

낙동강 하굿둑 운영방법에 따른 상류 둔치부 홍수위 검토

Investigation of Flood Stage on the Upstream Waterfront Area in Floodplain Depending on the Operation Rule of the Nakdong River Estuary Barrage

Sang Do An*

Nakdong River Integrated Operation Center, Korea Water Resources Corporation, 1233-84
Nakdongnam-ro, Saha-gu, Busan, Korea

Abstract

This study investigates the effect of different operation rules of the Nakdong River Estuary Barrage on change in flood water level. We employ 1-D numerical model, HEC-RAS to predict the flood water level at each eco-park in the floodplain in response to increasing flood inflows. Numerical results show that flooding at the eco-park occurs when the expected size-floods range from 1.1-year to 3.0-year frequent. It means that flood damage would occur before the extreme flood events with flooding warning issued by the Korean Flood Control Office. Thus extension of the flood levels issued by the Flood Control Office(FCO) is recommended for the safety of visitors to the echo parks. We predict numerically the decrease of flood water level when all sluice gates in the barrage are opened. The results show that the decrease of flood water level approximately ranging from 10 to 20cm can be obtained when the all gates of Nakdong River Estuary Barrage are opened together to discharge flood.

Key words: flood damage, flood safety, estuary barrage, levee, floodplain

국문초록

본 연구에서는 낙동강 하굿둑의 운영방법에 따라서 상류 홍수위의 변화를 검토하였다. 상류 둔치에 조성된 생태공원 지점의 홍수위 변화를 예측하기 위해서 1차원 수치모형인 HEC-RAS모형을 적용하였다. 수치해석을 통하여 1.1년에서 3.0년 빈도의 홍수가 발생하는 경우 생태공원에서 침수가 일어날 것으로 예측되었다. 둔치부에 조성된 생태공원의 침수를 발생 시키는 홍수규모는 홍수통제소가 발령하는 홍수 예경보 대상 홍수규모 보다 적은

* Corresponding author. Tel. +82-10-3806-6750. E-mail. sdan99@kwater.or.kr

Submission & Publication Process

Received: July 1, 2014 / Revised: July. 24, 2014 / Accepted: July. 28, 2014

홍수량으로, 생태공원 침수로 인한 피해를 저감시키기 위해서는 생태공원의 침수가 발생하는 홍수위에 대한 추가 예경보 설정이 필요하다고 판단된다. 낙동강 하굿둑의 우안 증설배수문을 기존 배수문의 운영기준과 같이 상시로 운영을 하면서 홍수를 배제하면 약 추가 홍수위 저하 10-20cm를 확보할 것으로 예측되었다.

주제어: 홍수피해, 홍수안전, 하굿둑, 제방, 둔치

I. 서론

과거 국내의 하천관리는 용수공급을 위한 저수지와 보 등과 같은 수리시설물 건설과 홍수재해방지를 위한 댐 및 제방 축조에 중점을 두었다. 이렇게 이·치수 위주로 인위적으로 정비된 하천은 수질 및 생태적으로 열악하였으며 주민들의 여가를 위한 친수 공간 확보에 대한 고려도 부족하였다. 그러나 이후 지속적인 경제성장에 따른 소득증대로 여가생활에 대한 관심이 급격히 높아졌고 후손을 위한 하천 생태환경 보존의 중요성에 대한 국민 인식이 올라감에 따라 1990년대 후반부터는 지속적으로 자연친화 하천정비사업이 도입되었으며, 현재는 하천관리의 주요한 목적 중 하나로 자리 잡게 되었다(곽태열·이용곤, 2010).

낙동강은 한반도 동남부에 위치하며 유역면적은 약 23,670km²이며, 본류 연장은 약 520km 이른다. 유역내 주요 5개의 광역자치단체(대구, 울산, 경북, 부산, 경남)가 있으며, 도심지 주변 하천의 경우에는 친수공간 개발이 활발히 진행되고 있다. 이에 따라 주민들의 친수공간 활용 빈도는 급격히 높아지고 있다. 특히 낙동강 하류지역은 철새도래지로 정평이 나 있으며 부산시 서쪽 도시를 관통함에 따라 많은 주민들이 쉽게 낙동강 둔치(floodplain)에 조성된 생태공원을 이용하고 있다. 그러나 하류에 조성된 생태공원은 여름철 집중강우가 발생할 경우 상류와 중류에서 많은 양의 물이 몰려 유입되는 반면 외해로의 유출은 바다 조위에 따라 방해 받을 수 있기 때문에 침수 위험에 쉽게 노출되고 있다.

