

기후변화 수문시나리오 표준화 기술 최신 연구동향



이상훈 ▶▶▶

세종대학교 토목환경공학과 연구교수
sanghunchange@hotmail.com



신상훈 ▶▶▶

세종대학교 토목환경공학과 석사과정
hjhssh@naver.com



배덕효 ▶▶▶

세종대학교 토목환경공학과 교수
dhbae@sejong.ac.kr

1. 머릿글

지구 온난화는 강수와 기온의 변화를 야기하게 되며 이는 수문순환과정이 지금까지와는 다른 경향으로 변화될 수 있다는 것을 시사한다. 이러한 수문순환과정의 변화는 안정적인 수자원 확보를 위한 수자원 계획 수립의 어려움을 가중시키고 있으며, 이를 능동적으로 대처하기 위해서는 기후변화에 따른 수자원의 변화를 정량적으로 평가할 수 있는 표준화 된 수자원 영향평가 기법이 필요하다.

국내에서는 2007년 과학기술부의 “기후변화에 의

한 수자원 영향평가 체계 구축” 연구에서는 IPCC 4차 평가보고서에서 활용된 온실가스배출시나리오(A2)와 GCM(ECHO-G)결과를 이용하여 우리나라 전역에 대해 기후변화에 따른 수자원 영향평가를 최초로 제시한 바 있다. 이후 기후시나리오를 이용한 연구들이 진행되었지만, 한반도의 기후변화를 대표할 만한 시나리오라고 말하긴 어려운 실정이다. 이러한 한계점을 극복하기 위해서는 기후 및 수문 시나리오의 국가 표준안을 만들어 이를 기반으로 한 수자원 영향 평가가 필요하다.

표준화를 위해 필요한 요건은 크게 4가지로 나눌 수 있는데, 우선 방법론이 보편타당해야하며 최신의 연구기법이 적용되어야 한다. 또한 지역 기후 및 각국의 유역특성이 반영되어야 하며, 마지막으로 연구 목적에 부합되어야 한다고 판단된다. 따라서 이러한 조건을 만족하는 국내의 표준화 방안을 수립하기 위해서는 이 분야의 선진국인 국외의 연구사례 조사가 우선시 되어야 할 것이다.

이에 본고에서는 수문기상 선진국에서 국가차원으로 생산하고 있는 기후변화 시나리오와 이를 활용한 수자원 영향평가 기법을 소개하고자 한다. 조사 범위는 기후변화 연구부분의 선진국인 미국, 영국, 일본, 호주 등을 대상으로 조사하였으며, 평가기법의 신뢰성 확보를 위해 국가단위 프로젝트를 중심으로 수행하였다.

2. 국외 연구동향

2.1 미국

미국은 다른 국가와는 달리 국토가 넓은 뿐 아니라, 지방자치제를 실시하고 있기 때문에 영향 및 취약성 평가를 통한 적응대책 수립을 지역적(주 단위)으로 수행하고 있는 실정이다. 그 중 미국의 북서부지역에서는 대부분의 수자원을 봄 및 여름철에 발생하는 용설량을 기반으로 관리하므로 지구 온난화에 따른 적설량 감소 및 용설의 조기화로 인해 기후변화에 상당히 취약할 것으로 예상되어지며, 이에 따라 기후변화에 관한 연구가 상대적으로 다른 지역에 비해 많이 수행되었다. 따라서 본 절에서는 그 중 워싱턴 주와 캘리포니아 주의 기후변화에 의한 수자원 영향 평가 기법에 대해 분석·제시하고자 한다.

워싱턴 주의 기후변화에 관한 연구는 RISA (Regional Integrated Science Assessment)의 CIG(Climate Impact Group)에서 그림 1과 같이 수행하고 있다. CIG에서는 SRES의 온실가스배출시나리오(A1B, B1)를 기반으로 AR4에 사용된 AOGCMs 중 A1B 시나리오는 20개, B1 시나리오는 19개를 이용하여 총 39개의 미래 기후시나리오를 생산하였다. 생산된 기후시나리오를 Delta method 기법을 이용하여 1/16° 해상도로 상세화하고, 수문모형인 VIC(Variable Infiltration Capacity) 모델에 적용하여 수문 시나리오를 생산하였다. 생산된 시나리오를 기반으로 분야를 Urban storm water Infrastructure, Hydrology & Water management, Energy,

Agriculture & Economics, Salmon & Ecosystems, Forest, Human Health, Coast로 나누어 영향 및 취약성을 평가하였다(Climate Impact Group; 2009).

