



지역기반 기후변화와 적응대책을 고려한 가뭄 리스크 진단 모듈 개발 연구



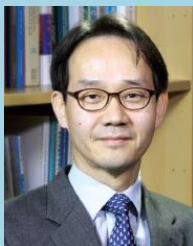
이문환
한국환경연구원
물국토연구본부 연구위원
mhlee@kei.re.kr



안중호
한국환경연구원
물국토연구본부 본부장
ahnjh@kei.re.kr



류경식
K-water연구원
수석연구원
ksryoo@kwater.or.kr



송영일
한국환경연구원
국가기후위기적응센터
선임연구위원
yisong@kei.re.kr

01 들어가며

전 세계적으로 많은 기상이변 현상이 발생하고 있으며, 우리나라도 크고 작은 수재해 피해가 매년 발생하고 있다. 최근의 사례만 봐도, 2020년 태풍 및 호우에 의해 46명의 인명피해(사망·실종)와 1조 2,585억원의 재산피해가 발생하였고¹⁾, 2022년과 2023년 다양한 지역에서 극한호우에 따른 인명과 재산피해가 발생하였다. 또한, 매년 크고 작은 가뭄이 발생하며, 보령댐 지역에 2014~2015년 극심한 가뭄이 발생하였고, 2022~2023년 광주·전남 지역에 가뭄이 발생하여 광주광역시도 제한급수에 처해질 위험에 직면한 바 있다. 이러한 기후위기에 대응하기 위해서는 물관리 분야의 적응대책 수립은 필수적이다.

우리나라는 기후변화에 대응하기 위해서 2010년에 『저탄소 녹색성장기본법』을 제정·시행하였으며, 2023년 6월 『기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장기본법(이하 탄소중립기본법)』으로 개정되었다. 탄소중립기본법의 제38조와 동법 시행령 제41조에 의거하여 국가 기후위기 적응대책을 수립해야 하고 이를 기반으로 광역·기초지자체는 지방 기후위기 적응대책 세부시행계획을 수립 및 시

1) 관계부처합동 (2021) 2020년 이상기후 보고서

행해야 한다. 하지만, 개별 지자체가 해당 지역의 물관리 부문의 영향 및 취약성 평가를 개별적으로 수행하기에는 한계가 있어 이를 지원하기 위한 물관리 리스크 진단 평가체계를 개발할 필요가 있다. 또한, 지금까지 대부분의 물관리 부문의 연구가 기후변화에 대한 많은 영향평가와 취약성·리스크 평가까지는 진행된 바 있으나, 적응대책 효과를 반영한 사례들은 부족하여 실제 정책에 반영하기에는 한계가 있었다.

환경부 신기후체제 대응 환경기술개발사업의 연구개발과제 중 하나인 ‘기후변화 적응을 위한 의사결정형 통합 영향평가 플랫폼 기반 구축 및 활용기술개발’은 다양한 부문(물관리, 농업, 산림, 생태 등)의 적응대책을 고려한 통합 영향평가 플랫폼을 만드는 연구를 진행하고 있다(그림 1). 해당 연구는 2022년 4월부터 시작하여 2028년 12월까지 총 7년 동안 진행될 예정이며, 올해가 2차 연도 연구가 진행 중에 있다. 본 고에서는 이 중 가뭄 부문에 대해 연구내용과 예상 성과물에 대해 소개하고자 한다.

