

한강유역의 다목적댐 운영에 따른 빈도홍수량의 거동변화

The Change of Flood Frequency according to the Operation of Multi-purpose Dams in the Han-River Basin

김남원*, 이정은**, 이병주***
Nam Won Kim, Jeong Eun Lee, Byong Ju Lee

요 지

본 연구에서는 팔당댐 지점으로 상류에 위치하고 있는 소양강, 충주 다목적댐 운영에 따른 빈도홍수량의 변화를 분석하고자 하였다. 이를 연구하기 위해서는 우선 댐운영 전후의 홍수량 자료를 획득하는 것이 무엇보다 중요하다. 즉, 홍수량 산정에 있어 댐의 유무, 댐운영을 모두 고려하여 유출량을 합리적으로 산정하는 것이 관건이 된다. 실제로 단기 강우-유출모형에 의해 홍수량을 산정하여야 하나, 계산의 어려움과 유역의 비선형으로 인해 그 결과를 증명하기도 매우 어려운 현실이다. 다시 말해, 댐운영 전후의 유출량 비교는 물론 빈도홍수량의 비교연구가 진행되기 힘든 실정이다. 따라서 상대적으로 유역면적이 클수록 일유량과 첨두유량의 관계가 비교적 일정한 경향을 보인다는 점에 착안하여, 장기유출모형인 SWAT-K 모형을 이용하여 먼저 일유량을 모의하였다. 모의된 일유량과 첨두유량과의 상관관계로 댐운영 전후에 따른 빈도홍수량의 변화특성을 파악하고자 하였다. 홍수빈도분석을 위해 사용된 분포는 Extreme Type I이며, 매개변수 추정은 L-moment 방법을 이용하였다. 본 연구방법은 유역면적이 상대적으로 넓은 지역에서 댐운영에 따른 빈도홍수량의 변화를 파악할 수 있는 새로운 시도라고 할 수 있다.

핵심용어 : 홍수빈도분석, SWAT-K, 댐운영, L-moment

1. 서 론

댐의 하류부에 위치하고 있는 하천유량은 댐운영에 의해 조절된 유량으로서, 이수기에는 댐공급량으로 인해 유량이 증가하고, 홍수기에는 댐의 홍수조절효과로 첨두유량이 감소하는 것이 일반적이다. 이와 같이 댐건설 및 운영시점 전후에 따른 유량의 변화가 심하여, 일관된 해석의 어려움으로 인해 댐건설 전후에 따른 빈도홍수량 계산에도 많은 어려움이 발생한다. 따라서, 국내·외를 막론하고 이러한 해석에 있어 많은 연구가 이루어지고 있다. 국내에서는 원석연과 윤용남(1993)이 일평균유량 자료로부터 첨두홍수량을 산정한 바 있으며, 이승재 등(1995)은 과거홍수정보를 이용한 방법으로 한강 고안지점의 빈도홍수량을 산정하였다. 또한, 윤용남과 원석연(1998)은 한강 인도교 지점에서 댐군의 홍수조절효과를 고려한 빈도홍수량 산정에 관한 연구를 수행하였으며, 김남원과 원유승(2004)의 경우에는 4대강 유역에 대한 빈도홍수량을 제시하였으나, 기준 자료의 한계로 인하여 댐에 의한 빈도홍수량의 특성을 충분히 파악하지 못한 실정이다. 국외의 경우, Smakhtin(1999)은 비선형 공간 내삽법(non-linear spatial interpolation technique)을 이용하여 대상지점의 자연유량을 추정하였으나, 상류지점의 유량자료가 없다면 해석이 불가능한 한계를 지니고 있으며, Peters와 Prowse(2001)은 수문모형인 SSARR 모형과 수리학적 홍수추적 모형의 조합으로 조절효과가 없는 일단위의 자연유량을 추정한 바 있다.

