

한강유역의 자연유량 산정

Estimation of Natural Flow in Han river basin

김남원*, 이정은**, 원유승***

Nam Won Kim, Jeong Eun Lee, Yoo Seung Won

요 지

국내 유량자료는 아직 장기간의 유출량 자료가 확보되어 있지 못하며, 미계측 유역에서의 유출량에 대한 해결책이 마련되어 있지 못한 실정이다. 따라서 국가 수자원 계획이나 효율적인 물관리를 위한 장기유출해석을 위해 유출모형이 사용되고 있다. 본 연구에서는 한국건설기술연구원에서 개발한 SWAT-K 모형을 이용하여 팔당댐 지점을 최종출구점으로 하는 한강유역의 자연유출량을 산정하고자 하였다. 여기에서는 유역내 인위적인 저류시설물인 댐이 없는 상태를 자연유량이 가정하고 팔당댐 지점에서의 자연유량을 산정하여 그 결과를 검토하였다.

대상유역으로 선정된 한강유역(팔당댐 상류유역)의 경우, 유역내 다목적댐, 용수전용댐, 발전전용댐 등 다수의 댐이 위치하고 있다. 기존 사용되어 오고 있는 집중형 모형으로는 대상유역 내의 댐을 고려할 수 없으며, 유역출구점에서의 유출량만을 모의할 수 있다. 그러나, SWAT-K 모형은 유역내 댐고려가 가능한 저수지 모듈을 포함하고 있으며, 유역내 사용자가 원하는 지점에서의 유출량을 모의할 수 있다. 먼저 자연유량을 산정하기 앞서, 댐이 위치하고 있는 대상유역에 대하여 모형에서 고려할 수 있는 댐운영 방법별로 모의유량과 관측유량을 이용하여 댐운영 모의능력을 검증하였다. 또한, 대상유역의 최종출구점인 팔당댐 지점과 유역내에 위치하고 있는 댐지점에 대하여 각각 관측유량과 모의유량을 비교·검토하여 모형의 적용성을 확인할 수 있었다. 따라서, 최종적으로 보정된 매개변수를 이용하여 댐이 없는 상태의 한강유역에 대하여 자연유량을 산정하여, 팔당댐 지점을 중심으로 댐의 유무에 따른 유량의 변화를 고찰하였다.

핵심용어 : SWAT-K 모형, 댐운영, 자연유량

1. 서론

자연상태하에서의 장기간 하천유량자료는 합리적인 이수계획 수립을 위해 필수적인 수문자료이다. 국내의 하천유량자료는 수위-유량관계곡선을 통해 구축되고 있으며, 이들 수위-유량관계곡선은 고수위나 평수위에서 개발되어지고 있다. 따라서, 이수계획 수립에 중요한 갈수유량을 구축하기 위한 수위-유량관계곡선은 전무한 실정이다. 또한, 대부분의 하천유량은 인위적인 시설물인 댐의 영향으로 장기간의 자연유량을 산정한다는 것은 더욱 어려운 상황이다.

본 연구에서는 한국건설기술연구원에서 개발한 SWAT-K 모형을 이용하여 팔당댐 지점을 최종출구점으로 하는 한강유역의 자연유출량을 산정하고자 하였다. 일반적으로 자연유량이라 함은 하천이 개발되지 않고 인위적인 물사용이 없는 상태에서의 하천유량을 의미한다. 여기에서는 유역내 인위적인 저류시설물인 댐이 없는 상태를 자연유량이 가정하고 팔당댐 지점에서의 자연유량을 산정하여 그 결과를 검토하였다. 먼저 모형의 댐운영 모의능력을 검증하였으며, 또한 대상유역의 최종출구점인 팔당댐 지점과 유역내에 위치하고 있는 각 댐지점에 대하여 각각 관측유량과 모의유량을 비교·검토하여 모형의 적용성을 확인하였다. 최종적으로 보정된 매개변수를 적용하여 댐이 없는 상태의 한강유역에 대한 자연유량을 산정하여 그 결과를 고찰하였다.

