

기후변화에 따른 섬진강 유역의 미래 강우 및
유량 변동 특성 분석
Analysis of Variation Characteristics for Future Rainfall and
Runoff in the Seomjin River Basin according to Climate
Change

박성천*, 오창열**, 이용희***, 박민수****
Sung-Chun Park, Chang-Ryeol Oh, Yong-Hee Lee, Min-Su Park

요 지

최근 이상기후 현상에 기인한 집중호우 및 가뭄에 의한 피해가 급증하면서 수자원 관리에 대한 필요성이 증대되고 있다. 지구온난화에 의한 미래 기온의 상승과 강수량 패턴변화는 증발산이나 토양수분 등의 변화로 이어져 궁극적으로 물 순환의 변화를 초래하고 있다. 현재 우리나라의 유출은 대부분 여름철에 집중되며 이에 따라 여름철에 홍수가 발생하고 있다. 최근에는 기후변화의 영향으로 인해 그 발생빈도도 잦아지고, 피해 규모도 증가하고 있는 실정이다. 이에 따라 기후변화에 따른 섬진강 유역의 유출량 변동을 구레, 압록, 송정지점을 대상으로 분석하였다.

기후변화에 대한 자료는 GCM모형 중 기후변화센터(CCIC)에서 제공 해주는 MM5 지역 기후모델 인 A1B시나리오 자료를 사용하였으며, 편이보정(bias-correction)을 통해 미래의 기상자료를 현재 기상자료에 적용할 수 있는 데이터로 보정하여 사용하였다. 섬진강 유역을 대상으로 하여 미래 기후변화가 유량에 미치는 영향을 분석하기 위해 미래 기상 자료를 구축 하였으며, 준분포형 유출모형인 SWAT 모형을 이용하였다. SWAT모형의 검·보정결과 시나리오 값은 실측값보다 다소 적은 양의 유출이 일어나는 것으로 검·보정되었으나, 상관계수는 보정자료의 경우에 압록 0.970, 구레 0.976, 송정 0.956로 나타났다. 이러한 결과에 의해 시나리오 자료는 편이보정을 통해 자료의 일관성을 확보하였다.

연평균 유출량 모의결과 2011~2070년 미래 시나리오 자료는 2001~2010년보다 0.79배 감소하는 경향이 있지만 2071~2100년은 2001~2010년 유출량보다 1.53배 증가하는 것으로 나타났다. 또한 본 연구를 통하여 미래 섬진강유역의 유출변화를 파악하였고, 섬진강유역의 미래 수자원의 변동성을 전망해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 기후변화 , 섬진강유역, 미래강우, 유량변동

* 정회원 · 동신대학교 토목공학과 교수 · E-mail : psc@dsu.ac.kr
** 정회원 · 광주광역시 환경생태국 생태하천수질과 전문위원 · E-mail : new2020@korea.com
*** 정회원 · 동신대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : md49@nate.com
**** 정회원 · (주)도시피앤디엔지니어링건축사무소 수자원부 사원 · E-mail : cliffpms@nate.com

1. 서론

2007년 유엔(United Nations, UN) 정부 간 기후변화위원회(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)는 기후변화에 관한 종합보고서를 6년 만에 발표해 지구 온난화는 인간이 초래한 것이라고 강력히 지적하고 IPCC는 1900년대 이후로 지난 1세기 동안에 약 $0.6\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 상승했다고 밝혔으며, 관측을 이용한 분석에서도 이러한 온난화의 경향이 증가되는 것으로 보고한 바 있다.

우리나라는 이와 같은 기후변화 상태에서 가장 기온상승이 높은 지역으로 예측되어 2100년에는 아열대 기후로 변화할 것으로 예측되었다. 이러한 지구온난화에 의한 미래 기온의 상승과 강수량의 패턴변화는 증발산이나 토양수분 등의 변화로 이어져 궁극적으로는 물 순환의 변화를 초래하며 유출량 변화로 이어지게 된다(안재현 등, 2001; 유철상과 이동률, 2000). 장래 하천을 관리하기 위한 필수적인 수문자료는 유출량이다. 수자원 개발이나 관리를 위해서는 강우-유출, 수질에 대한 정확한 정보가 필요하다. 이에 따라 지금까지 다양한 강우-유출 모형들이 개발되어 왔다.

