

우리나라 기후변화의 과거와 미래

○권원태¹, 최영은², 오재호³, 민승기²

1. 서론

IPCC(정부간기후변화패널)는 2001년 발간한 3차보고서(TAR)에서 지난 100년간 관측자료에 근거하여 기온은 0.6℃ 상승, 이산화탄소 농도는 30% 증가, 빙하의 퇴각, 성층권 기온의 하강 등 전구 기후변화를 분석 보고하였다. 또한 2100년까지 기온은 1.4-5.8℃ 상승할 것으로 전망하였으며, 향후 기후변화에 따른 영향을 평가하고 이에 대응하는 것이 중요하다고 주장하였다(Houghton et al., 2001).

기후변화는 기온의 상승뿐만 아니라 물순환 변화의 형태로도 나타난다. 전구 물순환과정에서 나타나는 변화는 기온변화보다 지역이나 시간에 따른 변화가 크기 때문에 분석 상의 어려움이 있으나, 호우나 가뭄의 발생빈도 증가 등이 보고되었으며, 21세기에는 호우나 가뭄, 태풍의 세기 등이 영향을 받을 것으로 예상된다. 기온의 상승과 강수 패턴의 변화는 사회경제적으로 영향을 미칠 뿐만 아니라, 자연생태계, 수자원 수급 등에도 상당한 영향을 미칠 것으로 판단된다.

이 연구에서는 우리 나라에 과거의 기후변화가 어떤 형태로 나타나고 있는지 관측자료를 중심으로 분석하였다. 사용된 자료는 기상청의 관측자료로 일최고기온, 일최저기온과 강수량에 나타난 추세, 극한사상 등을 통계적으로 분석하였다. 또한 21세기의 기후변화의 양상을 예측하기 위해서 전지구 대기-해양 결합모델을 이용하여 기후변화 시나리오를 모의하였으며, 좁은 지역에 나타난 기후변화를 평가하기 위하여 downscaling(규모 축소법)을 30년간 수행하였다. 이 논문에서는 한반도 지역의 과거 기후변화를 평가하고, 미래의 기후변화를 전망하고자 한다.

2. 20세기 우리 나라의 기후변화

20세기 한반도 기후변화는 장기간 관측 기록이 있는 관측지점을 위주로 분석하였다. Figure 1은 가장 관측기간이 긴 서울, 강릉, 인천, 대구, 부산, 목포의 기온을 평균하여 10년 간격으로 평균한 것이다. 지난 90년간 우리 나라에서 평균기온은 지속적으로 상승하였음을 알 수 있다. 특히 1990년대에는 이전과 비교하여 기온 상승폭이 가장 크다. 20세기에 우리 나라에서 기온은 약 1.5℃ 상승하였으며, 20-30%는 도시화 효과에 의한 것으로 추정된다(Choi et al., 2003).

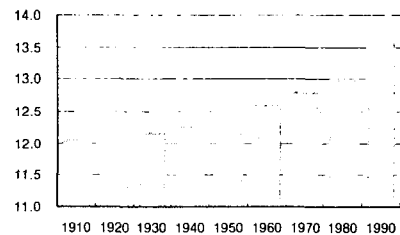


Fig.1. Time series of 10-year mean temperature.

일최고기온과 일최저기온에 나타난 극값을 분석한 결과 겨울 저온일의 발생빈도가 현격하게 줄어들고 있는 반면, 여름 고온일이 증가 경향이다. 강릉을 비롯한 남한 6개 관측소의 겨울철 야간과 주간의 특징을 반영하는 5 번째 퍼센타일 이하의 일최저기온 저온과 일최고기온의 저온은 연구기간 동안 2℃/100year이상의 상승추세를 나타내었다. 특히, 도시화가 가장 많이 진행된 서울의 경우에는 무려 7℃/100year의 높은 상승률

1 기상청 기상연구소 기후연구실 실장
2 기상청 기상연구소 기후연구실 기상연구사
3 부경대학교 환경대기화학과 교수

을 나타내었고, 대도시라 하더라도 해양성 기후의 특성을 보이는 부산의 경우에는 대조적으로 2.1°C/100year로 낮은 상승률을 나타냈다. 특징적으로, 1990년대에는 온난화 경향에 의해 일평균기온은 상승하였지만, 여름철 주간의 각 퍼센타일에 해당하는 일최고기온 고온은 중부 지역과 남부 일부지역에서 오히려 감소하는 추세를 보였다. 이것은 최광용 외 (2000)의 연구에서 밝힌 지난 20세기 동안 한반도 중부 지방의 연평균 일최고기온과 일짐임계치 이상의 고온특이일 발생빈도가 감소하였다는 결과와 일치한다. 일최저기온의 고온은 미약하게 상승하는 경향을 보였으나, 통계적 유의성은 낮게 나타났다.

