

기후변화에 따른 수문순환 평가 기법의 최신 연구동향



박근애 >>>

건국대학교 사회시스템공학과 박사후과정
dolpin2000@konkuk.ac.kr



박민지 >>>

건국대학교 사회환경시스템공학과 박사과정
iamg@konkuk.ac.kr



신형진 >>>

건국대학교 사회환경시스템공학과 박사과정
shjin@konkuk.ac.kr



박종운 >>>

건국대학교 사회환경시스템공학과 박사과정
bellyon@konkuk.ac.kr



김성준 >>>

건국대학교 사회환경시스템공학과 교수
kimsj@konkuk.ac.kr

우리나라는 협소한 국토면적과 과다한 인구로 토지나 수자원 등 국토자원 이용의 강도가 다른 나라에 비하여 현저하게 높기 때문에 지구온난화에 따른 기후변화와 같은 약간의 기후변동으로도 심각한 수자원 문제가 발생할 가능성이 내포되어 있다. 그러므로 기후변화에 따른 수자원 예측과 대응 방안을 마련하기 위해서는 기후변화와 수문순환과의 관계가 지역(유역 규모)차원에서 예측되고 평가되기 위한 시스템이 구축되어야 하며, 장기적인 국가 수자원계획을 위해서는 기후변화에 의한 한반도 및 유역 규모의 수자원에 미치는 영향 예측 및 평가가 필요하다고 할 수 있다(서병하 등, 2005). 하지만 아직까지 우리나라 실정에 맞고 기후변화 시나리오와 연계할 수 있도록 구축된 국내형 수문순환모형이 없어 기후 및 기상변화로 인한 우리나라에서의 수자원 영향 평가가 제대로 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이를 위해, 국내의 지형조건을 고려한 미래 기후변화에 따른 수문 변화를 총체적으로 분석하기 위한 수문순환 모델링 기법을 개발할 필요가 있다. 따라서 본 고에서는 GCM의 시나리오를 이용하여 수문순환모형으로 기후변화에 따른 수자원 영향 평가를 실시한 국내의 연구사례를 조사하였으며, 그 내용의 범위를 참고하여 향후 우리나라가 나아가야 할 방향을 살펴보았다.

2. 국외 연구동향

기후변화에서 수문순환모형을 이용하여 수자원영

1. 서론

향평가를 실시한 국외 연구문헌을 조사하기 위해 살펴본 대표적 문헌으로 Hydrological Processes, Journal of Hydrology, International Journal of Climatology, Climate Research, Water Resources Research, Transactions of the ASABE 등이 있으며, 연구문헌의 조사기간은 2000년 이후로 하였다. 그 결과 35편의 관련 문헌이 수집되었으며, 문헌 중 Hydrological Processes에서는 무려 14편의 논문이 수집되어 전체 수집논문의 약 40%를 차지하였다. 그 다음으로 Journal of Hydrology에서 5편(약 14%), International Journal of Climatology에서 4편(약 11%)으로 기후변화와 수문순환모형을 이용한 수자원평가관련 논문이 수집되었다(Table 1).

수집된 35편의 논문을 Fig. 1과 같이 연별로 분석해보았다. 그 결과 2007년에 약 20%로 7편의 논문이 이 기간에 발표된 것이며, 가장 최근인 2010년에 17%의 6편이 기후변화에 따른 수자원연구의 주제로 발표가 되었다. IPCC 4차보고서가 2007년에 발표됨으로써 기후변화와 관련된 연구가 활발해진 것으로 판단된다.

한편, 본 주제와 관련하여 어느 나라에서 가장 활발한 연구가 이루어지고 있는지를 살펴본 결과 Fig.

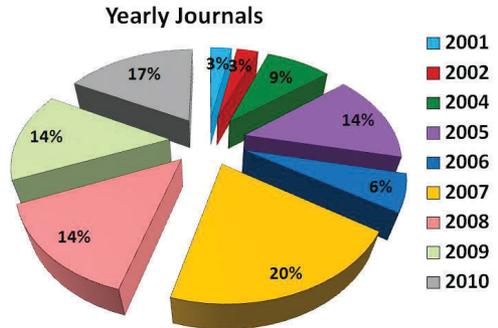


Fig. 1. The yearly research paper in outside the country

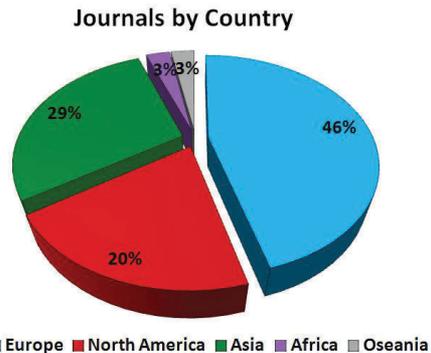


Fig. 2. The research paper by outside the country

2와 같이 나타났다. 약 46%가 유럽에서 연구되었으며, 그 다음 아시아, 북미 순으로 기후변화에 따른 수

Table 1. The research range and result in outside country

	Research date	Jan, 2000 – Mar, 2010
	Total number	35
Journals	Name	Hydrological Processes (14)
		Journal of Hydrology (5)
		International Journal of Climatology (4)
		Climate Reserch (2)
		Water Resources Research (2)
		Transactions of the ASABE (2)
		Climatic Change (1)
		Permafrost and Periglacial Processes (1)
		Agricultural and Forest Meteorology (1)
		Irrigation and Drainage (1)
		Earth Surface Processes and Landforms (1)
Ecohydrology (1)		
Contents		Climate change scenario, Hydrological cycle model, Assessment of water resources
Key words		Climate change, Water resources, Scenario, Hydrological model

