[UCI]I804:24011-200000234102

2007년 2월
석사학위논문

오토존데를 이용한 고층관측 자동화 평가와 활용에 관한 연구

조 선 대 학 교 대 학 원

대 기 과 학 과

이 성 주

2007년 2월 석사학위논문 오토존데를이용한 고층관측 자동화 평가와 활용에 관한 연구 이 성 주

오토존데를 이용한 고층관측 자동화 평가와 활용에 관한 연구

A Study on the Evaluation of Upper-Air Sounding Automation using Autosonde in Korea and Its Application

2007년 2 월 25 일

조 선 대 학 교 대 학 원

대 기 과 학 과

이 성 주

오토존데를 이용한 고층관측 자동화 평가와 활용에 관한 연구

지도교수 류 찬 수

이 논문을 이학석사학위신청 논문으로 제출함.

2006년 10월 일

조 선 대 학 교 대 학 원

대 기 과 학 과

이 성 주

이성주의 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 조선대학교 겸임교수 정 효 상 인

심사위원 조선대학교 교 수 류 찬 수 인

심사위원 기상연구소 이학박사 김 백 조 인

2006 년 11 월 일

조 선 대 학 교 대 학 원

목 차

List of Tables i

List of Figueres ii

ABSTRACT v

Ⅰ. 서론 1

Ⅱ. 오토존데 시스템이란? 3

A. 오토존데 시스템의 구성 4

1. 시스템 보호 컨테이너 4

2. 풍선 발사 6

3. 라디오존데 설치 6

4. 로보틱스 7

5. 사운딩 시스템 7

6. 안테나 시스템 8

7. 컨트롤 컴퓨터 10

8. 원거리 제어 터미널 11

9. 사용자 인터 페이스 12

B. 오토존데 시스템의 특징 15

Ⅲ. 오토존데를 이용한 고층관측 자동화 평가 17

A. 국가 악기상 집중관측센터*(KEOP)* ····· 17
B. 기상연구소 오토존데 규격 ····· 22
C. 고층관측 자동화 평가 ····· 22
*1. 2002*년도 운영결과 및 관측성능 ····· 22
2. 오토존데 가스 및 풍선 이용에 관한 관측성능 ····· 29
3. 태풍과 장마에 대한 운영결과 및 관측성능 ····· 31
4. 오토존데 주요 고장원인 및 해결방안 ····· 37
5. 오토존데 종결 원인과 오류 코드 ····· 44
6. 오토존데 유지 관리 방안 ····· 48
Ⅳ. 오토존데 관측자료 활용 ····· 49
A. 태풍 "루사" ····· 50
B. 장 마 ····· 55
Ⅴ. 결론 ····· 58
참고문헌 ····· 60

List of Tables

Table 1. Meteorological equipment installed at the National Center for Intensive Observation of Severe Weather. ····· 20
Table 2. Autosonde observation error and its solution method. ····· 28
Table 3. Autosonde sounding balloons. ····· 31
Table 4. Cause of termination recorded in autosonde diary. ····· 46
Table 5. Explanations for error messages. ····· 47

List of Figueres

Fig. 1. Components and structure of autosonde system. ····· 5
Fig. 2. Telecommunication network of autosonde system. ····· 11
Fig. 3. Graphic user interface of autosonde system. ····· 14
Fig. 4. Countries in the world in which autosonde is installed. ····· 17
Fig. 5. Geographical locations of the Haenam Weather Observatory and the X-band Doppler weather rader site at Muan. ····· 18
Fig. 6. The placement map of observing equipment at National Center for Intensive Observation of Severe Weather (Haenam Observatory) ····· 19
Fig. 7. Operational structure of the National Center for Intensive Observation of Severe Weather(NCIO). ····· 21
Fig. 8. METRI autosonde system in Haenam. ····· 22
Fig. 9. Numbers of autosonde observations per month in 2002. ····· 23
Fig. 10. Same as in Fig. 9 except for season in 2002. ····· 23
Fig. 11. Same as in Fig. 9 except for purpose in 2002. ····· 24
Fig. 12. Same as in Fig. 9 except for balloon type in 2002. ····· 24
Fig. 13. Mean observation height per balloon type in 2002. ····· 25
Fig. 14. Same as in Fig. 13 except for purpose in 2002. ····· 25
Fig. 15. Same as in Fig. 13 except for season in 2002. ····· 26
Fig. 16. Numbers of autosonde observation error per cause in 2002. 27

Fig. 17. Same as in Fig. 16 except for month in 2002. ····· 27
Fig. 18. Number of autosonde observation per gas amount from 2002 to 2004. ····· 30
Fig. 19. Maximum height and maximum wind speed observed by autosonde at surface level during typhoon RUSA(0215). ····· 32
Fig. 20. Same as in Fig. 19 except for typhoon Maemi(0314). ····· 33
Fig. 21. Same as in Fig. 19 except for typhoon Mindulle(0407). ····· 33
Fig. 22. Same as in Fig. 19 except for Changma period in 2004. ····· 34
Fig. 23. Same as in Fig. 19 except for Changma period in 2005. ····· 35
Fig. 24. Same as in Fig. 19 except for heavy snowfall in 2004. ····· 36
Fig. 25. Same as in Fig. 19 except for heavy snowfall in 2005. ····· 37
Fig. 26. Gas manometer. ····· 38
Fig. 27. Gas nozzle. ····· 39
Fig. 28. Tray. ····· 40
Fig. 29. Compressor. ····· 41
Fig. 30. Flow meter. ····· 42
Fig. 31. Water storage case. ····· 43
Fig. 32. Tape reader and correction sensor. ····· 44
Fig. 33. Temporal density of the autosonde observation data from 0600UTC 30 August to 2100UTC 1 September when typhoon 'RUSA' was approaching the Korean peninsula and then landfalling at the nearby Haenam weather observatory(from Chung et al.(2006)). ····· 52

Fig. 34. Time-altitude cross-sections of (a)temperature, (b)relative humidity, (c)equivalent potential temperature and (d)wind speed · direction observed by autosonde during the passage of typhoon 'RUSA'(from Chung et al.(2006)). ····· 55
Fig. 35. The vertical distribution of (a) equivalent potential temperature, (b)U-component of wind, and (c)V-component of wind. Vertical bars(d) represents precipitation during summertime in 2005(from Cho *et al.*(2005)). ····· 57

ABSTRACT

A Study on the Evaluation of Upper-Air Sounding Automation using Autosonde in Korea and Its Application

Lee, Sung-Joo
Advisor : Prof. Ryu, Chan-Su Ph.D
Department of Atmospheric Science,
Graduate School of Chosun University

In recent years, a clear increase in the occurrence frequency of high-impact weather systems with growing intensity in Korea, such as frequent typhoon landfalls, heavy rainfall, such a record amounts of rain in a day and untimely snowfall, is closely related with tremendous damages in property and life. These high-impact weather system are mainly related to mesoscale convective/precipitating system, putting limitations on better understanding of their structure and evolution processes based on convectional synoptic observation network. High-tech observing systems- based NCIO(National Center for Intensive Observation for Severe Weathers) establishment and upper-air and radar observation intensification are able to produce intensive observation data with high temporal and spatial resolution and to establish the database of high impact weathers.

In 2002, the Vaisala aAutosonde System was installed in NCIO. The

evaluation analysis of upper-air sounding automation using this system was carried out. Also, the cause of error of the system, and its solution was examined for past 5 years' operation. Results showed this system has some feasibility in automating upper-air sounding for KMA through the reduction of payment to the operator and operating cost for upper-air sounding based on application results to various weather events. The preliminary results on the understanding of the occurrence and development mechanism of typhoon 'RUSA' in 2002 and Changmas in 2005 using intensive autosonde data is be presented.

Ⅰ. 서 론

최근 들어 전 지구적으로 기후변동성이 심화되는 가운데, 한반도에 영향을 주는 태풍은 점차 강해지는 추세이다. 한반도 해수면 온도의 상승 등의 요인으로 강력한 태풍의 영향을 받을 가능성을 충분히 내재하고 있다. 21세기 들어 강력한 태풍이 연속적으로 한반도에 내습하여 영향을 미치고 있다. 2002년 초대형 루사(RUSA), 2003년 매미(MAEMI) 그리고 2006년 에위니아(EWINIAR)는 한반도에 직접 상륙하여 엄청난 인명과 재산 피해를 입혔다.

기상현상이 우리에게 미치는 영향은 시간이 지날수록 점점 더 커지고 있다. 특히 지구온난화, 도시열섬 효과와 이로 인한 집중호우, 폭염 등 이제는 기상이 인류의 생활환경을 빠른 시간에 변화시키고 있다. 따라서 대기의 현상을 관측함으로서 대기의 움직임을 정확하게 예측하여 기상변화로 인한 피해를 줄이는 것이 필요한 시점이다. 이러한 여러 기상현상들을 관측하는데 있어 자동으로 대기의 상층을 관측하는 대표적인 장비로 오토존데 시스템(autosonde system)이 있다. 현재 우리나라 기상청에서는 사람이 직접 수동으로 대기의 상층을 관측할 수 있는 radiosonde system이 백령도, 속초, 포항, 제주, 고산, 흑산도 5곳이 있다.

우리나라는 태풍 및 장마와 관련된 중규모 악기상에 의한 피해액이 전체 자연재해의 90%를 상회하고 있으며 이에 따른 인명 및 재산의 피해가 증가 추세에 있다. 이러한 중규모 악기상의 구조 파악과 발생·발달 메커니즘 규명을 위해 북상하는 장마전선과 태풍의 입체적인 관측·감시하는 악기상 집중관측이 필요하다. 이를 위하여 한반도 악기상 집중관측(KEOP)사업의 일환으로 기상연구소에서는 첨단기상관측장비를 통한 악기상 집중관측과 이들 관측 자료를 이용한 악기상 분석·예보 연구의 활성화와 관측 장비의 효율적인 유지 및 관리를 위하여 북상하는 장마전선 활성화와 관련된 남서기류 유입과 태풍의 주 진로 상에 위치하는 해남기상관측소에 2002년 1월부터 오토존데를 구축하여 운영하고 있다.

태풍은 관측이 어려운 해양 상에서 발생, 발달 및 이동하기 때문에 직접적인 관측에 한계가 있다. 따라서 위성, 레이더 등 원격탐사에 의한 관측에 크게 의존하게 된다. 위성영상으로부터 위성에 장착된 복사계에서 관측한 복사량 자료를 가공하여 강수량, 바람, 온도 등을 추정하게 된다. 우리나라 및 지역태풍센터에서 발표하는 중심기압, 최대풍속, 중심위치 등의 태풍정보는 대개 이러한 위성영상을 사용하여 추정한 값들이다. 또한 최근에 대서양에서는 기상관측 항공기를, 북서태평양에서는 소형 무인항공기를 띄워 태풍을 직접 관측하기도 한다. 이와 같은 태풍관측은 태풍 구조 및 강도 변화 특성을 파악하는 데 매우 중요한 분야로 태풍의 이해력 증진에 크게 기여할 수 있다.

국외에서는 초기자료 및 물리적 모수화 기법 개선 등을 통한 태풍예보모델의 개선과 정보통신기술의 발달을 기반으로 개발된 첨단 관측 장비, 윈드프로파일러나 드롭윈드존데, 무인항공기 관측을 통한 태풍 중심과 주변 대기연직구조를 관측하여 태풍 진로예보에 활용하고 있다. 특히 미국 해양기상국에서 허리케인이 발달하여 플로리다로 이동할 경우 태풍 중심부근에 드롭윈드존데를 투하하여 허리케인의 대기연직구조를 파악하여 이를 태풍 모델의 초기자료로 활용한 결과, 드롭윈드존데 관측이 허리케인 진로 예측성 향상에 크게 기여함을 보였다. 최근에 일본 기상연구소에서는 일본 오키나와 남쪽 수백km 떨어진 미야코섬에서 무인소형항공기를 이용하여 태풍 '도라지'를 대상으로, 태풍 중심에 접근하면서 시선속도 및 접선속도의 연직분포를 관측하였다. 이처럼 태풍 진로 및 강도예보 향상을 위해서는 태풍주변 대기연직구조 관측이 매우 중요함을 의미한다. May and Holland(1993)는 사이판에서 윈드프로파일러를 이용하여 열대성 폭풍 'FLO'를 집중 관측하여 그 중심구조를 밝힌 바 있다. 김백조 등 (2003)은 오토존데를 이용한 3시간별 고층관측을 통하여 태풍 '루사'의 중심 구조를 파악하였다. 이러한 첨단 관측 장비를 이용한 태풍 집중관측을 통한 태풍 중심 및 주변 대기연직구조 분석 연구에도 불구하고 태풍의 일생변화에 따른 해상에서의 대기연직구조 조사연구는 거의 전무한 실정이다.

사람이 수동으로 운영을 함으로서 발생할 수 있는 몇 가지 문제가 있는데 첫 번

째는 사람마다 운영하는 방법이 다르기 때문에 여러 곳에서 관측을 했을 경우 관측 초기시간을 정확하게 서로 맞추기 힘들다는 점, 둘째는 관측을 위한 운영자가 필요하기 때문에 경제적으로 인건비 문제가 있다는 점이다.

따라서 본 연구에서는 보다 효과적이고 정확하게 상층을 관측할 수 있는 오토존데 시스템의 구조 및 특징을 알아보고, 이를 기반으로 한 고층관측 자동화 가능성을 평가하고자 한다. 또한 2002년도 해남 국가 악기상 집중관측센터에 설치 후 태풍, 장마, 폭설에 대한 관측사례를 분석하여 그 활용 가능성을 진단하고자 한다.

Ⅱ. 오토존데 시스템이란?

핀란드 바이샬라 오토존데(Vaisala autosonde system)는 오랜 준비기간에 걸쳐 완성된 상층 기상관측장비로 24개의 트레이에 각각 라디오존데와 풍선을 장착하고 자동으로 헬륨이나 수소를 주입하여 발사(launching)하는 시스템이다. 상층에 발산된 존데는 UHF 주파수를 이용해 대기 중으로 상승하면서 관측한 자료를 자동으로 지상 지구국에 전파하여 상층의 대기 상태를 모니터링하고 자료를 저장하는 시스템으로 상층 관측운영을 편리하게 할 수 있도록 설계되어 있다.

오토존데 시스템을 운영하기 위해서는 지상의 풍향, 풍속, 온도, 습도, 기압 값을 알아야 하는데 풍향, 풍속은 풍선을 발사사기 위해서, 온도, 습도 기압은 레디오존데 관측을 위한 초기 기준값으로 사용하기 위해서 필요하다. 관측을 위한 라디오존데는 GPS, Loran-C 방식을 모두 사용할 수 있으며, 디지털 변조를 사용하는 RS92 라디오존데는 최대 송신거리가 300km로 기존 RS80 라디오존데의 200km보다 먼 거리를 송신할 수 있다.

오토존데 시스템은 새로운 로딩을 (예, 라디오존데를 로딩 하는) 24개까지 발사하는 부분적으로 독립적인 패키지이다. 발사 가능한 최대 수는 설치된 레디오존데 트레이에 의해 결정되며, 둘러싼 주변여건과 맞추어 설치된다. 관리 인력뿐만이 아

니라 주요 주 전원 공급 장치, 원격통신라인(모뎀), 가스 저장소 공급기와 다시 실을 수 있는 기기 등이다. 이 시스템은 기상 장비가 설치된 내부 쉘터에 위치한다. 또한 자동화를 통제하는 컴퓨터도 쉘터 안에 놓이고, 기상 시스템의 안테나는 쉘터 지붕에 부착된다. 바람 계산과 함께 자동 라디오존데 세트는 옵션으로 프린터를 부착하여 완전한 시스템이 이루어진다. 오토존데에 표면 기상 데이터를 만드는 Surface Weather Station은 쉘터 근처에 설치된다. 풍선 발사체는 쉘터의 다른 한 부분에 분리된 유닛으로 장착되며, 서브프로세서는 발사와 가스 측정기를 통제한다. 가스 실린더는 쉘터 근처에 자체의 작은 건물 안에 놓이고, 가스 파이프는 쉘터 지붕의 가스 측정 시스템과 연결되며, 모든 가스 파이프와 호는 쉘터 외부에 위치된다.

A. 오토존데 시스템의 구성

오토존데 시스템의 구성은 시스템 보호 컨테이너, 기구 발사체, 안테나 시스템(UHF, VHF), 가스 측정기, 원격 제어터미널이다. 시스템 보호 컨테이너(쉘터)는 라디오존데 저장 및 준비, 관측 시스템, 제어 컴퓨터, 로보틱스로 이루어져 있으며, 외부 인터페이스로는 주요 전원 공급 장치, 원격통신선과 가스 저장소가 있다. 쉘터 내부는 라디오존데를 발사하기 위한 작업 공간, 시스템 검사, 관리업무를 위한 공간으로 구성되며, 항온항습을 위해서 에어컨과 히터가 구비되어 있다. 컴퓨터와 레디오존데 장치는 작업 공간 안에 설치되며, 풍선 주입과 발사장치는 쉘터 끝 부분에, 수신을 위한 안테나 시스템과 가스 측정기는 쉘터 지붕 위에 설치되어 있다.

1. 시스템 보호 컨테이너

오토존데는 4.9m(L)*2.5m(W*2.5m(H)) 크기의 컨테이너 안에 설치된다. 컨테이너는 삽입된 샌드위치 벽 구조이고 지역적 환경에 따라 히터 혹은 에어컨이 장착된다. 내부는 두 부분으로 나뉘어지는데, 라디오존데 저장과 모듈 준비를 위한 한 부

분과 다른 부분은 트레이 로딩, 검사와 관리 업무를 위한 작업 공간으로서 사용된다. 컨트롤 컴퓨터와 자동 라디오존데 세트 시스템은 작업 공간에 설치되고, 풍선을 부풀리는 것과 발사 모듈은 컨테이너 한 쪽 끝 부분에서 외부에 설치된다.

