



Inference of natural flood frequency for the region affected by dams in Nam Han River

Kim, Nam Won^a · Lee, Jeong Eun^{a*} · Lee, Jeongwoo^a

^aHydro Science and Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do 10223, Korea

Paper number: 16-039

Received: 8 April 2016; Revised: 19 May 2016; Accepted: 19 May 2016

Abstract

The objective of this study is to estimate the unregulated flood frequency from Chungju dam to Yangpyung gauging station for the region affected by dams based on the peak discharges simulated by storage function routing model. From the flood frequency analyses, the quantiles for the unregulated flood frequency at 6 sites have similar pattern to each other, and their averaged quantile almost matched to the result from the regional flood frequency analysis. The quantile and annual mean discharge for the unregulated flood frequency for the downstream of Chungju dam show the similar behaviour to those for the upstream area. While the quantile and the annual mean discharge for the regulated flood frequency are significantly different from those for the unregulated flood frequency. In particular, the quantile shows severe difference as the return period increases, and the annual mean discharge has a tendency to approach to the natural flood as the distance from dam increases.

Keywords: Flood Frequency Analysis, Storage Function Routing Model, Natural Flood Frequency, Quantile

남한강 유역 댐 영향 지역의 기본홍수량 추론

김남원^a · 이정은^{a*} · 이정우^a

^a한국건설기술연구원 수자원·하천연구소

요지

본 연구에서는 남한강 유역내 충주댐 직하류부터 양평 수위관측소 지점까지 댐의 영향을 받는 지역에 대해 저류함수모형을 이용하여 댐에 의해서 조절되지 않은 자연상태의 홍수량을 모의하고, 이를 근거로 홍수빈도분석을 실시하여 기본홍수량의 거동 특성을 분석하였다. 충주댐 하류부 6 지점에 대한 지점빈도해석을 통해 산정한 재현기간에 따른 분위수의 변화는 지점별로 서로 유사하였고, 이의 평균적인 거동은 지역빈도분석 결과와 거의 일치하였다. 충주댐 하류지역 자연홍수량에 대해 계산된 분위수 및 빈도홍수량의 평균치는 충주댐 상류에서 기 도출된 결과와 유사한 특성을 나타내었다. 충주댐 하류지역의 분위수와 빈도홍수량의 평균치는 댐 유무에 따라 큰 차이를 나타내었으며, 특히 분위수는 재현기간이 커짐에 따라 더욱 큰 편차를 보였고, 통제된 경우 빈도홍수량의 평균치는 댐 하류로 갈수록 기본홍수량에 점차 근접해가는 형태를 나타내었다.

핵심용어: 홍수빈도분석, 저류함수모형, 기본홍수량, 분위수

*Corresponding Author. Tel: +82-31-910-0275
E-mail: jeus22@kict.re.kr (J. E. Lee)

1. 서론

수공구조물의 설계지표가 되는 빈도홍수량은 홍수량 실측 자료를 바탕으로 통계학적 홍수빈도분석을 통해 산정하거나, 설계호우-단위도법과 같은 강우-유출 관계를 이용하여 간접적으로 산정하고 있다. 전자와 같이 실측자료를 직접 활용하는 것이 이상적이지만, 수위나 유량의 관측오차, 자료기록 기간의 부족, 댐 영향에 따른 유량자료의 교란 등으로 인해 국내 실무에서는 후자의 방법이 주로 이용되고 있다. 그러나, 수문관측지점의 확대 및 자료축적, 유량측정기술의 고도화, 자료의 품질관리 등을 통해 실측자료의 활용성과 신뢰성이 증대하였고, 이와 함께 지역빈도해석기법의 적용, 추계학적 수문자료 생성기법의 도입, 수문모의 자료의 활용 등과 같이 자료의 한계를 극복하기 위한 노력으로 홍수빈도분석의 실무 활용 가능성이 점차 높아지고 있다.

실측자료 기반의 홍수빈도분석은 연최대치 홍수량자료를 이용하여 지점 혹은 지역빈도해석을 통해 확률홍수량을 산정하는 것으로, 기본적으로 자료가 정상성(stationarity)과 균질성(homogeneity)을 갖는다는 것을 전제로 하고 있다. 최근 들어 기후변화에 따른 자료의 비정상성으로 전통적인 홍수빈도분석 방법에 대한 논란이 있고, 또한 Vogel et al. (2011)이 논의한 바와 같이 자료의 비균질성이 홍수빈도분석을 더욱 어렵게 하고 있다. 홍수자료의 균질성을 저해하는 요소로 농경지나 도시개발로 인한 토지이용의 변화, 하천정비로 인한 물리적 하천구조의 변화, 댐 건설 및 운영으로 인한 하천유량의 교란 등이 있으며, 특히 댐의 홍수조절효과는 정상적인 홍수빈도분석을 수행할 수 없게 하며 이로 인해 댐 하류에서의 빈도홍수량의 추정 및 검증이 매우 어렵다. 이러한 이유로 소양강댐과 충주댐 그리고 화천댐 등에 의해서 홍수의 조절이 이루어지는 한강유역과 같은 대하천 유역은 일반적인 홍수빈도분석 절차를 적용하기 힘들다.