자원영향평가의 연구가 활발한 것으로 분석되었다. 유럽 중에서도 스위스와 영국에서, 북미 중에서는 미국에서, 아시아 중에서는 중국에서 활발한 연구가 이

루어지고 있었다. 본 연구와 관련하여 수집된 국외 연구문헌목록을 Table 2에 나열하였다.

국외에서는 기후변화에 따른 수자원영향평가를 위

Table 2. The list of international research paper

Country	Author	Title	Year	Model	Hydrological component	Time Scale
Switzerland	Burlando and Rosso	Effects of transient climate change on basin hydrology. 2. Impacts on runoff variability in the Arno River, central Italy	2002	Semi-distributed rainfall-runoff model PRMS	Runoff Evapotranspiration Soil moisture	Daily Monthly Annual
	Jasper et al.	Differential impacts of climate change on the hydrology of two alpine river basins	2004	Distributed hydrological model WaSiM-ETH	Runoff Evapotranspiration Soil moisture	Daily Monthly Seasonal Annual
	Horton et al.	Assessment of climate-change impacts on alpine discharge regimes with climate model uncertainty	2006	Conceptual reservoir-based model GSM-SOCONT	Runoff Evapotranspiration	Monthly Annual
	Huss et al.	Modelling runoff from highly glacierized alpine drainage basins in a changing climate	2008	Aglacio-hydrological model GERM	Runoff Evapotranspiration	Daily Monthly Annual
Europe	UK	Diaz-Nieto and Wilby	2005	Water balance model CATCHMOD	Runoff Potential evaporation	Daily Monthly
		Wilby	2005	Water balance model CATCHMOD	Runoff	Daily Seasonal Annual
	Herrera-Panto jaand Hisock	2008	Simple soil moisture balance model	Groundwater	Annual Seasonal	
Netherlands	Booij	Impact of climate change on river flooding assessed with different spatial model resolutions	2005	Distributed hydrological model HBV	Runoff	Daily
	Koster et al.	Water balance modelling of (sub-)arctic rivers and freshwater supply to the Barents Sea Basin	2005	Spatially-distributed water balance model USAFLOW, TANA FLOW	Evapotranspiration Runoff Snowmelt	5-daily Monthly Annual
Sweden	Bergström et al.	Climate change impacts on runoff in Sweden -assessments by global	2001	Distributed hydrological model	Runoff Evapotranspiration	Daily Monthly Annual

Table 2. The list of international research paper (계속)

Country	Author	Title	Year	Model	Hydrological component	Time Scale
		climate models, dynamical downscaling and hydrological modelling		HBV		
Luxembourg	Drogue et al.	Simulating the spatio-temporal variability of streamflow response to climate change scenarios in a mesoscale basin	2004	Lumped reservoir model HRM	Runoff Evapotranspiration	Monthly Seasonal
Germany	Bronstert et al.	Comparison and evaluation of regional climate scenarios for hydrological impact analysis: General scheme and application example	2007	Water balance model developing	Runoff Evapotranspiration Soil moisture Groundwater	Seasonal Annual
France	Caballero et al.	Hydrological sensitivity of the Adour-Garonne river basin to climate change	2007	Hydrometeorological model SIM	Runoff Evapotranspiration Soil moisture Groundwater	Monthly Seasonal Annual
Portugal	Nunes et al.	Vulnerability of water resources, vegetation productivity and soil erosion to climate change in Mediterranean watersheds	2008	Semi-distributed rainfall-runoff model SWAT	Runoff Evapotranspiration	Annual
Belgium	Githui et al.	Climate change impact on SWAT simulated streamflow in western Kenya	2009	Semi-distributed rainfall-runoff model SWAT	Runoff	Monthly
Denmark	Gületal.	Assessing climate change impacts on river flows and environmental flow requirements at catchment scale	2010	Distributed hydrological model MIKESHE	Runoff	Monthly
North America	Zhang and Liu	Simulating potential response of hydrology, soil erosion, and crop productivity to climate change in Changwu tableland region on the Loess Plateau of China	2005	Water erosion model WEPP	Runoff Evapotranspiration Percolation Soil moisture	Daily Annual
	Serrat-Capdevila et al.	Modeling climate change impacts – and uncertainty – on the hydrology of a riparian system : The San PedroBasin (Arizona/Sonora)	2007	Groundwater –surface waterflow model GMS	Runoff Evapotranspiration	Annual
	Franczyk and Chang	The effects of climate change and urbanization on the runoff of the Rock Creek basin in the	2009	Semi-distributed rainfall-runoff model	Runoff	Monthly Seasonal

Table 2. The list of international research paper (계속)

