

화천댐 및 평화의 댐 연계운영에 의한 홍수조절 효과 분석

심 명 필*, 권 오 익**

1. 서론

1944년 10월에 준공된 화천댐은 발전목적의 댐으로 한국전력공사가 관리하지만 현재는 다목적 댐에 준하는 규정에 따라 비홍수기에는 상시만수위를 유지하고, 홍수기에는 제한수위를 유지하도록 되어 있다. 현재 화천댐 상류에는 금강산댐의 건설에 대응하여 평화의 댐의 1단계 공사가 완료된 상태이다. 평화의 댐은 상류로부터 유입되는 물을 일시 저류하여 화천댐의 수위상승을 지체시키는 역할을 하고 있으나 그 기능이 극대화 되고 있지는 못한 실정이다. 북한의 발표에 따르면 금강산댐이 축조된 이후에는 동해안으로 유로가 변경된다고 알려져 있으나 홍수기에는 금강산댐의 저수용량을 전체적으로 유로변경하여 사용하기에는 다소의 문제점이 있으리라 판단된다. 현재로서는 불확실한 판단에 따른 평화의 댐 활용방안에 관해 언급하기는 어려운 일이지만, 향후 남북한 수자원의 공동이용에 관한 합의의 가능성을 기대할때 평화의 댐의 활용방안에 관해 사전에 검토할 필요는 있을 것이다.

평화의 댐의 건설로 인해 현재의 화천댐 유역의 경우 과거의(평화의 댐 건설전) 단독운영보다는 건설된 평화의 댐으로 인한 유역내의 변화된 상황을 충분히 검토하여 효율적인 이용방안을 수립하여야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 화천댐의 홍수기 저수지 운영방안과 화천댐 및 평화의 댐의 저수지 시스템의 능력을 분석·검토하여 화천댐과 평화의 댐의 연계 모의운영 시스템을 구성함으로써 연계운영에 따른 화천댐의 홍수조절 효과를 분석하고자 한다.

2. 연계운영을 위한 유역상황의 설정

화천댐과 평화의 댐의 연계운영방안을 검토함에 있어 그림 1과 같이 우선 시기적으로 과거, 현재 및 미래로 유역상황을 구분할 수 있다. 과거의 유역상황은 평화의 댐이 건설되기 이전의 상황으로, 화천댐이 1944년 당초의 발전 단일목적으로 건설운영되다가 1973년부터 홍수기 제한수위의 설정(EL. 175m)으로 한강수계의 홍수조절기능의 일부를 담당하여 단독운영되는 시기이다. 이때의 화천댐으로 유입되는 홍수량은 화천댐 상류의 전유역에 해당하며, 이는 화천댐 자기유역과 금강산댐 유역을 포함한 평화의 댐 유역이다. 그림 1(a)는 화천댐, 평화의 댐 및 금강산댐(판유리댐 제외)의 각각의 유역면적을 나타내며, 그림 1(b)는 과거의 화천댐 단독운영시의 유역면적을 나타

* : 인하대학교 공과대학 토목공학과 교수

** : 인하대학교 대학원 토목공학과 박사과정 수료

낸 것으로 이때의 유입량은 그림 1의 유역면적에 근거하여 하나의 수문곡선으로 나타낼 수 있다.

현재의 유역상황은 1986년 북한의 금강산댐 건설계획 발표에 따라 대응책으로 마련되어 1988년 5월에 1단계 공사가 완료된 평화의 댐 건설이후에서 금강산댐 건설이전까지의 시기로 구분할 수 있다. 그림 1(c)와 같이 유역을 두부분으로 분리한 유입수문곡선을 이용하여야 하며, 금강산댐 유역을 포함한 평화의 댐 유역으로부터 유입되는 홍수량은 평화의 댐의 저수위를 증가시키며 한편으로는 하부에 설치된 4개의 배수터널을 통하여 화천댐의 저수지로 유출된다. 따라서 화천댐으로 유입되는 유입량은 평화의 댐 배수터널과 화천댐 자기유역 유입량의 합이 된다.

