

## CMIP5 자료를 활용한 미래 우리나라의 인위적 영향에 의한 온난화 발현 시기 분석

부경온<sup>†</sup> · 심성보 · 김지은 · 변영화 · 조천호

기상청 국립기상과학원

### Emergence of Anthropogenic Warming over South Korea in CMIP5 Projections

Boo, Kyung-On<sup>†</sup>, Shim, Sungbo, Kim, Jee-Eun, Byun, Young-Hwa and Cho, Chun Ho

National Institute of Meteorological Sciences, Korea Meteorological Administration, Korea

#### ABSTRACT

Significant warming by anthropogenic influences over Korea is analyzed using CMIP5 projections (monthly mean, maximum and minimum temperatures) from RCP 8.5, 4.5, and 2.6 scenarios. Time of emergence (TOE) in JJA and DJF is chosen as the year when the magnitude of warming against the natural climate variability satisfies  $S/N > 2$  in 80% of the models in this study. Significant emergence in JJA is expected to appear in 2030s in three RCP scenarios, earlier than TOE in DJF. In DJF, TOE is expected to be 2040s in RCP 8.5 and is delayed in 2060s, 2080s in RCP 4.5, 2.6, respectively. Later emergence in low emission scenarios implies an importance of climate change mitigation consistent with previous studies. Maximum and minimum temperatures show similar results to the case of mean temperature. ToE is found to be affected by the amplitude of natural variability by season, variables and model spread, which requires further understanding.

**Key words:** Time of Emergence, CMIP5, RCP

#### 1. 서 론

산업혁명 이후 인간의 인위적 활동에 의한 온실가스 배출의 증가는 전 지구 평균 기온을 상승시키는데 기여하였다. 지역적으로 기온의 상승폭은 빙하 녹음, 적설면적의 감소 등으로 고위도로 갈수록 높고, 해양보다 육지가 상승폭이 크데, 최근에는 이러한 상승폭의 절대값과 더불어 이 상승폭이 과거 기후적으로 나타났던 변동성의 한계를 넘어서는지에 대한 중요성이 지적되고 있다(Mora *et al.*, 2013) IPCC AR5(2013)에서는 열대지역을 언급하면서 이 지역의 인위적 영향에 의한 기온상승이 고위도보다 작으나, 자연적 변동폭이 작기 때문에 이 지역이 작은 기온 변화에도 생태계가 취약해질 수 있다고 언급한다(Mahlstein *et al.*, 2012; Hawkins and Sutton, 2012). 이는 자연변동성이 기후예측성의 한계로만 사용되어 왔으나, 기후변화 적응 가이드선로서도 활용될 수 있음을 의미한다(Deser *et al.*, 2012).

지구 온난화가 지역적인 생태계에 미치는 영향은 다를 수 있기 때문에, 인위적 영향에 따른 기온 변화가 언제 나타나는가는 지역규모에서의 기후변화 적응과 위기대응을 위해 필요하다. 이에 많은 연구자들이 자연변동성을 넘어서는 유의한 온난화 시그널이 나타나는 시기에 대한 많은 관심을 가져왔다. Mahlstein *et al.*(2012)는 저위도에서 이미 인위적 영향에 따른 기온 변동은 여름철에 나타난다고 언급하였다. 미래 전망에 대해서는 Lyu *et al.*(2014)은 지역 해수면 상승의 발생시점에 대해 연구하였고, King *et al.*(2013)은 극한기온, Zappa *et al.*(2015)은 대서양 제트기류의 인위적 영향에 의한 유의한 변화를 분석하였다.

