

수리모형실험과 FLOW-3D를 이용한 배수갑문 통수능력 검토 Estimation of Gate Discharge Capacity by Physical Model Test and FLOW-3D

박병준* · 이상화**

Byong Jun Park* and Sang Hwa Lee**

요 지 : 군장 국가산업단지(장항지구) 조성공사 후 단지를 가로지르는 솔리천 하구에 새로 건설될 배수갑문 설계안에 대해 축척모형을 제작하고 현장과 동일한 수리조건을 적용한 수리모형실험을 수행하여 통수능력을 검토함과 동시에 결과의 신뢰도 확보를 위해 상용 3차원 전산유체역학 코드인 FLOW-3D를 이용하여 수치모의를 실시하였다. 수리모형실험과 수치모의에서는 얻어진 통수능은 유사한 결과를 보여주었다.

핵심용어 : 배수갑문, 수리모형실험, FLOW-3D

Abstract : In this study, we estimated the discharge capacity of Solicheon sluice gate in Gunjang national industrial complex by hydraulic physical scale model test and FLOW-3D. It was showed that the discharge capacity of gate carried by physical model test and numerical analysis was similar.

Keywords : sluice gate, hydraulic physical scale model test, FLOW-3D

1. 서 론

1.1 과업개요

배수갑문은 외해로부터는 조수를 차단하고, 강우시 유역으로 유입되는 홍수 등을 배수하는 하구 구조물로 이상 조위에 따른 염해방지와 홍수조절을 담당하는 매우 중요한 매립·간척 수리시설물이라 할 수 있다. 본 연구의 대상 구조물인 솔리천 배수갑문은 충청남도 서천군 장항읍 장암리 솔리천 하구에 소재하여 옥남 방조제를 끼고 운영되고 있으나, 군장 국가산업단지 조성공사로 인하여 솔리천의 유로가 계획 호안선까지 연장됨으로 인해 기설 배수갑문을 철거하고, 신설 배수갑문의 건설이 계획되어 있다(Fig. 1.~Fig. 4., Table 1참고).

1.2 과업의 목적과 연구대상

본 과업은 군장 국가산업단지(장항지구) 조성공사 후 단지를 가로지르는 솔리천 하구에 새로 건설될 솔리천 배수갑문 설계 원안에 대해 물리축척모형을 제작하고 현장

과 같은 수리조건을 적용하여 수리구조물 주변의 수리현상을 검토함과 동시에 상용 3차원 전산유체역학 코드인 FLOW-3D를 이용하여 수치모의를 실시함으로써 실험 결과의 신뢰도를 확보하여 대안 설계를 위한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있으며, 본 연구에서는 배수갑문의 통수능력에 초점을 맞추어 분석을 하였다.

2. 실험조건

실제 현장에서는 하천의 유량과 해수의 조위가 시간에 따라 변하지만, 본 연구에서는 통수능력이 검토대상이므로 정상류 상태에서의 상하류의 수위차로 경계조건을 설정시켰으며, 유역의 홍수를 배제하고, 염수의 역류를 방지하는 배수갑문의 역할을 고려하여, 하류의 경계조건은 Fig. 5에 도시된 범위(대상지구의 A.H.H.W.와 A.L.L.W. 사이)에서 1 m 단위로 나누어 실험을 수행하였다.

한편, 솔리천 배수갑문은 사수위 EL.(-)2.50 m로 최저수위는 확보하되, 상류의 관리수위가 없는 형식으로 설계되어 있

*한국농촌공사 농어촌연구원 수리시험연구팀 연구원(Corresponding author: Byong Jun Park, Hydraulic Div., Rural Research Institute, KRC, Ansan, Gyeonggi-Do, 151-742, Korea, jiwahajal@ekr.or.kr)

**동아대학교 토목공학과 하천·항만연구실 교수(Sang Hwa Lee, Dep. of Civil Engineering, Dong-a University, Busan 604-714, Korea, shlee@dau.ac.kr)