댐이 하류 하천유량에 미치는 영향에 관한 해외 연구로 Gregory and Park (1974), Maingi and Marsh (2002), Magilligan and Nislow (2005), Graf (2006), Yang et al. (2008), Romano et al. (2009) 등이 댐 건설 시점을 기준으로 전, 후의 수문학적 변화를 분석하였고, Gross and Moglen (2007), Peters and Prowse (2001), Hess and Inman (1994a, 1994b) 등은 댐 건설 이후의 기간에 대해 강우-유출모형으로 댐이 없는 자연상태 유량을 모의하고 교란된 관측 유량과 비교하여 홍수저감효과를 평가하였다. 특히 Hess and Inman (1994a, 1994b)는 홍수빈도분석까지 수행하여 빈도홍수량의 특성을 정량적으로 분

석하였다.

국내의 수문학적 댐 영향 분석에 관한 연구로는 Lee et al. (1993)이 우리나라 5개 수계에 대해 하상계수를 산정하여 댐 건설 후 유황이 개선됨을 보였고, Yoon et al. (1998)이 NWS-PC 모형을 이용하여 대청댐 건설로 인한 장기유출 특성 변화를 모의하였으며, Kim et al. (2002)은 대청댐 건설에 따른 하류 유황의 변화뿐만 아니라 댐 하류의 공주와 규암지점의 댐 건설 전후의 연 초과치 계열에 대한 빈도해석을 실시하여 댐의 홍수조절에 따른 홍수량 규모의 변화를 분석하였다. 또한 Park et al. (2008a)은 계층분석기법을 활용하여 댐 영향권 산정 지표와 항목의 중요도를 평가하고 대청댐이 하류 하천에 미치는 영향권을 산정하였고, Park et al. (2008b)은 수문변화 지표모형을 이용하여 영천댐을 대상으로 댐 건설 전후의 유황변동을 분석하였으며, Ko et al. (2009)은 물수지 분석 모델인 KModSim을 이용하여 용담댐과 대청댐의 건설 및 운영에 따른 댐 하류부 수통 및 공주지점의 유황변화를 분석하였다. Kim and Lee (2009)는 한강유역 소양강 및 충주 다목적 댐 운영에 따른 빈도홍수량의 거동 변화를 분석하였고, Kang et al. (2010)은 금강 유역의 물이용과 댐의 영향에 의한 하천유황의 변화를 평가하였으며 또한 댐 건설 전후에 대해 홍수 및 갈수빈도해석을 수행하였다.

이상과 같이 국내에서는 대부분 댐 건설 및 운영으로 인한 유황 변동 분석에 관한 연구가 주를 이루고 있고, 홍수빈도분석을 통한 댐 하류하천의 빈도홍수량 변화에 관한 연구는 드물게 수행되었다. 특히 댐 영향을 배제한 기본홍수량 추정 및 특성 분석에 관한 연구는 매우 제한적으로 이루어졌다. 따라서 본 연구에서는 남한강 유역 중 충주댐 직하류부터 양평 수위관측소 지점 사이의 유역에 대해 수문학적인 모형을 이용하여 댐에 의해서 조절되지 않은 홍수량을 유추하고, 이를 근거로 지점 및 지역 홍수빈도분석을 실시하여 댐 영향 지역에서의 기본홍수량 거동 특성을 분석하였다. 또한 충주댐 상류의 자연유역에 대한 홍수빈도분석 결과와의 비교를 통해서 댐 상하류간의 기본홍수량의 균질성을 평가하고, 댐 영향 유무에 따른 빈도홍수량의 변화를 분석하였다.

2. 대상유역 및 자연홍수량 추정

2.1 대상유역

팔당댐 상류유역(유역면적 23,800 km²)의 홍수량은 북한강과 남한강 상류에 위치한 소양강댐, 화천댐, 충주댐, 횡성댐의 방류상황에 크게 지배받고 있어 이들 댐 하류유역에 대해

