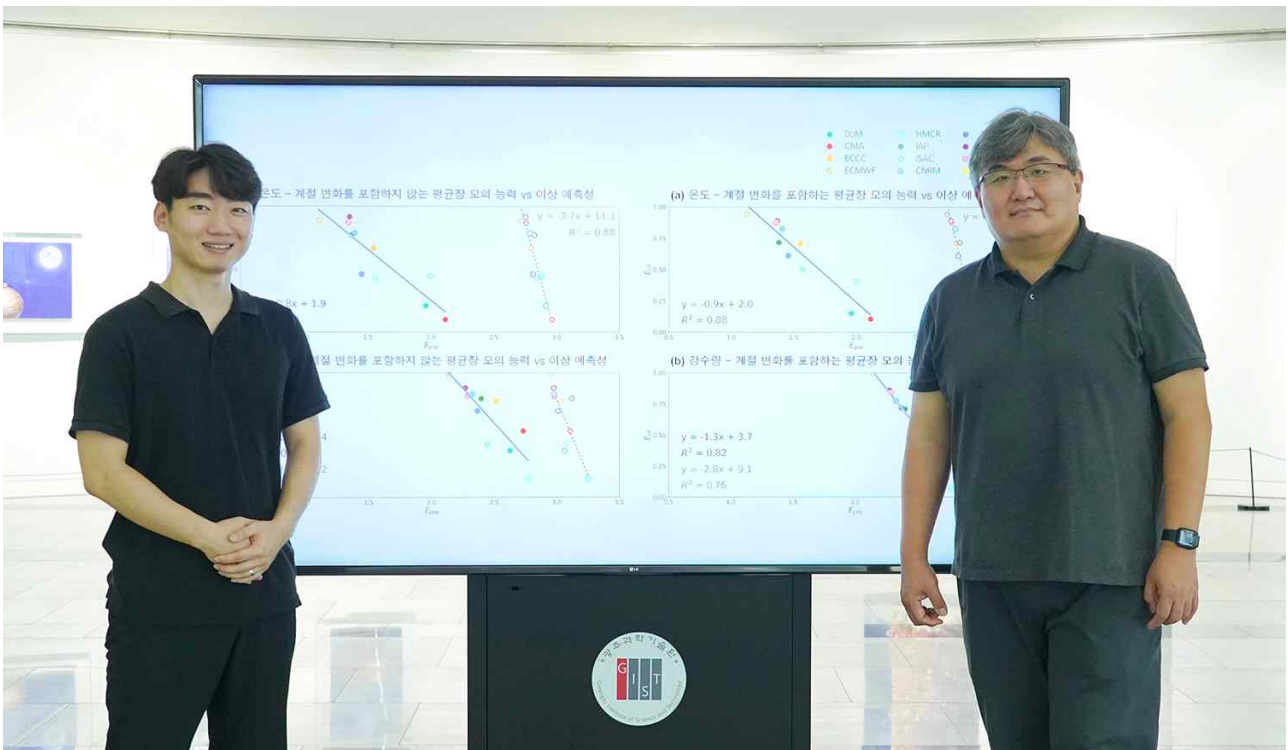


“기상 예측의 정확성이 무엇보다 필요한 시대” 한-미 국제공동연구팀, 예보 모델 성능 평가 지표 개발

- GIST 윤진호 교수가 이끈 공동연구팀, 예보 모델의 '계절내(15~32일) 예측성'과 '기후평균상태(평균장) 모의 능력'간 밀접한 관련성 확인... 계절 변화의 특징까지 고려하는 지표 고안해 분석
- 명확히 밝혀진 '계절내 예측성' - '평균장' 관계와 평균장에 기반한 새 평가 지표, 향후 예보 모델 성능 개선 위한 결정적 단서 제공해... 국제학술지 <Climate Dynamics> 게재



▲ (왼쪽부터) 류지훈 박사과정생, 윤진호 교수

‘수치예보모델’은 대기방정식(대기의 상태 및 운동을 설명)을 풀어 미래의 날씨를 계산하는 것으로, 이를 활용한 날씨 예보의 정확도는 그동안 수많은 시행착오를 거듭한 노력의 결과 점차 향상되어 왔다. 그러나 **10일 이내의 날씨 예보와 ‘계절내 예보’**(이번 연구에서는 **15일부터 32일까지의 예측**)^{*}는 여전히 많은 개선이 필요한 실정이다.

