

# 기후변화에 따른 물수급 분석 기술 최신 연구동향



서 승 범 ▶▶▶

서울대학교 건설환경공학부 석사과정  
sbseo7@snu.ac.kr



이 재 경 ▶▶▶

서울대학교 건설환경공학부 박사과정  
myroom1@snu.ac.kr



김 영 오 ▶▶▶

서울대학교 건설환경공학부 부교수  
yokim05@snu.ac.kr

물부족량 및 물부족 지표 등을 산정하여 향후 최적의 수자원관리 계획을 수립하고 대비할 수 있기 위함이다. 다양한 기후변화 시나리오를 물수급 모형에 포함시키는 연구 등은 선진국에서도 이제 막 시작되고 있는 상황인 만큼 이러한 기후변화에 따른 물수급 분석은 향후 우리나라의 수자원관리 계획 수립에 있어서 매우 중요한 연구 분야가 될 것이다.

기후변화를 고려한 물수급 모형은 다양한 시나리오의 적용을 통해 미래 물공급 안정성에 대한 정량적인 평가를 수행하여야 하며, 국내 유역에 적용하기 위해서는 국내 유역 특성에 맞는 물수급 모형의 구축이 필요하다. 현재 우리나라에는 K-WEAP, K-MODSIM 과 같은 국내 실정에 맞는 물수급 모형들이 개발되어 있으나, 다양한 기후변화 시나리오의 적용을 위해서는 좀 더 다양한 검토를 통해 기후변화 수문영향 분석에 적합한 새로운 모형의 구축 방안 역시 고려되어야 한다.

따라서 다양한 기후변화 시나리오를 적용한 물수급 분석 최신 연구동향 조사를 통해 미래 기후변화 시나리오의 영향을 가장 잘 반영하고 분석할 수 있는 물수급 모형의 구축 방안을 살펴볼 수 있을 것이다.

## 1. 머릿글

2006년도에 완료된 수자원 장기종합계획을 보면 물수요 측면에 있어서는 고수요, 중수요, 저수요 등 3가지 시나리오를 고려하였지만, 물공급 측면에서는 단일 시나리오의 분석에만 머물러 있었다. 향후 10년, 20년을 내다보는 수자원장기종합계획에 있어 기후변화에 의한 (물수요는 물론) 물공급 시나리오의 다양성을 고려해야 함은 자명한 사실이며, 이러한 미래 기후변화 시나리오에 대한 물수급 분석이 중요한 이유는 해당 유역의 물공급 및 물수요 예측량에 따른

## 2. 조사 범위

기후변화 시나리오에 따른 물수급 분석의 연구는 1990년대에 이르러 선진국으로부터 시작되고 있다. 이에 따라 여러 국내외 문헌들을 통해 연구 동향을

살펴보았으며, 2000년부터 2010년까지 최근 11년간의 문헌들을 조사하여 분석하였다. 현재까지 총 18편의 저널과 3편의 연구 보고서를 검토한 바에 따르면 주로 미국, 캐나다의 북미대륙에서 상대적으로 연구가 활발히 진행되고 있었다. ASCE, AWRA, EGU, ScienceDirect, SpringerLink 등의 검색사이트를 통해 문헌을 조사하였으며, 주저자의 웹사이트 등에서 연구 보고서 및 학술발표 자료 등을 참조하였다.

기후변화 시나리오에 따른 물수급 분석에 대하여 조사한 여러 국내의 문헌들의 범위를 다음 표 1과 같이 정리하였다.

### 3. 연구동향

#### 3.1 기후변화에 따른 물수급 전망의 해외 연구동향

전 세계적으로 기후변화가 수자원에 미치는 영향에 대한 다양한 연구가 진행중에 있으며, GCM 시나리오와 수문모형 등을 결합하여 수문학적 영향평가를 수행한 연구들 역시 활발히 이루어지고 있다. 수자원의 효율적 관리의 측면에서의 미래 기후변화 시나리오

표 1. 문헌 조사 범위

Journal	연도	2000년 9월 - 2010년 3월
	총 편수	18편
	저널명 <sup>1)</sup>	CC(3) WRM(2) JWRPM(2) JHE(1) JH(2) AWR(1) 기타(6)
Research Report	연도	2003년 6월 ~ 2009 8월
	총 편수	3편
주요 내용		기후변화 시나리오, 물수급 모형, 물수지 분석
키워드		climate change scenario, water budget (model), water balance, water shortage, water (supply) reliability 등

