

Cover Story

미래 여름철 호우전망 및 분석



배 덕 효
세종대학교 교수



이 문 환
세종대학교 박사과정

1. 머리말

2007년에 발표된 IPCC 4차보고서에서는 21세기 동안 평균기온이 최대 6.3℃ 상승할 것이라고 전망하였으며, 2011년 기상청에서 발표한 「기후변화 시나리오보고서 2011」에서는 한반도의 평균기온이 RCP4.5 시나리오 상황에서는 3.4℃, RCP8.5에서는 6.0℃ 상승할 것이라고 전망하였다. 이러한 지구 온난화는 증발산량의 증가, 강수

량의 패턴변화 및 유출량의 시공간적 변동을 초래하여 물순환의 변화를 야기할 뿐만 아니라, 집중호우, 가뭄, 태풍, 열파 등 극한 이상현상의 발생빈도 및 강도 증가를 초래할 것이라고 전망되고 있다. 실제로 2010년 9월 21일, 2011년 7월 27일 서울시에 시간당 최대 100mm 정도의 호우가 발생하여 인명과 많은 재산 피해를 초래하였다. 또한 2011년 태국에서는 50년 빈도의 비가 내려 7월 말부터



그림 1. 집중호우 및 홍수 발생 사례

세 달 동안 홍수가 지속되었으며, 이로 인해 283명의 인명피해가 발생하였다. 수도 방콕의 1천만 시민 전체에 대한 대피명령이 내려졌으며, 이로 인해 최대 1천 567억 바트(약 5.1억 달러)의 피해가 발생하였다고 보도된 바 있다.

이러한 피해를 최소화하기 위해서는 호우피해에 대한 적응대책 마련이 시급하며, 이를 위해서는 기후변화에 따른 극치호우사상 변화에 대한 정량적인 평가가 선행되어야 한다. 본 연구에서는 여름철 수방대책 수립에 기초정보를 제공하기 위해 기후변화에 따른 미래 여름철 호우특성 변화를 분석·제시하고자 한다.

2. 방법론

일반적으로 미래 기후를 전망하는 방법으로는 미래의 기후시나리오를 이용한 평가 방법과 과거 기후자료를 이용하는 방법이 존재하지만, 관측 자료가 가지는 한계(관측기간, 측정의 오차, 관측지점의 분포와 개수 등)로 불확실성이 큰 미래의 기후 전망에는 한계가 있다. 따라서 발생 가능한 가상의 온실가스 증가 시나리오를 만들고 전지구기후모델(Global Climate Model, 이하 GCM)을 이용하여 기후 변화를 모의하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다. 하지만 현재 GCM의 해상도가 100-500km 정도로 낮기 때문에 국내 유역과 같이 좁은 유역의 평가에는 한계가 존재하므로, 이러한 효과를 반영할 수 있는 상세화기법이 요구되며, 상세화 과정을 통해 지역별 미래 기후 전망을 수행되게 된다(배덕효와 정일원, 2008).

본 분석에 사용될 AR4(The 4th Assessment Report) 및 AR5(The fifth Assessment Report) 배출시나리오, 전지구기후모형 및 상세화기법의 주요 특징은 다음과 같다.

2.1 온실가스 배출시나리오

통상 기후변화라는 것은 자연적인 변화와 인위적인 행위에 의한 변화로 나눌 수 있다. 하지만 우리가 다루는 기후변화는 자연적인 변화는 배제하고, 인위적인 행위에 따른 기후의 변화를 평가하는 것이며, 이를 위해 IPCC에서는 사회경제적 조건을 고려하여 다양한 온실가스배출시나리오를 제시하고 있다. 2000년에 발간된 「Special Report on Emission Scenarios」보고서에서 새로운 시나리오를 제시하였는데, 이것이 바로 IPCC TAR(Third Assessment Report)과 2007년에 발간된 AR4의 기준시나리오인 SRES 온실가스 배출시나리오이다. 표 1은 SRES 시나리오에 대한 구체적인 사항을 나타낸 것으로, 인구, 기술, 경제성장 등 미래 배출문제의 원동력이 되는 요소들을 광범위하게 다루며, 크게 4개 (A1, A2, B1, B2)의 배출시나리오를 제시하고 있다. 여기서 A와 B는 경제(Economic) 지향인가, 환경(Environmental) 지향인가를, 1과 2는 지구주의(Global) 지향인지를, 지역주의(Regional) 지향인지를 나타낸다. A1 시나리오에서 C, G, B, T는 각각 석탄 주도형, 가스 주도형, 밸런스형, 고효율 에너지 기술 주도형을 뜻한다. A1 시나리오는 미래의 세계가 매우 급격한 경제성장, 전지구 인구는 이번 세기 중반에 최정점에 이르렀다가 그 후 감소하는 추세, 새롭고 좀 더 효율적인 기술의 급격한 도입 등으로 표현한다. 이에 비해 A2는 지속적인 인구성장과 지역적으로 편중된 경제성장 등을 표현한다. B1은 A1과 같이 세계 인구가 금세기 중반에 정점을 보이다가 감소하지만 서비스 및 정보 경제로 급격하게 경제구조가 변화하고, 청정 및 자원의 효율적인 기술 도입이 이루어지는 것을 가정하고 있다. B2는 A2보다 낮은 비율로 지속적으로 인구가 증가하고, 중간 수준의 경제 성장, B1 및 A2보다는 상대적으로 덜 급하고 다양한 기술변화를 가정하고 있다

