

저수지 홍수변환법에 의한 홍수시 저수지 운영 Reservoir Operation at Flood Time by Transformed Reservoir Flood(TRF) Reservoir Operation Method(ROM)

권 오 익* / 심 명 필**
Kwon, Oh Ig / Shim, Myung Pil

Abstract

Reservoir operation during flood period can be divided into two parts: One is for an operating policy during flood period to consider water conservation and flood control, and the other is for flood time on a random water level at flood forecasting. This study is concerned with reservoir operation and discusses general reservoir operation at flood time. Flood control has problems such as the uncertainty of hydrologic models, technical limitations and some constraints. Therefore, we may prepare the quantitative flood control methods based on the assured flood control storage for reservoir operation. Transformed Reservoir Flood(TRF) Reservoir Operation Method(ROM) is a procedure which determines the adequate releases with considering dam safety for flood inflows over non-damaging discharge. Based on the TRF ROM which was explained in our published paper, the study discusses the TRF ROM with additional investigations and the general reservoir operation rules at flood time.

Keywords: transformed reservoir flood(TRF) reservoir operation method(ROM)

요 지

홍수기 중 저수지 운영은 이수와 치수를 고려한 전반적인 홍수기 저수지 운영과 홍수예측시 임의의 저수지 수위에서의 홍수시 저수지 운영으로 구분할 수 있다. 본 연구는 홍수시 저수지 운영에 관한 것으로 전반적인 홍수시 저수지 운영방안에 관해 논의하고자 한다. 현행의 홍수시 저수지 운영을 위해서는 확보된 홍수조절용량을 토대로 각종 수문모형의 불확실성과 기술적인 한계, 제약조건 등을 고려한 양적인 홍수조절 방안이 마련되어야 한다. '저수지 홍수변환법'은 이러한 양적인 홍수조절 방안중의 하나로 무피해방류량 이상의 홍수유입량에 대해 댐의 안전을 고려하여 적절한 방류량을 결정하는 일련의 절차이다. 본 연구에서는 기 발표된 '저수지 홍수변환법'에 대한 보충 설명과 함께 전반적인 홍수시 저수지 운영방안을 논의하였다.

핵심용어 : 저수지 홍수변환법

* 한국건설기술연구원 선임연구원
** 인하대학교 토목공학과 교수

1. 서 론

홍수기 중 저수지 운영은 이수와 치수를 고려한 전반적인 홍수기 저수지 운영과 홍수예측시 임의의 저수지 수위에서의 홍수시 저수지 운영으로 구분할 수 있다. 이 중 본 연구는 홍수시 저수지 운영에 관한 것으로 이미 발표된 바 있는 '예측홍수의 방류량 결정방안에 관한 연구(권오익과 심명필, 1997a)'의 후속편이라 할 수 있다. 본 연구에서는 전편을 통해 소개된 '저수지 홍수변환법'에 대한 추가적인 내용과 함께 참고문헌에 표시된 선행연구들과의 연계방안에 대해 논의하였다.

전편에서는 '저수지 홍수변환법'의 소개와 상승부 시점에 대한 적용방법만을 제시하였다. 이에 본 연구에서는 전편과 중복되는 내용들을 생략하고 하강부 시점에 대한 적용을 추가적으로 제시하였다. '저수지 홍수변환법'은 댐 규정에 명시된 무피해방류량 이상의 유입량에 대해 방류량을 결정하는 방안이다. 따라서, 무피해방류량 이하의 유입량에 대한 홍수조절방안도 강구될 필요가 있기에 본 연구에서는 참고문헌에 언급된 선행연구들을 활용하였다. 선행연구들을 통해 한정된 저수공간을 재할당하는 문제와 예측홍수의 신뢰도를 고려하는 방안 등과 관련하여 참고한 연역들을 이미 소개한 바 있기에 본 연구에서는 이들을 모두 생략하였다.

홍수시 저수지 운영이란 예측된 홍수에 대해 유역 상하류를 고려하여 최적의 방류량을 결정하는 일련의 절차이다. 확보된 홍수조절용량을 이용하여 댐의 안전을 우선으로 저수지로 유입되는 홍수량을 조절방류하여 댐 하류의 홍수피해를 최소화하는 것이 그 목적이다. 그러나 최적의 방류량을 결정하는데에는 현실적인 어려움이 있다. 강우발생모형과 강우-유출모형, 하도추적모형 등에 존재하는 각종 불확실성과 현실적인 제약조건 등이 그 이유이다. 따라서 불확실성을 전제로 홍수조절에 이용되고 있는 각종 수문모형의 경우 지속적인 개선을 필요로 하나 현재로서는 최선의 예측정보이므로 이를 근거로 저수지 운영을 계획하여야 한다. 현행의 홍수시 저수지 운영을 위해서는 확보된 홍수조절용량을 토대로 각종 수문모형의 불확실성과 기술적인 한계, 제약조건 등을 고려한 양적인 홍수조절 방안이 마련되어야 한다. 홍수기의 진행에 따라 홍수기를 단위기간으로 구분하듯, 홍수시의 경우도 구분되어지는 특성이 있다면 구분된 특성을 계획에 반영하는 것이 보다 합리적일 것이다. 권오익과 심명필(1997a)은 댐 규정에 명시된 무피해방류량(또는 유역상황에 따라 가능한 방류량)을 기준으로

홍수유입수문곡선을 각각 홍수 초기·중기·말기로 구분하여 무피해방류량 이상의 유입량에 대한 양적인 홍수조절방안으로 '저수지 홍수변환법'을 제안한 바 있다.