미래의 유역상황은 금강산댐의 축조중 상류에 위치한 가물막이댐에 의한 평화의 댐 유입량이 감소 또는 조절되는 경우, 금강산댐이 건설된 이후 유로변경 및 남북합의 여하에 따라 여러가지 전개되는 상황을 고려할 수 있다. 그림 1(d)와 같이 유역면적은 세부분으로 분리되며; 평화의 댐으로 유입되는 홍수량은 금강산댐 유입량의 고려유무에 따라 평화의 댐 자기유역의 유입량과 금강산댐 유역 유입량의 합이 되나, 상황에 따라 금강산댐 유입량은 없을 수도 있고 일부 또는 전부가 될 수도 있다. 화천댐의 유입량은 현재와 같이 평화의 댐 배수터널과 화천댐의 자기유역 유입량의 합이 된다.

3. 연계운명을 위한 모의운영 시스템의 구성

평화의 댐이 자기유역(면적 833km^2) 및 금강산댐 유역(면적 $2,150\text{km}^2$)으로부터의 유입량을 일시 저류시킬 수 있다면, 화천댐과 평화의 댐의 수위차이에 해당하는 평화의 댐의 저수공간을 홍수 조절용으로 활용할 수 있게 되고, 결과적으로 화천댐의 현재의 홍수기 제한수위인 EL. 175m를 다소 상향조정하여 이수용량을 증가시키는 것이 가능할 것이다. 그림 2는 금강산 댐이 축조된 경우의 화천댐과 평화의 댐의 각종 기준 저수위 및 유입량과 방류량의 관계를 나타낸다. 그림 2에서 판유리댐유역을 제외한 금강산댐 상류의 홍수유입량은 일정률 또는 일정량이 하류로 방류된다고 가정하면 평화의 댐 유입량은 이들 유입량과 평화의 댐 자기유역의 유입량으로 인해 평화의 댐의 수위는 상승될 것이다. 홍수초기에는 화천댐과 평화의 댐의 수위는 같거나 기저유량에 의한 배수위 차이가 있을 것이다. 그러나 홍수가 진행되어 평화의 댐의 저수위가 상승되면 두 댐간의 수위차가 발생하여 평화의 댐의 배수터널을 통한 방류량과 화천댐 자기유역(면적 865km^2)의 유입량으로 인해 화천댐의 수위는 상승하게 된다. 두 댐간의 수위차에 의해 평화의 댐의 방류량이 결정되고, 화천댐 및 평화의 댐의 방류량에 의해 수위차가 결정되므로 이들의 관계는 두 댐의 유입량과 화천댐의 방류량을 고려하여 시산법으로 구하여야 한다. 화천댐의 방류량 결정을 위한 저수지조작방식은 다음과 같이 3가지 case로 각각 분류하였다.

