

기후변화와 토지이용변화가 도시화 진행 유역수문에 미치는 영향 평가

안소라* · 장철희** · 이준우*** · 김성준****

Ahn, So Ra*, Jang, Cheol Hee**, Lee, Jun Woo***, Kim, Seong Joon****

Assessment of Climate and Land Use Change Impacts on Watershed Hydrology for an Urbanizing Watershed

ABSTRACT

Climate and land use changes have impact on availability water resource by hydrologic cycle change. The purpose of this study is to evaluate the hydrologic behavior by the future potential climate and land use changes in Anseongcheon watershed (371.1 km²) using SWAT model. For climate change scenario, the HadGEM-RA (the Hadley Centre Global Environment Model version 3-Regional Atmosphere model) RCP (Representative Concentration Pathway) 4.5 and 8.5 emission scenarios from Korea Meteorological Administration (KMA) were used. The mean temperature increased up to 4.2°C and the precipitation showed maximum 21.2% increase for 2080s RCP 8.5 scenario comparing with the baseline (1990-2010). For the land use change scenario, the Conservation of Land Use its Effects at Small regional extent (CLUE-s) model was applied for 3 scenarios (logarithmic, linear, exponential) according to urban growth. The 2100 urban area of the watershed was predicted by 9.4%, 20.7%, and 35% respectively for each scenario. As the climate change impact, the evapotranspiration (ET) and streamflow (ST) showed maximum change of 20.6% in 2080s RCP 8.5 and 25.7% in 2080s RCP 4.5 respectively. As the land use change impact, the ET and ST showed maximum change of 3.7% in 2080s logarithmic and 2.9% in 2080s linear urban growth respectively. By the both climate and land use change impacts, the ET and ST changed 19.2% in 2040s RCP 8.5 and exponential scenarios and 36.1% in 2080s RCP 4.5 and linear scenarios respectively. The results of the research are expected to understand the changing water resources of watershed quantitatively by hydrological environment condition change in the future.

Key words : SWAT, CLUE-s, RCP, Land Use Change, Runoff Characteristic

초록

기후변화와 토지이용변화는 유역의 수문순환의 변화를 초래하여 가용수자원의 변화를 야기 시킨다. 본 연구에서는 안성천 (371.1km²) 유역을 대상으로 SWAT (Soil and Water Assessment Tool)모형을 이용하여 미래기후변화와 토지이용변화가 유출특성에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 미래 기후자료는 IPCC 제 5차 기후변화 평가보고서에서 생산된 RCP (Representative Concentration Pathway, 대표농도경로) 기반의 기후변화 시나리오 중 기상청에서 제공한 RCP 4.5와 8.5 시나리오(한반도 영역; 12.5km)를 이용하였다. 기준 년과 비교한 결과 RCP 8.5의 2080s (2060-2099)에서 평균온도가 4.2°C 상승하였으며, 강우량은 최고 21.2% 증가하는 것으로 나타났다. 토지이용변화 추세는 CLUE-s (Conservation of Land Use and its Effects at Small regional extent)모형을 이용하여 예측되었고, 도시 면적 증가에 따른 3가지 시나리오(Linear, Exponential, Logarithmic)를 적용한 안성천 유역의 미래(2040s, 2080s) 토지이용도를 구축하였다. 각각의 시나리오에서 도시면적 비율은 2100년에 9.4%, 20.7%, 35%로 예측되었다. 기후변화만을 고려하였을 때 증발산량과 총 유출량은 RCP 8.5의 2080s에서 최

* 정희원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사수료 (Konkuk University · ahsora@konkuk.ac.kr)

** 한국건설기술연구원 수자원연구실 수석연구원 (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology · chjang@kict.re.kr)

*** 국립재난안전연구원 재난정보연구실 연구사 (National Disaster Management Institute · junwoo34@gmail.com)

**** 정희원 · 교신저자 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수 (Corresponding Author · Konkuk University · kimsj@konkuk.ac.kr)

Received November 21, 2012/ revised April 16, 2015/ accepted April 27, 2015

고 20.6%, RCP 4.5의 2080s에서 최고 25.7% 증가하는 것으로 나타났다. 또한 토지이용변화만을 고려한 경우 증발산량과 총 유출량은 최고 3.7%, 2.9% 증가하는 것으로 나타났다. 토지이용과 기후변화 시나리오를 모두 적용한 경우 증발산량과 총 유출량은 RCP 8.5 2080s의 Linear 토지이용변화 시나리오에서 최고 19.2% 증가하였으며, RCP 4.5 2080s의 Exponential 토지이용변화 시나리오에서 최고 36.1% 증가하는 것으로 나타났다. 본 연구를 통해 미래의 유역 수문환경조건 변화에 따른 수자원을 정량적으로 파악할 수 있을 것으로 기대된다.

검색어 : SWAT, CLUE-s, RCP, 토지이용변화, 유출특성

1. 서론

토지이용 및 토지피복 변화는 인간 활동에 따른 결과를 반영하며 자연환경의 변화와도 밀접한 관련이 있다. 즉, 토지의 형태와 특성은 지역 생태계의 순환 과정부터 전 지구적으로는 대기 및 물 순환과도 연관이 있으며, 정책 및 사회경제적인 여건에도 영향을 받기 때문에 매우 복잡하고 다양한 요인으로 이루어진다(Kim et al., 2008; Lee et al., 2009). 이와 관련하여 토지이용변화 연구가 활발하게 이루어지고 있으며 토지이용변화의 관측과 모니터링, 토지이용변화 모델링, 토지이용변화에 따른 생태계 취약성 및 지속가능성 등으로 구분되어 진행되고 있다(Turner et al., 2007).

1970년대 이후 우리나라에서는 인구의 도시집중과 경제개발 계획에 따른 산업의 고도화로 토지이용의 변화가 심화되었다. 도시화 초기단계에는 산발적으로 소규모의 택지가 조성되기 시작하고, 그 영향으로 지표를 덮고 있는 식생들이 제거되어, 증발산량이 감소하고, 지표유출은 증가하기 시작한다. 한편 생활용수로 사용하기 위한 지하수 개발은 지하수의 저하를 가져온다. 그리고 도시화 중기단계에서는 구 시가지를 중심으로 대규모적인 택지조성 사업이 행해짐에 따라 대형 중장비가 동원되어 대대적인 절토와 봉토작업이 행해진다. 그 결과 우수의 침식이 가속화 되어, 하천퇴적의 증대로 인한 홍수위험이 커진다. 또한 도로가 포장되고, 하수도 시설이 정비되는 한편 우수의 침투량은 감소하여 홍수 유출이 증가하고, 도시용수를 취수하는 하천에서는 유량이 감소하는데, 미처리 생활하수 등으로 인해 유입되는 하천은 수질이 악화되는 결과를 초래한다. 이러한 하천유역의 변화는 강우 시 유출의 변화와 직결되며 도시개발, 단지 및 주거지 조성은 이전의 지표면이 갖고 있었던 보수 및 유수 기능 등이 건물이나 아스팔트, 콘크리트 포장으로 피복되면서 현격하게 줄어들고, 산림지역의 꾸준한 개발 및 밭 개간으로 인한 토지이용의 변화에 따라 이들 지역에서 하천으로 유입되는 홍수 유출량과 유수량은 이전보다 증가하게 된다. 수문환경의 변화는 수로 건설이나 하천정비, 산지개간, 도시화 등과 같은 인위적인 변화와 지구온난화에 따라 변화하는 기후 패턴에도 많은 영향을 받고 있다. 특히 기후변화(Climate Change)란 용어 자체가 ‘인간의 활동으로 야기되는 대기 조성변화’로 기후변화협약에서 정의하고 있는 바, 과거의 기후 및 수자원의 관측 자료의 분석

및 연구결과에서 나타나듯이 향후 기후변화에 따른 수문환경의 변화는 자명한 사실이다.