Country	Author	Title	Year	Model	Hydrological component	Time Scale	
		Portland metropolitan area, Oregon USA		SWAT			
	Mishra et al.	A regional scale assessment of land use/land cover and climatic changes on water and energy cycle in the upper Midwest United States	2010	Macro-scale hydrological model VIC	Runoff Evapotranspiration Snow water equivalent	Monthly Seasonal Annual	
	Scibek and Allen	Modeled impacts of predicted climate change on recharge and groundwater levels	2006	Water balance model HELP	Runoff Groundwater	Monthly Annual	
	Canada	Yao et al.	Hydrological impacts of climate change predicted for an inland lake catchment in Ontario by using monthly water balance analyses	2009	Water balance model	Runoff Evapotranspiration	Daily Monthly
	Verhaar et al.	Numerical modelling of climate change impacts on Saint-Lawrence River tributaries	2010	Lumped rain and snowfall runoff model HSAMI	Snow melt runoff	Annual	
Asia	China	Zhang et al.	Potential effects of climate change on runoff in the Yellow River Basin of China	2007	Water balance model	Runoff	Annual
		Zhang et al.	Predicting hydrologic response to climate change in the Luohe River Basin using the SWAT model	2007	Semi-distributed rainfall-runoff model SWAT	Runoff	Monthly Seasonal Annual
		Jiang et al.	Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China	2007	Water balance models TM,VUB,XAJ, GM,WM,SM	Runoff Evapotranspiration Soil moisture	Monthly
		Liu et al.	Impacts of climate change on hydrological processes in the headwater catchment of the Tarim River basin, China	2010	Macro-scale hydrological model VIC	Runoff Evapotranspiration	Daily Monthly
		Ma et al.	Sensitivity of streamflow from a Himalayan catchment to plausible changes in land cover and climate	2010	Semi-distributed rainfall-runoff model SWAT	Runoff Groundwater Evapotranspiration	Annual
	Japan	Fujihara et al.	Assessing the impacts of climate change on the	2008	Land surface model	Runoff Evapotranspiration	Daily Monthly

Table 2. The list of international research paper (계속)

Country	Author	Title	Year	Model	Hydrological component	Time Scale	
		water resources of the Seyhan River Basins in Turkey: Use of dynamically downscaled data for hydrologic simulation		SiBUC		Annual	
	Somura et al.	Impact of climate change on the Hii River basin and salinity in Lake Shinji: a case study using the SWAT model and a regression curve	2009	Semi-distributed rainfall-runoff model SWAT	Snow water equivalent Evapotranspiration	Daily Monthly Seasonal	
India	Singh and Bengtsson	Hydrological sensitivity of a large Himalayan basin to climate change	2004	Conceptual hydrological model NWSRFS	Runoff Snow melt runoff	Daily Seasonal Annual	
Thailand	Asokan and Dutta	Analysis of water resources in the Mahanadi River Basin, India under projected climate conditions	2008	Distributed hydrologic model DHM	Runoff	Monthly Annual	
Iran	Morid and Bavani	Exploration of potential adaptation strategies to climate change in the Zayandeh Rud Irrigation System, Iran	2010	Rainfall-runoff simulations ANN	Runoff	Monthly Annual	
Africa	Ethiopia	Abdo et al.	Assessment of climate change impacts on the hydrology of Gilgel Abay catchment in Lake Tana basin, Ethiopia	2009	Distributed hydrological model HBV	Runoff	Daily
Oseania	Australia	Charles et al.	Effect of GCM bias on downscaled precipitation and runoff projections for the Serpentine catchment, Western Australia	2007	Water balance model LUCICAT	Runoff	Monthly Annual

하여 다양한 수문순환모형을 이용하고 있는 것으로 조사되었는데, 그 중 분포형 수문모형을 이용한 논문은 7편(20%)이었다(Fig. 3). Jasper et al. (2004)이 WaSiM-ETH 모형을, Booij (2005), Bergstrom et al. (2001), Abdo et al. (2009)는 HBV 모형을, Koster et al. (2005)은 대상유역에 적합한 분포형 모형을 USAFLOW, TANAFLOW로 개발 및 명명하여 수자원영향평가를 실시하였다. 또한 Guletal (2010)이 MIKESHE를, Asokan and Dutta

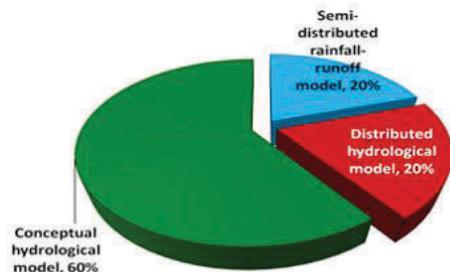


Fig. 3. The classification of hydrological cycle model

(2008)이 DHM을 이용하여 결과를 도출하였다.

3. 국내 연구동향

본 주제와 관련하여 국내 연구문헌을 조사하기 위해 살펴본 대표적 문헌으로 한국수자원학회논문집, 대한토목학회논문집, 대한원격탐사학회논문집, 한국지리정보학회논문집, 한국농공학회 논문집 등이 있다. 그 결과 24편의 관련 문헌이 수집되었으며, 문헌 중 한국수자원학회논문집에서는 무려 18편의 논문이 수집되어 전체 수집논문의 약 75%를 차지하였다. 그

다음으로 대한토목학회논문집에서 3편(약 13%)로 기후변화와 수문순환모형을 이용한 수자원평가관련 논문이 수집되었다(Table 3).

