

병렬 하천수위를 이용한 하류 홍수위 예경보기법

Down Stream Flood Forecasting and Warning Method Using Parellel River Stage

권기대*, 추연문**, 지홍기***

KiDae Kwon, YeanMoon Choo, HongKee Jee

요 지

인접한 저수지 간의 연계운영을 통한 홍수조절 및 용수공급능력을 제고시키기 위해서 저수용한 공유기법의 일환인 병렬저수지 시스템을 연구대상으로 안동댐 및 임하댐 유역을 연계운영기법으로서 홍수조절능력을 제고시키고 안동댐의 저수량을 확보시켜 용수공급능력을 제고시킬 수 있는 방법을 연구하였다. 특히 유역추적과 하도추적을 통해 계산된 매개변수들을 실제 형태와 비교분석하여 산정하고, 이에 따른 가장 적합한 강우-유출해석을 통한 하류 지역의 홍수 피해를 최소화하기 위한 예·경보 기법을 제시하였다. 최적의 유수전환용량을 산정하기 위해 저수지간의 Swiching 기법을 고려하였으며, HEC-HMS 모형을 이용하여 재현기간별 유입량을 예측하여 결과를 도출하였다.

핵심용어 : 홍수조절, 첨두홍수량, 유량전환비, 연계운영, HEC-HMS

1. 서론

우리나라는 경사가 급한 산악지형으로 인해서 홍수유출량이 많고 유량변동의 폭이 크다. 또한 하천의 유역면적이 작고 유로연장이 짧은 편이라 홍수도달시간이 다른 나라에 비해 상당히 큰 편이다. 이로 인해서 낙동강유역의 경우 거의 매년 홍수가 발생하여 큰 피해를 주고 있으며, 전선형 강우와 태풍의 진로에 따라 인명 및 재산의 피해를 입히고 있다. 따라서 홍수피해를 줄이기 위해서는 홍수조절능력을 증가시켜야하며, 가장 근본적인 대책은 중소규모의 댐을 건설 또는 보강하는 것이다. 하지만 국내 여건상 추가로 건설·보강은 힘든 실정이다.

댐의 운영방안은 크게 관개, 발전, 하천정화, 상수도공급 그리고 공업용수 등 하천유황을 조절하면서 운영하는 이수적인 측면의 장기운영방안과 홍수기에 이루어지는 홍수조절 등의 치수적인 측면의 단기운영방안으로 나눌 수 있다. 특히 저수지의 단기적인 운영방안인 홍수조절은 인명 및 재산과 직결되므로 저수지 자체의 공간을 가장 적절하게 활용하여 유입량을 저류함과 동시에 하류측의 상황을 고려하여 최적의 방류량을 결정해야 한다.

이를 위해서는 강우기록을 통한 정확한 유입량의 예측을 하여 댐 하류유역에 홍수피해를 줄이

* 정회원 · 영남대학교 대학원 석사과정 (E-mail : kidae@ynu.ac.kr)

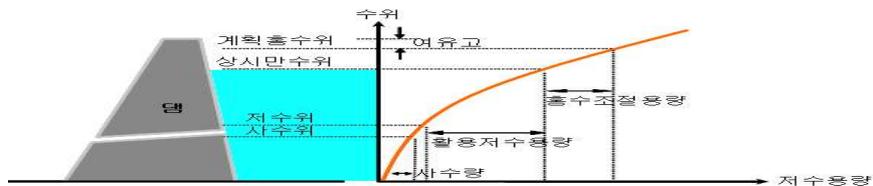
** 정회원 · 영남대학교 대학원 석사과정 (E-mail : hkjee@yu.ac.kr)

*** 정회원 · 영남대학교 건설시스템공학과 교수 (E-mail : chooyean@naver.com)

기 위한 시간별 방류량을 결정해야 한다. 즉 단일댐 혹은 댐군을 대상으로 유입홍수량, 조절용량, 하류의 하직상황, 방류량 등의 조절인자를 고려하여 연계해석을 통한 최적의 시스템을 개발해야 하며 궁극적으로 치수유역내 최적의 홍수대응체계를 개발해야 한다. 따라서 병렬 하천수위를 이용한 하류 홍수위 예경보기법의 방안을 제시하고자 한다.

2. 홍수조절기법의 기본이론

본 연구에서는 댐저수지 유역의 홍수유입수문곡선을 산정하기 위하여 HEC-HMS 모형을 적용하였으며, 홍수조절기법은 Rigid ROM을 적용하였다.



<그림 2.1> 저수지의 수위 및 저수용량에 대한 개념

2.1 댐저수지 홍수유입수문곡선 산정기법

이번 연구에 적용한 HEC-HMS 프로그램은 미국 육군공병단 수문연구소(U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center : HEC)에서 개발된 홍수수문곡선의 모델로서 호우사상에 대한 수문과정을 종합적으로 모의하여 일련의 홍수수문곡선을 산정하는 모형이다. 본 연구에서 유역추적은 Clark 모형을 적용하고 하도추적은 Muskingum 방법을 적용하여 홍수수문곡선을 산정하였다.