기 | 획 | 특 | 집

표 1. SRES (Special Report on Emission Scenario) 시나리오

Driver	A1				A2	B1	B2
	A1C	A1G	A1B	A1T			
Population growth	Low	Low	Low	Low	High	Low	Medium
GDP Growth	Very high	Very high	Very high	Very high	Medium	High	Medium
Energy Use	Very high	Very high	Very high	Very high	High	Low	Medium
Land-Use Changes	Low-Medium	Low-Medium	Low	Low	Medium/High	High	Medium
Availability of Conventional and Unconventional Oil and Gas	High	High	Medium	Medium	Low	Low	Medium
Pace of Technological Change	Rapid	Rapid	Rapid	Rapid	Slow	Medium	Medium
Direction of Technological Change Favoring:	Coal	Oil & Gas	Balanced	Non-fossils	regional	Efficiency & dematerialization	dynamics as usual

최근 AR5 발간을 위해 IPCC에서는 먼저 온실 기체의 증가 양상에 대해 이전과 달리 대표농도경로(Representative Concentration Pathways: RCP)를 도입하였다. 하나의 대표적인 복사강제력에 대해 사회-경제 시나리오는 여러 가지가 될 수 있다는 의미에서 대표(Representative) 라는 표현을 사용하였으며, 온실가스 배출 시나리오의 시간에 따른 변화를 강조하기 위해 ‘경로(pathway)’라는 의미를 포함한다. 대표적인 농도 변화에 대한 시나리오를 결정하기 위해서 300여 개 이상의 논문과 보고서에 출간된 시나리오들을 점검하였다. 이 중에서 주요한 복사 강제력을 고려한 30개의 시나리오를 후보로 선택하여 각 시나리오마다의 온실가스 배출 최고·최저치를 나타내었다. 그리고 이 30개의 후보에서 바람직한 범위, 안정성, 개수, 분리성, 포괄성 등에 기초하여 최종적

으로 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 2.6이라고 명명하였다. 이 시나리오는 각각 온실기체가 상승/안정화/하강하는 특징을 갖고 있으며, 보다 자세한 내용은 표 2와 같다. 여기서 복사강제력은 온실가스 등으로 에너지의 평형을 변화시키는 영향력의 정도를 의미하는 양으로서 단위는 W/m²으로 지상에 도달되는 태양복사량 약 238W/m²이므로 RCP8.5/6.0/4.5/2.6의 복사 강제력은 입사 태양복사량의 약 3.6%, 2.5%, 1.9%, 1.1%에 해당된다.

표 2. RCPs 특성 및 SRES 비교

이름	복사강제력	농도	경로모양	SRES 비교
RCP8.5	2000년에 > 8.5 W/m ²	2100년에 >~1370 CO ₂ 상당	상승	A2~A1Fi
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
RCP2.6	2100년 이전에~2.6 W/m ² 상당에서 최고에 도달하고 하강	2100년 이전에~420 CO ₂ 상당에서 최고에 도달하고 하강	절정, 하강	-

2.2 전구기후모형(GCM)

GCM이란 기후시스템의 요소, 그들 간의 상호 작용 및 되먹임 과정의 물리적, 화학적, 생물학적 특성에 근거하여 기후시스템을 수치적으로 표현한 것으로 세계적으로 다양한 종류의 기후모델이 존재하며, 발생 가능한 미래의 기후요소(강수, 기온 등)에 대한 정보를 얻을 수 있게 된다. SRES 온실가스 배출시나리오를 기반으로 각 국가 및 주요기관 별로 GCM 모형을 이용하여 AR4 기반의 기후시나리오를 생산하였으며, 현재 IPCC DDC (<http://www.ipcc-data.org/>)를 통해 온실가스 배출시나리오(20C3M, A2, A1B, B1)에 대한 총 23개의 GCM (Global Climate Model) 결과를 제공하고 있다.

