



A study for the target water level of the dam for flood control

Kwak, Jaewon^{a*}

^aResearcher, Han River Flood Control Office, Ministry of Environment, Seoul, Korea

Paper number: 21-044

Received: 6 June 2021; Revised: 29 June 2021; Accepted: 29 June 2021

Abstract

The burden of flood control on the dam under frequently flood due to climate change and especially heavy flood in 2020 year are come to the forward and increased. The objective of the study is therefore to establish the method to estimate capacity and target water level for flood control in actual dam management. Frequency matching method was applied to establish a pair of cumulative distribution function (CDF) based on daily dam inflow and discharge records. The relationship between dam storage and discharge volume represented as a percentage of inflow volume was derived and its characteristics was analyzed. As the result, the Soyanggang (45%) and Chungju Dam (39%) contributing to flood control with temporarily storing flood runoff. The method and diagram to estimate flood control capacity and target water level for flood control in the dam were established. The result of the study could be used as a supplementary data for flood control of the dam according to the rainfall prediction on the Korea Meteorological Administration.

Keywords: Dam operation in flood season, Flood control capacity, Target water level for flood control, Frequency matching

댐 홍수조절을 위한 목표수위 산정연구

곽재원^{a*}

^a환경부 한강홍수통제소 시설연구사

요지

최근 기후변화로 인하여 빈발하는 수재해는 다목적댐의 운영 및 관리에 있어서 큰 부담으로 다가오고 있으며, 특히 2020년의 집중호우는 댐 관리에서의 홍수조절이 부각되는 계기가 되었다. 본 연구의 목적은 댐 관리자가 별도의 분석없이 홍수조절을 위한 용량과 목표수위를 간편하게 추정할 수 있는 방법론을 제시하는데 있다. 이를 위하여 일 단위의 댐 유입량과 방류량 계열에 빈도대응법을 적용하여 동일 재현빈도를 가지는 누적확률분포쌍으로 유도한 후 홍수유입량의 비율로 표현되는 홍수유입 대비 저류체적비 관계를 유도하고 그 특성을 분석하였다. 연구결과에 따라서, 소양강 댐은 홍수유입체적의 45%, 충주댐은 홍수유입체적의 39%를 평균적으로 일시 저류함으로써 홍수조절에 기여하는 것으로 나타났다. 또한, 홍수유입 대비 저류체적비를 활용하여, 댐 홍수유입량을 기준으로 필요한 홍수조절용량과 목표수위를 간편하게 추정하기 위한 방법론과 도표를 제시하였다. 본 연구에서 제시된 방법과 기상청의 강우예측을 통하여 댐의 홍수조절을 위한 목표수위를 추정하는데 참고자료로서 활용 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어: 홍수기 댐 운영, 홍수조절용량, 홍수조절 목표수위, 빈도대응법

1. 서론

최근 기후변화에 따른 홍수와 가뭄이 빈발하게 되면서 댐의 여러 기능 중에서 재해대응 기능의 중요성이 점차 대두되

고 있다. 특히, 2020년 장마기간에 전국적으로 840 mm에 달하는 강수량이 발생하였으며, 섬진강 유역에 1,069 mm로 예년 2배에 가까운 강수가 내려 큰 피해를 입힘에 따라(Mun *et al.*, 2020), 댐이 가지는 홍수조절기능의 중요성도 다시금 부각되는 계기가 되었다.

홍수는 인간의 역사 속에서 함께하여 왔기 때문에 그에 따른 댐의 홍수조절방식도 많은 연구가 이루어져 왔다. 일반적으로

*Corresponding Author. Tel: +82-2-590-9938
E-mail: firstsword@naver.com (J. Kwak)

홍수조절을 위한 댐 운영방식은 Reservoir Operation Method (이하 ‘ROM’)으로 지칭되어 왔다. 대표적으로 Technical ROM, Spillway rule curve ROM, Rigid ROM, Auto ROM, Scheduled release discharge ROM 및 Linear decision rule 등을 들 수 있으며, 홍수유출량의 일부를 댐에 저류하여 하류하천의 홍수위를 저감하는 것이 주요 골자이다(Jamieson and Wilkinson, 1972; Shultz and Plate, 1976). 또한, 홍수조절시 홍수유출량을 일부 댐에 저류한다는 사실에 주목하여 댐의 저류효과측면에서 홍수조절효과를 분석하는 연구가 진행되기도 하였으나 (Shim *et al.*, 1998; Shin *et al.*, 2019), 댐 저류와 방류가 동일한 시점에 이루어지지 않고 시차가 있으며, 각각의 시차도 홍수사상에 따라 각기 다르게 나타나므로 일관성 있는 분석이 어려운 단점이 있다. 따라서, 댐의 홍수조절효과는 좀 더 직관적인 댐 하류의 홍수위 저감 위주로 분석되어 왔다(Hwang, 2012; Lee *et al.*, 2013; Kim and Kim, 2013; Jung *et al.*, 2015). 또한, 저수지 운영은 댐의 저수량, 수문방류 여건 등에 의해서 영향을 받으므로 숙련된 전문가의 경험에 크게 의존하는 문제점도 있다(Kim and Jo, 2015). 이러한 단점을 보완하기 위하여 다목적댐에는 계획홍수위(Flow Water Level; 이하 ‘F.W.L.’) 이하에 상시만수위(Normal high water level; 이하 ‘N.H.W.L.’)와 홍수기 제한수위(Restricted Water Level; 이하 ‘R.W.L.’)를 두어 홍수조절용량을 확보하고 홍수조절에 활용하고 있다(MOLIT, 2019; ME, 2019). 그러나, 다목적댐의 홍수대응 및 조절이 200년 빈도를 기준으로 설계되어 있으므로(MOLIT, 2019), 2020년과 같이 200 ~ 500년 빈도에 근접하는 홍수가 발생할 경우(Kim *et al.*, 2020) 적절한 대응이 어려울 수 있으며, 그에 따른 기존 댐의 홍수조절용량 부족도 지적된 바 있다(Kang *et al.*, 2014). 따라서, 기후변화로 인하여 급변하는 홍수 상황에 대응하기 위하여 홍수조절용량 측면의 고찰이 필요하며, 특히 댐과 저수지를 관리하는 실무현장에서 검토할 수 있는 기법이 필요한 시점이다.

