

## 양상블예측시스템의 멤버별 예측변동성 분석 및 예보활용방안

박종임, 김은정, 신현철, 하종철, 김동준

기상청 수치모델링센터 수치모델개발과

양상블예측시스템은 초기장이 다른 여러 모델을 수행하여 확률론적으로 미래를 예측하는 시스템으로 예측 불확실성에 대한 정보와 다양한 위험기상 시나리오를 제공한다. 이에 따라 한국형수치예보모델(Korean Integrated Model, KIM)기반 전구양상블 예측시스템(KIM-GENS)로부터 산출된 확률예측정보를 효과적으로 활용하여 예보관의 의사결정을 지원하고자 양상블 멤버별 예측오차 변화경향 진단 및 정규화편차에 대해 살펴보고자 하였다.

양상블 멤버별 예측오차 변화 경향 진단을 통해 초기 예측성능이 우수한 양상블 멤버들로 양상블 평균장을 산출하여 전체 양상블을 활용한 평균장과의 예측오차를 비교하였다. 그 결과 예측초반에는 선별된 멤버의 양상블 평균장이 전체 양상블 평균장보다 예측오차가 15% 개선되었으나, 예측시간이 길어지면서 전체 양상블 멤버를 활용한 평균장이 모델의 노이즈를 더 효과적으로 줄임으로써 우수한 예측성능을 보임을 알 수 있었다.

양상블 예보의 가장 큰 특징은 예보의 불확실성을 정량화할 수 있다는 것인데, 양상블 스프레드는 예측지역에 강한 의존성을 갖는다. 어떤 지역의 스프레드가 크게 나타났다면 그것이 단순히 지역적 특성을 반영한 것인지, 아니면 특별히 의미있는 결과인지 판단하는 것이 필요하다. 이에 따라 유럽중기예보센터(ECMWF), 미국국립환경예측센터(NCEP), 등의 기관에서는 정규화된 편차를 생산하고 있다. 정규화된 편차는 현재의 스프레드를 과거 평균값으로 정규화해 현재의 스프레드가 과거에 비해 특별히 더 크거나 작은 것인지를 판단하는데 활용할 수 있다. 본 연구에서는 정규화된 편차를 산출해 2023년 태풍 카눈(2306)의 진로 예측에 적용해 보았다. 태풍은 평소 기압계보다 변동성이 크므로, 태풍 중심에서 정규화편차는 크게 나타났으나 태풍 주위의 기압계는 양상블 멤버의 변동성이 작게 나타나는 등 태풍 경로 예측의 불확실성 정도를 파악할 수 있었다.

Key words: 한국형수치예보모델, 전구양상블, 정규화편차, 확률예측정보

※ 이 연구는 수치모델링센터 『수치예보 및 자료응용 기술개발』 과제 (KMA2018-00721)의 일환으로 수행되었습니다.

## KLAPS 기반 강수 앙상블 시스템 구성

변의용<sup>1</sup>, 장은철<sup>1</sup>, 이용희<sup>2</sup>, 이근희<sup>2</sup>, 원혜영<sup>2</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 지구환경연구소

<sup>2</sup>기상청 수치모델링센터 수치자료응용과

기상청에서 운영 중인 초단기 기상분석 및 예측 시스템(KLAPS, Korean Local Analysis and Prediction System)은 급변하는 기상 상황을 신속하게 분석하고 예측하기 위해 개발되었다. 2006년 최초 개발 이후, KLAPS는 갱신 주기의 개선, 예측 시간의 증가, 그리고 예보자에게 제공되기까지의 시간 단축 등을 통해 지속적으로 발전해 왔으며, 2024년 현재 UM 모델을 입력 자료로 사용하여 10분 주기로 갱신되며, 매회 최대 12시간까지의 예측 자료를 생산하고 있다.

KLAPS 시스템은 짧은 갱신 주기를 통해 한반도 주변의 관측 정보를 바탕으로 분석된 최신 초기 자료를 입력 자료로 사용하여 최신 정보를 제공하는 장점을 가지고 있다. 그러나 여름철 한반도에서 좁은 지역에 짧은 시간 동안 발생하는 강수의 경우, 예측 자료의 갱신으로 인해 특정 지역의 예보가 변화하는 특징이 나타날 수 있다. 또한, 대기 상태의 불확실성을 반영하지 못하고 강수 발생의 유무만을 결정론적으로 표현하는 한계가 있다.

