라디오존데 자동수신장치 산출변수 개선 연구

인소라, 최규용, 황성은, 김병택, 김기훈, 이철규

국립기상과학원 관측연구부

기상청은 2019년부터 라디오존데 하강관측자료를 수집하여 생산하고 있다. 라디오존데가 하강시 낮은 고도에 도달하면 라디오존데 신호가 지형의 영향으로 차폐되어 하층자료에 공백이 발생하게 된다. 이를 해결하기 위해 라디오존데가 이동하는 풍하측에 추가의 수신기를 설치하여 라디오존데 신호를 이중수신하는 방안을 고려하였다. 이를 위해 라디오존데 신호를 검색하여 자동으로 수신하는 장치를 자체 제작하고, 수신된 신호를 기상변수로 변환하는 알고리즘은 오픈소스기반으로 개발하였다. 이 장치에서 산출되는 정보는 관측시간, 위·경도, 기온, 습도, 고도 등의 1초 자료이다. 현재 개발된 자동수신장치의 현업 활용을 위해서는 추가로 요구되는 기압과 바람자료의 산출이 필요하다. 이에 본 연구에서는 자동수신장치에서 산출되는 변수를 확대하고, 산출된 변수의 정확도를 검증하고자 하였다. 기압은 측고방정식을 이용하여 계산이 가능하며, 바람은 라디오존데 위치의 변화량을 이용하여 계산 할 수 있다. 기압과 바람 산출을 위해 2022년 12월 26일 부터 2023년 3월 21일까지 국가태풍센터에서 비양한 현업 라디오존데를 이중수신 한 자료를 사용하였으며, 관측횟수는 326회 이다. 이중수신지점의 위치는 서귀포시 서호동이며, 기준 지점인 국가태풍센터에서 남서쪽으로 약 14.6km 떨어져 있다. 이중수신자료에서 산출된 기압과 바람의 정확도 검증을 위해 이중수신 대상지점인 국가태풍센터 라디오존데 자료와 비교하였다. 측고방정식을 이용하여 산출한 기압값과 국가태풍센터 라디오존데의 기압값을 비교 한 결과 평균절대오차(Mean Absolute Error)는 0.71hPa이며, 연직 분포를 보았을 때 상층으로 갈수록 오차가 감소하였다. 평균 편향(Bias)은 −0.08hPa이며, 평균 제곱근 편차(Root Mean Square Error)는 0.25hPa 이었다. 평균 편향의 연직분포는 하층 5km 이하에서 음의 편향으로 이중수신 자료의 기압이 국가태풍센터 라디오존데 기압보다 높았으며, 5km 이상 고도에서는 이중수신 자료의 기압이 더 낮았다. 바람자료는 추후 라디오존데의 GPS 위·경도 정보를 이용하여 산출하고 국가태풍센터 라디오존데 자료와 비교하고자 한다.

Key words: 라디오존데, 하강관측자료, 이중수신, 자동 이중수신

※ 이 연구는 기상청 국립기상과학원 「국가 기상관측장비 및 관측자료 표준화」(KMA2018-00221)의 지원으로 수행되었습니다.

Estimation of Global Atmospheric Turbulence Using Operational High Vertical-Resolution Radiosonde Data

Han-Chang Ko[1], Hye-Yeong Chun[1], Marvin A. Geller[2], Bruce Ingleby[3]

[1]Department of Atmospheric Sciences, Yonsei University
[2]School of Marine and Atmospheric Sciences, Stony Brook University
[3]ECMWF

