

〈論 文〉

華川댐의 洪水量 및 水位에 미치는 平和댐의 影響 分析  
 Influence of the Peace-Dam Construction  
 on the Flood Discharge and the Flood Stage of the Hwachun-Dam

전 병 호\* 신 현 석\*\* 이 재 철\*\*\* 윤 용 남\*\*\*\*  
 JUN Byong Ho, SHIN Hyun Suk, LEE Jae Chul and YOON Yong Nam

**Abstract**□ Because of the Keumkangsan-Dam and the Peace-Dam constructed in recent years, it is expected that the peak flood discharge and the peak flood stage at the Hwachun-Dam site have been changed. In this study, two methods were used to simulate and compare the effects of the upstream dam construction on the change of the discharge and the stage. One is the storage function method widely used for the hydrological routing in this country. The other is the DWOPER (Dynamic Wave Operational Model) package developed by the U.S. NWS for the hydraulic routing. Flood routing simulations have been performed on four different scenarios : 1) Before the construction of the Keumkangsan-Dam and the Peace-Dam, 2) The exclusion of the Keumkangsan-Dam watershed (before the construction of the Peace-Dam), 3) The exclusion of the Keumkangsan-Dam watershed (after the construction of the Peace-Dam), 4) The exclusion of the Peace-Dam watershed. The results of the four test cases from the two methods show that the peak flood discharge and the peak flood stage at the Hwachun-Dam site are reduced due to the construction of the Peace-Dam. From these findings, it is suggested that the operational criteria for the optimal dam-operation of the Hwachun-Dam need to be modified.

**요 지 :** 화천댐 상류에는 최근 금강산댐과 평화댐이 건설되었으며 이로인해 홍수유출 및 수위에 큰 변화를 보여 왔다. 본 연구에서는 가용한 유역 자료를 사용하여 상류조건 변화에 따른 화천댐으로의 유입량 및 수위 변화를 모의하였다. 모의를 위해서는 수문학적 추적 방법중 지류함수법과 수리학적 홍수 추적 방법중 미국 NWS의 DWOPER(Dynamic Wave Operational Model) Package를 사용하였다.

홍수 추적은 1) 금강산댐과 평화댐 건설전, 2) 금강산댐 유역 제외(평화댐 건설전), 3) 금강산댐 유역 제외(평화댐 건설후), 4) 평화댐의 수문 폐쇄시등의 4가지 경우에 대하여 모의하였다. 그 결과 상류댐의 건설로 인해 화천댐 유역의 유입량과 수위가 감소되는 것으로 나타났다. 이같은 결과는 화천댐의 최적운영을 위하여 새로운 댐 조작기준의 설정이 필요함을 의미한다고 사료된다.

1. 序 論

현재 화천댐 상류에는 북한이 건설중에 있는 금강산댐과 이에 대한 방어목적의 평화댐이 건설되어 있다. 기존의 한강의 洪水統制를 목적으로하는 대부분의 연구는 이 두 댐의 영향과 北韓地域의 特性을 고려하지 않은 상태에서 화천댐의 流出을 解析하는 것

이었다. 그로인하여 화천댐 지점 유입 홍수 기대치는 최근 몇년 동안 實測値와 상당한 誤差를 보여주고 있으며, 이는 상류에 위치한 두 댐의 영향이 크게 작용하고 있다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 먼저 1988년 5월 1단계 공사가 끝난 평화댐과 1986년 10월 착공한 금강산댐에 관한 자료를 다각적으로 分析, 整理하여 적용하였다. 또한 기존의 화천댐 유역을 단일유역으로 과

\* 육군사관학교 토목공학과 교수  
 \*\* 고려대학교 토목환경공학과 대학원  
 \*\*\* 서울시립대학교 토목공학과 대학원  
 \*\*\*\* 고려대학교 토목환경공학과 교수

악하였던 것을 금강산댐과 평화의 댐을 고려하여 몇 개의 소유역으로 분할한 후, 각 유역의 頻度別 洪水量 및 流入量을 추정하고자 하며, 이 결과를 토대로 洪水追跡을 실시하고자 한다. 이때 이 유역에 발생할 수 있는 가능한 여러 경우의 조건을 고려하여 화천댐의 流入量, 放流量과 水位를 분석하고자 하며, 이는 차후 화천댐의 더욱 효율적인 조작과 이용에 도움을 줄 수 있을 것이다.

