농업용 저수지 증고에 따른 홍수조절효과 분석

Analysis of Flood Control Effects of Heightening of Agricultural Reservoir Dam

이관재* · 박기욱** · 정영훈*** · 정인균**** · 정광욱**** · 전지홍***** · 이지민* · 임경재*,†

Lee, Gwan Jae · Park, Ki Wook · Jung, Young hun · Jung, In Kyun ·

Jung, Kwang Wook · Jeon, Ji Hong · Lee, Ji Min · Lim, Kyoung Jae

ABSTRACT

Annual average precipitation of Korea is 1,277 mm and around 2/3 of annual precipitation and 74 % of available water resources occurred during monsoon period. In recent years, many agricultural reservoirs have been heightened to increase flood control capacity, reduce flooding damage at downstream areas, and provide sustainable environmental flow during drought period. Thus in this study, the flood control effects of heightening of reservoir banks were simulated with HEC-ResSim and HEC-RAS models. These modes were applied to Bonghak reservoir and it was found that flood control effects were 3~4.5 % with 7 -m heightening. Also, with proper operation (1 m lower of full water level) of reservoir right before the monsoon period, flooding at downstream could be prevented even with design storm of 80 -year recurrence interval. As shown in this study, heightening of agricultural reservoir provides positive effects in flood control and flood damage reduction.

Keywords: HEC-RAS; HEC-ResSim; Heightening; Reservoir

1. 서 론

우리나라의 연평균 강수량은 1,277 mm (1978~2007)로 세계 평균 강수량인 807 mm에 비해 1.6배가 높고 이용 가능한 수자원량은 수자원총량의 58 %인 753 억³으로 비교적 큰 값이나, 이 중 74 %가 홍수기에 편중되어 있어 (K-Water, 2012) 물 관리가 어렵다.

또한, 기상청 국립기상연구소에서 새로운 국제 표준 온실가스 시나리오 (RCP 시나리오)를 이용하여 산출한 기후변화 전망 자료에 따르면 2050년까지 우리나라는 기온 3.2 °C, 강수량 16 % 등이 증가할 전망이며, 이로 인해 강수량 증가와 함께 집중호우의 가능성이 증대될 것으로 보인다. 또한 한국환경정책평가연구원 국가기후변화적응센터에서 미래기후변화에 따른 영향을 2 °C

상승 기준으로 전망해 본 결과 가뭄·홍수 증가와 집중호우 증가로 하천유역 및 도심지의 홍수발생 및 피해가 증가될 것으로 예상하고 있다 (KEI, 2012).

이와 같이 강수·지형 특성과 기후 변화로 인한 물 관리의 어려움이 커지고 있으나, 우리나라의 최근 10년간 (2001~2010) 태풍, 호우, 대설 등 물 관련 자연재해 피해액은 20조 845억원, 복구액은 32조 2805억원 (NEMA, 2011)으로 예방투자보다 복구비가 많으며, 20~30년 이상 된 낡은 제방이 많고 전체 국가 하천의 52 %가 안전도 부족으로 기후변화에 따른 가뭄과 홍수의 빈도·강도 증가에 대책이 필요한 실정이다 (MLTM, 2009).

이에 대한 대책으로 4 대강 종합정비 기본계획이 실시되었으며, 그 중 농업용 저수지 뚝 높이기 사업도 포함되어 있다. 현재 우리나라의 총 17,735 개소 (MLTM, 2011)의 댐 및 저수지 중 농업용수 댐이 17,649 개로 전체 댐의 99 %를 차지하고 있으며, 농업용수 댐 중에서 추가용수 확보가 가능하고 환경영향 및 수질면적이 작은 곳 96 개소에 뚝 높이기 사업을 실시하였다. 농업용 저수지 뚝 높이기 사업은 홍수기에는 침수피해를 방지하며, 비 홍수기에는 하천의 유황을 개선하는 것에 그 목적이 있다.

