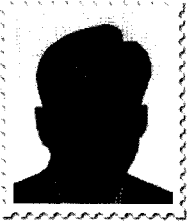


수자원분야 기후변화 영향평가 및 적응기술 현황



박진혁

한국수자원공사 K-water 연구원 책임연구원

park5103@kwater.or.kr

1. 서론

전 세계적으로 지구온난화로 인한 기후변화로 기상이변이 자주 발생하고 있으며 이로 인한 태풍, 홍수, 가뭄 등의 기상재해가 급격히 증가하고 있다. 국외에서는 '93년 미국 미시시피강 대홍수와 '98년 중국의 양쯔강 대홍수에 이어 '02년에는 유럽에서 '04년에는 일본에서 대홍수로 인한 범람이 발생하여 인명 및 재산피해가 발생하였고, 우리나라에서는 '90년에 남한강 유역을 중심으로 '96년과 '98년에는 경기 및 강원북부 지역을 중심으로 '06년에는 한강유역을 중심으로 태풍 및 홍수로 인한 집중호우로 범람에 직면한 경험이 있다. 특히, 최근 들어 기후변화로 인한 강우사상의 변화로 국지적으로 돌발홍수의 발생빈도가 증가하고 있으며, 향후에도 강우강도의 증가 및 강우지속시간 등의 변화로 극한홍수의 발생에 따른 재난발생 가

능성은 점차적으로 증가할 것으로 전망되고 있다. 기후변화에 의한 강수량과 강우강도의 증가는 댐 및 하천시설물 설계에 가장 중요한 고려사항인 수문사상에 막대한 영향을 미치게 되기 때문에 향후 수공 관련 기반시설물을 계획하고 설계하는 전문가들에게 기후변화는 당연히 고려해야 할 사항이 되고 있다. 즉, 지금까지 적용해 왔던 최적설계 방식보다는 극한 조건에 대응할 수 있는 선택적 대응이 가능하도록 차별화된 설계방식으로 전환할 필요가 있다. 장기간의 강우로 인한 유출량의 증가는 국지적인 문제가 아니라 대유역을 중심으로 댐 및 하천제방을 포함한 수공구조물의 치수안전도에 심각한 지장을 초래할 것이며, 향후 기후변화와 기상이변 등을 고려한 방재대책이 수립되지 않는다면 막대한 피해가 향후에도 지속적으로 반복될 것이므로 이를 고려한 홍수방재대책의 수립이 절실한 실정이다.

기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)에서 발표한 제4차 평가보고서에 의하면 지구온난화에 따른 기후변화는 자연적 요인이 아닌 인간의 활동에 의한 것이라고 확신하며 온실가스 배출량 감축위주의 완화대책(mitigation measure)과 함께 다양한 적응대책(adaptation measure)의 필요성을 강조하였다. 이는 온실가스 배출량 감축을 목표로 하는 완화대책이 성공하더라도 기후의 특성 때문에 앞으로 수세기동안 지구온난화는 계속될 수밖에 없을 것이라는 사실 때문이다. 기후변화 영향을 받는 여러 부문 중 특히 수자원부문은 가장 취약한 부문 중의 하나로 강수와 유출현상에 심각한 영향을 미치게 되며 이로 인해 홍수 및 가뭄 등 물관련 재해의 규모가 크게 증대될 것으로 예상된다. 이와 같이 기후변화는 안정적인 물공급을 위한 수자원 계획 수립의 불확실성을 증대시키고 홍수나 가뭄 등과 같은 극심한 자연재해의 대비책 마련에 어려움을 가중시키고 있어 기후변화에 따른 수자원의 변동성을 정량적으로 평가하여 국가 수자원계획수립에 반영해야 할 필요성이 커지고 있다. 그러나 국내 기후변화 적응대책 수립에서 수자원문제는 적절하게 다루어지지 못하고 있고, 또한 수자원의 해석 및 관리, 정책 수립 등에