20세기 후반 중 특히 1990년대에는 20세기 초반에 비하여 여름철 폭서일은 많이 발생하고, 겨울철 폭한일은 뚜렷하게 덜 발생하였다. 20세기 초반을 포함한 80년 (1920-1999)보다 20세기 후반 42년간 (1952-1999)에 모든 기온 극값 및 기온특이일의 발생빈도의 일차선의 변화 추세가 보다 뚜렷하게 가시화 되었다. 이러한 기온 극값 변화에 따라 결과적으로 20세기 후반에 뚜렷한 자연계절의 전이를 가져와 겨울철 기간은 줄어들고 여름철, 봄철 기간은 늘어났으며, 서리일과 난방일의 감소 및 냉방일 증가 등 다양한 생활 기온 지수의 변화를 초래하였다.

20세기 관측자료에 따른 10년 평균강수량의 변화는 Fig. 3과 같다. 10년 평균강수량은 장기간 증가하는 경향이 나타나지만, 1910년대, 1940년대, 1970년대는 강수량이 다른 기간보다 비교적 적은 건조기가 나타난다(Fig. 3).

결측이 없는 한반도 남부지방의 자료를 이용하여 강수일수, 강수량에 나타난 변화를 살펴보았다. Figure 4에서 a는 연강수일수(PD), b는 연강수량(TD)를 나타낸다. 연강수일수는 감소하였으나 연강수량은 증가하여 결과적으로 연강수량을 연강수일수로 나눈 강수강도(PI)가 증가하였다(Fig. 4 c). 남부지방에서 연강수량(7%) 증가와 연강수일수(14%) 감소로 최근 20년간 과거에 비하여 강수강도가 18% 증가했고, 극한 강수사상의 발생빈도도 증가하고 있는데, 특히 여름에 현저하게 나타나고 있다(Choi, 2002). 특히 일강수량이 50 mm 이상의 호우일수는 과거에 비하여 최근에 22-25% 증가하였다.

이러한 온난화의 원인으로 대기 중 온실기체의 농도 증가가 지적되고 있다(Houghton et al., 2001). 전세계적으로 이산화탄소의 농도는 비교적 균질하며, 산업혁명 전 280 ppmv에서 20세기 말에는 370 ppmv로 약 30% 증가하였다. 우리나라의 대표적 배경대기 지역인 제주도 고산에서 최근 10년간의 대기 중 CO₂ 농도 변화를 분석한 결과 1991년에 357.8 ppmv를 기록한 이후 2000년도에 373.6 ppmv에 이르기까지 매년 약 1.6 ppmv/yr의 증가율을 보이며 지속적으로 증가하는 추세를 보였다.

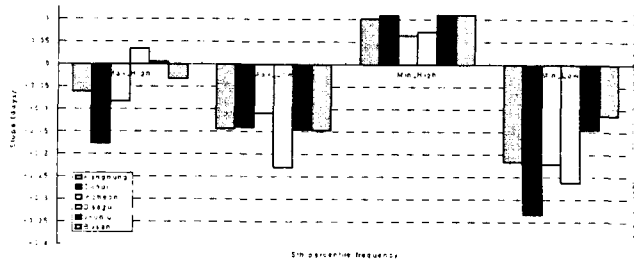


Fig. 2. The temporal trends of frequency of annual extreme temperature above or below the 5th percentile for the period of record (1920-1999) in South Korea.

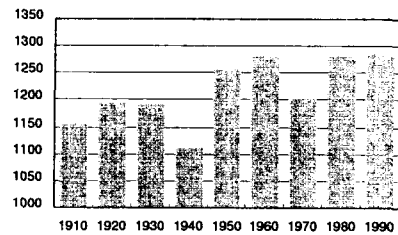


Fig. 3. Time series of 10-year mean precipitation.

