토지피복도 변화에 따른 제주도 주요 상시하천의 유출변화 분석

양성기*, 정우열*, 한웅규* *제주대학교 해양과학대학 토목공학과 e-mail:skyang@jejunu.ac.kr

Analysis of impact of land cover change on runoff through several Streams in Jeju Island, Korea

Sung-Kee Yang*, Woo-Yeol Jung*, Woong-Ku Han*
*Dept of Civil Engineering, Jeju National University

Abstract

Since Jeju island has depended a water resource on the underground water because of a poor development of the surface flow, Jeju island is in need of the surface resource development to prevent the future shortage of the underground water due to excessive development and use of it. The study shows that the SWAT model(continuous rainfall-runoff model) is applied to estimate the outflow in the drainage watershed area, where it has been urbanized through the change of the land, such as a tourism development, cultivation, housing, and impervious layer road development. Near watershed area in Jeju island, weather and topographical SWAT input data were collected, and compared the outflow change of past and present.

1. 서론

제주도는 우리나라 최다우지역이지만 투수성이 좋은 다공질 화산암류 및 화산회토로 이루어져 총 강우량의 약 절반정도가 지하로 침투하여 지하수 함양량은 풍부하지만 대부분의 하천들은 건천을 이루고있다. 따라서 하천 및 지표수의 발달은 빈약하여 제주도민의 수자원은 전적으로 지하수에 의존하고 있다. 그러나 지하수의 과다한 개발과 이용으로 인한장애를 사전에 방지하고 향후 지하수 함양량 감소에따른 수자원 확보에 능동적으로 대처하기 위하여 지표수자원의 개발과 이용이 어느 때 보다 필요한 실정이다.

최근 제주도에는 급속한 산업화와 인구집중으로 인하여 도시화 현상이 심화되고 있으며, 이로 인해 집중호우시 발생하는 인명, 재산 및 방재시설물 등의피해는 더욱 커지고 있는 추세이다. 도시화와 불투수지역의 확대로 인한 수문현상 및 물 순환체계의변화와 하천부지의 축소, 산림 및 유수지의 감소와하천유출량의 변화에 따른 지하수위의 저하 등 많은문제점이 발생하고 있다. 따라서 유역 상류부 하천

부지 인근에는 농경지 및 대단위 관광단지와 도로개설 등으로 인해 하류부의 피해는 더욱 가중되고 있는 실정이다. 안정적인 용수공급과 제주도 유일의수자원인 지하수를 체계적으로 보전·관리하고 합리적인 개발·이용을 위하여 장기간에 걸친 토지의 피복도 및 이용의 변화에 따른 하천유출량의 변화를 파악하는 것은 제주도 통합 물관리를 위해 매우 중요하다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구방법

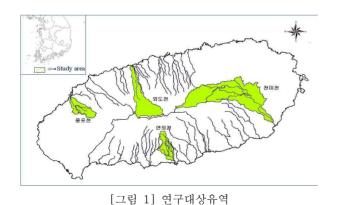
제주도의 하천은 제주와 서귀포를 중심으로 남·북부 지역에 지방하천과 소하천을 포함하여 총 143개가 분포하고 있다. 이들 하천 중 도시화의 영향을 조사하기 위하여 과거와 현재의 토지이용변화에 따른 유출량을 비교하기 위하여 천미천과 상시유출 하천인 외도천, 옹포천, 연외천을 연구대상유역으로 선정하여 SWAT모형을 적용하였다. 유역의 물리적 특성을 반영하는 모형의 효율성을 높이기 위해서는 GIS와 연계된 자료의 구축이 매우 중요하다.

SWAT 모형에 필요한 GIS 입력자료는 크게 5가지 (DEM, 토지피복도, 토양도, 유역의 경계, 하천의 형태) 나누어진다. 유역의 경계와 하천의 형태는 모형 내부에서도 모의되기 때문에 DEM, 토지피복도, 토양도 자료를 구축하였다. 이 유역에 대한 SWAT 모델의 입력자료인 수문・기상자료(precipitation, solar radiation, wind speed, climate, humidity)와 100m 격자크기의 지형자료, 토지피복도, 토양도 자료를 30년 전의 과거 자료와 현재 자료를 구분하여 구축하였다. 또한, 모델의 보정 및 검증을 위하여 외도천유역의 유출에 대한 현장 실측을 실시하고 정리하였다.

제주도 하천유출 특성에 맞추어 직접유출과 전체유출로 구분하여 매개변수 민감도 분석을 실시하였으며, 직접유출에 민감하게 영향을 주는 매개변수와 전체유출에 영향을 주는 매개변수를 각각 추출하여 현재의 유출량에 대하여 정우열·양성기의 방법과 같이 검·보정 작업을 수행하였다. 또한 현재의 유출량 보정을 통하여 산정된 매개변수를 과거에 적용하여 과거와 현재의 유출모의 결과를 비교·분석하였다.