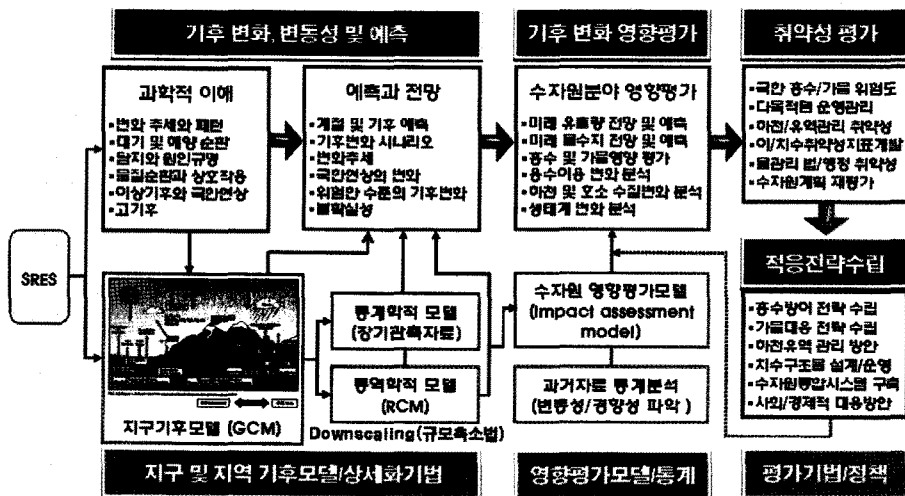
제대로 반영되지 못하고 있는 것이 현실이다.

본고에서는 수자원분야를 중심으로 기후변화관련 국내외 최신 연구동향 및 사례를 살펴보고 기후변화 영향평가 및 적응기술의 정의 및 현황, 그리고 K-water 연구원에서 추진한 수자원분야 기후변화 R&D 마스터플랜을 소개하고자 한다.

2. 국내외 기술 동향

2.1 국내 동향

국내에서 기후변화에 대해 연구를 시작한 시기는 1990년대 중반으로 미래의 기후변화를 전망하고 그에 따른 영향분석이 대부분이었으나, 2000년대부터 전문가들의 관심이 증가하면서 수자원분야 기후변화 적응전략에 대한 연구가 산발적으로 시작되었다. 하지만 지금까지 국내 기후변화 연구들은 각기 다른 배출 시나리오, GCM, 수문모형, 상세화 기법을 사용하여 동일유역이라 하더라도 매우 다른 결과들을 제시하고 있어 관련정책에 적용되지 못하고 연구에만 그치고 있는 실정이다. 이처럼 수자원분야에서의 기후변화 연구는 아직까지 연구차원에서 분석을 하



(그림 1) 기후변화 연구 일반적 연구 흐름

는 경우가 대부분이며, 기존 연구결과는 아직 수자원장기 종합계획 등 정부계획에는 정책으로 반영하기 곤란한 학술적 연구 성과에 그치고 있다.

기후변화가 우리나라의 수자원에 미치는 영향 평가에 대한 연구는 아직까지 기후변화 시나리오기반에 국한되어 있으며, 과거 자료의 통계적 분석을 통한 중단기 수문 순환 예측연구는 미진한 실정이다. 국내에서 사용되고 있는 GCM결과에 의한 기후변화 관련 연구는 시공간적 해상도의 한계로 인하여 사상 중심으로 평가가 이루어져야 하는 홍수에 대한 평가 자체가 어렵고 유역별 강우모의 기술개발이 부족한 실정이다. 또한 엘니뇨/라니냐 현상 등과 관련해서 홍수 및 가뭄과의 상관관계 분석정도가 이루어지고 있으나 과거 관측 수문자료와 기후변화 변동성과의 관련 연구와 중단기 유역별 기후자료 작용 관련 연구는 거의 초기단계에 있는 것으로 사료된다. 최근 비정상성 빈도해석법의 개발을 위하여 국외의 전지구모형 및 시나리오를 활용한 연구와 통계적 기법을 활용한 연구가 활발히 진행되고 있으나 국내 실정에 적합한 전 지구모형 및 시나리오가 없는 시점에서 연구결과와 불확실성이 큰 실정이다. 최근 들어 한국건설교통기술평가원에서 발주한 “기후변화에 의한 수문영향 분석과 전망기술” 과제에서 각 분야별 세부 취약성 평가 및 적응전략 연구가 초기 단계에서 수행 중에 있다.

