

[첨부 2]

최종보고서 서식

I . 인쇄규격

1. 크기 : A4 신판(가로 210mm*세로 297mm)
2. 제본 : 좌철
3. 용지 ○표지 200g/m . 양면 아트지
 ○내용 80g/m . 모조지
4. 인쇄방법:
 - 1) 표지 : 바탕 백색, 활자 흑색
 - 2) 내용 : 흑색 지정활자로 인쇄한다.

II . 편집순서

1. 표 지
2. 제출문
3. 요약문
4. 영문요약서 (Summary)
5. 영문목차 (Contents)
6. 목 차
7. 본 문
8. 뒷면지



III . 참고사항

- 전자조판 인쇄 시에는 이 요령에 준한다.

(뒷면)

(측면)

(앞면)

주 의 (편집 순서 8) (16 포인트 고딕체) ↑ 7cm ↓	제 목 수행 기관 이름 ↑ 5cm ↓	↑ 7cm ↓ 과제명 (20 포인트 중고딕체) 영문과제명 (16 포인트 명조체) 수행기관이름 (20 포인트 중고딕체) ↓ 7cm ↑
---	---	--

북극 및 아북극 오존감시를 위한 쇄빙선 오존 관측 기반연구

Basic research for ozone watch over the (sub)arctic region
using icebreaker research vessel



공주대학교

북극 및 아북극 오존감시를 위한
쇄빙선 오존 관측 기반연구



고려대학교

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “연구선 산·학·연 공동활용 연구사업”에 관한 연구 “북극 및 아북극 오존감시를 위한 쇄빙선 오존 관측 기반연구”과제의 최종보고서로 제출합니다.



연구기관명 : 공주대학교

연구책임자 : 김 주 완

참여연구원 : 류 호 선

“ : 김 형 규

“ : 오 수 빈

“ : 노 엘

요 약 문

I. 제 목

- 북극 및 아북극 오존감시를 위한 쇄빙선 오존 관측 기반 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 북극 및 아북극지역의 오존감시 기반 조성
 - 아라온을 이용한 극지역 해상 오존 자료 수집
 - 쇄빙선 오존존데 관측을 위한 지식 및 노하우 축적
- 극지역 오존 자료를 활용한 위성 오존 자료 검증
 - 관측기반 오존 자료를 활용한 위성 추정 오존 자료의 검증
 - 북극 오존 데이터베이스 구축을 통한 북반구 오존홀 연구 기반조성

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 북극 및 아북극지역의 오존감시 기반 조성
 - 아라온 이동 및 연구 항해 기간의 오존존데 비양 및 관측자료 수집
 - 관측된 오존 자료의 품질검사 및 정리, 연구를 위한 데이터베이스 구축
- 극지역 오존 자료를 활용한 위성 오존 자료 검증
 - 위성 오존 자료 수집(MLS/Aura, OMPS/Suomi NPP)
 - 관측 오존과 위성 추정 자료의 상호 비교 신뢰도 검증

IV. 연구개발결과

- 극지역 해상 오존자료 확보
 - 북태평양 및 북극 관측공백지역의 오존 연직분포 자료 확보
 - 관측 기술 및 오존 데이터베이스에 기반한 북반구 오존홀 감시기반 조성
- 위성 오존 자료 검증
 - 극지역 위성 추정 오존량의 검증을 통한 위성 자료 신뢰도 확보
 - 북반구 오존홀 감시 국제연구에 기여

V. 연구개발결과의 활용계획

- 선상 오존 관측 프로그램 및 노하우
 - 아라온의 상시 북극항해 가능 시 봄철 북반구 오존홀 감시체계 구축에 활용
- 북극 및 아북극 관측공백지역 오존 자료
 - 국제 공동연구를 통한 위성 오존 연직분포 추정 및 검증에 활용

목 차

제 출 문	i
요 약 문	ii
목 차	iii
표 목 차	iv
그림목차	v
제1장 서론	1
1. 연구개발의 개요	1
2. 연구개발의 중요성	2
제2장 국내외 기술개발 현황	3
1. 국내외 환경분석	3
2. 선행연구의 결과 및 내용	5
제3장 연구개발수행 내용 및 결과	6
1. 연구개발의 최종 목표	6
2. 연구개발의 내용 요약	7
3. 북반구 오존홀 감시기반 조성	7
4. 극지역 해상 오존자료 확보	23
5. 위성 오존자료 검증	26
제4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도	29
1. 연구개발목표 달성도	29
2. 대외기여도	29
제5장 연구개발결과의 활용계획	30
1. 연구개발 성과의 활용방안	30
2. 기대효과	30
제6장 참고문헌	31
제7장 부록	32
1. 오존 존데 준비/관측 작업 기록지(Checklist)	32
2. 오존관측 프로파일	50
3. 온도/습도 관측 프로파일	53

표 목 차

표 3-1. 연구개발의 성과지표 목표치	6
표 3-2. SST0.5 (Sensing Solution Type 0.5% KI, Half Buffer) 시약 제조법	9
표 3-3. 아라온 호에서 사용된 무지향성 안테나(WxAS-501)의 기본 사양	10
표 3-4. 존데 자료의 신호송수신 및 존데 관측에 필요한 지상수신장비 목록	12
표 3-5. 오존존데 비양에 필요한 비양도구 및 소모품 목록	13
표 3-6. 오존존데 초기화에 필요한 장비 종류	15
표 3-7. 2021년 북극항해 기간 동안 관측된 오존존데의 관측 시간, 위치 및 특이사항	25



그 림 목 차

그림 1-1. (왼쪽) ECC 오존존데 센서(EN-SCI사)의 예시 및 (오른쪽) 소형 오존존데를 이용한 적도 오존관측 자료(SHADOZ 프로젝트). 소형 오존존데 센서는 평균 약 15-20 cm의 크기로 다루기 편하며, 오존량이 많은 성층권 중층까지 오존 측정이 가능하다.	1
그림 1-2. (왼쪽) Microwave Limb Sounder 위성의 1일 관측범위. (오른쪽) MLS 위성과 ECC 오존존데 관측 오존값의 연직 분포 비교 예시 (Wang et al 2019).	2
그림 2-1. CFC-11 방출 추정량의 시계열 및 (오른쪽) 방출량 증가 추정 지역(Rigby et al. 2019).	3
그림 2-2. 2020년 3월 관측된 북반구 오존홀의 오존 농도(Witze 2020).	4
그림 2-3. 1985년부터 2018년까지 성층권 하부 위도별 오존 변화(Ball et al. 2019).	4
그림 2-4. SHADOZ 프로젝트의 오존존데 관측 지점 위치	5
그림 2-5. (왼쪽) SHADOZ 오존존데 자료와 HALOE, SAGE2 위성기반 오존자료에서 나타나는 2001년 이후의 오존 변화. (오른쪽) 100 hPa 오존분포의 연별 시계열	5
그림 3-1. 북반구 오존감시를 위해 설치된 오존존데 장비 설치 및 비양 위치 모식도	8
그림 3-2. (왼쪽) 오존존데의 센서 초기화를 위한 오존존데 테스트 유닛과 (가운데) 오존존데 센서 측면 및 (오른쪽) 내부.	8
그림 3-3. (왼쪽) 오존존데 비양에 필요한 지상수신장비 모식도 및 (오른쪽) 설치된 지상 수신 장비 예시	9
그림 3-4. (왼쪽) 12V 어댑터가 결합된 바이어스티와 (오른쪽) 라디오존데 수신기	11
그림 3-5. (왼쪽) Skysonde Server 프로그램 및 (오른쪽) Skysonde Client 프로그램 작동 예시.	12
그림 3-6. 존데 비양을 위해 준비중인 헬륨 주입 과정. 안정적인 비양 준비를 위해 바람의 영향이 적은 헬리 덱에서 진행함.	14
그림 3-7. (왼쪽) 전원을 켜진 상태의 오존테스트 유닛과 (오른쪽) 전원선 및 센서 전류 측정선을 연결 예시	16
그림 3-8. 오존존데의 펌프 및 흡입구에 테프론 호스 연결 예시	16
그림 3-9. 오존테스트 유닛의 오존 발생 스위치 및 오존 컨트롤러 작동 예시	17
그림 3-10. 오존존데 환원극 시약 주입 예시	17
그림 3-11. 오존테스트 유닛의 오존존데 배경전류 측정 예시	18
그림 3-12. 오존테스트 유닛의 오존 발생 및 오존존데 배경전류 측정 예시	18

그림 3-13. 오존존데의 센서 반응 속도 측정 예시	19
그림 3-14. 오존존데 센서선 단락 후 보관 예시	19
그림 3-15. 오존존데의 펌프 유량 측정 예시	20
그림 3-16. Skysonde Processor 프로그램을 실행 예시	20
그림 3-17. 2021년 8월 9일 자료를 Skysonde Processor 프로그램으로 기압 보정을 실시한 결과. 파란색 및 초록색 실선은 각각 존데의 상승, 하강이 이루어지는 동안 관측된 기압 차이를 나타냄	21
그림 3-18. Skysonde Processor 프로그램의 펌프 정보를 수정 과정. 각 실선은 펌프 종류에 따른 보정식을 나타냄	22
그림 3-19. Skysonde Processor 프로그램의 후처리 자료 저장 예	22
그림 3-20. (왼쪽) 2021년 7월 6일 / (오른쪽) 8월 21일에 관측된 온도, 습도 및 오존의 연직 분포	23
그림 3-21. 2021년 8월 9일 OMPS 오존(음영) 및 오존존데 관측지점(붉은점)	24
그림 3-22. (왼쪽) Eureka에서 관측된 2020년 3월 27일의 온도, 습도 연직 분포와 (오른쪽) 오존의 연직 분포	26
그림 3-23. (왼쪽) 2021년 7월 6일 03 UTC, (오른쪽) 2021년 7월 10일 03 UTC에 관측된 연직 오존 분포. 실선은 오존존데 및 MLS 위성에 의해 관측된 오존 분포를 의미함	27
그림 3-24. 이전 그림과 동일하나 (왼쪽) 2021년 8월 15일 03 UTC, (오른쪽) 2021년 8월 18일 03 UTC의 관측 결과	27
그림 3-25. 2021년 북극항해 기간동안 관측된 오존 총량. 점은 오존존데에 의한 결과를, 점선은 OMPS 및 OMI 위성에 의해 관측된 오존 총량을 의미함	28

제1장 서론

1. 연구개발의 개요

가. 소형 오존존데를 이용한 북반구 오존감시 기반 조성

아라온의 아북극/북극 지역 이동 및 연구 항해 시 전기화학농도측정셀(Electrochemical Concentration Cell, ECC) 기반의 소형 오존존데를 이용하여 북극/아북극 지역의 오존 연직 분포 관측을 수행. ECC에 기반한 소형 오존존데는 약 500 g 중량, $\sim 20 \times 20 \times 25 \text{ cm}$ 의 크기로 휴대성이 높아 선상 관측이 용이하며, 연직 200 m의 물리적 해상도로 약 30~35 km 고도까지 오존을 관측할 수 있어 성층권 오존감시에 적합하다. 추가로 높은 연직 해상도와 5% 수준의 우수한 정확도(accuracy)와 정밀도(precision)를 갖는 장비로 대류권과 성층권의 오존 농도를 연구하는데 중요한 정보를 제공할 수 있다.

오존존데를 활용한 오존 관측 프로그램 및 노하우 확보하여 아라온의 북극 또는 남극 항해 시 고위도의 극지역 오존감시가 가능하여 이를 활용한 연구 기반을 조성하고자 한다. (독일은 Polarstern 채빙선을 북극에 상주시켜 2020년 봄에 발생한 북반구 오존홀을 관측하여 보고하였으며, 이러한 북반구 오존감소 현상의 발생은 성층권 냉각에 의해 향후 더 증가할 것으로 예견되어 직접 관측에 기반한 북극 오존감시 기술이 향후 극지 연구에 중요한 요소가 될 것으로 판단됨.)

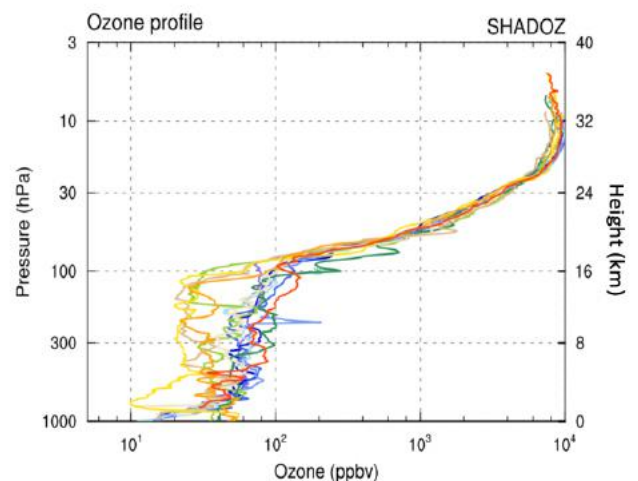


그림 1-1. (왼쪽) ECC 오존존데 센서(EN-SCI사)의 예시 및 (오른쪽) 소형 오존존데를 이용한 적도 오존관측 자료(SHADOZ 프로젝트). 소형 오존존데 센서는 평균 약 15-20 cm의 크기로 다루기 편하며, 오존량이 많은 성층권 중층까지 오존 측정이 가능하다.

나. 북극 아북극 해상관측을 통한 위성 추정 오존 검증

북극 및 아북극 해상 지역은 직접관측이 어려운 관측공백지역으로 오존 관측 자료가 매우 제한적이며 대부분 위성의 복사관측에 근거한 추정 자료에 의지하고 있다. 아라온호의 북극 항해 시 ECC 오존존데를 이용한 선상 오존 프로파일 관측을 수행하고 이를 활용하여 위성에서 추정된 오존 연직분포 자료(Microwave Limb Sounder/Aura satellite, Ozone Mapping and Profiler Suite/Suomi NPP)의 검증을 수행하고자 한다.

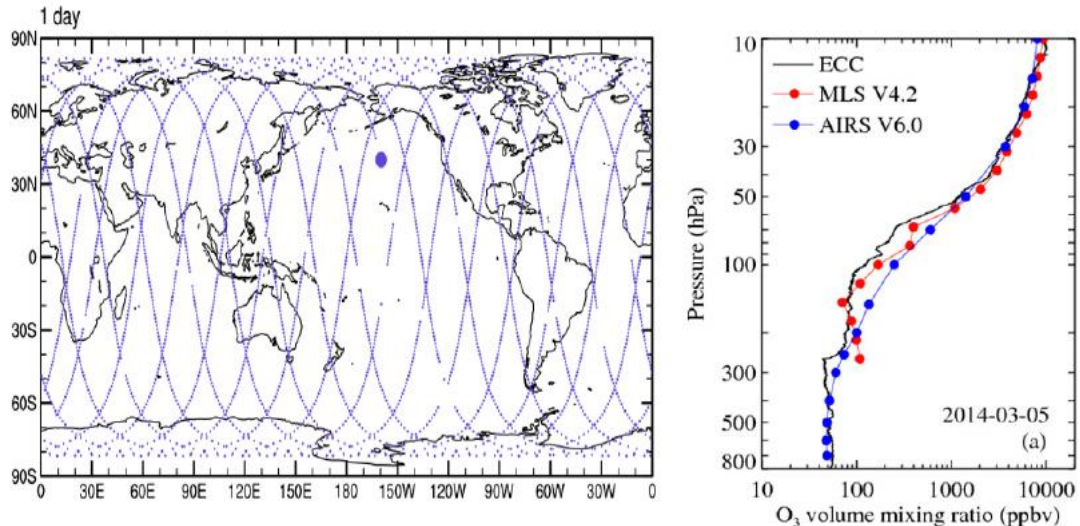


그림 1-2. (왼쪽) Microwave Limb Sounder 위성의 1일 관측범위. (오른쪽) MLS 위성과 ECC 오존존데 관측 오존값의 연직 분포 비교 예시 (Wang et al 2019).

2. 연구개발의 중요성

가. 소형 오존존데를 이용한 북반구 오존감시 기반 조성

북반구는 오존홀로부터 안전한 지역으로 생각되었으나, 최근 성층권 온도의 감소로 인해 북반구 성층권 오존 감소 및 오존홀 발생 확률이 증가하고 있다(1997, 2011, 2020년 뚜렷한 북반구 오존홀이 발생). 이러한 북반구 오존 변화를 정확히 감시하기 위해서는 북극해상에서의 관측이 필요하며, 아라온과 같은 쇄빙선 상에서 오존관측을 수행할 수 있는 지식과 노하우가 요구된다.

나. 북극 아북극 해상관측을 통한 위성 추정 오존 검증

북극 해상 지역은 오존 관측공백지역으로 위성 추정 오존자료에 의지하고 있으나 직접 관측자료의 부재로 위성자료의 정확도 검증이 제대로 이루어지고 있지 못함. 특히 북극 해상 지역에서의 오존관측은 쇄빙선 운영이 필수적이며 극지연구소와 공동연구를 수행하지 않으면 관측이 불가능하므로 극지연구소 쇄빙선인 아라온의 공동활용이 요구된다.

제2장 국내외 기술개발 현황

1. 국내외 환경분석

가. 국내 북반구 오존 변동성 및 관측 동향

한반도에서는 WMO (World Meteorological Organization)에서 주관하는 GAW (Global Atmosphere Watch) 프로그램의 일환으로 1994년부터 포항관측소에서 약 주 1회의 ECC 오존존데 관측을 수행하고 있다. 해당 오존존데를 통해 지상에서 30 km 고도의 한반도 상부의 연직 오존분포를 관측하고 있으며, 추가로 Brewer 및 Dobson 분광광도계를 이용하여 오존전량 관측을 통한 성층권 오존 감시를 수행하고 있다.

몬트리올 의정서의 발효 이후로 오존파괴물질인 염화불화탄소(Chlorofluorocarbons, CFCs)의 배출이 지속적으로 감소하였으며, 이에 따라 남반구의 성층권 오존홀의 크기가 안정화되었으며 많은 화학-기후모델에서 남반구 성층권의 오존이 회복되고 있는 것으로 판단되었다. 그러나 최근 미국 및 한국 연구팀의 연구(Montzka et al. 2018; Rigby et al. 2019)에 따르면 북반구 지역에서 CFC11가 지속적으로 관측되고 있으며, 특히 제주 고산 관측소 자료에 의하면 동아시아 지역의 CFC11 배출이 다시 증가하는 것으로 판단되어 북반구 오존량 감소에 악영향을 미칠 것으로 판단되고 있다. 역궤적(backward trajectory) 방법론을 통한 계산 결과는 해당 CFC11의 배출지역을 중국 북부 지역으로 나타내고 있으나, 정확한 관측이 없어 확인이 어려운 실정이다.

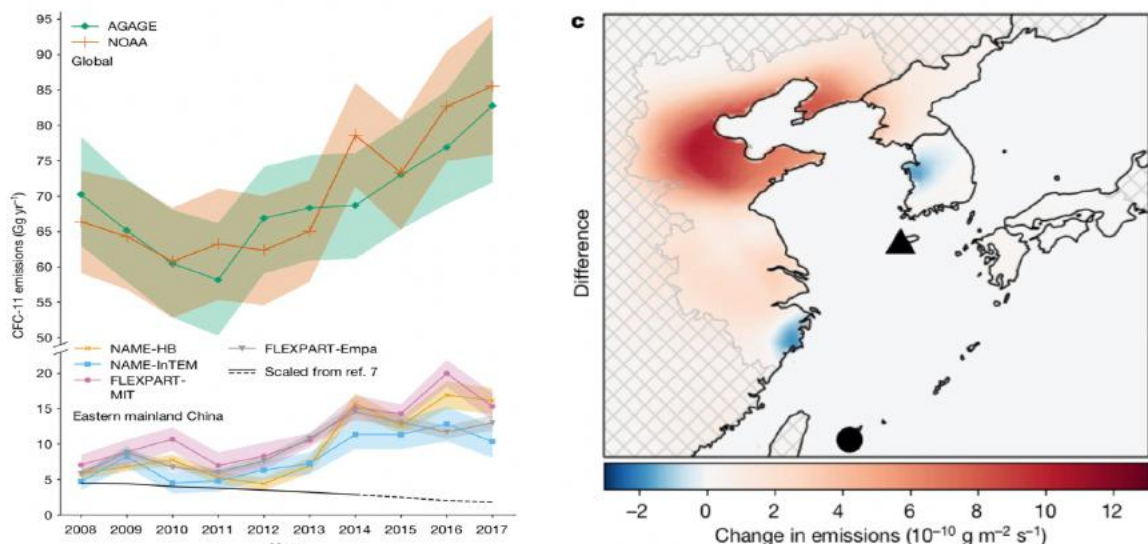


그림 2-1. CFC-11 방출 추정량의 시계열 및 (오른쪽) 방출량 증가 추정 지역 (Rigby et al. 2019)

나. 국외 연구 동향

최근 2020년 봄철에 발생한 북반구 오존홀은 1997년 2011년 이후 세 번째로 발생한 뚜렷한 형태의 북반구 오존홀로 북반구가 더 이상 오존홀로부터 안전한 지역이 아님을 보이고 있다. 독일은 Polarstern 채빙선을 북극에 상주시켜 북반구 오존을 관측하였으며 3월말 18 km의 오존이 90% 이상 감소하였음을 보고하였고(Witze, 2020, Nature), 이러한 북반구 오존홀의 발생은 지속되는 성층권 냉각과 잔존 오존 파괴물질의 활성화에 따른 것으로 분석되고 있어 지속적인 북반구 오존홀 발생이 예견되고 있다. 그러나 북반구 오존홀의 정확한 원인은 아직 밝혀지고 있지는 않아 추가적인 연구가 요구된다.

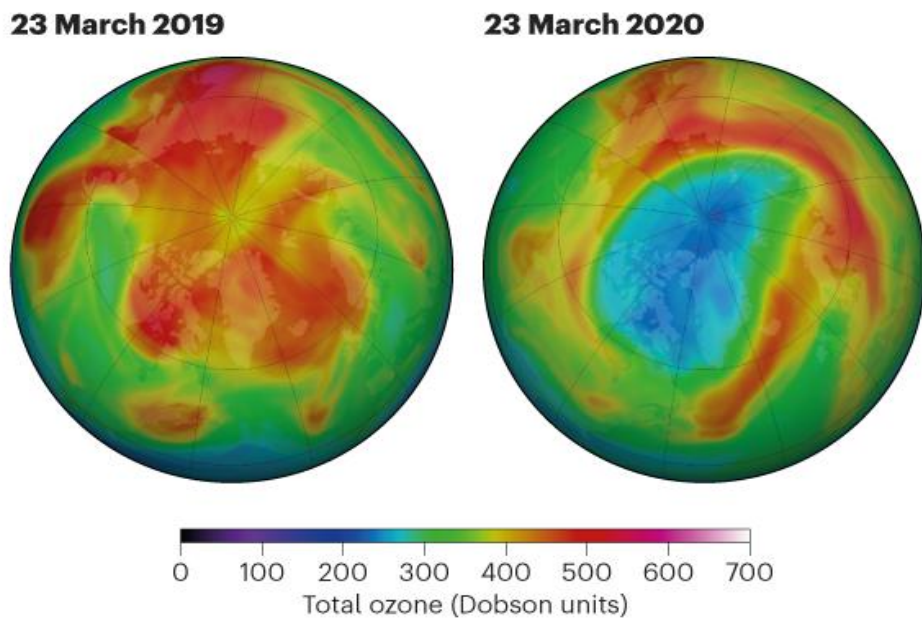


그림 2-2. 2020년 3월 관측된 북반구 오존홀의 오존 농도(Witze 2020).

추가로 최근의 전지구 오존농도의 지난 30년 장기변화 분석에 따르면 대류권 오존은 일부 증가하는 반면 성층권 하부의 오존량은 지속적으로 감소하는 추세를 보이는 것으로 나타나 전지구 오존 변동성에 지속적인 영향을 주는 기후적 요소가 있는 것으로 판단되고 있으나 그 원인은 정확히 밝혀지지 않고 있다(Ball et al. 2019).

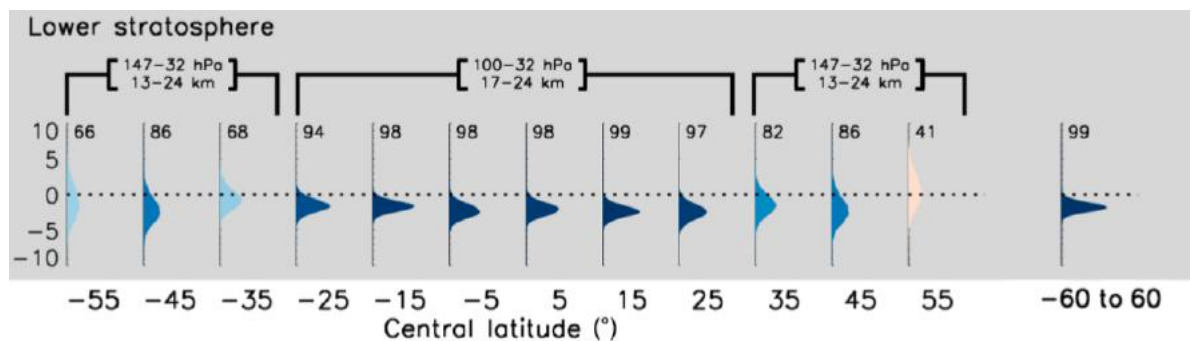


그림 2-3. 1985년부터 2018년까지 성층권 하부 위도별 오존 변화 (Ball et al. 2019)

2. 선행연구의 결과 및 내용

가. 소형 오존존데 자료분석

적도 및 아열대 지역에서는 전기화학법(ECC)에 기반한 소형 오존존데를 이용하여 대류권 및 성층권의 오존량을 감시하는 SHADOZ (Southern Hemisphere ADDitional OZonesondes) 프로젝트가 1990년대 이후로 지속적으로 진행되고 있어 해당 자료를 기반으로 정확한 오존의 변동성 연구 및 적도지역 위성자료의 검증에 수행할 수 있다.

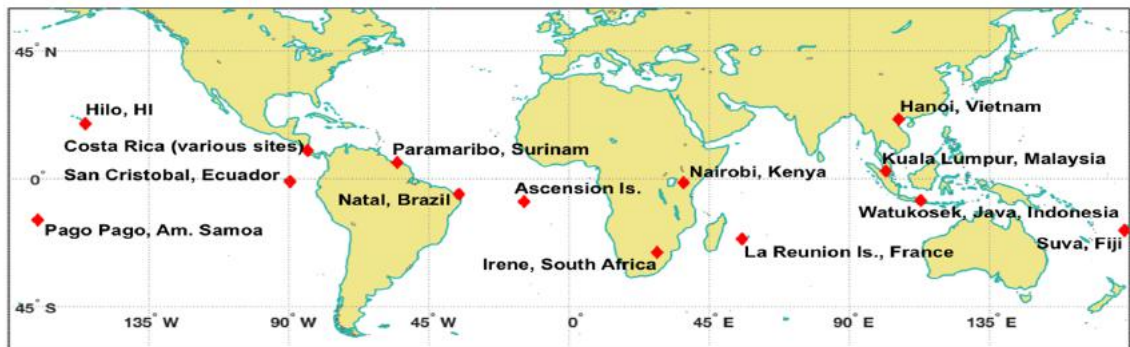


그림 2-4. SHADOZ 프로젝트의 오존존데 관측 지점 위치

본 연구자는 과거 SHADOZ 자료의 분석을 통해 적도의 오존변화를 분석하였으며, 자료의 분석 결과 2001년을 기준으로 적도 대류권계면 및 하부 성층권의 오존량이 크게 감소함을 확인하였다. 이러한 특성은 위성추정 오존(HALOE, SAGE2)에서도 발견되었으나 위성자료의 연직 해상도 문제로 정확한 값과 고도를 추정하는데는 문제가 있음이 밝혀졌으며, 추가로 소형 오존존데 자료의 활용을 통해 성층권 오존변화를 정확히 관측하고 위성자료를 검증할 수 있음을 확인하였다.