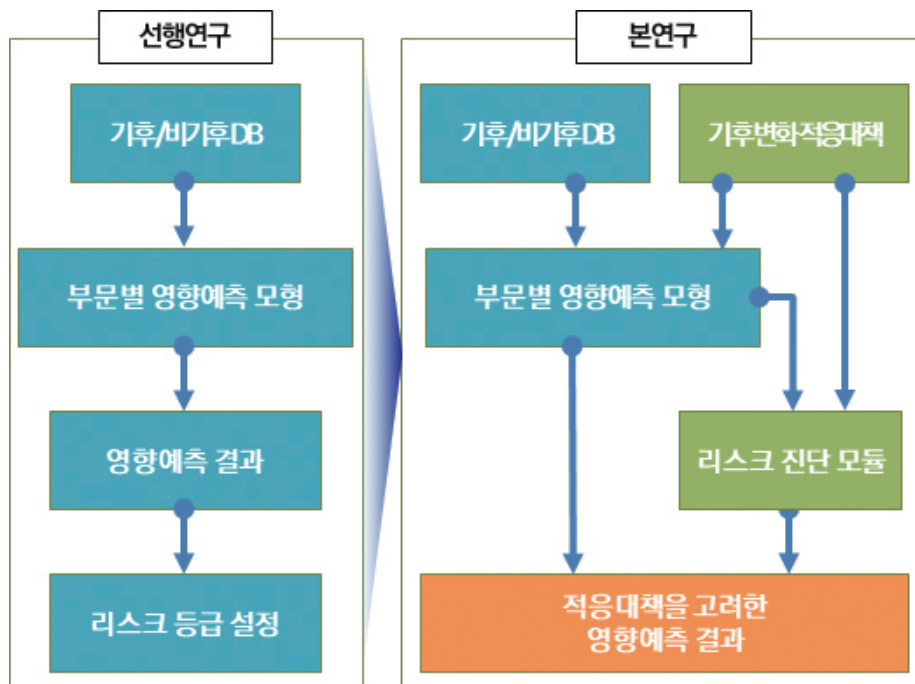


그림 1. 적응대책을 반영한 리스크 저감효과 진단 모듈 개발

02 가뭄 부문의 리스크 평가항목 및 평가방법

관계부처 합동으로 2020년에 수립된 「제3차 국가 기후변화 적응대책 (2021~2025)」은 물관리 부문을 홍수, 가뭄, 수질/수생태계로 구분하여 총 10개 리스크를 제시하였다(표 1). 여기서 가뭄과 관련한 리스크 중 금회 연구에서는 ‘가뭄으로 인한 하천의 건천화 심화’, ‘가뭄으로 인한 물 공급(생활/공업/농업용수, 하천유지용수) 능력 저하’, ‘기온 상승 및 가뭄으로 인한 지하수 함양량 감소’ 리스크를 선정하

여 연구를 추진하고자 한다. 지자체 담당자 의견을 물어본 결과, 물관리 부문내에서 하천 및 유역의 홍수피해 증가에 이어 물공급 능력 저하가 가장 중요도 및 시급성이 높은 것으로 조사되었다.

표 1. 물관리 부문 리스크 및 선정 결과(관계부처 합동, 2020)

구분	번호	리스크명	선정여부
홍수	W01	폭우로 인한 하천 및 유역의 홍수피해 증가	
	W02	폭우로 인한 하천/호소의 오염물질 유입 증가	
	W03	폭우로 인한 댐과 하천의 기반시설 안정성 저하	
가뭄	W04	가뭄으로 인한 하천의 건천화 심화	○
	W05	기온 상승 및 가뭄으로 인한 하천/호소 수질 악화	
	W06	가뭄으로 인한 물 공급(생활/공업/농업용수, 하천유지용수) 능력 저하	○
	W07	기온 상승 및 가뭄으로 인한 지하수 함양량 감소	○
수질/수생태계	W08	해수면 상승으로 인한 하구 및 연안 물관리취약성 증가	
	W09	강수량 변동폭 증가에 따른 댐/저수지 관리 취약성 증가	
	W10	폭염에 의한 수생생물 열 스트레스 증가	