## 2. 資料蒐集 및 檢討

본 연구에서는 화천댐 상류 유역의 각 특성 및 각 댐의 現況 과 유역의 流出量 및 放流量 자료에 대해 검토, 정리하였다 (건설부 1979,1980,1989,1980~1990, 중앙기상대 1982,1984,1985,1986,1990). 본 유역은 화천댐의 洪水流入量과 화천댐으로부터 방류되는 放流量 외에는 연구에 중요한 降雨記錄을 비롯한 수문자료가 거의 없는 상태이기 때문에 降雨推定과 각 소유역의 流出量 算定 및 평화댐과 화천댐의

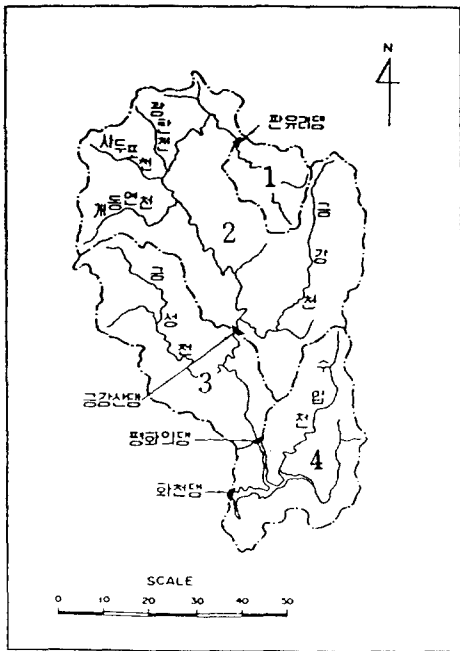


그림 2.1 화천댐 유역도

最適運營의 分析에 어려움을 주었다.

### 2.1 流域 現況 및 特性

본 연구를 위한 유역은 그림 2.1과 같이 분할하여 각기 분할 유역에서의 특성을 결정하였으며 이를 위한 각 유역의 특성은 표 2.1과 같다(대한건설진흥회 1988, 선우중호 1986, 평화의댐 건설기원 범국민추진위원회 1987, 1987. 3~1988.6, 학술연구발표추진협의회 1986).

### 2.2 流域 流入量 및 放流量 記錄 檢討

가. 華川 貯水池와 平和의 댐 地點의 月別平均流入量 및 月別平均放流量

화천 저수지의 최근 10년간의 月別平均流入量 (1981~1990년)은 표 2.2와 같으며, 年平均流入量은 104.2CMS이다. 그러나, 북한의 금강산댐이 건설되어 동해안으로 유역 변경되는 경우에는 화천 저수지의 年平均流入量은 유역 면적비로 추정할 경우 41.7CMS가 되어 금강산댐 건설전보다 약 58.5%가 감소될 것으로 판단된다.

평화댐 지점의 月別平均流入量은 실측치가 없는 실정이므로, 우선 가장 간단한 방법으로 화천 저수지의 月別平均流入量에 대한 유역 면적비로 추정하였다.

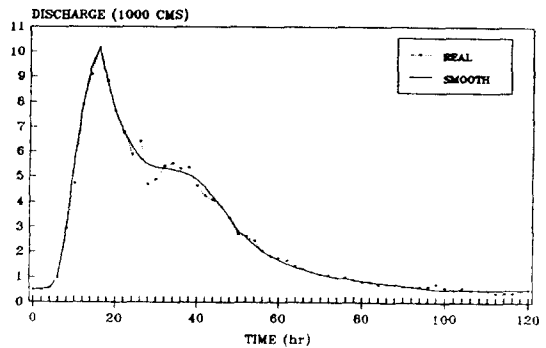


그림 2.2 화천댐 기왕 최대 홍수유입 수문곡선

표 2.1 유역특성

(폭길이 : km)

유역명	구분	유역면적 A(km)	유로경사 S(%)	L (km)	L <sub>c</sub> (km)	유역의 긴편폭	유역의 짧은편	형상계수 A/L <sup>2</sup>
관유리댐	①	244	-	-	-	-	-	-
금강산댐	②	2,394 (2,150)	0.45 (0.25)	135 (103.5)	36.5 (43.7)	80.5	54.5	0.13 (0.23)
평화댐	①②	3,277	0.38	171	68.5	80.6	80.5	0.11
	③	(2,983)	(0.22)	(139.5)	(67.7)			(0.17)
화천댐	①②	4,092	0.36	195	75.5	89.0	80.5	0.11
	③④	(3,848)	(0.18)	(163.5)	(74.4)			(0.16)
평화댐잔유역	③	833	0.72	90	48.5	55.0	24.3	0.11
화천댐잔유역	④	865	1.27	71	33.0	42.0	39.0	0.18
현화천댐	③④	1,689	0.61	114	36.0	59.5	45.5	0.14

\* ( )안의 숫자는 관유리댐 유역을 제외한 값이다.

