

Performance of AI-based Global Models in Tropical Cyclone Prediction

Il-Ju Moon, Dong-Hoon Kim

Typhoon Research Center/Jeju National University

The integration of Artificial Intelligence (AI) into global circulation models has ushered in a new era of weather forecasting, particularly for high impact events such as tropical cyclones. This study focuses on the performance evaluation of five state-of-the-art AI-driven global weather prediction models – FourCastNet v2, Pangu-Weather, GraphCast, FuXi, and FengWu – in forecasting tropical cyclones that have significantly affected the Korean Peninsula. The analysis centers on the models' ability to predict the tracks of notable recent typhoons, including Typhoon Maysak, Haishen, Hinnamnor, and Khanun, which have posed considerable threats to the region. To ensure a consistent and rigorous evaluation framework, all models were initialized with identical conditions derived from initial analysis data. This approach allows for a direct comparison of model outputs, focusing on the accuracy of track predictions, which are critical for disaster preparedness and mitigation in affected regions. Preliminary findings suggest that AI-driven models tend to outperform traditional numerical models in predicting the tracks of tropical cyclones. In particular, these models demonstrate superior predictive skill for longer-term predictions of 3 days or more. This suggests that AI-based models, with their potential for higher accuracy in track predictions, could play a pivotal role in improving early typhoon warning systems.

Key words: AI-based Global Model, Tropical Cyclone Forecasting, Machine Learning Weather Prediction

※ This research was supported by the Korea Institute of Marine Science & Technology Promotion (KIMST) funded by the Korea Coast Guard (RS-2023-00238652, Integrated Satellite-based Applications Development for Korea Coast Guard) and the Ministry of Oceans and Fisheries (RS-2022-KS221667), as well as “Study on Northwestern Pacific Warming and Genesis and Rapid Intensification of Typhoon” (20220566)

급강화 태풍 예측에 대한 WRF 모델 물리방안 민감도

차동현, 조하은

울산과학기술원 지구환경도시건설공학부

태풍은 매년 한반도 및 동아시아에 큰 피해를 초래하는 주요 자연재해이며, 이러한 피해를 저감하기 위해서는 태풍의 경로 및 강도에 대한 정확한 예측이 필수적이다. 최근 20년간 관측 기술 및 모델 성능의 발달에 따라 태풍 경로에 대한 예측 성능은 꾸준히 향상되었으나, 태풍의 강도 예측은 여전히 어려운 과제로 남아있다. 태풍 강도와 관련된 주요 에너지원은 구름 내 잠열 방출로, 이는 복잡한 미시적 물리 과정과 대기 역학에 영향을 받는다. 특히, 구름 내의 수적의 상변화에 관여하는 구름미세물리모수화 방안은 태풍의 강도 예측 성능에 큰 영향을 미칠 수 있다. 선행연구에 따르면, 얼음수상이 배제된 미세물리 방안을 사용할 경우 태풍의 강화 속도와 강화 정도가 더욱 강하게 모의될 수 있다. 이는 대기 수상에서의 용해효과가 없어서 태풍 주변에 상대적으로 따뜻하고 습한 대기를 야기하고 태풍 중심에서 큰 잠열을 방출하여 태풍 발달에 영향을 주기 때문이다. 이에 본 연구에서는 태풍의 급격한 강도 변화 예측 성능을 개선하기 위해, 미세물리 방안에 따른 태풍의 강도 예측 특성을 면밀히 분석하고자 하였다. 이를 위해 Weather Research and Forecasting (WRF) 모델을 이용하여 급강화태풍에 대한 구름미세물리모수화 방안의 민감도 실험을 수행하였다. 예단하는 대기 수적의 종류, 방식에 따른 태풍 예측 성능을 비교하기 위한 미세물리모수화 방안으로 WSM3 classic simple ice, WSM6 class graupel, P3 1 category를 선정하였다. 실험 결과, P3 및 WSM6 방안을 사용하였을 때 급강화태풍의 강도 강화 모의가 다른 방안에 비해 개선되었다. 이러한 결과는 보다 현실적인 구름미세물리모수화방안이 태풍의 잠열, 대류, 중심 역학 등을 정확하게 묘사하여 급강화태풍 모의성능을 향상시킬 수 있음을 보여준다.