컨테이너는 쉘터에 필요한 경우 옵션인 쿨링 시스템과 전기 히팅 플러스가 장착된다. 컨테이너는 외부 전력이 중단되었을 때를 대비해 계속적인 전력을 부장하기 위하여 연속적인 전원 공급 시스템(UPS)을 포함한다. 완전한 컨테이너의 최대 전력 소비량은 230VAC, 1페이즈, 16A(400 VAC 3-페이즈 10A)이다.

설치장소는 방해물 없이 라디오존데가 발사가 완수되기 위해 오토존데를 위한 충분한 개방 공간을 필요로 한다. 적어도 마스트의 높이의 4배정도의 거리에서 인식되어야 한다.

수소가스 스토리지는 가스 측정기기를 통해 발사 모듈과 풍선을 채우는 기기까지의 파이핑을 위해 컨테이너에서 일정 거리에서 설치된다. 컨테이너 부분은 수소가스 사용을 위한 안전 규격을 지키도록 설계되었다. 한정된 수량의 헬륨 가스는 컨테이너 내부에 저장될 수 있다. 쉘터 문 위에 감지기가 시스템에서 가스를 사용할 때마다 켜진다.

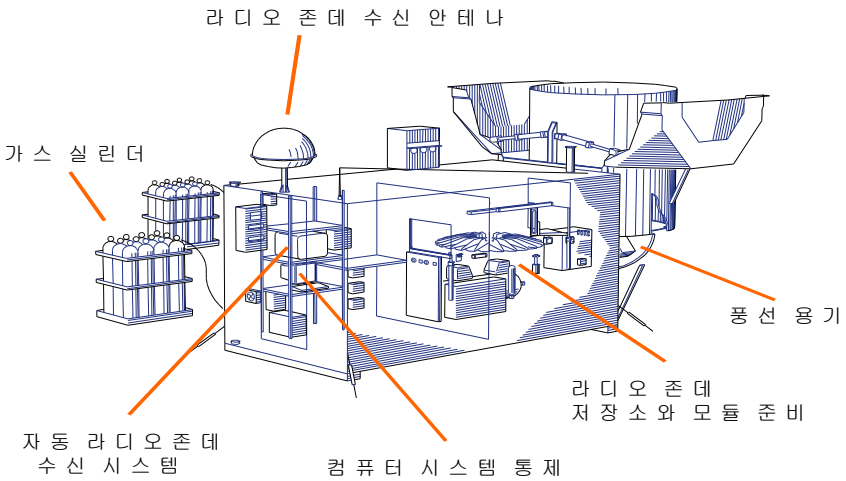

Fig. 1 Components and structure of Autosonde System.

2. 풍선 발사

풍선을 발사하는 기기는 섬유 유리 실린더로 특별한 프레임까지 분리되어 설치되어 쉘터에 부착되어 있으며, 발사기는 강한 바람뿐만 아니라 비나 눈이 오는 기후에서도 풍선을 띄우는 것이 가능하도록 덮는 뚜껑이 있다. 발사기 튜브는 캔버스의 가스 백에 있고, 라디오존데와 풍선은 공기 역학적인 컨트롤 트레이로 기계실까지 출구를 통해 발사기까지 로드 된다.

발사기는 풍선 팽창 중에 특히 강한 바람 속에서 라디오존데와 풍선을 보호하도록 설계되었다. 높은 압력의 실린더로부터 풍선을 채우는 가스는 우선 조절장치를 통해 쉘터 지붕 위의 가스 측정 시스템까지 가스를 채운 뒤 풍선 발사기 내부의 노즐까지 쉘터 지붕의 호스를 통해 채워진다.

3. 라디오존데 설치

로테이팅 기계장치 윗부분에 설치되는 오토존데 컨테이너 뒷부분에 수평적으로 놓인 트레이 플랫폼이 있다. 이 데이지휠은 24개의 트레이슬롯으로 나뉘어져 있다. 각각의 슬롯에는 트레이와 이어진 늘어날 수 있는 로딩 팔(arm)이 있고, 팔의 수는 2개에서 24개까지 구성된다. 로딩하는 동안에 트레이와 이어진 로딩 팔은 로딩 지역까지 늘어나고, 로딩 팔이 원래의 위치로 되돌아 온 후, 라디오존데, 풍선과 풍선 필링 밸브는 한 개의 트레이에 로드 된다. 각각의 라디오존데 타입에 따른 데이터, 라디오존데 교정 데이터, 풍선크기와 필링 가스의 양은 컨트롤 컴퓨터 안에 입력되어 저장되고 트레이 수와 일치한다.

라디오존데와 풍선의 다른 모델 타입들도 필요할 경우 각각의 트레이에 로드 시킬 수 있다.

시스템은 로딩 지역의 반대편 방향까지 트레이와 일치된 로딩 팔이 늘어나는 것으로 예비 발사 준비가 실행된다. 라디오존데 배터리는 라디오존데의 배터리 구획 안의 노즐을 통해 물에 담는 것으로 활성화 된다. 라디오존데 작동할 때, 라디오존

데와 리시버 사이의 라디오존데 그라운드 검사와 텔레미트리 검사가 실행된다. 이 경우 오토존데 시스템은 존데 주파수의 RF 인터퍼런스를 검사하거나 몇 가지의 오작동을 검사하여 저장된 라디오존데 유닛을 선택한다.

4. 로보틱스

발사기 내부의 모든 기계적인 움직임은 공기 역학적인 시스템에 의해 통제된다. 쉘터 내부의 에어컨에 있는 에어 콤프레셔는 주요 전원을 사용할 수 없는 상황(pneumatic UPS)에서 공기 공급을 한다. 작동 중인 발사기의 계속적인 작동은 시스템 내부의 오작동을 막는 서브시스템을 기본으로 한 마이크로 컨트롤러에 의해 통제된다.

로보틱스는 계속적인 완전한 자동 작동을 위한 필요한 장비로 구성 되 있는데, 프로그램과 로직 컨트롤러에 바탕을 둔 마이크로프로세서는 로보틱스의 핵심이다.

프로그램은 특화된 시간 테이블의 스케줄과 일치하는 오토존데 메인 컴퓨터로부터 시작되는 분명한 커맨드로 작은 미션들을 실행시킨다.

로직 컨트롤러는 마그네틱 밸브를 열거나 닫거나 가스 흐름, 온도, 습도 등을 측정하기 위한 몇 몇 아날로그가 전류 혹은 전압 데이터에 공기 흐름을 허용하여 실제 물리적 값에 변형된다.

5 사운딩 시스템

이 사운딩 시스템은 자동 레이윈존데 세트의 가장 최신 버전이 장착 되 있으며, 구성은 라디오존데에 의해 보내진 데이터를 받고 프로세스 한다. PTU와 바람 데이터의 최초 raw data는 오토존데 세트에 의해 작성되어 그 뒤 주 컴퓨터에 입력한다.

데이터는 상당히 편리한 upper air station과 호환성이 있다. 관측 미션의 address까지 표준 기상 메시지를 만들어낸다. 계속되는 관측 동안에 실제적인 리얼 타임

데이터는 트랜스미션에서 원거리 통제 터미널까지 이용 가능하다. 백업 기능에서, 오토존데 세트는 또한 stand-alone 작동을 위한 소프트웨어와 하드웨어를 포함한다. 사운딩 시스템을 위한 표면 기상 데이터는 가까이에 설치된 자동 기상 관측 스테이션(AWS)에 의해 측정된다. 이것은 2미터 높이의 동일한 마스트 위에 설치된 온도 습도 센서와 10미터 마스트에 설치된 윈드 센서가 장착되었다. 자동 기상 관측 스테이션(AWS)으로부터 온 데이터는 RS232C라인으로 컨트롤 컴퓨터까지 혹은 더 먼 자동 라디오존데 세트까지 전송된다.

6 안테나 시스템

오토존데 쉘터는 컨테이너 지붕 위에 설치된 UHF/VLF안테나를 장착한다. UHF 안테나 보통 레이돔 안에 놓여 방향을 지시하는 안테나이다. 400에서 406MHz 주파수 밴드 대에서 라디오존데 telemeteor 시그널의 최대 수용을 위해 설계되었다. (200km까지의 거리에서) VLF안테나는 Loran-c 시그널 로컬 수용(reception)을 위해 사용된다.

- *UHF*안테나

방향을 위한 UHF안테나(일반적으로 VAISALA UHF 안테나 RB21)는 북쪽을 향해 “N″을 지시하며 설치되고, 안테나 케이블은 안테나 바닥과 일치하는 커넥터까지 연결되는데, 그린-엘로우 그라운드 케이블은 그라운딩 포인트에 연결된다. 안테나는 일반적으로 스위칭 유닛, 안테나 필터와 안테나 앰플리파이어(RBA21)와 함께 사용된다.

안테나의 라디에이션 패턴은 비양 중인 라디오존데의 트랙을 따라 수평면 안에서 회전할 수 있고, 안테나는 이동 부분이 없다. 안테나는 여섯 가지 세그먼트로 이루어져 한번에 필터, 안테나 증폭기, UHF 리시버까지 원거리 통제 스위칭 네트워크에 의해 연결된다.

선택사항은 여섯 가지의 수평방향 사이에서 이루어진다. N, NE, SE, S, SW 그

리고 NW 높은 상승 각도를 위해 크로스 다이포울(쌍극자)이 장착돼 있다. 스위칭 유닛은 로브 방향을 선택한다. (받은 방향)여섯 개의 각각의 로브는 60°코너 반사기와 접혀진 그라운드 플레인 안테나로 구성돼 있고, 이런 안테나의 형태는 프론트 투백 비율과 방향성을 잘 제공한다.

수평 플레인을 위한 각 안테나 엘레먼트는 60°코너 반사기이며, 이를 조종하는 엘레먼트는 접혀진 그라운드 플레인 안테나이다. 엘레먼트 임피던스는 50Ω이다. 안테나 엘레먼트는 0° 상승각에서 12dB(1/2웨이브 안테나 이상), 반사기 사이드는 개개의 안테나의 믿을 수 있는 라디에이션 패턴을 얻기 위해서 형성되었다.

중간 부분에 크로스 쌍극자는 광범위한 분극 변동을 가지는 트랜스미션을 안테나가 받는 것이 가능하도록 구부러진 라디에이터가 있다.

이러한 설계는 어떤 바람 상태에서도 사운딩 동안에 믿을 수 있는 시그널을 제공하는 라디에이션 패턴을 만든다. 최대 게인 방향성의 강점이고 필드 인텐서티는 약점이다.

- ***VLF*안테나**

VLF안테나 시스템(일반형 모델 VAISALA CA21)은 VLF 안테나 앰플리파이어(CAA21)와 함께 사용되는 VLF안테나(CAS11B)로 구성 돼 있다. VLF안테나는 Omega와 VLF 혹은 Loran-C 네트워크의 싱크로나이제이션에 플러스 된 지역 모니터링을 위해 오토존데 컨테이너 지붕 위에 휩 안테나로 설치되어있다. 부가적으로 이 시그널들은 라디오존데로부터 받은 시그널과 함께 비교를 위해 사용될 때 측정의 다양한 수정을 가능하게 한다. 이 안테나 시스템은 Omega, VLF, Loran-C 주파수 범위를 커버한다.

안테나는 스틸로 유리섬유 구조이며, 휩(Whip), 연장 부분, 악세서리와 결합된다. 그립은 페인트 칠 돼 있는 알루미늄이다. 삽입관은 기후와 햇빛에 보호하기 위해 PVC로 되어 있다. 오토존데가 사용 될 때, 휩은 발사되는 풍선의 충돌을 막기 위해 일반적인 수직 상대적 위치로부터 대략 45°정도 벗어나 있다. 안테나 앰플리파

이어는 오토존데 컨테이너 내부에 설치된다. Low-pass 필터는 높은 파워의 트랜스미터 가까이 부가적인 보호를 위해 제공된다.

휩 안테나 대신에, 어떤 오토존데 모델에서는 VLF신호를 받기 위해 와이어 안테나가 장착되기도 한다. 이 경우, 안테나 구조물과 충돌한 풍선에 구멍이 날 가능성은 실제로 매우 적다. 와이어 안테나는 슬로퍼 안테나의 외양을 하고 있으면 발사 탱크로부터 컨테이너 가장 먼 곳으로 제거된 끝 부분에서 짧은 폴의 꼭대기에 공급 포인트가 있다.

- *GPS*안테나

오토존데 지역 GPS안테나 GA20타입은 오토존데 컨테이너의 지붕에 설치된다. 시그널은 저 손실 Coaxial케이블을 통해 GA45037 시그널 스플리터까지 송신되며, 이것은 GPS프로세서 MWG201과 혹은 GPS반복기 안테나GA45015까지 차례로 송신한다.

GPS반복기 안테나는 오토존데 발사 탱크 안에 설치되며 라디오존데예비 발사테스트를 위해 필요한 시그널을 제공한다.

7. 컨트롤 컴퓨터

컨트롤 컴퓨터 시스템은 퍼스널 컴퓨터 사용을 기본으로 하며 다양한 측정치를 제공하고 통제하며 모니터링 한다. 컴퓨터에는 고유한 “스케줄러”프로그램이 들어있다. 스케줄러는 일반적으로 산업적 통제를 위한 응용분야에서 사용되는 WINDOWS NT 멀티 프로세싱 작동 시스템을 기본으로 한다.

스케줄러는 오토존데 세트, 자동 기상 센터, 라디오존데 저장소, 준비 모듈, 그리고 풍선 가스 채우는 기기와 발사 모듈과 같은 다른 모듈과 유닛까지 Digiport I/O 연장선을 통해 명령을 발생시킨다. 그것은 또한 원거리 통제 터미널과 커뮤니케이션을 통제하기 위하여 사용된다. 기상 메시지는 국내 혹은 국외 네트워크를 통해 컨트롤 컴퓨터로부터 받게 된다.

이외에 컴퓨터는 모든 기상 데이터를 저장하고 일어날 수 있는 미래의 프로세싱을 위해 하드디스크의 기능(상태) 데이터를 저장한다. 분석 목적을 위한 광범위한 시스템 로그파일을 관리한다.

컨트롤 컴퓨터는 분석 목적을 위한 것과 장래의 용도를 위해 시스템 상태 데이터와 함께 기상 사운딩 데이터베이스를 저장한다. 기상 데이터는 모든 발생하는 메시지(일반적으로 TEMP, PILOT, STATUS), 10초 사운딩 데이터베이스, 표준 수준 데이터, 그리고 중요한 수준의 데이터로 구성디고, 선택적으로 실시간 raw data도 저장 할 수 있다.

8 원거리 제어 터미널

원거리 제어 터미널은 전형적으로 고층 대기 관측 장비를 통제하고 모니터 되는 곳에서부터 중심 위치에 설치된다. 원거리 통제 터미널은 모뎀을 통한 공공 전화선(혹은 데이터 라인)을 통해 오토존데 컨트롤 컴퓨터까지 연결된다. 대부분의 모뎀 데이터 네트워크가 사용된다.

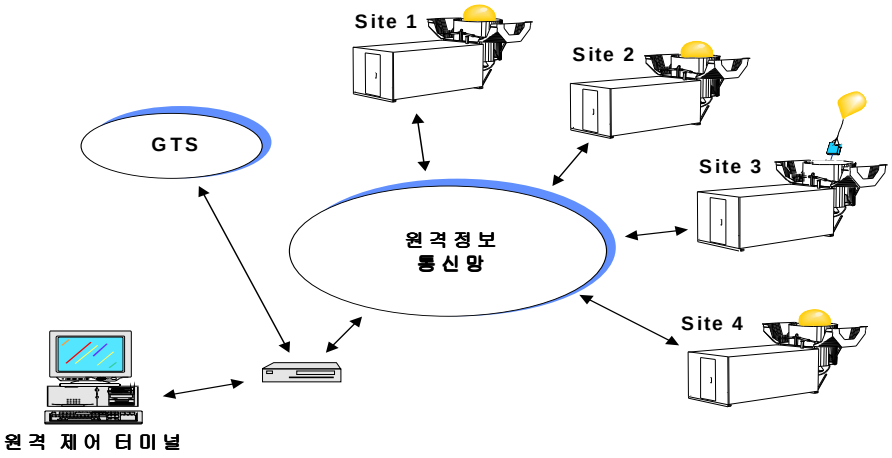

Fig. 2. Telecommunication network of Autosonde System.

이 터미널에서 오토존데의 모든 기능이 모니터 되고 통제된다. 만약 관측 스케줄에 수정이 필요해지면 원거리 컨트롤에 의해 가능하다. 몇 개의 오토존데시스템은 같은 원거리 통제 터미널에 의해 자동으로 모니터 될 수 있고 통제된다.

관측이 이루어지는 동안에 오토존데 세트의 기상데이터는 원거리 컨트롤 컴퓨터까지 전송된다. 이 데이터는 metgraph 그래픽 프로그램을 사용하여 디스플레이 된다. Metgraph는 데이터 분석 기능을 포함하고 중요한 포인트를 편집하는 것을 허용하고 필요하다면 TEMP/PILOT 메시지를 발생시킨다.

9. 사용자 인터페이스

운영자는 오토존데 user interface를 통해서 반자동과 자동으로 오토존데 시스템을 운영할 수 있다. 그래픽 운영자 인터페이스(graphic user interface)는 3가지로 구성된다.

●WORKBENCH : 운영자에 의해 제어되며 시스템 로그 서비스로 사용.

●METGRAPH : 실시간이나 과거 자료의 프로파일을 분석

●TEMP : 세계기상기구(WMO)에서 규정한 기상전문 형성

- 오토존데 사용자 인터페이스

오토존데 사용자 인터페이스는 오토존데 발사기를 매뉴얼대로 통제하는 것뿐만 아니라, 발사를 위한 존데 준비 업무를 다룬다. 사용자 인터페이스는 보다 쉬운 존데 로딩과 사운딩 스테이션 혹은 원거리 컨트롤 스테이션으로부터 전반적인 시스템 통제가 가능하도록 설계되었다. 자동 혹은 반자동 사운딩을 위해, 사용자가 수행해야 하는 바로 첫 번째 스텝은 풍선이 시스템 안으로 로드 되기 전에 사용할 존데를 준비하는 것이다.