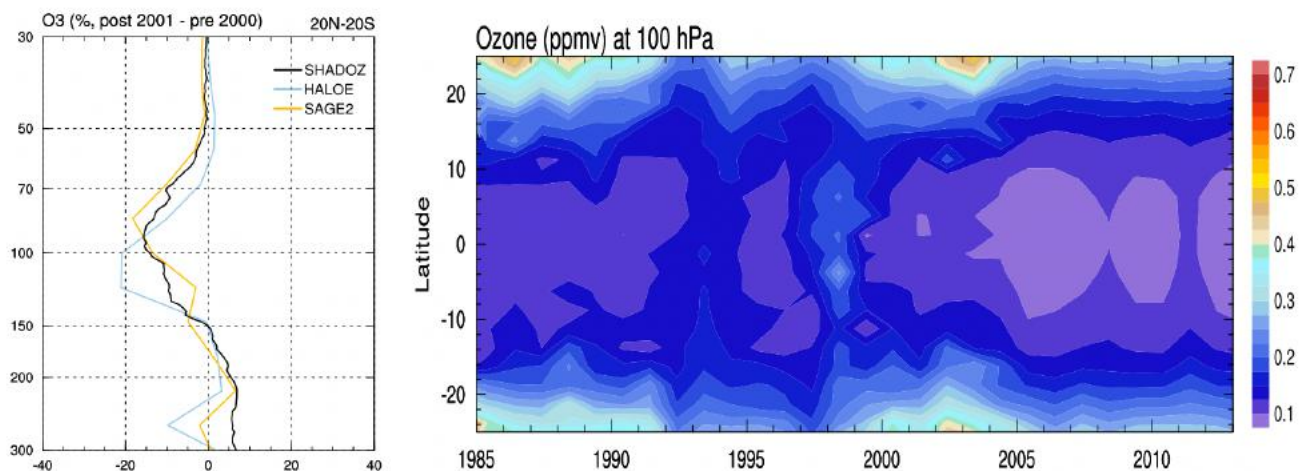


그림 2-5. (왼쪽) SHADOZ 오존존데 자료와 HALOE, SAGE2 위성기반 오존자료에서 나타나는 2001년 이후의 오존 변화. (오른쪽) 100 hPa 오존분포의 연별 시계열

제3장 연구개발수행 내용 및 결과

1. 연구개발의 최종 목표

가. 북극 및 아북극지역의 오존감시 기반 조성

- 아라온을 이용한 극지역 해상 오존 자료 수집(자료수집 15건)
- 쇄빙선 오존존데 관측을 위한 지식 및 노하우 축적(관측프로그램 1건)
- 관측기반 오존 자료를 활용한 위성 추정 오존 검증(과제종료 후 2년 안에 SCIE 1건)
- 데이터베이스 구축을 통한 북반구 오존홀 연구 기반조성(데이터베이스 구축 1건)

표 3-1. 연구개발의 성과지표 목표치

성과지표	목표치	가중치(%)	설정근거	평가기준(측정산식 등)
자료수집	15건	50%	핵심목표	자료수/목표치*가중치
SCIE 논문	과제종료 후 2년 이내 1건	30%	학술연구기여	출판수/목표치*가중치
데이터베이스	1건	20%	국제활동기여	구축유무

나. 연구개발의 추진체계

- 2021년 북극항해 조사 연구 과정에서 오존존데 관측을 수행한 뒤, 자료의 품질검사를 통해 데이터베이스를 구축하고자 함.
- 구축된 데이터베이스를 토대로 위성추정 오존자료의 분석 및 검증을 수행하고, 위성자료의 정확도를 산출하고자 함.
- 오존존데 구축 경험을 토대로 추후 쇄빙선에서의 오존존데 운영 방안을 제안하고자 함.

연구개발과제		총 참여 연구원
과제명	북극 및 아북극 오존감시를 위한 쇄빙선 오존 관측 기반연구	주관연구책임자 (김주완)외 총 4명
		담당기술개발내용 오존존데 선상 관측: (김주완 외 2명) 위성자료 분석 검증: (김주완 외 2명)

2. 연구개발의 내용 요약

가. 북극 및 아북극지역의 오존감시 기반 조성

- 1) 아라온 이동 및 연구 항해 기간의 오존존데 비양 및 관측자료 수집
(이동 및 연구항해 시 평균 1회/3일 관측)
 - 1항차 인천-베링해 이동: 일본 영해를 벗어난 지역에서 2회 관측
 - 1항차 베링해 연구항해 및 이동: 베링해 지역에 진입하여 3회 관측
 - 2항차 더치하버 정박 및 이동: 미국의 영해 문제로 관측을 수행하지 않음
 - 2항차 연구항해(베링해, 척지해, 동시베리아해): 약 3일 주기로 13회 관측
- 2) 관측된 오존 자료의 품질검사 및 정리, 연구를 위한 데이터베이스 구축
 - 오존 관측 전 센서장비 검보정
 - 오존 관측 후 준실시간 분석 및 초기 품질 검사
 - 관측 종료 후 전체자료의 품질 검사 및 보정
 - 자료 정리 및 데이터베이스 구축

나. 극지역 오존 자료를 활용한 위성 오존 자료 검증

- 1) 위성 오존 자료 수집
 - Microwave Limb Sounder/Aura 위성 추정 오존 자료 수집
 - Ozone Mapping and Profiler Suite/Suomi NPP 위성 추정 오존 자료 수집
- 2) 관측 오존과 위성 추정 자료의 상호 비교 신뢰도 검증
 - 선상 관측지점과 위성자료의 위치 정렬
 - 자료의 비교를 위한 연직 해상도 조정
 - 오존존데와 위성자료의 비교 검증, 위성자료 정확도 산출

3. 북반구 오존홀 감시기반 조성

가. 북반구 오존홀 감시 기반 기술 확보

북반구 오존홀 감시기반을 조성하기 위해 필요한 장비로는 크게 1) 오존존데 센서와 2) 센서 초기화를 위한 장비, 3) 오존존데 비양을 위한 소모품 및 4) 비양 후 관측신호 수신을 위한 지상수신장비로 구성되어있다. 아라온 호에서 오존감시를 위해 설치된 장비 및 오존존데 준비 장소에 대한 대략적인 위치는 그림 3-1과 같으며, 세부적인 설명은 각 항목별로 적어두었다.

본 연구를 위해서는 EN-SCI사에서 제작한 ECC 기반의 오존존데(ECC ozonesonde 2Z

model)를 사용하였으며 해당 모델의 자료수신을 위해서는 Internet system 사의 IMet-4RSB 라디오존데를 사용하였다. ECC 오존존데는 아이오딘의 산화환원 반응을 통해 얻어진 미세 전류를 이용하여 오존의 분압을 측정한다. 정확한 오존의 분압을 계산하기 위해 오존존데의 센서 초기화가 필요하며, 이에 필요한 오존존데 테스트 유닛은 오존존데 센서를 제작한 회사(EN-SCI)의 제품을 사용하였다.

전기화학농도측정법을 이용한 오존존데는 아이오딘화 칼륨(KI)을 이용하여 제조된 환원극(Cathode) 및 산화극(Anode) 용액이 필요하며, 오존존데를 제조한 회사에 따라 관측에 사용되는 용액의 농도가 다르다. 세계기상기구(World Meteorological Organization)에서 오존존데 관측을 위해 제작된 보고서(GAW Reports NO. 201; Smit et al. 2014)에 따르면, 관측에 사용된 EN-SCI 사의 오존존데는 SST0.5 (Sensing solution type 0.5% KI, Half buffer) 시약으로 사용하도록 명시되어 있다. 정확한 시약 제조 절차를 위해, 미국 항공 우주국(National Aeronautics and Space Administration)의 SHADOZ (Southern Hemisphere ADditional OZonesondes) 연구팀에서 제시한 제조법에 따라 시약을 준비한 뒤, 지상에서의 오존관측장비와의 비교 검증을 통하여 신뢰성을 확보하였다. 오존존데에 사용된 SST0.5 시약의 제조법은 표 3-2와 같다.



그림 3-1. 북반구 오존감시를 위해 설치된 오존존데 장비 설치 및 비양 위치 모식도

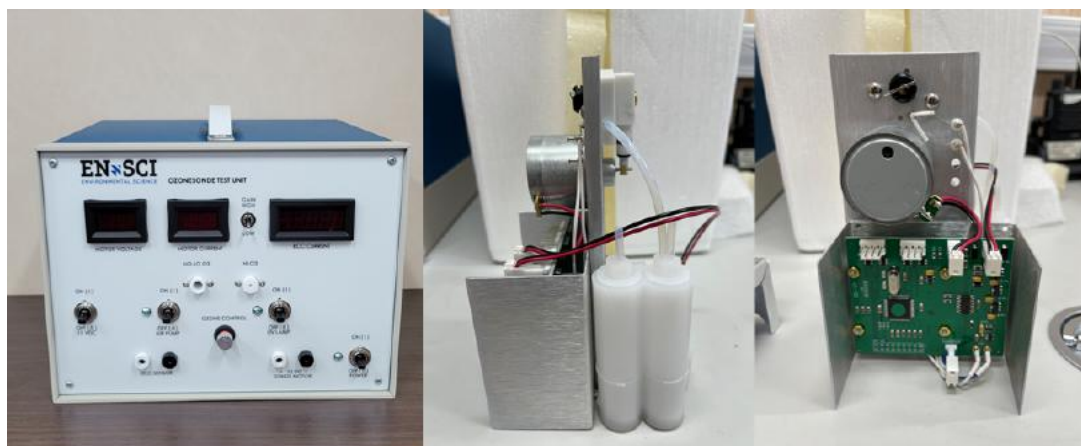


그림 3-2. (왼쪽) 오존존데의 센서 초기화를 위한 오존존데 테스트 유닛과 (가운데) 오존존데 센서 측면 및 (오른쪽) 내부.

표 3-2. SST0.5 (Sensing Solution Type 0.5% KI, Half Buffer) 시약 제조법

SST0.5 (Sensing Solution Type 0.5% KI, Half Buffer) 시약 제조법

1. 1 L 0.5% KI 환원극 시약

- 1) 500 mL의 증류수에 다음의 화학 약품을 용해
(5.0 g KI, 12.5 g KBr, 0.625 g NaH₂PO₄H₂O, 2.5 g Na₂HPO₄12H₂O)
- 2) 용해 후, 추가의 500 mL의 증류수를 혼합하여 총 1 L의 산화극 시약 제조

2. 50 mL 포화 KI 산화극 시약

- 1) 125 mL의 시약통에 50 mL의 음극 시약과 90 g KI를 용해
- 2) KI의 결정이 용해되도록 흔든 뒤, 2주간 상온에서 보관

오존존데에 사용되는 SST0.5 환원극 시약은 투명한 색상을, 산화극 시약은 노란색 색상을 보이며, 산화극 시약은 제조 과정 중 시약의 온도가 낮아지는데 이는 아이오딘화 칼륨이 용해되는 과정에서 나타나는 정상적인 현상이다. 또한 충분히 아이오딘화 칼륨이 용해될 수 있도록 2주간의 보관 시간을 가지며, 시약을 보관하는 시약통은 빛이 투과되지 않는 통에 보관하여야 한다. 제조된 시약은 상온에서 보관이 가능하며, 제조된 시점으로부터 약 1년 정도까지 오존존데의 초기화에 사용이 가능하다.

지상수신장비는 자료의 수신을 위한 안테나, 잡음제거 및 출력 신호 증폭을 위한 프리앰프, 라디오존데 신호 분리를 위한 바이어스티와 안테나에서 수신되는 신호를 받기위한 수신기가 요구된다. 장비간 신호전송을 위해 N형(또는 SMA 형)의 연결단자를 가지고 있는 케이블과 USB 케이블을 이용하여 장비를 연결하며, 관측용 컴퓨터에 전송되도록 한다. 컴퓨터에는 관측된 오존자료를 보정 및 처리하는 프로그램이 설치되어 있어야하며, 여기서는 미국 해양대기청 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)의 GML(Global Monitoring Laboratory)에서 제공하는 Skysonde 프로그램을 이용하였다. 지상수신장비의 구성 개략도는 다음의 그림과 같다.

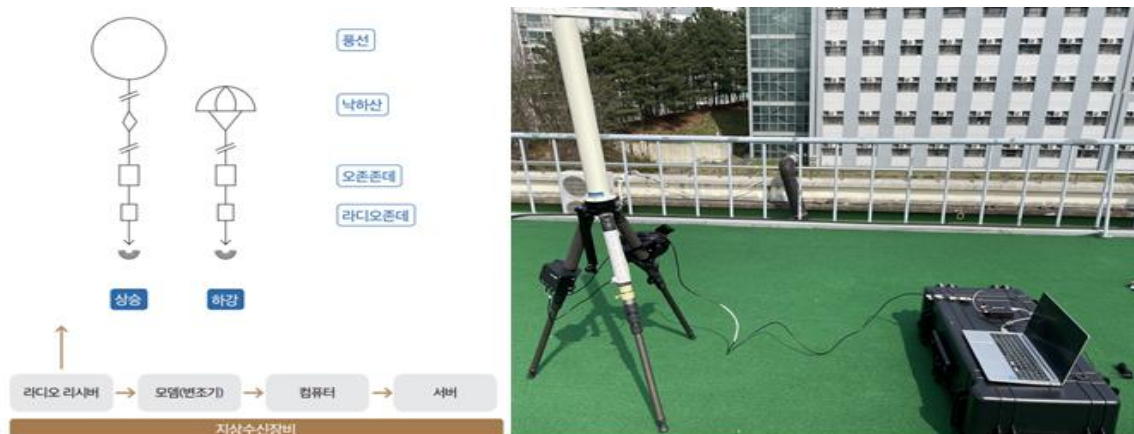


그림 3-3. (왼쪽) 오존존데 비양에 필요한 지상수신장비 모식도 및 (오른쪽) 설치된 지상 수신장비 예시

1) 안테나

오존존데에 부착된 라디오존데와의 송수신을 위한 장비로 크게 지향성 안테나와 무지향성 안테나로 나뉜다. 지향성 안테나의 경우, 무지향성 안테나에 비해 장거리의 관측 신호를 수신받을 수 있다는 장점이 있으나, 안테나가 지향하는 방향에 대해서만 원활한 관측 송수신이 가능하다는 문제가 있다. 선상에서의 관측 특성상 선사의 방향이 바뀌는 경우가 있으므로, 아라온 호에서 진행된 관측은 모든 방향에서 송수신이 가능한 무지향성 안테나를 사용하였다.

여름철임에도 불구하고 극지에서는 강수 및 강설을 동반한 기상환경이 나타난다. 이러한 환경에서도 관측에 지장이 없도록 웨덱스사에서 제작한 WxAS-501 무지향성 안테나를 사용하였다. 해당 안테나는 일반적으로 기상 관측을 위해 사용되는 주파수범위를 포함하며, 150 km의 관측 범위를 가지므로 오존존데의 관측에 적합한 장비로 판단하였다. 주위 장애물에 의한 신호 감쇄를 피하고자 아라온 호의 가장 높은 곳에 위치한 콤파스 덱(compass deck)에 설치되었으며, 사용된 안테나의 세부적인 규격은 다음과 같다.

표 3-3. 아라온 호에서 사용된 무지향성 안테나(WxAS-501)의 기본 사양

안테나	WxAS-501	타입	Full-wave Quadrifilar Helix
원격 측정 범위	150 km	주파수범위	400 ~ 406 MHz
운영 온도 범위	-40 ~ 50 °C	입력 전원	+10 ~ 12 VDC
강수시 운영	제한 없음	운영 습도 범위	0 ~ 100% RH

2) 프리앰프

프리앰프는 안테나에 연결된 케이블을 통해 유입되는 라디오존데의 전기신호를 강한 출력신호로 증폭시킴과 동시에 존데 신호를 제외한 잡음을 제거하는 장비이다. 잡음 대비 신호비(Signal-to-Noise Ratio; SNR)를 높이므로, 관측 장비의 운용 범위를 넓히는 효과가 있다. 안테나와 수신기 간 케이블을 통해 연결하며, 안테나를 지지하는 다리에 설치하여 케이블을 통한 신호 감쇄를 최대한 줄이고자 하였다.

3) 바이어스티/수신기

바이어스티는 안테나 및 바이어스티 전원 신호를 합성하거나 분리해내며, 본 관측에서는 안테나 선을 이용하여 프리앰프에 전원을 공급하기 위해서 사용하였다. 안테나로부터 들어오는 신호를 받기 위한 케이블과 12V의 정격전압 및 수신기와의 입출력을 위한 총 3개의 단자로 구성되어 있으며, 수신기에 5V의 전원 공급 기능이 있으나 안정적인 관측 신호 강도를 위해 바이어스티를 사용하는 것이 권고된다. 본 관측에서는 12V 전원을 바이어스티에 연결하여 안정적인 정격전압을 공급하였으며, 수신기와의 연결은 RF 단자를, 안테나와 연결된 케이블은 RF+DC 단자를 결합하였다.

관측프로그램이 운용되는 노트북에서 인식할 수 있는 관측신호로 변환하기 위해 수신기의 사용이 요구되며, 여기서는 SDRplay사의 RSPdx 수신기를 이용하여 관측을 수행하였다. 해당 모델은 라디오존데가 내보내는 신호대를 수신할 수 있고 안정적으로 관측신호를

변환한다는 장점이 있다. 바이어스티와 연결된 케이블과 수신기를 결합해 관측 신호를 받도록하며, 반대편에는 USB 케이블을 이용해 노트북과 수신기를 연결한다. 이때, 바이어스티와의 케이블 연결은 ANT B를 사용하였다(ANT A 단자를 사용하여 관측을 진행하여도 무방하다). 해당 장비들은 안테나 및 프리앰프가 위치한 컴퍼스 덕에 설치하였으며, 주변으로부터 장비를 보호하고자 컴퍼스 덕에 위치한 컨테이너 내부에 관측용 컴퓨터와 같이 장비를 설치하였다.



그림 3-4. (왼쪽) 12V 어댑터가 결합된 바이어스티와 (오른쪽) 라디오존데 수신기

4) Skysonde Server/Client

오존존데가 전송하는 관측값을 저장하기 위해서는 관측용 컴퓨터에 신호 수신 프로그램이 설치되어 있어야 한다. Skysonde Client 프로그램은 NOAA에서 연구자를 위해 제공하는 프로그램으로 라디오존데에서 설정한 주파수를 통해 실시간으로 자료를 수신된 자료를 Skysonde Server에서 저장한다. 수신기를 결합한 뒤, 라디오존데에서 설정한 주파수를 Skysonde Server에 입력하면, 해당 주파수의 신호가 들어오는 것을 확인할 수 있으며, 매 관측 순간마다 존데에서 들어오는 신호강도를 파악할 수 있다.

Skysonde Client 프로그램은 관측된 원시 자료를 저장하며, 오존존데의 비양하기에 앞서 필요한 여러 메타데이터를 기입하도록 되어있다. 오존존데 및 라디오존데의 제품번호 및 관측소, 비양에 사용된 풍선과 오존존데를 초기화하면서 측정된 정보들을 작성하도록 되어있으며, 아스키코드 및 사람이 인식할 수 있는 csv 형식으로 관측 자료를 저장한다. 이 정보들은 추후에 자료의 후처리 및 보정을 위한 정보로 활용될 수 있도록 관측된 원시 자료와 함께 저장된다. 또한 관측된 변수들에 대한 연직 프로파일을 실시간으로 가시화하여 분석할 수 있는 간단한 기능들을 제공하여, 대기 중에서 나타나는 온도, 바람, 습도 및 오존에 대한 연직 분포를 실시간으로 확인할 수 있다.

Skysonde 프로그램은 관측장비의 이상 유무를 확인하기 위해 관측 시작 전부터 운영되며, 두 프로그램이 같이 작동되어야 정상적으로 관측된 자료를 저장할 수 있다. 관측이 진행되는 동안에는 프로그램을 계속 운영하며, 관측이 종료된 시점에 맞춰 Skysonde 프로그램을 종료시켜 자료를 저장한다. 이후 백업을 위해, 관측된 자료를 공주대학교 대기역학 연구실 서버에 업로드하였으며, 자료 보정 및 후처리 후 극지데이터센터(KPDC)와의 협의를 통해 자료를 배포하였다.

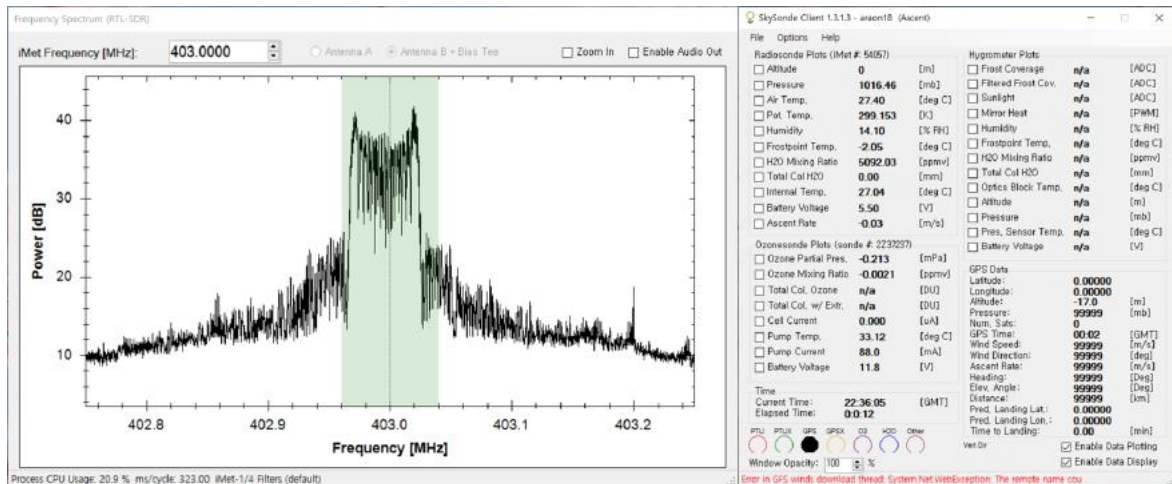


그림 3-5. (왼쪽) Skysonde Server 프로그램 및 (오른쪽) Skysonde Client 프로그램 작동 예시

앞서 설명한 지상관측장비 외에도 추가로 필요한 관측 장비 목록 및 사용 용도를 다음의 표에 정리하였다.

표 3-4. 존데 자료의 신호송수신 및 존데 관측에 필요한 지상수신장비 목록

장비	용도 및 설명	비고
안테나	라디오존데 신호 수신	https://gml.noaa.gov/ozwv/wvap/sw.html 사이트 참조하여 호환장비 구매
안테나 케이블	안테나와 수신기 연결	LMR-200 케이블 추천 RF 케이블 활용 가능 길이는 30 m 이하 권장
삼각대	안테나 지지	안테나와 연결이 용이하고 기상상황이 악화 될 경우를 대비하여 튼튼한 삼각대로 구매
수신기	라디오존데 신호 수신	SDRplay
바이어스티(Bias-tee)	프리앰프 전원 공급	프리앰프에 직접 전원을 공급하지 않는 경우, 바이어스티를 이용하여 안테나 케이블을 통해 전원 공급 가능
관측용 노트북 (오존존데 관측 프로그램)	데이터 수신 및 저장	본 설명서에서는 오픈소스인 "skysonde server/client" 프로그램을 활용. 존데 종류에 따라 프로그램과 호환 가능한지 확인 필요
기타장비 연결 케이블	지상수신장치들을 연결	N형수-SMA수 (안테나-프리앰프) SMA수-N형암 (프리앰프-안테나케이블) N형암-SMA수 (안테나케이블-바이어스티) SMA수-SMA수 (바이어스티-수신기) USB-B 2.0 - USB-A포트 (수신기-노트북) * 본 설명서에서는 SMA암이 부착된 프리앰프와 수신기를 사용하였음
휴대용 기압, 습도, 온도계	기상 초기값 측정	실시간 AWS 자료 또는 휴대용 장비 (Kestral weather meter), * 별도의 관측장비가 없는 경우 라디오존데 자료를 활용

이 외에 오존존데를 운용하는데 필요한 비양도구 및 소모품들은 다음과 같으며 2021 북

극항해는 코로나로 인한 정박의 어려움과 장기간의 항해 계획으로 이루어졌으며, 관측장비의 고장에 따른 수리가 어려워 관측이 중단될 수 있는 상황이 발생할 수 있으므로 이 외에도 다양한 상황에 따른 관측 방해요소를 제거하기 위하여, 여분의 운용가능한 장비와 소모품을 지참하였다.

표 3-5. 오존존데 비양에 필요한 비양도구 및 소모품 목록

장비	용도 및 설명	비고
라디오존데	오존존데와 연결하여 자료 송신	본 설명서에서는 iMet-4RSB 모델을 사용했으며 라디오존데의 작동절차는 각 모델의 매뉴얼을 참조
풍선 1200g, 낙하산, 릴	오존존데 비양 도구	오존존데의 무게로 인해 풍선은 1200g, 안정적인 낙하속도를 얻기위해 낙하산은 180g 이상의 제품을 권장
명주실 (또는 무명실)	비양장비 간 연결	
헬륨가스, 레귤레이터, 가스호스, 몽키스페너	헬륨 주입 도구	47L 가스통 기준으로 85-90 bar 정도의 헬륨이 소요되며, 악기상의 경우 여분의 헬륨(5 bar)을 주입. 약 5 m/s의 상승속도를 권장
주입구(앞머리), 무게추	풍선 고정	
니퍼, 칼, 가위, 절연테이프	장치 고정 도구	
오존존데 비양 안내문	비양 안내	폭발물 등으로 오인하지 않도록 오존존데에 안내문 부착

나. 선상 오존존데 관측을 위한 준비사항

오존존데를 1.2 kg 의 라텍스 풍선에 연결하여 비양하기 위해서는 1회 47 L 가스통 기준으로 약 85 bar의 헬륨이 요구되며, 기상 상황에 따라 5 bar의 추가 헬륨이 필요하다. 선상 관측은 지상의 관측소와는 다르게 폐쇄적인 환경임을 고려할 때, 선상에서 관측장비의 수리 및 추가적인 장비 보급의 어려움과 가스통 자체의 불량으로 인한 헬륨 부족, 기상상황에 따른 비양 실패 등을 감안하여 여유분의 헬륨이 고려되어야 한다. 성공적인 자료 수집을 위해 총 18번의 비양을 계획하였으며, 2회의 추가비양을 고려하여 20개의 47 L 헬륨 가스통을 아라온 호의 선수측 우현에 선적하였다.

오존존데의 비양은 헬륨을 주입한 풍선의 부력을 이용하여 이루어진다. 비양시, 초당 5 m/s의 상승속도가 나타날 때까지 헬륨을 주입하여야 하며, 선상에서는 헬륨을 저장하는 장소와 비양위치에 상당한 거리가 있을 수 있으며, 20m 이상의 거리에서는 헬륨가스 유입압력의 감소로 인해 주입시간이 느려져 약 20분~30분의 시간이 소요된다. 이 시간동안 배 주변에서 발생하는 강풍으로 인해 비양 준비에 어려움이 있을 수 있으므로 주변의 바람으로부터 풍선을 고정시켜주는 비양기의 사용이 권고된다. 하지만 대부분의 비양기가 라디오존

데 비양을 위한 600 g 이하의 풍선에 맞춰져있어, 1.2 kg 이상의 풍선을 사용하는 오존존데를 위한 비양기의 준비가 어려울 수 있다. 비양기가 없는 경우, 주변 바람의 영향을 최소화할 수 있는 실내 장소에서 헬륨 주입하고 오존존데 센서의 연결이 이루어져야 한다. 이를 위해, 삼면이 막혀있고 선상에서 넓은 공간을 가지고 있는 헬리 덱(Heli Deck)에서 비양 준비가 진행되었다. 비양 풍선을 준비하면서 바닥의 날카로운 단면으로부터의 손상을 예방하기 위해, 마찰을 줄일 수 있는 천을 설치하였으며, 비양에 필요한 부력과 동일한 무게의 추를 풍선에 달아 정확한 헬륨 주입을 진행하였다.

아래온 호에서는 내부 통신망을 제공하며, 이를 통해 콤파스 덱에 설치된 관측용 컴퓨터와의 원격 접속이 가능하다. 이를 활용하여, 03 덱에 위치한 대기과학실과 관측용 컴퓨터를 연결하여 비양 후 모니터링을 진행하였으며, 관측이 종료된 후, 내부망을 이용해 서버로 관측 자료를 업로드하였다. 또한 아래온 호의 앞 돛대에 설치된 AWS를 통해 제공되는 온도, 습도, 풍향 및 풍속의 기상자료를 이용하여 비양 전 지상 관측값으로 활용하였다.



그림 3-6. 존데 비양을 위해 준비중인 헬륨 주입 과정. 안정적인 비양 준비를 위해 바람의 영향이 적은 헬리 덱에서 진행함

다. 오존존데 초기화 절차

비양 전 오존존데를 초기화하는 절차에 따라 관측 오차가 발생할 수 있으므로, GAW에서 제공하는 오존존데 표준작업 절차를 준수하여 진행되어야만 한다(GAW Reports NO. 201, Smit et al., 2014). 아래온에서 진행된 오존존데 초기화 준비는 03 덱에 위치한 대기과학실에서 진행되었으며, GAW에서 제시된 3번의 준비 절차에 따라 진행되었다. 초기화에 필요한 장비로는 다음과 같다.