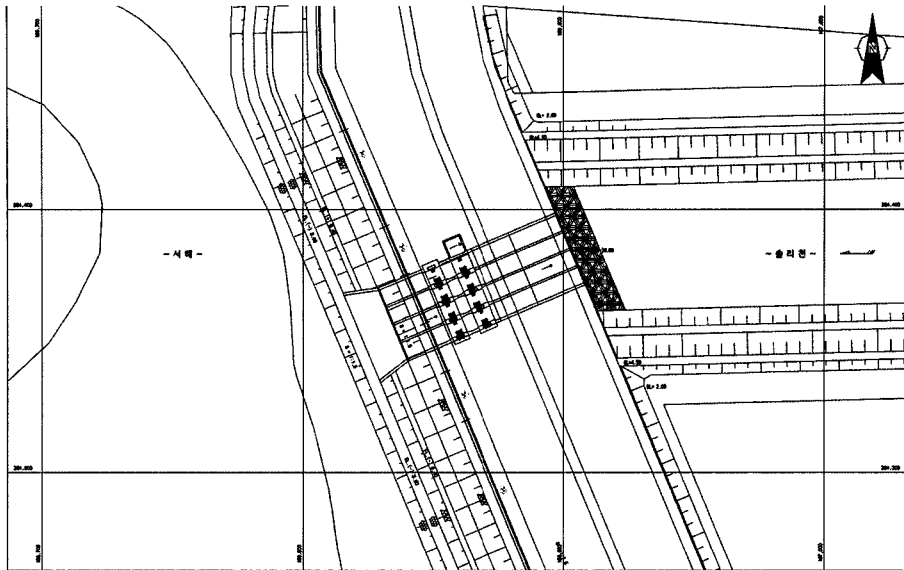


Fig. 1. Plane view of solicheon gate structure.

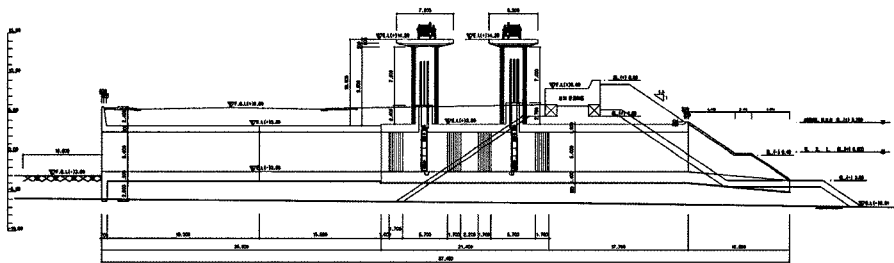


Fig. 2. Cross section view of solicheon gate structure (1).

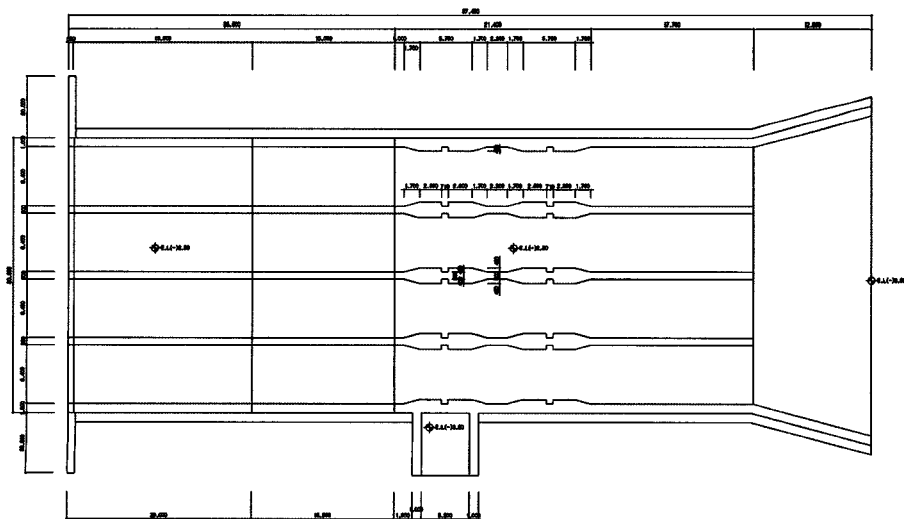


Fig. 3. Cross section view of solicheon gate structure (2).

