

충주댐 방류에 따른 댐 상하류 홍수위 영향 분석

김상호* · 김지성**

Kim, Sang Ho* · Kim, Ji-Sung**

Effect of Chungju Dam Operation for Flood Control in the Upper Han River

ABSTRACT

In this study, the hydraulic channel routing model was constructed to analysis the effect of flood control with the operation of Chungju Dam for 2006 flood. Study area was divided with up- and downstream of Chungju Dam in the upper Han River of Paldang Dam. The model was calibrated and verified for the flood event of 1995-2008. The effects of flood control of Chungju Dam were compared with the simulation results without the dam, and the rising effects of stage in the main observation stations were analyzed by the variation of released dam discharge. Consequently, the operation of Chungju Dam for 2006 flood was performed properly, but the effects of flood control of Chungju Dam were so focused in downstream of the dam that institutional complement was demanded to reduce the flood damage in the upper region of the dam. The limit of decision rule of downstream stage in the backwater region of dam was analyzed to solve the problem, and the decision rule of downstream stage was proposed to consider the discontinuity between the backwater region of dam and the design flood of upper stream. The proposed rule will be used to design the reduction of flood damage in upper stream of dam and to apply the analysis of region for flood damage.

Keywords : Chungju Dam, Dam discharge, Hydraulic model, Backwater effect, Downstream stage

초 록

본 연구에서는 2006년 홍수시 충주댐 운영에 따른 댐 상·하류의 홍수위 상승영향을 정량적으로 분석하기 위하여 팔당댐 상류의 한강 본류에 위치한 충주댐을 기준으로 상류구간과 하류구간으로 구분하고, 1995년부터 2008년까지의 홍수사상을 대상으로 모형을 검보정함으로써 수리학적 모형을 구축하였다. 구축된 모형을 이용하여 충주댐의 유무를 가정하여 충주댐의 홍수조절효과를 검토하고, 방류량의 변화에 따른 상·하류 주요지점의 수위 상승영향을 정량적으로 분석하였다. 분석결과, 2006년 홍수시 충주댐의 운영이 비교적 적절하게 수행되었음을 확인하였으나, 충주댐의 홍수조절효과는 댐 하류구간에 집중되어 있어 댐 상류 홍수피해 저감을 위한 제도적 보완이 필요한 것으로 분석되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존 댐 배수구간 상류 하천의 기점수위 결정방법의 한계를 검토하였으며, 댐 배수구간과 상류 하천의 계획홍수량 불연속을 반영할 수 있는 기점수위 결정방법을 제안하였다. 제안된 방법은 댐 상류하천의 홍수피해 저감을 위한 설계 및 홍수피해 발생시 피해원인 분석에 활용될 수 있을 것이다.

검색어 : 충주댐, 댐 방류량, 수리학적 모형, 배수영향, 기점수위

* 정회원 · 상지대학교 건설시스템공학과 교수 (kimsh@sangji.ac.kr)

** 정회원 · 교신저자 · 한국건설기술연구원 하천해안연구실 수석연구원 (Corresponding Author · Korea Institute of Construction Technology · jisungk@kict.re.kr)

Received October 8 2012, Revised November 14 2012, Accepted January 2 2013

1. 서론

한강유역은 주로 북한강 수계 소양강 댐과 한강 수계 충주댐에 의해 홍수위가 조절되므로 집중호우시 서울과 여주, 양평 등 주요 지점의 피해를 최소화하기 위해서 충주댐과 소양강댐의 방류량 조절을 최적화하여야 한다. 특히 남한강의 주요 홍수조절용 다목적 댐인 충주댐은 댐 상류구간에 단양군, 하류구간에 여주군이 위치하여 댐 운영에 따라 상하류 주요 도시구간의 홍수위 상승에 직접적인 영향을 미치게 된다. 일반적으로 댐의 운영은 가상의 계획빈도 유입량에 의해 수립된 홍수기 운영계획에 따라 운영되지 못하고, 예상 유입량에 따른 저수지의 수위상승과 수문 방류량에 따른 댐 상하류의 수위영향에 대한 실시간 검토를 통한 운영이 불가피하다. 최근 가장 큰 규모의 홍수(충주댐 유입량 추정치 22,650m³/s로 500~1,000년 빈도)였던 2006년 7월에는 홍수위 상승초기(7월 16일 06시경) 안양천 공사현장의 예기치 못한 제방붕괴 사고의 보수를 위하여 당분간 팔당댐 방류량 증가를 자제해달라는 서울시의 요청은 별개로 치더라도, 침투홍수량 유입이 예상되는 시기(7월 16일 13시경)에 충주댐의 안전을 고려한 수자원공사의 방류량 증가 승인 요청과 여주군 홍수피해 최소화를 위하여 방류량 증가를 신중히 고려해 달라는 경기도의 요청, 단양군 지역 침수피해 방지를 위하여 충청북도의 댐 방류량 증가 요청 등 댐 방류를 둘러싼 상하류의 이해관계가 상충하고 있었다(최규현 등, 2006). 이와 같은 경우, 댐의 안전과 함께 상하류 홍수피해를 함께 고려한 최적 방류량에 대한 검토가 필요하며, 댐 방류를 둘러싼 이해관계 해결을 위한 제도적 보완이 요구된다.

홍수기 댐 운영의 목적은 댐의 계획홍수위를 초과하지 않으면서 댐 방류로 인하여 영향을 받는 지점의 홍수피해를 최소화하는데 있으며, 구체적인 방법으로는 선형계획법(LP), 동적계획법(DP), 비선형계획법(NLP) 등의 최적화기법과 다양한 단일댐 운영기법(ROM)을 홍수추적모형에 연계한 모의(Simulation)기법으로 구분된다(이길성과 정동국, 1985). 국내의 경우 최적화기법을 이용한 댐 연계운영에 대한 연구는 주로 이수목적에 적용되었으며, 홍수기 치수목적으로 적용된 사례는 극히 제한적이다. 이는 홍수기 댐 운영의 제약조건이 매우 많고 복잡하기 때문이며, 최적화된 시간단위의 길이가 짧은 시간별 운영 문제에 있어서는 더욱 그러하다(이길성과 전경수, 1986). 이길성과 전경수(1986)는 모의기법을 활용하여 홍수기 소양강댐과 화천댐의 최적 연계운영방안을 제안하였으며, 이재형 등(1992)은 동일한 대상구간에서 합류점의 침투유량을 최소화하기 위하여 증분동적계획법을 이용한 최적운영 모형을 개발하였다. 신용노 등(2002)은 하류 하도상황을 고려한 댐 운영을 위하여 EV-ROM 기법을 개발하여 금강수계에 적용하였고, 심재현 등(2004)은 퍼지제어 모형을 이용한 단일댐 운영모형을 기초로 하여 홍수기 한강수계 댐군의 연계운영 방안을 제시하였다.

지금까지의 홍수기 댐 운영과 관련된 연구들은 댐 체제의 안정성과 댐 하류부 주요지점의 수위조절 효과 극대화를 목적으로 수행되었고, 댐 상류부에 대해서는 설계최대방류량을 초과하지 않을 경우 홍수피해가 크지 않을 것을 가정하고 있다. 이는 댐 설계단계에서 상류 수물예상지역을 산정하고, 보상 및 이주 등의 방법으로 홍수로 인한 피해가 발생하지 않도록 미리 고려하기 때문이다. 댐설계기준(국토해양부, 2011)에 따르면 수물보상선은 200년 빈도홍수의 계획홍수량과 댐 지점의 계획홍수위를 기준으로 부등류 계산에 의한 배수위를 기준으로 한다. 한편 댐 수물예상구간의 상류 하천은 하천설계기준에 의해 기점 홍수위를 결정하게 된다. 이때 수물예상 구간과 상류 하천이 접하는 일부 구간에서는 예기치 못한 불연속이 발생할 수 있다. 이러한 상황으로 인하여 댐 상하류구간에서는 방류량과 저수위를 둘러싼 논쟁이 발생할 수 있으며, 실제로 2006년에 있었던 집중호우로 인하여 충주댐의 저수위가 계획홍수위 145 EL.m보다 1m 낮은 위급상황으로 치달으면서 상류구간의 단양군과 하류구간의 여주군에서 많은 논쟁이 일어났었다.