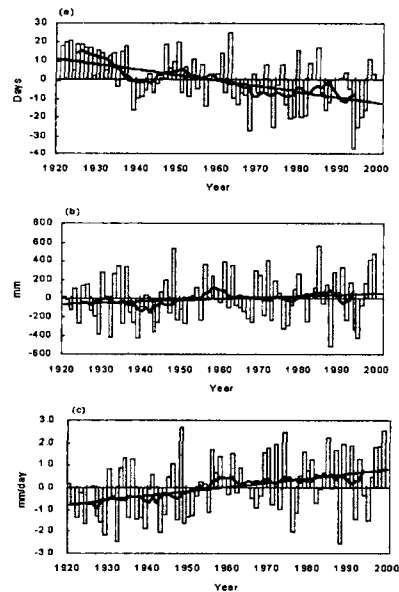


Fig. 4. The time series of annual anomalies for (a) PD, (b) TP and (c) IP in the southern region of Korea, 1920-1999. PD: precipitation days, TP: total precipitation, and IP: precipitation intensity. The anomalies are calculated relative to 1920-1999 mean. Least-square trend lines are overlain and bold curves are 11-year moving average.

3. 21세기 기후변화 시나리오 모의실험

미래의 기후변화를 전망하기 위해서 대기, 해양, 지표, 설빙, 식생 등 지구기후시스템과 각 요소들 사이의 상호작용을 모의할 수 있는 기후모델이 사용된다. 기상연구소는 독일 막스플랑크 기상연구소에서 개발된 기후변화모델(ECHAM4/HOPE, ECHO-G)을 도입하여 장기간(1860-2100년, 240년) 시나리오 모의실험을 수행하였다. 도입된 ECHO-G 모델로 100년간 기준실험을 수행하여, 기온, 강수량, 해면기압 등의 연평균, 계절변화, 변동성 등이 기존의 1000년 기준실험 결과와 비교하여, 시나리오 산출시스템이 오류없이 구축되었는지 검증하였다. IPCC 배출시나리오(SRES) 중 A2와 B2 시나리오에 따른 온실기체 농도 시나리오 자료를 수집하고, 이를 ECHO-G에 입력하여 기후변화 장기 시나리오 모의실험을 수행하였다. 온실기체 증가 시나리오에는 주요 온실기체인 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O)를 비롯한 총 19종의 온실기체가 포함되었으며, A2 시나리오는 온실기체의 급격한 증가를 보이는 반면, B2 시나리오는 완만한 증가를 나타낸다.

A2[B2] 시나리오 모의결과 CO₂ 농도가 820 ppmv[610 ppmv]인 2100년의 전구 기온은 현재보다 4.6℃[3.0℃] 정도 증가할 것으로 나타났으며, 동아시아 지역(80°E-180°, 20°N-60°N)의 경우 전구평균보다 높은 6.5℃[4.5℃]의 증가 경향을 보여주었다(Fig. 5). 2100년의 전구평균 강수량은 약 4.4%[2.8%] 증가할 것으로 모의되었으며, 동아시아의 경우는 10.5%[6.0%]로 매우 높게 나타났다. 또한 외국의 다양한 기후모델을 이용한 다양한 기후변화 시나리오 모의결과를 사용하여 2020년대와 2050년대의 동아시아 지역의 기온, 강수량의 추세변화를 분석한 결과 전지구 평균보다 큰 증가경향을 보여주었다. 그러나, 모델간 변동성(특히 강수량)은 전지구보다 크게 나타나 불확실성이 증가하였다.

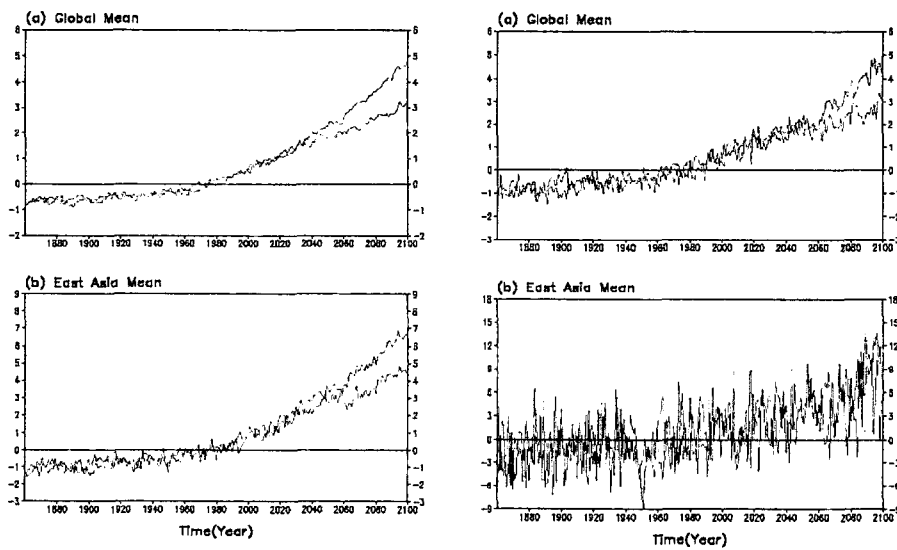


Fig. 5. Projections of long-term climate change based on IPCC SRES A2 (red) and B2 (blue) scenario using ECHO-G model: (a) global temperature change, (b) East Asia temperature change, (c) global precipitation change, and (d) East Asia precipitation change.