*** 계절내(sub-seasonal) 예보:** 예보의 관점에서 보편적으로 10일 이내의 기간을 날씨 예보라 칭하며, 한 달 후의 예측을 계절 기후 예측이라 한다. 이 둘 사이인 10일 이후부터 한 달 내의 기간을 계절내 예보로 분류한다. 다만 본 연구에서는 15일부터 32일까지의 예측을 의미한다.

한-미 국제공동연구팀이 **계절내 시간 규모와 열흘에서 한 달 정도 선행한 예측값과 모델의 평균장* 모의 능력***이 밀접하게 연관되어 있음을 밝히고, 모델 성능을 평가하는 새로운 지표를 제안하였다.

*** 모델의 평균장:** 모델에서 모의하는 장기간의 평균 상태를 의미함

* **모의 능력:** 모델의 예측 결과를 본 연구에선, '모델이 만들어내는 지구의 평균 상태인 평균장 모의 능력'과 '평균 상태에서 얼마나 높고 낮음으로 표현되는 이상 예측성'으로 나누었다.

광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 지구·환경공학부 윤진호 교수가 주도한 국제공동연구팀이 '**계절내 및 계절 예측 프로젝트(Sub-seasonal to Seasonal Prediction Project)**'의 다양한 예보 모델을 분석한 결과, 전 지구, 적도, 중위도의 모든 지역과 사계절 모두에서 **평균장 모의 능력***이 우수한 경우, **예측성***도 우수하다는 상관성을 발견했다고 밝혔다.

* **평균장 모의 능력:** 예보 모델은 대기나 해양의 일반적인 순환을 설명하는 역학적 수식을 기반으로 한 컴퓨터 프로그램으로, 이 수식을 수학적으로 계산하여 결과물을 도출한다. 각 모델은 서로 다른 기후 평균 상태를 모의하는데, 이를 연평균이나 평균장과 같은 다양한 평가 지표로 평가한다. 이렇게 모델이 기후 평균 상태를 모의하는 능력을 평균장 모의 능력이라고 한다.

* **모델의 예측성:** 평균장을 제외한 후 평가됨. 가령, 평소보다 더 덥거나 많은 강수를 예측.

날씨 예보의 예측성 향상을 위해 진행되고 있는 **다양한 국제협력** 중 대표적인 것으로 '**계절내 및 계절 예측 프로젝트***'를 꼽을 수 있다.

* **계절내 및 계절 예측 프로젝트(Sub-seasonal to Seasonal Prediction Project):** 세계기상기구(WMO)에서 운영하는 국제협력 연구프로그램인 세계기상연구프로그램(WWRP), 세계기후연구프로그램(WCRP), 세계관측프로그램(THORPEX)에서 지원하는 공동 프로젝트로 계절내에서 계절(통상 1~3개월)의 기상예측 기간에 대한 예측 기술과 자연에 대한 이해를 향상하고, 현업 기관에서 예측 기술을 적용하며 응용 분야에서 예측 정보의 사용을 지원하기 위한 국제 공동연구 프로젝트이다.

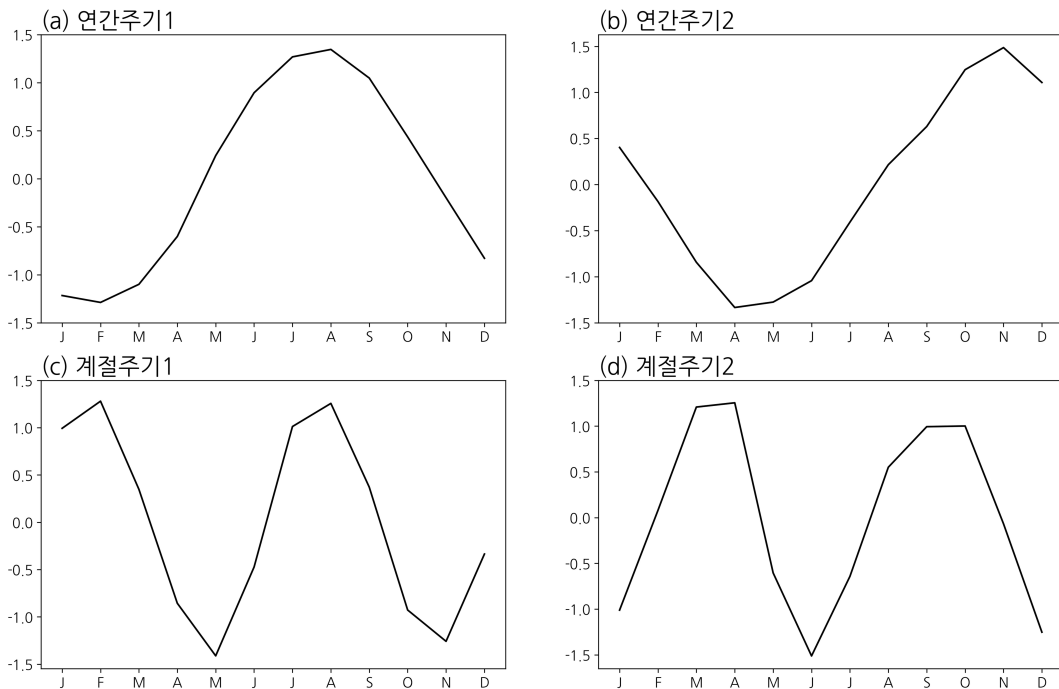
이러한 국제공동 프로젝트가 지난 10년간 진행되면서 계절내 예측성은 많이 발전해 왔다. 이는 **간단한 연평균, 월별 평균장 등 평균장 평가 지표의 결과 개선**에 의한 성과로서 모델 간의 우위가 없을 정도로 **상향 평준화**가 되었다.

