

# 댐의 홍수조절에 대한 공간적 영향 분석

정 용\* · 김남원\*\*

Jung, Yong\*, Kim, Nam Won\*\*

## Spatial Influences of Flood Controls in Dam Operations

### ABSTRACT

This study analyzed the role of dams for the flood control by the observed and simulated hourly flood discharge data. The study area was the Nakdong river basin with Andong and Imha dams. For the analysis 31 flood events from 1997 to 2010 were selected. In the analysis of the flood reduction rate (FRR) of dam itself, the FRR was not decreased with higher size of floods which is not as we expected. In order to see the trend of flood reduction rate depending on the flood size, flood discharge volume presents it better than peak flood discharge. In the comparison of the flood reduction effects of the two dams, Andong dam has 7% larger flood reduction influence at the Sungju gauging station (SGS) located farthest from the selected watershed. Comparing the ratio of the watershed area based on the covered size of the SGS, the FRR of dam is smaller than the area rate. The impact of FRR of dam showed that the FRR fell below 10% when reaching the size of watershed area corresponding to 8.5 times of the size of watershed area of the dam which is larger than Namhan river basin (7 times).

**Key words** : Flood reduction rate, Spatial characteristics, Flood discharge, Nakdong river basin

### 초 록

본 연구는 댐의 시간당 홍수유출자료와 강우-유출모형의 모의를 통해 댐의 홍수조절에 대한 역할과 댐 상류 및 하류의 공간적인 영향에 대해 분석하였다. 이를 위한 연구지역으로 안동댐과 임하댐의 영향을 받는 낙동강 상류유역을 선정하였으며 1997년부터 2010년까지의 홍수사상 31개를 분석하였다. 댐의 홍수저감율(Flood Reduction Rate: FRR) 분석은 홍수규모가 커질수록 댐의 방류가 커져 댐의 홍수저감율이 작아질 것으로 예상하였으나 몇몇 사상을 제외하고 예상과 다른 결과를 보였다. 홍수크기와 홍수저감율의 관계성은 유출총량(Volume)이 첨두 유출량(Peak discharge)보다 잘 나타내었다. 선정 유역에서 가장 거리가 있는 성주수위관측소에서의 두 댐 영향은 댐상류 유역면적이 크고 홍수저감율이 큰 안동댐이 평균적으로 7% 크게 영향을 미쳤다. 성주수위관측소가 포함하는 유역을 기준으로 유역면적의 비와 홍수저감율의 비를 비교하면 댐의 홍수저감율은 면적의 비보다 대부분 작게 나타나는 것을 보였다. 댐의 홍수저감율의 영향은 댐이 포함하는 유역면적의 8.5배에 해당하는 유역면적에서 홍수저감율이 10% 이하로 떨어지는 것으로 분석되었으며 이는 남한강유역의 결과(7배)보다 크게 나타난 것이다.

**검색어** : 홍수저감율, 공간적 특성, 유출총량, 낙동강유역

## 1. 서론

다변화하는 기상여건에서 인류에 직접적인 영향을 미치는 일들 중 대표적인 예가 가뭄과 홍수이다. 가뭄과 홍수로 인한 영향을 최소화하기 위해 직·간접적으로 조절하고 개선하기 위한 다양한 방법들이 사용되고 있다. 이를 크게 두 가지로 분류하는데 비구조적인 조절 방법과 구조적인 조절 방법이다(Kim et al., 2013). 대표적인 비구조적인 조절 방법은 홍수나 가뭄에 대한 예측방법을 통해

\* 중신회원 · 원광대학교 토목환경공학과 조교수 (member · Wonkwang University · yong\_jung@wku.ac.kr)

\*\* 교신저자 · 한국건설기술연구원 수자원·하천연구소 선임연구위원 (Corresponding Author · KICT · nwkim@kict.re.kr)

Received January 24, 2018/ revised February 24, 2018/ accepted March 14, 2018

미리 대비하고 준비하는 것으로 최근에 가장 활발하게 연구되고 있다. 또한, 구조적인 방법은 댐을 설치하여 가뭄과 홍수를 직접적으로 조절하는 것이다. 댐을 통해 홍수로 발생하는 물의 양과 흐름속도를 조절할 수 있어 댐 하류부에서 받는 직접적인 영향을 최소화할 수 있으며 물이 풍부할 때 저장해둔 물을 가뭄으로 인한 피해를 최소화하는데 활용할 수 있을 것이다. 이러한 일차적인 기능을 넘어 다양한 댐 영향에 대한 연구들이 진행되고 있다. 한 예는 댐의 영향으로 인해 발생하는 지형학적 변화에 대한 연구(Bennett and Simon, 2004; Graf, 2006; Wohl, 2004)와 댐으로 인한 하천 주변의 생태학적 변화에 대한 연구(Forman and Godron, 1981, 1986; Anderson et al., 1996; Fisher et al., 2001, 2004) 등이다.

이에 반해 댐의 일차적인 기능에 대한 연구, 댐의 홍수조절에 대한 공간적 영향에 대한 연구가 한반도를 중심으로 많이 이루어지지 않아 이를 개선하기 위해 Jung et al.(2015)이 남한강 유역의 충주댐과 횡성댐의 홍수조절에 대한 공간적인 영향을 분석하였다. 이는 Gross and Moglen(2007)의 댐 영향범위 분석을 활용하여 홍수조절이 미치는 영향에 대해 분석한 것이지만, Graf(2006)가 언급하였듯이 댐의 영향에 대한 연구들이 특정한 곳에 국한하여 진행되어 일반화하기에 부족함이 있다(e.g. Glen Canyon Dam in Colorado River (Dawdy, 1991); Green River (Andrews, 1986); and the Rio Grande of NewMexico (Molles et al., 1998)). 이를 개선하기 위해 본 연구는 Jung et al.(2015)의 남한강 유역 분석에서 벗어나 낙동강유역의 홍수조절에 대한 댐의 공간적인 특성을 분석함으로써 댐에 의한 홍수조절 능력의 공간적 분석을 조금 더 구체화하고 일반화하고자 하였다.