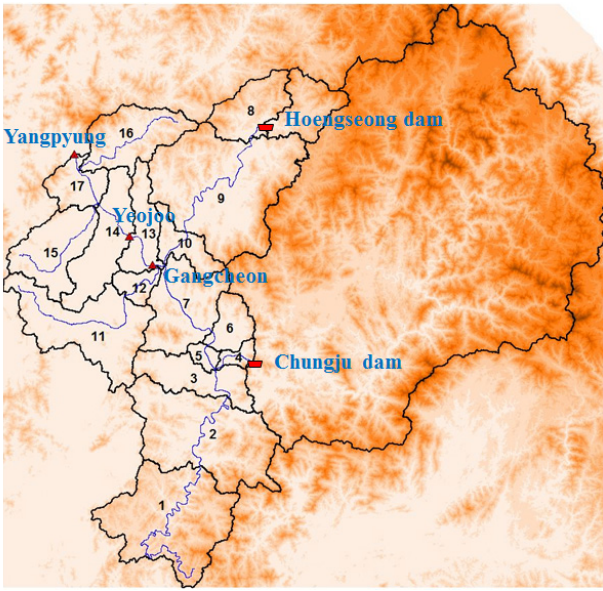


Fig. 1. Study area

서는 실제로 자연상태의 기본홍수량 분석이 잘 이루어지고 있지 않다. 이러한 댐 하류 유역 중에서 북한강 하류유역은 소양강댐과 화천댐뿐만 아니라 북한지역의 금강산댐 운영에 큰 영향을 받고 있고, 이 외에 본류에 위치하고 있는 춘천, 의암, 청평 등의 발전용 댐의 작은 간섭이 있기에 댐의 영향이 없는 자연상태의 홍수량을 추정하기에는 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 분석 방법의 간단성과 일관성을 위해서 팔당댐 상류의 남한강 유역을 분석 대상으로 선정하였다.

남한강 상류에는 충주댐(유역면적 6,648 km²)과 횡성댐(유역면적 209 km²)이 있어 그 하류 지역은 댐 운영의 영향을 크게 받고 있다. 본 연구에서는 충주댐 직하류부터 양평 수위관측소 지점사이의 유역을 대상으로 홍수빈도분석을 수행하였다. Fig. 1은 충주댐 하류부 유역에 대한 소유역 분할도를 나타낸 것이고, Table 1에 소유역 면적 및 누가면적을 기재하였다.

2.2 저류함수모형에 의한 비조절 홍수량 산정

현재 실측 홍수량 자료는 충주댐과 횡성댐의 영향에 의해서 조절된 홍수량이라고 할 수 있다. 따라서 이 자료를 이용하여 홍수빈도분석을 수행하는 것은 인위적으로 조절된 홍수량이 포함된 자료를 분석하기 때문에 균질성이라는 전제조건에 위배되며 그 홍수빈도분석 결과는 충주댐 상류의 자연상태의 빈도분석 결과와는 특성이 다르다. 따라서 본 연구에서는 댐 조절 영향을 받지 않는 홍수량의 추정을 위해서 한국수자원공사에서 운영하고 있는 홍수에경보시스템 내의 저류함수모형을 이용하였다. 유출모의의 관점에서 보면, 댐 영향을 고려한

Table 1. Subbasin characteristics

Subbasin	Area (km ²)	Inlet(I) or Observation(O) (watershed area (km ²))
1	676.7	-
2	691.1	-
3	246.5	-
4	43.5	(I) Chungju dam (6,648)
5	40.9	-
6	128.1	-
7	355.5	-
8	231.2	(I) Hoengseong dam (209)
9	898.3	-
10	153.6	(O) Gangcheon station (10,326) (Subbasins 1~10 + 2 dams)
11	519.5	-
12	77.1	-
13	182.9	(O) Yeoju station (11,096) (Subbasins 1~13 + 2 dams)
14	311.5	-
15	310.0	-
16	314.1	-
17	180.3	(O) Yangpyung station (12,107) (Subbasins 1~17 + 2 dams)

유량자료는 충주댐에서 조절된 방류량을 모형에 입력하여 댐 하류의 홍수량을 모의한 자료가 되며, 댐에 의해서 조절되지 않은 유량은 충주댐 및 횡성댐 방류량 대신에 유입량에 근거하여 홍수량을 모의하는 것이다.

수문모의 절차를 간략히 기술하면, 먼저 저류함수모형으로 충주댐 하류 유역을 셋업한 후, 관측 홍수수문곡선을 기준으로 모형의 검정(calibration)을 수행한다. 유역 및 하도추적 매개변수는 지역화 경험식을 이용하여 고정하고 초기조건과 관련된 매개변수를 각 홍수사상마다 최적화한다. 충주댐이나 횡성댐에서의 방류수문곡선은 저류함수모형의 입력자료로 이용되고 소유역 모의유출량과 함께 양평지점까지 하도 홍수추적 과정을 거친다. 이러한 방법으로 각 홍수사상별로 충주댐에서 양평지점까지 홍수량을 모의하고 수위관측소 지점에 대해서는 관측홍수량과 비교 검증한다. 상기 절차로 충주댐 하류에서 양평지점까지 유출모의를 수행하고, 양평 수위관측소 지점에서 실측 유량과 비교한 결과 NSE 값이 0.84로 뛰어난 모의 능력을 나타내었다(Kim et al., 2015). 모형에서 입력한 충주댐 방류량은 충주댐의 방류량이 아닌 충주 조정지점의 방류량을 부여한다. 이와 같이 방류량을 입력하여 모의된 수문곡선과 실측수문곡선의 비교결과가 전반적으