표 3-6. 오존존데 초기화에 필요한 장비 종류

장비	용도 및 설명	비고
오존존데 테스트 유닛	오존존데 초기화 및 지상검정장비	EN-SCI 사
ECC ozonesonde (2Z model)	오존존데	오존존데 모델에 따라 호환되는 라디오존데가 다르므로 확인 필요
오존존데 시약 4종	산화-환원 반응을 통해 오존을 검출하는 시약	Half buffer 용액을 사용하였으며, 이에 대한 설명은 1.2 절 참조 (*EN-SCI 사에서도 구매 가능하나 buffer 화학약품 종류가 다름).
오존존데 체크리스트	오존존데 준비 일지 작성	GAW-201의 체크리스트 참조
Plastic tube	주사기 및 유량계-오존존데를 연결하는 호스	EN-SCI 사 (또는 적절한 직경의 호스 사용)
Shorting plug	오존존데 보관시 회로연결	EN-SCI 사 (특정 제조사 무관)
롱노우즈 플라이어	오존존데 챔버의 캡 조작	
유량계(100 ml) 및 스탠드	오존존데 펌프 유량 측정	Bubble flow meter 100 ml (sigma aldrich: 20433-U 품목, 유량계와 오존존데를 연결하는 호스는 별도 구매. 또는 EN-SCI 사에서 구매)
소형 주사기 2개 (환원극/산화극용)	오존존데 용액 주입	주사기 앞에 호스를 달아 사용 (3cc 구매 권장)
펌프압력 유량계	오존존데 펌프 유량 측정	EN-SCI 사
스톱워치	시간 측정	시간 알람 기능
와이퍼	오존존데 준비과정 시 오 염 방지	먼지가 나지 않는 와이퍼 (e.g. 킴텍 와이퍼)

각 과정은 10~14일 전에 초기화 과정(Initial process), 3~7일 전에 중간 과정(Mid process), 마지막으로 비양 당일에 진행되는 최종 과정(Final preparation)으로, 관측 일정의 변동에 따라 중간 과정은 생략될 수 있으나, 오존존데의 정확성을 높이기 위해 해당 과정을 포함하여 진행하였다. 모든 과정에서 측정된 값들은 작업기록지(Checklist)에 기록하였으며, 추후에 관측 오존값과 확인할 수 있도록 함. 북반구 오존 감시를 위해 다음의 준비 절차를 진행하였다.

1) 초기화 과정(Initial process, 10~14일 전)

오존존데 초기화 과정은 오존존데 센서에 처음으로 용액을 주입하고, 주변 오존과의 반응성 속도를 검사 하는 과정이다. 비양일 기준으로 10~14일 전에 수행하며, 약 2시간이 소요된다.

(1) 오존테스트 유닛(KTU)에 오존존데의 펌프 작동을 위한 전원선(12V)과 센서 전류측정선을 연결



그림 3-7. (왼쪽) 전원을 켜 준 상태의 오존테스트 유닛과 (오른쪽) 전원선 및 센서 전류측정선을 연결 예시

(2) 오존존데 펌프의 흡입구에 얇은 테프론 호스를 연결

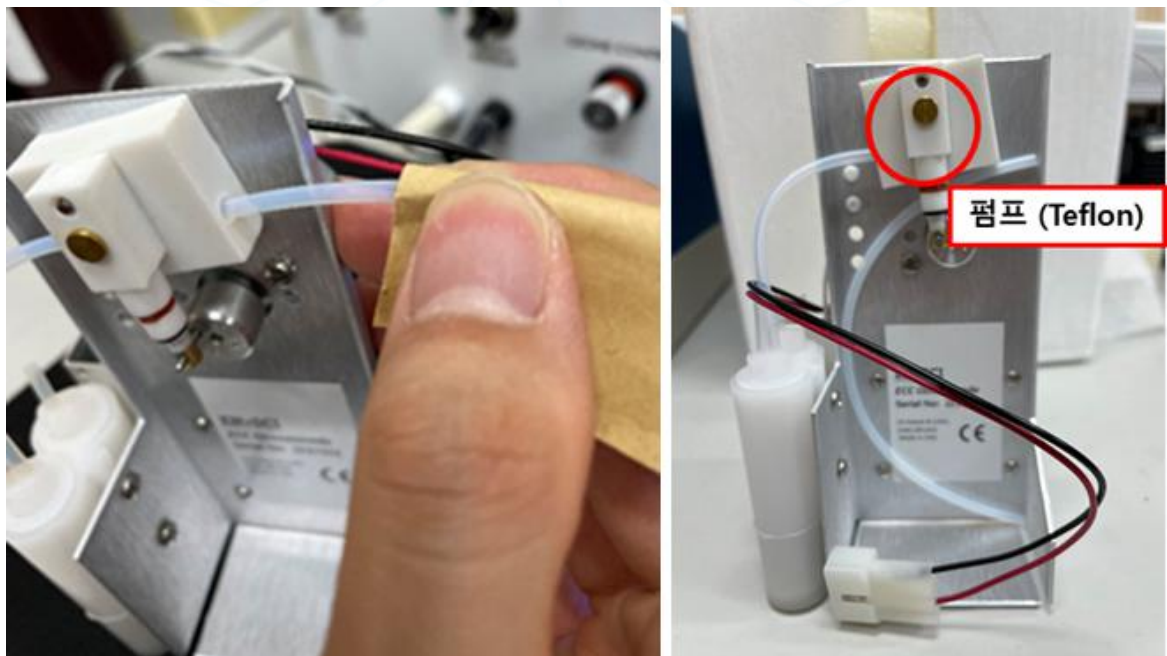


그림 3-8. 오존존데의 펌프 및 흡입구에 테프론 호스 연결 예시

(3) 오존존데의 흡입 호스를 KTU의 NO ozone에 연결한 뒤, 오존존데 펌프 전원을 10

분 동안 작동. 이후, 호스 흡입구를 High Ozone으로 옮긴 후, UV 램프를 켜고 오존 컨트롤 막대를 최대한 뽑는다. 해당 상태를 30분간 유지



그림 3-9. 오존테스트 유닛의 오존 발생 스위치 및 오존 컨트롤러 작동 예시

(4) High ozone 상태에서 30분이 경과하면, UV 램프를 끄고 오존 컨트롤 막대기를 모두 집어넣고 오존존데 펌프의 흡입 호스를 NO ozone 포트에 연결하고 5분간 작동.

(5) 오존존데 센서에 주사기를 이용하여 환원극 용액 3 ml를 먼저 주입하고 2-5분 후 산화극 용액 1.5 ml 주입. 환원극, 산화극 용액은 NASA 오존존데 연구팀에서 사용하는 0.5% KI Half buffer 제조 방법을 따라 준비됨(EN-SCI Corporation, 1996)

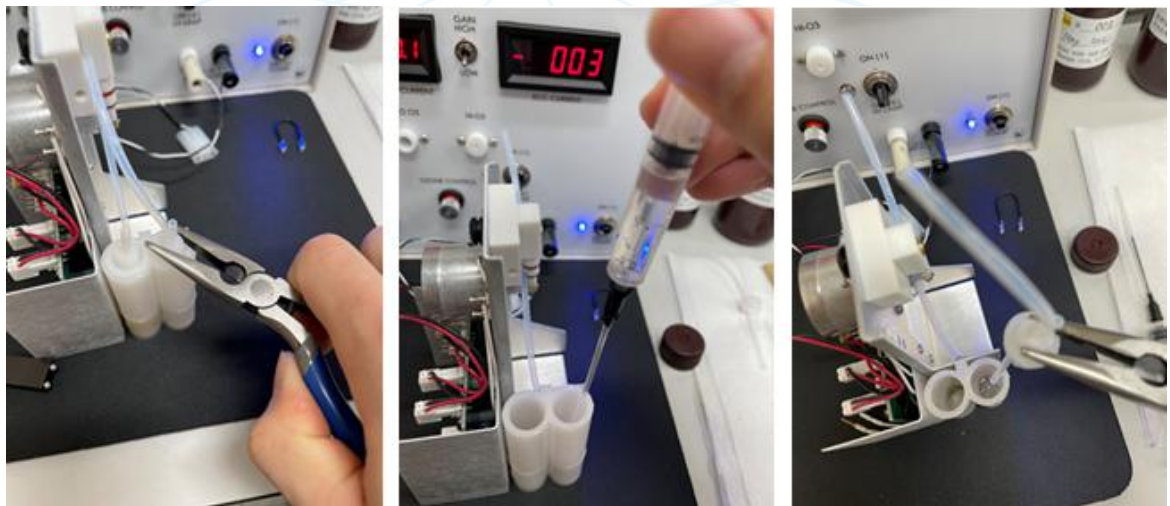


그림 3-10. 오존존데 환원극 시약 주입 예시

(6) KTU의 전류측정선과 전원선을 오존존데와 연결. 오존존데 펌프를 켜 후, NO ozone 상태에서 30 분 동안 작동시킨 후, 측정전류(사진의 가운데 디지털 숫자판)를 기록. 측정전류가 0.3 μ A 보다 높은 경우, 측정값이 낮아질 때까지 해당 과정을 지속



그림 3-11. 오존테스트 유닛의 오존존데 배경전류 측정 예시

(7) UV램프를 켜고 측정전류가 5~5.5 μ A가 되도록 오존 컨트롤 막대를 조절한 후 평형에 도달한 상태에서 10분간 유지

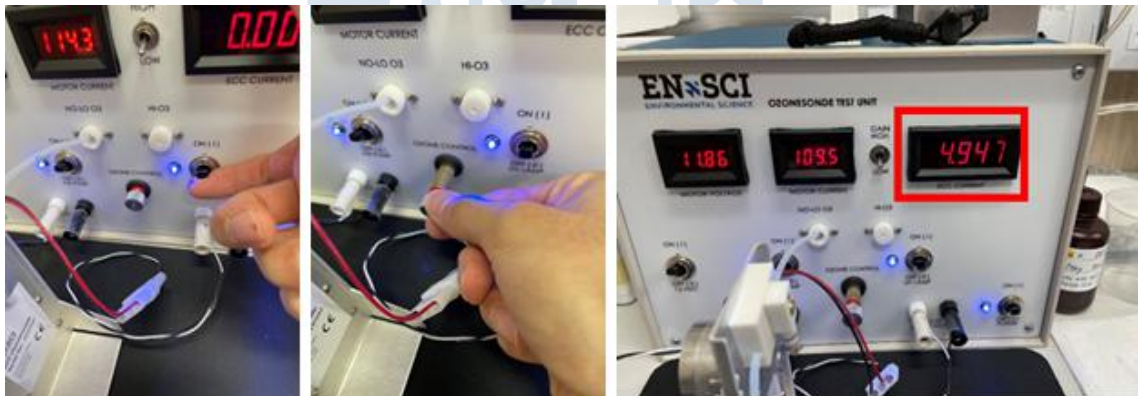


그림 3-12. 오존테스트 유닛의 오존 발생 및 오존존데 배경전류 측정 예시

(8) 10분이 지나면 UV 램프를 끈 뒤, 오존 컨트롤 막대를 끝까지 밀어 넣으면 측정전류가 빠르게 감소하는데, 스톱워치를 이용하여 측정전류가 4 μ A에서부터 1.5 μ A에 도달하는 시간을 기록. 해당과정 종료 후 NO ozone상태에서 10분간 작동시킨 뒤, 배경전류를 기록



그림 3-13. 오존존데의 센서 반응 속도 측정 예시

(9) 증류수가 있는 주사기 용액을 Waste 통(화학약품을 버리는 통)에 별도로 모으고, 주사기를 건조시켜 보관

(10) 전원선과 전류측정선을 분리하고 단락플러그(shorting plug)를 이용하여 센서 전류 측정선을 단락시킴(전류 측정선을 단락시킨 후 보관하는 것은 보관기간동안 전자의 이동이 충분히 이루어질 수 있게 도와주므로 중요한 과정임). 그 후에 오존존데를 비닐주머니에 싸서 스티로폼 박스에 보관

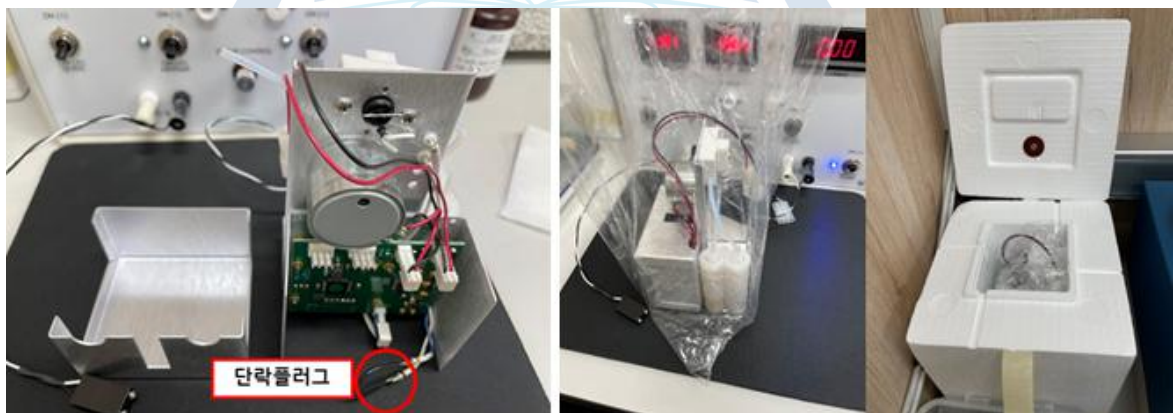


그림 3-14. 오존존데 센서선 단락 후 보관 예시

2) 중간 과정(Mid process, 4~7일 전)

오존존데 중간 과정은 초기화 과정에 사용된 시약을 교체와 동시에 오존존데의 센서 반응 속도를 측정하는 과정이며, 대부분의 과정이 초기화 과정에서 시행하는 방식과 비슷하게 진행된다. 관측 상황에 따라 해당 과정은 생략이 가능하나, 정확한 관측값을 얻기 위해 해당 절차를 진행하는 것을 권고한다.

- (1) 초기화 과정에서 사용된 오존존데의 시약교체
- (2) 오존이 없는 공기를 10분 주입 후 오존센서의 전류측정
- (3) 초기화 준비 과정의 (7)-(10) 과정을 반복

3) 최종 준비 과정(Final preparation)

중간 과정과 동일하게 용액을 교체 후 오존존데의 배경전류를 측정한다. 이후 오존존데를 초기화하는 실험실의 기압, 온도 및 습도를 측정하고, 오존테스트 유닛을 작동한 상태에서 아래 그림과 같이 오존존데의 펌프 유량을 측정한다. 100 mL의 유량계와 오존존데의 환원극에 나와 있는 테프론 호스를 연결한 뒤, 100 mL까지 유량계의 비눗방울이 올라오는 시간을 측정한다. 5번의 측정 이후에 해당 값을 평균한 펌프 유량값을 사용하여 오차를 최소화하며, 해당 값을 Skysonde Client 프로그램에 입력하여 관측값을 보정하는데 사용되도록 한다.



그림 3-15. 오존존데의 펌프 유량 측정 예시

라. 오존존데 자료 보정 및 후처리

오존존데를 이용해 저장된 자료는 라디오존데에서 측정된 고도에서 발생하는 오차와 오존존데의 펌프 온도에 따른 오차를 보정해야하며, Skysonde Processor 프로그램을 이용하여 오존존데 자료 보정 및 후처리를 진행한다. Skysonde Client 프로그램에서 저장된 관측 자료 중 RAW 형식의 파일을 불러온 뒤, 앞서 언급한 오차에 대한 보정을 진행한다.

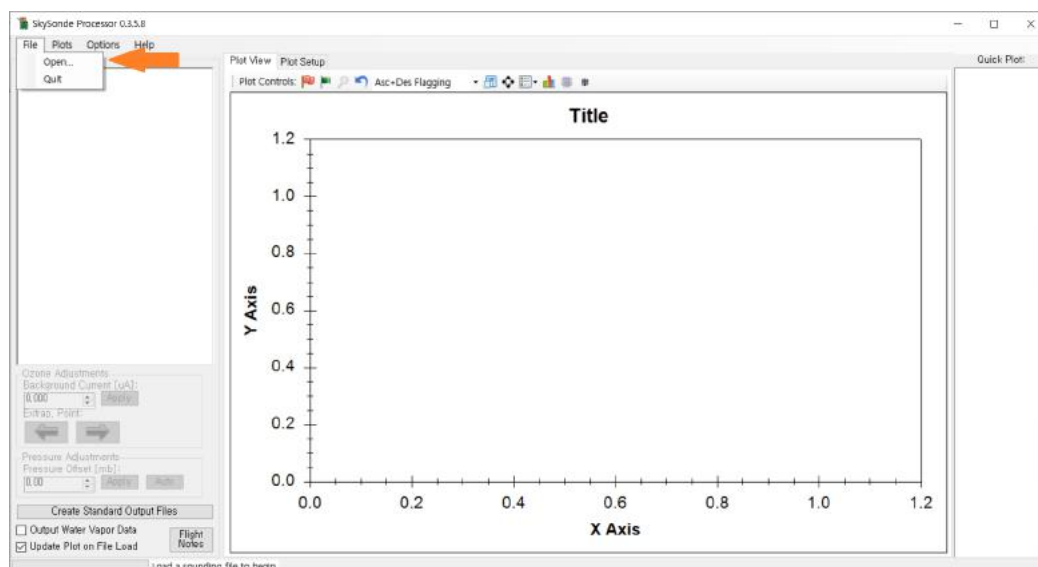


그림 3-16. Skysonde Processor 프로그램을 실행 예시

1) 기압값 보정

라디오존데에서 측정되는 고도와 GPS에서 관측되는 고도의 차이를 보정하기 위해 프로그램 상단에 위치한 'Plots'의 'Pressure Differences'를 누른다. 다음의 그림과 같이 관측자료 보정 전의 라디오존데와 GPS간 기압의 차이가 표출된 그림이 나타나며, 존데의 상승 및 하강에 대한 차이를 확인할 수 있다. 비양에 사용된 라디오존데에 따라 관측된 기압의 차이가 다르게 나타나므로 매 순간마다 후처리에 적용되는 보정 값을 다르게 적용해야 한다. 상층에서는 기본기압이 낮으므로, 상층에서는 하층에 비해 작은 기압 차이가 고도 및 오존 총량에 큰 오차를 발생시킬 수 있다. 따라서 고도가 가장 높은 위치를 기준으로 보정을 한다. 상층에서 나타나는 기압의 차이를 0에 가깝게 맞춰주며, 이는 프로그램의 좌측 하단에 위치한 'Apply' 버튼을 눌러서 기압값 차이를 보정한다. Skysonde processor에서는 'Auto' 버튼을 누르면 자동으로 프로그램에서 계산된 기압 보정값이 들어가며, 다음의 그림과 같이 상층의 기압값의 차이가 0에 가까워지도록 보정이 적용된 것을 볼 수 있다.

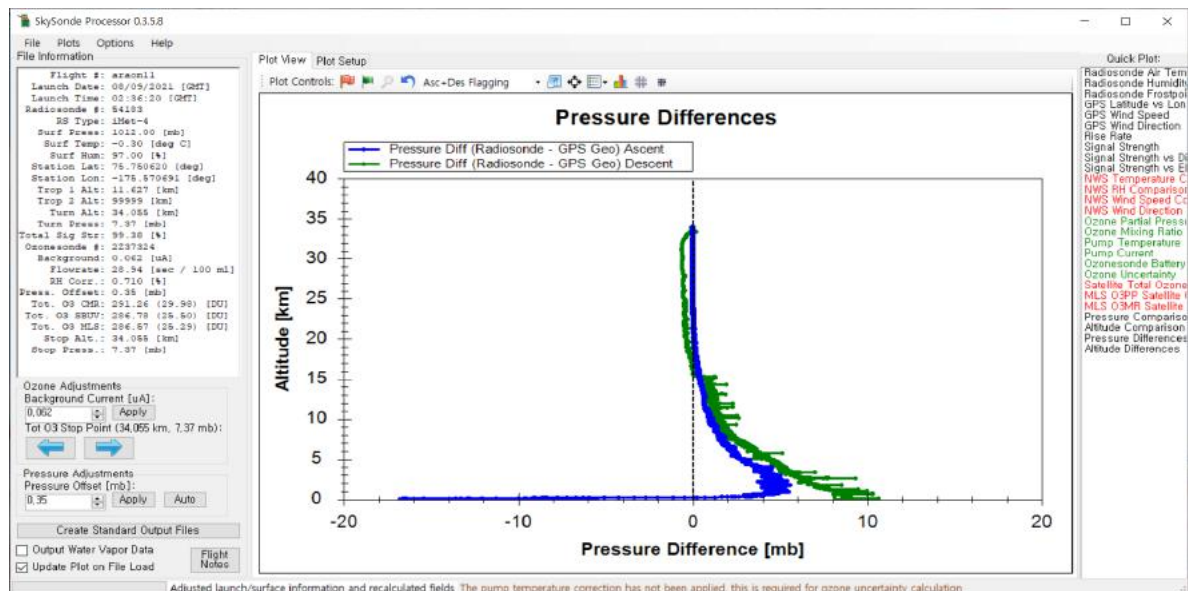


그림 3-17. 2021년 8월 9일 자료를 Skysonde Processor 프로그램으로 기압 보정을 실시한 결과. 파란색 및 초록색 실선은 각각 존데의 상승, 하강이 이루어지는 동안 관측된 기압 차이를 나타냄

2) 오존존데 펌프 설정

오존존데로 공기의 유입을 위해 설치된 펌프 온도 또한 고도에 따라 값이 변화하며, 이는 관측된 오존값의 오차를 발생시키는 원인중 하나이다. 따라서 오존존데에 사용된 펌프의 정보가 정확하게 들어갔는지 확인함과 동시에 펌프 온도의 보정을 진행하도록 한다. 우선 프로그램 상단에 위치한 'Options'의 'Change Pump Efficiency Correction' 버튼을 누른 뒤, 관측에 사용된 오존존데의 펌프를 설정한다. 오존존데의 펌프에 따라 효율이 다르기 때문에 오존존데 센서에 맞는 펌프 정보를 기입하며, 해당 관측에는 5ATBMT로 설정하였다. 펌프 정보를 설정한 다음에는 펌프에 대한 보정식을 적용하기 위해, 'Options'의 'Apply Ozonesonde Pump Temperature Correction' 버튼을 누른다. 정상적으로 펌프에 대한 보정이 진행된다면, Skysonde Processor 프로그램의 좌측열에 제공되는 오존값이 보정된 값으로 표출된다.

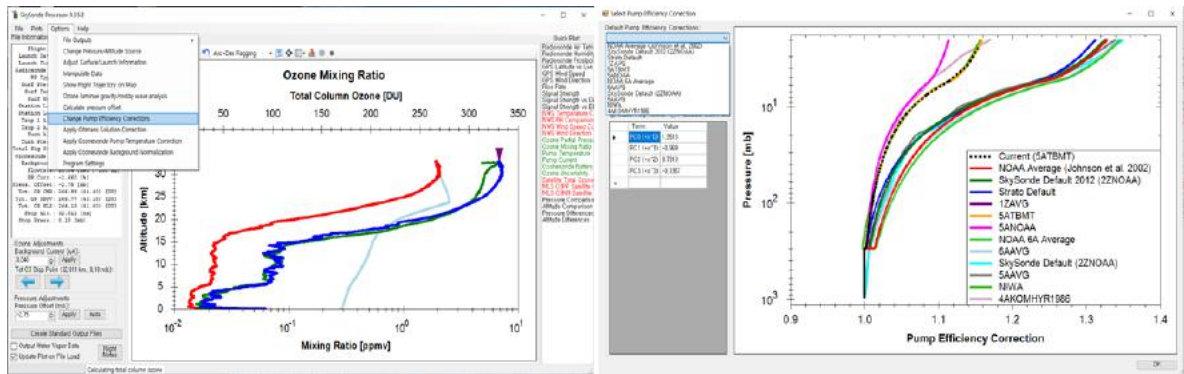


그림 3-18. Skysonde Processor 프로그램의 펌프 정보를 수정 과정. 각 실선은 펌프 종류에 따른 보정식을 나타냄

3) 후처리 자료 추출

보정된 오존존데의 자료는 다양한 형식의 자료로 저장할 수 있으며, 관측이 실시된 위경도 위치에 인접한 위성추정 자료도 같이 추출할 수 있다. 프로그램의 좌측하단에 위치한 'Create Standard Output Files' 버튼을 누르면 Skysonde Processor에서 기본 옵션으로 설정되어있는 후처리 자료를 제공하며, 다양한 형식의 자료를 저장하고 싶은 경우, 프로그램 상단의 'Options'에 'File Outputs'를 통해서 원하는 형식의 자료를 받을 수 있다. 후처리된 자료는 파일을 불러온 경로에 저장된다.

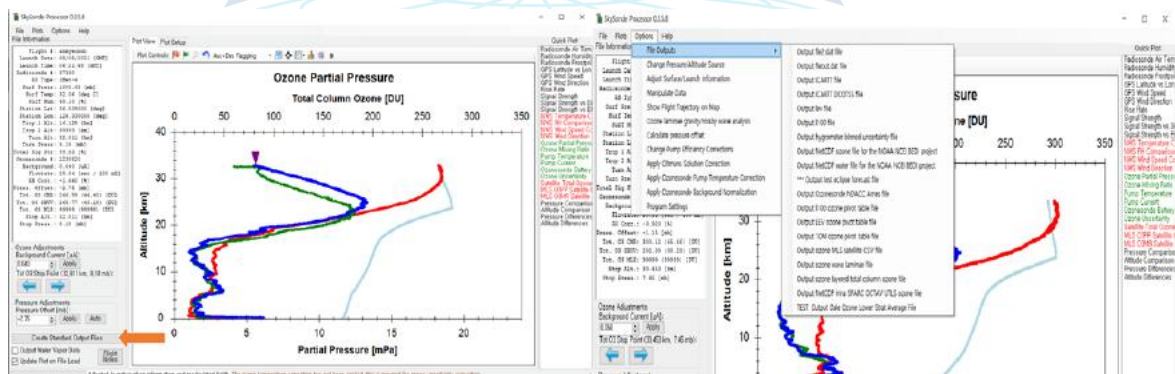


그림 3-19. Skysonde Processor 프로그램의 후처리 자료 저장 예

마. 선상에서의 오존존데 관측을 위한 주의사항 요약

- 풍속이 강한 해상의 특성상 안전한 비양을 위해 비양기 사용 또는 막힌 공간을 확보
- 비양 시 풍선이 선박의 구조물에 걸리지 않게 넓은 비양 필요 (헬리덱 등)
- 신속한 비양 준비를 위해 헬륨 가스와 인접한 곳에서 비양 준비
- 야간 관측 및 준비 시 밝은 조명 준비, 비양시 바람을 등지고 비양
- 오존존데 초기화를 위한 실내 장소, 오존센서, 센서 용액, 풍선의 실온보관

바. 후처리 자료 업로드 계획

100 m 및 250 m의 연직해상도로 후처리된 오존존데 자료(KOPRI-KPDC-00001926)는 극지데이터센터(KPDC)를 통해 2024년 2월 28일에 공개할 예정이다.

4. 극지역 해상 오존자료 확보

가. 북태평양 및 북극 관측공백지역의 오존 연직분포 자료 확보

2021년 7월 6일 03 UTC부터 9월 3일까지 아라온의 북극항해 경로를 따라 오존의 연직 프로파일을 약 30 km까지 관측하였으며, 18번의 비양을 통해 오존의 연직 분포를 250 m 해상도로 관측하였다. 대부분의 관측은 결측 없이 성공적으로 이루어졌으며, 이 중 16개의 관측은 30 km까지 안정적으로 관측이 이루어졌다. 2번째 관측(7월 8일 03 UTC)은 안테나와 오존존데 수신기간 케이블의 연결 불량 문제로 자료가 정상적으로 수신되지 않았으며, 16번째 관측(8월 24일 00 UTC)은 안테나에 생긴 빗방울의 결빙으로 22 km 이상의 자료가 수신되지 않았다. 극지역 항해시, 고위도에서의 영하의 날씨로 인해 안테나의 수신 성능이 저하되므로, 주기적인 점검을 통한 장비 성능 확인이 요구된다.