이에 본 연구에서는 댐 및 저수지 관리실무에서 필요한 홍수조절용량과 댐 목표수위를 간편하게 추정할 수 있는 방법론을 제시하고자 한다. 이를 위하여 일 단위의 댐 유입량과 방류량 계열에 빈도대응법을 적용하여 동일 재현빈도를 가지는 누적확률분포쌍으로 유도한 후 홍수유입량의 비율로 표현되는 홍수유입 대비 저류체적비 관계를 분석하였다. 또한, 도출된 관계를 이용하여 홍수유입량에 따른 댐의 홍수조절용량을 산정하였으며, 최종적으로 이를 홍수조절을 위한 댐의 목표수위로 산정하기 위한 방법론과 도표로 제시하였다.

2. 이론적 배경

2.1 빈도대응법(Frequency Matching)

빈도대응법(Frequency Matching)은 두 자료의 빈도를 대응시키는 방법으로 시스템적인 오차의 수정이나 샘플링을 위하여 적용되며, 간단한 적용성으로 인하여 다양한 분야에 사용되어 왔다. 수문학 분야에서도 예측 강우의 편의보정(Zhu and Luo, 2015; Li and Chen, 2015; Yang *et al.*, 2020)이나 레이터 강우 추정(Ro and Yoo, 2014) 등에 사용되어 왔으며, 특히 NRCS CN 방법에서도 점근 CN를 구하기 위하여 사용된 바 있다(Hjelmfelt *et al.*, 1982). 빈도대응법은 두 개의 자료에 대해서 각각의 자료를 독립적으로 오름(내림) 차순으로 정렬하고 동일한 빈도의 자료를 한 쌍으로 묶음으로서 수행되며, 정렬된 자료 쌍은 자연적인 상황에서 나타날 확률이 낮으나 각각의 자료는 동일한 재현빈도를 가진다(Hawkins *et al.*, 2008). 이러한 빈도대응법은 같은 빈도의 원인 사상으로 인한 결과 사상은 동일 빈도를 가진다는 가정을 기반으로 한다. 예를 들어서, “100년 빈도의 강우(P)가 내렸다면, 그로 인하여 발생하는 유량(R)은 역시 동일한 100년 빈도를 지닌다”(Fig. 1). 이러한 가정을 바탕으로, Hjelmfelt (1983)는 강우량과 유출량을

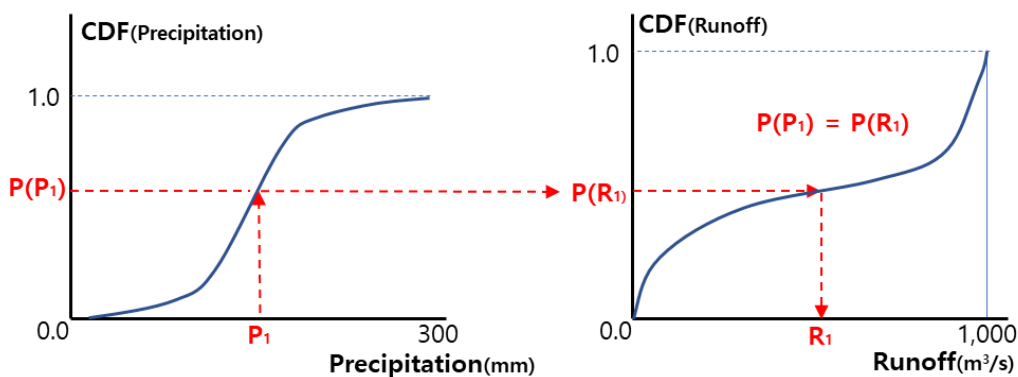


Fig. 1. Concept of frequency matching in NRCS method

이용하여 유출곡선지수(Curve Number)를 유도하였다.

2.2 댐 홍수조절과 댐 저류체적

일반적인 홍수조절(관리)은 댐과 하천측면에서 수행된다. 댐의 홍수조절은 유입 홍수를 저류한 후 하류 하천의 상태를 고려하여 방류하면서 이루어지며, 하천의 홍수조절은 하천 수위를 고려하여 주민들에게 홍수 위험을 예·경보함으로써 이루어진다(Kang *et al.*, 2009). 따라서, 댐으로 유입된 홍수 시 유입량(I)을 적정한 수준까지 저류(S)하고, 유입체적의 일부만을 방류(O)하는 것이 유역의 홍수관리 측면에서 중요한 열쇠가 되며, 일시적으로 저류된 홍수유입량은 이후 방류하거나 저류하여 각종 용수 공급에 활용된다. Fig. 2(a)는 이러한 댐의 홍수조절을 개념적으로 도시한 것이며, Fig. 2(b)는 홍수 조절에 따른 유입량과 방류량의 누적확률곡선을 나타낸 것이다. 이러한 측면에 착안하여 댐의 저류효과측면에서의 홍수 조절 분석도 진행되었다(Shim *et al.*, 1998; Shin *et al.*, 2019). 그러나, 댐 저류와 방류가 동일한 시점에 이루어지지 않고 시차가 있으며, 각각의 시차도 홍수사상에 따라 다르게 나타나

로 어느 정도의 기간을 기준으로 댐 유입과 저류를 분석해야 하는지 알기 어렵다. 따라서, 일반적인 댐의 홍수저감능력은 주로 하류의 첨두홍수위가 댐으로 인하여 얼마나 저감되었는지 위주로 분석되어 왔다.