본 연구에서는 KLAPS 시스템의 강수 예측 한계를 극복하기 위해 앙상블 기법을 활용한 강수 확률 예보 시스템을 구성하였다. 확률론적 앙상블 기법인 SPPT(Stochastic Perturbed Physics Tendencies) 기법과 서로 다른 초기시간으로 수행된 모델 결과를 활용하는 time-lagged 앙상블 기법을 조합하여 매회 총 30개의 앙상블 멤버가 활용 될 수 있도록 시스템을 구성하고, 이를 바탕으로 강수 확률 예보를 생산하도록 구성하였다. 또한 생산된 강수 확률 예보를 효과적으로 활용 할 수 있는 가시화 결과를 제안하였다. 이를 활용하여 여름철 강수 사례에 대한 앙상블 시스템을 수행하였으며 해당 결과를 통해 강수 앙상블 시스템의 활용 가능성을 검토하였다.

Key words: KLAPS, WRF, Stochastic, Ensemble

※ 이 연구는 수치모델링센터 『수치예보 및 자료응용 기술 개발』 과제(KMA2018- 00721)의 일환으로 수행되었으며, 연구의 주요 계산은 기상청(국가기상슈퍼컴퓨터센터)이 제공한 슈퍼컴퓨터 자원을 이용하여 수행되었습니다.

## KIM의 균일/가변 격자체계에서의 고해상도 수치 예보 성능 비교

남현, 함재희

차세대수치예보모델개발사업단 역학물리팀

Korean Integrated Model(KIM)은 전 지구 육면체구 (균일)격자 기반의 수치 예보 모델이다. 균일 격자체계는 전 지구 영역에 걸쳐 균일한 해상도로 격자를 구성하여 각 격자의 크기와 형태를 일정하게 유지하는 방식이다. 이 격자체계에서 고해상도 모델을 운용할 경우 격자수 증가 및 작은 시간 간격 사용에 따라 전체 계산 비용이 증가하고, 이로 인해 연산 효율성에 제약이 생길 수 있다. 따라서, 고해상도 모델을 운용하는데 이러한 제약을 최소화하기 위해서 가변 격자체계를 모델에 적용하고자 한다. 가변 격자체계는 관심 지역에 고해상도 격자를 적용하고 그 외의 지역에는 저해상도 격자를 배치함으로써 특정 지역에 대한 예측 정확성을 향상시키며 계산 비용을 최적화할 수 있다.

KIM은 Schmidt 변환을 이용하여 전 지구 육면체구 격자에서 가변 격자체계를 구현하고 있다. 이 변환을 이용하여 기준 해상도에서 한반도 주변을 관심 영역으로 정하고 이완/수축 배율에 따라 그 영역에 고해상도 격자를 생성하고 그 외 영역은 배율에 따라 성긴 격자를 생성한다. 따라서, KIM의 가변 격자체계의 전체 격자수는 기준 해상도의 격자수와 같으며 이완/수축 배율에 따라 각각의 영역의 격자 크기가 다르므로 제일 작은 격자 크기에 의해서 시간 간격이 결정된다. 본 연구는 KIM의 균일 및 가변 격자체계에서 고해상도 수치 예보의 성능을 비교하고자 한다. 모든 실험에서 기준해상도를 25 km (NE180)로 설정하고 가변 격자체계(한반도 주변을 고해상도 8 km로 설정)를 KIM에 적용하여 10일 예측 모의실험을 수행할 것이다. 또한, 사례 검증 및 중기 검증을 통해 25 km 및 8 km의 균일격자 대비 가변 격자체계에서의 예측 성능 및 계산 효율성을 평가할 것이다. 가변 격자체계의 고해상도 영역에서 균일 및 가변 격자체계의 예측 정확성이 큰 차이를 보이지 않으면서 계산 효율성에서 현저한 개선을 보여준다면, 균일 격자 대신 가변 격자체계를 사용하는 것은 고해상도 모델 운용 시 고해상도 예측 성능을 유지하면서도 전체 계산 자원을 절감할 수 있는 유효한 방법임을 시사할 것이다.