침수에 의한 피해와 관련하여 많은 연구가 이루어지고 있으며, 특히, 침수해석에서 Kim et al. (2012)은 HEC-HMS와 HEC-RAS를 이용하여 농촌 저지대 침수해석을 하였으며 (Kim et al., 2012), Jun and Lee (2007)은 저지대 농경지의 홍수범람을 분석하였고

* 강원대학교 지역건설공학과

** 인하대학교 수자원시스템연구소

*** 한국농어촌공사 농어촌연구원

**** 한국수계연구소

*****안동대학교 환경공학과

† Corresponding author Tel.: +82-33-250-6468

Fax: +82-33-251-1518

E-mail: kjlim@kangwon.ac.kr

2013년 5월 14일 투고

2013년 6월 17일 심사완료

2013년 7월 3일 게재확정

(Jun and Lee, 2007), Lee et al. (2004)은 HEC-HMS와 HEC-RAS모형의 연계에 의한 댐 유역의 홍수영향을 분석한 바 있다 (Lee et al., 2004). 또한, 홍수조절효과 분석에서는 Kim et al. (2011)이 수리실험을 이용한 강변지류지의 홍수조절효과 분석을 하였으며 (Kim et al., 2011), Koh et al. (2000)은 강우-유출 모형을 이용한 다목적댐의 홍수조절효과를 분석하였고 (Koh et al., 2000), Jun (2011)은 4대강 살리기 사업의 홍수조절효과를 분석한 바 있다 (Jun, 2011). 그러나 저수지 뚝 높이기 사업의 다양한 효과를 분석한 연구는 매우 제한적으로 수행되어 왔다.

따라서 본 연구의 목적은 저수지 모의운영프로그램인 HEC-ResSim과 하천 해석 모형인 HEC-RAS를 이용하여 뚝 높이기 사업의 홍수조절효과와 하류 지역 침수피해 방지효과를 분석하는데 있다.

II. 연구방법

1. 연구지역 선정

본 연구에서는 홍수조절효과 및 침수피해 방지효과 분석을 위해 저수지 증고사업이 이루어진 96개의 저수지 중 낙동강 지류에 속하는 봉학저수지를 연구대상지역으로 선정하였다.

봉학저수지 뚝 높이기 사업은 기존 저수지 제당 후면에 뚝을 높였으며, 여수토 방수로는 월류식 측수로형으로 사업을 실시하였다. 사업 전과후의 제원은 높이는 28.7 m에서 39.2 m로 10.5 m 증고 하였으며, 연장은 232 m에서 267 m로, 제정고와 홍수위,

만수위는 각각 EL 146.1 m → EL 153.1 m, EL 144.1 m → EL 151.1 m, EL 142.8 m → EL 149.8 m로 증고 하였다. 또한, 여수토는 60 m에서 61 m로, 방수로는 226 m에서 272 m로 연장하였다.

봉학저수지는 행정구역상으로 경상북도 성주군 벽진면 봉학리에 위치하며, 지리적 위치는 북위 35° 58' 56" , 동경 128° 11' 40"에 위치하고 있으며, 성주군 중심부에서 북서쪽으로 약 12.4 km, 성주군 벽진면에서 북쪽으로 약 5.1 km 떨어져 있다 (Fig. 1).

봉학저수지 유역 내 하천을 살펴보면 이천과 백천이 있으며 봉학저수지는 이천의 상류부에 위치하고 있고 이천은 백천과 합류 후 국가하천인 낙동강으로 유입된다. 이천은 유역면적 127.23 km², 유로연장 23.92 km², 하천연장 19.5 km이며 동서의 폭은 약 20.6 km, 남북길이는 22.5 km이다. 유역의 형상은 방사선상과 복합상을 이루고 있으며 유역의 토지이용은 임야가 대부분을 차지하고 주하천을 따라 경작지가 분포하고 있다.

2. 확률강우량 산정

가. 기상자료 및 강우자료 구축

본 연구에서는 장기 강우자료를 이용하여 확률강우량을 산정하여 국토해양부의 확률강우량 DB와 비교하였으며, 확률강우량 산정을 위해 봉학저수지의 지배관측소인 구미관측소를 선정하여 기상청으로부터 1973년~2012년까지 40년간의 시우량 자료를 제공받아 사용하였다.

Fig. 1 Location of Study area

Table 1 Probable rainfall of Korea Precipitation Frequency Data Server

Return period (yr)	Duration (hr)									
	1	2	3	4	6	9	12	15	18	24
50	62	76	88	99	119	144	164	181	194	214
80	66	81	94	105	127	153	175	193	207	230
100	67	83	96	108	130	157	180	198	213	235
200	73	90	104	117	140	170	195	215	231	256

나. 지점 확률강우량 산정

지속시간별 최대강우량 산정을 위해 확률강우량도 개선 및 보완연구 (MLTM, 2011)에서 제시한 고정시간-임의시간 환산 계수를 이용하였으며, 지점 확률강우량 산정을 위한 분석모형은 가장 널리 사용되고 있는 국립방재연구소의 FARD (Frequency Analysis of Rainfall Data) 2006 (NDMI, 2006)을 사용하였다. 매개변수추정 방법으로 확률가중모멘트법을, 확률분포모형은 Gumbel분포를 채택하였다.