예를 들어 존데 교정 계수는 이 단계의 각 개 개의 존데와 링크되어야 한다.

오토존데 사용자 인터페이스를 사용하는 것은 사용자가 하나 혹은 그 이상의 존데를 동시에 준비하고 “새로운 존데 저장소”에 그들의 파라미터와 같이 저장할 수

있다. 데이터베이스는 나중에 사용하기 위해 준비된 존데를 위한 모든 필요한 정보를 포함시키고 모든 사운딩 준비와 시스템 파라미터 데이터까지 원거리 접근을 가능하게 하는 네트워크 서버 프로세서로서 수행한다. 테스트 목적, 혹은 반자동 사운딩을 위해 사용자는 오토존데 user interface를 사용하여 오토존데 발사기를 통제할 수 있다.

오토존데 시스템 소프트웨어는 사용자가 시스템과 의사소통 할 수 있는 방식으로 간주하는 다른 몇 가지 프로토콜의 상태에 있을 수 있다.

주요 시스템 상태는 아래와 같다.

1) 사운딩을 위한 대기 : 시스템은 자동 상태에 있으며 다음 사운딩을 위해 기다린다. 상태 4까지의 전송은 오퍼레이터 명령에 의해 가능하다.

2) 사운딩 준비하기 : 사운딩 준비가 진행 중이다. 사운딩이 중단되지 않는 한 어떤 사용자도 접근할 수 없다.

3) 진행 중인 사운딩 : 사운딩이 중단되지 않는 한 어떤 사용자 접근도 허락되지 않는다.

4) 존데 로딩하기 : 시스템은 매뉴얼 모드 안에 있다. 사용자에 의해 다시 가능할 때까지 작동이 불안정하다.

시스템은 오토존데 발사기(오토존데 Control Process ATSOCOM.EXE)와 커뮤니케이션 할 수 있는 서버 프로세스를 포함한다. 이 과정은 사용자에 보이지 않는 순수 프로세스이며 오토존데 사용자 인터페이스 혹은 - 자동 상태에서 - 오토존데 시스템 스케줄러까지 발사기 컨트롤 서비스가 제공된다. 이들 프로그램 중 하나는 발사기 서비스 프로세스의 통제를 담당한다. 이 외에, 원거리 스테이션에서 통제되는 발사기 기능은 제한된다.

- 사운딩 워크 벤치*(SOUNDING WORKBENCH)*

사운딩 워크 벤치는 시스템의 마스터 사용자 인터페이스이다. 만약 요구된다면,

그것은 사용자 인터페이스의 다른 콤포넌트로 컨트롤되고 시작한다. 이는 시스템 로그 서비스로서 사용되며 그러므로 항상 시스템이 사람 오퍼레이터의 통제 아래 있을 때 작동해야 한다.

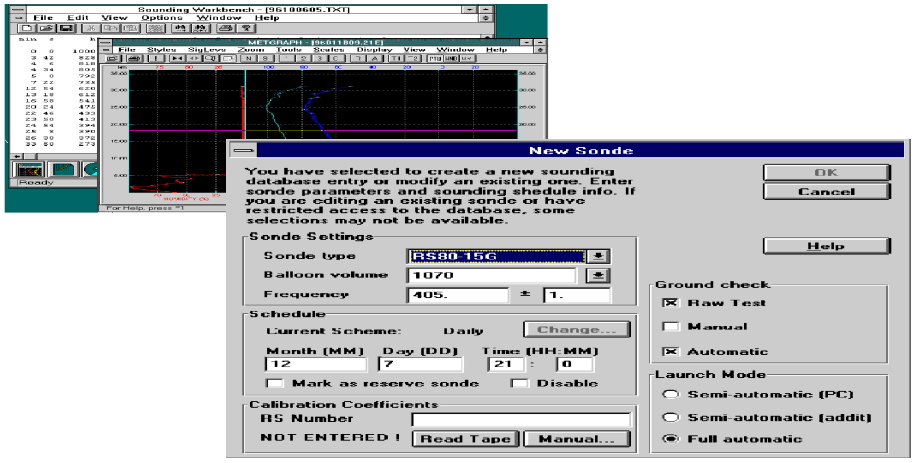

Fig. 3 Graphic user interface of Autosonde System.

원거리 시스템에서 작동될 때, 사운딩 워크벤치는 사운딩 스테이션으로부터 데이터를 받을 수 있고 볼 수 있다. 사운딩 스테이션으로부터 시스템 알람은 사운딩 워크벤치에 의해서 다루어진다.

-METGRAPH

Metgraph 프로그램은 수동적인 사용자 인터페이스이다(그것이 시스템 상태를 변경시키지 않는 때). 이 프로그램의 몇 가지 예는 모뎀라인이나 LAN을 사용하는 따로 분리된 컴퓨터로부터 현재의 사운딩을 연결할 수 있다.

Metgraph 프로그램은 과거의 상승이나 실시간에서 하나 혹은 그 이상의 사운딩 프로파일의 분석을 가능하게 한다.

-TEMP

TEMP 프로그램은 표준 WMO 기상 메시지를 실시간 자동 혹은 오퍼레이터의 통제 아래의 과거의 상승치 에서 발생시킨다.

오토존데 시스템을 위해, TEMP 프로그램은 그것이 가능할 때 자동으로 원거리 스테이션까지 기상 메시지를 보내는 특별한 모드를 포함한다. 메시지는 원거리 스테이션 오퍼레이터에게 전송되거나 더 멀리 전송될 수 있다.

또한, 만약 완전한 사운딩 데이터가 원거리 스테이션에서 자동으로 전송되거나 사용자의 요청에 의해서 발생하면, 메시지는 요구된 다른 파라미터와 함께 매뉴얼대로 발생된다. Metgraph 그래픽 분석 프로그램은 사운딩 프로파일에서 중요한 수준의 편집을 가능하게 하고 TEMP는 고객의 요구에 맞는 메시지를 작성하기 위해 이들 수정된 수준을 사용할 수 있다.

B. 오토존데 시스템의 특징

오토존데 시스템의 특징은 완전한 무인 자동고층 기상관측으로 i)양질의 고층관측자료 생산, ii) 다양한 관측 자료의 활용, iii) 작동 비용의 절감이다.

이 시스템은 컨트롤 프로세스에 있는 스케줄러 모듈은 자동기상관측장비, 레디오존데 발사 준비를 위한 트레이, 가스 주입, 발사 모듈에 DigiPort I/O를 통해서 제어를 하며 원격으로도 가능하다. 만약 운영자가 관측 장소에 없을 때, 원격제어를 통해서 스케줄을 수정할 수 있다.

오토존데 시스템의 장점은, 1) 관측지점에서 자료가공, 처리와 관측지점(at-site)에서 자료처리와 관련 메시지 생산하는 기능을 갖고 있어 질 높은 관측자료 생산할 수 있으며, 2) 현재 해남 국가 악기상 집중관측센터에서는 안전성을 고려하여 헬륨을 사용하고 있으나 상대적으로 저렴한 수소가스 사용이 가능하다는 점이다. 다만 수소가스 사용 시 엄격한 안전규칙 적용이 필요하다. 3)최소한의 설치 장소

요구된다는 점이다. 이는 최소한의 설치장소만이 필요하고 설치장소선정 및 이동이 용이하며 자동화된 풍선 가스주입시스템에 따른 공간 활용도가 높다는 것이다. 또한 타 관측과 독립적인 공간에 설치 가능하다. 4) 최대 24회의 완전 자동 무인 관측이 가능하고 매우 간편한 라디오존데 준비로 인해 최소한의 요구 인원이 필요하며, PC상에서 이루어지는 편리한 작동 준비와 라디오존데 마다 8분 이하의 준비시간 요구로 고층기상관측에서 요구되는 높은 수준의 숙련도를 필요로 하지 않다는 장점이 있다.

이러한 장점들로 인해 관측비용의 1/3로 인건비 추정이 4년 이하에 투자비용의 회수가 가능하다. 오토존데 시스템의 유지관리는 월 1/2일의 점검만이 필요하다도 또 하나의 장점이다.

오토존데 설치 국가는 1992년 오토존데 프로젝트 시작으로 1993년 프로토 타입의 작동 시연을 비엔나에서 하였고, 1993-1994년에 노르웨이와 스웨덴에서 시험하였다. 현재까지 오토존데 시스템을 보유한 국가는 34개국이며, 핀란드 Vaisala사에 2대가 운영 중에 있다.

- 스웨덴 2대 (1994년), 2대 (1996년)
- 오스트리아 원거리 발사체 3개 (1994년)
- 오스트레일리아 1대 (1996년), 3대 (1997년), 4대 (1998년), 3대 (1999년), 2대 (2000년)
- 프랑스 1대 (1996년)
- 캐나다 1대 (1997년)
- 독일 1대 (1997년), 1대 1999, 1대 (2000년)
- 노르웨이 1대 (1997년), 1대 (2000년)
- 핀란드 1대 (1998년)
- 영국 1대 (1998년), 2대 (1999년)
- 이탈리아 1대 (1998년), 1대 (1999년)

· 크로아티아 1대 (1999년)

· 한국 1대 (2002년)

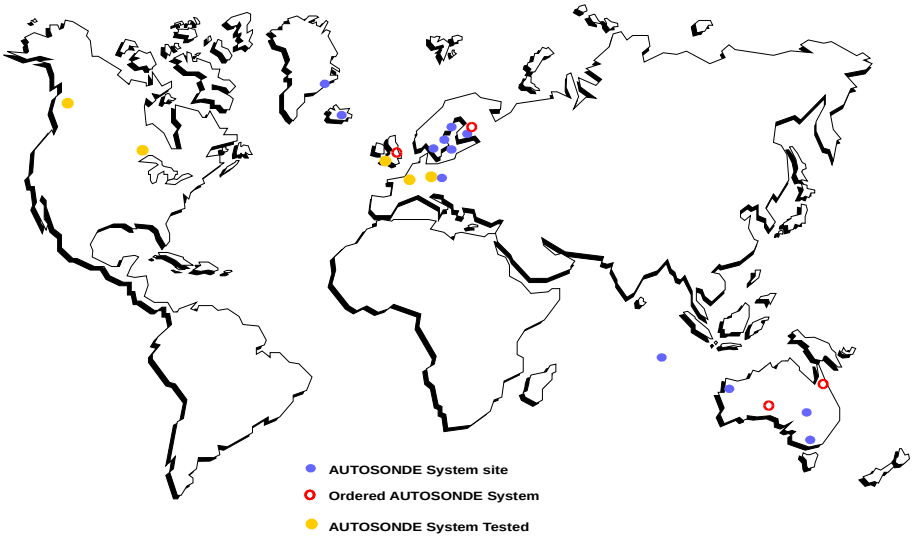

Fig. 4 Countries in the world in which Autosonde is installed.

Ⅲ. 오토존데를 이용한 고층관측 자동화 평가

A. 국가 악기상 집중관측센터*(KEOP)*

첨단 기상 관측 장비를 이용한 악기상 집중관측센터 구축을 위해서는 최적의 관측지점 선정이 무엇보다 중요하다. 이를 위하여 한반도로 북상하는 장마전선 활성화와 관련된 남서기류 유입과 태풍의 주 진로 상에 위치하고, 플럭스 관측을 위해 주변의 생태학적 조건이 균질하고 안정적이어야 하며, 존데를 이용한 고층관측을 위해 주변의 장애물이 없어야 하는 설립 조건을 고려하면서 한반도 남서지역에 위

치한 기상관서를 답사한 후 최적 장소로 해남기상관측소를 선정하였다.

최근 20년간 발생한 집중호우를 형태별로 분류한 결과에 해남을 중심으로 한 남서연안형이 존재하였다(조천호 등, 2002). 소백산맥의 남서쪽 끝자락에 위치한 해남기상관측소(34°33′ N, 126°34′ E)는 북쪽으로 흑석산(650 m), 서쪽에는 금강산(481 m) 등으로 둘러싸여 있고, 남서쪽 약 13 km 밖에 해안과 접하고 있다. 이러한 지리적 여건으로 말미암아 여름철 몬순기간동안 남서기류의 유입 시 지형에 의한 강수 발생 빈도가 다른 지역보다 높을 것으로 기대된다. 또한 해남기상관측소는 부지면적이 3,069 ㎡로 다른 기상관측소보다 넓은 편이므로 첨단 고가의 관측 장비의 관측소 내 설치가 가능하다는 잇점이 있다(Fig. 5참조).

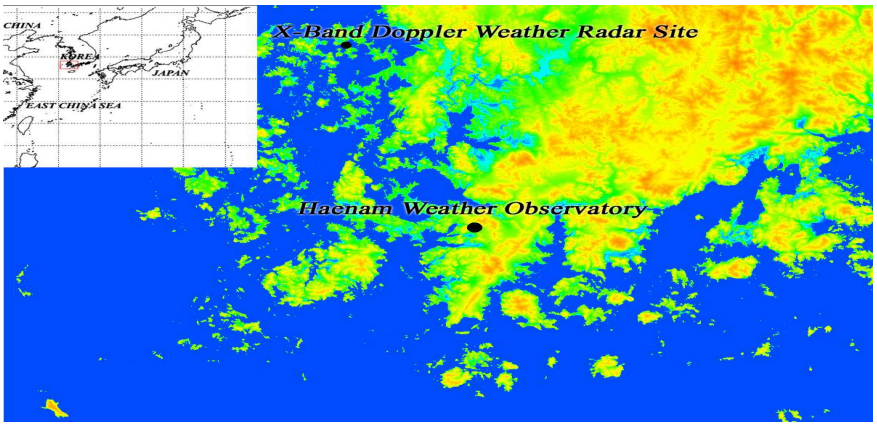

Fig. 5 Geographical locations of the Haenam Weather Observatory and the X-Band Doppler Weather Rader Site at Muan.

해마다 우리나라에서는 여름철 집중 호우와 관련된 기상재해로 인하여 인명 피해와 경제적 손실이 발생하고 있다. 기상재해의 경감과 악기상 발생·발달 기구 규명을 위하여 집중호우, 장마전선 및 태풍을 입체적으로 관측하고 감시하는 체계가 절실히 필요하다. 또한 집중관측 자료의 활용 기술을 개발함으로써 재해성 기상의 예보 능력을 향상시키는 기반도 확보해야 한다. 이러한 목적으로 2001년과 2002년에 걸쳐서 전라남도 해남에 국가 악기상 집중관측센터를 구축하였으며, 무인고층

기상 관측을 위하여 오토존데를 도입하여 설치하였고, 국제집중관측 사업인 CEOP (Coordinated Enhanced Observing Period)과의 연계추진을 위하여 지상의 현열, 잠열, 및 복사량을 관측하는 플럭스 관측 탑을 구축하였다. 또한 구름/강수특성 연구를 위해 마이크로 강우레이더와 광학강우 강도계를 설치하였으며 고해상도 연직 바람 관측을 위하여 윈드프로파일러를 도입하였다.

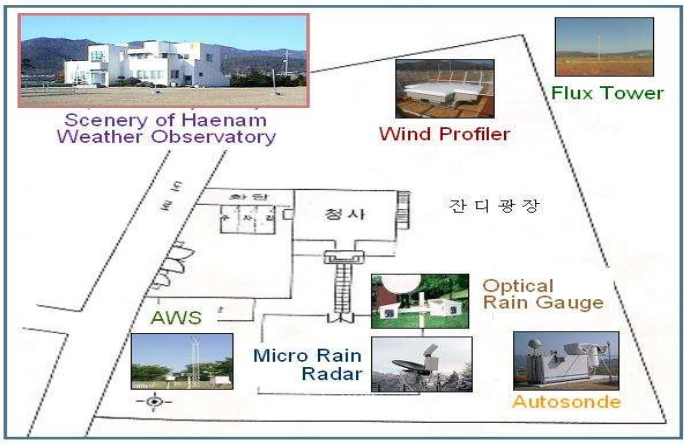

Fig. 6 The placement map of observing equipment at National Center for Intensive Observation of Severe Weather (Haenam Observatory).

2004년도에도 우리나라에서 발생하는 재해성 기상현상의 집중관측을 위하여 실시간 무인관측이 가능한 최첨단 관측 장비를 지속적이고 안정적으로 운영하였다. 집중관측 센터의 장비 및 배치도는 다음과 같다(Fig.6).

Table 1은 국가 악기상 집중관측센터에 설치된 장비들의 특성 및 활용을 나타낸 것이다. 먼저 핀란드 Vaisala사에서 개발한 무인 자동 고층 관측 장비인 오토존데는 2002년 1월에 설치하였다. 이 장비는 최대지상풍속이 20 m/s인 경우에도 관측이 가능하며, 1회에 24개의 라디오존데를 장착하여 무인자동고층관측을 수행한다. 2002년 12월에 설치된 일본 Sumitomo사의 1.3 GHz 윈드프로파일러는 1분 간격의 연직 바람자료 생산이 가능하다. 이들 고층 관측 장비들은 악기상 구조 및 발달 메커니즘을 규명하기 위해 시간 고분해능 고층 관측 자료를 생산하는 데 활용되고

있다. 구름물 함량, 강우낙하속도, 우적 크기의 분포를 측정할 수 있는 마이크로 강수레이더와 강우와 강설의 광학적 특성을 측정할 수 있는 광학 강우강도계는 2002년 5월에 설치되었으며, 이들 장비는 구름의 연직구조 분석, 집중호우의 강수 특성 분석에 활용하여 강수물리과정 개선에 기여하게 될 것이다. 에너지와 물 수지의 감시를 위하여 2002년 7월에 20 m 플럭스 관측 탑을 세워 다양한 플럭스 관측 자료를 생산하고 있다.

Table 1. Meteorological equipment installed at the National Center for Intensive Observation of Severe Weather.