표 2.2 화천댐과 평화댐의 월별 평균 유입량(CMS)

구분	댐/월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	년평균	
유입량	화천	13.7	18.9	38.6	63.1	60.5	79.5	282.8	308.5	267.5	48.7	48.3	20.9	104.2	
	평화	B	10.2	11.9	33.6	78.1	46.4	52.6	241.2	236.3	147.1	35.5	25.0	15.6	78.0
		A	2.9	3.3	9.4	21.8	13.0	14.7	67.3	66.0	41.1	9.9	7.0	4.4	21.8
방류량	화천	44.8	41.3	40.1	59.4	73.8	95.8	251.9	255.6	267.9	57.7	55.1	49.7	108.2	

(B : 금강산댐 축조전, A : 금강산댐 축조후)

또한 1981년 이후 10년간의 화천댐 放流量 자료에 의거 月別平均放流量을 산출하였으며, 이 표에 주어진 방류량 기록은 발전용 수량과 우기에 주로 이루어진 여수로 방류량 실적을 합산하여 수록한 것이다(한국전력 1983,1986,1988,1991).

표 2.2에서 화천댐의 10년간 방류량이 유입량보다 많은 것을 보여주고 있다. 또한 1981년초 수위가 172.5m 이고 1990년말 수위가 174.1m인 점을 감안할 때, 저수지의 저류량은 증가한 것을 말해주고 있다. 그러나 이 두가지 사실은 실제로 일어날 수 있는 현상을 말해줄 수 없으므로 1.54m<sup>3</sup>/sec로 추정되는 저수지 유입되수량을 감안하더라도 최근 10년간의 유입량과 방류량자료는 신빙성의 문제가 제기되므로 자료의 신뢰도를 높이기 위한 별도의 연구와 대책이 요망된다.

나. 既往 最大 洪水의 時間別 洪水流入量

화천댐 지점에 유입되는 時間別 洪水流入量은 실제 降

雨分布와 流入水文曲線을 이용하여 추정할 수 있으나, 전체유역에 대한 강우분포의 실측치가 없으므로 본 연구에서는 1984년 9월 1일 부터 9월 5일 사이에 화천댐 유역에서 발생한 기왕최대홍수의 실측수문곡선을 그림 2.2에서와 같이 매끄럽게 수정하여 각 頻度別 尖頭洪水量에 적용함으로써 流入量의 時間分布를 추정하였다.

### 3. 降雨 頻度別 洪水流入量의 推定

#### 3.1 華川댐 全體流域의 確率洪水量 및 最大洪水流入量의 決定

본 연구에서는 實測洪水記錄을 사용하여 화천댐 전체 유역의 確率洪水量 및 最大洪水流入量을 頻度解析에 의해 얻었다. 통상 年最高值系列分析에서 도시위치를 위한 공식으로는 Weibull공식이 사용되며,

年超過值 系列을 위한 도시위치공식으로는 California 공식과 Hazen 공식이 가장 적합한 것으로 V.T. Chow(1964)에 의하여 실증된 바 있다. 그러므로 본 연구에서는 尖頭洪水量 산정을 위해 Weibull 공식을 적용하였고, 最大洪水流入量 결정에는 California 공식을 적용하였다(건설부 1980,1982).

#### 가. 確率洪水量 算定

1954년 부터 1986년 까지의 年最高值系列을 사용하여 頻度分析法로 尖頭洪水量을 계산하였다. (1987년 이후 자료는 금강산댐 축조에 의해 영향을 받게 되므로 분석에서 제외시켰다.) 자료에 의한 평균은 4,520.76CMS, 표준편차는 2,322.2CMS, 왜곡도 계수는 0.808 이고 대수값 평균은 3.598, 표준편차는 0.233, 왜곡도 계수는 -0.2668이다. 이 값을 이용하여 정규분포, 대수정규분포, Pearson Type-Ⅲ 분포, Log Pearson Type-Ⅲ 분포 및 Type-I 극치분포에 의한 頻度解析을 실시하였다(선우중호 1985, 윤용남 1986). 頻度解析 결과에 대해 Kolmogorov-Smirnov檢定을 실시하였다. 이에 따른 각 분포형의 최대편차  $D_n$ 은 유의수준(significance level)  $\alpha=5\%$  (신뢰도 95%)에 대한 한계치  $D^{0.05}=0.235$ 보다 작은 값을 나타내므로 여기에서 고려된 각 분포형은 인용된 年最大尖頭洪水量 자료의 분포형으로 그 적합성이 인정된다. 그러나 5개 분포형 중에서 정규분포에 대한 최대편차가 0.0987로 가장 크게 나타났으므로 이를 제외하고, 홍수자료의 頻度解析에 가장 적절한 분포로 알려져 있는 Log Pearson Type-Ⅲ 분포, Type-I 극치분포(Gumbel 분포)와 본 頻度解析에서 최대편차가 0.0462로 가장 적게 나타난 대수정규분포에 의한 값의 평균을 尖頭洪水量으로 결정하였다.