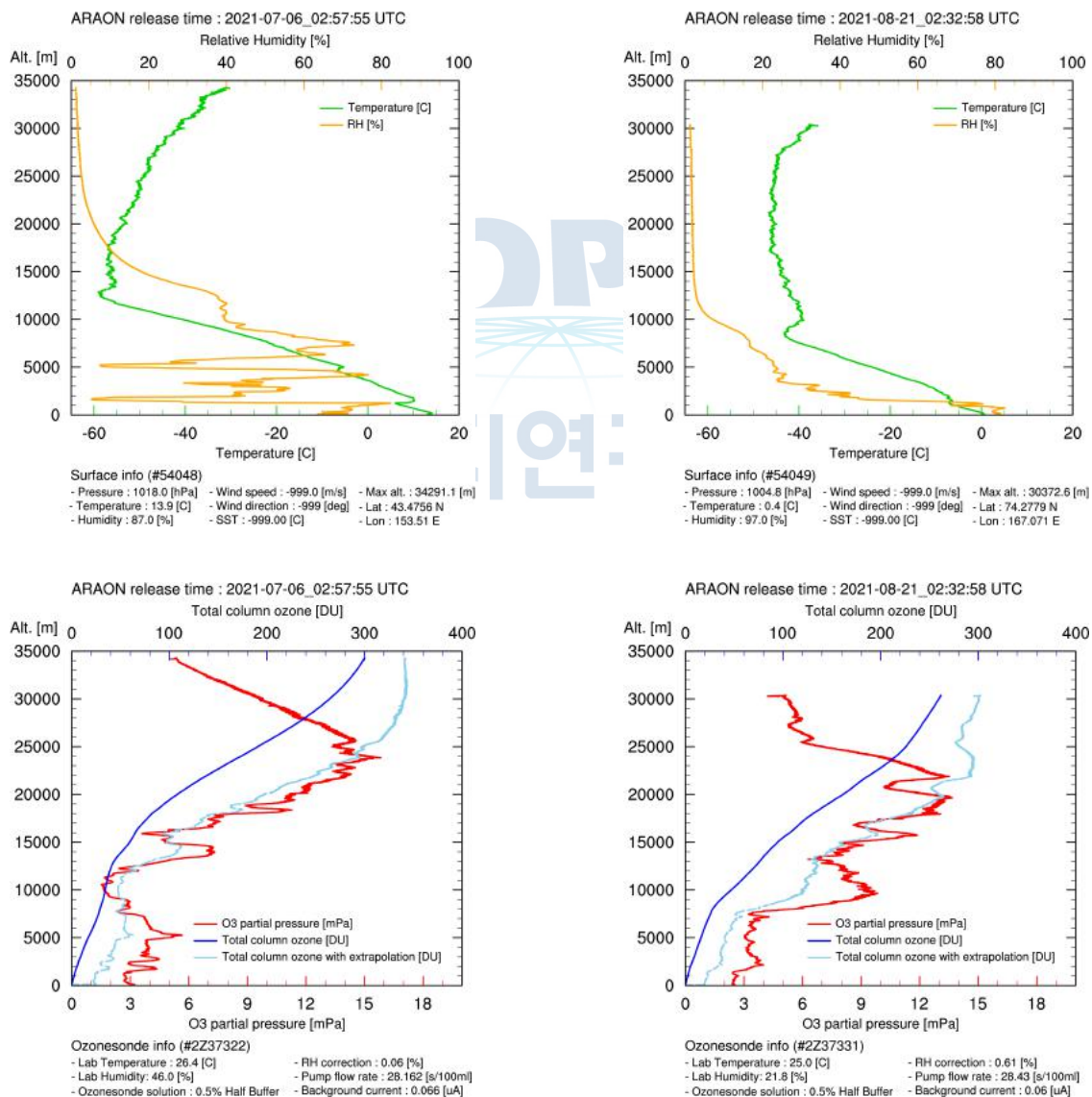


그림 3-20. (왼쪽) 2021년 7월 6일 / (오른쪽) 8월 21일에 관측된 온도, 습도 및 오존의 연직 분포

나. 중위도/극지역 오존 및 온도분포 차이

그림 3-25에 제시된 중위도(7월 6일 03 UTC)와 극지역(8월 21일 03 UTC)의 오존 분포를 보면, 오존의 연직 구조가 뚜렷한 차이를 보임을 알 수 있다. 중위도 지역의 오존층은 25 km 지역에 매우 균일하게 나타나나, 극지역의 오존층은 10 km 이상의 고도(대류권계면)부터 여러 개의 극값을 나타내는 복잡한 구조를 보인다. 온도의 연직분포 또한 중위도와 극지역의 차이가 뚜렷하게 나타나며, 특히 극지역 대류권계면에 위치한 기온의 역전층은 해당 지역에 안정도를 매우 높게 만드는 경향이 있다. 이러한 안정도의 연직 분포는 대류권과 성층권 오존의 뚜렷한 경계와 매우 잘 일치한다.

다. 쇄빙선을 이용한 오존 관측 기술 및 데이터베이스 확보

그림 3-26은 2021년 8월 9일의 OMPS 오존 전량값의 오존존데 관측 위치를 표시한 그림으로 오존존데 관측은 한반도로부터 고위도로 이동하면서 5번 관측이 이루어졌으며, 나머지 13번의 관측은 북극해 지역에서 이루어졌다. 일본에 영해 문제로 한반도 부근에서의 관측에 어려움이 있었으며, 미국의 영해 문제로 알래스카 지역의 관측에 행정적인 어려움이 있었다. 향후 해당 관측을 위해서는 관련 문제의 해결을 위한 사전 준비가 필요할 것으로 판단된다. 해당 관측 자료는 NOAA에서 개발된 Skysonde processor를 이용하여 품질 검사를 진행하였으며, 결과물은 250 m의 균일한 연직해상도로 평균하여 향후 (공동) 연구를 위해 NAS 데이터베이스 시스템에 저장하였다. 추후 극지연구소와의 논의를 통해 극지 데이터센터로 전달할 예정이다. 2021년 북극항해 기간 동안 진행된 관측 날짜, 위치 및 특이사항에 대한 정보는 아래 표에 제시하였다.

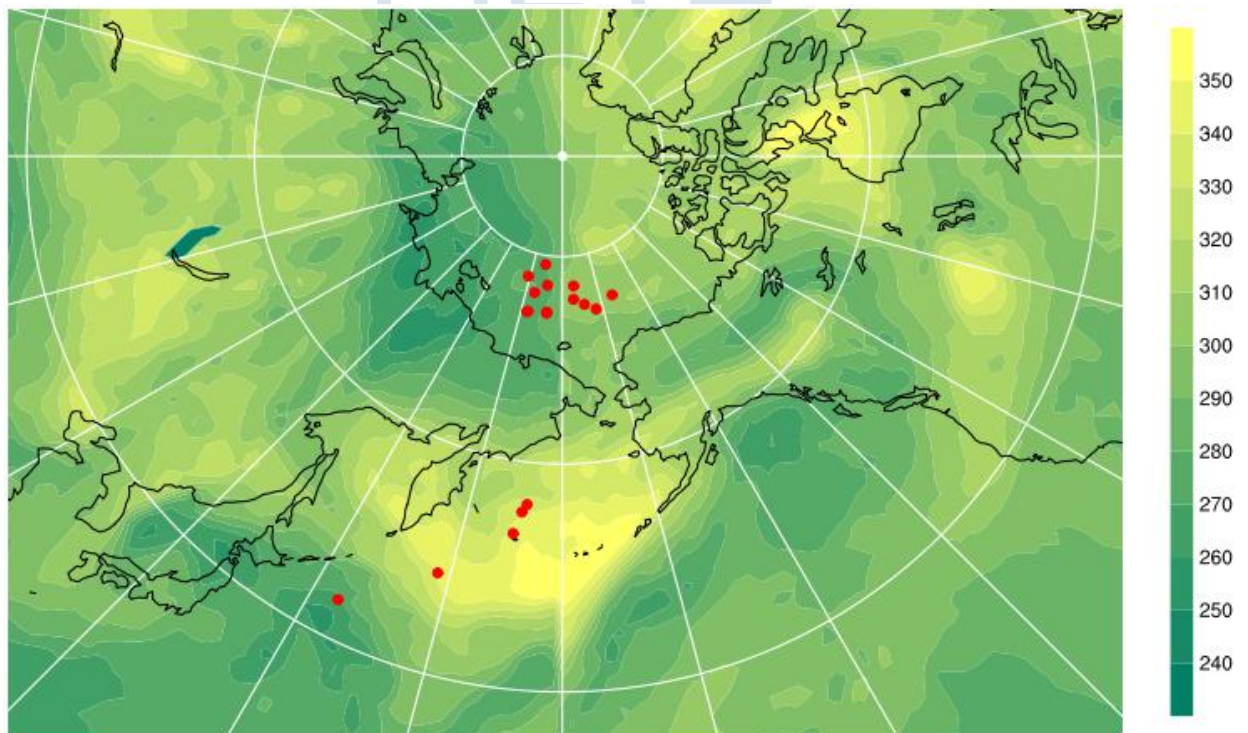


그림 3-21. 2021년 8월 9일 OMPS 오존(음영) 및 오존존데 관측지점(붉은점)

표 3-7. 2021년 북극항해 기간 동안 관측된 오존존데의 관측 시간, 위치 및 특이사항

No	Date	Time (UTC)	Start Time	Location	Max altitude [m]	Remarks
1	2021/07/06	03	02:57	43.4756N, 153.51E	34291.1	Sunny, windy
2	2021/07/08	03	02:01	48.9042N, 163.609E	4314.4	Cloudy, windy ERROR : Sonde signal stopped until 4km.
3	2021/07/10	03	02:27	53.7092N, 172.149E	33875.6	Cloudy
4	2021/07/12	03	02:00	55.6153N, 173.861W	32872.4	Cloudy
5	2021/07/14	03	01:54	56.1751N, 174.374W	32615.9	Cloudy
6	2021/07/25	03	02:30	74.8521N, 168.107W	28214.2	Cloudy
7	2021/07/28	03	02:24	77.0081N, 175.02W	34811.3	Cloudy
8	2021/07/31	03	02:32	79.2301N, 171.257E	34259.7	Cloudy
9	2021/08/03	03	02:35	77.0158N, 173.678E	32628.5	Cloudy
10	2021/08/06	03	02:31	74.5661N, 174.519E	29373.1	Sunny
11	2021/08/09	03	02:36	75.1232N, 175.952W	34426.9	Cloudy
12	2021/08/12	03	02:31	77.1539N, 164.213W	32468.6	Cloudy
13	2021/08/15	03	02:24	75.6391N, 160.48W	30725.4	Snow, cloudy
14	2021/08/18	03	02:35	75.2301N, 171.924W	31739.9	Cloudy
15	2021/08/21	03	02:32	74.2779N, 167.071E	30372.6	Sunny, windy
16	2021/08/24	00	23:32	74.4372N, 167.818E	22542.8	Cloudy Clean up the ice covered on the antenna
17	2021/08/27	03	02:34	74.7641N, 174.623E	32747.0	Cloudy
18	2021/09/03	00	02:33	76.3159N, 168.734W	33193.8	Cloudy

라. 북반구 오존홀과의 오존 및 온도분포 비교

WOUDC(World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre)에서 제공하는 오존 자료를 이용하여, 북반구에서 발생한 2020년 봄철의 오존홀에 대한 오존 분포를 확인하였다. 2020년 3월 27일에 캐나다에서 운영하는 Eureka 관측소(79.9°N, 85.9°W)에서 관측된 오존존데 자료를 사용하였으며, 아라온 호에서 관측에 사용된 오존존데의 측정방법인 전기화학법과 동일하다. 해당 관측소는 아라온 호에서 관측을 진행한 지역과 인접한 지역이므로, 오존존데 연직 분포를 비교하는데 적합할 것으로 판단되었다.

오존홀이 발생한 2020년 북반구 봄철의 온도 구조는 관측된 여름철 온도 구조에 비해 모든 층에서 20 K의 낮은 온도를 보이며, 대류권계면의 고도보다 높은 고도에서도 지속적인 온도 감소로 인해 18 km 근처에서 77 °C의 최저온도가 나타난다. 성층권에서 낮은 온도로 인해 해당 고도에서 오존의 파괴가 나타난 것을 확인할 수 있으며, Eureka 관측소 근처에 위치한 Alert 관측소(82.5°N, 62.3°W)에서도 유사한 결과를 확인할 수 있다. 이러한 결과는 앞으로 발생할 북반구 오존홀 연구에 도움이 되며, 발생 시기에 맞춰 관측 공백을 최소화하기 위한 채빙선 운영의 필요성이 요구된다.

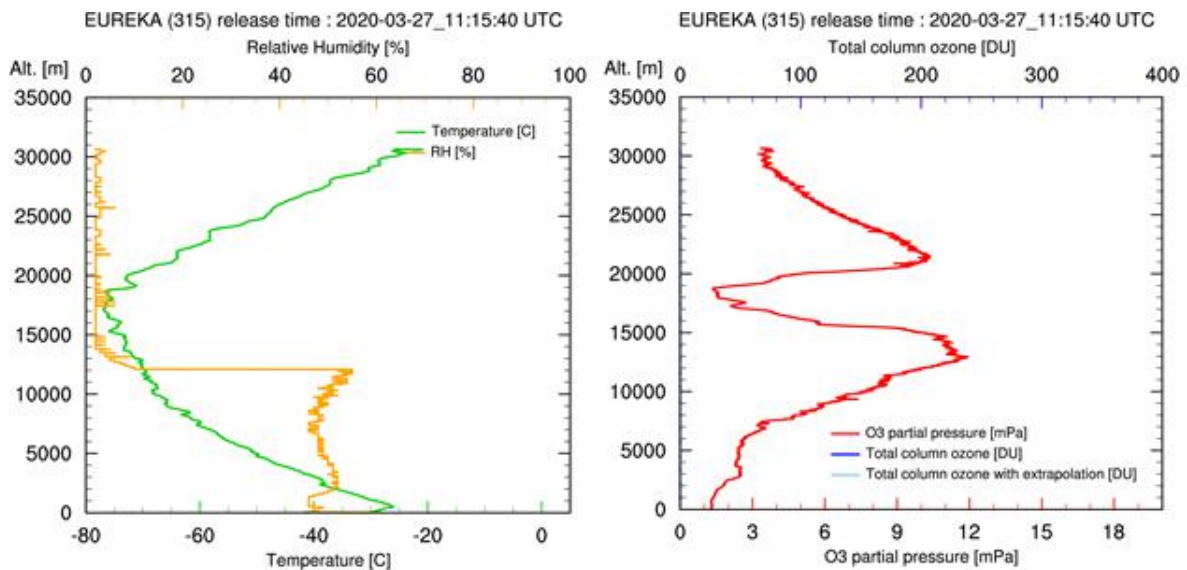


그림 3-22. (왼쪽) Eureka에서 관측된 2020년 3월 27일의 온도, 습도 연직 분포와 (오른쪽) 오존의 연직 분포

5. 위성 오존자료 검증

가. 극지역 위성 추정 오존 연직 프로파일

위성 추정 오존량 검증을 위해 중위도(2021년 7월 6일 03 UTC, 7월 8일 03 UTC) 및 극지역(8월 15일 03 UTC, 8월 18일 03 UTC)에 관측된 연직 분포를 MLS 위성과 비교 검증하였다. 전반적으로 오존존데와 위성 간 연직 오존 프로파일은 유사하게 나타나므로, 위성

자료의 신뢰도가 높다고 할 수 있다. 하지만 위성에서 오존존데에 비해 상대적으로 낮은 연직 해상도의 특성상 성층권에서의 오존 섭동을 확인하기 어렵다는 단점이 있다. 반면에 오존존데는 초당 100~150 m의 관측 해상도(상승속도 5 m/s 기준)를 가지므로, 고해상도의 오존 연직 분포 특성을 확인할 수 있다.

중위도에서 관측된 오존 연직 프로파일을 보면, MLS 위성에 비해 10~15 km 고도에서 나타나는 오존 감소를 오존존데에서 확인할 수 있다. 이러한 특성으로 인해 오존존데로 관측된 오존 총량이 위성에 비해 다소 낮은 값을 보이는 것으로 판단된다. 극지역 또한 비슷한 고도에서 MLS 위성으로 확인하기 어려운 분포를 오존존데에서 관측하였으며, 추가로 25 km 근방에서의 오존 감소 또한 확인할 수 있다.

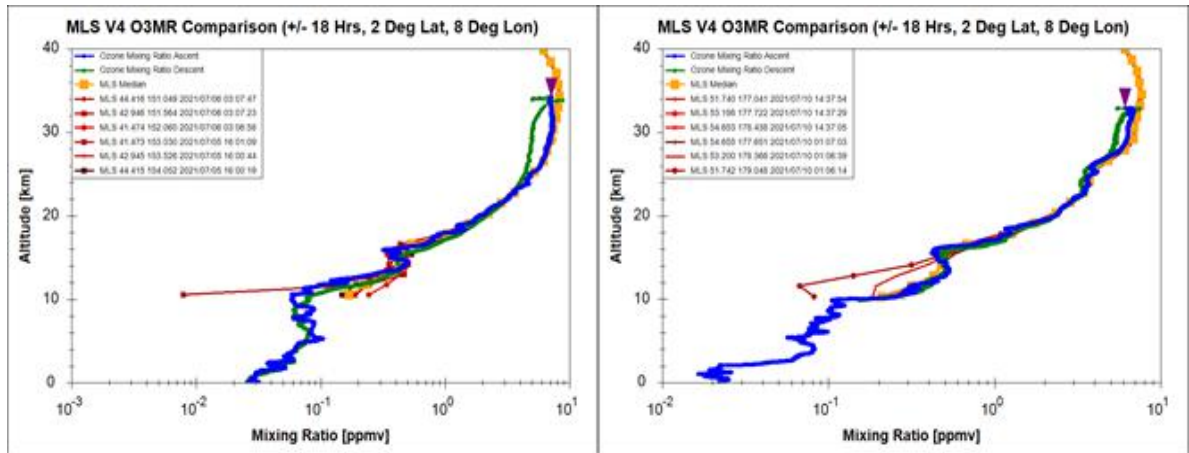


그림 3-23. (왼쪽) 2021년 7월 6일 03 UTC, (오른쪽) 2021년 7월 10일 03 UTC에 관측된 연직 오존 분포. 실선은 오존존데 및 MLS 위성에 의해 관측된 오존 분포를 의미함

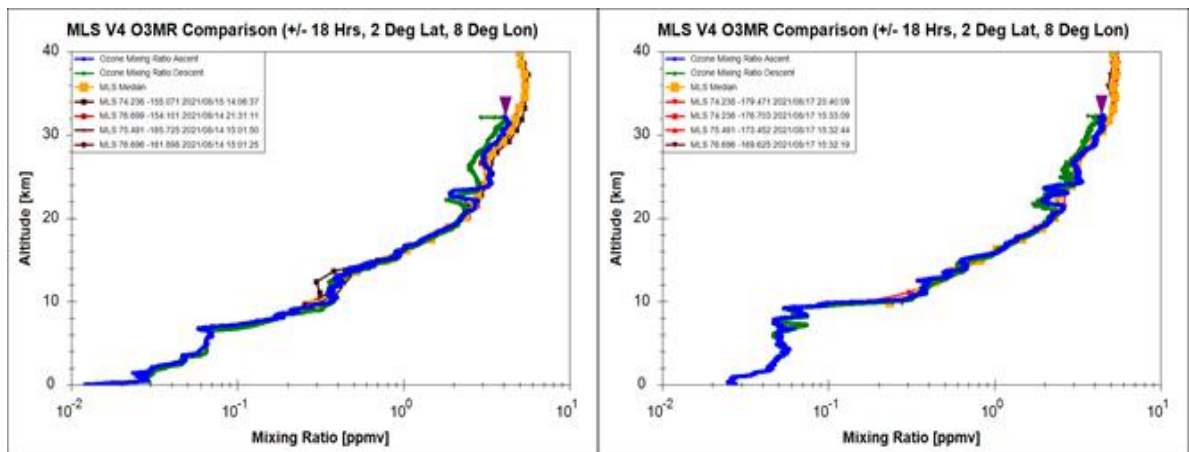


그림 3-24. 이전 그림과 동일하나 (왼쪽) 2021년 8월 15일 03 UTC, (오른쪽) 2021년 8월 18일 03 UTC의 관측 결과

나. 위성 오존 총량 비교

위성과의 오존 총량을 비교하였을 때, 오존존데가 약 30 DU 이내의 차이를 보인다. 그러나 오존존데를 이용한 오존 관측 오차가 10% 이내임을 감안하면, 아라온에서 진행된 오존존데의 관측이 정상적으로 이루어졌음을 확인할 수 있다. 그러나 오존존데 관측 자료 중에서는 이러한 오차 범위를 넘어가는 경우가 있으며, 이는 지상에서의 관측소가 아닌, 선상이라는 특수한 환경에서 관측이 진행된 점, 극지역에서 나타나는 연직 구조의 복잡성으로 인해 오존존데와 위성 간 오존 총량에 차이가 나타나는 것으로 판단된다.

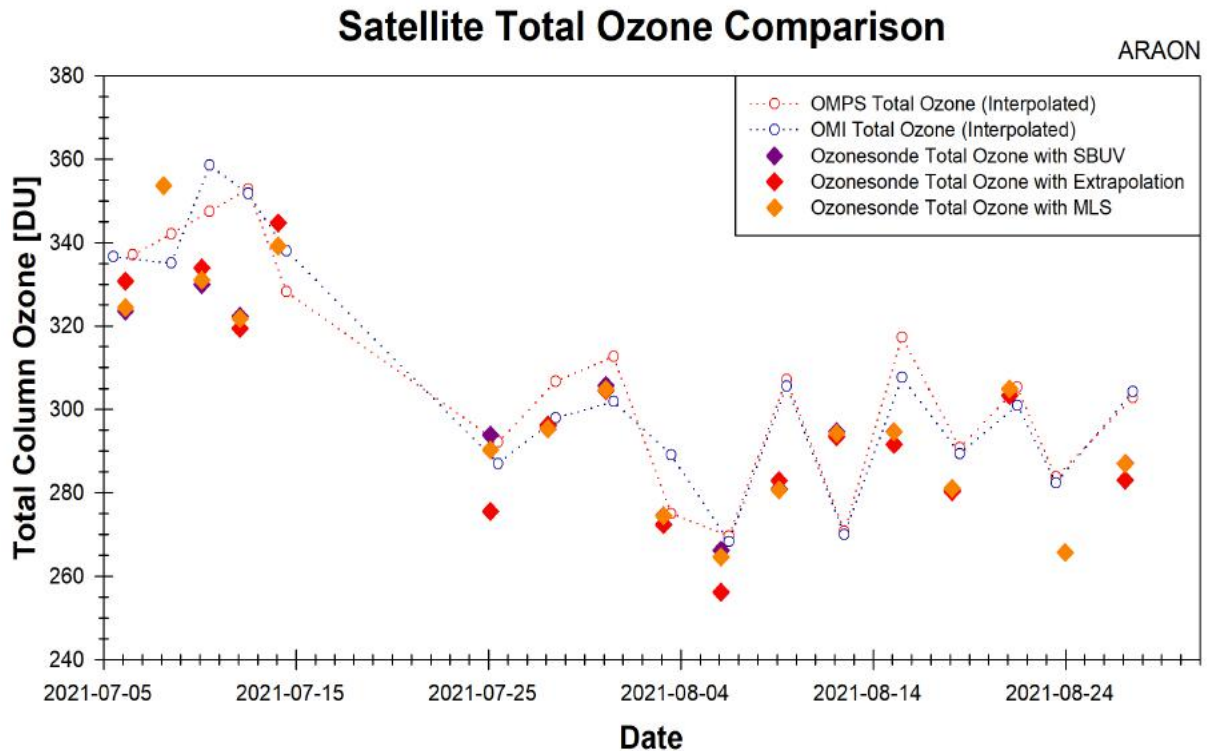


그림 3-25. 2021년 북극항해 기간동안 관측된 오존 총량. 점은 오존존데에 의한 결과를, 점선은 OMPS 및 OMI 위성에 의해 관측된 오존 총량을 의미함

제4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

1. 연구개발목표 달성도

세부 연구개발 내용(목표)	월별 추진 일정												비고
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	
오존존데 장비 구매 및 테스트													100%
오존존데 관측 및 초기데이터 처리													100%
품질검사 및 데이터베이스 구축													100%
위성자료 수집 및 검증													100%

2. 대외기여도

가. 소형 오존존데를 이용한 북반구 오존감시 기반 조성

- 높은 측정 정확도를 지는 전기화학농도측정셀(ECC) 기반의 측정기반 마련으로 극지역 연직 오존농도를 성공적으로 측정하였으며, 해당 자료를 제공하여 극지역 오존연구의 발판을 마련하였음.

- 오존존데 측정과 관련된 매뉴얼을 한글화하여 정리하였으며, 해당 매뉴얼의 작성을 통해서 국내 연구자의 오존 측정 연구에 기여하였음. 추가로 선상에서 오존관측 준비를 위한 중요사항 및 주의사항을 자세히 정리하여 선박을 이용한 극지역 오존 관측에 기초자료를 제공하였음.

나. 북극 아북극 해상관측을 통한 위성 추정 오존 검증

- 북극지역에서 관측한 오존존데 자료를 활용하여 위성에서 추정된 오존값을 검증하였으며, 위성기반 오존의 정확도 및 불확실성 검증을 통해서 향후 위성을 활용한 오존 연구에 기초가 되는 정보를 제공하였음.

- 해당 오존존데 관측 및 위성 검증 연구는 국제 극 성층권 연구자들이 중요하게 생각하는 북반구 오존홀 감시기술의 중요한 기반 기술이 될 것으로 판단됨.

제5장 연구개발결과의 활용계획

1. 연구개발 성과의 활용방안

가. 극지역 해상 오존자료 확보

- 북태평양 및 북극 관측공백지역의 오존 연직분포 자료 확보 및 오존 연구 활용
- 쇄빙선을 이용한 오존 관측 기술 및 오존 데이터베이스 구축

나. 위성 오존 자료 검증

- 극지역 위성 추정 오존량의 검증을 통한 위성 자료 신뢰도 확보
- 북반구 오존홀 감시 국제연구에 기여

다. 북반구 오존홀 감시기반 조성

- 향후 쇄빙선의 북반구 상시 관측 가능 시 북반구 오존홀 감시 기반 기술 확보
- 후속연구 진행을 통한 북반구 오존홀 국제 공동연구를 위한 기반 조성

2. 기대효과

가. 국내 최초 현장실측자료 확보로 북극권 기후변화 및 성층권 오존 연구에 기반이 마련되었고, 모델, 위성 자료와의 비교 등 활용성이 높음

나. 정확한 대류권, 성층권 오존관측을 통해 오존 화학과 관련된 극지 생태계 독성학을 연구하는 곳에서도 중요한 자료로 활용 가능할 것으로 기대됨

다. 선상 오존존데 관측 기술 및 노하우는 극 성층권 오존감소 이해를 위해 핵심적인 기반기술로 활용될 것으로 판단되며, 관측된 오존 자료는 대류권 및 성층권 오존 변화 현상과 해빙과의 관계를 살펴보기 좋은 기반자료로 판단됨

제6장 참고문헌

ECC Ozonesonde Operation Manual, EN-SCI, last modified 2019, accessed Sep 13. 2021, <https://www.en-sci.com/wp-content/uploads/2020/02/Ozonesonde-Flight-Preparation-Manual.pdf>

EN-SCI Corporation, 1996: Instruction Manual, Model 1Z ECC-O3 Sondes, Boulder, Colorado.

Montzka, S. A., Dutton, G. S., Yu, P., Ray, E., Portmann, R. W., Daniel, J. S., ... & Elkins, J. W. (2018). An unexpected and persistent increase in global emissions of ozone-depleting CFC-11. *Nature*, 557(7705), 413-417.

Rigby, M., Park, S., Saito, T., Western, L. M., Redington, A. L., Fang, X., ... & Young, D. (2019). Increase in CFC-11 emissions from eastern China based on atmospheric observations. *Nature*, 569(7757), 546-550. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1193-4>

Smit, H. G. J. & ASOPOS Panel. (2014). Quality assurance and quality control for ozonesonde measurements in GAW, WMO Global Atmosphere. Watch report series, No. 121, p. 100. Geneva: World Meteorological Organization. GAW Report No. 201. Retrieved from https://library.wmo.int/pmb_ged/gaw_201_en.pdf

Wang, H., Chai, S., Tang, X., Zhou, B., Bian, J., Vömel, Ke Yu, Wang, W. (2019). Verification of satellite ozone/temperature profile products and ozone effective height/temperature over Kunming, China. *Science of The Total Environment*, 661, 35-47.