아시아지역에서는 Sui *et al.*(2014)과 Lee *et al.*(2016)의 연구가 있었다. Sui *et al.*(2014)은 RCP4.5에 따라 중국에서는 인위적 영향에 의한 온난화가 지역별로 다른 시기에 나타남을 전망하였다. 우리나라에 대해서는 RCP 2종에 대한 지역기후 모델을 이용한 연구가 있었는데, 최고, 최저기온의 변화시점을

<sup>†</sup> Corresponding author: [kyungon@korea.kr](mailto:kyungon@korea.kr)

Received August 8, 2016 / Revised October 31, 2016 / Accepted November 4, 2016

2030년대 이후로 전망하였다(Lee *et al.*, 2016). 본 연구에서는 기존 연구에서 사용했던 RCP 시나리오 종류를 확장하여 RCP 3종(2.6, 4.5, 8.5)에 대한 전망을 살펴보고자 하였다. 그리고 많은 모델자료를 사용하고자 CMIP5 전지구 모델 자료를 활용하여 우리나라에 대한 분석을 추진하였다.

## 2. 자료 및 방법

미래 기온변화의 시점을 전망하고자 일평균, 최고, 최저기온의 월별 자료를 분석하였다. IPCC AR5(2013)와 Mahlstein *et al.*(2011)의 개념을 응용하여 CMIP5의 historical과 미래 전망, natural-only run 자료를 사용하였다. 사용된 과거 기후 및 RCP 2.6, 4.5, 8.5에 따른 미래 장기 적분 결과의 CMIP5 15개 모델은 Table 1과 같다. 자연변동성 계산은 자연강제력만을 사용한 natural-only 실험 자료를 사용하였다. 모든 모델은 HadGEM2-AO의 해상도로 통일하여 사용하였다.

각 모델별, 격자점별 여름, 겨울 평균 기온의 1900~1929년 동안 30년 대비 anomaly 시계열을 historical/RCP run과 natural-only run에 대해 계산하였다. 자연변동성의 크기를 위해 Mahlstein *et al.*(2011)에서는 historical run(1900~1999)의 detrend

time series를 사용하고, Hawkins and Sutton(2012)에서는 pre-industrial run을 사용하였는데, 본 연구에서는 각 모델의 natural-only run의 30년 평균 anomaly의 1900~2005년 기간에 대해 각 격자점별 표준편차( $2\sigma$ )를 계산하였다. 이를 우리나라 육지에 대해 면적평균한 뒤 12개 모델 평균한 값을 기준값( $2\sigma$ )으로 하였다.

Historical/RCP run의 시계열은 30년 이동평균하고, 이 이동평균 시계열이  $2\sigma$ 를 넘는 연도를 각 모델마다 계산하였다. 그리고 총 15개 모델의 80%가 넘는 연도를 인위적 영향에 의한 온난화 발생 시점(Time of Emergence, 이하 ToE)으로 정의하였다. Lyu *et al.*(2014)과 Sui *et al.*(2014)은 중간값을 사용하였으나, 본 연구에서는 가급적 많은 모델 결과를 포함시키기 위해 AR5의 방법대로 80%를 따랐다. IPCC AR5와 본 연구의 분석방법에서 차이가 있다면 사용한 모델 개수에서 차이가 있고, AR5에서는 Historical run의 20세기 초기 시계열로 자연변동성 진폭을 사용하였으나, 본 연구에서는 natural-only run을 사용하였다. 20세기 초반 과거 기후는 인위적 영향이 적은 시기이므로, 본 연구에서 자연강제력만 고려된 모델 자료와 유사한 결과를 나타낼 것으로 판단된다. ToE는 signal-to-noise 기준으로 결정하는데, 이 기준은 연구자에 따라  $\sigma$  또는  $2\sigma$ 를 선택적으로 다양하게 사용되었다. Hawkins and Sutton(2012)에 따르면 기후변화에 대한 적응전략을 고려한다면 ToE가 좀 더 미래일수록 나은 것으로 판단된다. 이에 이 기준문헌의 방법을 적용하여  $\sigma$ 보다는  $2\sigma$ 를 signal-to-noise 기준으로 사용하였다. 그리고 모델자료의 자연 변동폭과 관측 기온의 자연 변동폭을 분석하기 위하여 GISS surface air temperature( $2^\circ \times 2^\circ$ ), CRU TS3.2( $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ) 기온 자료를 1901~2005년에 대해 사용하였다.