따라서 본 연구에서는 2006년 홍수시 충주댐 운영의 적절성을 검토하기 위하여 충주댐을 기준으로 영월2 수위관측소에서 충주댐까지의 상류구간과 충주댐에서 팔당댐까지의 하류구간으로 나누어 수리학적 모형을 구축하였다. 수리학적 모형은 4대강 사업 이전 가용한 최신의 하도측량자료를 이용하였으며, 최근 홍수자료인 2006년, 2007년, 2008년 홍수사상의 실측자료와 시행착오법으로 추정된 조도계수를 사용한 계산결과를 비교함으로써 모형을 보정하였고, 1995년부터 2005년까지의 홍수사상을 대상으로 검증을 실시하였다. 이후 댐 유입량 산정 방법을 검토하고, 검증된 수리학적 모형으로 2006년 홍수시 충주댐 방류량을 조절할 경우 충주댐 상류 및 하류 주요 지점의 수위변화를 분석하였다. 마지막으로 하천설계기준의 기점 홍수위 결정 방법을 검토함으로써 댐으로 인한 배수영향을 받는 댐 상류 하천의 기점 홍수위 결정을 위한 새로운 방법을 제안하고자 한다.

2. 수리학적 모형 구축

본 연구에서는 미국 기상청(NWS, National Weather Service)의 Fread(1978)에 의해서 개발된 DWOPER 모형을 이용하였다. DWOPER(Dynamic Wave Operational Model) 모형은 미국 홍수예보시스템(NWSRFS)에 사용되는 등 모형의 적용성 및 정확성이 여러 차례 검증된 모형으로 국내에서는 불확실도 기법을 도입한 홍수 범람해석 및 월류 위험도 해석, 제방월류 및 붕괴에 따른 홍수해석, 제내지에서의 범람해석(이홍래 등, 1998a, b) 그리고 하도의 종횡단 측량자료인 HEC-2 또는 HEC-RAS 모형의 단면자료를 입력자료로 사용할 수 있는 기능을 갖춘 DWOPER-2K 모형(김상호와 김원, 2002) 등으로 개발된 바 있다.

2.1 대상구간

대상구간은 논쟁의 중심이 되는 충주댐을 기준으로 상하류구간으로 구분하였다. 상류구간은 영월2 수위관측소에서부터 충주댐까지로 하천길이는 약 113km이며, 449개의 단면으로 구성되었다. 상류구간의 경계조건으로는 영월2 수위관측소의 실측수위와 수위-유량관계곡선으로 유량수문곡선을 산정하였으며, 하류단 경계조건은 충주댐의 저수위수문곡선을 사용하였다. 지류로는 평창강을 고려하여 영월1 수위관측소의 유량수문곡선을 상류단 경계조건으로 이용하였고, 상류구간의 모형 보정 및 검증을 위한 지점으로는 영월과 영춘, 청풍을 선정하였다. 하류구간은 충주댐에서 팔당댐까지로, 충주댐 방류량수문곡선을 상류단 경계조건으로 사용하고, 팔당댐 저수위수문곡선을 하류단 경계조건으로 설정하였다. 하천길이는 약 114km로 상류구간과 비슷하지만 상류구간에 비하여 하상경사가 비교적 완만하여 상류구간보다 적은 279개의 단면으로

구성하였다. 지류로는 달천, 섬강, 청미천, 복하천, 북한강, 경안천 등 6개의 지류를 고려하였고 한강 본류의 배수영향을 받지 않는 수위관측소의 유량수문곡선을 상류경계조건으로 선정하였다. 마지막으로 북한강은 청평댐에서의 방류량을 상류단 경계조건으로 하였고, 전구간이 팔당댐의 배수영향을 받기 때문에 단면수는 48개로만 구성하였다. 모형의 보정 및 검증을 위하여 충주조정지댐, 목계, 강천, 우만, 여주, 이포, 양평 등 모두 7 지점을 선정하였다. Figure 1과 Figure 2는 대상구간인 팔당댐 상류 한강 수계 모식도와 상하류 경계 및 주요 지점을 나타내고 있다. Figure 3은 2006년 홍수사상에 대한 본류의 영월2 수위관측소와 주요 지류에서 유입하는 유량수문곡선과 충주댐과 팔당댐에서의 수위수문곡선을 나타내고 있으며, Table 1에는 2006년을 비롯한 주요 홍수사상에 대한 영월2 수위관측소와 충주댐에서 방류된 최대 홍수량을 나타내고 있다.

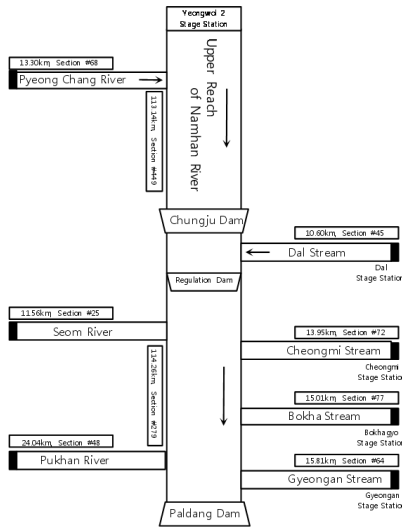


Fig. 1. Study Area

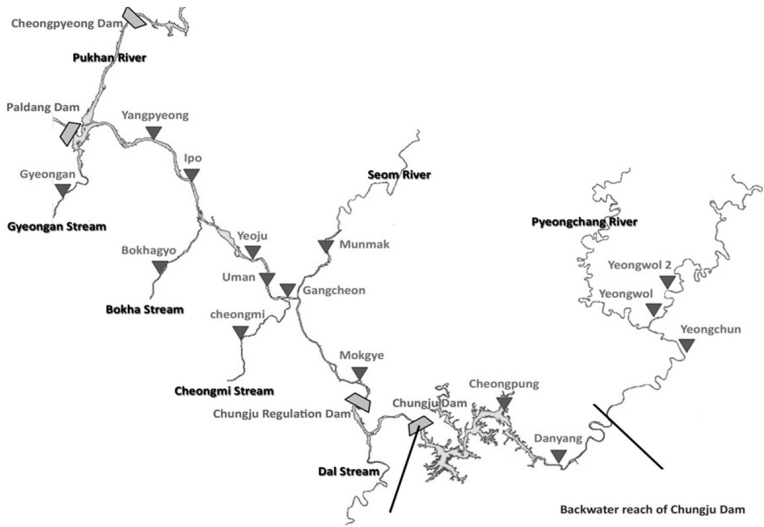
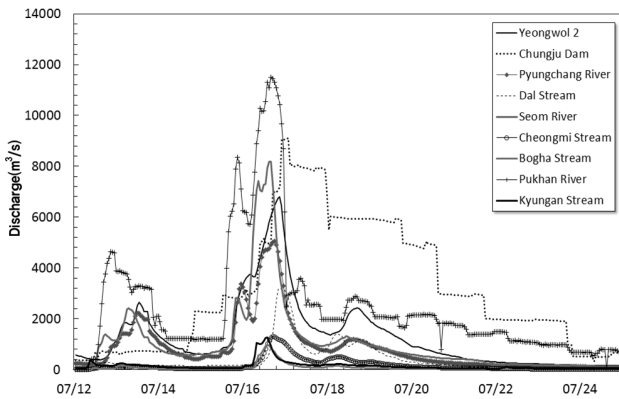
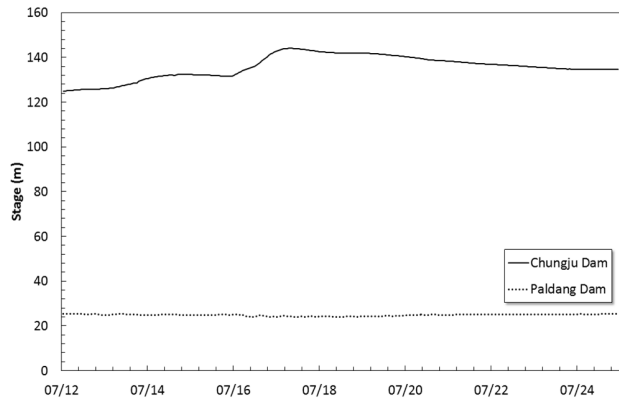