Witze, A. (2020). Rare ozone hole opens over Arctic and it's big. *Nature*, 580(7801)

제7장 부록

1. 오존존데 준비/작업 관측 기록지(checklist)

ARACON 01

Version: Mar 26, 2018 SHADOZ DIGITAL OZONESONDE CHECKLIST

INITIAL PREPARATION - NO LESS THAN 3 DAYS BEFORE FLIGHT. Operator Initials: H.K.Tm

DATE (YYYYMMDD): 2021.05.31
STATION: ARACON

ECC SONDE SERIAL #: 2297322
Sensing Solution/Buffer: Half Buffer NASA #002
Cathode Volume: 3.0cc ☒ or 2.5cc ☐ (v)

1. Run 10 minutes on no O₃ air: ☐ (v)
2. Pump Current: 97 (units?)
3. Pump Pressure: 26 (units?)
4. Pump Vacuum: 20 (units?)
5. Bypass Cathode chamber: Yes ☐ No ☐
6. IF YES Add 5.5cc Cathode solution: ☐ (v)
7. Run 30 minutes on HIGH O₃: ☒ (v)
8. Run 5 minutes on no O₃: ☒ (v)
9. Dump Cathode solution IF Cathode cell bypassed: ☐ (v)
10. Add the Cathode solution (Wait 2-5 min): ☒ (v)
11. Add 1.5 CC Anode solution: ☒ (v)

12. Run up to 30 minutes on no O₃: ☒ (v) (< 0.3μA)
13. Record O₃ Current: 0.11 μA
14. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☒ (v)
15. Switch to no O₃ air: ☒ (v)
16. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 31.37 sec.
17. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
18. Record O₃ Current: 0.12 μA
19. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒
20. Short the cell leads: ☒ (v)
21. Store in sonde box: ☒ (v)
22. Rinse syringes: ☒ (v)

IF DORMANT AFTER 1 WEEK REPLACE SOLUTIONS. DATE (YYYYMMDD): 2021.06.07 / 23

1. Change Cathode Solution (3cc or 2.5cc): ☒ (v)
2. Change Anode Solution (1.5cc): ☒ (v)
3. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
4. Record O₃ Current: 0.08 0.02 μA
5. Run 10 minutes on 5μA O₃: ☒ (v)

6. Switch to no O₃: ☒ (v)
7. Time to drop from 4 to 1.5 μA: 27.84 23.53 sec
8. Run 10 minutes on no O₃ then Record Current: 0.14 0.12 μA
9. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒
10. Short cell leads, store in sonde box, rinse syringes: ☒ (v)

DAY OF FLIGHT PREPARATION: DATE (YYYYMMDD): 2021.07.02 / 06 INITIALS: H.K.Tm

1. Cathode solution # and date of bottle (if applicable): #002 #002
2. Remove original Cathode and Anode solution: ☒ (v)
3. Rinse cells by adding Cathode and Anode and removing: ☒ (v)
4. Add Cathode solution (wait 2-5 min): ☒ (v)
5. Add Anode solution: ☒ (v)
6. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
7. Record O₃ Current: IB0 = 0.023 0.009 μA
8. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☒ (v)
9. Switch to no O₃: ☒ (v)
10. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 23.60 23.44 sec
11. Run 10 minutes on no O₃ then record O₃ Current: IB1 = 0.161 0.098 μA

12. Room T(C) 26.3 26.4, RH(%) 57.7 40 P(hPa) 1008.6 1008.0
13. RECORD 5 FLOWRATES (sec/100ml):
#1: 28.16 28.22, #2: 28.13 28.19, #3: 28.38 28.15
#4: 28.28 28.16, #5: 28.31 28.04, AVERAGE: 28.262 28.162
14. Flowrate Correction (if applied) 1.40 0.06 (%)
15. Final Flowrate: 28.68 28.331

DAY OF FLIGHT LAUNCH PREPARATION FLT #: 001 INITIALS: H.K.Tm

RADIOSONDE TYPE/Model (e.g. Vaisala RS92, Modem M10, etc): EN-SCI iMet-4
RADIOSONDE SERIAL #: 54048 INTERFACE # (if known):
O₃ Background current used before launch: IB2 = 0.077 0.066 μA, Final IB used: 0.077 0.066 μA
GMT Launch Date (YYYYMMDD): 2021.07.05
GMT Launch Time (HH:MM:SS): 02:57:51 LOCAL Launch Time (HH:MM:SS): 2021.07.05 15:57:51

BALLOON SIZE: 1200 Grams: TYPE: Totex ☐ Hwoyee ☒ PAWAN ☐ (v one)
NOAA FPH ☐ (v) or CFH ☐ (v) Serial # (if applicable):
Surface Pressure: 1018.0 (hPa) Surface Wind Speed: 10.9 (m/s)
Surface Temp: 13.9 (C) Surface Wind Direction: 150 (deg)
Surface RH: 87 (%) Sky Conditions and Remarks: clear ① 1/8

DOBSON ☐ (v), BREWER ☐ (v), Other (v) _____: _____ (DU)

Version: Mar 26, 2018

SHADOZ DIGITAL OZONESONDE CHECKLIST

INITIAL PREPARATION - NO LESS THAN 3 DAYS BEFORE FLIGHT. Operator Initials: HG.KimDATE (YYYYMMDD): 2021.05.31STATION ARADNECC SONDE SERIAL #: 2337323Sensing Solution/Buffer: Half Buffer NASACathode Volume: 3.0cc ☒ or 2.5cc ☐ (v)1. Run 10 minutes on no O₃ air: ☐ (v)2. Pump Current: 98 (units?)3. Pump Pressure: 30 (units?)4. Pump Vacuum: 20 (units?)5. Bypass Cathode chamber: Yes ☐ No ☐6. IF YES Add 5.5cc Cathode solution: ☐ (v)7. Run 30 minutes on HIGH O₃: ☒ (v)8. Run 5 minutes on no O₃: ☒ (v)9. Dump Cathode solution IF Cathode cell bypassed: ☐ (v)10. Add the Cathode solution (Wait 2-5 min): ☒ (v)11. Add 1.5 CC Anode solution: ☒ (v)12. Run up to 30 minutes on no O₃: ☒ (v) (< 0.3μA)13. Record O₃ Current: 0.13 μA14. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☒ (v)15. Switch to no O₃ air ☒ (v)16. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 29.25 sec.17. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)18. Record O₃ Current: 0.26 μA19. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒20. Short the cell leads: ☒ (v)21. Store in sonde box: ☒ (v)22. Rinse syringes: ☒ (v)IF DORMANT AFTER 1 WEEK REPLACE SOLUTIONS. DATE (YYYYMMDD): 2021.06.07 / 251. Change Cathode Solution (3cc or 2.5cc): ☒ (v)2. Change Anode Solution (1.5cc): ☒ (v)3. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)4. Record O₃ Current: 0.4/0.01 μA5. Run 10 minutes on 5μA O₃: ☒ (v)6. Switch to no O₃: ☒ (v)7. Time to drop from 4 to 1.5 μA: 35.44/25.41 sec8. Run 10 minutes on no O₃ then Record Current: 0.24/0.09 μA9. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒10. Short cell leads, store in sonde box, rinse syringes: ☒ (v)DAY OF FLIGHT PREPARATION: DATE (YYYYMMDD): 2021.07.08 INITIALS: HG.Kim1. Cathode solution # and date of bottle (if applicable): #0022. Remove original Cathode and Anode solution ☒ (v)3. Rinse cells by adding Cathode and Anode and removing ☒ (v)4. Add Cathode solution (wait 2-5 min): ☒ (v)5. Add Anode solution: ☒ (v)6. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)7. Record O₃ Current: IB0 = 0.025 μA8. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☒ (v)9. Switch to no O₃: ☒ (v)10. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 23.57 sec11. Run 10 minutes on no O₃ then record O₃ Current: IB1 = 0.123 μA12. Room T(C) 24.1, RH(%) 43.6, P(hPa) 1013.4

13. RECORD 5 FLOWRATES (sec/100ml):

#1: 28.78, #2: 28.66, #3: 28.69#4: 28.75, #5: 28.78, AVERAGE: 28.73214. Flowrate Correction (if applied) -0.12 (%)15. Final Flowrate: 28.268DAY OF FLIGHT LAUNCH PREPARATION FLT #: 002 INITIALS: HG.KimRADIOSONDE TYPE/Model (e.g. Vaisala RS92, Modem M10, etc): ENV-SCI-Timet-4RADIOSONDE SERIAL #: 54170

INTERFACE # (if known):

O₃ Background current used before launch: IB2 = 0.067 μA, Final IB used: 0.067 μAGMT Launch Date (YYYYMMDD): 2021.07.08GMT Launch Time (HH:MM:SS): 02:37:00LOCAL Launch Time (HH:MM:SS): 17:37:00BALLOON SIZE: 1200 Grams:

TYPE: Totex

Hwoyee ☒PAWAN ☐ (v one)NOAA FPH ☐ (v) or CFH ☐ (v) Serial # (if applicable):Surface Pressure: 1010 (hPa)Surface Wind Speed: 12.25 (m/s)Surface Temp: 7.4 (C)Surface Wind Direction: 178.2 (deg)Surface RH: 100 (%)Sky Conditions and Remarks: Cloudy 8/8DOBSON ☐ (v), BREWER ☐ (v), Other (v) _____: _____ (DU)

Version: Mar 26, 2018

SHADOZ DIGITAL OZONESONDE CHECKLIST



INITIAL PREPARATION - NO LESS THAN 3 DAYS BEFORE FLIGHT. Operator Initials: HG.Kim

DATE (YYYYMMDD): 2021.06.01
STATION ARCON

ECC SONDE SERIAL #: 223732
Sensing Solution/Buffer: Half Buffer NASA
Cathode Volume: 3.0cc ☒ or 2.5cc ☐ (v)
12. Run up to 30 minutes on no O₃: ☒ (v) (< 0.3µA)
13. Record O₃ Current: 0.11 µA
14. Run 10 minutes at 5µA O₃: ☒ (v)
15. Switch to no O₃ air ☒ (v)
16. Record time to drop from 4 to 1.5 µA: 32.75 sec.
17. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
18. Record O₃ Current: 0.22 µA
19. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒
20. Short the cell leads: ☒ (v)
21. Store in sonde box: ☒ (v)
22. Rinse syringes: ☒ (v)

1. Run 10 minutes on no O₃ air: ☐ (v)
2. Pump Current: 100 (units?)
3. Pump Pressure: 28 (units?)
4. Pump Vacuum: 21 (units?)
5. Bypass Cathode chamber: Yes ☐ No ☐
6. IF YES Add 5.5cc Cathode solution: ☐ (v)
7. Run 30 minutes on HIGH O₃: ☒ (v)
8. Run 5 minutes on no O₃: ☒ (v)
9. Dump Cathode solution IF Cathode cell bypassed: ☐ (v)
10. Add the Cathode solution (Wait 2-5 min): ☒ (v)
11. Add 1.5 CC Anode solution: ☒ (v)

IF DORMANT AFTER 1 WEEK REPLACE SOLUTIONS. DATE (YYYYMMDD): 2021.06.07 / 25

1. Change Cathode Solution (3cc or 2.5cc): ☒ (v) 6. Switch to no O₃: ☒ (v)
2. Change Anode Solution (1.5cc): ☒ (v) 7. Time to drop from 4 to 1.5µA: 30.88 / 32.8 sec
3. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v) 8. Run 10 minutes on no O₃ then Record Current: 0.2 / 0.12 µA
4. Record O₃ Current: 0.1 / 0.03 µA 9. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒
5. Run 10 minutes on 5µA O₃: ☒ (v) 10. Short cell leads, store in sonde box, rinse syringes: ☒ (v)

DAY OF FLIGHT PREPARATION: DATE (YYYYMMDD): 2021.07.10 INITIALS: HG.Kim

1. Cathode solution # and date of bottle (if applicable): #003, 2021.05.29
2. Remove original Cathode and Anode solution ☒ (v)
3. Rinse cells by adding Cathode and Anode and removing ☒ (v)
4. Add Cathode solution (wait 2-5 min): ☒ (v)
5. Add Anode solution: ☒ (v)
6. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
7. Record O₃ Current: IB0 = 0.014 µA
8. Run 10 minutes at 5µA O₃: ☒ (v)
9. Switch to no O₃: ☒ (v)
10. Record time to drop from 4 to 1.5 µA: 23.62 sec
11. Run 10 minutes on no O₃ then record O₃ Current: IB1 = 0.149 µA
12. Room T(C) 22.3, RH(%) 37.5, P(hPa) 1009
13. RECORD 5 FLOWRATES (sec/100ml):
#1: 28.28, #2: 28.50, #3: 28.54
#4: 28.62, #5: 28.56, AVERAGE: 28.5
14. Flowrate Correction (if applied) 0.178 (%)
15. Final Flowrate: 28.7223

DAY OF FLIGHT LAUNCH PREPARATION FLT #: 003 INITIALS: HG.Kim

RADIOSONDE TYPE/Model (e.g. Vaisala RS92, Modem M10, etc): ENV-SCL iMet-4
RADIOSONDE SERIAL #: 54188 INTERFACE # (if known):
O₃ Background current used before launch: IB2 = 0.099 µA, Final IB used: 0.099 µA
GMT Launch Date (YYYYMMDD): 2021.07.10
GMT Launch Time (HH:MM:SS): 02:27:47 LOCAL Launch Time (HH:MM:SS): 19:27:47

BALLOON SIZE: 1200 Grams: TYPE: Totex ☐ Hwoyee ☒ PAWAN ☐ (v one)
NOAA FPH ☐ (v) or CFH ☐ (v) Serial # (if applicable):
Surface Pressure: 1006 (hPa) Surface Wind Speed: 5.67 (m/s)
Surface Temp: 7.8 (C) Surface Wind Direction: 257.4 (deg)
Surface RH: 100 (%) Sky Conditions and Remarks: cloudy, 8/8

DOBSON ☐ (v), BREWER ☐ (v), Other (v) _____: _____ (DU)

ARAO04

Version: Mar 26, 2018

SHADOZ DIGITAL OZONESONDE CHECKLIST



INITIAL PREPARATION - NO LESS THAN 3 DAYS BEFORE FLIGHT. Operator Initials: HG.Kim

DATE (YYYYMMDD): 2021.08.01
STATION ARAO

ECC SONDE SERIAL #: 2837240
Sensing Solution/Buffer: Half Buffer N/A
Cathode Volume: 3.0cc ☒ or 2.5cc ☐ (v)
12. Run up to 30 minutes on no O₃: ☒ (v) (< 0.3μA)
13. Record O₃ Current: 0.08 μA
14. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☒ (v)
15. Switch to no O₃ air ☒ (v)
16. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 26.65 sec.
17. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
18. Record O₃ Current: 0.13 μA
19. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☐
20. Short the cell leads: ☒ (v)
21. Store in sonde box: ☒ (v)
22. Rinse syringes: ☒ (v)

1. Run 10 minutes on no O₃ air: ☐ (v)
2. Pump Current: 100 (units?)
3. Pump Pressure: 24 (units?)
4. Pump Vacuum: 20 (units?)
5. Bypass Cathode chamber: Yes ☐ No ☐
6. IF YES Add 5.5cc Cathode solution: ☐ (v)
7. Run 30 minutes on HIGH O₃: ☒ (v)
8. Run 5 minutes on no O₃: ☒ (v)
9. Dump Cathode solution IF Cathode cell bypassed: ☐ (v)
10. Add the Cathode solution (Wait 2-5 min): ☒ (v)
11. Add 1.5 CC Anode solution: ☒ (v)

IF DORMANT AFTER 1 WEEK REPLACE SOLUTIONS. DATE (YYYYMMDD): 2021.06.07 / 25

1. Change Cathode Solution (3cc or 2.5cc): ☒ (v) 6. Switch to no O₃: ☒ (v)
2. Change Anode Solution (1.5cc): ☒ (v) 7. Time to drop from 4 to 1.5μA: 27.72/24.39 sec
3. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v) 8. Run 10 minutes on no O₃ then Record Current: 0.13 / 0.13 μA
4. Record O₃ Current: 0.02/0.02 μA 9. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒
5. Run 10 minutes on 5μA O₃: ☒ (v) 10. Short cell leads, store in sonde box, rinse syringes: ☒ (v)

DAY OF FLIGHT PREPARATION: DATE (YYYYMMDD): 2021.07.12 INITIALS: HG.Kim

1. Cathode solution # and date of bottle (if applicable): # 003, 2021-05-29
2. Remove original Cathode and Anode solution ☒ (v)
3. Rinse cells by adding Cathode and Anode and removing ☒ (v)
4. Add Cathode solution (wait 2-5 min): ☒ (v)
5. Add Anode solution: ☒ (v)
6. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
7. Record O₃ Current: IB0 = 0.011 μA
8. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☒ (v)
9. Switch to no O₃: ☒ (v)
10. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 22.25 sec
11. Run 10 minutes on no O₃ then record O₃ Current: IB1 = 0.13 μA
12. Room T(C) 28.9, RH(%) 31.8, P(hPa) 1017.6
13. RECORD 5 FLOWRATES (sec/100ml):
#1: 29.84, #2: 29.84, #3: 29.85
#4: 29.88, #5: 29.78, AVERAGE: 29.838
14. Flowrate Correction (if applied) 0.70 (%)
15. Final Flowrate: 30.047

DAY OF FLIGHT LAUNCH PREPARATION FLT #: 004 INITIALS: HG.Kim

RADIOSONDE TYPE/Model (e.g. Vaisala RS92, Modem M10, etc): EN-SCI iMet-4
RADIOSONDE SERIAL #: 54161 INTERFACE # (if known):
O₃ Background current used before launch: IB2 = 0.097 μA, Final IB used: 0.097 μA
GMT Launch Date (YYYYMMDD): 2021.07.12
GMT Launch Time (HH:MM:SS): 02:00:48 LOCAL Launch Time (HH:MM:SS): 2021.07.11 18:00:48

BALLOON SIZE: 1200 Grams: TYPE: Totex ☐ Hwoyee ☒ PAWAN ☐ (v one)
NOAA FPH ☐ (v) or CFH ☐ (v) Serial # (if applicable):
Surface Pressure: 1015 (hPa) Surface Wind Speed: 3.39 (m/s)
Surface Temp: 8.1 (C) Surface Wind Direction: 193.9 (deg)
Surface RH: 100 (%) Sky Conditions and Remarks: cloudy ● 3/8

DOBSON ☐ (v), BREWER ☐ (v), Other (v) _____: _____ (DU)

Version: Mar 26, 2018

SHADOZ DIGITAL OZONESONDE CHECKLIST



INITIAL PREPARATION - NO LESS THAN 3 DAYS BEFORE FLIGHT. Operator Initials: HG.Kim

DATE (YYYYMMDD): 2021.06.22
STATION Arcon

ECC SONDE SERIAL #: 2237328
Sensing Solution/Buffer: Half Buffer NASA #002
Cathode Volume: 3.0cc ☒ or 2.5cc ☐ (v)
12. Run up to 30 minutes on no O₃: ☒ (v) (< 0.3μA)
13. Record O₃ Current: 0.22 μA
14. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☒ (v)
15. Switch to no O₃ air ☒ (v)
16. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 32.81 sec.
17. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
18. Record O₃ Current: 0.26 μA
19. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒
20. Short the cell leads: ☒ (v)
21. Store in sonde box: ☒ (v)
22. Rinse syringes: ☒ (v)

1. Run 10 minutes on no O₃ air: ☐ (v)
2. Pump Current: 105 (units?)
3. Pump Pressure: 25 (units?)
4. Pump Vacuum: 21 (units?)
5. Bypass Cathode chamber: Yes ☐ No ☒
6. IF YES Add 5.5cc Cathode solution: ☒ (v)
7. Run 30 minutes on HIGH O₃: ☒ (v)
8. Run 5 minutes on no O₃: ☒ (v)
9. Dump Cathode solution IF Cathode cell bypassed: ☒ (v)
10. Add the Cathode solution (Wait 2-5 min): ☒ (v)
11. Add 1.5 CC Anode solution: ☒ (v)

IF DORMANT AFTER 1 WEEK REPLACE SOLUTIONS. DATE (YYYYMMDD): 2021.07.07

1. Change Cathode Solution (3cc or 2.5cc): ☒ (v) 6. Switch to no O₃: ☒ (v)
2. Change Anode Solution (1.5cc): ☒ (v) 7. Time to drop from 4 to 1.5 μA: 26.00 sec
3. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v) 8. Run 10 minutes on no O₃ then Record Current: 0.148 μA
4. Record O₃ Current: 0.023 μA 9. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒
5. Run 10 minutes on 5μA O₃: ☒ (v) 10. Short cell leads, store in sonde box, rinse syringes: ☒ (v)

DAY OF FLIGHT PREPARATION: DATE (YYYYMMDD): 2021.07.14 INITIALS: HG.Kim

1. Cathode solution # and date of bottle (if applicable): #003 2021.05.24
2. Remove original Cathode and Anode solution ☒ (v)
3. Rinse cells by adding Cathode and Anode and removing ☒ (v)
4. Add Cathode solution (wait 2-5 min): ☒ (v)
5. Add Anode solution: ☒ (v)
6. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
7. Record O₃ Current: IB0 = 0.017 μA
8. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☒ (v)
9. Switch to no O₃: ☒ (v)
10. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 25.32 sec
11. Run 10 minutes on no O₃ then record O₃ Current: IB1 = 0.129 μA
12. Room T(C) 27.8, RH(%) 34.8, P(hPa) 1016.9
13. RECORD 5 FLOWRATES (sec/100ml):
#1: 29.97, #2: 29.97, #3: 29.75
#4: 29.81, #5: 29.84, AVERAGE: 29.868
14. Flowrate Correction (if applied) -0.16 (%)
15. Final Flowrate: 29.82

DAY OF FLIGHT LAUNCH PREPARATION FLT #: 005 INITIALS: HG.Kim

RADIOSONDE TYPE/Model (e.g. Vaisala RS92, Modem M10, etc): EV-SCI iMet-4
RADIOSONDE SERIAL #: 54051 INTERFACE # (if known):
O₃ Background current used before launch: IB2 = 0.095 μA, Final IB used: 0.095 μA
GMT Launch Date (YYYYMMDD): 2021.07.14
GMT Launch Time (HH:MM:SS): 01:54:37 LOCAL Launch Time (HH:MM:SS): 2021.07.13 17:54:37

BALLOON SIZE: 1,200 Grams: TYPE: Totex ☐ Hwoyee ☒ PAWAN ☐ (v one)
NOAA FPH ☐ (v) or CFH ☐ (v) Serial # (if applicable):
Surface Pressure: 1015 (hPa) Surface Wind Speed: 4.79 (m/s)
Surface Temp: 17.8 (C) Surface Wind Direction: 136.2 (deg)
Surface RH: 100 (%) Sky Conditions and Remarks: Cloudy 7/8

DOBSON ☐ (v), BREWER ☐ (v), Other (v) _____: _____ (DU)

ARAON 08.

Version: Mar 26, 2018

SHADOZ DIGITAL OZONESONDE CHECKLIST



INITIAL PREPARATION - NO LESS THAN 3 DAYS BEFORE FLIGHT.

Operator Initials: Hsu-Bu

DATE (YYYYMMDD): 2021.06.26
STATION Kong'u → ARAON

ECC SONDE SERIAL #: 2838838
Sensing Solution/Buffer: Half NASA Buffer
Cathode Volume: 3.0cc ☒ or 2.5cc ☐ (v)
12. Run up to 30 minutes on no O₃: ☒ (v) (< 0.3 μA)
13. Record O₃ Current: 0.29 μA
14. Run 10 minutes at 5 μA O₃: ☒ (v)
15. Switch to no O₃ air: ☒ (v)
16. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 46.32 sec.
17. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
18. Record O₃ Current: 0.34 μA
19. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☐
20. Short the cell leads: ☒ (v)
21. Store in sonde box: ☒ (v)
22. Rinse syringes: ☒ (v)

1. Run 10 minutes on no O₃ air: ☐ (v)
2. Pump Current: 67 (units?) NA
3. Pump Pressure: 24 (units?)
4. Pump Vacuum: 21 (units?)
5. Bypass Cathode chamber: Yes ☐ No ☐
6. IF YES Add 5.5cc Cathode solution: ☒ (v)
7. Run 30 minutes on HIGH O₃: ☒ (v)
8. Run 5 minutes on no O₃: ☒ (v)
9. Dump Cathode solution IF Cathode cell bypassed: ☐ (v)
10. Add the Cathode solution (Wait 2-5 min): ☒ (v)
11. Add 1.5 CC Anode solution: ☒ (v)

IF DORMANT AFTER 1 WEEK REPLACE SOLUTIONS. DATE (YYYYMMDD): 2021.07.12 / 21

1. Change Cathode Solution (3cc or 2.5cc): ☒ (v) 6. Switch to no O₃: ☒ (v)
2. Change Anode Solution (1.5cc): ☒ (v) 7. Time to drop from 4 to 1.5 μA: 23.12 sec 25.06
3. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v) 8. Run 10 minutes on no O₃ then Record Current: 0.150 μA 0.054
4. Record O₃ Current: 0.037 μA 0.028 9. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒
5. Run 10 minutes on 5 μA O₃: ☒ (v) 10. Short cell leads, store in sonde box, rinse syringes: ☒ (v)

DAY OF FLIGHT PREPARATION: DATE (YYYYMMDD): 2021.07.25 INITIALS: HG.Kim

1. Cathode solution # and date of bottle (if applicable): #003, 2021.05.29
2. Remove original Cathode and Anode solution ☒ (v)
3. Rinse cells by adding Cathode and Anode and removing ☒ (v)
4. Add Cathode solution (wait 2-5 min): ☒ (v)
5. Add Anode solution: ☒ (v)
6. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
7. Record O₃ Current: IB0 = 0.01 μA
8. Run 10 minutes at 5 μA O₃: ☒ (v)
9. Switch to no O₃: ☒ (v)
10. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 20.54 sec
11. Run 10 minutes on no O₃ then record O₃ Current: IB1 = 0.087 μA
12. Room T(C) 25.3, RH(%) 23.1, P(hPa) 1012.7
13. RECORD 5 FLOWRATES (sec/100ml):
#1: 28.28, #2: 28.15, #3: 28.13
#4: 28.19, #5: 28.00, AVERAGE: 28.15
14. Flowrate Correction (if applied) 0.27 (%)
15. Final Flowrate: 28.226

DAY OF FLIGHT LAUNCH PREPARATION FLT #: 006 INITIALS: HG.Kim

RADIOSONDE TYPE/Model (e.g. Vaisala RS92, Modem M10, etc): EN-SCI iMet-4
RADIOSONDE SERIAL #: 54180 INTERFACE # (if known):
O₃ Background current used before launch: IB2 = 0.069 μA, Final IB used: 0.069 μA
GMT Launch Date (YYYYMMDD): 2021.07.25
GMT Launch Time (HH:MM:SS): 02:30:25 LOCAL Launch Time (HH:MM:SS): 18:30:25

BALLOON SIZE: 1200 Grams: TYPE: Totex ☐ Hwoyee ☒ PAWAN ☐ (v one)
NOAA FPH ☐ (v) or CFH ☐ (v) Serial # (if applicable):
Surface Pressure: 1012 (hPa) Surface Wind Speed: 7.42 (m/s)
Surface Temp: 03 (C) Surface Wind Direction: 87.5 (deg)
Surface RH: 97 (%) Sky Conditions and Remarks: Cloudy 8/8

DOBSON ☐ (v), BREWER ☐ (v), Other (v) _____ : _____ (DU)

ARACU 07

Version: Mar 26, 2018

SHADOZ DIGITAL OZONESONDE CHECKLIST



INITIAL PREPARATION - NO LESS THAN 3 DAYS BEFORE FLIGHT.