본 연구는 댐개발 전후의 홍수량 자료를 어떻게 획득하느냐에 따라 그 결과가 매우 달라지기 때문에, 홍수량 산정에 있어 댐유무와 댐운영 방법이 모두 고려된 형태의 유출량을 어떻게 구하느냐가 관건이 된다. 본

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 · E-mail : nwkim@kict.re.kr

** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : jeus22@kict.re.kr

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : bjlee@kict.re.kr

연구는 대상유역인 팔당댐 상류유역이 매우 넓은 유역면적을 가지고 있기 때문에 첨두유량과 일유량의 관계가 비교적 일정함을 감안하여, 일유출모의 모형을 이용하여 댐 개발전의 유출량을 산정하여 첨두유량의 변화를 비교하는 절차를 시도하였다. 이 방법에 따라 유역면적이 상대적으로 넓은 지역에서 댐 개발전후에 따른 빙도홍수량의 변화를 파악할 수 있으리라 판단된다.

2. 빙도홍수량 평가개념 및 절차

2.1 빙도홍수량 평가 범위

팔당댐 상류유역에는 소양강, 충주, 화천댐과 같은 원천댐이 위치하고 있으며, 북한강 수계 내에는 춘천, 의암, 청평댐이 위치하고 있다. 본 연구에서는 홍수조절효과가 상당한 대규모 두 다목적댐인 소양강, 충주댐의 운영 유무에 따른 팔당댐 지점에서의 빙도홍수량의 변화를 평가하는 것이다. 이러한 빙도홍수량의 변화는 소양강, 충주댐의 운영효과라 할 수 있다. 화천댐의 경우, 유역계의 변화 즉, 화천댐 상류유역에 위치한 금강 산댐, 임남댐의 건설형태 파악이 불가능하며, 또한 북한의 자료를 알 수 없기 때문에 평가에서 제외하였다. 팔당댐과 소양강, 화천댐의 중간유역에 위치한 발전용댐인 춘천, 의암, 청평댐의 경우에는 각 댐의 저류효과를 생각할 수 있으나, 그 효과는 미미하다고 가정하여 마찬가지로 평가에서 제외하였다. 분석기간은 충주 댐이 건설되어 운영된 시점인 1986년부터 2005년까지로 하였다. 이는 저수지 모의운영을 통한 각 댐의 모의 유입량, 방류량 자료가 아닌 각 댐의 실측자료에 근거한 분석을 위함이다.

2.2 팔당댐 지점의 일유량 사용

빙도홍수량의 평가는 첨두유량에 의해서 이루어지는데 (김남원과 원유승, 2004), 팔당댐 지점에서의 첨두유량은 상류에 위치한 소양강, 충주댐의 영향을 받는다. 따라서, 상대적으로 일정한 도달시간 및 집중시간 등에 의해 일자료인 평균홍수량과 시자료인 첨두홍수량의 관계는 일정하다고 할 수 있다. 또한 상대적으로 유역면적이 작을수록 일유량과 첨두유량의 관계가 불확실한 반면에, 유역면적이 증가할수록 그 관계는 명확하게 나타난다고 할 수 있다. 그림 1은 소양강, 충주, 팔당댐 상류유역의 면적에 따른 각 댐지점에서의 첨두유량과 일유량의 평균비를 나타낸 것으로, 각각 1.81, 1.53, 1.38의 값을 나타낸다. 유역면적이 증가할수록 첨두유량과 일유량의 평균비는 감소함을 알 수 있다. 그림 2는 팔당댐 지점의 일단위, 시단위 실측유입량 (1986~2005년)에 대하여 각각 연최대치 계열을 작성한 후, 홍수빈도분석을 수행한 결과이다. 재현기간 2, 5, 10, 20, 50, 100년에 해당하는 빙도홍수량을 검토해보면, 첨두유량과 일유량의 빙도홍수량비는 1.34 정도로 나타났다. 이는 팔당댐 지점에서의 첨두유량과 일유량의 평균비 1.38과 비교해보면, 거의 유사함을 확인할 수 있다. 따라서 첨두유량과 일유량의 관계를 이용하여 빙도홍수량의 특성을 논의하는 것은 그 타당성이 있다고 할 수 있다.