홍수량 산정 시 임계지속기간의 개념이 도입되면서 소유역의 경우 10분 간격의 확률강우량이 필요하며, 대우역의 경우 24~72 시간을 굳이 1 시간 간격의 강우량을 모두 빈도 해석할 필요가 없으므로 (MLTM, 2012) 확률강우량의 회귀식인 강우강도식이 필요하다. 본 연구에서는 최근 연구결과인 확률강우량도 개선 및 보완 연구 (MLTM, 2011)에서 제시되었고 비교적 상관관계수가 높게 나타나는 6차 전대수 다항식인 식 (1)을 사용하였다.

$$\ln(I) = a + b \ln(t) + c(\ln(t))^2 + d(\ln(t))^3 + e(\ln(t))^4 + f(\ln(t))^5 + g(\ln(t))^6 \quad (1)$$

여기서 $I(t)$ 는 강우지속기간에 따른 강우강도 (mm/hr), t 는 강우지속기간 (min), a, b, c, d, e, f, g, n 은 지역상수이다.

이와 같이 산정된 확률강우량을 국토해양부의 확률강우량도 활용시스템 (<http://www.k-idf.re.kr/>)에서 제공하는 확률강우량을 비교한 결과 국토해양부DB와는 전혀 차이가 없었기 때문에, 공인된 자료인 국토해양부의 자료를 이용하였다 (Table 1).

다. 설계강우의 시간분포

확률강우량과 같은 설계강우의 경우에는 시간분포를 알 수 없으므로 인위적으로 분포시키는 방법을 적용하며, 시간분포는 설계홍수량 수문곡선의 모양과 첨두 홍수량의 크기에 많은 영향을 미친다. 이러한 설계강우의 시간분포를 위해 실무에서 주로 적용하는 방법은 Huff방법이며, Huff방법은 강우에 대한 시간분포양

Table 2 Huff second-quartile cumulative percentile of k-PRISM

Area	probability	Duration of dimensionless (%)											
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Gumi (2nd)	10 %	0	13.6	29.1	54.5	76.7	87.9	94.1	97.3	98.2	99.2	100	
	20 %	0	9.8	24.7	44.2	68.1	83.9	90.1	94.8	97.3	98.8	100	
	30 %	0	7.4	20.1	39.1	62.3	78.0	87.5	92.9	96.6	98.5	100	
	40 %	0	6.0	17.2	33.6	56.2	74.1	84.8	90.2	94.9	97.8	100	
	50 %	0	4.4	13.5	29.7	51.5	70.9	80.8	87.3	93.0	96.9	100	
	60 %	0	3.5	11.2	25.3	44.6	66.0	77.2	85.4	91.0	95.8	100	
	70 %	0	2.7	8.9	21.0	40.6	60.1	72.5	81.9	88.6	94.9	100	
	80 %	0	2.2	5.6	16.0	34.3	55.7	66.7	76.4	85.6	93.1	100	
	90 %	0	1.0	4.1	10.2	28.0	46.7	61.1	70.4	79.4	90.5	100	

상을 1분위부터 4분위까지 4가지로 나누고, 강우기록을 통계학적 분석을 통하여 무차원 누가곡선으로 분포시키는 방법이다. 국토해양부에서 제공하는 k-PRISM의 구미관측소의 확률강우량을 이용하여 Huff방법의 무차원 누가곡선을 산정하였으며 이중 최빈분위인 2분위에 대한 누가백분위를 얻었다 (Table 2). 또한, 이 중 첨두 강우강도가 가운데에서 발생하는 50 % 누가곡선에서 식 (2)와 같은 형식의 6 차회귀식을 얻었다.

$$Y = -0.0026x^6 + 0.0955x^5 - 1.3243x^4 + 8.2902x^3 - 22.027x^2 + 29.869x - 14.818 \quad (2)$$

여기서 Y 는 무차원 누가강우량 (%), x 는 무차원 강우지속기간 (%), 상수는 회귀계수이다.

3. 단위도법에 의한 홍수량 산정

가. 매개변수 구축

본 연구에서는 매개변수 구축을 위해 1:5,000 수치지도로 구축한 DEM으로부터 유역을 구분하고 하천도를 추출하였으며, 이를 이용하여 독 높이기 사업에 따른 홍수조절 및 침수피해 효과 분석 연구를 수행하였다. 매개변수 및 필요자료 구축절차는 Fig. 2와 같으며, 대상 지역의 토지피복도와 수문학적 토양 그룹 (Fig. 3) 자료를 이용하여 AMC-II 조건하에서의 Curve Number를 추출하였다.

