

HEC-HMS와 HEC-RAS모형의 연계에 의한 댐 유역의 홍수영향 분석

Flood Effects Analysis of Reservoir Basin through the Linkage of HEC-HMS and HEC-RAS Models

이 원 희* · 김 선 주** · 김 필 식***

Lee, Weon Hee · Kim, Sun Joo · Kim, Phil Shik

Abstract

For the effective operation of irrigation reservoirs, a general and systematic policy is suggested to make balance of the conflicting purposes between water conservation and flood control.

In this study, the flood effective analysis system was developed through the integration of long-term water budget analysis model, GIS-based HEC-HMS model and HEC-RAS model. The system structure consists of long-term water budget model using modified TANK theory, flood runoff and flood effects analysis model using HEC-GeoHMS, HEC-HMS and HEC-RAS models.

The flood effects analysis system simulated the flood runoff from the upstream, downstream flood and long-term runoff of the watershed using the observed data collected from 1998 to 2002 of Seongju dam. The simulated results were reasonably good compared with the observed data.

The optimal management method of the reservoir during the whole season is suggested in this study, and the flood analysis system can be a useful tool to evaluate a reservoir operation quantitatively for the mitigation of flood damages of reservoir basin.

Keywords: Flood effects analysis, Long-term water budget, Restrict water level, Analysis of reservoir behaviour, HEC-HMS, HEC-RAS

I. 서 론

댐은 장기적으로 비홍수기의 용수공급을 위한 이수대책과 단기적으로는 홍수기의 홍수피해경감을 위한 치수대책을 기본으로 하여 운영관리하여야 한다. 따라서 홍수기를 통해 용수도 확보하고 홍수피해도 최소화할 수 있도록 저수공간의 탄력적 운영이 필요하다.

* 농업기반공사 천안지사
** 건국대학교 생명환경과학대학
*** 건국대학교 대학원
** Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3753
Fax: +82-2-444-0223
E-mail address: sunjoo@konkuk.ac.kr

최근에는 이상기후에 따른 집중호우의 영향과 하천에 인접한 제내지에서의 토지 이용 등으로 인하여 댐 상류와 하류지역에서 홍수피해는 더욱 증가하고 있기 때문에 이미 선진국에서는 댐 하류부의 인명과 중요시설을 보호하기 위하여 댐 및 제방시설에 대한 위험도 해석과 그에 따른 홍수범람 예상도 등의 작성을 법적으로 의무화하고 있다. 특히 홍수 조절 능력이 부족한 관개용 댐의 경우 극한 강우조건에 대비할 수 있도록 홍수영향 분석 기법 개발이 요구되고 있다.

본 연구의 목적은 수리 수문학적 모형인 장기물수지 모형, HEC-GeoHMS, HEC-HMS 및 HEC-RAS 모형을 연계 응용하여 성주댐유역을 대상으로 수문분석, 장기유출량분석, 홍수유출량분석, 하류하천의 홍수영향분석 등을 실시함으로써 댐유역의 홍수영향분석 시스템을 개발하는데 있다. 한편, 본 연구를 통해 홍수가 발생하였을 때에는 댐수위 조작으로 홍수피해를 사전에 방지하고 가뭄시에는 효율적인 저수지관리 방안을 제시하였다. 나아가 다른 댐에도 본 연구를 적용하여 홍수재해를 줄이고 합리적으로 용수를 이용하는데 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

II. 시스템의 기본이론

1. 장기물수지모형 이론

본 연구에서는 장기 유출량 산정을 위해 3단 TANK, 4개의 유출공을 갖는 수정 TANK 모형을 사용하였고, 유역에 따라 TANK의 수나 유출공의 수는 조정하지 않는 것으로 하였으며 증발산 성분을 상수로 처리하여 유출해석에서 증발산 성분의 변화와 오차는 매개변수항으로 처리하였다.⁴⁾

유출량을 모의발생하기 위해서는 매개변수 추정 문제가 되므로 건교부의 국제수문개발계획(IHP)의 대표유역 16개소, 기타지역 8개소, 총 24개소의 실측된 유출량자료와 해당 유역의 수문특성

인자로부터 선형 회귀식을 개발하여 일반화된 회귀 방정식을 제안하였다. 각 유역의 실제 유출량 자료를 7~10년 정도 확보하여 매개변수를 Rosenbrock³⁾ 법에 의해 최적화시켰고, 유역별 지상인자와 유역별 년단위 최적 매개변수와의 상관관계를 분석하였다.²⁾

저수지 조작의 방류량은 저수지 수혜지역에 해당하는 관개지구의 작물 생육시기를 고려한 일별, 월별 소비수량 즉, 관개지구에서 필요로 하는 필요수량과 생·공업용수와 하천유지용수를 방류량으로 결정하였다.