Atmospheric turbulence significantly impacts the mixing and diffusion of trace gases, heat, and momentum, as well as aircraft operations. While many studies have examined turbulence using operational data and field campaigns, understanding turbulence characteristics in the free atmosphere remains challenging due to its small-scale, intermittent, and sporadic nature, along with limited observations. This study addresses these challenges by estimating turbulence in the free atmosphere using the Thorpe method and operational high vertical-resolution radiosonde data (HVRRD) with vertical resolutions of approximately 5 or 10 m, across near-global regions. HVRRD are provided by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) through the US National Centers for Environmental Information (NCEI) over a six-year period (October 2017-September 2023). Globally, turbulence is stronger in the troposphere than in the stratosphere, with maximum turbulence occurring about 6 km below the tropopause, followed by a sharp decrease above. Seasonal variations show strong tropospheric turbulence in summer and weak turbulence in winter for both hemispheres, while the stratosphere exhibits strong turbulence during spring. Regionally, strong turbulence is observed over the South Pacific and South Africa in the troposphere, and over East Asia and South Africa in the stratosphere. These turbulence information can be provided in regions and high altitudes that are not covered by commercial aircraft, suggesting its potential utility for both present and future high-altitude aircraft operations.

Key words: Atmospheric turbulence, High vertical-resolution radiosonde data, Radiosonde, Thorpe method, Aviation turbulence

※ This research was supported by the Korea Meteorological Administration (KMA) Research and Development Program under Grant KMI2022-00410.

관측 및 예보 분과 / 관측 및 예보 2-3

라디오존데 상승속도의 풍속에서 습도센서 측정 정확도 평가

이상욱, 이영석, 김성훈, 김용규

한국표준과학연구원 열유체측정그룹

대다수 라디오존데 습도센서는 측정 중 결로를 방지하고 저온에서 응답 속도를 향상시키기 위해 센서에 장착된 히터로 가열한다. 습도센서의 가열은 라디오존데의 자제 온도 센서뿐만 아니라 라디오존데를 지상에서 평가하기 위한 장치의 기준 온도계에도 영향을 미쳐 기준 상대 습도의 정확한 계산을 어렵게 한다. 그러나 습도센서 히터에 의한 온도센서의 가열은 라디오존데가 상승하며 대류에 의한 냉각으로 인해 상쇄되므로 라디오존데 평가 장치 내부의 풍속을 상승속도 만큼 올릴 필요가 있다.

본 연구에서는 고층대기 모사장치의 상대습도 평가 시험조 안의 공기 환기 속도를 라디오존데 상승속도인 5 $m \cdot s^{-1}$로 증가시켜서 Vaisala사 라디오존데 RS41의 측정 정확도를 평가했다. 평가 온도와 상대습도 범위는 각각 −67℃에서 +20℃, 10%rh에서 90%rh이다. 측정 결과에 따르면, 교정된 온도계로 측정한 상대습도 시험조 내 기준 온도는 RS41의 온도 센서로 측정한 온도와 기준 온도계의 교정 불확도 (0.05℃) 범위 내에서 일치했다. 이를 통해 라디오존데 상승속도의 풍속에서 습도센서 히터의 영향이 거의 사라지는 것을 확인했다. 고층대기 모사장치의 기준 상대습도와 서로 다른 세 개의 RS41 유닛 간 차이의 평균은 3.1%rh 미만이며, 최대 표준 편차는 2%rh이었다. 고층대기 모사장치의 상대습도 발생 불확도를 포함하고, 한 개 RS41 유닛의 측정 반복도를 고려한 측정 불확도는 1.5%rh이었다. 이 연구 결과는 현재 진행중인 라디오존데 평가 관련 ISO(International Organization for Standardization) 기술 규격 제정을 뒷받침하는 실험적 구현이며, 라디오존데 상대습도 측정의 국제 단위계(International System of Units)로의 소급성을 향상하는 데 기여할 수 있다.

Key words: 라디오존데, 습도센서, 상대습도, 불확도, 소급성

※ 이 연구는 한국표준과학연구원 기관고유사업(GP2024-0008-03)의 지원으로 수행되었습니다.

