

수리모형실험 및 수치해석을 통한 여수로 수리특성 분석

Analysis of Hydraulic Characteristics of Spillway using Hydraulic Model Experiments and Numerical Analysis

이정규*, 이재홍**, 김주영***

Jong-Kyu Lee*, Jai Hong Lee**, Joo Young Kim***

Abstract

Generally, not only in order to design three dimensional hydraulic structures such a spillway and to investigate the hydraulic phenomena concerning hydraulic facilities, but also to grasp shape and stability, we simulate actuality phenomenon through hydraulic model experiments. However, it requires too much times, expense and space to perform hydraulic model experiments, as well as it is very difficult to measure reduced scale of actual hydraulic structures. Besides, surface tension can exert fair effect in experiment result, and occasionally an experiment of various case is impossible actually. Therefore, there is necessity to draw proper early result through numerical analysis, and if decide the case of a hydraulic model experiment through the numerical analysis and compare the result, finally economical and reasonable design hydraulic structures are available. This study performs numerical analysis of overflow spillway and an experimental study of hydraulic model tests to design the optimal spillway and suggest a better design to improve hydraulic conditions. From the measurements, revised designs for an hydraulic structure are suggested and consequent improvement effects by the new design are also investigated.

Key word: hydraulic model tests, numerical analysis, hydraulic structures design

요 지

여수로와 같은 3차원 수리구조물을 설계하고 수리현상을 조사하거나, 형상 및 안정성을 파악하기 위해서는 일반적으로 수리모형실험을 통하여 실제 현상을 모의하는 경우가 많다. 그러나 수리모형실험을 하기 위해서는 많은 시간과 비용 및 공간이 필요하며 실제 수리구조물을 축소시켜 측정하는 것은 대단히 어렵고 표면장력 등이 실험결과에도 상당한 영향을 미칠 수 있으며 다양한 경우의 실험은 현실적으로 불가능하다. 따라서, 수치해석을 통하여 적절한 초기결과를 도출할 필요성이 있으며, 이를 통하여 수리모형실험의 대상을 결정하고 결과를 비교한다면 경제적이고 합리적인 수리구조물의 설계와 평가가 가능하다. 본 연구에서는 최적의 여수로를 설계하기 위하여 월류형 여수로를 대상으로 수치해석을 수행하였고, 수리모형실험에 대한 실험적인 접근을 통하여 수리적 조건을 향상시킬 수 있는 보다 나은 설계안을 제시하였다. 이러한 수리모형실험 계측 결과를 통하여 개선된 수리구조물 설계안을 제안하였고, 개선된 설계안에 대한 개선효과를 조사하였다.

핵심용어: 수리모형실험, 수치해석, 수리구조물 설계

* 정회원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 교 수 · E-mail : leejk@hanyang.ac.kr
** 정회원 · 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정 · E-mail : leejh@yooshin.co.kr
*** 정회원 · 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정 · E-mail : orion@hanyang.ac.kr

1. 서론

여수로와 같은 3차원적인 수리구조물 설계시 수위별 방류량이 월류웨어(Overflow Weir)를 통과하여 도수로 및 감세지 등에서 발생하는 수리현상을 이론적으로 파악하기 위해서는 일반적으로 수리모형실험을 통하여 실제 현상을 모의하는 경우가 많다. 그러나 수리모형실험을 하기 위해서는 많은 시간과 공간 및 비용이 필요하며 실제 수리구조물을 축소시켜 측정하는 것은 대단히 어렵고 표면장력 등이 실험결과에도 상당한 영향을 미칠 수 있으며 다양한 경우의 실험은 현실적으로 불가능하다.

따라서, 광범위한 수리모형실험의 대안에 대한 선택의 폭을 좁히기 위하여 수치해석을 수행함으로써 적정한 초기결과를 도출할 필요성이 있으며, 이를 통하여 수리모형실험의 규모 및 대안을 결정하고 결과를 비교한다면 경제적이고 합리적인 구조물의 설계와 평가가 가능하다.

외국의 경우 컴퓨터와 소프트웨어의 발달로 단시간 내에 보다 경제적으로 결과를 예측할 수 있는 수치해석적인 시뮬레이션(Computational Fluid Dynamic Simulation) 방법이 오래 전부터 사용되어 왔으며, 국내의 경우에도 수리학 및 수문학과 관련된 문제를 해석하기 위하여 수치해석적인 방법이 일반화되어 가는 추세로 여수로 설계시 3차원 유체유동 수치해석을 적용하는 사례가 증가하고 있다.