IPCC 제 5차 보고서에 기여하기 위해 CMIP5(CMIP phase 5)가 추진 중이다. CMIP은 WMO/WCRP에서 발족한 AOGCMs 연구를 위한 표준실험 프로토콜로써 기후모델의 평가, 상호비교, D/B 구축 및 자료제공을 위한 시설을 구축하였다. 이 프로그램의 3단계 사업인 CMIP3의 모델 결과들이 IPCC 제4차 보고서의 기본 자료로 사용되었기 때문에 CMIP5의 연구결과들이 AR5의 기초 기후시나리오가 될 예정이다. CMIP5의 목표는 첫째, 기후모델이 최근 기후를 얼마나 현실적

로 모의하는지를 평가하는 것이며, 둘째, 미래기후 변화 전망 자료를 제공하는 것인데, 단기(약 2035년 까지)와 장기(2100년 이상)로 구분하여 자료를 생산하게 되어있다. 마지막으로, 참여 모델별 기후 변화 전망에서의 차이 발생 원인을 이해하는 것으로, CMIP5에서는 기존과는 다르게 실험 체계를 구성하였는데, 모든 참여 그룹이 필수적으로 수행하여야 할 핵심(core) 모의실험과 보다 깊은 이해를 위한 tier 1과 tier 2 실험으로 구성되어 있다. 현재 CMIP5는 총 26개 기관에서 53개의 GCM이 실험에 참가하고 있다 (<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/>).

국내 기상청/국립기상연구소에서도 CMIP5에 참여하고 있으며, 현재 새로운 온실가스 배출시나리오인 RCP 시나리오(RCP 8.5, RCP 4.5)를 기반으로 전지구 대기-해양 결합모델인 HadGEM2-AO로 약 135km 해상도의 전지구 기후변화 시나리오를 산출하였으며, 추후 RCP6.0, RCP2.6에 대해 산출할 계획이다.

2.3 상세화 기법

상세화 방법에는 역학적(dynamic) 방법과 통계적(statistical) 방법이 있다. 통계적인 방법은 상세화하고자 하는 대상지역의 과거 관측자료들을

바탕으로 통계적 기법을 이용한 것이며, 경제적인 소요비용 및 계산시간 단축의 장점이 있으나 과거 관측자료의 통계적 특성이 그대로 전이된다는 단점이 있다. 역학적 상세화는 역학 및 물리적인 특성에 근거한 지역기후모델(RCM; Regional Climate Model)을 이용하는 상세화 방법을 말한다. 역학적 상세화는 통계적 상세화보다 많은 비용과 긴 연산시간이 필요하다는 단점이 있으나, GCM의 결과를 직접 입력 값으로 제공하며 물리적으로 고해상도의 시나리오를 생산할 수 있다는 장점이 있다. 이를 통해 역학적 상세화에서는 극한 호우사상에 사용이 적합할 뿐만 아니라 미래의 비선형적 예측이 가능하다.

따라서 최근 극한 기후 평가를 위해서는 역학적 상세화를 이용하는 경우가 대부분이며, CORDEX(COordinated Regional climate Downscaling Experiment), NARCCAP(North American Regional Climate Change Assessment Program), ENSEMBLE 프로젝트 등 지역기후모형의 실험 결과를 비교하는 사업이 증가하고 있는 추세이다.

3. 대상지점 및 자료수집

본 연구의 대상지점은 기상청 관할 기상관측소 54개 지점(서울, 부산, 목포, 강릉, 광주 등)으로 하였으며, 기후시나리오와의 비교분석 및 상세화를 위해 1973년부터 2005년까지의 일강수량을 수집하였다. 또한 SRES 기반으로 생산된 기존 기후시나리오 및 현재 기상청에서 생산한 RCP 기후시나리오를 수집하였으며, 특히 RCP 기후시나리오의 경우 12.5km로 격자로 구성되어 있어, IDW(Inverse Distance Weight)를 이용하여 공간정보를 관측소 지점과 일치되게 하였다.

3.1 SRES 기반의 앙상블 기후시나리오

본 연구에서 사용된 SRES 기반의 앙상블 기후시나리오는 국토해양부에서 지원하는 「기후변화에 의한 수문영향 분석 및 전망 연구단」의 결과를 사용하였으며, 개략적인 시나리오 생산 방법은 다음과 같다.

우선, 본 연구단에서는 수자원 영향평가 시 발생하는 불확실성의 경우 GCM의 영향이 가장 크다고 할 수 있기 때문에, 따라서 모든 GCM을 쓰는 것보다 모의 능력이 우수한 GCM을 선택하여 앙상블 결과를 도출하는 것이 필요하다고 강조하였다. 이를 위해 IPCC AR4에 적용된 A2, A1B, B1 세 개의 시나리오에 대해 공통적으로 결과를 제공하는 14개 GCM 결과를 이용하여, 불확실성 평가 기법을 통해 국내 유역의 기후특성을 적절하게 반영할 수 있는 GCMs를 선정하였다. GCM 선정을 위해 극한 사상 모의능력 및 평균적인 기후 모의능력(월, 계절)을 평가하였다. 극한사상 모의능력을 평가하기 위해 확률론적 불확실성 해석기법을, GCM의 평균적인 모의능력을 평가를 위해 상관계수(correlation coefficient)와 RMSE(Root Mean Square Error)를 이용하였다. 최종적으로 선정된 GCM은 CNRM의 CM3, UKMO의 HadCM3, CSIRO의 MK3.0, CONS의 ECHO-G이다.