Operator Initials: HG KimDATE (YYYYMMDD): 2021.07.05
STATION ARACUECC SONDE SERIAL #: 2837327Sensing Solution/Buffer: Half NAsA BufferCathode Volume: 3.0cc ☒ or 2.5cc ☐ (v)1. Run 10 minutes on no O₃ air: ☐ (v)2. Pump Current: 93.2 (units?)3. Pump Pressure: 27 (units?)4. Pump Vacuum: 19 (units?)5. Bypass Cathode chamber: Yes ☐ No ☐6. IF YES Add 5.5cc Cathode solution: ☐ (v)7. Run 30 minutes on HIGH O₃: ☒ (v)8. Run 5 minutes on no O₃: ☒ (v)9. Dump Cathode solution IF Cathode cell bypassed: ☐ (v)10. Add the Cathode solution (Wait 2-5 min): ☒ (v)11. Add 1.5 CC Anode solution: ☒ (v)12. Run up to 30 minutes on no O₃: ☒ (v) (< 0.3 μA)13. Record O₃ Current: 0.3 μA14. Run 10 minutes at 5 μA O₃: ☒ (v)15. Switch to no O₃ air: ☒ (v)16. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 52.65 sec.17. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)18. Record O₃ Current: 0.365 μA19. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☐20. Short the cell leads: ☒ (v)21. Store in sonde box: ☒ (v)22. Rinse syringes: ☒ (v)IF DORMANT AFTER 1 WEEK REPLACE SOLUTIONS. DATE (YYYYMMDD): 2021.07.15 / 221. Change Cathode Solution (3cc or 2.5cc): ☒ (v)2. Change Anode Solution (1.5cc): ☒ (v)3. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)4. Record O₃ Current: 0.035 μA 0.0145. Run 10 minutes on 5 μA O₃: ☒ (v)6. Switch to no O₃: ☒ (v)7. Time to drop from 4 to 1.5 μA: 28.66 sec 25.358. Run 10 minutes on no O₃ then Record Current: 0.140 μA 0.1169. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒ (v)10. Short cell leads, store in sonde box, rinse syringes: ☒ (v)DAY OF FLIGHT PREPARATION: DATE (YYYYMMDD): 2021.07.28 INITIALS: HG Kim1. Cathode solution # and date of bottle (if applicable): #003, 2021.05.292. Remove original Cathode and Anode solution ☒ (v)3. Rinse cells by adding Cathode and Anode and removing ☒ (v)4. Add Cathode solution (wait 2-5 min): ☒ (v)5. Add Anode solution: ☒ (v)6. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)7. Record O₃ Current: IB0 = 0.003 μA8. Run 10 minutes at 5 μA O₃: ☒ (v)9. Switch to no O₃: ☒ (v)10. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 24.40 sec11. Run 10 minutes on no O₃ then record O₃ Current: IB1 = 0.103 μA12. Room T(C) 26.7, RH(%) 19.5, P(hPa) 1016.9

13. RECORD 5 FLOWRATES (sec/100ml):

#1: 28.38, #2: 28.66, #3: 28.89#4: 28.56, #5: 28.62, AVERAGE: 28.58214. Flowrate Correction (if applied) 1.190 (%)15. Final Flowrate: 28.922DAY OF FLIGHT LAUNCH PREPARATION FLT #: 007 INITIALS: HG KimRADIOSONDE TYPE/Model (e.g. Vaisala RS92, Modem M10, etc): EN-SCI iMet-4RADIOSONDE SERIAL #: 54162 INTERFACE # (if known):O₃ Background current used before launch: IB2 = 0.076 μA, Final IB used: 0.076 μAGMT Launch Date (YYYYMMDD): 2021.07.28GMT Launch Time (HH:MM:SS): 02:24:55LOCAL Launch Time (HH:MM:SS): 18:24:55BALLOON SIZE: 1200 Grams:

TYPE: Totex

Hwoyee ☒ PAWAN ☐ (v one)NOAA FPH ☐ (v) or CFH ☐ (v) Serial # (if applicable):Surface Pressure: 1017 (hPa)Surface Wind Speed: 5.24 (m/s)Surface Temp: -0.2 (C)Surface Wind Direction: 40.7 (deg)Surface RH: 97 (%)Sky Conditions and Remarks: cloudy 8/8DOBSON ☐ (v), BREWER ☐ (v), Other (v) _____: _____ (DU)

ARACON 08

Version: Mar 26, 2018

SHADOZ DIGITAL OZONESONDE CHECKLIST



INITIAL PREPARATION - NO LESS THAN 3 DAYS BEFORE FLIGHT.

Operator Initials: HG Kim

DATE (YYYYMMDD): 2021.09.10

STATION ARACON

ECC SONDE SERIAL #: 2237329

Sensing Solution/Buffer: Half ~~Buffer~~ NASA Buffer #003

Cathode Volume: 3.0cc ☒ or 2.5cc ☐ (v)

1. Run 10 minutes on no O₃ air: ☐ (v)

2. Pump Current: 128 (units?)

3. Pump Pressure: 24 (units?)

4. Pump Vacuum: 20 (units?)

5. Bypass Cathode chamber: Yes ☐ No ☐

6. IF YES Add 5.5cc Cathode solution: ☐ (v)

7. Run 30 minutes on HIGH O₃: ☒ (v)

8. Run 5 minutes on no O₃: ☒ (v)

9. Dump Cathode solution IF Cathode cell bypassed: ☐ (v)

10. Add the Cathode solution (Wait 2-5 min): ☒ (v)

11. Add 1.5 CC Anode solution: ☒ (v)

12. Run up to 30 minutes on no O₃: ☒ (v) (< 0.3μA)

13. Record O₃ Current: 0.235 μA

14. Run 10 minutes at 5 μA O₃: ☒ (v)

15. Switch to no O₃ air: ☒ (v)

16. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 41.16 sec.

17. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)

18. Record O₃ Current: 0.320 μA

19. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒

20. Short the cell leads: ☒ (v)

21. Store in sonde box: ☒ (v)

22. Rinse syringes: ☒ (v)

IF DORMANT AFTER 1 WEEK REPLACE SOLUTIONS. DATE (YYYYMMDD): 2021.09.17 124

1. Change Cathode Solution (3cc or 2.5cc): ☒ (v)

2. Change Anode Solution (1.5cc): ☒ (v)

3. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)

4. Record O₃ Current: 0.015 μA 0.015

5. Run 10 minutes on 5 μA O₃: ☒ (v)

6. Switch to no O₃: ☒ (v)

7. Time to drop from 4 to 1.5 μA: 24.41 sec 22.63

8. Run 10 minutes on no O₃ then Record Current: 0.150 μA 0.09

9. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒

10. Short cell leads, store in sonde box, rinse syringes: ☒ (v)

DAY OF FLIGHT PREPARATION: DATE (YYYYMMDD): 2021.07.31

INITIALS: HG Kim

1. Cathode solution # and date of bottle (if applicable): #003, 2021.05.29

2. Remove original Cathode and Anode solution ☒ (v)

3. Rinse cells by adding Cathode and Anode and removing ☒ (v)

4. Add Cathode solution (wait 2-5 min): ☒ (v)

5. Add Anode solution: ☒ (v)

6. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)

7. Record O₃ Current: IB0 = 0.006 μA

8. Run 10 minutes at 5 μA O₃: ☒ (v)

9. Switch to no O₃: ☒ (v)

10. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 23.00 sec

11. Run 10 minutes on no O₃ then record O₃ Current: IB1 = 0.096 μA

12. Room T(C) 26.6, RH(%) 18.5, P(hPa) 1013.1

13. RECORD 5 FLOWRATES (sec/100ml):

#1: 29.19, #2: 29.07, #3: 29.10

#4: 29.10, #5: 29.19, AVERAGE: 29.13

14. Flowrate Correction (if applied) 0.71 (%)

15. Final Flowrate: 29.337

DAY OF FLIGHT LAUNCH PREPARATION

FLT #: 008

INITIALS: HG Kim

RADIOSONDE TYPE/Model (e.g. Vaisala RS92, Modem M10, etc): EN-SCI IMet-4

RADIOSONDE SERIAL #: 54054 INTERFACE # (if known):

O₃ Background current used before launch: IB2 = 0.076 μA, Final IB used: 0.076 μA

GMT Launch Date (YYYYMMDD): 2021.07.31

GMT Launch Time (HH:MM:SS): 02:32:04

LOCAL Launch Time (HH:MM:SS): 18:32:04

BALLOON SIZE: 1700 Grams:

TYPE: Totex ☐

Hwoyee ☒

PAWAN ☐ (v one)

NOAA FPH ☐ (v) or CFH ☐ (v) Serial # (if applicable):

Surface Pressure: 1014 (hPa)

Surface Wind Speed: 6.37 (m/s)

Surface Temp: -0.8 (C)

Surface Wind Direction: 50.4 (deg)

Surface RH: 96 (%)

Sky Conditions and Remarks: cloudy 3/8

DOBSON ☐ (v), BREWER ☐ (v), Other (v) _____: _____ (DU)

ARAON09

Version: Mar 26, 2018

SHADOZ DIGITAL OZONESONDE CHECKLIST



INITIAL PREPARATION - NO LESS THAN 3 DAYS BEFORE FLIGHT.

Operator Initials: HG Kim

DATE (YYYYMMDD): 2021.07.12
STATION ARAON

ECC SONDE SERIAL #: 2337236
Sensing Solution/Buffer: Halt Buffer NASA #003
Cathode Volume: 3.0cc ☒ or 2.5cc ☐ (v)
12. Run up to 30 minutes on no O₃: ☒ (v) (< 0.3μA)
13. Record O₃ Current: 0.232 μA
14. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☒ (v)
15. Switch to no O₃ air ☒ (v)
16. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 38.31 sec.
17. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
18. Record O₃ Current: 0.290 μA
19. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒
20. Short the cell leads: ☒ (v)
21. Store in sonde box: ☒ (v)
22. Rinse syringes: ☒ (v)

1. Run 10 minutes on no O₃ air: ☐ (v)
2. Pump Current: 105.4 (units?)
3. Pump Pressure: 25 (units?)
4. Pump Vacuum: 20 (units?)
5. Bypass Cathode chamber: Yes ☐ No ☒
6. IF YES Add 5.5cc Cathode solution: ☐ (v)
7. Run 30 minutes on HIGH O₃: ☒ (v)
8. Run 5 minutes on no O₃: ☒ (v)
9. Dump Cathode solution IF Cathode cell bypassed: ☐ (v)
10. Add the Cathode solution (Wait 2-5 min): ☒ (v)
11. Add 1.5 CC Anode solution: ☒ (v)

IF DORMANT AFTER 1 WEEK REPLACE SOLUTIONS. DATE (YYYYMMDD): 2021.07.18 / 26

1. Change Cathode Solution (3cc or 2.5cc): ☒ (v)
2. Change Anode Solution (1.5cc): ☒ (v)
3. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
4. Record O₃ Current: 0.025 μA 0.01
5. Run 10 minutes on 5μA O₃: ☒ (v)
6. Switch to no O₃: ☒ (v)
7. Time to drop from 4 to 1.5 μA: 24.25 sec 23.38
8. Run 10 minutes on no O₃ then Record Current: 0.152 μA 0.12
9. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒
10. Short cell leads, store in sonde box, rinse syringes: ☒ (v)

DAY OF FLIGHT PREPARATION: DATE (YYYYMMDD): 2021.08.03 INITIALS: HG Kim

1. Cathode solution # and date of bottle (if applicable): #003, 2021.05.29
2. Remove original Cathode and Anode solution ☒ (v)
3. Rinse cells by adding Cathode and Anode and removing ☒ (v)
4. Add Cathode solution (wait 2-5 min): ☒ (v)
5. Add Anode solution: ☒ (v)
6. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
7. Record O₃ Current: IB0 = 0.011 μA
8. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☒ (v)
9. Switch to no O₃: ☒ (v)
10. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 23.03 sec
11. Run 10 minutes on no O₃ then record O₃ Current: IB1 = 0.091 μA
12. Room T(C) 28.4, RH(%) 18.9, P(hPa) 1027.3
13. RECORD 5 FLOWRATES (sec/100ml):
#1: 28.88, #2: 29.10, #3: 29.22
#4: 28.94, #5: 29.10, AVERAGE: 29.048
14. Flowrate Correction (if applied) 1.04 (%)
15. Final Flowrate: 29.35

DAY OF FLIGHT LAUNCH PREPARATION FLT #: 009 INITIALS: HG Kim

RADIOSONDE TYPE/Model (e.g. Vaisala RS92, Modem M10, etc): ENV-SCI iMet-4
RADIOSONDE SERIAL #: 54056 INTERFACE # (if known): 0.069 μA, Final IB used: 0.069 μA
GMT Launch Date (YYYYMMDD): 2021.08.03
GMT Launch Time (HH:MM:SS): 02:35:49 LOCAL Launch Time (HH:MM:SS): 18:35:49

BALLOON SIZE: 1200 Grams: TYPE: Totex ☐ Hwoyee ☒ PAWAN ☐ (v one)
NOAA FPH ☐ (v) or CFH ☐ (v) Serial # (if applicable): 1026 (hPa)
Surface Pressure: 1026 (hPa) Surface Wind Speed: 5.46 (m/s)
Surface Temp: 0.1 (C) Surface Wind Direction: 290.7 (deg)
Surface RH: 96 (%) Sky Conditions and Remarks: Cloudy 8/8

DOBSON ☐ (v), BREWER ☐ (v), Other (v) : (DU)

Version: Mar 26, 2018

SHADOZ DIGITAL OZONESONDE CHECKLIST



INITIAL PREPARATION - NO LESS THAN 3 DAYS BEFORE FLIGHT.

Operator Initials: Hgr.Kim

DATE (YYYYMMDD): 2021.07.14
STATION ARAON

ECC SONDE SERIAL #: 237325
Sensing Solution/Buffer: Half Buffer NASA #003
Cathode Volume: 3.0cc ☒ or 2.5cc ☐ (v)
12. Run up to 30 minutes on no O₃: ☒ (v) (< 0.3μA)
13. Record O₃ Current: 0.286 μA
14. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☒ (v)
15. Switch to no O₃ air ☒ (v)
16. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 38.00 sec.
17. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
18. Record O₃ Current: 0.298 μA
19. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒
20. Short the cell leads: ☒ (v)
21. Store in sonde box: ☒ (v)
22. Rinse syringes: ☒ (v)

1. Run 10 minutes on no O₃ air: ☒ (v)
2. Pump Current: 102 (units?)
3. Pump Pressure: 26 (units?)
4. Pump Vacuum: 19 (units?)
5. Bypass Cathode chamber: Yes ☐ No ☒
6. IF YES Add 5.5cc Cathode solution: ☒ (v)
7. Run 30 minutes on HIGH O₃: ☒ (v)
8. Run 5 minutes on no O₃: ☒ (v)
9. Dump Cathode solution IF Cathode cell bypassed: ☐ (v)
10. Add the Cathode solution (Wait 2-5 min): ☒ (v)
11. Add 1.5 CC Anode solution: ☒ (v)

IF DORMANT AFTER 1 WEEK REPLACE SOLUTIONS. DATE (YYYYMMDD): 2021.07.30

1. Change Cathode Solution (3cc or 2.5cc): ☒ (v)
2. Change Anode Solution (1.5cc): ☒ (v)
3. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
4. Record O₃ Current: 0.022 μA
5. Run 10 minutes on 5μA O₃: ☒ (v)
6. Switch to no O₃: ☒ (v)
7. Time to drop from 4 to 1.5μA: 22.34 sec
8. Run 10 minutes on no O₃ then Record Current: 0.119 μA
9. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒
10. Short cell leads, store in sonde box, rinse syringes: ☒ (v)

DAY OF FLIGHT PREPARATION: DATE (YYYYMMDD): 2021.08.06 INITIALS: Hgr.Kim

1. Cathode solution # and date of bottle (if applicable): #003, 2021.05.29
2. Remove original Cathode and Anode solution ☒ (v)
3. Rinse cells by adding Cathode and Anode and removing ☒ (v)
4. Add Cathode solution (wait 2-5 min): ☒ (v)
5. Add Anode solution: ☒ (v)
6. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
7. Record O₃ Current: IB0 = 0.011 μA
8. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☒ (v)
9. Switch to no O₃: ☒ (v)
10. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 23.41 sec
11. Run 10 minutes on no O₃ then record O₃ Current: IB1 = 0.068 μA
12. Room T(C) 23.8, RH(%) 21.4, P(hPa) 1030.7
13. RECORD 5 FLOWRATES (sec/100ml):
#1: 28.88, #2: 28.94, #3: 29.07
#4: 29.03, #5: 29.09, AVERAGE: 29.002
14. Flowrate Correction (if applied) ☐ (%)
15. Final Flowrate: ☐ (v)

DAY OF FLIGHT LAUNCH PREPARATION FLT #: 010 INITIALS: Hgr.Kim

RADIOSONDE TYPE/Model (e.g. Vaisala RS92, Modem M10, etc): EN-SCI iMet-4
RADIOSONDE SERIAL #: 54053 INTERFACE # (if known): ☐
O₃ Background current used before launch: IB2 = 0.050 μA, Final IB used: 0.050 μA
GMT Launch Date (YYYYMMDD): 2021.08.06
GMT Launch Time (HH:MM:SS): 02:31:35 LOCAL Launch Time (HH:MM:SS): 18:31:35

BALLOON SIZE: 1200 Grams: TYPE: Totex ☐ Hwoyee ☒ PAWAN ☐ (v one)
NOAA FPH ☐ (v) or CFH ☐ (v) Serial # (if applicable): ☐
Surface Pressure: 1030 (hPa) Surface Wind Speed: 5.94 (m/s)
Surface Temp: -0.5 (C) Surface Wind Direction: 169.4 (deg)
Surface RH: 96 (%) Sky Conditions and Remarks: clear 0 0/8

DOBSON ☐ (v), BREWER ☐ (v), Other (v) ☐: ☐ (DU)

ARACN 11

Version: Mar 26, 2018

SHADOZ DIGITAL OZONESONDE CHECKLIST



INITIAL PREPARATION - NO LESS THAN 3 DAYS BEFORE FLIGHT.

Operator Initials: HG.KTm

DATE (YYYYMMDD): 2021.07.17
STATION ARACN

ECC SONDE SERIAL #: 2237324
Sensing Solution/Buffer: Half Buffer NASA #003
Cathode Volume: 3.0cc ☒ or 2.5cc ☐ (v)
12. Run up to 30 minutes on no O₃: ☒ (v) (< 0.3µA)
13. Record O₃ Current: 0.270 µA
14. Run 10 minutes at 5µA O₃: ☒ (v)
15. Switch to no O₃ air: ☒ (v)
16. Record time to drop from 4 to 1.5 µA: 36.10 sec.
17. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
18. Record O₃ Current: 0.300 µA
19. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒
20. Short the cell leads: ☒ (v)
21. Store in sonde box: ☒ (v)
22. Rinse syringes: ☒ (v)

1. Run 10 minutes on no O₃ air: ☒ (v)
2. Pump Current: 93.6 (units?)
3. Pump Pressure: 26 (units?)
4. Pump Vacuum: 20 (units?)
5. Bypass Cathode chamber: Yes ☐ No ☒
6. IF YES Add 5.5cc Cathode solution: ☒ (v)
7. Run 30 minutes on HIGH O₃: ☒ (v)
8. Run 5 minutes on no O₃: ☒ (v)
9. Dump Cathode solution IF Cathode cell bypassed: ☐ (v)
10. Add the Cathode solution (Wait 2-5 min): ☒ (v)
11. Add 1.5 CC Anode solution: ☒ (v)

IF DORMANT AFTER 1 WEEK REPLACE SOLUTIONS. DATE (YYYYMMDD): 2021.08.02

1. Change Cathode Solution (3cc or 2.5cc): ☒ (v)
2. Change Anode Solution (1.5cc): ☒ (v)
3. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
4. Record O₃ Current: 0.034 µA
5. Run 10 minutes on 5µA O₃: ☒ (v)
6. Switch to no O₃: ☒ (v)
7. Time to drop from 4 to 1.5µA: 23.47 sec
8. Run 10 minutes on no O₃ then Record Current: 0.120 µA
9. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒
10. Short cell leads, store in sonde box, rinse syringes: ☒ (v)

DAY OF FLIGHT PREPARATION: DATE (YYYYMMDD): 2021.08.09 INITIALS: HG.KTm

1. Cathode solution # and date of bottle (if applicable): #003 2021.05.29
2. Remove original Cathode and Anode solution ☒ (v)
3. Rinse cells by adding Cathode and Anode and removing ☒ (v)
4. Add Cathode solution (wait 2-5 min): ☒ (v)
5. Add Anode solution: ☒ (v)
6. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
7. Record O₃ Current: IB0 = 0.019 µA
8. Run 10 minutes at 5µA O₃: ☒ (v)
9. Switch to no O₃: ☒ (v)
10. Record time to drop from 4 to 1.5 µA: 24.10 sec
11. Run 10 minutes on no O₃ then record O₃ Current: IB1 = 0.077 µA
12. Room T(C) 27.0, RH(%) 19.7, P(hPa) 1013.5
13. RECORD 5 FLOWRATES (sec/100ml):
#1: 28.81, #2: 29.03, #3: 29.00
#4: 28.82, #5: 29.03, AVERAGE: 28.938
14. Flowrate Correction (if applied) 0.71 (%)
15. Final Flowrate: 29.193

DAY OF FLIGHT LAUNCH PREPARATION FLT #: 011 INITIALS: HG.KTm

RADIOSONDE TYPE/Model (e.g. Vaisala RS92, Modem M10, etc): FN-SCI IMet4
RADIOSONDE SERIAL #: 54183 INTERFACE # (if known):
O₃ Background current used before launch: IB2 = 0.062 µA, Final IB used: 0.062 µA
GMT Launch Date (YYYYMMDD): 2021.08.09
GMT Launch Time (HH:MM:SS): 02:36:11 LOCAL Launch Time (HH:MM:SS): 18:36:11

BALLOON SIZE: 1200 Grams: TYPE: Totex ☐ Hwoyee ☒ PAWAN ☐ (v one)
NOAA FPH ☐ (v) or CFH ☐ (v) Serial # (if applicable):
Surface Pressure: 1012 (hPa) Surface Wind Speed: 5.40 (m/s)
Surface Temp: -0.3 (C) Surface Wind Direction: 328.3 (deg)
Surface RH: 97 (%) Sky Conditions and Remarks: Cloudy 8/8

DOBSON ☐ (v), BREWER ☐ (v), Other (v) : (DU)

ARACUN 12

Version: Mar 26, 2018

SHADOZ DIGITAL OZONESONDE CHECKLIST



INITIAL PREPARATION - NO LESS THAN 3 DAYS BEFORE FLIGHT.

Operator Initials: Hg.Kim

DATE (YYYYMMDD): 2021.07.29
STATION ARACUN

ECC SONDE SERIAL #: 2237320

Sensing Solution/Buffer: Half Buffer NASA #003

Cathode Volume: 3.0cc ☒ or 2.5cc ☐ (v)

1. Run 10 minutes on no O₃ air: ☐ (v)

2. Pump Current: 106 (units?)

3. Pump Pressure: 25 (units?)

4. Pump Vacuum: 21 (units?)

5. Bypass Cathode chamber: Yes ☐ No ☐

6. IF YES Add 5.5cc Cathode solution: ☐ (v)

7. Run 30 minutes on HIGH O₃: ☒ (v)

8. Run 5 minutes on no O₃: ☒ (v)

9. Dump Cathode solution IF Cathode cell bypassed: ☐ (v)

10. Add the Cathode solution (Wait 2-5 min): ☒ (v)

11. Add 1.5 CC Anode solution: ☒ (v)

12. Run up to 30 minutes on no O₃: ☒ (v) (< 0.3µA)

13. Record O₃ Current: 0.3 µA

14. Run 10 minutes at 5µA O₃: ☒ (v)

15. Switch to no O₃ air: ☒ (v)

16. Record time to drop from 4 to 1.5 µA: 30.94 sec.

17. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)

18. Record O₃ Current: 0.292 µA

19. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☐

20. Short the cell leads: ☒ (v)

21. Store in sonde box: ☒ (v)

22. Rinse syringes: ☒ (v)

IF DORMANT AFTER 1 WEEK REPLACE SOLUTIONS. DATE (YYYYMMDD): 2021.08.05

1. Change Cathode Solution (3cc or 2.5cc): ☒ (v)

2. Change Anode Solution (1.5cc): ☒ (v)

3. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)

4. Record O₃ Current: 0.012 µA

5. Run 10 minutes on 5µA O₃: ☒ (v)

6. Switch to no O₃: ☒ (v)

7. Time to drop from 4 to 1.5µA: 22.97 sec

8. Run 10 minutes on no O₃ then Record Current: 0.068 µA

9. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒

10. Short cell leads, store in sonde box, rinse syringes: ☒ (v)

DAY OF FLIGHT PREPARATION: DATE (YYYYMMDD): 2021.08.12 INITIALS: Hg.Kim

1. Cathode solution # and date of bottle (if applicable): #003. 2021.05.29

2. Remove original Cathode and Anode solution ☒ (v)

3. Rinse cells by adding Cathode and Anode and removing ☒ (v)

4. Add Cathode solution (wait 2-5 min): ☒ (v)

5. Add Anode solution: ☒ (v)

6. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)

7. Record O₃ Current: IB0 = 0.008 µA

8. Run 10 minutes at 5µA O₃: ☒ (v)

9. Switch to no O₃: ☒ (v)

10. Record time to drop from 4 to 1.5 µA: 24.22 sec

11. Run 10 minutes on no O₃ then record O₃ Current: IB1 = 0.065 µA

12. Room T(C) 23.4, RH(%) 21.94, P(hPa) 1004.5

13. RECORD 5 FLOWRATES (sec/100ml):

#1: 28.65, #2: 28.72, #3: 28.65

#4: 28.65, #5: 28.62, AVERAGE: 28.658

14. Flowrate Correction (if applied) -0.36 (%)

15. Final Flowrate: 28.555

DAY OF FLIGHT LAUNCH PREPARATION FLT #: 012 INITIALS: Hg.Kim

RADIOSONDE TYPE/Model (e.g. Vaisala RS92, Modem M10, etc): ENV-SCL iMet-4

RADIOSONDE SERIAL #: 54181 INTERFACE # (if known):

O₃ Background current used before launch: IB2 = 0.054 µA, Final IB used: 0.054 µA

GMT Launch Date (YYYYMMDD): 2021.08.12

GMT Launch Time (HH:MM:SS): 02:31:04 LOCAL Launch Time (HH:MM:SS): 18:31:04

BALLOON SIZE: 1,200 Grams:

TYPE: Totex ☐

Hwoyee ☒

PAWAN ☐ (v one)

NOAA FPH ☐ (v) or CFH ☐ (v) Serial # (if applicable):

Surface Pressure: 1005 (hPa)

Surface Wind Speed: 2.48 (m/s)

Surface Temp: -0.6 (C)

Surface Wind Direction: 134 (deg)

Surface RH: 97 (%)

Sky Conditions and Remarks: Cloudy 7/8

DOBSON ☐ (v), BREWER ☐ (v), Other (v) _____: _____ (DU)

ARACON 13

Version: Mar 26, 2018

SHADOZ DIGITAL OZONESONDE CHECKLIST



INITIAL PREPARATION - NO LESS THAN 3 DAYS BEFORE FLIGHT. Operator Initials: HG.KTm

DATE (YYYYMMDD): 2021.08.01
STATION ARACON

ECC SONDE SERIAL #: 2237243
Sensing Solution/Buffer: Half Buffer N45A #003
Cathode Volume: 3.0cc ☒ or 2.5cc ☐ (v)
12. Run up to 30 minutes on no O₃: ☒ (v) (< 0.3μA)
13. Record O₃ Current: 0.217 μA
14. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☒ (v)
15. Switch to no O₃ air: ☒ (v)
16. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 36.47 sec.
17. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
18. Record O₃ Current: 0.295 μA
19. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒
20. Short the cell leads: ☒ (v)
21. Store in sonde box: ☒ (v)
22. Rinse syringes: ☒ (v)

1. Run 10 minutes on no O₃ air: ☒ (v)
2. Pump Current: 105 (units?)
3. Pump Pressure: 28 (units?)
4. Pump Vacuum: 20 (units?)
5. Bypass Cathode chamber: Yes ☐ No ☒
6. IF YES Add 5.5cc Cathode solution: ☒ (v)
7. Run 30 minutes on HIGH O₃: ☒ (v)
8. Run 5 minutes on no O₃: ☒ (v)
9. Dump Cathode solution IF Cathode cell bypassed: ☐ (v)
10. Add the Cathode solution (Wait 2-5 min): ☒ (v)
11. Add 1.5 CC Anode solution: ☒ (v)

IF DORMANT AFTER 1 WEEK REPLACE SOLUTIONS. DATE (YYYYMMDD): 2021.08.08

1. Change Cathode Solution (3cc or 2.5cc): ☒ (v)
2. Change Anode Solution (1.5cc): ☒ (v)
3. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
4. Record O₃ Current: 0.016 μA
5. Run 10 minutes on 5μA O₃: ☒ (v)
6. Switch to no O₃: ☒ (v)
7. Time to drop from 4 to 1.5 μA: 25.63 sec
8. Run 10 minutes on no O₃ then Record Current: 0.000 μA
9. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒
10. Short cell leads, store in sonde box, rinse syringes: ☒ (v)

DAY OF FLIGHT PREPARATION: DATE (YYYYMMDD): 2021.08.15 INITIALS: HG.KTm

1. Cathode solution # and date of bottle (if applicable): #003. 2021.05.29
2. Remove original Cathode and Anode solution: ☒ (v)
3. Rinse cells by adding Cathode and Anode and removing: ☒ (v)
4. Add Cathode solution (wait 2-5 min): ☒ (v)
5. Add Anode solution: ☒ (v)
6. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
7. Record O₃ Current: IB0 = 0.014 μA
8. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☒ (v)
9. Switch to no O₃: ☒ (v)
10. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 25.63 sec
11. Run 10 minutes on no O₃ then record O₃ Current: IB1 = 0.068 μA
12. Room T(C) 25.8, RH(%) 21.3, P(hPa) 985.8
13. RECORD 5 FLOWRATES (sec/100ml):
#1: 28.93, #2: 28.81, #3: 28.75
#4: 28.87, #5: 28.75, AVERAGE: 28.822
14. Flowrate Correction (if applied) 1.07 (%)
15. Final Flowrate: 29.130

DAY OF FLIGHT LAUNCH PREPARATION FLT #: 013 INITIALS: HG.KTm

RADIOSONDE TYPE/Model (e.g. Vaisala RS92, Modem M10, etc): GNSS-Net-4
RADIOSONDE SERIAL #: 54050 INTERFACE # (if known):
O₃ Background current used before launch: IB2 = 0.056 μA, Final IB used: 0.056 μA
GMT Launch Date (YYYYMMDD): 2021.08.15
GMT Launch Time (HH:MM:SS): 02:40:48 LOCAL Launch Time (HH:MM:SS): 18:40:48

BALLOON SIZE: 1,200 Grams: TYPE: Totex ☐ Hwoyee ☒ PAWAN ☒ (v one)
NOAA FPH ☐ (v) or CFH ☐ (v) Serial # (if applicable):
Surface Pressure: 985.1 (hPa) Surface Wind Speed: 5.53 (m/s)
Surface Temp: -0.3 (C) Surface Wind Direction: 255.7 (deg)
Surface RH: 97.2 (%) Sky Conditions and Remarks: Snow & cloudy 8/8

DOBSON ☐ (v), BREWER ☐ (v), Other (v) _____: _____ (DU)

ARACN 14

Version: Mar 26, 2018

SHADOZ DIGITAL OZONESONDE CHECKLIST



INITIAL PREPARATION - NO LESS THAN 3 DAYS BEFORE FLIGHT.

