

해남 오토존데를 이용한 고층관측 자동화 가능성에 관한 연구

김백조 · 이성주 · 조천호 · 류찬수* · 이성로** · 김호경**
국립기상연구소, *조선대학교 지구과학과, **목포대학교 토목공학과
(2007년 12월 3일 접수; 2008년 3월 11일 채택)

A Study on the Feasibility of Automation of Upper-Air Sounding Using Autosonde Installed at Haenam, Korea

Baek-Jo Kim, Seung-Ju Lee, Chun-Ho Cho, Chan-Su Ryu*,
Seong-Lo Lee**, Ho-Kyung Kim**

National Institute of Meteorological Research, Seoul 156-720, Korea

**Department of Earth Sciences, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea*

***Department of Civil Engineering, Mokpo National University, Jeonnam 534-729, Korea*

(Manuscript received 3 December, 2007; accepted 11 March, 2008)

Abstract

The feasibility of the automation of upper-air sounding is examined by using recent 3-year(2002~2004) observation data from Autosonde at Haenam, Korea. The Autosonde has been successfully operated since 2002 in order to produce an intensive observation data at high-impact weather events for research purpose. It is found from the analysis of recent 3 years' operation data of the system that the system could be capable of making a stable observation when strong wind greater than 20 m/s was recorded under the influence of typhoons Rusa in 2002 and Maemi in 2003. It might be concluded that there is some possibility in automating upper-air sounding for operational purpose through the reduction of operator's payment and operating cost for upper-air sounding.

Key Words : Upper-air sounding, Autosonde, Automation, Operational purpose, Operator's payment

1. 서 론

최근에 2002년 루사(RUSA), 2003년 매미(MAEMI) 그리고 2006년 에위니아(EWINIAR)는 한반도에 직접 상륙하여 엄청난 인명과 재산 피해를 야기시켰다. 이처럼 태풍과 같은 재해 기상현상은 우리의

경제·산업에 많은 영향을 주며, 그 정도는 점차 커질 것이다. 특히 지구온난화에 따른 기후변화로 인해 태풍, 집중호우의 빈도가 증가하고 강도가 세지고 있다. 이제는 기상이 인류의 생활환경을 빠른 시간에 변화시키고 있음을 알 수 있다. 이에 기상현상을 과학적·체계적으로 관측함으로써 대기의 움직임을 정확하게 분석·예측하여 기상재해를 줄이는 것이 필요하다¹⁾. 특히, 재해 발생시 기상현상의 구조에 대한 정확한 이해를 위해서는 첨단 자

Corresponding Author: Baek-Jo Kim, Policy Research Lab., National Institute of Meteorological Research, Seoul 156-720, Korea
Phone: +82-2-6712-0230
E-mail: bjkim@kma.go.kr

동화 관측 장비를 이용한 장시간의 집중관측이 요구된다. 자연재해의 90% 이상이 기상현상에 의해 발생하고, 우리나라도 지난 10년간('95~'04) 총 피해액은 18조원으로 급격히 증가하는 추세에 있다 (<http://www.nema.go.kr/data/statistic/list.jsp> 참조). 또한, 1987년부터 2004년 까지 18년간 기상연보의 재해 자료를 이용하여 원인별 총 피해액을 산정한 결과, 태풍이 10조 9,709억원으로 가장 높으며, 호우가 5조 3,962억원, 호우·태풍이 1조 7,573억원, 그리고 폭풍설, 대설, 폭풍, 폭풍우, 폭풍·낙뢰, 해수범람 순으로 나타났으며, 이는 우리나라의 재해원인은 주로 자연재해에 의해 발생함을 알 수 있다²⁾.

최근의 과학기술의 급격한 발달로 말미암아 많은 기상관측이 자동화 되었지만, 고층관측은 여전히 수동관측에 크게 의존하고 있다. 고층대기를 수동에서 자동으로 관측할 수 있도록 개발된 대표적인 장비가 오토존데 시스템(Autosonde System)이다. 이러한 관점에서 오토존데를 이용한 고층관측 자동화 가능성 평가는 향후 모든 기상요소에 대한 관측 자동화를 위해서 매우 의미 있는 연구라고 할 수 있다.

한편, 태풍 및 장마와 관련된 중규모 악기상 현상의 구조와 발생·발달 메카니즘 규명을 위해서는 시·공간 고분해능의 고층관측 자료를 생산할 수 있는 첨단 관측 장비가 필요하다. 이를 위해 기존의 6시간 간격의 고층관측을 3시간 간격으로 1~2개월 정도의 무인으로 관측할 수 있는 자동화된 고층 관측 장비의 도입·운영이 필요하다.