## 2. 분석지역과 홍수사상

홍수조절에 대한 댐의 영향 분석을 위해 낙동강유역 상류에 있는 안동댐과 임하댐을 분석하였다. 안동댐은 1976년 10월에 건설되어 1,584km<sup>2</sup>의 유역면적을 포함하고 있으며 댐 저수용량은 1,248×10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>을 가진 댐으로 인근 지역에 상수도 및 공업용수, 농업용수를 공급하는 다목적댐이다. 임하댐은 1993년 12월에 완공되었으며 1,361km<sup>2</sup>의 유역을 포함하고 있는 댐으로 595×10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>을 저장할 수 있는 용량의 댐이다. 댐의 홍수조절 능력으로 인한 원거리

영향을 분석하기 위해, 안동댐과 임하댐 유출량이 합류되는 지점을 기준으로 원거리에 존재하는 수위관측소(Fig. 1) 중에 유역의 면적과 자료의 존재유무에 의해 수위관측소를 선정하였다. 또한, 안동댐과 임하댐 이외의 다른 댐(e.g. 영천댐)의 영향을 받지 않는 성주수위관측소를 마지막 수위관측소로 정하였다. 이를 바탕으로 최종적으로 선정된 수위관측소는 지보, 사벌, 일선교, 성주이며 이들 수위관측소의 자료를 기준으로 댐의 홍수조절능력과 유역의 크기와의 관계를 분석하였다. Table 1은 선정된 수위관측소의 관측개시일과 수위관측소가 포함하는 유역면적 정보이다. Fig. 1은 낙동강 상류유역의 댐과 수위관측소를 나타내는 개략도이다. 홍수조절의 영향을 분석하기 위해 선정된 홍수사상은 임하댐의 완공 이후인 1997년부터 2010년까지 31개의 홍수사상을 선정하였다(Table 2).

## 3. 분석도구

홍수조절에 대한 댐 영향분석을 위해 저류함수법을 적용하였다. 저류함수법은 우리나라 물관련업무를 주관하고 있는 주요부서인 홍수통제소와 수자원공사를 중심으로 가장 활발하게 적용되고 있는 일괄형(또는 집중형) 강우-유출모형이다. 저류함수법은 일본의 Kimura(1961)에 의해 개발되었으며 비선형의 강우-유출현상과 우리나라처럼 산악지역이 많이 존재하는 곳에 적합한 모형이다 (Ministry of Land, Infrastructure and Transportation, 2004). 저류함수모형은 저류(S)와 유출(Q)의 관계를 나타내는 식과 하천

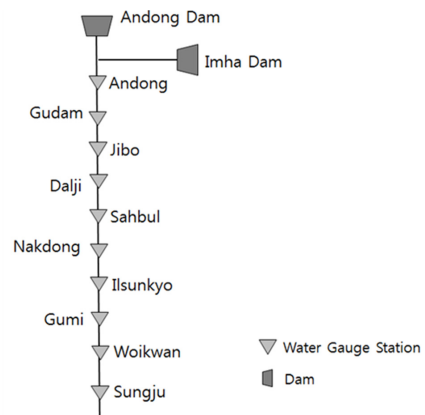


Fig. 1. Nakdong River Basin with Dams and Gauging Stations

Table 1. Selected Gauging Stations in Nakdong River Basin

Gauging stations	Start day of measurement	Watershed area (km <sup>2</sup> )
Sungju	Mar. 08, 1995	11,642
Ilsunkyo	Jul. 01, 1962	9,510
Sahbul	Jan. 01, 1988	7,247
Jibo	Jul. 20, 1995	4,516

Table 2. Selected Flood Events for Nakdong River Basin

Events		Duration		Events		Duration	
No.	Name	Start (Yr.Date.Hr)	End (Yr.Date.Hr)	No.	Name	Start (Yr.Date.Hr)	End (Yr.Date.Hr)
1	97-1	1997 0702 0000	1997 0711 1100	16	03-2	2003 0708 1600	2003 0716 0000
2	98-1	1998 0702 0000	1998 0707 0000	17	03-3	2003 0912 0000	2003 0917 0000
3	98-2	1998 0710 1500	1998 0716 0000	18	04-1	2004 0619 0400	2004 0627 0000
4	98-3	1998 0814 1900	1998 0823 0000	19	04-2	2004 0714 0000	2004 0722 0000
5	99-1	1999 0802 1300	1999 0809 0000	20	04-3	2004 0817 1900	2004 0822 1200
6	99-2	1999 0919 2000	1999 0923 0600	21	05-1	2005 0701 0400	2005 0709 1800
7	99-3	1999 0922 0400	1999 0929 0000	22	05-2	2005 0710 0300	2005 0718 2100
8	00-1	2000 0826 0400	2000 0831 1200	23	06-1	2006 0710 0100	2006 0714 0000
9	00-2	2000 0913 0100	2000 0922 0000	24	06-2	2006 0715 1400	2006 0725 0000
10	00-3	2000 0914 0400	2000 0920 0400	25	06-3	2006 0728 0000	2006 0803 0000
11	01-2	2001 0624 0000	2001 0630 0000	26	07-1	2007 0901 0200	2007 0904 1500
12	01-3	2001 0715 2300	2001 0720 2300	27	08-1	2008 0724 1000	2008 0731 0000
13	02-1	2002 0805 2000	2002 0813 0000	28	08-2s	2008 0815 1600	2008 0821 0900
14	02-2	2002 0830 2300	2002 0906 0000	29	09-1	2009 0711 2100	2009 0719 0600
15	03-1	2003 0728 0600	2003 0803 0000	30	09-2	2009 0714 1500	2009 0719 0000
				31	10-1	2010 0911 0600	2010 0917 0000

의 흐름을 나타내는 식으로 크게 나뉜다. 저류와 유출의 관계를 나타내는 식은 아래와 같다.

$$S = KQ^P \tag{1}$$

여기에서  $K$ 와  $P$ 는 고정된 매개변수이며 유역의 물리적 특성에 의해 정해지므로 유역에 따라 정해진 값을 적용하면 매 홍수사상마다 큰 변화를 갖지 않는다. 하천의 흐름을 나타내는 Eq. (2)는 저류부에서 나온 유출량을 입력함수로 하여 하천의 흐름을 나타낸다.

$$\left( \sum_{j=1}^n f_j I_j \right) - Q(t) = \frac{dS}{dt} \tag{2}$$

여기에서  $f_j$ 는 평균 유입계수이고  $I_j$ 는 상류에서 유입되는 유입량이나 다른 유역에서 유입되는 양을 나타내며  $Q(t)$  값은 지체시간( $T_i$ )을 고려한 하천 유출량( $m^3/sec$ )을 나타낸다. 저류와 유출의 관계는 지체시간에 대한 고려와 초기 유역의 노면 포화상태를 고려하여 조정되어야 한다. 이를 고려하기 위해서 유효강우  $r_e$  ( $mm/h$ )를 사용하고 이는 유역 노면의 포화상태에 따라 나타내게 된다.

$$\frac{1}{3.6} \times A \times r_e(t - T_i) - Q(t) = \frac{dS}{dt} \tag{3}$$

$$r_e(t - T_i) = \begin{cases} f_1 \times r(t - T_i), & \text{if } \sum r(t - T_i) \leq R_{sa} \\ r(t - T_i), & \text{if } \sum r(t - T_i) \geq R_{sa} \end{cases} \tag{4}$$

여기에  $A$ 는 유역의 면적( $km^2$ )을 나타내며 일차유출율과 포화우량은  $f_1$ 과  $R_{sa}(mm/h)$ 로 나타낸다.  $R_{sa}$ 는 NRCS (Natural Resources Conservation Service)의 CN (Curve Number)과 기능적으로 비슷한 개념을 가지고 있다.  $R_{sa}$ 의 값이 최저값인 0이면 선정된 강우사상에 대해 침투가 이루어지지 않고 모든 강우가 유출로 산정된다.