관측 및 예보 분과 / 관측 및 예보 2-4

기상항공기 관측자료를 이용한 ADS-B 자료 비교 분석

정승필[1], 구태영[1], 김민성[1], 강덕두[1], 한승범[1], 이광재[1], 이철규[1],
박승빈[2], 강혜영[2], 허성회[2]

[1]국립기상과학원 관측연구부
[2]항공기상청 정보기술과

방송형 자동종속감시(Automatic Dependent Surveillance Broadcast, ADS-B)는 항공기의 식별정보, 상태정보, 위치(위도, 경도, 고도), 속도 등을 주변 항공기와 지상 수신기로 방송하여 항적 추적, 관제, 다른 항공기와의 충돌 방지 등에 활용된다. de Hann (2011)은 ADS-B 정보를 활용하여 기상요소인 기온과 바람을 산출하는 수식을 개발 및 검증하였고, 이러한 수식은 현재 다양한 연구 및 현업 기관에서 활용된다. 우리나라의 경우 기상청 항공기상청에서 국내 9곳에 지상 수신기를 설치하여 ADS-B 자료의 수집 및 기상요소를 산출하고 있다. Kim and Kim (2022)는 항공기상청의 ADS-B 기상요소를 검증하기 위해서 de Hann (2011)과 같이 ADS-B, 수치모델 재분석 자료(ECMWF ReAnalysis 5, ERA5), Aircraft Meteorological Data Relay (AMDAR)를 삼중 비교하였다. 두 연구에서는 공통으로 ECMWF의 시·공간 해상도 제약과 AMDAR 자료가 기상학적 불확실성을 내재하고 있는 한계가 있었다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해서 국립기상과학원 관측연구부에서 운영하는 기상항공기(NIMS/KMA Atmospheric Research Aircraft, NARA) 관측자료를 이용하여 ADS-B 기상요소를 검증하고자 한다. 기상항공기에는 AMDAR와 같이 항공기 운항 목적으로 설치된 Pitot tube (ARINC) 외에도 기상관측을 위해 설치된 기본기상관측장비(Aircraft Integrated Meteorological Measurement System-20, AIMMS-20), Total Temperature Sensor (TTS) 등이 설치되어 있다. 즉, ADS-B 기상요소를 검증하기 위한 다양한 관측자료가 존재한다. ADS-B 기상요소를 검증하기 위해서 인천국제공항 활주로에서 저고도 접근 비행(low approach)을 2024년 6월 24일에서 6월 29일까지 6일간 수행하였다. 본 연구에서는 ADS-B 기상요소인 기온과 바람을 다른 관측장비와 상호비교를 수행하고자 한다. ADS-B와 다른 관측장비 간의 시계열분석, 평균오차(Mean Bias Error), 평균제곱근편차(Root Mean Squared Deviation, RMSD), 상관계수(Pearson correlation coefficient, R) 등을 이용하여 통계 분석을 수행하였다. 또한, 고도별 통계 분석 및 지상 수신기와의 거리에 따른 차이를 분석하여 향후 ADS-B 기상요소 품질관리 기술개발에 활용하고자 한다.

Key words: 기상항공기, NARA, ADS-B, AIMMS, 항공기상

※ 이 연구는 기상청 국립기상과학원 기상업무지원기술개발사업 「기상항공기 활용기술 개발(KMA2018-00222)」의 지원으로 수행되었습니다.

2024년 이사부호의 이동 항해 동안 구름응결핵 관측 결과

안찬우[1, 2], 염성수[1, 2], 김경환[3], 김나진[3], 박도현[3]
임운혁[4], 김동휘[4], Andrew Loh[4], 안준건[4]