2. HEC-GeoHMS와 HEC-HMS모형의 이론

HEC-GeoHMS⁶⁾는 ArcView GIS의 확장모듈로써 2000년 미 육군 공병단과 환경시스템연구소가 공동으로 개발하였으며, GIS 기법을 쉽게 이용할 수 있도록 하여 HEC-HMS와 연계하는 역할을 한다. GIS자료는 ARC Grid 형식을 지원하는 표준 GIS 소프트웨어를 사용하여 자료를 조립(assembly)한 후, HEC-GeoHMS를 이용하여 여러 가지 수문입력자료 생성을 위한 지형·공간자료를 처리하고, 하천과 유역의 특성, 강우자료, 유량자료를 이용하여 수문변수를 추정한다. 이러한 수문입력자료는 HEC-HMS 모형의 기초 입력자료로 이용된다.

HMS (Hydrologic Modeling System)⁵⁾ 모형은 1995년 미육군 공병단에서 개발한 모형으로 기존의 HEC-1모형을 발전시킨 모형이다. HEC-HMS를 이용한 모의는 수문요소들로 구성된 유역을 표현하는 것이며, 수문요소로서는 소유역(subbasin), 하도구간(reach), 저수지(reservoir), 합류점(junction), 분기점(diversion), 수원점(source), 함몰점(sink) 등 7가지가 있다. 본 연구에서 강우 초기손실량 산정은 SCS법을 이용하였고, 그 결과를 이용하여 유효강우량으로 인한 직접유출량을 산정하였으며, 변환방법은 Clark법을 이용하였고, 홍수추적 방법은 우리 나라와 같이 하상경사가 큰 유역에 적

Table 1 Storage state of Seongju dam

Basin area (m ²)	Irrigation area (m ²)	Storage (10 ³ m ³)	Full supply area (m ²)		Full supply level (EL.m)		Dead storage level (EL.m)
			Summer	Winter	Summer	Winter	
149,600	31,600	38,240	1,830	2,050	184.7	187.9	162.0

절한 Muskingum법을 선정하였다.

3. HEC-RAS모형의 이론

HEC-RAS (River Analysis System)⁴⁾는 1차원 정상류와 부정류 해석을 위해 개발된 모형으로 HEC-2 모형을 발전시킨 것으로 사용자편의시스템, 수리해석 모듈, 자료 저장 및 처리 모듈 등으로 구성되어 있다. HEC-RAS는 자연수로 또는 인공수로에서 점변류의 1차원 수면곡선을 계산하며 상류, 사류, 혼합류 구간에서의 수면곡선 계산이 가능하다. 기본방정식은 단면간에 에너지 방정식에 의한 Standard step method를 반복 이용하여 계산한다.

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 대상유역

본 연구의 대상유역은 관개용 댐으로 물관리자동화시스템이 설치되고 비교적 규모가 큰 성주댐 유역을 대상으로 1998년부터 2002년까지 조사된 자료를 사용하였다. 성주댐은 경상북도 성주군 가천면 중삼리에 위치하며 관개면적에 대한 유역면적의 배율은 약 5배이며, 저수현황은 Table 1과 같다. Fig. 1, 2는 성주유역 홍수영향분석을 위한 소유역 분할과 하류하천의 측정지점이며, Table 2는 소유역별 지형분석 자료이다.

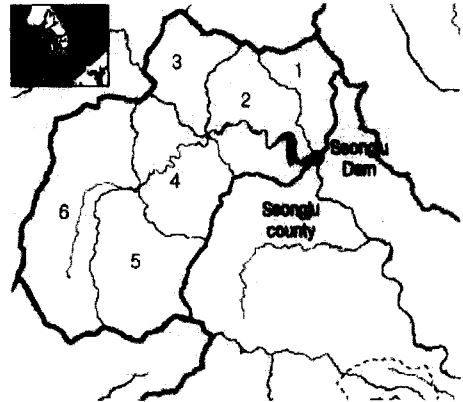


Fig. 1 Subbasins of Seongju basin



Fig. 2 Observed station of Seongju basin down stream

Table 2 Topography analysis by subbasin in Seongju basin

Classification	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Area (km ²)	12.95	25.15	19.67	24.08	40.14	30.21
Stream length (km)	7.84	11.16	9.79	7.59	12.00	9.93
Main stream length (km)	3.69	7.32	7.33	4.81	8.89	6.47
Stream bed slope (%)	2.7	1.37	1.36	4.17	5.40	10.07

2. 시스템의 연계운영

성주댐의 집중호우에 대한 경향과 규모를 분석하기 위해 설계전·후의 수문분석을 실시하였고, 댐의 적정 필요저수량과 홍수기 관리수위를 판단하기 위해 장기물수지 분석을 실시하였다. HEC-GeoHMS를 사용하여 댐유역의 지형분석을 실시하고, 1998~2002년까지 실측된 강우사상을 대상으로 HEC-HMS를 적용하여 댐의 홍수유출량을 산정하였으며, HEC-RAS를 이용하여 하류하천의 홍수영향을 분석하였다. 즉 장기물수지모형, HEC-GeoHMS, HEC-HMS, HEC-RAS를 연계 응용하여 댐유역의 홍수영향분석 시스템을 개발하고, 동 시스템에 성주댐 유역을 모의하였다.