연구팀은 **예보 모델의 평균장과 예측성 간의 좀 더 명확한 관계성을 입증하기 위해 새로운 모델평가지표를 개발**했다. 기존에 널리 활용되는 경험 직교 함수(EOF)*를 활용하여 **평균장뿐만 아니라 계절 변화의 특징까지 고려하는 지표를 고안하고 분석**했다.

* **경험 직교 함수(Empirical Orthogonal Function; EOF):** 시계열 자료나 공간 영상자료의 시계열 자료를 분석할 때 자료의 변화를 서로 독립적인 함수로 분리해 내는데 그 기저 함수를 경험직교 함수라고 부르고, 이때 사용되는 분석 방법을 경험직교함수 분석법이라고 한다.

통상적으로 가장 우수하다고 평가되는 유럽중기예보센터(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts; ECMWF)의 예보 모델조차도 계절 변화를 고려할 때 여전히 발전 가능성을 보여주는 것으로 파악되었다. 즉, 예보 모델의 성능을 평가하는 데 있어 1년 동안 겨울-여름으로 이어지는 큰 주기로 표현되는 **평균장뿐만 아니라 반년의 주기성을 가지고 있어 계절 단위의 변화가 나타나는 계절 변화의 모의 능력도 중요하다는 것을 확인***할 수 있었다.

* 보편적으로 이야기하는 평균장은 '(a) 연간주기1'과 같은 형태이며, 여름이 되면서 높아졌다가 겨울이 되면서 감소하여 완성되는 1년에 한 번 반복되는 주기를 가진다. 하지만 평균장에 경험직교함수(EOF)를 활용하면, 평균장 내에서 가장 강한 영향력이 나타나는 '연간주기1'에 가려져 보이지 않던 '연간주기2', '계절 주기 1, 2'가 나타난다. 흔히 '연간주기1'은 겨울-여름 패턴, '연간주기2'는 봄-가을 패턴으로 부르지만, '계절주기1, 2'는 정확하게 불리는 이름이 없어 1년에 두 번의 주기를 가지는 계절 변화의 특징으로 표현하였다.



