

기후변화에 따른 수자원 적응정책



배 덕 호 ▶▶▶
세종대학교 교수
dhbae@sejong.ac.kr



김 성 준 ▶▶▶
건국대학교 교수
kimsj@konkuk.ac.kr



김 형 수 ▶▶▶
인하대학교 교수
sookim@inha.ac.kr

1. 서론

현재 우리나라 연평균 강수량은 1,245mm로 알려져 있으나, 2000년 이후 최근 10년간 연평균 강수량은 1,441mm로 약 16% 증가하였다. 또한 2000년 이후 홍수와 가뭄이 매년 발생하고 있다(그림 1). 이러한 강수량의 변화, 홍수 및 가뭄 발생횟수 증가는 기후변화의 영향이라 판명되었다. 또한 최근의 홍수와 가뭄이 앞으로는 더욱 극한의

패턴으로 발생할 소지가 충분히 있어 이에 대한 사전 대응 및 적응대책이 필요하다.

본고는 2012년 당시 국토해양부 건설교통기획 사업으로 수행된 “기후변화 시나리오에 따른 수자원 적응전략 수립 연구기획”의 결과를 토대로 정리된 내용으로서, ① 국내로는 기후변화에 따른 위기에 대응하여 각종 물관련 재난재해에 사전예방적으로 대처하고 적응하는 기술을 개발하여, 국토교통부 홍수통제소 그리고 한국수자원공사 물관리센터에서 다목적댐 등 우리나라 주요 수자원시설물을 대상으로 바로 적용/활용하는 연구성과를 목표로 하고, ② 국제적으로는 기후변화에 따른 각국의 물문제를 기회로 삼아 물-식량-에너지 융복합시대에 맞는, 전세계를 대상으로 하는 물자원 분석기술을 개발하여, 세계속의 우리나라 물안보 상황 파악/대응 그리고 우리나라 기업의 물관련 해외진출에 있어, 신속한 선점 계획수립 및 정확한 문제해법의 제안을 위한 기반기술의 개발 및 제공/활용체계 구축을 목표로 하여 기획하게 되었다.

저자들은 제1회 하천관리포럼에서 수자원적응 관련 연구기획결과들의 내용을 총괄적으로 전달하고, 포럼에서의 다양한 의견 그리고 비평을 토대로, 앞으로의 연구진행에 있어 지향하여야 할 방향과 연구목표의 재설정 등에 도움을 주고자 포럼 주제로 선정하였다. 다음은 기획보고서와 더불어 포럼에서의 발표내용을 요약 정리한 것이다.



그림 1. 2000년 이후 홍수 및 가뭄 발생 현황

2. 외국의 기후변화-수자원 적응 동향

2007년 유엔기후변화협약(UNFCCC)은 아시아 지역을 대상으로 한 기후변화 영향과 취약성 평가에서 한국을 포함한 대부분의 지역에서 평균기온 상승과 강수량 증가를 전망하였으며, 특히 홍수, 가뭄, 태풍, 혹서 등과 같은 극한사상의 강도와 빈도가 증가될 것으로 예상하였다. IPCC는 빈번해질 것으로 전망되는 극한사상에 대해 시급한 저감 방안 마련과 기후변화 적응전략 개발의 필요성을 언급하였으며 현재 「선제적 기후변화 적응을 위한

극한사상과 재해의 위험관리」라는 특별보고서를 작성 중에 있다.

주요 선진국에서는 이미 기후변화 영향평가 결과를 이용하여 기후변화관련 적응정책을 수립하고 실행 및 개선하고 있다 (표 1). 또한 2013년 배포될 RCP 기반의 기후 전망결과를 이용하여 기존의 적응정책을 평가 및 수정할 계획을 진행 중이다. 따라서 우리나라도 기후변화에 대비하기 위해 체계적이고 현실적인 적응전략을 도출하고 이에 필요한 기술을 개발함으로써 국내 수자원관리기술 및 시스템의 적응역량을 강화하는 것이 필요하다.