국내외 기후변화에 따른 수문분석과 관련된 연구로 Oh et al. (1998)은 기후변화가 동북아시아 지역의 지표 물수지에 미치는 영향을 GCM 결과 값을 이용하여 현재의 상태와 비교하였다. Harry and Patrick(1994)는 미국 내에 있는 11개 하천의 유출분석 결과, 1940년 이후 거의 모든 하천에서 지구온난화로 인해 유출이 증가하는 결과를 도출하였다. 도시유역의 불투수층 변화로 인한 수문분석과 관련된 연구로 Yang and Kim(2004)은 광주천 유역의 도시화에 의한 불투수성 면적의 증가에 따른 물수지 변화를 연구하였다. Park(2009)은 산업화 및 도시화로 인한 불투수지역의 증가가 유역의 유출특성에 미치는 영향을 파악하였다. Clark 방법을 이용하여 침투홍수량을 산정한 결과 6~17%까지 증가하는 것으로 나타났다. 토지이용변화를 예측한 연구로 Oh et al.(2010)은 용인시, 이천시, 안성시를 대상으로 CLUE 모델을 이용하여 토지이용분포를 예측하고 WAMIS의 토지이용도와 비교하여 모델의 활용성을 살펴보고자 하였다. 그 결과 토지이용분포 확률도를 생성하였으며 실제 토지이용과 비교한 결과 산림 분포에서 87.5%로 가장 높은 일치도를 보였으며, 수역과 습지, 시가지지역과 나지, 논 순으로 일치도가 높게 나타났다. Clake(1997)가 MAIA(The Mid-Atlantic Integrated Assessment)연구에서 CA와 델타트론(Deltatron)모델을 결합하여 시간의 변화에 따른 도시성장을 모의하였다.

또한 기후변화 및 토지이용변화를 모두 고려하여 수문분석을 수행한 연구로 Lee et al.(2008)은 안성천 유역을 대상으로 Downscaling된 GCM 자료와 CA-Markov 기법으로 구축한 미래 토지이용 시나리오를 이용하여 수문-수질 변화 분석을 실시한 결과, 강우에 의해 양상이 변할 수 있으며 그에 따라 영양물질의 부하량 또한 증가할 수 있는 것으로 분석되었다. Ahn et al.(2009)은 경안천 유역을 대상으로 SLURP 장기 수문모형을 이용하여 미래기후와 예측된 토지이용자료 및 식생의 활력도를 고려한 상태에서 하천유역의 수문요소에 미치는 영향을 분석하였다. Park et al.(2011)은 충주댐 유역을 대상으로 MIROC3.2 HiRes GCM A1B 자료를 이용하고 CLUE-s 모형과 SWAT 모형을 이용하여 기후변화와 토지이용변화가 유역의 유출특성에 미치는 영향을 파악하였다.

산업화와 인구집중으로 인하여 도시화 현상이 심화됨에 따라

집중호우로 인하여 발생하는 인명, 재산 및 각종방재시설물의 피해는 하천 인근의 상류유역 등의 개발되어 나감으로써 더욱 커지고 있다. 다시 말해 도시화에 따른 수문현상 및 물 순환체계에 의하여 우수의 불투수성지역 확대, 하천부지의 축소, 산림 및 우수지의 감소 등이 급속히 진행되어 하천유량의 변화와 지하수위의 지하 등 많은 문제점을 야기 시키고 있다. 기존의 기후변화와 토지이용변화에 따른 수문분석 연구들은 유출특성의 변화에 초점을 맞추고 있으나, 본 연구에서는 미래의 유역 수문환경조건을 정량적으로 파악하기 위하여 기후변화와 CLUE-s 모형을 이용한 토지이용변화가 도시화 진행유역의 수문학적 거동(지표유출, 지하수 충전량, 증발산량, 총 유출량)에 미치는 영향을 SWAT 모형을 이용하여 파악하였다.

2. 연구방법

2.1 SWAT 모형의 개요

SWAT 모형은 미국 농무성 농업연구소(USDA Agricultural Research Service, ARS)에서 개발된 준 분포형 장기 강우-유출 모형으로서, 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 유출과 유사 및 농업화학물질의 거동에 대한 토지관리 방법의 영향을 예측하기 위한 모형으로 수문, 토양유실, 영양물질, 하도추적의 4가지 부모형으로 구성되어 있다. 이 중 수문 부모형에서는 토양과 토지이용조건에 의해 결정되는 수문반응단위(Hydrologic Response Unit, HRU)로 SCS 유출곡선법과 Green & Ampt 침투식을 이용하여 지표유출량을 산정하며, 측방유출량은 Kinematic Storage Model을 이용한다. 침투는 토층을 최대 10개 층까지 세분화하여 선형저수층 추적기법을 사용하여 계산한다. 잠재증발산량을 산정하기 위하여 Hargreaves 방법, Priestley-Taylor 방법과 Penman-Monteith 방법을 제공하며, 작물과 토양의 증발산을 분리하여 모의하기 위해 Ritchie 방법을 이용한다. 본 연구에서는 SCS 유출곡선법과 Penman-Monteith 방법을 이용하였다.

SWAT 모형으로 어떤 유형의 문제에 대해서 연구하든지, 물수지는 유역 내에서 발생하는 모든 것 중에서 중요한 요소이다. 유사 또는 영양물질의 이동을 정확히 예측하기 위해서는 모형에 의해 모의되는 수문순환이 유역 내에서 발생하는 일들과 일치하여야 한다. 모형에서 수문순환을 정확히 예측하기 위하여 물수지 방정식에 근거를 두고 강수, 증발산, 지표유출, 기저유출, 지하수 등에 대한 모의를 각 수문반응단위별로 계산할 수 있다. SWAT모형에서 사용하는 물수지 방정식은 다음 Eq. (1)과 같다.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=0}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{secp} - Q_{gw}) \quad (1)$$

여기서, SW_t 는 최종의 토양수분량(mm), SW_0 은 i 일의 초기토양수분량(mm), t 는 시간(일), R_{day} 는 i 일의 증발산량(mm), Q_{surf} 는 i 일의 지표유출량(mm), E_a 는 i 일의 증발산량(mm), w_{secp} 는 i 일의 토양 면으로부터 투수층으로의 투수되는 총량(mm), Q_{gw} 는 i 일의 회귀수량(mm)이다.

2.2 CLUE-s 모형의 개요 및 토지이용변화 시나리오

CLUE-s 모형은 네덜란드의 Wageningen 대학에서 개발한 모형으로 각 토지이용 분류 사이의 경쟁관계의 동적모델링을 통하여 토지이용과 구동요인의 관계를 정량화하고 이를 이용하여 토지이용변화를 모의하는 프로그램이다(Verburg et al., 1999). 이모형은 비공간적 분석과 공간적 분석으로 나누어 수행된다. 비공간적 분석에서는 토지이용변화를 유도하는 구동요인과 토지이용과의 상관성을 다변량 분석을 통해 파악하고 총 변화면적을 산적하고, 공간적 분석 모듈에서는 대상지역의 래스터 자료로부터 토지이용변화 위치를 배분하게 된다.