성주댐의 물관리를 효율적으로 하기 위해 확률강우량에 의한 홍수유출량과 최소 필요저수량을 고려하여 방류량을 결정하고, 방류량에 따른 하류 하천의 홍수 영향을 분석하여 홍수기에 유지해야할 댐 관리수위와 하류하천 홍수대책 등을 제안하였다.

수문분석과 장기 물수지 분석을 위해 대구관측소와 성주댐 관측소의 강우자료를 사용하였고, 홍수

유출량 분석을 위해 2002년과 2003년에 발생한 5개의 강우사상과 실측 유출량자료를 사용하여 홍수 예측모형의 보정 및 적용을 실시하였다(Table 3). 적용 강우 중 Case IV는 우리나라에 큰 홍수재해를 발생시킨 태풍 '루사'에 해당하며, Case V는 태풍 '매미'로 인한 강우를 나타낸다.

하류부에 대한 홍수영향을 분석하기 위해 성주하류 하천을 대상으로 측정지점 간격을 200 m로 기준하되 범람 흔적이 있거나 수리학적 문제가 있는 것으로 판단되는 지점을 포함하여 총 26개 지점의 하천 단면을 측량하였다(Table 4). 댐 방류

Table 3 Observed data for flood effects analysis

Case	Date	Rainfall (mm)	Runoff (1,000m ³)	Peak flow (m ³ /s)	Max. release (m ³ /s)
Case I	02/07/05	194	19,996	620	690
Case II	02/07/23	103	7,790	201	483
Case III	02/08/06	70	4,199	143	380
Case IV	02/08/30	392	49,244	1,360	1285
Case V	03/09/12	192	18,201	524	864

Table 4 Specification of observed station for flood effects analysis

Station	Bank crest elevation(L) (EL,m)	Bank crest elevation(R) (EL,m)	Station length (m)	Station	Bank crest elevation(L) (EL,m)	Bank crest elevation(R) (EL,m)	Station interval (m)
1	116.8	117.4	200	14	132.0	131.7	110
2	117.8	118.2	200	15	131.5	132.5	90
3	118.7	118.9	200	16	134.0	134.1	200
4	120.0	119.6	200	17	133.9	135.0	200
5	121.0	120.5	200	18	135.2	136.3	200
6	122.0	121.7	200	19	136.7	136.1	200
7	124.3	123.2	200	20	139.3	138.6	200
8	125.2	124.5	200	21	140.6	140.5	200
9	126.2	126.0	200	22	141.5	141.6	200
10	126.5	126.9	200	23	142.8	143.3	200
11	128.3	128.2	200	24	143.6	145.3	200
12	129.7	129.8	200	25	144.2	144.2	115
13	130.9	130.4	200	26	156.7	154.7	85

지점을 26번으로 하고, 강우발생시 하천수위는 실측과 홍수흔적 조사를 통해 자료를 구축하였다. 홍수영향 분석을 위해 하류 하천의 피해정도는 제방고 보다 수위가 높을 경우에는 '범람', 수위가 제방고 이하 50 cm 까지는 범람이 발생할 수 있는 수위로 '위험'으로 표시하였다.

홍수영향 분석 시스템의 모의능력을 평가하기 위하여 통계적 방법을 적용하였으며, 평가기준은 모형 효율성계수(Model Efficiency ; ME), 결정계수, 상대오차를 사용하였다. 모형 효율성계수는 편의를 줄일 수 있는 무차원 계수로 자료의 개수에 상관없이 절대적 평가기준이 될 수 있으며 다음과 같이 나타낸다.¹¹⁾

$$ME = \frac{F_o^2 - F^2}{F_o^2}$$

$$F^2 = \sum_{i=1}^n [q_o(t) - q_s(t)]^2, F_o^2 = \sum_{i=1}^n [q_o(t) - \bar{q}]^2$$

여기서, $q_o(t)$, $q_s(t)$ 는 시간 t 에서의 실측값과 모의값이고, \bar{q} 는 실측유량의 평균값이다.

IV. 결과 및 고찰

1. 장기물수지분석

성주댐의 저수위 거동분석을 통해 일별물수지분석을 실시하였다. 이 방법은 저수량의 실제거동을

보이므로 계산이 간단하고 유출기록으로 분석하기 때문에 어떤 시간에도 적용이 가능하며 급수량의 계절성을 고려할 뿐 아니라, 기후와 저류량에 따라 저수지 이수관리를 실시할 수 있다.⁵⁾

관개기인 4월 20일부터 9월 30일까지 분석하였고, 성주댐의 저수위 관리 계획에 따라 하계만수위인 184.7 EL.m가 되면 방류하는 것으로 모의하였다. 적용 결과 Fig. 3과 같이 관개기 동안의 저류량 경향은 비슷하게 나타났고, 상대오차의 평균은 다소 큰 9.3%, 결정계수는 평균 0.78, 모형 효율성은 평균 0.73으로 나타났다(Table 5). 분석 결과 저수위를 하계 만수위를 고정으로 하여 조작하므로 용수확보를 위한 현장 관리상황과의 차이로 최대 저류량 부분에서 실측값과 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 전년도에 비하여 하계만수위를 초과하는 저수량이 많을 수록 오차가 크게 나타났고, 2001년과 같이 저수량의 변동이 전반적으로 적을 경우에는 결과가 양호하게 나타났다.

