

특별세션 7 / 관측 인프라 활용 2-1

여름철 고층 집중관측자료의 전지구모델 영향평가

하지현, 황윤정, 조영순, 이용희

기상청 수치모델링센터 수치자료응용과

기상청은 여름철 위험 기상에 대한 예측성능을 높이기 위해 2020년부터 매년 여름 동안 위험 기상을 선제적으로 감시할 수 있는 지역에 기상항공기, 기상관측선, 기상관측차량을 이용하여 기존의 현업보다 조밀한 수평해상도와 관측 횟수로 라디오존데 고층 집중관측을 수행하고 있다. 관측된 지점의 대기 정보는 실시간으로 예보관에게 제공되어 위험 기상 현상의 감시 및 추적에 활용하는 한편, 수치예보모델의 초기자료 생산 과정(자료동화)에 입력하여 위험 기상 지역의 대기 정보를 보다 현실적으로 표현하고 이를 통해 수치예보모델의 예측성능을 높이기 위해 노력하고 있다.

2020년부터 현업 운영되고 있는 한국형수치예보모델(Korean Integrated Model, 이하 한국형모델)은 전지구모델로, 존데, 지상, 항공기, 위성 관측자료 등 다양한 관측자료를 이용하여 6시간 간격으로 하루에 4번 초기자료(00, 06, 12, 18UTC)를 생산하고 하루에 2번(00, 12UTC) 15일의 예측자료를 생산 및 예보관에게 제공하고 있다. 전지구모델에서 활용하고 있는 다양한 관측자료 중 라디오존데 관측자료는 정확도가 높고 지상에서 상층까지 3차원적으로 기온, 기압, 습도, 풍향, 풍속 등의 관측 정보를 제공하는 한편, 초기자료 생산 과정에서 위상 기반의 관측자료를 보완하는 중요한 역할을 한다. 따라서 여름철 한국형모델의 우리나라 및 아시아 지역 예측성능을 높이기 위해 2020년부터 매년 여름 동안 라디오존데 고층 집중관측의 기온, 기압, 습도, 풍향, 풍속 관측자료를 한국형 모델에 실시간으로 입력하여 예보에 활용 중이다. 또한 실시간 활용 이후에는 라디오존데 고층 집중관측자료가 한국형모델의 예측성능에 미치는 영향을 분석하고 향후 개선점 발굴을 위해 라디오존데 고층 집중관측자료의 활용 여부에 따른 영향평가를 수행하고 있다.

본 연구에서는 2020년부터 수행된 라디오존데 고층 집중관측자료의 한국형모델 영향평가 결과를 통해 여름철 고층 집중관측자료가 한국형모델의 여름철 예측성능에 미치는 영향에 대해 발표하겠다.

Keywords: 위험 기상, 라디오존데, 고층 집중관측, 한국형수치예보모델, 영향평가

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

특별세션 7 / 관측 인프라 활용 2-2

표류부이를 이용한 태풍 발달 감시, 분석 및 예보지원을 위한 특별관측 연구

문일주¹, 정혜윤¹, Ger Anne Marie Duran¹, 김선동², 박효순³, 원성희³

¹제주대학교 태풍연구센터

²주식회사 오셔널

³기상청 국가태풍센터

태풍이 발생하고 이동하는 해양에서는 태풍의 직접 관측이 어려워 위성자료에만 의존할 수 밖에 없어 태풍의 실황 분석과 예측에 한계가 있다. 해양 관측자료는 이처럼 관측 공백이 큰 해양에서 태풍의 발생과 발달을 감시하는 데 매우 중요한 역할을 한다. 특히, 기후변화에 따라 태풍의 이상 이동경로와 급격한 강도 변화와 같은 특이 현상이 증가하면서, 태풍 발달 감시, 분석 및 예보지원을 위한 해양에서 특별관측 연구의 필요성이 더욱 강조되고 있다.