No	*Meteorological Equipment*	*Observation Elements*	*Application*	*Installation*
1	1.3GHz-WPR (Sumitomo, Japan)	Wind direction, Wind speed	Producing one-minute profile of vertical and horizontal wind	December, 2002
2	Autosonde (Vaisala, Finland)	Pressure, Temperature, Relative humidity, Wind	Producing three-hourly upper-air observation data	January, 2002
3	Micro Rain Radar (Met-Tech, Germany)	Reflectivity, Rain rate, Liquid water content(LWC), Drop size distribution	Producing vertical profiles of rain rate, LWC and drop size distribution	May, 2002
4	Optical Rain Gauge (STCI, USA)	Rain rate	Producing information to distinguish between rain and snow and precipitation intensity	May, 2002
5	20m Flux Tower (ADTEC ,Korea)	Net radiation, Wind, CO_2 and H_2O concentration. Soil temp.	Producing sensible, latent, radiative fluxes over the land surface	July, 2002
6	X-Band Doppler Weather Radar (EEC, USA)	Reflectivity, Radial velocity, G-DR(Differential reflectivity)	Producing reflectivity and wind	November, 2002

국가 악기상 집중관측센터의 운영체계는 첨단 관측 장비를 이용한 악기상 집중관측 자료를 생산하여 수치예보 모델의 초기자료와 기상연구소 자체 악기상 분석 연구에 활용하고 악기상 감시시스템 운영으로 이루어져 있다(Fig. 7). 또한, 기상연구소는 첨단 관측 장비를 원격제어하고 장비성능을 상시 감시하며, 오토존데와 윈드프로파일러의 원격제어 및 표출 시스템은 기상연구소 예보연구실에서 운영 중에 있으며, 광주지방기상청 예보관 실에 오토존데 표출시스템이 설치되어 있다.

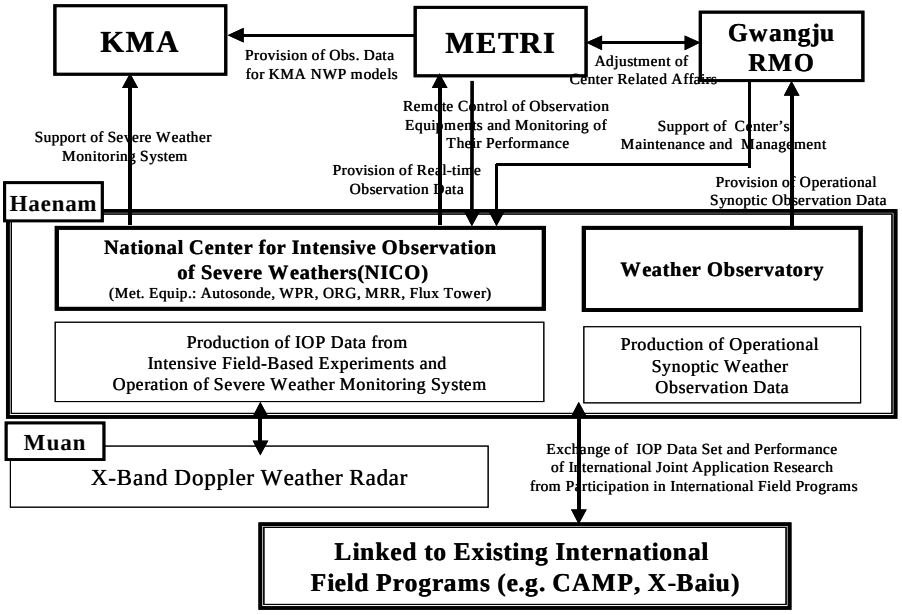

Fig. 7 Operational structure of the National Center for Intensive observation of Severe Weather(NCIO).

B. 기상연구소 오토존데*(METRI/KMA)*의 규격

- 시스템 보관 컨테이너 : Radiosonde 저장과 준비, 탐측시스템, 제어용 컴퓨터, 로보틱스
- 안테나 및 통신시스템 : UHF
- 크기 : (L)4.9m×(W)2.4m×(H)2.5m(Balloon 적재 시 3.7m)
- 성능 : 무인자동고층기상관측
- 관측 가능한 최대풍속 : 20m/s
- 무게 : 2.5톤
- 가스 측정 장치 : 원격 통제 및 관리
- Balloon 수 : 24개
- Balloon Launch 모드 : 완전자동, 반자동, 와이어 제어

Fig. 8 METRI autosonde system in Haenam.

C. 고층관측 자동화 평가

*1. 2002*년도 운영결과 및 관측성능

○ 월별 계절별 관측 횟수

오토존데가 2002년 1월 해남 국가 악기상 집중관측 센터(KEOP)인 해남기상관측소에 설치되어 1년간 운영하였다. 1년 동안 운영하면서 총 관측횟수는 301회 부양하였다.

월별 관측횟수를 보면 7월이 96회(32%)로 가장 많았으며 계절별로는 태풍, 호우 등의 악기상이 많이 발생하는 여름철에 165회(55%)로 가장 높은 관측횟수를 기록했으며 가을, 겨울, 봄의 순이었다.

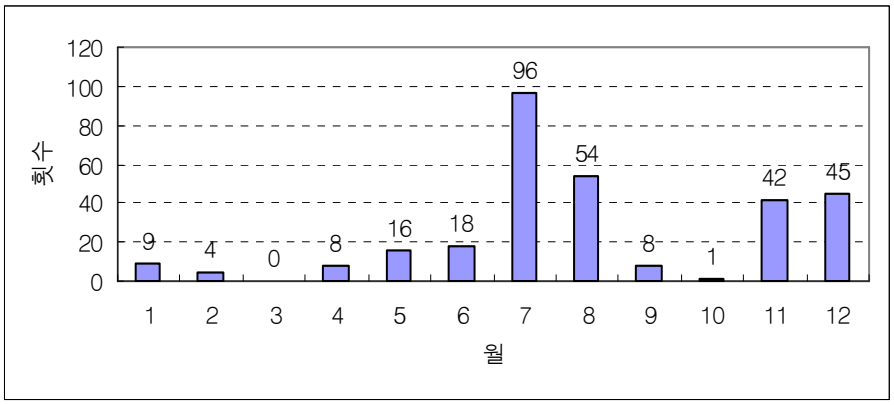

Fig. 9 Numbers of autosonde observations per month in 2002.

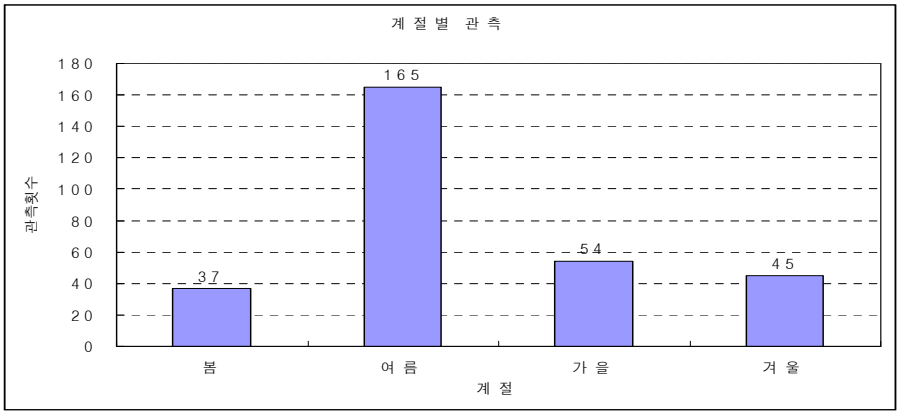

Fig. 10 Same as in Fig. 9 except for season in 2002.

○ 이용 목적별 관측횟수

오토존데가 설치된 후 안정적인 관측자료 수집을 위하여 시험운영기간(1월 15일~8월 26일)동안 61회(20%) 부양하였고 여름철 집중 관측 기간동안 63회(21%)의 관측횟수를 기록하였다.

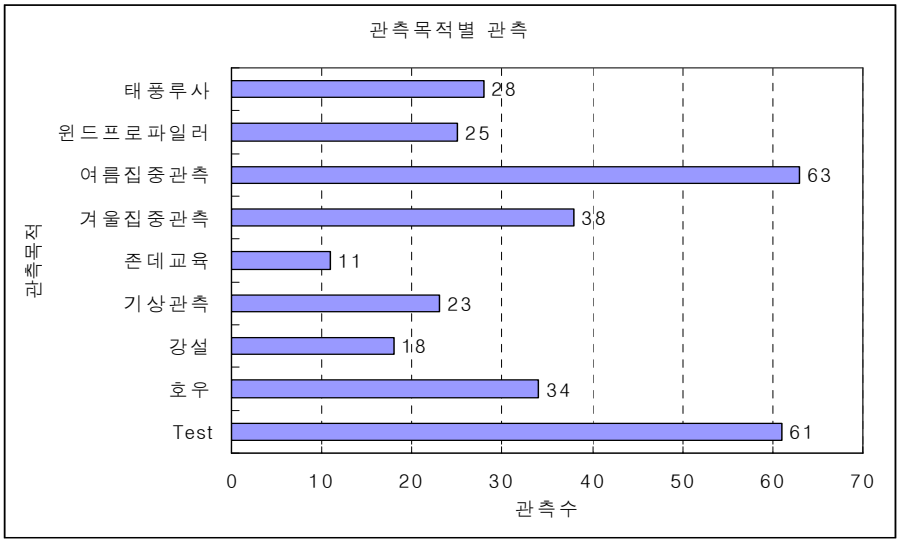

Fig. 11 Same as in Fig. 9 except for purpose in 2002.

■ Balloon의 사용내역

○ Balloon의 무게별 관측횟수

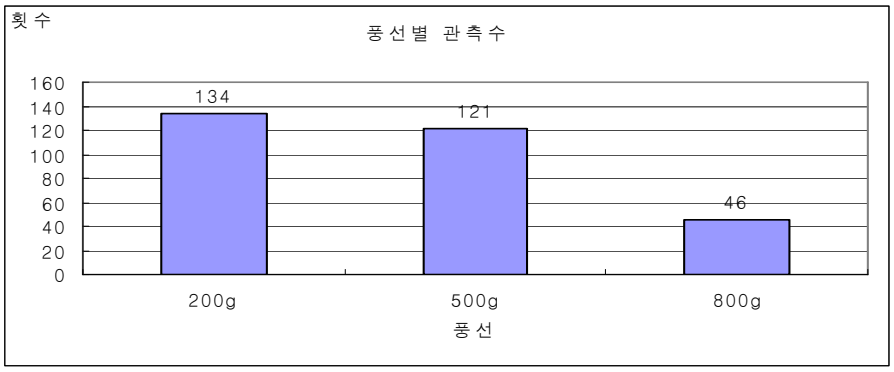

Fig. 12 Same as in Fig. 9 except for balloon type in 2002.

2002년 1년 동안 사용한 Balloon은 200g이 134회로 가장 많이 사용하였으며 800g은 46회로 관측횟수가 적었다. 그 이유는 2002년도에 오토존데가 첫 도입되면서 200g의 풍선을 가장 많이 들여왔기 때문이다.

■ Balloon 관측고도

○ 무게별 관측고도

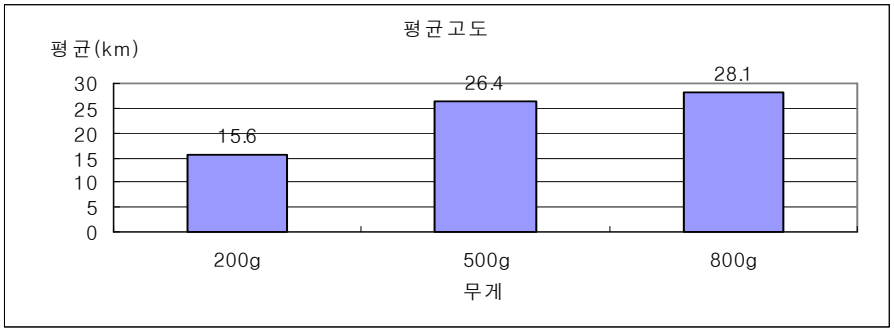

Fig. 13 Mean observation height per balloon type in 2002.

Balloon 무게별 관측고도는 800g의 관측고도가 가장 높은 28.1㎞이었고, 200g은 15.6㎞의 관측고도를 나타냈으며, 전체 평균 관측고도는 23.4㎞이었고, 최고 관측고도는 33.9㎞이었다. 800g Balloon의 관측고도가 높은 이유는 무엇보다 많은 가스양의 사용과 풍선의 크기가 크기 때문에 가장 많이 올라간 것으로 사료된다.

○ 목적별 관측고도

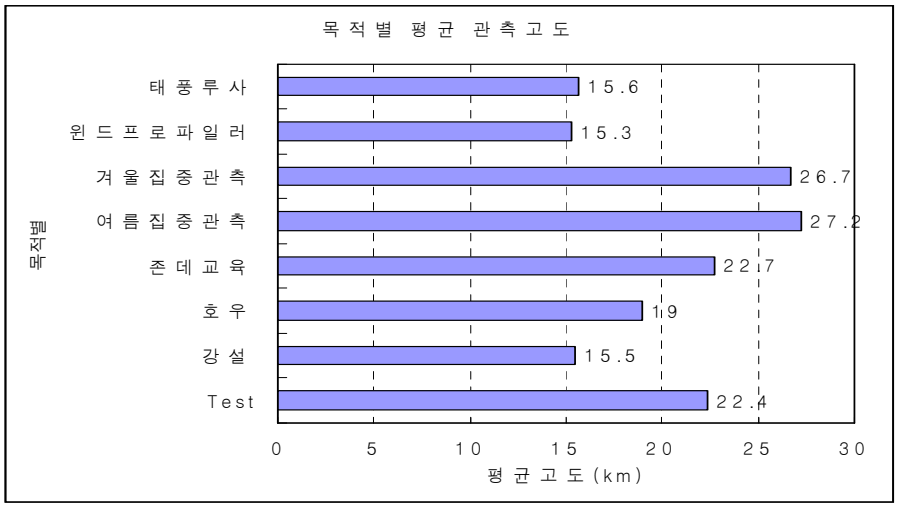

Fig. 14 Same as in Fig. 13 except for purpose in 2002.

2002년 동안 오토존데 관측 목적별 관측고도를 살펴보면, 여름철 집중관측 기간 동안 Balloon은 500g, 800g을 사용하여 관측고도가 27.2㎞ 높았으며, 윈드프로파일러와의 비교 관측 시에는 200g을 사용하여 관측고도가 15.3㎞로 낮게 나타났다.

○ 계절별 관측고도

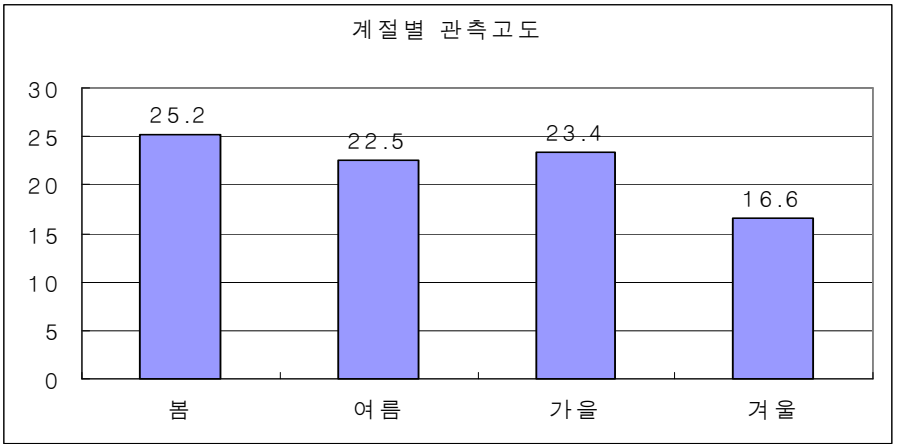

Fig. 15 Same as in Fig. 13 except for season in 2002.

2002년 동안 오토존데의 계절별 관측고도에서는 봄철 800g의 Balloon을 많이 사용하여 관측고도가 높게 나타났으나 겨울철 200g을 사용량이 많아 관측고도가 가장 낮았다.

■ 헬륨의 사용량

2002년에 헬륨 가스 사용량은 131 봄베를 사용하였으며, 평균적으로 1회 관측당 약 0.44봄베가 사용되었다(131봄베*80,000원= 10,480,000원).

■ 오토존데 운영의 주요 고장 발생원인 및 해결책

○ 오류 발생별 건수

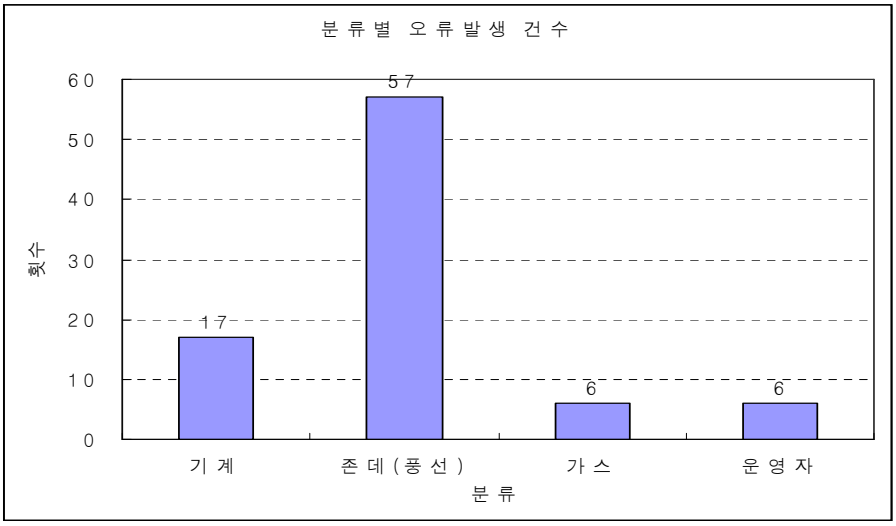

Fig. 16 Numbers of Autosonde observation error per cause in 2002.