2. 홍수 유출량 분석

총 5가지의 실측강우 중 3개 강우사상을 이용하여 유입량의 보정 및 검증을 실시하였으며 침투유량, 침투시간에 대한 통계적 평가 기준인 상대오차, R^2 및 모형의 효율성은 Table 6과 같이 실측값을 잘 반영한 것으로 나타났다.

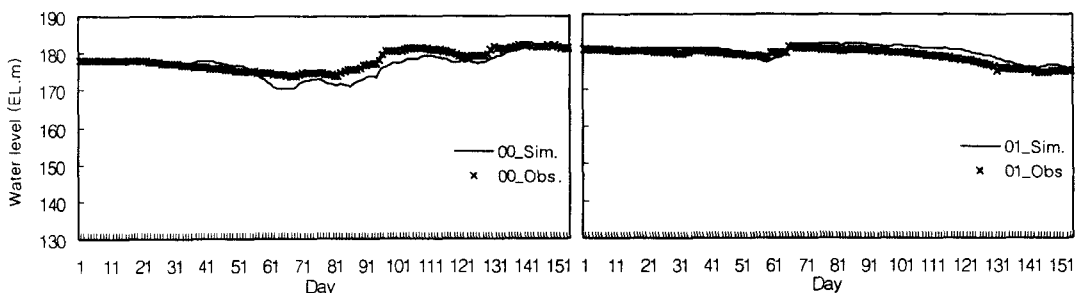


Fig. 3 Comparison of simulated and observed water level of Seongju reservoir (2000, 2001)

Table 5 Comparison of simulated and observed water level of Seongju reservoir

Year		1998	1999	2000	2001	2002
Period		April 20 - Sept. 30				
Ave. storage ($10^3 m^3$)	Obs.	28,612	29,609	22,670	23,909	26,465
	Sim.	30,933	30,063	20,865	26,465	28,767
Obs. stage (EL.m)	Max.	184.5	185.4	182.3	181.3	190.2
	Min.	180.1	180.5	173.9	174.5	176.7
	Ave.	181.9	181.5	177.9	178.9	180.2
Sim. stage (EL.m)	Max.	184.7	184.7	182.2	182.2	184.7
	Min.	180.2	179.2	170.4	175.2	176.9
	Ave.	181.2	181.6	176.8	180.1	181.1
Model efficiency		0.69	0.72	0.75	0.80	0.71
R^2		0.71	0.78	0.84	0.89	0.72
Relative error (%)		9.2	9.1	9.7	9.4	9.3

Table 6 Error of peak flow and time by case I, II, III

Classification	Case I (m^3/s)	Case II (m^3/s)	Case III (m^3/s)	R. E.	R^2	ME
Peak flow	Obs.	620	202	143	0.07	0.91
	Sim.	639	176	133		
Peak time	Obs.	10:20	07:10	05:40	0.12	0.87
	Sim.	10:00	07:00	06:00		

모형의 적용은 실측강우 증 보정 및 검증에 사용되지 않은 Case IV, Case V 강우를 사용하였다.

Fig. 4는 태풍 루사의 경우로 첨두유량이 $1,360 m^3/s$ 로서 설계홍수량 $1,178 m^3/s$ 보다 $182 m^3/s$ 정도 크게 나타나 성주댐 유역에 홍수피해가 발생하였다. 성주댐의 경우 물넘이 수위에 이르렀을 때 방류가 가능하므로 이번과 같은 집중호우에 홍수조절기능이 부족한 것으로 나타났다. Fig. 5는 태풍 '매미'의 경우로 짧은 시간에 많은 양의 강우가 발생하였고, 적용 결과 R^2 이 평균 0.86로 모형의 적용성이 입증된다고 판단된다.

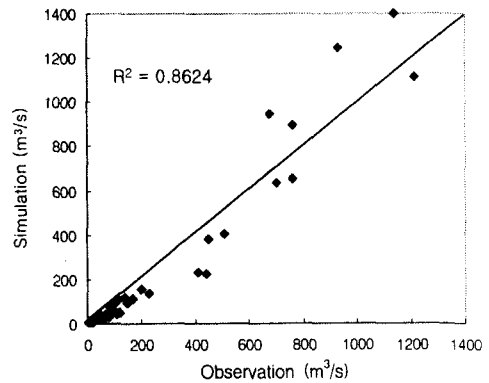
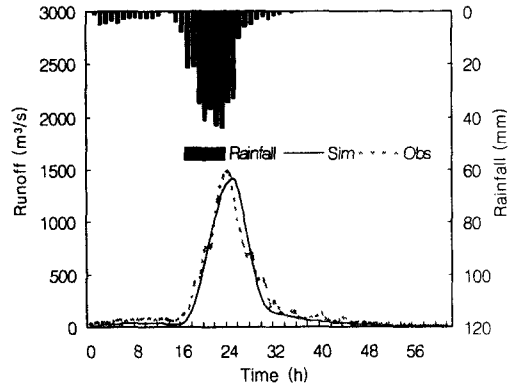