이를 구체적으로 살펴보면 Fig. 1의 모식도와 같이 4가지 모듈로 구분하여 설명할 수 있다. 첫 번째로 국립공원, 개발제한구역과 같은 공간정책과 제약 조건을 입력하여 토지이용변화에 영향을 파악하게 된다. 상수원보호구역이나 그린벨트 지역과 같은 부분은 인접 지역들과 연관성을 갖게 되고 작은 지역일지라도 주변 지역 전부를 제약할 수도 있으므로 간과해서는 안 된다는 것이다(Kim et al., 2008). 두 번째로 토지이용별 간에 변환 가능성에 대한 특성을 설정하게 된다. 이 부분은 변환 순응성 부분과 토지이용 변이순서 부분으로 나뉜다. 변화 순응성 부분에서는 변이가 가능한 부분과 불가능한 부분을 숫자 0과 1로 나타내며, 각 변환 형태별로는 0과 1사이에서 입력된다. 세 번째로는 과거의 토지이용변화 패턴과 변화 면적이나 토지이용변화 시나리오를 바탕으로 최종 예측 면적을 적용하는 과정이다. 면적이나 인구성장 등에 대한 수치적인 자료로 구성될 수 있다. 마지막으로 대상유역의 특성들이 공간 자료로부터

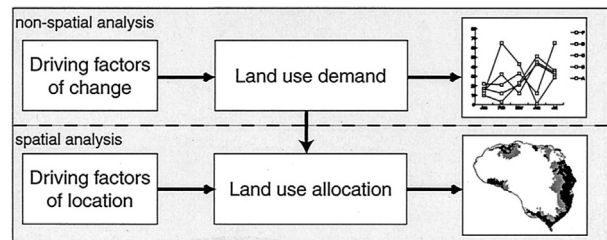


Fig. 1. Overview of the CLUE-s Modelling Procedure (Verburg et al., 1999)

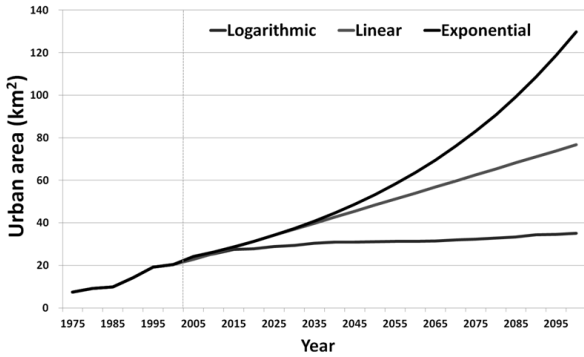


Fig. 2. Land use Change Scenarios According to Urban Growth Rate

구축된 구동요인으로 적용되어 토지이용도와의 회귀분석을 통해 공간적으로 표현하게 되는 과정을 거쳐게 된다. 회귀식은 이분형 로지스틱으로 추출되며, 생태물리적, 사회경제적 지역 특성은 아래와 같은 Eq. (2)를 따른다.

$$\text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} \dots + \beta_n X_{n,i} \quad (2)$$

여기서, P_i 는 i 격자의 확률, X 는 구동요인이고, β 는 종속 변수와 토지이용간의 로지스틱 회귀식을 통해 산정된 계수이다.

본 연구에서는 과거 1975년부터 2000년까지의 Landsat 위성 영상으로 6개 항목(water, urban, bare field, grass, forest, agriculture)의 토지이용 추세를 분석하고, CLUE-s 모형을 이용하여 미래 토지이용도를 작성하였다. CLUE-s 모형의 모의기간에 대한 면적을 입력하는 파일인 'demand.in1'은 성장 단계별로 여러 토지이용변화 시나리오의 입력이 가능하다. 본 연구에서는 도시면적 성장(Fig. 2)을 바탕으로 한 3가지 토지이용변화 시나리오를 사용하여 안성천 유역의 미래 토지이용도를 구축하였다. Linear (LIN) 시나리오는 과거의 추세를 그대로 미래에 적용한 시나리오로 안성천 유역의 2100년 도시면적비율이 전체면적에 20.7%이며, Logarithmic(LOG) 시나리오는 2100년 도시면적비율이 9.4%로 3가지 시나리오 중 가장 도시화가 진행되지 않은 시나리오이고, 마지막 Exponential(EXP) 시나리오는 도시면적비율이 35%로 미래 도시면적비율이 가장 크게 산정되었다. 이렇게 각각 예측한 3가지 토지이용변화 시나리오에서 2040s와 2080s로 기간을 나누어 SWAT 모형에 적용하였다.

2.3 대상유역 및 모형입력자료

본 연구의 대상유역은 안성천의 공도 수위관측소를 유역출구로 하는 상류유역으로(Fig. 3(a)), 유역 면적은 371.1km², 주 하천의

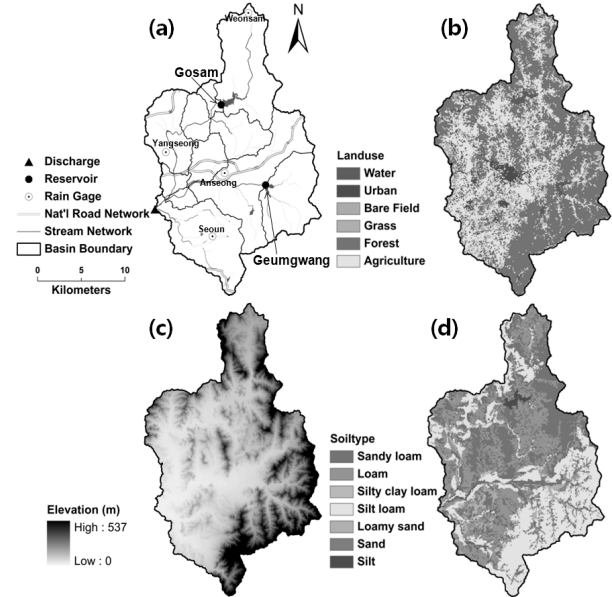


Fig. 3. The Anseong-Cheon Watershed: (a) Boundary and Gauge Stations, (b) 2000 Land Use, (c) Elevation, and (d) Soil

유로연장은 26.8km, 유역 평균표고는 EL. 113.6m, 유역 평균경사는 10.6%이다. 행정구역상으로는 안성시, 천안시와 용인시가 각각 90.2%, 1.1%, 8.7%를 차지하는 이 유역은 서울~천안 사이에서 개발의 여지가 많은 지역으로, 지난 20여 년간 공단, 택지, 골프장 조성 등의 도시지역과 산림지역, 농경지 등 유역 내 토지이용의 변화가 꾸준히 진행된 지역이다. 유역 내에는 농업용저수지인 고삼저수지와 금광저수지를 포함하고 있으며, 유역출구에는 국토교통부 관할 하에 운영 중인 공도수위관측소가 위치하고 있다(Park et al., 2010).