수집된 24편의 논문을 Fig. 4와 같이 연별로 분석해보았다. 그 결과 2009년에 약 29%로 7편의 논문이 이 기간에 발표된 것이며, 그 다음으로 2007년, 2008년에 각 17%로 4편씩이 기후변화에 따른 수자원연구의 주제로 발표가 되었다. 이는 국외에서 2007년에 이 주제와 관련하여 많은 연구가 이루어진 것과 비교해 국내의 연구진행과 약 2년 정도 차이가 발생하는 것으로 판단된다.

본 연구와 관련하여 수집된 국내 연구문헌목록을

Table 3. The research range in inside the country

Journals	Research date	Jan. 2000 – Mar. 2010
	Total number	24
Journals	Name	Journal of Korea Water Resources Association (18)
		Journal of Civil Engineering (3)
		Stoch Environ Res Ris Assess (1)
		Transactions of the ASABE (1)
		Paddy Water Environ (1)
Contents		Climate change scenario, Hydrological cycle model, Assessment of water resources
Key words		Climate change, Water resources, Scenario, Hydrological model

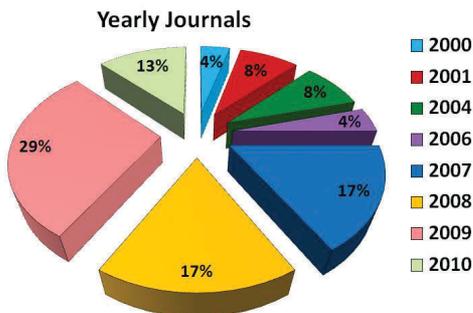


Fig. 4. The yearly research paper in inside the country

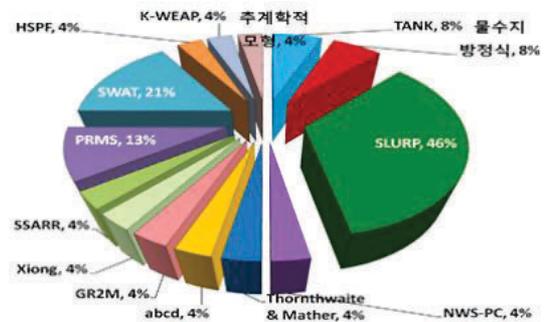


Fig. 5. The yearly research paper in inside the country

Table 4. The list of Korean research paper

Author	Title	Year	Model	Hydrological component	Time Scale	Study area
신사철	기후변화 시나리오에 의한 하천 유황의 해석	2000	일강우-유출모형 TANK	유량 저수량	일단위	안동댐유역
안재현 등	GCM 결과를 이용한 지구온난화에 따른 대청댐 유역의 수문환경 변화 분석	2001	물수지모형[방정식]	증발산량 유출량 토양함수비	월단위 계절단위	대청댐상류유역

Table 4. The list of Korean research paper (계속)

Author	Title	Year	Model	Hydrological component	Time Scale	Study area
안재현 등	지구온난화에 따른 수문환경의 변화와 관련하여 : 2. 물수지 모형을 이용한 대청댐 상류 유역 수문환경의 변화 분석		물수지모형[방정식]	증발산량 유출량 토양함수비	월단위 연단위	대청댐상류유역
김병식 등	기후변화가 용담댐 유역의 유출에 미치는 영향	2004	준분포형강우-유출모형 SLURP	유출량	일단위 월단위 계절단위 연단위	용담댐유역
김웅태 등	기후변화에 따른 대청댐 유역의 유출 영향 분석		장기유출모형 NWS-PC	유출량	월단위 계절단위 연단위	용담댐유역
임혁진 등	CA-Markov 기법을 이용한 기후변화에 따른 소양강댐 유역의 수문분석	2006	준분포형강우-유출모형 SLURP	유출량 증발산량	일단위 연단위	소양강댐유역
김병식 등	Impact of climate change on water resources in Yongdam Dam Basin, Korea	2007	준분포형강우-유출모형 SLURP	유출량	일단위	용담댐유역
황준식 등	기후변화 영향평가를 위한 월 물수지모형의 적용성 검토		월물수지모형: Thornthwaite & Mather, abcd, GR2M, Xiong 일강우-유출모형: SSARR, TANK	유출량	일단위 월단위	금강유역
정일원 등	수자원에 대한 기후변화 영향평가를 위한 고해상도 시나리오 생산(II): 유역별 유출시나리오 구축	2007	준분포형강우-유출모형 PRMS	유출량 증발산량	월단위	6개댐유역 [도암댐, 괴산댐, 안동댐, 함천댐, 임하댐, 삼진댐]
배덕효 등	A2 시나리오에 따른 국내 수자원의 변동성 전망		준분포형강우-유출모형 PRMS	유출량	월단위 계절단위 연단위	5대강유역
정일원 등	유출모형이 기후변화 수자원 영향평가에 미치는 영향 분석	2008	준분포형강우-유출모형 PRMS,SLURP,SWAT	유출량 증발산량	월단위 연단위	안동댐유역
정상만 등	기후인자의 변화에 따른 대청댐유역의 유출민감도 모의평가 - 4th IPCC 보고서의 결과를 기준으로 -		준분포형강우-유출모형 SWAT	유출량 용설량 증발산량 지하수량	월단위 연단위	대청댐유역
안소라 등	미래토지이용 및 기후변화에 따른 하천유역의 유출특성 분석		준분포형강우-유출모형 SLURP	유출량 증발산량	일단위 연단위	경안천유역
이용준 등	SWAT 모형을 이용한 미래 기후변화 및 토지이용 변화에 따른 안성천 유역 수문 - 수질 변화 분석 (I)		준분포형강우-유출모형 SWAT	유출량	일단위 연단위	안성천유역
안소라 등	기후변화가 경안천 유역의 수문요소에 미치는 영향 평가	2009	준분포형강우-유출모형 SLURP	유출량 증발산량 토양수분 지하수량	일단위 계절단위 연단위	경안천유역
한수희 등	토양수분의 추계학적 거동과 기후변화가 미치는 영향		토양수분을 위한 추계학적 모형	토양수분	월단위	옥천군
박종윤 등	기후변화가 충주댐 유역의 하천수질에 미치는 영향평가를 위한 유역 모델링		준분포형강우-유출모형 SWAT	유출량 증발산량 지하수량	일단위 월단위 연단위	충주댐유역
최대규 등	CGCM 미래기후정보를 이용한 기후변화가 병성천 유역 수문 및 수질반응에 미치는 영향분석		준분포형강우-유출모형 SWAT	유출량 증발산량 토양수분	일단위 월단위 연단위	병성천유역