국립기상연구소(National Institute of Meteorological Research, METRI)에서는 한반도 악기상 집중관측(Korea Enhanced Observing Period, KEOP) 사업을 통해 오토존데 시스템 도입을 추진하여 고층관측의 무인자동화 방안을 모색하고 있다³⁾. 특히 장마와 태풍의 대기연직구조를 관측하기 위하여 오토존데를 도입하여 2002년 1월부터 해남 국가 악기상 집중관측센터에 설치·운영 중에 있다(Fig. 1). 오토존데 관측 자료를 이용한 연구로는 Kim 등⁴⁾이 3시간별 오토존데 관측 자료를 이용하여 태풍 "루사(0215)"의 중심 구조를 파악하였다. 이는 시간 고분해능의 연속적인 고층 관측 자료의 생산으로 한반도에 상륙하는 태풍의 중심구조 분석이 최초로 이루어진

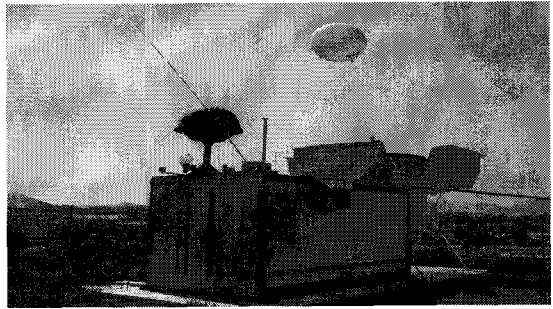


Fig. 1. Autosonde system at Hacnam, Korea.

것이며, 특히 20 m/s 이상의 강풍 조건에서도 오토존데의 안정적인 고층관측 수행의 결과로 해석된다.

국내에서는 이러한 첨단기상관측장비를 이용한 집중관측과 악기상 구조 분석 연구는 아직 미비한 단계에 있으나, 외국에서는 오토존데, 윈드프로파일러, 라디오미터 등 다양한 고층 관측 장비의 도입·운영을 통하여 악기상 관측 및 분석 연구를 수행하고 있다. 그 예로 May와 Holland⁵⁾는 사이판에서 윈드프로파일러 집중관측을 통하여 열대성 폭풍 "Flo"의 중심 구조를 밝힌 바 있다.

현재 우리나라 기상청에서는 사람이 직접 수동으로 대기의 상층을 관측할 수 있는 라디오존데 시스템이 백령도, 속초, 포항, 제주, 고산, 흑산도의 5지점에 설치되어 있다. 사람이 수동으로 관측함으로써 발생할 수 있는 몇 가지 문제가 있는데, 그 중에서 첫째는 사람마다 운영하는 방법이 다르기 때문에 여러 곳에서 관측을 했을 경우 관측 초기시간을 정확하게 서로 맞추기 힘들다는 점, 둘째는 관측을 위한 운영자가 필요하기 때문에 인건비 과다에 따른 경제적 문제가 있다는 점이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 고층관측의 자동화는 필요하기 때문에 이미 설치된 오토존데의 운영 실적을 토대로 오토존데를 이용한 고층관측 자동화 가능성 진단 연구가 요구된다.

본 연구에서는 해남에 설치된 오토존데 시스템(Autosonde System)의 구조 및 특징을 먼저 알아보고, 최근 3년간의 오토존데 운영 실적을 기초로 하여 고층관측 자동화 가능성을 평가하고자 한다. 또한 오토존데 운영 시에 주요 종결 원인 및 해결책을 함께 제시하였다.

2. 오토존데 시스템 구성과 특징

핀란드 바이살라 오토존데(Vaisala Autosonde System)는 오랜 준비기간에 걸쳐 완성된 고층 기상 관측장비로 24개의 트레이에 각각 라디오존데(radiosonde)와 풍선(balloon)을 장착하고 자동으로 헬륨이나 수소를 주입하여 발사(launching)하는 시스템이다. 상층에 발사된 존데는 UHF 주파수를 이용해 대기 중으로 부양하면서 관측한 자료를 자동으로 지상기에 전파하여 상층의 대기 상태를 모니터링하고 자료를 저장하는 시스템이다. 오토존데 시스템을 운영하기 위해서는 지상의 풍향, 풍속, 온도, 습도, 기압 값을 알아야 하는데 풍향, 풍속은 풍선을 발사하기 위해서, 온도, 습도, 기압은 라디오존데 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 시스템의 구성은 시스템 보호 컨테이너, 풍선 발사체, 안테나 시스템(UHF, VHF), 가스 측정기, 원격 제어터미널이다(Fig. 2). 시스템 보호 컨테이너(셸터)는 라디오존데 저장 및 준비, 관측 시스템, 제어 컴퓨터, 로보틱스로 이루어져 있으며, 외부 인터페이스로는 주요 전원 공급 장치, 원격통신선과 가스 저장소가 있다. 오토존데에 필요한 지상관측자료를 생산하기 위하여 자동기상관측장비는 셸터 부근에 설치되어 있다. 컴퓨터와 라디오존데 공급 장치는 작업 공간 안에 설치되며, 풍선 주입과 발사장치는 셸터 끝 부분에, 수신을 위한 안테나

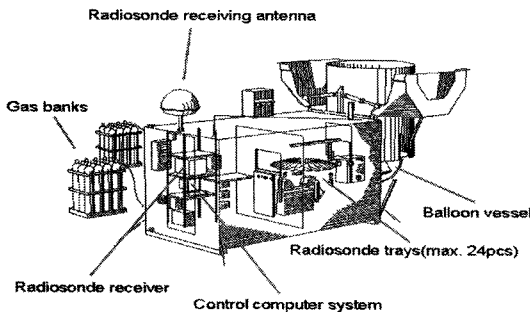


Fig. 2. Structure of autosonde system.