1) CC: Climatic Change (SpringerLink)  
 WRM: Water Resources Management (SpringerLink)  
 JWRPM: Journal of Water Resources Planning and Management (ASCE)  
 JHE: Journal of Hydrologic Engineering (ASCE)  
 JH: Journal of Hydrology (ScienceDirect)  
 AWR: Advances in Water Resources (ScienceDirect)  
 기타: Hydrology & Earth System Sciences (EGU)  
 Journal of American Water Resources Association (AWRA)  
 Water Resources (SpringerLink)  
 Water Engineering Research (TWRI)  
 Water Saving in Mediterranean Agriculture and Future Research Needs (CIHEAM)  
 한국수자원학회논문집 (JKWRA)

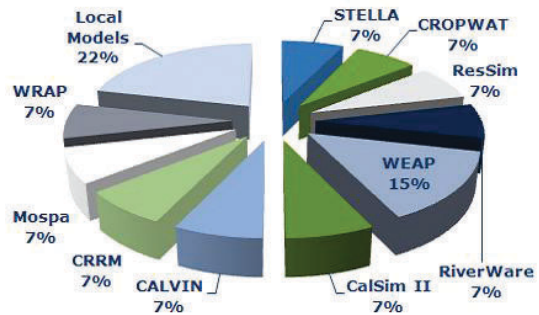


그림 1. 물수급 모형별 분류

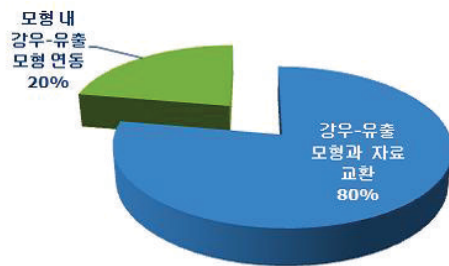


그림 2. 강우-유출 모형 연계

오늘 적용한 물수급 분석에 대한 연구는 20세기 후반부터 각 국가별로 이루어지고는 있지만 그 사례는 많지 않은 실정이다. 지역적으로 보면, 미국 및 캐나다에서 상대적으로 그 연구가 활발히 진행되고 있으며, 유럽, 아시아 및 오세아니아 지역 역시 그 지역적 특

표 2. 선행 연구 물수급 모형별 분류

구분	범용 모형 (6개 - 40%)					지역특화 모형 (9개 - 60%)						
	일반	수자원 분석용 모형				CalSim II	CALVIN	ColSim	CRRM	Mospa	WRAP	Local Specified Models
모형	STELLA	CROP WAT	ResSim	River Ware	WEAP							
사례(15)	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	3
강우-유출 모형과의 연계	자료 교환	자료 교환	자료 교환	모형 연동	모형 연동	자료 교환	자료 교환	자료 교환	자료 교환	자료 교환	자료 교환	자료 교환

성에 맞는 기후변화 시나리오를 선정하여 물수급 모형에 적용하는 연구들이 수행되고 있다.

선행 연구들에 적용된 물수급 모형들을 살펴보면 모형 개발 목적의 특성에 따라 크게 범용(general)모형과 지역특화(site-specific)모형으로 구분할 수 있으며 범용 및 지역특화모형의 특별한 구분 없이 여러 물수급 모형들이 다양한 연구에 적용되어지고 있음을 알 수 있다. 여기서 범용모형이란 어느 지역에서나 유역 네트워크를 쉽게 구축하여 적용할 수 있는 일반적인 모형을 말하며, 지역특화모형이란 분석코자 하는 지역의 유역 특성에 최적화되어 개발된 모형을 의미한다(표 2 및 그림 1 참조). 이러한 모형들을 통해 적용 지역의 물수급 분석을 수행하기 위해서는 수자원 공급량 및 수요량 등의 입력 자료들이 필요하다. 먼저 공급량의 경우는 유역 유입량(지표수 및 지하수), 댐 방류량, 저수 유효용량 등의 자료가 입력되는데, 이는 강우-유출 모형을 통해 산정되어진다. 통합 모형인 WEAP이나 RiverWare 등의 경우는 이러한 강우-유출모형이 물수급 모형 안에 연동되어 있으므로 기후변화 시나리오를 통해 얻은 강수량, 기온, 증발량 등의 입력만으로 유역 유출량 등이 산정되어 물수급 분석에 연동되어 적용된다. 그렇지만 다수의 모형들은 개별적인 강우-유출모형의 결과를 물수급 모형의 공급량 자료로 사용하게 되며, 이러한 강우유출 모형으로는 SWAT, HSAMI, VIC, SWIM, ADM, SiBUC 등 매우 다양한 모형들이 적용되고 있다(그림 2 참조). 수요량 자료의 경우는 미래의 수자원 예측수요량을 입력하는 것으로서 WEAP 모형의 경우는 내부에 수요량 산정 모듈을 포함하고 있어 공급량과 마