#### 나. 最大洪水流入量 算定

일반적으로 洪水流入量 결정은 어떤 해에 발생한 최고치 뿐만 아니라 두번째 크기의 값도 구조물 설계에 중요한 영향을 줄 수 있을 것이므로 年超過值系列을 사용하여 분석하는 것이 타당할 것이다. 자료는 尖頭洪水量 산정시와 마찬가지로 1954년부터 1986년까지의 2,000CMS이상의 홍수기록을 이용한

결과, 평균은 480.00, 표준편차는 180.66이고, 왜곡도 계수는 1.18이며, 대수값의 평균은 2.655, 표준편차는 0.1488이고 왜곡도계수는 0.631이다. 이들을 이용하여 정규분포, 대수정규분포, Pearson Type-Ⅲ 분포, Log Pearson 분포 및 Gumbel 분포에 의한 頻度解析을 실시하였다. 적합한 분포형을 찾기 위해 Kolmogorov-Smirnov檢定을 실시하였으며 尖頭洪水量의 결정과 같은 과정에 따라 표 3.1에서와 같이 최대洪水流入量을 산정하였다.

표 3.1 화천댐 유입 확률홍수량(CMS)과 확률최대홍수유입량 ( $10^6 m^3/day$ )

확률년	대수정규, Gumbel, Log Pearson의 평균	채택확률 홍수량	Pearson, Gumbel, Log Pearson의 평균	채택 홍수 유입량
1/500	16,830	16,800	1,414	1,450
1/200	14,658	14,700	1,240	1,250
1/150	13,931	13,900	1,191	1,200
1/100	13,056	13,000	1,117	1,150
1/50	11,483	11,500	998	1,000
1/25	9,932	9,900	882	900
1/10	7,898	7,900	730	750
1/5	6,331	6,300	614	650

#### 3.2 未計測 地點의 頻度別 確率洪水量과 最大洪水流入量

가. 確率洪水量과 그 發生時間 및 降雨持續時間 決定 본 연구에서는 가지야마 尖頭洪水量 算定 公式, Wilbur Smith 尖頭洪水量 算定 公式, Snyder형 合成單位流量圖法과 나가야스 合成單位流量圖法을 적용하여 確率洪水量과 發生時間을 결정하였으며, 검토 대상 再現期間으로는 50년, 100년, 200년을 설정하였다(건설부 1981~1990, 한국건설기술연구원 1989). 단위도법의 적용을 위한 有效降雨量은 표면 굴곡으로 인한 저류깊이, Horton 공식의 종기 침투능과 Holtan 공식의 종기침투능 및 SCS방법에 의한 손실우량을 검토하여 보았다. 그결과 유역내의 平均 損失量은 대략 7.5mm/hr로 볼수 있었다. 화천댐 流入量중 기왕 최대의 尖頭洪水量 기록인 1984년 9월

1일의 홍수시 基底流量的 값은 480m<sup>3</sup>/sec를 초과하지 않으므로 안전측으로 500m<sup>3</sup>/sec를 택하였다. 그러나 기타 분할유역들에 대한 홍수유입시 基底流量은 실측기록이 없으므로 유역의 토양상태가 비슷하고 실측기록을 보유하고 있는 평창강 유역 자료와 화천댐 유역에 대한 기왕최대의 基底流量의 면적에 따른 비교 결과, 대략 면적비의 2/3승에 비례하는 것으로 추정되었다. 이때 각 유역의 기저유량 값은 평화댐은 450CMS, 금강산댐은 350CMS, 평화댐잔유역과 화천댐잔유역은 200CMS, 현 화천댐 유역은 300CMS로 추정되었다. 각 방법에 의해 계산된 화천댐유역의 頻度別 確率洪水量값을 앞서 계산한 화천댐 유역의 實測確率洪水量과 비교하여 각 방법에 의해 얻어진 분할 유역의 尖頭洪水量을 화천댐 기준으로 비율이 100%가 되도록 조정하여 그 평균값을

산정하였고, 그 결과는 표 3.2에서 보는 바와 같이 실측 기록이 있는 화천댐 유역의 尖頭 洪水量을 기준으로한 면적비의 0.6승에 아주 근접(3%이내의 오차)한 값을 보여주고 있다. 그러므로 채택 尖頭洪水量은 각 분할 유역의 頻度別 尖頭洪水量을 면적비의 0.6승에 대한 비율을 적용하여 산정하였다.