본 연구에서는 태풍의 주요 발생 및 발달 해역과 한반도에 영향을 미치는 태풍의 주요 이동 경로에서 표류부이를 활용한 특별관측 연구를 수행하였다. 표류부이를 통해 수집된 해수면온도와 해수면 기압자료는 태풍 분석 및 예보 지원에 활용되었으며, 실시간으로 웹 기반 구글지도와 연계되어 시각화함으로써 현업에서의 활용 편의성을 높였다. 개발된 시스템에서는 각 부이별 관측 자료를 클릭을 통해 시계열 그래프로 확인할 수 있고, 개별 부이 자료의 저장 및 관리도 가능하다. 수집된 자료는 GTS를 통해 태풍위원회 회원국과 공유되고 있다. 본 연구를 통해 2022년부터 2025년까지 태풍 시즌에 총 40개의 표류부이를 해양수산부 이사부호, 기상청 기상 1호, 제주대 아라호 등 국내 연구선과 대만 연구팀의 연구선을 이용하여, 동중국해, 쿠로시오 및 필리핀 인근 해역 등에 투하하였다. 이를 통해 약 50 여개의 태풍 관측 자료가 확보되었으며, 이 자료는 태풍 실황분석, 특성 조사 및 수치모델 분석장 검증에 등에 활용되어 태풍 발생감시, 발달분석, 예측 정확도 향상에 기여하고 있다.

Keywords: 표류부이, 태풍 관측, 실황분석, 태풍 분석

※ 이 연구는 기상청 주관의 “수치예보 지원 및 활용기술 개발”의 지원을 받아 수행되었음.

특별세션 7 / 관측 인프라 활용 2-3

동중국해에서 태풍 관련 해양 열용량 분석: 해양글라이더 관측

서인하¹, 박종진^{1,2}, 김백조³

¹경북대학교 해양학과

²경북대학교 경북해양과학연구소 해양무인기 운용지원센터

³국립기상과학원 관측연구부

동중국해는 수심 100 m 미만의 광범위한 대륙붕으로, 내부조석파의 영향이 강하며 한반도로 북상하는 태풍의 주요 통로이다. 최근 연구에 따르면 지난 42년간 대륙붕 해역에서 태풍 강화 속도가 뚜렷하게 증가하였다(Balaguru et al., 2024). 따라서 한반도에 영향을 미치는 태풍 강도 변화를 예측하기 위해 동중국해의 해양 열용량과 열적 구조의 모니터링이 중요하다. 그러나 태풍 통과 시기와 경로 인근에서의 선박 관측은 위험할 뿐 아니라, 관측 주기도 길어(예: 국립수산과학원 2개월 1회) 실시간 대응이 어렵다. 이를 보완하기 위해 본 연구에서는 해양글라이더를 활용하여 2023년 여름 동중국해에서 고해상도 열용량 관측을 수행하였다. 글라이더는 8월 13일(32°56.0'N, 126°07.3'E) 투하 후 37일간 860km를 비행하며 총 5회의 단면관측을 수행하였고, 표층-60m의 수온 및 염분 프로파일을 수집하였다. 관측 결과, 약 12시간 주기의 내부조석파에 의해 열용량의 약 10% 변동(전체 변동성의 28%)이 발생했으며, 이는 선박 기반 일회성 샘플링에서 Aliasing 오류를 초래할 수 있음을 확인하였다. 또한, 3-10일 시간 규모의 중규모 변동(약 100km의 공간 규모)이 열용량 변동의 약 20%(전체 변동성의 57%)를 설명하였다. 특히 태풍 카눈 통과 시 강한 음의 Wind Stress Curl에 의해 형성된 Warm Eddy가 약 20일간 유지되었으며, 이 중규모 구조가 내부조석파보다 약 두 배 큰 영향을 미쳤다. 본 연구는 동중국해에서 태풍 강도 예측을 위해 중규모 해양 구조의 지속 모니터링이 필수적임을 보여준다. 현재 본 연구진은 이를 기반으로 2023년부터 동중국해 태풍 예측력 향상에 기여하기 위한 해양 관측 체계를 구축하여 실시간 열용량 및 열적 구조 자료를 제공하고 있다. 이러한 경험을 바탕으로 한반도에 영향을 주는 태풍의 강도 예측력 향상을 위한 최적의 해양 관측 방안을 제시한다.

Keywords: 동중국해, 해양글라이더, 태풍, 해양 열용량

특별세션 7 / 관측 인프라 활용 2-4

보성표준기상관측소 비교관측 캠페인을 활용한 도플러 라이다 바람 관측 비교 및 성능 검증

백승원¹, 박성화², 김승범², 이규원¹

¹BK21 위험기상 교육연구팀, 대기과학과, 대기원격탐사연구소, 경북대학교
²국립기상과학원 기상응용연구부

도플러 라이다(Doppler wind lidar)는 대기 경계층 바람장을 높은 시공간 해상도로 관측할 수 있는 대기 원격탐사 장비로, 기존 지점 관측만으로는 파악하기 어려운 바람장의 구조를 분석하는 데 중요한 역할을 한다. 이러한 특성으로 인해 최근에는 항공기상, 난류 연구, 수치모델 개선 등 다양한 분야에서 활용이 확대되고 있다. 국립기상과학원은 여러 기종의 도플러 라이다 성능과 기술적 특성을 평가하기 위해 2024년 5-6월 보성표준기상관측소에서 집중 관측 캠페인을 수행하였으며, 총 13대의 도플러 라이다가 동시에 운영되었다. 경북대학교 역시 Halo Photonics Streamline XR+ 스캐닝 도플러 라이다를 설치하여 본 캠페인에 참여하였다.

