

누가침수면적곡선을 이용한 댐 저수구역의 침수특성 평가

이문석·유철상[†]

고려대학교 건축사회환경공학부

Evaluation of Flooding Characteristics of Dam Reservoir using Cumulative Flooding Area Curve

Munseok Lee·Chulsang Yoo[†]

School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seoul, Korea
(Received : 26 July 2022, Revised : 14 December 2022, Accepted : 9 January 2023)

요약

저수지 홍수터는 댐 저수지에 자연스럽게 형성되는 계획홍수위와 상시만수위 사이의 토지를 의미한다. 광범위하게 분포된 홍수터는 경작을 포함한 다양한 형태로 훼손되어 왔다. 훼손된 홍수터를 일거에 복원하는 것은 현실적으로 어려우며, 이에 따라 복원 우선순위를 결정하는 방법이 제시되고 있다. 이 과정에는 다양한 인자가 고려되며, 그 중 홍수터의 수문특성으로 침수일수(또는 침수빈도)가 있다. 하천 홍수터의 경우는 동일한 하천에서도 홍수터마다 다른 침수빈도를 보이지만, 댐 저수지의 홍수터는 모두 동일한 침수빈도를 가져 차별성을 확보하기 어려운 문제가 있다. 이에 본 연구에서는 누가침수면적곡선을 이용하여 댐 홍수터의 수문특성을 차별화하는 방법을 제시하였다. 누가침수면적곡선은 댐 저수지 수위 상승에 따라 침수되는 누가면적을 나타낸 곡선이며, 본 연구에서는 특히 누가침수면적의 비율이 30%, 50%, 70%가 되는 수위를 기준으로 침수빈도를 평가하였다. 본 연구에서는 낙동강 수계 안동, 임하, 영주, 남강 등 4개 댐에서 기 결정된 각 5개의 복원후보 홍수터를 적용사례로 고려하였다. 분석 결과, 누가침수면적곡선은 홍수터의 전반적인 형태(급경사-완경사 혹은 완경사-급경사)를 잘 반영해 줌을 확인할 수 있었다. 또한, 누가침수면적의 비율이 30%, 50%, 70%에 해당하는 침수빈도는 홍수터의 수문특성을 정량화하여 파악하는데 효율적임을 판단할 수 있었다.

핵심용어 : 누가침수면적곡선, 댐 저수지, 홍수터, 침수빈도

Abstract

Floodplain in a reservoir is defined as the area naturally formed between the design flood level and the normal pool level. Located around the dam reservoir, floodplain has been damaged in many different ways including cultivation. As it is impossible to restore all the damaged floodplain at once, it is necessary to determine their order of priority. This process considers various factors, among which the flooding frequency is an important hydrologic characteristic. Different from the floodplains in a river, all the floodplains around the given dam reservoir have the same flooding frequency. To overcome this problem, this study proposes to use the cumulative flooding area curve, which represents the cumulative flooding area corresponding to the reservoir water level. Especially, this study evaluates the flooding frequency of those water levels corresponding to the cumulative flooding area of 30%, 50% and 70%. As application examples, this study considers the five restoration candidates each selected in the Andong Dam, Imha Dam, Youngju Dam and Nam river Dam of the Nakdong River Basin. As a result, the cumulative flooding area curve was found to well represent the overall shape of the floodplain (i.e., steep-to-mild slope or mild-to-steep slope). Also, the flooding frequency of those water levels corresponding to the cumulative flooding area of 30%, 50% and 70% was found to be so effective to quantify the hydrologic characteristics of a floodplain.

Key words : Cumulative flooding area curve, Dam reservoir, Floodplain, Flooding frequency

[†]To whom correspondence should be addressed.

School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seoul, Korea
E-mail: envchul@korea.ac.kr

• Lee, Munseok School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seoul, Korea / Ph.D. Candidate (ans918@korea.ac.kr)
• Yoo, Chulsang School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seoul, Korea / Professor (envchul@korea.ac.kr)

1. 서 론

하천에서는 계획홍수위(design flood level) 이하 평수위(ordinary water level) 이상에 위치하는 공간을 둔치부, 고수부지, 또는 홍수터라 부른다. 이 공간은 홍수가 발생하였을 때 물이 범람하여 침수될 수 있는 지역이기도 하다(Kim and Shim, 2007). 하천에는 자연적으로 다양한 홍수터가 형성되지만, 많은 홍수터는 하천 제방으로 분리되어 하천구역 밖에 위치하게 되고, 농경지나 주거지로 개발되어 왔다.

댐의 경우에는 상시만수위(normal pool level)와 계획홍수위 사이의 공간을 홍수터라 부른다(K-water, 2021). 댐 건설로 인해 만들어진 홍수터는 하천의 홍수터와 다르면서도 유사한 특성을 보인다. 하천에서와 달리 댐 저수지의 경우는 인위적으로 수위조절이 이뤄져 홍수터의 침수빈도가 하천에 비해 낮다. 실제로는 상시만수위로 수위가 유지되는 경우도 적어 홍수터가 넓게 오랫동안 노출되는 특성이 있다. 댐 저수지 주변에는 제방이 만들어지는 경우도 적다. 즉, 보전되어야 할 댐 저수구역에 대한 경계가 불분명하다. 영농이 가능한 홍수터의 경우는 당연히 훼손의 가능성이 클 수밖에 없으며, 특히 감시가 느슨한 경우에는 이러한 행위가 고착화되는 경향이 있다(Kim et al., 2009). 댐 수몰민 수익 보전 등 지역주민과의 마찰을 줄이기 위하여 이러한 홍수터 내에 다양한 형태의 경작을 허용해 주고 있는 경우도 있다(GRWMC, 2019; Bahn, 2021).

댐 홍수터와 수변공간은 물과 맞닿아 홍수 조절은 물론 비점오염원 저감, 생물서식처 제공 등 복합적 기능이 크다. 그러나 하천 및 댐 수변의 다원화된 관리체계, 광범위한 면적으로 인해, 무단점용이나 사용에 대한 관리의 어려움이 있는 것이 사실이다. 그 중 상당수가 특히 불법적인 농업에 이용되고 있다. 이런 경작 활동에 기인한 비점오염원은 저수지 수질오염 및 부영양화의 원인으로 작용할 수 있다(Heo et al., 1998; Chung and Chung, 2003; KEI, 2006; Choi et al., 2020; K-water, 2021). 이는 결과적으로 상수원 수질보전에 영향을 미치며 보호종 서식처의 축소, 생태계위해종의 이상 번식 등의 부작용을 가져올 수 있다(K-water, 2019).

훼손된 홍수터의 복원은 크게 수질개선과 생태축 복원을 목적으로 한다(Kim et al., 2008; Han et al., 2009). 기본적으로 주변 농경지로부터의 비점오염원 유입은 저수지 수질에 가장 큰 영향을 미치는 요인이다. 이들 훼손 지역을 복원함으로써 비점오염원을 일차적으로 줄일 수 있다. 복원된 홍수터는 추가로 주변 농경지역에서의 비점오염원 유입의 차단 또는 완충지의 역할을 할 수도 있다. 습지형태로 복원되는 경우 수질개선의 효과도 일정부분 기대할 수 있다(Kim and Kim, 2011; Kiedrzyńska et al., 2015). 홍수터 복원을 통해 육상-수상의 생태 축 복원을 기대할 수도 있다. 육상과 수상 생태계는 훼손된 홍수터에서 단절되므로 이를 복원함으로써 홍수터의 생태적 기능을 강화하기도 한다. 환경부의 수변 생태벨트 조성도 유사한 목적을 가진 사

업이다(GRWMC, 2018; NRWMC, 2018; YSRWMC, 2018; HRWMC, 2018). 당초 환경부의 수변생태벨트 조성 사업은 그 영역이 홍수터를 포함하고 있지 않았지만 동일한 목적으로 추진되었던 사업이다. 훼손된 홍수터 복원과 수변 생태벨트를 연결할 경우 추가의 시너지 효과도 기대할 수 있다.

여러 가지 현실적인 이유로 훼손된 모든 홍수터를 일거에 복원할 수는 없다. 따라서 적절한 방법으로 우선순위를 결정하고 순차적으로 추진하게 된다. 이와 관련된 연구가 많지는 않으나, 최근 수행된 몇 가지 사례를 확인할 수 있다. 먼저, 낙동강유역환경청(NRWMC, 2014)에서는 낙동강 수계를 266개 소유역으로 구분한 후 다양한 GIS 자료를 활용하여 12개 지점의 복원후보지를 선정하 바 있다. K-water (2020), Bahn(2021)에서는 다양한 GIS 자료를 활용한 보전가치평가 및 제내·외지 연계 평가를 통해 복원후보지를 선정하는 방법을 제시하였다. 제시한 방법을 낙동강 수계에 적용하여 복원후보지 총 20개소를 도출하기도 하였다(K-water, 2021).