캘리포니아 주의 경우 California Department of Water Resources에서 캘리포니아기후변화센터(California Climate Change Center; CCCC)를 설립하여, 기후변화에 의한 수자원의 영향을 평가하고 적응 대책 수립에 필요한 정보를 제공하고 있다. CCCC에서는 기후변화에 의한 수자원 영향평가를 2개(A2, B1)의 온실가스 배출시나리오를 기반으로 AR4에 사용된 AOGCMs 중 6개를 이용하여 기후 시나리오를 생산하였다. 또한 이를 BCSD(Bias Correction and Spatial Disaggregation)기법을 이용하여 1/8° 해상도로 상세화한 후 VIC모형에 적용하여 하천의 유출량을 생산하였다. 이와 더불어 기후변화에 따른 저수지 유입량, 농업 및 도시 용수 수요량, 해수면 상승 시나리오 등을 생산하였다. 생산된 시나리오들을 Cal-Sim II 모형에 적용하여 지하수 취수량, 수자원 시스템의 취약성, 저수지 저장량 등을 평가하였는데, 평가 결과 캘리포니아에서 미래의 물 공급의 안정성을 향상시키기 위해 필요한 적응대책을 찾아야 한다고 제시하였다(California Climate Change Center, 2009).

2.2 영국

영국은 기후변화에 의한 영향평가 및 적응정책 수립을 위하여 환경식품농무부(Department for Environment, Food and Rural Affairs ; DEFRA)에서 기후 영향 프로그램(UK CLIMATE IMPACTS PROGRAMME ; UKCIP)을 97년도부터 시작하였다. 그중에서 가장 최근에 진행한 UKCIP09 프로그램은 기후변화 연구를 수행하거나, 정책을 수립하는 관련기관에 기술적 자문과 최신의 기후예측 시나리오를 제공하고 있다. 이에 여러 기관에서 UKCIP09 시나리오를 이용한 연구들이 진행 중이며

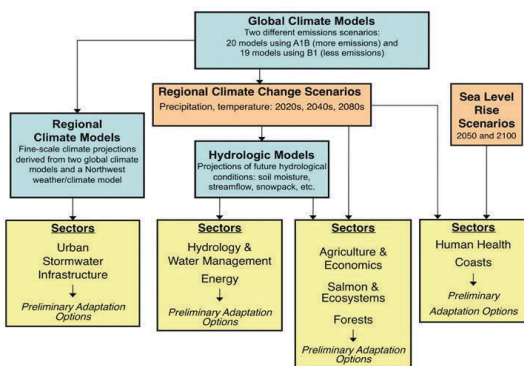


그림 1. 미국 워싱턴 주의 기후변화에 의한 각 분야 평가 기법

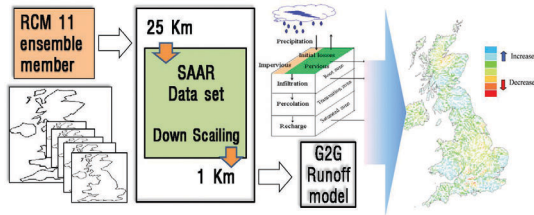


그림 2. National Assessment of Change in River Flows 연구 수행 절차

그 중 영국의 생태 수문 연구소(Centre Ecology and Hydrology; CEH)에서는 영국전역에 기후변화에 따른 수문분석을 수행 하였다. 이 연구에서 사용한 UKCP09 시나리오는 SRES A1B 배출시나리오를 기반으로 GCM 모형으로는 HadCM3가 사용되었으며, 지역기후모델인 HadRM3로 상세화하여 생산되었다. 또한 상세화 과정에서 올 수 있는 불확실성을 정량화하기 위해 매개변수가 다른 11개의 HadRM3를 모의하는 앙상블 기법이 적용되었고, 생산된 시나리오는 25km의 공간해상도와 1960년~2099년까지의 일단위 시간해상도를 가진다.