case 1: 화천댐 유입량의 일정률을 방류

case 2: 제한수위를 넘는 경우 일정량을 방류

case 3: 일정률을 방류하다가 첨두유입량의 시점이후는 일정량을 방류

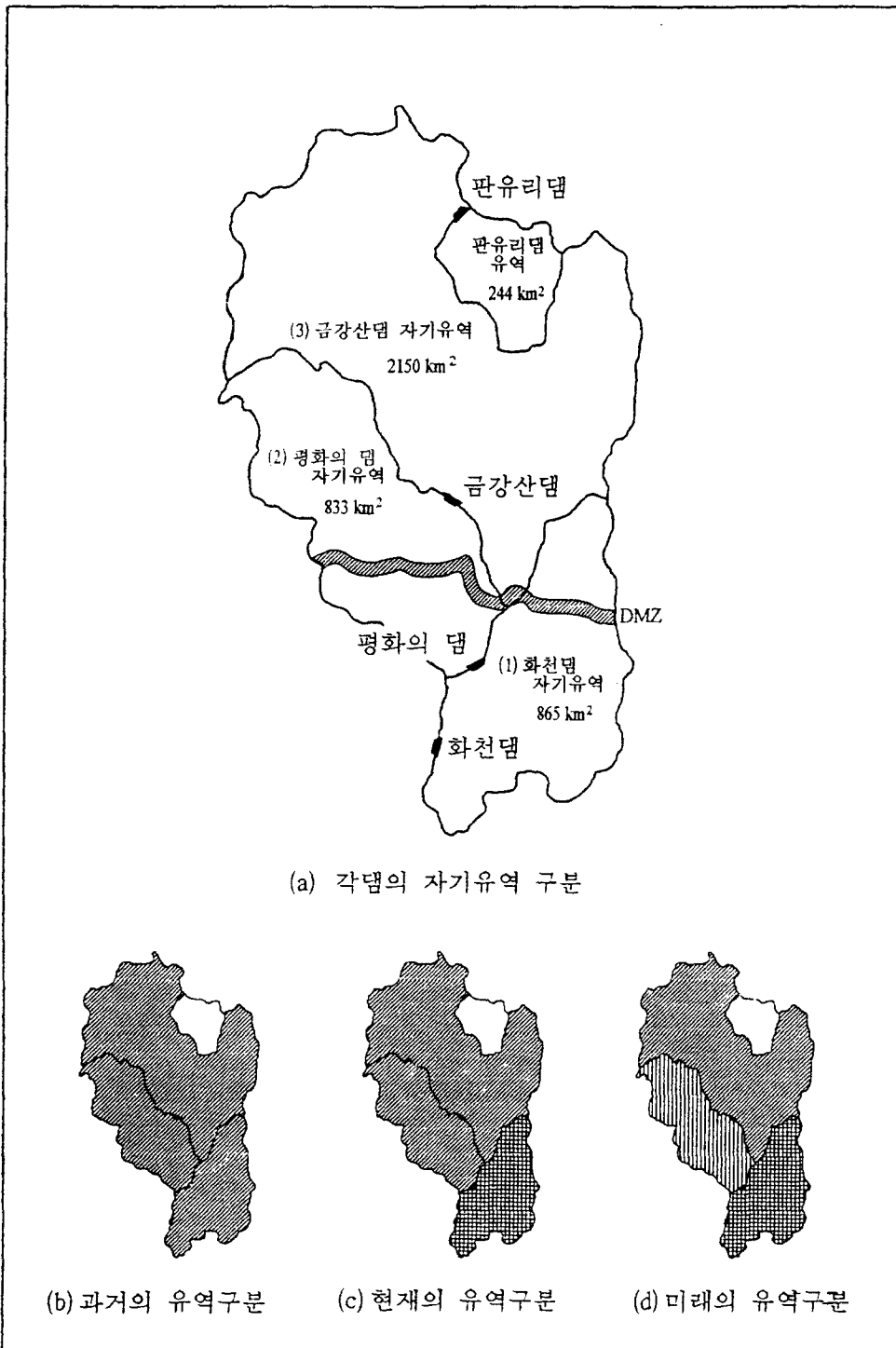


그림 1. 화천댐과 평화의 댐의 연계운영을 위한 유역구분도

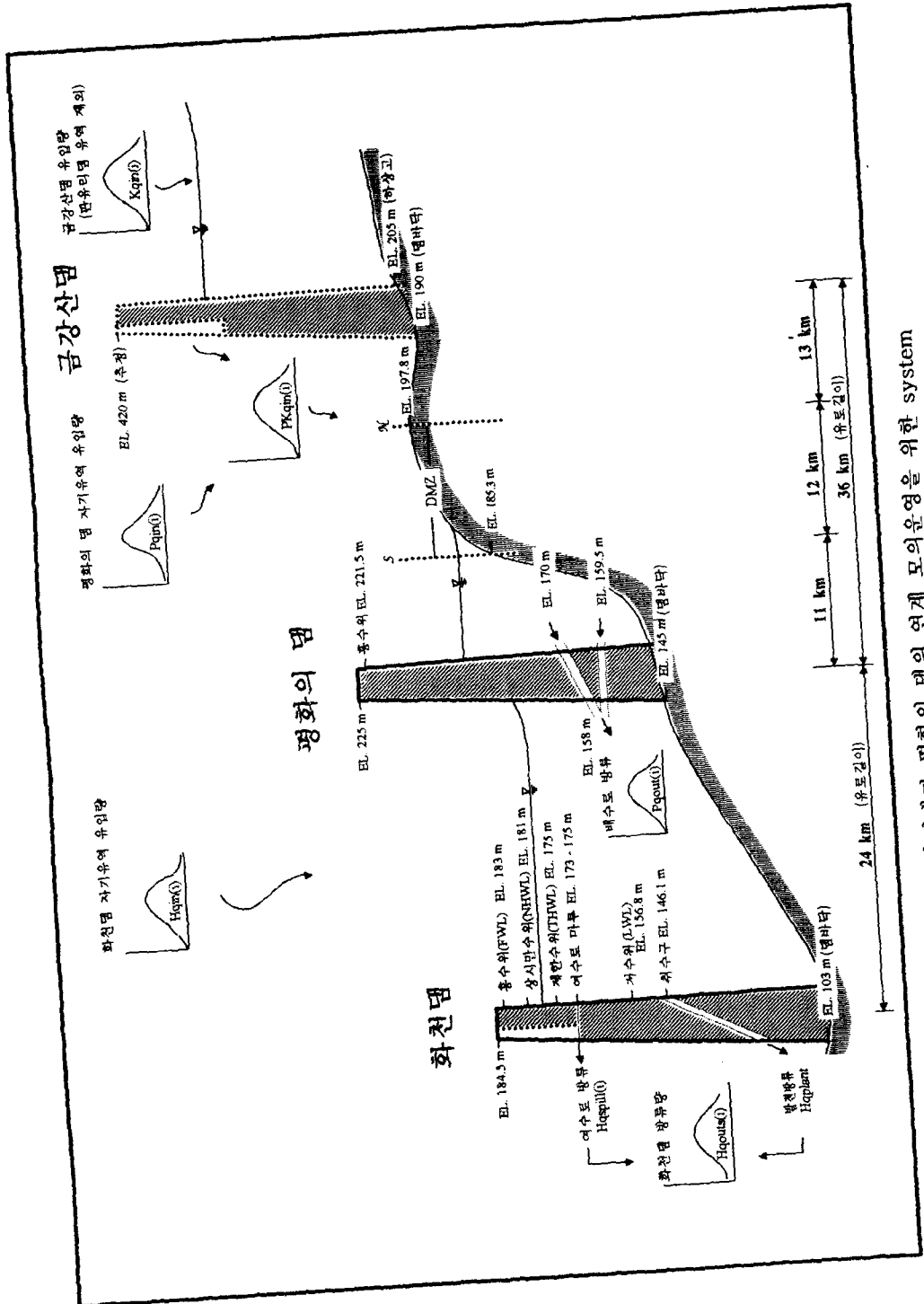


그림 2. 화천댐과 평화의 댐의 연계 모의운영을 위한 system

4. 화천댐 및 평화의댐 연계 모의운영

4.1 현 제한수위에서 평화의 댐 건설전후의 모의운영

화천댐과 평화의 댐의 연계운영방안을 검토하기 위해 앞서 유역상황을 시기적으로 과거, 현재 및 미래로 구분한 바 있으며 본 연구에서는 화천댐의 제한수위를 현행 EL. 175m로 두고 평화의 댐의 건설전후에 따라 모의운영하였다. 모의운영은 평화의댐 건설전 과거 화천댐의 단독운영과 평화의 댐 건설후 화천댐의 연계운영으로 구분하여 실시하였다

