

전지구 토지이용 및 토양자료를 활용한 북한지역 유출모의 Long-term Runoff Simulation using Global Landuse and Soil data

김남월*, 이정은**

Nam Won Kim, Jeong Eun Lee

요 지

현재 한강수계의 화천댐 상류, 임진강 상류지역의 상당부분이 북한에 속해있다. 따라서, 장기유출모의 수행을 위한 기본입력자료인 수문기상자료 및 수치주제도(토지이용, 토양)의 활용에 있어 미계측 유역으로 간주되어 왔다. 그러나, 전세계 기상통신망(GTS: Global Telecommunication System)을 통해 수문기상자료(강수량, 기온, 습도, 풍속 등)는 기상청에서 제공되고 있으며, 국제연합대학(United Nations University)에서 추진하고 있는 WaterBase 프로젝트를 통해 토지이용도(24종류, 1km 해상도) 및 토양도(5,000종류, 10km 해상도)를 활용할 수 있는 상황이다. 하지만, 언급한 자료에 대한 국내검토는 충분히 이루어지지 못하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 화천댐 상류유역을 대상으로 전세계 기상통신망 수문기상자료와 전지구 토지이용과 토양자료에 대한 검토를 수행하였다. 또한 물리적 기반의 장기유출모형인 SWAT-K의 입력자료로 활용하여 유역물수지 및 유출분석을 실시한 후, 그 적용성을 평가하였다. 이러한 연구는 기후변화 및 북한지역의 댐건설과 같은 한강수계의 수문학적 조건 변화로 인한 수자원 관리 및 계획을 위해 보다 활발히 이루어져야 할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 미계측유역, GTS, 전지구자료, 토지이용도, 토양도, SWAT-K

1. 서론

최근 국내에서는 분포형 유출모형이 도입되어 활발히 적용되고 있다. 이러한 분포형 유출모형은 집중형 유출모형에 비하여 훨씬 방대한 입력자료를 필요로 한다. 특히 분포형 유출모형을 이용하기 위해서는 수치화된 주제도(토지이용, 토양 등)가 직접 모형의 입력자료로 요구된다. 현재 이러한 수치주제도는 국내 여러 공공기관에서 전국에 대하여 구축하여 일정한 절차를 통하여 배포되고 있다. 그러나, 한강수계의 북한지역에 속해있는 화천댐 상류지역은 미계측 유역으로 간주된다. 따라서, 활용가능한 북한지역의 자료를 수집하여, 그 활용성을 평가하고자 하였다. 전세계 기상통신망(GTS: Global Telecommunication System)을 통해 수문기상자료(강수량, 기온, 습도, 풍속 등)는 기상청에서 제공받았으며, 국제연합대학(United Nations University)에서 추진하고 있는 WaterBase 프로젝트를 통해 토지이용도(24종류, 1km 해상도) 및 토양도(5,000종류, 10km 해상도)를 수집하였다. 수집된 기상자료 및 수치주제도를 장기유출해석모형인 SWAT-K 모형을 활용하여, 화천댐 지점에서의 유입량 변화에 대한 정량적인 평가를 수행하였다. 특히 임남댐 건설운영전 기간에 대하여 모형보정을 실시·검증한 후, 댐건설운영후 기간에 대하여 화천댐 지점에서의 관측유량(조절유량)과 모의유량(비조절유량)을 비교분석하는 방법을 채택하였다. 임남댐 건설운영에 따른 화천댐 상류유역의 수자원량 변화에 대한 분석은 한강수계의 수자원 시스템 계획 및 운영시 요구되는 정보로서 의미가 있을 것이다.