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

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

*** 정희원 · 한강홍수통제소 하천정보센터 토목연구사 · E-mail : yswon@moct.go.kr

2. 저수지 이론 및 적용기법

SWAT 모형은 저류지 추적을 수행하여 유역모의를 수행한다. 저류지는 용수공급과 치수에 중요한 역할을 한다. SWAT 모형에서는 4가지의 수체 형태(못, 습지, 요면/지호, 저수지)에 대해서 모의하고 있다. 못, 습지, 요면/지호는 주하천 밖의 소유역내에 위치하고 있다. 저수지는 주하천망에 위치하고 있으며, 수체의 상류에 있는 모든 소유역으로부터 물을 받는다(Neitsch 등, 2001). 본 연구에서는 댐고려를 위해 저수지 관련모의를 수행하였다.

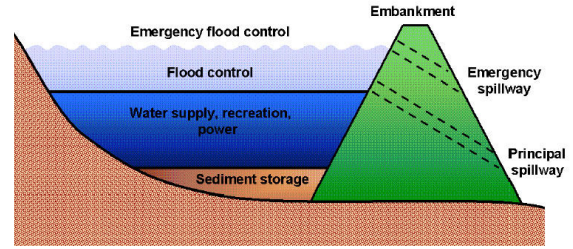


그림 1. SWAT 모형의 저수지 구성요소

2.1 저수지(reservoir) 이론

저수지는 유역내 주하천망에 위치한 저류지이다. 자연적, 인위적 구조물에 대한 구분은 없으며, 그 형태는 그림 1에 나타난 바와 같다.

저수지에 대한 물수지는 다음과 같다.

$$V = V_{\text{stored}} + V_{\text{flowin}} - V_{\text{flowout}} + V_{\text{pcp}} - V_{\text{evap}} - V_{\text{seep}} \quad (1)$$

여기서, V : 저류량(m^3), V_{stored} : 초기 저류량(m^3), V_{flowin} : 유입량(m^3), V_{flowout} : 유출량(m^3), V_{pcp} : 강수량(m^3), V_{evap} : 증발량(m^3), V_{seep} : 침투량(m^3)이다.

2.2 저수지 모듈개선 및 댐방류량의 결정

SWAT 모형의 인터페이스 상에서 각 댐에 대하여 입력한 자료는 대상유역 내에 여러 개의 댐을 고려할 경우, 모형구동시 댐이 혼동되어 인식되는 오류가 발생한다. 이는 SWAT 모형 내에서 저수지 관련파일 생성시 댐의 고유번호를 부여할 때 발생하는 오류로 인한 것이다. SWAT-K 모형에서는 이와 같은 오류를 수정하였다. 유역내의 주수로망에 위치하는 저수지는 SWAT-K 모형의 인터페이스 상에서 정보를 입력할 수 있으며, 입력된 정보는 저수지 입력파일(.res)에 저장된다.

댐방류량 결정을 위한 저수지 모듈의 계산순서는 다음과 같다. 먼저, 각 댐의 초기값을 인식하여 두 개의 기지점(주/비상여수로)에 대한 저수지 표면적과 체적정보로부터 해당일에 대한 저수지 표면적을 계산한다. 다음 과정으로 저수지에 대한 저류량, 유입량, 강수량, 증발량, 침투량을 각각 계산한 후, 저수지에서의 물수지 계산을 통하여 해당일의 저류용량을 계산하게 된다. 해당일의 저류용량이 계산되면 댐방류량을 결정하기 위해, 4가지 방법(관측일방류량, 관측월방류량, 평균연방류율, 목표방류량) 중 선택된 방법이 적용된다. 이후 사용자가 입력한 최대/최소 방류량의 기준에 따라 댐방류량이 결정된다. 결정된 댐방류량에 물사용량을 뺀 후, 회귀율을 다시 더하여 최종 댐방류량을 결정한다. 이러한 과정을 각 저수지에 대하여 일단위로 모의 기간에 대하여 반복한다.