4.2 화천댐의 제한수위 상향조정에 따른 모의운영

평화의 댐 건설에 따라 화천댐의 홍수조절부담은 상당히 경감되었고 이에 화천댐의 기존 제한수위(EL. 175m)를 상향조정하는 방안을 검토하였다. 화천댐 제한수위의 상향조정은 결국 일시적으로 활용되어지고 있는 평화의 댐의 저수공간을 장기적으로 이용하는 문제로서, 화천댐의 제한수위의 상승에 따라 활용되는 평화의 댐의 저수공간을 검토할 필요가 있다. 본 연구에서는 금강산댐 건설전후를 고려하여 이에 종속되는 평화의 댐 유입량과 관련하여 화천댐의 제한수위를 상향조정하는 문제를 검토하였다. 이를 위해 금강산댐의 건설전후를 구분하여 100년 빈도의 홍수가 화천댐에 유입되었을 경우 화천댐의 제한수위상향조정에 따른 홍수조절효과를 모의운영하였다.

4.3 금강산댐 건설후의 유입량 변화에 따른 모의운영

미래에 금강산댐이 건설된 경우나, 현재와 같이 금강산댐 상류에 가물막이 댐이 축조된 상황에서는 금강산댐으로부터의 유입량은 다음과 같이 고려될 수 있을 것이다. 첫째, 금강산댐의 건설전후와 관련하여 금강산댐의 유입량은 모두 저류되어 동해로 유로변경될 경우, 평화의 댐으로 유입하는 유입량은 평화의 댐 자기유역에만 영향을 받을 것이다. 둘째, 홍수기에 금강산댐의 유입량의 전부 또는 일부가 평화의 댐 유역으로 방류가 불가피하게 되는 경우, 평화의 댐으로 유입하는 유입량은 금강산댐의 방류량과 평화의 댐 자기유역 유입량의 합이 될 것이다. 또한 동해로의 유로변경계획이 취소되어 금강산댐의 조절방류량이 평화의 댐으로 유입되는 경우라면 방류조건은 차이가 있겠으나 이와 비슷한 상황으로 생각할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 평화의 댐 저수지 수위의 한계를 계획홍수위(EL. 221.5m)로 설정하고 화천댐의 계획홍수위(EL. 183m)를 넘지 않는 범위에서 화천댐의 제한수위상승에 따른 홍수조절방안을 검토하였다.

5. 모의운영 결과 및 분석

5.1 평화의 댐 건설전후의 모의운영 결과 비교(현행 제한수위 175m 유지)

평화의 댐 건설전후를 기준으로 빈도별 홍수유입량과 화천댐의 방류조건을 달리한 모의운영을 실시하여 그 결과를 바탕으로 각종 저수지의 수문특성을 서로 비교해 봄으로써 평화의 댐 건설에 따른 화천댐의 영향과 평화의 댐의 역할을 분석할 수 있을 것이다. 제한수위 EL. 175m에서 평화의 댐 건설전후를 모의운영한 결과를 바탕으로 화천댐의 홍수조절능력을 비교분석하였다. 표 1에서 화천댐의 제한수위는 EL. 175m이며, 평화의 댐 건설로 인해 화천댐의 첨두유입량은 두 case 모두 36.3% 정도 감소되었고, 방류조건별 최대방류량은 각각 42.9%와 46.7% 정도 감소되었음을 알 수 있다. 이는 이때의 평화의 댐의 최고수위가 EL. 206m 내외로 추정됨에 따라 화천댐의 감소된 첨두유입량과 최대방류량은 평화의 댐의 추정된 만큼의 저류공간이 활용된 결과로 판단된다. 화천댐의 유입량과 방류량은 평화의 댐의 역할로 인해 상당히 감소하므로, 화천댐의 제한수위를 현행 EL. 175m에서 다소 상향 조정하더라도 평화의 댐의 건설전(화천댐의 단독운영)과 같은 정도의 치수효과를 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