나. SCS합성단위도를 이용한 홍수량 산정

홍수량 산정을 위하여 본 연구에서는 미국 토양보존국 (Soil Conservation Service, SCS)에서 고안한 SCS 단위도법을 이용하여 홍수량을 산정하였다. SCS 단위도법은 무차원 단위도 (dimensionless unit hydrograph)에 근거를 두고 있으며 단위

Fig. 2 Construction Process of Parameter

Fig. 3 Parameter of Basin

도의 침투유량 식 (3)과 침투유량의 발생시간 식 (4)를 다음과 같이 결정한 후, 유량을 침투유량의 비로 그리고 시간을 침투시간과의 비로 나타내어 합성단위도를 작성하는 방법이다.

$$Q_p = \frac{2.083A}{t_p} \quad (3)$$

$$t_p = \frac{1}{2}t_r + T_L \quad (4)$$

여기서, t_p 는 강우시작부터 침투유량까지 시간 (hr), t_r 은 강우지속시간 (hr), T_L 은 우량 질량중심부터 침투유량까지의 시간인 유역 지체시간 (hr), Q_p 는 1 cm 유효우량시 침투유량 (m^3/s), A 는

유역면적 (km^2)이다.

지체시간 T_L 는 유역면적 또는 도달시간과의 관계나 경험공식을 이용하여 결정하고 있다. 우리나라의 경우 다른 방법과의 비교 등을 통하여 검토한 결과 대체적으로 식 (5)와 같은 McCuen 방법이 적절한 것으로 판단된다.

$$T_L = 0.706t_c \quad (5)$$

여기서 T_L 는 지체시간 (hr), t_c 는 도달시간 (hr), L 은 총 유로연장 (m), CN 은 유출곡선지수, S 는 무차원 유역경사이다.

4. HEC-ResSim을 이용한 홍수조절 효과분석 방법

가. HEC-ResSim 모형의 개요 및 기본이론

홍수기간 동안 저수지의 수량을 보존하고 홍수를 효율적으로 조절하기 위한 홍수조절 방법에는 모의운영기법과 최적화 기법이 있으나, 최적화 기법은 실무적인 접근이 어려워 홍수기 저수지 운영방안은 모의운영기법이 채택되고 있으며 (Seo et al., 2006) 저수지 모의운영 기법에는 Auto ROM, SRC ROM, RiGid ROM, Technical ROM 등이 있다.

이러한 모의운영 기법을 포함한 저수지 모의운영 프로그램 중 미공병단 (The US Army Corps of Engineers) 수문기술센터 (Hydrologic Engineering Center)에서 개발한 HEC-ResSim (Reservoir Evaluation system-Simulation)모형은 다양한 운영룰과 기능을 포함하고 있다. HEC-ResSim모형은 미공병단의 차

세대 소프트웨어 개발 프로젝트 (Next Gen Project)의 일환으로 다양한 요구사항과 제약사항을 반영하여 저수지를 모의할 수 있도록 개발된 모형으로 (Klipsch, J. D. and Hurst, M. B., 2007) 여러 개의 저수지와 조절점 (Control Point)으로 구성된 저수지 시스템의 특성 및 문제점에 따라 부과되는 각각의 경계조건에 대해 용수공급, 주운, 수력발전 등의 이수목적과 홍수조절 등 치수목적의 요구를 최대한 충족시킴으로써 수자원 활용전반에 걸친 저수지 시스템운영을 최적화 하는데 그 목적이 있다 (Ahn et al., 2012).

나. HEC-ResSim 모형을 이용한 방류량 산정

1) 입력자료 구축

HEC-ResSim의 입력자료는 HEC-DSS를 이용하여 구축하였으며, HEC-DSS는 1분부터 1년까지 다양한 시간격의 Data 구축이 가능하다. 본 연구의 목표는 저수지 뚝 높이기 사업의 홍수조절효과와 하류의 홍수저감 및 침수피해 방지효과를 분석하는 것이기 때문에, 매개변수 산정에서 구한 임계지속시간의 재현기간별 증고 전·후의 유입량 자료를 구축했다.

2) 저수지 운영방법 결정

HEC-ResSim에서 필요한 저수지의 제원과 기본 운영 룰은 봉학지구 농업용저수지 뚝 높이기 사업 기본계획서 (KRCC, 2010)에서 참고하였으며, 뚝 높이기 사업 전과 후 2개의 Network를 구성하였다. Fig. 4는 사업 전과 후의 수위-내용적-방류량 그래프이다.