이러한 단점을 극복하기 위하여 유입 및 방류체적 계열에 빈도대응법을 적용할 수 있다. 댐이나 저수지의 홍수조절은 유입량(I)이 저류되고 사람의 인위적인 댐 운영에 따라서 방류(O)하는 일련의 과정으로 모사될 수 있으며, 이는 기존의 유출곡선지수를 유도하는데 사용된 강우(P)→유출(R) 관계보다 더 직접적이다(Fig. 1). 따라서, “특정한 해에 댐에 최대 유입량이 발생하였다면, 그로 인하여 발생하는 댐 방류도 최대 방류량에 해당한다”는 빈도대응법의 개념을 적용하여, 댐의 유입과 방류에 따른 시차문제를 극복할 수 있으며, 댐 유입량(Inflow)과 댐 방류량(Outflow)을 동일한 누적확률분포(CDF)의 쌍(Pair)으로 나타낼 수 있다(Fig. 3).

댐 유입체적(I)과 방류체적(O)이 동일 빈도의 누적확률분포로 대응될 경우, 댐의 홍수조절에 따른 댐 저류량(S)은 누적확률분포 끝단(Tail)의 유출체적(면적) 차이($S=I-O$)로 정의

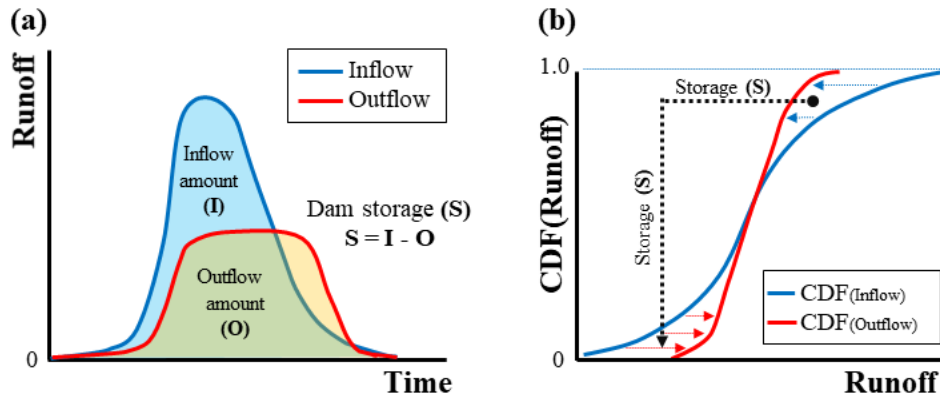


Fig. 2. Concept of dam operation at flood event: (a) dam operation, (b) CDF plot of dam operation

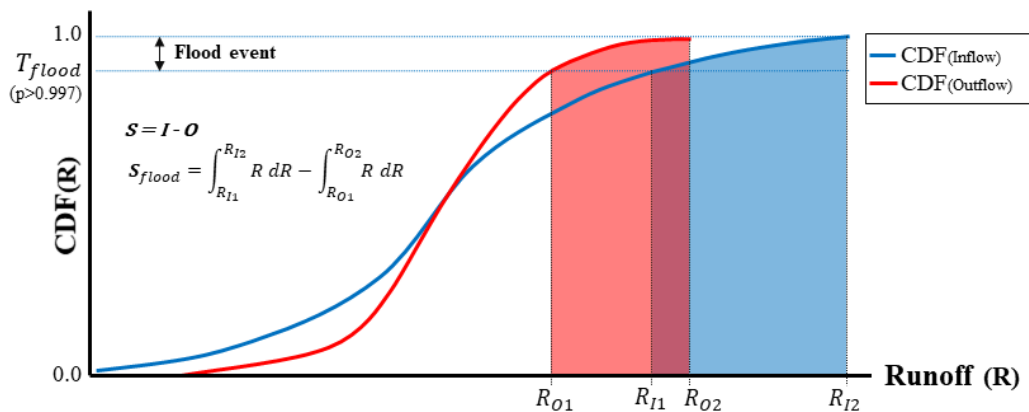


Fig. 3. Estimation of dam storage amount at flood event (S_{flood}) in CDF; colored area indicate the amount of dam inflow and outflow

할 수 있으며, Eq. (1) 및 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta S = I - O \tag{1}$$

$$\Delta S = \int_{R_{I_i}}^{R_{I_o}} R dR - \int_{R_{O_i}}^{R_{O_o}} R dR$$

이때, $R_{I_i=1,2}$ 및 $R_{O_i=1,2}$ 는 각각 누적확률분포에서 홍수 시작점(T_{flood})과 최대 홍수량에 해당하는 유입 및 방류량을 의미한다. 일반적으로, 댐의 홍수조절과 그 운영정도는 각각의 홍수조절 과정의 기간, 규모, 시점 등이 달라서 정량화가 어렵다. 그러나, 댐의 홍수조절이 일정한 방향성을 가지고 이루어졌다면 댐의 홍수시 유입과 방류체적 및 저류량은 일정한 비율(α)을 보이고, 댐의 저류량(S) 및 방류체적(O)도 댐 유입체적(I)에 대한 비율로서 표현할 수 있을 것이다. 유입체적(I)에 대한 저류체적과 방류체적의 비율(α)이 일정한 관계를 보인다고 가정하면, 댐의 홍수유입체적을 알 수 있을 경우 댐에 저류 및 방류하여야 하는 체적도 Eq. (2)와 같이 산정할 수 있게 된다.