찬가지로 물수급 분석에 연계되어 적용된다. 하지만 대부분의 연구에서는 인구성장률 및 수자원정책 등의 다양한 요인들을 분석한 연구들로부터 산출한 자료들을 사용하였다. 예를 들어 Azuara(2008) 등은 농업용수 수요량을 SWAT 모형을 통해 예측하였으며, Fujihara(2008) 등은 터키 정부의 관계정책 및 경작지 면적의 증가라는 가상의 정책을 반영한 새로운 물수요 시나리오를 적용하여 Seyhan River 유역의 물수급을 분석하였다. 선행 연구들에 적용된 물수급 모형들의 특성을 표 3에 정리하여 첨부하였다.

또한, 선행 연구들의 방법론의 특징중에 하나는 각 지역적 특성에 따른 물 수요량을 어느 정도 충족시킬 수 있는가에 대한 연구를 바탕으로 그 대응 전략까지 제시하고 있는 것이다. 예를 들어, 미국 서부 지역의 경우는 농업용수가 지역 물 수요의 가장 큰 비중을 차지하므로 Purkey(2009) 등은 지역 저수용량의 변화와 미래 농업용수 수요량의 비교를 통해 물부족량을 산정하였으며, 더 나아가 그에 대한 대응책을 제시한 후 새롭게 산정한 물부족량과 비교하여 그 적용성을 검토하였다. 그리고 Raje(2010) 등은 각 시나리오별 SDP (Stochastic Dynamic Programming)를 통한 저수지 최적운영 정책(Optimal Policy)을 산정한 후 물수급 분석에 적용하여 기준 시나리오의 결과와의 비교를 통해 그 신뢰도를 분석하였다. 이렇듯 여러 연구에서는 단순한 물 부족량 및 물공급 신뢰도 제시에서 그치지 않고 그 대응 방안과 적용성 분석 및 수자원 공급 최적화 방안의 도출에 까지 그 연구를 확장하고 있었다. 기후변화에 따른 국외 연구동향 문헌조사 내용을 표 4에 정리하여 첨부하였다.

표 3. 물수급 모형별 비교

모형명	Purpose	Language	Method	Time Step	GUI	Graphics	Input	Output	Cost	비고
CalSim II	Specific	Fortran	LP/ MILP	monthly	yes	yes	reservoir inflow evaporation and precipitation rate	reservoir release, river flow, Storage volume, water deliveries	free	
CALVIN	Specific	JAVA	Network flow optimization	monthly	yes	yes	inflow(surface, ground) water values operating costs	water delivery water scarcity cost performance	free download	
CROPWAT	General		Ad hoc	monthly, weekly, daily	yes	yes	inflow(surface, ground) cropping pattern data	crop water requirements, soil, moisture deficit	free	
CVmod	Specific	C++, JAVA		monthly	yes	yes	streamflow	reservoir level reservoir release	-	STELLA
MODSIM	General	C, C++	LP	monthly, weekly, daily	yes	yes	streamflow, reservoir evaporation rate	water storage, water shortage	free	
Mospa	Specific	Fortran	DP	hourly, daily	yes	yes	inflow, water demand data	water storage, lake abstraction, river abstraction, river flow	-	
ResSim	General	JAVA	Ad hoc	15minutes to daily	yes	yes	streamflow, reservoir evaporation rate	reservoir level reservoir release	free	
RiverWare	General	C++	Ad hoc/ LP	hourly to yearly	yes	yes	inflow, reservoir evaporation rate, precipitation rate	reservoir and reach outflow, storage, elevation,	proprietary	
STM	Specific	C++, JAVA		daily	yes	yes	streamflow	reservoir level reservoir release	-	STELLA
SUPER	General	Fortran	Ad hoc	daily	no	no	streamflow, reservoir evaporation rate	reservoir level reservoir release	free	economic evaluation
WBalMo	General	Fortran	Ad hoc	monthly	yes	yes	streamflow, water demand	reservoir level, water deficit	proprietary	
WEAP21	General	Delphi	LP	monthly	yes	yes	reservoir inflow, water supply requirement	water storage, water shortage	proprietary	
WRAP	Specific	Fortran	Ad hoc	monthly, daily, any sub- monthly	yes	no	streamflow, net reservoir evaporation and precipitation rate	reservoir storage, water-supply division	free	