Fig. 2. Dams and Key Locations



(a) Upstream Boundary Condition



(b) Downstream Boundary Condition

Fig. 3. Flood Event in 2006

Table 1. Peak Discharge in Major Flood Events

Year	Flood Event	Yeongwol 2 (m ³ /sec)	Chungju Dam (m ³ /sec)	Ref.
2006	July 12, 01hrs~ July 24, 23hrs	6803.9	9106.0	Calibration Events
2007	Sep. 15, 01hrs~Sep. 21, 23hrs	1642.1	3513.0	
2008	July 24, 01hrs~July 31, 23hrs	2737.5	2000.0	
1995	Aug. 20, 01hrs~Sep. 02, 23hrs	5440.0	8675.0	Verification Events
1997	July 01, 01hrs~July 10, 23hrs	2292.0	763.0	
1999	Aug. 01, 01hrs~Aug. 09, 23hrs	3512.0	738.0	
2000	Sep. 14, 01hrs~Sep. 20, 23hrs	2006.6	2152.0	
2003	Sep. 07, 01hrs~Sep. 22, 23hrs	3261.9	2677.0	
2004	Jun. 20, 01hrs~Jun. 26, 23hrs	3566.3	1992.2	
	July 12, 01hrs~July 22, 23hrs	2701.1	2097.0	
2005	July 01, 01hrs~July 15, 23hrs	1725.6	729.0	

Table 2. Estimation of Roughness Coefficient in Upstream Reach of the Chungju Dam

Discharge (m ³ /sec)	Manning's n			
	Yeongwol 2	Yeongwol	Yeongchun	Cheongpung
0 - 200	0.180 - 0.072	0.210 - 0.150	0.198 - 0.120	0.160 - 0.120
200 - 1,500	0.072 - 0.046	0.150 - 0.056	0.120 - 0.063	0.120 - 0.060
1,500 - 5,000	0.046 - 0.034	0.056 - 0.048	0.063 - 0.057	0.060 - 0.058
5,000 - 10,000	0.034 - 0.030	0.048 - 0.050	0.057 - 0.053	0.058 - 0.040
10,000 - 18,000	0.030 - 0.020	0.050 - 0.030	0.053 - 0.030	0.040 - 0.028
18,000 - 25,000	0.020 - 0.020	0.030 - 0.028	0.030 - 0.028	0.028 - 0.028

Table 3. Estimation of Roughness Coefficient in Downstream Reach of the Chungju Dam

Discharge (m ³ /sec)	Manning's n						
	Regulation Dam	Mokgye	Gangcheon	Uman	Yeoju	Ipo	Yangpyeong
0 - 200	0.250 - 0.160	0.155 - 0.060	0.155 - 0.085	0.070 - 0.028	0.078 - 0.065	0.090 - 0.060	0.090 - 0.055
200 - 1,500	0.160 - 0.070	0.060 - 0.035	0.085 - 0.050	0.028 - 0.016	0.065 - 0.038	0.060 - 0.025	0.055 - 0.030
1,500 - 5,000	0.070 - 0.026	0.035 - 0.034	0.050 - 0.038	0.016 - 0.010	0.038 - 0.036	0.025 - 0.020	0.030 - 0.028
5,000 - 10,000	0.026 - 0.023	0.034 - 0.034	0.038 - 0.045	0.010 - 0.009	0.036 - 0.035	0.020 - 0.020	0.028 - 0.026
10,000 - 18,000	0.023 - 0.023	0.034 - 0.023	0.045 - 0.040	0.009 - 0.011	0.035 - 0.034	0.020 - 0.015	0.026 - 0.026
18,000 - 25,000	0.023 - 0.220	0.023 - 0.022	0.040 - 0.030	0.011 - 0.010	0.034 - 0.025	0.015 - 0.015	0.026 - 0.022

2.2 모형의 보정

모형의 보정을 위하여 2006년, 2007년, 2008년의 홍수사상을 사용하여 최근의 가장 큰 홍수규모로부터 비교적 작은 홍수 규모까지 유량별 조도계수를 추정하고자 하였다. 본 연구에서는 계산치와 실측치 비교를 위한 주요 지점을 고려하여 조도계수 구간을 설정하였고, 시행착오법에 의하여 조도계수를 산정하였다. 시행착오법은 많은 시간과 노력이 필요하고 작업과정이 매우 복잡한 단점이 있지만 실제 발생한 홍수사상에 대해 검토하기 때문에 비교적 객관적인 방법이라고 할 수 있다. Table 2와 3은 대상구간의 유량구

간별 조도계수이며, Figure 4는 충주댐 상하류 주요 지점인 영월과 여주에 대한 보정결과이다. 홍수사상별 각 지점의 보정결과를 Table 4에서 최대 수위값 차이와 RMSE로 제시하였다.

2.3 모형의 검증

보정을 통하여 구축된 모형의 정확성을 검증하기 위하여 1995년부터 2005년까지 7개년도 8개 홍수사상을 이용하였다. Figure 5의 (a)~(h)까지는 서로 다른 홍수사상별 주요지점에 대한 계산 및 관측수위를 비교한 것으로, 최근 홍수사상으로 보정된 구간별,

