

홍수예측에 의한 예비방류 방안 Preliminary Release Scheme by Flood Forecasting

심 명 필* · 이 재 형** · 권 오 익***
Shim, Myung Pil · Lee, Jae Hyoung · Kwon, Oh Ig

Abstract

A preliminary release scheme (PRS) is suggested for the operating rules during flood period to deal with conflicts between flood control and water conservation purposes. PRS can be used to decide the optimum releases, based on the forecast of an oncoming flood and flow rate at the control point downstream when comparing the variable restricted water level (VRWL) for flood control with the minimum required water level (MRWL) for conservation use. The model is applied to Chungju and Daechung reservoirs through simulations of the technique. This study illustrates the procedure to decide the time and size for preliminary releases. Also, effects of duration and magnitude of preliminary release are reviewed based on historical flood records. The simulation results indicate that the proposed PRS is effective for the managers to find optimal operating policies during flood period. The proposed scheme can be used with main release scheme using real-time operation on hour-to-hour basis to decide the release for a flood.

요 지

홍수기중의 홍수조절과 이수목적의 서로 상반된 목적을 다루기 위해 예비방류 방안을 제안하였다. 예비방류 방안은 홍수조절목적의 가변제한수위와 이수목적의 최소확보 저수위를 고려하는 경우에, 홍수예측과 하류 조절점에서의 유량으로부터 저수지의 최적방류량을 결정하는데 이용할 수 있다. 본 모형은 대청과 충주다목적 댐을 대상으로 모의운영하였다. 예비방류의 시기와 크기를 결정하는 절차를 설명하고, 또한 과거의 홍수사상을 토대로 그 효과에 대해서도 검토하였다. 모의운영한 결과에 의하면 예비방류 방식의 조절방안은 단일 다목적 저수지의 홍수기중 최적 운영계획을 수립하는데 효율적이며, 아울러 실제의 홍수시에는 실시간 운영과 병행하여 이용할 수 있다.

* 인하대학교 토목공학과 교수
** 전북대학교 토목공학과 교수
*** 인하대학교 대학원 토목공학과 박사과정

1. 서 론

홍수란 호우나 장마등으로 하천제방을 월류하는 현상으로 저지대를 범람하는 결과를 초래하여 막대한 재산 피해를 가져오게 된다. 그동안 홍수에 대한 피해를 줄이기 위해 다목적댐의 건설, 제방축조, 하천정비 등을 통한 많은 재원을 투자해 왔으나 매년 그 피해는 증가되고 있으므로 종합적이고 체계적인 홍수대책이 사전에 수립되어야 한다. 홍수대책은 구조물적인 대책과 비구조물적인 대책으로 나눌 수 있으며 저수지 운영을 통한 홍수조절은 후자의 경우에 속한다. 홍수기중 저수지를 효율적으로 운영하기 위해서는 수계내의 다른 댐들과 연계운영하여 실시간적인 예측정보와 수계상황을 종합적으로 분석하여 매 시간단위로 최적의 운영방안을 결정하여야 한다. 홍수조절을 위한 댐방류는 댐규정에 따라 종합적인 검토를 통해 관련기관과의 충분한 협의과정을 거쳐 실시된다. 댐하류의 하도유황과 저수지 유입량을 정확히 예측할 수 있다면 홍수조절 용량을 최대로 활용하여 댐하류의 피해를 최소로 하는 방류량계열을 결정할 수 있을 것이다. 호우를 예보하여 그 결과를 입력자료로 유출을 예측하는 과정을 홍수예보라 정의하며 현재의 홍수예보는 기상청이 발표하는 기상예보에 의존한다. 태풍이나 호우등 악기상이 예상될 때 발령되는 기상특보는 24시간 강우량의 단기예보로 80 mm 이상이면 주의보를 150 mm 이상이면 경보를 발령한다. 기상청에서 발령하는 호우특보를 강우-유출모형의 입력자료로 사용하는 데에는 관측망의 밀도와 예보의 정도(程度)가 매우 낮고 또한 무차원 우량주상도를 가산해야 하는 등의 문제점이 있다. 그러나 많은 연구들이 문제점을 개선하는 방향으로 저수지로 유입하는 홍수예보모형을 개발하고자 노력하고 있다(이재형 등, 1993). 기상청에서는 발령하는 호우주의보는 24시간 동안의 총 강우량을 대략적으로 예보한 값으로, 예보가 발령되면 예보강우의 중앙값을 예상강우량으로 환산하여 총강우량을 결정하고 예보우량 주상도를 작성하게 된다. 호우초기 유량으로부터 과거의 강우용적과 유출용적

의 관계에 따라 유출율을 도출하여 그 값을 예보우량 주상도에 곱하여 유효강우량을 구하고 단위도 또는 저류함수법에 의해 홍수수문곡선을 예측하게 된다. 여기에 초기유량 또는 기저유량을 더하면 예보홍수 유입량곡선이 된다(다목적댐의 홍수조절을 위한 예비방류 대책 연구, 1992). 국내에서 한강, 낙동강, 금강, 섬진강유역을 대상으로 저류함수 모형, HEC-1 모형, SSARR 모형, TANK 모형을 이용하여 총유입량 예측을 위한 유출해석을 실시한 바 있다. 각 모형들에 대해 기본적인 자료의 확보여부와 모형의 특성(실시간 처리 등)에 따라 그 적용성을 검토한 결과 대부분의 방법들은 유역의 물리적인 인자들이 기본적으로 확보되었을 때에는 정확도의 신뢰성이 크게 향상되나 반대로 이러한 기본적인 자료들이 경험치(또는 가정치)로써 사용되었을 때에는 그 정확도의 신뢰성을 확보하기가 어려운 것으로 나타났다(충주댐지점 갈수분석 및 신뢰도별 필요확보 저수량, 1991). 홍수조절을 위한 예측모형은 예상정보로부터 수문학적, 경제적 등의 각종 불확실성이 존재한다. 불확실성을 고려한 실시간 저수지 운영을 위해 많은 연구가 계속되고 있으므로 현재의 저수지 운영방안에도 이용이 가능할 것이다.(한강수계 충주저수지 시스템의 실시간 최적운영을 위한 의사결정수지 시스템개발, 1992) 홍수조절을 위한 저수지의 방류량을 결정하기 위해서는 일반적으로 모의기법, 최적화기법, 다목표 해석 등이 있다(심명필 등, 1990; Yeh, 1985). 모의기법은 최적해를 직접적으로 구할 수는 없으나 여러가지 변화하는 상황하에서의 복잡한 문제나 불확실하고 가변성을 포함한 문제를 다루기에는 적합하여 여러 대안과 더불어 최적 또는 근접해를 제시할 수 있다. 최적화기법은 LP, DP, NLP, IDP등의 방법이 있으며 최적 운영방안을 얻을 수 있으나 목적함수, 결정변수 및 제약조건을 요구하며 시간별 운영에 따른 변수의 다원화와 예측유입량의 불확실성으로 인해 예비방류를 통한 단기간의 저수지 운영에는 적용한 경우가 미비한 실정이다. 최근에는 다목적 해석이나 목표계획법을 응용하여 이수와 치수의 가중치를 달리하여 최적방류량 및 저수위를 결정하는 방법이 이용되고 있다