2.3 댐운영 유무에 따른 유출모의 개념

현재 팔당댐에서의 유입량은 상류에 위치하고 있는 충주, 소양강, 그리고 화천댐의 영향을 받아서 조절된 홍수량이다. 댐의 운영으로 인하여 조절되지 않은 홍수량에 대한 실측자료는 존재하지 않을 뿐더러, 빙도분석 역시 불가능하다. 물론 이에 대한 해석은 현재 한강홍수통제소에서 구축되어 있는 저류함수모형과 같은 단기 강우-유출모형으로 댐이 운영되지 않는 상황에 대한 홍수량 산정이 가능하다. 그러나, 유역전반에 걸친

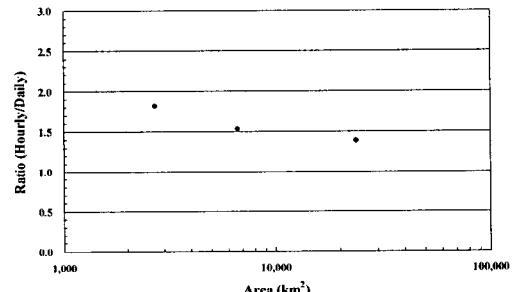


그림 1. 첨두유량과 일유량의 평균비

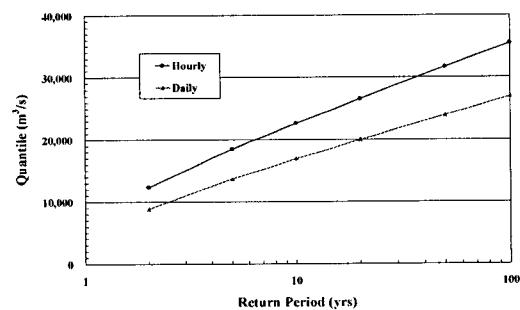


그림 2. 첨두유량과 일유량의 빙도곡선 비교

홍수모의가 호우시마다 다른 거동을 나타내고 있어 실제로 한강유역에 대해서 이러한 모형의 성공적인 모의를 기대하기는 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 앞서 논의했던 것처럼 팔당댐 지점에서의 일유량을 모의한 후, 첨두유량과 일유량의 관계를 이용하여 홍수빈도의 특성을 논의하고자 하였다. 현재 SWAT-K 모형은 이미 김남원 등(2007)에 의해서 모형의 효율성이 충분히 입증된바 있으며, 이를 이용할 경우 댐운영 유무에 따른 홍수량을 산정할 수 있다. 본 연구에서의 소양강, 충주 두 다목적댐 운영에 따른 팔당댐 지점에서의 빈도홍수량 변화 특성 분석을 위한 절차는 다음과 같다.

- (1) SWAT-K의 검정을 위해서 소양강, 충주댐 그리고 화천댐의 실측 방류량과 잔유역의 유출모의를 통하여 팔당댐에서의 일유량에 대한 모형 적용성을 검토한다. 이는 SWAT-K 모형에 대한 팔당댐에서의 일유량 모의능력 평가이며, 이 값은 현재 두 다목적댐의 실제 운영이 이루어지고 있는 상황에서의 유량이다.
- (2) 각 댐의 실측 유입량과 잔유역의 유출모의를 통하여 팔당댐의 일유량을 모의한다. 이때, 소양강, 충주댐의 영향을 세분하여 평가할 수 있다.
- (3) 각 댐의 운영 유무에 따른 시나리오별 홍수빈도분석을 수행하여, 두 다목적댐에 의한 홍수조절효과 및 홍수빈도거동 특성을 비교 검토한다.