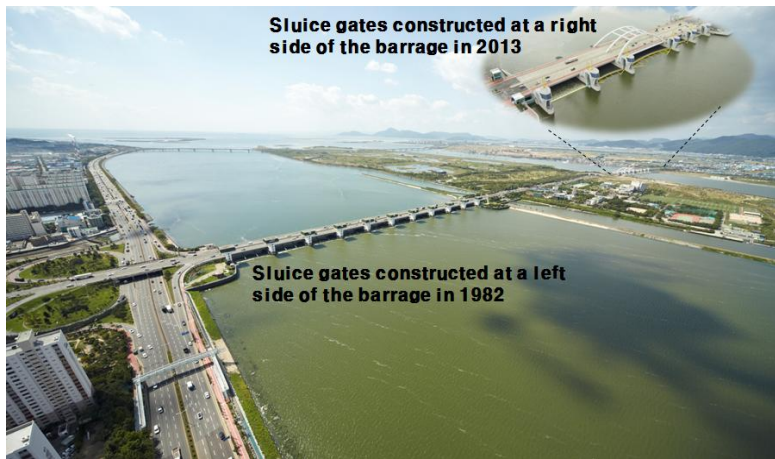
본 연구에서는 낙동강 하굿둑 상류지역을 대상으로 선정하고 낙동강 하류의 치수 안전 확보대책으로 2013년도에 증설된 우안배수문과 기존 좌안배수문의 연계운영에 따른 상류 홍수위 저감 효과를 검토하였으며, 해석모형으로 HEC-RAS 모형(USACE-HEC, 2006)을 적용하였다.

II. 낙동강 하굿둑 운영현황

낙동강 하굿둑은 안동댐으로부터 하류 355km 지점의 서부산에 위치하고, 하류 바다로부터 상류쪽으로 대략 8km 떨어져 있다. 낙동강 하구조사(UNDP/FAO, 1977)에서 낙동강 하구 지역의 염수 침투를 영구적으로 방지하는 대책으로 하굿둑 건설이 검토되었으며, 1982년 건설되었다. 하굿둑 건설로 인하여 낙동강 상류지역에 안정적 용수를 공급할 수 있었으며, 이를 위하여 하굿둑은 저수지 수위를 일

정하게 유지(SMSL+1.00m)하여 염수의 침투를 방지하고 있다. 또한 저수지의 수질이 저하되지 않도록 고려되는 동시에 하류의 조성되는 어장 관리를 위하여 강물에서 흘러 들어온 영양분은 하구에 분포될 수 있도록 일정량의 강물을 외해로 유통시키고 있다. 더불어 하구의 생태보전을 위하여 회유성 어종의 이동을 위한 어도와 선박의 통행이 가능토록 갑문 시설이 설치되었다.

하굿둑 건설이후 기상변화에 따른 지속적인 강우량 증가로 인하여 낙동강유역종합치수계획(국토교통부, 2009)에서는 낙동강 하굿둑 지점의 홍수량이 1982년 당시 18,300m³/s에서 22,300m³/s으로 크게 늘어나는 것으로 분석하였으며, 이에 따른 낙동강 하류 치수안전 확보대책으로 우안의 제방(levee)구간에 배수문 증설을 제시하였다. 이를 통한 하굿둑 통수능력 확대로 상류수위를 설계 강우 200년 빈도 강우 유출에 의한 계획 홍수위 EL. 1.12 m 이내로 저감하여 제방 안정성과 제내지 침수피해를 방지하도록 계획하였다. 이에 따라 <그림 1>과 같이 2013년도에 우안 증설배수문이 준공되었다.



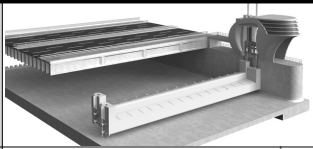

<그림 1> 낙동강 하굿둑 항공사진

홍수기 낙동강 하굿둑 배수문의 운영은 우안 증설배수문 방류에 따른 하류 생태 영향을 최소화하기 위하여, 30년 빈도 계획홍수위 EL.2.27m를 초과하지 않는 홍수량 16,000m³/s까지는 좌안 기존 배수문만을 통하여 방류하고, 이후 우안 배수문을 추가적으로 개방하는 것으로 계획하였다. 낙동강 하굿둑 배수문 시설물 현황은 <표 1>과 <표 2>와 같다.