각 유역의 設計洪水量을 산정하기 위하여 적용되는 設計降雨의 持續時間은 Snyder방법의 경우는 유역의 크기에 따른 Sherman의 持續時間 제안값(선우중호 1985) 보다 1.5~2.5배 정도 크게 나타났으며, 나가야스 방법의 경우는 6개 유역 모두가 Sherman이 제안한 값 범위내에 속하고 있다. 화천댐 유역의 경우 나가야스 방법에 의한 設計 降雨 持續時間은 15시간 정도이나 Snyder 방법에서는 30시간 정도이었다. 尖頭 洪水量 發生時間은 Snyder 방법

표 3.2 환산된 산정 방법별, 빈도별 침투 홍수량 비교

유역명	재현기간	침투 홍수량 (CMS) 산정 방법							강지시간	침투홍수량발생시간
		가자야마	W.S.	Snyder	나가야스	평균	면적비값	채택값		
화천댐	50년	11,559	11,720	11,461	11,467	11,552	—	11,500	15	16
	100년	13,065	13,107	12,949	12,948	13,017	—	13,000		
	200년	14,738	14,833	14,590	14,619	14,695	—	14,700		
평화댐	50년	9,924	10,600	9,474	9,649	9,912	9,870	9,900	15	15
	100년	11,220	11,893	10,692	10,971	11,194	11,158	11,200		
	200년	12,657	13,500	11,974	12,325	12,614	12,617	12,650		
금강산댐	50년	8,223	9,400	7,750	7,993	8,342	8,110	8,150	10	11
	100년	9,294	10,607	8,718	8,963	9,396	9,168	9,200		
	200년	10,485	12,000	9,782	10,090	10,589	10,367	10,400		
평화댐잔유역	50년	4,481	6,640	3,124	3,739	4,496	4,591	4,600	8	10
	100년	5,065	7,429	3,490	4,160	5,036	5,190	5,200		
	200년	5,713	8,500	3,872	4,666	5,688	5,869	5,900		
화천댐잔유역	50년	4,664	6,800	3,537	3,872	4,718	4,696	4,700	6	8
	100년	5,272	7,571	3,944	4,274	5,265	5,309	5,350		
	200년	5,947	8,667	4,382	4,775	5,943	6,003	6,060		
(현) 화천댐	50년	6,997	8,680	6,347	6,351	7,094	7,039	7,050	13	14
	100년	7,909	9,679	7,064	7,147	7,950	7,957	8,000		
	200년	8,923	11,000	7,872	8,030	8,956	8,998	9,000		

\* 면적비 홍수량은 화천댐 침투홍수량 × (면적비)<sup>0.6</sup>

\* 화천댐 채택값은 실측자료분석 결과 사용(표 3.1)

에서는 23~30시간이며, 나가야스 방법에서는 8~18시간으로 나타났는데, 화천댐 유역의 기왕 最大洪水(1984.9.1~9.5 발생)에 의한 尖頭洪水量 到達時間이 16시간인 점을 고려할 때 본 유역에서의 設計降雨 持續時間이나 尖頭洪水量 發生時間은 나가야스의 合成單位圖 방법에 의한 결과가 적합한 것으로 판단된다.

나. 頻度別 最大洪水流入量

洪水流入量에 대한 기록도 현 화천댐 지점에만 있을 뿐이므로 유역내의 미계측 지점들에 대한 最大洪水流入量은 화천댐 전체 유역의 3/4이 북한 영토여서 이들 지역에 대한 토양형이나 토지 이용상태 등에 대한 정보 획득이 곤란하여 정확한 유출분석이 불가능한 현재로서는 전체 유역이 대체로 비슷한 유출현상을 보인다고 간주하고 단순히 면적비에 의한 계산 방법을 택하지 않을 수 없다. 이런 관점에서 유역내 미계측 각 분할 유역들에 대한 頻度別 最大洪水流入量은 화천댐 確率最大洪水流入量(채택 洪水流入量)을 이용하여 산정하였고 표 3.3에 표시하였다.

