

치수종합계획에 따른 낙동강 하구둑 부근의 수위 저감효과 분석

Effects of Water Level Reduction in Nakdong River Estuary Barrage by the Flood Plan

이배성*, 황만하**, 이상진***, 강신욱****
Bae Sung Lee, Man Ha Hawng, Sang Jin Lee, Shin Uk Kang

요지

최근 들어 기상이변으로 집중호우가 발생하여 막대한 홍수피해를 야기하고 있으며, 2003년 발생한 태풍 매미는 전국적으로 엄청난 피해를 유발하였다. 낙동강 유역에서는 이 기간동안 유입유량이 단기간에 집중적으로 유입하는 양상을 나타냈으며, 특히 남강유역 및 밀양강의 유입량 규모는 예년 홍수규모에 비해서 상당히 큰 유입량이 발생하여, 제방과 저수지가 붕괴되어 수많은 재산피해를 남겼다. 이에 건설교통부에서는 낙동강 유역종합치수계획을 수립, 검토하여 유역의 항구적인 수해방지를 위한 방안을 마련하고자 하였다. 본 연구에서는 낙동강 하구둑부근의 치수종합대책(안) 중 우안배수문의 확장방안($47.5 \times 9.2 \times 6$ 면)에 대하여 홍수위 저감효과를 분석함으로써 향후 치수방재대책수립에 만전을 기하고자 하였다. 홍수위 저감효과 분석시 선정된 수리특성분석 모형으로는 유한요소법에 기반을 둔 RMA-2모형의 범용프로그램인 SMS 모형을 이용하였으며, 상류단의 경계조건으로는 유역종합치수계획과 동일한 200년빈도 설계홍수량 조건을 선정하였고, 보다 정확한 분석을 위해 낙동강 하구둑 하류 10km지점에 위치한 명지 조위관측소의 예측조위를 하류단의 경계조건으로 이용하였다. 분석결과 최대수위 발생시간은 대조기 창조시인 약 60시간 후이고, 하구둑 우안배수문을 확장할 경우 하구둑 내측수위가 최대 약 1.32m 저감되는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 낙동강 하구둑, 치수종합계획, 조위, 2차원 흐름분석

1. 서론

최근 들어 기상이변으로 집중호우가 발생하여 막대한 홍수피해를 야기하고 있으며, 2003년 발생한 태풍 매미는 전국적으로 엄청난 피해를 유발하였다. 낙동강 유역에서는 이 기간동안 유입유량이 단기간에 집중적으로 유입하는 양상을 나타냈으며, 특히 남강유역 및 밀양강의 유입량 규모는 예년 홍수규모에 비해서 상당히 큰 유입량이 발생하여, 제방과 저수지가 붕괴되어 수많은 재산피해를 남겼다. 이에 건설교통부에서는 낙동강 유역종합치수계획(건설교통부, 2006)을 수립, 검토하여 유역의 항구적인 수해방지를 위한 방안을 마련하고자 하였다. 본 연구에서는 낙동강 하구둑부근의 치수종합대책(안) 중 우안배수문의 확장방안($47.5 \times 9.2 \times 6$ 면)에 대하여 홍수위 저감효과를 분석함으로써 향후 치수방재대책수립에 만전을 기하고자 한다.

홍수위 저감효과 분석시 선정된 수리특성분석 모형으로는 유한요소법에 기반을 둔 RMA-2모형의 범용프로그램인 SMS 모형을 이용하였다. 본 연구에서와 같이 수치모형을 이용하여, 분석대상 구간내 수리특성변화 분석을 실시한 선행연구로는 김근원과 손광익(2001)이 이차원 해석 모형간 흐름 특성을 비교·실험한 바 있으며, 김현석 등(2004)은 SMS모형을 이용하여 보 철거로 인한 하상변동 양상을 분석하였다. 또한 한국수자원공사(2004)에서는 하구둑 조위를 고려하여 낙동강 하류부에 대한 수치모의실험을 수행한 바 있다.

* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 수자원환경연구소 공동연구원 · E-mail : baesung@hannam.ac.kr
** 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 수자원환경연구소 수석연구원 · E-mail : mhwang@kwater.or.kr
*** 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 수자원환경연구소 선임연구원 · E-mail : sjlee@kwater.or.kr
**** 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 수자원환경연구소 연구원 · E-mail : sukang@kwater.or.kr

2. 모형의 기본 이론

SMS는 2차원적 수리현상을 모의하기 위한 전처리 과정에 입력되는 자료와 계산수행의 용이하고, 해석결과의 출력을 표현하는데 있어서 사용자에게 편리한 기능을 가지고 있는 원도우용 응용프로그램을 제공하고 있다. 본 모형에서는 유한요소기법에 의해 수위, 유속, 유황 등을 산정하며, 비교적 수심이 얕은 흐름에서는 수심방향으로 적분 평균유속을 사용하여 천수흐름에서 상류, 자유수면에 대해 수위와 수평방향의 유속성분을 계산한다(RMA-2 User's Manual, 1997). SMS 모형에서는 계산 수행을 위한 전처리단계인 GFGN과 하천의 동수역학적 흐름해석을 위한 RMA-2 모형이 수행되어지며, 특히 RMA-2 모형은 2차원 동수역학적 모형을 해석하기 위해 수심평균을 취하여 혼합보간법을 적용하고, 하천, 항구 또는 하구와 같은 수역을 대표하는 유한요소망의 각 격점에서의 수위 및 유속을 계산한다. RMA-2 모형에서는 2차원 질량 연속방정식과 천수방정식을 사용하며, 다음 식 (1) ~ 식 (3)과 같다.

$$\frac{\partial z}{\partial t} + u \frac{\partial(hU)}{\partial x} + v \frac{\partial(hV)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -\left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial x} + g \frac{\partial z}{\partial x}\right) + \frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho h} + F_{Bx} + \nu \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2}\right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -\left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial y}\right) + \frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho h} + F_{By} + \nu \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2}\right) \quad (3)$$

여기서 P_a = 수면에서의 대기압, U = x 방향 속도 성분, V = y 방향 속도 성분, τ_s = 수면에서의 바람응력, τ_b = 바닥마찰응력, F_B = 단위질량당 체적, ρ = 유체의 밀도, t = 시간, g = 중력가속도이다.

3. 연구대상구간 선정 및 입력자료 구축

한국수자원공사에서는 매년 접근수로 내의 퇴적된 퇴사의 양상을 파악하기 위해 낙동강 하구둑을 기준으로 상류 접근수로 3km ~ 하류 접근수로 5km 구간에 대하여, 홍수기 전·후에 하상 퇴사측량을 실시함은 물론 설계된 접근수로의 통수단면을 확보하기 위해 일정한 하상을 유지하기 위한 준설 작업을 실시하고 있다. 이에 본 연구에서는 정확한 지형자료를 이용하여 2차원 흐름분석을 실시하기 위해, 분석대상 구간으로 퇴사측량 및 준설 작업구간을 연구 대상구간으로 선정하였다. 연구 대상구간의 지형자료는 2005년 홍수기전 준설자료를 이용하여 구축하였으며 다음 그림 1과 같고, 그림에서 보는 바와 같이 좌안 접근수로부에 비해 우안 접근수로부의 지형이 다소 높은 것으로 조사 되었다. 그림 2는 분석대상구간에서 2차원 흐름분석을 위한 격자망 구성을 나타낸 것으로, 총 Node 수는 5,186개, 총 Element 수는 1,642개 이다.

본 연구에서는 상류단의 경계조건으로는 그림 3과 같이 유역종합치수계획과 동일한 200년빈도 설계홍수량 조건을 선정하였고, 보다 정확한 분석을 위해 낙동강 하구둑 하류 10km지점에 위치한 명지 조위관측소의 예측조위(그림 4)를 하류단의 경계조건으로 이용하였다. 그림 4의 예측조위는 2003년에 발생한 태풍매미('03 9/11 ~ 20) 내습시 예측된 조위이며, 2003년 발생한 태풍 매미는 전국적으로 엄청난 피해를 유발하였으며, 낙동강 유역에서는 이 기간동안 유입유량이 단기간에 집중적으로 유입하는 양상을 나타내었고, 특히 남강유역 및 밀양강의 유입량 규모는 예년 홍수규모에 비해서 상당히 큰 유입량이 발생하여, 제방과 저수지가 붕괴되어 수많은 재산피해를 남겼다.