<표 1> 기존 낙동강 하굿둑 시설현황

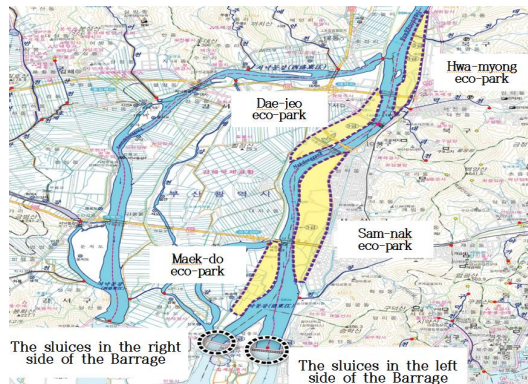
Division		Main Gates	Control(Sub) Gates
Left Side of the Barrage	Type	Radial Gate	Radial Gate
	Size	W47.5m×H9.2m×6 gates	W47.5m×H8.3m×4 gates
	Weight	223 ton	218 ton
	Lift Type	2 Drum wire rope	2 Drum wire rope
	Power	22kW×440V×6P	22kW×440V×6P
Division		Status of Facilities	
Hydrological Condition	Design Flood	18,300m ³ /s(500 year frequent flood)	
	Flood Level	EL. 3.7m(500 year frequent flood)	
	Operation Level	SMSL. 1.0m	
Barrage	Type	Rock-fill Dam	
	Length	2,230m(Embankment 1,720m, Sluice gates 510m)	
	Dam Crest	Elevation EL.(+)8.50m, Width 4.0m	

<표 2> 낙동강 하굿둑(우안) 증설배수문 시설 현황

Division	Right Side of the Barrage		Control Gates	Main Gates
	Control Gates	Main Gates		
Type	Roller Gate	Lifting Gate (Truss Type)		
Size	W47.5m×H8.5m×2gates	W95.0m×H8.5m×1gate, W47.5m×H8.5m×2gates		
Sill EL.	EL.(-)6.0m	EL.(-)6.0m	Main Gates	
Lift Type	Fluid Pressure	Fluid Pressure		

III. 낙동강 하굿둑 상류 수변 생태공원 현황조사

낙동강 하굿둑 상류 둔치에는 <그림 2>와 같이 총 면적 343만평의 수변 생태공원(맥도, 삼락, 대저, 화명지구)이 조성되어 있다. 생태공원에는 습지, 자연초지, 유채꽃단지와 체육시설인 축구장 및 야구장 등이 조성되어 연간 부산 서부시민 약 50만 명의 매년 이용하고 있다.



<그림 2> 낙동강 하류의 둔치부에 조성된 생태공원 현황

생태공원은 큰 홍수 발생시 잠גיע 되는 둔치에 조성되어 침수피해 가능성이 상존하고 있다. 2012년 9월 태풍 “산바” 내습시 맥도, 삼락, 대저, 화명지구 생태공원 4곳 전부 물에 잠겼으며, 약 4억원의 물적 피해가 발생되었다. 태풍과 같은 대규모 홍수 발생시에는 재난시스템 구동에 따라 생태공원 입구 차단시설 등 신속한 안전조치로 인명피해는 발생되지 않았다. 그러나 최근 기상이변으로 인한 게릴라성 호우발생이 증가함에 따라 태풍과 같은 대규모 호우가 아닌 중·소규모 호우 발생에 따른 생태공원 침수 예측이 필요하다고 판단된다. 이에 따라 홍수침수 판단을 위한 생태공원의 지반고 현황을 조사하였으며 <표 3>과 같다.

<표 3> 생태공원별 최저 지반고 현황

Eco-park	Location	Expected Flooding Level
Maek-do	Gangseo-Gu Myonggi	EL.1.87~2.32m
Sam-nak	Sasang-Gu Samnak	EL.1.27~1.85m
Dae-jeo	Gangseo-Gu Dae-jeo	EL.2.00~2.05m
Hwa-myong	Buk-Gu Hwa-myong	EL.1.50~2.30m