유출분석을 위해 사용된 강우-유출 모형은 G2G 모형으로 1km의 공간 분해능을 가지며, 입력 자료로는 SAAR 자료(1km 해상도의 년-평균 강우자료)를 이용하여 UKCP09 시나리오를 상세화 한 강우자료와 잠재 증발산량이 사용되었다(그림 2). 생산된 UKCP09 앙상블 시나리오와 G2G 수문모형을 이용하여 11개의 앙상블 유출시나리오를 생산하여 비교·분석 하였다(UK Climate Projections; 2009).

전술한 연구를 포함하여 영국의 기후변화 연구들의 가장 큰 특징은 사용자의 니즈에 맞는 기후시나리오를 UKCP09 프로그램에서 제공받았다는 것과 양

상블 기법을 통하여 상세화 과정에서 발생하는 불확실성을 정량화 한 것을 들 수 있다.

2.3 호주

호주정부는 기후변화와 물수요량의 증가에 대응하여 호주 전역에 지속적인 수자원 확보를 위해 「Water for the Future」라는 정책을 시행하고 있다. 정책의 일환으로 2007년 시작된 「The Sustainable Yield Projects」를 통하여 권역별로 현재의 수자원현황을 분석하고 기후변화시나리오를 이용하여 미래의 수자원 영향평가를 진행 중이다.

「The Sustainable Yield Projects」중에서 대표적인 Murray-Darling 프로젝트의 수자원 영향평가에서는 SRES의 온실가스배출시나리오(B1, medium, A1T)를 기반으로 IPCC 4차 보고서에서 활용된 15개 GCMs를 이용하여 4개의 기후시나리오를 생산하였다. 생산된 기후시나리오 결과를 통계적 상세화 기법인 “Dailyscaling method”를 이용하여 5km×5km 해상도로 상세화하여 강우-유출 모형인 SIMHYD, Sacramento 모형에 적용, 수문시나리오를 생산하였다. 생산된 수문 시나리오를 물수지 시스템에 적용하여 미래 수문 변동성을 평가하였다(그림 3).

미래 유출량의 변동성을 평가한 결과 남쪽지방은 2007년부터 지속적으로 가뭄이 일어나는 것으로 나타났다으며, 기후변화로 인하여 Murray-Darling 전역의 지표수는 2008년 대비 2030년에 34% 감소하며, 연평균 유출량은 9% 감소하는 것으로 나타났다(CSIRO; 2008).

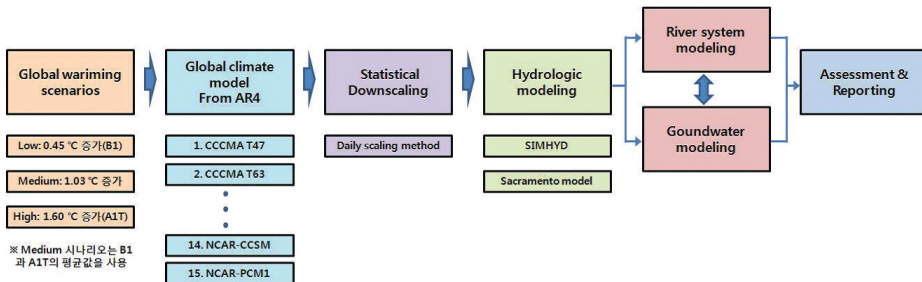


그림 3. 호주의 기후변화 수자원 영향평가 연구 모식도

호주의 수자원 영향평가의 특징으로는 3개의 온실 가스배출시나리오와 15개 GCMs를 이용하여, 온실 가스배출시나리오와 GCM 모델 차이에서 오는 불확실성을 고려하여 연구를 수행하였다는 점과 강우-유출 모형으로는 개념적 모형인 SIMHYD 모형을 사용하였다는 점을 들 수 있다.