3개의 가뭄 리스크 평가항목을 기반으로 예측인자를 도출하였으며, 이를 위한 평가 방법을 선정하였다(그림 2). 평가항목으로는 지자체별 가뭄 발생 빈도 및 심도의 변화, 지하수 함양량 변화, 하천수위 변화, 물공급 능력 저하(생활·공업·농업용수와 하천유지용수의 부족 정도)로 정리할 수 있다. 이를 평가하기 위해서는 기후변화 시나리오 기반의 기온과 강수량, 풍속, 상대습도, 일사량 등 기상정보와 하천유량, 지하수 함양량, 토양 수분의 수문정보가 필요하다. 기후변화 시나리오는 SSP 시나리오를 기반으로 다양한 GCM에서 생산하고, 상세화된 기후변화 시나리오를 활용하고자 한다. 수문정보 생산을 위해서는 강우-유출모형인 SWAT모형을 활용하고자 한다. 가뭄 발생 빈도 및 심도의 변화는 가뭄지수(SPEI, SRI, SSI 등)를 적용하고, SWAT 내에서 생산되는 토양수분, 지하수 함양량, 하천유출량 등을 이용하여 하천건천화 및 지하수 수위 저하 등의 리스크를 평가하고자 한다. 또한, 물공급 능력을 평가하기 위한 분석 모형은 MODSIM을 이용한다. MODSIM의 입력자료는 기존 TANK 모형과 SWAT모형의 출력자료의 과거 모의 정확성과 미래 전망 결과 등 비교 분석하고자 한다.