선정된 GCM의 기후시나리오의 상세화 과정은 전이함수를 이용하여 공간적으로 상세화하고, 일기상발생기를 이용하여 시간적으로 상세화하는 혼합(hybrid) 기법을 이용하였다. 본 연구에서 사용한 전이함수는 주성분분석 기법중 하나인 CSEOF(CycloStationary Empirical Orthogonal Function)와 다중선형회귀분석을 이용하여 100~350km의 GCM 결과를 국내 기상관측소 54개 지점으로 공간적으로 상세화하였으며, 일기상발생기를 이용하여 월단위 기후시나리

오를 일단위로 시간적 상세화를 수행하였다. 최종적으로 국내 54개 기상관측소 지점에 대해 1971~2099년까지의 일단위 기후시나리오를 생산하였다.

3.2 RCP 기반의 국가 기후시나리오

국내 기상청/국립기상연구소에서는 새로운 온실가스 배출시나리오인 RCP 시나리오(RCP 8.5, RCP 4.5)를 기반으로 전지구 대기-해양 결합모델인 HadGEM2-AO을 이용하여 약 135km 해상도의 전지구 기후변화 시나리오를 산출하였다. 또한 이 자료를 기초로 하여 지역기후모델 HadGEM3-RA로 우리나라 지역에 대한 12.5km 해상도의 지역 기후변화 시나리오를 산출하였다(그림 2).

수집된 RCP 기반의 국가 기후시나리오로 기온과 강수량에 대한 미래 전망을 수행하였다. 그림 3은 과거 대비 미래 남한의 연평균 기온 및 강수량의 변화를 도시한 것으로, 기온의 경우 RCP8.5는 6.2℃, RCP4.5는 3℃ 상승하며, 강수량은 20.3%, 22.9% 증가하는 것으로 전망된다. 표 3은 과거기간 대비 미래 남한의 연 및 계절별 평균기온 변화량을, 강수량은 과거기간 대비 미래기간의 변화율을 나타낸 것이다. 여름철 기온은 RCP4.5 및 RCP8.5하에서 전반기에는 1.53℃, 2.20℃, 후반

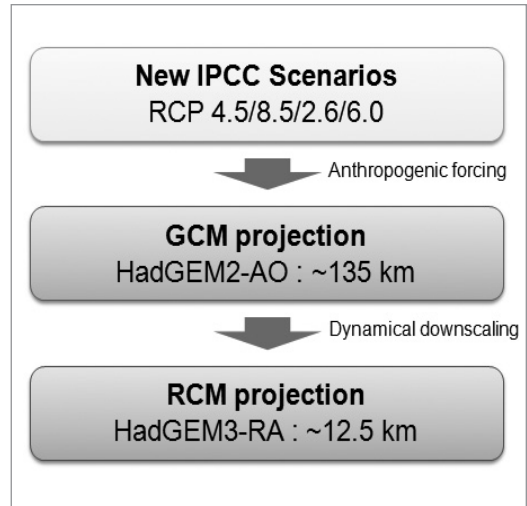


그림 2. 국립기상연구소의 고해상도 지역기후시나리오 생산 절차(기상청, 2011)

기에는 3.08℃, 5.50℃ 상승할 것으로 전망되며, 여름철 강수량은 전반기에 14.2%, 5.9%, 후반기에는 25.0%, 12.0% 증가할 것으로 전망된다.

역학적 상세화된 기후시나리오는 모형이 가지고 있는 한계로 인해 모의된 강수량 결과에서 편의가 발생하게 된다. 기후변화 시나리오를 수문 분야에서 활용하기 위한 가장 중요한 요건은 일단 월 및 계절별 변동성이 잘 반영되어야 하고, 두 번째는

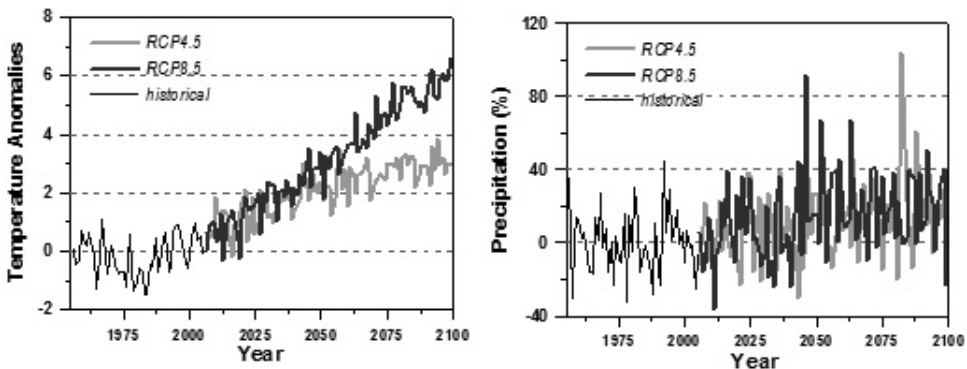


그림 3. 현재(1980~2009년) 대비 미래 남한의 연평균기온 및 강수량 변화

기 | 획 | 특 | 집

표 3. 현재(1971~2009년) 대비 미래 남한 평균기온(°C) 및 강수량(%) 전망

		RCP4.5		RCP8.5	
		2020~2049	2070~2099	2020~2049	2070~2099
기온 (°C)	Annual	1.73	2.98	2.11	5.43
	Spring	1.48	2.65	1.87	4.86
	Summer	1.53	3.08	2.2	5.5
	Autumn	1.68	3.04	2.03	5.63
	Winter	2.28	3.16	2.33	0.75
강수량 (%)	Annual	9.63	22.89	9.96	20.31
	Spring	8.38	26.36	16.6	26.07
	Summer	14.22	25	5.93	12.04
	Autumn	-3.21	13.25	3.15	9.05
	Winter	17.46	25.08	28.18	75.64