홍수시 방류량을 결정하고자 하는 경우, 댐 하류의 안전에 대한 정량적인 파악이 반드시 필요하나 '저수지 홍수변환법'의 경우 이를 직접 고려하지 못한 측면이 있다. 이는 댐 방류량이 하류에 미치는 영향에 대한 실시간 하도추적모형이 아직 보완되어야 하기 때문이다. 하도추적모형의 경우 현재 가졌된 방류량과 하류의 조건을 이용한 모의운영은 가능하나, 실시간 운영에 있어서는 지류 유입량과 경계조건, 내부 구조물의 영향 등을 좀 더 사실적으로 고려해 줄 수 있는 방안을 필요로 한다. 이에 실제 홍수시 저수지 운영에 있어서는 가급적 방류량의 크기를 줄여 주는 것으로 하류에 대한 홍수피해 절감효과를 고려하고 있다. 방류량의 크기를 줄이기 위해서는 결국, 홍수를 적절히 분산시키거나 홍수조절용량을 추가적으로 확보하는 방안이 있을 수 있다.

홍수를 홍수진행에 따라 구분하는 경우, 효과적이며 안정적인 홍수분산 시기는 홍수 초기와 말기이나 2차 홍수를 고려하는 경우에는 홍수 초기가 가장 적기라 할 수 있다. 홍수 초기에 예비방류에 따른 방류총량과 예비방류에 의해 추가적으로 확보되는 홍수조절용량은 그만큼의 홍수량을 분산시킬 수 있으므로 이는 곧 본 방류량의 크기를 줄여 하류의 안전을 기대할 수 있는 양적인 개념의 홍수조절방안이라 할 수 있다. 그러나 현행의 예측정보로는 홍수 초기의 방류를 결정하는데 어려움이 있으며 이는 숙련된 댐 운영자의 판단이 요구된다.

2. 저수지 홍수변환법

'저수지 홍수변환법'은 홍수시 댐 규정에 명시된 무피해방류량 이상의 예측홍수에 대해 그림 1과 같은 일련의 절차에 따라 댐의 안전을 고려하여 적절한 방류량을 결정하는 홍수시 저수지 운영방안이다(권오익, 1997). 홍수정후가 판단되고 강우 시작과 더불어 홍수유입량이 유입되면서 홍수는 진행되며, 홍수의 진행에 따라 수시로 강우-유출모형을 이용하여 홍수유입량이 예측된다. 홍수유입량이 댐 규정상의 무피해방류량 이상으로 유입되는 시점에서 홍수유입량에 대한 예측이 수행될 수 있으며 이때, 홍수유입총량과 홍수지속시간, 침투유량 발생시간 등이 추정된다.

'저수지상당홍수'란 홍수예측시 임의의 저수지 수위에서의 공용량에 상당하는 홍수규모를 정의한 것으로 이를 구하기 위해서는 예측된 홍수수문곡선을 이용하여

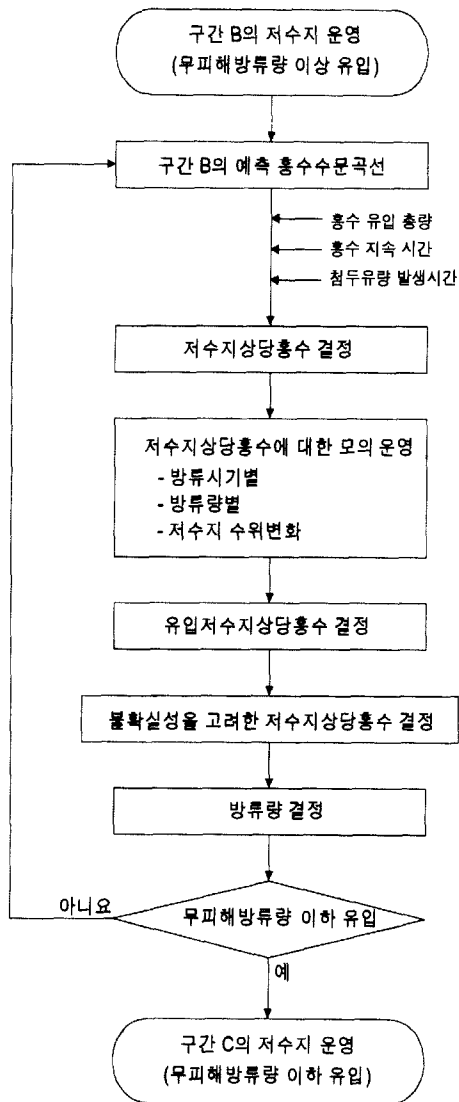


그림 1. 저수지 홍수변환법

홍수지속시간과 침투 유량 및 발생시간 등을 추정할 필요가 있다. 추정된 값들로부터 분석시점의 홍수조절용량에 상응하는 5각형 형태의 저수지상당홍수가 구해지면, 저수지상당홍수에 대한 안정적인 방류시기별-방류량별-저수지 수위변화가 분석시점에서 바로 모의된다.