본 연구에서는 섬진강유역의 압록, 구례, 송정지점을 대상 지점으로 선정하여, 섬진강 유역내의 실측 강우자료와 A1B시나리오 강우자료를 편이 보정을 통해 SWAT모형에 적용시켜 유출량을 모의하였다. 그리고 압록수위관측소, 구례수위관측소, 송정수위관측소의 실측유량과 비교를 통해 검·보정을 실시하였으며, 검·보정된 SWAT모형에 기후변화정보센터(CCIC)에서 제공하는 A1B시나리오의 강우자료를 적용하였다. 그 후 기후변화 A1B시나리오에 따른 섬진강유역의 유출량을 모의하였다. 따라서 본 연구에서는 기후변화에 의한 섬진강유역의 압록, 구례, 송정지점에 대하여 현재 및 장래의 유출량을 모의하여 그 변동성을 파악하는 데 연구목적을 두고 있다.

2. 연구대상지역 및 특성

본 연구에서는 섬진강 유역을 대상유역으로 선정하였으며 섬진강유역은 한반도의 남해안 중서부에 위치하고 있는 섬진강은 우리나라 4대강의 하나로써, 동경 $126^{\circ} 51' 50'' \sim 127^{\circ} 53' 05''$, 북위 $34^{\circ} 40' 26'' \sim 35^{\circ} 50' 0''$ 에 위치하고 있으며, 동쪽으로는 낙동강유역, 서쪽으로는 영산강유역과 동진강유역, 북쪽으로는 금강유역 및 만경강유역과 각각 경계를 이루고 있다. 섬진강의 유역면적은 $4,911.89\text{km}^2$, 유로연장은 223.86km , 유역평균폭은 21.94km , 형상계수는 0.1, 평균고도는 EL. 301.60m 이고, 유역형태는 수지상이다. 섬진강 유역은 행정구역상으로 전라북도(정읍시, 남원시, 진안군, 장수군, 임실군, 순창군), 전라남도(순천시, 광양시, 담양군, 곡성군, 구례군, 화순군, 보성군, 장흥군), 경상남도(하동군)에 걸쳐 있으며, 도별 유역 편입율은 전라남도 47%, 전라북도 44%, 경상남도 9%이다. 연구대상 지역에 지형자료는 1:25,000 수치지도로부터 생성한 수치표고모델(Digital Elevation Map-DEM)과 환경부의 1:25,000 토지이용도, 한국토양정보시스템의 정밀토양도를 사용하였다. Fig.3.3~3.5는 토지이용도, 토양도, 수치표고도를 도시하였다.



그림 1. 대상지역

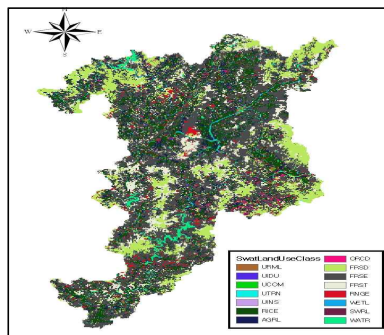


그림 2. 섬진강 유역 토지이용도

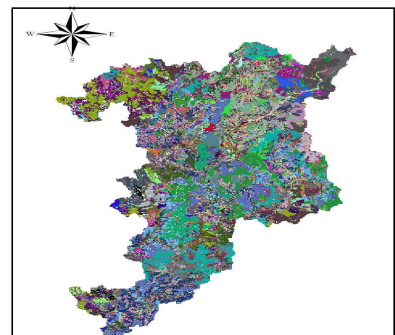


그림 3. 섬진강 유역 토양도

3. 지역기후모델(MM5) 및 SWAT모형 소개

3.1 MM5모델

본 연구에서 채택된 지역기후모델인 MM5 (Mesoscale Model Version 5)는 역학적 상세화 모형이다. MM5는 미국 국립기상연구소 (National Center for Atmospheric Research, NCAR)의 중규모 예측 그룹과 펜실베이니아 주립대학(Pennsylvania State University, PSU)에서 공동 개발한 중규모 기후모델로 Anthers and Warner (1978)에 의해 처음 개발되었으며, Dickinson et al (1989)는 등압면과 등밀도면이 일치하는 정역학(hydrostatic dynamic)방정식을 만족하는 모델이었다. 보통 기상현상은 연직 규모보다 수평 규모가 훨씬 더 크기 때문에 기본적으로 정역학 근사(hydrostatic approximation)를 사용하여 대규모의 대기운동에 대해서는 대단히 좋은 정밀도를 가진다. 그러나 토네이도와 같은 중규모 기상현상들은 대부분 수평 규모의 힘보다 연직 규모의 힘이 더 중요하기 때문에 비정 역학적 현상을 무시할 수 없어 비정역학 모델이 개발되었다(기상연구소,2002).