본 연구에서는 캠페인 기간 동안 수행된 도플러 라이다 기반 바람 관측 결과를 비교·검증하였다. 첫째, 스캐닝 관측의 경우 국립기상과학원이 운용한 Vaisala Windcube 200s와 경북대학교의 Halo Streamline XR+ 도플러 라이다를 활용하여 Plan Position Indicator(PPI) 및 Range-Height Indicator(RHI) 관측 자료를 상호 비교하고, 기종 간 시선속도 관측 특성을 분석하였다. 둘째, 연직 바람 프로파일은 보성 기상관측탑(높이 300 m)에 설치된 2차원 초음파 풍향·풍속계(총 8개 고도: 10, 20, 40, 60, 80, 100, 140, 180, 220, 260, 300 m)와 캠페인 기간 동안 3시간 간격으로 관측된 라디오존데(rawinsonde) 자료를 활용하여 검증하였다. 이를 통해 기상관측탑 및 라디오존데를 기준으로 도플러 라이다의 관측 성능을 평가하고, 기종별 관측 정확도를 제시하였다.

Keywords: 도플러 라이다, 윈드라이다, 보성표준기상관측소

※ 이 연구는 기상청 국립기상과학원 「고해상도 도시기상서비스 기술개발(KMA2018-00627)」의 지원으로 수행되었습니다.

특별세션 7 / 관측 인프라 활용 2-5

KIST 구름챔버 디자인 소개

염성수^{1,2}, 이승복¹, 최선¹, 김정환¹, 김나진¹, 박도현¹

¹한국과학기술연구원 기후환경연구소

²연세대학교 대기과학과

구름챔버를 제작하는 것은 기술적, 재정적으로 매우 어렵다고 할 수 있으나, 알려진 조절된(known controlled) 환경에서 생성되는 구름의 특성을 파악할 수 있다는 장점 때문에 최근 들어 몇몇 나라에서 구름챔버 제작을 위한 노력이 활발하다. 우리나라에서도 국립기상과학원이 2022년에 팽창형 모드(Expansion mode) 구름챔버를 제작한 바 있다. 한편 한국과학기술연구원(Korea Institute of Science and Technology, KIST)은 팽창형 모드 혹은 대류형 모드(Convection mode)로 작동할 수 있는 이중모드 작동형(dual functional) 구름챔버를 2026년 말 완성을 목표로 개발하고 있다. 팽창형 모드로 작동 시에는 단열팽창에 의한 압력과 온도 하강에 의해 구름챔버 내부 공기의 과포화를 유도함으로써 구름의 생성을 유도한다. 이 방식은 공기덩어리의 상승에 의한 구름의 생성을 흉내낸다고 할 수 있는데 이런 구름의 미세물리적 특성은 주어진 에어로졸 환경과 포화에 이르는 시점의 온도 조건에 의해 결정된다. 따라서 팽창형 모드 실험은 에어로졸, 온도 조건에 따른 구름미세물리 및 구름상(phase)의 변화 특성을 연구하는데 적합하다고 할 수 있다. 그런데 이런 방식의 경우 팽창을 멈추게 되면 온도 하강이 더 이상 일어나지 않으며, 생성된 구름입자들은 성장 및 침적하게 되므로 시간이 지나면서 구름이 소멸하게 된다. 한편 대류형 모드로 작동 시에는, 구름챔버 하단표면의 온도를 상단표면에 비해 매우 높게 유지함과 동시에 하단표면을 물에 젖은 상태로 만들어 포화에 이르게 한다. 이러한 조건에서는 온도차가 심한 구름챔버 하단과 상단 사이의 내부 공기가 과포화에 이르게 되고, 이에 따라 구름의 생성을 유도한다. 이러한 방식으로 구름의 생성을 유도하는 경우에도, 구름챔버 하단에서 지속적으로 수분이 공급될 수 있음에도 불구하고 구름입자 성장에 따른 침적에 의해 구름이 소멸될 수 있다. 그러나 구름입자 생성을 유도할 수 있는 에어로졸을 지속적으로 주입하면, 새로운 구름입자가 생성되면서 구름이 지속될 수 있다. 따라서 대류형 모드 실험은 주어진 에어로졸/온도/압력 환경에서 안정적이고 지속적인 구름의 발달이나 구름의 난류적 특성을 관찰하고 분석하는 연구에 적합하다고 할 수 있다. KIST는 실험의 목적에 따라 두 가지 방식 중 적절한 것을 선택하여 실험을 수행할 계획이다. 이번 가을기상학회에서는 KIST 구름챔버의 디자인 개념 및 구름챔버 제작 후의 활용 방안 등에 대해 설명할 예정이다.

