



물관리기관의 기후변화 대응 프레임 워크 제안



강민구 |
미래자원연구원 연구위원
kmg1218@gmail.com



박성제 |
미래자원연구원 원장
psungje@gmail.com



박진혁 |
K-water연구원 책임연구원
park5103@kwater.or.kr

1. 서론

사회-경제시스템, 생태계, 가치시스템 등은 상호 작용하면서 복잡하게 얽혀 있기 때문에 전지구적 및 국지적 기후변화의 영향을 파악하고 대책을 수립하기 위해서는 관련 분야들 사이의 인과관계와 피드백을 구명하고 이들 사이의 상호작용을 고려해야 정확하고 합리적인 영향 분석과 미래에 대한 전망이 가능하다. 따라서, 기후변화에 따라 나타나는 시스템들의 반응을 경제, 사회 및 문화, 생태 및 환경, 제도 및 법 등을 포함한 다차원적인 측면에서 예측하고, 이들의 상호작용을 고려하여 발생하는 문제들의 해결 방안을 모색해야 한다. 이와 같은 맥락에서 기후변화로 인한

피해를 저감시키기 위해서는 다차원 평가 결과를 반영하여 재난 위험도를 재설정하고, 이를 달성할 수 있는 효율적인 대책을 수립하여 시행하면서 결과를 모니터링하고 평가하여 적응적으로 대처해야 한다. 또한, 전문가, 이해 관계자, 지역주민들의 기후변화 대응 사업에 대한 적극적인 참여가 필요하며, 이를 합법적으로 보장해줄 수 있는 제도적 장치들이 필요하다. 그리고 기후변화 대응 활동들의 효과를 향상시키기 위해서는 공동의 비전과 목표가 필요하며, 이를 달성하기 위한 프레임워크와 추진전략 및 실행계획이 수립되어야 한다(강민구, 2009). 또한, 실행계획의 효과를 보장할 수 있는 프로그램, 제도, 기술 등을 개발하여 확보해야 하며, 이를 위하여 단계별로 구체적인 세부목표들을 포함하는 기술로드맵이 필요하다.

프레임워크는 복잡한 문제를 해결하기 위해 사용되는 기본 개념 구조로서 문제 해결의 목표 및 목적, 원칙, 방안, 결과의 평가 및 반영 등으로 구성된다. 추진전략은 수립된 비전과 목표를 달성하기 위해 필요한 포괄적인 방법론이며, 이를 구체화시키기 위한 것이 실행계획이다. 마스터플랜은 비전과 목표를 먼저 수립한 후 이를 달성하기 위해 개발된 프레임워크, 추진전략, 실행계획, 기술로드맵 등을 포함한다. 최근 여러 분야에서 미래의 여건변화를 고려하여 문제점들을 해결하거나 필요한 기술들을 효율적으로 확보하기 위한 프레임워크, 추진전략, 실행계획 및 이들을 포함한 마스터플랜들을 개발되고 있다 (ISDR, 2007). 특히, 이와 같은 방법을 사용하는 물관리 분야의 예로는 미국 캘리포니아의 물관리 체제인 칼페드 프로그램(CALFED Program)이 있다. 칼페드 프로그램은 민주적 물관리 거버넌스의 모범적 사례로

알려져 있으며, 연방정부, 주정부, 주요 이해관계자들이 참여하여 수자원과 관련된 사회적 갈등들 해결해오고 있다. 칼페드 프로그램에서는 장기 마스터플랜을 수립하여 관련 정책들을 추진해 오고 있으며, 이해관계자와 정부가 실시간으로 정보를 공유할 수 있도록 하고 급속한 변화에 신속하게 대응할 수 있는 적응형 관리체계를 구축해 오고 있다(한국환경정책평가연구원, 2009). 국내에서도 최근 기후변화로 인해 불확실성이 더욱 커진 수자원 사업을 추진하거나 재난관리를 위해서 마스터플랜을 수립하여 R&D를 수행하거나 대책들을 수립하여 추진하고 있다. 따라서, 관련자들이 협력적으로 과업을 수행하고(하복동, 2006), 지역민, 전문가, 시민단체들의 기후변화에 대한 인식을 향상시켜 관련 프로그램에 대한 적극적인 참여를 유도하기 위해서는 기후변화 대응 프레임워크와 추진전략 및 실행계획의 수립이 절실히 필요하며, 관련 여건들의 변화를 시기적절하게 반영하여 지속적으로 보완할 필요가 있다.

본 기고문에서는 국내 물관리기관들이 기후변화에 협력적이고 효과적으로 대응하기 위해 필요한 프레임워크를 개발한 연구결과를 정리하였다. 프레임워크에는 기후변화 및 여건변화에 대응하기 위해 국제적으로 적용되고 있는 최신 개념들이 효율적이고 체계적으로 융합되어 도입되도록 하였다. 이를 위하여 기후변화 대응과 관련된 국내·외 동향을 분석하였다. 또한, 이들의 효과적인 도입 및 실제 적용을 위한 추진전략과 실행계획을 국내 수자원 관련 정황과 미래를 전망하여 수립하였다.