Table 4. The list of Korean research paper (계속)

Author	Title	Year	Model	Hydrological component	Time Scale	Study area
박경신 등	기후변화 및 도시화에 따른 유황곡선 및 BOD 농도지속곡선 변화	2010	연속유출모형 HSPF	유출량	월단위 연단위	안양천유역
박근애 등	Assessment of climate change impact on the inflow and outflow of two agricultural reservoirs in Korea		준분포형강우-유출모형 SLURP	유출량 증발산량	일단위 월단위 계절단위 연단위	안성천유역
박근애 등	Future potential impacts of climate change on agricultural watershed hydrology and the adaptation strategy of paddy rice irrigation reservoir by release control		준분포형강우-유출모형 SLURP	유입량	일단위 월단위 계절단위 연단위	안성천유역
박근애 등	SLURP 모형을 이용한 기후, 식생, 토지이용변화가 농업용 저수지유역과 하천유역에 미치는 기여도 평가(II) - 모형의 검·보정 및 적용 -		준분포형강우-유출모형 SLURP	유출량 증발산량 토양수분 지하수량	일단위 월단위 계절단위 연단위	안성천유역
김수전 등	고해상도 RCM자료를 이용한 기후변화가 한강유역의 수자원 (이수적 측면)에 미치는 영향 평가	2010	준분포형강우-유출모형 SLURP 물수지모형 K-WEAP	유출량	일단위 월단위 연단위	한강유역
김병식 등	기후변화와 토지피복변화를 고려한 한강 유역의 수자원 영향 평가		준분포형강우-유출모형 SLURP	유출량	일단위 월단위 계절단위 연단위	한강유역

Table 4에 나열하였다. 국내에서는 국외와 마찬가지로 기후변화에 따른 수자원영향평가를 위하여 다양한 수문순환모형을 이용하고 있는 것으로 조사되었다. 하지만, 국외와 같이 분포형 수문순환모형을 개발 및 이용하여 평가한 경우는 거의 없는 것으로 조사되었다(Fig. 5). 기후변화에 따른 수자원영향평가를 실시하기 위하여 많은 연구자들은 수문순환모형을 이용하는 것으로 조사되었다. 하지만, 국내의 지형조건을 최적으로 고려하고 공간적인 평가를 실시하여 그에 대한 대응방안을 더 구체적으로 모색하기 위해서는 우리나라 맞춤형 셀기반의 분포형 수문순환 모형을 개발할 필요가 있다.

4. 맺음말

본 고에서는 GCM의 시나리오를 이용하여 수문순

환모형으로 기후변화에 따른 수자원 영향 평가를 실시한 국내외 연구사례를 조사하였으며, 그 중 분포형 모형을 사용한 사례어부도 살펴보았다. 그 결과 국외에서는 전체 문헌 중 약20%의 경우만이 분포형 모형을 사용하였으며, 국내의 경우에는 준분포형의 모형을 사용하는 경우가 다수 많으며, 현재까지 분포형 모형을 사용한 경우는 전무한 것으로 조사되었다.