#### 4. 분석결과

댐의 영향을 분석하기 위해 선정된 홍수사상에 대해 성주 수위관 측소의 관측유출량을 산정하였다. 먼저 저류함수에 사용된 매개변수는 기본 매개변수 값(이근천식, MLIT, 2001)을 사용하였으며 유출총량의 최적화를 위하여  $R_{sa}$  값만을 조정하였다. 저류함수의 주요 매개변수는  $K, P, T_i, f, R_w$ 이며  $K, P, T_i$ 의 경우는 수문지형학적인 영향을 받는 것으로, 다양한 홍수사상 모의 때 고정하여 사용할 수 있으며 일차유출율과 포화우량( $f, R_w$ )은 강우사상마다 달라지므로 매 홍수사상마다 조정이 이루어져야 하지만, 일차유출율( $f$ )보다 포화우량( $R_w$ )이 유출량에 크게 영향을 미치므로(Jung et al., 2015) 금번 연구에서는 포화우량( $R_w$ )만을 수동으로 보정하여 각각의 홍수사상에 적합한 포화우량을 선정하였다. 이를 통해 선정된

홍수사상에 맞는 매개변수들은 모두 고정되고 이를 배경으로 댐 유입량을 하도에 직접 적용하여 댐이 없을 때의 변화를 나타내었다. 댐이 있을 때와 댐이 없을 때를 안동댐과 임하댐이 동시에 있을 때, 안동댐만 있을 때, 임하댐만 있을 때, 그리고 모든 댐이 없을 때를 모의하여 댐 하류에 미치는 영향을 살펴보았다.

#### 4.1 성주수위관측소 모의

앞서 기술하였듯이 가장 먼저 선행되어야 하는 것은 관측된 성주 수위관측소의 유출량에 대한 저류함수의 모의이며 이를 통해 홍수 사상에 대한 매개변수를 고정하여 기본값으로 사용할 수 있다. Fig. 2는 댐이 존재하는 상황에서 홍수사상을 모의한 것으로 첨두유출량의 관측값과 모의값을 비교하였다. 모의값에 대한 비교는 Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)를 활용하였다. NSE는 Eq. (5) 이며

$$NSE = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{\sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y^{obs\ mean})^2} \right] \quad (5)$$

여기서,  $Y_i^{obs}$  :  $i$  번째의 관측값,  $Y_i^{\sim}$  :  $i$  번째의 모의값,  $Y^{obs\ mean}$  :

관측값의 평균값을 나타낸다. 첨두유출량의 NSE는 0.92로 모의치가 관측값에 많이 근접하게 모의되었음을 보인다(Fig. 2(a)). 또한 첨두유출량을 나타내는 시간은 NSE가 0.99로 모의값이 관측값에 거의 일치하고 있다(Fig. 2(b)). 하지만 Fig. 2(b)에서 보듯이 첨두유출량을 나타내는 시간들이 관측값에 비해 조금 일찍 선행되어 나타나는 것으로 보인다. 이는 유역의 수문지형학에 영향을 받는 매개변수를 조정하여 수정할 수 있을 것으로 보이나 금번 연구에서는 포화유량( $R_w$ )만을 조정하였다. Fig. 2(c)는 선정된 사상의 첨두유출량에 대한 비교와 함께 성주에서의 유출수문곡선을 보인다. 2004년 사상의 경우 관측 수문곡선에 근접하게 모의하는 것을 볼 수 있다. 첨두유출량을 나타내는 시간은 2004년 사상의 경우 모의값이 조금 이르게 2008년 사상의 경우는 조금 늦게 모의되었다.

Fig. 3은 성주수위관측소에서 댐이 있을 경우와 댐이 없을 경우(자연흐름)의 첨두유출량을 비교한 값이다. Fig. 3에서 표현한  $WD\_Cal$ 은 댐을 운용하는 것을 의미하며  $WOD\_Cal$ 은 댐이 없는 것을 의미한다. 댐이 없는 경우는 댐 내에서 관측된 유입량을 댐의 유출량으로 보고 모의한 값이다. 댐이 있을 때나 댐이 없을 때의 성주수위관측소에서의 유출값을 보면 홍수량이 큰 경우에는 댐이 있을 때의 모의값과 자연하천의 모의값의 차이가 크게 나타난다. 이는 댐이 홍수가 클 경우에 홍수조절을 위해 상당한 양의 수량을

