

이동성 저기압에 의한 한반도 대설사례의 역학적 분석

이준석¹, 김주완¹, 송강현², 김형규¹

¹공주대학교 대기과학과

²사단법인 넥스트

한반도에서 대설은 집중호우와 태풍에 이어 3번째로 많은 피해를 입히는 기상 재해로 알려져 있다. 대설의 발생기작을 이해하기 위해 기상청에서는 관측 자료를 토대로 6개의 대설 유형으로 분류한 대설 개념 모델을 활용하고 있으며, 한반도 대설은 온대저기압과 시베리아 고기압이 주된 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 한반도 대설 사례 유형을 객관적으로 분류하기 위해 자기조직화지도(Self-Organizing Map)를 이용하여 한반도 대설이 관측될 때, 동아시아 지역의 종관패턴을 분류하였다. 사례는 기상청 대설주의보(5 cm/day)를 기준으로 1993년부터 2023년까지 30년간 486개의 사례를 분석하였다. ERA5 자료를 활용하여 이동성 저기압이 대설 발생에 큰 영향을 미치는 군집들에 대한 역학적 메커니즘을 분석하였다. SOM으로 분류된 사례중 저기압의 역할이 중요한 사례는 두 개의 군집으로 분류되었다. 두 개의 군집은 저기압 발달위치 및 성장속도 차이가 존재했다.

오메가 방정식을 통해 저기압 성장과 관련된 강제력 상·하층의 소용돌이도 차이에 의한 발달유형과 하층의 온도이류에 의한 저기압 발달 유형을 확인할 수 있었다. 본 연구 결과는 저기압에 의한 한반도 대설 사례 중에서도 역학적인 기작이 다르게 해석되어야 함을 시사한다.

Key words: 한반도 대설, 자기조직화지도, 이동성 저기압, 오메가 방정식

기후 예측 정보 생산을 위한 전지구 대기-해양 결합 모델과 지역 기후 모델 시스템 개발

장은철^{1,2}, 유수진¹, 김태민¹

¹공주대학교 대기과학과

²공주대학교 지구환경연구소

수치모델을 이용한 대기의 예측은 단기 예측에서는 초기조건의 불확실성에 크게 영향을 받으며 계절 이상의 예측에서는 경계 조건의 영향을 주로 받는다. 기후 예측 정보를 생산하기 위해서는 해양과 해빙 경계조건의 적절한 예단이 핵심적인 영향을 미치며, 대기-해양 결합 모델 시스템을 이용하여 권역 사이의 상호작용을 포함한 예단 정보를 생산하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 전지구 기후 예측 정보를 생산하는 체계를 새롭게 구축하기 위하여 대기 모델로 Global/Regional Integrated Model system (GRIMs)를, 해양 모델로 Nucleus for European Modeling of the Ocean (NEMO) 모델을 선정하여 OASIS-MCT 결합자를 통해 두 모델을 결합한 시스템을 개발하였다. 반면, 장기간 예측 기후 정보는 현업 운영을 통해 정기적으로 산출되는 경우 대용량 자료의 특성으로 저장 장치의 제약을 가진다. 상대적으로 낮은 해상도를 가지는 전지구 기후 정보의 활용도를 제고하기 위하여 지역 기후 모델을 이용한 역학적 차수내림 방안이 고해상도의 지역 기후 예측 정보를 생산하는데 활용된다. 전지구 기후 예측 정보의 용량 제약으로 인해 보편적으로 제한된 연직 층의 정보를 저장하는 방법이 적용되는 경우가 많음을 고려하여 본 연구에서는 일부 연직 층의 정보만을 이용하여 역학적 차수내림을 수행할 수 있도록 연직 증분 내삽법을 적용하였다. 전지구 모델과 지역 기후 모델은 같은 역학 체계와 물리과정을 사용하도록 하여 변수간의 일치성을 높여 불확실성의 발생을 제한할 수 있었으며 제한된 정보만으로 상세한 지역 기후 예측 정보를 생산하게 되어 상세 지역의 기후 예측 정보 생산과 이를 이용한 대응 방안 수립 및 정책 결정에 활용될 수 있도록 하였다.