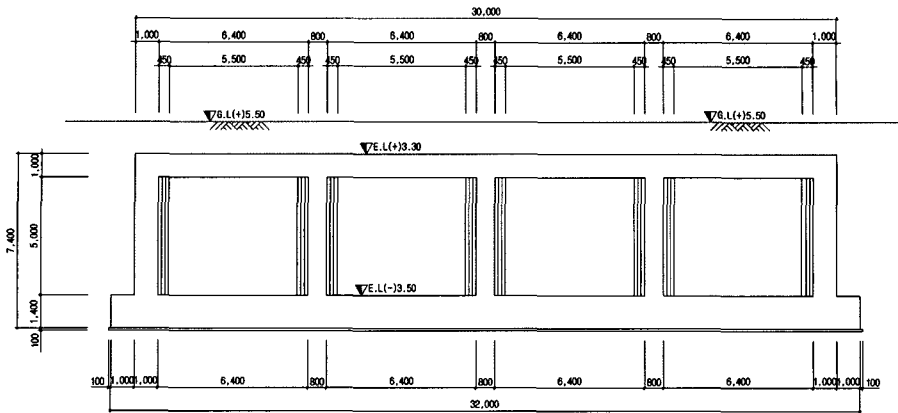


Fig. 4. Cross section view of solicheon gate structure (3).

Table 1. The specification of gate structure

구분	내용
설치위치	충청남도 장항읍 장암리 솔리천 하구
배수문규격	5.50 m × 5.00 m × 4연 × 2열 (이중화 수문)
배수문 Sill 표고	EL.(-)2.500 m
유로연장	3.00 km
유수지 용량	1,221,750 m ³ (제방고 EL.(+)4.500 m)
유수지 제방고	EL.(+)4.500 m
유수지 상류하단표고	EL. 0.000 m
유수지 하류하단표고	EL.(-)3.000 m
배수문부지정지고 결정	- 현지반고 : EL.(+)2.760 m ~ EL.(+)2.940 m - 현부두 상부고 : EL.(+)8.060 m (상치콘크리트) - 배수문 지반고 : EL.(+)6.000 m - 배수문 계획고 : EL.(+)13.700 m (전기시설 기준, 권양기실)
기타	제방고 및 홍수위 EL.(+)3.750 m, 군산항 고극조위 EL. (+)3.739 m를 고려하여 배수문의 안정적인 유지관리를 위하여 여유고를 고려한 배수문의 지반고를 EL.(+)6.000 m으로 권양기실 및 전기시설 계획고를 EL.(+)13.700 m으로 계획 설계

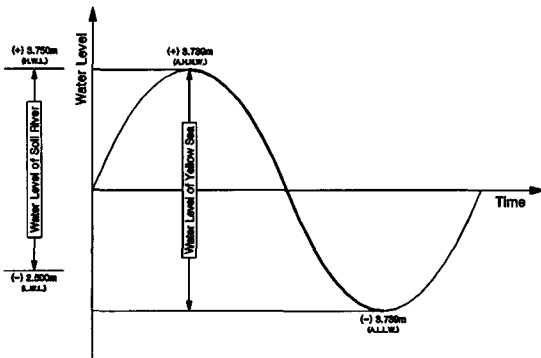


Fig. 5. The range of boundary condition.

으므로, 상류의 경계조건은 극한 상황인 홍수위로 유지하고, 하류의 경계조건을 자유유출이 되도록 하여 가능 최대 방

류능력을 검토하기 위한 실험과 하류의 경계조건을 실제 현장 여건에 맞추었을 때의 방류능력을 검토하기 위한 실험으로 나누어 접근하기로 하였으며, 요약하면 Table 2 와 같다.