4. 결론 및 계획

기상청의 관측자료를 이용하여 20세기 우리 나라의 기후변화를 분석하였다. 평균기온은 1.5℃ 이상 상승하였으며, 특히 겨울철 최저기온이 가장 크게 상승하였다. 계절별로 볼 때 겨울은 온난화가 가장 큰 폭으로 진행되었다. 이러한 온난화로 인하여 자연 계절의 변화가 나타나서, 1920년대에 비하여 겨울은 1990년대에

한 달 정도 짧아졌으며, 여름과 봄은 길어졌다.

강수량은 장기적으로 증가하는 추세가 나타났으며, 특히 최근 20년은 강수량은 증가하였으나 강수일수가 감소함에 따라 강수강도가 증가하는 경향이 뚜렷하다. 이러한 경향은 여름철에 가장 현저하게 나타났으며, 일강수량 50 mm 이상의 호우의 발생빈도도 증가하였다. 향후 20세기에 나타난 기후변화에 대한 심층적인 분석을 수행할 예정이다.

IPCC의 온실기체 배출 시나리오를 적용한 ECHO-G 모델의 240년간 장기 시나리오 모의실험을 수행한 결과, 온실기체 농도가 급격히 증가하는 A2 시나리오에 의한 기후변화는 완만히 증가하는 B2 시나리오에 비하여 기온과 강수량이 더 크게 증가하였으며, 전구에 비하여 동아시아 지역의 변화가 더 큰 것으로 전망되었다. 동아시아는 북서지역에서 기온이 가장 높게 상승하고, 강수량은 유라시아 대륙 연안에서 변화가 클 것으로 전망되었다.

이러한 전구기후모델 시나리오 자료를 우리 나라와 같이 좁은 지역에 적용하는 것은 여러 가지 문제점이 있다. 우리 나라는 지형이 복잡하고 남북으로 길게 위치하고 있어서 지역에 따라 기후 특성이 달리 나타난다. 그러므로 기후변화 시나리오를 우리 나라에 활용하기 위해서 고해상도 기후변화모델을 이용하거나 제한 지역기후모델(RCM)을 이용하여 자료의 해상도를 개선하는 연구가 현재 진행 중이다. RCM에 관해서 Giorgi (1990) 등이 1990년대 초기에 제안하였으며, 다양하게 활용될 수 있다. 현재 이 연구에서 사용한 기후변화모델은 약 400 km 해상도를 가지고 있으나 지역기후모델은 해상도가 약 30 km로 고해상도 자료를 생산할 수 있다. 현재 30년간 고해상도 자료가 산출되었으며, RCM의 bias, 관측기후와 비교분석, 모델의 계통오차 수정기법 등 고해상도 자료에 대한 검증이 수행 중이다(Oh et al., 2002). 미래 기후변화에 의한 영향을 평가하기 위해서 이러한 고해상도의 자료는 필수적이다. 앞으로 이러한 고해상도 자료를 이용하여 우리나라의 사회경제적 경쟁력 및 안정성을 도모하기 위해서 기후변화의 영향 평가가 추진되어야 할 것이다.

5. 사 사

이 연구는 기상청 주요사업 '기후변화협약대응 지역기후 시나리오 산출기술개발' 및 과학기술부 국가중점 연구사업 '온실가스저감기술사업'의 일환으로 수행되었습니다.

6. 참고문헌

- 최광용, 최종남, 김종욱, 2000, 20세기 한반도 중부지방의 여름철 기온 변화, 대한지리학회지, 35(4), 519-528.
- Choi, Y., K.-Y. Nam, H.-S. Jung, and W.-T. Kwon, 2003. Estimating and correcting urban bias in surface temperature time series of Korea. *International Journal of Climatology*, 23, 577-591.
- Choi, Y., 2002. Trends in daily precipitation events and their extremes in the southern region of Korea. *Korea Soc. Environmental Impact Assessment*, 11, 189-203.
- Giorgi F., 1990: Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model. *J. Climate*, 3, 941-963.
- Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, N. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (Eds.), 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp881.
- Oh, J-H, M-K Kim, S-H Lee, T-K Kim, 2002: "Development on regional climate change scenarios for Korea peninsula and East Asia", Meteorological Research Institute, KMA, Seoul, Korea pp212 (Korean).