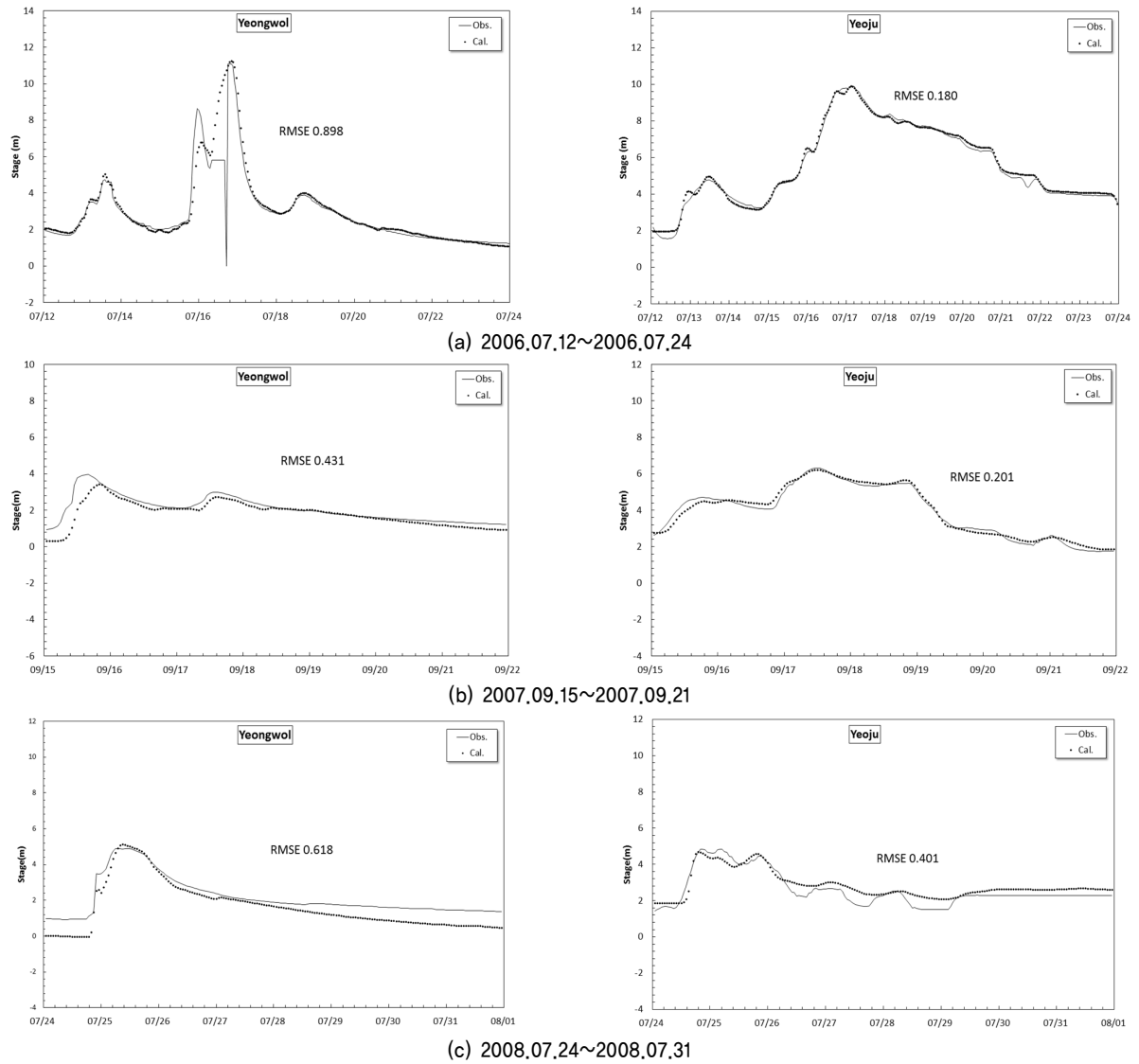


Fig. 4. Results of the Model Calibration

Table 4. Difference of Peak Stage and RMSE in Each Flood Event

Point		Difference of Peak Stage (m)			RMSE (m)		
		2006	2007	2008	2006	2007	2008
Upper Reach	Yeongwol	0.15	0.53	0.23	0.898	0.431	0.618
	Yeongchun	0.08	0.78	0.03	0.398	0.565	1.186
	Cheongpung	0.11	0.05	-	0.963	0.087	-
Lower Reach	Regulation Dam	0.00	0.34	0.54	2.953	0.259	0.302
	Mokgye	0.14	0.66	0.50	0.249	0.411	0.416
	Gangcheon	0.05	0.43	0.30	0.388	0.391	0.361
	Uman	0.04	0.07	0.38	0.288	0.247	0.345
	Yeosu	0.01	0.08	0.15	0.180	0.201	0.401
	Ipo	0.08	-	0.96	0.388	-	0.397
	Yangpyeong	0.06	0.01	0.69	0.180	0.120	0.254

충주댐 방류에 따른 댐 상하류 홍수위 영향 분석

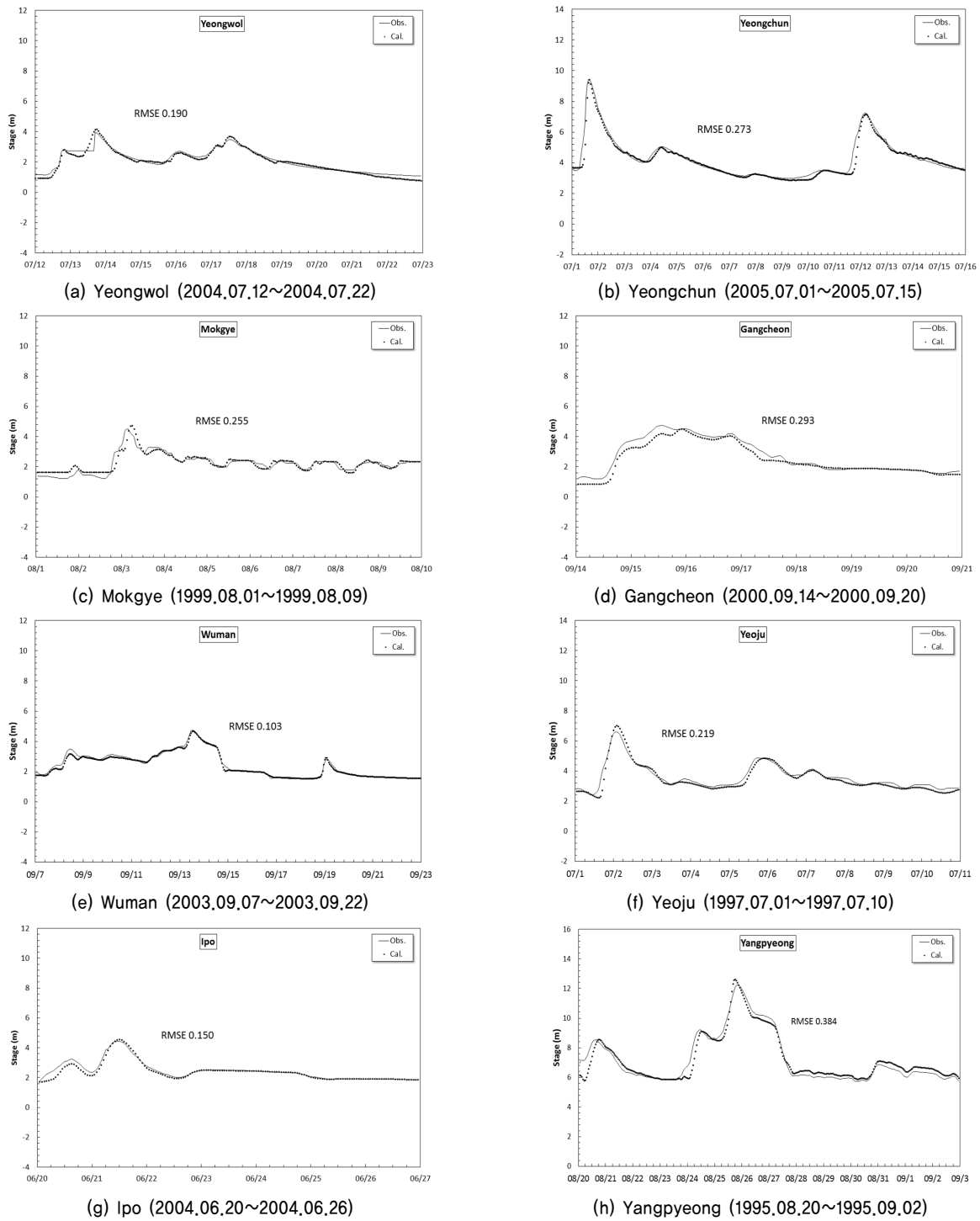


Fig. 5. Results of the Model Verification

유량별 조도계수를 적용한 결과 보정년도와 가까운 2004년과 2005년의 홍수사상 뿐만 아니라 더 오래된 홍수사상에서도 비교적 잘 일치하고 있는 것을 확인하였다.

3. 충주댐 상하류 홍수위 영향 분석

2006년 집중호우 당시 단양과 여주에서는 충주댐 저수위와 방류량을 두고 많은 논쟁이 일어났다. 본 연구에서는 수리학적

모형을 이용하여 충주댐 운영으로 인한 수리학적 영향을 분석하고, 충주댐의 저수위와 방류량을 인자로 변형시켰을 경우 상하류 주요 지점에 대한 계산 결과를 검토하였다.

3.1 충주댐 홍수조절 효과

충주댐에 대한 수리학적 영향을 살펴보기 위해 댐이 없는 경우를 가정하고, 댐 상하류 구간으로 구분하여 구축하였던 수리학적

모형을 한 구간으로 통합하여 수행하였다. 이러한 경우, 충주댐의 홍수조절 효과가 고려되지 않기 때문에 댐 하류부의 홍수규모는 실제보다 규모가 크게 나타나게 된다. Figure 6과 Figure 7에 2006년 홍수를 대상으로 충주댐 유무에 따른 계산 수위를 비교하였다.