표 1. 국가별 기후변화 적응 동향 (National Communication*, 2010; 환경부, 2010)

국가	기후변화 영향 및 적응	세부 관련 내용
영국	영향	Met Office Hadley Centre, Tyndall Centre 및 UKCIP에서 제공하는 시나리오를 이용하여 분석한 결과 여름 및 겨울의 기후변화, 극한 기후 현상 증가 등이 예상
	적응전략	수자원, 홍수, 건설, 생물다양성, 농업, 산림, 수송 부문에 기후변화 적응 방안 수립 및 이행
독일	영향	계절에 따라 변화하는 기후변화, 극한기후현상의 빈도와 강도 증가, 기후가변성으로 인한 농업 및 산림 영향 전망
	적응전략	2008년 독일 연방 정부에서 기후변화 적응 전략 제시(부문별로는 수자원관리, 물순환, 보건, 해안 및 해양 보존, 토양, 생물다양성, 농업, 산림, 수송 및 관광 부문에 방안 제시)
프랑스	영향	알프스 및 피레네 산맥의 빙하 감소 및 동물의 계절에 따른 이동, 식물들의 성장 시기 변화에 주목
	적응전략	2006년 국가 기후변화 4개 부분의 적응 전략 제시: 공중보건, 사회적 영향, 적응비용, 국가유산보존

표 1. 국가별 기후변화 적응 동향 (National Communication*, 2010; 환경부, 2010) (계속)

국가	기후변화 영향 및 적응	세부 관련 내용	
		영향	적응전략
네덜란드	영향	해양과 저지대의 인구밀집 지역에서 기후변화로 인한 피해가 클 것으로 전망	
	적응전략	기후변화 영향평가 결과를 바탕으로 2007년 국가 적응전략을 수립하였으며, 물, 자연, 농업, 레크리에이션, 산림 및 도시 환경 부문 포함	
이탈리아	영향	지중해 지역을 중심으로 사막화, 해안지역 침식 및 홍수, 빙하 및 적설량 감소 등 예상	
	적응전략	환경/토양/해양부 주관으로 기후변화 적응전략 개발	
캐나다	영향	기온증가로 인한 빙하 및 용설 변화, 수자원 변화에 대한 모니터링 및 기후변화로 인한 전망	
	적응전략	CCIAD는 2001년부터 2007년까지 캐나다 기후변화 영향 및 적응 연구 네트워크(C-CIARN)을 구축하고 적응 전략을 수립	
미국	영향	2010년 USGCRP에서 지구온난화로 인한 10가지 기후변화 영향을 제시(수자원, 농축산업, 인간, 보건, 생태시스템 등)	
	적응전략	USGCRP의 취약성 및 영향평가 결과를 바탕으로 기후변화 적응대책 위원회에서 적응방안 수립	
호주	영향	기후변화에 가장 취약한 국가중 하나로 다양한 분야에 대해 기후변화 영향평가(수자원, 농업, 환경, 에너지 등)	
	적응전략	호주 환경문화부를 중심으로 다양한 적응전략을 수립, 특히 Water for the Future라는 프로그램을 통해 장기적 물공급 확보를 위해 노력	
일본	영향	기온 상승 및 강수량 증가 현상에 주목하고 있으며, 수자원, 산림, 농업, 해안 및 보건 등에서 유의한 영향이 있었다고 보고됨	
	적응전략	기후변화 영향 및 적응 연구위원회를 중심으로 Wise Adaptation 방안을 통해 기후변화 적응 방안 개발	

* National Communication (NC): UNFCCC 사무국에 국가별 온실가스 감축 및 기후변화 적응에 관한 계획 및 이행 상황에 관한 국가 보고서 제출

3. 국내 기후변화-수자원 연구현황

국내에서 수자원측면의 기후변화 연구는 2000년 이후 꾸준히 진행되어 왔으며, 주요 연구로는 「수자원의 지속적 확보기술개발사업단(2001~2011)」, 「이상기후대비 시설기준연구단(2005~

2010)」, 「기후변화 대비 국가 물안보 확보방안(2007~2011)」, 「기후변화에 의한 수문 영향분석과 전망 연구단(2009~2012)」, 「차세대 홍수방어 기술개발 연구단(2008~2013)」 등이 있다. 이들의 주요 추진내용 및 연구성과는 표 2와 같이 SRES AR4기반의 홍수 및 가뭄에 대한 영향평가