SWAT 모형의 기본 지형입력자료 구축을 위하여 토지이용 자료는 Landsat TM 위성영상을 이용하여 Grid 형식의 30×30m의 토지이용도를 작성하였으며, 분류 항목으로는 수역, 도시, 나지, 초지, 산림, 농경지 등 6개 항목으로 분류하였다(Fig. 3(b)). DEM (Digital Elevation Model)은 NGIS (National Geographic Information System) 수치지도를 이용하여 공간해상도 30×30m의 DEM을 구축하였다(Fig. 3(c)). 토양도는 농촌진흥청에서 제공하는 1:25000 정밀토양도를 기준으로 SWAT 모형에서 요구하는 형식의 토양속성값(usersoil.dbf)을 부여하여 구축하였다(Fig. 3(d)).

SWAT모형 구동을 위한 기상자료는 강수량(mm), 최저/최고온도(°C), 풍속(m/sec), 상대습도(%), 일사량(MJ/m²) 등 6가지 요소가 필요하다. 본 연구에서는 안성천유역 3개 기상관측소(수원, 이천, 양평)의 강수, 최저/최고온도, 풍속, 상대습도, 일조시간 일자료(1976-2005)를 사용하였고, 양질의 강우자료를 위해 추가로 4개 강우관측소(원삼, 양성, 안성, 서운)의 일자료를 추가로 사용하였다.

또한 신뢰성 있는 유출량 모의를 위해서 유역 내 2개의 농업용저수지를 고려하여 Reservoir operation을 실시하였다. 이를 위해 해당 기간의 일별 방류량 자료, 저수면적 및 저수량자료를 구축하여 사용하였다.

2.4 기후변화 시나리오

IPCC 제 5차 기후변화 평가보고서(AR5)에서는 표준 온실가스 시나리오를 대표농도경로(Representative Concentration Pathway, RCP)로 새롭게 선정하였다. RCP 시나리오는 최근 온실가스 농도 변화경향을 반영하였고 최근 예측모델에 맞게 해상도 등을 업데이트 하였으며, 4가지 대표 온실가스 농도는 2.6, 4.5, 6.0, 8.5를 제공하고 있다. 이러한 온실가스 농도 산출과정에서 사회경제적 가정을 미래 사회구조 기반에서 기후변화 대응정책 수행여부로 변경하였다. 본 연구에서는 기상청에서 제공하는 RCP 4.5와 RCP 8.5 시나리오 한반도 전망자료인 12.5km 해상도의 자료를 이용하였다. 앞서 사용된 기상관측소별로 강수량, 최저/최고온도, 풍속, 상대습도 등 5개의 미래 기상요소에 대한 RCP 4.5와 RCP 8.5 시나리오에 대한 값을 2040s(2020-2059), 2080s(2060-2099)의 두 기간으로 구분하여 각각의 일 자료를 구축하였다. 기상청에서는 1km 해상도의 남한상세 전망자료를 제공하고 있지만, 기상요소의 종류가 기온과 강수에만 한정되어 제공하고 있기 때문에 본 연구에서는 5가지의 기상요소를 모두 제공하는 12.5km 해상도의 한반도 전망자료를 이용하였다. 이후 제공받은 한반도 전망자료(1976-2099)와 안성천유역의 과거자료(1976-2005)와의 중복되는 기간을 비교하여 가장 중요한 상태변수인 온도와 강수량자료를 다음의 방법으로 통계적인 유사성을 가지도록 보정하였다(Droogers and Aerts, 2005). 온도의 경우,

$$T'_{GCMfut} = T_{meas} + (\overline{T_{GCMfut}} - \overline{T_{GCMhis}}) \quad (3)$$

여기서, T'_{GCMfut} 는 보정된 미래의 온도, T_{meas} 는 과거 30년 기준기간 동안 관측된 온도, $\overline{T_{GCMfut}}$ 는 GCM에서 모의된 미래 온도의 평균, $\overline{T_{GCMhis}}$ 는 과거 기준기간 동안의 GCM에서 모의된 온도의 평균을 말한다. 강수량의 경우,

$$P'_{GCMfut} = P_{meas} \times (\overline{P_{GCMfut}} / \overline{P_{GCMhis}}) \quad (4)$$

여기서, P'_{GCMfut} 는 보정된 미래의 강수량, P_{meas} 는 과거 30년 기준기간 동안 관측된 강수량, $\overline{P_{GCMfut}}$ 는 GCM에서 모의된 미래 강수량의 평균, $\overline{P_{GCMhis}}$ 는 과거 기준기간 동안의 GCM에서 모의된 강수량의 평균을 말한다.

Figs. 4 and 5는 위의 오차보정기법을 통해 RCP 4.5와 RCP 8.5 시나리오에 의해 추정된 안성천 유역 월별 미래 강수량 및 기온, 그리고 그 변화를 나타낸 그림이다. Baseline 기간은 과거 30년(1976~2005)이며, 미래 분석기간은 2040s(2021~2060), 2080s(2061~2099)의 2개 기간으로 구분하여 분석하였다. 강수량은 연평균 2.2%에서 10.3%까지 증가하였는데 홍수기인 8-9월의 강수량은 감소하고 갈수기인 3-5월의 강수량이 크게 증가하는 것으로 나타났다. 기후변화에 의한 강수량은 갈수기의 강수량 감소에 의한 가뭄과 홍수기의 강우집중현상에 의한 강수량 증가가 일반적이다. 하지만 Fig. 4와 같이 안성천 유역은 월별 미래 강수량이 현재와 비교하여 전체적으로 왼쪽으로 이동하는 현상을 보이고 있다. 홍수기의 시기 또한 앞당겨지는 것으로 예측되었으며, 강수패턴이 현재와는 다른 패턴으로 기후변화가 발생함을 알 수 있다. 이는 기존의 연구사례(Ahn et al., 2009; Ahn et al., 2013; Jung et al., 2013)에서도 월별 강수량이 이동하는 변화현상이 분석되어 제시된 바 있다. 미래기온은 연평균 1°C에서 최고 4.2°C까지 증가하는 경향을 보였으며 2080s에 RCP 8.5의 경우 여름철인 8-9월에 온도가 최고 5.1°C 증가할 것으로 예측되었다.

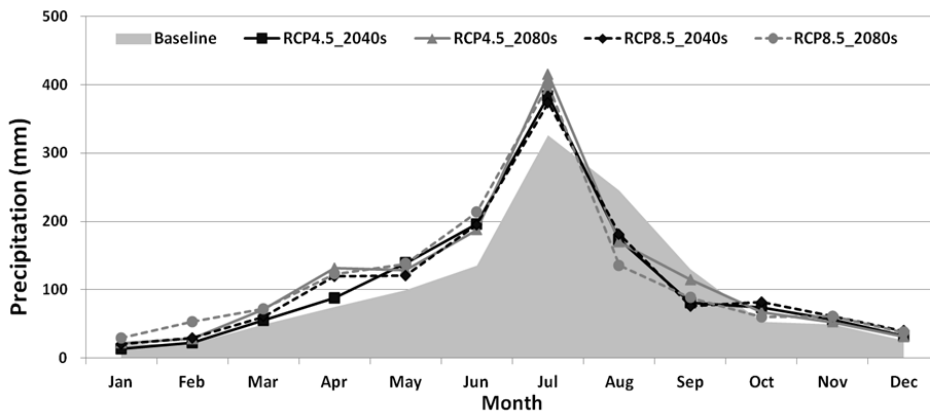


Fig. 4. Changes in the Future Monthly Precipitation with RCP Scenario Based on the Baseline