또한, 추정된 홍수유입총량을 이용하여 예측된 홍수유입량을 저수지상당홍수의 형태로 변환시켜 '변환된 저수지상당홍수(또는 유입저수지상당홍수)'를 구할 수 있

다. 이때, 예측된 수문곡선에 대해 불확실성을 고려하는 방법으로는 조절최고수위와 예측된 수문곡선에 직접 과소추정의 위험을 고려하는 방법이 있으며, 고려하는 불확실성의 정도가 같다면 두 방법은 동일한 방류량 값으로 결정된다. 물론, 고려되는 불확실성의 정도는 관련자료의 객관적인 분석절차에 따라 적절한 일정량이 결정되어야 하나, 현재로서는 자료수집에 어려움이 있으므로 댐 운영자의 주관적인 판단에 따라 결정되어 질 수 있다. 관련자료의 확보에 따라 주관적인 판단은 객관적인 분석방법으로 대체되어 적절한 일정량이 결정될 수 있다.

변환된 저수지상당홍수(또는 '불확실성을 고려한 저수지상당홍수')가 결정되면 저수지의 상태를 대표하는 저수지상당홍수와 예측된 홍수수문곡선을 대표하는 변환된 저수지상당홍수의 비교가 가능하다. 이때, 예측된 수문곡선으로부터 결정된 방류량에 대한 저수지의 수위변화는 저수지상당홍수에 대한 모의결과로부터 분석시점에서 바로 추정될 수 있다. 저수지 수위에 대한 시간적인 변화는 예측된 수문곡선과 실제유입량과의 차이에 따라 오차의 발생이 예상되긴 하나, 양적인 홍수조절을 수행함에 있어 분석시점에서 결정된 방류량에 대한 조절되는 최고수위 정도는 추정할 수 있을 것이다.

3. 홍수시 저수지 운영 방안

홍수조절을 위한 저수지 운영방안으로는 일반적으로 제한수위방식과 예비방류방식이 있다. 제한수위방식은 저수지의 수위를 일정수위로 유지함으로써 확보된 홍수조절용량을 이용하여 홍수조절을 수행하는 것으로 적절한 제한수위를 결정하는 것이 관건이다. 심명필 등(1995)은 홍수기를 단위기간으로 구분하여 한정된 저수공간을 탄력적으로 이용하는 가변제한수위방식을 논의하였고 권익익과 심명필(1997b)은 이수와 치수를 고려한 가변제한수위를 결정하는 방안을 제안하였다. 예비방류방식은 이수목적에 비중을 두고 사용하다가 홍수가 예측되면 예비방류에 의해 저수지의 수위를 낮추어 적정의 홍수조절용량을 확보하는 것으로 예측정보의 정확성과 실용성이 전제되어야 하며 심명필 등(1996)은 예측홍수에 대한 예비방류 방안을 연구하였다. 다목적댐의 경우 예비방류방식에 의해 통상 만수위까지의 저수공간을 이용하다가 홍수예측시 예비방류에 의하여 필요한 만큼의 홍수조절용량을 확보하는 것이 가장 이상적이다. 그러나 예측정보의 불확실성으로 인해 일반적으로 제한수위방식이 채택되고 있다.

홍수예측시 임의의 저수지 수위에서의 홍수조절용량은

가변제한수위를 확보한 경우라면, 댐 규정상의 홍수조절용량과 가변제한수위에 의해 추가적으로 확보된 홍수조절용량의 합이 될 것이다. 홍수시 확보된 홍수조절용량을 토대로 홍수조절용량을 초과하는 예측홍수에 대해서는 저수지 홍수변환법에 의해 적절한 방류량을 결정하여 홍수를 분산시킬 수 있다.

홍수시 저수지 운영을 위해 홍수상황별 특성을 구분할 필요가 있다. 홍수의 경우, 강우를 기준으로 강우전과 강우시작, 강우종료의 상황으로 구분할 수 있으며 강우전 상황은 강우예상이 유무인 상황으로 구별할 수 있다. 홍수유입량 기준으로는 유입량의 증가와 감소 추세로 구분이 가능하며, 댐 규정상의 무피해방류량과 관련해서는 무피해방류량 이하와 이상으로 유입되는 경우로 구분할 수 있다. 무피해방류량 이상으로 유입되는 경우, 침투유입량을 기준으로 홍수유입수문곡선은 상승부와 하강부로 구분되며 따라서 각 구간에서의 분석 시점은 상승부 시점과 하강부 시점으로 구분된다. 저수지 수위를 기준으로 하는 경우 상시만수위를 기준으로 한다면, 상시만수위 이하와 이상으로 구분되며, 상시만수위 이하의 가변제한수위를 운영하는 경우에는 가변제한

수위 이하와 상시만수위 이상, 그 사이 구간으로 저수지의 수위상태를 구분할 수 있다. 방류량의 경우에는 발전방류와 여수로 방류로 구분이 가능하며, 방류량의 크기를 기준으로 하는 경우에는 무피해방류량 이하와 이상으로 구분이 가능하다. 홍수시 이러한 각각의 특성들은 서로 조합되어 홍수상황이 설정되며 설정된 홍수상황은 홍수의 진행에 따라 변화되므로 변화되는 상황에 따라 신속히 대처하여야 한다.