## 3. 결 과

### 3.1 자연변동성

이 연구에서 ToE 계산에 사용된 자연변동성 폭( $2\sigma$ )을 Fig. 1에 제시한다. 여름의 자연 변동폭을 보면 육지의 변동폭이 해양보다 크다. 위도별로는 고위도로 갈수록 저위도보다 자연변동성 폭이 크다. 계절별로는 겨울이 여름보다 변동폭이 크다. 자연변동성의 계절별, 위도별 크기로 ToE가 영향을 받는데(Lee *et al.*, 2016), 자연변동성의 진폭이 작을수록 ToE가 앞당겨질 가능성이 있다. 인위적 영향에 의한 온난화는 열대 일부 지역에서는 여름철 이미 명백하며, 계절별로는 겨울보다 여름에 먼저 나타난다는 것(IPCC AR5, 2013)은 바로 자연변

Table 1. CMIP5 model list used in this study

Model	Historical/RCP	Natural-only run
bcc-csm1-1	○	○
CanESM2	○	○
CCSM4	○	○
CESM1-CAM5	○	○
CNRM-CM5	○	○
GFDL-CM3	○	
GISS-E2-H	○	○
HadGEM2-AO	○	
HadGEM2-CC	○	
HadGEM2-ES	○	○
IPSL-CM5A-LR	○	○
IPSL-CM5A-MR	○	○
MIROC-ESM CHEM	○	○
MIROC-ESM	○	○
NorESM1-M	○	○

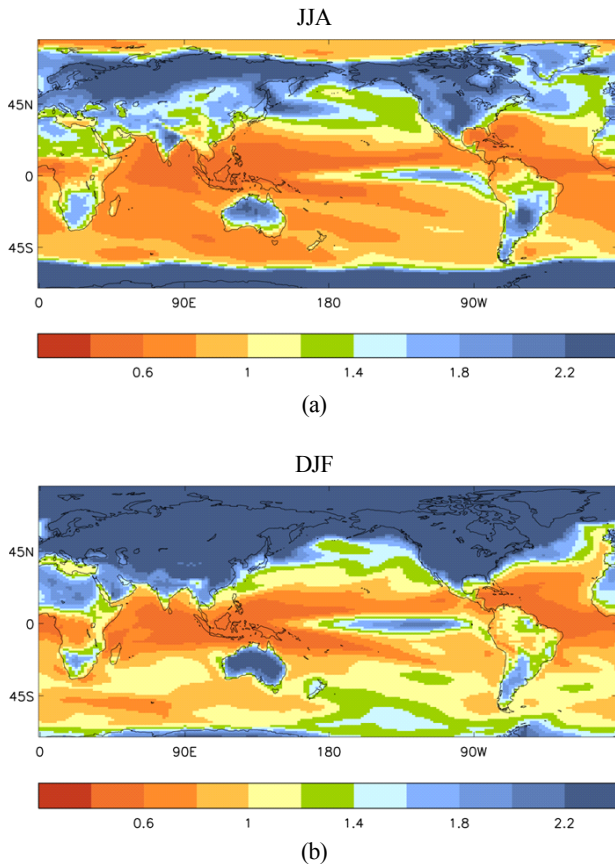


Fig. 1.  $2\sigma$  of 1.5m temperature in JJA and DJF averaged from 12 natural-only runs of the period of 1900~2005.

동성의 진폭과 관련된 것이다. 일평균기온 외에 최고, 최저 기온의 자연변동성도 계산한 결과, 계절별, 공간적 분포 구조는 모두 동일하였다. 여름철 우리나라 육지의 평균 표준편차( $2\sigma$ )를 보면 일평균, 최고, 최저기온은 각각 1.31, 1.48, 1.38이며, 겨울철은 2.24, 2.31, 2.40이다. 평균기온보다 최고, 최저기온의 표준편차가 약간 더 크다. 극한기온의 자연 변동폭이 평균 기온값의 자연 변동폭도가 크다는 점은 King *et al.*(2015)의 분석과도 일치한다.