표 3.3. 화천댐 및 미계측 유역 확률 최대홍수유입량 (10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/day)

유역명	재현기간					
	10년	25년	50년	100년	200년	500년
화천댐(실측분석)	750	900	1,000	1,150	1,250	1,450
평화의댐	600	700	800	900	1,000	1,100
금강산댐	450	500	600	650	700	800
평화의댐잔유역	160	200	220	250	270	310
화천댐잔유역	170	200	230	260	280	320
(현) 화천댐	350	400	450	500	550	650

3.3 設計洪水流入量 水文曲線

앞에서 결정한 분할유역별 尖頭洪水量과 降雨持續時間 및 尖頭洪水量 發生時間을 고려하여 頻度別로 設計洪水流入量 曲線을 작성하였다. 이때, 화천댐의 設計洪水流入量 曲線 형태는 화천댐 既往 最大洪水流入量 水文曲線을 매끈하게 수정하여 그림 2.2와 같이 적용하였으며, 기타 분할유역에 대하여는 화천댐 既往 最大洪水流入量 水文曲線 전체에 대한 매끈한 곡선

형태를 고려하면서 최고치를 確率最大洪水流入量에 해당되도록 작성하였다.

4. 洪水 追跡

본 연구에서는 금강산댐, 평화댐, 화천댐에서의 각 모의 경우에 대한 水位 및 流入量과 放流量의 변화를 가장 보편적 방법인 水文學的 洪水追跡으로 貯水池 洪水追跡(Kimura 1961)과 水理學的洪水追跡으로 미국의 NWS(미국기상청)의 Hydrologic Research Laboratory가 Implicit Method중의 하나인 Weighted Four-Point Implicit Method를 프로그램화한 不定流 追跡模型인 DWOPER(Dynamic Wave Operational Model) Package를 사용하여 추적하여 보았다(Amein & Fang 1970, Fred 1973, Preissmann 1961).

4.1 水文學的 洪水追跡(Reservoir routing)

화천댐 지점의 水位 및 流入量과 放流量의 해석은 Case 1 : 금강산댐과 평화의 댐 건설전, Case 2 : 금강산댐 유역 제외 (평화댐 건설전), Case 3 : 금강산댐 유역 제외 (평화댐 건설후), Case 4 : 평화댐의 수문 폐쇄시의 4개의 경우로 각각 모의하였다. 또한 통상 하절기에 댐수위를 만수위로 유지한다고 보고 화천댐 制限水位인 EL.175.0m를 洪水 추적을 위한 초기 조건으로 사용하였으며, 홍수시 放流量은 여수로 수문을 모두 완전히 개방한 自然 洪水調節 方式을 기준으로 하였다. '수력발전소 댐 관리규정'(한국전력 1983)에 의하면 제한수위 유지시에 상류의 洪水 流出이 급격히 증가될 것이 예상될 때에는 制限水位 이하에서 예비 방류를 실시하도록 되어 있으므로 이 가정은 타당하다고 판단된다. 표 4.1과 표 4.2는 각각의 특수한 경우의 모의에 따른 화천댐과 평화댐지점의 再現期間별 最高水位와 最大放流量을 보여 주고 있다. 이때 적용한 화천 저수지의 수위-용적 관계는 1986년 한국전력에서 실시한 "화천수력 댐 안전진단보고서"의 내용이었다.

표 4.1 화천댐 지점 최고수위 및 최대방류량

유역상태	구분	재현기간		
		50년	100년	200년
금강산댐 건설전	수위	182.00	182.66	183.47
평화댐 건설전	방류량	7,618	8,667	10,017
금강산댐 건설후	수위	179.88	180.44	180.96
평화댐 건설전	방류량	4,551	5,292	6,045
평화댐 터널	수위	178.02	178.40	178.78
폐쇄시	방류량	2,357	2,749	3,184

표 4.2 평화댐지점 최고수위 및 최대방류량

유역상태	구분	재현기간		
		50년	100년	200년
금강산댐	수위	205.2	209.0	212.9
건설전	방류량	5,000	5,297	5,600
금강산댐	수위	185.6	187.2	188.9
건설후	방류량	2,959	3,170	3,389

\* 수위(EL.m), 방류량(CMS)

표 4.3 화천댐과 평화댐 연계 운영시 최고수위 및 최대방류량

댐지점	구분	재현기간	금강산댐 건설전	금강산댐 유역변경
화천댐	최고수위 (EL.m)	50년	180.08	178.82
		100년	180.35	179.18
		200년	180.63	179.52
	최대방류량 (CMS)	50년	4,804	3,227
		100년	5,174	3,662
		200년	5,573	4,096
평화댐	최고수위 (EL.m)	50년	201.03	184.18
		100년	204.19	185.53
		200년	207.60	187.01
	최대방류량 (CMS)	50년	4,154	2,182
		100년	4,430	2,344
		200년	4,712	2,517

표 4.3은 화천댐 초기수위를 제한수위인 EL.175.00m로 가정하고 평화댐의 영향을 고려했을 때의 화천댐 水位 및 放流量과 평화댐의 水位 및 放流量을 보여주고 있다. 이 표에서 보는 바와 같이 200년 빈도 홍수에 평화의 댐에서는 最高水位 207.6m와 放流量 4,712CMS이며, 화천댐에서는 最高水位 180.63m와 放流量 5,573CMS로서 洪水統制에 전혀 무리가 없음을 나타내고 있다.