(Can과 Houck, 1984; Loganathan과 Bhattacharya, 1990). 치수와 이수라는 서로 상반되는 목적을 조화시키기 위한 홍수기 저수지 운영방법으로 저수지의 저류구간을 수개로 나누어 저수지의 수위가 속한 구간에 따라 운영방안을 달리하기도 하나(HEC5, 1982; Wurbs 등, 1985) 일반적으로 제한수위 방식과 예비방류 방식으로 구분할 수 있다(다목적댐의 건설, 1987). 또한 현 관리규정에 따라 고정된 홍수기 제한수위를 가변적으로 운영하여 홍수기말에 상시만수위를 원활히 확보할 수 있도록 단계적으로 제한수위를 상승시키는 가변제한수위 방식도 검토된다(다목적댐의 홍수조절을 위한 예비방류 대책 연구, 1992). 홍수기말의 가변제한수위는 현 관리규정의 제한수위와 상시만수위 사이에 있는 값을 취하여 이수목적에 고려한 최소확보 저수위와 균형을 유지하도록 설정하는 것이 바람직하다고 알려져 있다(심명필 등, 1993). 홍수기 제한수위를 올려주는 것은 홍수조절 공간을 감소시키므로 치수목적에는 위험이 따르나 예비방류에 의해 홍수조절 용량의 확보가 가능하다면 가변 제한수위와 예비방류를 조합한 운영방안도 고려될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 비록 현 예측정보의 실용성이 불충분하여 전면적인 이용은 불가능하나 장래의 실용화를 기대하여, 그 이용이 가능한 범위내에서 예비방류 방식에 의한 홍수기 저수지 운영에 관해 대청과 충주 다목적댐을 대상으로 검토하고자 한다.

2. 운영기준의 수립

2.1 예비방류 방식

홍수기중 최적의 저수지 운영을 위해서는 기상 및 수문정보의 정도를 높이고 실제 사용할 수 있는 정보를 최대 활용하여야 한다. 기상예보에 의한 예상강우량과 유역의 특성에 따른 유출수문특성인자들(유역면적, 유역평균 경사, 유역내 토양 및 피복상태, 유출계수등)을 이용하여 예상홍수수문곡선의 총유입량과 분포형 및 발생시기등을 사전에 예측할 수 있다. 현재로서는 예측정보의 신뢰도가 문제시되나 장래의 실용화를 위해서는 예측정보를 최

대한 이용할 수 있는 예비방류 등의 적절한 저수지 운영방안을 개발하여야 한다. 그림 1은 예비방류를 통한 홍수조절의 흐름을 보여준다. 그림 1은 제한수위 방식과 예비방류 방식에 의한 계통의 흐름을 비교한 것으로, 기상정보와 예측 및 실측정보로부터 홍수경계 체제로 접어든 뒤의 홍수조절 과정을 나타낸 것이다.

제한수위 방식의 경우 사전에 확보한 제한수위(또는 그 이하의 저수위)로부터 홍수조절 용량을 이용하여 홍수가 유입되면 본 방류를 통해 홍수조절을 수행하게 된다. 예비방류 방식의 경우 예측되는 홍수에 대해 홍수조절 용량이 부족하다 판단되면 현재의 저수위로부터 예비방류 조작에 의해 홍수조절 용량을 확보한 후에 예상된 홍수의 유입에 따라 본 방류를 실시하여 홍수조절을 수행하는 과정을 나타낸 것이다. 예비방류후 본방류를 위한 실시간 저수지 운영을 위해선 예측된 호우 및 유출과 하류측 정보로부터 방류계획을 정하고 매시간 입력되는 실정보로부터 수정.예측하여 최적의 운영방안을 짧은 시간안에 제시하여야 한다. 특히 홍수기말의 저수지 운영은 수문예측자료의 불확실성으로 인한 이수용량확보의 위험도를 고려해야 함으로 댐운영자의 경험과 임기응변의 판단을 요구하는 복합적인 시스템이라 할 수 있다.

강우로 인한 저수지로의 홍수유입량이 증가하는 시점 이후의 방류를 홍수조절방류 또는 본방류라 하면 홍수시작 시점 이전의 방류는 예비방류로 구분할 수 있다. 예비방류의 목적은 비홍수기로부터 홍수기로 전환시에 저수위를 제한수위로 저하시켜 홍수조절 용량을 확보하거나, 홍수예측에 따라 보다 많은 홍수조절 용량을 확보하기 위해 일시적으로 제한수위 아래로 저수위를 낮추는데 있다. 그림 2는 예비방류의 정의에 관한 것으로, 그림 2에서 시각 t_1 과 t_2 사이의 임의의 기간($T_{pre} \leq t_2 - t_1$) 동안의 방류는 예비방류를 뜻하며 t_2 이후의 방류는 본방류를 뜻한다. t_1 과 t_3 사이의 기간 T 는 홍수조절 계획기간(Forecasting and Operating Horizon)을 뜻하며, t_2 는 홍수시작 시점 또는 저수지의 수위가 제한수위로 복구할 때의 시점을 나타낼 수도 있다.