극한 사상을 잘 모의해야 한다. 따라서, 이러한 조건을 만족하기 위해 본 연구에서는 강수량을 크게 3단계(극치사상, 강수일수, 평균·표준편차 보정)로 나누어 편의보정을 실시하였다. 극치사상의 경우 모의치의 연최대치 일강수량과 잔차(관측치-모의치)의 함수를 회귀식으로 산정하여 모의치의 크기에 따른 잔차만큼 편의보정하는 방법을 이용하였다. 또한 강수일수 보정은 비초과확률을 기반으로 한 GCM 일단위 강수량의 강수일수 편의보정 기법 사용하였으며, 마지막으로 GCM 연최대치 일강수량을 제외한 나머지 강수량을 이용하여 평균 및 표준편차 보정을 수행하였다.

4. 미래 여름철 호우특성 전망

본 연구에서는 여름철 호우 특성의 변화를 정량적으로 분석하고자 한다. 분석 내용은 여름철 총 강수량(6월, 7월, 8월)의 변화, 호우 크기에 따른 호우 발생일수의 변화, 연최대치 일강수량의 변화, 확률강우량의 특성 변화 등이다.

그림 4는 여름철 강수량의 미래 전망 결과를 나타낸 것으로, 좌측 그림은 SRES 기반의 HadCM3 결과를 토대로 통계적 상세화된 결과를 나타낸 것

이고, 우측그림은 RCP 기반의 HadGEM2-AO 결과를 HadGEM3-RA로 상세화한 결과를 나타낸 것이다. 기본적인 배출시나리오 및 GCM이 다르기 때문에 직접적인 비교는 불가능하나, 통계적 상세화된 결과에 비해 역학적 상세화된 결과가 각 연도별 변동성이 큰 것을 알 수 있다.

RCP 기반의 시나리오의 경우 여름철 평균 강수량의 증가율이 RCP8.5, RCP4.5 상황에서 3.5mm/year, 4.9mm/year로 나타났다. SRES 시나리오의 4개 GCM 평균적으로 B1은 1.8mm/year, A1B는 1.0mm/year, A2는 2.4mm/year로 나타났다. 이는 RCP 시나리오의 경우 90년 후에 현재보다 약 270~450mm 정도, SRES 시나리오의 경우 100~240mm 증가할 것으로 나타났다.

표 3은 54개 기상관측소의 관측자료와 기후시나리오의 호우 크기별 평균 호우일수를 산정한 것이다. PN150은 각 연도별 150mm 이상인 호우일수를 계산하고 30년 간의 평균치를 산정한 것으로, 관측자료에 따른 PN150이 0.3이라는 것은 150mm 이상 호우가 년 간 0.3회 정도 발생하는 것을 의미한다. 주요 특징으로는 SRES, RCP 기

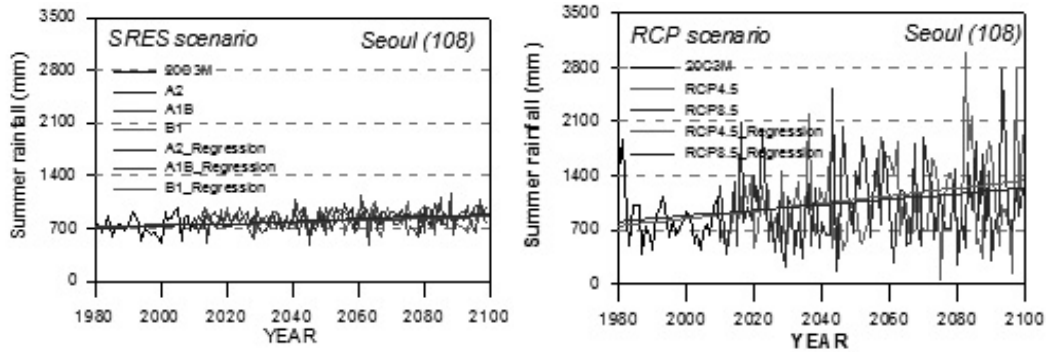


그림 4. SRES, RCP 기반의 여름철 강수량 전망

반의 기후시나리오의 경우 150mm, 80mm 등 강수량 크기가 큰 호우 사상의 경우 호우일수가 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 1mm 이상의 호우 사상은 오히려 감소하는 경향이 나타나는 것으로 전망된다. 이는 전체적인 호우일수는 줄어들지만, 호우 발생 시 극한호우 사상이 발생할 가능성이 크

다는 것을 의미한다. 특히 RCP 시나리오의 기준 기간은 관측자료와 거의 비슷한 모의결과를 나타내었는데, 2070~2099년에 150mm 이상의 강수량이 연간 0.3일에서 0.64~0.7일 정도로 약 2배 이상 증가하는 것으로 전망된다.