표 1. 평화의 댐 건설전후의 유입량 및 방류량 비교(제한수위 EL. 175m, 50년 빈도홍수)

방류조건	첨 두 유 입 량			최 대 방 류 량			평화의 댐 최고수위 (EL. m)
	건설전	건설후	감소율(%)	건설전	건설후	감소율(%)	
case 1	11,500	7,327	36.3	8,620	4,922	42.9	205.93
case 2	11,500	7,326	36.3	7,510	4,000	46.7	206.05
case 3	-	-	-	-	-	-	-

주) 음영으로 표시된 부분은 화천댐이 홍수위를 초과하는 경우를 나타낸다.

5.2 화천댐 제한수위의 상향조정 검토

화천댐의 제한수위를 EL. 180m로 상향조정할 경우, 금강산댐의 완공전후에 따라 금강산댐 유역의 100년 빈도 홍수에 대해 모의운영한 결과를 분석하였다. 홍수유입량의 전부가 평화의 댐으로 유입하는 경우와 일부가 유입하는 경우의 각 case별로 방류조건을 구분하여 연계운영한 결과를 표 2에 화천댐 최대방류량과 평화의 댐 예상최고수위를 비교하였다. 표 2에서 금강산댐 건설전은 현재의 유역과 같이 2개 유역으로 구분하여 분석한 결과이고, 금강산댐 건설후는 3개 유역으로 구분하여 일정비율은 유입률을 0.5로 하여 얻은 결과이고 조절방류는 6,000CMS가 30시간 방류된다고 가정한 결과이다.

표 2. 화천댐 연계운영 case별 모의결과(100년 빈도 홍수, 제한수위 EL. 180m)

case별 방류방식		금강산댐 건설전	금강산댐 건설후		비 고
			일정비율	조절방류	
1 일정률	화 천 댐 최대방류량	7,247	7,560	8,060	과거 화천댐 단독운영 (제한수위 175m)에 의한 모의결과는 모두 화천댐 의 홍수위를 초과함
	평화의 댐 최고수위	210.61	202.43	214.98	
2 일정량	화 천 댐 최대방류량	5,200	4,900	5,900	
	평화의 댐 최고수위	210.58	202.34	215.02	
3 일정률- 일정량	화 천 댐 최대방류량	5,753	6,049	7,370	
	평화의 댐 최고수위	210.90	202.69	215.13	

주) 1. 방류량(CMS), 수위(EL. m)

2. 금강산댐 건설후의 유입량은 일정비율: 0.5, 조절방류량:6,000CMS(0~30시)

5.3 결과의 분석

100년 빈도 홍수를 대상으로 화천댐의 제한수위를 EL. 180m로 가정하여 금강산댐 유역의 유입량 변화에 따른 화천댐과 평화의 댐의 연계운영에 따른 치수효과를 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 금강산댐의 유입량 전부가 유하하는 경우(금강산댐 건설전)

과거 화천댐 단독운영시에는 100년 빈도 홍수가 유입하면 화천댐의 수위가 홍수위를 초과하므로 저수지 운영은 불가능하나, 평화의 댐과 연계운명을 하는 경우에는 현행 제한수위를 EL. 179~181m로 상향조정하여도 화천댐의 운영은 가능하다. 화천댐의 제한수위를 EL. 180m로 상향조정하면 평화의 댐의 예상최고수위는 EL. 210.58~210.90m로서 화천댐보다 약 28m 정도 더 높게 저류하는 효과가 있다. 이 때의 평화의 댐의 최대활용저류량은 약 300MCM 정도로 추정된다. 화천댐의 현행 제한수위 EL. 175m를 그대로 유지하면 평화의 댐의 수위는 대략 EL. 209m로 추정되며, 결과적으로 화천댐의 제한수위를 5m 높이면 평화의 댐의 최고수위는 약 1.29~1.42m 상승하는 영향을 미치므로 현행 제한수위(EL. 175m)를 상향조정하는 방안을 검토할 여지가 있음을 알 수 있다.