○ 월별 오류 발생건수

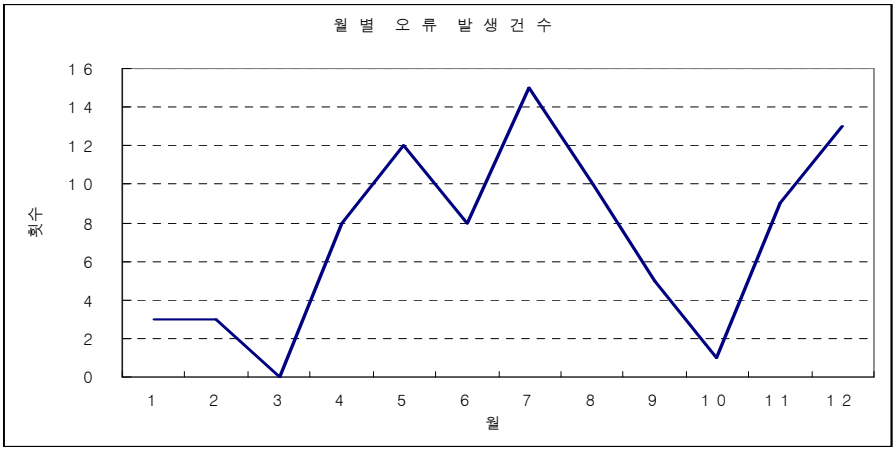

Fig. 17 Same as in Fig. 16 except for month in 2002.

○ 오류 발생과 해결방안

Table 2. Autosonde observation error and its solution method.

종류	오 류	횟수	발 생 내 용	해 결 방 안
기계	LAUNCHER in error state	16	발사를 할 수 없는 경우	service mode에서 set up 실시
	Serious system error	1	Tray, 실린더가 작동하지 않는 경우	“
센서 & 풍선	Sonde does not activate	4	라디오존데의 전원이 없는 경우	spare sonde 사용
	Bad sonde	8	존데가 불량인 경우	“
	Maximum interpolation time	23	13분 동안 자료를 받지 못하는 경우	“
	No free frequency found	5	존데 주파수를 찾지 못하는 경우	“
	Raw PTU timeout	17	Raw PTU 시간을 받지 못하는 경우	“
가스	Pressure does not decrease	4	가스 압력이 올라가지 않는 경우	가스교체
	No gas	2	가스가 없는 경우	“
운영자	Too old sounding	4	너무 오래된 사운딩 시간	calibration time
	Manual abort received	2	운영자가 필요로 기계를 정지시키는 경우	사전점검

2002년 오류 내용은 Table 2와 같지만 강풍을 동반하는 태풍 루사와 같은 경우 풍선이 비양하지 못하고 오토존데 내부에서 터져버리는 문제가 발생 할 수 있다. 이러한 경우 해결방안을 모색하여 보았다.

풍선이 채워지는 동안 터지면 사운딩 프로그램은 발사 후에 압력이 줄어들지 않는 지 감지하고 프로그램은 저장된 존데를 사용하여 새로운 존데로 비양 절차를

수행할 것이다. 비슷한 경우지만 적외선 센서를 덮고 터진 풍선에서는 프로그램은 알람 코드A19(Table 4)를 표시한다.

풍선이 터져있을 때 다시 비양을 시도한다면 트레이가 로봇실로 들어갈 때에 풍선의 걸림 현상이 일어날 것이다. 그때 풍선은 발사 해치 아래에 걸려 있을 것이다. 그러면 다음 사운딩 동안 회전 테이블은 회전할 수가 없다. 왜냐하면 풍선이 회전을 막기 때문이다. 이러한 경우 실패 F160(Table 4)이 될 것이고, 또는 F140(Table 4)이 될 것이다.

이와같은 문제를 해결하는 방법은;

1) PC : atsoGUI로부터 tool과 service를 선택하고(모드는 service로 변경) open 버튼을 눌러 발사뱅크 뚜껑을 연다.
2) 발사뱅크 밑으로 가서 작은 창구멍이 있는 것을 통해 풍선 상태를 확인한다.
3) 발사뱅크 밑에 있는 커버를 연다(수소를 사용 시에는 안전복과 안경을 쓰고 그라운딩 등을 한다. 모든 걸쇠가 열리면 경첩에서 커버가 떨어질 것이라는 것을 주지한다).
4) 풍선의 위치를 관찰한다.(풍선의 일부분이 발사 해치 아래에 걸려있음.)
5) 쉘터 안으로 들어가 로직 컨트롤러의 문에 있는 “Emergency”버튼을 누른다.
6) 로봇실의 문을 열고 들어가서 풍선의 상태를 검사한다.
7) 적정한 방법을 적용해서 풍선을 제거한다.
8) 로직 컨트롤러에 있는 “Emergency”버튼을 푼다.
9) PC : setup 버튼을 누르고(시스템 검사가 약 2분 정도 걸림) 서비스 모드를 나간다.
10) 풍선발사대 아래의 커버를 닫고 시스템은 다음 작업을 위해 준비한다.

2. 오토존데 가스 및 풍선 이용에 관한 관측성능

1) 년별 관측횟수 및 가스사용

2002년도부터 2004년까지의 관측횟수에 대한 가스 사용량(Fig 25참조)을 알아보았다. 풍선크기와 가스 사용량에 따라 가스 사용량은 다소 차이가 나지만 평균적으로 풍선 1개 당 0.45봄베를 사용하였다.

2002년에는 개당 0.44봄베의 가스를 사용하였고, 2003년에는 0.48봄베를 사용하였으며, 2004년에는 0.43봄베를 사용하였다.

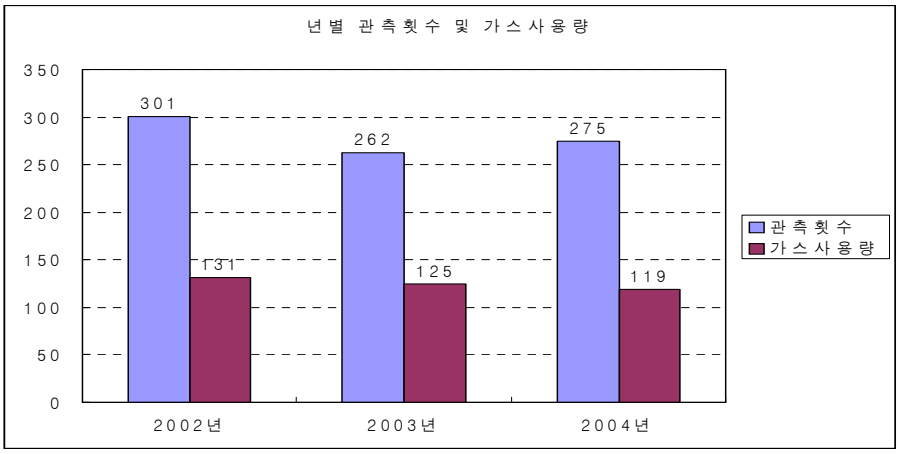

Fig. 18 Number of autosonde observation per gas amount from 2002 to 2004.

2) 풍선크기에 관한 가스사용과 고도

수소 풍선의 경우 최적 상승률인 320m/min을 만족시키기 위해, TOTEX 풍선 형태 및 크기에 따른 대략적 수소 량을 Table 3에 나타내었다. 여기서 나타낸 양은 Vaisala Loran-C 라디오존데 기준이며, GPS 라디오존데의 경우 100리터를 더 넣어야 한다. 명심할 것은 여기서 표시한 양은 대략적인 값이어서 지역에 따라서 조정될 수 있다.

각 풍선 크기에 따른 일반적인 폭발 고도를 Table 3에 나타내었다. 폭발고도는 풍선보관기간, 풍선조작, 가스양, 대기의 연직 온도구조에 따라 의존한다. 이것은 폭발고도의 정확한 값을 나타낼 수 없는 이유이다.

Table 3. Autosonde sounding balloons.

종류	풍선크기	가스양(*liters*)	고도(*km*)
천연고무 (*latex*)	TA200	1200	16~21
	TA300	1400	18~24
	TA350	1500	19~25
	TA500	1800	20~28
	TA600	2000	22~30
	TA700	2200	23~31
	TA800	2400	24~32
인조고무 (*chloroprene*)	CR350	1700	20~26
	CR500	2000	22~28
	CR600	2200	23~30
	CR700	2400	24~31
	CR800	2600	25~33

3. 태풍 및 장마에 대한 운영결과 및 관측성능

2002년 8월 30일~9월 1일에 발생한 태풍 루사 관측 시에 200g풍선을 사용하였으며, 26회를 관측하였다(Fig. 19). 그중 최고관측고도는 20.4km가 관측되었고 그때 최대 풍속은 8.3km이었으며, 최저관측고도로는 6.2km가 관측 되었다. 평균 관측고도로는 15.6km가 관측 되었으며, 루사 관측 당시 최대풍속은20.3km가 관측 되었다. 최고관측고도는 Table 3에서 나올 수 있는 평균거리이다. 그러나 최저관측고도는 평균거리와는 상당한 차이가 있었다. 그 원인은 Table 2에서 “Maximum interpolation time”라는 오류로 라디오존데의 에러일 가능성이 높다.

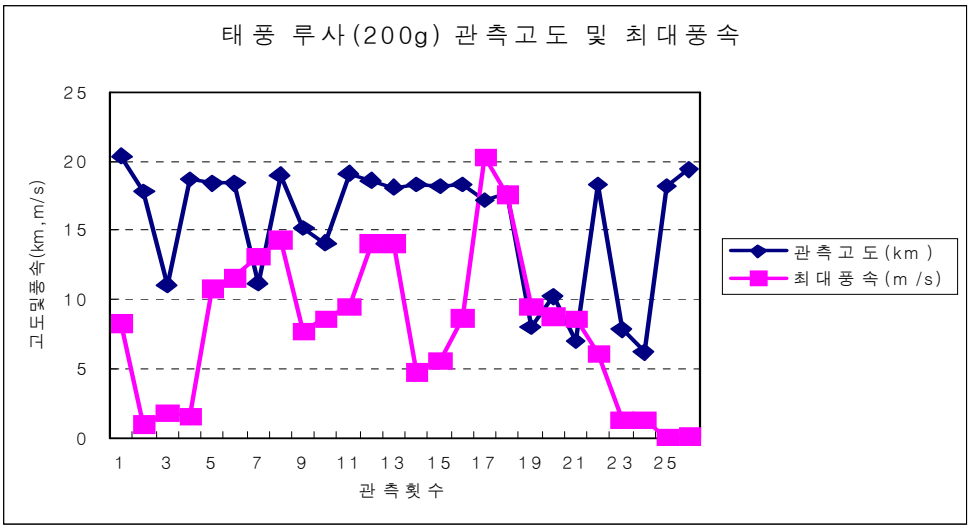

Fig. 19 Maximum height and maximum wind speed observed by Autosonde at surface level during typhoon Rusa(0215).

2003년 09월 09~12일에 발생한 태풍 매미 관측 시에 500g풍선을 사용하였으며, 13회를 관측하였다(Fig. 20). 그 중 최고관측고도는 32km가 관측되었고 그 때 최대풍속은 0.9km이었으며, 최저관측고도로는 15.7km가 관측되었다. 평균관측고도로는 26.8km가 관측되었으며, 매미 관측 당시 최대풍속은 9.6km가 관측 되었다. 최고관측고도는 Table 3에서 나올 수 있는 평균거리보다 오히려 더 높게 나타났다. 그 이유는 바람이 많이 불지 않아 더 높은 고도를 유지한 것으로 생각된다. 그리고 최저관측고도는 15.7km로 다소 평균거리를 유지 하지 못하였다. 태풍의 바람에 의한 영향 일 것으로 사료된다.

2004년 07월 03일~07월 06일에 발생한 태풍 민들레 관측 시에 500g풍선을 사용하였으며, 24회를 관측하였다(Fig. 21). 그 중 최고관측고도는 28.6km가 관측되었고 그 때 최대풍속은 6.5km이었으며, 최저관측고도로는 4.6km가 관측되었다. 평균관측고도로는 24.2km가 관측되었으며, 민들레 관측 당시 최대풍속은 22.2km가 관측 되었다.

최고관측고도는 Table 3에서 추출한 평균고도이다. 그러나 최저관측고도는 평균거리와는 상당한 차이를 볼 수 있다.

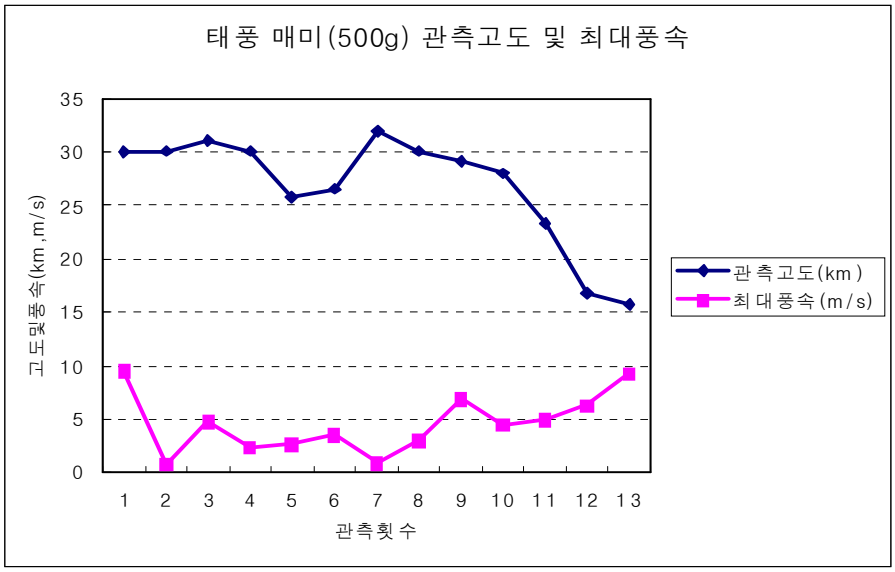

Fig. 20 Same as in Fig. 19 except for typhoon Maemi(0314).

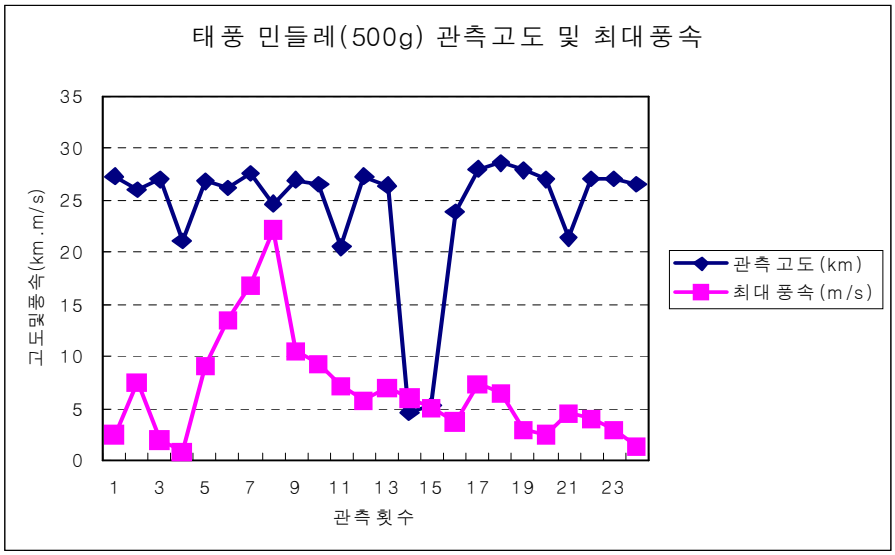

Fig. 21 Same as in Fig. 19 except for typhoon Mindulle(0407).

그 이유는 Table 2에서 “Maximum interpolation time”라는 오류로 라디오존데의 에러일 가능성이 높다.

2004년 06월 18일~07월 24일에 발생한 장마는 관측 시에 500g풍선을 사용하였으며, 100회를 관측하였다(Fig. 22). 그 중 최고관측고도는 32.2km가 관측되었고, 그 때 최대풍속은 10.6km이었으며, 최저관측고도로는 2.4km였다.

평균관측고도로는 25.2km였으며, 장마 관측 당시 최대풍속은 16.8km가 관측 되었다. 그러나 최저관측고도는 평균거리와는 상당한 차이가 있다. 그 이유는 Table 4에서 “Power failure”라는 오류로 라디오존데의 배터리 고장일 가능성이 높다.

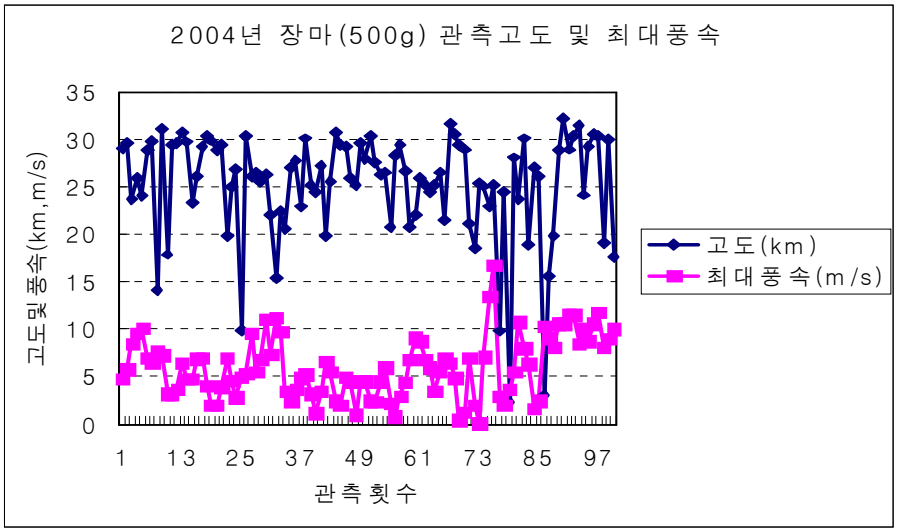

Fig. 22 Same as Fig. in 19 except for Changma period in 2004.

2005년 06월 18일~07월 19일에 발생한 장마는 관측 시에 600g풍선을 사용하였으며, 147회를 관측하였다(Fig. 23). 그 중 최고관측고도는 35.7km 였고, 그 때 최대풍속은 5.8km이었으며, 최저관측고도는 4.9km였다. 평균관측고도는 29.3km였으며, 장마 관측 당시 최대 풍속은 21.1km였다. 최고관고도는 평균거리(Table 3) 이상의 높은 고도까지 올라갔다. 그러나 최저관측고도는 평균거리와는 상당한 차이가 있었

다. 이는 Table 2에서 “Maximum interpolation time”라는 오류로 라디오존데의 에러일 가능성이 높다.