2. 본론

2.1 수리모형실험 및 수치해석 비교

수리모형실험은 직관적으로 발생하는 문제점을 파악할 수 있고, 결과의 신뢰성을 인정받고 있으나, 모형의 제작에 비용 및 시간이 많이 소요되므로 다양한 조건에 대해 모의하기 어렵고, 축척에 따른 상사법칙의 오류가 발생할 수 있으며, 실험자에 의한 계측오류가 발생할 가능성이 있다.

반면에 수치해석은 모형의 구축 및 자료획득, 소요시간, 결과의 편의성 등 장점이 많이 있지만, 결과의 신뢰성을 확보하기 위해서는 수리모형실험을 통한 모형의 검·보정 과정이 필요한 단점이 있으며, 모형을 능숙하게 다루기 위한 숙련에 많은 시간과 노력이 필요하다.

표 1. 수리모형실험과 수치해석 비교

구 분	수리모형실험	수치해석
비 용	초기 수리모형실험 시설 및 장치 구축비 고가	프로그램 및 컴퓨터 구입비 상대적으로 저렴
실험내용	형상 및 실험조건 변화에 비용 및 시간 과다 소요	사용자의 필요에 따라 형상 및 조건의 변경 용이
자료획득	측정장치를 설치한 곳에서만 획득 가능	계산영역 모든 위치(격자점)에서 획득 가능
정 확 성	모형장치/실험의 오류가 없는 한 정확한 결과 입수가능	실험/해석해를 이용 보정을 통해 정확한 계산 가능
소요시간	실험 및 시설 설치에 장시간 소요	상대적으로 단기간에 다양한 결과 획득 가능
출력형태	비디오나 사진을 통한 현상 재연	시간별 동영상 및 그림을 통한 현상 규명/확인 가능
단 점	상사법칙 오류, 계측 오류 등 실험자의 오류발생 가능	정확한 모형작성 및 조작에 숙련도 및 많은 시간 필요

다양한 조건의 수치해석 결과를 이용하기 위해서는 가장 대표적인 경우에 대해 동일한 조건으로 수리모형실험을 수행하고, 결과를 비교하여 검증은 한 후에 사용하는 것이 타당하다. 일반적으로 수치해석과 수리모형실험의 결과를 비교하였을 때, 자유수면을 가지는 여수로의 경우 10~15% 정도 수치해석의 유량이 크게 나타나고 있으며, 유속 및 압력분포, 유향 등 유량을 제외한 결과는 유사하게 나타나고 있다. 압력 관수로에 대한 모의 결과는 비교적 정확하게 일치하며, 수문에 의해 오리피스 흐름이 발생하는 여수로의 유량도 수리모형실험과 유사하게 나타나는 것으로 파악되고 있다.

수치해석이 수리모형실험 결과와 차이나는 이유는 수치해에서 발생하는 오차, 수치해석시 격자의 크기, 조도계수, 수리모형실험의 불확실성에서 기인한다. 수치해석과 수리모형실험 결과를 비교하였을 때, 조도계수의 영향보다는 격자의 크기에 따른 영향이 더 큰 것으로 나타난다. 3차원 수치해석에서는 조도계수 보다는 3차원 구조물 형상에 따른 유체의 간섭효과가 훨씬 크게 유량에 영향을 미치는 것으로 파악되고 있다. 격자의 크기가 유량에 영향을 미치는 이유는 월류시의 수면과 격자를 얼마나 잘 일치시키는가에 따라 유량 산정 결과가 달라지기 때문이며, 격자가 조밀 할수록 정확도를 확보하지만, 많아진 격자에 따라, 계산시간이 그만큼 길어지는 결과가 발생한다. 또한, 수리모형실험의 불확실성에 의해 오차가 발생할 경우 현실적으로 보완할 수 있는 방법은 유량을 직접 측정하는 방법 외에는 없으므로 수리모형실험 결과는 참으로 하고, 수치해석결과를 보정하는 방법을 채택한다.