Key words: 전지구 결합 모델, GRIMs-NEMO, 역학적 차수내림, 연직 증분 내삽법

메타가우시안 기법을 이용한 머신러닝과 기상기후데이터 기반 강우-유출 모형의 수문학적 관점의 불확실성 분석

최승철¹, 이두호³, Zhang chi², 박지훈¹, 이유경¹, 김병식³

¹강원대학교 AI기후재난기술융합연구소

²강원대학교 방재전문대학원 도시환경재난관리전공

³강원대학교 AI소프트웨어학과/방재전문대학원

최근 기후 변화로 인한 극한 호우로 인해 하천 범람 및 제방의 붕괴로 인한 침수 피해가 증가하고 있다. 이에 따라 극한 호우로 인한 침수를 예측하여 재해 대비 및 효율적인 수자원관리를 위해 기상기후데이터를 이용한 머신러닝 기반의 모형과 물리 모형 기반의 강우-유출 모형이 활용되고 있다. 과거에는 물리 모형 기반의 강우-유출 모형이 주로 사용되었으나, 최근에는 인공지능 기술의 발달로 머신러닝 모형을 적용하는 연구가 수행되고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 기상기후데이터와 기존 유입량 및 수위 예측 등과 같은 수문학 분야에서 활발히 사용되고 있는 RNN(Recurrent Neural Network) 기반의 시계열 딥러닝 모형인 Bi-LSTM, LSTM 대신, 최근 자연어 처리 분야에서 뛰어난 성능을 보이고 있는 Transformer를 유출량 모의에 적용하여, 시계열 딥러닝과의 모의 결과를 비교하고자 한다. 기존의 선행 연구 사례를 분석해보면 기상기후데이터와 머신러닝 기법을 적용한 모형의 경우, 통계적 검증지표를 적용하여 모의 성능을 평가하였다. 이러한 평가 방법은 전반적인 모의 성능만 확인할 수 있다는 한계점이 존재하기 때문에 수문학적 관점에서의 정확도 검증지표도 함께 활용해야 한다. 또한, 실제 유역에서는 증발, 증산 및 침투 등 다양한 과정을 거쳐 유역에 내린 강우가 유출이 되는데, 이러한 복잡한 과정이 모형 개발에서 고려되지 않고, 오직 데이터 기반으로만 개발되기 때문에 모의결과에 불확실성이 존재할 가능성이 있다. 따라서, 본 연구에서는 Meta-Gaussian 기법을 이용하여 모형별 모의 결과에 대한 불확실성을 검토하였다.

Key words: 메타가우시안, 불확실성, 기상기후데이터, 머신러닝, 강우-유출 모형

※ 이 논문은 정부(기상청)의 재원으로 한국기상산업기술원의 기상기후데이터 융합분석 특성화대학원 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

기상기후데이터와 앙상블 모델을 이용한 월 증발산량 산정법에 관한 연구

손민우¹, 이두호², 추정수³, 이병현³, 김병식²

¹강원대학교 도시환경재난관리전공

²강원대학교 AI소프트웨어학과/방재전문대학원

³강원대학교 AI기후재난기술융합연구소

지구 온난화에 따른 기후변화는 지구 상의 수문순환 과정 중의 하나인 증발에 중대한 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있다. 증발은 여러 요소에 의해서 영향을 받으며, 식생의 생장을 위해서 필요한 물 수요량을 정확하게 산정하기 위해 각각의 기상/기후요소가 증발량에 미치는 영향을 파악하는 것은 매우 중요하다. 증발은 수문 순환을 조절하는 데 핵심적인 역할을 하며, 증발 손실을 예측하는 것은 물 관리, 관개 계획 및 농업 모델에 매우 중요하다. 또한, 증발률의 증가는 중요한 지구 온난화의 지표이기도 하다. 따라서 증발량을 산정하는 것은 수자원을 모니터링하고 관리하는 데 매우 중요하기에 기상/기후요소가 증발량에 미치는 영향을 분석하기 위하여 여러 직간접적인 방법을 통해 증발량 계산을 시도하였다. 그 중 FAO-56 P-M 식은 증발량을 산정하기 위한 표준 방법으로써 제시된 바 있고, 전 세계 여러 연구자에 의해서 적용성이 평가된 바 있다. 하지만 이러한 방법은 풍속과 증기압 등 다양한 기상 상태의 영향을 받는 모든 조건이 고려되어야 하며, 간접 기법은 기상 정보와 부피 및 에너지 보존과 같은 물리적 개념을 사용하여 증발을 측정하는 것으로, 기후에 따라 정밀하게 조정해야 한다. 따라서 본 연구는 증발을 보다 정확하게 추정하기 위해 기상/기후데이터와 딥러닝 모델의 한 형태인 앙상블모델인 XGBoost를 활용하여 인공지능 기반의 기법을 사용한 증발산량을 계산하고 타당성을 평가하였다. 본 연구에서 증발의 비선형성을 계산, 포착하는 방법의 제시는 추후 증발량을 예측하는 데 효과적인 도구가 될 수 있을 것이다.