2.4 일본

일본 기상청에서는 2003년 기후통일 시나리오 제1판을 제공하였으며, 2004년 9월에는 전구모형(CGCM2)의 결과를 지역 기후모델(RCM20)을 이용하여 역학적 상세화를 통한 일본부근의 기온 및 강수량 등을 20km 해상도로 예측하여 그 결과를 온난화의 영향 및 위험성 평가 연구에 사용할 수 있도록 제공하였다. 기후 통일시나리오는 기존의 GCM 결과로는 일본과 같은 지형이 좁고 복잡한 지역은 제대로 모의할 수 없을 뿐 아니라, 특히 동경과 같은 도시 지역의 기후를 제대로 모의할 수 없다는 단점을 극복할 수 있는 시나리오의 생산을 목적으로 하여 만들어 졌다.

2000년대 중반까지는 기상청에서 제공하는 통일된 기후시나리오를 사용하여 일본 내의 기후변화 영향평가를 실시하였다. 2007년 일본 문부과학성에서는 21세기 기후변화 예측 혁신 프로그램(KAKUSHIN)을 2011년까지 5개년 계획으로 연구를 진행하고 있다. 이 프로그램에서는 주로 기후 시나리오를 생성하여 제공하는 것을 목적으로 하며, 전구모

델을 이용하여 20km 해상도의 고해상도 기후시나리오를 생산하고 있으며, 생산된 20km자료를 지역모델을 이용하여 최고 1km까지 상세화하여 집중호우 등의 극한사상을 분석하고 있다. 이러한 기존의 기후통일 시나리오보다 고해상도에 불확실성이 작은 시나리오는 일본에서 많이 사용되고 있는 표준 기후시나리오라 할 수 있고, 또한 이 시나리오는 수자원 영향평가를 위한 시나리오로 사용된다.

일본 환경성에서는 지구온난화에 관련된 정책지원과 계몽 및 보급을 위한 기후변화 시나리오에 관한 종합적 연구라는 제목으로 현재 연구를 진행하고 있다. 이 연구는 여러 기관들이 모여 기후모델의 온난화 미래예측결과의 종합적 해석, 지역모델의 이용에 의한 공간상세화, 그리고 사회경제시나리오의 공간적 상세화 등을 이용하여 기후변화에 의한 사회의 구체적 영향을 포함한 종합적인 기후변화 시나리오를 창출하여 사회에 적용 가능한 정보를 전달하기 위한 방법론을 확립하는 것을 목적으로 하고 있는 연구이다. 이 연구에서는 자국에서 사용되고 있는 GCM모델을 이용하여 MME기법으로 분석하며, 또한 영향평가 결과를 국내/국외의 시책에까지 제공하여 공헌하고 있다.

수문시나리오에 관해서는 특별히 정의를 하고 있지는 않지만, 국가적 차원에서 만들어진 기후변화 시나리오를 이용하여 유출모형을 이용한 수문시나리오가 생산되어 수문분석을 수행하고 있다. 수문시나리오 산출에 많이 사용되어지고 있는 모형은 1998년 일본의 교토대학교에서 개발한 Hydro-BEAM과 MATSIRO-LSM (Minimal Advanced Treatment of Surface Interaction and RunOff-Land Surface Model)모델 또한 사용되고 있다.

2.5 국가별 비교

국외 연구사례에서 살펴본 바와 같이 수문기상분야의 선진국에서는 기후시나리오를 이용하여 미래의 수문변동을 평가하고 있다. 이러한 연구들의 주요 특징으로는 AR4에서 사용된 배출시나리오 및 GCMs