2. 연구방법

* 정희원·한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 수자원연구실 책임연구원·E-mail : nwkim@kict.re.kr
** 정희원·한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 수자원연구실 연구원·E-mail : jeus22@kict.re.kr

화천댐 상류유역의 수자원량을 평가하기 위해 대상유역에 영향을 미치는 북한지역 및 국내 기상관측지점의 기상자료를 비교하였으며, 화천댐 지점의 관측 및 모의유량을 비교·분석하였다. 유역의 장기유출해석을 위해 최근 국내유역에 널리 적용되어 그 적용성이 검증된 SWAT-K(과학기술부, 2007)를 이용하였다. 그러나, 대상유역인 화천댐 상류유역의 경우 유역의 상당부분이 북한지역으로 모형의 기초입력자료인 수치주제도 및 기상자료에 대한 정보가 상당히 제한적이며, 그 정확도에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서, 이용가능한 북한지역의 정보를 최대한 수집하여 모형의 입력자료로 활용하고자 하였다. 수치주제도의 경우, 국제연합대학(United Nations University)에서 추진하고 있는 WaterBase 프로젝트에서 제공하고 있는 토지이용도(24종류, 1km 해상도) 및 토양도(5,000종류, 10km 해상도)를 활용하였다. 기상자료의 경우, 전세계 기상통신망(GTS: Global Telecommunication System)을 통해 수집된 자료를 기상청을 통해 제공받아 활용하였다. 북한지역 기상자료의 경우, 결측치가 다소 존재하며 이를 보완하기 위해 WXGEN(Sharply와 Williams, 1990)을 이용하였다. 이러한 자료를 기반으로 SWAT-K를 이용하여 유출해석을 수행하였으며, 화천댐 지점의 유입량을 중심으로 관측 및 모의유량을 비교분석하여 대상유역의 수자원량을 평가하였다.

3. SWAT-K 구축 및 모의결과

3.1 대상유역 및 모형구축 현황

한강유역의 북한강 수계 상류에 위치한 화천댐 상류유역의 면적은 약 4,092 km²이며, 북한지역 임남댐의 건설운영 시점으로 유역의 수문상황이 변화되었다. 대상유역의 최종출구점인 화천댐의 유입량을 분석하기 위해 장기유출해석 모형인 SWAT-K를 선정하여 적용하였다. 모형의 입력자료로 30m 격자크기의 DEM, 환경부의 중분류 토지피복도, 농과원의 정밀토양도(북한지역은 WaterBase 프로젝트에서 제공한 토지피복도, 토양도 및 속성정보)를 이용하였다. 수문기상자료는 모두 6개 관측지점의 자료를 이용하였으며(그림 1, 표 1), 북한지역(원산, 평강, 장전 관측소)의 수문기상자료(강수량, 기온, 습도, 풍속)는 전세계 기상통신망(GTS)을 통해 수집된 값이다. 그림 2는 기상관측지점별 월평균 강수량(1981~2005년)을 비교한 것으로, 연평균 강수량은 장전 지점이 1,401mm로 가장 높았으며, 철원 지점은 969mm로 가장 낮은 값을 보였다. 특히 10월~3월에 해당하는 월평균 강수량을 검토해보면, 북한지역 원산, 장전 관측지점의 값이 국내 기상관측지점인 철원, 춘천 지점의 2배 정도의 값을 보였다. 소유역 분할은 수자원단위지도 표준권역을 기준으로 23개의 소유역으로 구분하였다.