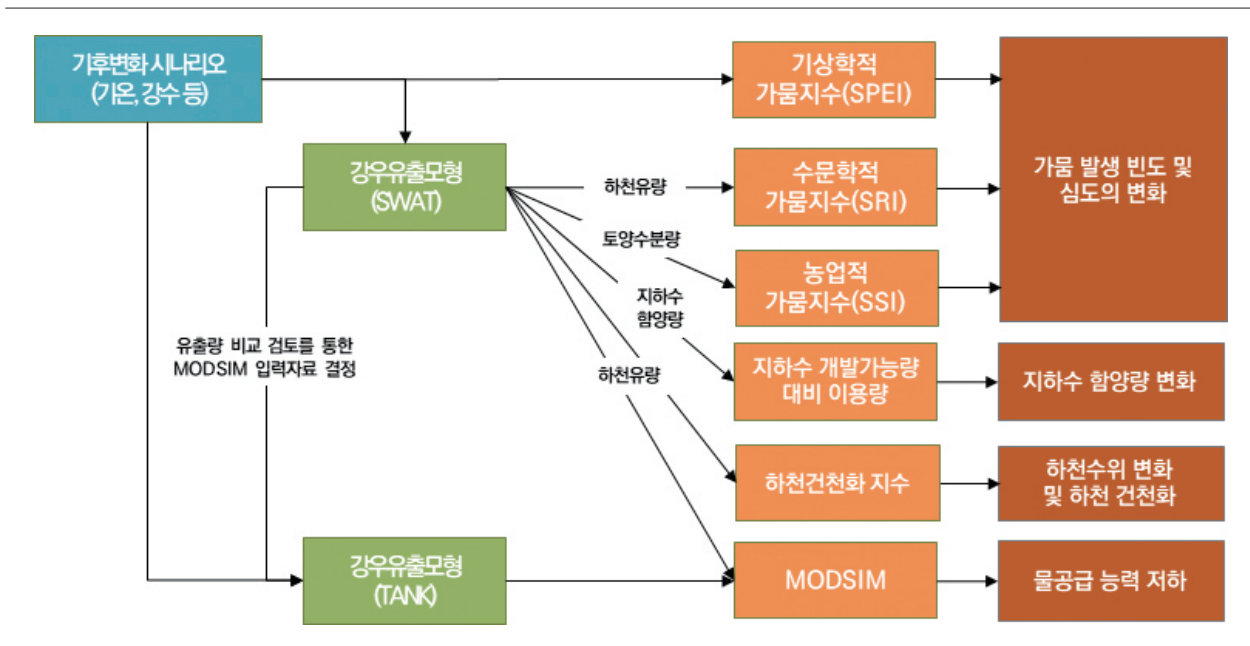


그림 2. 가뭄 리스크 평가대상 및 평가방법

03 적응대책을 고려한 가뭄 리스크 진단 모듈

리스크 평가 항목으로는 가뭄으로 인한 물 공급 능력 저하를 기초지자체 단위로 평가하고, 지하수 함양량과 하천유량의 변화는 지하수 관측망과 국가 수문조사망 유량 측정 지점을 대상으로 평가하고자 한다. 적응대책을 고려하기 위해 국가 기후변화 적응대책과 광역지자체의 기후변화 적응대책 세부 시행계획을 검토하였다. 리스크에 따른 지자체 대책을 정리하고 이를 분류해 본 결과, 우선 가뭄으로 인한 물 공급 능력 저하에 대한 적응대책은 크게 수원 개발, 물 재이용, 수요관리로 구분하였다. 지하수 함양량 감소에 대한 지자체 적응대책으로는 지하수 취수량(이용량) 감소에 대한 대책만 제시되었을 뿐 함양량 증가에 대한 대책은 거의 없었다. 또한 하천의 건천화는 지자체 차원의 대책이 전혀 없었다. 분류된 적응대책을 고려하여 영향을 평가할 수 있는 모듈 개발을 진행하고 있다. 다만, 하천유량의 변화는 적응대책을 고려하기보다는 자연적인 조건으로 판단하고, MODSIM의 입력자료로 제공하고자 한다.

가뭄 분야의 적응대책을 분류하면, 크게 신규수원 확보와 대체용수 확보, 용수 수요량 절감 등으로 구분할 수 있다. 따라서 물 공급 능력 평가에 적용되는 MODSIM을 통해 용수 수요량의 변화와 공급 체계의 변화 등을 반영할 수 있고, 이를 통해 모형에 반영하여 기후변화와 적응대책 시나리오에 따른 물부족량 변화를 비교·검토해 볼 수 있다(그림 3). 기후변화 시나리오와 적응대책 옵션을 신속하게 평가 및 검증하기 위해 자료처리 자동화 기능이 요구된다. 현재 단일 권역에 1개 시나리오 분석 시 3시간 이상 소요되는 만큼 안정적 구동 및 구동환경 제약 최소화를 위한 원격구동기반 고

표 2. 리스크 별 광역지자체의 적응대책 조사 및 분류

리스크	표출방법 (공간단위)	적응대책 분류	자자체대책
가뭄으로 인한 물 공급 (생활/공업/농업용수, 하천유지용수) 능력 저하	기초지자체단위	수원개발	· 신규 용수원 개발 · 소규모수도시설설치 · 스마트인프라구축 · 빗물이용시설설치 · 강변여과수개발 · 빗물저금통추가설치 · 도서지역해수담수화시설 · 간이용수원, 양수급수 등 용수원 개발 · 양수저류시설및 송수관로설치
		물재이용	· 중수도, 하수처리수 및 폐수처리수의 물 재이용
		수요관리	· 양수저류시설및 송수관로설치 · 유수율(누수) 고려 · 절수기기보급 · 장기사용상수도관교체
기온 상승 및 가뭄으로 인한 지하수 함양량 감소	지하수 관측망 지점별	함양량증가	-
		지하수 취수량 (이용량) 감소	· 정수장· 배수지 신설, 상수관로 확충 · 발기반정비사업 · 지하수방치공원상복구
가뭄으로 인한 하천의 건천화 심화 (하천유량의 변화)	국가 수문조사망 유량 측정 지점별	하천 취수량제한	-
		유지유량 공급	-

성능(HPC) 물수급 분석용 전용서버를 구축하고 있다.

지하수의 경우 지하수 지속가능성(groundwater sustainability), 지하수 위험(groundwater risk), 지하수 취약성(groundwater vulnerability) 등의 평가 사례를 조사하고, 우리나라의 지하수관리기본계획을 분석해본 결과, 지하수개발가능량 대비 이용량 지표를 활용하여 분석하고자 한다. 지하수개발가능량에는 지하수 함양량과 지하수 이용량의 함수로 표현되는데, 지자체별 현재 지하수 이용량이 반영되기 때문에 적응대책으로 지하수 이용량의 변화와 기후변화에 따라 변화하는 지하수 함양량을 고려한다면 기후변화와 적응대책을 동시에 반영할 수 있을 것으로 판단된다.