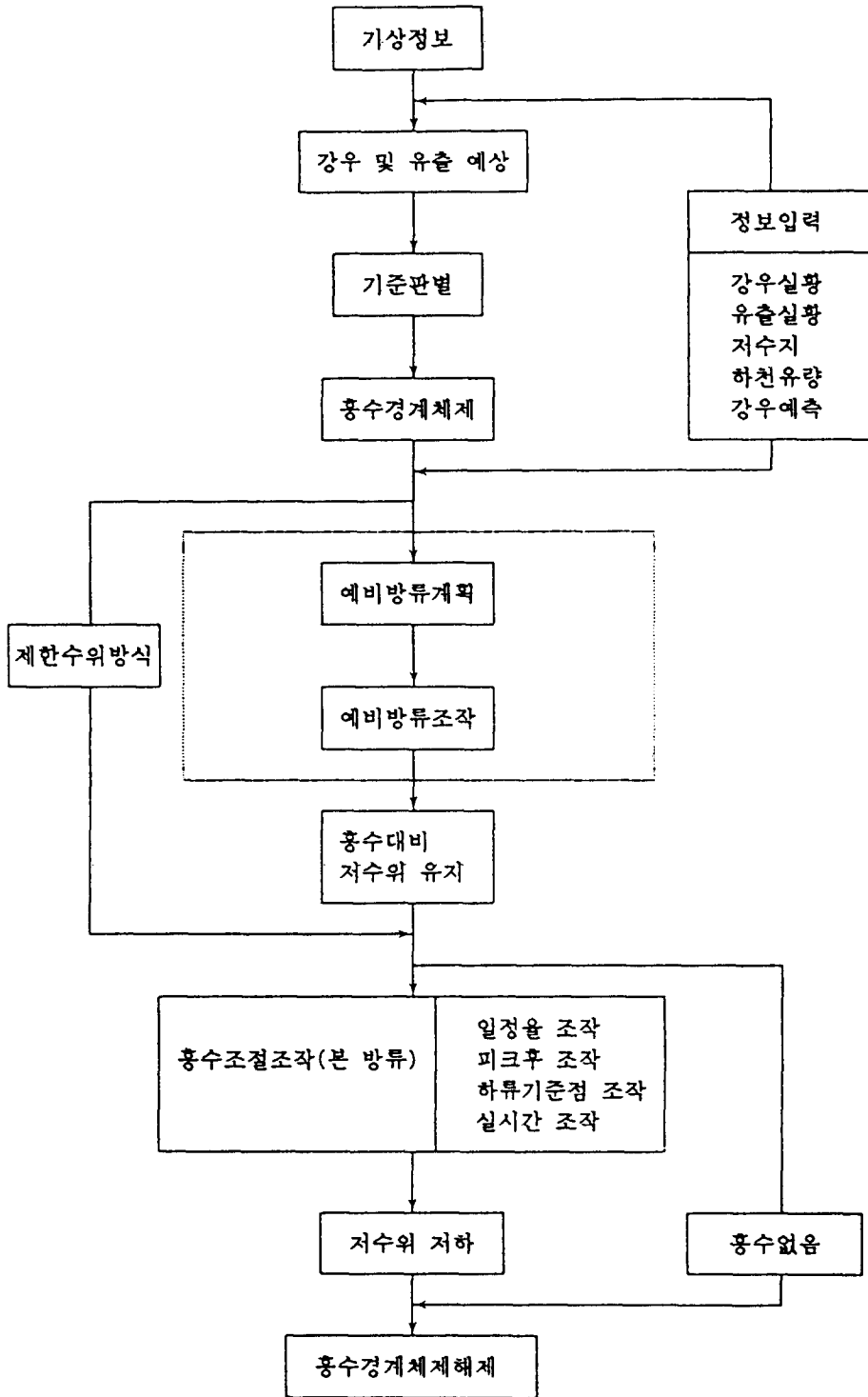


그림 1. 예비방류에 의한 홍수조절 흐름도

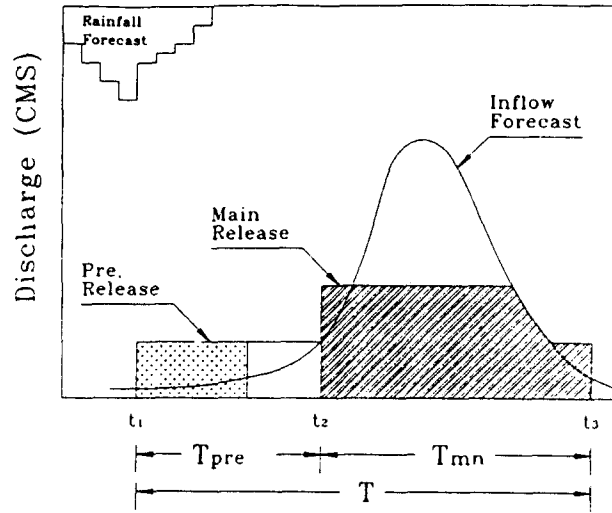


그림 2. 예비방류와 본방류의 정의

예비방류량의 한계는 댐관리규정에 명시되어 있으며 홍수예측에 따라 예비방류량의 필요가 인정된 경우에는 그 한계값을 초과방류할 수 있도록 되어 있다(댐시설기준, 1993). 예비방류는 홍수유입전 또는 홍수초기에 조작을 완료하여야 하므로 조작개시의 판단은 기상상황 및 예보치, 예측강우, 유역토양의 특성이나 함수상태 등을 기초로 하여 강우 또는 유출의 규모 및 발생시각을 어느 정도 예상하는 방법을 사용하여야 한다.

2.2 예비방류의 규모와 시기 결정

예비방류의 시기와 규모를 결정하기 위한 저수지의 운영절차는 다음과 같다.