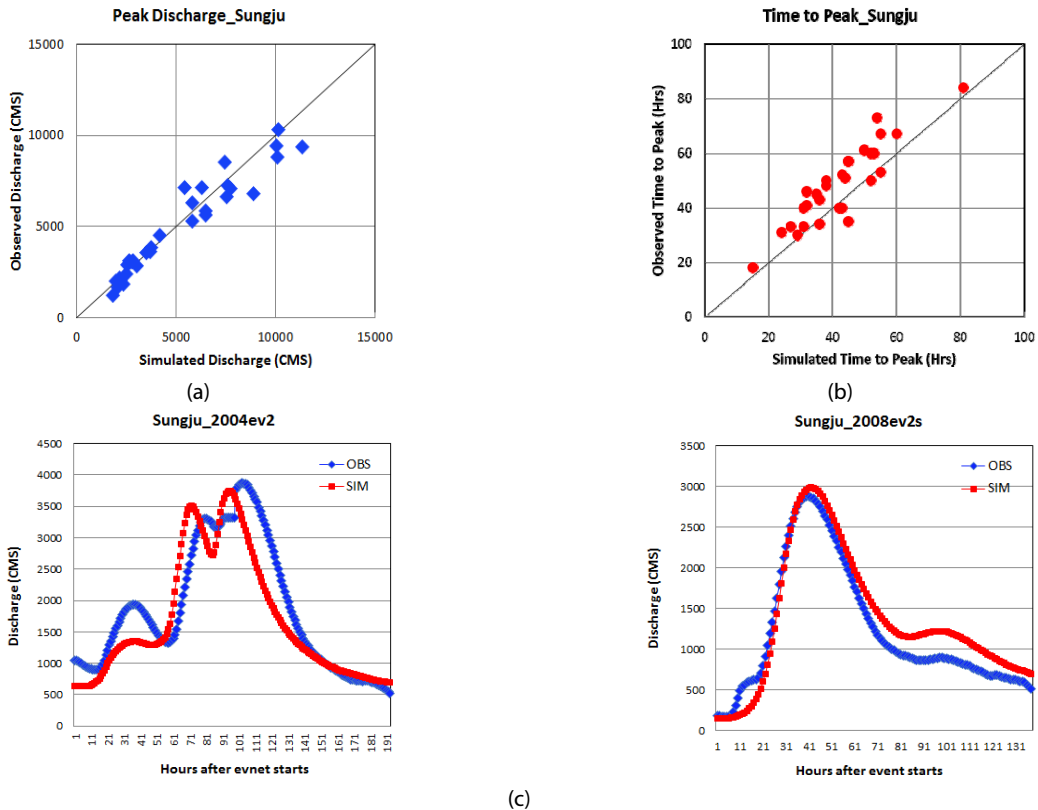


Fig. 2. Peak Discharge and Time to Peak Comparisons with Example Hydrographs at Sungju Gauging Station

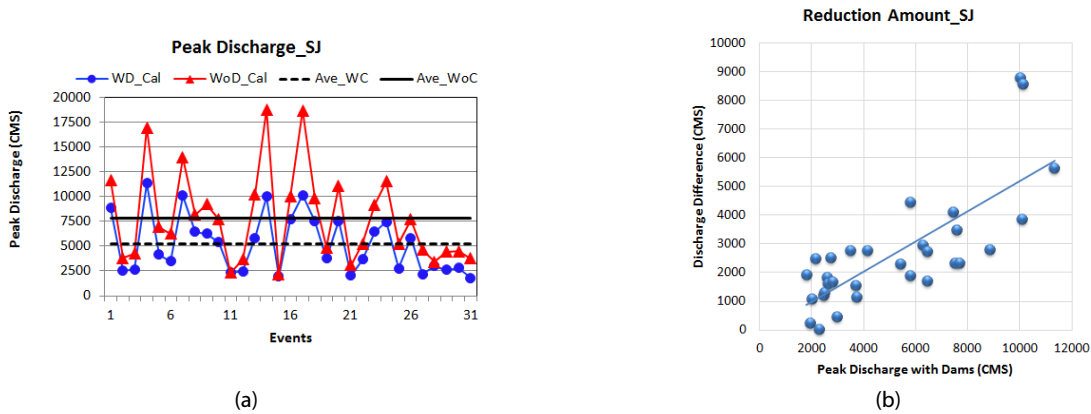


Fig. 3. Natural Flows at Sungju Gauging Station with Discharge Differences

저장함을 나타낸다. 특히, 10,000m<sup>3</sup>/s 이상의 경우에는 댐이 없을 경우와 댐이 있을 경우의 홍수유출량 값의 차이가 8,000m<sup>3</sup>/s 이상 나타나고 있다(Fig. 3(a)). 이를 비교하기 위해 홍수의 크기에 따른 댐의 홍수조절 양을 분석하였다(Fig. 3(b)). 비교한 자료는 댐이 홍수조절의 역할을 담당하고 있을 경우 성주수위관측소에 도달하는 첨두유출량의 차이(댐이 없는 자연하천인 경우와 댐이 있는 경우의 첨두유출량의 차이)를 비교하였다. 이는 첨두유출량이 커질수록 댐에서 지체시키는 홍수치가 커진다는 것이다. 따라서 댐에서 방류하는 양이 많을수록 성주에서 관측되는 홍수량이 크지만 댐에서 유출이 많은 만큼 댐이 조절하는 홍수의 양도 많은 것으로 보인다.

#### 4.2 댐 자체 홍수조절 능력

댐의 홍수조절 능력을 측정하기 위해 Gross and Moglen(2007)이 사용한 댐의 영향범위 측정식을 Jung et al.(2015)이 사용하였는데 급변 연구에서도 같은 식을 활용하여 댐의 홍수조절 능력(i.e. 홍수저감율)을 평가하였다. 사용된 식은 아래와 같다.

$$FRR (Flood Reduction Rate) = 1 - \frac{Q_d}{Q_n} \quad (6)$$

$$FRR = 1 - \frac{Vol_d}{Vol_n} \quad (7)$$

여기서  $Q_d$ 는 댐유출량이나 댐유출로 인한 유량(댐하류 수위관측소 관측)을 말하며  $Q_n$ 은 댐으로 흘러들어오는 첨두유입량이거나 댐이 없을 경우 자연적으로 흐르는 첨두유출량을 의미한다.  $Vol_d$ 와  $Vol_n$ 도 같은 개념이나 유출총량(volume)을 나타낸다. 홍수저감율이 큰 경우는 발생한 홍수유입량을 댐이 많이 저감(저장)시키는 것을 의미한다.

Figs. 4 and 5의 상부 그림은 선정된 홍수사상에 대해 안동댐(AD)과 임하댐(IH) 자체의 홍수조절 능력을 보이는 것이고 이를 비교하기 위해 아래에는 Jung et al.(2015)이 분석한 남한강 유역의 충주댐(CJ)과 횡성댐(HS)의 자료이다. Figs. 4와 5에 나타난 점선은 평상시 댐에서 유출 가능한 최대 유출량, 즉 발전 최대 사용수량이다. 이를 활용하여 홍수가 발생하지 않을 때의 최대 댐유출량(i.e. 상시방류량)으로 나타내었다. 첨두유출량이 작은 경우는 평상시 발전 최대량에 비해 홍수유입량이 작으므로 홍수저감율이 작으며 첨두유출량과 유출총량이 커지면서 홍수저감율(댐 저장)이 커지고 있다. 아래는 댐 자체 홍수저감율을 두 가지 관점에서 분석하였다.