[1]연세대학교 대기과학과
[2]한국과학기술연구원 기후환경연구소
[3]한국과학기술연구원 기후탄소순환연구단
[4]한국해양과학기술원 생태위해성연구부

지구의 약 절반을 덮고 있는 구름은 강수, 대기 복사 과정과 기후, 태양광 발전 등 다양한 요소에 영향을 준다. 이러한 구름을 모델에서 정확히 모의하기 위해 구름 입자로 작용할 수 있는 구름응결핵(CCN)과 관련된 변수에 보다 적합한 대푯값을 사용하는 것이 무엇보다 중요하다. 육지의 경우 지난 30년 동안 많은 CCN 관측들이 특정 국가 및 지리에 한정되지 않고 수행되었으며, 장기간에 걸친 관측 결과들도 다수 존재한다. 하지만 해상, 특히 대양의 경우, 선박 관측의 어려움으로 인해 관측 수 자체가 절대적으로 부족하여 대푯값 설정조차도 힘든 상황이다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하고자 2024년 이사부호의 두 번의 이동 항해(3-4월 장목-모리셔스, 6-7월 몰디브-장목) 동안 해상 CCN 관측을 수행하였으며, 인도양을 비롯한 말라카 해협, 남중국해, 동중국해에서의 CCN 데이터를 바탕으로 분석한 결과들을 소개하고자 한다. 3-4월 이동 항해 동안 CCN 수농도는 과포화도 0.6% 기준으로 동중국해, 남중국해, 말라카 해협, 인도양에서 각각 350, 741, 525, 68 cm^{-3} 이었다. 필리핀의 Taal 화산 영향으로 인해 남중국해는 네 해역 중 가장 높은 수농도를 보였다. 한편 6-7월 이동 항해 동안 CCN 수농도는 동일한 과포화도를 기준으로 네 해역에서 각각 30, 70, 318, 43 cm^{-3} 이었다. 이전 이동 항해와 비교하여 수농도가 모든 해역에서 감소하였으며, 특히 동중국해는 여름 북태평양 고기압의 강화로 깨끗한 태평양으로부터 기단이 이동하여 인도양보다 더 낮은 수농도가 나타났다. 모델에서 과포화도-CCN 수농도 관계식으로 사용되는 Twomey formula에 대한 해역별 피팅도 수행되었다. 결정계수는 대부분의 사례에서 0.9가 넘는 수치, 즉 피팅이 상당히 정확하다는 것을 보여준다. 같은 해역일지라도 기간별 피팅 파라미터의 값은 다소 달랐는데, 이는 모델에서 해당 formula를 사용할 때 원하는 분석 시점에 따라 적절한 파라미터의 적용을 시사한다.

Key words: 구름응결핵, 선박 관측, 이사부호, 인도양

관측 및 예보 분과 / 관측 및 예보 2-6

기상기후데이터와 인공지능 모델을 이용한 지표 침수센서 이상치 탐지에 관한 연구

안성욱[1], 이두호[2], 이찬미[3], 이병현[3], 김병식[2]

[1]강원대학교 방재전문대학원 도시환경재난관리전공
[2]강원대학교 AI소프트웨어학과/방재전문대학원
[3]AI기후재난기술융합연구소

기후변화에 따른 태풍과 국지성 집중호우 빈도가 급증하여 도시침수 등 홍수피해 발생빈도가 증가하고 있다. 기존의 CCTV 및 신고, 현장직원 파견에 의존한 침수현장 모니터링의 한계로 의사결정 지원수단이 부재하고 강우-유출-대상체 체계의 변화에 따라 다중센서 기반 도시침수 모니터링 시스템의 도입이 필요하다. 이에 2022년 행정안전부에서는 침수 모니터링을 위한 저가형 스마트 센싱 및 실시간 모니터링을 위한 '도시침수 모니터링 기술 개발 및 관리체계 구축' R&D 지원사업을 실시했으며 주관연구개발기관인 강원대학교 연구팀에서는 스마트 강우-침수 계측 센서를 개발 중이다. 현재 부력식 수위계를 이용한 도로, 공원, 인도용 침수계측센서를 개발하여 실내 및 실외실험을 수행하였으며 실외실험 중 부유체에 꽃가루, 진흙 등 이물질이 부착되고 센서 내 낙엽과 흙이 유입되는 문제가 발생했다. 이러한 요인들은 실시간 모니터링을 위한 센서이기 때문에 이상치 발생 및 가능성을 증가시킨다고 판단하여 본 연구에서는 LSTM-Autoencoder를 이용하여 이상치 탐지 모델을 구축하고 실내실험을 통해 생산된 수위데이터를 학습한 후 강원도 삼척시에 설치된 센서데이터를 입력하고 재구성한 오차가 임계값을 벗어나는 값을 이상치로 분류하는 이상치 탐지 모델을 개발하고자 한다.

Key words: 침수계측센서, 이상치 탐지, 인공지능, LSTM-Autoencoder

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