### 3.2 기후변화에 따른 물수급 전망의 국내 연구동향

미래 기후변화 시나리오를 적용한 우리나라의 물수급 분석에 대한 연구는 2000년에 이르러 수 차례의 연구가 수행되었지만 그 수가 많지 않은 실정이다. 배덕효(2006) 등은 GCMs 모의 결과에 역학적 상세화 기법을 적용한 기후변화 시나리오를 생성하여 미래의 유출량을 분석하였는데, 이와 같은 기존의 국

내 연구들은 대부분 기후변화에 따른 유량변화를 모의하여 제시하는 정도로 기후변화의 영향을 평가하였다. 또한 한국건설기술연구원에서 개발한 K-WEAP과 한국수자원공사에서 개발한 K-MODSIM의 경우는 각각 국내 유역에 적용된 연구사례들이 있지만 다양한 기후변화 시나리오는 고려하지 않았고 모형의 적용성에 중점을 두었던 연구였기 때문에 본 연구동향에서는 제외하였다.

표 4. 기후변화에 따른 물수급 전망 - 국외 연구동향

논문 번호	적용지역	전망기간	시나리오		Time Step	물수급 모형	강우 유출 연동	물수급 모형 입력자료	물수급 모형 출력자료	결과의 표현	주요 결과	특이사항
			조합방법	개수								
3	Colorado river basin	2010-2039 2040-2069 2070-2098	Emission Scenario x GCMs	1	yearly overall	CRRM	VIC (개별모형)	storage / discharge / water delivery target (water demand)	delivery shortage / delivery reliability / spills probability	적용 시나리오에 대한 물배분량의 변화와 물부족 확률을 신뢰도 지수로 표현하여 나타냄.	미래의 물 수요량은 점점 증가하고 저수지 유입량은 점차 감소하게 됨에 따라 물부족 현상이 심화될 것으로 예상됨. 온도의 증가가 유량의 감소에 미치는 영향이 크므로 수량 조절 등 이에 대처하기 위한 전략이 필요함.	수력발전소의 비발전방류량과 그 확률을 전망기간별로 비교하여 제시.
4	NW Integrated Resource Zone, UK	2070-2100	Emission Scenario x GCMs 평균	2	monthly	Mospa	ADM (개별모형)	inflow / water demand data	water storage / lake abstraction / river abstraction / river flow	미래 수자원 가능 이용량을 공급원 별로 산정한 후 현재의 사용량과 비교하여 그 증감 비율을 표현함.	전체 수자원 가능 이용량의 감소는 향후 물공급 신뢰도에 큰 영향을 미칠 수 있음. 하지만 현재 물공급 시스템의 유연성은 안정적인 공급을 유지할 수 있다고 할 수 있음.	
5	Seyhan River, Turkey	2071-2080	Emission Scenario x GCMs	14	monthly	Local specified model	SiBUC (개별모형)	surface runoff / base runoff / water demand data	storage volume / dam discharge	각 시나리오별 저수용량 및 목표저수량 신뢰도를 시계열 지표로 비교함.	기후변화에 의해 이용가능한 수자원의 감소가 예견됨. 미래 물 수요량의 증가가 발생하지 않는다면 미래 물 부족량은 거의 발생하지 않을 것임.	기후변화 시나리오에 물이용량 변화 시나리오(7개)를 적용함.