3. 배수갑문에서의 수리현상

배수갑문 조작에 의해 발생하는 유황을 분류해보면 Fig. 6 과 같이 크게 오리피스형 흐름과 자유수면형 흐름으로 볼 수 있는데 오리피스형 흐름은 자유유출형과 수중유출형으로 나눌 수 있고, 자유수면형 흐름은 광정위어형 흐름과 한계류로 분류한다. 과업을 수행함에 있어 문비의 개도에 따른 통수능력과 유량계수, 수면형상 등을 수리모형실험으로 검토를 하였으나 앞서 밝힌 바와 같이 본 연구에서

Table 2. The range of boundary condition

실험코드	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
호측수위(EL. m)					(+3.750				
해측수위(EL. m)	(-3.739 ALLW	(-3.000	(-2.000	(-1.000	0.000	(+1.000	(+2.000	(+3.000	(+3.739 ΔHHW
낙 차(m)	7.489	6.750	5.750	4.750	3.750	2.750	1.750	0.750	0.011

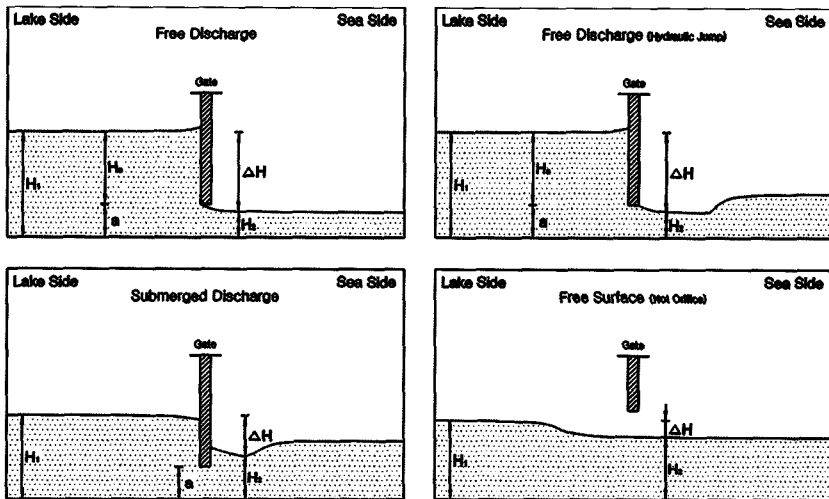


Fig. 6. The Hydraulic Profile at Sluice Gate.

는 문비의 영향을 전혀 받지 않는 자유수면형 흐름에 대한 통수능력을 수리모형실험과 수치모의로 검토하는 것을 대상으로 하므로 오리피스형 흐름에 대한 내용은 언급하지 않기로 한다.

4. 수리모형실험

수리모형실험은 경기도 안산시에 소재한 한국농촌공사 농어촌연구원 수리종합시험연구동에서 수행되었다.



Fig. 7. The process of building physical scale model.

Table 3. The result of physical scale model test

실험코드	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
호측수위(EL. m)	(+)3.750								
해측조위(EL. m)	(-)3.739 ALLW	(-)3.000	(-)2.000	(-)1.000	0.000	(+)1.000	(+)2.000	(+)3.000	(+)3.739 AHHW
낙 차(m)	7.489	6.750	5.750	4.750	3.750	2.750	1.750	0.750	0.011
방 류 량(m ³ /s)	570	569	568	568	565	556	547	403	39