II. 기후변화 현황 및 전망

2.1 전지구적 기후변화

최근 세계 각지에서 다양한 형태의 대형 재난들이 빈번히 발생하고 있다. 2003년에 프랑스를 포함한 유럽에서 40℃가 넘는 열파로 인해서 약 2만 여명이

사망한 바가 있으며, 2005년 미국 루지애나주 뉴올린즈에서는 허리케인 카트리나로 인해 714 명의 인명피해와 280억 달러에 이르는 재산피해가 발생한 바가 있다. 2007년에는 인도, 방글라데시 등을 비롯한 동아시아 몬순기후대에서 발생한 홍수로 막대한 재산 및 인명 피해가 발생하였다. 또한, 2008년에는 사이클론 "나르기스"에 의해 미얀마에서 10만 명 이상의 사망자 및 실종자가 발생한 바가 있다. 가장 최근인 2010년에는 전지구적으로 많은 기상재해가 발생하였다. 8월에는 파키스탄 북서부 인더스강 유역에서 대규모 홍수가 발생하였으며, 이로 인하여 약 1,600명이 사망한 것으로 조사되었고, 약 1,500만 명의 이재민 발생한 것으로 알려졌다. 계속되는 여름철의 높은 기온으로 인해 북극권에서는 빙하가 녹아 떨어져 내렸으며, 서울시 면적의 약 절반정도인 260 km² 크기의 거대한 빙산이 8월 5일 그린란드의 피터만 빙하에서 떨어져 나와 북극해를 지나 남쪽으로 표류한바가 있다. 이 빙산은 1962년 이후 50년간 관찰된 것 중 최대 규모인 것으로 나타났다. 러시아의 모스크바에서는 역사상 최대 폭서가 발생하였으며, 종전까지 8월 평균기온이 24℃ 정도였으나, 연일 약 38℃에 이르러 130년만의 최고치를 기록하였다. 이로 인해 모스크바에서는 평균 보다 2배 이상 많은 하루 700명 이상의 사망자가 발생하기도 하였다. 또한, 130년 만에 가장 강렬한 열파로 인해 모스크바 일원에서 잦은 산불이 발생한 바가 있다.

전지구적으로 빈번히 발생하고 있는 이와 같이 대형 재난들은 지구 온난화와 기후변화에 의해서 발생하는 것으로 추정되고 있으며, 이의 근거를 찾기 위한 활동들이 미국 국립기상연구소(NCAR), 유럽환경청(EEA), 세계수자원회의(WWC), 기후변화에 관한 정부 간 패널(IPCC) 등과 같은 국제기구에서 추진되고 있다. 최근의 전지구적 기상현상에 대한 분석 자료를 살펴보면, 1906년부터 2005년 까지 지난 100년간 전세계 평균기온이 0.74℃상승하였으며, 1961년부터 2003년 까지 해수면은 연평균 1.8 mm 상승한 것으로 나타났다. 전문가들은 이와 같은 현상의

원인이 산업혁명 이후 증가된 화석연료 사용량과 이로 인한 대기 중 온실가스 농도의 증가인 것으로 판단하고 있다. 이는 온실가스 농도의 증가로 인해 지구온난화가 가속되었다는 것으로 의미하며, 온실가스 배출량이 1970년대에 비해 2004년에 약 70%가 증가한 것과 CO₂ 농도가 산업혁명이전에 280 ppm에서 2005년 379 ppm으로 증가한 것은 인간의 활동에 의해 지구온난화가 가속되었다는 것을 뒷받침해 준다. IPCC에서 2007년에 발표한 제 4차 평가보고서에서는 기후변화가 자연적인 요인에 의한 것 보다는 인간이 만들어내는 공해물질과 온실가스에 더욱 더 기인하고 있다고 보고되었다. 또한, 이 보고서에서는 기후변화가 자연적 요인과 인류 발생적 요인에 의해 최고 기온과 최저 기온이 상승하여 기존의 기후패턴에서 새로운 기후패턴으로 변하는 것이라고 정의하였다. 기후변동성은 기온, 강수량 등과 같은 기후변수들의 변동이 심화되어 분산이 커지고 평균값이 변하는 것을 의미한다. 이와 달리, 기후변화는 기후변수의 분산은 크게 변하지는 않고 평균값, 최고값 및 최저값이 증가하거나 감소하여 이동하는 현상을 의미한다. 이 보고서에서 화석연료의 대량소비가 지속될 경우, 21세기 말에 지구온난화가 가속화되고 홍수, 가뭄, 태풍, 열파, 폭설 등과 같은 대형 자연재해가 보다 빈번히 발생할 것이라고 전망하였다. 또한, 이와 같은 지구 온난화의 영향을 저감하기 위해서는 CO₂ 농도를 550 ppm이하로 억제할 필요가 있다고 보고되었다(IPCC, 2007).

2.2 한반도 기후변화

국립기상연구소의 연구결과에 의하면 1912년부터 2008년 까지 약 100년간 서울, 인천, 강릉, 대구, 목포, 부산 등과 같은 6개 관측지점에서 측정한 평균기온은 약 1.7℃ 상승하였으며, 이는 전지구 평균기온 상승률은 0.74℃ 보다 약 2배 이상 높은 값이다. 기온상승의 약 20~30%는 도시화의 효과인 것으로 추정되고 있다(국립기상연구소, 2009). 또한, 1912년부

터 2008년 까지 약 100년간 서울, 인천, 강릉, 대구, 목포, 부산 등과 같은 6개 관측지점에서 측정한 연평균 강수량은 최소 712 mm, 최대 1,929 mm로 변동성이 매우 큰 것으로 나타났다. 또한, 최근 10년 간의 연평균 강수량이 20세기 초반 10년간의 것에 비해 약 19% 정도 증가한 것으로 나타났다. 연강수량은 7~8월의 여름철에 집중하며, 태백산맥 주변 지역에서 집중호우의 강도가 상대적으로 크게 나타났다. 겨울철에는 지구온난화의 영향으로 강설에서 강우로 나타나는 비율이 점차 증가하는 경향을 나타내고 있다. 1920년대와 1990년대의 국내 남부지방의 강수패턴을 비교해 보면, 연강수량은 7% 증가하였으며, 강우일수는 14% 감소하여 강우강도는 약 18% 증가한 것으로 나타났다. 1954년부터 2003년의 국내 남부지방의 강수자료를 분석한 결과, 연 강수일수는 감소하였으나 연 강수량은 증가하고 강우강도가 증가하였다. 또한, 1일 100mm 이상 집중호우 발생빈도를 살펴보면, 1999~2008년에 385회로 1970~1980년에 발생한 221회 보다 1.7배 증가하였으며, 이는 집중호우로 인한 홍수가 보다 빈번히 발생하고 있음을 나타낸다.