시스템과 가스 측정기는 셸터 지붕 위에 설치되어 있다.

오토존데 시스템의 특징은 완전한 무인 자동고층 관측이 가능하므로 i)양질의 고층관측자료 생산, ii) 다양한 관측 자료의 활용, iii) 작동 비용의 절감이다. 이 시스템은 컨트롤 프로세스에 있는 스케줄러 모듈은 자동기상관측장비, 라디오존데 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.

또한, 오토존데 시스템의 장점을 살펴보면, 먼저 관측지점(at-site)에서 자료가공과 처리, 관련 메시지 생산하는 기능을 갖고 있어 질 높은 관측 자료를 생산할 수 있으며, 둘째는 현재 해남 국가 악기상 집중 관측센터에서는 안전성을 고려하여 헬륨을 사용하고 있으나, 값싼 수소가스 사용이 가능하다는 것이다. 예를 들어 풍선 발사체 안에서 풍선이 터지거나 아니면 풍선에 수소가스가 차있을 때 풍선이 비양하지 않는 경우, 수소의 교체 및 존데의 설치를 위해 오토존데 내부로 들어갈 때 등 안전규칙을 적용하게 된다. 이러한 안전을 대비하는 하나의 중요한 방법이 관측자를 위한 적절한 접지(ground)를 사용하는 것으로 이를 통해 수소가 다른 폭발 가능성이 있는 가스를 취급하는 데 많은 도움이 된다. 장기적인 대책으로 엄격한 안전 수칙을 적용하기 위해서는 위험물안전관리대행업체를 지정하여 정기 안전점검 및 진단, 안전관리 및 지도를 받도록 하여야 한다. 셋째는 최소한의 설치 장소 요구된다는 점이다. 이는 최소한의 설치장소만이 필요하고 설치 장소 선정 및 이동이 용이하며 자동화된 풍선 가스주입 시스템에 따른 공간 활용도가 높다는 것이다. 또한 타 관측과 독립적인 공간에 설치 가능하다. 넷째는 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 준비 시간 요구로 고층기상관측에서 요구되는 높은 수준의 숙련도를 필요로 하지 않는다는 장점이 있다. 제작사의 자체 경제성 분석에 따르면⁶⁾, 이러한 장점들로 인해 관측비용의 1/3로 인건비 추정이 4년 이하에 투자비

용의 회수가 가능하다. 오토존데 시스템의 유지관리는 월 1/2일의 점검만이 필요하다는 것도 또 하나의 장점이다.

3. 분석자료

최근 3년간(2002~2004년) 오토존데 관측횟수를 살펴보면, 2002년에 301회, 2003년에 262회, 2004년에 275회이었다. 월별로는 장마기간인 6월~7월에 전체의 50%정도를 차지하였다. 2002년에는 6월에 64회(24.4%)와 7월에 76회(29.0%), 2003년에는 6월에 63회(22.9%)와 7월에 80회(29.0%), 그리고 2004년에는 6월에 85회(29.6%)와 7월에 95회(33.1%)이다(Fig. 3). 이러한 통계를 보면, 6월보다 7월에 오토존데 관측 횟수가 증가하고 최근에 가까울수록 7월에 관측이 집중됨을 알 수 있다. 이는 장마전기(6월말~7월초) 뿐만 아니라 장마기간 전체(6월말~7월말)에 대해 관측이 활발하게 수행된 결과이기 때문이다. 2003년 1월에 35회와 2002년 9월의 36회는 겨울 강설사례와 가을 태풍사례에 대한 집중관측을 각각 실시함으로써 관측횟수가 다른 해에 비해 크게 증가하였다. 계절별로는 태풍, 호우 등의 악기상이 많이 발생하는 여름철에 가장 많은 관측을 하였다.

관측목적별 오토존데의 관측횟수를 Fig. 4에 제시하였으며, 관측목적은 크게 여름철 장마와 태풍, 저기압 그리고 겨울철 한파(강설) 등으로 구분하였다. 2002년도에는 오토존데가 설치된 후 안정적인 관측자료 수집을 위하여 시험운영기간(1월 15일~8

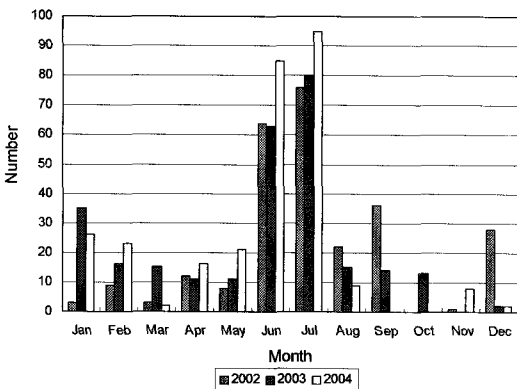


Fig. 3. Monthly observation of Autosonde from 2002 to 2004.