1. 기상정보로부터 강우크기와 분포형을 예상하고 유입량의 크기와 시간별 분포를 예측한다.
2. 홍수조절 계획기간(T)을 설정한다.
3. T기간중 예비방류 또는 본 방류가 필요한지를 판정한다.
4. 예비방류를 포함하여 본방류가 일어나는 시점과 최대방류량의 크기를 포함한 방류계열 및 홍수위에 도달하는 시점을 계산한다.
5. 최대방류량이 댐 하류의 피해를 초래 할 정도로 판정되면 예비방류를 계획한다.

6. 예비방류가 필요하다면 예비방류량의 한계를 고려하여 방류계획을 결정하고, 예비방류중 제한수위(또는 가변제한수위)에 이르는 시점부터 본방류를 하도록 한다.
7. 현시점에서는 예비방류의 필요성 여부, 시작시기 및 규모를 결정하는 단계이므로 실시간 운영은 고려하지 않았으나 본 방류시에는 실시간 운영을 하도록 한다.

2.3 홍수기 저수지 운영방안 수립

홍수기말에는 이수목적용을 고려하여 저수지 운영을 하도록 하여야 한다. 단기간별로 가변제한수위를 적용하고, 확보하고 있는 홍수조절 공간을 넘는 홍수가 예상된다면 예비방류를 통해 필요한 홍수조절 용량을 확보하도록 저수지를 운영함으로써 서로 상반되는 이수과 치수목적용을 충족시킬 수 있다(다목적댐의 홍수조절을 위한 예비방류 대책 연구, 1992). 제한수위의 상향 조정에 따른 치수용량의 감소는 예비방류를 통해 저수위를 낮추어 줌으로써 치수용량의 확보를 기하는 것이 바람직하다. 이수과 치수를 고려한 홍수기 저수지 운영방안을 요약하면 다음과 같다.

1. 홍수기 후반에는 현 관리규정의 제한수위 또는 가변제한수위와 최소확보 저수위중 높은 값을

- 유지하도록 한다.
2. 홍수가 예상되면 예측유입량에 의해 예비방류의 필요여부를 결정하고, 필요하다고 판단되면 예비방류를 실시하여 저수위를 제한수위와 최소확보 저수위중 낮은 값까지 방류한다. 즉, 현재의 저수위로부터 가변제한수위 또는 최소확보 저수위 중에 낮은 값까지의 저수량을 예비방류하게 된다.
 3. 홍수가 유입되면 실시간으로 저수지의 수문조작을 행하고, 홍수말의 저수위는 현 기간의 가변제한수위 또는 최소확보 저수위중 높은 값을 유지하도록 한다.

일반적으로 홍수기 초반에는 홍수기 후반과는 달리 가변제한수위와 최소확보 저저수위중 낮은 값을 유지하여 치수에 우선하는 것이 바람직하다. 현 시점에서 홍수유입량의 시간별 분포를 알게되면 홍수가 끝나는 예상시점까지의 전 기간을 홍수조절 계획기간으로 설정하고 예비방류의 유무를 결정하게 된다.

3. 대청 및 충주댐의 모의운영

3.1 댐의 주요제원 및 관리규정

대청댐과 충주댐의 홍수조절 용량은 각각 약 2.5억 및 6.16억 m^3 으로 댐 및 저수지의 주요제원은 각각의 댐 관리규정에 명시되어 있다. 각 댐의 관리규정(다목적댐 운영 실무편람, 1994)에 의하면 댐의 운영 및 관리는 수탁관리자인 한국수자원공사에서 행한다. 저수지의 수위는 본댐 여수로 우측에 설치한 수위측정계기를 기준으로 측정한다. 댐하류부에 공급할 각종 용수는 댐의 용수공급능력 한도 내에서 발전방류로써 공급함을 원칙으로 하고 1일 각 댐규정시간의 상시첨두발전을 기준으로 하되, 조정지댐은 홍수조절 기능이 없음을 감안하여 본댐의 발전소에서 방류되는 물을 발전시설을 통하여 조절방류한다. 댐의 예비방류는 부득이 한 사유를 제외하곤 한계값을 초과할 수 없고, 대청댐의 경우 최대 예비방류는 1,000 m^3/s 이고, 충주댐의 경우는 비홍수기로부터 홍수기로 전환시에는 2,000 m^3/s 이며 초과시에는 건설교통부장관의 승인을 얻어

야 한다. 홍수조절은 홍수조절 용량 범위내에서 행하여야 하나 계획홍수량 이상이 유입하거나 사전에 예비방류를 할 필요가 있을때 또는 중앙재해대책본부의 지시가 있을 때는 예외로 할 수 있다. 댐의 수문을 통해 방류할 때는 방류로 인한 하류의 급격한 수위변동이 발생하지 않도록 하고 최소한 방류개시 3~5시간전에 관련기관에 규정사항을 통보하고, 자체시설에 의한 방송 또는 경보설비로 하류의 주민에게 이를 경고하여야 한다. 댐관리자는 댐의 안전한 관리를 기하기 위하여 점검점비, 조사측정, 기록등의 규정을 준수하고 댐의 유지관리에 소요되는 비용을 부담함을 원칙으로 하고 규정의 시행에 필요한 세부사항은 건설교통부장관의 승인을 얻어 정하여야 한다.

3.2 홍수기중 방류자료 검토

대청댐과 충주댐의 홍수사상에 대한 강우기간과 방류기간, 방류초기수위 및 최대방류량등 홍수기중 방류자료를 검토하였다. 일반적으로 대청댐의 경우 강우시점과 방류시점은 7시간에서 최대 70시간의 차이를 보였고 충주댐의 경우는 강우시점과 방류시점은 17시간에서 최대 63시간의 차이를 가진다. 충주댐의 1990년 9월 홍수경우에는 강우초기인 9월 9일 4시에는 저수지의 수위가 135m이고 방류시점인 56시간 뒤인 9월 11일 12시에는 제한수위(138m)를 넘는 140.33m로서 방류기간 중 최고수위는 홍수위(145m)를 넘는 146.03m에 이르며 이때의 최대방류량은 14,000 m^3/s 였다. 따라서 비교적 높은 정도(精度)를 갖는 예상강우량을 24시간 전에 추정하여 홍수유입량을 예측할 수 있다면 예비방류를 통하여 방류초기의 수위와 최대방류량을 낮출수 있으며 또한 예비방류의 신뢰도에 따라서는 이수용량의 확보도 기할 수 있을 것이다.