관측자료를 이용한 일평균 기온의  $2\sigma$ 를 모델의 결과와 비교하여 보았다. GISS와 CRU 3.2를 각 격자점에서 선형 추세를 제거한 뒤, 우리나라에 대해 계산한 결과, 여름은 GISS와 CRU가 각각 1.49, 1.46, 겨울은 2.73, 2.63으로 모델의 자연 변동폭보다 크다. 이는 관측의 자연 변동폭이 모델보다 작은 Lee *et al.*(2016)과 다른 결과이다. Lee *et al.*(2016)은 1986~2010년 북동아시아에 대한 결과로, 본 연구의 1901~2005년의 분석 기간과 영역이 다르나, 이 부분에 대해서는 추가 조사가 필

요하다. GISS와 CRU3.2에서 선형 추세를 제거하지 않은 원 시계열에서 인위적 강제력이 작은 1901~1930년을 계산하면 여름은 GISS와 CRU 각각에 대해 1.34, 1.28이고, 겨울은 2.01, 2.31인데, 이는 1901~1950년으로 기간을 늘리면 증가한다.

ToE를 결정하는 데는 자연변동성 외에도 사용하는 자료의 평균기간도 연관이 된다. Mora *et al.*(2013)의 연구를 보면 연평균 기온값을 사용하면 월별 자료를 사용하는 경우보다 RCP 4.5와 8.5에서 수 십 년 정도 시기가 앞당겨질 수 있다. 이에 대해 Zappa *et al.*(2015)은 북대서양 제트의 미래 변화에서는 3개월보다는 5개월 평균의 Signal/Noise 비율이 높음을 사전에 분석한 후, 5개월 평균값을 가지고 분석하기도 하였다. 향후 자료 평균기간이 ToE에 미치는 영향에 대한 추가 조사가 필요할 것으로 보인다.

### 3.2 ToE

본 연구에서는 여름과 겨울 두 계절의 일평균기온을 사용한 ToE를 분석하였다(Fig. 2). 우리나라 (124~131°E, 34~40°N) 육지에 대해 CMIP5 15개 모델 중 80% 이상이 온난화 시그널이 자연변동성 폭을 넘어서는 것은 여름철은 2030년대 이후로 분석되었다. RCP8.5, 2.6보다 RCP4.5가 시기가 상대적으로 5~6년 늦는 차이는 있으나, 대체적으로 RCP8.5, 4.5, 2.6의 모두에서 ToE는 동일하며, 상대적으로 겨울철의 경우 RCP8.5보다 RCP4.5, 2.6으로 갈수록 시그널이 나타나는 시기가 2040년대, 2060년대에서 2080년대로 늦추어지는 것을 볼 수 있다. 여름철의 ToE가 겨울철보다 빨리 나타나는 것은 기존 연구와 동일하다(Mahlstein *et al.*, 2012, Sui *et al.*, 2014). 이는 여름의 자연 변동폭이 겨울보다 작은데서 기인한다.

중국에서는 RCP45에 따르면 Qinghai-Tibetan Plateau은 인위적 영향에 의한 온난화 발현시점을 2020~2030년경부터 북동부는 이보다 10~20년 뒤로 보고되었다(Sui *et al.*, 2014). Sui *et al.*(2014)은 본 연구와 동일하게  $2\sigma$ 를 signal-to-noise 기준으로 발현시점을 계산하되, 30개 모델의 중간값으로 ToE를 선정하여 본 연구의 ToE와 차이를 보인다. 여름이 겨울보다 ToE가 빠른 것은 Qinghai-Tibetan Plateau에서도 확인되며, 지역적으로는 발현 시기가 차이가 있는데, 북동부는 다른 계절보다 가을이 가장 앞선 것을 보였다. 가을에 대한 분석이 필요한 것은 Lee *et al.*(2016)에서도 확인할 수 있는데, 최고, 최저기온 ToE가 가을이 가장 앞서고, 겨울이 가장 느린 것으로 언급되었다.