동아시아 지역에서는 21세기 말엽에 평균기온이 20세기 말엽의 것 보다 약 2.7~4.3℃ 상승할 것으로 전망된다. 또한, 이 지역의 강수량은 약 3.9~5.2% 증가할 것으로 전망된다. A1B 시나리오를 적용하여 21세기 말엽의 동아시아지역을 지나는 태풍의 변화를 전망한 결과, 발생빈도는 약 21% 정도 감소하나 한반도에 영향을 미치는 태풍의 수는 변화가 없을 것으로 전망된다. 그러나 한반도로 접근하는 태풍의 강도는 더욱 강해질 것이며, 이는 강수량에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 지구 온난화는 동아시아 내륙 지역의 기온을 상승시켜 겨울 몬순을 약화시키고 여름 몬순을 강화시켜 여름철 강수량과 강우강도가 증가하고 강수빈도는 감소할 것으로 전망된다(국립기상연구소, 2009). 국립기상연구소(2009)에서는 IPCC 4차 평가보고서 작성을 위해 동아시아에 대한 지구 온난화 실험을 실시하여 제출한 바가 있으며, 21세기

말에 동아시아의 평균 기온은 B1, A1B, A2 시나리오 별로 1.8℃, 2.6℃, 3.0℃ 증가하고, 강수량은 2~3% 증가할 것으로 전망하였다. A1B 시나리오를 사용하여 실험한 결과, 한반도의 21세기 말 기온은 4.0℃ 상승, 강수량은 16% 증가할 것으로 전망되었다.

한반도에서도 전지구 및 국지적인 기후변화에 의해 다양한 분야에서 많은 영향을 받을 것으로 예측되고 있다. 특히, 농업 분야에서는 수확량 감소가 예상되며, 수자원 및 환경 분야에서는 강수량 및 수문순환의 불확실성이 증가하여 수자원 개발과 운영에 많은 문제들을 야기할 것으로 예상된다. 가뭄 및 홍수와 같은 자연재해가 빈번히 발생하고 피해규모가 커질 것이며, 하천 수질 및 생태계의 훼손 및 관리의 어려움이 발생할 것으로 예측되고 있다. 기후변화가 국내 수자원분야에 미치는 영향은 한국환경정책평가연구원(2007)이 지표접근법을 사용하여 기후변화에 따른 국내의 홍수와 가뭄의 취약성을 전망하여 평가한 바가 있다. 유역별 유출량을 모의하기 위한 유출모형으로 PRMS 모형을 사용하였으며, 유역별로 A2 기후변화 시나리오를 사용하여 1971~2000년에 대한 2011~2040년과 2051~2080년의 금강수계 홍수피해와 가뭄피해의 취약성을 전망하였다. 금강수계의 홍수피해 취약성을 평가한 결과, 대부분의 유역이 홍수피해에 취약한 것으로 나타났으며, 2011~2040년 보다 2051~2080년에 피해가 더욱 증가될 것으로 전망되었다. 금강수계의 가뭄피해 취약성을 평가한 결과, 2011~2040년에 전체유역 중 9개 유역에서 가뭄피해에 대한 취약성이 증가할 것으로 전망되었으며, 2051~2080년에는 전체유역 중 10개 유역만이 가뭄피해 취약성이 증가할 것으로 전망되었다.

III. 기후변화 대응 현황

3.1 선진국의 기후변화 대응

가. 영국

영국정부는 기후변화로 인해 강력한 태풍 및 폭우들이 발생할 것으로 전망하고 있으며, 이로 인한 홍수피해를 저감하기 위하여 토지관리, 하천관리, 재해방지시설 등을 강화하고 있다. 영국정부는 기후변화 영향으로 영국 내의 물수요가 2050년에 기준연도(2009년)에 비해 2~4% 증가하고 기상환경이 변하며, 고유생물종의 서식처 소멸할 것으로 전망하였다. 기후변화에 대한 적응과 저감 방안으로 온실가스방출량 감축, 기후변화에 대한 생태계 취약성 저감, 공급회복력 증진, 충분한 정보를 기반으로 하는 의사결정, 중요 인프라시설 보호 등을 제시하였다. 또한, 지속가능한 수자원 계획과 관리를 위해서 가정에서 용수 사용량 절감, 신규 주택 및 건물의 물 효율성 증대, 빗물 집수 및 물의 재이용 증진, 간선 및 공급 파이프의 누수 절감, 물서비스 회사와 규제 인센티브 등을 제안하였으며, 이를 통해서 수자원의 지속적이고 체계적인 관리와 기후변화에 대한 대처를 도모하고 있다. 영국에서는 최근 기후변화와 정보기술 혁신에 대응하기 위하여 행정조직을 개편하였다. 2008년 10월에 에너지기후변화부(Department of Energy and Climate Change, DECC)를 창설하여 기존의 부처들에서 수행하던 에너지 정책부분과 기후변화저감 정책부분을 통합하였다. 환경식량농업부(Department of Environment, Food, and Rural Affairs, DEFRA)의 환경부분의 에너지 그룹을 DECC에 통합시키고, 기후변화사무국과 기후변화프로그램을 그대로 유지하여 기후변화대응부분을 담당하며 DECC와 업무협조 및 정보제공하며 협력을 강화하였다(한국환경정책평가연구원, 2009).