MM5에서 강우 물리과정은 mixed-phase scheme (Reisner et al., 1998)이 사용되는데 이것은 구름 내에 구름 얼음, 구름 물, 빗물, 눈이 동시에 존재하면서 눈의 녹음, 녹고 있는 눈에 대한 증발의 모수화가 추가된 방법이다. 적운 모수화 과정은 Arakawa-schubert의 방법을 간단화시킨 것으로 복잡한 구름 모형들에서 나타나는 오차를 최소화하기 위하여 매우 단순화된 방법을 사용한 Grell scheme을 사용하였다. (Grell et al. 1994). 이는 구름과 주변 환경 간에는 유입과 유출의 과정이 고려되지 않아 상승역과 하강역의 구름 질량 속은 고도에 따라 일정하며 사용되는 방정식도 몇 개에 불과하다. 그리고 형성 경계층 과정은 MRF PBL scheme (Hong and Pan, 1996)을 사용하였다. ECHO-G 결과를 MM5의 초기 및 측면 경계 자료로 이용하였으며, 지형자료는 미국지질조사국의 5분 간격 자료를 이용하였다(기상연구소, 2003). 적분기간은 1971~2100년 동안으로, 이 기간에 대해 국내의 지역 기후변화에 대한 역학적 상세화하였다. 역학적 상세화 범위는 한반도(38°N, 125°E)를 중심으로 동아시아 영역을 포함하는 27km 수평해상도를 갖는 125(동서방향), 105(남북방향)개의 격자영역으로 구성되었다.

3.2 SWAT 모형

SWAT모형을 이용하여 물과 유사, 영양물질의 이동을 정확히 예측하기 위해서는 모형에 의해 모의되는 수문순환(hydrologic cycle)과정이 유역 내에서 발생하는 현상과 일치하여야 한다. 따라서 SWAT모형은 유역의 수문순환에 대한 모의를 크게 두 부분으로 나누고 있다.

각 소유역의 주 하천에서의 물,(water), 침전물(sediment), 영양물질(nurient), 살충제(pesticide)의 부하량을 조절한다. 두 번째 부분은 추적부분으로 유역의 하천조직에서 출구까지의 물과 유사 등의 이동으로 정의될 수 있는 수문순환의 추적에 관한 부분으로 나누어진다. 유역의 기상(climate)은 물수지를 조절하고 수문순환의 여러 성분 중에 상대적으로 중요한 사항을 결정하는 수분 및 에너지를 제공한다. SWAT에서 필요한 기상 변수들은 일 강수량, 최고/최저온도, 일사량, 풍속 및 상대습도 등이다. 이들 요소의 값들은 관측 자료로부터 입력되거나 모의 기간 중에 모의 발생된다. 강수가 내리면 식물의 가지나 잎에 의해 차단되고 부착되거나 지표면에 떨어진다. 지표면의 물은 토양층으로 침투되거나 유출로서 지표면을 흐른다. 유출은 상대적으로 빠르게 실개천으로 흐르게 되고 단시간에 작은 하천을 이룬다. 침투된 물은 토양내에 부착되고 증발산 되거나 지하 통로를 통하여 지표수 부분으로 점진적으로 움직인다.

4.모형적용 및 결과

본 연구에서는 Droogers와 Aerts(2005), Alcamo 등(1997)이 사용했던 기법인 편이보정법을 이용하여 기후변화에 가장 큰 영향을 미친 강우량과 기온에 대하여 30년(1981년~2010년)기간에 대하여 편이보정을 실시하였다. 저수기와 홍수기의 기상청자료(강우량, 기온)와 GCM모형 중 기후변화센터(CCIC)에서 제공 해주는 MM5 지역 기후모델 인 A1B시나리오 자료(Grid1~Grid12)자료 확보 후 1981~2010년의 강우량 및 기

은 자료의 편이 보정하였다. 섬진강(압록,구례,송정)유역 Grid는 12개이며 가장 대표성이 있는 Grid1를 <그림 4~5>에 편이 보정 후 자료로 도시하였다.