Key words: 증발산량, 인공지능, 앙상블모델, 기후변화, 기상기후데이터

※ 이 논문은 정부(기상청)의 재원으로 한국기상산업기술원의 기상기후데이터 융합분석 특성화대학원 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

GK2A 대기운동벡터 산출물 정확도 개선 방안 및 예측 알고리즘 제안

최화연, 최용상

이화여자대학교 기후에너지시스템공학과

한국의 정지궤도위성(GEO-KOMPSAT-2A, GK2A)에서 산출되는 바람 자료인 대기운동벡터(Atmospheric Motion Vector, AMV)는 수치예보모델 등 기상예보에 활발히 활용되며 위험 기상 분석에 사용되는 중요한 인자이다. 본 연구에서는 CNN(Convolutional Neural Network) 모델을 이용하여 청천 영역에서 수평 AMV의 정확도를 개선하고, 더 나아가 1시간 후 AMV 예측을 시도한다. GK2A 수증기 흡수 채널(중심 흡수 파장: $6.3, 7.0, 7.3 \mu\text{m}$)의 휘도 온도 이미지를 CNN 모델에 입력자료로 사용하여 Optical Flow를 산출함으로써 다양한 고도의 수평 대기 운동 벡터를 산출하였다. 본 방법으로 산출된 AMV는 기존의 표적 기반이 아닌 화소 기반의 산출물로 각 화소에 선형 회귀 방법이 적용 가능해져 이 점을 이용하여 예측이 가능해진다. 제시된 CNN 기반 알고리즘은 2022년의 한반도 영역을 대상으로 실험하였으며 ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) 바람장 자료로 Root-Mean-Square Vector Differences(RMSVDs)를 계산하여 검증하였다. CNN 기반 알고리즘은 기존의 GK2A 알고리즘에 비해 추적 정확도가 11.2-29.37% 상승하였고, 예측된 AMV의 RMSVD는 예측 목표 시간이 10분, 20분, 30분, 60분일 때, 각각 1.97, 2.66, 3.32, 5.28 m/s의 결과를 보였다. 결과적으로 본 연구에서 제시한 CNN 기반 알고리즘은 AMV 산출을 위한 수증기 추적에 대해 기존의 GK2A 알고리즘보다 더 높은 정확도를 보였고, 기존 알고리즘의 한계점이었던 AMV 예측을 시도했다. 따라서 본 연구는 정지궤도위성에서 AMV를 산출하는 알고리즘의 정확도에 잠재적인 개선안을 제안하고, 더 나아가 바람과 관련된 기상 현상과 위험 기상예보의 정확도 향상에도 기여할 것이다.

Key words: GK2A, 원격 탐사, 대기운동벡터, Optical Flow, CNN

기상 데이터 기반 대한민국과 사우디아라비아의 월별 그린 수소 LCOH₂ 산정 및 비교 분석

이상훈, 김예원

이화여자대학교 기후에너지시스템공학과

기후 위기로 인해 화석연료의 대체제로 활용할 수 있는 수소에 대한 수요가 높아지고 있다. 특히 그린 수소의 경우 신재생에너지를 활용하여 수전해를 통해 수소를 생산함으로써 생산 과정에서 탄소를 거의 배출하지 않는 생산 방식으로, 친환경 에너지원으로 주목받고 있다. 하지만 그린 수소의 경우 지역마다 잠재 에너지의 편차가 존재하는 신재생에너지의 특성을 그대로 가지고 있어 한국과 같은 일부 국가에서는 그린 수소의 생산 단가가 높다. 또한 신재생에너지의 변동성으로 인해 월별로 생산량이 달라 생산 단가 또한 변동성을 가지게 된다. 이에 본 연구에서는 기상 데이터를 기반으로 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하여 대한민국과 사우디아라비아 두 국가에서의 월별 그린 수소 균등화 생산 단가(LCOH₂)를 비교 분석하였다. 연구에서 활용한 몬테카를로 시뮬레이션은 변동성이 내재하여 있는 입력값의 확률 분포에서 데이터들을 무작위로 추출하여 주어진 식에 반복적으로 대입하는 과정을 통해 입력값들의 변동성을 반영한 모델의 결과값을 얻을 수 있게 하는 통계 분석 기법이다. 본 연구에서는 NASA에서 제공하는 Prediction Of Worldwide Energy Resources를 활용하여 입력값 확률 분포를 도출하였다. 이후, 2회의 해당 입력값을 활용한 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하여 월별 태양광 발전 용량을 구한 후 수소 생산량을 산출하였다. 마지막으로 경제성 분석을 수행하여 월별 LCOH₂를 확률분포의 형태로 나타내었다. 해당 분포를 통해 사우디아라비아와 한국의 연중 그린 수소 생산 단가의 차이를 확인하고, 출력제한 전력량 활용 및 블루 수소 활용을 고려한 사우디아라비아와의 수소 무역에 대한 분석을 진행할 수 있었다. 이러한 분석은 향후 이뤄질 타 국가와의 그린 수소 무역에서 월별 생산 변동성을 가진 그린 수소를 어떤 방식으로 계약하고 거래할 수 있을지 경제적 타당성을 알아볼 수 있을 것으로 기대된다.

Key words: 기상데이터, 그린수소, 경제성분석, 대한민국, 사우디아라비아

※ 이 논문은 정부(기상청)의 재원으로 한국기상산업기술원의 기상기후데이터 융합분석 특성화대학원 사업의 지원을 받아 수행되었습니다. 이 연구는 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구 사업입니다. (2018R1A6A1A08025520)