나. 호주

호주정부는 기후변화의 영향을 완화시키기 위하여 온실가스배출량을 2020년까지 2000년의 5~15%, 2050년까지 2000년의 60% 수준까지 저감시키는 계획을 수립하여 추진하고 있다. 이를 달성하기 위하여 2020년까지 재생에너지 비율을 20%까지로 확대시켜 화석에너지 사용량을 저감시키고자 한다. 호주



는 최근 까지 빈번한 가뭄으로부터 많은 피해를 받아 오고 있으며, 이로 인한 유량 부족과 수질 악화는 호주정부가 지속적으로 고민하고 있는 문제들이다. 기후변화에 적응하기 위하여 호주정부는 2008년에 전반적인 적응전략을 개발하여 추진하고 있으며, 이와 같은 가뭄피해가 기후변화로 인해 심화될 것으로 예상하고 10년 동안 13억 달러를 투자하는 "Water for the Future"를 추진하고 있다. 또한, 2007년 12월 호주정부는 총리 및 내각 직속 중앙부처로 기후변화부(Department of Climate Change, DCC)와 연방 정부부처로 환경물관리전통문화부(Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts, DEWHA)를 창설하였다. 세계적인 환경변화와 기후변화 대응 흐름에 국가차원의 관리체계 확립과 대외협력 증진을 위해 정부조직 개편을 실시하였다. DEWHA는 종다양성 그룹, 물 그룹, 예술·문화·전통·남극 그룹, 에너지 및 폐기물 그룹으로 구분되며, 기후변화, 물, 에너지, 환경, 문화·예술 등을 포괄하는 거대부처이다. 특히, 물 그룹은 연방정부의 수자원 및 수질 관련 기능 통합, 주정부의 유역통합 관리를 위한 정책방향 제시, 협력을 통한 정보를 제공한다(한국환경정책평가연구원, 2009).

다. 일본

일본정부는 지구 완난화를 완화시키기 위해 1998년에 "지구온난화 대책의 추진에 관한 법률"을 제정하였으며 2006년에 이를 개정하였다. 최근에는 온실가스배출량을 2020년 까지 2005년 수준의 30%를 감축하고 2050년 까지 2005년 대비 60~80%를 감축할 계획을 발표한 바가 있다. 일본정부는 국토교통성을 중심으로 하여 기후변화에 따른 강우의 극단화 및 이상가뭄 발생 위험 증대에 적응하기 위하여 수자원 정책을 변화시키고 있다. 일본의 2007년 기후변화 대응 R&D 예산은 약 1,933억 엔으로 총 R&D예산의 5.5%를 차지하며, 총리가 의장인 종합과학기술회의의 기후변화대응분과를 통해 기후변화 대응 기술개발 정책을 추진하고 있다. 일본의 주요 기후변화 대응

R&D 프로그램 중 국토교통성에서는 수행하고 있는 과제들 중에는 기후변화에 대한 국토보전대책, 위성정보를 활용한 정보과약 기술, 수문통계해석 방법, 지구 온난화에 의한 일본의 세부기후변화 예측 등이 있다. 또한 문부과학성에서는 지구환경변화 예측을 위한 프로세스 모델 개발, 전지구 및 지역 규모 기후변화 모의 연구를 수행하고 있다. 이와 같은 기초연구들과 함께 여러 기관에서 기후변화에 따른 물순환변화 연구, 자연재해 영향평가, 미래 수재해 위험 저감 등과 관련된 연구들을 진행하고 있다. 또한, 하천정보센터에서는 하천과 유역에 관한 정보를 신속히 제공하고 있으며, 하천유역종합정보시스템을 운영하여 하천 및 유역에 관한 정보를 최첨단 기술을 활용하여 종합적으로 제공하고 있다.

라. 미국

미국정부는 지구 온난화를 완화시키기 위하여 온실가스배출량을 2020년 까지 2005년 수준의 20%까지 감축하는 계획을 수립하여 추진하고 있다. 또한, 2007년에 미국내 대체에너지의 비중을 3%에서 15%로 확대하는 대책을 발표하였으며, 이를 통하여 2017년까지 휘발유 소비량의 20%를 감축하고자 한다. 기후변화에 대한 적응대책들은 미국에서도 초기 단계이다. 기후변화가 물고기, 야생동물, 천연자원, 해양생물 등에 미치는 영향을 저감하기 위한 법안들이 각 주에서 의회에 상정이 되고 있으나 이들은 기후변화에 대응하기 위한 책임과 예산 등을 다루는 수준에 머무르고 있다. 미국의 기후변화와 관련된 R&D는 1990년 이후 대통령 과학자문위원회의의 요구에 따라 전지구변화연구프로그램(US Global Change Research Program, USGCRP)을 중심으로 수행되고 있다. 2008년 미국 R&D예산은 총 1,430억 달러이며, 이중 기후변화 관련 R&D 예산은 73.7억 달러로 전체의 약 5% 수준이다. 기후변화 연구기관 중에서 해양대기관리청(NOAA)은 기후변화과학프로그램(Climatic Change Science Program, CCSP)을 추진하고 있으며, 이 프로그램의 예산은 기후변화 R&D

예산의 약 25 % 정도에 이르고 있다. CCSP에서는 강수측정의 정확도 향상, 기후변화의 장기예측 및 지역규모의 극한사상의 원인 규명, 기후변화에 따른 계절적 물순환 변화 예측 연구, 기후변화가 물의 분포와 질에 미치는 영향 등에 관한 연구 등을 수행하고 있다.