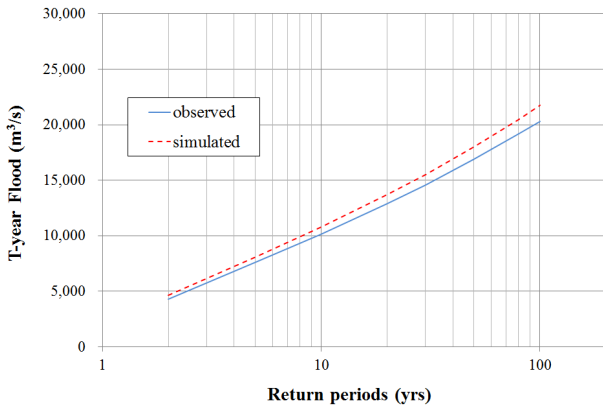


Fig. 2. Comparison of flood frequency curves based on simulated data and observed data at Yeosu gauging station

로 양호하였기에 충주댐의 유입량을 입력하여 댐 하류부 소유역 분할 지점의 댐 영향을 받지 않는 홍수수문곡선을 얻을 수 있었다. 대상유역에 대한 모형의 구축 및 검증, 댐 영향 고려 유무에 따른 홍수량 산정에 관한 자세한 사항은 Jung *et al.* (2015)의 논문을 참조할 수 있다.

3. 댐 영향 유무에 따른 홍수빈도분석

3.1 댐 영향을 받은 홍수자료의 홍수빈도 특성

충주댐 하류 남한강 본류에 위치한 수위관측소에서 실측한 홍수위를 수위-유량관계 곡선에 의해 홍수량으로 환산한 자료를 시나리오 1이라 명명하였다. 또한 충주 조정지점의 방류량과 잔유역의 저류함수에 의해서 모의된 홍수량 자료를 시나리오 2, 그리고 본 연구의 근간이 되는 충주댐 유입량에 의해서 모의된 자료는 시나리오 3이라고 명명하였다. 각 시나리오별로 연최대치 계열을 작성하고, 댐 하류 주요 지점에 대해 홍수빈도분석을 수행하였다. 홍수빈도분석을 위하여 적정 확률분포형으로는 GEV 분포를 선정하였으며, 매개변수 추정방법으로는 Hosking (1990)의 L-모멘트법을 이용하였다. 각 댐의 유입 및 방류량 실측자료에 근거한 분석을 하기 위하여 빈도분석의 시작 시점은 충주댐이 건설되어 운영된 시점은 1986년으로 하였다.

충주댐과 횡성댐이 건설되고 운영된 유역상황의 실측값과 모의값, 즉 시나리오 1과 시나리오 2에 대해 여주 수위관측소 지점의 빈도홍수량을 비교하여 Fig. 2에 나타내었다. 재현기간 2, 5, 10, 20, 50, 100년에 대하여 상대오차는 각각 7.1, 6.0, 5.9, 5.9, 6.2, 6.5%의 값을 보였으며, 평균적으로 약 6.3%로 비교적 작은 오차로 나타나 모의자료를 이용하여 빈도홍수량 추정이 가능한 것으로 분석되었다.

