

# 수자원 평가를 위한 차세대 기후변화 시나리오

## 〈IPCC Assesment Report 5, RCP 시나리오에 대하여〉



**이 정 주** |  
K-water 조사기획처 위촉선임  
jeongju@kwater.or.kr



**권 현 한** |  
진북대학교 토목공학과 교수  
hkwnon@jbnu.ac.kr



**박 재 영** |  
K-water 조사기획처장  
jyp@kwater.or.kr



**염 경택** |  
K-water 수자원사업본부장  
yumkt@kwater.or.kr

본조건이 좌우될 정도의 영향력을 가진 기후의 거대한 변화가 미래에 미칠 영향은 정치, 경제, 사회, 문화, 기술 등 파급 범위를 한정하기 어려울 정도로 광범위하다. 물론 최근의 기상인자 변화 기술키가 거시적인 기후변동 주기의 일부 구간에 불과할 수도 있다는, 또는 온실가스의 증가에 의해 지구온난화가 발생하는 것이 아니라 온도변화가 이산화탄소 농도의 증가를 초래한다는 주장도 있다. 하지만, 관측된 사실들을 통해 산업혁명 이후 급증한 이산화탄소 배출이 기후변화의 가속도를 높이고 있다는 것에는 모두가 동의하고 있다. 따라서 기후변화 저감을 위한 노력은 그것이 인류 스스로의 반성과 후세를 위한 철학적 고민의 실천이든, 생존을 위한 몸부림이든, 지구상에서 인간이 살아가는데 필요한 환경을 유지하기 위한 국가적 대응방안 및 정책으로부터 개개인의 생활 및 소비습관 개선을 통한 탄소배출 저감 실천에 이르기까지 우리 모두의 삶에 영향을 미치고 있다. 이러한 기후변화에 의한 미래 변화 환경을 모의함에 있어서 가장 공신력 있는 보고서가 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 제공하는 조사보고서(Assessment Report)이다. IPCC는 기후 변화와 관련된 전 지구적 위험을 평가하고 국제적 대책을 마련하기 위해 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 공동으로 설립한 유엔 산하의 국제 협의체이며, 모든

### 1. 서론

기후변화, 또는 지구온난화라고 하는 이슈는 굳이 그것과 관련한 분야의 종사자가 아니라도 귀에 못이 박힐 정도로 들어봤을 것이다. 인간생활의 기

유엔 회원국이 참여하고 있다. IPCC의 조사보고서는 1990년에 1차보고서를 시작으로 1995년 2차보고서, 2001년 3차보고서를 거쳐 최근 2007년도에 4차보고서가 발표되었으며, 2014년을 목표로 5차보고서(AR5)를 작성 및 검토하는 단계에 있다.

## 2. 기후변화 시나리오와 모델

기후변화 시나리오는 간단히 말해 기후변화 모델의 조건으로 사용될 미래의 대기 이산화탄소 농도라고 할 수 있다. 즉 시나리오는 앞으로 지구의 이산화탄소 농도가 현재의 기온기로 급격히 증가할 것인지, 감축노력에 의해 어느 정도 현상유지가 될 것인지, 회복력을 가지고 감소될 것인지 등 몇 가지 예상할 수 있는 시나리오를 정해 다양한 모델에서 동일한 경계조건으로 이용할 수 있도록 정한 값이다. 이와 더불어 기후변화 모델(또는 전지구 기후모델)이라 함은 GCMs(General Circulation Models)로 통칭하며, 태양복사에너지, 화산폭발, 온실효과 등 여러 강제력과 대기, 해양, 지표 등을 아우르는 여러 조건들의 복잡한 상호작용에 의한 대규모의 대기-해양 순환 모형이라고 할 수 있다. 이러한 모형은 시대별, 국가별로 다양하게 존재하며, 해양, 지표, 생물 등의 고려여부와 차원 및 인자들에 따라 분류된다. 컴퓨터의 발달에 따라 기후변화 모델은 보다 높은 차원과 해상도로 더 많은 인자들을 고려할 수 있도록 발전하고 있다.