표 2. 기존 기후변화 연구의 적용분야 및 적용범위 비교

과제명	적용분야	기후변화				기타 (주요 이슈)
		시나리오	영향	취약성	적응대책	
수자원의 지속적 확보기술개발사업	홍수, 가뭄	A2, A1B, B1	고려	일부 고려	단순 제시	극치사상 반영 한계점 발생
이상기후 대비 시설기준 연구단	홍수, 내풍	A2	고려	일부 고려		홍수 및 내풍에 한정
기후변화 대비 국가 물안보 확보방안	홍수, 용수공급	A2	고려	-	-	극치사상 반영 한계점 발생 불확실성 제시
기후변화에 의한 수문 영향분석과 전망	홍수, 가뭄 용수공급	A2, A1B, B1 RCP8.5, 4.5	고려	일부 고려	-	영향 평가에 초점을 맞춘 연구 수행
차세대 홍수방어 기술개발 연구단	홍수	-	-	-	-	기후변화 미반영

가 주를 이루며, 일부 취약성 평가를 고려하였다. 보는 바와 같이 기존 국내 연구 사례들은 대부분 기후변화에 따른 수자원 분야별 영향평가 중심의 연구로 추진됨으로써 현실적인 기후변화 적응전략 도출에 관한 연구는 미비한 실정이다. 즉 실무에 활용가능한 기후변화 적응에 관한 연구는 전무하므로, 기후변화에 따른 피해를 최소화하고 기후변화에 유연히 적응할 수 있는 수자원관리 기술의 개발이 시급하다고 하겠다.

4. 기후변화에 따른 수자원 적응기술 연구 기획내용

일반적으로 기후변화에 따른 수자원 분야의 영향평가, 취약성 분석 및 적응전략 수립 절차는 그림 2와 같다. 표 2에서 정리한 바와 같이, 기존 연구에서는 연구의 대부분이 기후시나리오 생산과 수자원 분야의 영향평가에 초점이 맞춰져 취약성 평가의 일부가 연구되었으며, 기후변화-수자원의 실질적인 분야인 적응전략 수립 및 기술의 적용은 연구가 이루어지지 않아 왔다.

이에 기후변화-수자원적용 기획연구에서는 국내외 시장현황 및 기술동향을 면밀히 분석하고 기후변화에 대한 우리나라 수자원 분야의 정책적, 기술적 중요도를 분석(그림 3)하여 최종목표로서 “기후변화 적응을 위한 홍수관리, 물수급관리, 유역관리 기술확보 및 글로벌 수자원 산업기반 구축”을 비전을 설정하여, 적응기술로는 비전을 달성하기 위해 주 목표를 “기후변화에 적용 가능한 국가 수자원 관리 기술개발 및 글로벌 수자원 산업기반 구축”으로 확정하고 4개 핵심 세부과제와 16개 세부과제를 도출하였다.

4가지 중점 세부과제는 하천의 3대 기능(치수, 이수, 하천환경)에 대한 기후변화에 따른 수자원 적응전략을 위해 치수(1세부과제), 이수(2세부과제), 하천환경을 포함한 유역관리 적응기술(3세부과제)로 구분하였으며, 특히 최근 강조되고 있는 기후변화에 따른 수자원산업의 해외진출을 위한 기반구축을 위해 수자원산업 적응기술(4세부과제)로 구분하였다.