3. 모의유량 산정을 위한 모형구축 및 적용결과

3.1 모형구축 현황 및 적용과 매개변수 보정

본 연구의 대상유역은 팔당댐 상류유역으로 댐운영에 따른 홍수량의 변화를 평가하기 위해 SWAT-K 모형을 적용하였다. 대상유역의 모형구축 현황을 나타낸 그림 3에서와 같이 화천댐, 소양강댐, 충주댐, 괴산댐 상류유역은 Inlet 지점으로 구성하였다. 일단위의 수문기상자료(강우, 태양복사량, 최고/최저 기온, 풍속, 상대습도)는 충주댐 건설시점인 1986년부터 2005년까지 구축하였다. 수치주제도의 경우에는 100m 격자크기의 DEM, 환경부의 토지피복도(중분류), 농업과학기술원의 정밀토양도(토양통 분류)를 이용하였다. 모의 대상유역은 모두 21개의 소유역으로 구분하였다(김남원 등, 2007).

지표면 유출모의를 위해 SWAT-K에서의 수정된 CN 방법을 적용하였으며, 연속방정식과 Manning의 식을 이용하여 비선형 저류방정식을 이용하여 하도추적을 수행하였다. 증발산량 산정을 위해서는 Penman-Monteith 방법을 이용하였다. 보정을 위해 유출총량의 적합성을 위해 토양증발보상계수(ESCO)에 대한 보정을 실시하였으며, 이후 측방흐름 조정계수(ADJF), 대수층 함양 지체시간(GW_DELAY), 지하수 감수상수(ALPHA_BF), 평균경사장(SLSUBBSN), 지표면 경사(SLOPE), 저류상수 가중계수(MSK_CO2)에 대하여 각각 보정을 실시하였다.

3.2 소양강, 충주댐의 실측방류량에 따른 모의유량 평가

앞서 기술한 바와 같이 팔당댐 상류유역에 대한 유출모의의 불확실성을 최소화하기 위하여 소양강, 충주댐 상류유역은 유출모의를 수행하지 않고, 실측방류량 자료를 이용하였다. 그림 4는 팔당댐 지점의 관측유입량과 모의유입량을 비교·도시한 것으로 각 댐의 실측방류량과 나머지 잔유역에 대한 유출 모의결과이다. 홍수기에 대한 결정계수는 0.87로 높은 적합성을 보여주었다. 그림 5는 분석기간인 1987~2005년에 대하여 관측유입량과 모의유입량의 연최대치를 비교한 것이다.