## 3. 수자원 분야의 미래 전망 필요성

수자원을 관리하는데 있어서 가장 기본적이며 중요한 문제는 언제 어디서나 물이 부족하지 않도록 공급하며, 동시에 홍수로부터 국민의 생명과 재산을 보호하는 이수과 치수를 동시에 만족하는 관리를 해야 한다는 것이다. 이는 우리나라같이 강수가

여름에 집중되어 있고, 하상경사가 큰 지형에서 물 관리의 어려움을 가중시키는 요인이 된다. 홍수기가 지난 후 이듬해 여름이 오기 전까지 가뭄이 발생할지, 순조롭게 비가 와 줄지는 기상학적 예측을 통해 어느 정도 짐작한다고 하더라도 장담할 수는 없는 일이기 때문이다. 또한, 여름에 집중호우가 예측되는 상황에서 하도구간의 부담을 최소화시키기 위해 얼마만큼의 예비방류를 할 것인지, 또한 어느 시점에서 방류를 멈추어야 갈수기에 이용할 용수를 최대한 확보할 수 있을지 결정하는 것은 역시나 쉽지 않은 일이다. 우리나라는 연평균강수량은 적지 않지만, 높은 인구밀도로 일인당 가용수량은 매우 적은 나라이다. 하지만, 이러한 어려운 상황을 지금까지의 수자원계획과 댐건설, 하도정비 및 통합관리 등을 통해 합리적으로 헤쳐 왔다. 문제는 더 이상 댐 건설 등이 쉽지 않은 사회적 여건 속에서 시스템적인 통합관리만으로는 한계에 다다를 수 있는 기상조건에 당면하고 있다는 것이다. 수자원 분야에서 기후변화에 의해 발생할 수 있는 문제는 단지 온도와 강수량의 증가만이 아니라 그 변동의 폭이 넓어진다는데 있다. 즉, 예전에 비해 더 큰 홍수가 올 수도, 더불어 더 극심한 가뭄이 올 수도 있다는 것이며, 이러한 현상들이 훨씬 불규칙하게 변동할 수 있다는 것이다. 결국 기존의 극대 또는 극소 수문사상들을 이용해 설계되고 운영되던 수리구조물들이 더 이상 소프트웨어적인 시스템 운영을 통해 제 기능을 수행하기에는 과거와는 너무나 다른 수문환경에 처할 수 있다는 것이다. 따라서 앞으로도 국민의 생명과 재산을 보호해야 하는 크나큰 목적을 위해서 미래의 수문환경을 과학적으로 예측해보고 그 영향을 파악하여 취약점을 개선하고 대비하는 것은 너무나도 당연한 일일 것이다.

## 4. 새로운 기후변화 시나리오, RCP

WCRP(World Climate Research Programme)

## 학술/기술기사

산하의 WGCM(Working Group on Coupled Modeling)에서는 국제 기후변화모델 비교 사업(Coupled Model Intercomparison Project; CMIP)을 통해 대기-해양 순환 모델(AOGCMs)을 이용한 실험 결과의 표준화를 도모하고 있다. CMIP 3단계(CMIP3)를 통해 도출된 결과는 IPCC(the Intergovernmental Panel on Climate Change) 4차 평가보고서(AR4)에 이용되었으며, 현재는 CMIP5를 통해 5차 평가보고서(AR5)를 위한 결과들을 도출하고 있다. RCP(Representative Concentration Pathway) 시나리오는 AR4에서 사용된 이산화탄소 농도에 따른 시나리오인 SRES의 A2, A1B, B1 등에 대응하는 새로운 시나리오이다. RCP 시나리오는 최근의 온실가스 농도변화 경향을 반영하였으며, 최근의 예측모델에 맞추어 해상도 등을 업그레이드하였다. RCP 시나리오는 대표 온실가스 농도를 이용하여 RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 및 RCP8.5의 4개 시나리오를 제시하고 있다.

표 1. 시나리오별 CO2 농도의 비교

시나리오 종류	새로운 시나리오 (RCP)				기존 시나리오 (SRES)		
	2.6	4.5	6.0	8.5	B1	A1B	A2
온실가스 농도							
CO2 기준(ppm)	420	540	670	940	550	720	830

RCP 시나리오를 이용한 기후예측모델은 기존의 모델에 비해 높은 공간해상도를 가진다. 또한 기상청에서 준비하고 있는 우리나라 지역기후모형의 경우 분해능을 1km 수준까지 높여 제공하고자 준비 중인 것으로 발표된바 있다.