제1세부과제는 기후변화에 대응하기 위한 홍수기준을 설정하는 기술로 이를 위해서는 극한홍수에 대한 AR5 시나리오 생산 및 평가(1-1과제), 홍

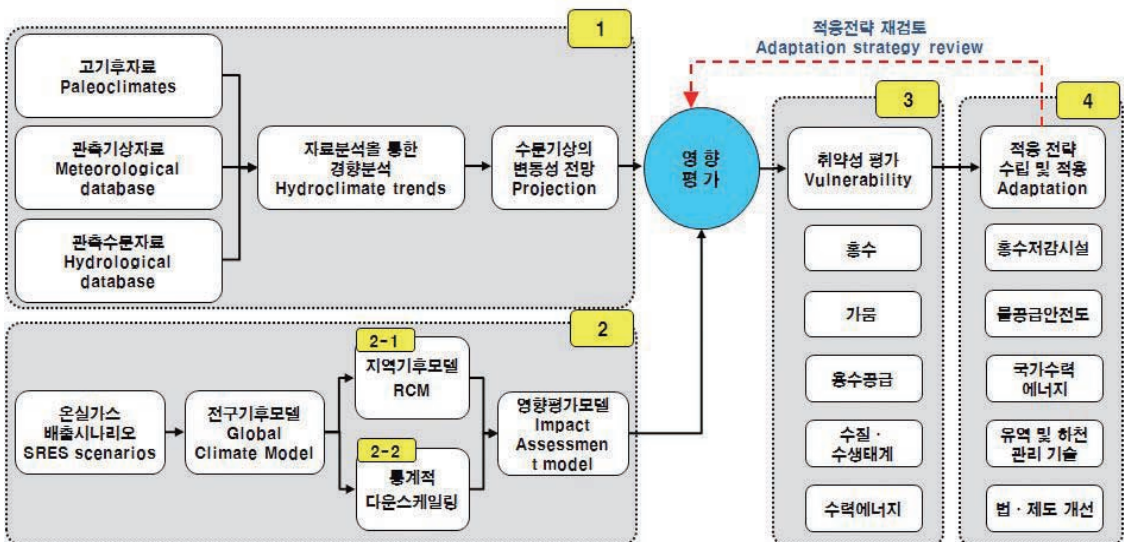


그림 2. 기후변화에 따른 수자원 영향, 취약성, 적응전략 수립 체계



그림 3. 분야별 요소기술의 우선순위 결정을 통한 세세부과제 도출

수에 따른 취약성 평가를 통해 하천설계기준 재설정 여부(1-2과제), 취약성 평가를 통한 홍수 적응 대책으로 댐(1-3과제) 및 댐을 제외한 하천시설물 적응대책(1-4과제)으로 구성하였다.

제2세부과제는 기후변화에 적응하기 위한 안정적 용수수급기술을 개발하는 것으로 AR5 기반의 MME 기후시나리오 및 수문시나리오 생산(2-1과제), 기후변화의 영향을 수자원장기종합계획에 반영하기 위한 물수지분석 기술(2-2과제), 기후변화에 따른 이수목적의 댐운영기술(2-3과제) 및 기후변화에 따른 극한 물부족(가뭄)을 위한 비상대처계획 수립(2-4과제)으로 구성하였다. 이수목적의 기후변화 영향(2-1과제), 취약성(2-2과제), 적응대책(2-3과제, 2-4과제)으로 구성하여 기후변화의 영향, 취약성 및 적응전략이 일관성있게 도출되도록 구성하였다.

제3세부과제는 제1, 2세부과제에서 기후변화에 따른 치수 및 이수 적응전략(인간중심의 홍수방어 및 물이용 계획)이 수립되었을 때 과연 기후변화에 따라 유역건전성이 확보될 수 있는지에 대한 기술개발(유역환경중심의 지속가능한 건전성 확보)이며, 이를 위해 기후변화에 따른 유역건전성 평가기술(3-1과제), IT 기반포함 이수, 치수, 유역환경 취약성평가 시스템개발(3-2과제), 기후변화에 따른 유역적응기술(3-3과제, 3-4과제)로 구성하였다.

제4세부과제는 기후변화에 따른 수자원산업 기반 구축 및 해외시장 진출을 위해 교역국 및 자국의 경제나 수자원산업에 미치는 영향을 평가하기 위한 전지구 수문모형 구축(4-1과제), 기후변화 적응 국가 수자원 안보전

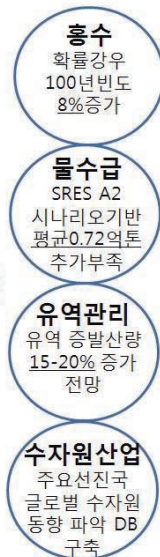
략을 위한 한반도 수자원 변동평가 기술(4-2과제), FTA 등 국제 환경 변화를 고려한 물교역 및 가상수 분석기술(4-3과제), 기후변화에 따른 경제적 영향을 정량적으로 평가하기 위한 수자원 가치평가 기술(4-4과제)로 구성하였다. 도출된 세부과제별 추진전략을 수립하고 정책적·기술적·경제적 사전타당성을 종합적으로 검토하여 “기후변화 시나리오에 따른 수자원 적응전략 수립 연구”체계를 구축하였다.