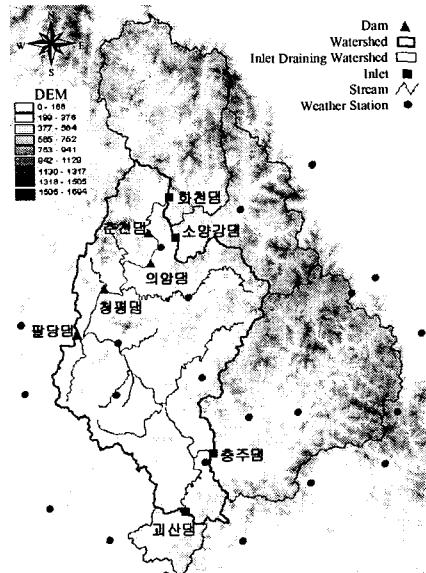


그림 3. 대상유역의 모형구축 현황

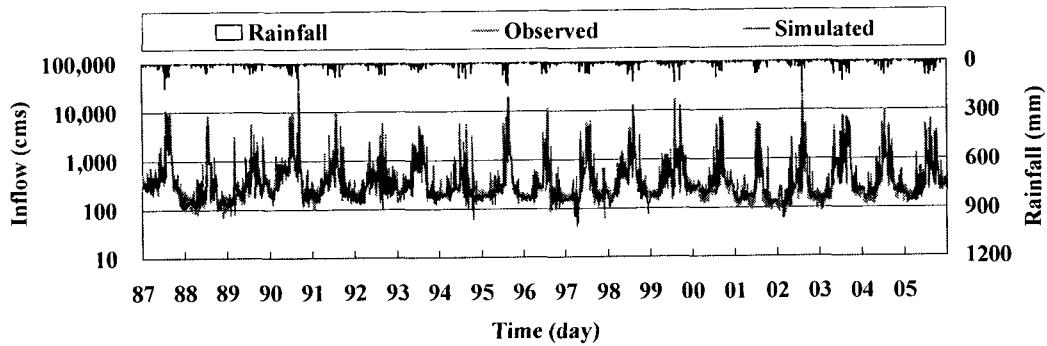


그림 4. 팔당댐 지점의 모의유입량과 관측유입량의 비교

4. 다목적댐 운영에 따른 빈도홍수량의 변화

앞서 소양강, 충주댐의 운영이 이루어지고 있는 현 유역상황에 대한 유출모의를 통하여 팔당댐 지점에서의 유량에 대한 검증이 이루어졌다. 따라서, 홍수조절기능을 가진 두 다목적댐의 운영이 이루어지지 않는 상황을 가정하여, 팔당댐 지점에서의 홍수량 변화를 고찰해 보았다. 댐이 건설되어 운영이 이루어질 경우에 대해서는 화천댐, 소양강댐, 충주댐 상류유역의 영향을 고려하기 위해 각 댐의 관측방류량 자료를 모형에 고려하였다. 여기에서는 댐이 건설되지 않은 상황, 즉 댐운영이 이루어지지 않은 경우를 가정하기 위해 각 댐의 관측유입량 자료를 모형에 고려하여 각각의 시나리오(시나리오 1: 소양강댐 건설·운영전, 시나리오 2: 충주댐 건설·운영전, 시나리오 3: 소양강, 충주댐 건설·운영전)에 대하여 유출모의를 수행하였다. 따라서, 모의된 유량에 대하여 각 시나리오별 일홍수량 연최대치 계열을 작성하여, 홍수빈도분석을 수행하여 빈도홍수량을 산정하였다. 홍수빈도분석 수행을 위하여 적정분포형으로는 Extreme Type I을 선정하였으며, 매개변수 추정방법으로는 Hosking의 L-moment 방법을 이용하였다. 각 시나리오에 따른 재현기간별 빈도홍수량의 산정결과는 그림 6과 같다. 이는 소양강, 충주 두 다목적댐 운영이 팔당댐 지점으로 유입되는 홍수량에 미치는 영향이라 할 수 있다. 두 다목적댐이 운영되고 있는 현재 유역상황의 실측값과 모의값에 대한 빈도홍수량을 검토해보면, 재현기간 2, 5, 10, 50, 100년에 대하여 상대오차는 조금씩 증가하였으며, 평균값은 3%로 나타났다. 그리고, 시나리오 1, 2, 3에 대하여 빈도홍수량의 증가량은 16, 27, 41%로 분석되었다. 이는 소양강댐에 비해 충주댐의 홍수조절효과가 큼을 보여주고 있다. 본 연구에서의 다목적댐 운영에 따른 빈도홍수량 거동변화는 일유량 자료에 대한 분석으로 첨두유량을 분석한 결과로 도출하기 위해서 일유량과 첨두유량의 관계비를 적용하여 빈도홍수량을 도출할 수 있으며, 빈도홍수량의 증가량은 일유량 자료의 분석결과와 동일하다.