대상유역 내에 위치하고 있는 댐은 하류 유역의 유량에 직접적인 영향을 미치므로, 각 댐의 방류량의 결정은 매우 중요하다. 댐에서의 총방류량은 발전방류량, 여수로방

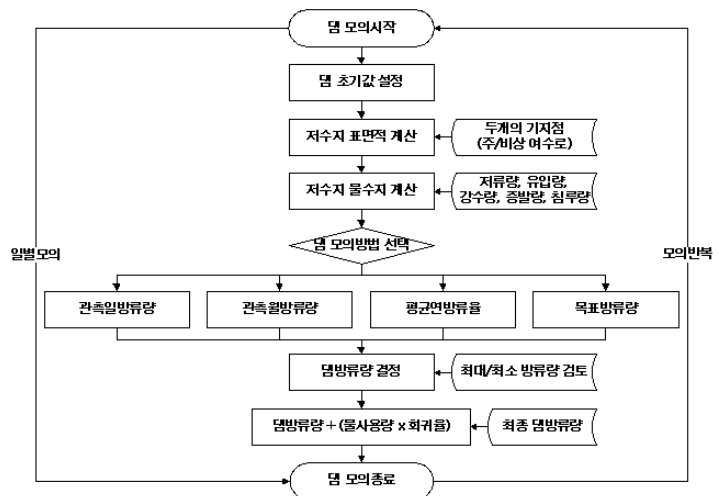


그림 2. 저수지 모듈의 계산순서

류량, 용수공급량, 기타방류량 등으로 나뉘어진다. 일/월 관측방류량 방법으로 댐에서의 유출을 고려할 경우에는 각 댐의 관측방류량 자료를 이용하여 총방류량을 결정한다. 평균연방류율이나 목표방류량 방법을 이용할 경우, 각 댐의 총방류량은 앞서 기술한 이론에 따라 여수로 방류량을 결정한 후, 발전방류량, 용수공급량, 기타방류량을 더하여 결정한다. 이를 위해 저수지 모듈에서 최종 댐방류량 = [댐방류량 + (물사용량×회귀율)]을 이용하였다. 여기서, 댐방류량은 여수로 방류량에 해당되며, 이후 나머지 방류량은 물사용량에 해당된다. 모형상에서 물사용량은 저수지에서 유역 외로 제거되는 양이지만, 100%의 회귀율이 적용되면 저수지에서 방류되는 양으로 추가된다는 점을 이용하였다.

3. SWAT-K 모형의 적용 및 결과분석

3.1 댐운동을 고려한 모형의 검증

댐운영에 따른 SWAT-K 모형의 적용성을 평가하기 위해 대상유역으로 팔당댐 지점을 최종출구점으로 하며, 북한강 수계는 청평댐 상류유역은 모의하지 않고, 상류유역 유량의 영향은 청평댐 지점에서의 관측방류량 자료를 이용하여 모형에 고려되도록 하였다. 남한강 수계는 전유역을 모의하였으며, 남한강 수계에 위치하고 있는 3개의 댐(충주댐, 횡성댐, 괴산댐)을 고려하여 모형에 적용하였다. 청평댐 상류유역을 제외한 유역면적은 약 13,640km²이며, 모두 28개의 소유역으로 분할하였다. 수치주제도(DEM, 토지피복도, 정밀토양도)는 격자크기에 따른 유출량의 영향이 작다는 연구결과(Chaplot, 2005)와 대상유역의 면적을 고려하여 500m×500m 격자크기를 이용하였다. 모의기간은 2001~2004년으로 2001년은 모형의 warm-up기간으로 제외하고 2002~2004년의 결과를 분석하였다.

(1) 관측 일방류량

댐모의를 위해 관측 일방류량 방법을 이용할 경우에는 사용자는 충주댐, 횡성댐, 괴산댐에서의 관측 일방류량 자료를 구축하여 각 댐에 입력해야 한다. 이 방법을 이용할 경우, 각 댐 상류의 유입량과는 관계없이 관측 일방류량이 댐방류량으로 하류유역에 영향을 미치게 된다.