2.2. 연구대상유역

제주도의 하천은 대부분 건천이며 한라산 백록담을 중심으로 남·북측에서 V자형 침식계곡을 따라소규모로 지표하천이 발달하고 있다. 이들 하천은 지형과 강우의 형태에 따라 크게 다른 특성을 보이는데, 남·북사면방향으로 급한 경사를 가지며, 산지형·직류형에 속하고 있다. 본 연구에서는 143개의하천 중 제주도 동부지역의 천미천, 북부지역의 외도천, 서부지역의 옹포천, 남부지역의 연외천을 연구대상 유역으로 선정하였다(그림 1).



동부지역의 천미천은 하천길이가 25km 에 이르는 제주도에서 가장 긴 하천이며, 북부지역에 외도천은

18.3km, 서부지역의 옹포천은 9.6km, 남부지역의 연외천은 9km 에 이른다. 또한 천미천이 유역면적은 127.64km² 이며, 외도천은 44.54km², 옹포천은 20.09km², 연외천은 19.61km²이다.

3. SWAT 모형의 입력자료 구축

3.1. 수문・기상자료 구축

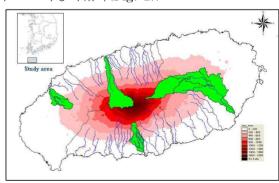
SWAT모형에서 유출량 산정에 사용되는 기본적인 수문·기상자료는 강우, 최고·최저기온, 태양복사량, 풍속, 습도 등이 있다. 이외에도 관측소의 위치정보를 나타내는 입력자료 및 관측 유출량 자료그리고 저수지 수위 등에 따라 선택적으로 요구된다. 4개 주요하천 유역의 모델 적용기간을 과거와현재로 구분하여 적용하였으며, 각 유역에 적용기간과 강우량자료 보유현황은 [표 1]과 같다.

유역 강우관측소 현황 과거 현재 성산포, 성판악, 표선, 1988. 1. 1~ 2000. 1. 1~ 천미천 1997. 12. 31 2009. 12. 31 교래, 송당 제주, 어승생, 1975. 1. 1~ 2000. 1. 1~ 항파두리, 어음, 외도처 1984. 12. 31 2009. 12. 31 천백고지, 애월 1988. 1. 1~ 2000. 1. 1~ 고산, 한림, 애월, 옹포천 1997. 12. 31 2009. 12. 31 어음 1975. 1. 1~ 2000. 1. 1[~] 서귀포, 송산동, 연외천 1984. 12. 31 2009. 12. 31 돈네코

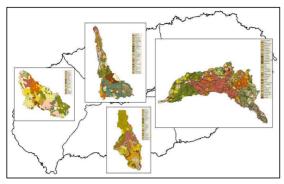
[표 1] 수문기상자료 보유현황

3.2. GIS 입력자료 구축

연구대상 유역의 DEM은 환경부에서 제공하는 30m×30m 해상도의 DEM을 arcinfo를 이용해 가공하여 사용하였으며(그림 2), 토양도 자료는 농업과학기술원에서 제공하는 농업토양정보시스템(ASIS)을 통해 1:25,000 정밀 토양도를 토양통별로 구분하여 100m×100m 격자의 크기로 구축하여 모형의 입력자료로 사용하였다(Fig. 2).

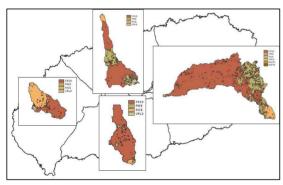


[그림 2] DEM

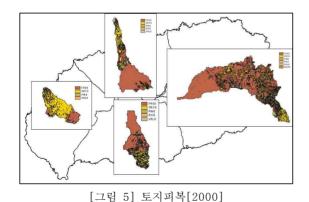


[그림 3] 토양통

토지피복도는 환경부에서 제공하는 1975년과 2000년 Landset 위성영상을 이용하여 피복분류한 자료를 이용하여 Arcview 프로그램을 이용하여 100m×100m 격자 크기로 구축하여 모형의 입력자료를 사용하였다(그림 4~5). 지표면 유출은 수정 CN법, 하도추적은 Muskingum 방법, 잠재 증발산량은 Penman-Monteith 방법으로 모형을 적용하였다.