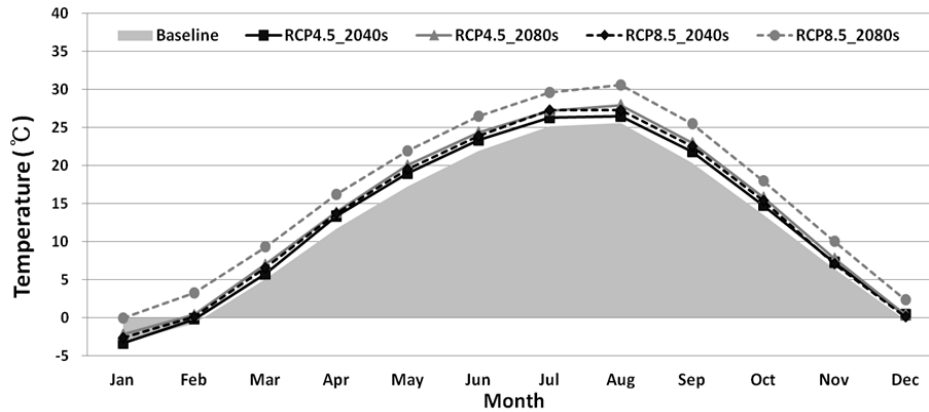


Fig. 5. Changes in the Future Monthly Temperature with RCP Scenario Based on the Baseline

Table 1. Calibrated Model Parameters

Input File	Parameter	Definition (unit)	Calibration Range	Sensitivity	Adjusted Value
.gw	GW_DELAY	Delay time for aquifer recharge (days)	0~500	M	15
.hru	ESCO	Soil evaporation compensation coefficient	0~1	H	0.9
.mgt	CN2	SCS runoff curve number	35~98	H	(+)4
.rte	CH_K2	Effective hydraulic conductivity of channel (mm/hr)	0~150	L	35
	CH_N	Manning coefficient for channel	0~0.3	L	0.03

Table 2. Statistical Summary of the Model Calibration and Validation Results

Statistic		Calibration			Validation			Avg.
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	
Rainfall (mm/yr)		1356.3	872.2	1246.0	1126.2	1322.6	1190.5	1185.6
Streamflow (mm/yr)	Obs.	1034.2	451.3	718.0	927.1	743.3	824.7	783.1
	Sim.	1014.8	506.6	764.9	769.1	893.7	773.5	787.1
Runoff Ratio (%)	Obs.	76.2	51.7	57.6	82.3	56.1	69.2	65.5
	Sim.	74.8	58.0	61.3	68.2	67.5	64.9	65.8
Evaluation Criteria	RMSE (mm/dar)	3.9	1.5	2.2	1.9	3.1	2.3	2.48
	R ²	0.8	0.7	0.9	0.8	0.8	0.6	0.77
	NSE	0.7	0.7	0.9	0.8	0.7	0.6	0.73

3. 결과 및 고찰

3.1 SWAT 모형의 검보정 결과

유출량에 대한 SWAT 모형의 보정과 검증은 선행연구의 민감도 분석 및 검보정 자료를 참고하였으며 유출 보정에 필요한 관측자료는 공도수위관측소의 유출량자료를 이용하였다(Lee et al., 2008). 모의 기간은 모형의 안정화 기간(Warm up) 3년을 고려하여 1997~2005년까지 모의하였으며, 보정과 검증 실측자료의 양과 질이 충분한 2000~2002년, 2003~2005년 각각 3개년으로 설정하

여 실측 일 유출량 자료를 이용하여 보정하였다. 유출 보정시 사용한 매개변수는 Table 1과 같으며 이를 적용하여 실측치와 모의치의 수문곡선을 비교하고, 검보정 결과에 따른 통계분석을 하였다(Fig. 6 and Table 2). 보정 및 검증기간 동안의 년 평균 일 유출량을 비교한 결과, 평균 NSE(Nash-Sutcliffe Efficiency)는 0.73, R²는 0.77, RMSE(Root Mean Square Error)는 2.48mm/day로 나타났다. 검보정 결과를 종합적으로 살펴본 결과, 모의치의 유출경향은 실측치를 잘 반영하는 것으로 나타났으며, 통계적으로도 안정된 상관성을 보이는 것으로 분석되었다. 특히 2000년의 유출율은

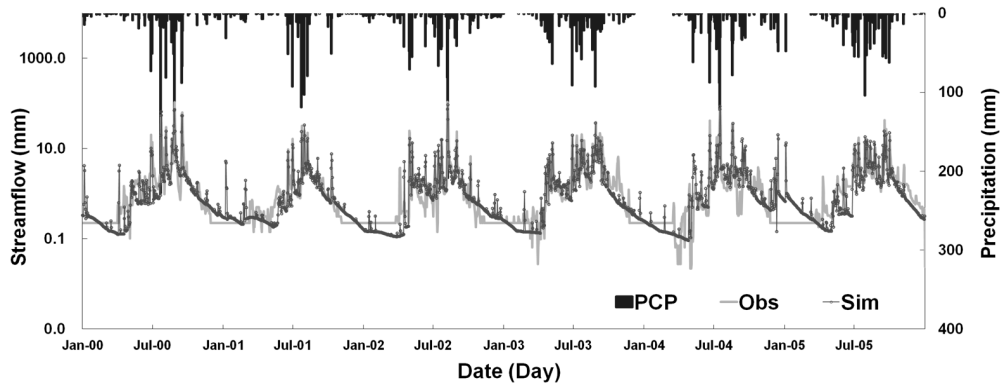


Fig. 6. Comparison of the Observed and Simulated Streamflows at Gong-do Station

Table 3. Logistical Regression Model Results for the Six Land Use Types with 9 Driving Factors

Driving Factor	Land Use Type				
	Urban	Bare Field	Grass	Forest	Agriculture
Aspect	-	0.0007	-	-	-
DEM	-0.0002	-	-	-	0.0004
Distance to Highway	-0.0003	-0.0002	-	0.0001	-0.0001
Distance to Local road	-0.0003	-	0.0003	0.0004	-0.0004
Distance to Nat'l road	-0.0091	-0.0001	-0.0001	0.0001	-0.0001
Slope	0.0025	-	-	-	-
Soil Depth	0.1883	0.0033	-	-0.0069	0.0060
Soil Group	-	-	-	-0.4275	0.3842
Soil Type	-	0.0002	-	-0.0001	0.0001
Constant	-1.2974	-2.8541	-4.2096	0.1900	-1.2488

실측 76.2%, 모의 74.8%로 일반적인 유출율보다 높게 분석되었지만, 2000년은 강우이벤트가 큰 강우량으로 인해 실측 유출율 자체가 큰 년도로 실측치와 모의치가 매우 유사하게 모의되었다. 2003년의 경우에는 유출율이 실측 82.3%, 모의 68.2%로 차이가 발생하였는데, 논이 많은 안성천유역의 특성상 논지역 강제배수의 영향으로 실제 유출율이 높게 발생하고 불확실성이 크며, 모형에서 이를 반영하지 못하여 모의유출량이 작게 모의되는 것으로 판단된다.