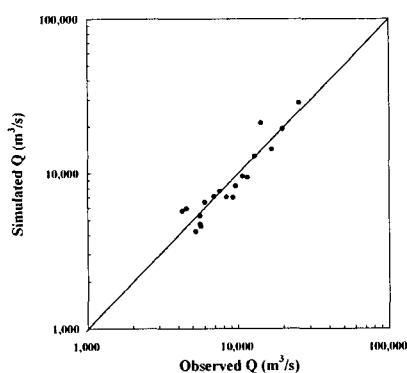


그림 5. 관측값과 모의값의 연최대치 계열의 비교

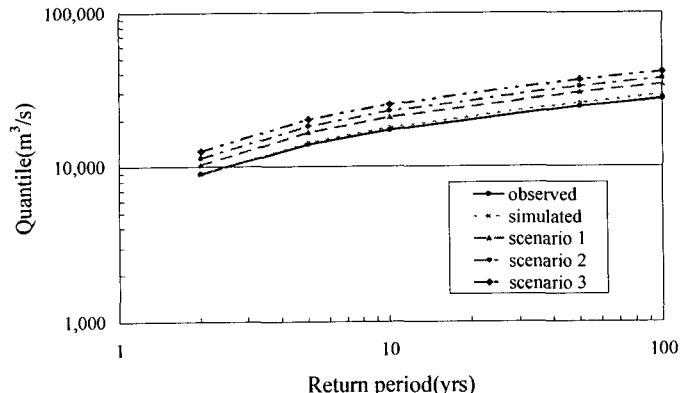


그림 6. 각 시나리오에 따른 빈도홍수량의 거동

5. 결 론

여름철에 많은 양의 강우가 집중되어, 홍수문제가 빈번히 발생하는 우리나라의 기후상황에서 주요 수공구 조물 설계의 지표가 되고 있는 빈도홍수량의 산정은 매우 중요하다. 나아가 홍수조절목적을 지닌 다목적댐의 경우, 댐건설·운영 전후에 따라 하류지점에서의 빈도홍수량 거동에 미치는 영향은 구체적으로 파악되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 한강유역의 다목적댐이 빈도홍수량의 변화에 미치는 영향을 정량적으로 분석, 평가하는 것을 목적으로 하였다. 평가를 위해서 준분포형 유역모형인 SWAT-K 모형을 이용하여 팔당댐을 중심으로 다목적댐 건설 및 운영전후의 빈도홍수량 특성을 분석한 결과는 소양강, 충주댐이 건설되지 않았다고 가정하였을 경우, 각각 16, 27 %의 증가, 두 다목적댐이 모두 건설되지 않았다고 가정하였을 경우에는 41 %의 빈도홍수량의 증가를 보였다. 본 연구는 댐이 구축된 후, 하류하천에서의 빈도홍수량에 미치는 댐운영 효과를 분석하고자 시도한 연구로서 우리나라 다목적댐의 홍수조절효과 분석에 도움이 되었으면 한다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 2-2-2)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 김남원, 원유승 (2004). 우리나라의 빈도홍수량 추정, 한국수자원학회 논문집, 제37권, 제12호, pp. 1019~1032.
- 김남원, 이정은, 원유승 (2007). 한강유역의 다목적댐 운영에 따른 유황변동 특성 분석 및 평가, 대한토목학회 논문집, 제27권, 제1B호, pp. 53~63.
- 원석연, 윤용남 (1993). 홍수사상별 일평균유량 자료로부터의 첨두홍수량 산정, 한국수문학회지, 제26권, 제2호, pp. 59~65.
- 윤용남, 원석연 (1998). 한강 인도교 지점의 계획홍수량 산정을 위한 지점빈도해석, 한국수자원학회논문집, 제31권, 제4호, pp.469~481.
- 이승재, 서규우, 허준행, 조원철 (1995). 한강 고안지점의 홍수위 환산과 홍수 빈도해석, 한국수자원학회지 논문, 제28권, 제5호, pp. 191~204.
- Peters, D. L. and T. D. Prowse (2001). Regulation effects on the lower Peace River, Canada, Hydrological processes, Vol. 15, pp. 3181~3194.
- Smakhtin, V. Y. (1999). Generation of natural daily flow time-series in regulated rivers using a non-linear spatial interpolation technique, Regulated Rivers: Research & Management, Vol. 15, pp. 311~323.