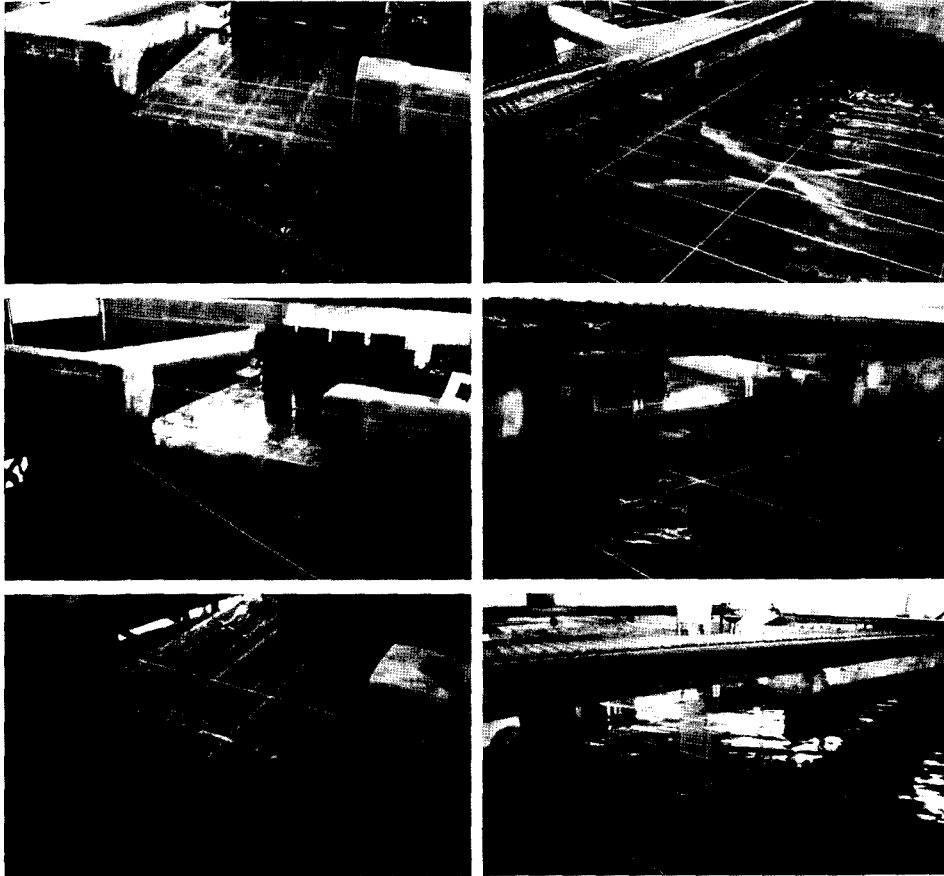


Fig. 8. The scene of physical scale model test.

4.1 모형의 제작

배수갑문 모형은 실험에서 원하고자 하는 자료와 실험 장소의 공간, 기타 보조 설비의 위치를 고려하여 축척 1/30의 정상모형으로 제작하였으며, 모형의 범위는 배수갑문을 중앙으로 상류방향으로 300 m, 하류방향으로 200 m 까지 구성되었고, 배수갑문 부근에서의 흐름을 지배하는 주된 힘은 중력이므로 Froude 상사를 적용하였다. 원형에서 갑문 본체에 해당하는 에이프런과 피어는 콘크리트로 만들어지고, 갑문은 강철로 만들어지므로 축소 모형에서는 매끄러운 재료를 요구하게 된다. 따라서 에이프

런, 피어, 갑문 등의 모형 재료는 아크릴이 사용되었으며, 물을 흡수함으로써 생기는 체적변화가 없도록 하였다. 유황을 관측하기 위하여 갑문 본체는 투명 아크릴로 제작되었고, 일정 간격으로 방안눈금을 삽입하였다. 또한, 배수갑문의 상·하류 구간은 블록으로 벽체를 조적하고, 방수 미장을 하였다. 수로의 바닥은 모래 매움 및 물다짐을 한 후 고저측량을 통해 높이를 맞추어 3 cm의 시멘트 몰탈로 미장하여 양생 처리하였으며, 아크릴로 제작된 갑문 본체와의 연결부는 충전재를 사용하여 틈새를 채우고, 에폭시를 도색하여 누수를 막았다. 그 외, 각종 측

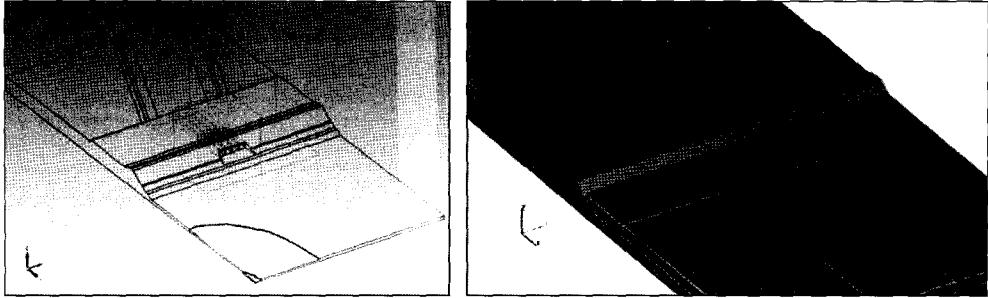


Fig. 9. Construction of 3D Numerical Model.