3.2 국내의 기후변화 대응

가. 국내 기후변화 대응 정책

국내에서는 1998년에 국무총리를 위원장으로 하는 "범정부 기후변화 대책기구"가 발족되었으며, 1999년부터 2008년 까지 4차에 걸친 기후변화 종합대책을 수립하여 계속 관련 정책을 추진하고 있다. 특히, 2008년 9월에 국무총리실에서 "기후변화 대응 종합기본계획"을 수립하였으며, 2008년 12월에 13개 관계부처가 참여하여 "국가 기후변화 적응 종합계획"을 수립하여 발표하였고, 2009년 7월에 대통령 직속 녹색성장위원회에서 "녹색성장 국가전략"을 수립하여 발표하였다. 국내에서는 이들 계획을 기반으로 하여 기후변화 완화 및 적응 관련 정책 및 R&D 사업이 추진되고 있다. 이 들 중 "기후변화 대응 종합기본 계획"은 범지구적 기후변화 대응노력에 동참하고 녹색성장을 통한 저탄소사회구현을 비전으로 하고 있으며, 계획의 최종목표는 기후변화 사업을 신성장동력으로 육성, 국민의 삶의 질 제고 및 환경개선, 국제사회의 노력 선도 등이다. "국가 기후변화 적응 종합계획"은 기후변화 적응을 통한 안전사회 구축 및 녹색성장 지원을 비전으로 하고 있으며, 이 계획의 목표는 종합적이고 체계적인 기후변화 적응역량 강화 및 기후변화 위험 감소 및 기회의 실현이다. "녹색성장 국가전략"에서는 2020년대 까지 세계 7대, 2050년 까지 세계 5대 녹색강국 진입을 비전으로 하고 있으며, 이를 달성하기 위하여 기후변화 적응 및 에너지 자립, 신성장 동력 창출, 삶의 질 개선과 국가 위상 강화와 같은 3대 전략을 추진하고 있다. 특히, 기후변화 적응을 위하여 기후 감시, 예측 및 조기대응체계 구축과 국

민 건강관리를 강화하는 방향으로 정책을 추진하고 있다.

나. 국내 기후변화 대응 R&D

국내에서 추진되고 있는 기후변화 R&D는 재난피해를 최소화하기 위한 기후변화 영향 평가 및 적응기술과 수자원 확보를 위한 적응기반기술을 개발하는 방향으로 추진되고 있다. 정부는 2008년 12월에 "기후변화 대응 연구개발 마스터 플랜"을 수립하여 추진하고 있으며, 5년간 국가 R&D 투자규모의 약 7.4 % 정도인 5조원을 투자할 계획이다. 이 계획을 추진하기 위한 추진전략은 ① 신성장동력 확보를 위한 상용화 기술 개발, ② 혁신적 온실가스 감축기술의 조기 확보, ③ 기후변화 과학연구 지원 등이다. 특히, 기후변화 연구 및 적응을 위하여 기후변화 관측 및 예측 연구와 기후변화 영향 평가 및 적응 연구에 지원을 하고 있다. 수자원 분야에서 기후변화 대응과 관련하여 추진되고 있는 R&D 사업으로는 수자원의 지속적 확보기술 개발사업단, 차세대 홍수방어 기술연구단, 이상기후 대비 시설기준 연구단, 예코리버21 연구단, 기후변화에 의한 수문영향분석 및 전망기술 사업단 등이 있다. 이 중에서 기후변화에 의한 수문영향분석 및 전망기술 사업단은 가장 최근에 사업이 시작되었으며, 이 사업의 목표는 수자원 분야에 있어 현재 한반도에서 기후변화의 영향을 정량적으로 평가하고 미래 수자원의 변화와 수자원시스템에 대한 기술적 경제적 영향을 표준화된 방법으로 전망하는 기술을 개발하는 것이다. 이를 위하여 기후변화에 따른 수문변동 전망기술 개발, 기후변화에 의한 극치수문량 전망 기술, 기후변화를 고려한 물순환 및 물수급 정량화 기술 개발, 기후변화를 고려한 경제성 평가 및 수자원 정책 수립 등을 추진하고 있다.

IV. 물관리기관의 기후변화 대응 프레임워크 및 추진전략



4.1 기후변화 대응 프레임워크

본 기고문에서는 국내 물관리 기관들의 현황을 고려하여 기후변화 대응의 효과를 향상시키고 참여자들이 동일한 맥락으로 대책들을 시행하기 위한 구체적인 프레임워크와 이의 실행을 위한 전략 및 실행계획에 대한 연구결과를 정리하였다. 그림 1은 물관리 기관의 기후변화 대응 프레임워크를 나타낸 것이며, 이는 6 단계로 구분된다. 제안된 프레임워크는 기본적으로 적응형 관리의 개념을 도입하였으며, 대상 시스템에 대한 이해가 완벽하게 이루어진 상태에서 적용되는 것이 아니며, “실행하면서 배우다(learning by doing)”라는 개념에 바탕을 두고 있다(PAMRS, 2004; Kang et al., 2010). 기후변화와 같이 불확실성이 큰 영향요인에 대하여 대상시스템의 반응은 아직까지 알려져 있지 않으며, 어느 정도 크기의 극한 기상이 발생할지 알 수 없는 상황이다. 따라서 효과적으로 기후변화에 대응하기 위해서는 다양한 측면에서 대상 시스템에 대한 이해가 필요하므로 대상시스템의 자원, 제도, 거버넌스 등에 대한 평가가 선행되어야 하며, 대상 시스템에 대한 모형을 만들어 시스템의 반응과 정책 및 제도, 사업 등의 실행에 따른 결과의 예측이 반드시 필요하다. 또한, 이러한 과정을 통하여 대상 시스템에 대한 이해를 증진시키며, 계획을 실행하면서 나타나는 결과들을 피드백하여 시스템 파악과 계획의 수정 및 보완을 실시하고, 향후에 보다 나은 의사결정을 할 수 있도록 한다. 이와 같은 과정으로 기후변화 대응 프레임워크가 구성되어 있고, 각 단계에서 이뤄지는 행위들은 다음과 같다. 1 단계는 수계내의 사회-경제시스템, 기후시스템, 생태시스템의 상태 및 정황을 확인하는 것이다. 이들은 상호영향을 미치며, 인과관계와 피드백으로 연결되어 있어 다양한 측면의 수계변화에 직·간접적으로 영향을 미친다. 사회를 지배하는 패러다임의 변화도 수계의 변화를 초래하며, 특히, 가치관 및 패러다임의 변화는 수계를 구성하는 시스템들의 변화의 원인이 된다. 이 단계에서는 대상수계를 사회-문화적 측면, 경