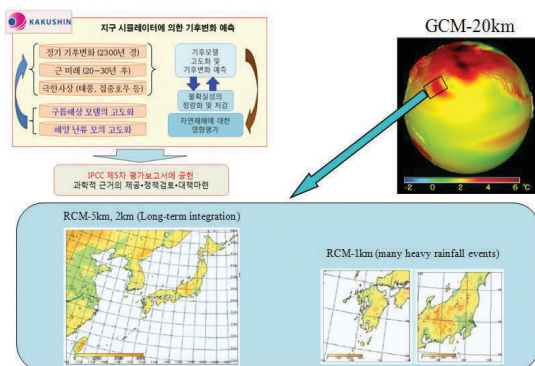


그림 4. 21세기 기후변화 예측 혁신 프로그램의 모식도

표 1. 기후변화에 따른 수자원 영향 평가 기법 - 국외 연구동향

문헌 번호	주요내용					
	국가	전망기간	온실가스 배출시나리오	GCM	상세화 기법	강우-유출 모형
7	미국(워싱턴 주)	1971-2099	A1B, B1	AR4에 참여한 20개 모델	통계적상세화 Delta method	VIC model(분포형)
6	미국 (캘리포니아 주)	1971-2099	A2, B1	AR4에 참여한 6개 모델	통계적상세화 BCSD (Bias Correction & Down Scaling)	VIC model(분포형)
13	영국	1960-2099	A1B	HadCM3	역학적상세화 HadRM3	G2G model(분포형)
8,9, 10	호주	-2030	B1, Medium, A1T	AR4에 참여한 15개 모델	통계적상세화 Daily scaling method	SIMHYD(집중형)
1	일본	1979-2100	RCP	MRI-GCM, CCSR/NIES, MIROC	역학적상세화 MRI-RCM, CCSR/NIES-RCM, NHM	Iso-Matsiro(분포형), Hydro-BEAM(분포형)

표 2. RCP 시나리오의 특징과 SRES 시나리오와의 비교

이름	복사강제력	농도	경로모양	SRES 비교
RCP8.5	2000년에 > 8.5 W/m ²	2100년에 >~1370 CO ₂ 상당	상승	A2~A1F1
RCP6	2100년에 > 6 W/m ² 로 안정화	~850 CO ₂ 상당 (2100년 이후에 안정화)	안정화	A1B
RCP4.5	2100년에 > 4.5 W/m ² 로 안정화	~650 CO ₂ 상당 (2100년 이후에 안정화)	안정화	B1
RCP3-PD	2100년 이전에 ~3 W/m ² 상당에서 최고에 도달하고 하강	2100년 이전에 ~490 CO ₂ 상당에서 최고에 도달하고 하강	절정, 하향	-

을 활용하여 기후변화 시나리오를 생산하였다는 점과 MME 기법을 적용하여 배출시나리오 및 GCMs 모델 차이에서 오는 불확실성을 고려하여 수자원영향평가를 수행하였다는 점, 국가적 유출특성을 반영할 수 있는 강우-유출 모형을 활용하였다는 점을 들 수 있다. 각 국가별 수자원 영향평가 시 사용되었던 온실가스배출시나리오, GCM, 상세화 기법, 수문모형들을 비교하여 표 1에 정리하였다.

2.6 결합모델 상호비교 실험(CMIP5)

IPCC AR4에서는 23개의 기후모델에 의한 예측실험을 사용하여 20세기 후반의 기후변화 재현과 원인 파악 및 온실효과가스 배출 시나리오를 이용한 기후변화 예측 평가를 실시하였다. 현재는 IPCC 제5차 보고서에 기여하기 위해 CMIP5 (CMIP phase 5)가 추진 중이며, 그 목표는 기후모델이 최근 기후를 얼마나 현실적으로 모의하는지를 평가하고, 미래기후변

화 전망 자료(단기: 약 2035년 까지, 장기: 2100년 이상)를 제공하며, 참여 모델별 기후변화 전망에서의 차이 발생 원인을 이해하는 것이다. 이와 같은 목표를 달성하기 위하여 온실기체의 증가 양상에 대해 이전과 다른 대표농도시나리오를 도입하였다. 대표적인 농도 변화(Representative Concentration Pathways: RCP)에 대한 시나리오는 바람직한 범위, 안정성, 개수, 분리성, 포괄성 등에 기초하여 최종적으로 가장 이상적인 4개의 시나리오를 선택하였다. 이 시나리오들은 4개의 그룹 (MES-A2R, AIM, MiniCAM, IMAGE)에서 개별적으로 개발하였으며, 이를 각각 RCP 8.5, RCP 6.0, RCP 4.5, RCP 3이라고 명명하였다. 이 시나리오는 각각 온실기체가 상승/안정화/하강하는 특징을 갖고 있으며, 각 시나리오별 이산화탄소 농도와 복사강제력의 보다 자세한 내용은 표 2에서 설명하였다.