(2) 금강산댐의 유입량이 변화하는 경우(금강산댐 건설후)

금강산댐 유역의 홍수가 평화의 댐으로 유입하는 조건(유입량의 일정비율, 조절방류)에 따라서 연계운영에 의한 결과는 달라진다. 화천댐의 제한수위를 EL. 180m로 상향조정하는 경우, 금강산댐 유역 홍수의 50%가 유입한다면 case에 따라 화천댐의 최대방류량은 4,900~7,560CMS, 평화의 댐의 최고수위는 EL. 202.34~202.69m가 예상된다. 또한 같은 홍수의 총유입량이 6,000CMS의 일정량으로 0~30시간까지 조절방류되어 평화의 댐으로 유입되는 경우, 화천댐의 최대방류량은 5,900~8,060CMS, 평화의 댐의 예상최고수위는 214.98~215.13m로 조절방류되지 않는 경우와 차이를 나타내며 조절방류의 경우라도 방류시점에 따라 그 홍수영향은 달라진다. 화천댐의 현행 제한수위의 경우 일정비율(50%) 유입시 화천댐의 최대방류량과 평화의 댐 예상최고수위는 각각 3,600~5,492CMS와 199.97~200.10m이고, 조절방류(6,000CMS, 0~30시간)시는 각각 5,300~6,580CMS, EL. 213.70~213.83m로, 화천댐의 검토제한수위에 따른 예상되는 차이를 비교할때 화천댐의 제한수위를 EL. 180m로 상향조정하는 방안을 검토할 여지가 있다.

6. 결론

화천댐의 제한수위를 상향조정하는 문제는 금강산댐 자기유역의 유입량이 평화의 댐으로 얼마나 어떻게 유입하느냐에 따라서 분석이 달라진다. 유입량이 차단되거나 일부가 유입되는 경우는 홍수조절문제는 비교적 용이한 편이며, 최대의 홍수를 가정하기 위해서는 전부 또는 조절방류량이 집중적으로 유입되는 경우를 고려하여야 한다. 평화의 댐 상류유역과 자기유역으로 금강산댐 유역을 2개로 구분하는 경우와 100년 빈도 홍수가 조절방류되어 유입되는 경우를 분석한 결과에 의하면 현행 제한수위(EL. 175m)를 EL. 180m 또는 EL. 181m정도로 상향조정하는 것이 가능하다고 판단되며, 금강산댐의 침수영향을 고려한다면 EL. 180m로 정하는 것이 바람직하다고 생각된다. 이러한 경우 화천댐의 최대방류량은 더 낮은 값이 예상되며 평화의 댐의 건설로 인해 화천댐의 홍수조절능력은 과거의 단독운영보다 크게 향상되는 결과를 보여준다. 결과적으로 화천댐은 홍수기에 167.4MCM의 물을 더 저류할 수 있게 되므로 이에 상응하는 비홍수기의 용수 및 발전편익을 고려할 수 있다.

7. 참고문헌

수력발전소 운용자료집(1971~1992). (1993). 한국전력기술주식회사.
평화의 댐 건설사업(2단계) 기본 설계 보고서. (1989). 산업기지개발공사·건설부.
한강수계 유출프로그램 개선방안. (1991). 건설부, 한강홍수통제소.
화천댐 및 평화의 댐 연계운영 및 관리방안 조사 보고서. (1995). 한국수자원공사.
화천수력댐 안전진단보고서. (1986). 한국전력기술주식회사.