제적 측면, 생태 및 환경적 측면, 법 및 제도적 측면에서 평가한다. 2 단계는 수계의 기후변화에 대한 취약성을 평가하는 단계이다. 1단계에서 이뤄진 평가 결과를 사용하여 수계의 문제점을 보다 세밀하게 파악한다. 본 프레임워크에서는 기후변화에 대한 대상 수계의 취약성을 가뭄, 홍수, 생태 및 환경 측면에서 파악하도록 하였다. 기후변화의 영향에 노출된 대상수계는 시스템의 특성에 따라 상이한 민감도에 따라 반응하며, 시스템의 적응능력에 따라 잔여영향이 남으며, 이들을 고려하여 취약성이 평가된다. 취약성은 발생빈도를 고려하여 위험도로 전환이되며 미리 설정된 기준위험도와 비교하여 만족여부를 결정한다. 3 단계는 사내 관계자들을 확인하고 이들에게 정보를 제공하거나 연결시켜 참여를 유도하는 정보확인 및 적극적 참여 단계이다. 관계자들 사이에는 기후변화 관련 정보로부터 얻어지는 이해득실과 성과때문에 갈등이 있을 수 있으며, 실행되는 행위의 평가기준에 대한 다양한 의견이 있다. 따라서 이들 사이의 갈등을 해결하고 합의를 이뤄 이들이 파트너십을 형성하여 공동의 목표를 달성하도록 종용해야 한다. 이를 위해서는 사내 협력체계가 구축되어야 하며, 공통 비전을 확인하고 이를 달성하기 위한 전략과 기준을 수립하여 대상시스템의 문제를 세부적으로 분석해야 한다. 이와 같은 과정에서 수집된 정보는 확인이 필요하며, 적절한 방법을 통해 해석 및 가공되어야 하며, 관계자들에게 이를 적절한 방법을 통해 제공되어야 한다. 4 단계는 적응계획을 수립하고 구체적인 대책들을 수립하는 적응계획 및 설계 단계이다. 기후변화에 대한 대응계획은 대상 시스템에 대한 완벽한 이해를 바탕으로 실시되는 것이 아니므로 대상 시스템에 대한 모델이 필요하며, 모델 예측의 정확도를 향상시키기 위해서 관측 자료나 분석 자료를 추가하여 모델을 계속해서 업데이트해야 한다. 대상 시스템에 대한 모델링은 대상 시스템에 관련된 요인들의 관계를 파악하고 이들 사이의 상호작용과 인과관계를 수식화하는 것이다. 이러한 모형은 기작의 타당성과 정확성이 평가가 되어야 하며, 모형의 매개변수가 현실성 있는

값이 사용되어야 한다. 개발된 모형을 사용하여 시나리오와 옵션을 개발하기 위해서는 의사결정지원시스템이 필요하다. 의사결정지원시스템에는 대상시스템을 묘사한 모형들이 포함되며, 적절한 시나리오가 구성되면 이에 대한 예측결과를 제공한다. 이와 같은 모형 및 의사결정지원시스템을 사용하여 적응계획을 수립하고 대책들을 설계하며 평가기준을 만족하는 최적의 대책들을 선정한다. 5 단계는 기후변화에 대한 취약성을 저감하기 위한 온실가스 저감책을 계획하고 시행하는 기후변화 완화단계이다. 이 단계에서는 정수장 및 하수처리장, 관망시스템과 같은 수자원 시설물 운영시 발생하는 이산화탄소를 저감하는 방안이나 신재생에너지를 개발하는 사업을 추진한다. 물관리기관에서 배출하는 온실가스량은 적으므로 이 단계에 시행되는 대책들의 효과는 크지 않으나 수자원 및 조력 등을 이용한 신재생에너지의 개발은 향후 큰 관심을 받을 것으로 전망된다. 이 단계에서는 계획 수립 및 설계를 한 후 실행하여 결과를 모니터링하며 평가한다. 6 단계는 계획 및 대책을 실행하고 결과를 모니터링하는 활동 및 능동적 학습 단계이다. 이 단계에

서는 대상 시스템의 문제점을 해결하기 위해서 수립된 전략을 유형화하여 수립된 실행계획을 구체적으로 실행한다. 또한 계획을 실행하는 중에 발생하는 문제를 해결하기 위해서 다양한 시나리오를 개발하고 결과를 분석한다. 대상 시스템의 문제를 해결하기 위해서 실행되는 계획은 정책과 법률 등과 같은 제도를 구체적으로 만들어 실행된다. 실행결과와 모니터링은 3 단계에서 수립된 평가기준에 사용되는 지표들의 변화를 파악하는 것이다. 이를 위해서 대상 시스템의 구성 요소들의 변화를 측정하는 모니터링 시스템을 구축해야 하며, 수집된 자료를 사용하여 적용되고 있는 정책, 법률, 운영 등의 결과에 대한 실효성과 효율성을 분석한다. 수집된 자료들은 데이터베이스에 구축된 자료 세트의 과거 자료들을 업데이트하고 새로운 통계자료와 정보를 생산하는데 사용된다. 모니터링된 자료는 평가에 사용되며, 평가결과를 바탕으로 계획 및 대책을 재검토하고 수정 및 보완한다. 또한, 평가된 결과는 대상 시스템에 대한 이해를 향상시키며, 향후 의사결정에 고려될 수 있도록 한다.