2.1.1 Clark 모형의 기본이론

Clark 모형은 순간단위도 개념을 이용하고 한 유역에 대하여 단 하나의 단위도를 유도하는 모형이며, Clark모형의 기본개념은 유역을 대표하는 시간-면적주상도의 추적에 의하여 지속시간이 0인 단위유효강우량을 유출수문곡선으로 변환하는 것이다.

Clark 모형에 의한 유역의 유출량(Q_i)은 단위유량도 j시간의 값(U_j)과 i-j+1시간에서의 유효우량(X_{i-j+1})에 의해서 식(2.1.1)과 같은 기본식으로 결정된다.

$$\sum_{j=1}^i U_j \cdot X_{i-j+1} \quad \text{식 (2.1.1)}$$

2.1.2 Muskingum 방법의 기본이론

자연하천의 하도를 통한 홍수의 추적은 흐름의 연속방정식인 저류방정식만을 사용하는 수문학적 추적방법과 운동량 방정식까지를 고려하는 수리학적 추적방법으로 나눌 수 있다.

수문학적 하도 홍수추적은 저수지 홍수추적에서처럼 저류방정식인 식(2.1.2)만을 사용하여 계산하되, 홍수시 하도의 저류량은 저수지의 경우와는 달리 하도구간의 상류단에 유입하는 유입량과 하류단으로의 유출량의 함수라고 가정한다.

$$\frac{1}{2}(I_1 + I_2)\Delta t + \left(S_1 - \frac{1}{2}O_1\Delta t\right) = S_2 + \frac{1}{2}O_2\Delta t \quad \text{식 (2.1.2)}$$

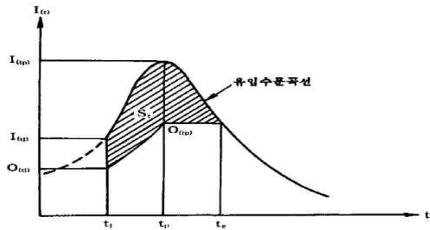
Muskingum 방법은 추적구간내 저류량에 미치는 홍수유입량의 영향을 고려하기 위하여 구간내의 총 저류량을 대형(prism) 저류량과 췌기(wedge) 저류량으로 구분하고, 대형저류량은 유출량에

만 비례하나 썩기저류량은 유입량과 유출량의 차에 비례한다고 가정하였다. 즉, 총저류량은 대형 저류량과 썩기 저류량의 합으로 표시된다.

2.2 ROM(Reservoir Operation Method)

①Rigid ROM

Rigid ROM은 저수위와 저수지로의 유입량의 크기를 고려하여 방류량을 결정하는 방법으로서, 현 시각에서의 저수위가 상시만수위보다 낮으면 홍수종료시각에 저수위가 상시만수위에 도달할 수 있도록 방류량을 적절하게 조정하고 현 시각에서의 저수위가 상시만수위보다 높으면 상시만수위와 계획홍수위사이의 공용량이 저류효과를 이용하여 홍수를 조절토록 하는 운영방법이다.



$$i = (1 - R) \int_t^{t_p} I(t)dt + \int_{t_p}^{t_e} I(t)dt - I(t_e)(t_e - t_p) \quad \text{식 (2.2.1)}$$

<그림 2.2.1> Rigid ROM의 개념도

3. 실제 댐저수지 구역의 유입량 해석 및 검토

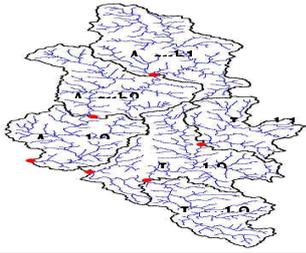
홍수조절기법을 적용하기 위하여 대상구역으로 선정된 안동/임하댐 구역을 조사하였으며, 분석에 필요한 수문 및 지형학적 인자들을 산정하였다. 또한 확률강우량을 산정하여 각 재현기간별로 추정되고 검증된 구역 및 하도매개변수를 적용하여 안동/임하댐 구역의 빈도별 유입량을 산정하였다.