(2) 관측 월방류량

댐모의를 위해 관측 월방류량 방법을 이용할 경우에는 사용자는 충주댐, 횡성댐, 괴산댐에서의 관측 월방류량 자료를 구축하여 각 댐에 입력해야 한다. 이 방법을 이용할 경우, 각 댐 상류의 모의결과와는 상관없이 관측 월방류량이 해당월에 대해 매일 일정한 댐방류량으로 하류유역에 영향을 미치게 된다.

(3) 목표방류

댐모의를 위해 목표방류량 방법을 이용할 경우에는 사용자는 충주댐, 횡성댐, 괴산댐에서의 홍수기의 시작월, 종료월, 현재 저수용량에서 목표저수용량에 이르는 일수, 월 목표저수용량 등을 입력하여야 한다. 또한, 앞서 기술한 바와 같이 여수로 방류량을 제외한 기타 방류량의 고려를 위해 물사용량과 회귀율의 관계를 이용하였다. 목표방류량(여수로 방류량)과 고려된 기타 방류량의 합이 최종적인 댐방류량으로 하류유역에 영향을 미치게 된다.

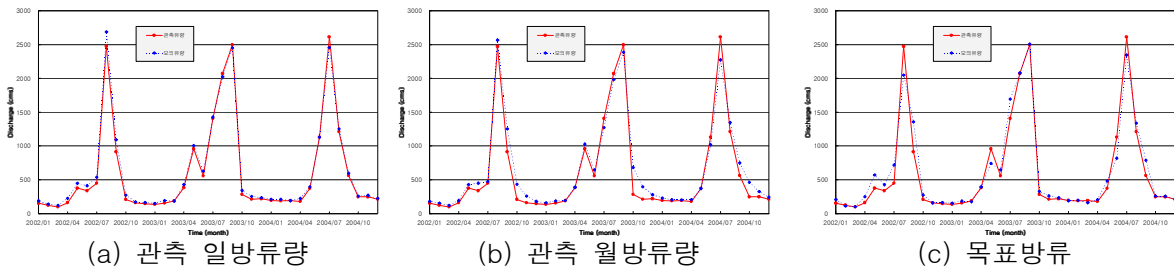


그림 3. 댐 운영방법에 따른 월별 모의결과(팔당댐 지점, 2002~2004년)

3.2 한강유역에 대한 SWAT-K 모형의 적용

본 연구의 대상유역에서 휴전선 이북지역에 위치하는 일부유역은 토지피복도와 토양도 자료가 전무한 실정이다. 미계측 유역을 제외한 나머지 계측유역을 대상유역으로 하여 SWAT-K 모형을 적용하였다(그림 5).

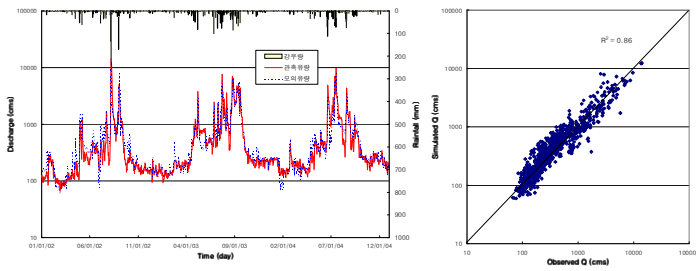


그림 4. 목표방류 방법을 이용한 모의결과 (팔당댐 지점, 2002~2004년)

팔당댐 지점을 최종출구점으로 하며, 북한강 수계는 춘천댐 상류유역은 모의하지 않고, 상류유역 유량의 영향은 춘천댐 지점에서의 관측방류량 자료를 이용하여 모형에 적용하였다. 따라서, 북한강 수계에 위치하고 있는 3개의 댐(소양강댐, 의암댐, 청평댐)과 남한강 수계에 위치하고 있는 3개의 댐(충주댐, 횡성댐, 괴산댐)을 고려하여 모형에 적용하였다. 춘천댐 상류유역을 제외한 유역면적은 약 18,900 km²이며, 모두 41개의 소유역으로 분할하였다. 수치지제도(DEM, 토지피복도, 정밀토양도)는 모두 500m×500m 격자크기를 이용하였으며, 모의기간은 2001~2004년으로 2001년은 모형의 warm-up기간으로 제외하고 2002~2004년의 결과를 분석하였다.