Fig. 4 Graph of Water level-Volume-Outflow

3) ResSim 모형의 적용

앞서 구축된 자료를 이용하여 임계지속시간의 50년, 80년, 100년, 200년 빈도를 Simulation을 하였으며, 방류량을 10분 간격으로 산정하였다.

5. HEC-RAS를 이용한 하천 하류지의 침수피해 저감 효과분석 방법

가. HEC-RAS 모형의 개요 및 기본이론

침수예상구역분석을 위해서 먼저 HEC-RAS (River Analysis System) 데이터를 구축 및 분석한 다음 하천기본계획을 참고하여 대상지역 하천을 따라 측선자료를 구축하여 HEC-RAS 분석 결과를 적용하고 수위 DEM을 제작하여 DEM 및 수위 DEM자료를 이용한 침수예상구역을 추출하였다. HEC-RAS모형은 미국군 공병단 수문기술센터에서 개발한 1 차원 수리해석 통합시스템으로 그래픽 사용자 인터페이스 (GUI)를 갖추고 있으며, HEC-2의 후속모델로 개발되었고 HEC-2가 정상류 상태의 점변류 수면곡선만을 계산하는 것과 달리 (Choi, 2009) 정상류 수면형의 모의, 비정상류 수면형의 모의, 이동하는 침전물 운반에 따른 하상 변동 모의를 할 수 있다.

나. HEC-RAS모형을 이용한 수위 분석 및 침수예상구역 분석 방법

수위계산을 위한 경계조건으로 각 유량산정지점에 대해 분석

된 홍수량을 적용하고, 하류측 경계수위는 배수위 영향을 고려할 수 있도록 이천의 분류하천인 백천 합류점의 홍수위를 기점수위로 적용하였다. 연구대상지역의 HEC-RAS 모의를 위한 하천자료의 구축을 위해 이천 하천정비기본계획 (Gyeong sang buk do, 1993)의 횡단면도를 이용하였다. 하천 전구간의 횡 단면도를 이미지로 변환하고 횡단면도의 축척에 맞게 측선거리와 표고를 독취하여 HEC-RAS의 단면자료로 구축하였다.

수위 DEM을 구축하기 위해서는 가장먼저 평면도상에 측선데이터가 구축되어야 하며, 측선데이터에 수위계산결과를 적용한 후 수위 TIN을 작성하고 DEM으로의 변환과정을 거침으로서 침수구역 분석을 위한 수위 DEM을 구축할 수 있다. 이때 측선자료는 지형을 고려하여 좌, 우안측으로 여유 있게 연장하여야 침수구역 산정에 적합한 수위 DEM을 구축할 수 있다.

다. 침수저감 효과 분석 방법

증고 후 봉학저수지는 자연 조절법에 의한 저수지 운영이 예상되는 바, 홍수 시 하류하천의 홍수피해를 방지하기 위해서는 사통, 복통으로 예비 방류하여 사전에 저수위를 낮추는 방식으로 홍수조절이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 본 연구에서 수위 조절에 따른 침수 저감 효과를 판단하기 위해 이천의 계획빈도인 50년 빈도 보다 상향된 80년 빈도에 대해 침수분석을 실시하고, 봉학저수지의 증고 후 만수위인 EL. 149.8 m에서 0.25 m 씩 초기수위를 낮추어 EL. 147.3까지 홍수량 및 침수저감효과를 분석하였다.

(a) Construction of DEM, Dividing Watershed and Stream

(b) HEC-HMS model parameters

Fig. 5 Construction of parameter

Table 3 Effect of Parameterization Analysis (Basin Code)

Basin Code	Basin Area (km ²)	River extension (m)	time of concentration (TC, min)				Lag Time (Tlag, min)	storage constant (K, min)		CN	
			Inflow	Flow	Whole	Velocity of Flow		Sabol	alpha	CNII	CNIII
B020	18.26	8277	2.7	47.3	49.9	2.76	30.0	44.0	0.88	71.13	85.00
B030	16.59	7497	3.4	38.1	41.4	3.01	24.9	35.5	0.86	62.84	79.55
B040	10.67	5804	5.7	35.0	40.8	2.37	24.5	34.3	0.84	71.15	85.01
B050	11.46	8145	5.4	49.1	54.5	2.49	32.7	56.9	1.04	68.99	83.65
B060	22.78	9990	0.9	59.8	60.7	2.74	36.4	56.2	0.93	70.82	84.81
B070	4.43	4330	8.2	30.4	38.6	1.87	23.2	35.3	0.91	80.33	90.38
B080	16.08	7399	3.6	44.1	47.7	2.59	28.6	40.9	0.86	72.53	85.86
B081	6.81	6437	7.3	43.5	50.8	2.11	30.5	54.4	1.07	75.00	87.34
B090	8.80	4207	6.5	23.1	29.5	2.37	17.7	23.0	0.78	71.73	85.37
B100	11.39	6599	5.4	45.0	50.4	2.18	30.3	44.7	0.89	75.07	87.38