Fig. 4 Comparison of observation and simulated runoff by Case IV

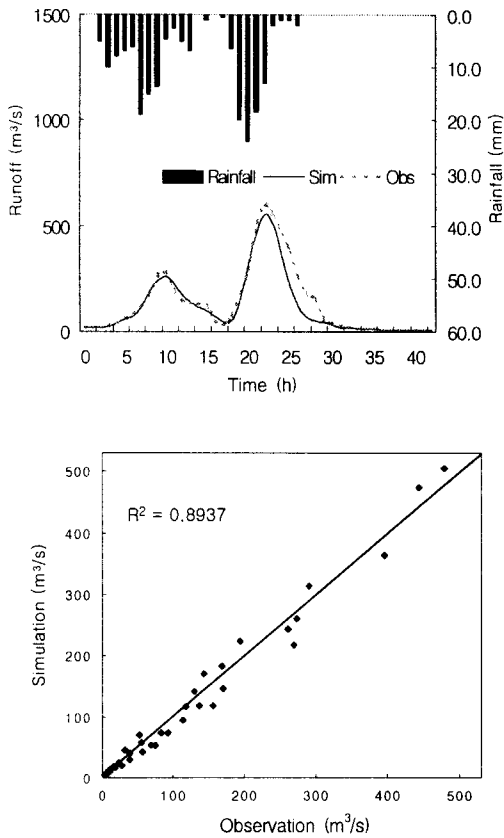


Fig. 5 Comparison of observation and simulated runoff by Case V

3. 하류부 홍수영향 분석

성주댐 하류의 홍수영향 분석은 홍수유출분석과 같은 5가지의 강우로 보정 및 검증을 실시하고 적용을 통해 모형의 적용성을 입증하였다. 조도계수는 "Open-Channel Hydraulics (Chow)¹⁰⁾"에서 제시한 Manning의 조도계수를 이용하여 성주댐 하류 하천의 특성상 자갈과 잡초가 많으므로 적용 범위를 0.03~0.045로 하고 조도계수를 사용하여 보정을 실시하였다.

Table 7은 하류 하천의 보정 후 실측값과 모의값에 대한 결과이며 모두 범람이나 위험 수위가 나타나지 않았다.

Table 7 Results of calibration by Case I, II, III

Case	Release	Relative error	R ²	ME
Case I	690m ³ /s	0.07	0.87	0.84
Case II	483m ³ /s	0.06	0.88	0.87
Case III	380m ³ /s	0.07	0.74	0.76

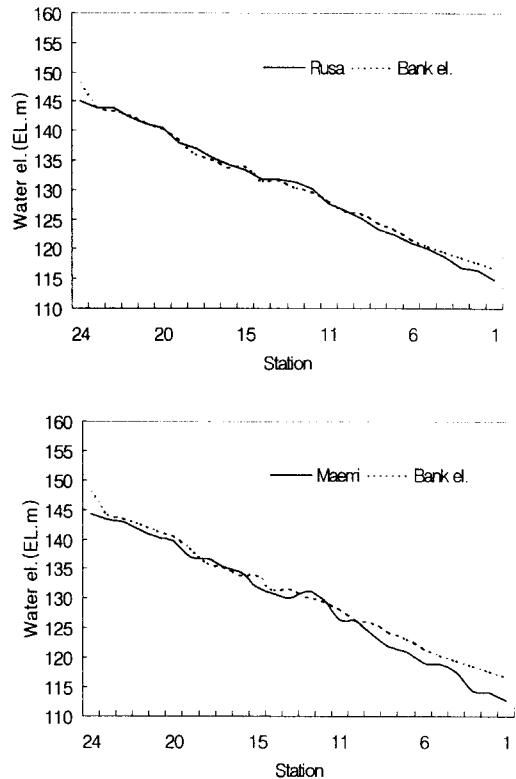


Fig. 6 Water and bank crest elevation by stations (Case IV, V)

홍수영향 분석의 적용결과는 하류하천의 범람과 붕괴로 인한 홍수흔적 자료를 이용하여 비교하였으며, 분석 결과 범람지점이 현장조사에 의해 일치하는 것으로 나타났다.

Fig. 6은 적용결과로 Case IV 태풍 '루사'는 강우량 392 mm에 대해 방류량이 1,285 m³/s로 하류부 26개 지점 중 8개 지점이 범람하였고, 5개 지점은 하천제방표고에서 50cm 이내로 위험 수위

Table 8 Results of flood effects analysis by Case IV, Case V

Case	Rainfall (mm)	Initial water level (EL.m)	Max. water level (EL.m)	Max. release (m ³ /s)	Number of overflow points	Number of near-overflow points
Case IV	392	180.8	190.1	1,285	8	5
Case V	192	182.4	187.9	864	4	4

를 나타내었다. 태풍 '매미'의 경우 강우량은 192 mm로 Case I과 비슷하지만 초기수위가 182.4 EL.m로 Case I의 176.8 EL.m보다 높고 집중적인 강우로 인해 방류량이 864 m³/s로 Case I에 비해 크게 나타나 각각 4개 지점에서 범람과 위험 수위가 발생하였다(Table 8).