IV. 하굿둑 운영을 고려한 수리모델링

1. 수리모형 개요

본 연구에서 적용된 1차원 수리해석 모형 HEC-RAS 모형은 미육군 공병단이 개발한 하천 수리해석 모형으로 자연하천이나 인공하천에서의 정상류 점변류 수면곡선 뿐만 아니라 부정류, 유사 해석 기능까지 포함하는 종합 하천해석 시스템 모형이다. 모형의 기본방정식은 일차원 에너지 방정식으로 방정식에서 마찰에 의한 에너지 손실은 매닝 공식에 의해 산정된다. 수치해석 기법은 한 단면에서 다음 단면까지의 수면 종단면도를 반복적 절차를 통해 에너지 방정식을 풀으로써 해를 구하는 표준축차법(Standard step method)을 사용한다. HEC-RAS 모형에서는 하천의 경사가 완만하여 수면변화가 급격하게 변화하지 않는 점변류 해석을 위하여 아래 에너지방정식과 연속방정식을 적용하게 된다.

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (2)$$

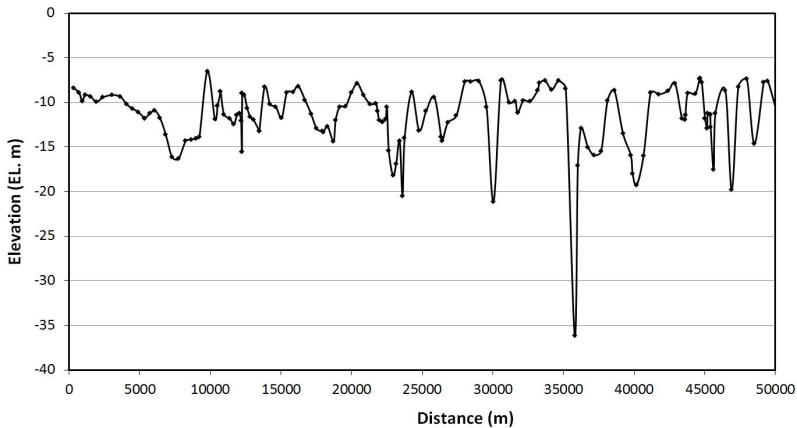
여기서 첨자 1, 2는 상·하류측 미소거리 간격의 지점을 의미하며 첨자 1은 하류측, 2는 상류측을

나타낸다. A_1, A_2 = 각 지점의 흐름 단면, Y_1, Y_2 = 각 지점의 횡단면의 깊이, Z_1, Z_2 = 각 단면의 주수로 저부의 높이, V_1, V_2 = 각 단면에서의 평균 유속(총유량/총흐름 면적), α_1, α_2 = 속도 가중 계수, g = 중력 가속도, h_e = 두 단면간의 에너지 손실 수두를 나타낸다.

표준축차법은 시작단면에서 수심과 유속 등과 같은 수리학적 특성이 결정되면 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 거리가 주어진 인접단면에서의 수심을 시행착오법으로 결정한다. 본 모형은 둔치의 홍수범람을 검토할 수 있어 둔치(floodplain)의 설계와 홍수보험연구에도 사용되고 있으며, 설계홍수량 유입에 따른 구간별 제방고의 결정에도 활용되는 등 국가하천의 기본계획 수립을 위한 계산 수치모형으로 대부분 활용되고 있다(전계원, 2012).

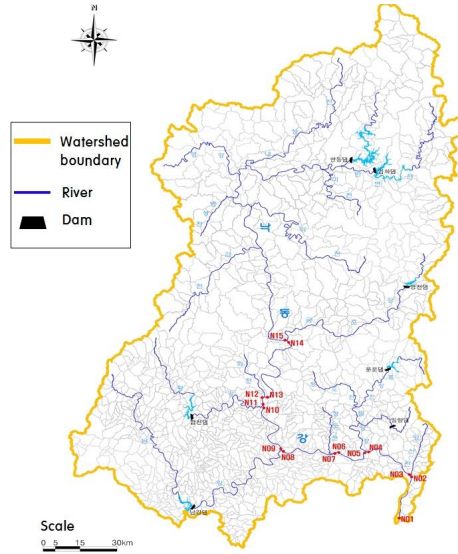
2. 수치모형의 적용

수치해석 모의를 위해 필요한 하천의 지형정보는 낙동강유역종합치수계획(국토교통부, 2009)에 수록된 하굿둑부터 약 49km구간에 대한 하천측량자료를 이용하였으며 구축된 하상의 종단 분포는 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 낙동하굿둑부터 상류 약 49 km까지의 지반고의 종단현황

상류단 경계조건은 낙동강수계 하천기본계획(국토교통부, 2009)에서 제시한 양산천 합류전 지점(N03)의 빈도별 홍수수문곡선을 적용하였으며, 하류단 경계조건은 <그림 4>에서와 같이 하굿둑(N01)에서 약 5km 동쪽에 위치한 부산 검조수위표의 조위기록을 반영한 기점홍수위를 사용하였다.