2.2 해외 동향

기후변화가 수문현상에 미치는 영향에 대한 국외 선진국의 연구는 1970년대 후반 수자원분야에서 기후변화로 인한 비정상성을 연구하는 논문이 발표되었고, 1980년대 이후 급속히 진행되어 현재 대기, 수자원, 농업, 생태계, 해양, 보건 위생, 환경, 사회 경제 등 다양한 분야에 걸쳐 이루어지고 있다. 특히 미국, 영국 등 일부 선진국은 수자원의 기후변화에 의한 취약성 평가를 홍수, 용수공급, 가뭄, 유지용수, 하천생태, 수질 등 수자원의 제반 분야별로 실시하고 결과를 제시하여 적응대책 마련에 활용하고 있

다. 유역 모형 또한 기존의 모형을 그대로 적용하는 것에 벗어나, 보다 기후 변화에 의한 영향을 잘 평가할 수 있는 방향으로 기존의 모형을 수정·보완하여 적용하려는 시도가 이루어지고 있다. 일부 선진국들은 기후변화가 수자원 관리에 미치는 영향을 인식하고 기후변화 영향평가를 실시하였으며 기후변화에 대응하여 수자원관리를 위한 적응대책 수립에도 착수하고 있다. 미국, 일본, 호주 및 영국에서는 기후변화로 인한 영향평가를 기후 및 수자원 관련 국책연구기관이 선도하고 있으며, 대학에서는 기후 예측에 필요한 이론적 연구가 활성화되고 있다. 미국의 경우 미공병단의 수문공학센터(HEC), 지질조사국(USGS), 미기상청의 수문정보센터(NWS), 미농무성(USDA) 등에서 가뭄 및 홍수에 대한 예측기법을 지속적으로 연구하고 있으며 현재 범용화된 많은 소프트웨어를 개발하고 있다. GIS, 위성 등을 이용한 가뭄 및 홍수관리는 물론 예측기술이 이미 실용화되어 있다. 영국의 경우 기후변화와 관련하여 가장 활발하게 연구를 진행하고 있는 국가로서 Tyndall centre와 Newcastle대학을 중심으로 기후변화가 수자원에 미치는 영향에 대해서 활발히 연구를 진행하고 있다. 2005년도에 영국에서 개발한 HadRMS, HadRM3H를 이용하여 기후변화에 빈도별 강우량의 변화량 산정에 대한 연구논문을 발표하였으며, 기후변화가 극한 강수량에 미치는 영향을 평가하기 위해서 유럽을 대상으로 모의된 6개의 RCMs를 이용하여 분석을 진행하였고 각각의 RCMs들은 동일한 GCMs들로부터 앙상블기법에 의해서 생성된 결과들을 경계조건으로 하여 각각 모의하였다. 일본 국토교통성은 기후변화로 인해 예상되는 홍수피해를 대응하기 위해 하도 개수나 홍수 조절 시설의 정비 등을 기본으로 하는 치수정책에 중점을 두고 있으며, 일본 동경대학 기후시스템연구센터에서는 기온상승에 대한 예측과 해빙과 해수팽창으로 인한 해수면 상승, 집중호우 발생 등을 포함한 지구온난화현상에 대한 예측을 연구하고 있다.