3.2 미래토지이용변화 예측 결과

미래토지이용변화를 예측하기 위한 수역을 제외한 5가지 분류의 토지이용의 회귀식을 추정한 결과는 Table 3과 같다. 수역을 결정하는 요인으로 9가지 Driving factor 중 토양그룹이 중요한 변수로 나타났으며 Slope가 상대적으로 주요 변수로 분석되었다. 도시지역의 경우 토양 깊이가 중요한 변수로 나타났으며 나지는 국도와의 거리, 초지는 토양깊이가 주요 변수로 나타났다. 마지막으로 산림과 농경지에서는 9가지 요인 중 토양깊이의 영향이 크게 나타났으나 전반적으로 모든 요인의 계수가 작게 나타나 Driving factor와의

상관도가 미미한 것으로 나타났다. 각 토지이용의 회귀식을 CLUE-s 모형에 적용하여 예측한 토지이용도는 Fig. 7과 같으며 토지이용별, 기간별 면적을 Table 4에 정리하였다. 토지이용변화 시나리오에 따른 미래 토지이용별 면적은 3가지 시나리오에 대하여 전반적으로 산림과 농경지 면적이 14.7~41.0%, 19.7~38.3%로 줄어들었으며, 도시 지역, 나지, 초지면적이 51.4~344.7%, 101.5~227.6%, 120.6~341.1%로 늘어나는 것으로 나타났다. 일반적인 토지이용의 변화는 수역은 변화가 없는 상태에서 도시, 초지는 증가하고, 산림, 농경지는 감소하는 경향인데, 예측된 토지이용은 이러한 경향이 잘 반영되어 나타났다. 초지의 경우 골프장의 개발 등으로 인하여 증가하는 경향을 나타내었고, 나지의 경우 과거의 토지이용의 경향이 반영되어 증가하는 것으로 예측되었지만 유출해석에 있어 큰 의미를 가지지 않는다.

안성천 유역의 도시지역 분포는 2000년 토지이용도의 도시지역을 중심으로 눈에 띄게 확대된 것으로 나타났다. 그 중 도시면적 비율을 35%로 설정한 EXP 시나리오는 2080년의 도시면적비율이 기준년도 보다 3배 이상 증가하였으며 이로 인한 불투수성 면적

Table 4. The Change Area of Land Use from 1985 to 2080 (Values in Parentheses Indicate Percent of Increase Based on Baseline)

Scenarios		Land use (km ²)					
		Water	Urban	Bare field	Grass	Forest	Agriculture
Past	1985	4.7(-2.1)	9.9(-51.5)	2.6(-70.2)	6.2(-62.9)	181.5(+3.0)	152.0(+28.5)
Baseline	2000	4.8	20.4	12.2	16.7	176.3	127.6
LOG	2040s	4.8(-)	30.9(+51.4)	24.6(+101.5)	46.9(+180.4)	148.4(-15.8)	102.4(-19.7)
	2080s	4.8(-)	32.9(+61.2)	40.0(+227.6)	73.8(+341.1)	127.8(-27.5)	78.8(-38.3)
LIN	2040s	4.8(-)	42.7(+109.0)	24.6(+101.5)	46.9(+180.4)	150.4(-14.7)	88.7(-30.5)
	2080s	4.8(-)	65.4(+220.1)	40.0(+227.6)	73.8(+341.1)	123.7(-29.8)	50.4(-60.5)
EXP	2040s	4.8(-)	44.6(+118.5)	24.6(+101.5)	36.9(+120.6)	148.4(-15.8)	98.7(-22.6)
	2080s	4.8(-)	90.8(+344.7)	25.0(+104.8)	43.8(+161.7)	103.9(-41.0)	89.7(-29.7)

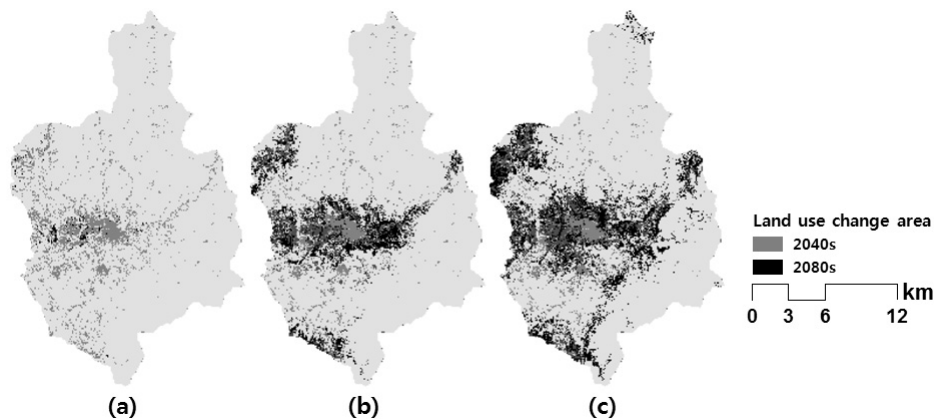


Fig. 7. Comparison of the Land Use Changes in 2040s, 2080s for 3 Scenarios; (a) LOG, (b) LIN, and (c) EXP Land Use Change Scenarios

증가로, 안성천 유역의 유출변화가 크게 일어날 것으로 사료된다. 2040년, 2080년의 LOG, LIN, EXP 시나리오를 이용하여 예측한 6개의 미래토지이용도와 과거(1980, 1985, 1990) 그리고 현재 (2000)의 토지이용도를 이용하여 기후변화 시나리오와 함께 안성천 유역의 수문분석을 수행하였다.

3.3 미래기후변화와 토지이용변화에 따른 유출특성 분석

Table 5는 토지이용변화 및 기후변화 시나리오를 사용하여 SWAT 모형을 구동한 결과(강수량, 지표유출, 지하수량, 증발산량, 총유출)를 정리한 표이다. 먼저 감보정기간(2000-2005)의 매개변수를 과거 30년 Baseline(1976~2005) 기간에 적용하여 모의한 상태에서 과거토지이용도(1980, 1985, 1990, 2000)를 차례로 적용하여 결과를 산정하였으며, 이후 미래 토지이용도를 2040s(2021~2060), 2080s(2061~2099)의 2개 기간별로 적용한 결과를 비교하였다. 추가로 미래기후변화 시나리오만을 적용하여 결과를 산정하였고, 마지막으로 토지이용 및 기후변화 시나리오를 모두 적용한 결과를 도출하여 비교하였다. 비교를 위해 Baseline(1976~2005) 기간의 토지이용도는 2000년의 결과를 기준으로 사용하였다.