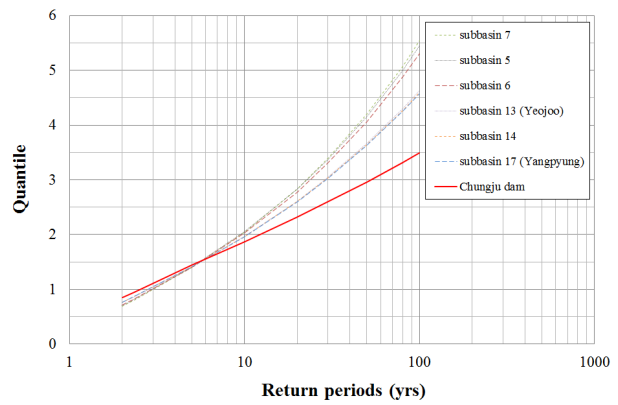


Fig. 3. Quantiles for regulated flood frequency

충주댐과 횡성댐의 방류량을 기준으로 모의한 홍수량 자료인 시나리오 2에 따라 충주댐에서 양평지점까지의 구간에서 여주 및 양평 수위관측소 지점을 포함한 총 6개 지점에서의 재현기간별 분위수를 구한 결과는 Fig. 3과 같다. 그림에서 보이는 바와 같이 충주댐 지점에서 하류로 내려올수록 재현기간 5년 이상의 경우 분위수의 경사가 감소하고 있다. 즉, 충주댐 직 하류지점의 홍수량은 댐에 의해 조절된 방류량의 영향이 크고 그 지점의 자체 소유역에서 얻어진 홍수량의 특성이 상대적으로 적게 나타나고 있음을 알 수 있으며, 하류로 내려올수록 자체 소유역이 점차 증가함에 따라 댐 방류량의 영향이 점차 작아지는 경향으로 인해서 분위수의 경사가 작아진 것이다. 이것은 Jung *et al.* (2015)에 의해서 제시된 바 있는 것처럼 유역면적이 증가함에 따라서 하류 지점의 첨두홍수량에 미치는 댐의 영향이 감소하는 것과 동일한 의미라 할 수 있다. 따라서 댐 조절 영향을 받은 하류의 홍수량 자료를 이용한 빈도분석은 분위수의 변화로 인하여 여러 지점의 변동계수와 무차원 왜곡도가 같다고 가정하고 홍수빈도분석의 확장성을 꾀하는 지역빈도분석이 적절치 않으며, 나아가 댐 하류에서의 조절홍수량에 대한 홍수빈도분석은 지점 분석에 의존하는 것이 더 타당함을 알 수 있다.

3.2 댐 영향을 받지 않는 자연홍수량에 대한 홍수빈도 특성

충주댐의 직하류에서 양평 지점까지 충주댐의 유입량을 입력하여 모의한 시나리오 3의 자료는 충주댐의 운영 영향을 받지 않는 자료라고 할 수 있다. 이들 자료를 이용하여 홍수빈도분석을 수행하여 그 결과를 Fig. 4-Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 4는 댐 하류지역의 자연홍수량에 대한 지점 및 지역홍수빈도해석 결과를 도시한 것으로 조절홍수량에 대한 결과인 Fig. 3과 달리 재현기간에 따른 분위수의 변화량이 지점별로

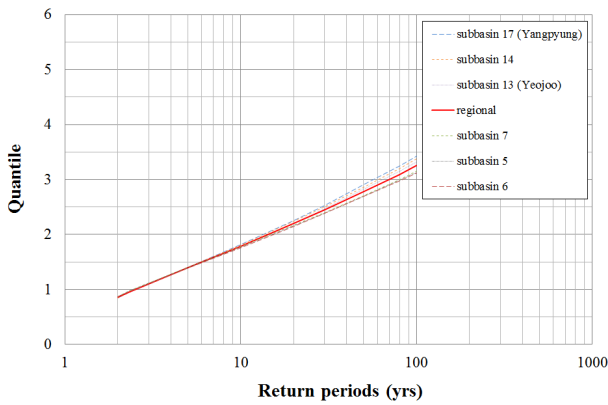


Fig. 4. Quantiles from the site and regional flood frequency analyses

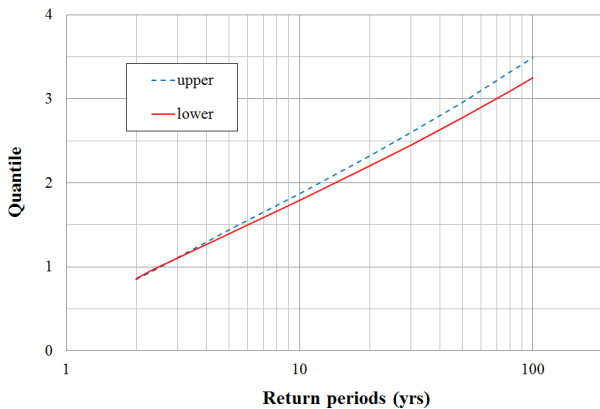


Fig. 5. Comparison of the quantiles between the upper and lower watersheds of Chungju dam

거의 비슷한 형태로 보이고 있으며, 지역빈도분석 결과가 각 지점의 분위수의 평균적인 거동을 보이고 있음을 알 수 있다.

댐 하류의 분위수를 충주댐 상류의 자연유역에서 추론한 결과인 Kim et al. (2016a)과 함께 도시하여 보면 Fig. 5와 같이 재현기간이 큰 경우 약간의 편차가 발생하기는 하지만 전반적으로 상하류의 분위수가 거의 일치하고 있다. 이것은 실제로 자연유역에서 분위수의 거동은 거의 일치한다는 지역빈도홍수빈도 분석의 타당성은 물론 소위 균질성 거동의 특성을 잘 나타내고 있는 것이다.