이는 강우의 지속시간과 초기저수위에 따라 방류량이 결정되고, 결정된 방류량은 하류부의 피해에 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다. 따라서 관개용댐은 수문조작 특성상 예비방류가 어려우므로 강우 발생시 초기저수위의 효율적인 관리가 홍수피해를 최소화 할 수 있다고 판단된다.

4. 시스템의 응용

대구 관측소(1931~2002) 강우 자료를 사용하여 경년변화를 분석한 결과 성주댐의 설계 당시와 설계 이후의 연평균 강우량이 1119.5 mm에서 1381.6 mm로 증가한 것으로 나타났고, 성주댐의 관개기 저수지 일별물수지 분석 결과 2001년 전국적인 가뭄에도 불구하고 물 부족현상은 나타나지 않았다. 반면에 최근 2002년 태풍 '루사'나 2003년 태풍 '매미'와 같은 설계홍수량과 물넘이 홍수배제량을 초과하는 강우에 의해 홍수재해가 발생하였다.⁶⁾

성주댐의 물수지 분석과 필요저수량의 빈도분석 결과에 의하면 계획된 관개용수, 생활용수, 하천유지용수를 확보하기 위해 연평균 유입량의 42.3%의 수자원이 필요하며, 10년 빈도 가뭄에 대한 필요저수량은 17,138,000 m³으로 연 평균유입량의 약 15%에 해당하는 수량이다. 따라서 무효 방류량이

많이 발생하고, 평소 저류량이 많아 홍수피해의 위험이 있다고 판단된다.¹⁾

댐의 주사용량이 농업용수인 점을 감안하여 관개수량의 확보도 중요하나 홍수관리를 위한 대책이 필요하다고 사료되어 본 연구에서는 홍수영향분석 시스템을 사용하여 성주댐의 효율적인 물관리에 필요한 수위를 결정하고 댐 상하류의 홍수영향을 고려하여 수문조작을 모의하였다.

성주댐의 저수량은 취수탑을 통해 발전용수로 활용된 후 각각의 용수로 사용되고 있다. 이에 홍수피해의 경감과 발전용수의 확보를 위해 관개기간을 대상으로 방류량은 성주댐 조작일지(1998~2002)의 일평균 취수량인 250,000 m³/day부터 양을 증가하며 저수위의 거동을 분석하였다(Table 9).

10년 빈도 가뭄 필요저수량을 기준으로 할 경우 400,000 m³/d의 방류까지 평균저수위는 2000년에만 필요저수량 이하로 나타났고, 사수위를 기준으로 할 경우에는 400,000 m³/d의 방류까지 사수위 이하의 수위가 발생하지 않았다. 2000년의 경우 초기 저수량이 비교적 적은 관계로 필요저수량보다 부족한 경우가 발생하였으나, 그 밖의 해에 대해서는 400,000 m³/d의 방류까지 용수 부족이 나타나지 않았다.

이상의 결과를 사용하여 용수부족이 발생하지 않으며 발전용수량을 최대 사용할 수 있는 최저 수위를 10년 빈도 필요저수량에 해당하는 171.0 EL.m에 근사한 170.4 EL.m로 하고 방류가 가능한 물넘이 표고 182.4 EL.m까지를 제한수위의 범위로 홍수영향 분석을 실시하였다. 분석에 사용된 강우량은 현재까지 발생한 최대 강우와 성주유역의 가능최대강우량 616 mm에 해당하는 강우(200 mm~600 mm)를

Table 9 Reservoir storage analysis by simulated release

Year			1998	1999	2000	2001	2002	
Initial storage (10 ³ m ³)			31,628	29,974	21,907	27,144	29,613	
Intake water (10 ³ m ³ /d)	250	Min.	30,125	28,518	12,328	18,970	26,990	
		Ave.	31,604	31,042	19,737	27,819	30,149	
	270	Min.	29,027	27,778	11,008	17,830	25,537	
		Ave.	31,320	30,659	18,350	27,205	29,399	
	300	Min.	27,107	26,098	9,028	16,120	23,298	
		Ave.	30,735	29,485	16,238	24,910	28,235	
	350	Min.	23,907	23,092	5,368	13,270	17,978	
		Ave.	28,953	26,417	12,587	21,085	26,270	
	400	Min.	20,707	16,992	1,118	9,852	12,628	
		Ave.	26,668	22,620	8,762	17,260	24,263	
	Dead storage					3,730		
	10yr frequency requirement storage					13,450		

100 mm씩 증가시키며 모의하였다.