3. 기후변화 영향평가 및 적응 물관리 기술

3.1 기후변화 영향평가 기술

기후변화 영향평가기술이란 주어진 시나리오 하에서 기후변화의 가능한 영향을 추정하여, 기후위험의 결과로 발생하는 모든 취약성을 줄이기 위한 적응이나 완화의 필요를 평가할 수 있는 기술로 정의할 수 있다.

○기후변화 모니터링 기술

: 유역단위의 기상 및 수문학적 현상에 대한 모니터링, 국가 수자원시설물 관리체계 구축을 위한 모니터링, 수질, 토사유출량, 수로형상 등의 모니터링, 댐상하류 하천 현황 실시간 모니터링, 하천생태계 변화 및 생태 모니터링, 가뭄 및 홍수 등의 재해상황 모니터링

○유역기반 미래 기후변화 시나리오 생산 및 전망 기술

: 과거자료 분석을 통한 기후변화 현황 파악, 전지구 기후모델과 시나리오 설정, 불확실성 저감 기술, 해상도 높은 기후변화 시나리오 생산 기술, 유역규모의 맞춤형 시나리오 산출

○기후변화에 따른 물관리 부문 영향 및 취약성 평가 기술

: 각 부문별 취약성 평가지표 설정, 기후변화 시나리오와 접목하여 수문수자원영향 및 취약성 예측기법 개발, 각 부문별 영향평가 모델 확립 및 평가도구 개발, 기후 변화에 따른 홍수 위험도 및 가뭄영향 평가

○기후변화에 따른 물관리 부문 환경변화 분석 기술

: 각 부문별 영향인자의 현황 파악을 위한 현장조사, 기후변화 시나리오 및 수문수자원 영향평가 모델과 접목하여 수자원 환경변화 분석기술 개발

3.2 기후변화 적응 기술

기후변화 적응기술이란 기후변화로 인한 악영향의 취약성을 줄이는데 기여하고, 위험과 영향을 최소화하는 방향으로 관리할 수 있는 제반기술 및 기법으로 정의할 수

있다.

○국가적인 차원에서의 홍수방어기술 및 수자원 위기 관리계획 수립 (치수분야)

: 선진화된 홍수에측능력 향상 기술, 수공구조물 붕괴에 따른 극한 홍수 대응 및 관리기술, 이상홍수 대응 치수구조물의 첨단설계 및 운영 기술 개발

○기후변화에 대비한 수자원 계획수립 및 안정적 용수 공급을 위한 적응기술 (이수분야)

: 수자원 이용 극대화 및 유역-하천 물수급 평가기술, 용수이용 변화 분석 및 물수요 전망기술

○수질오염물질과 비점오염원 관리강화 기술, 생태하천 복원기술 (수질 및 생태 분야)

: 유역 및 하천수질 관리기법 개발, 수생태계 교란요인 분석시스템 개발

○IT/ST기반 조사 및 시스템 구축 기술 (정보화분야)