최고기온( $T_{max}$ )과 최저기온( $T_{min}$ )을 이용한 경우(Fig. 3)에도 Fig. 2와 같이 여름철은 2030년대 ToE가 시나리오 3개에서 동일하다. 겨울 ToE도 RCP8.5보다 RCP4.5, 2.6으로 같

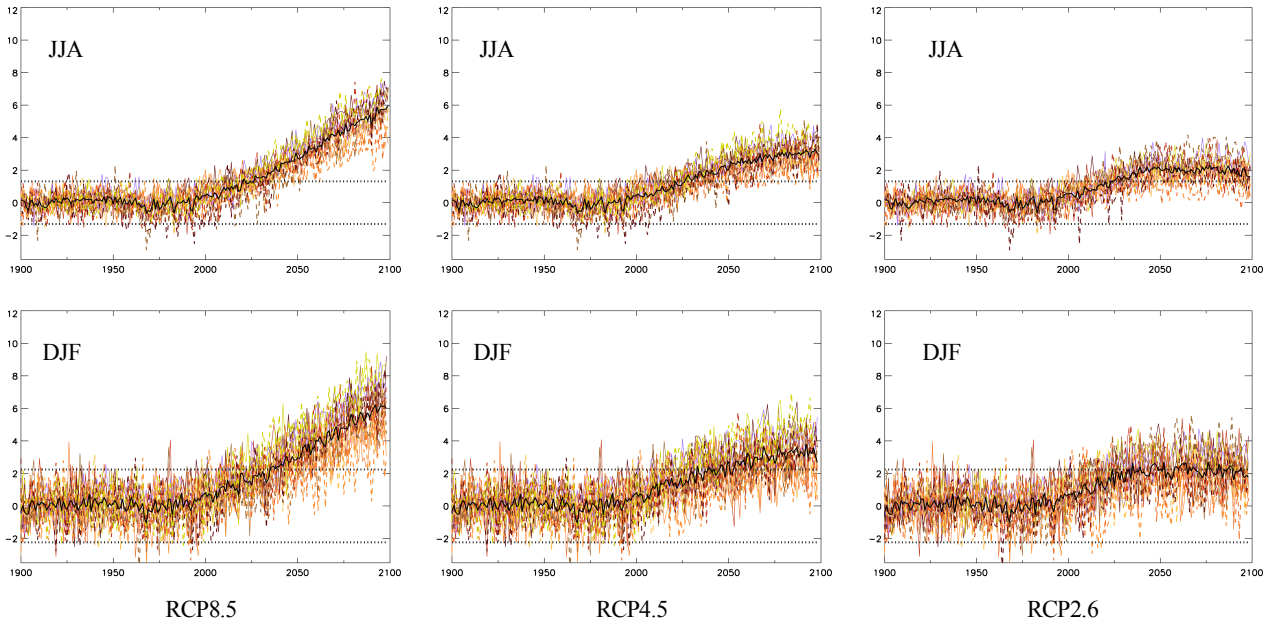


Fig. 2. JJA and DJF 1.5m temperature in historical and RCP simulations over Korea (124~131°E, 34~40°N) of CMIP5 15 models. All time series is the deviation from the base period (1900~1929). Dotted line means interannual variability ( $\pm 2$  standard deviation) in JJA and DJF averaged from 12 CMIP5 natural-only runs for the period of 1900~2005.