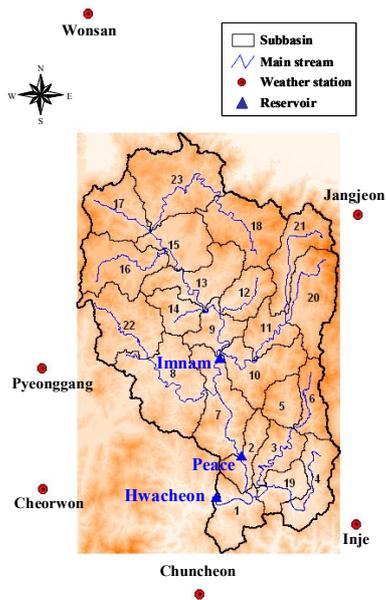


그림 1. 화천댐 상류유역 모형구축 현황

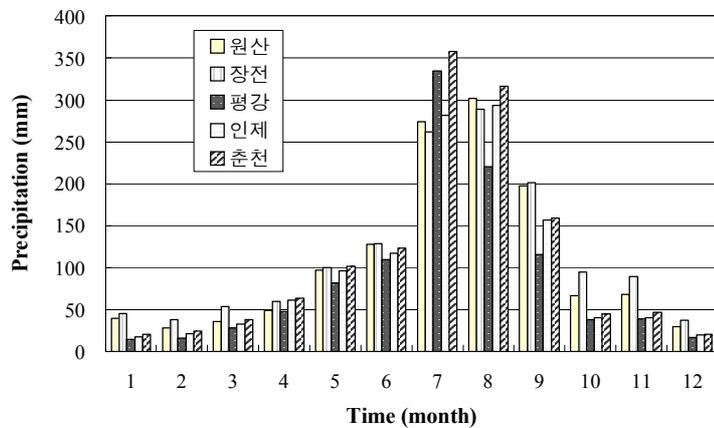


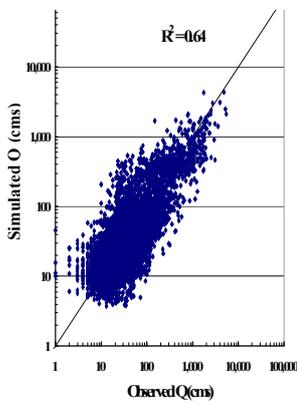
그림 2. 관측지점별 월평균 강수량 비교

표 1. 대상유역의 기상관측소 현황

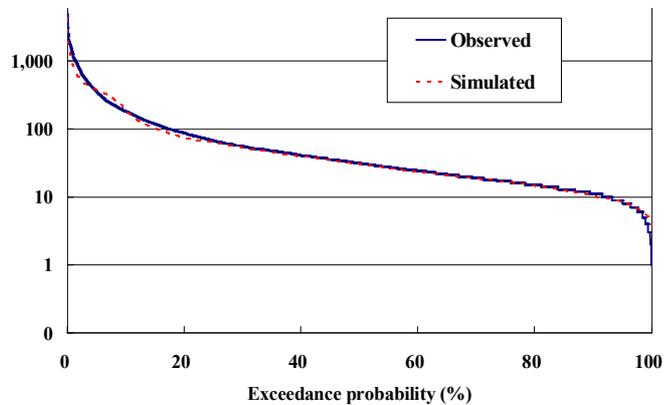
지점명	북위(N)	동경(E)	해발고도(m)	관측개시년	비고
춘천	37°54'	127°44'	76.8	1966	기상청
인제	38°03'	128°10'	198.7	1971	
철원	38°08'	127°18'	154.9	1988	
원산	39°11'	127°26'	36.0	1973	GTS
장전	38°44'	128°11'	35.0	1981	
평강	38°24'	127°18'	371.0	1981	

3.2 모의유량 산정결과

지표면 유출모의를 위해 SWAT-K에서 개선된 시간가중평균 CN 방법(Kim and Lee, 2008)을 적용하였으며, 하도추적은 연속방정식과 Manning의 식이 결합된 비선형 저류방정식을 이용한 하도추적법(김남원 등, 2007)을 적용하였다. 증발산량 산정을 위해서는 Penman-Monteith 방법을 이용하였다. 매개변수 보정기간은 화천댐 상류유역의 대규모 인위적인 저류시설물에 의한 유량변화가 발생하지 않는 기간으로 설정하였으며, 전세계 기상통신망을 통하여 획득한 북한지역 기상자료의 포함여부 두가지 경우에 대하여 각각 매개변수 보정을 실시하여 검토하였다. 매개변수 보정시, 우선 유출총량의 적합성을 높이기 위해 토양증발보상계수(ESCO)에 대한 보정을 실시하였다. 이후 유출수문곡선 감수부와 첨두부의 적합성을 높이기 위한 보정을 수행하였다. 화천댐 지점의 모의유입량에 대한 검증 결과, 국내 기상청 자료만 이용했을시 결정계수(R^2)가 0.64로 북한지역 자료가 포함된 경우보다 다소 정확도가 높은 결과를 보였다. 이러한 결과는 북한지역 관측 지점의 10~3월의 강수량이 다소 높은 이유인 것으로 판단된다. 그림 3은 화천댐 지점에서의 유입량에 대한 관측-모의 일유량 및 유황곡선을 비교·도시한 것이다.