$$S = \alpha I = \alpha \int_{R_{I_i}}^{R_{I_o}} R dR \tag{2}$$

$$O = (1 - \alpha) I = (1 - \alpha) \int_{R_{I_i}}^{R_{I_o}} R dR$$

3. 적용 및 결과

3.1 연구대상 및 자료

본 연구의 대상은 한강수계 주요 댐인 소양강댐과 충주댐

이다. 소양강댐은 유역면적 2,703 km², 총 저수용량 29억 m³, 홍수조절용량은 500백만 m³이며, 충주댐은 유역면적 6,648.0 km², 총 저수용량 27.5억 m³, 홍수조절용량은 616백만 m³이다. Fig. 4과 같이 소양강댐과 충주댐은 각각 북한강과 남한강의 본류에 위치하여 한강수계의 용수공급과 홍수조절에 중추적인 역할을 수행하고 있는 다목적댐이다(K-water, 2021a). 다목적댐의 중요성을 고려하여 소양강댐과 충주댐은 각각의 건설완료 시점인 1976년과 1987년부터 댐 유입량, 방류량 및 저류량을 계측하고 있으며, 댐 상하류의 관측지점과 댐 저수량의 변화를 활용하여 계측한다. 소양강, 충주댐의 건설 이후부터 현재까지의 일단위 댐 유입, 방류량과 분석에 필요한 모든 자료는 환경부 국가수자원관리종합정보시스템(ME, 2021) 및 K-water 한강권역본부(K-water, 2021b)를 통하여 수집하였다.

3.2 홍수유입 대비 저류체적비

이전 절에서 제안한 홍수유입 대비 저류체적비(α)을 산정하기 위하여 한강수계에 위치한 다목적댐을 대상으로 하여 소양강댐은 1976~2020년, 충주댐은 1987~2020년의 일 단위 댐 유입량과 방류량을 수집하고 빈도대응법을 적용하여 누적확률분포쌍을 유도 하였다. 홍수유입 대비 저류체적비를 분석하기 위해서는 홍수사상을 분리하기 위한 기준(T_{flood})을 결정하여야 한다. 일반적으로 다목적댐의 홍수는 200년 빈도 홍수를 기준으로 방어하도록 댐 설계기준에서 규정하고 있다(MOLIT, 2019). 이는 비초과확률 $p = 0.995$ 이며, 각 댐의 유입량 자료에 적용할 경우 소양강댐은 일평균 1,473 m³/s, 충주댐은 3,042 m³/s에 해당한다. 해당 유입량을 매년 연속으로 초과하는 일수가 평균 2일로 산정되었으므로, 비초과확률 $p =$

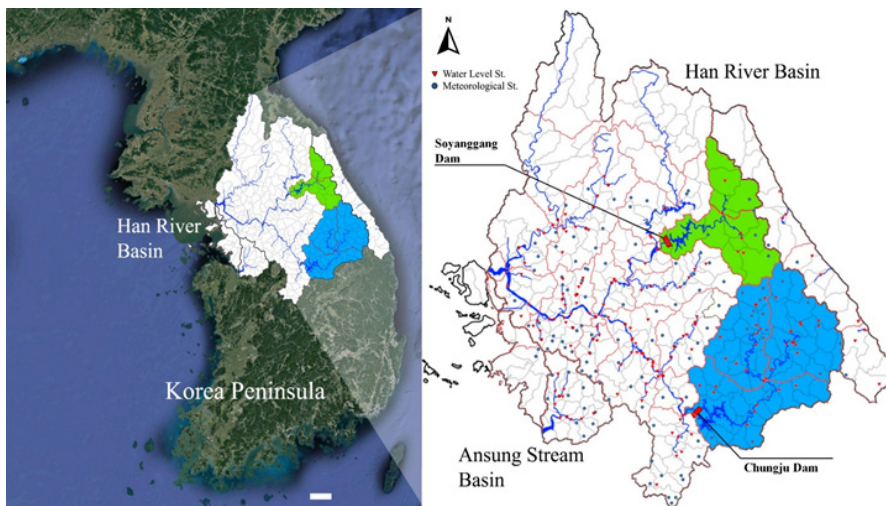


Fig. 4. Study area and dam; red rectangular indicate the location of each dams, and colored area indicate that the upper basin area of each dam

0.995을 넘는 홍수 유입사상은 일반적으로 2일 가량 발생하는 것으로 판단된다. 또한, Lee *et al.* (2011)의 연구에 따르면 소양강댐과 충주댐의 설계홍수량 산정시 강우지속시간을 2일(48 h)으로 설정하였다. 따라서, 소양강 및 충주댐에 매년 최대홍수가 발생하였을 경우 평균 2일의 지속시간을 가지는 것으로 가정할 수 있으며, 이는 비초과확률 $p > 0.997$ 에 해당한다. 소양강댐과 충주댐의 기존 유입 및 방류량을 이용한 연도별 누적확률분포상에 비초과확률 $p = 0.997$ 이상(상위 2일)에 해당하는 유입과 방류체적의 차이를 이용하여 매년 최대홍수 발생시의 댐 저류량을 산정하고, Fig. 5에 도시하였다. Figs. 5(a) and 5(b)의 산점도는 각 연도별 최대홍수시의 댐 유입량과 저류량을 나타내며, 전체적인 홍수유입 대비 저류체적비(α)를 동시에 도시하였다.