3.3 모의운영

예상강우량 및 유역특성인자의 활용하여 예측홍수유입량과 실측유입량을 대상으로 예비방류 시작시점에 따른 홍수조절효과를 보기 위해 초기수위를 달리하여 방류계열을 모의발생하였다. 빈도별 홍수

유입량을 현 시점에서 24시간 지연시킨 값을 입력 유량으로 하고 방류는 예비방류와 본방류를 연결시켜 운영하였다. 기저유량은 큰 영향을 미치지 않는 값인 연평균 유입량을 이용하고 예비방류는 발전방류량을 포함하여 한계치로 하였다. 발전방류 또는 예비방류에 의해 낮아진 수위가 제한수위에 이를 때부터 본방류를 시작하도록 했다. 본 방류량의 결정은 댐하류의 하도추적없이 본 방류시점으로부터 홍수위에 이르는 기간동안 일정유량을 방류하는 것이 가장 안전하다고 가정하여 목적함수를 방류기간 동안의 유량계열(Q_i)의 최대치를 최소로 하는 동적계획법의 MinMax 개념을 시뮬레이션 기법을 이용하여 풀고(심명필 등, 1990) 여러가지 제약조건을 고려하였다.

표 1은 대청댐의 모의운영을 위해 사용된 대상 홍수와 홍수예측모형 및 각종조건을 나타낸 것으로 홍수예측모형의 첫 두글자는 유출모형을 뜻하며(단위도법(UH), 저류함수법(SF)), 다음 세글자는 강우예측모형을 나타내는 것이다(기상청의 호우예보치(WBF), 수문기상학적 모형(HMF))(다목적댐의 홍수조절을 위한 예비방류 대책 연구, 1992). 대청댐의 홍수위는 80m이나 프로그램에서 예측유입량의 불확실성을 보완하기 위해 방류기간중의 최대가능 저수위를 78m로 가정하여 예비방류를 유도하였다. 방류예보시간은 댐 관리규정에 의한 방

류전 사전예보시간을 뜻한다. Case1~Case5는 1987년 7월 홍수를 대상으로 한 것이며 저수지 유입량의 계산시점은 홍수기간의 시작시점인 7월 21일 17시이며 당시의 저수위는 71.04m이다. Case 6~12는 1989년 7월 홍수를 대상으로 하였으며, Case 6과 7은 계산시점인 7월 25일 1시부터 운영하고, Case 8~12는 예보시점인 7월 26일 6시부터 운영한 결과이다. 실제의 초기저수위는 71.90m이나(Case 8~10), 대청댐의 7월의 100년 빈도의 갈수에 대비한 용수공급용 최소확보 저수위인 76.09m를 초기저수위로 가정하여 예비방류의 효과를 분석하였다(Case 11~12). Case 1~7은 예비방류 효과를 분석하기 위해 예측시점보다 앞선 시점부터 계산을 수행하였으나, 실제로 저수지를 운영할때는 예측시점부터의 예측유입량을 입력하도록 하고(Case 8~12) 기상청의 강우예측량이 새로운 값으로 예보되면 그 시점부터 홍수유입량을 새로이 예측하여야 하므로 결과적으로 실시간 저수지 운영을 하여야 한다.

4. 모의결과 및 분석

4.1 빈도별 홍수유입량의 감소효과

홍수유입량을 비교적 정확히 예측하여 예비방류

표 1. 대청댐의 예비방류를 위한 모의운영

Case No.	대상 홍수 기간	예측 시점	홍수 예측 모형	초기 저수위(m)	가정 홍수위(m)	방류 예보 시간(hrs)
1	1987.7.21 17:00	7.21 18:00	관측치	71.04	80	3
2	~ 7.25 16:00		UH.HMF	71.04	78	3
3			UH.WBF	71.04	80	3
4			SF.HMF	71.04	80	3
5			SF.WBF	71.04	80	3
6	1989.7.25 01:00	7.26 06:00	UH.HMF	71.69	78	3
7	~ 7.28 24:00		UH.WBF	71.69	78	3
8	1989.7.26 06:00	7.26 06:00	UH.HMF	71.90	78	3
9	~ 7.28 24:00		UH.WBF	71.90	78	3
10			UH.HMF	71.90	80	3
11			UH.HMF	76.09	78	0
12			UH.HMF	76.09	80	0

표 2. 대청댐의 예비방류에 의한 총유입량의 감소율(10시간 예비방류)

10 시간 일정방류 (CMS)	홍 수 빈 도 (年)					
	5	10	20	50	100	200
500	0.037	0.031	0.026	0.022	0.019	0.017
800	0.060	0.049	0.042	0.035	0.031	0.028
1000	0.075	0.061	0.053	0.044	0.039	0.035

표 3. 대청댐의 예비방류에 의한 총유입량의 감소율(1,000 m³/s방류)

1 0 0 0(CMS) 일 정 방 류 (시간)	홍 수 빈 도 (年)					
	5	10	20	50	100	200
5	0.037	0.030	0.026	0.020	0.019	0.017
10	0.075	0.061	0.053	0.044	0.039	0.035
24	0.181	0.148	0.127	0.106	0.095	0.084
36	0.272	0.223	0.191	0.160	0.143	0.127
48	0.363	0.297	0.255	0.213	0.190	0.169

를 할 수 있다면 저수지의 홍수조절공간을 최대한 확보하여 본 방류량을 감소시킬 수 있으므로 홍수 조절의 극대화 및 최적화를 기대할 수 있다. 예비 방류의 홍수조절 효과는 예비방류의 기간과 방류량의 크기에 관계하며 표 2와 3은 대청댐의 빈도별 홍수유입량에 대해 예비방류의 기간과 크기를 달리 하여 사전예비방류의 효과를 나타낸 것으로 본 방류는 고려하지 않았다. 표 2는 대청댐의 예비방류기간을 10시간으로 일정하게 규정하고 방류량의 크기를 달리 하였을 때, 빈도별 홍수에 대하여 총유입량의 예비방류에 의한 감소율을 보여준다. 표 2에서 100년 빈도의 홍수가 예상될 때, 10시간 동안 예비방류를 500, 800 및 1,000 m³/s으로 일정하게 할 경우에는 감소율은 각각 1.9%, 3.1% 및 3.9%를 나타낸다. 예비방류를 1,000 m³/s로 하는 경우는 홍수빈도별로 최소 3.5%에서 최대 7.5%의 예비방류에 의한 홍수조절 효과를 보여준다.