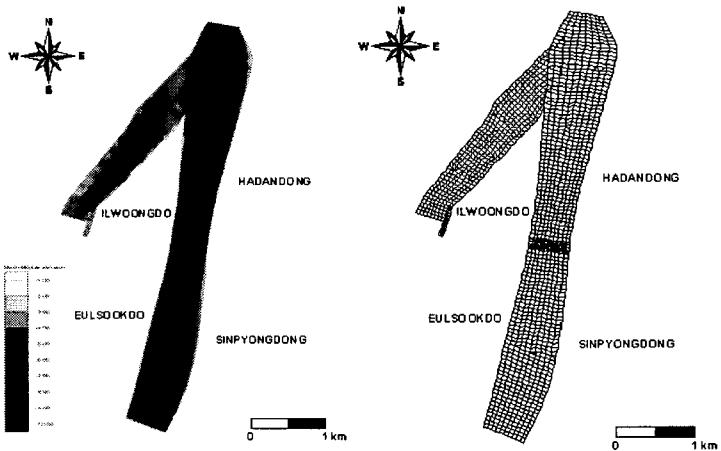


그림 1. 연구대상 구간선정
및 지형자료 구축

그림 2. 분석대상 구간의
격자망 구성도

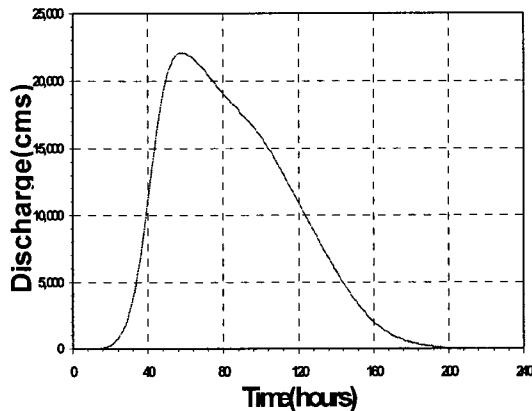


그림 3. 상류단 경계조건(200년빈도
설계홍수량)

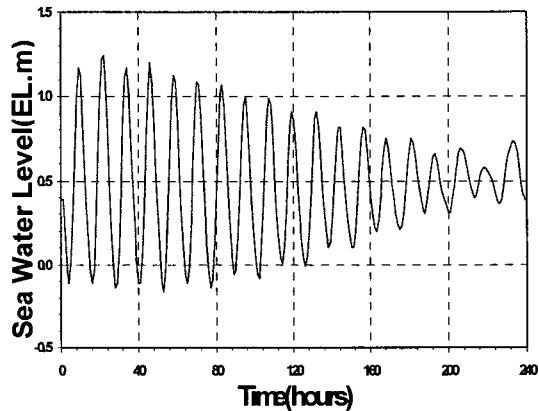


그림 4. 하류단 경계조건(명지조위 관측소의
예측조위 : '03년 태풍매미)

4. 치수종합계획에 따른 수리특성변화 분석

앞 절에서 언급한 상-하류 경계조건을 입력 자료로 하여 낙동강 하구둑의 현재 운영조건과 치수종합대책(안) 중 우안배수문의 확장방안($47.5 \times 9.2 \times 6$ 면) 조건에 대하여 2차원 수리모형을 이용한 홍수위 저감효과를 분석하였으며, 또한 하구둑의 주수로 배수문의 방류량과 우안배수문의 방류량 배분에 대해서도 검토하였다. 이와 같은 분석을 통해 향후 낙동강 하구둑에 대한 치수방재대책수립에 만전을 기하고자 하였다. 치수종합계획에 따른 낙동강 하구둑 부근의 수리특성변화는 다음과 같다.

4.1 하구둑 내측수위 저감효과 분석

낙동강 하구둑의 현재 운영조건과 치수종합계획조건에 대한 하구둑 내측수위 변화는 다음 그림 5와 같고, 내측수위 최대 상승시에 대한 수위 변화는 다음 표 1과 같다. 그림 5에서 보는 것과 같이 홍수발생 전시간에 걸쳐 우안배수문 확장에 따른 수위저감효과가 상당한 것으로 조사되었다. 특히 표 1에서 보는 것과 같이 하구둑 내측수위를 기준으로 현재 운영조건에서는 최대 수위상승이 EL.3.66m까지 발생하였고, 치수종합계획조

건에서는 EL.2.52m까지 수위가 상승하는 것으로 나타났으며, 우안배수문의 확장에 따른 하구둑 내측수위가 최대 1.32m까지 저감되는 것으로 분석되었다.