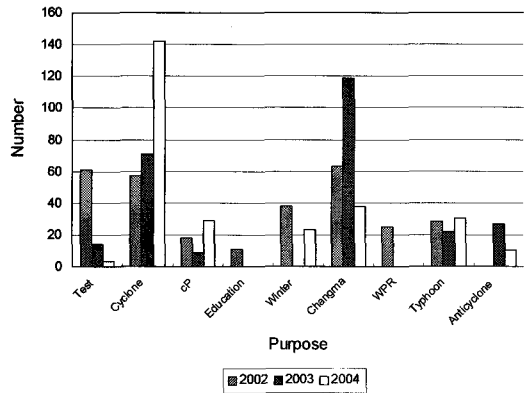


Fig. 4. Number of Autosonde observation for each purpose from 2002 to 2004.

월 26일)동안 61회 부양하였고 여름철 집중관측 기간 동안 63회의 관측횟수를 기록하였으며 태풍 “루사”에 대해 28회 관측을 실시하였다. 2003년도에는 강수에 71회 그리고 여름철 집중관측 기간에 119회를 관측하였다. 그리고 2004년도에는 강수에 142회 그리고 여름철 집중관측 기간에 38회 그리고 태풍 “민들레”에 30회를 관측하여 다른 해에 비해 강수에 많은 관측을 하였다.

4. 고층관측 자동화 평가

4.1. 계절별 관측고도

계절별 평균 관측고도는 여름철이 26.1 km로 가장 높게 나타났고, 가을철이 22.3 km, 그리고 봄철과 겨울철에 21.5 km로 가장 낮게 나타났다(Fig. 5). 그 이유는 봄철과 겨울철보다는 강한 상승기류가 발달

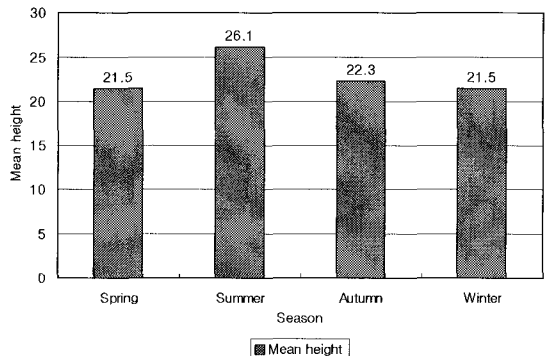


Fig. 5. Seasonal mean observation height of Autosonde.

하는 여름철에 높은 고도를 유지한 것으로 사료된다. 하지만 여름철에 비해 다른 계절의 오토존데 관측횟수가 다소 작으므로 현재의 관측결과로 결론을 이끌어 내기에는 다소 무리가 따르는 것이 사실이다.

4.2. 목적별 관측고도

오토존데 관측목적별 평균 관측고도를 Fig. 6에 나타내었다. 평균 관측고도는 대체로 관측목적과 관계없이 15 km이상의 관측고도를 보여 고층관측이 상당히 안정적임을 알 수 있다. 이와 같은 관측목적별 관측고도는 종관기압계 뿐만 아니라 사용한 풍선의 크기와 지상 풍속의 세기 등 다양한 요인에 의해 결정되지만 일반적으로 풍선의 크기가 크고, 지상 풍속이 약할 경우가 관측고도가 높게 나타난다.

또한, 지상강풍 조건에서 오토존데를 이용한 안정적인 고층관측 가능성 여부를 알아보기 위하여 3년간의 관측기간 동안 주요 태풍에 대한 오토존데 관측결과를 분석하였다. 태풍 “루사” 관측의 경우, 200 g 풍선을 이용하여 관측고도가 6.2~20.4 km의 범위에 있었으며, 지상 최대풍속이 20.3 m/s일 때 17.2 km까지 상층대기를 관측하였다. 2003년 태풍 “매미”의 경우, 500 g 풍선을 사용하여 15.7~32.0 km의 관측고도를 유지하였다. 이러한 관측고도는 Table 1에서 제시한 평균 관측가능 고도보다 오히려 더 높게 나타났다. 그 이유는 지상풍속이 크게 강하지 않았기 때문에 더 높은 관측고도를 유지한 것으로 생각된다. 2004년 태풍 “민들레” 사례에 대해 500 g 풍선을 사용하여 4.6~28.6 km의 관측고도를

Table 1. Autosonde sounding balloons

Type	Balloon	Gas(liters)	Height(km)
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
Chloroprene	CR350	1700	20~26
	CR500	2000	22~28
	CR600	2200	23~30
	CR700	2400	24~31
	CR800	2600	25~33

유지하였으며, 태풍 “민들레” 관측 당시 지상 최대 풍속이 22.2 m/s일 때, 고도 24.7 km까지 관측하였다. 이러한 결과로 볼 때, 태풍과 같은 강한 지상풍속이 나타날 때 오토존데를 이용한 고층관측이 매우 안정적이고 강한 상승류가 존재하는 여름철에 관측고도가 높다는 것을 알 수 있다.