표 3. 54개 기상관측소의 강수량 크기에 따른 호우일수 변화 전망

(단위 : 일)

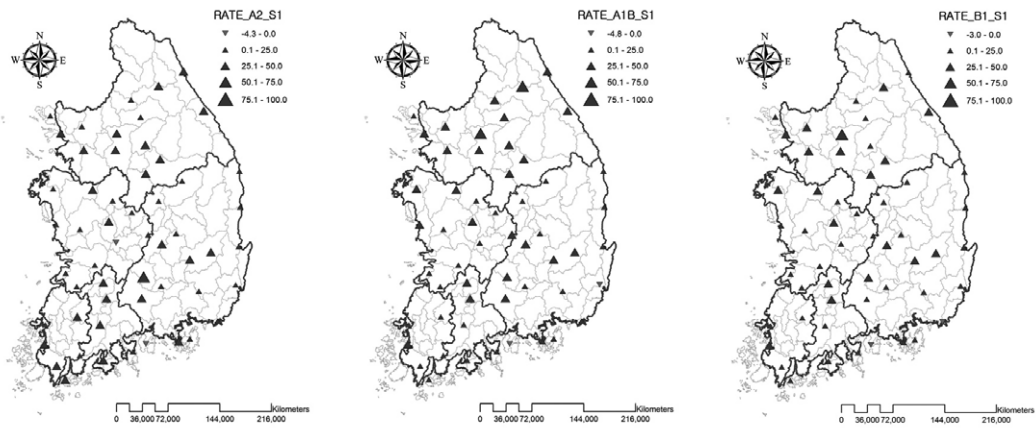
		PN150	PN80	PN50	PN30	PN01
관측자료		0.3	1.75	4.32	17.2	31.9
A2	기준기간(1976-2005)	0.44	2.22	4.06	10.33	30.51
	전반기(2020-2049)	0.73	2.54	4.26	10.37	29.97
	후반기(2070-2099)	0.8	2.69	4.43	11.32	29.45
A1B	기준기간(1976-2005)	0.44	2.22	4.06	10.33	30.51
	전반기(2020-2049)	0.69	2.59	4.36	10.54	30.08
	후반기(2070-2099)	0.9	2.79	4.51	11.37	29.75
B1	기준기간(1976-2005)	0.44	2.22	4.06	10.33	30.51
	전반기(2020-2049)	0.69	2.6	4.42	10.57	29.59
	후반기(2070-2099)	0.84	2.83	4.62	11.38	29.78
RCP4.5	기준기간(1976-2005)	0.31	2.13	4.07	17	36.7
	전반기(2020-2049)	0.52	2.43	4.47	17.09	36.11
	후반기(2070-2099)	0.7	2.77	5.05	18.86	35.68
RCP8.5	기준기간(1976-2005)	0.31	2.13	4.07	17	36.7
	전반기(2020-2049)	0.41	2.16	4.09	17.08	36.2
	후반기(2070-2099)	0.64	2.15	3.88	16.78	35.32

- PN150 : 연간 1일동안 150mm이상의 강수량이 발생한 일수
- PN80 : 연간 1일동안 80mm이상의 강수량 발생한 일수
- PN50 : 연간 1일동안 50mm이상의 강수량 발생한 일수
- PN30 : 연간 1일동안 30mm이상의 강수량 발생한 일수
- PN01 : 연간 1일동안 1mm이상의 강수량 발생한 일수