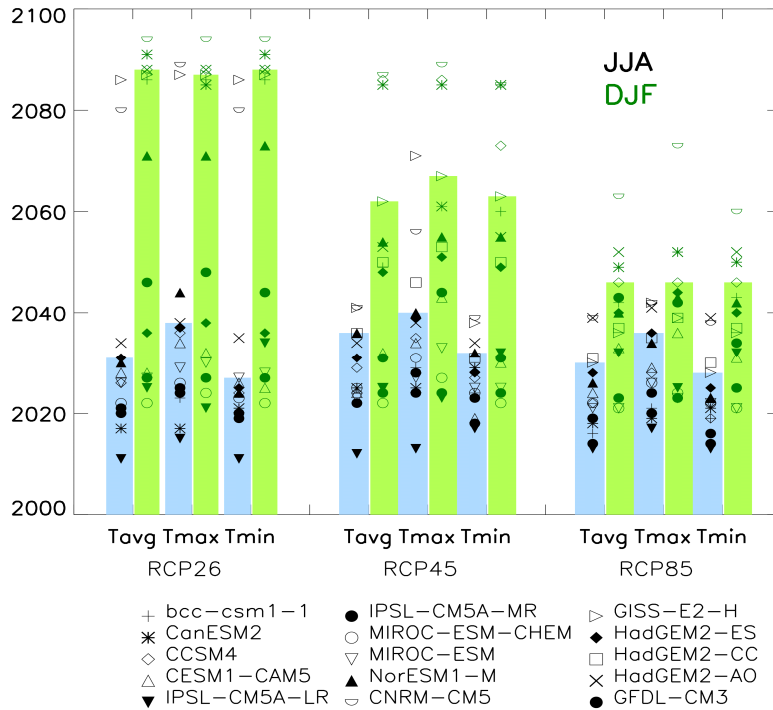


Fig. 3. ToE of seasonal mean 1.5m temperature, Tmax and Tmin in JJA (black) and DJF (green) from RCP2.6, 4.5, and 8.5 over the land of Korea. Blue and green bars indicate ToE shown in 80% of the number of models in the analysis in JJA and DJF, respectively.

수록 시그널이 나타나는 시기가 2040년대, 2060년대에서 2080년대로 늦추어지는 것은 역시 Fig. 2와 동일하다. 여름과 겨울의 계절 간 차이 외에도 동일 계절 내에서 RCP 시나리오 간 차이 역시 Fig. 2와 유사한 경향을 보인다. King *et al.*(2015)은 극한 기온의 발현 시기는 계절평균 기온값의 시기보다 약간 늦추진다고 하였고, Lee *et al.*(2016)은 최저 기온이 최고기온보다 유의하지 않으나, 발현 시기가 빠를 수 있다고 하였다. 본 연구에서는 일평균기온(tas)의 경우보다 최고기온의 발현 시기는 약간 늦추어지는 차이가 나타나 최저기온은 달랐다. 여름 일평균기온(tas)보다 최고기온의 Tmax ToE는 4~7년 뒤에 나타났고, 최저기온 ToE는 일평균기온(tas) ToE보다 2~4년 앞섰다. 겨울의 경우는 RCP 4.5일때만 최고, 최저기온 ToE가 일평균기온(tas) ToE가 수년 늦추어질 뿐 RCP 2.6, 8.5의 경우 발현 시기가 거의 차이가 없었다.

최고기온(Tmax)과 최저기온(Tmin)의 차이를 비교하면 여름철 최저기온(Tmin)의 ToE가 최고기온보다 수년 앞서서 나타난다. 최고기온은 2030년대 후반, 최저기온은 이보다 8~11년 앞당겨진 2030년대 초반으로 분석되었다. 겨울의 경우, 최고기온과 최저기온의 ToE는 4년 이하로 거의 시기가 동일하다.

Lee *et al.*(2016)에서는 RCM을 이용하여 계절별 모델 간 차이는 2030년~2090년대로 차이가 매우 크다고 언급되었다. 이에 본 연구에서도 모델 간 불확실성을 고려하기 위해 ToE 값의 25~75%의 범위를 조사하였다. RCP8.5, 4.5, 2.6 모든 시나리오에서 여름철에는 11~12년의 차이를 보이는 한편, 겨울철에는 11, 31년, 61년로 RCP8.5에서 4.5, 2.6로 가면서 모델 간 차이가 크다. 겨울철 ToE 값의 모델 간 차이는 RCP8.5에서 가장 작고, RCP2.6에서 가장 크다. 이러한 모델 간 편차는 지역 ToE에서도 나타난다. Sui *et al.*(2014)은 모델 간 편차가 적어도 24년에서 어느 계절에는 85년까지 넓어질 수 있음을 언급하였다. 모델 간 편차가 가장 적은 계절의 ToE가 가장 빠르다는 것을 언급하기도 하였다. 이러한 모델 간 차이 분석은 최저, 최고기온에서도 유사한 결과를 보인다. 최저기온의 모델 간 차이는 여름은 6~9년, 겨울은 RCP8.5에서 4.5, 2.6로 가면서 12, 32, 60년, 최고기온은 여름에 12~14년, 겨울에 10, 24, 57년으로 각각 분석되었다.