#### 4.2.1 첨두유입량 및 첨두유출량 기준(Peak discharge)

Fig. 4는 안동댐과 임하댐 첨두유출량을 기준으로 홍수조절량에 있어 몇몇 홍수사상을 제외하고 홍수의 규모가 크다고 해서 홍수저감율을 저하시키거나(유출을 늘리거나) 하는 경향성을 보이지는 않는다. 이는 남한강유역에 있는 충주댐과 횡성댐에서도 비슷한 양상을 보이고 있다(Jung et al., 2015). 첨두유출량을 기준으로 댐의 규모를 비교하면 충주댐이 안동댐이나 임하댐의 5배에 이르지 만 충주댐도 홍수조절에 대한 선명한 경향성을 보이지 않고 있으나 (Fig. 4) 일정 규모의 홍수는 홍수저감율을 낮추고 있다. 안동댐과 임하댐의 홍수저감율은 대부분의 홍수에 여수로의 상시방류량의 범위를 벗어나지 않고 있다. 홍수의 크기가 작을수록 홍수유입량이 작아 상시방류량만으로도 저류량에 크게 영향을 미치므로 홍수저감율이 작다. 특히, 안동댐의 경우 대부분 홍수사상들이 상시방류량을 넘지 않는 범위에서 홍수조절이 이루어졌다. 안동댐의 여수로 최대 방류량이 대부분의 홍수사상에 150m<sup>3</sup>/s인데 반해 02\_2사상은 4배가량이 큰 590m<sup>3</sup>/s를 방류하여 상시방류량을 넘어섰는데 이는 홍수량 조절보다는 방류를 통해 미래홍수와 같은 변화에 대비한 것으로 보인다. 임하댐의 경우도 상시방류량 범위 내에서 홍수조절이 이루어졌다. 06\_3사상의 경우 첨두유입량이 461m<sup>3</sup>/s

인데 유출량이 277m<sup>3</sup>/s를 기록하고 있어 작은 홍수지만 홍수조절의 능력을 크게 발휘하지 않았다. 단 99\_3사상의 경우 홍수최대 유입이 3,000m<sup>3</sup>/s로 임하댐 기록상 규모가 큰 홍수량인데 홍수조절보다 유출을 더 많이 실시하였으며 이는 댐 운용상의 조절에 따른 것으로 보인다. 이에 반해 충주댐과 횡성댐의 경우 홍수조절에 조금 더 적극적인 조절을 실시하였다.

**4.2.2 홍수방류총량 및 유입총량 기준(Volume)**

홍수방류총량 및 유입총량을 기준으로 홍수저감율을 살펴보면 첨두유입량 및 첨두유출량을 기준으로 하는 것보다 홍수저감율에 대한 경향성을 잘 표현한다. 홍수량의 경우 홍수사상이 커질수록 홍수저감율을 조절하는 것으로 보인다. 안동댐의 경우는 첨두유출량을 기준으로 홍수저감율을 나타낸 것과 많이 다르지 않게 홍수량이 커지면 홍수저감율이 줄어드는 경향성을 보이고 있다. 하지만 임하댐의 경우 홍수량이 커질수록 홍수저감율이 작아지며 댐의 상시방류를 넘어 많은 양의 홍수량을 조절하는 것으로 보인다. 99\_3 사상에 대해 안동댐은 저감율을 높게 유지하였지만 안동댐은 저감율을 낮추었다. 02\_2 사상은 안동댐이나 임하댐 모두 방류를 늘려 홍수저감율을 줄였다. 이는 02\_2사상의 경우 전반적으로 강우가 많이 발생하여 홍수저감율을 조절하는 데 적극적이었던 것으로 보인다. 2003년의 사상은 홍수유입량은 크지 않으나 홍수조

절에 있어 다량을 방류하였다. 임하댐의 홍수조절에 대한 홍수량의 분석은 홍수량의 커질수록 홍수조절 보다는 방류를 많이 하는 경향을 보이고 있다. 이는 충주댐과 횡성댐의 운용과 비슷하게 분석할 수 있다(Jung et al., 2015). 홍수방류총량 및 유입총량에 대해 홍수저감율을 계산하면 홍수사상의 크기가 크면 홍수저감율이 작아지는 것을 볼 수 있다. 이는 홍수가 발생하는 것에 대해 안동댐이나 임하댐은 유입되는 홍수량을 다량 배출하였다. 이는 댐의 저수율과도 깊은 연관관계가 있을 것으로 보인다.

**4.3 특정지점에서의 홍수조절 능력**

Fig. 6은 안동댐과 임하댐에 의한 홍수조절의 양을 성주수위관측소에서 비교 분석한 것이다. 성주수위관측소는 수원으로부터 180km 가량 떨어져 있다. 안동댐이나 임하댐의 홍수조절 능력은 두 댐을 운용하고 있을 때 성주수위관측소에서의 홍수량 조절의 크기를 홍수조절 능력으로 보았다. Fig. 6에서 안동댐의 홍수저감율은 사각형으로 임하댐의 홍수저감율은 원형으로 표시하였다. 성주수위관측소에서 안동댐의 홍수저감율은 평균적으로 21%에 해당하며 임하댐은 14%의 홍수저감율을 보이고 있다. 이는 안동댐이 포함하는 유역면적의 크기와 댐 저류량이 크기 때문에 홍수저감율이 높아지는 것으로 보이지만, 홍수의 크기가 커질수록(15,000m<sup>3</sup>/s 이상) 임하댐의 홍수저감율 영향이 성주에서 더 크게 나타나고