Operator Initials: H.KimDATE (YYYYMMDD): 2021.08.04
STATION ARACN

ECC SONDE SERIAL #: 2237326
 Sensing Solution/Buffer: Half Buffer NASA #403
 Cathode Volume: 3.0cc ☒ or 2.5cc ☐ (v)
 12. Run up to 30 minutes on no O₃: ☒ (v) (< 0.3µA)
 13. Record O₃ Current: 0.290 µA
 14. Run 10 minutes at 5µA O₃: ☒ (v)
 15. Switch to no O₃ air: ☒ (v)
 16. Record time to drop from 4 to 1.5 µA: 38.18 sec.
 17. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
 18. Record O₃ Current: 0.300 µA
 19. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☐
 20. Short the cell leads: ☒ (v)
 21. Store in sonde box: ☒ (v)
 22. Rinse syringes: ☒ (v)

1. Run 10 minutes on no O₃ air: ☐ (v)
2. Pump Current: 111 (units?)
3. Pump Pressure: 27 (units?)
4. Pump Vacuum: 20 (units?)
5. Bypass Cathode chamber: Yes ☐ No ☐
6. IF YES Add 5.5cc Cathode solution: ☐ (v)
7. Run 30 minutes on HIGH O₃: ☒ (v)
8. Run 5 minutes on no O₃: ☒ (v)
9. Dump Cathode solution IF Cathode cell bypassed: ☐ (v)
10. Add the Cathode solution (Wait 2-5 min): ☒ (v)
11. Add 1.5 CC Anode solution: ☒ (v)

IF DORMANT AFTER 1 WEEK REPLACE SOLUTIONS. DATE (YYYYMMDD): 2021.08.11

1. Change Cathode Solution (3cc or 2.5cc): ☒ (v)
2. Change Anode Solution (1.5cc): ☒ (v)
3. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
4. Record O₃ Current: 0.016 µA
5. Run 10 minutes on 5µA O₃: ☒ (v)
6. Switch to no O₃: ☒ (v)
7. Time to drop from 4 to 1.5µA: 25.66 sec
8. Run 10 minutes on no O₃ then Record Current: 0.068 µA
9. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒
10. Short cell leads, store in sonde box, rinse syringes: ☒ (v)

DAY OF FLIGHT PREPARATION: DATE (YYYYMMDD): 2021.08.18INITIALS: H.Kim

1. Cathode solution # and date of bottle (if applicable): #003, 2021.05.29
2. Remove original Cathode and Anode solution ☒ (v)
3. Rinse cells by adding Cathode and Anode and removing ☒ (v)
4. Add Cathode solution (wait 2-5 min): ☒ (v)
5. Add Anode solution: ☒ (v)
6. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
7. Record O₃ Current: IB0 = 0.013 µA
8. Run 10 minutes at 5µA O₃: ☒ (v)
9. Switch to no O₃: ☒ (v)
10. Record time to drop from 4 to 1.5 µA: 24.68 sec
11. Run 10 minutes on no O₃ then record O₃ Current: IB1 = 0.082 µA
12. Room T(C) 25.4, RH(%) 18.3, P(hPa) 1009.9
13. RECORD 5 FLOWRATES (sec/100ml):
 #1: 28.84, #2: 29.00, #3: 29.06
 #4: 29.12, #5: 29.15, AVERAGE: 29.034
 14. Flowrate Correction (if applied) 0.92 (%)
15. Final Flowrate: 29.301

DAY OF FLIGHT LAUNCH PREPARATION

FLT #: 014INITIALS: H.KimRADIOSONDE TYPE/Model (e.g. Vaisala RS92, Modem M10, etc): EN-SCI iMet-4RADIOSONDE SERIAL #: 54058 INTERFACE # (if known): _____O₃ Background current used before launch: IB2 = 0.056 µA, Final IB used: 0.056 µAGMT Launch Date (YYYYMMDD): 2021.08.18GMT Launch Time (HH:MM:SS): 02:36:55LOCAL Launch Time (HH:MM:SS): 18:36:55

BALLOON SIZE: 1,200 Grams: TYPE: Totex ☐ Hwoyee ☒ PAWAN ☐ (v one)
 NOAA FPH ☐ (v) or CFH ☐ (v) Serial # (if applicable): _____
 Surface Pressure: 1004.5 (hPa) Surface Wind Speed: 4.39 (m/s)
 Surface Temp: -1.2 (C) Surface Wind Direction: 313.2 (deg)
 Surface RH: 89.5 (%) Sky Conditions and Remarks: cloudy 8/8

DOBSON ☐ (v), BREWER ☐ (v), Other (v) _____: _____ (DU)

ARACN 15

Version: Mar 26, 2018

SHADOZ DIGITAL OZONESONDE CHECKLIST



INITIAL PREPARATION - NO LESS THAN 3 DAYS BEFORE FLIGHT.

Operator Initials: HG.KimDATE (YYYYMMDD): 2021.08.07
STATION ARACNECC SONDE SERIAL #: 2837331Sensing Solution/Buffer: Half Buffer NASA #003Cathode Volume: 3.0cc ☒ or 2.5cc ☐ (v)1. Run 10 minutes on no O₃ air: ☐ (v)2. Pump Current: 91 (units?)3. Pump Pressure: 24 (units?)4. Pump Vacuum: 19 (units?)5. Bypass Cathode chamber: Yes ☐ No ☐6. IF YES Add 5.5cc Cathode solution: ☐ (v)7. Run 30 minutes on HIGH O₃: ☐ (v)8. Run 5 minutes on no O₃: ☐ (v)9. Dump Cathode solution IF Cathode cell bypassed: ☐ (v)10. Add the Cathode solution (Wait 2-5 min): ☒ (v)11. Add 1.5 CC Anode solution: ☐ (v)12. Run up to 30 minutes on no O₃: ☐ (v) (< 0.3μA)13. Record O₃ Current: 0.300 μA14. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☐ (v)15. Switch to no O₃ air ☐ (v)16. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 38.69 sec.17. Run 10 minutes on no O₃: ☐ (v)18. Record O₃ Current: 0.285 μA19. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☐20. Short the cell leads: ☐ (v)21. Store in sonde box: ☐ (v)22. Rinse syringes: ☒ (v)IF DORMANT AFTER 1 WEEK REPLACE SOLUTIONS. DATE (YYYYMMDD): 2021.08.141. Change Cathode Solution (3cc or 2.5cc): ☐ (v)2. Change Anode Solution (1.5cc): ☐ (v)3. Run 10 minutes on no O₃: ☐ (v)4. Record O₃ Current: 0.042 μA5. Run 10 minutes on 5μA O₃: ☐ (v)6. Switch to no O₃: ☐ (v)7. Time to drop from 4 to 1.5μA: 22.84 sec8. Run 10 minutes on no O₃ then Record Current: 0.112 μA9. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☐10. Short cell leads, store in sonde box, rinse syringes: ☐ (v)DAY OF FLIGHT PREPARATION: DATE (YYYYMMDD): 2021.08.21 INITIALS: HG.Kim1. Cathode solution # and date of bottle (if applicable): #003. 2021.07.292. Remove original Cathode and Anode solution ☐ (v)3. Rinse cells by adding Cathode and Anode and removing ☐ (v)4. Add Cathode solution (wait 2-5 min): ☐ (v)5. Add Anode solution: ☐ (v)6. Run 10 minutes on no O₃: ☐ (v)7. Record O₃ Current: IB0 = 0.031 μA8. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☐ (v)9. Switch to no O₃: ☐ (v)10. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 22.54 sec11. Run 10 minutes on no O₃ then record O₃ Current: IB1 = 0.074 μA12. Room T(C) 25.0, RH(%) 21.8, P(hPa) 1004.9

13. RECORD 5 FLOWRATES (sec/100ml):

#1: 28.47, #2: 28.40, #3: 28.41#4: 28.43, #5: 28.44, AVERAGE: 28.4314. Flowrate Correction (if applied) 0.69 (%)15. Final Flowrate: 28.626DAY OF FLIGHT LAUNCH PREPARATION FLT #: 015 INITIALS: HG.KimRADIOSONDE TYPE/Model (e.g. Vaisala RS92, Modem M10, etc): EN-SCI iMet-4RADIOSONDE SERIAL #: 540491 INTERFACE # (if known):O₃ Background current used before launch: IB2 = 0.060 μA, Final IB used: 0.060 μAGMT Launch Date (YYYYMMDD): 2021.08.21GMT Launch Time (HH:MM:SS): 02:33:03LOCAL Launch Time (HH:MM:SS): 18:33:03BALLOON SIZE: 1,200 Grams:

TYPE: Totex

Hwoyee ☒PAWAN ☐ (v one)NOAA FPH ☐ (v) or CFH ☐ (v) Serial # (if applicable):Surface Pressure: 1004.3 (hPa)Surface Wind Speed: 10.03 (m/s)Surface Temp: 0.4 (C)Surface Wind Direction: 280.5 (deg)Surface RH: 97 (%)Sky Conditions and Remarks: clear 1/8DOBSON ☐ (v), BREWER ☐ (v), Other (v) _____: _____ (DU)

ARACUN 6

Version: Mar 26, 2018

SHADOZ DIGITAL OZONESONDE CHECKLIST



INITIAL PREPARATION - NO LESS THAN 3 DAYS BEFORE FLIGHT.

Operator Initials: HG.KTMDATE (YYYYMMDD): 2021.08.10STATION ARACUNECC SONDE SERIAL #: 2237238Sensing Solution/Buffer: Half Buffer NASA #003Cathode Volume: 3.0cc ☒ or 2.5cc ☐ (v)1. Run 10 minutes on no O₃ air: ☐ (v)2. Pump Current: 117 (units?)3. Pump Pressure: 24 (units?)4. Pump Vacuum: 19 (units?)5. Bypass Cathode chamber: Yes ☐ No ☐6. IF YES Add 5.5cc Cathode solution: ☐ (v)7. Run 30 minutes on HIGH O₃: ☒ (v)8. Run 5 minutes on no O₃: ☒ (v)9. Dump Cathode solution IF Cathode cell bypassed: ☐ (v)10. Add the Cathode solution (Wait 2-5 min): ☒ (v)11. Add 1.5 CC Anode solution: ☒ (v)12. Run up to 30 minutes on no O₃: ☒ (v) (< 0.3μA)13. Record O₃ Current: 0.300 μA14. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☒ (v)15. Switch to no O₃ air: ☒ (v)16. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 39.25 sec.17. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)18. Record O₃ Current: 0.303 μA19. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☐20. Short the cell leads: ☒ (v)21. Store in sonde box: ☒ (v)22. Rinse syringes: ☒ (v)IF DORMANT AFTER 1 WEEK REPLACE SOLUTIONS. DATE (YYYYMMDD): 2021.08.191. Change Cathode Solution (3cc or 2.5cc): ☒ (v)2. Change Anode Solution (1.5cc): ☒ (v)3. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)4. Record O₃ Current: 0.020 μA5. Run 10 minutes on 5μA O₃: ☒ (v)6. Switch to no O₃: ☒ (v)7. Time to drop from 4 to 1.5 μA: 22.94 sec8. Run 10 minutes on no O₃ then Record Current: 0.0173 μA9. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒ (v)10. Short cell leads, store in sonde box, rinse syringes: ☒ (v)DAY OF FLIGHT PREPARATION: DATE (YYYYMMDD): 2021.08.23INITIALS: HG.KTM1. Cathode solution # and date of bottle (if applicable): #003. 2021.05.292. Remove original Cathode and Anode solution: ☒ (v)3. Rinse cells by adding Cathode and Anode and removing: ☒ (v)4. Add Cathode solution (wait 2-5 min): ☒ (v)5. Add Anode solution: ☒ (v)6. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)7. Record O₃ Current: IB0 = 0.019 μA8. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☒ (v)9. Switch to no O₃: ☒ (v)10. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 23.00 sec11. Run 10 minutes on no O₃ then record O₃ Current: IB1 = 0.070 μA12. Room T(C) 24.7, RH(%) 20.9, P(hPa) 1019.0

13. RECORD 5 FLOWRATES (sec/100ml):

#1: 28.78, #2: 28.72, #3: 28.84#4: 28.78, #5: 28.90, AVERAGE: 28.80414. Flowrate Correction (if applied) -0.37 (%)15. Final Flowrate: 28.697

DAY OF FLIGHT LAUNCH PREPARATION

FLT #: 016INITIALS: HG.KTMRADIOSONDE TYPE/Model (e.g. Vaisala RS92, Modem M10, etc): FN-SCI iMet-4RADIOSONDE SERIAL #: 54055

INTERFACE # (if known):

O₃ Background current used before launch: IB2 = 0.050 μA, Final IB used: 0.050 μAGMT Launch Date (YYYYMMDD): 2021.08.23GMT Launch Time (HH:MM:SS): 23:32:27LOCAL Launch Time (HH:MM:SS): 15:32:27BALLOON SIZE: 1200 Grams:

TYPE: Totex

Hwoyee ☒PAWAN ☐ (v one)NOAA FPH ☐ (v) or CFH ☐ (v) Serial # (if applicable):Surface Pressure: 1018.2 (hPa)Surface Wind Speed: 4.27 (m/s)Surface Temp: -0.6 (C)Surface Wind Direction: 314.2 (deg)Surface RH: 97 (%)Sky Conditions and Remarks: Cloudy ☁ 6/8DOBSON ☐ (v), BREWER ☐ (v), Other (v) _____: _____ (DU)

ARACON 17

Version: Mar 26, 2018

SHADOZ DIGITAL OZONESONDE CHECKLIST



INITIAL PREPARATION - NO LESS THAN 3 DAYS BEFORE FLIGHT.

Operator Initials: HG Kim

DATE (YYYYMMDD): 2021.08.13
STATION ARACON

ECC SONDE SERIAL #: 2837239
Sensing Solution/Buffer: Half Buffer N/A 7003
Cathode Volume: 3.0cc ☒ or 2.5cc ☐ (v)
12. Run up to 30 minutes on no O₃: ☒ (v) (< 0.3 μA)
13. Record O₃ Current: 0.275 μA
14. Run 10 minutes at 5 μA O₃: ☒ (v)
15. Switch to no O₃ air: ☒ (v)
16. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 46.54 sec.
17. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
18. Record O₃ Current: 0.290 μA
19. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☐
20. Short the cell leads: ☒ (v)
21. Store in sonde box: ☒ (v)
22. Rinse syringes: ☒ (v)

1. Run 10 minutes on no O₃ air: ☐ (v)
2. Pump Current: 96 (units?)
3. Pump Pressure: 26 (units?)
4. Pump Vacuum: 20 (units?)
5. Bypass Cathode chamber: Yes ☐ No ☐
6. IF YES Add 5.5cc Cathode solution: ☐ (v)
7. Run 30 minutes on HIGH O₃: ☒ (v)
8. Run 5 minutes on no O₃: ☒ (v)
9. Dump Cathode solution IF Cathode cell bypassed: ☐ (v)
10. Add the Cathode solution (Wait 2-5 min): ☒ (v)
11. Add 1.5 CC Anode solution: ☒ (v)

IF DORMANT AFTER 1 WEEK REPLACE SOLUTIONS. DATE (YYYYMMDD): 2021.08.20

1. Change Cathode Solution (3cc or 2.5cc): ☒ (v)
2. Change Anode Solution (1.5cc): ☒ (v)
3. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
4. Record O₃ Current: 0.033 μA
5. Run 10 minutes on 5 μA O₃: ☒ (v)
6. Switch to no O₃: ☒ (v)
7. Time to drop from 4 to 1.5 μA: 25.03 sec
8. Run 10 minutes on no O₃ then Record Current: 0.071 μA
9. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒
10. Short cell leads, store in sonde box, rinse syringes: ☒ (v)

DAY OF FLIGHT PREPARATION: DATE (YYYYMMDD): 2021.08.27 INITIALS: HG Kim

1. Cathode solution # and date of bottle (if applicable): #003, 2021.05.29
2. Remove original Cathode and Anode solution: ☒ (v)
3. Rinse cells by adding Cathode and Anode and removing: ☒ (v)
4. Add Cathode solution (wait 2-5 min): ☒ (v)
5. Add Anode solution: ☒ (v)
6. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (v)
7. Record O₃ Current: IB0 = 0.016 μA
8. Run 10 minutes at 5 μA O₃: ☒ (v)
9. Switch to no O₃: ☒ (v)
10. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 21.88 sec
11. Run 10 minutes on no O₃ then record O₃ Current: IB1 = 0.090 μA
12. Room T(C) 29.9, RH(%) 17.2, P(hPa) 1002
13. RECORD 5 FLOWRATES (sec/100ml):
#1: 28.97, #2: 28.84, #3: 29.19
#4: 29.09, #5: 29.10, AVERAGE: 29.038
14. Flowrate Correction (if applied) 1.26 (%)
15. Final Flowrate: 29.404

DAY OF FLIGHT LAUNCH PREPARATION FLT #: 017 INITIALS: HG Kim

RADIOSONDE TYPE/Model (e.g. Vaisala RS92, Modern M10, etc): ENV-SCI iMet-4
RADIOSONDE SERIAL #: 54182 INTERFACE # (if known): _____
O₃ Background current used before launch: IB2 = 0.065 μA, Final IB used: 0.065 μA
GMT Launch Date (YYYYMMDD): 2021.08.27
GMT Launch Time (HH:MM:SS): 02:34:33 LOCAL Launch Time (HH:MM:SS): 18:34:33

BALLOON SIZE: 1,200 Grams: TYPE: Totex _____ Hwoyee ☒ PAWAN ☐ (v one)
NOAA FPH ☐ (v) or CFH ☐ (v) Serial # (if applicable): _____
Surface Pressure: 999 (hPa) Surface Wind Speed: 7.15 (m/s)
Surface Temp: -0.6 (C) Surface Wind Direction: 281.5 (deg)
Surface RH: 93.0 (%) Sky Conditions and Remarks: cloudy 8/8

DOBSON ☐ (v), BREWER ☐ (v), Other (v) _____: _____ (DU)

ARACN18

Version: Mar 26, 2018

SHADOZ DIGITAL OZONESONDE CHECKLIST

INITIAL PREPARATION - NO LESS THAN 3 DAYS BEFORE FLIGHT. Operator Initials: HE.KTDATE (YYYYMMDD): 2021.08.22
STATION ARACN

ECC SONDE SERIAL #: 2837237
 Sensing Solution/Buffer: Half Buffer IVASA #003
 Cathode Volume: 3.0cc ☒ or 2.5cc ☐ (V)
 12. Run up to 30 minutes on no O₃: ☒ (V) (< 0.3μA)
 13. Record O₃ Current: 0.226 μA
 14. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☒ (V)
 15. Switch to no O₃ air: ☒ (V)
 16. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 31.38 sec.
 17. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (V)
 18. Record O₃ Current: 0.242 μA
 19. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☐
 20. Short the cell leads: ☒ (V)
 21. Store in sonde box: ☒ (V)
 22. Rinse syringes: ☒ (V)

1. Run 10 minutes on no O₃ air: ☐ (V)
 2. Pump Current: 113 (units?)
 3. Pump Pressure: 24 (units?)
 4. Pump Vacuum: 21 (units?)
 5. Bypass Cathode chamber: Yes ☐ No ☐
 6. IF YES Add 5.5cc Cathode solution: ☐ (V)
 7. Run 30 minutes on HIGH O₃: ☒ (V)
 8. Run 5 minutes on no O₃: ☒ (V)
 9. Dump Cathode solution IF Cathode cell bypassed: ☐ (V)
 10. Add the Cathode solution (Wait 2-5 min): ☒ (V)
 11. Add 1.5 CC Anode solution: ☒ (V)

IF DORMANT AFTER 1 WEEK REPLACE SOLUTIONS. DATE (YYYYMMDD): 2021.08.28

1. Change Cathode Solution (3cc or 2.5cc): ☒ (V) 6. Switch to no O₃: ☒ (V)
 2. Change Anode Solution (1.5cc): ☒ (V) 7. Time to drop from 4 to 1.5μA: 22.94 sec
 3. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (V) 8. Run 10 minutes on no O₃ then Record Current: 0.068 μA
 4. Record O₃ Current: 0.014 μA 9. Add additional 2.5 cc of Cathode ONLY: Yes ☐ No ☒
 5. Run 10 minutes on 5μA O₃: ☒ (V) 10. Short cell leads, store in sonde box, rinse syringes: ☒ (V)

DAY OF FLIGHT PREPARATION: DATE (YYYYMMDD): 2021.09.03 INITIALS: HE.KT

1. Cathode solution # and date of bottle (if applicable): #003, 2021.08.29
 2. Remove original Cathode and Anode solution ☒ (V)
 3. Rinse cells by adding Cathode and Anode and removing ☒ (V)
 4. Add Cathode solution (wait 2-5 min): ☒ (V)
 5. Add Anode solution: ☒ (V)
 6. Run 10 minutes on no O₃: ☒ (V)
 7. Record O₃ Current: IB0 = 0.006 μA
 8. Run 10 minutes at 5μA O₃: ☒ (V)
 9. Switch to no O₃: ☒ (V)
 10. Record time to drop from 4 to 1.5 μA: 22.25 sec
 11. Run 10 minutes on no O₃ then record O₃ Current: IB1 = 0.075 μA
 12. Room T(C) 26.0, RH(%) 16.0, P(hPa) 1016.8
 13. RECORD 5 FLOWRATES (sec/100ml):
 #1: 29.12, #2: 29.19, #3: 29.25
 #4: 29.32, #5: 29.16, AVERAGE: 29.208
 14. Flowrate Correction (if applied) 0.4 (%)
 15. Final Flowrate: 29.325

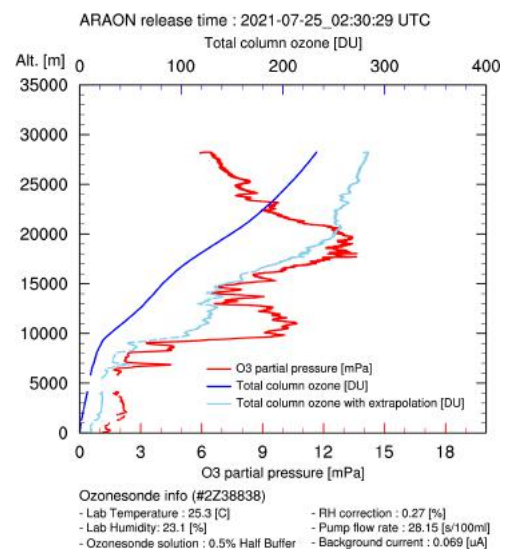
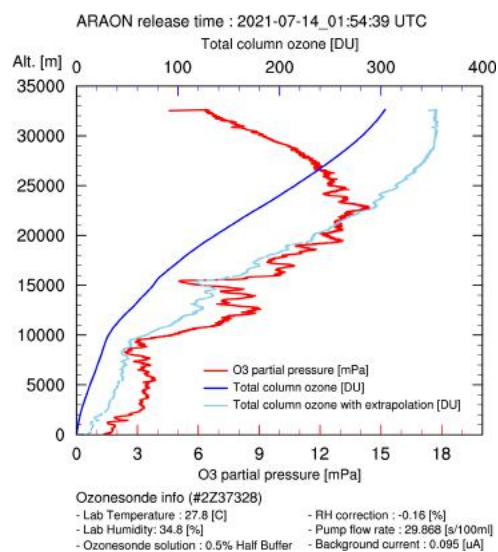
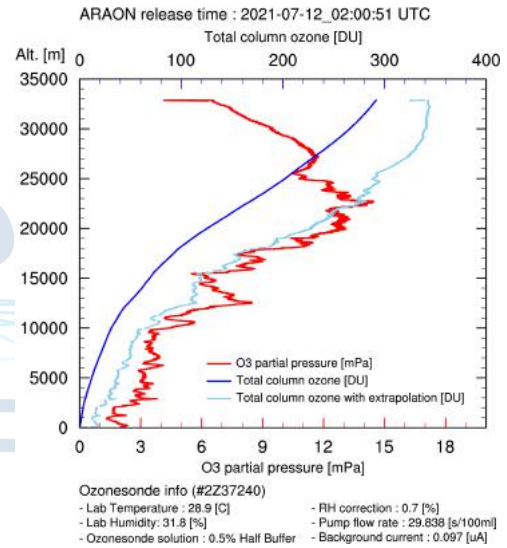
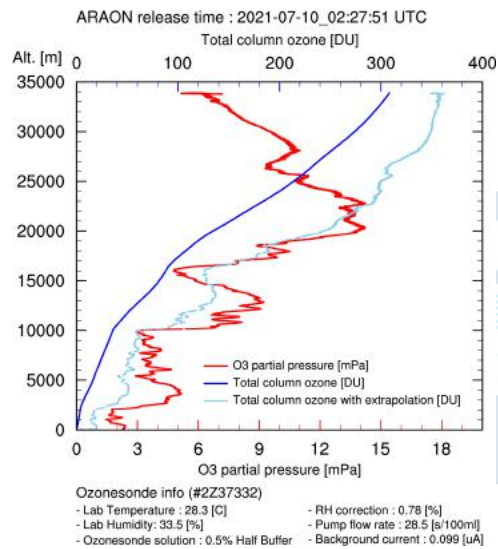
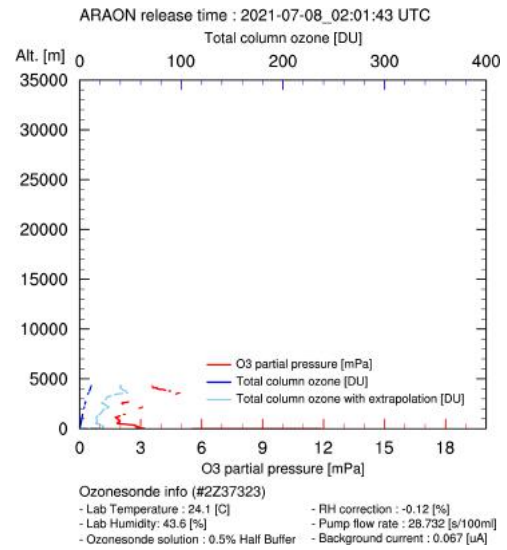
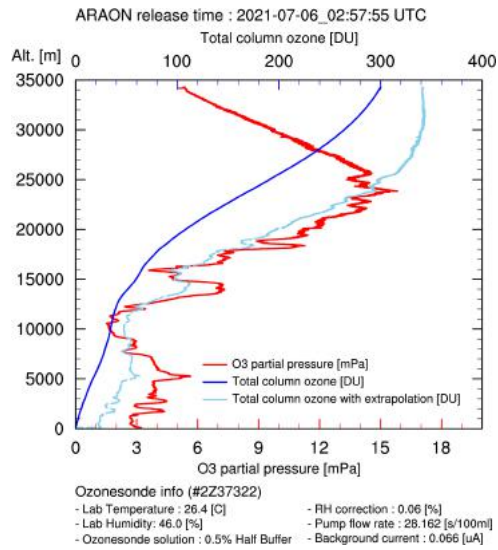
DAY OF FLIGHT LAUNCH PREPARATION FLT #: 018 INITIALS: HE.KT