충주댐 하류의 6개 지점의 홍수량의 특성치를 이용하여, 대상유역내 다른 미계측 지역 또는 남한강 유역의 기본홍수량을 추론할 수 있다. 앞서 분석한 바와 같이 분위수가 같은 성향을 보이기 때문에 평균홍수량과 유역특성과의 관계를 유추할 경우 기본홍수량 산정이 가능하다.

Fig. 6은 6개 지점의 댐이 없는 비조절 조건에 대해 산정한 빈도홍수량의 평균치를 유역면적으로 나누어 비홍수량

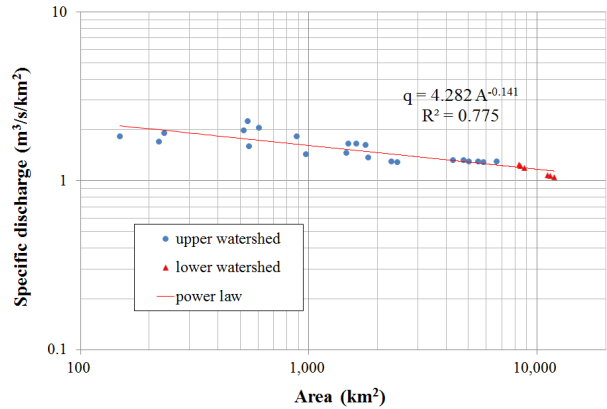


Fig. 6. Comparison of specific discharges for unregulated flood data between upper and lower watersheds of Chungju dam

(specific discharge)을 산정하고 이를 유역면적에 따라 나타낸 것(lower watershed)으로, 선행연구인 Kim et al. (2016b)의 결과(upper watershed)와 함께 도시하였다. 비홍수량은 Kim et al. (2016b)에 의해서 제안된 것과 같이 유역면적인 증가할수록 Eq. (1)와 같은 일정한 멱함수를 잘 따르고 있으며, 유역면적이 증가함에 따라 비홍수량이 약하게 감소하는 것을 알 수 있다.

$$q_0 = cA^b \tag{1}$$

여기서 q_0 는 비홍수량으로 평균홍수량을 유역면적으로 나눈 값이며, c 와 b 는 회귀계수이다. 남한강에서 일관되게 기본홍수량을 추론하기 위해서 상하류 결과를 일치하여 보면, Eq. (1)의 멱함수 계수인 c, b 값은 각각 4.282, -0.141로 산정된다.

3.3 기본홍수량과 통제된 홍수량의 비교

댐 유무에 따른 평균홍수량과 재현기간에 따른 분위수를 각각 Fig. 7과 Fig. 8에 도시하였다. Fig. 7에 나타낸 바와 같이 댐의 영향을 받은 시나리오 2에 대한 비유량 거동은 자연 홍수량인 시나리오 3의 결과와 완전히 상이한 것을 알 수 있다. 이는 댐에 의해 통제된 빈도홍수량은 Eq. (1)와 같은 멱함수라는 기본 원칙을 따르지 않는 것을 의미한다. 물론 Jung et al. (2015)에 의해 제시된 바와 같이 댐의 영향이 유역면적이 커짐에 따라 감소하기 때문에 유역면적이 증가함에 따라 통제된 경우의 비유량이 점차 자연홍수량에 대한 비유량에 점차 가까워지는 형태를 나타내고 있다. 분위수의 거동 또한 Fig. 8과 같이 조절, 비조절에 따라 상이하게 변동하는 특성을 나타내

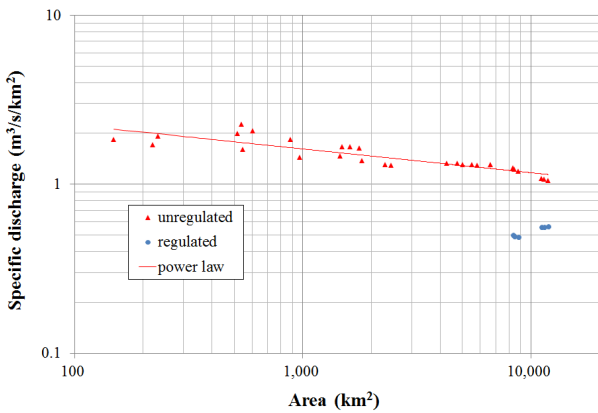


Fig. 7. Comparison of specific discharges between unregulated and regulated flood data