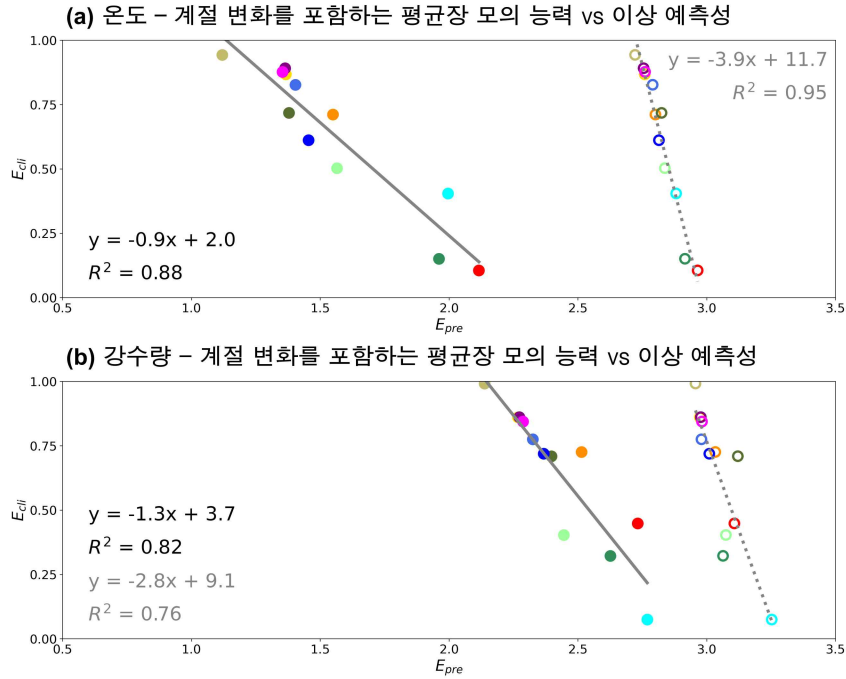
연구팀에 따르면 전 지구에서 예보 모델의 평균장과 계절 변화의 모의 능력을 함께 고려하는 것은 계절 변화를 고려하지 않은 경우와 비교하여 결정 계수*가 7% 내외로 상승하며, 특히 열대 지방의 강수에서는 30%가 넘는 결정 계수의 상승이 확인되었다.

이는 상대적으로 계산이 간편한 예보 모델의 평균장과 계절 변화 모의 능력만으로도 예측성을 추측할 수 있게 된다는 것을 의미하며, 향후 예보 모델 성능 개선을 위한 결정적 단서를 제공한다는 점에서도 중요한 의미를 갖는다고 연구팀은 설명했다.

* **결정 계수(coefficient of determination):** 회귀분석에서는 표본 자료의 추세를 파악하기 위해 회귀모형을 설정한 후 자료를 사용하여 계수를 추정하여 추정 선형방정식을 도출하는 과정을 거친다. 결정 계수는 이렇게 도출된 회귀선이 실제 표본을 얼마나 잘 설명해 주고 있는지를 측정하는 계수이다. 이 값이 1인 경우에는 회귀선이 자료와 완벽한 일치를 보임을 의미한다. 반대로 결정 계수 값이 0인 경우에는 회귀선이 자료의 분포를 전혀 설명하지 못함을 의미한다.

연구팀이 만든 예보 모델 성능 평가 지표를 통해 분석한 결과, 유럽중기예보센터(ECMWF)의 모델이 가장 우수한 성능을 가진 것으로 확인됐다.

윤진호 교수는 "연구를 통해 계절내 예측성과 평균장 사이의 관계성을 명확히 밝히고, 평균장에 기반한 새로운 평가 지표를 제안했다"고 밝히며, "이러한 관계와 평가 지표는 예보 모델을 개선하는 이정표가 될 것"이라고 설명했다.



▲ S2S 모델의 평균장 모의 능력과 예측성 사이의 관계성. 유럽중기예보센터(ECMWF)의 모델이 가장 우수하다는 것을 확인할 수 있다. (a)와 (b)는 각각 온도 및 강수량을 나타낸다. 본 연구에서 활용된 평균장 모의 능력을 왼쪽 축으로, 이상 예측성을 아래쪽 축으로 하여 왼쪽 상단에 가까울수록 우수한 성능임을 의미한다. 실선, 채워진 마크, 검은 글씨는 날씨 규모에서의 관계성을 점선, 빈 마크, 회색 글씨는 계절 내 시간 규모에서의 관계성을 나타낸다.

GIST 지구·환경공학부 윤진호 교수와 류지훈 박사과정생이 주도하고 유타주립대학교(Utah State University, USU) Shih-Yu(Simon) Wang 교수와 전남대학교 정지훈 교수가 참여한 이번 연구는 한국연구재단 중견연구자지원사업과 해외우수과학자유치사업(Brain Pool), 기상청 가뭄특이 기상센터의 지원을 받아 수행되었다.

연구 결과는 기상학 분야의 저명한 국제학술지 《기후 역학(Climate Dynamics)》에 2024년 6월 28일(금) 온라인 게재되었다.

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Climate Dynamics (Impact Factor: 3.8) 기상학 분야 상위 30% 정도(34/110)의 저명한 국제학술지
- 논문명 : Sub-seasonal prediction skill: Is the mean state a good model evaluation metric?
- 저자 정보 : Jihun Ryu(제1저자, GIST 박사과정생), Shih-Yu (Simon) Wang, Jee-Hoon Jeong(전남대학교), Jin-Ho Yoon (교신저자, GIST 교수)