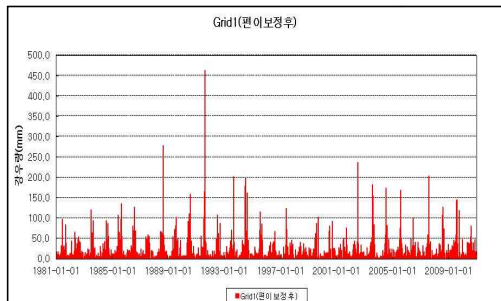


그림 4. 시나리오 A1B 편이보정 후 강우량

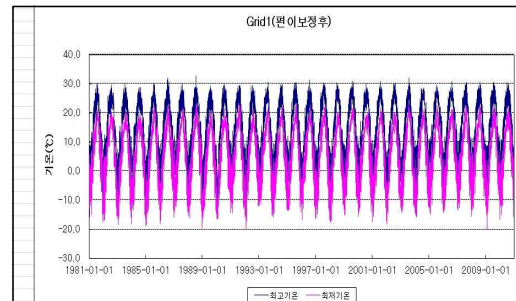
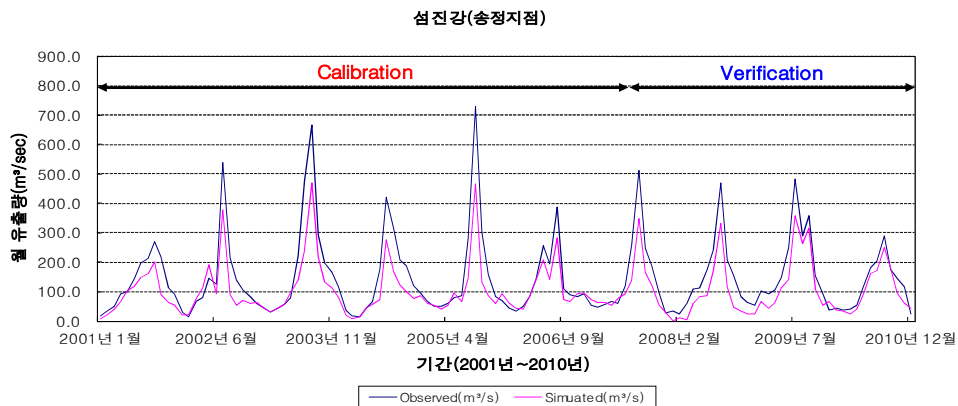


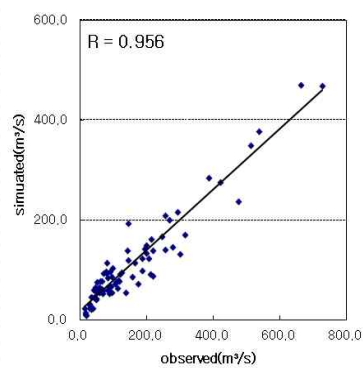
그림 5. 시나리오 A1B 편이보정 후 기온

편이 보정 전·후 결과 강우량 및 기온을 보면 먼저 강우량 Grid1은 전 최대 강우량 값 236.2mm 이며 최대 강우량 값 463.4mm로 나타났으며, 기온은 Grid1 전 최고기온 32.7°C, 최고기온 32.6°C으로 나타났고 Grid1 전 최저기온 -20°C, 최저기온 -20°C으로 나타났다.

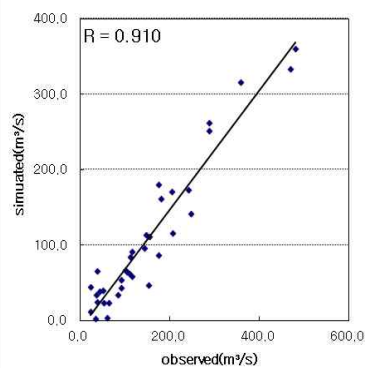
유출량자료에 대한 시나리오 모의결과는 연평균 유출량자료의 모의를 통하여 섬진강유역(압록,구례,송정)중 하류 지역인 송정지점을 <그림 6>에 도시하였으며, <그림 6. (a)>에 보정 및 검증기간에 대한 실측값과 시나리오 값의 시계열도를 나타내었다. 또한 각 기간에 대한 실측값과 모의값의 관계를 나타내기 위해 <그림 6>에 보정기간에 대한 상관도를 도시하였으며, <그림 6. (c)>에 검증기간에 대한 상관도를 도시하였다.



(a) 검·보정 기간 수위곡선과 SWAT모형의 시나리오 유출량 모의값 비교



(b) 유출량 보정기간 상관도



(c) 유출량 검증기간 상관도

그림 6. 송정지점의 검·보정기간 유출모의결과 및 상관도

SWAT 모델에서는 매개변수 조정 후 미래 기후변화 자료를 이용하여 섬진강(압록, 구례, 송정)유역의 유출량변동 분석을 모의하였으며, 송정지점을 Fig.4.6~Fig.4.7에 각 지점의 유출량변동 분석 결과를 도시하였다.