적용 강우량에 대해 총유출량과 최고수위를 산정하고 최고수위에서 최대방류량이 발생하는 것으로 하였으며 최대방류량은 하루하천의 최대유입량으로 사용된다. 강우량에 따른 홍수유출 결과는 Table 10과 같이 발생할 수 있는 수위는 185.9 EL.m~192.0 EL.m로 나타났고, 최대방류량은 451 m³/s~1,653 m³/s로 강우량 400 mm 이상부터는 설계홍수배제량 800 m³/s보다 크게 나타났다.

최대방류량에 따른 하루부의 홍수영향을 분석한 결과 강우량 200 mm, 300 mm 에서는 제한수위 170.4~182.40 EL.m범위 내에서 모두 안전한 것으로 나타났으며, 강우량 400 mm 경우에 제한수위가 170.4 EL.m일 경우에만 위험과 범람이 발생하지 않았고, 전 수위에 대해 범람과 위험이 발생하였다.

강우량 500 mm, 600 mm에서는 총 26지점 중 범람과 위험이 평균 6번, 12번 발생한 것으로 강우 500 mm 이상이 발생할 경우에는 하루하천의 범람피해는 저수위를 조절하여도 피할 수 없는 상황으로 나타났다. 따라서 400 mm의 강우까지는 제

Table 10 Total runoff and the maximum release by rainfall

Rainfall (mm)	200	300	400	500	600
Total runoff (10 ³ m ³)	16,603	28,815	41,852	55,345	69,119
Max. water level (EL.m)	185.9	187.7	189.3	190.7	192.0
Max. release (m ³ /s)	451	744	1,054	1,355	1,653

Table 11 Station number danger and overflow by rainfall-storage [danger(overflow)]

Restrict water level (EL, m)	Rainfall (mm)				
	200	300	400	500	600
182.40	0(0)	0(0)	3(4)	9(5)	13(6)
179.40	0(0)	0(0)	3(4)	8(6)	13(6)
176.40	0(0)	0(0)	2(2)	8(6)	13(6)
173.40	0(0)	0(0)	2(2)	7(6)	13(6)
170.40	0(0)	0(0)	0(0)	7(6)	11(8)

한수위의 조절로 홍수재해가 발생하지 않는 것으로 분석되었고, PMP에 해당하는 617 mm가 발생할

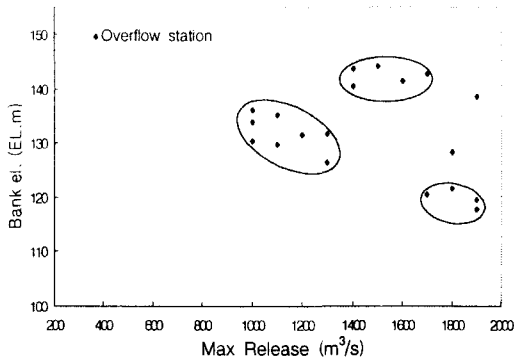


Fig. 7 Overflow station by release

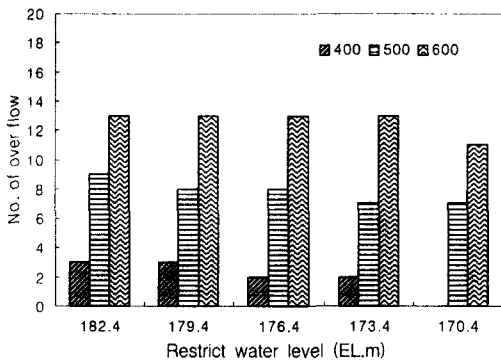


Fig. 8 Number of overflow points considering rainfall and restrict water level

경우에는 홍수피해가 크게 발생할 것으로 예상되므로 구조적 대책이 필요할 것으로 판단된다.

지점별 방류량에 따른 분석 결과는 방류량 1,000 m^3/s ~1,400 m^3/s 범위와 지점별로는 하천의 중류 지점에 먼저 범람이 발생하고, 상류, 하류 순으로 나타났다(Table 11, Fig. 7, 8).

IV. 결 론

본 연구에서는 수리·수문학적 모형인 장기물수지모형, HEC-GeoHMS, HEC-HMS, HEC-RAS를 연계 응용하여 장기물수지, 홍수유출량, 하류하천의 홍수영향분석을 실시하여 성주댐의 효율적인 물관리를 위한 연구를 수행하였다. 연구 결과를 요

약하면 다음과 같다.

1. 성주유역의 수문분석 결과 설계 당시와 설계 이후의 연평균 강우량이 1119.5 mm에서 1381.6 mm로 증가하였고, 성주댐의 물수지 분석과 필요저수량의 빈도분석 결과에 의하면 계획된 관개용수, 생활용수, 하천유지용수를 확보하기 위해 연평균 유입량의 42.3%의 수자원이 필요하며, 10년 빈도가뭇에 대한 필요저수량은 17,138,000 m^3 으로 연평균유입량의 약 15%에 해당하는 수량이다. 따라서 무효 방류량이 많이 발생하고, 평소 저류량이 많아 홍수피해의 위험이 있는 것으로 분석되었다.