<그림 4> 낙동강수계도(N01과 N03는 낙동강 하굿둑 지점과 수리모델링을 위한 상류경계점)

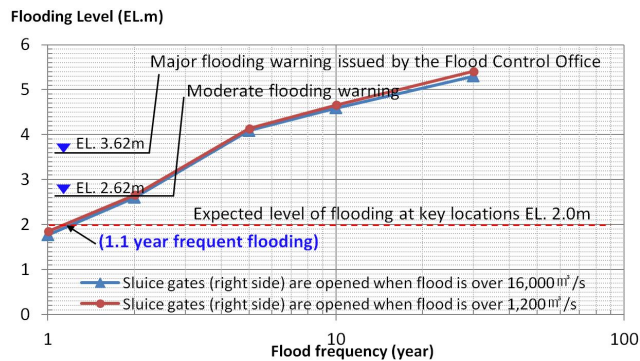
낙동강 하굿둑 배수문의 운영은 운영매뉴얼(한국수자원공사, 2013)에 따라 하굿둑 총 유입량이 약 1,200m³/s 이상이 되면 홍수가 시작된 것으로 간주하고 약 1,200m³/s 이상의 유량에서는 기존 좌안 전체 배수문이 개방 되도록 규정하였다. 하지만 2013년 우안에 증설된 배수문의 경우에는 비상운영의 목적으로 홍수 유입량이 약 30년 빈도 홍수량 16,000m³/s에 도달시에 국한하여 운영 매뉴얼에 따라 단계별로 개방토록 설정하였으며, 이는 16,00m³/s이하의 소규모 홍수에 대한 우안 증설배수문을 통한 빈번한 방류를 지양하여 직하류에 미치는 생태계 영향을 최소화하기 위한 목적이다. 그러나 홍수량 16,000m³/s까지는 기존 하굿둑 방류능력을 최대한 활용하여 좌안 기존 배수문만으로 방류하고, 이후 증설배수문을 추가적으로 운영하는 것은 좌·우안 배수문을 홍수기 유입초기부터 동시에 상시 운영하는 것에 비해 상류 홍수위를 상승시킬 수 있으므로 본 연구에서는 우안 증설배수문을 좌안 배수문과 동일한 기준으로 즉, 약 1,200m³/s 이상의 홍수발생시 상시운영의 조건으로 설정할 경우 하굿둑 저수지내 조성된 생태공원 지점의 홍수위가 얼마나 상승하는가를 검토하였다.

3. 홍수위 분석결과

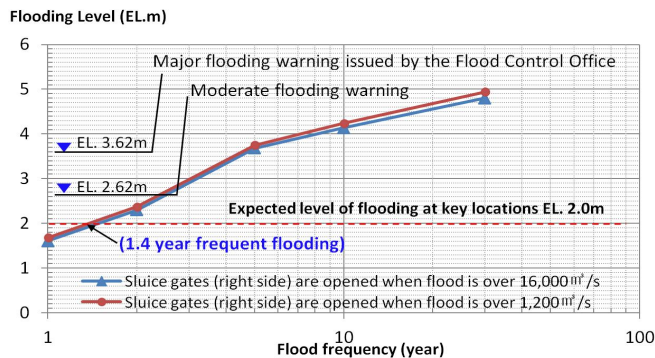
우안 증설배수문 운영매뉴얼에서 제시한 비상운영기준(홍수 유입량 16,000m³/s도달 전, 우안배수문 미개방)과 본 연구에서 제시한 상시운영기준(좌·우안 배수문 동시운영)에 따라 저빈도 홍수유입시 낙동강 하류 생태공원(맥도, 삼락, 대저, 화명) 지점의 홍수위 예측을 통하여 하굿둑 운영방법에 따른 홍수위 저하 효과를 검토하였다. HEC-RAS 모형을 이용한 낙동강 하류 홍수위 변화 검토결과는 아래와 <그림 5>와 같다. 수치모델링 결과, 상시운영에 따른 추가 홍수위 저하효과는 약 10-20cm범위 이며,

상류로 갈수록 적어지는 경향을 보여주고 있다. 공원침수는 상류 둔치에 조성된 생태공원에서 먼저 발생될 것으로 검토되었다. 침수 가능 홍수규모는 상류 생태공원 부지에서는 약 1.1~1.4년 빈도의 홍수 유입시 침수가 발생될 수 있으나, 하류 생태공원 부지에서는 이보다 다소 큰 홍수까지는 침수가 발생하지 않고, 약 2~3년 빈도 홍수 유입시에 비로서 침수가 일어날 것으로 예상되었다.