구분	단위	제원		수계시스템도	
		안동댐	임하댐		
댐 마루표고	EL.m	166.0	168.0	안동댐	
계획 홍수위	EL.m	161.7	164.7		
상시 만수위	EL.m	160.0	163.0		
홍수기 제한수위	EL.m	160.0	154.0		
저수위	EL.m	130.0	154.0		
웨어 정고	EL.m	151.0	151.4	임하댐	
홍수조절방식	-	Rigid ROM	Rigid ROM		
홍수조절용량	10 ⁶ m ³	110.0	244.0(47.0)		
설계홍수량	m ³ /s	4,500(100년)	3,830(200년)		
방류량	계획홍수	m ³ /s	3,038		
	PMF	m ³ /s	8,500	7,600	

<표 3.1> 안동/임하댐 현황 및 수계시스템도

구역	구분	기호 & 지점명
안동댐	구역	①A_Sub1소천수위표 ②A_Sub2도산수위표 ③A_Sub3안동댐
	하도	①A_R1소천수위표-도산수위표 ②A_R2도산수위표-안동댐지점
임하댐	구역	①L_Sub1영양수위표 ②L_Sub2용전천 ③L_Sub3임하댐
	하도	①L_R1영양수위표-용전천합류점 ②L_R2용전천합류점-임하댐지점

<표 3.2> 안동/임하댐 구역분할

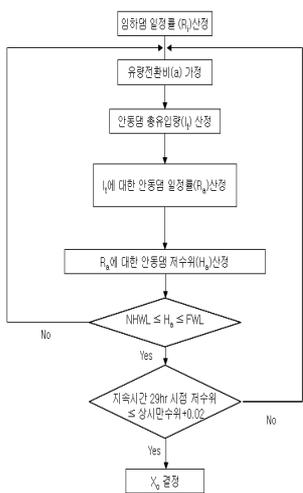
구역 (NO.)	도달시간, T _c (hr)				저류상수, R (hr)				소유역분할도
	Kirpich	Kerby	Kraven	Rizha	Sabol	Linsely	Clark	SCS _{lag}	
A_Sub1	7.87	9.27	3.89	10.30	8.84	25.85	3.39	5.78	
A_Sub2	5.61	7.55	2.49	6.43	5.30	18.90	2.18	5.17	
A_Sub3	7.72	9.16	3.83	10.60	7.88	20.82	3.30	6.12	
L_Sub1	5.15	7.17	2.24	5.94	4.82	11.36	1.95	4.52	
L_Sub2	7.55	9.04	3.71	10.15	8.38	18.67	3.21	5.97	
L_Sub3	9.94	10.68	5.29	14.35	14.56	34.08	4.58	7.64	