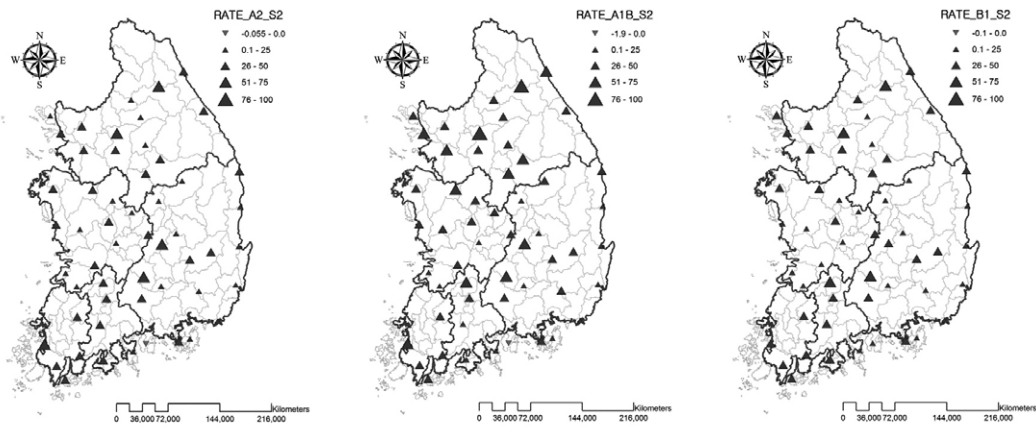
기획특집

그림 5와 그림 6은 54개 지점의 연최대치 일강수량의 변화를 나타낸 것이다. 그림 5는 SRES 기반의 생산된 결과를 나타낸 것으로 좌측부터 A2, A1B, B1 결과를 도시한 것이다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 대체로 남부지역에 비해 북부지역이 더 크게 증가하는 것으로 나타났다. 전체 유역

평균 값은 전반기에 A2, A1B, B1이 각각 24%, 25%, 21% 증가하는 것으로 나타났으며, 후반기에도 각각 29%, 35%, 29% 증가하는 것으로 나타나, 미래기간으로 갈수록 증가폭은 더 커지는 것을 알 수 있다.



a) 전반기(2020-2049)



b) 후반기(2070-2099)

그림 5. SRES 기반의 연최대치 일강수량의 과거대비 미래기간의 변화 전망

그림 6은 RCP 기반의 평가 결과를 나타낸 것으로, SRES 기반의 시나리오 경향과는 달리 내륙지역보다는 해안지역의 상승이 크게 나타났다. 전반기에 평균적으로 RCP 4.5는 26% 증가, RCP8.5는 16% 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 울산, 통영, 해남, 영덕 등 남해안 지역이 약 60% 이상의 높은 증가율을 보였다. 후반기에는 RCP 4.5는

66% 증가, RCP8.5는 53% 증가율을 보였다. 특히 RCP4.5의 경우 100% 이상 증가하는 지역(서울, 인천 통영, 영덕 등)도 발생하였다. 하지만 대구지역을 포함한 낙동강 중류지역의 기상관측소에서는 감소경향이 나타났는데, 이러한 연구결과에 대해서는 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

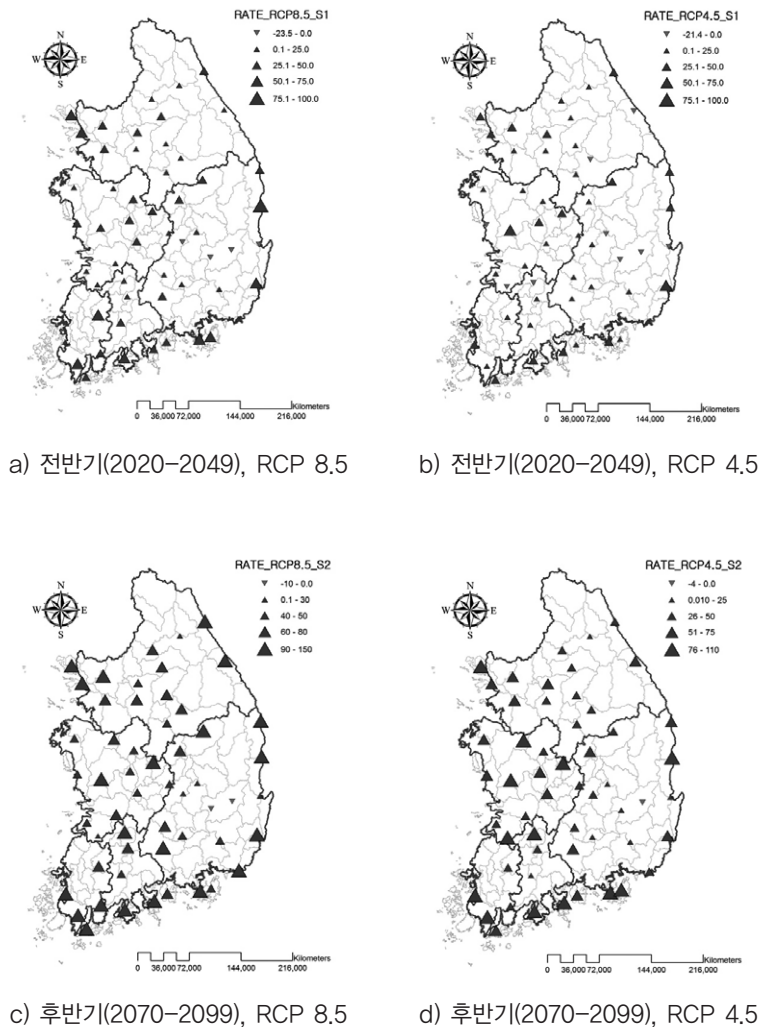


그림 6. RCP 기반의 연최대치 일강수량의 과거대비 미래기간의 변화 전망

기 | 획 | 특 | 집

그림 7은 연최대치 일강수량을 이용하여 확률밀도함수를 도식한 것으로 확률밀도함수는 Gumbel 분포를 사용하였으며, 매개변수 추정방법은 최우도법을 이용하였다. SRES 기반의 기후시나리오는 GCM 별로 나타낼 수 있었으나, GCM 별 큰 차이가 나지 않아 대표적으로 CONS의 ECHO-G 결과만을 도식하였다. 그림에서 검은색 실선은 기후시나리오의 기준기간을, 원을 포함한 검은색 실선은 21세기 전반기를, 삼각형을 포함한 검은색 실선은 후반기를 도식한 것이며, 검은색 점선의 경우 관측자료를 이용하여 PDF를 도식한 것이다. 관측자료와 기준기간의 PDF를 비교한 결과, RCP 시