ToE의 여름과 겨울의 차이는 자연변동성의 계절적 특성 때문이며, 여름과 겨울의 모델 간 ToE 차이 역시도 자연변동성에 의해 민감한 것을 알 수 있다. 시나리오 간 차이에 대해 Lee *et al.*(2016)은 RCP8.5보다 RCP4.5에 5~35년 뒤에 나타남을 언급하였다. 본 분석에서 각 시나리오별로 RCP8.5에서 4.5, 2.6로 가면서 겨울은 20년 정도씩 ToE가 늦추어지는 것으로 분석되었다. 여름은 상대적으로 RCP 시나리오 간 차이

가 거의 없었다.

#### 4. 결과 및 토의

인위적 활동에 의한 온실가스 배출이 증가함에 따라 전지구적으로 기온의 변화가 나타났다. 그러나 이러한 변화가 과거 변동성의 한계를 넘어서는 기온변화폭과는 다를 수 있음이 지적되었다(Mora *et al.*, 2013). 열대에서는 기온상승이 고위도보다 작지만, 이 작은 기온변화는 이전에 없었던 것이었기에 취약성 측면에서 기후변화대응이 필요함이 언급된다(Mahlstein *et al.*, 2012). Mora *et al.*(2013)는 전지구 평균기온에서 RCP 85, 45에 대해 각각 21세기 중후반 인위적 영향이 나타날 것으로 전망하면서 열대지역은 더 앞당겨질 수도 있다고 하였다. 이에 아시아 지역에서도 관심이 높아지면서 Sui *et al.*(2014)과 Lee *et al.*(2016)의 연구가 진행되었는데, 이 기존 문헌을 바탕으로 우리나라에 대한 RCP 3종에 대한 미래 인위적 온난화의 발현 시기를 분석하였다.

여름 ToE는 2030년대, 겨울 ToE는 2040~80년대로 분석되어 여름이 겨울보다 ToE 시점이 빨랐으며, 이는 기존논문과 일치한다. 최고, 최저기온의 분석결과, 일 평균기온(tas) ToE와 수 년 간의 차이가 있기는 하나, 모델 간 편차를 고려할 때 인위적 영향에 의한 온난화 발현 시점은 비슷한 시기로 판단된다. RCP 종류에 따른 ToE의 차이에서 완화정책의 영향을 미루어 볼 수 있는데, 이 영향은 겨울에 나타난다.

ToE 결정에 영향 미치는 부분은 자연변동성 진폭에 민감하다. 이는 분석대상이 되는 변수의 종류, 분석하고자 하는 수평면적과 분석자료 시간 평균규모에 따라 달라진다(Sui *et al.*, 2014; Mora *et al.*, 2013). 자연 변동폭이 크면 ToE 시점이 늦추어진다. 이는 Lee *et al.*(2016)의 RCM에 기반한 결과와도 일치한다. 본 연구에서 모델의 자연변동성은 관측의 자연변동성보다 작는데, 관측값을 기준으로 하면 CMIP5 모델의 여름 ToE는 동일하나, 겨울 ToE는 늦추어지는 경향이 있었다. 자연변동성에 대해서는 추가적인 이해가 필요하다. 그리고 ToE 선정기준도 결과의 차이를 가져온다. 연구자마다 자연 변동폭 기준을 달리 사용하는데, Sui *et al.*(2014), Lee *et al.*(2016)은 본 연구와 동일한 2 $\sigma$ 의 자연 변동폭을 사용하나, 모델의 중간값(Sui *et al.*, 2014)이나 사용모델의 80% 값을 사용하는 것에 따라 차이가 날 수 있다.