Key words: KIM, 가변 격자체계, 균일 격자체계, 육면체구 격자, 고해상도 예측

※ 이 연구는 기상청 출연사업인 (재)차세대수치예보모델개발사업단의 가변격자체계 기반 통합형수치예보모델 개발 (KMA2020-02212)의 지원을 받아 수행되었습니다.

## 태풍 전향점에서 앙상블모델의 예측 정확도 진단

윤숙경<sup>1</sup>, 신현철<sup>1</sup>, 김은정<sup>1</sup>, 하종철<sup>1</sup>, 김동준<sup>1</sup>, 차은정<sup>2</sup>

<sup>1</sup>기상청 수치모델링센터

<sup>2</sup>기상청 국가기상위성센터

모델을 예측성을 평가할 때 검증 지수 뿐 아니라 모델이 특정 기상현상을 정확히 모의했거나 모의하지 못한 원인을 진단할 필요가 있다. 그러나 앙상블 모델은 많은 멤버로 이루어져 있어 각 멤버로부터 산출된 복잡한 결과들을 통일되고 정리된 방향으로 진단하는데 있어 어려움이 있다. 본 연구에서는 앙상블 모델의 평균이 아닌 개별 멤버에 대한 상세진단을 실시하기 위해, 태풍 진로 중 전향점을 기준으로 분석하는 진단 방법을 개발하고자 하였다.

태풍이 진행 방향을 바꾸는 것을 전향이라하며, 전향하는 지점을 전향점이라 한다. 북태평양에서 발생하여 북상하는 태풍은 대개 북서에서 북동으로 완만하게, c자 모양으로 전향한다. 그러나 때로는 진로의 전향이 매우 급격하고 전형을 벗어나는 이상진로가 발생하여 현업 예보와 수치예보에서 큰 예측오차를 야기한다. 2022년 11호 태풍 힌남노는 2022년 발생한 태풍들의 평균 오차에 비해 상대적으로 큰 예측오차를 보였다.

본 연구에서는 앙상블 모델이 전향점을 정확히 모의하였는지, 오차의 원인은 무엇인지 분석하였다. KIM(Korean Integrated Model, 26개 멤버), UM(Unified Model, 25개 멤버), ECMWF(The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, 51개) 전지구 앙상블 모델의 102개 멤버의 전향점을 자동으로 탐지하였다.

예측된 전향점의 시간/위치 오차를 분석하였을 때 전향점의 예측 시점은 KIM, 예측 위치는 ECMWF가 비교적 정확하였다. 전향점과 진로가 다른 KIM의 앙상블 3개 멤버의 500hPa 지위고도 예측장을 분석하였을 때, KIM의 서진 진로가 적고 관측보다 북동쪽 편향한 전향점 오차를 보이는 이유는 북태평양 고기압을 실제보다 축소하여 모의하기 때문으로 보인다. 차후 연구에서는 전향점의 탐지 정확성을 높이고, 오차에 따라 멤버를 분류하여 더 정확히 앙상블 모델 내, 모델 간 예측 경향을 진단하려 한다.

Key words : 수치모델, 앙상블, 진단, 태풍, 전향점

※ 이 연구는 수치모델링센터 『수치예보 및 자료응용 기술개발』 과제 (KMA2018-00721)의 일환으로 수행되었습니다.

## 한국형모델(KIM)기반 국지양상블 예측시스템 소개

김은정, 신현철, 윤숙경, 박종임, 하종철, 김동준

기상청 수치모델링센터 수치모델개발과

기상청은 위험기상예측 의사결정 지원 강화를 위해 2024년 5월부터 한국형모델(Korean Integrated Model, KIM) 기반의 국지양상블 예측시스템(KIM-LENS)을 현업으로 운영하기 시작하였다. KIM-LENS는 한반도 주변 영역을 타겟으로 하여 3km의 수평해상도를 가지며, 한국형지역모델(KIM-Regional)과 동일한 역학체계 및 물리과정을 사용한다. 초기장은 KIM-전구양상블 각 멤버의 초기장을 규모축소하여 활용하고, 경계장은 각 KIM-전구양상블 각 멤버의 6시간 간격 예측장을 활용한다. KIM-LENS는 총 13개의 양상블 멤버(규준멤버 1개, 섭동 12개)를 활용하여 일 2회 (00 UTC, 12 UTC) 5일 예측을 수행한다.