Fig. 5의 결과를 보면 연도별 최대홍수유입에 대하여 홍수 유입 대비 저류체적비(α)는 일정한 경향성을 나타내는 것을 알 수 있다. 댐의 홍수조절이 하류 하천의 상태를 고려하여 홍수량을 저류하거나 방류하는 것임을 고려하면, 저류체적비(α)가 보여주는 일정한 경향성은 한강 본류의 상태를 고려하면서 하류로 방류한 홍수조절에 따른 저류비로 추정할 수 있다. 이러한 저류체적비(α)는 소양강댐이 0.45, 충주댐이 0.39로 산정되었다. 따라서, 연도별 최대 홍수사상에 대하여 홍수조절을 시행할 경우, 소양강댐은 홍수유입체적의 45%, 충주댐은 홍수유입체적의 39%를 평균적으로 일시 저류함으로써 홍수조절에 기여하였다고 할 수 있다. Fig. 5에 도시된 2020 년도의 사례에도 2일간의 최대홍수사상에서 소양강댐은 약 5.2억 m^3 , 충주댐은 6.3억 m^3 의 홍수유입이 발생하였으며, 동시에 소양강댐 1.4억 m^3 , 충주댐 1.8억 m^3 의 홍수체적을 각 댐이 일시적으로 저류하여 홍수조절에 기여하였다. 이때의 α 값

은 소양강댐이 0.26, 충주댐이 0.28로 예년 평균치에 비하여는 다소 낮은 값을 보여주었으나, 이는 2020년의 기록적인 장마로 인한 영향으로 판단된다. 또한, 소양강댐이 일정한 경향성을 보여준 것에 반하여 충주댐의 홍수유입 대비 저류체적비(α)는 0.39로 낮고 그 변동성도 상대적으로 높다. 이는 홍수조절용량과 유역면적의 차이 때문인 것으로 보인다. 충주댐을 기준으로 볼 경우, 홍수조절용량은 616백만 m^3 으로 소양강댐(500백만 m^3)의 1.2배 수준이나, 충주댐의 유역면적은 6,648 km^2 로 소양강댐(2,703 km^2)의 2.5배에 달한다. 따라서 홍수조절에 대해서는 충주댐이 소양강댐에 비하여 약 2배 정도 불리한 상황이고 이러한 특성으로 인하여 홍수유입 대비 저류체적비(α)도 소양강댐에 비하여 낮게 나타나는 것으로 보인다. 또한, Fig. 5에서 유입량 증가에 따라서 홍수유입 대비 저류체적비의 산포도도 증가하는 경향도 나타난다. 이는 기존에 댐에 저수된 저류량에 따라서 저류가능한 홍수량이 영향을 받는 것이 원인으로 판단된다. 따라서, 충주댐은 향후 좀 더 적극적으로 홍수조절을 위한 조치를 시행하여야 소양강댐과 유사한 홍수조절 효과를 기대할 수 있을 것으로 보인다.

3.3 홍수조절을 위한 댐 목표수위 산정

이전 절에서 댐의 유입·방류량 자료를 이용하여 홍수유입 대비 저류체적비(α)를 산정하는 방법론을 제안하였으며, 동시에 저류체적비(α)가 일정한 관계를 보일 경우, 댐의 홍수유입체적에 따라서 댐에 저류하여야 하는 저류 및 방류체적도 산정할 수 있을 것으로 제시하였다. 실제 적용결과(Fig. 5)를 고려하면 저류체적비(α)는 일정한 관계를 보이는 것으로 판단된다. 따라서, 홍수유입체적을 기준으로 “홍수피해가 없었던 예년수준으로 댐 홍수조절을 하기 위해서 댐에서 저류하여

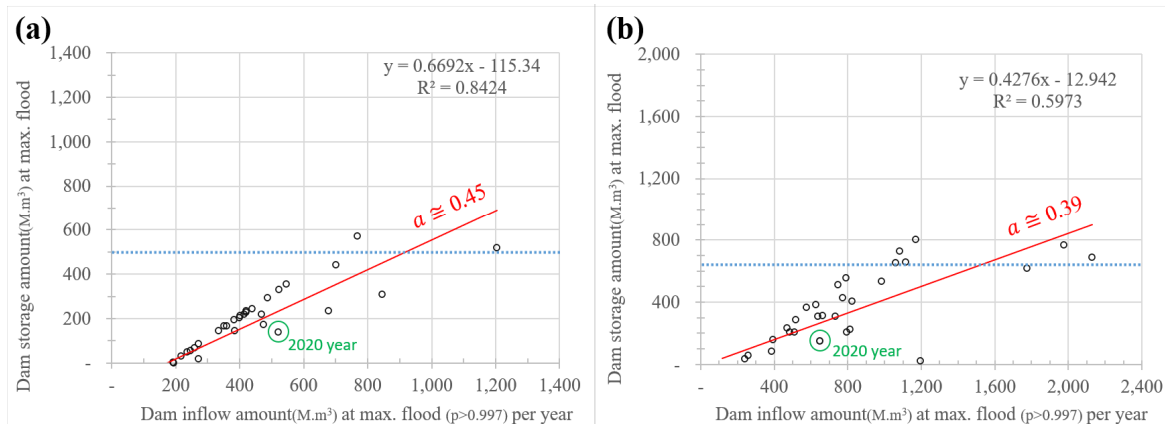


Fig. 5. Scatter plot of the ratio of storage volume to flood inflow volume at maximum flood event ($p > 0.997$) of each years: (a) Soyanggang Dam, (b) Chungju Dam; green circle indicate 2020 years flood event and blue dot line indicate flood control capacity of each dam, red line indicate regression line between storage and inflow volume of the dam, α indicate the slope of regression line, and $M.m^3$ indicate million m^3