첫 번째, 강수량은 기후변화에 의해서만 변하는 인자이기 때문에 토지이용만 바뀌 적용했을 때 전혀 변화가 없으며, RCP 시나리오만을 적용했을 때 11.5%에서 21.1%까지 증가하였다. 두 번째로 지표유출은 기준년도에 비해 토지이용변화만을 고려할 경우 5.1~11.9% 증가하였고, 기후변화만을 고려한 경우는 7.0~18.3%로 증가하였다. 기후변화와 토지이용을 같이 고려한 경우 12.4~28.2%까지 증가한 것으로 분석되었다. 이는 토지이용변화로 인한 불투수성 면적의 증가와 기후변화에 의한 강수량 증가가 원인인 것으로 판단된다. 세 번째 지하수량은 기준년도에 비해 토지이용변화만을 고려한 경우는 대체로 감소하였고, 기후변화만을 고려한 경우 23.0~35.7%로 증가하는 경향을 보였으며, 기후변화와 토지이용을 모두 고려한 경우는 -7.3~64.2% 변화한 것으로 분석되었다. 지하수량은 감소하는 추세를 보였는데 특히 도시면적 비율이 높을수록 지하수량의 감소가 큰 것으로 나타났다. 그 이유는 불투수성 면적의 증가로 인하여 침투가 줄어들고, 생활용수 공급을 위한 지하수 개발이 원인으로 판단된다. 증발산량의 경우, 토지이용변화만을 고려할 때 1.4~3.7%까지 증가하는 경향을 나타냈으며 기후변화와 토지이용을 모두 고려한 경우, -2.6~19.2% 변화한 것으로 분석되었

Table 5. Summary of the Future Predicted Annual Hydrological Components by Land Use and Climate Change Scenarios (Values in Parentheses Indicate Percent of Increase Based on Baseline)

Scenarios		Precipitation (mm)	Surface Runoff (mm)	Groundwater Recharge (mm)	ET (mm)	Streamflow (mm)	
Past Land use	1980	1185.8 (-)	539.4 (-1.1)	109.8 (+8.6)	445.2 (+1.3)	706.7 (-0.8)	
	1985	1185.8 (-)	540.1 (-1.0)	107.5 (+6.3)	443.1 (+0.8)	708.4 (-0.6)	
	1990	1185.8 (-)	542.9 (-0.5)	103.7 (+2.6)	441.9 (+0.5)	709.6 (-0.4)	
Baseline		2000	1185.8	545.4	101.1	439.7	712.5
Land Use Change	LOG	2040s	1185.8 (-)	610.1 (+11.9)	43.7 (-56.7)	448.6 (+2.0)	731.2 (+2.6)
		2080s	1185.8 (-)	576.9 (+5.8)	61.1 (-39.6)	456.1 (+3.7)	722.5 (+1.4)
	LIN	2040s	1185.8 (-)	580.9 (+6.5)	56.7 (-44.0)	455.4 (+3.6)	723.4 (+1.5)
		2080s	1185.8 (-)	585.1 (+7.3)	63.5 (-37.2)	445.6 (+1.4)	732.9 (+2.9)
	EXP	2040s	1185.8 (-)	573.2 (+5.1)	73.3 (-27.5)	452.7 (+3.0)	725.0 (+1.8)
		2080s	1185.8 (-)	594.0 (+8.9)	55.1 (-45.5)	448.9 (+2.1)	729.8 (+2.4)
Climate Change	RCP4.5	2040s	1321.9 (+11.5)	583.5 (+7.0)	124.4 (+23.0)	501.8 (+14.1)	804.2 (+12.9)
		2080s	1417.8 (+19.6)	650.5 (+19.3)	143.6 (+42.0)	505.1 (+14.9)	895.8 (+25.7)
	RCP8.5	2040s	1359.2 (+14.6)	610.2 (+11.9)	125.1 (+23.8)	510.0 (+16.0)	833.6 (+17.0)
		2080s	1436.8 (+21.1)	645.2 (+18.3)	137.2 (+35.7)	530.1 (+20.6)	889.1 (+24.8)
Land Use and Climate Change	RCP4.5 LOG	2040s	1321.9 (+11.5)	613.2 (+12.4)	93.8 (-7.3)	500.6 (+13.9)	807.8 (+13.4)
		2080s	1417.8 (+19.6)	681.7 (+25.0)	118.1 (+16.8)	493.1 (+12.2)	909.2 (+27.6)
	RCP4.5 LIN	2040s	1321.9 (+11.5)	617.2 (+13.2)	99.8 (-1.3)	489.0 (+11.2)	818.8 (+14.9)
		2080s	1417.8 (+19.6)	691.0 (+26.7)	166.0 (+64.2)	428.3 (-2.6)	969.9 (+36.1)
	RCP4.5 EXP	2040s	1321.9 (+11.5)	610.9 (+12.0)	96.0 (-5.0)	516.1 (+17.4)	793.1 (+11.3)
		2080s	1417.8 (+19.6)	699.1 (+28.2)	148.1 (+46.5)	442.5 (+0.6)	956.8 (+34.3)
	RCP8.5 LOG	2040s	1359.2 (+14.6)	640.0 (+17.3)	94.4 (-6.6)	509.0 (+15.8)	836.0 (+17.5)
		2080s	1436.8 (+21.1)	679.2 (+24.5)	127.3 (+25.9)	500.3 (+13.8)	919.0 (+29.0)
	RCP8.5 LIN	2040s	1359.2 (+14.6)	644.0 (+18.1)	100.4 (-0.7)	497.5 (+13.2)	847.8 (+19.0)
		2080s	1436.8 (+21.1)	688.4 (+26.2)	147.6 (+46.0)	467.7 (+6.4)	949.8 (+33.3)
	RCP8.5 EXP	2040s	1359.2 (+14.6)	638.0 (+17.0)	96.8 (-4.3)	524.0 (+19.2)	822.8 (+15.5)
		2080s	1436.8 (+21.1)	697.4 (+27.9)	131.3 (+29.8)	479.0 (+9.0)	939.0 (+31.8)

다. 증발산량의 변화는 토지이용의 변화보다 기후변화에 의한 영향이 훨씬 큰 것으로 분석되었다. 증발산량의 증가의 원인으로는 미래에 산림과 농경지가 줄어들면서 도시면적은 커졌지만 초지면적이 120~340%로 증가하는 것으로 예측되어 증발산량 증가에 영향을 미친 것으로 판단되며, 온도의 증가와 봄철 강수량의 증가 때문으로 사료된다. 전체 유출량은 기준년도에 비해 전체적으로 1.4%에서 36.1%까지 증가하였으며 특히 토지이용과 기후변화를 고려한 경우 증가량이 가장 많은 것으로 분석되었다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 토지이용변화와 기후변화 시나리오에 따른 도시화 진행구역의 수문현상변화를 산정하기 위해 안성천 유역을 대상으

로 미래 기후변화만을 고려한 경우, 토지이용변화만을 고려한 경우, 미래 기상자료와 토지이용변화를 모두 고려한 경우를 분석하였다. 미래 기상자료는 안성천 유역 3개 관측소의 RCP 4.5, 8.5 시나리오에 대해 2040s와 2080s의 두 기간으로 나누어 각각 일 자료를 구축하였다. 3가지 토지이용변화 시나리오 적용을 위하여 CLUE-s 모형을 사용하여 미래 토지이용도를 구축하였으며, SWAT 모형을 이용하여 미래기후변화 및 토지이용변화에 따른 유역의 수문순환 특성변화를 분석하였다. 기후변화시나리오의 지배적인 영향을 받는 강수량은 RCP 4.5에서 11.5~19.6% 증가하였고, RCP 8.5에서 14.6~21.2% 증가하는 것으로 나타났으며, 기온은 RCP 4.5에서 1.0~1.5°C 증가하였고, RCP 8.5에서 1.9~4.2°C 증가하는 것으로 나타났다. 도시면적 성장을 바탕으로 한 토지이용변화 시나리오에 대한 안성천 유역의 도시면적은 Baseline(2000년 토지이용)기준