비교 결과, 댐 상류 충주댐 배수영향 지역인 단양과 청풍의 수위가 상당히 낮아지며, 댐 하류구간은 충주댐이 없을 경우 이포 지점 수위가 약 5 m 이상 상승하는 것을 알 수 있다. 즉 댐으로

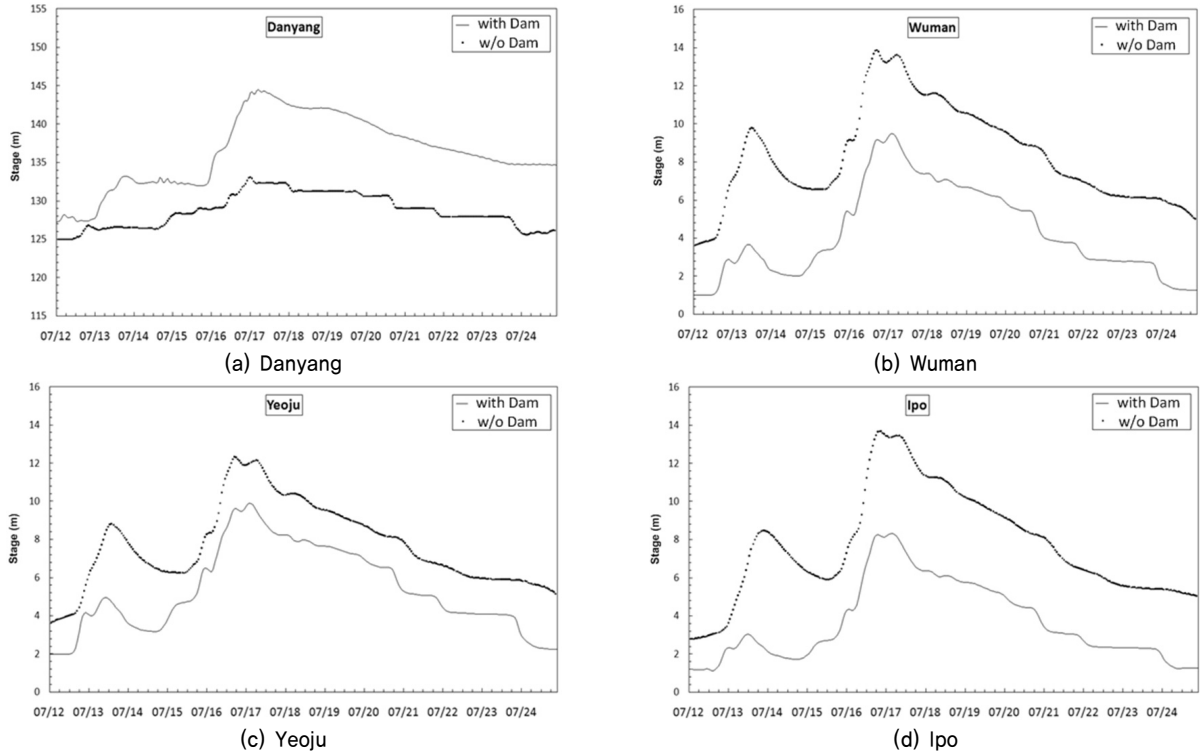


Fig. 6. Comparison of the Calculated Stage between with and without Chungju Dam

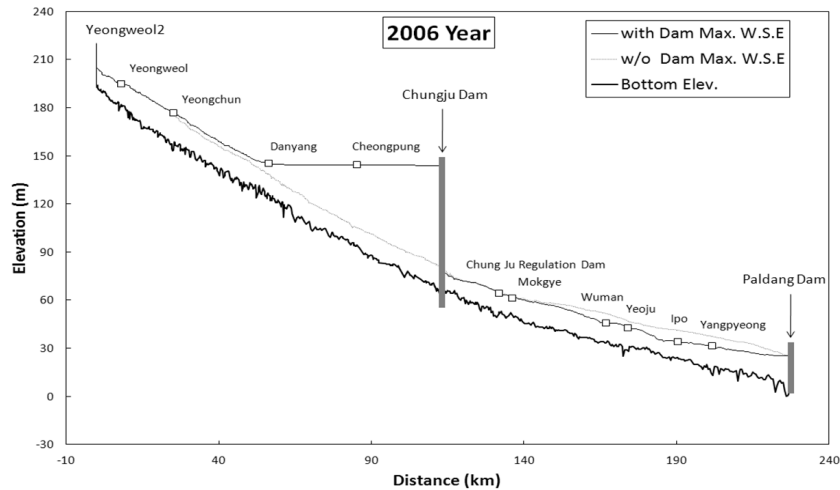


Fig. 7. Comparison of Longitudinal Peak Stage between with and without Chungju Dam

인한 홍수조절 효과는 댐 하류부의 수위조절에 상당한 영향을 미치고 있으며, 반면 댐 상류부는 배수영향으로 인하여 홍수위 상승에 대한 피해를 감소하고 있음을 알 수 있으므로 댐 상하류 형평성을 고려할 때 댐의 배수영향 평가에 대한 면밀한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

3.2 충주댐 방류량 및 저수위 영향

댐 저수지 내에서 직접 계측 장비를 이용하여 댐 유입량을 실측하는 것은 상당히 어려운 일이다. 차선책으로 강우-유출 모형을 이용하여 댐 유입량을 간접 추정할 수 있으나 각 소유역 출구에서 계산결과를 검증하기 위한 실측 결과가 부족한 경우, 정확도를 확보하기가 어렵다. 따라서 일반적인 댐 유입량은 저수공간의 수위-저수용량 관계곡선을 활용한다. 충주댐의 수위-저수용량 관계곡선식은 측량성과로부터 고차 다항식에 의해 회귀분석한 결과인 식 (1)과 같다.

$$S = \begin{cases} 0.0048137(X)^3 - 0.90976(X)^2 + 59.627(X) - 1361.57 \\ 0.0040208(X)^3 - 0.63563(X)^2 + 26.298(X) + 43 \end{cases} \quad (1)$$

$0 < X(EL.m) < 110$
 $110 < X(EL.m) < 150$

여기서 S 는 저수용량($\times 10^6 m^3$)이고, X 는 저수위(EL.m)이며, 댐 정상표고 147.50EL.m를 초과하여 제시되어 있다.

시간에 따른 실측 저수위 및 방류량의 변화와 수위-저수용량 관계식으로 저수용량의 변화를 산정할 수 있으며, 이를 이용하여 댐 유입량을 추정한다. 비록 이러한 방법이 저수지 내 수위가 일정함을 가정하고 있으나, 수면경사가 상당히 완만하여 썩기저류량을 무시할 수 있는 경우 합리적인 방법으로 판단된다. 하나의 홍수사상에 대하여 댐 유입량 자료가 확보되면, 임의의 방류량을 가정하여 식 (1)을 역산함으로써 저수위를 추정할 수 있으며 본 연구에서는 Excel에 Polynomial.xls 파일을 추가하여 식 (1)의 3차 방정식을

해석하였다.

