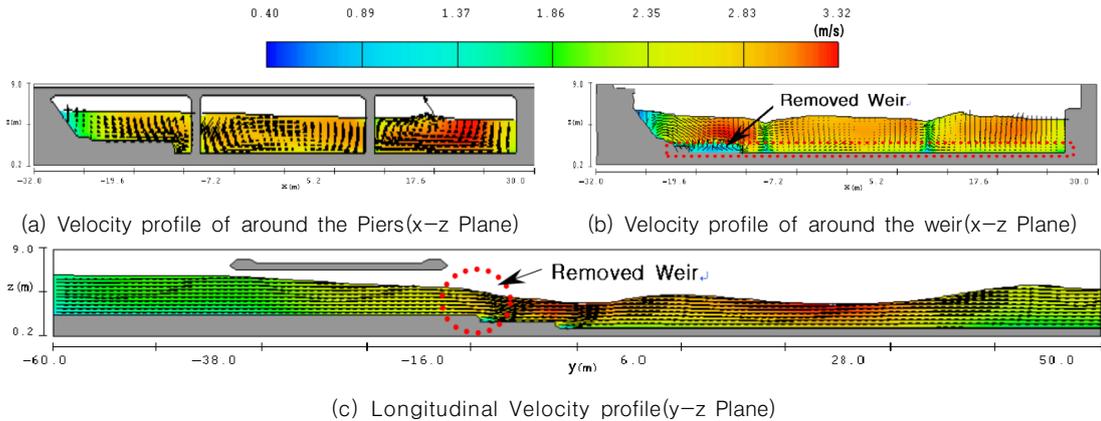


Fig. 2. Numerical Simulation Results(after)

### 3.3 비교 및 고찰

교량통과 부분인 교각 상·하부 사이의 유속은 교각의 두께만큼 하폭이 감소하여 유속은 빨라지고 수위가 하강하는 효과를 잘 모의하였으며, 실제로 월류형 구조물 철거시 5.7~11.9 % 정도 유속이 빨라짐을 확인할 수 있었다. 하지만 월류형 구조물이 철거 되었을 경우 구조물 위치에서의 난류 모델별 유속분포의 분석결과 6.3~13.0 %의 유속 저감 효과가 있는 것으로 분석 되었다. 따라서 보 및 횡단 월류형 구조물 철거시 하천 상부구조물에 대한 세굴 등의 영향이 보다 신중히 검토하여야 할 것으로 사료된다. 또한 교각 하류 횡단월류형 구조물의 철거에 따른 종단 수위 분포를 분석결과, 철거전 교각 상류 쪽의 수위가 높아져 M1형의 수면형이 발생 하였으며, 평균 0.017~0.469 m의 배수고( $h_p$ )가 발생하였다. 월류형 구조물의 철거 후에는 구간에 따라 최고 평균 0.038~1.38 m의 수위가 저감 되는 것으로 나타났다. 이는 도시하천의 수질악화와 토사의 퇴적 경관훼손 등의 문제를 유발 할 수 있는 기능을 상실한 보 및 횡단 구조물 철거에 따른 홍수시 수위저감 등의 치수안정적인 측면의 효과와 더불어 수질정화, 경관 개선 등의 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다. 다음 Fig. 3은 횡단구조물 철거 전·후의 난류 모델별 교각 주위의 수위변화이며, Table 3은 난류모델별 하천의 좌안과 중앙, 우안 부분에서의 수면형의 변화를 나타내었다.