6	Jordan River Basin, Israel	2010-2050	Emission Scenario x RCMs	2	monthly	WEAP	WEAP (연동)	reservoir inflow / water supply requirement	water storage / water shortage	물부족량(unmet demand)을 시계열 지표로 표현하여 비교.	기후변화 시나리오에 의한 유출량의 감소에 따른 물 부족량이 증가함. 이러한 분석 결과에 대한 대응방안을 WEAP 모형을 통해 지원할 수 있음.	기후변화 적응정책에 대한 WEAP 모형의 적용성을 증명.
7	Tone River, Tokyo	-	T(°C), P(mm) 증가 hypothetical scenarios	12	monthly	CROPWAT	GWLF (개별모형)	inflow / water demand data	water shortage indices - reliability - vulnerability - drought Index	각 시나리오별 물공급 지수를 비율(%)로 산정하고 각 월별 시계열 지표로 비교함.	기후변화 시나리오 적용 시 4-5월의 유량 변동이 가장 컸으며, 농업 및 도시용수 수요가 높은 4-7월의 Drought Index가 가장 크게 나타남.	
9	Columbia River Basin, USA	21st cent. (~2060)	IPCC GCM Simulation average	1	monthly	ColSim	VIC (개별모형)	stream flow / base flow / water demand data	reservoir storage storage deficit	물수급분석 결과를 바탕으로 최적운영모형을 통해 새로운 Flood Rule Curve를 산정함.	주요 저수지별 Storage deficit을 기존의 control period보다 적게 유지하기 위한 최적화모의 결과 refill timing이 한 달 정도 앞당겨짐.	물수급분석 결과를 통한 댐운영 최적화 방안을 도출함.
10	California's Central Valley, USA	2070-2099	Emission Scenario x GCMs	1	monthly	CALVIN	CVGSM (개별모형)	inflow / water delivery target (water demand)	water scarcity / scarcity cost / operating cost	적용 시나리오에 대한 물부족량을 절대량 및 목표 수요량에 대한 비율로 산정함.	2050년 물수요량 기준으로 400M 달러/년 규모의 물부족 및 그 운영비용이 나타남. 기후변화에 따라 홍수시기가 앞당겨지므로 현재의 수자원 운영방침의 변화 등의 대응책이 필요.	물관리 운영 비용을 최소화하기 위한 방안을 제시함.
11	Peribonka River, Quebec	2010-2039 2040-2069 2070-2099	Emission Scenario x GCMs	1	weekly	Local specified model	Hydrotel (개별모형)	inflow / evaporation rate / water demand data	reservoir level / hydropower / unproductive spills reservoir reliability	각 시나리오별 전력생산량과 기타방류량을 연평균 시계열 지표로 제시.	전력생산을 위한 안정적인 물공급의 확률로서 산정한 신뢰도에 있어서 두 개의 저수지가 각각 99.99%, 100%의 안정적인 물공급 수행을 보여줌.	