이와 같은 온실가스 배출시나리오를 바탕으로 실험 체계를 구성하였으며, 수십년 시간규모의 단기 전

망 자료를 생산하는 것과 수백년 시간규모의 장기 전망 자료를 생산하는 것으로 나누어진다. 국내의 국립기상연구소에서도 2009년 RCP 시나리오를 수집하고 AR5 참여를 위해 전지구 및 지역 기후변화 시나리오를 생산 중이며, 국가표준 기후변화 시나리오를 2012년에 배포할 수 있도록 계획을 수립하여 추진하고 있다.

3. 국내 연구동향

국내에서는 1990년대 이후부터 기후변화 연구의 필요성을 인지하고 연구가 진행되어 왔다. 하지만 본고에서는 최신 연구동향을 소개하는 데 그 의의가 있어 최근의 국가개발연구사업에 국한하여 조사를 수행하였다. 그 중 「기후변화에 의한 수자원 영향평가 체계구축」(과학기술부, 2007), 「기후변화 대비 국가 물안보 확보방안」(국토해양부, 2009), 「기후변화에 의한 국가 수자원 영향 분석 및 평가 체계 적용」(교육과학기술부, 2009)에 대해 조사를 수행하였다.

과학기술부(2007)에서는 A2시나리오를 기반으로 ECHO-G를 이용하여 산정된 결과를 지역기후모델(MM5)에 적용하여 1971~2100년간에 대해 한반도 영역의 고해상도 27km 기후시나리오를 생산하였다. 이 결과를 일기산출기(LARS-WG)를 이용하여 편차보정 및 상세화한 후, 수문모형인 PRMS(Leavesley et al., 1983)를 이용하여 국내 5대강 수계의 139개 유역에 대해 수자원의 영향을 분석하였다. 국토해양

부(2009)에서도 A2 시나리오를 기반으로 ECHO-G 결과를 이용하였다. 하지만 지역기후모델의 경우 RegCM3를 이용하였으며, LARS-WG 대신에 비정상성 Markov Chain 기법을 적용하여 지역기후시나리오를 생산하였다. 생산된 기후시나리오를 SLURP(Kite et al., 1994)을 이용하여 한강유역에 적용하였다. 또한 위 두 연구에서는 평가결과가 어느 정도의 불확실성(오차)을 포함하고 있는지는 정량적으로 제시하지 못한 한계를 지니고 있다. 이러한 불확실성을 평가하기 위해 교육과학기술부(2009)에서는 Multi-model Ensemble 기법을 사용하였다. 우선 온실가스 배출시나리오의 불확실성을 고려하기 위해 A2, A1B, B1 3개의 IPCC SRES 시나리오를 이용하였으며, GCMs에 따른 전망 결과의 차이를 고려하기 위해 각각의 배출 시나리오에 대해 IPCC Data Distribution Center (<http://www.ipcc-data.org>)에서 제공하는 13개 GCMs 결과를 이용하였다. 또한, 이 연구에서는 유출모형의 선정에 따른 영향과 증발산량 방법에 따른 영향을 고려하기 위해 기존의 PRMS 모형 이외에 SWAT(Arnold et al., 1993) 및 SLURP모형을 추가하였으며, 각 모형별로 2~3개의 증발산량 산정 방법을 적용하였다. 결과적으로 각 유역의 기후변화 영향평가를 위해 3 scenarios × 13 GCMs × 8 hydrologic models 결과가 이용되었다.

위에서 소개된 프로젝트에서 사용되었던 온실가스 배출시나리오, GCM, 상세화 기법, 수문모형들을 비교하여 표 3에 정리하였다.