[그림 4] 토지피복(1975)



4. SWAT 모형의 적용 및 결과

4.1. 매개변수 민감도 분석

연구대상유역에 매개변수 민감도 분석을 실시하였으며, 직접유출에 민감하게 영향을 주는 매개변수와 전체유출에 영향을 주는 매개변수를 각각 추출하여 현재의 유출량에 대하여 검·보정 작업을 수행하였다. 매개변수 7개의 기준값을 정하여 (±25%)씩 단계적으로 변화시키면서 실시하였다. 제주도 하천 특성에 맞추어 건천인 유역과 비건천인 유역을 나누어서민감도 분석을 실시하였으며, 건천인 유역에는 직접유출량을 기준으로 하여 민감하게 영향을 주는 매개변수를 추출하였다. 또한 비건천인 유역에는 각각의매개변수가 직접유출, 총 유출량에 대하여 어떠한영향을 미치는지에 대하여 민감도 분석을 하였다. 그 결과 직접유출에 가장 많은 영향을 미치는 매개변수는 CN2로 나타났으며, 전체유출에 영향을 미치는 매개변수로는 CN2로 나타났으며, 전체유출에 영향을 미치는 매개변수로는 CN2, SOL_AWC, ESCO 등으로나타났다.

4.2. 모형의 결과

천미천 유역은 건천의 형태를 띄고 있는 하천으로 연속적인 실측 유출고를 확보 할 수 없었다. 2006년 2회의 직접유출 측정 자료를 바탕으로 하여 보정하 여 2회 유출고에 대하여 유사한 경향을 보였으나, 하천의 실측자료 부족으로 인하여 매개변수의 정확 한 보정 및 검정이 어려웠다.

외도천 유역은 상시 유출 하천이지만 현재 연속적인 유출 자료는 확보 할 수 없었다. 2007년 5회 정도의 강우 발생시의 유출자료를 바탕으로 하여 보정하였으며, 그 결과 실측자료와 보정 결과와는 유사한 경향을 보였다. 그러나 이러한 결과는 연속적인유출 자료가 확보 되고 난 후 정확한 보정 및 검정을 통하여 그 결과 값을 판단 할 수 있을 것이라 사료된다.

용포천 유역은 2002~2003년의 유출량 자료를 이용하였으며, 연외천 유역은 2003년 유출량 자료를 이용하여 모형을 검·보정한 결과 우수한 결과를 보였다. 과거의 실측자료가 존재하지 않으므로 현재의모형 보정매개변수를 그대로 적용하여 과거의 직접유출량을 산정하였으며, 그 결과 직접유출율이 16~29%(평균 22%)로 산정되었다.

토지피복의 변화에 따른 과거·현재의 직접유출량을 산정한 결과 과거에 비하여 4개 주요하천유역의 급격한 산업화와 인구집중으로 인해 불투수성 토지가 약 2배 이상 증가하였으며, 직접유출율도 1~6%가량 증가하게 나타났다.

[표 2] SWAT 모형 적용 결과

구 분	천미천		외도천		용포천		연외천	
	과거	현재	과거	현재	과거	현재	과거	현재
강우량(mm)	1723.32	1964.11	1348.87	1498.5	1029.21	1189.3	1736.07	1880.7
직접유출량(mm)	512.73	616.44	229.42	356.7	260.83	310.85	459.03	534.3
직접유출율(%)	29.01	30.27	16.36	22.19	24.56	25.6	25.54	27.8

5. 결 론

본 연구에서는 준 분포형 강우-유출 모형인 SWAT 모형을 적용하여 유역의 개발과 도시화에 따른 토지이용변화로 인한 직접유출량을 제주도 주요 하천인천미천, 외도천, 옹포천, 연외천에 과거와 현재를 구분하여 산정한 결과는 다음과 같다.

4개 주요 하천 유역의 과거와 현재 중·상류부의 토지피복변화는 크지 않았으나, 하류부 지역의 불투 수성 도시화면적은 대체적으로 과거에 비해 현재 약 2배 이상 증가하였다. 이에 따라서 홍수재해에 큰 영향을 미치는 직접 유출율도 최소 1%에서 6% 가 량 증가함을 알 수 있다.

지속적인 수문관측과 관측지점을 확충하여 고품질의 자료를 확보함으로써, 도시화 진행에 따른 하천 유출의 변화를 비교 분석해 나간다면 도시화에 의한 수문학적 변화 양상을 정량적으로 규명할 수 있을 것이다. 이같은 연구는 제주도 지표수자원의 확보뿐만 아니라 유역의 도시하천 유역의 홍수방어능력과홍수피해를 저감시키기 위한 방재대책 수립 등에도활용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인재양성사업의 연구결과입니다.

참고문헌

- [1] 정우열, "제주도 하천에 대한 SWAT 모형의 적 용" 한국환경과학회지, 17(9), 1039-1052.
- [2] 문덕철, "제주도 주요하천의 기저유출량산정", 한국 환경과학회지, 14(4), 405-412

- [3] 제주특별자치도, "재주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사 (Ⅲ)" 보고서, 182-251.
- [4] 양성기, "제주도 하천관리와 개선방안", 하천과 문화, 한국하천협회, 3(3), 104.-105.
- [5] 장대원, 김남원, 김형수, 서병하, 2004, GIS기반의 SWAT모형을 이용한 하천 유출량 모의, 한국수자 원학회 학술대회논문집, 724-730.