2.2 수행절차 및 범위

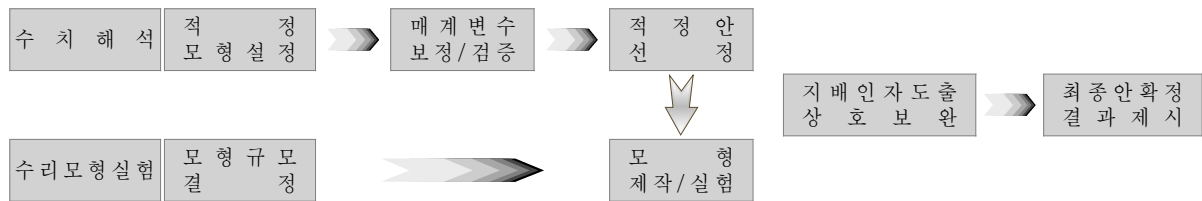


그림 1. 수리모형실험 및 수치해석 상호 보완·검증 수행절차

본 연구에서 수행한 여수로의 수리모형실험 및 수치해석 상호 보완·검증 절차는 먼저, 수치해석을 통한 기존안의 방류능력 및 수리특성을 검토하여 문제점을 도출하고 개선방향을 제시하여 기존안의 수리모형실험 성과와 비교·검토 후 문제점과 개선방향을 확인 한다. 도출된 문제점에 따른 개선방향을 제시하여 여러 대안을 선정하고 각 대안에 대한 수치해석을 수행하여 대안별 수리특성을 검토한 후 수치해석 결과를 토대로 개선안에 대한 수리모형실험의 제원, 규모 및 기초자료를 제공한다. 마지막으로 최종안에 대한 수치해석을 수행한 후 수리모형실험 결과와 비교·검토하여 최종안에 대한 적정성을 확인한다.

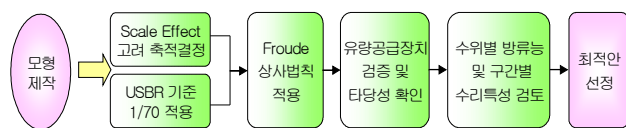


그림 2. 수리모형실험 수행절차



그림 3. 수치해석 수행절차



그림 4. 수리모형실험 범위

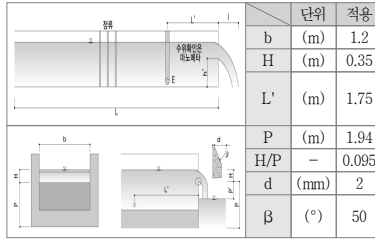


그림 5. 유량공급장치

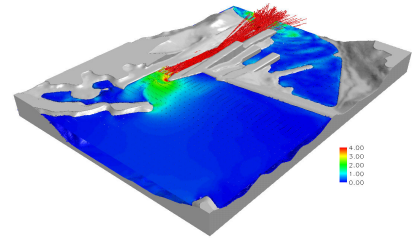


그림 6. 수치해석 범위

2.3 분석결과

수치해석 및 수리모형실험 상호 보완·검증을 수행한 결과 여수로의 방류능력을 확보하기 위해서 폭을 67.2m로 결정하였고, 유입부의 유입유향을 안정화하기 위하여 일부지형을 절취하거나, 사수역을 제거하였다. 유입부 바닥고는 주변의 지형특성을 고려하여 EL.147.0m로 결정하였고, 수로부 경사는 수리학적 안정성을 고려하여 1/6 으로 결정하였다. 또한, 유출부의 사출각도는 30도, Lip표고는 EL.120.0m로 결정하였고, 사출수의 낙하로 인한 에너지 감세를 위한 감세지의 바닥고는 EL.80.0m, 길이는 160m, 폭은 60m로 결정하였다.

표 2. 수리모형실험과 수치해석 상호 보완·검증 결과

구 분	유입부	수로부	유출부
수리모형 실험			
수치해석			

3. 결 론

본 연구에서는 최적의 여수로를 설계하기 위하여 월류형 여수로를 대상으로 수치해석을 수행하였고, 수치해석결과에 따른 수리모형실험의 위치 및 형식, 규모를 결정하여 제작 검수 후 실험을 수행하였다. 이러한 수리모형실험 계측결과를 통하여 개선된 수리구조물 설계안을 제안하였고, 개선된 설계안에 대한 개선효과를 확인하였다. 즉, 여수로와 같은 3차원 수리구조물을 설계할 경우 수리모형실험과 수치해석의 상호 보완·검증을 수행할 경우 보다 경제적이고 합리적인 수리구조물의 설계와 평가가 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 한국수자원공사(1994). 여수로 설계에 기준에 관한 연구, 수자원연구소.
2. ASCE Task Committee on Turbulence Models in Hydraulic Computation (1988). "Turbulence Modelling of Surface Water Flow and Transport".
3. Daly, B.J., "Numerical Study of the Effect of Surface Tension on Interface Instability".
4. Corps of Engineers, "Hydraulic Design Criteria", Department of the Army Waterway Experiment Station.