표 4. 기후변화에 따른 물수급 전망 - 국외 연구동향(계속)

논문 번호	적용지역	전망기간	주요내용								특이사항	
			시나리오		Time Step	물수급 모형	강우 유출 연동	물수급 모형 입력자료	물수급 모형 출력자료	결과의 표현		주요 결과
			조합방법	개수								
12	Peribonka River Basin Quebec	2040-2069	Emission Scenario x GCMs	10	monthly	ResSim	HSAMI (개별모형)	inflow / evaporation rate / water demand data	reservoir level reservoir Indicator - reliability - vulnerability	각 저수지별 및 시나리오별 산정된 신뢰도, 취약도 지수를 산정하여 비교함.	전체적으로 기후변화에 의한 저수지의 물공급 신뢰도는 하락하였으며, 기후변화에 의한 저수지 운영율의 변화는 유역 전역생산의 감소에도 영향을 주었음.	
13	Sacramento River Basin, USA	2005-2034 2035-2064 2070-2099	Emission Scenario x GCMs	4	monthly	WEAP	WEAP (연동)	reservoir inflow / water supply requirement	water storage / water shortage	각 시나리오별 물부족량을 절대량 및 시계열도표로 표현하여 비교함.	기후변화에 따라 농업용수 수요량이 증가하였음. 이에 대응하기 위한 전략으로 관수효율 증대 및 개중 방안을 제시하여 분석한 결과 물수요량의 감소를 이끌어냄.	대응 방안을 제시하여 물수급모형에 적용함.
14	Hirakud reservoir on the Mahandi river, India	2046-2065 2075-2095	Emission Scenario x GCMs	9	monthly	SOP / SDP model	CRF (개별모형)	water release / evaporation rate / water supply demand	performance indices - reliability - resiliency - vulnerability - deficit ratio	각 시나리오별 저수지 운영능력 지수를 산정하여 나타낸 후, 대응 정책을 적용한 최적운영에 대한 결과와의 비교.	기후변화의 영향을 고려한 다목적 저수지의 운영능력 지수산정 결과 수력발전 용량이 감소함에 따른 그 신뢰도 지수가 감소하였으며, 그에 따른 최적운영정책을 산정하여 적용하여 그 결과를 비교한 결과 역시 비슷한 감소양상을 보여줌.	신뢰도 지수의 경우 전력생산, 농업용수, 홍수조절의 3분야로 각각 산정.
15	Yakima River Basin	2020s (20-39) 2040s (30-59) 2080s (70-99)	Emission Scenario x GCMs Ensemble (REA)	2	monthly	RiverWare	VIC	reservoir inflow / evaporation rate / precipitation rate	reservoir and reach outflow / storage elevation	물공급권별 물 배분 신뢰도 및 저수지별 저수 용량의 신뢰도를 확률구간별로 나타내어 비교함.	기후변화에 의한 유량의 계절적 감소에 따라 junior water rights 공급에 있어서의 신뢰도가 상당히 감소함. B1이 A1B 시나리오에 비해 물부족 영향을 적게 받는 것으로 나타남.	
16	Bull Run Watershed, Portland	2010-2039 2040-2069 2070-2098	Emission Scenario x GCMs 평균	1	monthly	STM CVmod	DHSVM VIC	streamflow / base flow / water demand data	reservoir level / reservoir flow / reliability	기후변화에 따른 저수용량 변화를 제시하고, 월별 물공급 신뢰도를 수요량충족 확률로 산정하여 기간별로 비교함.	미래 저수용량의 감소로 인해 물공급 신뢰도의 감소를 가져왔으며, 특히 7-10월의 물공급의 부족이 상대적으로 크게 나타남.	STELLA를 사용하여 물수급모형 구축.
17	California Water Resource System	2020-2049 2070-2099	Emission Scenario x GCMs	4	monthly	CalSim II	VIC	inflow / evaporation rate / water demand data	reservoir release / river flow / water delivery	각 시나리오별 저수용량 및 물공급 절대량을 산정하고 초과 확률별 물공급 신뢰도를 산정함.	전체 75%이상의 유역이 기후변화 시나리오에 따른 물공급 신뢰도의 감소를 보였으며, 그 신뢰도 변동의 폭은 각 시나리오별로 다양하게 나타났음.	각 신뢰도의 산정을 초과 확률별로 플로팅하여 나타냄.
18	Brazos River Basin, USA	2040-2060	Emission Scenario x GCMs	1	monthly	WRAP	SWAT (개별모형)	streamflow / net reservoir evaporation and precipitation rate	reservoir storage / water-supply division amount	시나리오에 대한 저수용량 및 물공급 신뢰도의 변화를 비교함.	기온 및 증발산량의 상승과 미래 강우량의 증가가 평균 유량의 감소를 가져와 물공급 능력의 저하를 야기하였음.	

기후변화에 따른 물수급 전망을 분석한 국내의 연구 사례를 살펴보면 먼저 김영오(2000) 등이 금강유역의 기후변화의 유출 시나리오를 적용한 대청댐 운

영 모의를 통하여 수자원의 영향평가를 수행한 사례가 있다. 강동현(2007)은 CGM 모형에 따른 6개의 기후변화 시나리오에 대한 금강 유역 용담댐과 대청