표 3. 기후변화에 따른 수자원 영향 평가 기법 - 국내 연구동향

문헌 번호	주요내용					
	적용유역	전망기간	온실가스 배출시나리오	GCM	상세화 기법	강우-유출 모형
2	5대강유역 (139개 단위유역)	1971-2100	A2	ECHO-G	역학적상세화(MM5) & 통계적상세화(LARS-WG)	PRMS
4	한강유역 (139개 소유역)	2001-2090	A2	ECHO-G	역학적상세화(RegCM3) & 통계적상세화(비정상성 Markov Chain 축소기법)	SLURP
3	5대강유역 (109개 중권역)	1971-2100	A2, A1B, B1	AR4에 참여한 13개 모델	역학적상세화(RegCM3) & 통계적상세화 (CSEOF & WXGEN)	PRMS, SLURP, SWAT

4. 맺음말

본 연구에서는 기후변화에 의한 표준수문시나리오를 도출하기 위해 기후변화 연구부문의 선진국이라 할 수 있는 미국, 영국, 일본, 호주의 국가 단위 프로젝트를 중심으로 기후 시나리오 생산부터 수자원 영향평가 기법까지 조사를 수행하였다. 조사 결과 국외에서는 기후변화 연구를 위한 기관을 설립하여 자국의 실정에 맞는 표준화 된 방법론을 기반으로 연구를 지속적으로 수행하고 있었다. 특히 일본에서는 기후 시나리오 생산이란 원천적인 기술에 집중적으로 투자하여, 극한사상을 모의할 수 있는 초고해상도 시나리오를 생산하였으며, 이를 수자원 및 여러 분야에 이용할 수 있도록 자료를 제공하고 있었다. 또한 미국, 영국 등에서는 그 지역의 특성에 맞는 기후시나리오

를 생산하여 수자원영향평가를 수행하였으며, 이를 기후변화 적응 정책 수립의 기초자료로 활용하는 등 미래 수자원 전망 기술력이 국내에 비해 앞서 있었다. 현재 국내에서 사용하고 있는 수자원 영향평가 기법은 조사한 국외의 기법과 비슷한 것을 확인할 수 있었으며, 특히 불확실성을 정량화하는 Multi-Model Ensemble 기법은 세계적인 추세임을 알 수 있었다.

21세기 지구온난화는 20세기에 일어난 온난화보다 더 빠르게 진행되어 안정적인 수자원 확보에 불확실성을 가중시킬 것으로 전망되고 있는 이 시점에서 기후변화 연구의 방법론이 표준화 된다면 기후변화에 대응하기 위한 국가 및 각 지자체별 기후변화 적응대책을 수립하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 

참고문헌

1. 21세기 기후변화예측혁신 프로그램 (<http://www.jamstec.go.jp/kakushin21/jp/>)
2. 과학기술부 (2007). 기후변화에 의한 수자원 영향평가 체계 구축.
3. 교육과학기술부 (2009). 기후변화에 의한 국가 수자원 영향 분석 및 평가 체계 적용
4. 국토해양부 (2009). 기후변화 대비 국가 물 안보 확보 방안(2차년도)
5. Arnold, J.G., Allen, P.M., Bemhardt, G. (1993). "A comprehensive surface-groundwater flow model." *Journal of Hydrology*, Vol. 142, pp. 47-69
6. California Climate Change Center. (2009). Using future climate projections to support waterresources Decision making in California
7. Climate Impact Group (2009). The Washington Climate Change Impacts Assessment. The Climate Impacts Group, University of Washington
8. CSIRO (2008a). Climate data for hydrologic scenario modelling across the Murray-Darling Basin
9. CSIRO (2008b). Rainfall-runoff modelling across the Murray-Darling Basin
10. CSIRO (2008c). Water Availability in the Murray-Darling Basin
11. Kite, G.W., Dalton, A., Dion, K. (1994). "Simulation of streamflow in a macroscale watershed using general circulation model data." *WaterResourcesResearch*, Vol.30, No.5, pp. 1547-1559.
12. Leavesley, G.H., Lichty, R.W., Troutman, B.M., Saindon, L.G. (1983). "Precipitation-Runoff Modeling System." User's manual, by Water-Resources Investigations, pp. 83-4238.
13. UK Climate Projections (2009). National assessment of change in river flows