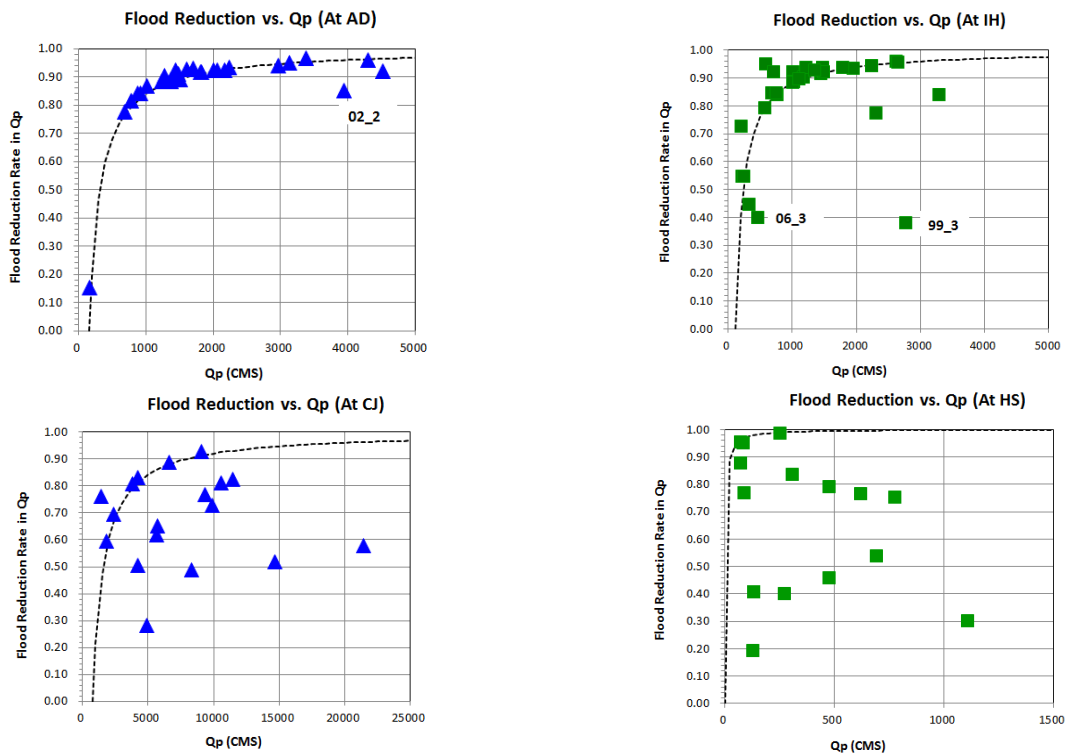


Fig. 4. Flood Reduction Rates in Peak Discharge Values of Andong and Imha Dams Comparing with Chungju and Hoangsung Dams (Jung et al., 2015)

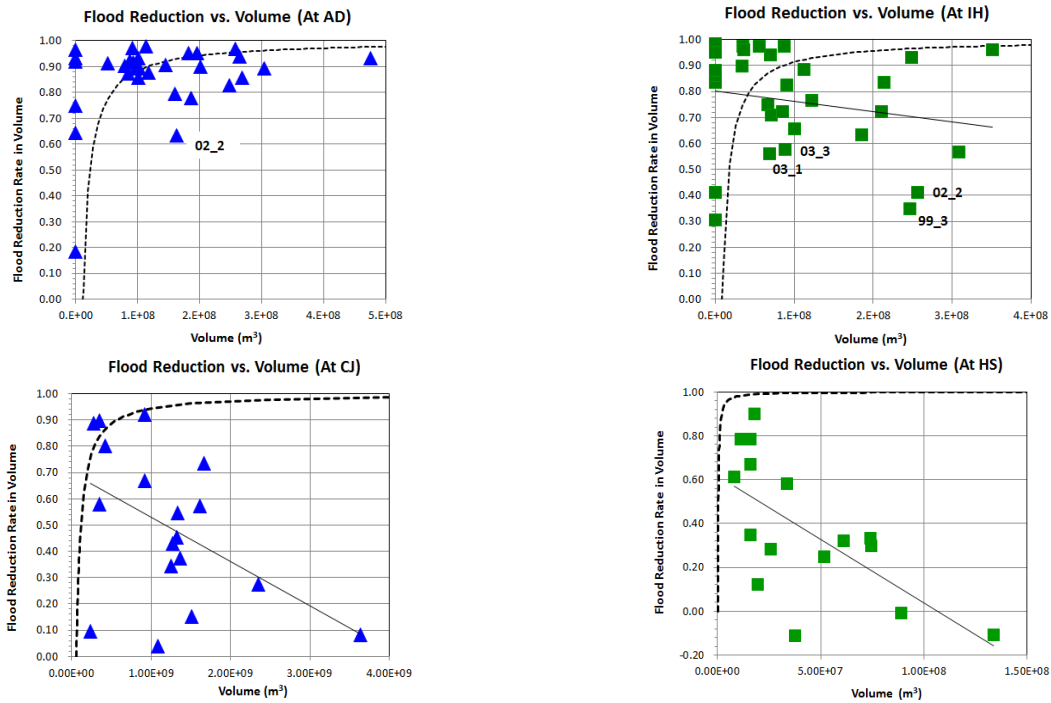


Fig. 5. Flood Reduction Rates in Discharge Volumes of Andong and Imha Dams Comparing with Chungju and Hoangsung Dams (Jung et al., 2015)

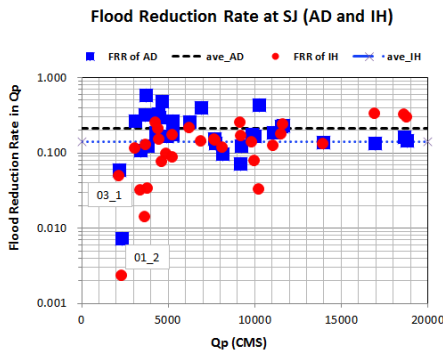


Fig. 6. Flood Reduction Rate at Sungju Gauging Station for Andong and Imha Dams

있다. 홍수규모가 작은 01\_2 사상의 경우 모든 댐이 없을 경우 (자연유량) 성주수위관측소에서 2,330m³/s 수준의 홍수유출을 가지는데 안동이나 임하댐이 홍수를 조절하는 양은 0.2% (임하댐)와 0.7% (안동댐)에 불과한 것으로 댐이 조절하는 홍수저감량보다 유출을 더 많이 하는 것으로 보인다. 하지만, 비슷한 홍수량을 가지고 있는 03\_1의 경우 2,190m³/s를 자연유량으로 흘려보내는데 안동댐과 임하댐의 홍수조절량은 10% 미만인긴 하지만 01\_2의 홍수조절 규모에 비해 크게 나타난 것으로 보인다(6%-안동댐, 5%-임하댐).