Key words: 급강화태풍, 구름미세물리모수화방안

주변 환경에 따른 태풍 강도 변화 이해

이재덕¹, 장은철^{1,2}

¹공주대학교 지구환경연구소

²공주대학교 대기과학과

주변 환경과의 상호작용으로 인한 태풍의 강도 변화는 대체로 비선형적으로 나타난다. 이를 이해하기 위해 기존의 많은 수치실험들이 존재하지만, 대체로 f -plane에서 태풍이 이동하지 않는 상태에 대기모델만 사용한 연구들로서(해양피드백 결여) 주변환경에 따른 실제 태풍의 강도변화를 이해하는데 부족함이 존재한다. 본 연구에서는 기존의 연구와 차별성을 두기 위해 대기-해양 결합 Weather Research and Forecasting 모델을 사용하여 연직시어, 해양에디, 중층건조 및 습윤층을 처방하여 태풍과 상호작용하도록 설정하였다. 또한, f -plane이지만 환경에 따라 2, 4, 그리고 6 m s^{-1} 의 동풍을 주어 이동하면서 해양과 상호작용하도록 하였다. 이와 같은 환경 설정은 기존의 f -plane 및 대기 모델만 사용한 연구와 차별성을 보여준다. 우선, 역학적인 변수인 연직시어가 열역학적 변수(해양에디 및 중층 습윤정도)보다 태풍의 강도 변화에 더 직접적인 영향을 갖는 것으로 나타났다. 대체로 4 m s^{-1} 전후의 연직시어가 태풍의 강도발달에 호의적이었으며, 열역학적 변수는 역학적 변수의 불리함을 어느 정도 완화시키는 역할을 하는 것을 알 수 있었다. 태풍의 강화율 측면에서는 건조층 또는 cold ocean eddy를 지나는 태풍의 경우 크기가 작고 더 빠르게 발달하는 경향이 보였으며, 습윤하고 warm ocean eddy를 지나는 태풍의 경우에는 크기가 크고 점진적인 발달 경향을 보여주었다.

Key words: 대기-해양 결합 모델, 태풍강도 변화, 연직시어, 해양에디, 중층건조 및 습윤정도

※ 이 연구는 기상청 국립기상과학원 「위험기상에 대한 분석·예보의 융합기술 고도화」(KMA2018-00121)의 지원으로 수행되었습니다. 이 연구의 주요 계산은 기상청(국가기상슈퍼컴퓨터센터)이 제공한 슈퍼컴퓨터 자원을 이용하여 수행되었습니다.

GloSea6 모델의 계절내 태풍 발생 모의 분석

김은지, 차동현

울산과학기술원 지구환경도시건설공학과

태풍 활동 기간에 얼마나 많은 태풍이 발생할지 예측하는 것은 피해 대비에 중요하지만 이를 정확하게 예측하는 것은 여전히 어려운 분야이다. 또한, 2주-2개월 범위의 계절내-계절 (Subseasonal-to-Seasonal; S2S) 시간 규모는 단기와 장기 예보의 사이에 존재함에 따라 연구의 중요성이 대두되고 있으나, 해당 규모의 태풍 예측성 연구는 아직 부족한 실정이다. 본 연구는 기상청에서 현업 기후예측시스템으로 운영 중인 Global Seasonal Forecast System version 6 (GloSea6)의 21개 앙상블 hindcast 자료를 기반으로 하여 계절내 태풍 발생 예측 성능을 분석하고자 하였다. 분석 기간은 1993-2016년 6-9 월로, 분석에는 트랙킹 알고리즘 TempestExtremes와 Dynamic Genesis Potential Index (DGPI)를 사용하였다. 추가적으로, 태풍 발달 전 약한 소용돌이인 태풍 씨앗 단계를 분석하여 GloSea6에서 나타나는 태풍 발생 오차의 원인을 파악하고자 한다.