복원대상 홍수터를 선정하는 과정에 다양한 특성이 고려된다(Choe, 2010; K-water, 2020; Bahn, 2021). 수질, 생태는 물론 수문학적 특성 등이 고려한다. 수문학적 특성으로 대표적인 것이 침수빈도이다. 침수빈도는 기본적으로 침수가 얼마나 빈번하게 발생하느냐를 정량화한 것으로 침수일수, 침수율 등으로 표현된다(Seo, 2002; K-water, 2000; MLIT, 2019; K-water, 2020; Bahn, 2021). 이러한 침수빈도는 복원후보 홍수터의 복원 및 복원 후 유지가능성을 판단하는 지표로 사용된다. 간단히, 침수빈도가 큰 후보지는 복원 상태를 유지하기 어려워 배제될 가능성이 크다. 그러나 하천과는 달리 댐 저수지의 모든 홍수터는 침수빈도가 동일하다는 문제점이 있다. 즉, 댐 수위의 변동은 모든 홍수터에 대해 동일하게 적용되므로 상시만수위에서 계획홍수위 사이의 댐 저수지 홍수터 침수는 동일하게 발생하는 것이다. 즉, 하천에 적용된 침수빈도를 댐 저수지에 그대로 적용하는 것은 무리이다.

홍수터의 복원을 목적으로 하는 침수빈도 산정과 관련된 연구는 찾아보기 어렵다. 저수지의 침수와 관련된 연구로 국외 사례를 살펴보면, 주로 홍수위험 저감(Jacobson et al., 2015; Gourevitch et al., 2020), 홍수터 복원의 수문학적 영향(Acreman et al., 2003; Ahilan et al., 2018)을 살펴보는 연구가 이루어진 바 있다. 국내에서는 특정 작물의 생육 및 수량에 침수일수가 미치는 영향을 살펴보거나(Choi, 1983; Kim et al., 1999), 저수지 수변 식생의 건강성 평가(Kim and Koo, 2016) 등과 관련된 연구가 수행된 바 있다. 이와 같이 저수지 홍수터의 특성을 고려한 침수일수 산정과 관련된 연구는 미진한 실정이다.

본 연구에서는 훼손된 댐 홍수터의 복원후보 선정과정에 고려되는 수문특성(즉, 침수빈도)을 댐 저수지에 적용할 수 있도록 보완하여 제시하고자 한다. 단순하게 홍수터의 침수를 고려하는 침수빈도에서 벗어나 홍수터의 지형적 특성이

반영되는 형태로 수문특성을 정량화 해 보고자 한다. 즉, 댐 수위의 변동에 따라 홍수터의 침수면적이 어떻게 침수되는지를 파악해 보는 것이 본 연구의 목적이다. 본 연구는 낙동강 수계 4개 댐(안동댐, 임하댐, 남강댐, 영주댐)의 각 5개 복원 후보 홍수터로 대상으로 하였다(K-water, 2021). 홍수터의 지형적 특성은 수지표고모형(DEM)을 활용하여 정량화하였다.

2. 복원 대상 홍수터의 선정 과정과 홍수터의 침수빈도 특성

2.1 복원 대상 홍수터의 선정 과정

훼손된 홍수터 전체를 복원한다고 해도 이를 일시에 진행하는 것은 어려우므로 우선순위를 정하여 순차적으로 진행할 수밖에 없다. 그러나 복원 우선순위를 결정하는 것도 단순한 일은 아니다. 복원을 통해 얻고자 하는 이득이 다양하기 때문이다. 기본적으로 생태보전가치가 큰 경우를 우선시하지만, 호소 수질개선에의 기여도 매우 중요한 고려 인자이다. 인근에 수변생태벨트 조성을 위한 매수 토지가 있는 경우 시너지 효과를 기대할 수 있다는 점도 고려된다. 주변에 연계 가능한 관광자원이 있을 경우에는 지역 사회에 경제적 기여가 가능한 복원 사업이 될 수도 있다. 이러한 다양한 측면을 체계적으로 적용하여 우선순위를 도출하는 것이 무엇보다 중요한 일임은 자명하나, 아직까지 홍수터 복원에 보편적으로 적용할 방법론은 아직 존재하지 않는다.

유사한 경우로서 수변생태벨트 조성 적지 선정에 적용되는 방법론을 참고할 수 있다(NWRMC, 2014; K-water, 2020). 이중 K-water에서 발간된 가이드라인(2020)을 살펴보면, 적지 선정은 총 4단계 과정을 거치며 수행되는 것으로 나타난다(Fig. 1 참고). 1단계는 보전가치평가로서 보전이 우선적으로 복원이 필요한 대상지를 선별해 내는 과정이다. 2단계에서는 시범사업 적지분석을 수행한다. 수리,

수문 및 환경, 수질, 생태 등 대상지의 다양한 특성을 종합적으로 고려하여 대상지의 사업 우선순위를 결정하는 과정이다. 3단계에서는 제내지-제외지 연계 등 현장 상황을 구체적으로 반영하여 최종 대상지를 결정하게 된다. 마지막으로 4단계에서는 구체적인 수변생태벨트 조성 및 관리 방안 등이 제시되게 된다.

2.2 홍수터의 복원 형태

홍수터 복원의 형태를 일률적으로 제시하는 것은 어렵다. 본 연구에서는 기존 문헌에서 제시한 여러 형태 중 대표적인 사례를 간단히 정리해 보고자 한다. 먼저, 낙동강유역환경청(2018)에서는 크게 경관성, 생태성, 이용성을 고려하여 홍수터의 복원 형태를 제시하고 있다. 경관성에서 생태적 연속성을 확보하고, 생태성에서 홍수터의 실질적 기능을 증진시키며, 이용성에서 교육 및 체험공간으로서의 기능을 갖게 하는 것을 목표로 한다. 이를 바탕으로 홍수터의 복원 유형으로 교육홍보형, 생태복원형, 장기적 하천생태계 복원형 등을 제시하고 있다.

교육홍보형은 수생식물원, 생태관찰대, 경관생태숲 등 생태계 복원 및 비점오염원을 저감하는 기능을 갖는 습지를 주변 문화자원과 연계한 형태이다. 자연마당, 생태탐방로 등 교육 및 체험을 위한 이용 시설을 포함시키기도 한다. 생태복원형은 비점오염물질 저감을 위한 수질정화습지가 대표적이다. 습지가 생물서식공간으로서의 기능을 수행하도록 구상한 것이다. 이 복원형은 오염원 유입부에서부터 습지의 깊이를 다양하게 조성하여 생물서식기능을 높이는 특징을 갖는다. 아울러, 습지추이대, 생태숲, 차폐완충숲 등 생물서식기능 확대를 위한 공간을 추가하기도 한다. 마지막으로, 장기적 하천생태계 복원형은 하천의 생태적 복원과 연계한 통합적 복원계획이다. 이 복원형은 비점오염원에 대한 처리기능과 하천과의 생태적 연속성 확보에 중점을 둔다. 침강지, 침전지를 이용한 수질정화 및 생물서식 기능을 갖추고, 추이대, 차폐림 등의 조성 및 인접한 보, 제방의 철거를 통해 생태계가 연결되도록 구상된다.