ToE 결과에서 나타난 모델 간 편차 역시 향후 분석이 필요하다. 본 연구에서 여름철 ToE는 11~12년의 차이를 보이고, 겨울철은 11~61년으로 커지는데, 겨울철 ToE의 모델 간 차이는 RCP8.5에서 작고, RCP2.6에서 가장 크다. 선행연구들에

서 역시 모델 간 편차가 60년까지 커질 수 있었는데, 이 원인의 하나로 Lee *et al.*(2016)은 육지에서 ToE의 모델 간 편차가 해양보다 커질 수 있고 이는 각 모델의 지표면과 구름물리과정의 차이가 다르기 때문이라고, 설명한다. 분석 결과의 불확실성 측면에서 모델 간 편차에 대한 이해는 매우 중요하다. 이에 향후 각 모델별 특성에 대한 조사와 다양한 ToE 산정 방법에 대한 시도가 이어져야할 필요가 있다.

## 사 사

본 연구는 기상청 국립기상과학원 “기상업무지원기술개발 연구(NIMS-2016-3100)”의 일환으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Deser C, Knutti R, Solomon S, Phillips AS. 2012. Communication of the role of natural variability in future North American climate. *Nature Climate Change*. doi:10.1038/NCLIMATE1562
- Hawkins E, Sutton R. 2012. Time of emergence of climate signals. *Geophys Res Lett*. doi:10.1029/2011GL050087
- IPCC. 2013. *Climate change 2013: The physical science basis*. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Doschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM, Eds. Cambridge University Press, doi:10.1017/CBO9781107415324.005
- King A, Donat MG, Fischer EM, Hawkins E, Alexander LV, Karoly DJ, Dittus AJ, Lewis SC, Perkins SE. 2015. The timing of anthropogenic emergence in simulated climate extremes. *Environ Res Lett*. doi:10.1088/1748-9326/10/9/094015
- Lee D, Min SK, Park C, Suh MS, Ahn JB, Cha DH, Lee DK, Hong SY, Park SC, Kang HS. 2016. Time of emergence of anthropogenic warming signals in the northeast Asia assessed from multi-regional climate models. *Asia-Pac J Atmos Sci* 52:129-137. doi: 10.1007/s13143-016-0014-z
- Lyu K, Zhang X, Church JA, Slagen AB, Hu J. 2014. Time of emergence for regional sea-level change. *Nature Climate Change* 4:1006-1010, doi:10.1038/NCLIMATE2397
- Mahlstein I, Knutti R, Solomon S, Portmann RW. 2011. Early onset of significant local warming in low latitude continents. *Environ Res Lett*. doi:10.1088/1748-9326/6/3/034009
- Mahlstein I, Hegerl G, Solomon S. 2012. Emerging local signals in observational data. *Geophys Res Lett*. doi:10.1029/2012GL053952
- Mora C, Frazier AG, Longman RJ, Dacks RS, Walton MM, Tong EJ, Sanchez J, Kaiser LR, Stender YO, Anderson JM, Ambrosino CM, Fernandez-Silva I, Giuseffi LM, Giambelluca TW. 2013. The projected timing of climate departure from recent variability. *Nature* 502:183-187.
- Sui Y, Lang X, Jiang D. 2014. Time of emergence of climate signals over China under the RCP 4.5 scenario. *Climatic Change* 125:265-276, doi 10.1007/s10584-014-1151-y
- Zappa G, Hoskins BJ, Shepherd TG. 2015. Improving climate change detection through optimal seasonal averaging: The case of the North Atlantic Jet and European Precipitation. *J Clim* 28:6381-6397, doi:10.1175/JCLI-D-14-00823.1