예비방류량의 크기를 각담별로 일정하게 고정시키고 방류기간별로 총유입량의 감소율을 나타낸 것이 표 3이다. 표 3은 대청댐의 예비방류량을 1,000 m³/s으로 하고 방류기간을 5시간에서 48시간으로 다르게 하는 경우를 나타낸 것으로 100년 빈도의 홍수가 예상될 때 그 감소율은 1.9%에서 19.

0%의 값을 가진다. 사전예비방류를 하는 경우 현재 국내의 기상예보시간은 24시간으로 36시간과 48시간은 현실적으로 거의 불가능하며 수치적인 의미만 갖는다. 24시간 동안 1,000 m³/s으로 예비방류를 한다면 각각의 빈도별 홍수에 대해 8.4%에서 18.1%의 총유입량의 감소효과를 나타낸다.

4.2 과거홍수의 예비방류 효과

충주댐의 1986년부터 11개 과거 홍수사상에 대해 예비방류와 본방류에 의한 소요 저수위를 분석하였다. 그림 3에서 위의 그림은 해당시기에 발생한 홍수유입량 곡선을 도시한 것이고 아래 그림은 누가홍수량을 구하여 홍수조절 용량을 가득 채우는데 확보해야 할 소요 저수위를 시간별로 실선으로 나타내었다. 점선은 홍수동안의 일정량을 방류하는 경우의 하한소요 저수위곡선(Lower envelope)을 나타낸 것으로 0 m³/s는 방류를 하지 않은 경우이고, 800 m³/s의 점선은 홍수기간중 일정량인 800 m³/s를 방류할 경우의 소요 저수위를 나타낸다. 1,000 m³/s를 방류할 경우에는 일부 홍수사건은 홍수조절 용량이 필요하지 않으므로 도시하지 않았으나, 1990년 9월 홍수는 특별한 경우로서 800 m³/

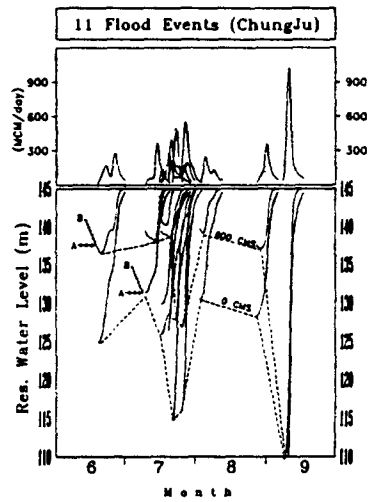
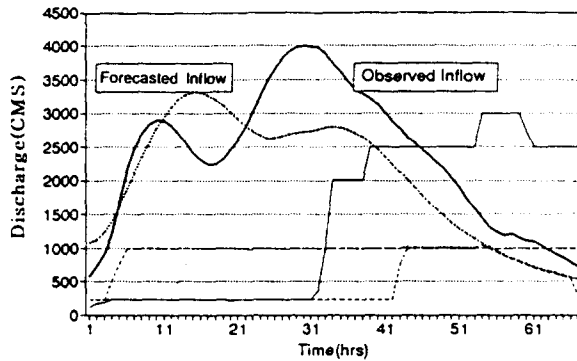
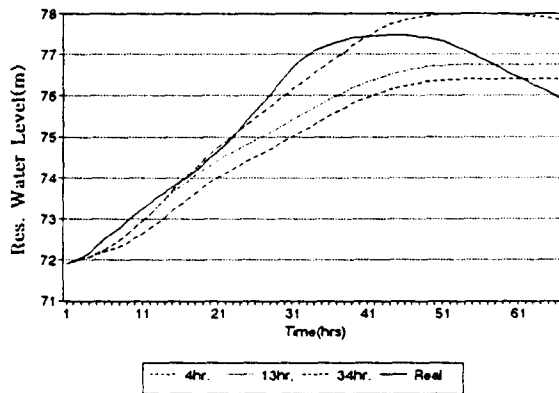


그림 3. 충주댐의 과거홍수에 대한 일정방류를 통한 소요저수위

DaeCheong
(1989.7.26)



(a) 예측 및 실측 유입량과 방류량



(b) 시간별 저수위 변화

그림 4. 대청댐의 모의 예비방류에 의한 홍수조절 결과(Case 8)

s를 일정량 방류할 때 저수위(低水位)인 110m를 확보하더라도 홍수조절은 어렵다고 할 수 있다. 그림 3에서 예비방류가 소요 저수위에 미치는 효과를 보면 각각의 홍수사상에 대한 최소소요 저수위(그림 3에서 실선의 최소값들)에는 변함이 없고 최소소요 저수위가 발생하는 시점 이전의 소요 저수위를 다소 높게 설정할 수 있는 이점이 있으나(그림 3에서 직선 A는 B로 상향됨) 하한소요 저수위곡선은 일정한 값을 갖게 된다.

그림 4는 대청댐의 경우로 표 1의 Case중 Case 8로 UH.HMF 예측모형 이용시 예비방류의 시작시간에 따른 방류량과 저수위의 변화를 보여준다.

표 4는 Case 8의 경우 예비방류에 따른 홍수조절 효과를 나타내며 예비방류의 시작시점을 31시에서 3시간씩 앞당기면(즉, 예비방류기간은 4~50시간) 예비방류율은 최소 0.073에서 최대 0.367의 값을 나타낸다.