#### 4.4 유역면적과 홍수조절 능력

성주수위관측소에서 안동댐과 임하댐의 홍수저감율에 대한 영향을 면적에 대한 비로 분석하였다(Fig. 7). 성주수위관측소가 포함하는 유역면적의 크기를 기준으로 안동댐이 포함하는 유역과 임하댐이 포함하는 유역의 크기를 비교하면 성주가 포함하는 유역에 대해 안동댐이 상류유역의 크기는 13.6% (AD로 표기)를 차지하고 있으며 임하댐 상류유역의 범위는 11.6% (IH로 표기), 임하댐과 안동댐(AD+IH로 표기) 유역면적이 포함하는 면적의 비는 25.2%이다. 또한 Jung et al.(2015)의 연구에 의한 남한강 유역의 여주수위관측소에서 댐들의 영향 즉, 충주댐(CJ)과 횡성댐(HS)의 영향을 함께 표기하여 한 그래프에 나타내었다. 남한강의 경우는 여주수위관측소의 크기를 기준으로 횡성댐의 경우가 전체 유역의 면적의 2%에 해당하고 충주의 경우는 60%에 해당하는 면적을 가지고 있다. 홍수저감율과 면적의 영향을 비교하기 위해 선정된 홍수사상은 남한강과 낙동강에서의 공동사상을 사용하였다. 남한강의 경우 (Jung et al., 2015)는 충주댐과 횡성댐의 홍수저감율이 유역면적의 비 보다 작게 나타났으나 낙동강의 경우는 홍수저감율이 유역의 면적비 보다 조금 크게 나타나고 있다. 특히, 안동에서 홍수량이 작은 경우 댐의 방류량의 영향이 크게 나타나 홍수저감율이 유역의 면적비 보다 크게 발생하는 것으로 보인다. 이는 연속적인 홍수사상이 발생하는 경우 홍수에 대한 피해를 줄이기 위해 댐에서 과다한 방류를 실시한 영향으로 보인다. 한 예로 02\_1사상의 경우가 30%

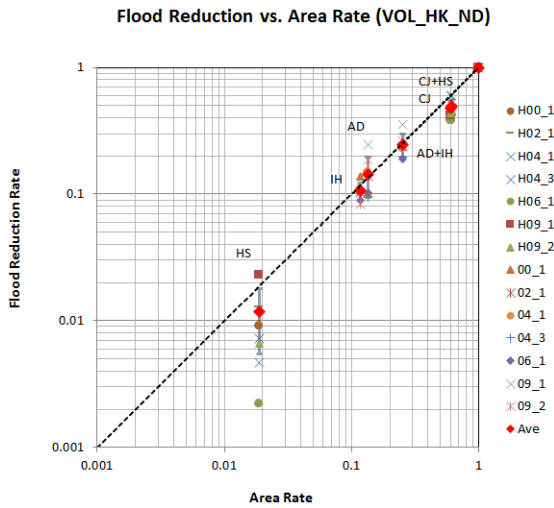


Fig. 7. Flood Reduction Rate with Area Rate Based on the Covered Watershed at Sungju Gauging Station

이상의 저감율을 나타낸다. 평균 홍수저감율은 임하의 경우 11%로 위에서 언급한 면적의 비율에 조금 크게(11.6%) 나타나고 있다. 동시에 임하댐과 안동댐을 고려하면 안동댐과 임하댐이 포함하는 유역의 면적의 비에 비해 홍수저감율이 1% 크게 나타나고 있다. 급변 분석으로 Jung et al.(2015)이 언급한 홍수저감율이 면적의 비보다 작게 나타난다고 하는 것을 일반화하기에는 무리가 있어 보인다. 하지만, 평균적으로 댐이 조절하는 홍수저감율은 댐이 포함하는 유역의 범위의 비에 비슷하게 조절되는 것으로 볼 수가 있으나 홍수의 상황이나 주어지는 여건에 따라서 홍수조절의 범위는 조정이 가능한 것으로 보인다.

#### 4.5 홍수조절 능력의 영향면적 분석

Fig. 8은 댐의 역할로 인한 홍수조절의 영향이 미치는 범위에 대해 분석하였다. 홍수조절에 대한 댐의 영향은 댐이 포함하는 유역의 면적을 기준(면적비=1)으로 하여 수위관측소가 포괄하는 유역의 면적과 댐상류 유역의 비를 면적비로 나타내었다. 낙동강에

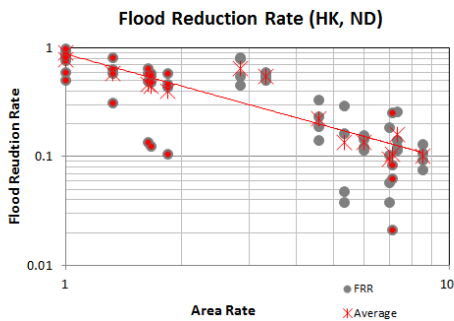


Fig. 8. Spatial Effects on Flood Reduction Rate Based on Dam Effects

서 사용된 수위관측소는 지보(4,516km<sup>2</sup>), 사벌(7,247km<sup>2</sup>), 일선교(9,510km<sup>2</sup>), 성주(11,642km<sup>2</sup>) 수위관측소이다. 각각의 사상에 대해 댐에서 처리하는 홍수저감율(FRR)의 영향이 하류로 내려갈수록 어떤 영향을 미치는 지를 보았다. Fig. 8은 Jung et al.(2015)에 의해 분석된 충주댐과 횡성댐의 자료를 함께 분석자료에 나타내었다. 현재 회색 원형모형에 빨강색 원형으로 함께 표기되어 있는 자료가 한강유역(HK)에서 가져온 자료이다. ND는 낙동강의 자료로 안동댐과 임하댐에 의한 홍수조절 능력을 보인다. 안동댐과 임하댐의 평균 홍수저감율은 댐 자체 저감율로 각각 88%와 81%이다. 이는 충주댐과 임하댐의 평균 홍수저감율과 비슷한 범위에 든다. 면적비와 평균 홍수저감율을 살펴보면 Jung et al.(2015)은 횡성댐의 크기 7배에 해당하는 범위에서 홍수조절 영향이 10% 이하(Gross and Moglen, 2007의 정의)로 떨어지는 것으로 보였으나 안동댐과 임하댐을 포함한 평균 영향범위는 댐상류 면적의 8.5배 정도에서 충주댐과 횡성댐에서 가졌던 홍수조절의 크기를 가진다. 이는 댐의 영향이 10%에 이르는 거리가 Romano et al.(2009)가 언급한 거리보다 멀게 주어질 수 있음을 보인다. 남한강 유역보다 홍수영향의 범위가 커진 이유는 남한강의 경우 댐의 홍수조절 영향 범위를 볼 수 있는 면적비가 7배에 이를 수 있는 댐이 횡성댐에 국한되어 한 개의 댐에 의해 결론을 가지지만 낙동강의 경우는 성주수위관측소가 포함하는 유역면적이 안동댐과 임하댐이 포함하는 유역에 비해 7배 이상의 크기를 가지고 있어 두 개의 댐과 횡성댐을 포함한 세 개의 댐 정보를 직접 활용할 수 있기 때문에 파악된다. 또한, 유역의 범위가 커지면 댐의 영향을 살펴봄에 있어서 댐으로부터의 직접적인 거리를 넘어서 주변 유역의 다양한 특성에 더 영향을 받을 수 있는 것으로 보인다(Romano et al., 2009).