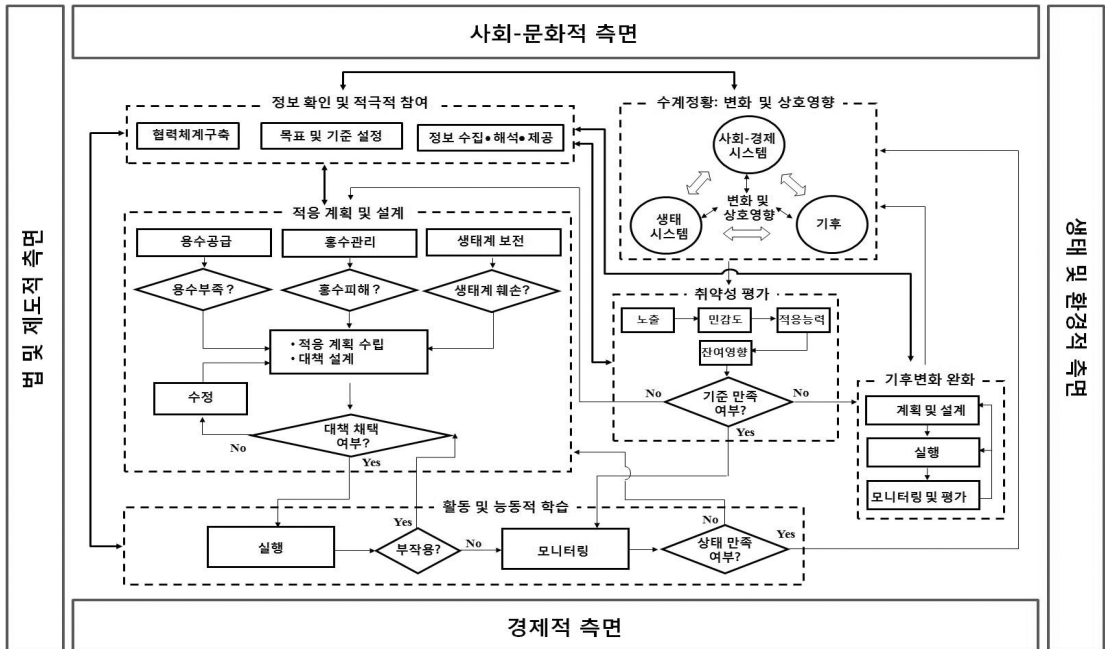


그림 1. 물관리 기관의 기후변화 대응 프레임워크 모식도



4.2 추진전략 및 실행계획

기후변화에 대응하기위한 추진전략은 개발된 기후변화 대응 프레임워크를 바탕으로 수립되었다. 전략적 목표는 지속가능한 물관리 체계 구축, 효과적인 기후변화 대응 기술 확보와 실용화, 창의적, 탄력적, 협력적 조직 문화 형성과 개발 등이다. 이를 달성하는데 장애물로는 수자원의 가치 다양화, 재난의 다양화 및 대형화, 물관리 체계, 이해관계자의 인식, 선진국과의 기술격차, 정보해석과 활용, 사내 전문인력, 성과관리와 협력, 높은 불확실성 등이다. 추진전략은 기후변화에 대응할 강력하고 체계적인 제도 및 조직 구축, 통합관리 체계의 정착 및 기후변화 대응 파트너십 강화, 물관리 및 재난관리와 연계한 기후변화 완화 및 적응 사업 추진, 실용화 및 상용화 중심의 기후변화 대응 물관리기술 개발, 전사적, 국민적, 국제적 공동대응을 위한 협력체계 구축 등이다.

각 추진전략을 구체적으로 시행하기 위한 실행계획을 살펴보면, 기후변화에 대응할 강력하고 체계적인 제도 및 조직 구축을 위한 실행계획으로는 저탄소, 녹색성장 경영 기반 구축, 물관리 기관 자체의 녹색성장위원회 운영, 기후변화 대응 마스터 플랜의 수정 및 보완, 기후변화 연구단 운영, 기후변화 및 물관리 정보센터 운영, 수자원 가치 확산 프로그램 개발 등이 포함된다. 통합관리 체계의 정착 및 기후변화 대응 파트너십 강화를 위한 실행계획으로는 통합물관리 의사결정지원시스템 구축, 지표수와 지하수의 통합 관리 강화, 통합홍수관리체계 구축, 통합유역관리 체계 구축, 이해관계자들의 적극적 참여 유도, 지자체와 연계한 수자원 사업 추진 등이 포함된다. 물관리 및 재난관리와 연계한 기후변화 완화 및 적응 사업 추진을 위한 실행계획으로는 홍수제어 능력 향상 인프라 구축, 수자원 이용 효율성 증대 사업 추진, 유역 오염원 저감 및 관리 강화, 수생태계 모니터링 체계 구축 및 건강성 향상, 수돗물 공급의 안전성 향상 및 수질관리 강화 등이 포함된다. 실용화 및 상용화 중심의 기후변화 대응 물관리기술 개발을 위한 실행

계획으로는 기후변화 모니터링 시스템 구축, 기후변화 영향에 대한 부분별 취약성 평가 정확성 및 예측 능력 향상, 이수, 치수, 수질, 생태계 분야별 적응기술 개발, 수자원을 활용한 신재생에너지 개발, 수자원 시설물 운영의 에너지 효율화 등이 포함된다. 전사적, 국민적, 국제적 공동대응을 위한 협력체계 구축을 위한 실행계획으로는 기후변화에 대한 사내 교육 프로그램 개발, 기후변화 전문가 양성 프로그램 개발, 기후변화에 대한 대국민 홍보 및 교육, 기후변화 대응 국제협력 네트워크 구축, 동아시아 기후변화 대응 네트워크 구축, 개도국에 대한 기술이전 등이 포함된다.

V. 요약 및 결론

본 기고문에서는 국내 물관리기관들이 기후변화에 효과적으로 대응하기 위해 필요한 프레임워크, 추진전략, 실행계획을 개발한 연구결과를 정리하였다. 제안된 프레임워크에는 국제적으로 수자원 개발 및 관리에 적용되고 있는 최신 개념들이 도입되었다. 또한, 효과적인 목표달성을 위하여 국제 및 국내의 기후변화 대응과 관련된 동향을 분석하고 국내 수자원 관련 상황과 미래를 전망하고, 추진전략과 실행계획을 수립하였다. 다음은 본 기고문의 내용을 정리한 것이다.