댐방류량 결정을 위한 방법으로 목표방류량 방법을 이용하였으며, 유역의 최종출구점인 팔당댐 지점과 유역내의 각 댐지점에서의 관측유량과 모의유량을 비교하여 모형의 적용성을 검토하였다. 팔당댐 지점을 기준으로 모형에 대한 보정을 실시하여, 팔당댐 지점과 각 댐지점에서의 관측유입량과 모의유입량을 비교하였다. 팔당댐 지점의 결과를 살펴보면, 모의유입량은 관측유입량을 잘 모사하고 있으며 결정계수값은 0.8287로 우수한 결과를 보여준다.

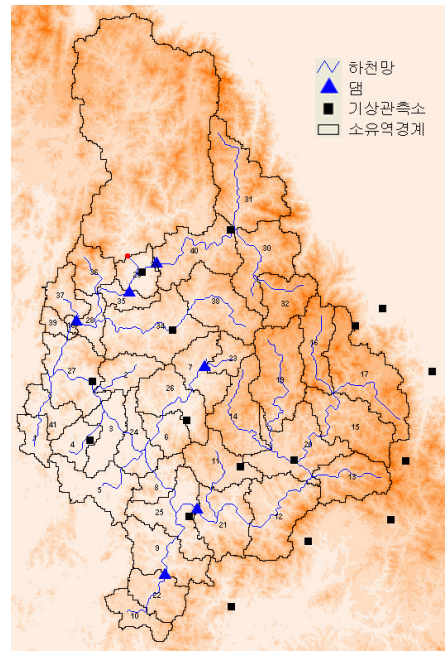
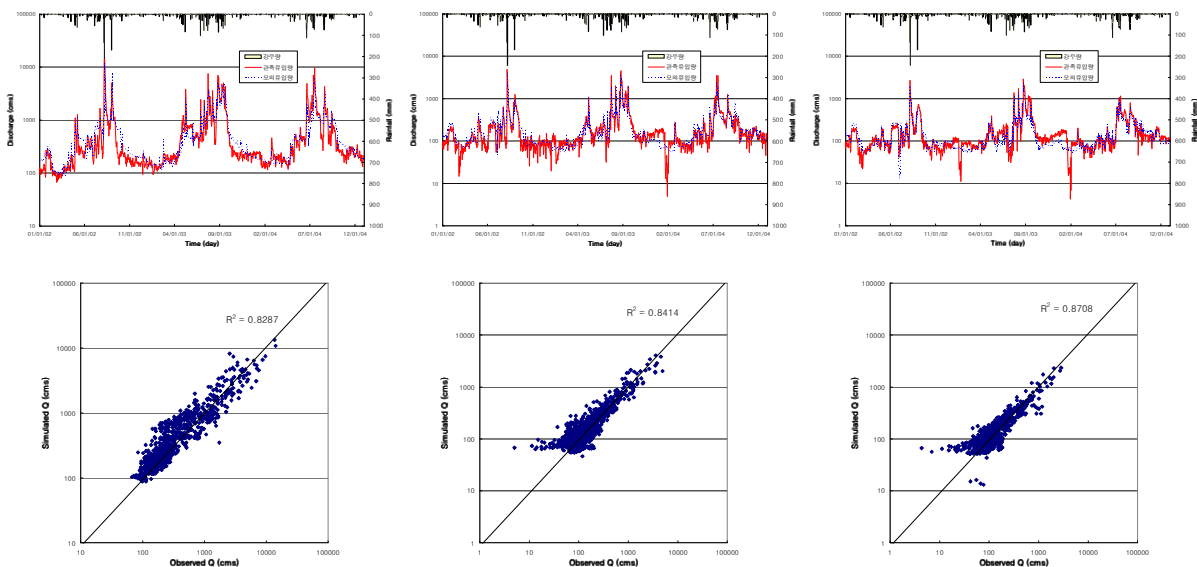


그림 5. 한강유역(춘천댐 상류유역 제외) 모형구성도



(a) 팔당댐

(b) 청평댐

(c) 의암댐

그림 6. 댐지점별 일별 모의결과 및 통계치(2002~2004년)