#### 5. 요약 및 결론

기후의 다양성으로 인해 발생하는 여러 문제점들을 해결하기 위해 설치되는 댐의 주요 목적 중 하나인 홍수조절에 대한 평가를 홍수영향범위 계산방법으로 낙동강 유역에 적용하였다. 낙동강 상류에 설치된 안동댐과 임하댐의 영향을 받는 수위관측소의 홍수 사상에 대한 모의값을 중심으로 댐이 존재할 때와 댐이 존재하지 않을 때를 구분하여 댐의 영향으로 인한 유출총량(Volume)의 변화와 첨두유출량(Peak discharge)의 변화를 분석하였다. 댐 자체의 홍수조절 능력을 첨두유출량과 유입총량을 기준으로 살펴보면 몇몇 홍수사상을 제외하고 홍수사상의 크기가 크다고 홍수저감율을 저하시키지는 않는 것으로 나타났다. 홍수조절에 있어 홍수발생 가능성이나 현지 여건에 적합하게 조절하지만 홍수크기와 홍수저감율 조절에 대한 경향성을 보이지는 않는다. 댐 자체 홍수조절



능력을 평가함에 있어서 홍수조절 경향성을 분석하기 위해서는 침투홍수량 자료를 활용하는 것보다 방류총량을 통해 그 경향성을 조금 더 자세히 볼 수 있다. 성주수위관측소에서 안동댐과 임하댐의 평균 홍수저감율은 각각 21%와 14%로 안동댐이 포함하는 유역면적이 크거나 댐 체적의 크기에 영향을 직접적으로 받는 것으로 보인다. 하지만, 예외적으로 홍수의 크기가 15,000m<sup>3</sup>/s 이상 커지면 임하댐의 홍수저감이 성주에 더 크게 영향을 주는 것으로 나타났다. 댐의 홍수저감율과 유역면적의 비(최종 수위관측소의 면적을 기준으로)의 분석에서 댐이 조절하는 홍수저감율은 유역의 범위에 대부분 조금 낮게 이루어지는 것으로 나타났다. 하지만, 홍수가 발생하는 상황과 환경적인 요소에 따라 홍수조절의 범위가 조정되는 것을 볼 수 있었다. 또한, 댐의 홍수조절의 영향이 미치는 범위(10% 이내)는 기존 연구에서 언급한 댐이 포함하는 유역면적의 7배(Jung et al., 2015)가 아닌 8.5배로 늘어났으며 이는 더 많은 자료의 적용으로 인해 늘어난 범위이다. 급변 연구를 통해 댐 자체의 홍수조절에 있어 홍수사상이 크다고 홍수저감율을 저하시키는 것이 아니며 댐이 포함하는 유역의 크기에 따라서 홍수저감율이 달라지는 것을 보였으며 일정범위의 유역에서는 댐의 홍수조절 영향이 줄어드는 것을 보였다. 따라서 앞으로의 연구는 유역 주변의 다양한 특성과 홍수조절 영향성에 대한 연구를 진행할 수 있을 것이다.

## 감사의 글

이 논문은 2017년도 원광대학교 교내연구지원을 받아 수행된 연구임.

## References

- Andrews (Eds.). (1986). "Downstream effects of flaming gorge reservoir on the green river, colorado and utah." *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 97, pp. 1012-1023.
- Bennett, S. J. and Simon, A. (Eds.). (2004). "Riparian vegetation and fluvial geomorphology." *Water and Science Application*, Vol. 8. American Geophysical Union, Washington, DC. p. 282.
- Dawdy, D. R. (1991). "Hydrology of glen canyon dam and the grand canyon. in: innational research council (Ed.)." *Colorado River Ecology and Dam Management*, National Academy Press, Washington, DC, pp. 40-53.
- Fisher, S. G., Sponseller, R. A. and Hefferman, J. B. (2004). "Horizons in stream biogeochemistry: flowpaths to progress." *Ecology*, Vol. 85, pp. 2369-2379.
- Fisher, S. G., Walter, J., Schade, J. and Henry, J. (2001). "Landscape challenges to ecosystem thinking: creative flood and drought in the american southwest." *Scientia Marina*, Vol. 65 (Suppl. 2), pp. 181-192.
- Forman, R. T. T. and Godron, M. (1981). "Patches and structural components for a landscape ecology." *BioScience*, Vol. 31, pp. 733-740.
- Forman, R. T. T. and Godron, M. (1986). "Landscape ecology." *Wiley*, New York. p. 619.
- Graf, W. L. (2006). "Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers." *Geomorphology*, Vol. 79, pp. 336-360.
- Gross, E. J. and Moglen, G. E. (2007). "Estimating the hydrological influence of maryland state dams using GIS and the HEC-1 model." *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 12, No. 6, pp. 690-693.
- 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 Korea Water Resour. Assoc.*, Vol. 48, pp. 221-231.
- Kim, N. W., Jung, Y. and Lee, J. E. (2013). "Spatial extension of runoff data in the applications of a lumped concept model." *Journal Korea Water Resour. Assoc.*, Vol. 46, pp. 921-932.
- Kimura (1961). "Storage function methods for flood routing." Ph.D. dissertation, *Research Institute of Japan Civil Engineering*, pp. 89-96, 203-209.
- Ministry of Land, Infrasturture and Transport (MLIT) (2001). "Seomjin river flood forecasting and warning report." *Research Report*, Seomjin River Flood Control Office (in Korean).
- Ministry of Land, Infrasturture and Transport (MLIT) (2004). "Improvement of flood forecasting and warning systeme for keum river: Yongdam Dam and Miho-chun." *Research Report*, Korea Institute of Construction Technology (in Korean).
- Molles, M. C., Crawford, C. S., Ellis, M., Vallett, H. M. and Dahm, C. N. (1998). "Managed flooding for riparian ecosystem restoration-managed flooding reorganizes riparian forest ecosystems along the Middle Rio Grande in New Mexico." *BioScience*, Vol. 48, pp. 749-756.
- Romano, S. P., Baer S. G., Zaczek J. J. and Williard K. W. J. (2009). "Site modelling methods for detecting hydrologic alteration of flood frequency and flood duration in the floodplain below the Carlyle dam, Lower Kaskaskia river, Illinois, USA." *River Research and Applications*, Vol. 25, pp. 975-984.
- Wohl, E. (2004). "Disconnected rivers: linking rivers to landscapes." *Yale University Press*, New Haven. p. 301.