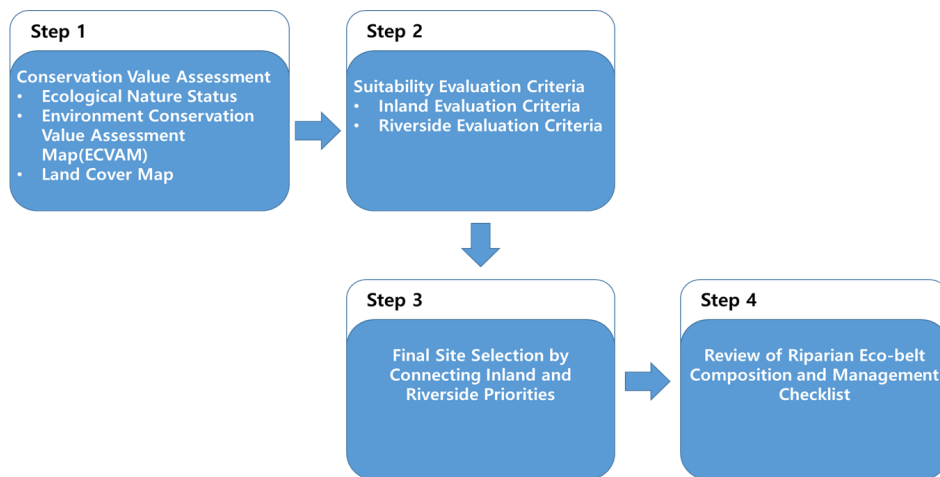


Fig. 1. Suitable site selection process for riparian eco-belt (K-water, 2020)

한국환경정책평가연구원(KEI, 2011)에서도 홍수터 복원에 적용할 만한 사례를 다양하게 제시하고 있다. 홍수터가 물과 육지 사이의 습지 지역에 해당하므로 그 명칭이 모두 습지로 되어 있다는 특징이 있다. 제시된 형태는 자연체험형 습지, 논습지, 호안 자연습지, 천변저습지 등이다. 먼저, 자연체험형 습지는 도시화 구간에 도입할 수 있는 형태이다. 자연체험형 습지는 도로, 제방, 홍수터, 하천으로 연결되는 식생구조의 보존 및 개선을 통해 생태적 이용을 연계한 것이 특징이다. 복원된 구간에 접근로를 조성하여 자연체험이 가능하도록 허용하나, 야생동물 서식공간과 산책 동선은 분리하여 생물 서식에 지장이 없도록 최소한의 체험 학습만을 허용한다. 다음으로, 논습지는 하천 주변의 논을 묵논화시켜 자연천이로 인한 습지화를 유도한 경우이다. 이렇게 형성된 묵논 습지는 인근 지역의 다양한 곤충 및 조류의 서식처를 제공하여 생물 다양성 증진의 공간으로 활용될 수 있다. 인근 산림 및 식생 벨트와 하천으로의 자연천이 과정을 관찰하고 학습할 수 있는 공간으로 조성할 수도 있다.

호안 자연습지는 대상지에 넓게 발달되어 있는 사주와 호안의 식생을 보존하고, 다양한 어종의 서식환경 조성하며, 이를 먹이로 하는 조류의 서식공간 보존 및 재창출을 가능하게 한다. 호안 식재를 통해 조류의 위요공간을 조성하고 다양한 수심 및 수변식재를 통해 어류의 산란처를 형성하여 종다양성 증진을 유도할 수 있다. 필요하다면, 하천변에는 인간의 접근을 배제하여 야생조류의 서식, 휴식을 위한 사주, 횃대 등의 쉼터를 조성할 수 있다. 마지막으로, 천변저습지는 기단부가 세굴로부터 보호된 호안부에 갯버들, 갈대 등을 식재하여 생장에 따른 자연적인 경관을 창출할 수 있고, 다양한 종류의 식생이 자연발생이 가능하여 생물종 다양성을 높일 수 있는 공법이다. 또한, 생물에 의한 서식

환경을 창출하여 자연적으로 하천변을 복원할 수 있는 공법이기도 하다.

2.3 홍수터의 침수빈도 특성

홍수터의 침수빈도는 년 중 침수되는 일수로 정의된다. 하천의 경우에는 하천 단면의 규모나 형태, 하천의 흐름특성에 따라 다른 침수빈도를 가진다. 지역에 따른 기후특성의 차이로 다른 침수빈도를 보이기도 한다. 댐의 경우에는 댐 운영이 댐 저수지 수위에 영향을 미치므로, 하천과는 다른 침수빈도를 보인다. 단순하게 상시만수위 이상의 수위가 만들어 질 경우를 홍수터 침수로 정의하면, 동일한 댐 저수지의 홍수터는 모두 같은 침수빈도를 갖는다.

침수빈도가 높은 홍수터에서는 새로 조성한 식생이 생존할 가능성이 낮다. 하천의 경우에는 홍수터가 침수되는 경우에도 침수가 지속되는 시간이 오래 유지되는 경우가 드물다. 하천 홍수터에 식생이 자연스럽게 번성하는 이유이기도 하다. 침수빈도가 낮을수록 홍수터 복원의 성공 가능성이 커지는 것이다. 그러나 댐 저수지의 경우에는 하천과는 다른 특성이 있다. 일단 홍수터 자체의 침수빈도가 낮다. 실제로는 홍수터 이하의 수위(즉, 상시만수위 이하)로 유지될 가능성이 크며, 또한 상당기간 그 수위가 유지될 가능성도 크다. 댐 저수지 주변으로 식생이 전혀 없는 때 모양의 영역이 발견되는데, 이는 이러한 댐 저수지의 특성이 반영된 결과이다.

댐 저수지 홍수터의 복원 우선순위를 결정하기 위해 이러한 침수빈도를 고려하는 것은 합리적이지 못하다. 하천에서와는 달리 동일한 빈도를 보일 수밖에 없기 때문이다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 보완하기 위해 홍수터의 형상을 반영한 침수빈도를 제안하고자 한다. 즉, 수위에 따른 침수면적을 고려하는 방식이다. 즉, 홍수터의 침수 자체가

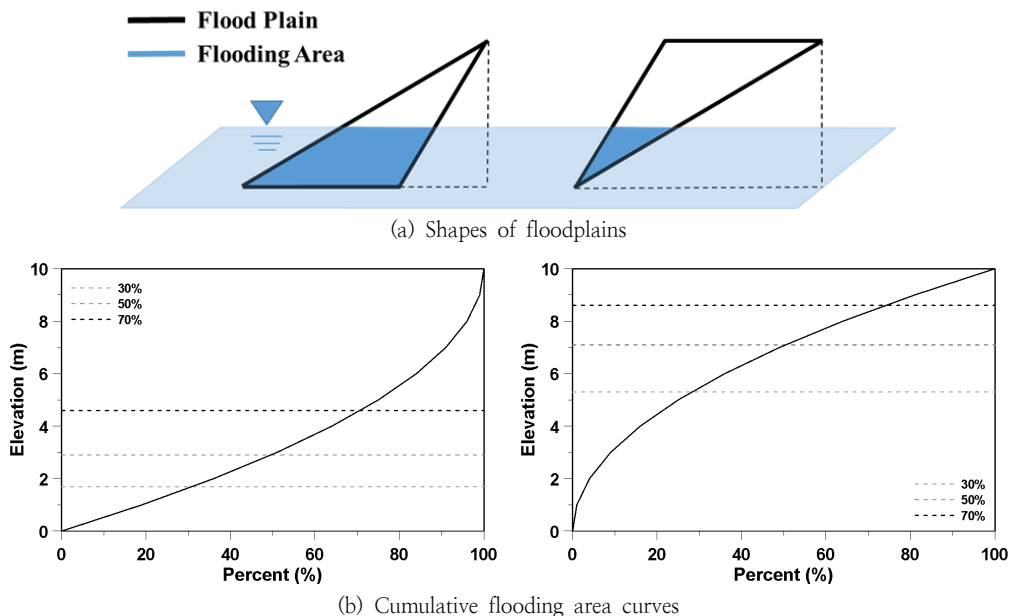


Fig. 2. Comparison of two floodplains with their cumulative flooding area curves

아니라 침수 시 상대적인 침수면적을 고려하는 것이다. 본 연구에서는 이를 누가침수면적곡선으로 정량화할 것이다. 누가침수면적곡선은 홍수터의 형상(모양, 경사 등)에 따라 다양하게 나타날 수 있다. 침수 발생 시 수위가 높아짐에 따라 누가침수면적비가 급격하게 커지는 경우는 홍수터 대부분의 면적이 쉽게 침수된다는 것을 의미한다. 따라서 홍수터의 복원가능성이 작아지게 된다. 반대로 누가침수면적비가 작다면 같은 수위에서도 침수되는 정도가 작다는 것을 의미하며, 홍수터의 복원가능성은 더 크다고 판단할 수 있다. 예를 들어, 다음과 같은 동일한 경사, 동일한 면적의 삼각형과 역삼각형 두 개의 홍수터를 비교하면 그 차이가 명확해 진다(Fig. 2). 삼각형 홍수터의 경우에서 침수 발생 시 침수면적비가 크게 증가하고, 따라서 복원에 불리한 조건이 되는 것이다. 반대로 역삼각형 홍수터의 경우는 침수 발생 시 상대적 침수면적이 작게 나타나고, 이는 홍수터 복원에도 유리한 특성이 되는 것이다.