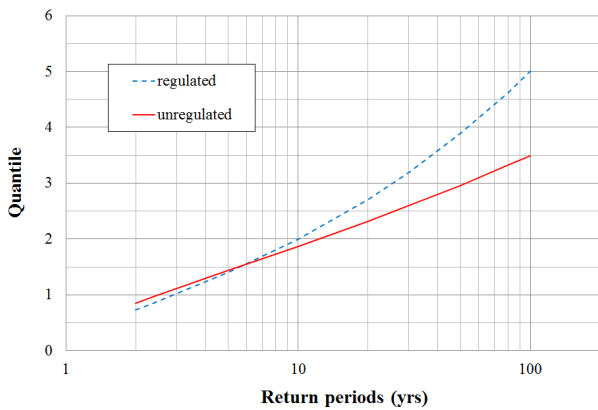


Fig. 8. Comparison of quantiles for unregulated and regulated flood frequencies

고 있으며, 특히 재현기간이 큰 경우 차이가 더욱 크게 발생하고 있음을 알 수 있다.

4. 요약 및 결론

효율적인 수자원 관리를 위해서 댐과 같은 수공구조물을 설치하게 되고, 이로 인해서 댐 하류하천에서 측정된 홍수량은 댐의 영향을 받아 자연적인 홍수량의 특성을 잃게 된다. 따라서 댐하류에서의 빈도홍수량의 특성은 자연형태의 홍수량과 다른 성질을 가지게 되어 하류지점에서의 계획홍수량의 설정 그리고 수자원관리 및 평가에 일관성 있는 결과를 가질 수 없게 된다.

본 연구에서는 충주댐 하류의 남한강에 대해서 빈도홍수량의 특성을 댐의 유무에 따라 평가하였다. 특히 댐에 의해 영향을 받지 않는 자연상태의 홍수량을 추정하기 위해 Kim et

al. (2015)과 Jung et al. (2015)에서 구축된 수문모형을 활용하여 공간확장된 홍수량 자료를 이용하였다. 이를 기반으로 현재의 관측자료인 댐의 영향을 받은 자료(시나리오 1)와, 이를 모의한 자료(시나리오 2), 그리고 충주댐, 황성댐의 유입량자료를 이용하여 모의한 자연상태의 홍수량 자료(시나리오 3)를 구현하였고, 각 시나리오별 년최대 홍수량 자료를 구축하여 댐 하류의 주요 지점별 빈도분석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 충주댐과 황성댐이 건설되고 운영되고 있는 현재 상황에 대한 관측과 모의 홍수량 자료(시나리오 1, 2)를 이용하여 여주 수위관측소 지점의 빈도홍수량을 비교한 결과 상대 오차가 약 6.3%로 비교적 작아 모의자료를 이용하여 빈도홍수량 추정이 가능한 것으로 분석되었다.
2. 충주댐과 황성댐의 방류량을 기준으로 모의한 조절 홍수량 자료(시나리오 2)를 근간으로 충주댐에서 양평지점까지의 남한강 본류 구간내 6개 지점에 대해 지점빈도해석을 수행한 결과 재현기간별 분위수의 거동은 지점별로 큰 차이를 나타내었고, 하류로 내려올수록 분위수의 경사가 감소하는 특성을 나타내었다. 따라서 댐 조절 영향을 받은 하류의 홍수량 자료를 이용한 빈도분석은 분위수의 변화로 인하여 지역빈도분석이 적절치 않은 것으로 분석되었다.
3. 충주댐 직하류에서 양평 지점까지 충주댐과 황성댐의 유입량을 입력하여 모의한 비조절 홍수량 자료(시나리오 3)에 대해 지점 및 지역빈도해석을 수행한 결과 재현기간에 따른 분위기 거동이 지점별로 거의 유사하였으며, 지역빈도분석 결과가 각 지점의 분위수의 평균적인 거동을 나타내는 것으로 분석되었다.
4. 자연홍수량에 대해 계산된 빈도홍수량의 평균치는 충주댐 상류에 대해 기 분석된 유역면적의 멱함수에 의한 거동과 유사하게 나타났으며, 댐 상하류 결과로부터 멱함수의 계수 c, b 값은 각각 4.282, -0.141로 산정되었다.
5. 충주댐 하류지역의 기본홍수량에 대한 분위수는 댐 영향을 받는 경우에 대한 결과와 상이한 특성을 나타내었으며, 재현기간이 큰 경우 더욱 큰 차이를 나타내었다. 빈도홍수량의 평균치 또한 댐 유무에 따라 상이한 형태를 나타내었으며, 유역면적이 증가함에 따라 기본홍수량에 점차 근접해가는 형태를 나타내었다.

댐 하류부는 댐의 조절 영향으로 인하여 수문해석 절차가 복잡해지고, 댐 상류부와 같이 자연적인 조건하에 이루어지는 수문분석과는 다른 형태의 분석이 요구된다. 특히 각중구조물의 설계, 계획, 그리고 수자원 운영, 평가시 기본이 되는

빈도홍수량은 평균홍수량, 분위수 등과 같은 기본적인 통계량의 변화로 그동안 분석 및 평가될 수 없었다. 본 연구가 댐하류 설계홍수량의 계산 및 수자원의 운영, 평가에 기여하길 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다.