현행의 다목적 댐 규정에는 제한수위와 예비방류 방식의 혼용을 언급하고 있으나 본 연구에서는 이들 방법 외에도 가변제한수위와 저수지 홍수변환법을 추가하였다. 그림 2는 홍수의 진행을 표시하는 홍수지속시간을 가로축으로 하고 진행되는 홍수상황에 따른 강우량과 예측유입수문곡선, 홍수조절계획과 실제 유입량을 세로축에 나타낸 것이다. 강우에 따른 실제 홍수유입수문곡선의 형태를 가정하여 댐 규정상의 무피해방류량을 기준으로 수문곡선은 분할되었고, 4개의 작은 축은 홍수 진행에 따른 예측수문곡선의 형태와 저수지 홍수변환법에 의한 홍수조절방안을 함께 나타낸 것이다. 홍수진행에 따른 각 구간별 홍수상황과 홍수조절방안에 대해

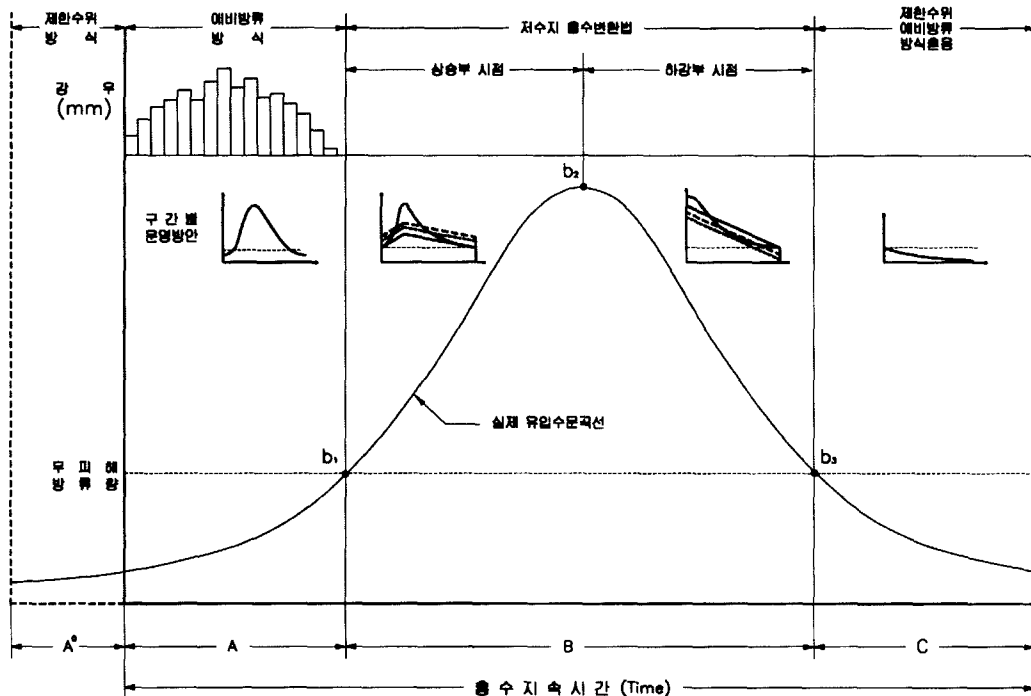


그림 2. 홍수진행에 따른 홍수상황 및 홍수조절방안

설명하면 다음과 같다. 구간 A_0 는 기상예보를 통해 강우의 징후가 판단되는 무강우의 상황으로 계획된 (가변)제한수위의 확보에 주력할 것이다. 연이은 홍수가 계속되는 경우라면 상황에 따라서는 구간 C 와 같은 경우로 홍수조절용량을 확보하기 위한 수위조절의 완급이 조정될 것이다. 구간 A 는 강우시작에서 홍수유입량이 무피해방류량 이하로 유입되는 홍수초기에 해당하는 구간으로 유입량을 예측하여 하류의 피해를 유발하지 않는 무피해방류량 범위내에서 적절한 방류가 계획될 것이다. 구간 A 를 통해 추가적으로 확보되어지는 홍수조절용량 만큼 구간 B 의 저수지 운영에 있어 결정되어지는 방류량의 크기는 작아질 것이다. 작아진 방류량의 크기는 그 만큼 하류의 피해를 경감할 수 있으므로 구간 A 는 충분한 홍수조절용량의 확보가 관건이다.

구간 B 는 유입량이 무피해방류량 이상으로 유입되는 구간으로 침두유량을 기준으로 상승부 시점과 하강부 시점으로 구분이 가능하며, b_1 시점에서는 구간 A 를 통해 최소한 (가변)제한수위의 확보를 계획할 수 있다. 저수지 홍수변환법을 이용하여 각각의 분석시점마다 구간 B 의 예측 유입량에 대한 적절한 방류량이 결정될 것이다. 분석시점에서 확보된 홍수조절용량을 이용하여 예측된 홍수를 변환된 저수지상당홍수(또는 불확실성을 고려한 저수지상당홍수)로 변환시켜 예측 홍수에 대한 적절한 방류량이 결정된다. 결정된 방류량은 하도추적을 통해 하류의 상황과 조화를 이룰 수 있도록 적절히 재조정되어야 하며, 결정된 방류량이 하류에 피해를 유발시킬 수 있다면 방류시기를 조정하여 홍수피해를 줄이는 방안이 강구될 것이다. 구간 C 는 침두 이후 다시 무피해방류량 이하로 유입되는 홍수 후반부의 상황으로 2차 홍수의 징후가 없다면 구간 A_0 또는 A 와 같은 저수지 운영이 계획될 것이다.