3.3 한강유역에 대한 자연유량 산정

일반적으로 자연유량이라 함은 하천이 개발되지 않고 인위적인 물사용이 없는 상태, 즉 자연상태에서의 하천유량으로 정의된다. 일반적으로 실측유량과 순물소모량을 합하여 자연유량을 추정하고 있지만, 여기에서는 유역내 인위적인 저류시설물인 댐이 없는 자연상태에서의 하천유량을 자연유량이라 가정하였다. 팔당댐 상류에 위치하는 댐들 중 소양강댐, 의암댐, 청평댐, 충주댐, 황성댐, 괴산댐, 광동댐, 도암댐이 없다고 가정하였으며, 토지피복이나 토양자료가 존재하지 않는 춘천댐 상류유역은 춘천댐의 방류량을 그대로 적용하여 팔당댐 지점에서의 일별유량을 모의하였다. 댐이 존재할 경우, 갈수기시 유량은 큰 변화없이 일정하게 유지되는 경향을 보이고 있으나, 댐이 존재하지 않을 경우에는 특히 겨울철 유량이 낮아짐을 확인할 수 있다. 이러한 사실은 이수적인 측면에서 하천유량을 일정하게 유지하는데 댐이 큰 역할을 함을 의미한다고 볼 수 있다.

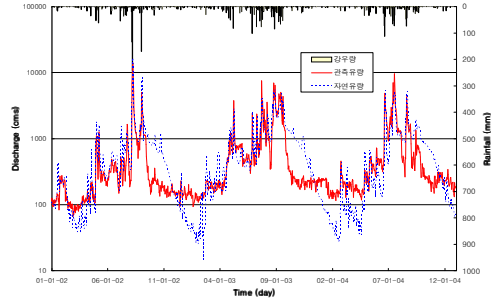


그림 7. 팔당댐 지점의 일별 자연유량(2002~2004년)

4. 결론

본 연구에서는 한강유역(팔당댐 상류)을 대상유역으로 SWAT-K 모형의 대유역에 대한 적용성을 평가하여, SWAT-K 모형적용을 통한 장기유출해석의 기틀을 마련하고자 하였다. 대상유역으로 선정된 한강유역의 경우, 상류유역에 다목적댐, 용수전용댐, 발전전용댐 등 다수의 댐이 위치함으로 인해 모형 내에서의 저수지 관련모듈을 검토하여 발생된 오류를 수정하였다. 또한, 모형에서 고려할 수 있는 댐운영 방법별(관측일방류량, 관측월방류량, 목표방류량)로 모의수행한 결과, 우수한 결과를 도출할 수 있었다.

유역의 최종출구점인 팔당댐 지점에서의 관측유입량과 모의유입량을 검토한 결과, 모의값이 관측값을 잘 모사하고 있으며, 높은 신뢰도를 보여주었다. 따라서, 모형내에서의 댐운영 모의능력은 우수한 것으로 판단되어, 대상유역 중 미계측 유역을 제외한 계측유역에 대하여 모형을 적용하였다. 미계측 유역에서의 유입량은 직하류댐(춘천댐)에서의 방류량으로 영향을 고려하였으며, 유역내 댐모의를 위해 모형에서 활용가능한 4가지 방법 중 목표방류량 방법을 이용하였다. 팔당댐 지점에서의 모의값과 관측값을 중심으로 모형보정을 실시하였으며, 최종출구점인 팔당댐 지점과 유역내에 위치하고 있는 청평댐, 의암댐 지점 등에 대하여 관측유량과 모의유량을 비교검토하였다. 마지막으로 팔당댐 지점에서의 자연유량을 산정하여 검토한 결과, 이수적인 측면에서 하천유량을 일정하게 유지하는데 댐이 큰 역할을 함을 확인하였다.

감 사 의 글

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

참 고 문 헌

1. Chaplot, V. (2005). Impact of DEM mesh size and soil map scale on SWAT runoff, sediment, and NO3-N loads predictions, Journal of Hydrology, Vol. 312, pp. 207~222.
2. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams J.R.(2001). Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, Ver. 2000.