1. 지구 온난화로 인해 가속화되고 있는 기후변화의 영향들이 최근 세계 곳곳에서 가뭄, 홍수, 열파, 해빙 등으로 나타나고 있으며, IPCC는 4차 평가보고서에 의하면 21세기 말엽의 평균기온이 전지구적인 기후변화로 인해 20세기 말엽보다 0.3~6.4 °C 증가할 것이라고 예측하였으며, 이로 인해 농업, 삼림 및 생태계, 수자원, 해안, 보건 분야 등에서 악영향이 나타날 것이라고 전망하였다. 한반도 기후변화 예측 결과들을 검토한 결과, 전지구적인 기후변화와 국지적인 기후변화로부터 많은 영향을 받을 것으로 예측되며,

21세기 말엽에 평균기온이 4.0 °C 정도 상승하고, 강수량은 16 % 정도 증가할 것으로 전망되고 있는 것으로 나타났다. 또한, 향후 한반도의 기후는 태백 및 소백산맥 지역을 제외하고 서해안과 동해안 중부지역은 아열대 기후로 변화할 것으로 전망되고 있었다.

2. 기후변화로 인한 피해를 저감하기 위하여 국제기구 및 선진국은 기후변화 완화 및 적응대책을 개발해오고 있으며, 특히, 유엔기후변화협약은 1995년부터 2009년 까지 15차에 걸친 당사자국총회를 개최해 오면서 온실가스저감을 통한 전지구적인 기후변화 완화대책을 협의해 오고 있다. 영국, 호주, 일본, 미국 등의 기후변화대책을 살펴본 결과, 기후변화 완화대책과 R&D를 중심으로 한 적응대책을 개발해오고 있으며, 기후변화 대응을 고려한 수자원관리로 전환하기 위해 행정조직을 개편하거나 새로운 패러다임을 도입하고 있는 것으로 나타났다. 국내의 기후변화대응책을 고찰한 결과, 정책적으로 다양한 종합계획을 수립하여 추진하고 있으며, R&D 분야에 많은 재원을 투자해오고 있고, 관련 기술을 개발하기 위하여 사업단들을 설립하여 연구를 수행하고 있으며, 각 기관들은 마스터플랜을 수립하고 이에 근거하여 정책을 추진하고 있는 것으로 나타났다.
3. 국내 수자원 관련 정황을 분석한 결과, 도시화와 산업화에 따라 사회-경제시스템과 가치시스템이 변하고, 이에 따라 새로운 패러다임이 등장하고 국민들의 요구 수준이 높아지고 있다. 또한, 불투수면적의 증가로 수문순환이 왜곡되고 수질 및 생태 환경이 악화되고 있으며, 홍수

및 가뭄 등과 같은 자연재해의 발생 빈도와 피해가 증가하고 있고, 지방자치제의 실시로 인해 수자원과 관련된 사회적 갈등이 빈번히 발생하고 있는 것으로 나타났다. 향후 수자원 관리를 전망하기 위하여 기존의 설문조사결과를 분석한 결과, 기후변화, 사회-경제시스템 변화, 수자원 개발과 관리와 관련된 패러다임의 변화로 인해 기존에 수립된 계획 및 운영 방법의 수정 및 보완이 필요한 것으로 나타났다. 또한, 새로운 수자원 거버넌스 구축과 정책 수립 및 시행 과정에 적극적인 참여가 요구되고 있는 것으로 나타났으며, 기후변화의 영향을 감소시키기 위한 관련 정책과 활동들의 지속적인 시행과 이를 보장할 수 있는 법 및 제도의 수정 및 보완이 요구되고 있는 것으로 나타났다.

4. 기후변화 대응 효과를 향상시키고 참여자들이 동일한 맥락으로 실행계획을 시행하기 위한 구체적인 프레임워크와 이의 실행을 위한 전략 및 실행계획을 개발하였다. 프레임워크에서는 관계자의 협력적 참여와 정보화, 통합수자원 및 수계 관리, 위험도 관리, 적응형 관리 등과 같은 4개 개념을 적절히 조합하여 국내 및 물관리 기관의 여건을 고려하여 적용하도록 하였다. 기후변화 대응 비전 및 목표를 달성하기 위하여 기후변화에 대응할 강력하고 체계적인 제도 및 조직 구축, 통합관리 체계의 정착 및 기후변화 대응 파트너십 강화, 물관리 및 재해관리와 연계한 기후변화 완화 및 적응 사업 추진, 실용화 및 상용화 중심의 기후변화 대응 물관리기술 개발, 전사적, 국민적, 국제적 공동대응을 위한 협력체계 구축 등과 같은 추진전략을 수립하였다. 🌀



참고문헌

1. 강민구(2009). 설문조사를 통한 홍수관리 발전방향과 지속가능한 홍수관리 프레임워크 수립, 대한토목학회 논문집, 29(6B), pp. 527-535.
2. 국립기상연구소(2009). 기후변화 이해하기 II -한반도 기후변화: 현재와 미래.
3. 하복동(2006). 다수부처 관련 정책·사업의 효과적 대응을 위한 과제 - 서비스 산업 육성전략 사례를 중심으로, 정책분석평가학회보, 제16권 제2호 pp.57~80.
4. 한국수자원공사, K-water 연구원(2010). 기후변화 대응을 위한 물관리 기술개발 중장기 마스터 플랜(안).
5. 한국환경정책평가연구원(2009). 기후변화대응을 위한 미래지향적 물관리체계 구축방안 연구
6. 한국환경정책평가연구원(2007). 기후변화 영향평가 및 적응 시스템 구축.
7. Intergovernmental Panel for Climate Change(IPCC)(2007). Summary for policymaker, A report of Working Group I of the Intergovernmental Panel for Climate Change.
8. International Strategy for Disaster Reduction(ISDR)(2007). Words into action: A guide for implementing the Hyogo framework.
9. Kang, M. G., Lee, G. M., and Ko, I. H.(2010). Evaluating watershed management in a river basin's context using an integrated indicator system, Journal of Water Resources Planning and Management, 136(2). pp. 258-267.
10. Panel on Adaptive Management for Resource Stewardship(PAMRS)(2004). Adaptive Management for Water Resources Project Planning, The National Academies Press.