정을 용이하게 하기 위한 보조 시설물로 이동대차를 설치하여 유황에 방해가 되지 않도록 하여 측정에 정확성을 기하도록 하였다.

4.2 실험결과

신설 솔리드 배수갑문의 방류능력을 검토해보았다. 호측이 계획 홍수위 EL.(+)3.750 m에 도달하고, 해측이 약 최저저조위 EL.(-)3.739 m에 도달할 경우 570 m³/s를 방류하였고, 하류측이 약최고고조위 EL.(+)3.739 m에 도달할 경우에는 39 m³/s를 방류하였다. 한편, 좌안에 해당하는 GATE1 유입부에서 편수심, 공기혼입, 와류 등이 관측되었다. 이는 유출부가 호안을 직교하여 관통하도록 설계가 되어, 상류측 유입부는 하천의 선형과 나란하지 않게

접하는 이유로 판단되며, 하천의 선형을 배수갑문 구조물과 완만하게 접할 수 있도록 변경하거나, 배수갑문 구조물의 평면 배치(방향)를 변경하는 방법으로 개선이 될 것으로 판단된다.

5. 수치모의

5.1 모형의 구성

본 연구에서는 3차원 상용 전산유체역학 코드인 FLOW-3D Ver.9.21이 사용되었다. 3차원 수치모의는 3차원으로 작성된 기하학적 자료의 입력을 요구하게 된다. 본 과업에서의 기하학적 자료는 2차원으로 작성된 계획도면을 바탕으로 Solid Edge Ver. 20을 이용하여 3차원 도면을 작성

Table 4. The result of numerical model test

실험코드	호측수위 (EL. m)	해측조위 (EL. m)	낙차 (m)	방류량 (m ³ /s)				
				GATE1	GATE2	GATE3	GATE4	TOTAL
F1		(-)3.739	7.489	142.77 (23.3%)	156.31 (25.5%)	156.63 (25.6%)	157.02 (25.6%)	612.72
F2		(-)3.000	6.750	137.90 (23.1%)	148.53 (24.9%)	150.99 (25.3%)	159.52 (26.7%)	596.94
F3		(-)2.000	5.750	137.97 (23.7%)	148.54 (25.5%)	149.70 (25.7%)	146.60 (25.2%)	582.80
F4		(-)1.000	4.750	137.12 (23.6%)	148.71 (25.6%)	151.40 (26.1%)	142.68 (24.6%)	579.91
F5	(+)3.750	0.000	3.750	135.38 (23.4%)	147.40 (25.5%)	148.77 (25.7%)	147.46 (25.5%)	579.01
F6		(+)1.000	2.750	136.93 (23.7%)	146.27 (25.3%)	148.92 (25.8%)	145.64 (25.2%)	577.76
F7		(+)2.000	1.750	131.63 (23.0%)	146.68 (25.6%)	149.62 (26.1%)	144.94 (25.3%)	572.87
F8		(+)3.000	0.750	92.31 (21.9%)	111.78 (26.5%)	113.88 (27.0%)	103.52 (24.6%)	421.49
F9		(+)3.739	0.011	9.91 (24.1%)	10.48 (25.5%)	10.53 (25.6%)	10.22 (24.8%)	41.14

후 STL 파일을 생성하였다. 격자의 범위는 배수갑문을 기준으로 상하류 각각 200 m, 제방 노선을 기준으로 남북 각 100 m로 한정하여 400 m(X) × 100 m(Y) × 13 m(Z)로 작성되었고, 약 1,760,304개의 가변격자로 구성하였다. 그 외 물성치는 중력의 경우 -9.8066 m/s^2 , 유체의 밀도는 $1,000 \text{ kg/m}^3$ 로 하였고, 난류해석 기법은 RNG, 자유할주 조건으로 선택하였으며, 모의시간은 600초로 하였다.