#### 4.2 水理學的 洪水追跡(DWOPER)

DWOPER 프로그램 적용을 위하여 화천댐-평화댐, 평화댐-금강산댐의 두 구간으로 나누어 단계적 계산을 하였다. 화천댐에서 평화댐까지는 단면을 12개 구간(입력단면 13개 Nodes)으로, 평화댐에서 금

강산댐까지는 13개 구간으로 나누었다. 각 Node에서의 斷面資料는 '하천정비 기본계획(북한강, 양구서천)'과 수자원 공사에서 제공한 斷面資料를 사용하였다. 또한 각 분할 유역들에 의한 洪水流入量들은 각 댐지점 사이에 균일하게 6개 지점에서 側面流入에 의해 분할 유입하는 것으로 가정하여 계산하였다.

또한 初期條件으로는 初期河道流量과 下流境界(하류댐)에서의 制限水位를 부여하여 DWOPER내에서 자동적으로 初期條件을 Backwater Analysis에 의해 자동 산정되도록 하였으며, 이때 화천댐에서의 初期水位는 制限水位인 EL.175.0m를 그대로 사용하였다. 上流境界條件으로는 각댐의 流量水文曲線을, 下流境界條件으로는 하류댐 여수로의 Rating Curve를 사용하였다.

이렇게 계산한 最大放流量과 遲滯時間 및 貯水池

표 4.4 화천댐 지점 홍수추적 결과

구 분	방 법	재현기간	최고수위(EL.m)	최대방류량(CMS)	지체시간(hr)
평 화 댐 과 금 강 산 댐	저류방정식	100년	182.66	8,667	22.0
		200년	183.47	10,017	21.5
건 설 전	DWOPER	100년	182.87	8,622	25.5
		200년	183.30	9,311	23.5
금 강 산 댐 유역제외시	저류방정식	100년	180.44	5,292	21.0
		200년	180.96	6,045	21.0
(평 화 댐 건 설 전)	DWOPER	100년	180.31	4,795	22.5
		200년	180.82	5,516	22.5
금 강 산 댐 유역제외시	저류방정식	100년	179.18	3,662	21.0
		200년	179.52	4,096	20.0
(평 화 댐 건 설 후)	DWOPER	100년	179.39	3,632	17.5
		200년	179.87	4,232	17.5
평 화 댐 터 널	저류방정식	100년	178.40	2,749	15.0
		200년	178.78	3,184	15.0
폐 쇄 시	DWOPER	100년	178.36	2,463	16.5
		200년	178.73	2,868	16.5

最高水位 결과는 표 4.4와 같다. 여기서 저수지홍수 추적에 의한 결과와 DWOPER 계산 결과사이에는 最高水位의 관점에서 4~35cm의 차이가 남을 보여 주고 있다. 실제로 화천댐 유역은 다른 댐지점에서 보다는 측방유입을 초래하는 하천의 저류능력이 크며, 파로호에서의 단면결정도 계산에 크게 영향을 미치고 있으므로 DWOPER 계산 과정에서 보다 나은 결과를 얻기 위해서는 Network해석과 유역 자료의 더 많은 연구가 필요하다고 본다. 결과적으로 화천댐 수문을 완전히 개방하면서 初期水位를 制限水位인 175.0m로 유지한 상태에서 貯留方程式이나 DWOPER 프로그램에 의한 계산결과, 금강산댐 건설로 인한 200년 빈도의 홍수추적시 최고수위가 약 EL.180m로서, 이는 화천댐의 홍수위 EL.183m, 상시만수위 EL.181m에 미치지 못하여 홍수에 대해 충분한 여유고가 있음을 보여주고 있다.

## 5 結 論

본 연구는 기존의 미비한 화천댐 上流流域 資料의 分析과 타당한 流出 資料의 제시를 통하여 평화댐

건설에 따른 화천댐 상류의 流出 條件 分析의 실시 에 그 목적이 있었다. 앞에서 검토된 바와 같이 화천 댐 유역내의 평화댐 건설은 화천댐 洪水流入量과 水位를 감소시켰다. 그러므로 이들 결과의 적용과 분석을 통하여 화천댐의 制限水位(EL.175.0m)를 조정할 수 있을 것이다. 또한 호우시의 洪水統制를 위한 화천댐 조작의 재검토와 평화댐의 4개 배수터널 에 대한 다양한 분석과 적용을 통하여 最適의 運營 方法을 도출하여야 할 것이다.