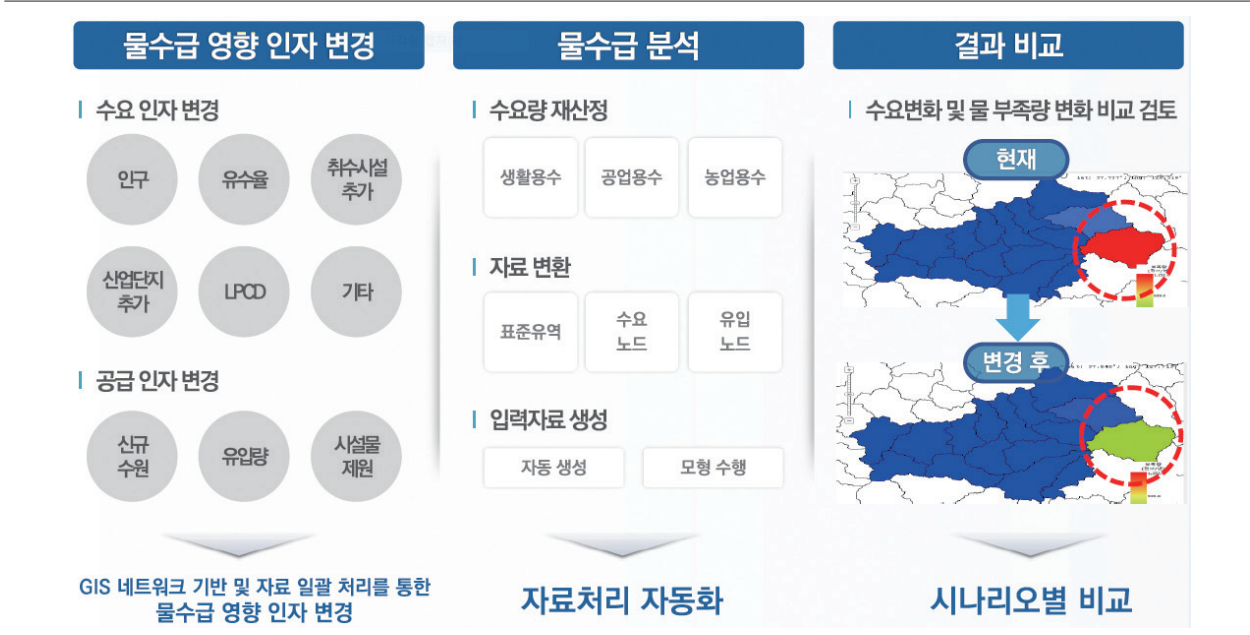


그림 3. 기후변화 및 적응대책을 고려한 물수급 분석 및 평가 체계

04 맺으며

본 연구의 최종성과물로는 지자체 단위 기반 물관리 기후영향 예측 모형을 구축하고 지자체단위 기반 물관리 분야의 기후변화 리스크 및 적응능력 진단 기법을 개발·적용하여 지자체 단위 기반 기후적응대책에 따른 기후리스크 진단 시스템을 구축하는 것이다. 총 3단계(7개년)로 연구 추진 체계를 수립하였으며, 1단계는 의사결정 지원을 위한 평가모형을 계획하고, 2단계는 평가 모형 및 리스크 모듈을 개발하고자 한다. 마지막 3단계는 지자체 적용 및 시스템을 개선하는 방향으로 연구를 진행하고자 한다. 또한, 본 연구에서는 가뭄뿐만 아니라 홍수와 수질 리스크 부문도 동시에 진행하고 있어 물관리 전반의 기후변화 영향 및 리스크 평가체계를 구축하고자 한다.