격자기반의 분포형 수문순환모형은 유역내의 수문 거동을 공간정보로 얻어낼 수 있으며, 남한전체의 공간적 변화를 파악하는데 탁월한 장점이 있다. 또한 기후변화 평가시 사용방법, 재료, 결과의 불확실성을 줄이기 위한 방안으로 미래 식생, 토지이용, 용설에 측을 시도하는 연구가 점차 시도되고 있는 실정이다. 이러한 시점에서 예측된 식생, 토지이용, 용설의 결과를 공간적으로 더욱 세밀하게 활용하기 위해서도 분포형 모형의 효용성은 높을 것으로 판단된다.

이와 더불어 기후변화 평가를 위해 기존의 수문모

형들이 비중을 많이 두지 않았던 식생상태와 CO2농도를 최대한으로 고려할 필요가 있을 것이며, 특정지역을 대상으로 하기보단 남한전체를 대상으로 분포형

모형의 개발과 적용이 이루어져 기후변화 대비 우리나라의 정책수립에 적합한 기여가 되도록 시도가 되어야 할 것이다. 

참고문헌

1. Abdo, K. S., Fiseha, B. M., Rientjes, T. H. M., Gieske, A. S. M. and Haile, A. T. (2009). Assessment of climate change impacts on the hydrology of Gilgel Abay catchment in Lake Tana basin, Ethiopia. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, Vol. 23, pp. 3661–3669.
2. Asokan, S. M. and Dutta, D. (2008). Analysis of water resources in the Mahanadi River Basin, India under projected climate conditions. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, Vol. 22, pp. 3589–3603.
3. Bergström, S., Carlsson, B., Gardelin, M., Lindström, G., Pettersson, A. and Rummukainen, M. (2001). Climate change impacts on runoff in Sweden – assessments by global climate models, dynamical downscaling and hydrological modelling. *CLIMATE RESEARCH*, Vol. 16, pp. 101–112.
4. Booij, M. J. (2005). Impact of climate change on river flooding assessed with different spatial model resolutions. *Journal of Hydrology*, Vol. 303, pp. 176–198.
5. Bronstert, A., Kolokotronis, V., Schwandt, D. and Straub, H. (2007). Comparison and evaluation of regional climate scenarios for hydrological impact analysis: General scheme and application example. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*, Vol. 27, pp. 1579–1594.
6. Burlando, P. and Rosso, R. (2002). Effects of transient climate change on basin hydrology. 2. Impacts on runoff variability in the Arno River, central Italy. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, Vol. 16, pp. 1177–1199.
7. Caballero, Y., Voirin-Morel, S., Habets, F., Noilhan, J., LeMoigne, P., Lehenaff, A. and Boone, A. (2007). Hydrological sensitivity of the Adour-Garonne river basin to climate change. *WATER RESOURCES RESEARCH*, Vol. 43, pp. W07448.
8. Charles, S. P., Bari, M. A., Kitsios, A. and Bates, B. C. (2007). Effect of GCM bias on downscaled precipitation and runoff projections for the Serpentine catchment, Western Australia. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*, Vol. 27, pp. 1673–1690.
9. Diaz-Nieto, J. and Wilby, R. L. (2005). A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: impacts on lowflows in the River Thames, United Kingdom. *Climatic Change*, Vol. 69, pp. 245–268.
10. Drogue, G., Pfister, L., Leviandier, T., Idrissi, A. E., Iffly, J. F., Matgen, P., Humbert, J. and Hoffmann, L. (2004). Simulating the spatio-temporal variability of streamflow response to climate change scenarios in a mesoscale basin. *Journal of Hydrology*, Vol. 293, pp. 255–269.
11. Franczyk, J. and Chang, H. (2009). The effects of climate change and urbanization on the runoff of the Rock Creek basin in the Portland metropolitan area, Oregon USA. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, Vol. 23, pp. 805–815.
12. Fujihara, Y., Tanaka, K., Watanabe, T., Nagano, T. and T. Kojiri, T. (2008). Assessing the impacts of climate change on the water resources of the Seyhan River Basins in Turkey: Use of dynamically downscaled data for hydrologic simulation. *Journal of Hydrology*, Vol. 353, pp. 33–48.