나리오의 경우 거의 유사하다는 것을 알 수 있어 편의 보정기법의 타당성을 입증하였다. 미래 전망 결과를 살펴보면, RCP4.5와 RCP8.5의 경우 미래 기간으로 갈수록 PDF의 첨두치가 하향되면서 우측으로 이동하는 것을 볼 수 있다. 이는 연최대치 일강수량의 분포가 커지는 것을 알 수 있으며, 특히 RCP4.5의 경우 후반기에 매우 크게 변화되는 것을 알 수 있다. SRES 기반의 기후시나리오에서도 RCP와 동일한 결과를 얻을 수 있었으나, 전반기와 후반기에 큰 차이가 나지 않는다는 점이 특징이다.

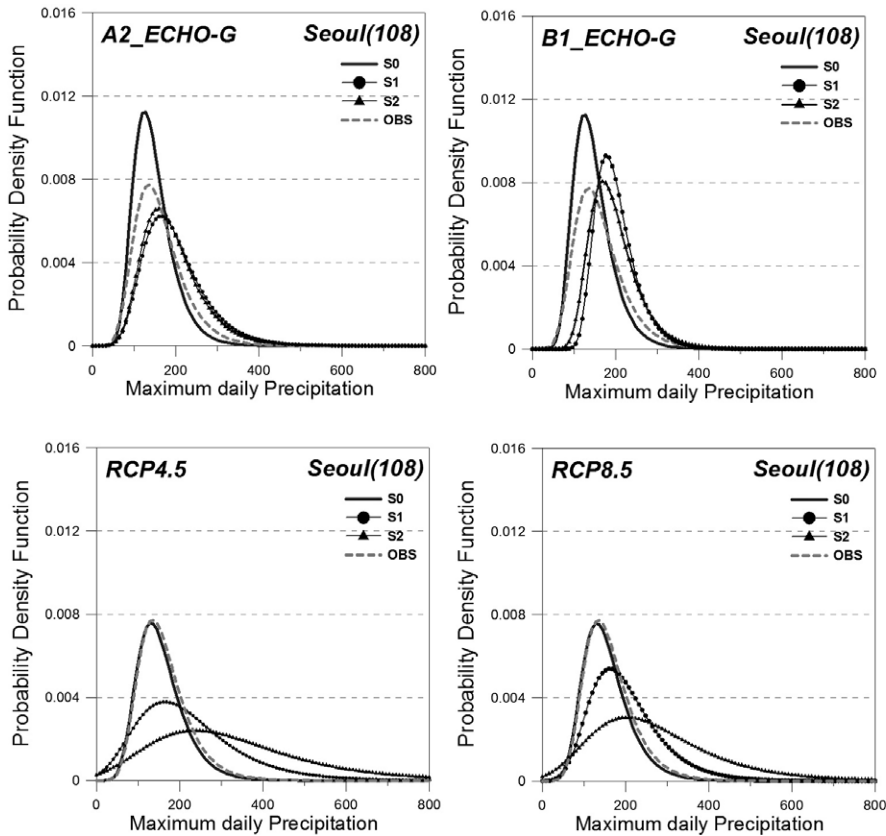


그림 7. RCP 기반의 연최대치 일강수량의 과거 대비 미래기간의 변화 전망

5. 맺음말

본 연구에서는 IPCC AR4 기반의 SRES 기후시나리오와 AR5 기반의 RCP 기후시나리오를 이용하여 미래 여름철 호우특성 변화를 평가하였다. 평가 결과를 종합해보면, 여름철 총강수량이 증가함은 물론 극한 호우의 발생일수, 극한 강수량이 증가하다는 결과를 도출하였다. 즉, 기후변화에 따라 극한 호우사상이 더욱 강하고, 빈번하게 발생하여 현재보다 홍수의 위험성이 증대될 것이다. 이러한 평가 결과를 토대로 국가차원의 적응대책 수립이 필요하며, 특히 '유역종합치수계획' 과 연계한 적응방안이 도출되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 기상청 (2011) IPCC 5차 평가 보고서 대응을 위한 기후변화 시나리오 보고서 2011
2. 배덕효, 정일원 (2008) 기후변화 수자원 영향 평가 기법 및 한반도 영향평가, 기술보고서, 수자원의 지속적확보기술개발사업단
3. IPCC (2001). Climate change 2001: The Scientific Basis, IPCC Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.