미국 EPA(Environmental Protection Agency)도 CREATE(Climate Resilience Evaluation and Awareness Tool)라는 리스크 평가 시스템을 구축하고 있으며, 기후변화 인식, 시나리오 개발, 적응계획 수립, 리스크를 평가하는 체계를 구축하고 대책 수립 시 활용하고 있다. 반면, 우리나라의 지자체별 기후변화 적응대책 세부이행계획 내 영향평가 결과를 살펴보면, 하천유량의 과거 대비 변화만을 제시하는 등 실제 계획 수립에 필요한 정보가 매우 제한적인 상황이다. 따라서, 본 연구를 통해 구축되는 기후변화 리스크 진단 평가 모듈은 향후 지방 기후위기 적응대책 시행계획 수립 시 활용되어 보다 실효성 있는 평가 체계와 대책 수립 시 의사결정이 가능하도록 기초 자료를 제공할 수 있을 것이다.

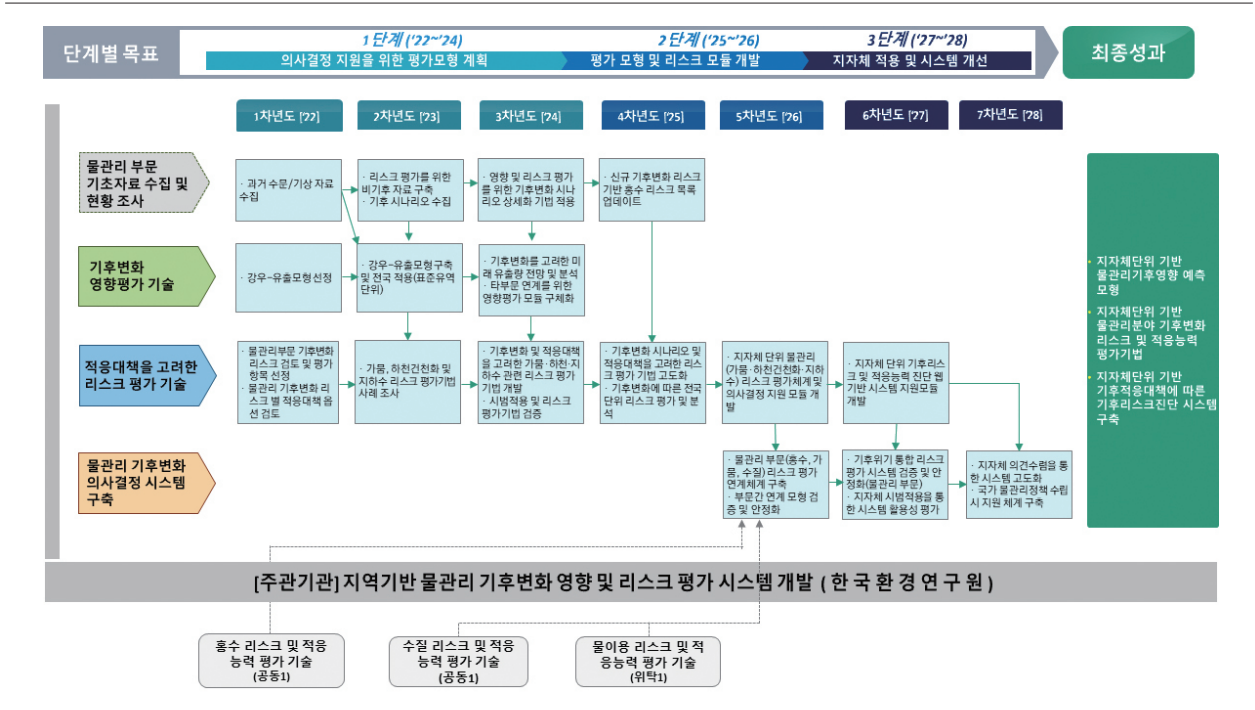


그림 4. 연구개발 로드맵 및 최종 성과

감사의 글

이 연구는 환경부의 재원을 지원받아 한국환경산업기술원 "신기후체제 대응 환경 기술개발사업"의 연구개발을 통해 창출되었습니다. (2022003570007)

참고문헌

관계부처합동 (2020). 제3차 국가 기후변화 적응대책(2021-2025), p. 51.
 관계부처합동(2021). 2020년 이상기후 보고서, p.143.