홍수터의 형상이 단순하다면 위 예와 같이 누가침수면적곡선의 형태도 전형적(typical)이며, 따라서 이에 대한 평가 및 판단이 간단할 수 있다. 그러나 홍수터의 비정형적인 모양과 경사 분포로 인해 누가침수면적곡선의 형태가 매우 다양하게 나타난다. 이에 본 연구에서는 누가침수면적 30, 50, 70%에 해당하는 수위를 구하고, 이를 기준으로 침수빈도를 파악하였다. 누가침수면적곡선의 형태에 따라 이 세 가지 수위는 크게 달라지며, 따라서 이를 기준으로 한 침수빈도가 매우 다르게 나타난다. 누가침수면적 30, 50, 70%는 본 연구에서 임의로 선택된 것이기는 하지만, 여러 적용 사례를 통해 홍수터의 누가침수면적곡선을 대표하는 값으로 크게 무리가 없음을 확인하였다. 본 연구에서는 이들 세

가지 수위에 대한 침수빈도를 이용하여 각 홍수터의 수문 특성을 차별화하여 정량화하였다.

3. 대상지역 및 자료

본 연구에서는 낙동강 수계의 안동댐, 임하댐, 남강댐, 영주댐 등 4개 댐 저수지 주변 홍수터를 대상지역으로 고려하였다(Fig. 3). 낙동강 유역은 한반도 동남쪽에 위치하며, 북쪽으로는 한강 유역, 서쪽으로는 금강 및 섬진강 유역과 접하는 우리나라 제2의 유역이다. 낙동강 유역의 면적은 23,384.2 km²이며, 유로연장은 510.4 km 이다(NWRMC, 2022).

참고로, 안동댐 유역은 낙동강 수계의 상류인 북동쪽에 위치하고, 낙동강 본류가 유입된다. 안동댐 유역은 면적이 1,584.0 km², 유로연장은 169.6 km이며, 유역경사와 하도경사는 각각 0.1932, 0.0099이다. 임하댐 유역은 낙동강수계의 상류에 위치하며, 낙동강의 제1지류인 반변천이 유입된다. 임하댐 유역은 면적이 1,361.0 km²이며, 유로연장은 88.5 km, 유역경사와 하도경사는 각각 0.1809, 0.0123이다. 남강댐 유역은 낙동강 수계 남서쪽에 위치하며, 남강이 유입된다. 남강댐 유역은 면적이 2,285.0 km²로 대상 댐 중 유역면적이 가장 크다. 남강댐 유역의 유로연장은 105.8 km이고, 유역경사와 하도경사는 각각 0.1739, 0.0177 이다. 마지막으로 영주댐 유역은 낙동강 수계 북쪽에 위치하며, 내성천이 유입된다. 영주댐의 유역면적은 496.7 km², 유로연장은 56.9 km, 유역경사와 하도경사는 각각 0.1327, 0.0222이다.

본 연구에서의 연구대상 홍수터는 K-water(2021)에 제

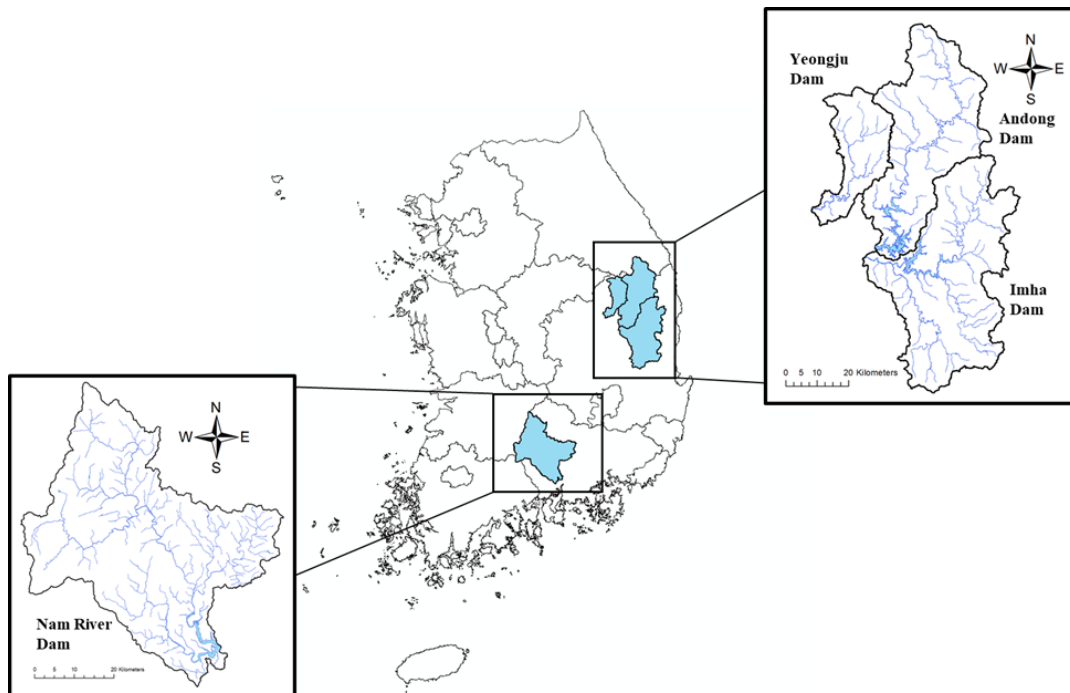


Fig. 3. Location of four major dams and their basins within the Nakdong River Basin

시된 낙동강 수계 4개 댐의 각 댐별 5개의 복원후보 홍수터이다. 복원후보 홍수터는 댐 저수지 주변을 소유역보다 세분화된 소단위 유역으로 구분한 후, 이들 소단위 유역의 홍수터를 총 2단계의 평가를 거쳐 선정된 것들이다. 1단계 평가에서는 수질 및 생태학적 평가를 통해 훼손된 정도가 심한 홍수터를 선정하였고, 2단계 평가에서는 1차적으로 선정된 홍수터 중 조성효율성 및 사업가능성이 큰 홍수터가 선정되었다. 각 댐별로 선정된 복원후보 홍수터는 기본적으로 농지의 비율이 높은 것이 특징이며, 초지의 비율도 상대적으로 높다. 이들 홍수터의 특성은 Table 1과 같다.

당초 홍수터는 상시만수위와 계획홍수위 사이의 공간을 지칭하였으나, 실제로 댐은 상시만수위 이하의 공간도 장기간 노출되어 농경지 등으로 훼손되는 경우가 일반적이다. 이에 K-water(2021)에서는 복원 대상 지역을 홍수터뿐만 아니라 상시만수위 아래 복원사업이 필요한 공간까지로 확대하는 방안을 제시하였다. 이에 본 연구의 대상 홍수터도 상시만수위 아래 복원사업이 필요한 영역을 모두 포함한다. Fig. 4는 본 연구의 대상 소단위유역과 복원후보 홍수터의 위치를 나타낸다.

본 연구에서는 이들 홍수터의 침수빈도 분석을 위해 수치표고모형(DEM)과 댐 저수지의 일 수위 자료를 이용하였다. 사용한 DEM의 해상도는 수평 5 m, 수직 1 m이다. DEM을 이용하여 각 홍수터의 표고별 누가면적, 즉 누가침

수면적곡선을 도출하였으며, 이는 다시 주어진 댐 수위에 해당하는 침수면적을 계산하는데 사용되었다. 댐의 일 수위 자료는 2012년부터 2021년까지 총 10개년의 자료이다 (<https://www.wamis.go.kr>). 다만, 영주댐은 2016년에 완공되어 이후 관측된 6개년의 수위자료(2016년 ~ 2021년)를 이용하였다. 영주댐 유역의 경우는 완공 후 시험 담수 및 방류를 거치고 있으므로 다른 댐의 경우와는 달리 정상적인 댐 운영상황을 나타낸다고 보기는 어렵다.

Fig. 5는 댐별 일 수위자료의 시계열 그림을 나타낸다. 이 그림에서 진한 점선은 계획홍수위(Flood Water Level, F.W.L.)를, 흐린 점선은 상시만수위(Normal Water Level, N.W.L.)를 나타낸다. 남강댐의 경우를 제외하면 상수만수위를 초과하는 수위가 거의 기록되고 있지 않음을 알 수 있다. 즉, 안동, 임하, 영주 댐의 경우에는 상시만수위 이하 영역의 훼손 가능성이 크다는 것을 나타낸다. 안동댐의 경우는 2016년 이후로 댐 수위의 꾸준한 상승 경향을 살펴볼 수 있으나, 임하댐의 경우는 뚜렷한 경향을 보이지 않는다. 남강댐의 경우는 상시만수위 위/아래로 수위변동이 극심하게 나타나는데, 이는 댐 유역의 크기에 비해 댐의 규모가 작아 홍수조절이 상당히 어렵다는 것을 보여주는 증거이기도 하다. 영주댐의 경우는 신규로 건설된 댐으로 아직 정상적인 댐 운영을 보여주고 있지는 못하다. 영주댐의 수위자료에서는 우리나라의 뚜렷한 계절성도 확인하기 어렵다.