Keywords: Dual functional Cloud Chamber, expansion mode, convection mode

※ 이 연구는 KIST 과제 2K03120의 지원으로 수행되었습니다.

특별세션 7 / 관측 인프라 활용 2-6

단순 열역학 모델을 이용한 도시 열섬 이해

전미정¹, 박경주², 문우석¹, 김재진¹, 백종진²

¹국립부경대학교 지구환경시스템과학부 환경대기과학전공

²서울대학교 지구환경과학부

도시 열섬(UHI)은 도시 지역의 근지표 기온이 주변 농촌 지역보다 높게 나타나는 현상으로, 지구 온난화와 급격한 도시화의 영향과 맞물려 도시기후학에서 점점 더 심각한 문제로 대두되어 왔다. 이러한 현상은 단순한 기온 차이에 그치지 않고 도시 거주민의 생활 환경, 에너지 소비, 대기질, 그리고 기후 적응 전략 전반에 걸쳐 중대한 영향을 미치기 때문에 그 메커니즘을 과학적으로 규명하는 일이 매우 중요하다. 본 연구는 이러한 도시 열섬의 근본적 원인을 이해하기 위해 단순화된 열역학적 이론 모델을 도입하여 핵심 메커니즘을 탐구하였다. 특히, 표면 에너지 수지(Surface Energy Balance)에 기반한 주·야간(day-night) 단순 모델을 활용함으로써 도시 열섬 형성의 주요 요인을 두 가지 측면에서 설명한다.

첫째, 도시 재료의 높은 열용량은 일교차(DTR, Diurnal Temperature Range)를 감소시킨다. 낮 동안 도시 표면은 더 많은 열을 저장하고 밤에는 이를 서서히 방출하기 때문에 도시 지역의 기온은 밤에도 높게 유지되며, 결과적으로 야간의 열섬 강도가 두드러지게 나타난다. 둘째, 도시 지역은 상대적으로 낮은 알베도를 가지므로 태양 복사를 더 많이 흡수하여 평균 기온을 상승시키는 경향이 있다. 이 두 가지 메커니즘은 도시 열섬 강도가 낮보다 밤에 더 크게 나타나는 현상을 효과적으로 설명한다.

이론적 모델을 통해 산출된 도시 열섬 강도의 일변화는 실제 관측값과 질적으로 유사한 패턴을 보였으며, 이는 단순한 열역학 모델이 도시 열섬 현상의 이해에 적용 가능함을 시사한다. 또한, 한국의 대표적인 거대도시 서울과 주요 도시 수원을 대상으로 장기적인 변화를 분석한 결과, 두 도시 모두에서 도시 열섬 강도의 변화가 도시-농촌 간 일교차 차이의 변화와 유의미하게 상관되어 있음이 확인되었다. 이는 도시 열섬 현상에서 '열 저장(heat storage)'이 핵심적 역할을 하고 있음을 보여준다.

결론적으로 본 연구는 도시 열섬 현상을 단순한 주·야간 열역학 모델로 해석할 수 있음을 보여주며, 장기적인 도시 기후 변화를 이해하는 이론적 틀을 제공한다. 나아가 이러한 접근은 도시 특성의 변화—예를 들어 건축 자재의 열용량 변화, 도시 표면의 알베도 변화—가 도시 기후에 어떤 영향을 미칠지 평가하는 데 활용될 수 있으며, 향후 도시 기후 회복력(resilience) 및 적응 전략 수립에도 기초 자료로서 중요한 역할을 할 수 있다.

Keywords: 도시 열섬, 에너지 균형, 열용량, 알베도