표 5. 기후변화에 따른 물수급 전망 - 국내 연구동향

논문 번호	적용지역	전망기간	주요내용					물수급 모형 출력자료	물수급 모형 결과자료	결과의 표현	주요 결과	특이사항
			시나리오		Time Step	물수급 모형	강우 유출 연동					
			조합방법	개수								
1	금강유역- 용담댐, 대청댐	2030~2049	Emission Scenario x GCMs	6	monthly	STELLA	abcd	reservoir inflow / water supply requirement	water storage / water shortage	각 시나리오별 산정한 물공급 지표를 각각 5년간의 평균값으로 산출하여 비교함.	각 시나리오별 산정된 물부족 지표를 비교한 결과 CISRO-B1에서 낮은 신뢰도와 높은 취약도를 보여줌.	최적 운영모의 결과를 제시.
2	한강유역	2020-2030 2031-2060 2061-2090	Emission Scenario x RCM x Demand Scenario	3	monthly	K-WEAP	SLURP	streamflow / reservoir inflow / water supply requirement	water storage / water shortage	각 시나리오별 기준기간 대비 목표기간의 물부족량의 상대적 증감을 비교함. 소유역별 물 부족량을 상대 비교하고 그 원인 을 분석.	합중수기 유출특성이 7-9월 에서 8-10월로 이동됨에 따라 6월 물부족량이 증가함 목표기간(2031-60), (2061-90)은 유사한 유출 특성을 보이지만 2061-90년 에 유출량의 불확실성이 커짐에 따라 물부족이 심화되는 경향이 있음.	수자원장기 종합계획에 적용된 수요 시나리오를 적용함(고수요, 기준수요, 저수요).
8	금강유역- 대청댐	2025	Emission Scenario x averaged GCMs	4	monthly	STELLA	NWS-PC (개별모형)	reservoir inflow / water supply requirement	water storage / water shortage	각 시나리오별 댐의 발전량, 용수공급, 월류량 등의 변화를 적용기간 평균 지표로 산정하여 비교함.	갈수기의 유입량 감소로 인하여 물공급 문제가 발생할 가능성이 높음.	

댐의 운영 모의를 통하여 용수부족량 및 신뢰도, 회복도, 및 취약도 지수를 산정하였으며, 또한 GCM 모형별 최적 물배분 시나리오를 각각 산정하여 물수급 모형에 적용한 후 그 시나리오별 용수부족량 및 물공급 지표들을 각각 비교하여 최적의 댐 운영 시나리오를 산정하였다. 그리고 김수전(2010) 등은 고해상도 RCM 자료를 이용하여 한강유역의 수자원(이수적 측면) 영향을 평가하였다. 물수급 모형은 한국건설기술연구원에서 SEI-US와 공동 개발한 K-WEAP을 사용하였으며, 수자원장기종합계획에서 적용되었던 수요 시나리오(고수요, 기준수요, 저수요)를 바탕으로 목표기간별 물부족량의 상대적 변화추이를 비교하고 그 원인을 분석하였다. 기후변화에 따른 국내 연구동향 문헌조사 내용을 표 5에 정리하여 첨부하였다.

#### 4. 맺음말

현재 국내외에서 수행되고 있는 기후변화에 따른 물수급 분석 연구 대부분은 IPCC의 배출 시나리오를 기반으로 GCM을 통한 다양한 기후변화 유출 시나리오를 적용하고 있으며 이를 각 국가 및 지역적 특성에 맞는 물수급 모형에 적용하여 정량적인 미래 물수급 전망을 제시하고 있다. 따라서, 향후 우리나라 실정에 맞는 물수급 전망을 위해서는 국내 기후 및 지형적 특성에 맞는 기후변화 시나리오의 선정은 물론 국내 하천 현황을 잘 반영할 수 있는 네트워크 구축을 위한 적절한 모형의 선정 및 개선이 필요하겠다. 이를 위해서는 국내 하천 흐름, 댐 운영 및 물 공급 및 수요 전망 등에 관련된 신뢰성 있는 자료의 구축 등이 우선되어야 한다. 또한 앞으로 관심을 가져야 하는 기후변화 적응에 대한 연구에 있어 정량적인 미래 물수급 전망이 선행되어야 하므로, 기후변화에 따른 물수급 분석 연구는 각 소유역별 정량적인 미래 물수급 전망을

제시할 수 있는 지표의 선정은 물론 다양한 시나리오에 대한 민감도 분석을 통해 장기적인 수자원 계획 수립에 이바지 할 수 있어야 한다. 