Key words: 태풍, 계절내-계절 (Subseasonal-to-Seasonal; S2S), GloSea6

태풍 진로 모의에 대한 초기 강도 오차의 영향 분석

김정민, 차동현

울산과학기술원 지구환경도시건설공학과

북서 태평양에서 발생하는 태풍은 강한 비바람을 동반하여 아시아 동부의 태평양과 접하는 지역에 막대한 피해를 야기시킨다. 이러한 태풍 피해를 대비하기 위해서 수치모델을 활용한 정확한 태풍 진로 예측이 요구된다. 그러나 수치모델에서의 진로 예측 오차는 태풍 초기 강도에 대한 불확실성으로 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 2006년부터 2018년 사이 발생한 태풍에 대해 수치모델을 활용한 진로 모의를 수행하고 초기 강도 오차가 태풍 진로 모의에 미치는 영향을 분석하였다. 6월부터 11월 사이 최소 3일간 열대폭풍(17 m s^{-1} 이상) 이상의 강도를 유지한 사례들을 선정하였다. NCEP FNL(Final) Operational Global Analysis $1^\circ \times 1^\circ$ 자료를 초기 및 경계자료로 WRF(Weather Research and Forecasting) 모델을 통해 실험을 수행하였다. 또한, 태풍 모의에 대한 검증 자료로 RSMC(Regional Specialized Meteorological Center) Best track을 사용하였다. 선정된 사례들에 대하여, 평균 초기 강도 오차는 -6.1 m s^{-1} 로 다수 사례들이 RSMC에 비해 과소모의되었으며, 특히 초기 강도 오차가 큰 사례(초기 강도 오차 $< -10 \text{ m s}^{-1}$)에 대하여 다른 사례들에 비해 진로 오차가 더 컸다. 초기 강도 개선에 따른 태풍 진로 모의 성능 변화를 확인하기 위해, DI(Dynamcial Initialization) 기법을 이용하여 초기 태풍 강도를 RSMC와 유사하게 강화하고, 이를 기반으로 추가적인 태풍 모의를 수행하였다. DI를 적용하지 않은 실험과 비교했을 때, DI를 통해 초기 태풍이 강화된 실험에서는 태풍 진로 모의 성능이 향상되었으며, 72시간 진로 오차가 20.3% 감소하였다. 또한, 초기 강도 오차에 따른 태풍의 이동 차이를 진단하기 위하여 PVT(Potential Vorticity Tendency)를 분석한 결과, DI를 적용하지 않은 실험에서는 태풍 이동이 수평 이류에 지배적인 영향을 받는 반면, DI를 적용한 실험에서는 수평 이류와 수직 이류의 영향을 모두 받아 태풍이 이동하는 것으로 나타났다.

Key words: 열대저기압, 태풍 모의, 지역모델, 역학적 초기화 기법

역학적 상세화를 통한 계절내 태풍예측성 향상에 관한 연구

김태형, 차동현

울산과학기술원 도시환경공학과

태풍은 천문학적인 사회경제적 피해를 유발하는 대표적인 자연 현상으로 북서태평양에서는 매년 약 25회 발생하며, 이중 3~4개의 태풍이 우리나라를 포함한 동아시아에 직·간접적인 영향을 미친다. 비록 영향 태풍의 수는 작지만 태풍으로 인한 잠재적인 피해는 매우 광범위할 수 있기 때문에, 이러한 태풍 피해에 대비·대응하기 위해서 2주에서 2개월에 이르는 계절내 예보의 예측성을 향상시키는 것이 중요하다. 즉, 기상청의 Global Seasonal Forecast system version 6 (GloSea6)의 계절내 예보 오차의 원인을 규명하는 것이 태풍으로 인한 피해를 최소화하기 위한 선제적 조치라 할 수 있다. GloSea6은 6월에서 9월 동안 북서태평양의 태풍 활동과 강도를 과소평가했으며, 특히 8월에 가장 큰 오차가 발생했다. 계절내 태풍 예측성능이 저조한 기간 동안, 북서태평양고기압의 변동성을 재현하지 못하는 특징이 나타났다. 태태풍의 중위도 활동은 북서태평양고기압과 밀접한 관계를 가지므로, 북서태평양고기압 모의성능은 중위도 영향태풍 예측성에 중요한 역할을 할 수 있다. 이에 계절내 북서태평양고기압의 변동성 및 태풍 예측성능을 개선하기 위해, GloSea6 결과에 역학적 상세화 기법을 적용하였다. 실험 기간으로는 대부분의 계절내 예측모델들이 북서태평양 고기압 예측에 실패했던 2016년 8월을 선정하였다. 역학적 상세화 적용 결과, 태풍 빈도 및 강도 오차가 개선되는 부가가치가 생산되었다. GloSea6에서는 인도여름몬순을 과소모의하면서 전지구원격상관을 약하게 모의하고 이로 인해 북서태평양고기압의 재현을 실패하였으나, 역학적 상세화를 통해 인도몬순, 전지구원격상관이 현실적으로 모의되면서 북서태평양 고기압 모의가 개선되었으며, 결과적으로 중위도 영향태풍의 계절내 예측성이 향상되었다.

Key words: 현업기후예측시스템(GloSea6), 계절내 시간규모, 역학적 상세화, 태풍