Table 1. Basic information of five candidate floodplains selected at each dam for restoration

Dam	Floodplain number	Area (m ²)	Slope (%)	Landcover (%)					
				Cropland	Grassland	Bare area	Wetland	Forest	Etc. (Water bodies, Drylands)
Andong	1	332,433	3.2	84.8	7.8	2.5	-	-	-
	2	132,673	3.1	59.0	-	10.6	15.9	-	-
	3	773,975	3.5	93.8	2.4	-	1.6	-	-
	4	513,837	3.8	73.5	12.8	-	4.5	-	-
	5	293,184	5.1	88.7	3.3	-	4.1	-	-
Imha	1	306,381	3.9	80.3	3.8	-	10.1	-	-
	2	211,138	2.2	70.0	10.6	-	10.2	-	-
	3	44,430	5.3	90.9	4.2	-	2.6	-	-
	4	289,548	1.7	90.4	5.2	-	1.7	-	-
	5	166,804	5.8	46.5	44.9	-	4.6	-	-
Nam River	1	30,141	6.4	-	94.1	-	-	1.8	4.0
	2	180,347	6.1	-	75.4	-	4.9	11.9	-
	3	640,231	2.3	0.5	94.3	-	-	-	4.6
	4	52,697	5.6	22.0	39.9	-	28.9	-	-
	5	53,018	6.1	-	-	-	36.6	-	44.2
Yeongju	1	157,619	6.1	84.2	-	3.2	-	10.9	-
	2	33,083	2.3	75.3	9.9	-	-	-	9.3
	3	61,088	5.6	75.7	4.1	-	-	17.1	-
	4	50,304	6.1	84.2	-	3.2	-	10.9	-
	5	15,749	5.3	96.5	0.5	-	-	-	2.7

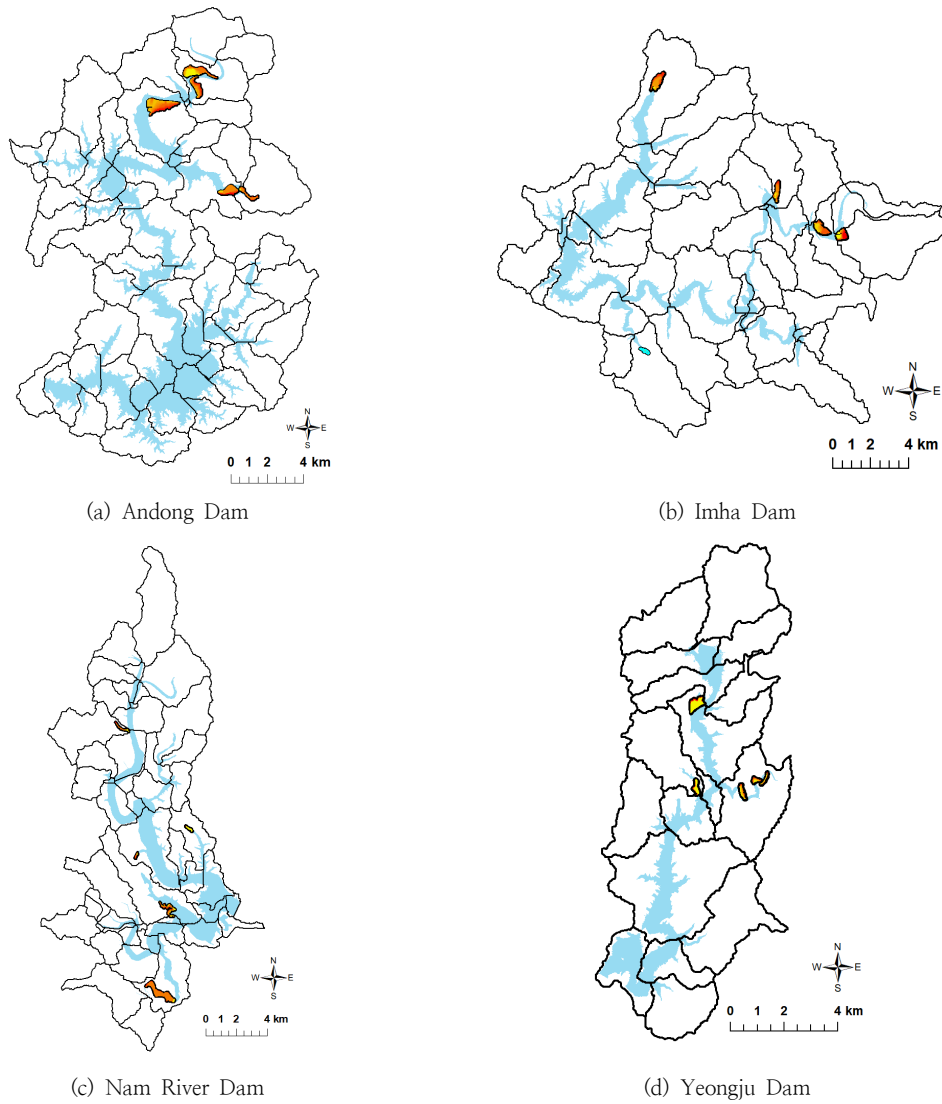


Fig. 4. Location of five candidate floodplains at each dam for restoration

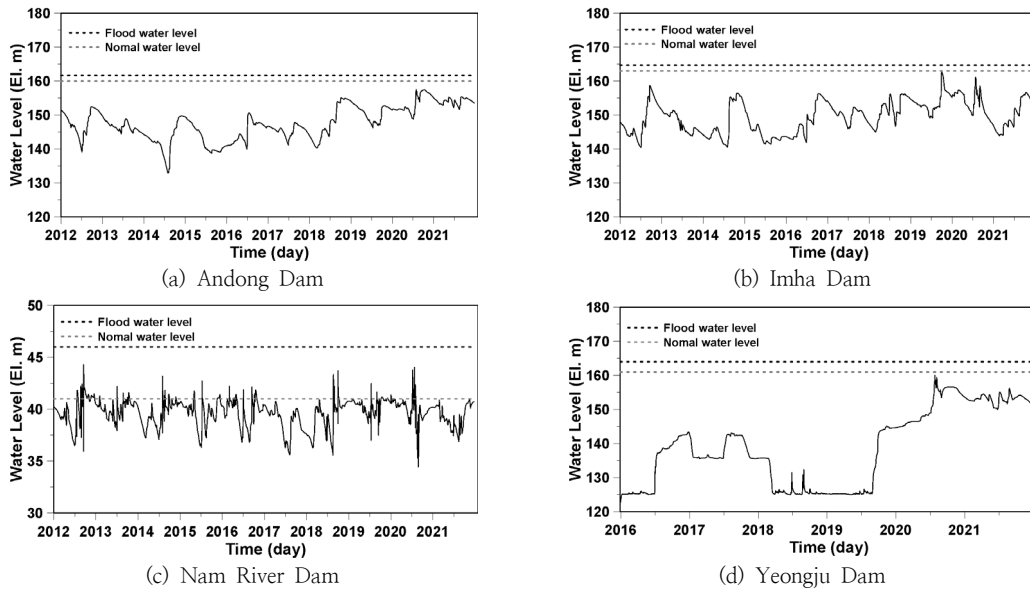


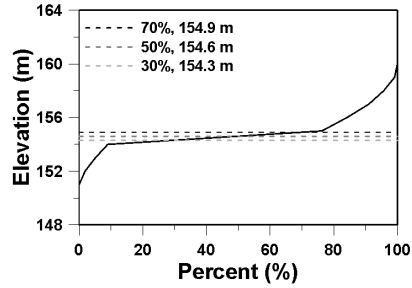
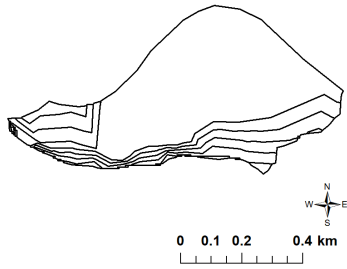
Fig. 5. Time series plots of daily water level data for each dam