화천댐 유역은 화천댐 洪水流入量과 放流量에 관한 記錄이외에는 연구에 중요한 降雨記錄을 비롯한 水文資料가 거의 없어 유역 水文研究와 화천댐 및 평화댐의 최적운영을 위한 계획수립에도 지장을 주고 있다. 따라서 평화의 댐에 水位計와 降雨計를 설치하여 流入量과 放流量을 측정 및 기록유지할 수 있어야 되며, 미계측 유역의 降雨資料를 수집, 측정하여, 평화댐과 화천댐의 연계 운영에 관한 후속 연구가 이어져야할 것이다.

## 감사의 글



본 연구는 건설부 한강홍수통제소의 1991년도 한강수계 유출 프로그램 개선방안 연구사업의 일환으로 수행되었으며, 연구에 많은 지원을 해주신 한국건설기술연구원 수자원연구실의 서병하 박사, 정상만 박사와 이동을 연구원께 사의를 표합니다.

參 考 文 獻

1. 건설부(1981~1990), 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서, 건설부
2. 건설부 (1982), 하천 시설 기준 (담편), 건설부
3. 건설부 (1980), 하천시설기준 (하천편), 건설부
4. 건설부 (1989), 한강(북한강, 양구서천) 하천정비 기본계획, 건설부
5. 건설부 (1980~1990), 한국수문조사연보, 건설부
6. 건설부 (1979), 한국수문조사서 우량 수위 (1962~1978), 건설부
7. 대한건설진흥회 (1988), “평화의 댐은 과연 대용댐인가?”, 국토와 건설 제 5 권 9호, 대한건설·진흥회, pp.24-35
8. 선우중호 (1986), “금강산댐 건설 영향 평가에 대한 기술적 검토”, 한국수문학회지 19권 1호, pp.294-302
9. 선우중호 (1985), 수문학, 동명사
10. 윤용남 (1986), 공업수문학, 청문각
11. 중앙기상대 (1980~1990), 기상연보, 중앙기상대
12. 중앙기상대 (1985), 한국강수자료 제 1 권 (1904~1960), 중앙기상대
13. 중앙기상대 (1985), 한국강수자료 제 2 권 (1961~1975), 중앙기상대
14. 중앙기상대 (1986), 한국강수자료 제 3 권 (1976~1985), 중앙기상대
15. 중앙기상대 (1982), 한국 기후표 제 1 권 기후예년값 (1951~1980), 중앙기상대
16. 중앙기상대 (1984), 한국기후표 제 2 권 기상분실 10년값 (1973~1982), 중앙기상대
17. 중앙기상대 (1990), 한국누년기후극값 (1904~1989), 중앙기상대
18. 평화의 댐 건설기원 범 국민 추진위원회 (1987), 평화의 댐 종합보고서
19. 평화의 댐 건설기원 범 국민 추진위원회 (1987.3~1988.6), 평화의 댐 통권 1호 17호 (종간호)
20. 학술 연구발표 추진 협의회 (1986), 북한 금강산댐 건설의 영향 평가 및 그 대책에 관한 학술 세미나
21. 한국건설기술연구원 (1989), 설계홍수량 산정을 위한 단위유량도의 합성방법개발
22. 한국전력공사 (1988), 수력 발전소 자료집, 한국전력공사
23. 한국전력공사 (1986), 화천 수력댐 안전도 진단 보고서, 한국전력공사
24. 한국전력공사 발전부 (1983), 수력발전소 운용 자료집 (연구본), 한국전력공사
25. 한국전력공사 발전처 수력발전부 (1991), 수력발전소 운용자료집(1971~1990실적)
26. 한국전력공사, 수자원공사 (1991) <비공식 자료제공>
27. Amein, M., and Fang, C.S. (1970), “Implicit Flood Routing in Natural Channels”, J. Hydr. Div., ASCE, Vol.96 (HY12), pp.2481~2500
28. Chow V.T. (1964), Handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill, pp.8-28~8-29
29. Fred, D.L. (1973), “Technique for Implicit Dynamic Routing in Rivers with Tributaries”, Water Resources Research, Vol.9, No.4, pp.918~926
30. Kimura (1961), “Flood Routing Using Storage Function Method”, Civil Engineering Research Institute, Japanese Ministry of Construction
31. Preissmann, A. (1961), “Propagation of Translatory Waves in Channels and Rivers”, In Proc., First Congress of French Assoc. for Computation, Grenoble, France, pp.433~442