이 기획연구가 추진되는 경우에 경제적 타당성(그림 4, 2020년 목표)으로서 ‘수자원장기종합계획’에서 홍수안전도 4등급이하의 하천비율을 20% 이하로 낮추는 목표달성을 위하여 기후변화에 의한 확률강우량 8% 증가를 상쇄시킬 수 있도록 하고, ‘수자원장기종합계획’에서 기준 수요시 최대 4.6억톤의 용수공급 부족을 채우는 목표달성을 위하여 기후변화에 의한 물부족 0.72억톤을 고려한 계획수립 및 시설투자를 하고, 기후변화에 의한 유역 증발산량 15-20% 증가 등으로 진행될 하천건천화 현상을 최소화하기 위하여 유역의 수자원 부

수자원장기종합계획
2020수장기계획



‘기후변화에 의한 수문영향
분석과 전망 연구단’ 결과



본 기획연구의 적응기술
적용 예상결과



그림 4. 기획의 경제적 타당성

존량을 5% 증가시킬 수 있도록 하고, 기후변화에 의한 한반도 물안보 및 국제 물거래시장 준비를 위하여 수자원산업 통계 및 모델링기반을 80% 수준으로 구축하도록 제안하였다 (미래 기후변화 전망은 ‘기후변화에 의한 수문 영향분석과 전망연구단’ 결과임).

5. 요약

기후변화-수자원 적응과제들의 성공적인 수행과 결과물의 활용을 위해서는 안전행정부, 환경부, 농림축산식품부 등 물관련 정부부처간의 긴밀한 협조체계가 이루어져야 할 것이다. 이를 위해서는 ①안전행정부의 재난관련 방재패러다임 전환 및 위기관리 체계강화를 위한 추진과제(자연재해 지자체 방재시스템), ②환경부의 기후변화에 따른 물

환경관리 대책 추진과제(비점오염, 수질, 수생태, 습지), ③농림축산식품부의 농업수자원 및 산림자원 확보 추진과제(농업용수, 산림재해) 등의 진행 상황 및 결과의 공유체계 및 공동활용을 위한 채널 구축이 필요하다.

포럼에서의 의견으로서, 타분야 특히 산업일선에서는 이미 기후변화에 따른 적응정책과 더불어 관련기술의 개발이 진행되어 우리 수자원분야는 많이 늦은 감이 있다는 지적, 그리고 제시된 기획과제 중에서 제4세부과제인 수자원의 가치를 평가하는 기술개발이 매우 중요하다는 언급이 많았다. 이에 저자들은 수자원의 가치를 높이기 위해서는 농업 그리고 에너지 분야의 전문가들과의 협력연구(Water-Food-Energy Nexus)를 통하여 세 분야의 통계기반, 정보공유, 융합가치 등의 제반연구는 매우 중요한 미래과제라고 강조하였다. 🌊

참고문헌

1. 교육과학기술부(2011)『기후변화에 의한 국가 수자원 영향 분석 및 평가체계 적용』수자원의 지속적 확보기술개발 사업, 21세기 프론티어 연구사업
2. 국토해양부·중앙하천관리위원회(2010)『기후변화 대응 미래 수자원 전략』
3. 한국건설교통기술평가원(2012)『건설교통기술연구개발사업 중장기계획수립 연구 Part1: 물관리연구』, 대한토목학회
4. 환경부(2010)『국가 기후변화 적응대책(2011-2015)』
5. 한국환경정책평가연구원 (2010)『지자체 기후변화 적응대책 세부시행 계획 수립 매뉴얼』, 한국환경정책평가연구원
6. Bae, D.H., Jung, I.W., Lettenmaier, D.P. (2011) Hydrologic Uncertainties in Climate Change from IPCC AR4 GCM Simulation of the Chungju Basin, Korea, Journal of Hydrology, 401.
7. Defra (2010) Climate Change-Taking Action, Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK.

8. ECA (2009) Shaping climate-resilient development
9. IPCC (2007) IPCC 4th Assessment Report
10. Jung, I.W., Bae, D.H., Lee, B.J. (2012) Possible changes in Korean streamflow seasonality based on multi-model climate projections, Hydrological process
11. UNDP (2005) Adaptation policy frameworks for climate change: Developing strategies, policies, and measures, Cambridge University Press, USA
12. UNFCCC (1992) United Nations Framework convention on climate change
13. UNFCCC (2006) Technologies for adaptation to climate change
14. <http://cal-adapt.org/>
15. <http://www.nrcan.gc.ca/>
16. <http://www.climatechange.gov.au/>
17. <http://www.earthobservations.org/>