2006년 7월 17일자 연합뉴스 기사에 따르면 충주댐 최대 유입량이 예상되던 시기에 수자원공사에서는 방류량 결정에 있어 내부 혼선이 있었음을 알 수 있다. 16일 오후 4시를 기해 $5,000m^3/s$ 를 방류하기 시작해 자정에는 $10,700m^3/s$ 까지 방류량을 증가하겠다는 계획에서, 오후 8시경에는 $7,000\sim 8,000m^3/s$ 수준으로 방류량을 유지하겠다고 계획을 변경했지만, 한 시간도 지나지 않아 재차 방류량을 $9,000m^3/s$ 까지 늘리겠다고 수정한 것이다. 정확한 단기강우예측이 불가능한 현실에서 댐 방류량의 결정이 변화되는 것은 불가피한 상황으로 판단된다. 다만 본 연구에서는 당시 충주댐의 방류량 결정이 댐 상하류 주요지점의 수위영향을 고려할 때 적절하였는지를 평가하기 위하여 7월 16일 오후 4시부터 실제 방류량의 -40% 에서 $+60\%$ 까지 변화하는 것으로 가정하였고, 이에 상응하는 충주호 저수위의 변화를 산정하였다. 방류량의 변화는 댐 하류구간의 상류단 경계조건으로 사용하였고, 저수위의 변화는 상류구간의 하류단 경계조건으로 사용하였으며 각각 Figure 8에 나타내었다.

Figure 9는 방류량 변화에 따른 단양과 여주의 수위수문곡선의 변화를 나타내었고, Figure 10에서는 충주댐 방류량에 직접적인 영향을 받는 단양, 청풍, 목계, 이포, 여주 지점의 수위변화량과 충주댐 상하류의 주요 도시인 단양, 여주 지점만 추출하여 수위변화량을 나타내었다.

충주댐의 방류량 변화량과 충주댐 상류구간의 수위변화는 반비례 관계를 나타내며, 충주댐 하류구간의 수위변화는 정비례 관계를 나타낸다. 특히 상류구간의 경우, 댐 저수위가 상시만수위인 141EL.m에 근접했을 때, 방류량 증가에 따른 홍수위 저감효과가 방류량 감소에 따른 홍수위 증가효과보다 더 큰 것으로 나타났다. 이는 충주댐의 저수위가 증가함에 따라 저수용량의 변화량이 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 한편 방류량을 증가시킬 경우 댐 하류 주요 지점에 대한 수위변화를 살펴보면, 목계지점의 경우 댐 하류 조정지점의 영향으로 인해 방류량을 10% 이상 증가할 경우 수위변

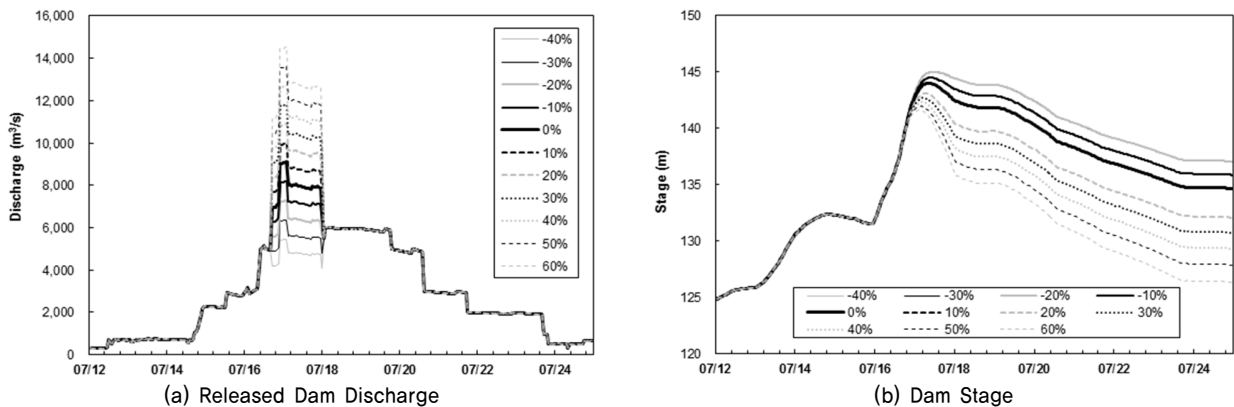


Fig. 8. The Scenarios of Chungju Dam Operation

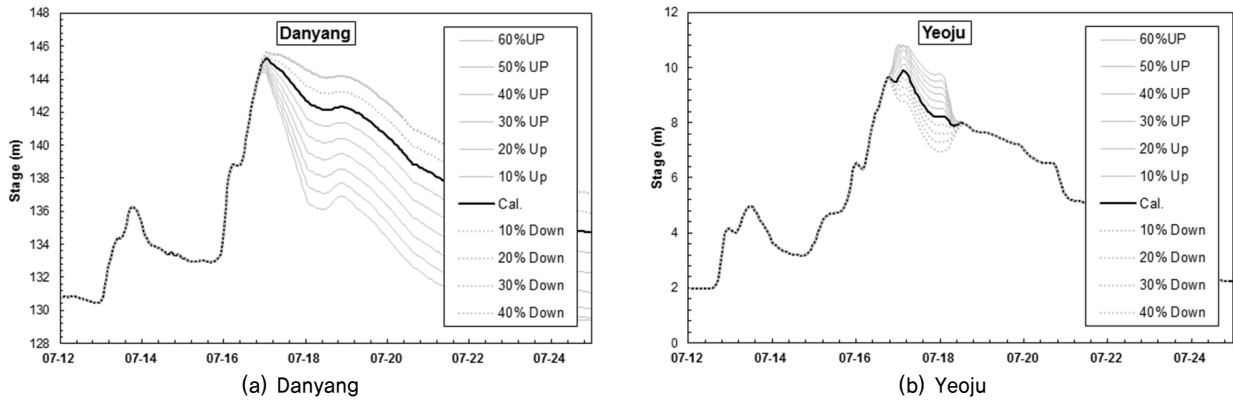


Fig. 9. Computed Stage Hydrographs of Each Scenario

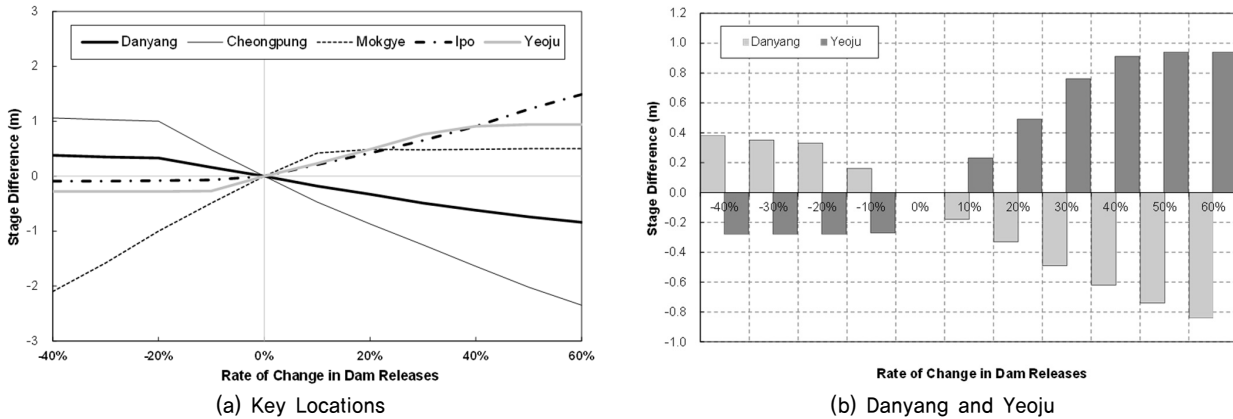


Fig. 10. Stage Difference of Each Scenario

화가 거의 없는 것으로 나타났으며, 여주와 이포지점에서는 비교적 일정하게 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 방류량을 감소시킨 경우에는 여주와 이포에서 침투 홍수위가 감소하는 것으로 나타났으나, Figure 9에 나타난 바와 같이 방류량을 줄이는 시점에서의 수위가 이미 최고 수위로 나타나 수위 저감효과가 거의 없는 것으로 확인되었다.