4.3. He 가스량

Fig. 7은 2002년도부터 2004년까지의 오토존데 관측횟수와 He 가스 사용량(봄베 수)을 나타내었다. 풍선크기와 지상 조건에 따른 주입 가스량에 따라 가스 사용량은 다소 차이가 존재하지만, 평균적으로 풍선 1개 당 0.45봄베를 사용함을 알 수 있었다. 연도별로 보면, 2002년에는 개당 0.44봄베의 가스량, 2003년에는 0.48봄베의 가스량을 사용하였으며,

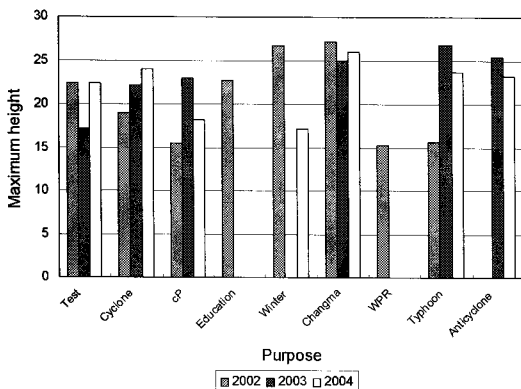


Fig. 6. Mean observation height of autosonde for each purpose.

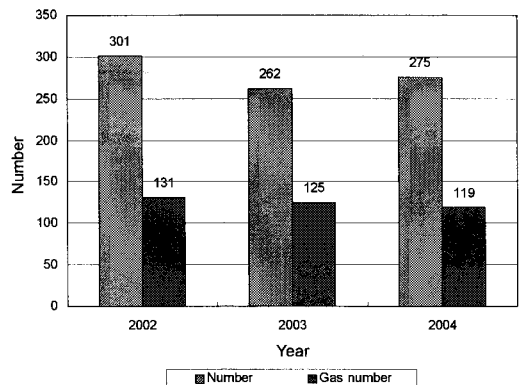


Fig. 7. Number of autosonde observation and mean gas amount from 2002 to 2004.

2004년에는 0.43봄배가 풍선 1개를 비양하는데 사용하였다.

4.4. 풍선크기

여름철 집중관측 기간 동안 풍선은 500 g, 800 g 을 사용하여 관측고도가 각각 22.6 km와 24.1 km로 중간정도의 관측고도로 나타났다. 풍선 크기별 관측고도는 600 g의 경우, 평균 관측고도가 가장 높은 28.4 km이었고, 200 g은 19.9 km의 관측고도를 나타냈으며, 전체 평균 관측고도는 23.75 km이었다(Fig. 8). 800 g 풍선의 관측고도가 600 g 풍선보다 더 낮은 고도가 나온 이유는 2002년 첫 도입 당시에 800 g의 풍선을 많이 사용하였는데 운영 미숙과 관리 소홀로 인한 풍선 부식으로 낮은 고도에서 많이 소멸되었기 때문이라 사료된다. 풍선관리에 있어서 관측하기 위하여 설치된 풍선은 3개월 이상 설치해 두어서는 안 됨을 알 수 있었다.

수소 풍선의 경우 최적 상승률인 320 m/min을 만족시키기 위해, TOTEX 풍선 형태 및 크기에 따른 대략적 수소량을 Table 1에 나타내었다. 여기서 나타낸 양은 Vaisala Loran-C 라디오존데 기준이며, GPS 라디오존데의 경우 100리터를 더 넣어야 한다. 명심할 것은 여기서 표시한 양은 대략적인 값이었어 지역에 따라서 조정될 수 있다. 각 풍선 크기에 따른 일반적인 종결 고도를 Table 1에 나타내었다. 종결고도는 풍선 보관기간, 풍선조작, 가스양, 대기의 연직 온도구조에 따라 의존한다. 이것은 종결고도의 정확한 값을 나타낼 수 없는 이유이다.

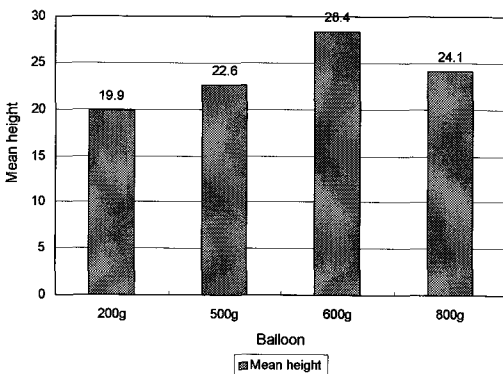


Fig. 8. Mean observation height of autosonde per balloon type.