표 1. 하구둑 내측수위 최대 저감효과 분석

입력조건		하구둑 최대 내측수위(EL.m)		
상류경계(cms)	하류경계(EL.m)	현재	치수종합계획	수위차
200년빈도 설계홍수량	명지조위 관측소의 예측조위('03년 태풍매미)	3.66	2.52	1.32(\triangle)

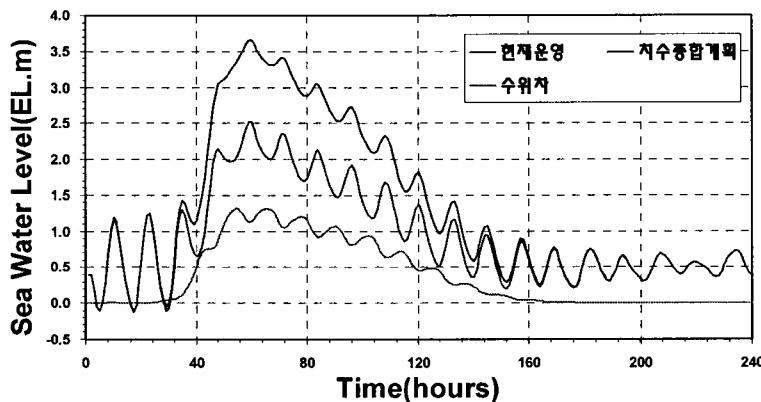


그림 5. 하구둑 내측수위 변화

4.2 하구둑 방류량 변화 분석

본 연구에서는 하구둑 내측수위 저감효과 분석과 함께 하구둑 방류량 배분에 대하여 추가적인 분석을 실시하였으며, 다음 그림 6 및 표 2는 하구둑 내측수위가 최대 상승시 하구둑의 우안배수문 및 주수로 배수문의 방류량 분담비율을 나타낸 것이다. 그림 6 및 표 2에서 보는 것과 같이 현재 운영조건에서는 상류 유입 홍수량 21,504.8cms에 대한 분담량은 우안배수문 1,907.8cms(8.87%), 주수로 방류량 19,484.5cms(90.61%), 총 21,392.3cms(99.48%)가 방류되는 것으로 나타났으며, 우안배수문을 확장할 경우에 우안배수문의 분담량은 9,546.6cms(44.39%)이고, 주수로 배수문의 방류량은 12,152.6cms(56.51%)로, 총 21,699.2cms(100.90%)의 홍수가 배제되는 것으로 조사되었다.

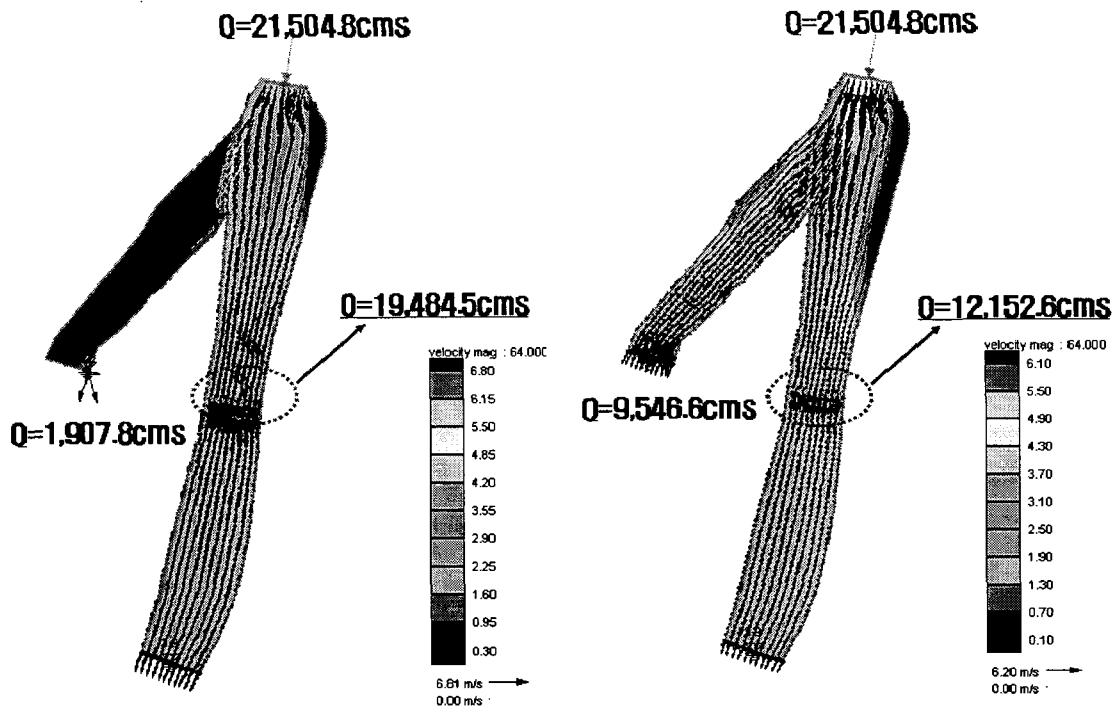


그림 6. 하구둑 방류량 변화 분석(하구둑 내측수위 최대 상승시)

표 2. 하구둑 방류량 분담 비율 검토

상류유입량 (cms)	우안배수문 방류량(cms)			주수로 배수문 방류량(cms)		
	현재 조건	치수 종합계획	증·감분	현재 조건	치수 종합계획	증·감분
21,504.8	1,907.8 (8.87%)	9,546.6 (44.39%)	▲7,638.8 (△35.52%)	19,484.5 (90.61%)	12,152.6 (56.51%)	▼7,577.3 (▽34.1%)

주) ()의 값은 상류유입량에 대한 분담비율이다.