실제 홍수조절을 수행하는 경우, 홍수의 진행에 따라 그림 2의 구분된 4개의 작은 축 그림에는 실측 유입수문곡선이 첨가되어 예측과 실제 및 수립된 계획 등이 서로 비교될 것이다. 분석시점별로 첨가된 실측치가 예측치와 비슷하다면 계획은 원안대로 순조로히 진행될 것이다. 그러나 실측치가 예측치보다 비교적 크다면 예측은 과소평가된 것으로 다음 시점에서 결정되어지는 방류량에는 과소평가의 위험이 반영되어야 한다. 실측치가 예측치보다 작은 경우에는 우선 계획된 홍수조절계획은 안정적인 것으로 다음 시점에서 결정되어지는 방류량에는 저수지의 운영효율이 고려될 것이다.

4. 대청댐 적용

4.1 과거홍수사상 분석

대청댐의 과거 일유입량자료(1981년~1996년)로부터 홍수사상을 추출한 결과, 총 12개의 홍수사상이 선정되었으며 표 1은 선정된 대청댐의 과거 홍수사상에 대해 수문분석한 결과이다.

표 1에서 저수지 수위는 홍수 진행에 따른 강우시작시의 수위와 운영중의 최고수위, 여수로 방류 시작과 종료시의 수위를 각각 나타낸 것이다. 강우량의 경우에는 운영중의 시간 최대강우량과 홍수지속시간 동안 누가된 강우량을 나타내었다. 유입량과 방류량의 경우, 강우시작시와 운영중의 최대량, 홍수종료시의 수문량을 각각 나타낸 것이다. 도달시간은 강우시작 이후의 각각의 수문량이 발생한 시간을 나타낸 것으로 유입량의 경우에는 최대발전방류량($264 \text{ m}^3/\text{sec}$)과 무피해방류량($1,000 \text{ m}^3/\text{sec}$), 최대유입량의 발생시간을 나타낸 것이다. 저수지 수위의 경우에는 제한수위와 최고수위를, 방류량의 경우에는 무피해방류량과 최대방류량의 발생시간을 각각 나타낸 것이다. 누가량의 경우에는 홍수지속시간 동안의 총 면적강우량과 유입 및 방류 총량을 각각 나타낸 것이다.

저수지의 운영 효율을 나타내기 위해 각각의 홍수사상에 대한 유출률과 조절률, 이용률을 각각 분석하였고 유출률의 경우에는 누가 유입량에 대한 누가 면적강우량의 비(比)를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 홍수지속시간을 강우시작에서 저수지 수위가 안정화 단계에 이르는 전기간을 포함시켰다. 따라서 홍수지속시간의 가정에 따라 일반적인 의미의 강우에 대한 유출률 분석과는 다소 다를 수 있다. 즉, 저수지 운영 측면에서 유역 강우에 대한 저수지 유입률을 유출률로 파악한 것이라 할 수 있다. 조절률($\{(\text{최대유입량}-\text{최대방류량})/\text{최대유입량}\} \times 100\%$)은 침두유량의 조절효과 나타낸 것이며, 이용률($\{(\text{최고수위}-\text{제한수위})/(\text{홍수위}-\text{제한수위})\} \times 100\%$)은 댐 규정상의 홍수조절용량에 대한 이용정도를 나타낸 것이다.

4.2 선정된 홍수사상의 일별 수문분석

표 1과 같이 선정된 대청댐 과거 홍수사상에 대해 홍수 진행과 저수지 운영 실적을 일별로 분석하여 일관된 양식의 그림과 표로써 구성할 수 있다. 그림 3과 표 2는 그 예로 적용을 위해 선정된 대청댐 1995년 8월 30일에 발생한 홍수사상을 나타낸 것이다.