(a) 관측-모의 일유량



(b) 관측-모의 유황곡선

그림 3. 관측-모의값의 비교 (1976~1995년)

4. 화천댐 상류유역 수자원량의 정량적인 평가

그림 4는 화천댐 지점의 월평균유입량의 관측값과 모의값을 도시한 것으로, 관측값은 인위적인 저류시설에 의해 조절된 유량이며, 모의값은 조절되지 않은 유량이다. 화천댐 상류유역계의 변화로 인하여 1997년 이후를 시점으로 화천댐 상류에 위치한 임남댐의 담수 및 수자원의 유역변경이 이루어져, 유입량이 현저히 감소되고 있음을 확인할 수 있다. 그림 5는 그림 4에서 도시한 바와 같이 임남댐의 영향으로 인한 조절유량과 비조절유량의 차이를 수자원량 감소량으로 판단하여, 임남댐의 본격적인 담수이후 기간(2001~2005년)에 대하여 화천댐 지점에서의 유입량을 월별로 도시한 것이다.

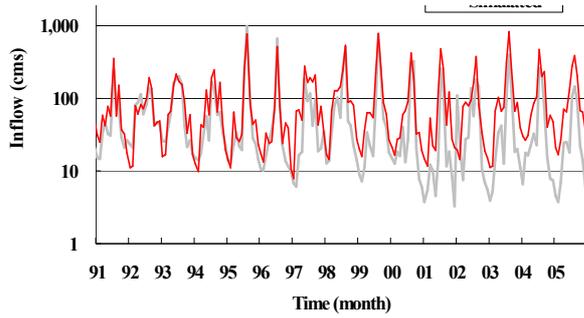


그림 4. 비조절유량(모의값)과 조절유량(관측값)의 비교

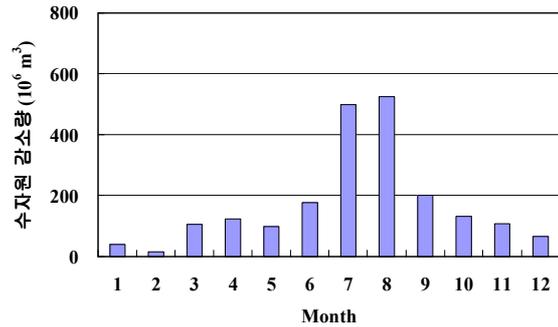


그림 5. 화천댐 상류유역의 수자원량 감소상황 (2001~2005년)

5. 요약 및 결론

현재 한강수계에는 충주, 소양강 두 다목적댐의 역할 및 댐군 연계운영으로 인하여 수도권 용수공급에 필요한 시스템을 갖추고 있으나, 이러한 관리시스템을 효율적으로 운영하기 위해서는 가용수자원에 대한 평가는 보다 합리적이고 정확하게 이루어져야 한다. 특히 한강수계의 화천댐 상류지역의 상당부분이 북한에 속해 있다. 따라서, 장기유출모의 수행을 위한 기본입력자료인 수문기상자료 및 수치주제도(토지이용, 토양)의 활용에 있어 미계측 유역으로 간주되어 왔다. 따라서, 본 연구에서는 수집가능한 북한지역의 자료(전지구 토지 이용 및 토양자료, 전세계 기상통신망 자료)를 활용하여 화천댐 상류유역을 대상으로 유출평가를 수행하여, 그 적용성을 평가하였다. 이러한 연구는 기후변화 및 북한지역의 댐건설과 같은 한강수계의 수문학적 조건 변화로 인한 수자원 관리 및 계획을 위해 보다 활발히 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 2-2-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 과학기술부 (2007). 지표수 수문성분 해석시스템 개발, 한국건설기술연구원.
2. 김남원, 이정우, 이병주, 이정은 (2007). "비선형 저류방정식을 이용한 일 단위 하도추적법." 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제27권, 제5B호, pp. 533-542.
3. Kim, N. W. and J. Lee (2008). "Temporally weighted average curve number method for daily runoff simulation." Hydrological Processes, Vol. 22, pp. 4936-4948.
4. Sharpley, A. N. and J. R. Williams, eds. (1990). EPIC-Erosion Productivity Impact Calculator, 1. model documentation. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Tech. Bull. 1768.