야 하는 목표저류량'을 산정할 수 있다. 예를 들어 태풍으로 인하여 2일간 총 10억 m³의 홍수유출체적이 충주댐으로 유입 될 것으로 예상될 경우, 예년수준의 홍수조절을 위해서는 약 3.9억 m³의 유입량을 계획홍수위를 넘지 않는 수준으로 저류 하고, 하류로 6.1억 m³을 하류로 방류 하면서 대응하여야 한다.

또한, 홍수조절을 위하여 댐에서 저류하여야 하는 홍수조 절용량을 산정할 수 있으면, 댐의 수위-저수량 관계를 이용하 여 홍수조절을 위한 댐 목표수위도 산정할 수 있다. 이러한 관 계를 이용하여 Fig. 6에 소양강과 충주댐의 홍수조절을 위한 홍수조절용량 및 목표수위 산정도표를 제시하였다. Fig. 6의 도표를 이용하여 소양강 및 충주댐의 홍수조절을 위하여 사전 방류 등을 시행할 때 특정수위를 기준으로 필요한 홍수조절용 량과 그에 따른 목표수위를 산정할 수 있을 것으로 보인다.

예를 들어서, 2020년 집중호우 기간(2020.8.7. ~ 8.8.)에 섬 진강댐 상류에 내린 341 mm의 강수(Mun *et al.*, 2020)가 소양 강과 충주댐 상류에 내렸다고 가정한다. 현재, K-water에서는 홍수기 댐 상류유역의 유출율을 안전율까지 고려하여 70%로 간주하고 있다. 각 댐의 상류유역면적이 2,703 km², 6,648.0 km² 이므로 유출율 70%를 고려하면, 해당 강우에 따른 홍수유 입량은 소양강댐이 약 645.2백만 m³, 충주댐이 1,586.9백만

m³이다. 이 경우, 안전율과 지속적인 장마를 고려하여 상시만 수위를 넘지 않는 범위 내에서 홍수조절을 시행하려면 소양강 댐은 316.4백만 m³의 유입량을 일시적으로 저류하여야 하며 기존의 홍수기 제한수위인 190.0 El.m보다 1.8 m가 낮은 188.2 El.m가 목표수위가 된다. 충주댐의 경우에도 홍수조절 을 위하여 665.6백만 m³의 유입량을 일시저류 하여야 하며, 홍 수기 제한수위인 138.0 El.m보다 5.7 m가 낮은 132.8 El.m이 목표수위가 된다. 따라서, 작년과 같은 극한 강우가 발생한다 고 가정할 경우 소양강댐은 188.2 El.m, 충주댐은 132.8 El.m 까지 댐 수위를 사전에 저하시켜야 예년과 유사한 수준의 홍 수조절이 가능할 것으로 판단된다. 또한 같은 방법론을 이용 하여 태풍이나 기타 장마로 인한 집중호우가 예상될 경우 댐 의 홍수대응을 위한 사전방류 목표수위를 산정하기 위해서도 사용할 수 있을 것이다. 태풍이나 집중호우가 발생하기 이전에 기상청은 기상예보나 특보를 통하여 예상강수량을 발표한다. 본 연구에서 제안한 방법과 기상청 예상강수량을 이용하여 홍 수대응을 위한 목표수위를 설정하고 집중호우나 태풍 내습 이 전에 사전방류를 시행하여 댐 수위를 목표수위까지 저하시킨 다면 좀 더 유연하고 효율적으로 댐 홍수조절을 수행할 수 있을 것이다.