5.2 모의결과

신설 솔리천 배수갑문의 방류능력을 검토해보았다. 호

측이 계획 홍수위 EL.(+)3.750 m에 도달하고, 해측이 약 최저저조위 EL.(-)3.739 m에 도달할 경우 $613 \text{ m}^3/\text{s}$ 를 방류하였고, 하류측이 약최고고조위 EL.(+)3.739 m에 도달할 경우에는 $41 \text{ m}^3/\text{s}$ 를 방류하였다. 이 결과는 수리모형 실험보다 약 2~7% 가량 더 큰 값이지만, Table 4에 나타난 바와 같이 각 배수문별 방류분담률을 검토해 본 결과 수리모형실험에서 편수심과 외류를 보였던 GATE1의 방류분담률이 가장 낮은 것으로 나타나 정성적인 결과는 매우 유사함을 알 수 있다.

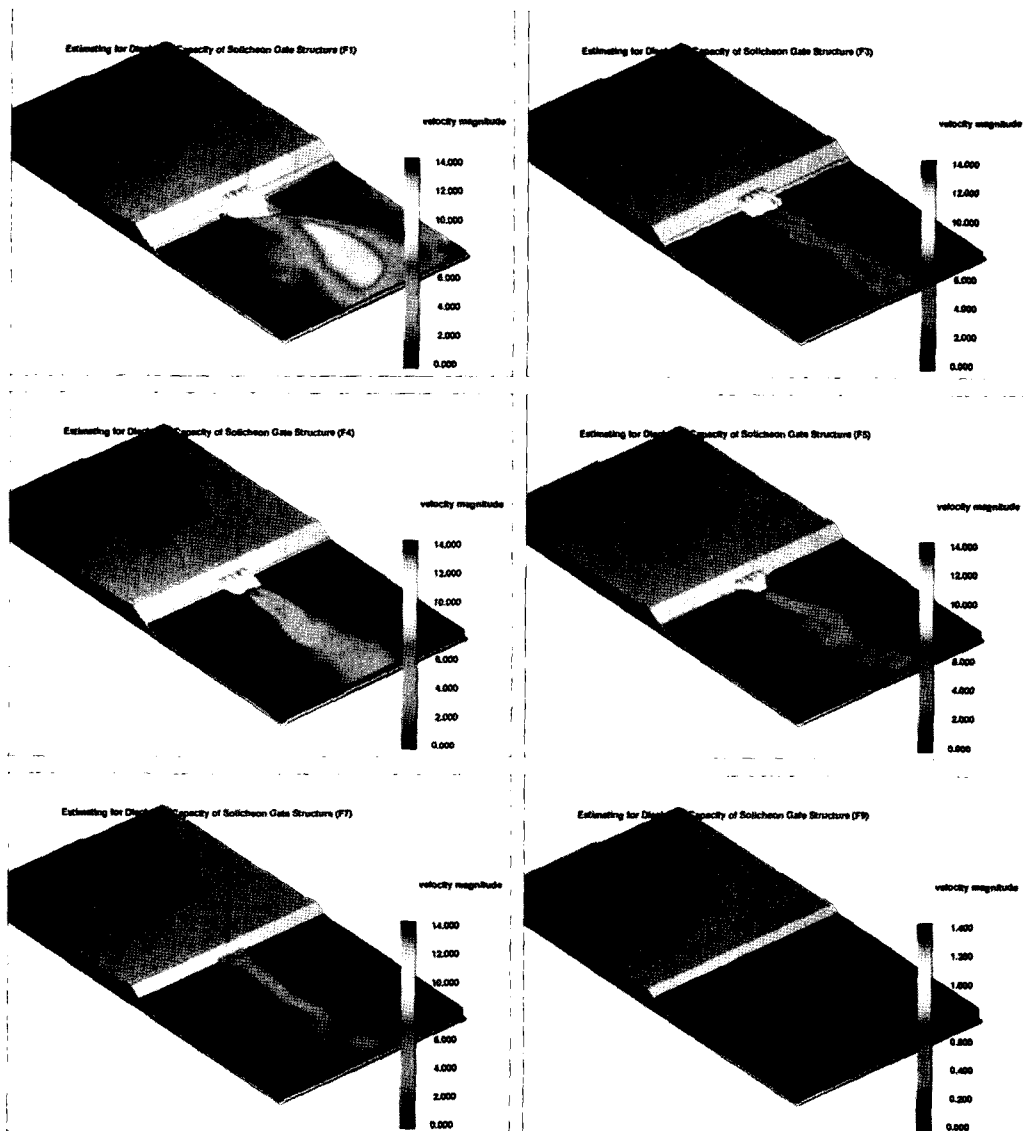


Fig. 10. The scene of 3D numerical model test.