Table 4 Inflow of Bonghak reservoir

Return period	Duration (hr)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	15	18	24	
50 yr	154	166	165	162	157	151	144	138	136	122	110	101	85	
80 yr	171	182	179	176	170	164	156	149	146	132	119	109	92	
100 yr	180	190	187	183	176	170	161	154	151	136	123	112	95	
200 yr	205	213	209	203	196	188	179	171	167	150	136	124	105	
200 yr×1.2	246	256	251	244	235	225	214	205	200	180	163	148	126	

III. 결과 및 고찰

1. 홍수량 산정 결과 분석

가. 매개변수 산정결과

본 연구에서 홍수량 산정지점은 이천 하천정비기본계획 (Gyeong sang buk do, 1993)에서 홍수량 산정 시 채택한 산정지점과 동일한 산정지점을 채택하여 Fig. 5 (a)와 같이 DEM, 유역 분할 및 하천도를 구축하였으며, Fig. 5 (b)와 같이 HEC-HMS를 이용하여 매개변수 분석을 실시하였고 산정된 결과는 Table 3과 같다.

나. 단위도법에 의한 홍수량 산정결과

봉학 저수지로 유입되는 빈도별 지속시간별 홍수량을 산정한 결과 Table 4와 같이 봉학 저수지 설계빈도인 200년×1.2배는 235 m³/s로 산정되었으며, 임계지속시간은 5시간으로 나타났다.

2. HEC-ResSim을 이용한 홍수조절 효과분석

가. 방류량 산정 결과

Fig. 6은 각각 50년, 80년, 100년, 200년 빈도의 독 높임 사업 전후의 방류량 산정 결과이다. Fig. 6에서 보이는 바와 같이

침두 발생시간은 큰 차이가 없으나, Table 5와 같이 침두 유량은 줄어든 것을 알 수 있다. 또한 최대 방류량은 3~5 % 정도 감소되었으며, 홍수조절율은 22~30 % 가량, 홍수저류량은 16~17 % 가량 증가하였음을 알 수 있다. 홍수조절율은 식 (6)과 같고 홍수저류량은 식 (7)과 같다.

$$\text{홍수조절율 (\%)} = (\text{침두유입량} - \text{최대방류량}) / \text{침두유입량} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{홍수저류량 (m}^3\text{)} = \sum (\text{T시간의 유입량} - \text{T시간의 방류량}) \times \Delta t \text{ (sec)} \quad (\text{단, 유입량} > \text{방류량 일 때}) \quad (7)$$

3. HEC-RAS를 이용한 하천 하류지의 침수피해 저감 효과 분석

가. HEC-RAS 모형을 이용한 침수예상구역 분석

DEM과 수위DEM을 중첩하고 수위보다 낮은 지형을 취하면 침수예상구역을 결정할 수 있다. 이와 같은 과정에 의하여 연구대상지역 하천의 계획빈도인 50년 빈도의 독 높이기 사업 후 홍수량에 대한 수위계산결과를 이용하여 침수예상구역을 분석한 결과 시설제방고를 초과하는 수위가 없으므로 침수예상구역은 없는 것으로 분석되었다. 연구대상지역의 하천은 기본계획당시 확률강우량이 현재보다 크게 적용되었으며, 극대홍수량법에 의한 계획홍수량을 산정한 이유로 저수지 하류 (I2지점)~중하류 (I8지점)구간의 계획홍수량이 급회 산정된 50년 빈도 홍수량에 비해 상당히 크며, 시설제방도 또한 높은 것으로 조사되었다. 단, 하천의 하류구간 계획홍수량은 급회 산정된 50년 빈도 홍수량 880 m³/s보다 90 m³/s 작은 790 m³/s이지만 여유고가 부족할 뿐 범람은 발생하지 않았다. 따라서, 상위빈도인 80년 빈도를 대상으로 침수예상구역을 추가 분석한 결과 하류지역에 시설제방