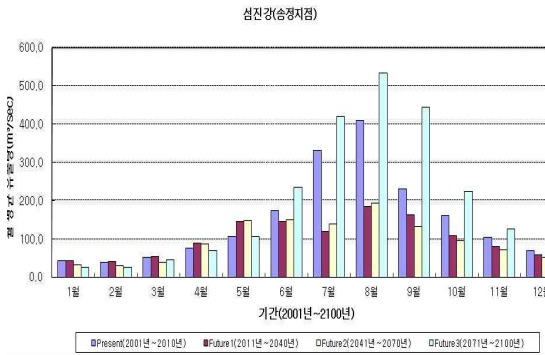


그림 7. 월 유출 모의 결과

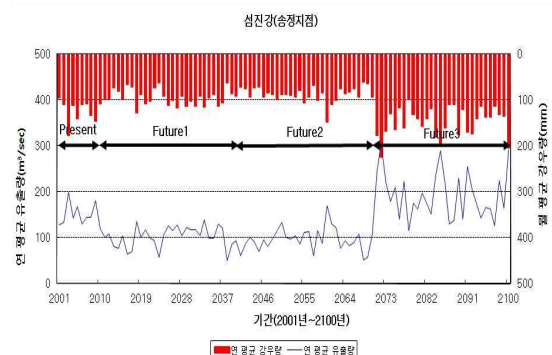


그림 8. 연 유출 모의 결과

SWAT모형의 미래의 월 평균 유출량 모의결과는 1월~4월, 10월~12월은 비슷한 경향을 나타나고 있지만 6월~9월 Future1,Future2이 Present유출량보다 낮은 유출량을 모의 되었지만 Future3은 Present보다 높은 유출량값을 모의하였으며 년 평균 유출량 모의결과 2011년~2070년 미래 시나리오 자료는 2001년~2010년보다 0.79배 감소하는 경향이 있지만 2071년 이후 2001년~2010년 유출량보다 1.53배 증가하였다. 또한, 해당 모형의 보정이 적절하게 수행되었으며, 그에 따른 검증결과 역시 보정의 타당성을 나타내고 있다. 결과적으로 본 연구의 대상지점에 대한 월·연 유출량을 보면, 미래의 유출량은 과거의 유출량 보다 증가할 경향을 보이고 있다

5. 결론

- (1) 시나리오 A1B의 Grid 1에 대한 편이보정 결과, 강우량과 기온의 편이보정 전·후의 차이가 각각 227.2mm와 0.01℃으로 나타났다. 이러한 결과에 의해 기후변화정보센터(CCIC)의 SRES Marker Scenario A1B 자료의 편이보정 오차범위를 알 수 있었다.
- (2) SWAT모형에 의한 모의 유출량과 수위 실측값과의 상관계수는 보정자료의 경우 송정 0.956로 나타나고, 검증자료의 경우 송정 0.910으로 높은 상관성을 보였다. 이러한 결과에 의해 시나리오 자료는 편이보정을 통해 자료의 일관성 있는 데이터를 만들 수 있다.
- (3) SWAT모형의 미래의 각 지점 월 평균 유출량 모의결과는 1월~4월, 10월~12월은 비슷한 경향을 나타나고, 6월~9월 Future1, Future2의 유출량이 Present유출량보다 다소 작은 유출량으로 모의되었으나, Future3의 유출량은 Present보다 높은 유출량 값을 모의하였으며 연 평균 유출량 모의결과 2011년~2070년 미래 시나리오 자료는 2001년~2010년보다 0.78배 감소하는 경향이 있고 2071~2100년은 2001년~2010년 유출량보다 1.53배 증가하였다.
- (4) 본 연구는 상대습도, 풍속, 일사량을 고려하지 않았기 때문에 본 연구의 결과를 절대적 판단기준으로 적용하기에는 무리가 있지만 미래 온도와 강수의 변화를 입력자료로 하여 SWAT모형을 통하여 유출량의 변화를 파악하였으므로 섬진강유역의 미래 수자원의 변동성을 전망해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 안재현, 유철상, 윤용남(2001). GCM 결과를 이용한 지구온난화에 따른 대형댐 유역의 수문 환경 변화 분석, 한국수자원학회지 34(4), pp.335-345
2. 정창삼(2006). 중장기 기상예과정보의 수자원 활용 가능성; GCM을 중심으로. 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제 39권, 6호, pp85-93.