13. Githui, F., Gitau, W., Mutuab, F. and W. Bauwens, W. (2009). Climate change impact on SWAT simulated streamflow in western Kenya. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*, Vol. 29, pp. 1823–1834.
14. Gul, G. O., Rosbjerg, D., Gül, A., Ondracek, M. and Dikgola, K. (2010). Assessing climate change impacts on river flows and environmental flow requirements at catchment scale. *ECOHYDROLOGY*, Vol. 3, pp. 28–40.
15. Herrera-Pantoja, M. and Hisock, K. M. (2008). The effects of climate change on potential groundwater recharge in Great Britain. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, Vol. 22, pp. 73–86.
16. Horton, P., Schaefli, B., Mezghani, A., Hingray, B. and Musy, A. (2006). Assessment of climate-change impacts on alpine discharge regimes with climate model uncertainty. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, Vol. 20, pp. 2091–2109.
17. Huss, M., Farinotti, D., Bauder, A. and Funk, M. (2008). Modelling runoff from highly glacierized alpine drainage basins in a changing climate. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, Vol. 22, pp. 3888–3902.
18. Jasper, K., Calanca, P., Gyalistras, D. and Fuhrer, J. (2004). Differential impacts of climate change on the hydrology of two alpine river basins. *CLIMATE RESEARCH*, Vol. 26, pp. 113–129.
19. Jiang, T., Chen, Y. D., Xu, C., Chen, X., Chen, X. and Singh, V. P. (2007). Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China. *Journal of Hydrology*, Vol. 336, pp. 316–333.
20. Kim, B. S., Kim, H. S., Seoh, B. H. and Kim, N. W. (2007). Impact of climate change on water resources in Yongdam Dam Basin, Korea. *Stoch Environ Res Ris Assess*, Vol. 21, pp. 355–373.
21. Koster, E., Dankers, R. and van der Linden, S. (2005). Water Balance Modelling of (Sub-)Arctic Rivers and Freshwater Supply to the Barents Sea Basin. *PERMAFROST AND PERIGLACIAL PROCESSES*, Vol. 16, pp. 249–259.
22. Liu, Z., Xu, Z., Huang, J., Charles, S. P. and Fu, G. (2010). Impacts of climate change on hydrological processes in the headwater catchment of the Tarim River basin, China. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, Vol. 24, pp. 196–208.
23. Ma, X., Xu, J. and van Noordwijk, M. (2010). Sensitivity of streamflow from a Himalayan catchment to plausible changes in land cover and climate. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, DOI: 10.1002/hyp.7602.
24. Mishra, V., Cherkauer, K. A., Niyogi, D., Lei, M., Pijanowski, B. C., Ray, D. K., Bowling, L. C. and Yang, G. (2010). A regional scale assessment of land use/land cover and climatic changes on water and energy cycle in the upper Midwest United States. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*, DOI: 10.1002/joc.2095.
25. Morid, S. and Bavani, A. R. M. (2010). Exploration of potential adaptation strategies to climate change in the Zayandeh Rud Irrigation System, Iran. *IRRIGATION AND DRAINAGE*, Vol. 59, pp. 226–238.
26. Nunes, J. P., Seixas, J. and Pacheco, N. R. (2008). Vulnerability of water resources, vegetation productivity and soil erosion to climate change in Mediterranean watersheds. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, Vol. 22, pp. 3115–3134.
27. Park, G. A., Ahn, S. R., Lee, Y. J., Shin, H. J., Park, M. J. and Kim, S. J. (2009). Assessment of climate change impact on the inflow and outflow of two agricultural reservoirs in Korea. *Transactions of the ASABE*, Vol. 52, No. 6, pp. 1869–1883.

28. Park, G. A., Shin, H. J., Lee, M. S., Hong, W. Y. and Kim, S. J. (2009). Future potential impacts of climate change on agricultural watershed hydrology and the adaptation strategy of paddy rice irrigation reservoir by release control. *Paddy Water Environ*, Vol. 7, pp. 271-282.
29. Scibek, J. and Allen, M. (2006). Modeled impacts of predicted climate change on recharge and groundwater levels. *WATER RESOURCES RESEARCH*, Vol. 42, pp. W11405.
30. Serrat-Capdevila, A., Valdés, J. B., Pérez, J. G., Baird, K., Mata, L. J. and Maddock, T. (2007). Modeling climate change impacts - and uncertainty - on the hydrology of a riparian system: The San Pedro Basin (Arizona/Sonora). *Journal of Hydrology*, Vol. 347, pp. 48-66.
31. Singh, P. and Bengtsson, L. (2004). Hydrological sensitivity of a large Himalayan basin to climate change. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, Vol. 18, pp. 2363-2385.
32. Somura, H., Arnold, J., Hoffman, D., Takeda, I., Mori, Y. and Luzio, M. D. (2009). Impact of climate change on the Hii River basin and salinity in Lake Shinji: a case study using the SWAT model and a regression curve. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, Vol. 23, pp. 1887-1900.
33. Verhaar, P. M., Biron, P. M., Ferguson, R. I. and Hoey, T. B. (2010). Numerical modelling of climate change impacts on Saint-Lawrence River tributaries. *EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS*, DOI: 10.1002/esp.1953.
34. Wilby, R. L. (2005). Uncertainty in water resource model parameters used for climate change impact assessment. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, Vol. 19, pp. 3201-3219.
35. Yao, H., Scott, L., Guay, C. and Dillon, P. (2009). Hydrological impacts of climate change predicted for an inland lake catchment in Ontario by using monthly water balance analyses. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, Vol. 23, pp. 2368-2382.
36. Zhang, G. H., Fu, S. H., Fang, W. H., Imura, H. and Zhang, X. C. (2007). Potential effects of climate change on runoff in the Yellow River Basin of China. *Transactions of the ASABE*, Vol. 50, No. 3, pp. 911-918.
37. Zhang, X., Srinivasan, R. and Hao, F. (2007). Predicting hydrologic response to climate change in the Luohe River Basin using the SWAT model. *Transactions of the ASABE*, Vol. 50, No. 3, pp. 901-910.
38. Zhang, X. C. and Liu, W. Z. (2005). Simulating potential response of hydrology, soil erosion, and crop productivity to climate change in Changwu tableland region on the Loess Plateau of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 131, pp. 127-142.
39. 김병식, 김수전, 김형수, 전환돈 (2010). 기후변화와 토지피복변화를 고려한 한강 유역의 수자원 영향 평가, *한국수자원학회 논문집*, 제43권, 제3호, pp. 309-323.
40. 김병식, 김형수, 서병하, 김남원 (2004). 기후변화가 용담댐 유역의 유출에 미치는 영향, *한국수자원학회 논문집*, 제37권, 제2호, pp. 185-193.
41. 김수전, 김병식, 전환돈, 김형수 (2010). 고해상도 RCM자료를 이용한 기후변화가 한강유역의 수자원(이수적 측면)에 미치는 영향 평가, *한국수자원학회 논문집*, 제43권, 제3호, pp. 295-308.
42. 김웅태, 이동률, 유철상 (2004). 기후변화에 따른 대청댐 유역의 유출 영향 분석, *한국수자원학회 논문집*, 제37권, 제4호, pp. 305-314.
43. 박경신, 정은성, 김상욱, 이길성 (2009). 기후변화 및 도시화에 따른 유허곡선 및 BOD 농도지속곡선 변화, *한국수자원학회 논문집*, 제42권, 제12호, pp. 1091-1102.
44. 박근애, 안소라, 박민지, 김성준 (2010). SLURP 모형을 이용한 기후, 식생, 토지이용변화가 농업용 저수지유역과 하천유역에 미치는 기여도 평가(II) -모형의 검·보정 및 적용 -, *대한토목학회논문집*, 제30권, 제2B호, pp. 121-135.