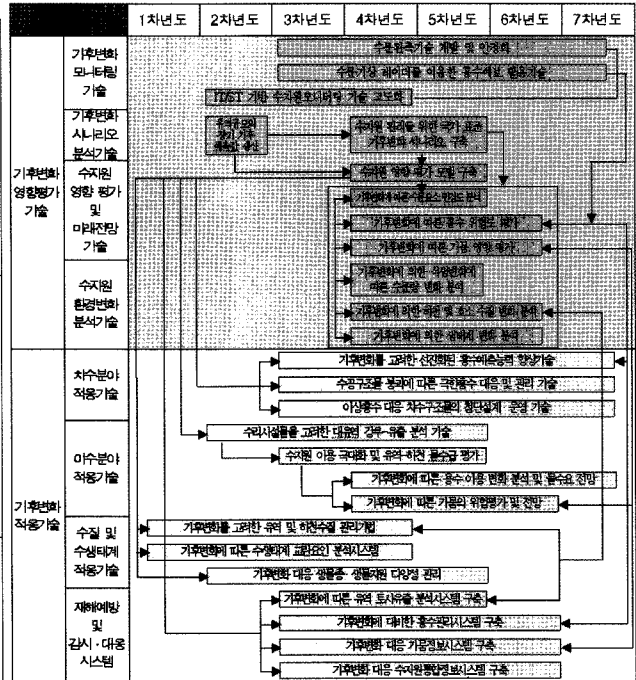
: 수자원 통합정보시스템 구축, 홍수관리 및 가뭄정보 시스템 구축

4. K-water연구원 기후변화 중장기R&D 로드맵

4.1 R&D 추진과제

기후변화와 관련된 연구는 녹색성장과 더불어 국가적으로도 많은 예산을 들여 연구를 추진 중에 있다. 정부에서는 기후변화 위기를 새로운 성장동력 창출 기회로 전환하기 위해 2009년에 기후변화 대응 R&D마스터플랜을 수립한 바 있으며, 여기에는 신성장동력 확보를 위한 소화기술 개발, 혁신적 온실가스 감축기술의 조기 확보 및 기후변화 과학연구 지원 등 3대 전략을 제시하고 있다. 한편, K-water연구원에서 기후변화에 대응한 중장기적인 물관리기술 개발을 위한 연구의 필요성을 인식해서 기후변화 영향평가 기술 분야, 적응 기술 분야, 완화 기술 분야로 단계별로 추진하는 기후변화 R&D로드맵을 2010년에 수립한 바 있다. 이러한 R&D 마스터플랜의 일환으로

기후변화 대응 물관리 기술		
기후변화 영향평가 기술	기후변화 모니터링 기술	1. 수문관측기술 개발 및 인정화 2. 수문기상 데이터를 이용한 홍수에보 활용기술 3. IT/ST 기반 수자원모니터링 기술 고도화*
	기후변화 시나리오 분석 기술	1. 기후변화 시나리오에 따른 유역규모의 장기 기후 예측값 생산 2. 수자원 관리에 위한 국가 표준 기후변화 시나리오 구축
	수자원 영향 평가 및 미래예측 기술	1. 기후변화에 따른 수자원 영향 평가 모델 구축 2. 기후변화에 따른 수문요소 민감도 분석 3. 기후변화에 따른 홍수 위험도 평가 4. 기후변화에 따른 가용 영향 평가
	수자원 환경변화 분석 기술	1. 기후변화에 의한 식생변화에 따른 수문량 변화 분석 2. 기후변화에 의한 하천 및 호수 수질 변화 분석 3. 기후변화에 의한 생태계 변화 분석
기후변화 적응기술	치수분야 적응 기술	1. 기후변화를 고려한 선진화된 홍수예측능력 향상기술 2. 수문구조물 붕괴에 따른 국민홍수 대응 및 관리 기술 3. 이상홍수 대응 치수구조물의 첨단설계, 운영 기술 1. 수리시설물을 고려한 대유역 강우-유출 분석 기술
	이수분야 적응 기술	2. 수자원 이용 극대화 및 유역-하천 홍수급 평가 3. 기후변화에 따른 용수 이용 변화 분석 및 용수요 전망 4. 기후변화에 따른 가용의 위험평가 및 전망
	수질 및 수생태계 적응 기술	1. 기후변화를 고려한 유역 및 하천수질 관리기술 2. 기후변화에 따른 수생태계 건강한 분석시스템 3. 기후변화 대응 생물종 생존지원 다양성 관리
	저해에방 및 감시 대응 시스템	1. 기후변화에 따른 유역 토사유출 분석시스템 구축 2. 기후변화에 대비한 홍수관리시스템 구축 3. 기후변화 대응 가용정보시스템 구축 4. 기후변화 대응 수자원통합정보시스템 구축
기후변화 완화기술	신재생에너지 개발	1. 조력발전 운영관리 기술 확보 2. 수자원을 활용한 태양광 발전 적응기술 개발 3. 수자원을 활용한 열저장 활용기술 개발
	에너지 효율화 기술	1. 차세대 용수 공급시스템 구축 2. 저에너지 지능형 차세대 고효율수처리장설계 개발 3. 에너지 저밀형 하수처리장의 운영 및 운영관리 기술
	기후변화 관련 정책 및 제도 개발	1. 기후변화가 물관리에 미치는 사회경제적 영향평가