Fig. 6 Estimation of reservoir discharge by frequency

Table 5 Effect of recurrence interval flood damage reduction Analysis

Return period (yr)	Peak Inflow (m³/s)	Peak Outflow (m³/s)			Flood Control ratio (%)			Flood water storage (thousand m³)		
		before	after	Intensification Factor (%)	before	after	Intensification Factor (%)	before	after	Intensification Factor (%)
50	166.2	143.43	138.37	-3.53	13.72	16.76	3.04	265.2	310.0	16.91
80	182.1	159.21	151.11	-5.09	12.56	17.01	4.45	279.9	327.1	16.86
100	189.7	165.1	156.85	-5.00	12.98	17.33	4.35	285.3	335.2	17.48
200	213.2	184.94	176.27	-4.69	13.26	17.32	4.06	307.4	360.4	17.26

고를 초과하는 수위가 발생하였으나 뚝 높이기 사업 후 80년 빈도 홍수량의 경우에서도 저수지 하류 (I2지점)~중하류 (I7지점) 구간까지 80년 빈도 홍수량이 기본계획홍수량보다 작으므로 이 구간의 범람구역은 발생하지 않았다.

나. 침수저감효과 분석

침수저감효과 분석을 위해 80년 빈도 홍수량에서 초기수위인

만수위를 0.25 m씩 낮추면서 분석한 결과 EL. 148.8 m 이하에서는 홍수량의 차이가 거의 나타나지 않았다. 이는 봉학저수지의 유역면적이 하구기준으로 14 %에 불과하여 하구 홍수량에 미치는 영향이 크지 않기 때문으로 판단된다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 하구기준으로 초기 만수위 EL. 149.8 m는 960 m³/s, EL. 148.8 m는 887 m³/s로 홍수량이 73 m³/s 감소하나, 초기수위를 더 이상 낮추어도 하구 홍수량

Fig. 7 Flood of Initial Water level (80 -year recurrence interval)

Fig. 8 Flooding damage area of Initial Water level (80 -year recurrence interval)

감소에 미치는 효과가 크지 않은 것으로 나타났고, 초기수위를 1 m 낮춘 결과 50년 빈도 홍수량인 $890 \text{ m}^3/\text{s}$ 보다 작아지는 것으로 분석되었다.

따라서, 80년 빈도 홍수량 발생 시 저수지 초기수위를 만수위인 EL. 149.8 m에서 1 m 낮춘 EL. 148.8 m으로 관리하는 경우 침수피해 방지가 가능한 것으로 나타났다. 또한, 제내지의 지반고가 낮고, 지반고 차이가 크지 않아 일단 제방으로 월류가 발생할 경우 Fig. 8과 같이 초기수위별 침수면적의 차이는 매우 작게 나타났다.

IV. 결 론

농업용 저수지 뚝 높이기 사업은 4대강 종합정비 기본계획의 일환으로 추가 확보 가능한 저수량을 홍수기에는 홍수조절용량으로 활용하여 침수피해를 방지하고, 비 홍수기에는 하류하천의 유황을 개선하는 것에 그 목적이 있다.

이에 본 연구에서는 경상북도 성주군 벽진면 봉학리에 위치한 봉학저수지 및 하류지역을 대상으로 저수지 뚝 높이기 사업에 따른 홍수조절효과 분석과 하류지역의 침수피해 저감 효과를 분석

하였다. 이를 위해 HEC-ResSim모형을 이용하여 홍수조절효과를 분석하였으며, HEC-RAS모형을 이용하여 하류지역의 침수피해지역을 예측하여 침수피해 저감 효과를 분석하였다. 그 결과 홍수조절율은 3~4.5 % 가량 증가하였으며, 홍수저류량은 16~17 % 가량 증가하는 것으로 분석되었다. 또한, 하류지역에서의 침수피해 분석 결과 임계지속시간의 50년 빈도에 대해서는 침수가 되지 않는 것으로 분석되었으나, 80년 빈도일 때에는 성주읍~백천 합류점 구간에서 침수피해가 발생하는 것으로 분석되었다. 그러나 침수저감효과 분석을 위해서 초기수위를 1 m 낮춘 EL. 148.8 m로 유지할 경우 80년 빈도에 대해서도 하류지역에서 침수가 발생하지 않는 것으로 분석되었다. 따라서 여름철 장마철/홍수기 때에는 상시만수위를 1 m 가량 낮추어 운영함으로써 하류지역의 침수피해를 예방할 수 있는 것으로 분석되었다. 그러나 100년 빈도 및 200년 빈도 강우에 대해서는 하류지역 하천이 50년 빈도로 설계되어 통수능력이 절대적으로 부족하기 때문에, 침수피해를 예방하기에는 한계가 있다. 따라서 현재 대상 하천의 계획빈도인 50년 빈도를 상향 조정하는 등 구조적, 비구조적 대책이 향후 하천기본계획 시행과정에서 검토되어야 할 사항이라 판단된다.