Figure 10과 같이 댐 상하류 주요 지점인 여주와 단양의 수위변화량을 직접 비교해보면, 방류량의 변화에 따른 댐 상하류 수위변화를 명확히 파악할 수 있다. 방류량의 변화를 고려한 시점에서 10%씩 가감하였을 때 여주의 수위변화량과 단양의 수위변화량을 Table 5에 나타내었다. 여기서 충주댐 방류량의 변화가 상·하류의 각 지점에 미치는 영향을 살펴보면, 충주댐의 방류량을 20% 감소시켰을 경우와 증가시켰을 경우 단양의 수위변화는 0.33m로 동일하게 나타났다. 하지만, 방류량을 40%로 늘렸을 경우에는 단양에서 각각 0.38m의 수위 증가와 0.62m의 수위 감소가 발생하는 것으로 나타났으며, 이는 방류량 감소에 따른 수위 증가량 대비 수위 변화가 약 63% 크게 나타났다. 충주댐 방류량의 변화에 따른 여주지점의 수위변화를 살펴보면, 방류량을 20% 감소시켰을 경우 0.28m의

수위 감소와 방류량을 증가시켰을 경우 0.49m의 수위 증가를 나타내었고, 40%를 변화시켰을 경우에는 수위 감소량은 동일하지만 수위 증가량은 0.91m로 계산되었다. 이는 방류량 20% 및 40% 변화에서 각각 방류량 감소에 따른 수위 감소량 대비 약 75%와 약 225%의 수위 변화를 나타낸 것으로, 단양과 여주 지점 모두 방류량 증가에 따른 수위 변동이 방류량 감소 경우보다 매우 큰 것을 알 수 있다.

단양과 여주의 지점별 변화를 비교해 보면, 충주댐 방류량을 20%를 감소시켰을 때 여주의 수위감소량과 단양의 수위상승량은 그 차이가 크지 않으며, 방류량을 증가시킬 경우는 여주의 수위증가량보다 단양의 수위감소량이 64~89%로 적어서 효율적이지 않은 것으로 검토되었다. 한강수계치수기본계획(건설부, 1992) 기준 여주지점의 계획홍수위가 42.89EL.m인 것과 2006년 홍수시 침투홍수위가 42.74EL.m였던 점, 한강하천정비기본계획(충청북도, 1991) 기준 충주댐 배수구역의 경계인 하일천 합류점에서 계획홍수위가 150.80EL.m인 것과 단양지점의 침투홍수위가 145.28EL.m로 계산된 점을 고려해 볼 때, 실제 댐 방류량보다 추가 방류로 인한 댐 상·하류 홍수피해 저감은 크지 않았을 것으로 판단된다.

Table 5. Rate of Difference in Stage of Each Scenario at Danyang to Yeosu

	Decreasing in Dam Release				existing	Increasing in Dam Release					
	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
Yeosu(m)	-0.28	-0.28	-0.28	-0.27	0	0.23	0.49	0.76	0.91	0.94	0.94
Danyang(m)	0.38	0.35	0.33	0.16	0	-0.18	-0.33	-0.49	-0.62	-0.74	-0.84
Difference (%)	136%	125%	118%	59%	0%	78%	67%	64%	68%	79%	89%

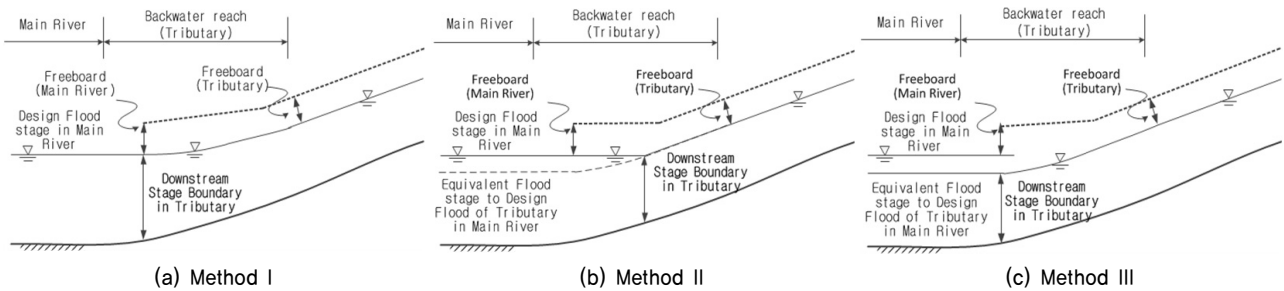


Fig. 11. Determination of Downstream Stage Condition at the Tributary(KMLTM, 2009)

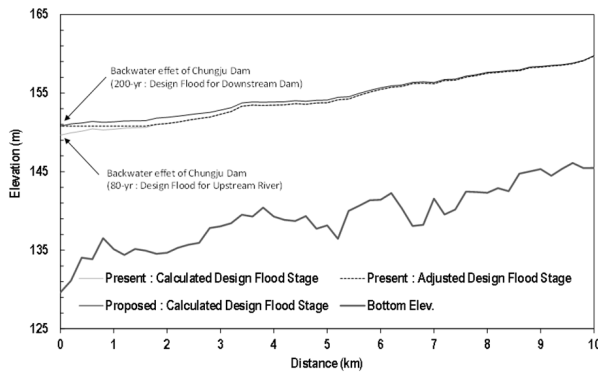
4. 댐 배수영향 구간 상류 하천의 기점홍수위 결정 방법

댐 상하류의 형평성을 고려해볼 때, 2006년 홍수처럼 댐 설계홍수량(200년 빈도)보다 큰 유량이 댐으로 유입할 경우, 댐 하류는 홍수조절 효과를 충분히 발휘하지만 댐 상류는 그 피해를 감수할 수 밖에 없는 점은 개선될 필요가 있다. 하천설계기준(국토해양부, 2009)의 기점수위 결정 방법은 기본적으로 배수효과가 있는 지류의 경우, 기점수위로 본류의 계획홍수위를 사용할 것을 명시하고 있다. 다만 본류 설계홍수량과 지류 설계홍수량의 규모 및 발생시간을 고려하여 지류하천이 과대 설계되지 않도록 다음과 같이 3 가지의 경우를 구분하고 있다. 첫 번째는 본류 계획홍수위를 기점수위로 배수계산을 수행하는 것이다. 이는 지류의 계획홍수위를 가장 높게 산정하는 방법으로 본류와 지류 모두 계획홍수량의 첨두가 동시에 만나는 경우에 해당한다. 두 번째는 지류의 계획홍수량이 본류의 계획홍수량보다 상당히 적어서 그 효과가 미미한 경우 본류 계획홍수위를 지류까지 연장하는 방법이다. 마지막으로 지류의 계획홍수량이 발생하는 시각과 본류의 계획홍수위가 발생하는 시각이 뚜렷한 차이를 보여서 동시에 만나는 경우가 발생할 수 없는 경우, 지류의 계획홍수량이 합류되는 시점의 본류수위를 기점수위로 배수계산을 수행하는 방법이다. 상기된 세 가지 방법을 간략히 설명하면 Figure 11과 같다.