5. 오토존데 종결 원인 분석

5.1. 연도별 종결 원인분석

2002년부터 2004년까지의 오류(Fig. 9)를 살펴보면, 2002년과 2003년도에는 “Bad sonde”와 같은 센서의 불량에 의한 오류가, 2003년과 2004년도에는 “No free frequency found”와 같은 전파 방해에 관련된 오류가 많이 발생한 것을 알 수 있었다. 무엇보다도 운영자의 미숙으로 인한 “Too old sounding”과 같은 미리 방지 할 수 있는 오류가 2002년도에 4회나 발생하였다.

연도별 오류 내용은 Fig. 9와 같지만 강풍을 동반하는 태풍 “루사” 그리고 “매미”, “민들레”와 같은 경우 풍선이 비양하지 못하고 오토존데 내부에서 터져버리는 문제가 발생 할 수 있다. 이러한 경우 해결방안을 모색하여 보았다.

풍선이 채워지는 동안 터지면 사운드 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 코드 A19(Table 2)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 사운드 동안 회전 테이블은 회전할 수가 없다. 왜냐하면 풍선이 회전을 막기 때문이다. 이러한 경우 실패 F160(Table 2)이 될 것이고, 또는 F140(Table 2)이 될 것이다.

이 문제를 해결하기 위해서는 아래와 같다.

1) PC : Autosonde GUI(Graphic user interface)로

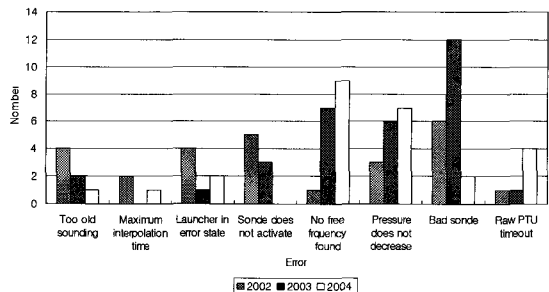


Fig. 9. Annual numbers of autosonde observation for each cause of sounding termination.

Table 2. Possible reasons for sounding termination

Reason for termination	Argument	Possible explanation
Increasing pressure	Balloon burst.	The normal reason.
Bad sonde	Too big a difference between radiosonde sensor(s) and GC reference value(s) during the ground check.	Radiosonde calibration out of limits, radiosonde sensor(s) broken, reference sensor(s) out of calibration or broken.
LAUNCHER in error state	Unable to use launcher, there is a serious system error.	Failure in logics. See the local system log file (WindowsNT Event Viewer) for more information.
Manual abort received	The operator has terminated the sounding using the manual abort command.	Operator terminated sounding.
Maximum interpolation time	The scheduler cannot receive edited data for 13 minutes.	Telemetry or radiosonde error during the flight.
No free frequency found	The schedule cannot find any radiosonde (scheduled or spare) the frequency of which is free to use.	Another radiosonde or interference on the same frequency.
Present weather	The launcher cannot launch the radiosonde because of present weather: 10 min average temperature below -25°C or/and wind speed more than 20m/s (parameters; modifiable).	Weather too severe for launching the radiosonde.
Process not found	Some system process not found of terminated while needed.	Possible software error.
Raw PTU timeout	The scheduler cannot receive raw PTU data.	Telemetry or radiosonde error, no radiosonde signal is received.
Serious system error	The system scheduler found a serious system error.	See the local system log file (WindowsNT Event Viewer) for more information.
Sonde does not activate	The scheduler cannot find signal at radiosonde frequency ± 500 kHz.	No power for the radiosonde. The battery connector not connected during the loading. Water nozzle failure at the battery activator. Possible radiosonde error.
Too old sounding	Too old sounding time. The scheduler finds radiosonde(s) that should have been launched before.	Because of some problem, the launcher could not launch the radiosonde(s). When the problem is repaired, the scheduler finds on tray the radiosonde(s) scheduled to be launched earlier.
Invalid ascent rate	The radiosonde ascent rate is too low, aborting the sounding.	The ascent rate is less than 120 m/min (parameter; modifiable).
Pressure does not decrease	Automatic sounding start has not been detected.	The radiosonde has remained on the ground level(balloon burst, balloon jam).

부터 <Tool>과 <Service>를 선택하고(모드 <Service>로 변경) open 버튼을 눌러 발사뱅크 뚜껑을 연다.

4) 발사뱅크 밑으로 가서 작은 창구멍이 있는 것을 통해 풍선 상태를 확인한다.

5) 발사뱅크 밑에 있는 커버를 연다.(수소를 사용 시에는 안전복과 안경을 쓰고 그라운드링 등을 한다.

모든 걸쇠가 열리면 경첩에서 커버가 떨어질 것이라는 것을 주지한다.)

6) 풍선의 위치를 관찰한다.(풍선의 일부분이 발사 해치 아래에 걸려있음.)

7) 셸터 안으로 들어가 로직 컨트롤러의 문에 있는 "Emergency"버튼을 누른다.

8) 로봇실의 문을 열고 들어가서 풍선의 상태를 검사한다.

9) 적절한 방법을 적용해서 풍선을 제거한다.

10) 로직 컨트롤러에 있는 "Emergency"버튼을 켜다.

11) PC의 setup 버튼을 누르고(시스템 검사가 약 2분 정도 걸림) 서비스 모드를 나간다.