국지영역모델에서 가장 중요하게 고려되는 강수를 중심으로 여름과 겨울철 예측성능을 ASOS(종관기상관측)를 활용하여 평가하였다. KIM-LENS 양상블 평균장의 강수예측성능은 결정모델(전지구 및 지역)보다 전반적으로 우수하게 나타나 KIM 전구 및 지역모델에서 강수를 과소모의하는 경향을 보완하는 효과를 보였다. 또한 현업 병행운영 중인 UM모델 기반 국지양상블 예측시스템(UM-LENS)와도 유사한 성능을 보였다.

KIM-LENS의 양상블 순위계급 별 강수예측성능을 추가 진단한 결과, 여름철의 경우 예측 초반(1~3일) 및 약한 강수(5mm/3h 이하)는 75% 순위가, 예측 중후반(4~5일) 및 강한강수(5mm/3h 이상)는 90% 순위의 성능이 우수한 것으로 분석되었다. 겨울철의 경우 50% 및 75% 순위의 강수가 우수하게 나타났다.

Key words: 국지양상블, 한국형모델, 확률예측, 강수예측진단

※ 이 연구는 수치모델링센터 『수치예보 및 자료응용 기술개발』 과제 (KMA2018-00721)의 일환으로 수행되었습니다.

## 지역 상세 예보를 위한 한국형 수치예보 모델 기반 지역규모 모델 개발

조희제, 김정한, 노일석, 장지연

차세대수치예보모델개발사업단

차세대수치예보모델개발사업단은 한반도 및 동아시아 상세 예보 시스템 구축을 위해 전구 모델 KIM(Korean Integrated Model)을 제한 영역 모드로 수행하여 지역규모 모델로 활용할 수 있게 하는 모델체계를 구축하였다. 이는 지난 두 번의 한국기상학회 학술대회에서 발표되었으며 KIM의 분광요소법(spectral element method) 역학이 수치예보 지역 상세화 문제에 효율적일 수 있음을 시사하였다. KIM의 제한 영역 모드는 KIM의 육면체구(cubed-sphere) 격자 체계에서 첫 번째 면에서만 모델이 구동되는 방식으로 개발되었는데, 슈미트 변환(Schmidt transformation)을 통해 육면체구를 이완-수축하면 상세화 영역을 조정할 수 있다. 이 연구에서는 이완-수축 격자체계에서의 지역규모 모델 실험 결과들을 소개한다. 한반도 집중호우 사례에 대해 3km 해상도 동아시아 모의와 1km 해상도 한반도 모의를 수행한 결과는, 8km 해상도 전구 모의와 일관된 강수 패턴을 보여 주었을 뿐 아니라 지상 관측에 비추어 유의미한 지역 상세 모의를 생산할 수 있다고 판단된다. 3km 해상도 동아시아 모의를 평가하기 위해 동일한 이완-수축 배율을 적용한 전구 가변해상도 모의 및 전구 3km 균일해상도 모의를 수행하여 활용하였다. 비교 결과, 전구 가변해상도 모델이 지역규모 모델보다 3km 균일해상도 모델과 더 유사하였고, 적분 시간이 늘어날수록 지역규모 모델의 정확도는 측면경계조건을 제공하는 전구 모델의 성능에 제한되는 모습을 보였다. 하지만 이는 예보 정확도가 아닌 고해상도 전구 모델 결과와의 유사성을 기준으로 판단한 결과이기 때문에 실제 일기예보에서의 효용성을 따지기 위해서는 더욱 포괄적인 실험 및 분석이 필요할 것이다.

Key words: 한국형 수치예보 모델, 지역규모 모델, 고해상도 수치모의

※ 이 연구는 기상청 출연사업인 (재)차세대수치예보모델개발사업단의 거대 수치예측자료의 효율적 처리와 수요맞춤 활용기술 개발(KMA2020-02213)의 지원으로 수행되었습니다.