결국 우안배수문을 확장함에 따라 우안배수문의 분담량은 7,638.8cms, 약 35.52% 증가한 반면, 주수로 배수문은 7,577.3cms, 약 34.1% 가량 감소하여 총 306.9cms, 약 1.42% 정도의 홍수가 추가 방류되는 것으로 분석되었다. 따라서 우안 배수문을 확장할 경우 유입되는 홍수량에 대한 배제효과는 그리 크지 않지만, 수위 저감효과는 매우 큰 것으로 조사되어 향후 제방월류 방지 대책과 같은 치수방재대책에 커다란 효과가 있는 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구에서는 낙동강 하구둑부근의 치수종합대책(안) 중 우안배수문의 확장방안($47.5 \times 9.2 \times 6$ 면)에 대하여 홍수위 저감효과를 분석함으로써 향후 치수방재대책수립에 만전을 기하고자 하였다. 홍수위 저감효과 분석 시 선정된 수리특성분석 모형으로는 유한요소법에 기반을 둔 RMA-2모형의 범용프로그램인 SMS 모형을 이용하였으며, 상류단의 경계조건으로는 유역종합치수계획과 동일한 200년빈도 설계홍수량 조건을 선정하였고, 낙동강 하구둑 하류 10km지점에 위치한 명지 조위관측소의 예측조위를 하류단의 경계조건으로 이용하였다. 분석결과 하구둑 내측의 최대수위 발생시간은 대조기 창조시인 약 60시간 후이고, 하구둑 우안배수문을 확장할 경우 하구둑 내측수위가 최대 약 1.32m 저감되는 것으로 나타났으며, 유입 홍수량에 대한 우안배수문의

분담비율이 약 35.52% 증가한 반면, 주수로 배수문의 분담비율은 약 34.1% 가량 감소하는 것으로 분석되었다. 따라서 우안 배수문을 확장할 경우 유입되는 홍수량에 대한 배제효과(약 1.42%)는 그리 크지 않지만, 수위 저감효과는 매우 큰 것으로 조사되어 향후 제방월류 방지대책과 같은 치수방재대책에 커다란 효과가 있는 것으로 분석되었다. 그러나 낙동강 유역치수종합계획(건설교통부, 20006)에 따르면 최대 수위 저감효과가 2.06m인 것으로 분석한바 있으며, 이와 같이 수위저감 효과분석에 있어서 커다란 차이를 보이는 이유는 치수 종합계획에서는 계획홍수위를 가감하여 12시간의 주기를 갖는 하류단 경계조건을 이용한 것과 분석 대상구간 및 지형자료가 상이하기 때문인 것으로 판단된다. 본 연구에서는 수리특성분석시 최근의 지형측정자료(2005년)를 이용하였고, 하류 경계조건으로 하구둑 방류량의 영향을 받지 않는 명지조위 관측소의 예측조위를 입력자료로 활용한바, 본 연구를 통해 모의된 내측수위 및 방류량이 보다 현실에 가까운 값으로 사료된다. 그러나 본 연구에서는 명지조위관측소의 자료를 이용하기 위해 가상수로 개념을 도입하였으며, 따라서 이에 대한 오차가 포함되어있으며, 보다 정확한 분석을 위해서는 해수유동모형을 연계한 연구가 추가적으로 수행되어져야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김근원, 손광익(2001). 이차원 해석 모형간의 흐름특성 비교실험, 대한토목학회 2001년도 학술발표회 논문집, pp. 1-4.
2. 김현석, 노영신, 이진수, 윤병만(2004). SMS모형을 이용한 보 철거 후의 하상변동, 2004년도 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 898-902.
3. 건설교통부(2006). 낙동강 유역종합 치수계획.
4. 한국수자원공사(2004). 하구둑 조위를 고려한 낙동강 하류부 수리학적 하도추적 모형의 연구.
5. U.S. Army Corps of Engineers(1997). User's Guide to RMA2 WES Version 4.3, Waterways Experiment Station Hydraulics Laboratory, WexTech System, Inc., New York.