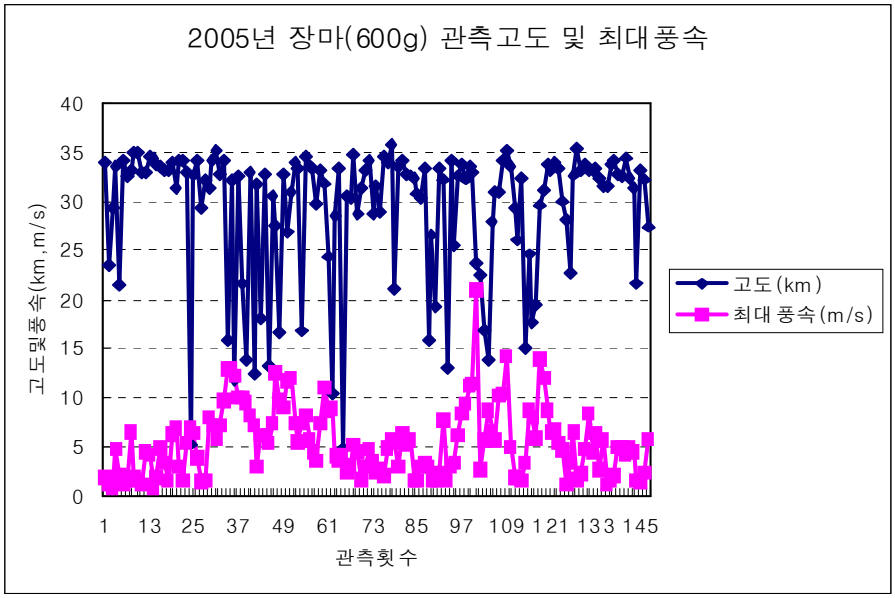

Fig. 23 Same as in Fig. 19 except for Changma period in 2005.

2004년 02월 03일~02월 07일에 발생한 폭설은 관측 시에 500g풍선을 사용하였으며, 15회를 관측하였다(Fig. 24). 그 중 최고관측고도는 26.2km였고, 그 때 최대풍속은 11km이었으며, 최저관측고도는 8.8km였다. 평균관측고도로는 19.4km였으며. 폭설 시 최대 풍속은 17.1km까지 관측 되었다. 평균고도보다 최저관측고도가 낮은 이유는 Table 4에서 “Raw PTU timeout”라는 오류로 센서 에러일 가능성이 높다.

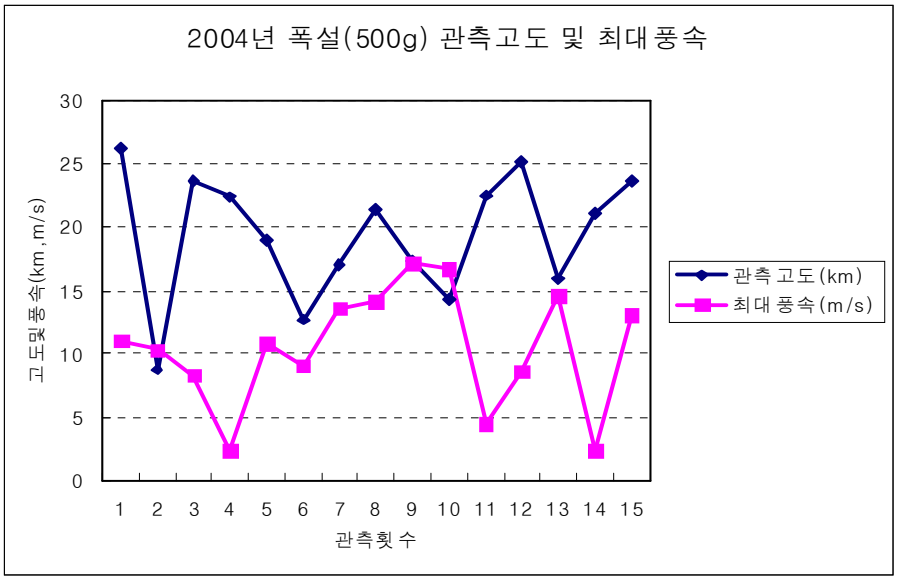

Fig. 24 Same as in Fig. 19 except for heavy snowfall in 2004.

2005년 01월 31일~02월 04일에 발생한 폭설은 관측 시에 600g풍선을 사용하였으며, 19회를 관측하였다(Fig. 25).

그 중 최고관측고도는 33.5km였고, 그 때 최대 풍속은 8.6km이었으며, 최저관측고도로는 5.2km였다. 평균관측고도는 20.6km였으며, 장마 관측 당시 최대풍속은 17.7km였다. 최고관측고도는 평균고도(Table 3)보다 다소 높게 나타났고, 평균고도보다 최저관측 고도가 낮은 이유는 Table 4에서 “Raw PTU timeout”라는 오류로 센서 에러일 가능성이 높다.

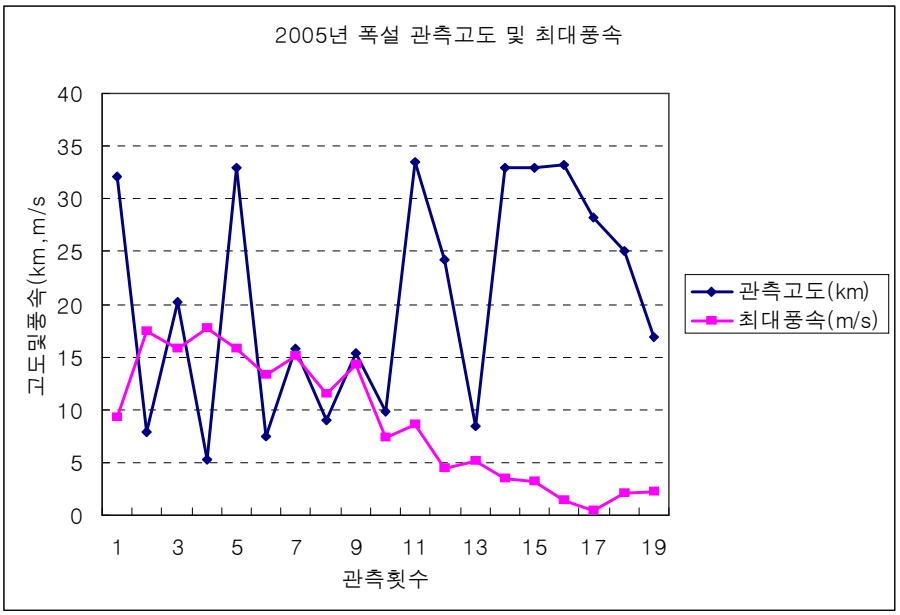

Fig. 25. Same as in Fig. 19 except for heavy snowfall in 2005.

4. 오토존데 주요 고장 원인 및 해결방안

오토존데를 2002년 1월에 설치하여 2006년 현재까지 사용되면서 가장 많이 발생되었던 주요 고장 부위와 그 원인 그리고 고장 후 발생현상, 해결방안을 제시하였다.

○ 가스 압력계

가스의 압력을 조절해주는 부위로 고장원인으로서는 빗물에 의한 부식과 사용자의 운영 미숙이라 할 수 있다(Fig. 26).

고장 후 발생현상으로는 가스의 외부 누출과 풍선에 가스가 잘 주입이 안 되는 현상과 가스통에 가스가 없는 걸로 표시되어 관측이 중지 되는 현상 등을 볼 수 있다.

Fig. 26 Gas manometer.

예방 및 해결방안으로는 빗물을 막기 위한 시설을 설치해주어야 하고, 사용자가 가스 압력 조절 방법을 숙지해야하며, 외부인의 접근을 방지해야하고, 예비 게이지를 준비해서 교체하는 방법과 사용자의 철저한 점검과 너트 조심 부위를 잘 살피는 것이 중요하다.

○ 가스 노즐

가스통과 가스 배관사이를 연결해 주는 부위로 고장원인으로는 빗물에 의한 부식과 너트 파손으로 인한 접촉 불량 그리고 외부 충격에 의한 휨 현상 등을 볼 수 있다(Fig. 27).

고장 후 발생현상으로는 가스의 외부 누출과 가스의 소비량이 고장 전에 비하여 증가한다는 것이다.

예방 및 해결방안으로는 빗물을 막기 위한 시설을 설치 해주워야 하고, 너트 파손인 경우 예비 너트를 미리 준비하여 교체해주는 것과 외부인의 접근을 방지하고, 사용자가 미리 거품으로 점검해두어야 한다.

Fig. 27 Gas nozzle.

○ 트레이

풍선과 센서를 설치하는 트레이(Fig. 28)는 24개로 되어있는데, 고장원인으로는 트레이 이동 시에 너트 조임이 불량할 경우와 사용자의 운영 미숙 그리고 트레이가 뱅크로 이동 할 때에 충격으로 인하여 틀이지는 경우이다.

고장 후 발생현상은 너트 조임이 불량일 경우에 트레이가 회전하면서 심하게 떨림 현상이 발생한다. 그리고 트레이가 벽면에 걸려 회전이 안 되는 경우도 있다. 또 한 뱅크로 나갈 때 고정 부위에서 벗어나는 경우와 배터리에 물주입이 안되는 현상과 심할 경우 관측까지 중단되기도 한다.

예방 및 해결방안으로는 사용자가 점검 시에 트레이가 흔들리는지 확인하고 트레이에 풍선을 장착하고 집어넣을 때 확실히 들어갔는지 점검해야하고 트레이가 틀어진 경우 뒷부분에 고정나사를 풀어서 다시 조정하여야 한다. 또한 트레이가 잘 이동할 수 있도록 윤활유 및 기름칠을 잘 해주어야 하며, 트레이에 설치되어 있는 고무 물 주입구가 부식되었을 경우 교체를 해주어야 한다.

Fig. 28 Tray.

○ 콤프레셔

콤프레셔(Fig. 29)는 트레이 이동 및 물 주입 등 관측 시에 전기적으로 운행되는 것이 아닌 공기압력으로 운행되기 때문에 중요 운영 장치의 한 부분이다.

고장원인으로는 장비의 노후화 그리고 사용자의 운영 미숙이 있다. 고장 후 발생현상은 공기압력이 채워지지 않아 관측이 중단된다. 예방 및 해결방안으로 콤프레셔가 정상 작동 하는지 사전 점검과 테스트가 필요하며 보조 콤프레셔의 작동 유무도 함께 확인 하여야한다. 그리고 고장 시에는 바로 교체하도록 한다.

Fig. 29 Compressor.

○ Flow meter

가스 공급 장치의 일부분으로 가스 압력계에서 주입된 가스를 일정 압력으로 일정 압력으로 조절하여 가스를 주입하는 가스 조절 부위이며, 고장원인으로는 장비의 노후화와 일정한 가스 압력 이상으로 주입될 경우 발생된다(Fig. 30).

고장 후 발생현상은 가스통에 가스가 채워져 있는데도 없는 걸로 표시되는 현상과 가스 압력이 떨어지고, 풍선에 가스 주입 시에 적은 량만이 주입이 되기도 하고 가스 주입이 불가능한 경우도 있다.

예방 및 해결방안으로는 풍선에 가스 주입량이 적을 시에 확인 조치하고, 정기점검 시에 필히 확인하도록 하며, 덮개를 벗기고 가스압력을 조정할 수 있는 조정나사를 조정할 수 있고, 조정나사를 통해 조정이 불가능할 경우 해당업체에 연락을 취해서 빠른 조치가 되도록 한다(국내에서는 생산이 불가능하므로 많은 시간이 소요됨.).

Fig. 30 Flow meter.

○ 물 저장 케이스

배터리에 물 주입을 위한 물 저장 케이스(Fig. 31)로 고장원인으로는 물통에 벌래 및 이물질이 주입구를 막을 경우와 물통 청소가 미흡하거나 물이 너무 적거나 많을 때 발생한다.

고장 후 발생현상은 배터리에 물 주입이 되지 않는다.

예방 및 해결방안으로는 물때 청소 및 이물질을 제거해주며, 물을 적당량 채워주고, 이물질이나 벌래 때문에 막혔을 경우 배관을 교체해줘야 하는 경우도 있다.

Fig. 31 Water storage case.

○ 테이프리더기 및 보정센서

센서테이프를 읽는 리더기 및 센서를 보정해주는 보정센서(Fig. 32)로서 고장원인으로는 장비의 노후화와 배터리 방전 그리고 리더기 내에 이물질이 들어갔을 경우와 외부의 충격에 의한 파손 등을 들 수 있다.

고장 후 발생현상은 리더기에 불이 들어오지 않을 수 있고, 보정센서의 값이 표시되지 않는 경우와 테이프가 읽어지지 않는 경우도 있다.

예방 및 해결방안으로는 트레이 아래에 설치된 배터리 전압을 체크 후 일정 전압보다 낮은 경우 교체를 해주어야 하며 리더기 속에 이물질을 제거해주고 보정센서를 교체해주어야 한다.

Fig. 32 Tape reader and correction sensor.

5. 오토존데 종결 원인과 오류코드

오토존데에는 오류에 의한 종결 메시지와 정상적인 관측을 통한 메시지가 있다. 대부분은 오류에 의한 종료이다. 이러한 오류에 의한 종결 메시지를 통해서 오토존데의 고장 유무도 확인할 수 있다. 이러한 종결 메시지는 diary.txt에서 확인할 수 있다.

스케줄이 잡힌 사운딩 타임이 도달했을 때, 스케줄러는 매시간 사운딩 diary.txt 파일을 업데이트 한다.

오류코드는 어떤 오류가 발생할 경우 오토존데에서 3가지 종류(Warnings, Alarms, Failures)의 오류코드에 의해 문제의 성질을 경고한다.

경고는 시스템의 계속적인 작동을 막는 비정상적인 상태의 어떤 상태를 나타내는 메시지이다. 경고는 서비스 직원에 의해 해결될 수 있다.

알람은 사용자(운영자나 서비스 직원)가 무엇인가를 하도록 해야 한다는 메시지이다. 가스통이 교환되는 것을 제외하고는 알람은 시스템을 수리하는 것 없이 해결

될 수 없다.

실패는 시스템이 멈추었다는 것을 가리키는 메시지이다. 시스템은 새로운 작동이 가능하기 전에 수리되어야 한다. 실패코드는 Table 4의 표준 작동 실패와 서비스 작동 실패로 나누어진다.

Table 4. Cause of termination recorded in Autosonde diary.

종 결 원 인	개 요	이 유
Increasing Pressure	풍선폭발	일반적인 이유
Bad sonde	그라운드 체크 시 라디오존데 센서와 GC 참조사이의 차이가 너무 큰 경우.	라디오존데 교정이 한계를 넘거나 존데센서가 고장 난 경우.
LAUNCHER in error state	발사를 할 수 없는 경우(시스템상의 심각한 에러.)	로직의 실패, 상세한 정보를 위해서 로컬 시스템의 로그 파일을 봄.
Manual abort received	사용자가 데이터를 받고 있거나, 띄우기 전에 지울 경우.	운영자가 사운딩을 종결할 경우.
Maximum interpolation time	데이터를 받는 도중 13분이 지나도록 데이터가 끊어질 경우.	비행동안 원격측정 또는 라디오존데 에러.
No free frequency found	전파방해나 안테나 이상으로 존데 주파수를 찾을 수 없는 경우.	같은 주파수대에서 다른 존데 주파수와 충돌.
Present weather	날씨 상황이 좋지 못하여 존데 발사가 안되는 경우.	라디오존데 발사를 위한 날씨가 너무 안 좋은 경우.
Process not found	자료를 받는 동안 연산을 못하는 경우.	가능한 소프트웨어 에러.
Raw PTU timeout	PTU날짜와 시간을 받지 못한 경우.	원격측정이나 존데 에러, 라디오존데 시그널을 받지 못한 경우.
Serious system error	시스템에 심각한 에러를 찾아낸 경우.	실린더가 작동이 안 되거나, 트레이가 작동이 안 되는 경우 등.
Sonde does not activate	라디오존데 주파수 ±500kHz 시그널을 찾을 수 없는 경우.	센서이상, 접지연결이 안 되었을 경우, 오토존데 안테나 이상 등.
Too old sounding	지정된 시간이 너무 오래된 존데를 그대로 띄우려고 했을 경우.	시간적인 문제 때문에 발사대가 존데를 발사하지 못한 경우.
Invalid ascent rate	라디오존데 상승률이 사운딩을 멈추기에 너무 낮은 경우.	상승률이 120m/min보다 낮을 경우.
No gas	가스가 없는 경우.	가스 밸브가 잠겼거나, 가스 뱅크에 가스가 없는 경우.
Prelaunch set limit exceeded	풍선이 너무 장시간 비양할 경우.	2시간이 지나도 풍선이 안 터지거나, 배터리 수명이 다되거나, 40km 이상 올라가거나, 3hpa이상 지나도 올라가는 경우.
Power failure	풍선이 비양 후 전원이 꺼진 경우.	풍선이 비양 후 전원이 꺼져 UPS가 돌면서 10분정도 되면 데이터가 처리가능.
SPS220 startup timeout	SPS220이 3분이 지나도 안 되는 경우.	SPS220이 고장이거나, 전원 연결이 안 된 경우.
Launcher timeout	1시간이내에 풍선 비양 스타트를 안 눌렀을 경우.	리모트로 운행 할 경우 1시간이내에 풍선 비양 스타트를 눌러야함.
Timeout in automatic GC	GC가 자동으로 안 될 경우.	GC기의 고장일 경우.
Pressure does not decrease	가스 압력이 올라가지 못한 경우.	가스가 적거나, 가스압력계 이상일 경우.

Table 5. Explanations for Error Messages.