표 1. 대청댐 최종 선정된 홍수사상의 수문분석

홍수 사상	저수지 수위			강우량		유입량		방류량			강우 개시후 도달 시점(시간)						누기량			이 용 물					
	강우 시작	최 고	*방류 시작	*방류 종료	시간	누가	시 작	최 대	방류 종료	시 작	최 대	총 료	유입량	수위	방류량	강우	유입	방류	유 출 물		조 절 물				
																						mm		m ³ /sec	
	EL. m	mm	mm	m ³ /sec	m ³ /sec	m ³ /sec	m ³ /sec	m ³ /sec	m ³ /sec	m ³ /sec	m ³ /sec	m ³ /sec	m ³ /sec	264	1000	최대	제한	최고	1,000		최대	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³		
84831	70.49	78.61	78.55	77.96	12.6	222.2	145.1	4,618.8	218.3	0	1,314	216	56	65	78	93	112	111	113	918.6	726.3	264.4	79	72	60
85814	74.53	78.33	77.41	76.59	8.6	147.2	2.6	3,884.4	185.6	0	2,218	218	27	52	89	76	96	89	93	608.5	574.5	451.6	94	43	52
85915	76.94	79.37	77.16	78.93	13.3	189.5	133.6	4,993.3	216.6	131	3,814	214	11	22	112	1	117	101	115	783.4	785.1	625.6	100	24	82
87721	71.02	79.17	76.82	76.82	11.5	235.0	149.5	5,214.3	382.0	0	2,216	192	22	30	58	57	83	60	135	971.5	930.8	578.7	96	58	76
87803	76.43	78.87	76.46	76.69	16.9	137.3	167.0	4,057.0	236.0	164	1,218	419	17	34	45	37	66	98	98	567.6	541.4	520.8	95	70	68
87820	76.63	78.04	77.14	75.13	10.7	100.5	221.0	2,949.0	957.0	221	1,221	424	5	9	25	1	35	18	18	415.5	344.2	416.4	83	59	44
87828	75.30	79.81	76.61	76.36	13.9	218.6	49.0	6,557.0	222.0	226	3,713	322	2	5	83	30	90	54	86	903.7	932.8	866.0	103	43	95
89725	71.69	77.47	76.83	75.32	11.4	225.4	90.3	4,104.1	414.7	237	3,000	221	25	31	61	60	74	62	81	931.8	817.7	482.2	88	27	28
90714	68.08	77.57	77.44	76.71	18.4	196.8	269.0	3,443.0	91.0	264	722	272	4	42	129	135	157	-	-	813.6	780.8	292.6	96	79	31
93712	66.53	77.02	76.70	75.93	13.6	236.2	0.0	5,031.5	62.0	86	1,003	236	9	20	37	100	210	216	222	976.5	864.7	361.4	89	80	15
93807	75.92	76.63	76.24	75.69	8.3	145.7	224.7	1,677.8	130.1	218	1,001	310	27	29	32	159	165	59	87	602.3	502.7	511.6	83	40	3
95830	70.60	77.15	73.01	76.45	16.7	201.7	154.0	5,843.9	214.0	10	1,678	391	2	12	24	36	46	38	42	834.0	616.7	273.6	74	71	19
최소	66.53	76.63	73.01	75.13	8.3	100.5	0.0	1,677.8	62.0	0	722	192	2	5	24	1	35	18	18	415.5	344.2	264.4	74	24	3
최대	76.94	79.81	78.69	78.93	18.4	236.2	269.0	6,557.0	957.0	264	3,814	424	56	65	129	159	210	216	222	976.5	932.8	866.0	103	80	95
평균	72.85	78.17	76.85	76.70	13.0	188.0	133.8	4,364.5	277.4	130	1,927	286	17	29	64	65	104	82	99	777.3	701.5	470.4	90	56	48

주) *: 여수로 방류의 경우

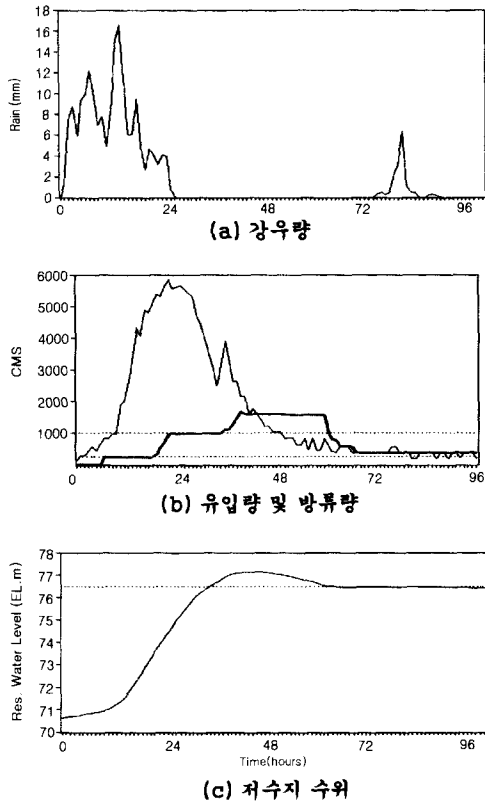


그림 3. 대청댐 1995년 8월 30일 홍수

표 2. 대청댐 1995년 8월 30일 홍수사상의 일별 분석

1995년 월 일	8월 30	8월 31	9월 1	9월 2	9월 3
누가강우량	mm 164.3 (164.3)	21.1 (185.4)	0.0	16.3 (201.7)	0.0
평균유입량	m ³ /sec 2,134.3	3,968.6	810.0	383.1	324.4
평균방류량	m ³ /sec 174.8	1,109.7	1,374.1	399.2	392.6
마지막수위	EL. m 73.01	77.14	76.48	76.47	76.45
24시간 유입여유량	m ³ /sec 5,384.0	2,375.0	2,889.2	2,896.9	2,912.3
홍수기간 (누가시간 및 일수)					
강우 기간					
방류 기간					

그림 3은 강우량(a)과 유입량 및 방류량(b), 저수지 수위 변화(c)를 시간별로 나타내어 홍수의 진행 상황을 나타낸 것이다. 표 2는 1995년 8월 30일의 홍수사상에 대해 누가 강우량, 평균 유입량, 평균 방류량, 마지막(24:00 시) 저수지 수위, 24시간 유입 여유량 등의 항목으로 일별로 수문분석한 결과이다. 24시간 유입 여유량의 경우, 당일 마지막 수위에서 대청댐 계획홍수위(EL. 80 m)까지의 저수지 공용량에 대해 24시간 동안 가능한 평균유입량을 나타낸 것으로 저류가능한 유입량에 대한 여유 정도를 나타낸 것이다. 전일(前日)의 24시간 유입 여유량은 당일(當日)의 유입량과 방류량의 차에 따라 증가하거나 감소한 값으로 다시 당일의 24시간 유입 여유량이 된다.