표 2. 기후예측모델 해상도 비교

분해능	새로운 시나리오	기존 시나리오	비 고
전지구 자료	135 km	400 km	약 9배
한반도 자료	12.5 km	27 km	약 4배

RCP 시나리오는 특히 온실가스 농도 산출과정에서 기후변화 대응정책 수행여부에 따른 온실가스 변화를 감안하여 미래사회 구조 기반의 사회경제적

가정치를 산정한 것이 특징이다.

- RCP 2.6 : 인간 활동에 의한 영향을 지구 스스로가 회복 가능한 경우
- RCP 4.5 : 온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우
- RCP 6.0 : 온실가스 저감 정책이 어느 정도 실현되는 경우
- RCP 8.5 : 현재 추세(저감 없이)로 온실가스가 배출되는 경우(BAU 시나리오)

## 5. RCP 시나리오에 의한 미래전망

본고에서는 관측자료를 이용한 수문 상세화(Downscaling) 과정을 거치지 않았으며, 기후변화 모델의 시뮬레이션 결과 내에서 1971~2000년까지의 레퍼런스기간과 비교한 미래 예측결과만을 간단히 도시하였다. 공간적 범위는 경도 125.0~127.5, 위도 35.0~37.5도이며, 모의기간은 1860년부터 2099년까지이다. 본고에서는 CMIP에서 제공하는 여러 나라의 20여개 모델링결과를 평균하여, 새로운 시나리오에 의한 모델링 결과의 추이를 간략히 보이고자 한다.

앞에서 설명한 바와 같이 RCP 시나리오에서 가정하고 있는 온실가스 농도의 변화에 의해 모의되는 연평균 강수량의 모델링 결과는 그림 1에 도시한 것과 같다.

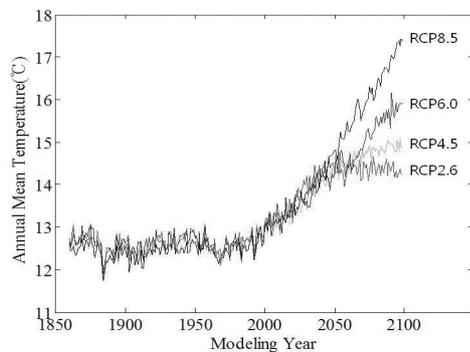


그림 1. 시나리오별 연평균 온도변화 모델링 결과

수자원 평가를 위한 차세대 기후변화 시나리오 <IPCC Assessment Report 5, RCP 시나리오에 대하여>

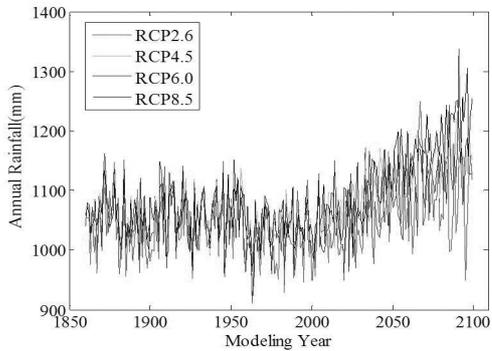


그림 2. 시나리오별 연강수량의 모델링 결과

그림 2에서 도시한 연강수량의 모델링 결과를 보면, 1971~2000년에 비해 대부분의 시나리오에서 미래의 강수량이 증가하는 경향을 확인할 수 있다.

본고에서는 월단위 모의자료를 이용하여 레퍼런스 기간과 비교한 전체적인 경향을 비교하였다. 강수량은 우선 3개월 단위의 계절강수량으로 합산하

여 JFM(1~3월), AMJ(4~6월), JAS(7~9월) 및 OND(10~12월)로 기간을 나누어 계절강수량을 산출하였으며, 이를 통해 같은 계절의 강수량 변화추이를 비교하였다. 그림 3~6을 통해 OND 계절을 제외하고는 대부분의 시나리오 및 계절에서 강수량이 증가하는 경향을 확인할 수 있다.