12) 풍선발사대 아래의 커버를 닫고 시스템은 다음 작업을 위해 준비한다.

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.

또한, 헬륨 대신 수소를 사용하는 경우에 대한 안전규칙을 살펴보면, 하나의 안전규칙으로는 적절한 접지를 사용하는 것은 수소나 다른 폭발 가능성이 있는 가스를 다루는데 중요한 예방책이다. 예로써 위험한 상태에서 오토존데 발사체에 들어갈 때의 기본 규칙은 자기 자신(관측자)으로 3중 접지로 위험한 전위차가 없도록 안전하게 하는 것이다.

풍선 발사체로부터 일정 거리이상 떨어져 있을 때 컨테이너에 자신을 접지시킨다. 접근하면 발사체에 자신을 접지한다. 마지막으로 가스가 새는 중에 풍선을 만지려면, 우선 풍선의 세지 않는 부분을 먼저 접지한다.

오토존데를 구매할 때 몇 종의 보호 장비가 공급된다. 이 장구는 얼굴과 머리를 보호하는 방화두건, 눈을 보호하기 위한 덮개형 용정안경과 예로 손으로 타는 가스밸브를 잠그기 위한 방화 장갑이 있다. 무 정전기, 방화 복을 입고 들어가는 것을 적극 원한다. 적절한 보호 장구 없이 어떤 위험한 작업도 이루어져선 안 되며 또는 자신이 하는 일에 대한 정확한 지식 없이 어떠한 작업도 해서는 안된다.

풍선 발사체에 수소 풍선이 걸려 있을 경우 풍선은 가스로 완전히 가득 채워져 있거나 아마도 부분적으로 채워져 있을 것이다. 이러한 경우 10분 정도를 기다려 풍선 크기가 줄어드는지의 여부를 검사한다. 풍선 발사체 안으로 들어가 작업을 시도하기 전에 수동으로 풍선 발사체 문을 열어 발사체 내부에 수소가스를 방출 시킨다. 그리고 위에 말한 것과 같이 보호 장구와 3중 접지를 하고 내부에 들어가

안테나선으로부터 풍선을 풀어서 자른다.

풍선 안에 수소가 있다면 정전기에 의해 야기되는 폭발의 위험을 최소화하기 위해 지붕에서 물을 풍선에 뿌려야 한다. 풍선이 새고 있는 경우에는 밤새 그곳에 놔두는 것이 가장 좋다.

사운드링 장치가 발사체로부터 제거된 후에 런처 밑에 커버도어는 닫혀 질 수 있다. 셀터로 돌아가서 보호 장구 및 안경을 벗고, 비상상태 버튼을 반시계 방향으로 돌려서 버튼을 켜다. 그리고 뚜껑 스위치를 자동으로 돌려 뚜껑을 닫는다.

오류가 성공적으로 교정이 되면 가스 밸브를 열 수 있다. 마지막으로 컴퓨터 인터페이스에 있는 <Tool>을 선택하고 나서 <Service>와 <Setup>을 클릭한다. 이것은 오류 상태를 없애줄 것이다.

대부분 유럽에 설치된 오토존데는 지리적으로 거주지역과 멀리 떨어져 접근하기 어려운 지역(geographically remote, hard-to-reach locations)에 주로 위치하므로 정기적인 수소보급 교체 등은 위험물안전관리업체에 의해 이루어지고 있으므로 오토존데 운영시 관측 운영자들이 수소를 취급하는 것은 매우 제한되어 있다. 이러한 폭발성 가스에 대한 제한된 취급으로 인해 기존의 사람에 의해 수동 고층관측에 비해 오토존데를 이용한 무인 고층관측이 훨씬 안전하다고 볼 수 있다. 그러므로 위에 제시된 내용들은 오토존데에 수소를 사용하는 경우, 1~2개월마다의 운영자에 의해 정기점검 등을 할 때 준수하여야 하는 안전 규칙이라고 생각할 수 있다. 이와 별도로 풍선이 발사체 내에서 터질 경우, 2~3개의 예비 풍선을 활용하여 즉시 대응할 수 있는 체계로 되어 있어 무인자동 고층관측이 가능하다고 볼 수 있다.

5.2. 기상현상별 종결 원인분석

오토존데를 활용한 태풍, 전선성 강수, 폭설과 같은 재해성 기상현상에 대한 시·공간 고분해능의 고층기상관측자료를 생산하기 위하여, 한반도 남서지역에서 태풍 "루사"에 관한 2002년, 서해안 강설에 관한 2004년과 장마전선상의 지속적인 강수에 관한 2005년 야외집중관측실험을 실시하였다.