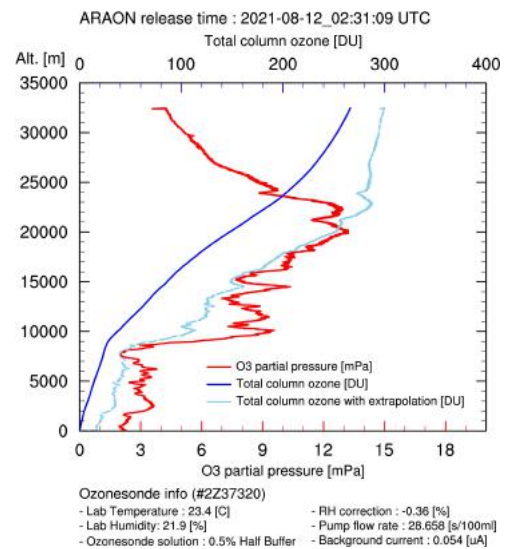
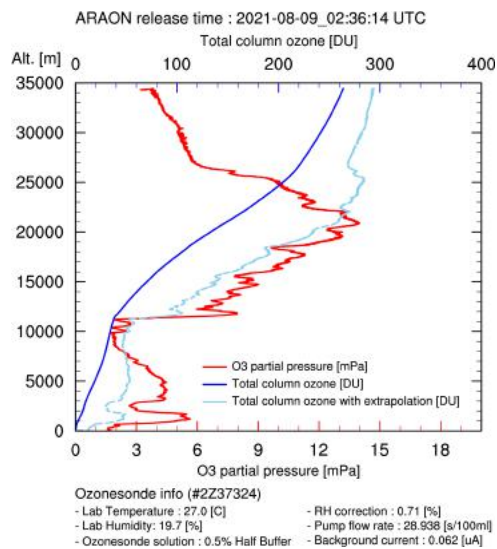
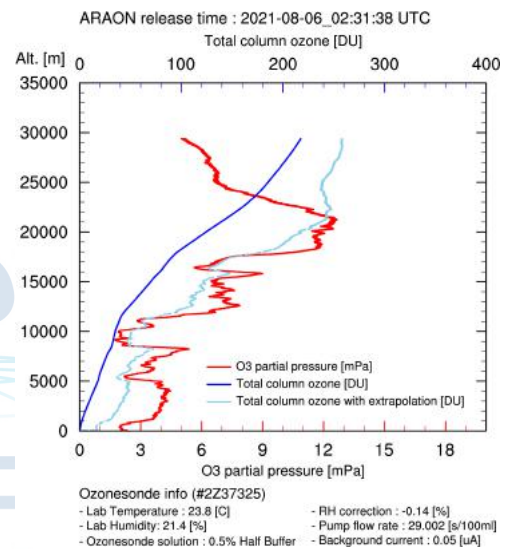
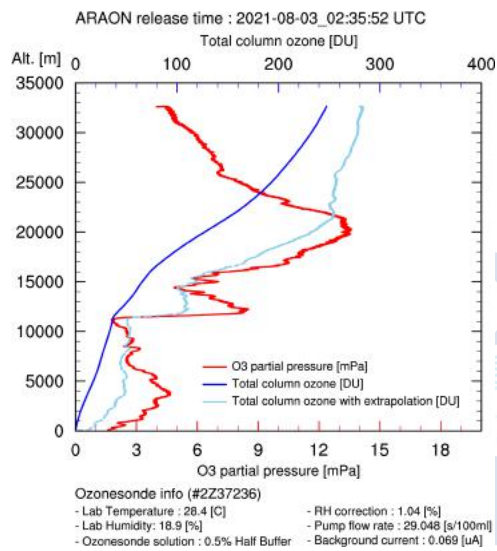
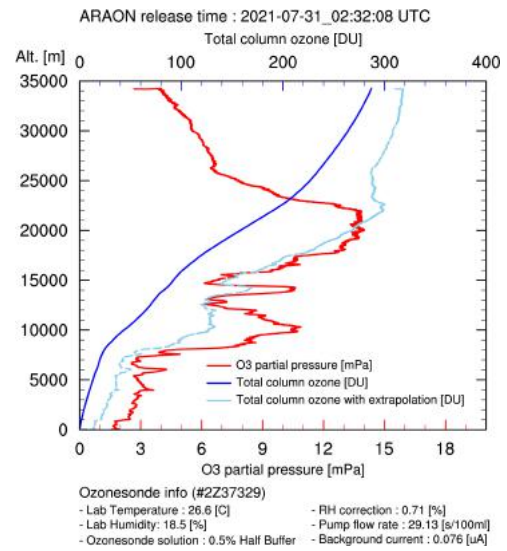
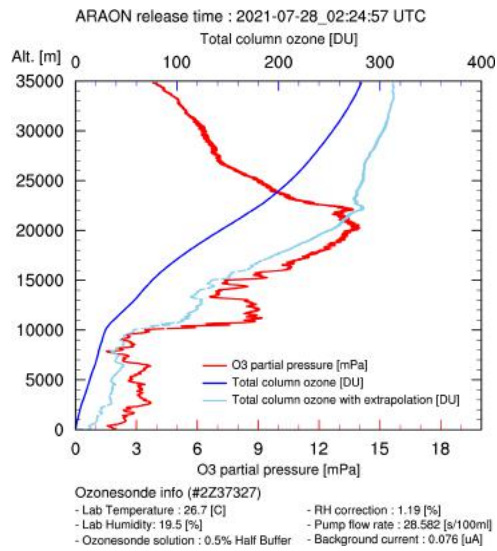
RADIOSONDE TYPE/Model (e.g. Vaisala RS92, Modem M10, etc): EN-SCI iMet-4
 RADIOSONDE SERIAL #: 54057 INTERFACE # (if known):
 O₃ Background current used before launch: IB2 = 0.055 μA, Final IB used: 0.055 μA
 GMT Launch Date (YYYYMMDD): 2021.09.03
 GMT Launch Time (HH:MM:SS): 23:33:27 LOCAL Launch Time (HH:MM:SS): 15:33:27

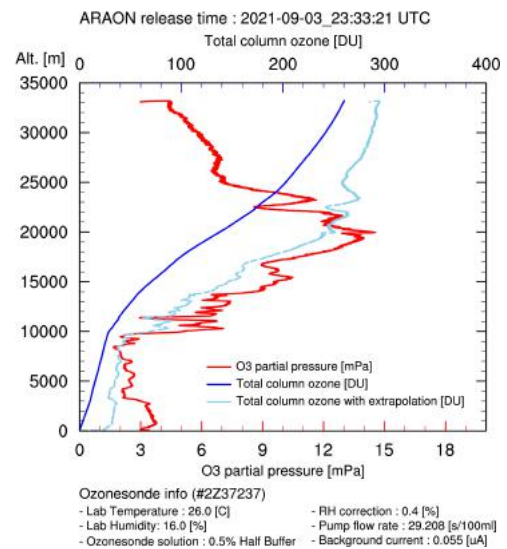
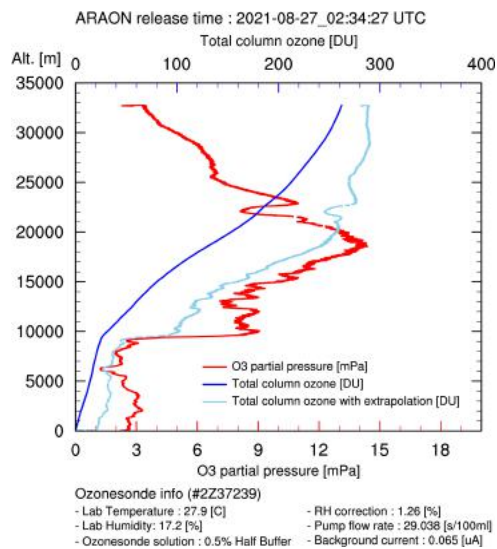
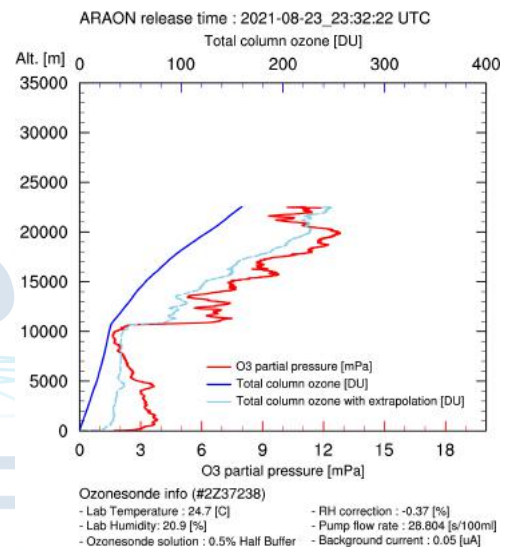
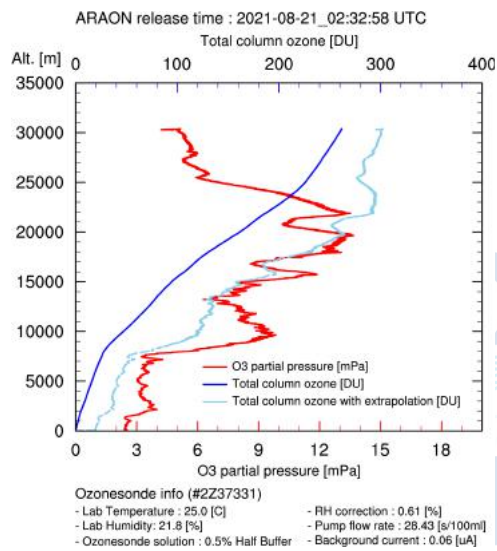
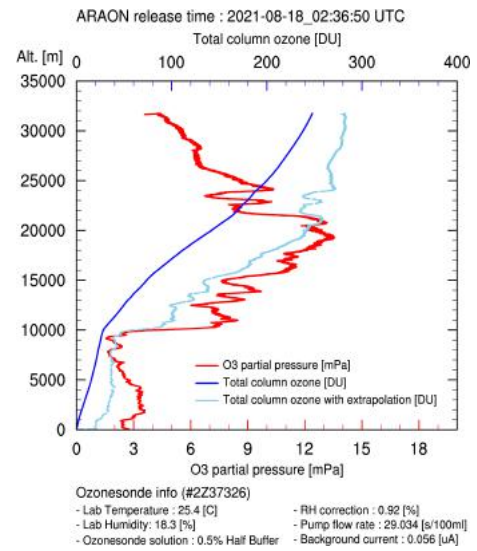
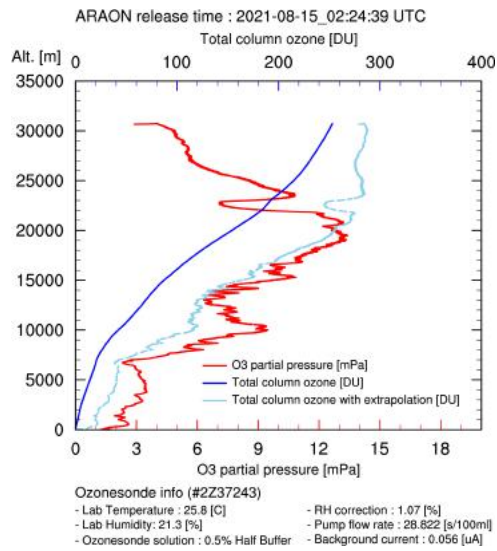
BALLOON SIZE: 1,200 Grams: TYPE: Totex ☐ Hwoyee ☒ PAWAN ☐ (V one)
 NOAA FPH ☐ (V) or CFH ☐ (V) Serial # (if applicable):
 Surface Pressure: 1016.0 (hPa) Surface Wind Speed: 5.21 (m/s)
 Surface Temp: -3.1 (C) Surface Wind Direction: 127.6 (deg)
 Surface RH: 94.9 (%) Sky Conditions and Remarks: cloudy 8/8

DOBSON ☐ (V), BREWER ☐ (V), Other (V) _____ : _____ (DU)

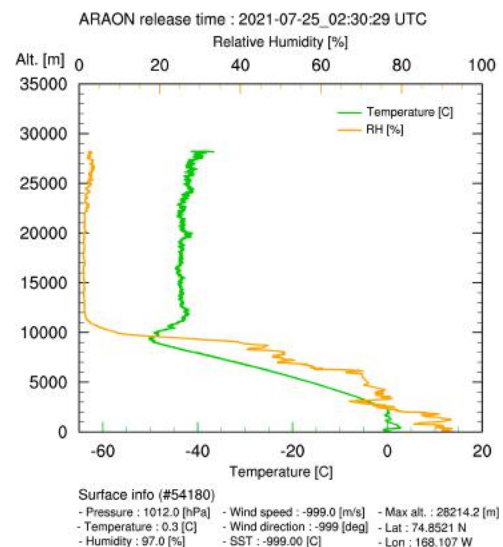
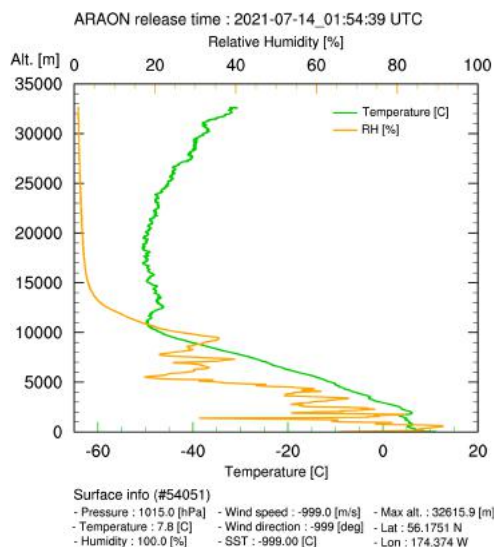
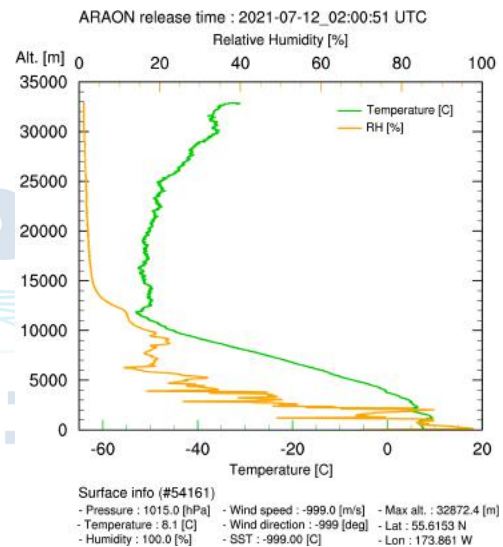
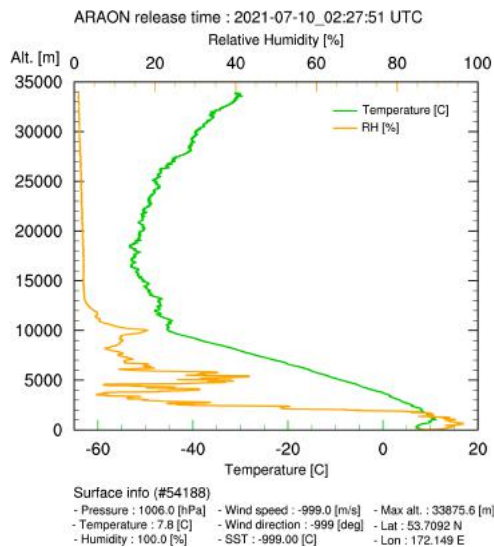
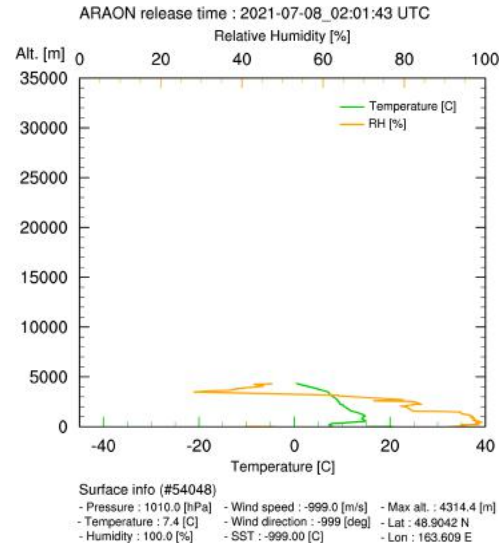
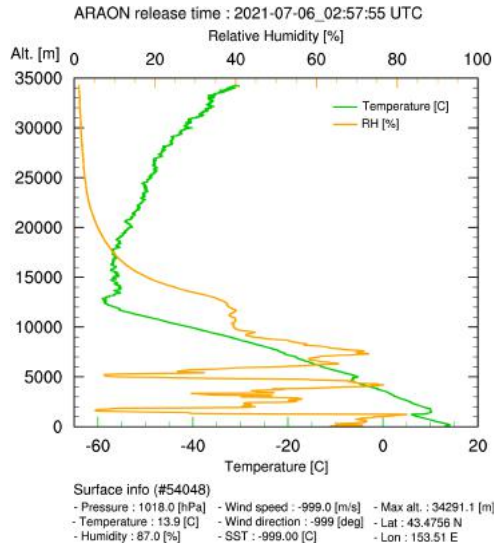
2. 오존관측 프로파일

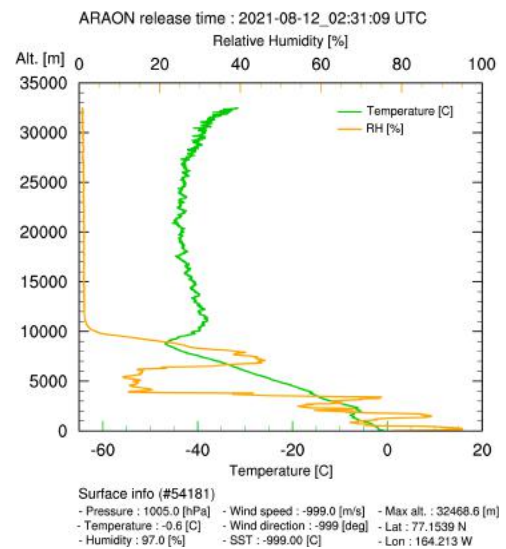
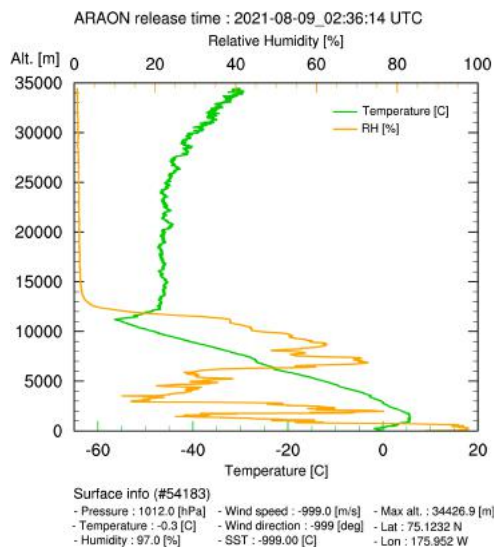
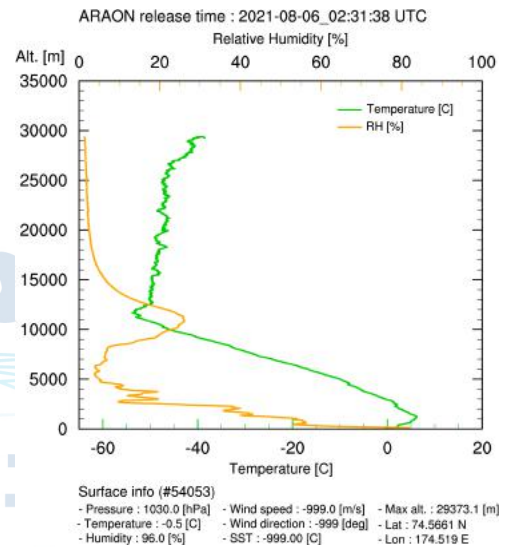
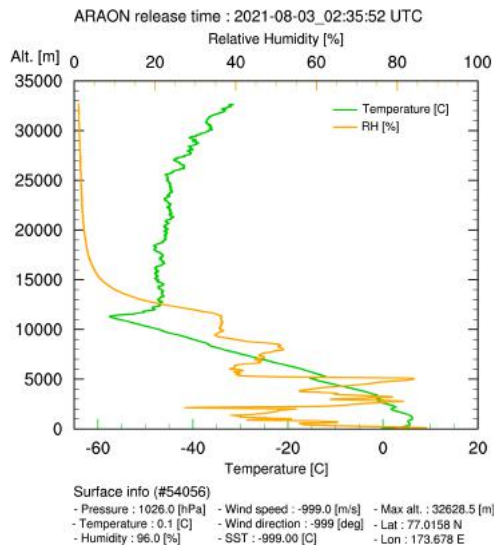
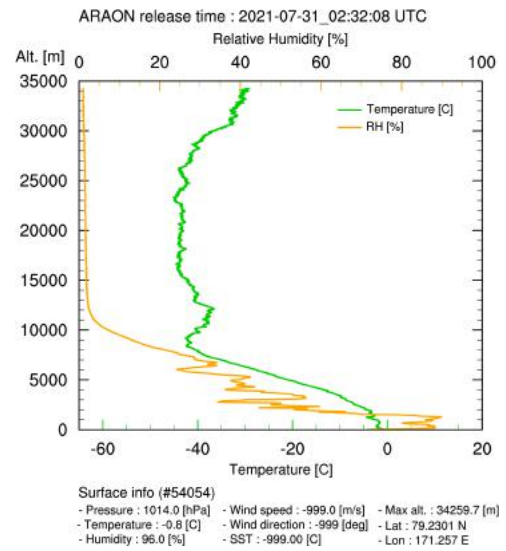
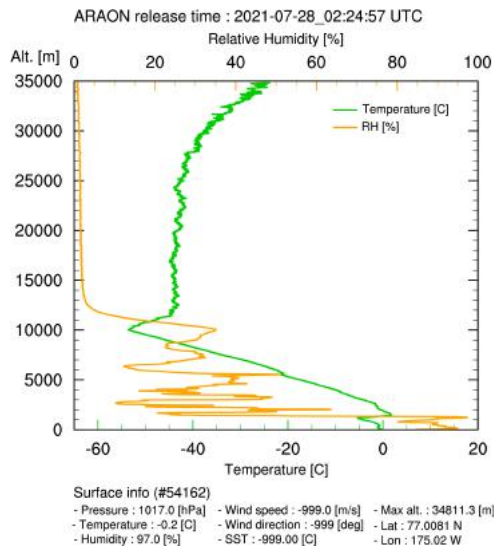


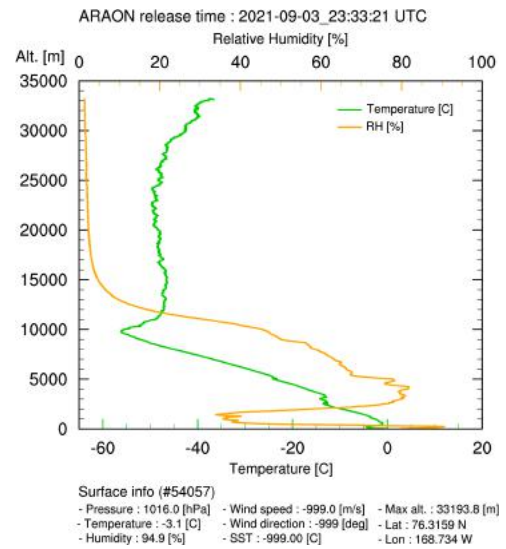
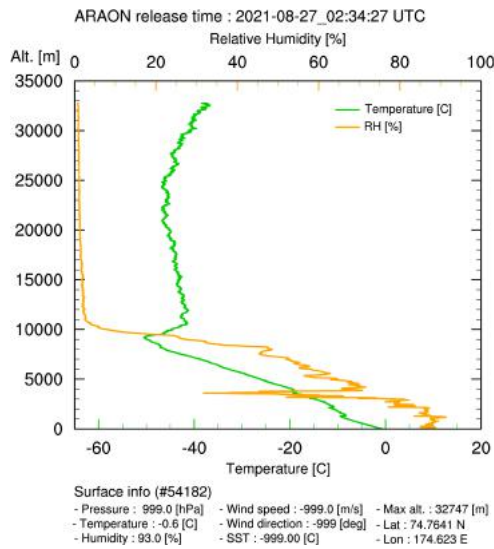
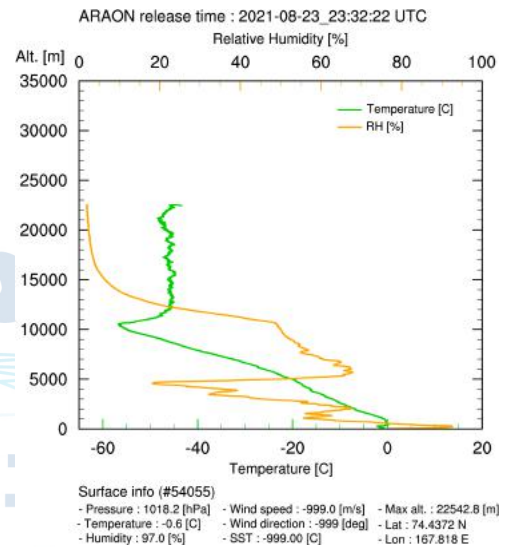
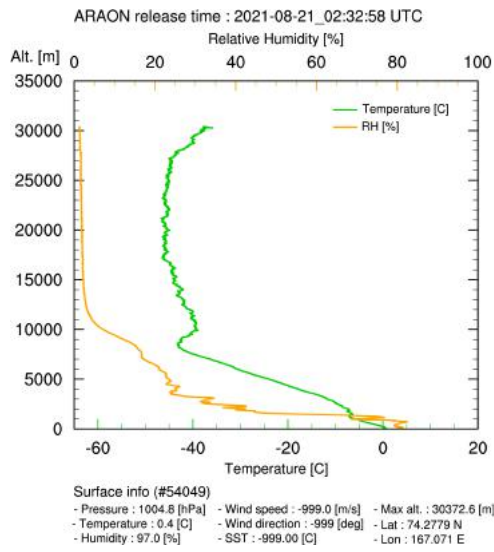
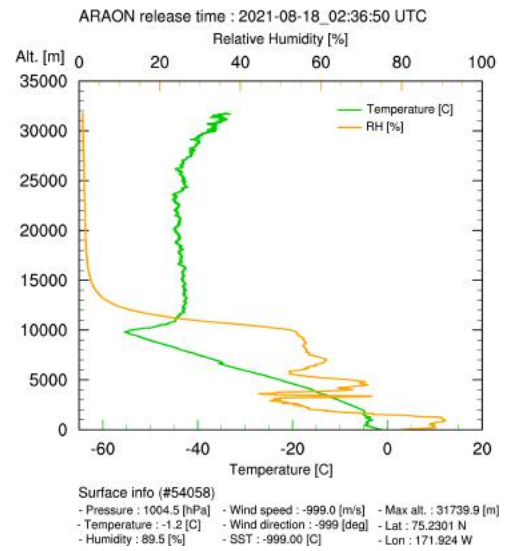
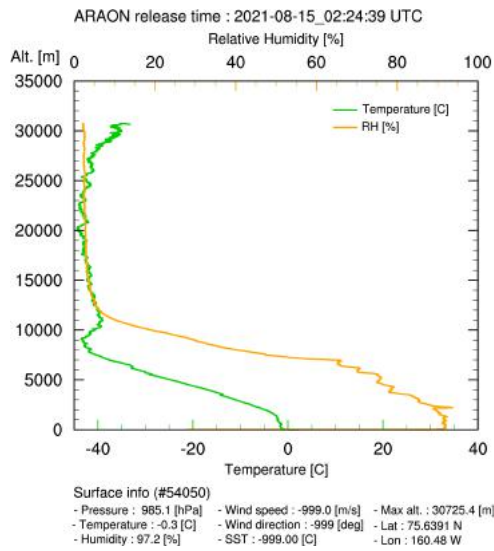


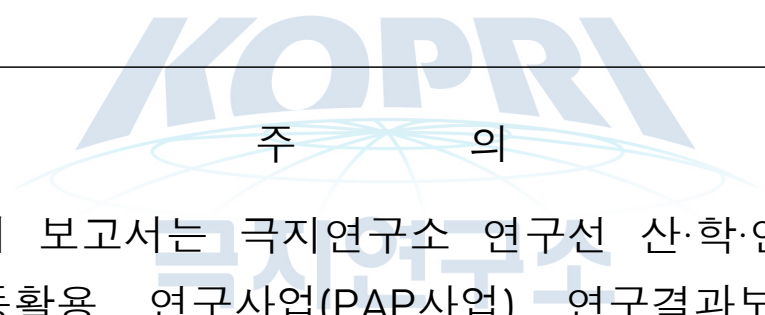


3. 온도/습도 관측 프로파일









주 의

1. 이 보고서는 극지연구소 연구선 산·학·연 공동활용 연구사업(PAP사업) 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 연구선 산·학·연 공동활용 연구사업으로 수행한 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.