종 류		코 드	원 인
경 고		w12	풍선이 채워진 후에 풍선이 없을 때
		w14	커버가 열리는 동안 뚜껑 센서들이 지정되어 있지 않을 때
		w15	커버가 닫히는 동안 뚜껑 센서가 꺼지지 않을 때
		w16	풍선 채우기에서 가스 흐름 측정이 한계를 넘을 때(높거나 낮음)
		w19	분당 100리터를 초과해 흐를 때
		w20	슬롯 로드가 제 위치에 있지 않을 때
		w32	풍선이 충분히 채워지지 않았을 때
알 람		A1	긴급 버튼이 눌려졌을 때
		A2	압력 실패
		A3	전원 실패
		A4	UPS 전원 실패
		A5	배터리 물 수준의 제한 아래일 때
		A6	보조 콤프레셔가 작동될 때
		A7	내부 온도가 제한 아래일 때
		A8	로직 작동 시스템이 에러일 때
		A9	로직 백업 배터리가 방전되었을 때
		A10	로직 보드에 있는 회로가 단락 되었을 때
		A11	O_Gr_10에 회로가 단락 되었을 때
		A12	O_Gr_11에 회로가 단락 되었을 때
		A13	O_Gr_14에 회로가 단락 되었을 때
		A14	O_Gr_15에 회로가 단락 되었을 때
		A16	가스 흐름률이 대기 한계를 넘을 때
		A17	하나의 가스통이 비었을 때
		A18	양 쪽 가스통이 비었을 때
		A19	발사 탱크 안에 풍선이 있을 때
실 패	표준 작동 실패코드	F90	실린더 드라이브 : 잘못된 실린더(작동자)번호
		F92	실린더 드라이브 : 방향을 포함하는 실린더 한계, 실린더 번호
		F100	회전판 : 잘못된 임무 주입
		F110	회전판 : 테이블 실린더 한계(I-120)
		F120	회전판 : 잘못된 현재의 트레이 위치
		F130	회전판 : 로드 해치가 회전판이 회전하는 동안 안 닫혔을 때
		F140	회전판 : 실린더(I-120)가 작동하지 않거나 이동 후 제 위치에 있을 않을 때
		F150	회전판 : 요구되는 트레이를 못 찾을 때
		F160	회전판 : 현재의 트레이가 순차적 위치에 있지 않을 때
		F200	발사 : 발사 해치가 가스 채움 전에 닫히지 않을 때(I-240)
		F210	발사 : 커버 뚜껑 제한 에러
		F230	안의 트레이 실린더가 밖으로 나오지 않게 될 때
		F500	로직에서 정의되지 않은 상태
	서비스 작동실 패코드	F70	발사 탱크에 풍선이 있을 때(I-271)
		F72	최초의 이동에서 실린더 제한 에러
		F74	두 번째 이동에서의 실린더 제한 에러
		F76	세 번째 이동에서의 실린더 제한 에러
		F78	유효하지 않음
		F80	실린더 제한 에러, covers(I-321, I-323)
		F82	트레이 선택 에러(I-181....I-185)

6. 오토존데 유지 관리 방안

오토존데 현장에서 수행되는 유지관리 검사는 가능한 매주 가스압력계의 상태를 검사하는 것이다. 정적 기압 값에 대한 게이지가 현재 값의 ±15% 이내에 있는지 검사한다. 또한 가스 흐름률을 검사한다. 풍선은 보통 300에서 550리터만큼 채워질 수 있다. 최솟값을 추천한다. 가스 흐름률에서 에러는 풍선의 일반 최대 상승고도, 대략 30km에 대한 사승 실패의 원인이 되어 사운딩 중단을 야기한다.

풍선 감지기의 상태 검사뿐만 아니라 풍선 발사대의 지붕의 얼음이나 쓰레기를 제거하는 것은 발사기 장소가 폭풍 등 기상상태가 휩쓸고 지나간 후에 취해지는 일반적인 작업이다.

풍선감지기는 1년에 한번 물로 헹궈져야 한다. 렌즈를 문질러선 안 된다.

트레이는 깨끗해야 하고 3개월에 한번 파라핀 오일을 발라야 한다. 트레이 바는 일년 기준으로 기름칠이 필요하다. 파이프 니플은 트레이 아래에 위치한다. 회전판 기동부에 기름을 칠할 때 회전판에 대한 파이프 니플을 벗겨내기 위해 중간에 있는 둥근 판을 제거한다.

배터리 물 케이스는 매 월마다 검사 되어야 한다. 물의 수준은 케이스에 표시된 2개의 선 사이에 있어야 한다. 일반 음용수가 배터리 물로서 사용될 수 있다. 케이스는 3년 정도 사용 후에 청소해야 한다. 물로 씻는 것으로 충분하다.

압축공기 시스템에서의 누출은 평소와 다른 이상한 새는 소리를 들음으로써 간단히 감지될 수 있다. 거품으로 새는 곳을 정확히 알 수 있다. 보조 콤프레셔의 상태는 누름 버튼에서 주 콤프레셔를 OFF로 돌리는 것으로써 검사 될 수 있다. 그러면 콘트롤러 커버가 열리고 닫혀서 보조 콤프레셔가 켜질 것이다. 이것이 작동되면 주 콤프레셔로 되돌려 놓는다. 용기가 마른 것을 확인하려면, 로봇 실에 들어가서 콤프레셔가 작동되면 매 90초마다 밸브가 열려지는지를 소리에 의해 확인한다.

UHF안테나의 민감한 부분은 레이돔에 의해 보호되어 기계적인 손상을 방지한다. 커버 또한 비로부터 기기를 보호한다. 레이돔의 기저에 있는 구멍들은 응축된 물방울이 떨어지도록 한다. 그럼에도 불구하고, 때때로 가능한 부식 손상에 대해

안테나를 검사하는 것이 권고되고, 커넥터가 좋은 상태에 있는지 확인한다. 안테나를 분해할 때 가장자리 볼트가 첫 번째로 풀려야 한다. 그 뒤 커버가 빠진다. 안테나의 부품들과 크로스 다이폴은 찾기 쉽다. 이런 부품들 중에서 어떤 것이든 손상되면 교체된다. 안테나의 하부 부분에는 케이블과 커넥터가 찾기 쉽게 서비스 해치가 나있다. 만일 검사하기 위해 스위칭 유닛이 필요하면 돔을 제거하고 안테나 반사판을 위쪽으로 기울어 스위칭 유닛이 열려질 수 있게 한다. 안테나 요소의 어떤 부분이 감도가 떨어진 것 같으면 대부분의 일반적 원인은 느슨한 케이블 커넥터 또는 안테나 스위칭 유닛의 오류이다. 안테나가 전체적으로 잘 작동이 안 되면 첫 번째 DC전원공급(+12V....+15V)이 안테나 케이블의 끝에서 나오는지를 검사한다. 공급전압이 잘 나오면 고장은 안테나 증폭기에 문제가 있을 가능성이 있다. 고장난 안테나 증폭기를 교환하기 위해서는 안테나가 열려야만 한다. VLF안테나와 공급선은 주기적으로 검사되어야 하고 손상된 요소들은 필요에 따라 교체되어야 한다.

Ⅳ. 오토존데 관측자료 활용

한반도 악기상 집중관측(KEOP)사업의 일환으로 기상연구소에서는 첨단기상관측장비를 통한 악기상 집중관측과 이들 관측 자료를 이용한 악기상 분석·예보 연구의 활성화와 관측 장비의 효율적인 유지 및 관리를 위하여 북상하는 장마전선 활성화와 관련된 남서기류 유입과 태풍의 주 진로 상에 위치하는 해남기상관측소에 2002년 1월부터 오토존데를 구축하여 운영하고 있다. 악기상을 직접 관측하고 원인규명을 하는데 있어서 May and Holland(1993)는 1990년 사이판을 통과한 태풍 FLO를 wind profiler 자료를 이용하여 열대저기압 관측의 유용성에 대한 분석을 실시한 바 있다. May and Holland(1993)는 wind profiler 관측 자료로부터 3차례의 강수밴

드 통과 시·접선속도의 부분적인 peak가 4~8km 고도에서 나타나고 이는 중규모 상승·하강류 교차고도와 부합된다고 하였다. 또한 Willoughby(1998)는 태풍 눈 내부의 열역학적 구조를 규명하기 위해 드롭존데를 이용하여 Hurricane Olivia와 Hugo를 관측하고 태풍 눈이 역전층에 의하여 두 개의 공기 괴로 분리됨을 열역학적으로 설명하였고, 또한 역전층 고도 이하의 공기 괴는 해양 및 태풍눈벽과의 복잡한 운동량과 수증기교환이 이루어지는 반면 역전층 이상의 공기 괴는 태풍 발생 초기부터 지속적으로 상호교환이 거의 없이 존재한다고 하였다. Sato(1992)는 태풍 Kelly 통과에 따른 MU Radar 관측 자료를 활용하여 소규모 바람변동과 내부중력파의 관계를 설명하고 태풍 통과 전·후의 대류 운동구조와 MU Radar 신호의 관계를 설명하였다. 또한 일본의 18개 지점 radiosonde 고해상도 자료를 이용하여 대류권계면 부근의 층 구조와 potential vorticity와의 관계를 연구한 바 있다.

이 장에서는 2002년 8월 29일 오전부터 9월 1일 15LST 경까지 한반도에 직·간접적인 영향을 미친 제 15호 태풍 '루사(RUSA)'의 발생시부터 소멸 시기까지 태풍 통과 시 3시간 간격으로 autosonde에 의해 관측된 고해상도 고층기상자료를 활용하여 태풍주변의 대기 연직구조 분석 결과(정효상 등, 2006), 2005년 6월 26일부터 7월 18일까지 장마 기간 동안 오토존데 관측 자료를 이용하여 장마기간 대기연직구조 특성 분석 결과(조천호 등, 2005)를 제시하면서 오토존데 고층관측의 개선점과 문제점을 제시하였다.

*A. 2002*년 태풍 "루사"

한반도 악기상 집중관측센터에 설치된 autosonde는 2002년 1월에 설치되어 한반도 악기상 집중관측기간에 지속적인 자료생산을 하고 있다.

Autosonde 관측지점은 해남 기상관측소 34。 33'N, 126。35'E에 위치하고 있다. 관측에 사용된 센서는 지상으로부터 부양된 후 2초간격의 자료를 지속적으로 지상의 수신기로 전송하며 관측고도는 약 18km 고도까지 측정하고 기압 3~1060hPa,

기온 -90~60℃, 습도 0~100%의 측정범위를 가지며 관측유효 지상풍속은 20m/s 이다. 관측 값의 정확도는 ±0.5hPa의 기압, ±0.2℃ 기온, ±0.2% 습도 관측오차가 있다. 이러한 자료의 관측범위 및 정확도를 바탕으로 태풍접근 및 통과에 따른 풍속이 강한 환경 하에서 관측 자료의 유용성을 파악하기 위한 것도 본 연구의 주된 목적 중 하나이다. 이에 기상연구소에서는 태풍이 접근하는 2002년 8월 30일 0600UTC부터 태풍이 열대성 저기압으로 약화되고 소멸된 9월 1일 2100UTC까지 약 4일간 3시간 간격으로 관측을 실시하였다. 관측 전반에 걸쳐 대부분 약 18km 고도까지 관측되었으며 태풍이 통과한 후인 8월 31일 1500UTC는 실측으로 기록되었다. 또한 9월1일 0000UTC부터 약 5차례에 8km 고도까지 관측되었는데 이에 대한 원인은 정확히 밝혀내지 못했다. 태풍 통과 후 몇 차례를 제외하고는 대부분의 자료가 안정적으로 생산되었으며 고도별 자료의 조밀 도를 Fig. 33에 나타내었다.

태풍의 진로와 강도에 대한 역학적 예보는 태풍 자체와 그 주변장의 대기 연직구조에 대한 관측정보가 필요하다. 레윈 존데는 상층기온, 고도, 습도, 바람자료를 수집하는 기본 관측 장비로 사용되어 왔으나, 기온 및 고도에 대한 열대지역의 기상특성(일반적으로 열대는 수평적인 기온 경도와 고도 경도가 작음) 때문에 특히 그 정밀도가 중요하다. 또한 태풍을 관측하기 위한 상층자료의 확보는 지상 관측자료에 비해 현저하게 적고 높은 유지비로 인해 관측지점이 더욱더 감소되고 있다.

고층 관측 자료의 확보를 위해서 지상에서 쏘아올린 라디오존데란 1회용 풍선관측기구를 이용하여 관측자들에 의해 1일 2회 내지 4회를 관측을 실시하고 있다.

이 같은 고층관측은 관측자들에 의해 수행되므로 연속적으로 관측이 가능한 최대시간이 6시간이다. 하지만 태풍 관련 기상정보를 생산하기 위해서는 시간 고분해능 관측이 가능하여야 한다. 이를 개선하기 위하여 3시간 간격으로 고층자동관측이 가능한 최첨단 무인자동고층관측시스템을 2001년도에 도입하여 해남 국가 악기상 집중관측센터에서 설치, 운용 중에 있다.

오토존데를 이용하여 태풍 "루사"가 2002년 8월 31일 1800LST경에 태풍 중심이 해남에 가장 근접하였으며, 이를 기준으로 태풍 접근, 상륙 및 통과 기간인 2002년

8월 30일부터 9월 1일까지 고층관측을 실시하였다. 3시간별 고층 관측 자료의 분석으로 태풍 중심부근에 나타나는 기온상승, 낮은 습도, 그리고 하층의 강한 바람 등을 알아내었다.

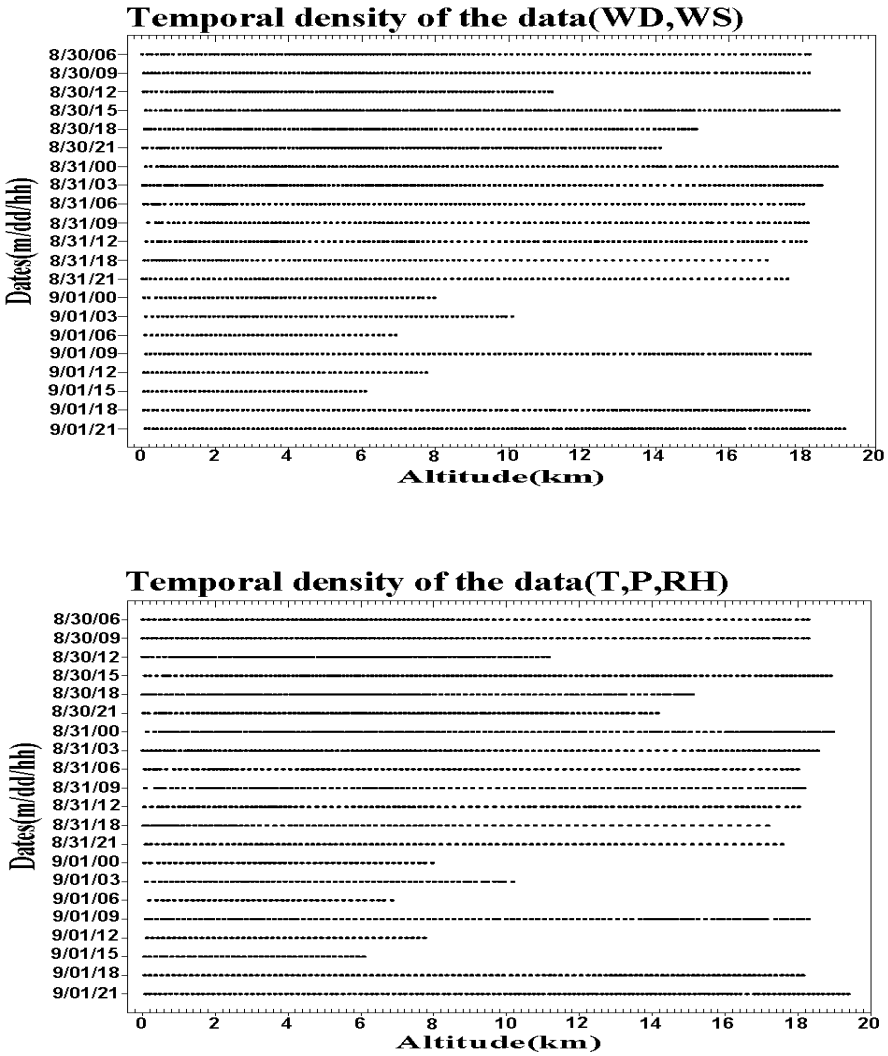

Fig. 33 Temporal density of the Autosonde observation data from 0600UTC 30 August to 2100UTC 1 September when typhoon 'RUSA' was approaching the Korean peninsula and then landfalling at the nearby Haenam weather observatory(from Chung et al.(2006)).

태풍 '루사' 통과 기간동안 총 21회 관측한 자료의 고도별 기온, 습도, 풍향·풍속의 변화를 Fig. 34와 같이 나타내었다(정효상 등, 2006).

그림에서 태풍 기호로 표시된 시각이 '해남 국가 악기상 집중 관측센터'와 가장 근접한 거리에서 태풍 '루사'가 통과한 시각이다.

태풍의 통과 후 연직 온도의 구배가 통과 전보다 현저히 낮게 나타나는 것을 볼 수 있고, 지상의 기온은 태풍이 통과하는 시점에서 부근 시간대 보다 감소하는 것을 볼 수 있다. 지상의 기온분포는 통과 시 북풍계열의 육지로부터 불어오는 바람과 앞서 해남 지상관측소 강우량 분포 그림(Fig. 34d)을 통해 분석된 1차 강우대 출현과 지상기압의 저하로 인한 지표면 부근의 단열팽창과정에 의해 기온 하강이 이루어진 것으로 분석된다. 기온의 고도별 구배가 태풍 통과 시간에는 주변 시간대에 비해 작게 나타나는 것을 볼 수 있는데(Fig. 34a) 이는 태풍의 눈으로부터 인근 지점에 위치한 관측소주변의 공기 괴가 하강함에 따라 단열압축에 의한 온도상승과 지상의 온도 하강에 기인한 것으로 분석된다.