4. 분석결과

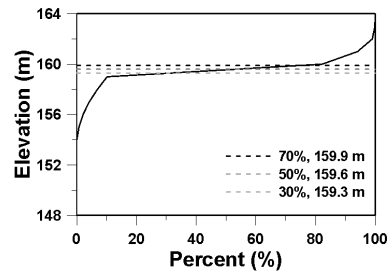
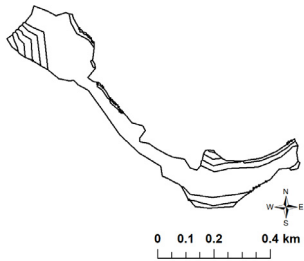
4.1 복원후보 홍수터의 누가침수면적곡선 작성

Fig. 6은 수직해상도 1 m인 DEM을 활용하여 제작한 안동댐의 5개 후보지의 등고선이다. 이 등고선을 이용하여 표

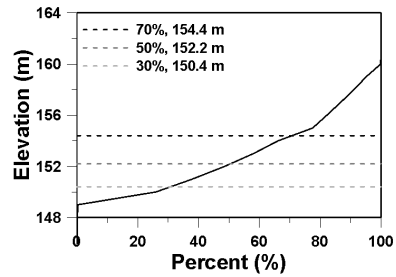
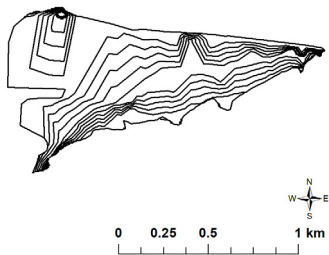
고별 누가면적을 계산하였고, 이는 다시 특정 누가면적(본 연구에서는 30%, 50%, 70%)이 침수되는 수위(해발표고)를 결정하는데 사용되었다. 표고별 누가면적은 복원 대상 홍수터에서 특정 표고가 차지하는 면적을 의미한다. DEM의 수직해상도가 1 m이기 때문에 특정 표고에서 복원 대상 홍수



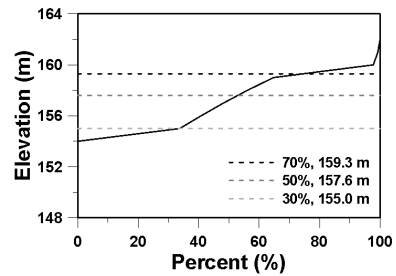
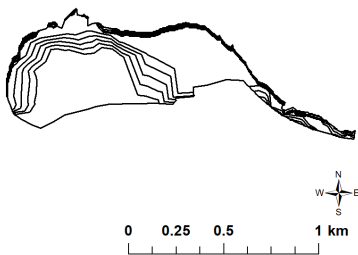
(a) Andong 1



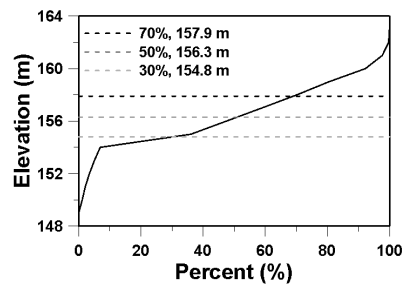
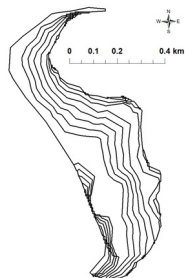
(b) Andong 2



(c) Andong 3



(d) Andong 4



(e) Andong 5

Fig. 6. Floodplain contour plots and cumulative flooding area curves developed by analyzing DEM (Andong Dam)

터의 면적을 대부분 차지하는 경우가 있다. 이러한 경우에 특정 누가면적, 즉, 30, 50, 70%가 침수에 해당하는 수위는 1 m 해상도의 DEM을 0.1 m 간격으로 선형보간하여 결정하였다. 다른 댐의 경우에도 동일한 분석을 수행하였다.

Fig. 6에서 확인할 수 있는 것처럼 복원후보 홍수터의 형태 및 표고별 누가면적 특성(누가침수면적곡선)은 크게 다르게 나타난다. 예를 들어, 안동 1과 안동 2는 홍수터의 형상 자체는 매우 다르지만 수위별 누가면적 특성은 유사한 것으로 나타난다. 특히 침수면적 30, 50, 70%에 해당하는 수위가 매우 가까워 홍수터의 중간부분이 완만하고 넓게 펼쳐진 형태라는 것을 파악할 수 있다. 안동 4의 경우는 정반대의 경우로 홍수터 앞부분(저수지에서 가까운 부분)과 뒷부분이 완만하고, 반대로 중간부분이 급격한 경사를 갖는 형태임을 나타낸다. 안동 3의 경우에는 저수지 형상에서 파악할 수 있는 것처럼, 앞부분이 넓고 완만하게 발달된 형태이다. 마지막으로 안동 5의 경우는 홍수터 중간부분부터 넓고 완만하게 펼쳐진 형태가 된다.

각 댐의 대상 복원후보 홍수터에 대해 침수면적 30, 50, 70%에 해당하는 수위를 정리하면 Table 2와 같다. Table 2에서 확인할 수 있는 것처럼 누가침수면적별 수위 변화는 작게는 1 m 이내로, 크게는 3 ~ 4 m까지 차이가 난다. 안동댐과 임하댐에서의 변화가 상대적으로 큰 편이며, 남강댐에서의 변화는 상대적으로 작다. 이러한 차이는 물론 댐의 규모나 유역에서의 유출 형태를 반영한 것이다.

4.2 복원후보 홍수터의 누가침수면적별 침수일수

수위별 누가침수면적 특성(누가침수면적곡선)은 홍수터의 침수일수에 영향을 미친다. 예를 들어, 급경사-완경사의 누가침수면적곡선은 동일한 댐 수위변동에 대해서도 침수일수를 작게 하며, 반대로 완경사-급경사의 누가침수면적곡선은 침수일수를 크게 한다. 본 연구에서는 각 댐의 10개년(2012년 ~ 2021년) 일 수위자료를 이용하여 특정 누가 침수면적(30%, 50%, 70%)에 대응되는 침수일수를 파악하였다. 본 연구에서는 복원후보 홍수터의 누가면적 30%, 50%, 70%에 대응되는 수위보다 댐의 일 수위가 큰 경우에만 침수되는 것으로 판단하였으므로, 실제 침수면적은 30%, 50%, 70%보다 약간 더 클 수 있다. Table 3은 안동댐의 복원후보 홍수터에 대해 침수일수를 정리한 것이다.

Table 3에 정리한 결과는 안동댐 복원후보 홍수터의 침수일수가 대상지 표고별 누가침수면적 특성(누가침수면적곡선)에 크게 영향을 받고 있음을 보여준다. 특히, 전체적인 곡선의 형태뿐만 아니라 홍수터 앞부분(저수지에 접한 부분)의 표고변화도 중요한 역할을 함을 알 수 있었다. 예를 들어, 안동 1과 안동 2의 경우는 누가침수면적곡선 자체는 상당히 유사하지만, 홍수터 앞부분의 상대적 누가면적차이로 인해 침수일수가 극단적으로 달라진 경우이다. 안동 1의 경우는 저수지 수위가 누가침수면적 70%까지 쉽게 도달한 반면 안동 2의 경우는 누가침수면적 30%에 도달한 경우가 없는 것으로 나타났다. 안동 3의 경우는 홍수터가

Table 2. Water stage (elevation) corresponding to the cumulative flooding area of 30%, 50% and 70%

Dam	Site#	30%		50%		70%		100%
		Area (km ²)	Elevation (m)	Area (km ²)	Elevation (m)	Area (km ²)	Elevation (m)	Area (km ²)
Andong	1	0.10	154.3	0.17	154.6	0.23	154.9	0.33
	2	0.04	159.3	0.07	159.6	0.09	159.9	0.13
	3	0.23	150.4	0.39	152.2	0.53	154.4	0.77
	4	0.15	155.0	0.26	157.6	0.36	159.3	0.51
	5	0.09	154.8	0.15	156.3	0.21	157.9	0.29
Imha	1	0.09	159.6	0.15	160.1	0.21	162.2	0.31
	2	0.05	160.6	0.08	162.4	0.12	164.1	0.17
	3	0.09	160.5	0.14	162.3	0.20	164.1	0.29
	4	0.06	160.8	0.11	162.8	0.15	164.3	0.21
	5	0.01	158.8	0.02	159.5	0.03	159.9	0.04
Nam River	1	0.02	42.5	0.03	44.2	0.04	44.6	0.05
	2	0.01	41.4	0.02	42.7	0.02	44.1	0.03
	3	0.02	44.3	0.03	44.6	0.04	44.8	0.05
	4	0.19	44.4	0.32	44.6	0.45	44.8	0.64
	5	0.05	44.1	0.09	44.5	0.13	44.8	0.18
Yeongju	1	0.05	159.4	0.08	159.6	0.11	159.9	0.16
	2	0.02	155.9	0.03	157.2	0.04	158.5	0.05
	3	0.02	154.4	0.03	154.7	0.04	155.0	0.06
	4	0.01	161.1	0.02	162.4	0.02	163.4	0.03
	5	0.00	159.7	0.01	160.1	0.01	160.8	0.02