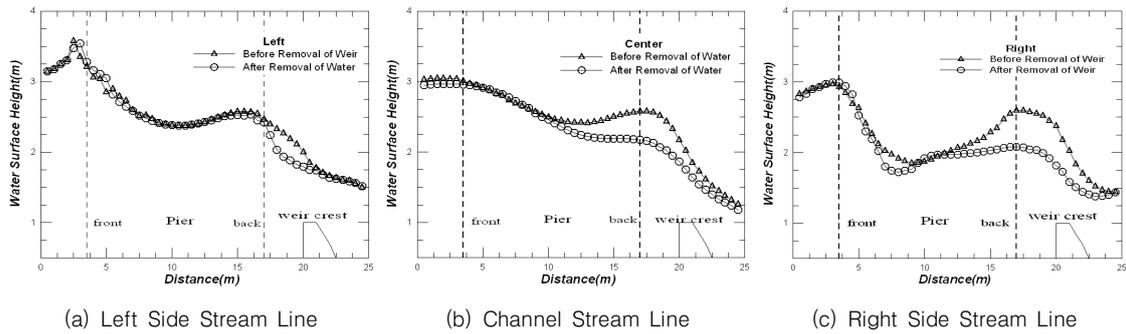


Fig. 3. Before and after the surface height at removing weir

Table 3. Summary of Numerical Simulation Results(Surface Height)

Location	Left Stream Line			Center Stream Line			Right Stream Line		
	Before	After	changes	Before	After	change	Before	After	changes
	$H_{max}$	$H_{max}$	(%)	$H_{max}$	$H_{max}$	(%)	$H_{max}$	$H_{max}$	(%)
front of pier	3.578	3.542	3.0	3.047	2.969	-2.6	2.966	2.994	0.9
back of pier	3.068	3.162	-17.4	2.977	2.952	-0.8	2.844	2.938	3.2
weir crest	2.277	1.939	-0.5	2.520	2.069	-21.8	2.555	2.033	-25.7

#### 4. 결론

본 연구에서는 우이천 시험유역을 대상으로 하천의 물리적인 특성 변화에 따른 하천 흐름의 3차원 수치모의를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 횡단 월류형 구조물 철거시 상부 교각 주변에서의 유속이 5.7~11.9 %정도 빨라짐을 확인할 수 있었다. 하지만 구조물 제거 구간의 유속분포 분석결과 6.3~13.0 %의 유속 저감 효과가 있는 것으로 분석 되었다. 따라서 보 및 횡단 월류형 구조물 철거시 구조물 설치 상부의 수공구조물에 대한 세굴 등의 영향이 보다 신중히 검토하여야 할 것으로 사료된다. 또한 구조물의 철거후 교각 설치부의 흐름이 원활해지고 배수위가 상당부분 저감되는 효과가 있었다. 수위는 난류모델별 최고 25.7~33.3 %의 저감 효과가 있는 것으로 분석되었다. 이는 도시하천의 수질악화와 토사의 퇴적 경관훼손 등의 문제를 기능을 상실한 보 및 횡단 구조물 철거에 따라 홍수시 수위저감 등의 치수안정적인 측면의 효과와 더불어 수질정화, 경관개선 등의 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구는 하도 내에 설치되어 있는 교량 등의 수공구조물에 의한 영향과 횡단 월류형 구조물(낙차공, 우수관 매설, 보, 소형댐 등)의 설치나 철거시 국부적인 수리영향 분석에의 활용이 가능하리라 사료된다.

#### 감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(과제명 : 사면붕괴 예측 및 대응기술 개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 김대근, 이재형, 서일원, (2004). “교각이 설치된 월류형 여수로에서의 흐름에 대한 수치모의”, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제37권, 제5호, pp.363~373.
2. 김대근, 김용근, (2007). “3차원 수치모의를 이용한 광정횡월류위의 흐름특성 해석”, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제40권, 제3호, pp.277~286.
3. 서울특별시 (2004). “우이천등 4개 하천 하천정비 기본계획 보고서”.
4. Flow Science, (2003). “FLOW-3D User’s Manual”, Los Alamos, NM, USA.
5. Savage, B.M., and Johnson, M.C., (2001). “Flow over ogee spillway : Physical and numerical model case study”, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 127, No. 8, pp. 640-649.