<표 3.3> 안동/임하댐 구역의 지형인자

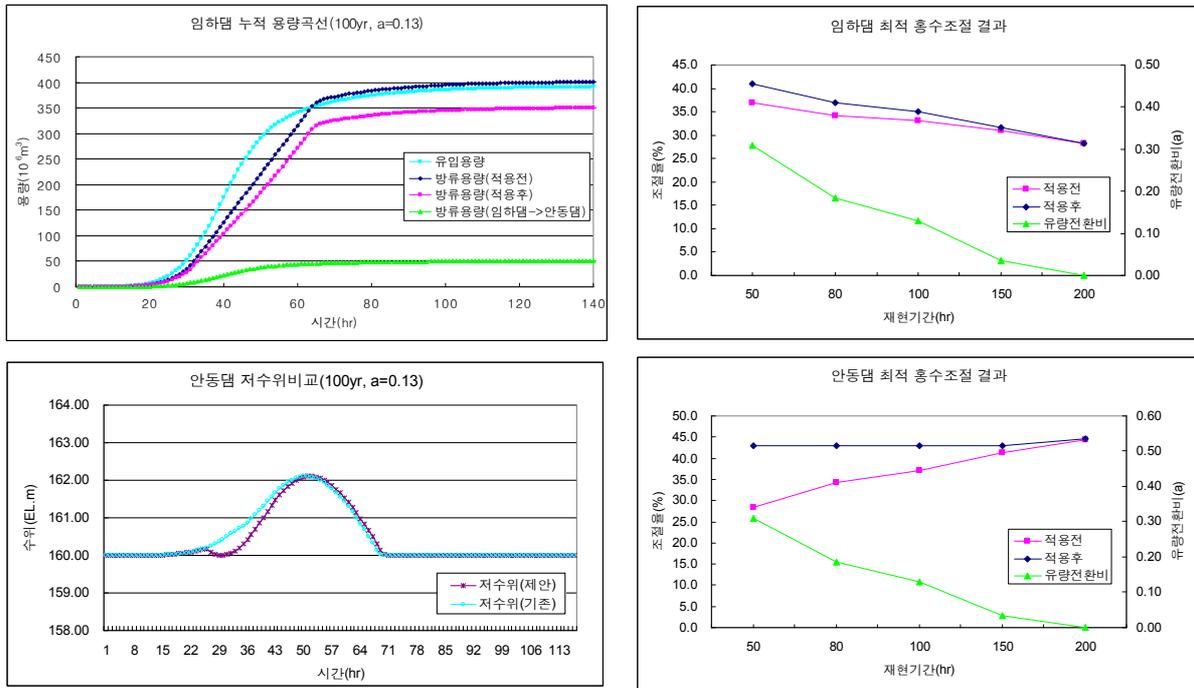
4. 홍수조절 기법 적용분석

운영절차에 의해 연계운영에 의한 홍수조절을 실시한 결과 최적화계수인 유량전환비 a는 재현기간 T=50년 일 때 0.310, T=80년 일 때 0.185, T=100년 일 때 0.130, T=150년 일 때 0.035으로 산정되었으며, T=200년 일 때는 연계운영에 의한 홍수조절기법의 적용이 불가함을 알 수 있었다. 안동댐의 경우 유량전환비에 의해 임하댐의 홍수량이 유입되었음에도 유량조절율이 증가한 것은 침두방류량이 안동댐의 설계방류량과 같아 일정량 방류를 실시하였기 때문으로 분석된다.

$$\text{조절율}(\%) = \frac{\text{최대유입량} - \text{최대방류량}}{\text{최대유입량}} \times 100 \quad \text{식(4.1)}$$

분석		재현기간(yr)					홍수기법 적용절차	
		50	80	100	150	200		
임하댐	유량전환비, a	0.310	0.185	0.130	0.035	-		
	일정률 (%)	63.2	65.8	67.0	69.1	70.7		
	침두유입량 (m ³ /s)	적용전	3,455	3,764	3,925	4,212		4,455
		적용후	3,455	3,764	3,925	4,212		-
	침두방류량 (m ³ /s)	적용전	2,182	2,476	2,629	2,910		3,200
		적용후	2,042	2,371	2,547	2,883		-
조절율 (%)	적용전	36.8	34.2	33.0	30.9	28.2		
	적용후	40.9	37.0	35.1	31.6	-		
안동댐	유량전환비, a	0.310	0.185	0.130	0.035	-		
	일정률 (%)	적용전	61.6	64.2	65.4	67.5		68.7
		적용후	67.7	67.9	68.0	68.2	-	
	침두유입량 (m ³ /s)	적용전	4,249	4,626	4,822	5,174	5,470	
		적용후	5,320	5,321	5,331	5,321	-	
	침두방류량 (m ³ /s)	적용전	3,038	3,038	3,038	3,038	3,038	
		적용후	3,038	3,038	3,038	3,038	-	
	조절율 (%)	적용전	28.5	34.3	37.0	41.3	44.5	
적용후		42.9	42.9	43.0	42.9	-		

<표 4.1> 안동/임하댐의 최적 홍수조절기법 적용결과(빈도별)



<표 4.2>누적 용량곡선(100yr) 및 홍수조절 결과

5. 결론

본 연구는 병렬 하천수위를 이용한 하류 홍수위 예·경보기법에 관한 결과로서 병렬저수지시스템인 안동/임하댐 유역을 대상유역으로 선정하였으며 홍수조절기법을 적용하기위해서 FARD2006 및 HEC-HMS 모형을 이용하여 유입량을 예측하고 연계운영에 관해 분석해보았다.

- ① Clark모형을 적용하여 그 매개변수를 최적화하여 홍수유입수문곡선을 유도하였다.
- ② 치수목적에 주안점을 두어 댐을 운영하였던 과거와 달리 이수측면을 추가 검토하여 효율성 증대가 필요하다고 판단된다.
- ③ 임하댐에서 안동댐으로 전환할 수 있는 유량은 재현기간 T=50년일 때 106.657×106m³, T=80년일 때 69.587×106m³, T=100년일 때 50.858×106m³ 및 T=150년일 때 14.771×106m³로 분석되었으며, 그때의 유입용량은 각각 344.056×106m³, 376.144×106m³, 391.214 ×106m³ 및 422.029×106m³으로 나타났다.
- ④ 안동댐의 초기수위는 상시만수위인 EL.160.0m을 적용하였으며, 계획홍수위는 안동댐의 홍수조절용량인 110×106m³이 되는 수위인 EL.162.1m로 제한하였다. 또한 임하댐의 초기수위는 홍수기 제한수위인 EL.161.7m, 계획홍수위는 EL.164.7m을 적용하여 임하댐과 안동댐을 스위칭시켜 Rigid ROM으로 저수지 운영을 모의할 수 있는 가상 연계운영시스템을 구축하였다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 한국수자원공사, 건설교통부(1977), 안동다목적댐 공사
2. 한국수자원공사, 건설교통부(1992), 임하다목적댐 공사지
3. 김형수, 정중호(2000), HEC-HMS를 이용한 설계홍수량 산정, 제 8회 수공학익습 교재
4. Yeh, W. W.(1985), Reservoir Management and Operation Models: A State-of-the-art review, Water Resource Research, v10.21, no. 12, 1797-1818