## 참고문헌

1. 강동현 (2007). 기후변화에 따른 금강유역의 수자원 영향평가. 석사학위논문, 서울대학교.
2. 김수전, 김병식, 전환돈, 김형수 (2010). "고해상도 RCM자료를 이용한 기후변화가 한강유역의 수자원(이수적 측면)에 미치는 영향 평가." 한국수자원학회논문, 한국수자원학회, 제43권, 제3호, pp. 295-308.
3. Christensen, N.S., Wood, A.W., Voison, N., Lettenmaier, D.P., Palmer, R.N. (2004) "The Effect of Climate Change on the Hydrology and Water Resources of the Colorado River Basin." *Climate Change*, Vol. 62, pp. 337-363.
4. Fowler, H.J., Kilsby, C.G., Stunell, J. (2007) "Modeling the Impacts of Projected Future Climate Change on Water Resources in North-West England." *Hydrology & Earth System Sciences*, Vol. 11(3), pp.1115-1126.
5. Fujihara, Y., Tanaka, K., Watanabe, T., Nagano, T., Kojiri, T. (2008) "Assessing the Impacts of Climate Change on the Water Resources of the Seyhan River Basin in Turkey: Use of dynamically Downscaled data for Hydrologic Simulations." *Journal of Hydrology*, Vol. 353, pp. 33-48.
6. Hoff, H., Swartz, C., Yates, D., Tielborger, K. (2007) "Water Management under Extreme Water Scarcity: Scenario Analysis for the Jordan River Basin, Using WEAP21." *Water Saving in Mediterranean Agriculture and Future Research Needs*, Vol. 2, pp. 321-331.
7. Islam, MD. S., Aramaki, T., Hanaki, K. (2005) "Development and Application of an Integrated Water Balance Model to Study the Sensitivity of the Tokyo Metropolitan Area Water Availability Scenario to Climate Changes." *Water Resources Management*, Vol. 19, pp. 423-445.
8. Kim, Y.O., Seo, Y.W., Lee, S.H., Lee, D.Y. (2000) "Sensitivity of the Keum River Basin to Climate Change." *Water Engineering Research, KWRA*, Vol. 1, No. 4, pp. 267-277.
9. Lee, S.Y., Hamlet, A.F., Fitzgerald, C.J., Burges S.J. (2009) "Optimized Flood Control in the Columbia River Basin for a Global Warming Scenario." *Journal of Water Resources Planning and Management*, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9496, pp. 440-450.
10. Medellin-Azuara, J., Harou, J.J., Olivares, M.A., Madani, K., Lund, J.R., Howitt, R.E., Tanaka, S.K., Jemkins, M.W., Zhu, T. (2008) "Adaptability and Adaptations of California's Water Supply System to Dry Climate Warming." *Climate Change*, Vol. 87, pp. 75-90.
11. Minville, M., Brissette, F., Krau, S., Leconte, R. (2009) "Adaptation to Climate Change in the Management of a Canadian Water-Resources System Exploited for Hydropower." *Water Resources Management*, Vol. 23, pp. 2965-2986.
12. Minville, M., Brissette, F., Krau, S., Leconte, R. (2010) "Impacts and Uncertainty of Climate Change on Water Resource Management of the Peribonka River System (Canada)." *Journal of Water Resources Planning and Management*, DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000041, pp. 376-385.
13. Purkey, D.R., Joyce, B., Vicuna, S., Hanemann, M.W., Dale, L.L., Yates, D., Dracup, J.A. (2008) "Robust Analysis of Future Climate Change Impacts on Water for Agriculture and Other Sectors: a case study in the Sacramento Valley." *Climate Change*, Vol 87, pp. 109-122.
14. Raje, D., Mujumdar, P.P. (2010) "Reservoir Performance under Uncertainty in Hydrologic Impacts of Climate Change." *Advanced in Water Resources*, Vol. 33, pp. 312-326.



15. Vano, J.A., Scott, M., Voisin, N., Stockle, C.O., Hamlet, A.F., Mickelson K.E.B., Elsner, M.M., Lettenmaier, D.P. (2010) "Climate Change Impacts on Water Management and Irrigated Agriculture in the Yakima River Basin, Washington, USA," *Climate Change*, (in review).
16. VanRheenen N.T., Palmer, R.N., Hahn, M.A. (2003) "Evaluating Potential Climate Change Impacts on Water Resource Systems Operations: Case Studies of Portland, Oregon and the Central Valley, California." *Water Resources*, Vol. 124, pp. 35-50.
17. Vicuna, S., Maurer, E.P., Joyce, B., Dracup, J.A., Purkey, D. (2007) "The Sensitivity of California Water Resources to Climate Change Scenarios." *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 43, no. 2, pp. 482-498.
18. Wurbs, R.A., Muttiah, R.S., Felden, F. (2005) "Incorporation of Climate Change in Water Availability Modelling." *Journal of Hydrologic Engineering*, DOI: 10.1061(ASCE)1084-0699, pp. 375-385.