그림 7~10은 30년씩 구분된 기간별, 시나리오별 계절강수량의 분포를 보여주는 그림이다. 그림에서 박스 안의 선은 자료의 중앙값을, 박스의 위, 아래 선분은 자료의 75%, 25%에 해당하는 값을, 박스 밖의 선분 위, 아래 끝단은 자료의 97.5%, 2.5%를 나타내고 있으며, 이상치에 해당하는 자료는 별도의 십자로 표시된다. 지상 관측값을 이용한 상세화 결과는 아니기 때문에, 정확한 수치로 증가 비율을 제시하는 것은 오해의 소지가 있어 생략하였으며, 전체적인 거동만 우선 참고하였으면 한다.

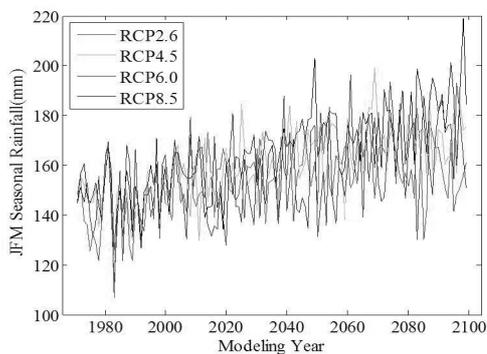


그림 3. JFM 계절강수량의 미래 거동

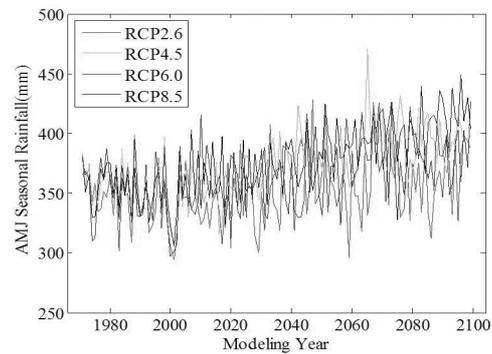


그림 4. AMJ 계절강수량의 미래 거동

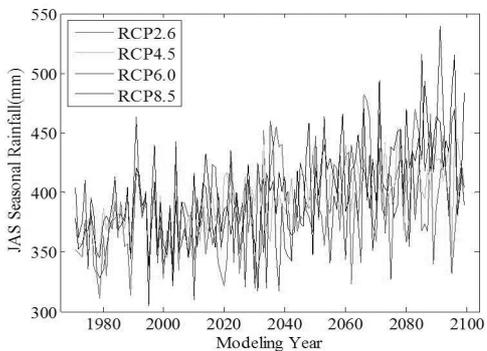


그림 5. JAS 계절강수량의 미래 거동

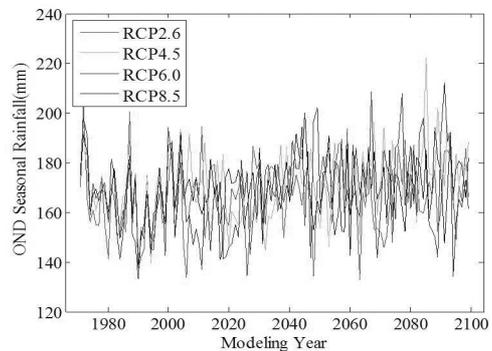


그림 6. OND 계절강수량의 미래 거동

학술/기술기사

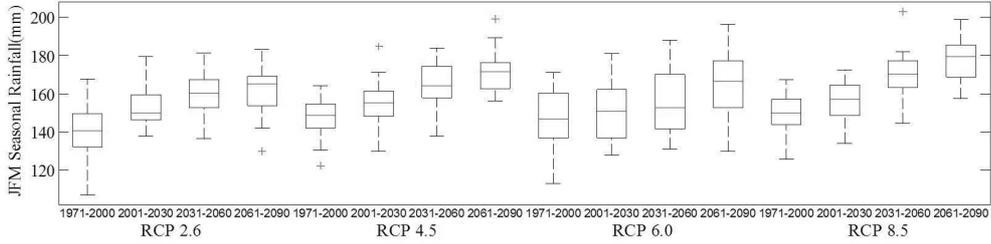


그림 7. 시나리오별/기간별 JFM 계절강수량의 분포

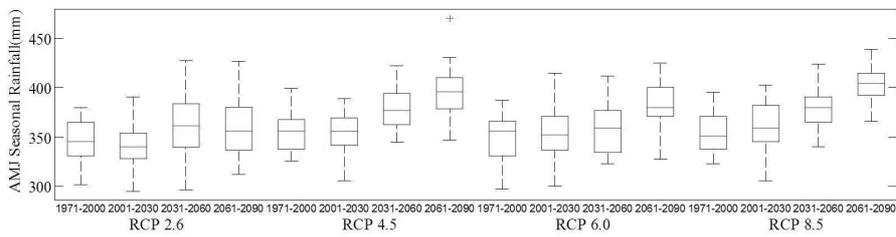


그림 8. 시나리오별/기간별 AMJ 계절강수량의 분포

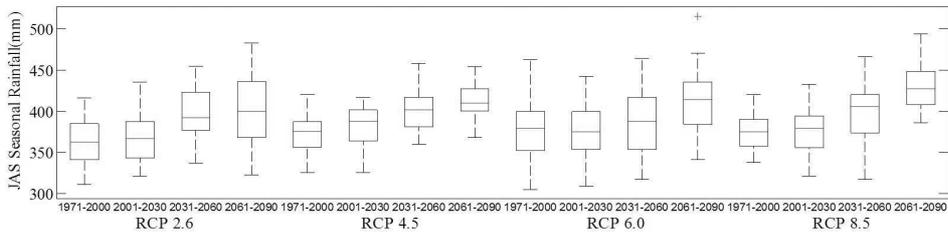


그림 9. 시나리오별/기간별 JAS 계절강수량의 분포

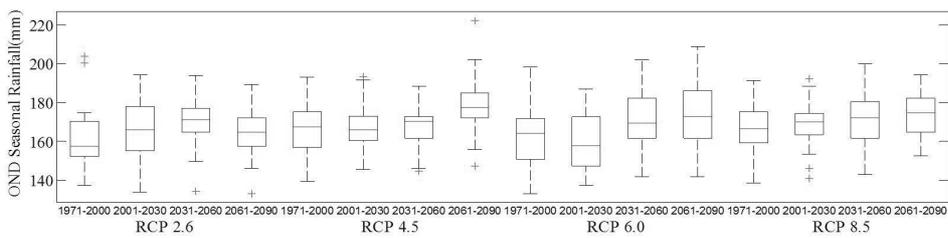