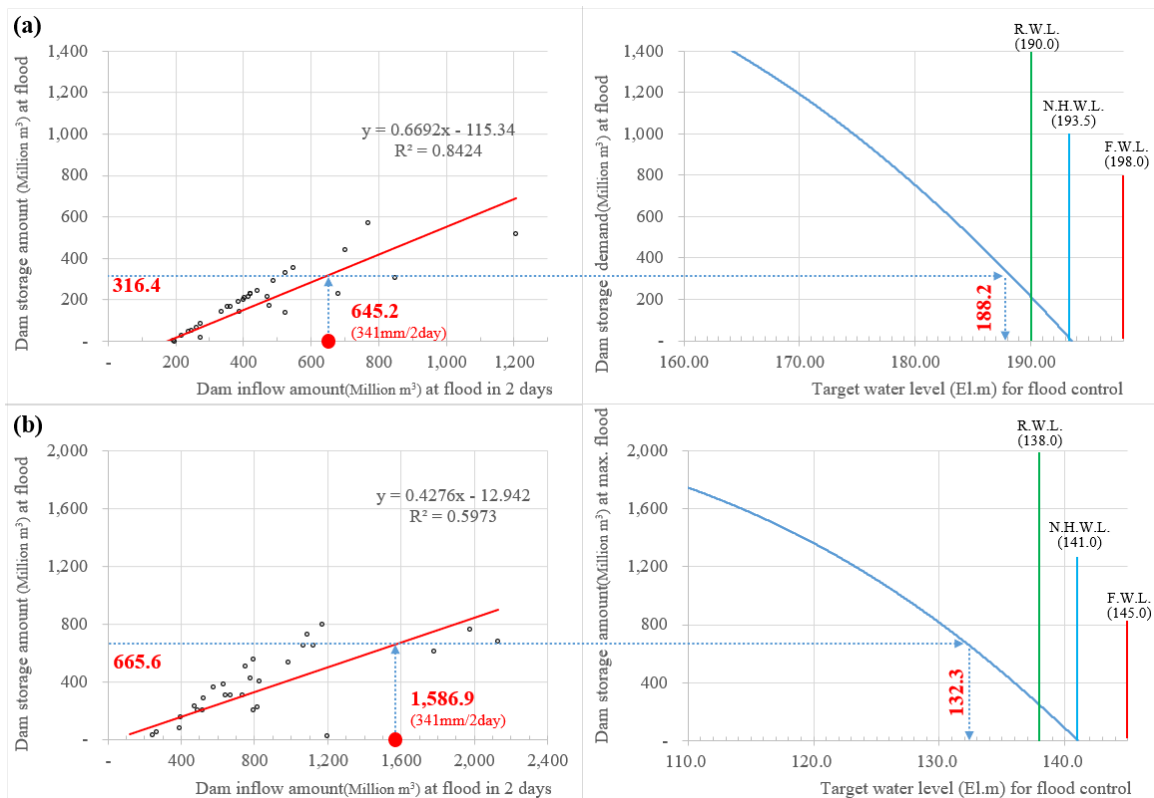


Fig. 6. Diagram to estimate flood capacity demand and target water level for flood control; (a) Soyanggang Dam, (b) Chungju Dam

본 연구의 한계는 제시한 댐의 홍수조절용량 및 목표수위 산정 방법론이 기상예보와 예상 강수량에 의존하고 있다는 점이다. 예상강수량을 기준으로 댐의 홍수조절 목표수위를 설정하였으나, 실제 강수량이 예상보다 적거나 많이 내릴 경우 귀중한 용수를 무효방류하거나, 반대로 댐의 홍수조절이 어려워질 수 있다. 따라서, 본 연구에서 제안한 방법론을 실무에서 적용할 경우에도 반드시 기상예보의 불확실성을 충분히 고려하고 추가적인 안전율을 고려하여야 할 것이다. 섬진강유역에 기록적인 피해를 입힌 집중호우가 기상예보를 벗어나는 이례적인 강우였다는 점과 댐과 하천 모두의 홍수대응이 기상예보에 따라 이루어진다는 점을 고려하면, 효율적인 댐의 홍수대응 및 사전방류를 위해서는 기상예보 및 예상 강수량의 정확도 확보를 위하여 지원과 협조를 아끼지 말아야 할 것이다. 그러나, 강수예측이 적정하게 이루어질 경우 본 연구에서 제안한 방법은 효율적인 댐 홍수조절과 사전방류를 시행하기 위한 합리적인 기준으로서 적용할 수 있을 것이다. 또한, 홍수유입 대비 저류체적비가 비선형성을 나타낼 경우, 댐 관리자를 위한 간단한 도식화가 어렵고 댐 초기수위에 따른 영향을 고려하기 어렵다는 점도 또다른 한계점으로 판단되며, 최종적으로 실무에서 활용가능한 방법론을 도출하기 위해서 지속적인 개선연구가 필요할 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 댐 관리자가 홍수조절을 위한 홍수조절용량과 목표수위를 간편하게 추정할 수 있는 방법론을 개발하였으며, 한강수계에 위치한 소양강 및 충주댐에 적용하고 그 결과를 고찰하였다. 이를 위하여, 일 단위의 댐 유입량과 방류량 계열에 빈도대응법을 적용하여 동일 재현빈도를 가지는 누적확률분포쌍으로 유도한 후 홍수유입량(I)에 대한 댐 저류체적(S) 및 방류체적(O)의 비율로 정의되는 홍수유입 대비 저류체적비(α) 관계를 유도하고 최종적으로 이를 홍수조절을 위한 댐의 홍수조절용량과 목표수위로서 산정하기 위한 도표로서 제시하였다. 세부적으로 소양강댐, 충주댐의 건설 이후부터 현재까지의 일단위 댐 유입량 및 방류량 자료에 빈도대응법을 적용하고 지속기간 2일을 가지는 연도별 최대홍수사상에 대한 홍수유입 대비 저류체적비(α)를 산정하였다. 산정결과, 소양강댐이 0.45, 충주댐이 0.39의 저류체적비로 홍수유입체적의 약 45% 및 39%를 일시 저류함으로써 홍수조절에 기여함을 제시하였다. 또한, 소양강댐에 비하여 충주댐의 홍수유입 대비 저류체적비(α)가 낮은 이유로 충주댐의 유역면

적대비 홍수조절용량이 소양강댐에 비해 불리한 것을 주요한 원인으로 제시하였으며, 그에 따라서 충주댐은 향후 좀 더 적극적으로 홍수조절을 위한 조치를 시행하여야 소양강댐과 유사한 홍수조절 효과를 기대할 수 있을 것으로 제안하였다.