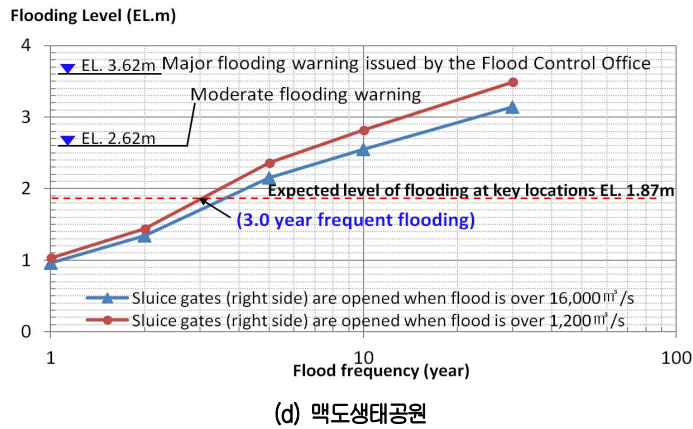
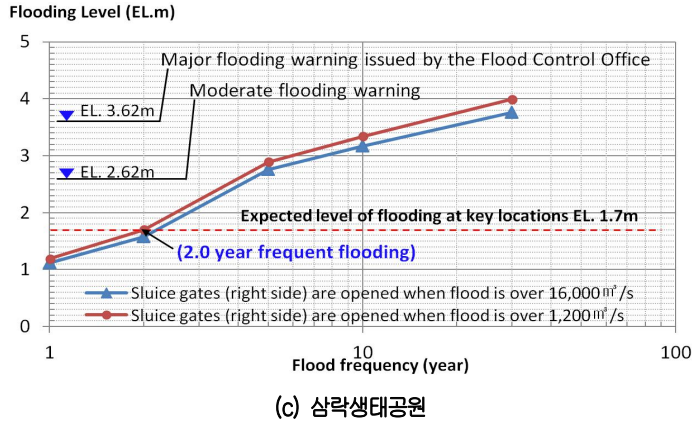
우선 침수 기준표고가 EL. 2.0m로 조사된 화명지구에서는 우안 증설배수문 운영매뉴얼에 따라 하굿둑 배수문 운영시(비상운영기준)에는 약 홍수빈도 약 1.1년의 홍수량 5,500m³/s 유입에 따라 침수가 발생되며, 상시운영기준을 적용하면 약 7cm의 홍수위 저하 효과를 가질 수 있다. 대저지구의 경우는 침수가 시작되는 최저 표고는 EL. 2.0m으로 조사되었으며, 약 홍수빈도 1.4년의 홍수량 6,000m³/s 유입시 침수가 발생되며, 우안 증설배수문을 조기에 개방하면 수위가 약 8cm 저하된다. 하류 화명지구와는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 삼락지구의 경우 침수 발생표고는 EL. 1.7m이며, 침수발생 홍수 빈도는 약 2.0년으로 약 7,000m³/s의 홍수유량에 해당된다. 우안 증설배수문을 조기 개방하면 약 10cm의 홍수위 저감 효과를 가질 것을 분석 되었다. 낙동강 하류의 생태공원 중 최상류에 조성된 맥도지구의 경우에는 침수 발생 최저표고는 EL. 1.87m, 침수발생 홍수빈도는 약 3년이며 해당 홍수량은 8,500m³/s으로 우안 증설배수문을 조기 개방하면 약 20cm 홍수위 저감 효과를 보여준다.