4.3 예측홍수의 하강부 시점에 대한 방류량 결정

홍수시 저수지 홍수변환법의 적용을 위해서는 실제 예측유입량에 따른 저수지의 운영결과를 분석하여야 하나, 본 연구에서는 과거 홍수가 예측된 경우를 가산하여 가정된 유입량에 대해 방류량을 결정하는 절차를 제시하였다. 하나의 홍수사상에 대한 완전한 적용예를 나타내기 위해서는 분석시점마다의 예측유입량에 대한 적절한 자료가 있어야 한다. 그러나 본 연구에서는 자료 수집이 용이치 않은 관계로 무피해방류량 이상이 유입되는 하나의 분석시점에 대한 적용방법만을 제시하였다. 무피해방류량 이상이 유입되는 경우, 분석시점은 유입 수문곡선의 형태에 따라 상승부 시점과 하강부 시점으로 구분된다. 1995년 8월 30일 홍수에 대한 상승부 시점의 적용결과에 대해서는 이미 전편의 논문을 통해 제시하였기에 본 연구에서는 하강부 시점만을 제시하였다. 상승부 시점과 하강부 시점은 분석시점의 홍수수문곡선의 형태에 따라 저수지상당홍수의 모양이 각각 5각형과 사다리꼴 형태로 구분된다. 그러나 각 시점에서 방류량을 결정하는 절차는 둘다 그림 1의 과정과 동일하다.

실시간 홍수조절의 경우 하강부 시점은 침투유입 이후 어느 정도의 천이구간을 거쳐 판단될 수 있다. 적용을 위해 분석시점의 상황을 설정할 필요가 있다. 1995년 8월 30일 홍수사상에서 침투유입이 발생한 시점인 8월 31일 03시를 분석시점으로 가정하였다. 분석시점의 상황은 그림 4와 같이 침투유입의 크기가 5,844 m³/sec 이고, 무피해방류량 이상의 유입량이 지속되는 시간이 29시간인 홍수가 예측된 경우이다. 당시의 시점 상황은 987 m³/sec 를 방류하면서 저수지의 수위는 EL. 73.87 m 였으나 본 연구에서는 저수지의 수위를

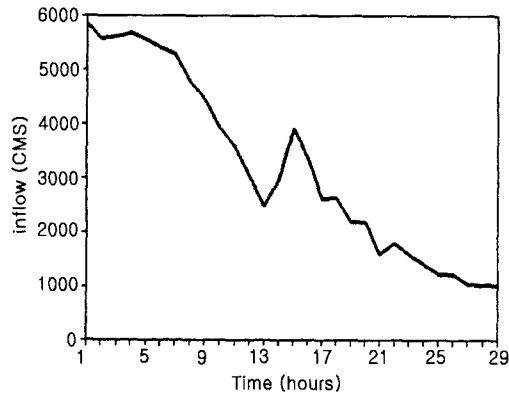


그림 4. 하강부 시점의 가정된 예측 홍수 수문곡선

EL. 76.0 m 로 가정하였다. 저수지의 수위를 EL. 76.0 m 로 가정한 이유는 상승부 시점의 적용예에서 1995년 8월 30일 홍수사상에 대한 초기의 저수지 수위를 EL. 74.0 m 로 가정하였기에 상승부의 홍수조절을 수행하면서 저수지의 수위가 상승된 상황을 가정한 것이다.

상승부 시점의 적용예와 마찬가지로 추정된 홍수지속 시간을 이용하여 하강부 시점의 저수지상당홍수를 구하고, 저수지 상당홍수에 대한 방류량별-저수지 수위변화를 분석시점에서 바로 모의할 수 있다. 그림 5와 그림 6은 분석시점의 일정 방류량에 대한 저수지의 수위 변화를 모의한 것으로 범례의 경우도 상승부 시점의 적용예에서 고려한 내용과 동일하다.

하강부 시점의 저수지상당홍수에 대한 모의결과를 바탕으로, 예측된 홍수를 저수지상당홍수로 변환하여 그림 7을 근거로 예측 홍수에 대한 적절한 방류량을 결정할 수 있다. 그림 7의 범례 역시 상승부 시점의 적용에서 고려한 내용과 동일하다.

그림 7에서 확보된 저수지 수위(EL. 76.0 m)에 대한 저수지상당홍수(ERF)는 침투유량이 4,580 m³/sec 이다. 예측된 홍수(F-Flood)를 저수지상당홍수로 변환시키면, 변환된 저수지상당홍수(T-ERF)는 침투유량이 5,087 m³/sec 로 저수지상당홍수보다 507 m³/sec 더 큰 홍수이다. 따라서 507 m³/sec 를 방류하는 경우에는 그림 5의 저수지상당홍수에 대한 방류량이 0 m³/sec 인 경우로 이때의 저수지의 수위 변화는 그림 6의 H0 를 따를 것이며 조절최고수위는 홍수위인 80 m로 모의될 것이다. 표 3은 조절최고수위로 불확실성을 고려하는데 따른 방류량별 조절최고수위를 나타낸 것이고, 표 4는 불확실성을 고려한 일정량별 방류량을 각각 나타낸