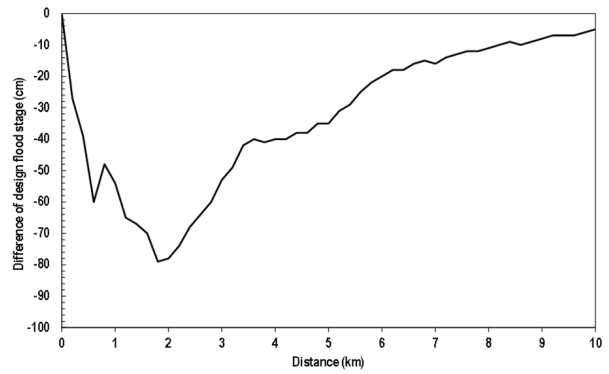
Figure 11에 제시된 방법은 두 흐름방향이 일치하지 않는 본류와 지류의 합류부에 기점수위를 결정하는 방법이다. 그러나 댐으로 인한 배수영향을 받는 댐 상류 하천의 기점수위 결정을 위한 방법은 명시되어 있지 않으며, 충주댐 상류 지방하천 구간의 계획홍수위

결정에는 Figure 11(b)의 방법이 사용되고 있다. 이는 댐 배수구간과 상류 하천구간의 합류점에서 홍수량의 종적 연속성을 고려하지 않는 방법이며, 상류 하천의 기점수위 지점 부근에서 홍수피해가 잦은 원인으로 판단된다. Figure 11(b)와 같이 본류 계획홍수위가 지류로 전파되는 양상은 횡방향으로 동일한 수위를 가정할 수 있는 것에 반하여, 댐 배수구간의 계획홍수위는 종방향으로 경사를 나타내고 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 200년 빈도 댐 수몰지 설계와 50~80년 빈도의 댐 상류 하천설계 시 하천의 기점수위 지정에는 Figure 11(a) 방법의 사용이 타당할 것으로 제안한다. 한강하천정비기본계획(충청북도, 1991)에는 본 연구대상 구간인 충주댐 상류 남한강의 계획홍수위 결정과정이 수록되어 있으며, 80년 빈도 홍수량을 계획홍수량으로 결정하였고 기점수위는 동일 빈도인 149.65EL.m를 사용하였다. 한편 이 보고서에는 충주댐 배수위계산 결과 기점수위 지점의 200년 빈도 계획홍수위 150.80EL.m 또한 제시하고 있다. Figure 11(b)에 의한 기존 방법과 Figure 11(a) 방법을 각각 적용하여 비교하면 Figure 12와 같다.

비교결과, 충주댐 배수구간 종점에서 상류 약 10km 구간까지 계획홍수위가 과소 산정되어 있으며, 상류 2km 지점 부근에서는 계획홍수위가 약 80cm 정도 낮게 설정되어 있음을 알 수 있다. 댐 상류구간에서는 인위적인 댐 조절로 인하여 배수구간 내 200년 빈도의 계획홍수위와 50~80년 빈도의 상류하천 계획홍수량이 중첩될 수 있으므로 Figure 11(a) 방법으로 기점수위를 지정하는 것이 타당하며, 이로써 댐 상류구간의 홍수피해시 댐 운영으로 인한 논쟁의 여지를 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.



(a) Computed Design Flood Stage



(b) Difference of Stage

Fig. 12. Comparison of the Design Flood Stage using the Previous and Proposed Method

5. 결론

본 연구에서는 2006년 홍수시 충주댐 운영에 따른 댐 상하류 홍수위 상승영향을 정량적으로 분석하였다. 이를 위하여 충주댐을 기준으로 상류 및 하류구간에 대한 수리학적 모형을 구축하였고, 1995년부터 2008년까지의 홍수사상을 대상으로 모형의 보정과 검증 실시하였다. 검증된 모형을 이용하여 충주댐의 유무, 방류량의 변화에 따른 상·하류 주요 지점의 영향을 분석하였고, 댐 배수구간 상류 하천의 기점수위 결정방법에 대하여 검토하였으며, 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 충주댐을 기준으로 상류 및 하류구간에 수리학적 모형을 구축하였다. 2006년 홍수시의 상황을 재현하기 위하여 2006년, 2007년, 2008년의 홍수사상을 이용하여 모형을 보정하였고, 2006년 이전 홍수사상에 적용하여 모형을 검증하였다. 모형보정 결과 댐 상·하류 10개 대상 지점의 최대수위차는 0.0 ~ 0.15 m로 계산되어 구축된 모형의 적용성을 확인하였다.
- (2) 2006년 홍수시 충주댐의 효과를 분석하기 위하여 충주댐이 없는 경우를 가정하였고, 충주댐 유무에 따른 수위영향 분석 결과, 목계 지점 이후 대부분의 구간에서 수위저감 효과를 확인할 수 있었으며, 이포 지점의 경우 최대 약 5 m의 홍수위 저감효과가 있었다.
- (3) 충주댐의 수위-저수용량 관계곡선으로부터 방류량의 변화에 따른 저수위 변화를 산정하였으며, 이를 상류구간 및 하류구간의 경계조건으로 활용하여 댐 상류 및 하류 수위영향을 분석하였다. 검토결과 단양지점과 여주지점에서 방류량 감소에 따른 수위변화보다 방류량 증가에 따른 수위변화가 더 큰 것으로 나타났다. 또한 댐 방류량을 20% 감소시켰을 때 여주의 수위감소량과 단양의 수위상승량의 차이가 크지 않았고, 방류량을

증가시킬 경우는 여주의 수위상승에 비하여 단양의 수위저감 효과가 떨어져 효율적이지 않은 것으로 검토되어 2006년 홍수시 충주댐 운영은 비교적 적절한 것으로 나타났다.

- (4) 기존 연구 및 실무에서 댐 운영시 주로 댐 하류구간 피해저감에 집중되어 있음을 확인하고 원인을 분석한 결과, 댐 배수구간 상류 하천의 기점수위 결정에 계획홍수량의 불연속성을 고려하지 않는 문제가 있음을 발견하였고, 이를 개선하기 위하여 기점수위 결정방법을 제안하였다. 제안된 방법은 댐 상류하천의 홍수피해 저감을 위한 설계 및 홍수피해 발생시 피해원인 분석에 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 상지대학교 교내 연구비 지원에 의한 것이며, 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다.

References

Choi, K.H., Park, S.G. and Kim, Y.S. (2006) Concentrated heavy rain in the middle part of the Korean peninsula in July 2006 and flood forecasting. *Water for Future*, KWRA, Vol. 39, No. 8, pp. 31-37 (in Korean).

Chungcheongbuk-do (1991) *The Han River Maintenance General planning Report*. Korea (in Korean).

Fread, D.L. (1978) *National Weather Service Operational Dynamic Wave Model*, National Weather Service, Silver Springs, MD.

Kim, S.H. and Kim, W. (2002) Establishment of hydraulic model for flow analysis of the lower Han river. *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 35, No. 5, pp. 485-500 (in Korean).

KMLTM (2009) *River Design Guideline*. Korean Ministry of

- Land, Transport and Maritime Affairs (KMLTM), Korea (in Korean).
- KMLTM (2009) *Dam Design Guideline*. Korean Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (KMLTM), Korea (in Korean).
- KMOCT (1992) *The Han River Maintenance General planning Report*. Korean Ministry of Construction and Transportation (KMOCT), Korea (in Korean).
- Lee, H.R., Han, K.Y., Kim, S.H. and Choi, H.S. (1998a) Numerical model for flood inundation analysis in a river (I): GIS application. *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 31, No. 4, pp. 415-427 (in Korean).
- Lee, H.R., Han, K.Y. and Kim, S.H. (1998b) Numerical model for flood inundation analysis in a river (II): Uncertainty analysis. *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 31, No. 4, pp. 429-437 (in Korean).
- Lee, J.H., Lee, K.S. and Jeong, D.K. (1992) An optimal operation of multi-reservoirs for flood control by incremental DP. *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 25, No. 2, pp. 47-59 (in Korean).
- Lee, K.S. and Chung, D. (1985) A comparison study of reservoir operations for flood control of the Chungju dam. *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 18, No. 3, pp. 225-233 (in Korean).
- Lee, K.S. and Jun, K.S. (1986) Simulation for the optimal operation of Soyanggang dam and Hwachon dam in the flood periods. *Journal of Korean Society of Civil Engineering*, KSCE, Vol. 6, No. 1, pp. 13-24 (in Korean).
- Shim, J.H., Kim, J.T., Cho, W. and Kim, J.Y. (2004) Multipurpose dam operation models for flood control using Fuzzy control technique (III) - Multi reservoir operation methods -. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 4, No. 3, pp. 61-72 (in Korean).
- Shin, Y.L., Maeng, S.J., Ko, I.H. and Lee, H.K. (2002) Development of reservoir operation model using simulation technique in flood season(II). *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 35, No. 6, pp. 797-805 (in Korean).