References

- Graf, W.L. (2006). "Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers." *Geomorphology*, Vol. 79, pp. 336-360.
- Gregory, K.J., and Park, C. (1974). "Adjustment of river channel capacity downstream from a reservoir." *Water Resources Research*, Vol. 10, No. 4, pp. 870-873.
- 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.
- Hess, G.W., and Inman, E. (1994a). *Effects of urban-detention reservoirs on peak discharges in Gwinnett County, Georgia*, U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 94-4004.
- Hess, G.W., and Inman, E. (1994b). *Effects of urban flood-detention reservoirs on peak discharges and flood frequencies, and simulation of flood-detention reservoir outflow hydrographs in two watersheds in Albany, Georgia*, U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 94-4158.
- Hosking, J.R.M. (1990). "L-moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics." *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*, Vol. 52, No. 1, pp. 105-124.
- 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, S.K., Lee, D.-R., Moon, J.W., and Choi, S.J. (2010). "Effects of dams and water use on flow regime alteration of the Geum River basin." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 43, No.4, pp. 325-336.
- Kim, N.W., and Lee, J.E. (2009). "Assessment of probability flood according to the flow regulation by multi-purpose dams in Han-River basin." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 42, No. 2, pp. 161-169.
- Kim, N.W., Jung, Y., and Lee, J.E. (2015). "Dam effects on spatial extension of flood discharge data and flood reduction scale I." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 48, No. 3, pp. 209-220.
- Kim, N.W., Lee, J.E., Lee, J., and Jung, Y. (2016a). "Regional frequency analysis using spatial data extension method : I. An empirical investigation of regional flood frequency analysis." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 49, No. 5, pp. 439-450.
- Kim, N.W., Lee, J.E., Lee, J., and Jung, Y. (2016b). "Regional frequency analysis using spatial data extension method : II. Flood frequency inference for ungaged watersheds." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 49, No. 5, pp. 451-458.
- Kim, T.G., Yoon, Y.N., and Ahn, J.H. (2002). "An analysis on the changes of flow duration characteristics due to dam construction." *Journal of the Korea Society Civil Engineering*, Vol. 35, No. 6, pp. 807-816.
- Ko, I.-H., Kim, J., and Park, S. (2009). "Evaluation of eco-hydrological changes in the Geum River considering dam operations: I. Flow regime change analysis." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 42, No. 1, pp. 1-8.
- Lee, J.W., Kim, H.S., and Woo, H.S. (1993). "An analysis of the effects of damming on flow duration characteristics of five major rivers in Korea." *Journal of the Korea Society Civil Engineering*, Vol. 13, No. 3, pp. 79-91.
- Magilligan, F.J., and Nislow, K.H. (2005). "Changes in hydrologic regime by dams." *Geomorphology*, Vol. 71, pp. 61-78.
- Maingi, J.K., and Marsh, S.E. (2002). "Quantifying hydrologic impacts following dam construction along the Tana River, Kenya." *Journal of Arid Environments*, Vol. 50, No. 1, pp. 53-79.
- Park, B.J., Kim, H.S., Jung, K.S., and Ji, H.K. (2008a). "A study on the impact range calculation at the downstream of dam." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 41, No. 10, pp. 1009-1021.
- Park, B.J., Kim, J.T., Jang, C.-L., and Jung, K.S. (2008b). "Hydrologic regimes analyses on down stream effects of the Young Chun dam by indicators of hydrologic alterations." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 41, No. 2, pp. 163-172.
- Peters, D.L., and Prowse, T.D. (2001). "Regulation effects on the lower Peace River, Canada." *Hydrological Processes*, Vol. 15, pp. 3181-3194.
- 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.
- Vogel, R.M., Yaindl, C., and Walter, M. (2011). "Nonstationarity: flood magnification and recurrence reduction factors in the united states." *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 47, No. 3, pp. 464-474.

Yang, T., Zhang, Q., Chen, Y.D., Tao, X., Xu, C., and Chen, X. (2008). "A spatial assessment of hydrologic alteration caused by dam construction in the middle and lower Yellow River, China." *Hydrological Processes*, Vol. 22, pp. 3829-3843.

Yoon, Y.N., Kang, B.S., Kim, U.T., Kim, J.H., and Ko, I.-H. (1998). "An analysis on the variation of long-term runoff

characteristics of basin before and after dam construction: II. An analysis on the variation of long-term runoff characteristics of basin using model parameters estimation." *Journal of the Korea Society Civil Engineering*, Vol. 18, No. II-5, pp. 461-468.