45. 박종윤, 박민지, 안소라, 김성준 (2009). 기후변화가 충주댐 유역의 하천수질에 미치는 영향평가를 위한 유역 모델링, **한국수자원학회 논문집**, 제42권, 제10호, pp. 877-889.
46. 배덕효, 정일원, 이병주 (2007). A2 시나리오에 따른 국내 수자원의 변동성 전망, **한국수자원학회 논문집**, 제40권, 제12호, pp. 921-930.
47. 신사철 (2000). 기후변화 시나리오에 의한 하천 유황의 해석, **한국수자원학회 논문집**, 제33권, 제5호, pp. 623-634.
48. 안소라, 박민지, 박근애, 김성준 (2009). 기후변화가 경안천 유역의 수문요소에 미치는 영향 평가, **한국수자원학회 논문집**, 제42권, 제1호, pp. 33-50.
49. 안소라, 이용준, 박근애, 김성준 (2008). 미래토지이용 및 기후변화에 따른 하천유역의 유출특성 분석, **대한토목학회논문집**, 제28권, 제2B호, pp. 215-224.
50. 안재현, 유철상, 윤용남 (2001). GCM 결과를 이용한 지구온난화에 따른 대청댐 유역의 수문환경 변화 분석, **한국수자원학회 논문집**, 제34권, 제4호, pp. 335-345.
51. 안재현, 윤용남, 유철상 (2001). 지구온난화에 따른 수문환경의 변화와 관련하여 : 2. 물수지 모형을 이용한 대청댐 상류 유역 수문환경의 변화 분석, **한국수자원학회 논문집**, 제34권, 제5호, pp. 511-519.
52. 이용준, 안소라, 강부식, 김성준 (2008). SWAT 모형을 이용한 미래 기후변화 및 토지이용 변화에 따른 안성천 유역 수문 - 수질 변화 분석 (I), **대한토목학회논문집**, 제28권, 제6B호, pp. 665-673.
53. 임혁진, 권형중, 배덕효, 김성준 (2006). CA-Markov 기법을 이용한 기후변화에 따른 소양강댐 유역의 수문분석, **한국수자원학회 논문집**, 제39권, 제5호, pp. 453-466.
54. 정상만, 서형덕, 김형수, 한규하 (2008). 기후인자의 변화에 따른 대청댐유역의 유출민감도 모의평가 - 4th IPCC 보고서의 결과를 기준으로 -, **한국수자원학회 논문집**, 제41권, 제11호, pp. 1095-1106.
55. 정일원, 배덕효, 임은순 (2007). 수자원에 대한 기후변화 영향평가를 위한 고해상도 시나리오 생산(II): 유역별 유출시나리오 구축, **한국수자원학회 논문집**, 제40권, 제3호, pp. 205-214.
56. 정일원, 이병주, 전태현, 배덕효 (2008). 유출모형이 기후변화 수자원 영향평가에 미치는 영향 분석, **한국수자원학회 논문집**, 제41권, 제9호, pp. 907-917.
57. 최대규, 김문성, 김남원, 김상단 (2009). CGCM 미래기후정보를 이용한 기후변화가 병성천 유역 수문 및 수질반응에 미치는 영향분석, **한국수자원학회 논문집**, 제42권, 제11호, pp. 921-931.
58. 한수희, 안재현, 김상단 (2009). 토양수분의 추계학적 거동과 기후변화가 미치는 영향, **한국수자원학회 논문집**, 제42권, 6호, pp. 433-443.
59. 황준식, 정대일, 이재경, 김영오 (2007). 기후변화 영향평가를 위한 월 물수지모형의 적용성 검토, **한국수자원학회 논문집**, 제40권, 제2호, pp. 147-158.