또한 소양강 및 충주댐을 대상으로 기존의 연도별 최대홍수사상의 홍수유입 대비 저류체적비 관계를 이용하여 홍수조절을 위한 목표수위를 추정하기 위한 도표를 제시하였다. 제안된 도표를 이용하여 태풍이나 기타 장마로 인한 집중호우가 예상될 경우 댐의 홍수대응을 위한 사전방류 목표수위를 간편하게 추정하기 위한 참고자료로 활용할 수 있을 것으로 보인다. 따라서, 기상청의 예보-특보를 통한 예상강수량을 근거로 하여 댐 홍수대응을 위한 목표수위를 설정하고 사전방류 등을 통하여 수위를 저하시킨다면 탄력적으로 댐 홍수조절을 수행할 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 본 연구에서 제시한 방법론은 강수예측의 신뢰성에 따라서 대응의 효율성이 결정되므로 반드시 기상예보의 불확실성과 추가적인 안전율을 고려하는 등의 신중한 고려가 필요할 것이다.

References

- Hawkins, R.H., Ward, T.J., Woodward, D.E., and Van Mullem, J.A. (2008). *Curve number hydrology: State of the practice*. American Society of Civil Engineers, Reston, VA, U.S.
- Hjelmfelt, Jr, A.T. (1983). "Curve numbers: A personal interpretation." *Proceedings of the Specialty Conference on Advances in Irrigation and Drainage*, ASCE, Jackson, WY, U.S. pp. 208-215.
- Hjelmfelt, Jr, A.T., Kramer, L.A., and Burwell, R.E. (1982). "Curve numbers as random variables." *Rainfall-Runoff Relationship*, Edited by Singh, V., Vol. 1, Water Resources Publications, Littleton, C.O., pp 365-370.
- Hwang, S.H. (2012). *Impacts of reservoir dam heightening on downstream flood alleviation*. Ph. D. dissertation, Seoul National University, pp. 45-123.
- Jamieson, D.G., and Wilkinson, J.C. (1972). "River dee research program: 3. A short-term control strategy for multipurpose reservoir systems." *Water Resources Research*, Vol. 8, No. 4, pp. 911-920.
- Jung, Y., Kim, N.W., and Lee, J.E. (2015). "Dam effects on spatial extension of flood discharge data and flood reduction scale II." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 48, No. 3, pp. 221-231.
- Kang, M.G., Cai, X., and Koh, D.K. (2009). "Real-time forecasting of flood discharges upstream and downstream of a multipurpose dam using grey models." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 42, No. 1, pp. 61-73.
- Kang, T. Lee, S., and Choi, S. (2014) "A study for flood control of

- Namgang Dam with flood guide curve in flood event.” *Korean Review of Crisis & Emergency Management*, Vol. 10, No. 12, pp. 77-92.
- Kim, J.Y., and Jo, H.S. (2015). “A study of reservoir operation method for water usage management.” *Water for Future*, Vol. 48, No. 8, pp. 38-54.
- Kim, S.H., and Kim, J.S. (2013). “Effect of Chungju Dam operation for flood control in the upper Han River.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 33, No. 2, pp. 537-548.
- Kim, Y.T., Park, M., and Kwon, H.H. (2020). “Spatio-temporal summer rainfall pattern in 2020 from a rainfall frequency perspective.” *Journal of Korean Society of Disaster and Security*, Vol. 13, No. 4, pp.93-104. doi: 10. 21729/ksds.2020.13.4.93
- K-water (2021a). My water, accessed on 25 May 2021, <<https://www.water.or.kr>>
- K-water (2021b). K-water corporation, accessed on 24 May 2021, <<https://www.kwater.or.kr>>
- Lee, G.J., Park, K.W., Jung, Y.H., Jung, I.K., Jung, K.W., Jeon, J.H., and Lim, K.J. (2013). “Analysis of flood control effects of heightening of agricultural reservoir dam.” *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 55, No. 4, pp. 83-93.
- Lee, J.H., Lee, J.K., Kim, T.W., and Kang, J.Y. (2011). “Comparative study on calculation method for design flood discharge of dam.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 44, No. 12, pp. 941-954.
- Li, J., Du, J., and Chen, C.J. (2015). “Applications of “frequency matching” method to ensemble precipitation forecasts.” *Meteorological Monthly*, Vol. 41, No. 6, pp. 674-684.
- Ministry of Environment (ME) (2019). *The regulations of connected operation for dam and weir*, ME 1348. (in Korean)
- Ministry of Environment (ME) (2021). Water resources management information system. accessed on 28 May 2021, <<http://www.wamis.go.kr>>
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2019). *The standard for dam design*, MOLIT 2019-1656. (in Korean)
- Mun, J.J., Gang, S.U., and Lee, J.J. (2020). “An assessment of rainfall in Korean peninsula on 2020 year flood.” *Water for Future*, Vol. 53, No. 10, pp. 135-143.
- Ro, Y., and Yoo, C. (2014). “Applicability evaluation of probability matching method for parameter estimation of radar rain rate equation.” *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 34, No. 6, pp. 1765-1777.
- Shim, M.P., Kwon, O.I., and Kim, K.T. (1998). “Flood control effects of Hwacheon Dam in connection with Peace Dam 1. A review of flood control capacity of Hwacheon Dam.” *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 18, No. 2-2, pp. 163-172.
- Shin, H., Lee, J., and Cho, E. (2019). “Evaluation of the current and potential flood storage effect.” *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, p. 389.
- Shultz, G.A., and Plate, E.J. (1976). “Developing optimal operation rules for flood protection reservoir.” *Journal of Hydrology*, Vol. 28, pp. 245-265.
- Yang, C., Yuan, H., and Su, X. (2020). “Bias correction of ensemble precipitation forecasts in the improvement of summer stream-flow prediction skill.” *Journal of Hydrology*, Vol. 588, 124955. doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.124955
- Zhu, Y., and Luo, Y. (2015). “Precipitation calibration based on the frequency-matching method.” *Weather and Forecasting*, Vol. 30, No. 5, pp. 1109-1124.