4.3 빈도별 홍수의 예비방류 효과

표 5는 대청댐의 빈도별 홍수유입량에 대해 모의운영한 결과로, 20년 빈도의 홍수가 24시간 이후에 저수지로 유입한다고 가정하였을 때의 홍수조절 효과를 나타낸 것이다. 표 5에서 예비방류율은

총유입량에 대한 총예비방류량의 비를 나타낸다.

그림 5와 6은 대청댐에 20년 빈도의 홍수가 24시간 이후에 유입할 경우에 대한 예비방류 시작시간의 변화에 따른 방류량과 저수위의 변화를 모의 운영한 결과이다. 20년 빈도 홍수의 최대유입량은 7,100 m³/s이고 기저시간은 69시간이며 홍수조절 계획기간은 예보시간 24시간을 포함한 93시간이다. 처음 24시간의 기저유량은 연평균유입량에 가까운 98m³/s를 가정하고 전기간 동안 발전방류를 하도록 220 m³/s를 입력하였다. 이때 저수지의 수위가 제한수위를 넘지 않는 경우의 방류를 예비방류라 하고 넘는 경우의 방류를 본 방류라 정의하였다. 현시점(t=1)에서 초기저수위를 제한수위인 76.5m로, 홍수는 24시간 후인 25시부터 유입한다고 각각 가정하였을 때 예비방류는 발전방류를 포함한 1,000 m³/s로 그 시작시간을 각각 4시, 13시, 19시로 한 경우와 예비방류를 하지않은 경우와를 비교한 것이다.

그림 5에서 예비방류를 하지 않았을 경우에는 초기수위 76.5m에서 발전방류에 의해 28시에 최저저수위(76.33m)에 도달하여, 제한수위(76.5m)를 넘는 37시부터 본 방류를 하게 되며 최대방류량은 2,865m³/s이고 69시에 최대홍수위 80m에 이르게 된다. 예비방류 기간을 6시간으로 하여 19

표 4. 대청댐의 예비방류에 의한 홍수조절 효과 (1989.7.26 06:00 ~ 7.28 24:00 ; 초기저수위 71.90 m)

Case No.	유입량 예측모형	예비방류 시점	예비방류 기간	예비 방류량	예비 방류율	본방류 시점	최대 방류량	최저 저수위	최고 저수위
		(hrs.)	(hrs.)	(cms)					
	관측자료	none	none	none	0.000	32	3,000	71.69	77.47
8	UH.HMF	none	none	none	0.000	44	1,000	71.90	78.00
		31	4	1,000	0.073	35	1,043	71.90	77.49
		28	8	1,000	0.097	36	1,043	71.90	77.36
		25	13	1,000	0.129	38	1,043	71.90	77.24
		22	17	1,000	0.154	39	1,043	71.90	77.11
		19	22	1,000	0.185	41	1,043	71.90	76.99
		16	26	1,000	0.210	42	1,043	71.90	76.87
		13	31	1,000	0.242	44	1,043	70.90	76.75
		10	37	1,000	0.281	47	1,043	71.90	76.63
		7	45	1,000	0.335	52	1,043	71.90	76.51
		4	50	1,000	0.367	54	1,043	70.90	76.40

표 5. 대청댐의 20년 빈도 홍수의 예비방류에 의한 홍수조절 결과

초기저수위 (m)	예비방류 시점 (hour)	예비방류 기간 (hrs)	최저 저수위 (m)	본 방류 시점 (hour)	최대 방류량 (cms)	홍수위 도달시점 (hour)	예비방류율
75	None	0	74.81	46	2720	70	0.000
	19	6	74.22	50	1940	74	0.182
	13	12	73.95	51	1791	75	0.212
	4	21	73.51	52	1520	76	0.253
76.5 홍수기 제한수위	None	0	76.33	37	2869	69	0.000
	19	6	75.76	45	2780	69	0.157
	13	12	75.49	46	2702	69	0.187
	4	21	75.10	47	2437	71	0.228

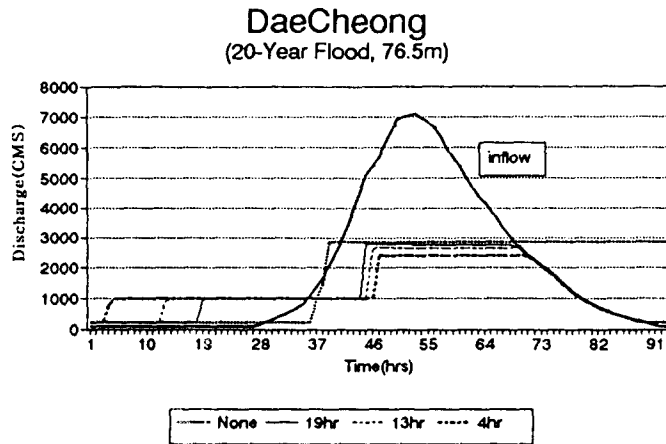


그림 5. 대청댐 20년빈도 홍수의 예비방류에 의한 방류량(초기수위 76.5m)

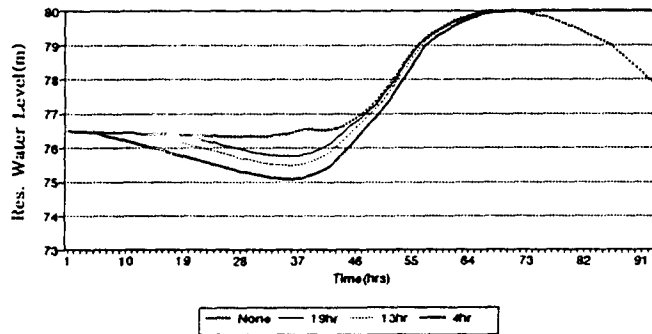


그림 6. 대청댐 20년빈도 홍수의 예비방류에 의한 저수위(초기수위 76.5m)