Table 3. Number of flooding days corresponding to the cumulative flooding area of 30%, 50% and 70% (Andong Dam)

Year	Andong Dam														
	1			2			3			4			5		
	30%	50%	70%	30%	50%	70%	30%	50%	70%	30%	50%	70%	30%	50%	70%
2012	0	0	0	0	0	0	126	25	0	0	0	0	0	0	0
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	84	68	21	0	0	0	129	125	80	8	0	0	40	0	0
2019	0	0	0	0	0	0	221	122	0	0	0	0	0	0	0
2020	159	157	148	0	0	0	330	176	159	147	0	0	150	94	0
2021	160	115	66	0	0	0	356	346	144	48	0	0	89	0	0
Avg.	40.3	34.0	23.5	0.0	0.0	0.0	117.4	79.4	38.3	20.3	0.0	0.0	27.9	9.4	0.0

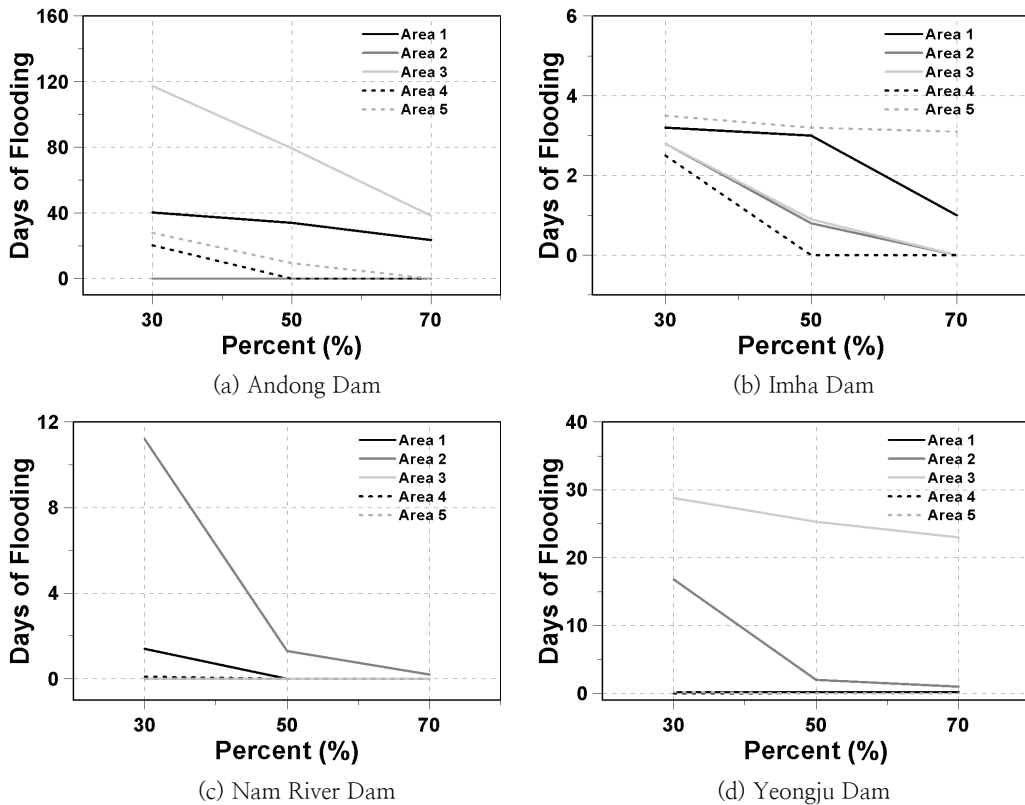


Fig. 7. Comparison of the number of flooding days corresponding to the cumulative flooding area of 30%, 50% and 70% at each dam

전체적으로 완만하게 변하는 형태를 보임으로 해서 침수일수가 크게 나타났다. 안동 4의 경우에는 누가침수면적 30% 까지 침수가 쉽게 발생함을 파악할 수 있고, 안동 5의 경우는 안동 2와 안동 3의 중간적 특성을 가진 것으로 나타났다. 누가침수면적 30%의 침수 가능성이 낮지만 침수가 발생하면 오래 지속되는 특성을 보이는 것이다.

각 댐별 5개 복원후보 홍수터에 대해 평균 침수일수를 비교하면 다음 Fig. 7과 같다. 홍수터 복원 후 유지가능성이 침수일수가 적은 경우에 유리하다는 점을 고려하면 어느

후보지가 적절한지는 이 그림을 통해 쉽게 판단 가능하다. 홍수터 복원이 전체 홍수터를 대상으로 하는지 또는 침수 가능성이 적은 상류부분을 대상으로 하는지에 따라라도 적절한 홍수터의 판단이 가능하다. 안동댐의 경우 안동 2의 경우가 전반적으로 유리하며, 안동 4의 경우도 좋은 후보지가 될 수 있다. 임하댐의 경우에는 임하 4가 제일 나아 보이고, 임하 2, 임하 3의 경우도 가능성이 크다. 남강댐의 경우는 남강 3이 제일 적절한 것으로 보이며, 남강 1, 남강 4의 경우도 가능성이 크다. 마지막으로 영주댐의 경우는 최

근 완공된 댐으로 관측기록이 적은 한계가 있다. 가용한 자료만으로 판단하면 영주 1, 영주 4, 영주 5 모두 가능성이 있는 후보지이다.

5. 결론

하천 홍수터에 적용하는 침수빈도는 댐 저수지에 바로 적용할 수는 없다. 모든 홍수터의 침수빈도가 동일하게 나타나기 때문이다. 이에 본 연구에서는 훼손된 댐 홍수터 중 복원 후보를 선정과정에 고려되는 수문특성(즉, 침수빈도)을 댐 저수지에 적용할 수 있도록 보완하여 제시하였다. 즉, 단순히 홍수터의 침수를 고려하는 침수빈도에서 벗어나 홍수터의 지형적 특성이 반영될 수 있도록, 댐 수위의 변동에 따른 홍수터의 침수면적 변화를 누가침수면적곡선으로 정량화하였다. 본 연구는 낙동강 수계 4개 댐(안동댐, 임하댐, 남강댐, 영주댐)의 복원후보 홍수터 각 5개소를 대상으로 수행되었다. 본 연구를 통해 도출된 주요 결과는 다음과 같다.

먼저, 본 연구에서는 댐 수위상승에 따른 누가침수면적곡선을 수직해상도 1 m의 DEM을 활용하여 작성하였다. 특별히 누가침수면적 30%, 50%, 70%에 해당하는 댐 수위를 특정하고, 댐 수위가 이들 수위를 상회하는 빈도를 조사하였다. 누가침수면적별 수위의 변화는 작은 경우 1 m 이내를, 큰 경우 3 ~ 4 m 까지를 보였다. 특히 안동댐과 임하댐에서 그 차이가 큰 것으로 나타났고, 남강댐에서의 변화가 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 안동댐과 임하댐의 경우 홍수터의 형상이 다양하다는 것을 반영하는 결과이다.

동일한 댐 홍수터임에도 불구하고, 홍수터의 형상에 따라 침수되는 경향이 크게 다른 것으로 나타났다. 특히, 침수빈도는 복원후보 홍수터별 누가침수면적곡선의 형태와 댐 저수지에 접한 지형의 수위 변화에 민감한 것으로 나타났다. 누가침수면적 곡선이 선형적으로 증가하는 경우를 기준으로 살펴보면, 홍수터의 전반부(댐 저수지에 가까운 쪽)가 발달된 경우는 수위에 따른 침수면적의 증가가 커(지수함수형태) 침수빈도가 크게 나타났다. 반대로 홍수터의 후반부가 발달한 경우는 댐 저수지와 가까운 쪽에서 수위에 따른 침수면적의 증가가 작아(로그함수형태) 침수빈도가 작게 나타남을 확인할 수 있었다.