2. 홍수피해 경감과 발전용수 확보를 위해 관개기간 저수위 거동 분석을 실시한 결과 2000년의 경우 10년 빈도 가뭇에 대한 필요저수량보다 부족한 경우가 발생하고, 나머지 적용 년에 대해서는 일평균 취수량인 250,000 m^3/d 보다 큰 400,000 m^3/d 의 방류까지 용수부족은 발생하지 않았다. 그러므로 현재보다 많은 양의 소수력 발전을 통해 경제적 이익과 홍수피해의 최소화를 위한 저수위 관리가 필요하다고 판단된다.

3. 홍수영향분석 시스템의 보정에 있어 홍수유출량 산정의 경우 침투유량과 침투시간에 대한 평균 상대오차, R^2 , 모형 효율성 계수가 각각 0.09, 0.88, 0.89로 나타났고, 하류부 홍수영향 분석의 경우 26개 지점에 대해 0.07, 0.83, 0.82로 실측값을 잘 반영하였다. 태풍 '루사'와 '매미'에 적용시켰을 때 홍수유출량은 상대오차가 0.87로 나타났으며 하류부는 홍수흔적 조사에 의해 범람지점이 일치하는 것으로 나타나 적용이 가능하다고 생각된다.

4. 홍수 영향분석 결과 200 mm~600 mm 강우에 대해 수위는 185.9 EL.m~192.0 EL.m로 나타났고, 최대방류량은 451 m^3/s ~1,653 m^3/s 로 강우량 300 mm 이상부터는 설계홍수배제량 800 m^3/s 보다 크게 나타났다. 하류부의 경우 강우량 200 mm, 300 mm 에서는 제한수위 170.4 ~ 182.40 EL.m 범위 내에서 모두 안전한 것으로 나타났으며, 강우량 400 mm부터 범람과 위험이 발

생하기 시작했고, 강우량 500 mm, 600 mm에서는 총 26지점 중 범람과 위험이 평균 6번, 12번 발생한 것으로 강우 500 mm 이상의 강우가 발생할 경우에는 하류하천의 범람피해는 저수위를 조절하여도 피할 수 없는 상황으로 나타났다. 지점별 분석 결과는 하천의 중류 지점에 먼저 범람이 발생하고, 상류, 하류 순으로 범람이 발생하는 것으로 나타났다. 지점별 범람 형태를 파악하므로 강우량에 따른 범람지점을 예측할 수 있고, 하천정비의 우선 순위와 범람의 정도에 따른 방재 대책에 도움이 되리라 판단된다.

5. 장기물수지 분석 결과 10년 빈도 필요저수량의 확보를 위해 저수위는 171 EL.m를 유지하면 용수공급이 가능한 것으로 분석되었고, 홍수영향 분석 결과 400 mm 정도의 강우량까지는 제한수위를 EL. 170.4 m로 유지하여 홍수피해를 방지할 수 있으므로 성주댐의 저수위 관리는 현재보다 많은 소수력 발전용수를 사용하여 경제적 이익을 추구하고 홍수기 재해 방지를 위한 홍수기 제한수위 관리가 필요하다고 판단된다. 그러나 PMP에 해당하는 강우가 발생하였을 경우에는 제한수위의 조절로 홍수피해를 방지할 수 없는 것으로 분석되었으며, 이에 대하여는 성주댐과 하류 하천의 구조적 대책이 필요한 것으로 판단된다.

References

1. Lee, Weon Hee, 2004, Development of Flood Analysis System of Watershed Using Hydraulic and Hydrologic Models, Ph.D. thesis : Konkuk University. (in Korean)
2. Kim, S. J., and P. S. Kim, 2001, Water Management Program for Water Management Automation System with Open Architecture, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol.43(5) : pp.83-92. (in Korean)
3. Kuester, J. L. and J. H. Mize, 1973, Optimization Techniques with Fortran, McGraw-Hill, New York.
4. Kim, H. Y. and S. W. Park., 1988, Simulating Daily Inflow and Release Rates for Irrigation Reservoirs (II), *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol.30(2) : pp.95-104. (in Korean)
5. Kim, T. C. and J. P. Moon., 1998, Optimal Flood Control Volume in the Irrigation Reservoir, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol.40(2) : pp.81-91. (in Korean)
6. Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation, 2002, Development of Flood Runoff Model and Long Term Hydrologic Model in Seongju Dam. (in Korean)
7. US Army Corps of Engineers, 2001, HEC-RAS River Analysis System-User's Manual.
8. Hydrologic Engineering Center, 1998, HEC-HMS Hydrologic Modeling System-User's Manual.
9. Korean Water Resources Association, 2001, Application of GIS on Hydroengineering : 9th Hydroengineering workshop. (in Korean)
10. Chow, V. T., 1959, "Open-Channel Hydraulics" Mcgraw-Hill Book Co.
11. D. S. Chanasyk, E. Mapfumo, W. Willms, 2002, Quantification and simulation of surface runoff from fescue grassland watersheds, *Agricultural Water Management*(59) pp.137-153.