시부터 방류를 계획하면, 1시부터 발전방류만 하여 19시에는 저수위가 76.39m에 이른 뒤에는 1,000m³/s로 일정량을 예비방류하며 35시에는 초기 저수위(75.76m)에 도달하고 제한수위를 넘는 시점인 45시(저수위 76.64m)부터 본 방류를 하게 된다. 본 방류중의 최대방류량은 2,780 m³/s이며 최저저수위는 69시에 도달하게 된다. 현 시점에서 방류예보시간 3시간을 고려하여 4시부터 예비방류하면 43시간 동안 1,000 m³/s를 방류하고 제한수위를 넘는 시점인 47시(저수위 76.50m)부터는 2,437 m³/s를 본방류하여 71시에 홍수위에 도달하게 된다. 그림 6은 각 방류형태에 따른 저수위의 변화를 보여준다. 예비방류중 제한수위에 이를때부터 본 방류를 하도록 한 결과, 총 유입량에 대한 예비방류율은 표 5에 표시된 바와 같이 0.000에서 0.228의 값을 가진다. 즉, 21시간 예비방류하는 경우 총홍수량의 22.8%를 사전에 방류할 수 있다.

4.4 예비 방류가 이수목적에 미치는 영향분석

저수지수위가 이수를 위한 소요 저수위를 확보하지 않았을 때는 남은 기간 동안에 용수부족현상을 초래하게 되어 이수에 큰 영향을 미치게 된다. 소요 저수위의 확보를 실패할 경우는 홍수조절을 위해 예비방류로 저수위를 낮추었으나 예상홍수가 발생하지 않거나, 적은 규모의 홍수가 유입된 경우 또는 홍수기말에 상시만수위를 확보하지 못한 경우이다. 홍수기말의 소요저수위를 확보하지 못했을 경우에는 남은 비홍수기 동안 동적 계획법(DP)등을 이용하여 월 운영률을 재조정하거나, 물절약방안(Water saving measures) 등을 이용하여 다음 단위기간 동안의 물부족량을 그 다음 기간까지 분산시키는 방법등으로 이수대책을 수립할 수 있다(Votrubá, 1989).

5. 결 론

홍수유입량을 비교적 정확히 예측하여 가변제한수위와 예비방류 방식을 조합한 운영을 할 수 있다면 한정된 저수지의 용량을 최대한 이용하여 홍수기중 상반된 이수과 치수목적을 잘 조화시킬 수 있

을 것이며, 본 연구의 결론은 요약하면 다음과 같다.

1. 홍수유입량을 비교적 정확히 예측하여 홍수유입 전 24시간 이내로 예비방류를 할 수 있다면 홍수유입량을 상당히 감소시켜 본 방류의 기간과 크기를 조절하여 하류의 피해를 경감시킬 수 있다.
2. 예비방류는 홍수유입 전 또는 홍수초기에 조작을 완료하여야 하므로 조작개시의 판단은 기상상황 및 예보치, 예측강우, 유역토양의 특성이나 합수상태등을 기초로 하여 강우 또는 유출의 규모 및 발생시각을 어느정도 예상하는 방법을 사용하여야 한다.
3. 비교적 정확한 홍수유입량을 예측할 수 있다면 예비방류에 의해 상당한 홍수조절효과를 기대할 수 있으므로 결과적으로 가변제한수위의 적용을 검토하여 이수목적도 고려할 수 있을 것이다.
4. 현행의 하천통계기관은 제한수위를 고수하고 있으므로 저수지 운영에 있어 탄력성이 부족한 실정이다. 따라서 한정된 저수공간을 상황에 따라 효율적으로 이용할 수 있도록 댐관리자의 역할에 따른 탄력적인 저수지의 운영이 가능한 제도적인 장치가 마련되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 다목적댐의 건설: 제 2권. 조사편. (1987). 일본 건설성 하천국.
- 다목적댐의 홍수조절을 위한 예비방류 대책 연구. (1992). 한국수자원공사.
- 다목적댐 운영 실무편람. (1994). 한국수자원공사.
- 댐시설기준. (1993). 건설부.
- 심명필, 선우중호, 박인보, 이재형, 정동국 (1990). "홍수기중의 실시간 저수지 운영 모형(I)." 한국수문학회지, 제23권, 제3호, pp. 373-384.
- 심명필, 이재형, 권오익 (1993). "예비방류에 의한 홍수조절 방안 연구." 제 35회 수공학 연구발표회 논문집, pp. 247-256.
- 이재형, 심명필, 전일권 (1993). "대청댐 예비방류를 위한 홍수예보." 한국수문학회지, 제26권, 제2 호, pp. 99-105.

- 충주댐지점 갈수분석 및 신뢰도별 필요확보 저수량.
(1991). 한국수자원공사 수자원 연구소.
- 한강수계 충주저수지 시스템의 실시간 최적운영을 위한
의사결정수지 시스템개발(이수관리부문). (1992).
한국수자원공사 수자원 연구소.
- Can, E.K., and Houck, M.H. (1984). "Real-Time
reservoir operations by goal programming."
J. Water Resour. Plng. and Mgmt., ASCE,
Vol. 110, No. 3, pp. 297-309.
- Loganathan, G.V., and Bhattacharya, D. (1990).
"Goal programming techniques for optimal
reservoir operations." *J. Water Resour. Plng.
and Mgmt.*, ASCE, Vol. 116, No. 6, pp. 820-
838.
- HEC-5 simulation of flood and conservation
systems: Users manual.* (1982). Hydrologic
Engineering Center, U.S. Army Corps of En-
gineers.
- Votruba, L. (1989). "Water management in
reservoirs." *Development in Water Science* 33,
pp. 330-340.
- Wurbs, R.A., Cabezas, L.M., and Tibbets, M.N.
(1985). "Optimum reservoir operation for
flood control and conservation purposes."
Technical Report No. 137, Texas Water
Resources Institute.
- Yeh, W.W. (1985). "Reservoir management and
operations model: A state-of-art review."
Water Resour. Res., Vol. 21, No. 12, pp. 1797
-1818.

〈접수: 1995년 9월 28일〉