복원후보 홍수터의 선정과정에서는 침수빈도가 작은 경우가 유리하다. 이는 침수가 빈번할 경우 식생의 생존이 불리하기 때문이다. 댐 저수지 주변으로 식생이 전혀 없는 피모양이 발견되는데, 이 지역이 바로 자연적으로 식생의 활착이 어려운 영역이다. 결국, 홍수터 복원의 우선순위는 복원후보 홍수터 중 이 부분의 형태가 어떠냐가 중요한 것이다. 이 부분의 면적비중이 작은 것이 당연히 유리한데, 이 경우에 누가침수면적곡선이 로그함수형태가 된다. 본 연구의 복원후보 홍수터 중에서도 이러한 경우를 쉽게 확인할 수 있었다. 안동댐의 안동2, 임하댐의 임하 4, 남강댐의 남강 3이 가장 적절한 후보지로 보인다. 영주댐의 경우는 이러한 특성을 보이는 경우로 영주 1, 영주 4, 영주 5 등을

들 수 있다.

본 연구에서 분석한 침수빈도는 수직해상도가 1 m인 DEM을 활용하여 분석하였다. 이를 특정 면적이 침수되는 표고의 결정을 위해 표고별 누가면적을 0.1 m 간격으로 선형보간 하였다. 활용된 수직 해상도 1 m의 DEM은 복원 대상 홍수터의 대략적인 침수빈도(침수일수) 산정에 문제없이 사용할 수 있다. 다만, 홍수터 복원 이후의 식재 계획에 중대한 영향을 미치는 침수심을 정확히 결정하기 위해서는 더 높은 수직 해상도를 갖는 DEM을 활용해야 할 것이다.

마지막으로 복원 대상 홍수터가 이러한 수문특성으로만 선정되는 것이 아님을 강조하고 싶다. 침수빈도는 당연히 홍수터 복원 및 유지관리에 결정적인 영향을 주는 인자임에 틀림없다. 그러나 복원된 홍수터가 어떤 역할을 해야 하는지도 중요한 고려사항이므로 이를 간과할 수는 없다. 일차적으로 복원후보 홍수터의 수질, 생태적인 기능이 더욱 중요시되는 것이 사실이다. 인근 지역의 관광자원과의 연계도 현실적으로 중요하다. 그러나 홍수터를 실제로 복원하는 경우에는 복원 후 유지가능성이 중요하므로 홍수터의 침수빈도가 중요한 역할을 할 수밖에 없다. 만일 침수빈도가 높게 나타나는 홍수터가 복원대상지로 선택된다면, 이 경우에도 누가침수면적곡선의 형태를 반영하여 복원의 방향을 새로 설정할 수도 있을 것이다.

감사의 글

이 성과는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020 R1A2C2008714).

References

- Acreman MC, Riddington R and Booker DJ (2003). Hydrological impacts of floodplain restoration: A case study of the River Cherwell, UK. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7(1), pp. 75-85.
- Ahilan S, Guan M, Sleight A, Wright N and Chang H (2018). The influence of floodplain restoration on flow and sediment dynamics in an urban river. *Journal of Flood Risk Management*, 11, pp. S986-S1001.
- Bahn, GW (2021). *Analyzing Suitability and effects of riparian eco-belt in dam floodplains for ecological watershed management*, Ph.D Dissertation, Korea University, Korea. [Korean Literature]
- Choe SJ, Bae MG, O CH and Park CS (2010). A study on the selection of management priority area for the development of riparian eco-belt, *Proceedings of the Korean Institute of Landscape Architecture Conference*, The Korean Institute of Landscape Architecture, pp. 80-86. [Korean Literature]

- Choi HS, Jeon MS and Kim LH (2020). Effect of cultivation activity in Daechong lake flood control site on water quality, *J. of Wetlands Research*, 23(4), pp. 327–341. [DOI: <https://doi.org/10.17663/JWR.2021.23.4.327>]
- Choi SJ (1983). Effects of submergence on growth and fertility damages in rice. *Korean J. Crop Sci.*, 28(1), pp. 100–106
- Chung JE and Chung SO (2003). Survey and analyses of farming condition and nonpoint source pollution in the flood control area of the multi-purpose dams, *J. of Korean Irrigation and Drainage Paper*, 10(1), pp. 64–72 [Korean Literature]
- Geum River Watershed Management Committee (GRWMC) (2018). The 3rd Geum River Waterfront Area Management Basic Plan(2019–2023). [Korean Literature]
- Gourevitch JD, Singh NK, Minot J, Raub KB, Rizzo DM, Wemple BC and Ricketts TH (2020). Spatial targeting of floodplain restoration to equitably mitigate flood risk. *Global Environmental Change*, 61, p. 102050.
- Han River Watershed Management Committee (HRWMC) (2018). The 3rd Han River Waterfront Area Management Basic Plan(2019–2023). [Korean Literature]
- Han SJ, Kim HJ and You YH (2009). Selection on tolerant oak species to water flooding for flood plain restoration, *J. of Wetlands Research*, 11(2), pp. 1–7 [Korean Literature]
- Heo WM, Kim BC, Kim YN and Choi KS (1998). Storm runoff of phosphorus from nonpoint sources Into Lake Soyang and transportation of turbid watermass within the lake, *Korean J. of Limnology*, 31(1), pp. 1–8. [Korean Literature]
- Jacobson RB, Lindner G and Bitner C (2015). The role of floodplain restoration in mitigating flood risk, Lower Missouri River, USA. In *Geomorphic approaches to integrated floodplain management of lowland fluvial systems in North America and Europe* (pp. 203–243). Springer, New York, NY.
- Kiedrzyńska E, Kiedrzyński M and Zalewski M (2015). Sustainable floodplain management for flood prevention and water quality improvement, *Nature Hazards*, 76(2), pp. 955–977. [DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1529-1>]
- Kim CB, Lee SH, Yoon JT, Kim T (1999). Influence of submersion by heavy rain on growth, yield and quality of peanut plant cultivated in Nakdong riverside. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.*, 6(3), pp. 292–296.
- Kim HD and Koo BH (2016). The vegetation health assessment in riparian vegetation of lake reservoirs. *J. Korean Env. Res. Tech.*, 19(6), pp. 111–121.
- Kim HJ, Shin BK, You YH and Kim CH (2008). A Study on the vegetation of the present-day potential natural state of water for flood plain restoration in South Korea, *Korean J. of Environment and Ecology*, 22(5), pp. 564–594 [Korean Literature]
- Kim HS and Kim SH (2011). A study on clogging and water quality improvement in floodplain filtration with flood/rest raw-water supply, *J. of Korean Society of Environmental Engineers*, 33(2). pp. 120–131. [Korean Literature]
- Kim YG and Shim JP (2007). Define the Floodplain and Investigation of floodplain Usage, *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, Korea Water Resources Association, pp. 1159–1163 [Korean Literature]
- Kim YG, Lee SW, Jeon SJ and Kim HM (2009). The Analysis of Floodplain Usage and Management at Major River in Korea, *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, Korea Water Resources Association, pp. 2043–2047 [Korean Literature]
- Korea Environment Institute (KEI) (2006). Nonpoint Source Pollution Management for Multipurpose Dam. [Korean Literature]
- Korea Water Resources Corporation (K-water) (2000). Investigative Study on The Policy and Improvement of Management for Water Resources in Korea. [Korean Literature]
- Korea Water Resources Corporation (K-water) (2019). A Study on the Installation and Management of Non-point Pollution Reduction Facilities in Yongdam Reservoir Basin. [Korean Literature]
- Korea Water Resources Corporation (K-water) (2020). Guidelines for the Development and Management of the Integrated Riparian Eco-belt. [Korean Literature]
- Korea Water Resources Corporation (K-water) (2021). Development of Waterside Ecological Belt for Flood Plain in Nakdong River Basin. [Korean Literature]
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT) (2019). Technical Report on the Establishment of River Environment Evaluation System. [Korean Literature]
- Nakdong River Watershed Management Committee (NRWMC) (2014). A Decision Framework for Prioritizing Riparian Area Construction. [Korean Literature]
- Nakdong River Watershed Management Committee (NRWMC) (2018). The 3rd Nakdong River Waterfront Area Management Basic Plan(2019–2023). [Korean Literature]
- Nakdong River Watershed Management Committee (NRWMC) (2022). Comprehensive Plan for Water Management of Nakdong River Basin (2021–2030). [Korean Literature]
- Seo KW (2002). A study on the floodplain management plan due to inundation of Nakdong River basin, *J. of Wetlands Research*, 4(2), pp. 57–66. [Korean Literature]
- Yongsan-Seomjin River Watershed Management Committee (YSRWME) (2018). The 3rd Nakdong River Waterfront Area Management Basic Plan(2019–2023). [Korean Literature]