K-water 연구원에서는 국가적으로 추진되고 있는 수자원분야의 기후변화 연구 성과를 최대한 활용하여 K-water 업무영역에 특성화되고 정량적인 방법으로 불확실성을 최소화하고, 연구방법론을 표준화하여 K-water 내 기후변화 적응연구 및 맞춤형 전략 수립에 활용하기 위한 연구과제(미래물관리를 위한 기후변화 대응방안 도출연구)가 금강유역을 대상으로 수행 중에 있다.

4.2 기술로드맵

5. 결론 및 제언

기후변화로 인한 Risk를 줄이기 위해서는 크게 지구온난화의 원인인 온실가스를 감축하기 위한 완화대책과 지구온난화의 지속화에 따른 재해에 대한 대응방안을 마련하는 적응대책이 동시에 필요하다. 아직 우리나라에서는 90% 이상이 완화대책에 치우치는 경향이 있는데 적응대책이 완화대책만큼 중요하다는 점은 이미 국제사회에서

의 공통된 인식이고, 이에 따라 현실적이고 효과적인 적응대책에 대한 기본적인 인식의 전환이 필요한 시점이다.

현재 국내 기후변화 관련 기술개발 체계가 미흡하고, 연구개발의 효율성 저하 및 활용도 저조로 정량화에 기반을 둔 기후변화 영향을 정확하게 평가하고 미래를 전망해서 적응전략을 수립하는데 한계를 가지고 있었다. 따라서 기후변화 모니터링 시스템을 고도화하고, 정량화된 연구 체계화를 통하여 기후변화를 불확실성을 해소하고 적극적인 공학적·관리적 대안을 도출하여 장기계획을 개선할 필요성이 있다. 기후변화 영향평가 및 적응기술은 우리나라 현실에 맞는 국내 독자기술 확보가 필요하며, 민간이 추진하기 어려운 분야이므로 기후변화 요인에 따른 재해 예측 및 영향평가를 실시하고, 위험 유형 및 강도에 따라 정량적인 평가 기술 확보를 우선적으로 추진해야 할 것이다. 이를 위해 한반도 기후변화 평가에 적합한 유출모형과 물수지 모형 등 모형화 기술은 물론 시계열 분석과 극치분석 기술 등이 포함되어야 한다. 또한 맞춤형 시나리오 산출기법을 개발하여 부문별, 지역별 기후변화 영향 및 취약성을

평가하고 기후변화에 적응, 대응 기술을 확보해야 할 것이다. 한편, 기후변화에의 적응을 위한 수자원 부문 대응 대책은 어느 한 부처에서 단독으로 실행하기는 어렵기 때문에 범정부 차원에서 관계부처 공동으로 지역주민과 지자체, 관계기관 등의 이해와 협력 하에 추진되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 국토해양부, "기후변화 대응 미래 수자원 전략안", 2010. 6. 중앙하천관리위원회 기후변화소위원회 보고서.
2. 기상청, 국립기상연구소 홈페이지
3. 소방방재청, "극한홍수 대응방안에 관한 연구", 2009. 연구보고서.
4. 한국수자원공사, "K-water 녹색성장 기후변화 대응 전략 마스터플랜", 2009. 12. 마스터플랜 보고서.
5. 한국수자원공사, "기후변화에 따른 수자원영향평가 및 관리방안 수립 (차년도)", 2009. 7. 물산업핵심분야 연구개발비 지원사업 중간보고서.
6. K-water연구원, "기후변화 대응을 위한 물관리 기술개발 중장기 마스터플랜(안)", 2010. 1. 마스터플랜 보고서.