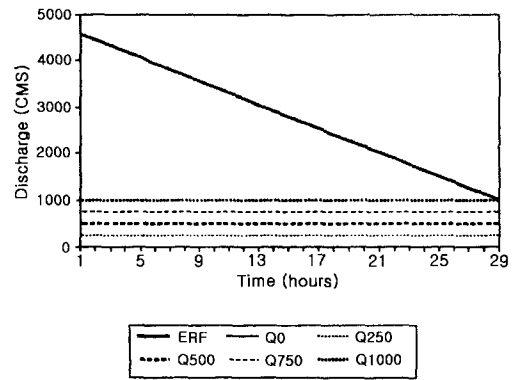


그림 5. 하강부 시점 저수지상당홍수에 대한 방류량

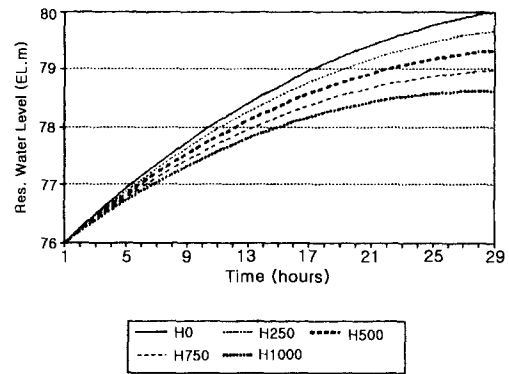


그림 6. 하강부 시점 저수지상당홍수에 대한 저수지 수위변화

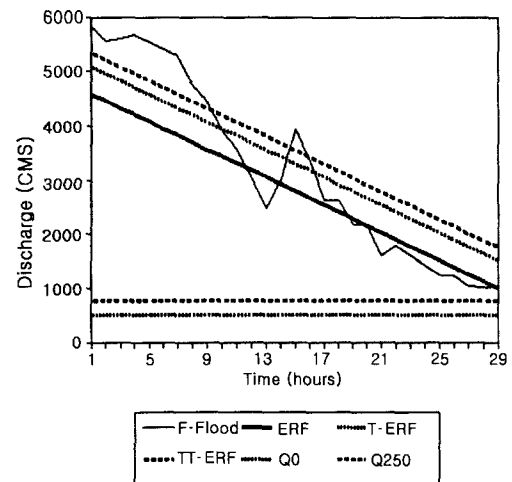


그림 7. 예측된 수문곡선의 불확실성을 고려한 방류량 결정

표 3. 하강부 시점 방류량별 계획 홍수위와의 수위차

결정되는 방류량 (m ³ /sec)	조절되는 최고 수위 (EL. m)	계획홍수위와의 수위차 (EL. m)
507 (507+0)	80.00	0.00
757 (507+250)	79.66	0.34
1,007 (507+500)	79.32	0.68
1,257 (507+750)	78.98	1.02
1,507 (507+1000)	78.63	1.37

표 4. 하강부 시점 불확실성을 고려한 일정량별 최적방류량

일정량 (m ³ /sec)	최적방류량 (m ³ /sec)	조절되는 최고 수위 (EL. m)
0	507 (507+0)	홍수위 80
250	757 (507+250)	
500	1,007 (507+500)	
750	1,257 (507+750)	
1000	1,507 (507+1000)	

것이다. 실시간 홍수조절의 경우에는 그림 7에 실측 유입수문곡선이 첨가되어 예측된 수문곡선과 변환된 저수지상당홍수, 불확실성을 고려한 저수지상당홍수 등이 비교되므로 예측과 실제 및 불확실성을 고려한 방류량이 결정될 것이다. 또한 이전 시점의 과소 또는 과대 추정된 저수지 운영 결과가 현 시점의 방류량 결정에 반영될 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 저수지 홍수변환법에 대한 추가적인 내용으로 하강부 시점에 대한 적용방법을 제시하였다. 또한, 그 동안에 순차적으로 진행되어온 참고문헌에 표시된 연구들을 서로 연계하여 전반적인 홍수시 저수지 운영 방안을 논의하였다. 물론, 논의의 중심은 저수지 홍수변환법의 활용에 관한 것으로, 실무에서는 기존의 방법과 병행하여 운영하므로써 적용에 대한 성과를 확인할

수 있을 것이다.

저수지 홍수 변환법은 현행의 실시간 수문·기상학적 정보를 최선으로 수용하여 이를 기준으로 결정된 방류량에 대해 이해할 만한 근거를 남길 수 있는 일련의 절차이다. 결정된 방류량과 관련하여 분석시점의 수문·기상학적인 자료들이 축적된다면, 주관적인 판단하에 고려된 예측유입수문곡선에 대한 불확실성의 정도는 객관적으로 평가될 수 있다. 그 결과 실제로 홍수조절효과를 개선시킬 수 있는 방향이 구체적으로 제시될 수 있을 것이다.

효율적인 홍수시 저수지 운영을 위해서는 하도추적모형의 성과가 반드시 추가되어야 하며 이를 위한 본 연구의 노력은 계속될 것이다. 하도추적모형의 성과가 어느 정도 이루어 진다면, 수계내 댐군의 실시간 연계 운영방안도 가능할 것이다.

참 고 문 헌

- 권오익 (1997). 가변제한수위와 저수지 홍수변환법에 의한 홍수기중 저수지 운영. 박사학위논문, 인하대학교.
- 권오익, 심명필 (1997a). "예측홍수의 방류량 결정방안에 관한 연구." 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제30권, 제3호, pp. 257-268.
- 권오익, 심명필 (1997b). "다목적 댐의 홍수기중 가변제한수위 결정 방안." 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제30권, 제6호, pp. 705-716.
- 심명필, 권오익, 이환기 (1995). "홍수기중 가변제한수위에 의한 저수지 운영." 한국수문학회지, 한국수문학회, 제28권, 제6호, pp. 217-228.
- 심명필, 이재형, 권오익 (1996). "홍수예측에 의한 예비방류 방안." 한국수문학회지, 한국수문학회, 제29권, 제1호, pp. 235-247.

<최종본 접수일 : 1998년 1월 8일>