51.4~344.7% 증가하였으며, 나지는 101.5~227.6% 증가, 초지는 120.6~341.1%로 증가, 산지는 14.7~29.8% 감소, 농경지는 19.7~60.5%까지 감소하는 것으로 나타났다. 토지이용변화와 기후변화 시나리오를 SWAT 모형에 적용하여 구동한 결과 시나리오별, 수문요소별로 결과가 다르게 나타났다. 지표유출량과 총 유출량은 토지이용변화와 기후변화 시나리오에서 모두 증가하는 경향을 보였으며, 그 이유가 강우량증가와 유역의 도시화에 수반되는 불투수성 면적의 증가 때문인 것으로 나타났다. 지하수량은 토지이용변화 시나리오 적용결과 최고 56.7%까지 감소하였으며, 기후변화 시나리오 적용결과 최고 42.0% 증가하는 것으로 나타났다. 또한 토지이용변화와 기후변화 시나리오를 모두 적용한 결과 가까운 미래인 2040s에서 0.7~7.3%까지 모두 감소하였고, 먼 미래인 2080s에서 16.8~64.2%의 증가를 보였다. 이러한 이유는 가까운 미래에는 강수량 증가에 비해 불투수성 면적 증가로 인한 지하수량 감소가 지배적인 것으로 나타났으며, 먼 미래에는 강수량 증가가 더 큰 영향을 미쳐 지하수량이 증가하는 것으로 분석되었다. 마지막 증발산량의 경우 토지이용변화 시나리오 적용결과 1.4~3.7%로 증가하는 경향을 보였는데, 이는 미래에 산림과 농경지가 줄어들면서 도시면적은 커졌지만 초지면적이 120~340%로 증가하고, 미래 온도의 증가와 봄철 강수량의 증가로 인해 증발산량이 증가하는 것으로 분석되었다.

도시유출의 관점에서 유역을 개발하거나 식생을 제거 하는 등의 피복조건의 변화는 식생의 유무 내지는 불투수성 면적비로서 나타낼 수가 있다. 불투수성 지역에 대한 면적비는 물수지 모형을 비롯한 물 순환 시스템을 다루는데 있어서 중요한 정보가 된다. 유역전체에서 유출량 또는 강수량 등의 증가가 기후변화에 따른 지구온난화에 기인된다고 한다면, 토지이용변화와 기후변화 시나리오를 고려한 유역모델링은 미래의 수자원을 정량적으로 파악하는데 중요한 역할을 할 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리사업의 연구비지원(14AWMP-B082564-01)에 의해 수행되었습니다.

References

- Ahn, S. R., Park, G. A., Jang, C. H. and Kim, S. J. (2013). "Assessment of climate change impact on evapotranspiration and soil moisture in a mixed forest catchment using spatially calibrated SWAT model." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 46, No. 6, pp. 569-583 (in Korean).
- Ahn, S. R., Park, M. J., Park, G. A. and Kim, S. J. (2009). "Assessing future climate change impact on hydrologic components of gy-eongancheon watershed." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 42, No. 1, pp. 33-50 (in Korean).
- Clarke, K. C., Hoppen, S. and Gaydos, L. (1997). "A self-modifying cellular automation model of historical urbanization in the san francisco bay area." *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 24, pp. 247-261.
- Doogers, P. and Aerts, J. (2005). "Adaptation strategies to climate change and climate variability: A Comparative Study between Seven Contrasting River Basins." *Physics and Chemistry of the earth*, Vol. 30, pp. 339-346.
- Harry, F. L. and Patrick, J. M. (1994). "Increasing U.S. streamflow linked to greenhouse forcing." *Transactions American Geophysical Union*, Vol. 75, No. 25, p. 281.
- IPCC (2007). *Climate change 2007: The Physical Science Basis, IPCC Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jung, H. K., Kim, S. J. and Ha, R. (2013). "Assessment of climate change impact on storage behavior of chungju and the regulation dams using SWAT model." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 46, No. 12, pp. 1235-1247 (in Korean).
- Kim, W. S., Yun, K. H., Heo, J. and Jayakumar, S. (2008). "The expectation of the land use and land cover using CLUE-S model and landsat images." *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 16, No. 1, pp. 33-41 (in Korean).
- Lee, K. S., Yoon, Y. S., Kim, S. H., Shin, J. I., Yoon, J. S. and Kang, S. J. (2009). "Analysis of present status for the monitoring of land use and land cover in the korean peninsula." *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 25, No. 1, pp. 71-83 (in Korean).
- Lee, Y. J., Ahn, S. R., Kang, B. S. and Kim, S. J. (2008). "Assessment of future climate and land use change on hydrology and stream water quality of anseongcheon watershed using SWAT model (II)." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 28, No. 6B, pp. 665-673 (in Korean).
- Lee, Y. J., Park, J. Y., Park, M. J. and Kim, S. J. (2008). "Assessment of future climate and land use change on hydrology and stream water quality of anseongcheon watershed using SWAT model (I)." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 28, No. 6B, pp. 653-663 (in Korean).
- Oh, S. N., Ha, K. J., Kim, K. Y. and Kim, J. W. (1998). "Effects of land hydrology in northeastern asia in a doubling CO₂ climate experiment." *Korean Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 34, No. 2, pp. 293-305 (in Korean).
- Oh, Y. G., Choi, J. Y., Bae, S. J., Yoo, S. H. and Lee, S. H. (2010). "A probability mapping for land cover change prediction using CLUE model." *Journal of Korean Society of rural Planning*, Vol. 16, No. 2, pp. 47-55 (in Korean).
- Park, G. A., Lee, Y. J., Shin, H. J. and Kim, S. J. (2010). "Assessment of the contribution of weather, vegetation and land use change for agricultural reservoir and stream watershed using the SLURP model(1) - Preparation of Input Data for the Model -." *Journal of*

- the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 30, No. 2B, pp. 107-120 (in Korean).
- Park, J. K. (2009). "A study on the impact runoff discharge by developing in upper basin at urban stream." *Journal of the Korean Society of Environment and Ecology*, Vol. 15, No. 1, pp. 23-28 (in Korean).
- Park, J. Y., Park, M. J., Joh, H. K., Shin, H. J., Kwon, H. J., Srinivasan, R. and Kim, S. J. (2011). "Assessment of MIROC3.2 hires climate and CLUE-s land use change impacts on watershed hydrology using SWAT." *Transactions of the ASABE*, Vol. 54, No. 5, pp. 1713-1724.
- Turner, B. L., Lambin, E. F. and Reenberg, A. (2007). "Land change science special feature: The Emergence of Land Change Science for Global Environmental Change and Sustainability." *Proceedings of National Academy of Science*, Vol. 104, No. 52, pp. 20333-20671.
- Verburg, P. H., De Konong, G. H. J., Kok, K., Veldkamp, A. and Bouma, J. (1999). "A spatial explicit allocation procedure for modelling for pattern of land use change based upon actual and use." *Ecological Modelling*, Vol. 116, No. 1, pp. 45-61.
- Yang, H. K. and Kim, J. I. (2004). "The change of water balance due to urbanization in gwangju river basin." *Journal of the Korean association of regional geographers*, Vol. 10, No. 1, pp. 192-205 (in Korean).