Table 5. Comparison of the Result between Physical and Numerical Test

실험코드	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
호측수위 (EL. m)					(+)3.750				
해측조위 (EL. m)	(-)3.739 ALLW	(-)3.000	(-)2.000	(-)1.000	0.000	(+)1.000	(+)2.000	(+)3.000	(+)3.739 AHHW
낙 차 (m)	7.489	6.750	5.750	4.750	3.750	2.750	1.750	0.750	0.011
물리방류량 (m ³ /s)	570	569	568	568	565	556	547	403	39
수치방류량 (m ³ /s)	612.72	596.94	582.80	579.91	579.01	577.76	572.82	421.49	41.14
방류량차 (m ³ /s)	-42.72	-27.94	-14.80	-12.91	-19.01	-21.76	-25.82	-18.49	- 2.14
방류량차 (%)	7%	5%	3%	2%	3%	4%	5%	4%	5%

6. 결 론

군장 국가산업단지(장항지구) 조성공사 후 단지를 가로지르는 솔리천 하구에 새로 건설될 솔리천 배수갑문 설계 원안에 대해 물리축척모형을 제작하고 현장과 같은 수리조건을 적용하여 통수능력을 검토함과 동시에 결과의 신뢰도 확보를 위해 상용 3차원 전산유체역학 코드인 FLOW-3D를 이용하여 수치모의를 실시하였다. 그 결과 수리모형실험과 수치모의에서는 얻어진 통수능은 Table 5와 같이 2~7% 가량의 차이를 보였으나 정성적인 결과가 유사하고, 배수갑문 유입부와 유출부의 수면형상과 본 연구에서 언급하지 않은 유향분포는 수리모형실험과 수치모의 모두 유사한 결과를 보이고 있어 수리모형실험과 수치모의는 실제 수리현상을 잘 재현한 것으로 판단된다.

따라서 본 연구의 결과는 실제 현장에서 배수갑문을 운영하는데 있어 중요한 자료가 될 것으로 기대된다. 그러나 본 연구는 배수갑문 본래의 기능인 홍수배제 측면에서 접근하므로 호측을 홍수위로 가정하고 통수능력을 검토하는 것으로 한정되는 것에 유의할 필요가 있으며, 와류로 인한 공기 혼입현상은 FLOW-3D로 재현되지 않아 수리모형실험 결과에 비하여 큰 유량 값을 나타낸 것으로 판단된다. 한편, 유속 및 유향에 대한 검토는 3차원 상용 전산유체역학 코드인 CFX로 선형연구(이상화 등, 2007)

가 된 사례가 있으므로 그 결과를 추후 FLOW-3D 결과와 벤치마킹하면 기대 이상의 성과물이 얻어질 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구 중 수리모형실험은 GS건설(주)와 (주)건일엔지니어링의 용역 의뢰로 실시되었으며, 수치모의는 농어촌연구원 수리시험연구팀의 고속전산기를 활용하여 수행하였습니다. 연구를 가능케 한 담당자 분들에게 감사드립니다.

참고문헌

- 권숙국, 나정우 (1986). 배수갑문의 유량계수 결정에 대한 실험적 연구. 한국농공학회지, 28(1), 51-59.
- 김남일 (2003). Investigation of Scale Effects of Hydraulic Model for Dam Spillway Using 3-D CFD Model. 박사학위논문, 서울대학교.
- 박영숙, 황보연, 박병준 (2004). 새만금 수리모형실험 보고서. 농업기반공사.
- 이상화, 장은철, 하재율 (2007). 배수갑문 주위의 흐름현상에 대한 3차원 난류 수치모형과 수리모형실험의 비교. 한국해양해양공학회, 19(2), 162-169.
- FLOW-3D User Manual V9.20 (2007). Flow Science Inc.

Received March 23, 2008

Accepted March 31, 2008