그림 10. 시나리오별/기간별 OND 계절강수량의 분포

6. 결론

수자원을 계획하고 관리하는 업무에 종사하는 사람들은 물이 부족한 시기에 물을 사용할 수 있도록 확보함과 동시에 갑작스런 홍수에도 하천이 범람하지 않도록 관리해야 하는 모순(矛盾)이라는 창과 방

패를 들고 화살처럼 쏟아지는 비를 막아내야 하는 임무를 수행하고 있는지도 모르겠다. 더군다나 과거와는 다른 수문환경에 대처하고 미래의 불확실성을 고려해야하는 중차대한 전환기에 처해있다. 따라서 막연한 불확실성만을 언급하기 보다는 과학적인 미래예측 결과를 이용한 수문학적 영향을 검토

하고 이에 대비한 미래의 수자원 관리방안과 해결책을 모색해야 할 것이다. 더불어 기후변화로 인한 미래 수문 변동성에 대한 일반의 이해를 증진하고,

수리구조물의 신축 및 시설개선에 대한 공감대를 형성하여, 소수의 고민이 아닌 공론화된 참여와 이해를 도모해야 할 것이다. ☞

### ● 참고문헌

1. 국립기상연구소 (2011), IPCC 5차 평가보고서 대응을 위한 기후변화 시나리오 보고서 2011.
2. Coupled Model Intercomparison Project(CMIP) Web, <http://cmip-pcmdi.llnl.gov>
3. Richard H.M., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P. & Wilbanks, T.J. (2010), The next generation of scenarios for climate change research and assessment, *Nature*, Macmillan Publishers, Vol. 463, doi:10.1038, pp. 747-756.