본 연구의 결과에서 보이는 바와 같이 농업용 저수지 뚝 높이기 사업으로 인하여 홍수 조절율과 저류량이 증가하였으며, 하류지역 침수피해 저감에도 큰 역할을 하는 것으로 분석되었다. 또한, 유역에서의 저수지 뚝 높이기 사업에 따라 홍수조절 효과뿐만 아니라, 하류지역 환경용수량 확보를 통한 건기 하천 생태계 복원 등 다양한 긍정적인 효과를 기대할 수 있을 것이라 사료된다.

REFERENCES

- Ahn, J. M., Lyu, Siwan., Kim, J. C., 2012. Study of Operation Rules for Flood Control to Seomjin River Dam Using HEC-ResSim. *Journal of The Korean Society of Civil Engineers* 32(2): 93-101 (in Korean).
- Choi, H. S., 2009. Flood influence analysis the river (hu-chun) around pumped storage power plant, based on HEC-RAS, Masters's Thesis, Kwandong University, Gangneung, Korea, 7-8.
- Gyeong sang buk do, 1993. I Cheon Basic Plan for river maintenance, 627.493 (B029813), Gyeong sang buk do, 1-262.
- Jun, K. W., and H. J. Lee, 2007. Analyzing the Flood Inundation in Low Agricultural Area. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 49(2): 17-24 (in Korean).
- Jun, K. S., 2011. Analysis of Flood Control Effects of Four River Restoration Project, *Magazine of Korea Water Resources Association* 44(1): 37-40 (in Korean).
- Kim, D. G., L. Y. Lee, C. W. Lee, N. R. Kang, J. S. Lee, and H. S. Kim, 2011. Analysis of Flood Reduction Effect of Washland using Hydraulic Experiment. *Journal of Wetlands Research* 13(2): 307-317 (in Korean).
- Kim, H. K., M. S. Kang, I. H. Song, S. H. Hwang, J. H. Park, J. H. Song, and J. H. Kim, 2012. Flood Inundation Analysis in a Low-lying Rural Area using HEC-HMS and HEC-RAS. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(2): 1-6 (in Korean).
- Klipsch, J. D., and Hurst, M. B., 2007. HEC-ResSim, Reservoir System Simulation User's manual.
- Koh, D. K., R. H. Park, and W. G. Kim, 2000. Analysis of Flood Control Effect by Multipurpose Dam using Rainfall-Runoff Model. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 2000.10(3): 225-228 (in Korean).
- Korea Environment Institute (KEI), 2011. <http://www.kei.re.kr>.
- Korea Precipitation Frequency Data Server, 2012. <http://www.k-idf.re.kr>.
- Korea Rural Community Corporation, 2010. Basic plan to heightening of Bonghak agricultural reservoir. Korea Rural Community Corporation Gyeongbuk jiyek bonbu.
- Korea Water Resources Corporation, 2012. Water for the Future, *Korea Water Resources Corporation*: 19-22.
- Lee, W. H., S. J. Kim, and P. S. Kim, 2004. Flood Effect Analysis of Reservoir Basin through the Linkage of HEC-HMS and HEC-RAS Models, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 46(2): 15-25 (in Korean).
- Kim, C. W., 2009. Master plan of The Four-River Restoration, Ministry of Land. *Transport and Maritime Affairs*: 1-497.
- Hwang, S. H., 2011. research for Improvement and Supplement of Probability Rainfall, No. 11-1611000-001995-01, Ministry of Land. *Transport and Maritime Affairs*: 1-201.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs

- (MLTM), 2011. Water Vision 2020, No. 11-1611000-002114-13, Ministry of Land. *Transport and Maritime Affairs*: 34-36.
19. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM), 2012. *Estimation of Design Rainfall Means*: 1-73.
20. National Disaster Management Institute (NDMI), 2006. FARD2006 User's manual.
21. National Emergency Management Agency (NEMA), 2011. Disaster chronological list, No. 11-166000-000032-10. *National Emergency Management Agency*: 831-942.
22. Seo, H. G., D. G., Kim, C. S., Kim, and J. W. Lee, 2006 (May). Investigating Operation Rule of Daecheong-dam with additional Emergency Spillway, *Journal of Korea Water Resources Association* 18: 937-941 (in Korean).