습도분포(Fig. 34b)는 태풍 '루사'가 육상으로 상륙하는 시간인 8월 31일 15LST 이후에 해상으로부터 불어오는 바람의 영향으로 지상의 습도 분포가 다소 증가한 모습을 볼 수 있고 이는 기온의 분포와 동일한 패턴을 보이고 있다. 지상으로부터 3km 지점부터 습도가 감소한 모습은 기온분석에서 서술한 바와 같이 공기 괴의 하강으로 단열압축과정이 진행되고 이에 따라 수증기의 증발이 진행되어 습도가 하강한 것으로 분석된다.

이러한 결과를 바탕으로 시간에 따른 풍향의 분포추이를 살펴보기 위해 Fig. 34d와 같이 묘사하였다. 해남 악기상 관측지점에서 태풍 '루사'의 풍향·풍속의 분포는 태풍이 통과하기 전에 동풍계열풍향이 주를 이루다가 태풍이 통과하는 시점에서 전이가 일어나 태풍이 통과한 이후 서풍계열의 주 풍향이 나타나고 태풍의 풍속크기는 8월 31일 15LST 이후 특히 21LST에서 급격히 약화하는 것으로 나타났다. 기온 및 습도, 풍향·풍속의 시간에 따른 변화를 살펴보았을 때 태풍이 통과

한 것으로 분석된 15LST 이후 태풍의 이동 속도가 급격히 감소하여 중심위치의 변화가 크지 않았던 것으로 보이고 관측 자료의 분석결과, 기온과 습도의 상승 및 하강 분포가 21LST에서 태풍의 눈 내부의 구조와 유사한 패턴을 보이고 있고 풍향·풍속도 21LST를 기준으로 좌우의 풍향의 변화와 풍속의 급격한 약화를 보이는 것으로 보아 21LST에 해남기상관측소는 태풍의 눈 내부에 위치한 것으로 판단된다.

풍속 20m/s이상을 동반한 태풍 '루사'가 한반도 접근 및 상륙하여 통과하는 동안에 오토존데를 이용한 3시간별 고층관측이 성공적으로 이루어졌으나, 태풍이 통과 시점인 9월 1일 00UTC 이후에 최대관측고도가 8km 이내로 태풍 접근 및 상륙 시기보다 다소 낮았다. 이와 같은 고층관측 결과에는 강풍을 동반 태풍 관측에 대한 장비의 불안정성 문제나 운영자의 오작동 등에 의해 주로 발생되지만 이에 대한 체계적인 원인 분석이 요구된다. 이러한 원인 분석을 토대로 오토존데를 이용한 태풍관측 성능 평가에 객관적인 자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

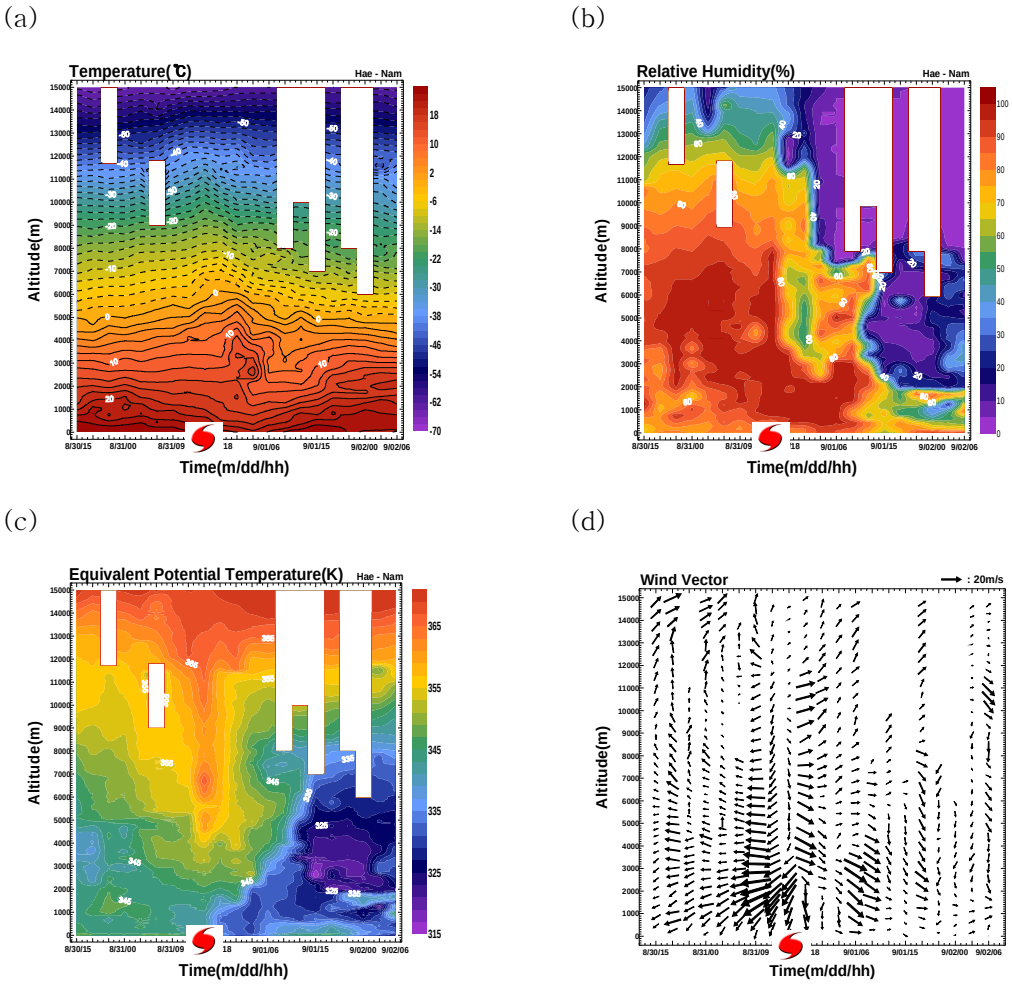

Fig. 34. Time-altitude cross-sections of (a)temperature, (b)relative humidity, (c)equivalent potential temperature and (d)wind speed · direction observed by Autosonde during the passage of typhoon 'RUSA'(from Chung et al.(2006)).

*B. 2005*년 장마

해남에 설치된 오토존데의 관측 자료를 이용하여 장마기간(6월 26일-7월 18일) 동안 연직 특성을 살펴보았다(Fig. 35, 조천호 등, 2005).

장마가 시작되기 이전 하층은 온도가 낮고 상층은 온도가 높게 나타나는 안정

층이 형성되어 있었으나 장마가 시작되면서 하층의 온도가 증가하여 전 층에서 습윤 중립 상태가 나타났다. 이러한 특성은 강수가 발생하면서 응결하여 방출되는 잠열에 의해 온도가 증가하기 때문이다. 장마기간 동안에도 중층에서 온도가 낮아지는 기간은 장마에 의한 강수가 일시적으로 내리지 않은 기간이다.

장마 기간 동안 발생한 강수의 특성을 찾아보기 위해 동서 및 남북바람 성분에 대한 연직 분포를 살펴보았다. 장마가 시작되기 이전 동서바람 성분의 경우 상층에서는 강한 제트가 있으나 중층에서 하층으로 갈수록 바람이 약화되었고, 남북바람 성분의 경우 바람이 약하게 불면서 약한 북풍계열의 바람이 부는 것을 볼 수 있다. 장마가 시작되는 6월 26일에는 15m/s이상의 강한 남서 류가 전 층에 걸쳐 나타났다. 즉 남풍 류 유입과 함께 하층에서 중층까지 강한 제트 류가 발생하면서 장마가 시작되었음을 알 수 있다.

7월 1일과 9일에는 다른 날에 비해 많은 강수가 내렸다. 이 날은 강한 동풍계열의 바람이 불고 상하층 모두에서 나타나 다른 장마기간과 큰 차이를 보이지 않았지만 상층에서는 다른 장마기간과 달리 북풍계열의 바람이 불었다. 즉 중층과 하층에서는 습윤한 공기가 유입되면서 잠열의 방출로 인해 열적 불안정 상태에서 상층에서는 건조하고 찬 공기가 유입되면서 습윤한 공기가 상승하면 주위에 건조한 공기보다 기온감률이 작아서 발생하는 잠재 불안정이 추가적으로 발생하여 많은 강수가 내렸음을 알 수 있다.

7월 4일 이후부터 7월 9일 이전까지 장마기간 동안 강수가 내리지 않는 휴식기가 나타났다. 이 기간에는 점차 서풍계열의 바람이 하층에서부터 약화되는 모습을 보였다. 또한 상층에서부터 하층까지 뚜렷한 남풍계열의 바람이 나타나지 않고 가끔은 전 층에서 북풍계열의 바람이 나타났다. 7월 11일 이후 하층에서부터 서풍과 남풍계열의 바람이 약화되기 시작하여 7월 17일 상층에 북풍계열의 바람이 불면서 장마는 종료되었다.

2005년 장마기간 동안인 약 20여 일간 오토존데를 이용한 장마의 연직구조를 파악을 위해 고층관측을 실시한 결과, 오토존데를 이용한 고층관측이 아주 안정적으

로 수행되었음을 알 수 있었다. 이와 같은 오토존데 관측 성능은 오토존데를 이용한 고층관측 현업 업무의 자동화 추진에 아주 중요한 기초 자료가 될 수 있다.

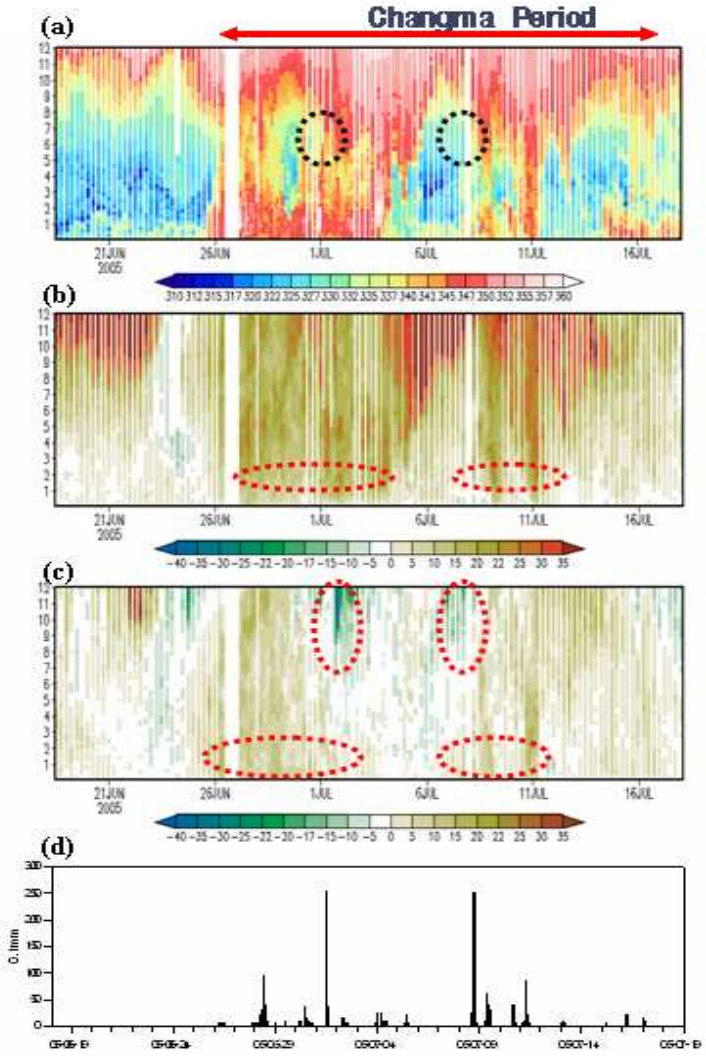

Fig. 35. The vertical distribution of (a) equivalent potential temperature, (b)U-component of wind, and (c)V-component of wind. Vertical bars(d) represents precipitation during summertime in 2005(from Cho *et al.*(2005)).

그러나 안정적인 고층관측 중에도 종종 관측이 실패하고, 관측이 성공하였다 하더라도 최대관측고도가 낮은 경우가 발생하는 데, 이는 많은 횟수의 고층관측에 따른 가스 공급의 차질 때문일 수도 있다.

오토존데를 이용한 고층관측의 자동화 가능성 평가를 위해서는 장기간의 고층관측과 이에 수반된 가스의 안정적 공급이 이루어질 수 있는 오토존데 기반 고층관측시스템 설계 및 구축이 요구된다.

Ⅴ. 결론

오토존데는 기상연구소 주요 사업인 한반도 악기상 주요관측(KEOP)사업의 일환으로 2002년 1월에 해남기상관측소에 설치되어 기존의 레윈 존데와 달리 자동무인 고층관측이 가능하므로 기존의 6시간이나 12시간 간격의 고층관측을 3시간 이내의 관측간격의 시간 고분해능 고층관측이 가능하다.

오토존데에서 사용되는 풍선 크기별로 평균고도로는 800g이 28.1km로 나타났고 500g은 26.4km, 200g은 15.6km로 나타났다.

또한 풍선 1개당 사용되는 가스양은 평균 0.45봄베로 나타났다.

오토존데는 자체 자동기상관측장비를 통해 현재 기상상황에 맞게 탐측 시스템(sounding system)이 조절, 운영되므로 악기상시에도 비양이 가능하다는 장점이 있다. 특히 오토존데 시스템이 상층 기상관측에 사용됨으로서 가장 큰 장점은 인건비가 크게 줄어든다는 점이다. 운영자가 라디오존데를 발사하기 위한 준비만 하면 autosonde system이 자동으로 풍선을 띄우기 때문에 인건비 부담 면에서 경제적인 이점이 있다. 또한 강풍이 분다거나 강한 눈보라가 발생시에 고층 관측은 많은 위험이 따르는데 autosonde system으로 대체한다면 고층 관측을 하는데 있어 경제적인 면이나 기상관측의 안정성에 큰 효과가 있을 것으로 사료된다.

오토존데를 활용한 태풍, 장마, 폭설과 같은 재해성 기상현상에 대한 시공간 고분해능의 고층기상관측자료를 생산하기 위하여, 한반도 남서지역에서 태풍 “루사”에 관한 2002년, 서해안 강설에 관한 2004년과 장마에 관한 2005년 야외집중관측실험을 실시하였다. 특히 겨울철 폭설관측을 위하여 해남에서 2005년 1~2월 중 집중관측을 실시하였다.

오토존데를 이용한 3시간별 고분해능 관측 자료를 통해 분석한 결과(정효상 등, 2006), 지상의 기온이 태풍이 접근함에 따라 기압의 하강에 의한 단열팽창과정과 강수대의 영향으로 서서히 감소하는 양상을 보이고 있었고 그 고도는 2km 이하에 국한되어 나타났다. 태풍 전면에서 2km고도 이상에서는 지상과는 달리 주변시간대에 비해 기온이 상승하는 분포를 보이고 있다. 태풍 통과 후 지상 약 3km지점에서 기온상승과 습도하강패턴을 보이고 있는데 이는 태풍의 눈 구조에서 볼 수 있는 패턴을 잘 나타내고 있다. 또한 2005년도 장마기간의 고층관측으로 장마전선의 발전 모습과 연관된 기온과 바람의 연직구조 특징을 파악할 수 있었다(조천호 등, 2005).

강풍을 동반한 태풍과 지속적인 강우가 발생하는 장마에 대해 오토존데를 이용한 고층관측이 안정적으로 수행되었다. 이와 같은 관측결과는 오토존데를 이용한 고층관측 업무의 자동화 방안 마련에 중요한 기초 자료가 된다. 그러나 오토존데를 이용한 고층관측 중에 여러 가지 원인에 의해 관측이 실패하거나 최대관측고도가 낮아지는 경우가 발생하는 데, 이에 대한 체계적인 원인 분석을 통하여 오토존데를 기반으로 한 최적 고층관측시스템 설계와 구축이 필요하다.

이러한 재해성 기상의 집중관측에 이용된 오토존데와 같은 첨단장비의 활용에 의하여 고분해능 자료생산으로 인해 악기상의 구조와 특성 분석 및 예측시스템의 향상이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

김백조, 김정훈, 2002 : 시간 고분해능 고층 관측 자료에 나타난 태풍 루사(RUSA) 상륙 시 태풍 주변의 구조 특성. 영동지방 악기상 특성 분석 포럼 발표 초록집, 강릉대학교, 12월 6-7일, 3-9.

김백조, 조천호, 남재철, 정효상, 김정훈, 2003 : 2002년 국가 악기상 집중관측센터에서 생산된 집중 관측 자료의 분석 및 활용. 대기, 13(4), 52-65

방기석, 전병덕, 2006 : 오토존데 System의 필요성. 2006년 한국기상학회 가을 학술대회 논문집, 2006년 10월 12일~13일, 일산 KINTEX, 288-289.

조천호 등, 2002 : 한반도 악기상 집중관측사업(II). 기상연구소, 279pp.

조천호 등, 2003 : 한반도 악기상 집중관측사업(III). 기상연구소, 321pp.

조천호 등, 2004 : 한반도 악기상 집중관측사업(IV). 기상연구소, 362pp.

조천호 등, 2005 : 한반도 악기상 집중관측사업(V). 기상연구소, 199pp.

정효상, 김정훈, 김백조, 조천호, 2006 : 오토존데 특별관측자료를 이용한 태풍“루사(RUSA)"의 대기 연직구조 변화 특성. 한국자료분석학회지 심사 중.

Baek-Jo Kim, Hyo-Sang Chung, Chun-Ho Cho, and Jeong-Hoon Kim, 2003 : Structural Features of Typhoon RUSA's Center. Vaisala News, Vol.162, 4-7.

JMA, 1987 : On the mesoscale structure of the cloud band system over Japan Sea in winter monsoon period-A mesoscale observation on board R/V Keifu-Maru. *Tenki*, 35(4), 237-248.

May, P. T., and Greg J. Holland, 1993 : Wind profiler observations of Tropical Storm Flo at Saipan. *Wea, and, Forecasti*ng, 9, 410-426.

Sato, K., 1992 : Small-scale wind disturbances by the MU Radar during the passage of typhoon Kelly. *J. Atmos. Sci.*, 50, 518-537.

Willoughby, H. E 1998 : Tropical cyclone Eye Thermodynamics. *Mon. Wea. Rev.,* 126, 3053-3067.