(a) 화명생태공원



(b) 대저생태공원



<그림 5> 낙동강 하굿둑 운영방법에 따라 하류부 생태공원 지점에 형성되는 추가 홍수위 저하 효과

우안 증설배수문을 운영을 기존 좌안배수문의 운영기준과 같이 홍수초기부터 연동하여 홍수를 배제 하면 약 10~20cm의 추가 홍수위 저하를 확보할 수 있다. 그러나 이러한 상시운영 체계에서는 우안 증설배수문의 빈번한 개방이 이루어져 하류 생태계에는 심각한 영향을 줄 것으로 예상된다. 이에 따른 하류 어민, 수산물 양식업자 등과의 갈등이 발생할 소지가 있으므로 하굿둑의 우안 증설 배수문의 상시운영을 위해서는 우선 빈번한 방류로 인하여 발생하는 하류 영향검토에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

V. 결론

최근 기후변화의 영향으로 집중호우가 빈번히 증가하고 있는 상황이며 해마다 홍수재해는 낙동강 유역에 반복적으로 발생하고 있다. 낙동강 하굿둑은 약 200년 빈도의 대규모 홍수를 대비하여 낙동강

하류의 제내지 홍수피해 저감을 목적으로 하굿둑 배수문이 증설되었다. 현재까지 홍수위 분석은 제방의 안전과 제내지의 침수 가능성에 중점을 두고 검토되었다. 둔치부 친수공간의 경우 기본적으로 홍수 발생시 침수가 되는 곳으로 여겨져 그 중요성이 간과되어 왔으나, 최근 둔치부에 많은 생태공원이 조성되는 등 그 활용도가 높아지고 있다. 이에 따라 지자체에서는 둔치부 친수시설 조성에 많은 예산을 사용되고 있으며, 시설 이용자도 급격히 증가되고 있다. 따라서 빈번한 둔치부의 침수는 인명피해 가능성을 높이고 반복적인 복구예산 투입으로 지자체의 재정이 부담이 되고 있다.

본 연구에서는 하굿둑 배수문의 증설 계획시 고려하지 못한 낙동강 하굿둑 배수문의 운영 방법에 따른 생태공원 지점의 홍수위 변화를 분석하였다. 수리모델링을 위하여 HEC-RAS 모형을 활용하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 낙동강 하류 생태공원은 모두 둔치에 조성이 되어서 소규모 홍수에 대하여도 취약하며, 분석결과 약 1.1~3.0년 빈도의 홍수 발생시 침수가 시작되는 것으로 분석되었다. 이는 낙동강 홍수통제소 홍수 예보수위 EL. 2.62m, EL.3.62m(구포지점 기준 주의 및 경보수위)에 해당하는 홍수 빈도(5년, 20년)보다 낮은 홍수 규모이며 홍수피해 저감을 위해서는 기존 설정된 홍수예보 수위와는 별도로 추가 경보 수위를 설정하여 운영할 필요가 있다 판단된다.

2) 현재 우안 증설배수문은 비상운영의 목적으로 일정량 이상의 홍수가 유입시 개방되도록 규정되어 있으나, 만약 기존 좌안배수문의 운영기준과 같이 홍수초기부터 적극적으로 홍수를 배제하면 약 10~20cm의 추가 홍수위 저하를 확보할 수 있는 것으로 분석되었다.

참고문헌

- 곽태열, 이용곤. 2012. 낙동강살리기사업 친수시설 현황과 유지관리 방안. 경남발전연구원.
 국토교통부. 2009. 낙동강유역종합치수계획. 국토교통부.
 국토교통부. 2009. 낙동강수계 하천기본계획. 국토교통부.
 전계원. 2012. 댐 방류량을 고려한 하류지역의 수리안정성 검토. 한국안전학회. 27(6): 166-171.
 한국수자원공사. 2013. 낙동강 하굿둑 증설배수문 운영매뉴얼. 한국수자원공사.
 USACE-HEC. 2006. *Hydrologic Modeling HEC-RAS User's Manual*. USACE-HEC
 UNDP/FAO. 1977. *The Investigation of the Estuary of Nakdong River*. UNDP/ FAO.

안상도: 미국콜로라도주립대학교에서 토목공학 박사학위를 취득(2011)하였으며, 현재 한국수자원공사 낙동강통합물관리센터에서 계획조사과장으로 재직하고 있다. 주요 관심분야는 홍수등 풍수해 관리, 하천 수리학, 전산 유체동역학 등이다. 최근의 발표논문으로는 “임하댐의 탁수밀도류의 동역학 모델링(2014)”, “성층조건에서의 관입밀도류의 거동분석(2014)” 등이 있다. 주요경력으로는 캄보디아 수자원장기개발계획수립 및 크랑폰리강 개발사업, 인도네시아 까리안댐개발사업에 참여하였다(sdan99@kwater.or.kr).