Fig. 10은 태풍, 전선성 강수, 강설현상별 오토존데를 이용한 탐측(sounding) 종결 원인을 나타낸 것이다. 먼저 태풍 관측 시 "Maximum interpolation

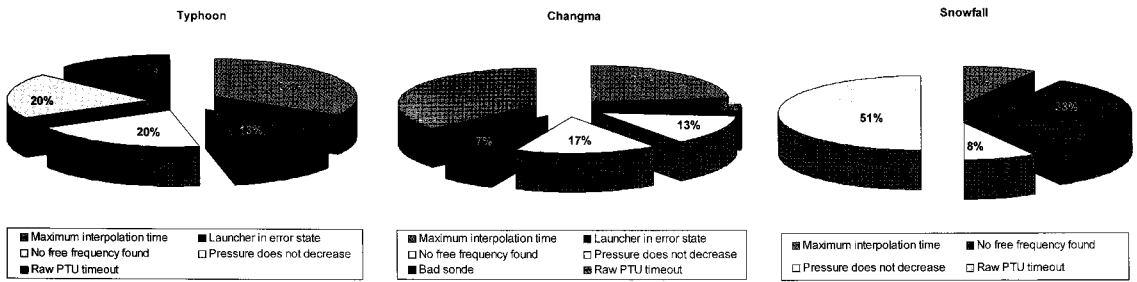


Fig. 10. Reasons of the sounding termination of Autosonde in each event.

time”의 경우가 34%로 가장 많은 원인이 발생하였다. 이 원인이 발생한 경우, 평균 관측고도는 6.5km이었다. 그리고 다음으로 “Pressure does not decrease”와 “No free frequency found”가 각각 20%로 발생하였다. 특히 “No free frequency found” 원인 발생시에는 주파수가 다른 보조 존데가 비양하기 때문에 관측 자료에 대해서는 크게 우려할 원인이 아닌 것으로 판단되었다. 하지만 “Pressure does not decrease” 원인이 발생할 경우 가스의 압력이 올라가지 않기 때문에 발생하는 원인으로 가스압력 조절기의 고장이나 아니면 가스가 부족할 경우이다. 이 경우에는 장비점검이 필수적으로 필요하다. 장마전선상의 지속적인 강우 사례의 경우, 가장 많은 오토존데 관측중결 원인은 “Raw PTU time out”으로 37%이었다. 평균 관측고도는 15.1km이었다. 다음으로 평균 관측고도가 11.4km인 “Maximum interpolation time”이 23%로 발생하였다. 마지막으로 강설 관측시는 장마와 동일하게 “Raw PTU time out”에서 51%으로 탐측 중결원인이 가장 많이 발생하였다. 이 원인에 대한 평균관측고도는 12.3km이었다. 다음으로 태풍사례에서 다소 낮은 비율인 “No free frequency found”가 33%정도로 발생하였다. 이러한 결과는 오토존데 탐측 중결원인이 기상현상별로 다소 다르게 나타나므로 각 사례별 체계적인 원인분석으로 통해 장비점검 및 대책 마련이 필요하다.

한편, 강풍이나 돌풍을 동반한 태풍이나 겨울철 폭풍 사례에 오토존데를 이용한 고층관측을 실시할 경우, 풍선 발사 직전에 강풍에 의한 비양 실패를 막기 위해 발사체 상부에 4개의 방풍용 cover lid(규격 상으로 2개는 기본이며 나머지 2개는 option임)를 설치할 수 있게 되어 있다. 현재 해남의 오토존

데에는 2개의 방풍용 cover lid가 설치되어 있으며, 향후 태풍 등 강풍을 동반한 악기상 사례에 대해 보다 안정적인 관측을 위해서 추가적인 방풍용 cover lid 설치가 이루어진다면 강풍을 동반한 경우에도 무인고층관측이 가능하리라 사료된다. 특히 추가적인 방풍용 cover lid가 설치된다면 태풍의 경우에도 10 km이상까지 고층관측자료 생산이 가능하므로 오토존데를 기반으로 한 현업 고층관측업무를 무인자동화가 가능하리라 판단된다. 이러한 오토존데의 특징으로 인해 일본기상청에서도 2003년 6월부터 Hachijojima(47678)-일본 동경에서 남쪽으로 300 km 떨어진 태평양 연안에 위치한 섬-에 오토존데 설치 및 현업 운영을 하고 있다. 하지만 오토존데를 이용한 고층관측의 무인자동화를 추진하기 위해서는 보다 많은 기간 동안에 보다 많은 사례에 대해 적용하여 객관적으로 평가하고, 나아가 안전사고의 발생 가능성을 철저히 조사·분석하여 이에 대한 대비책을 마련할 필요가 있다.

6. 결 론

국립기상연구소 주요사업인 "한반도 악기상 주요관측(KEOP)사업"의 일환으로 오토존데는 2002년 1월에 해남기상관측소에 설치되어 운영 중에 있으며, 기존의 레원 존데와 달리 자동무인고층관측이 가능한 장비로 기존의 6시간이나 12시간 간격의 고층관측을 3시간이내의 관측간격의 시간 고분해능 고층관측 생산이 가능하다. 최근 3년(2002~2004)간의 해남 오토존데 운영 실적을 기초로 고층관측 자동화 방안을 제시하고자 한다.

1) 오토존데를 이용한 고층관측은 주로 6월과 7

월에 집중되어 있으며, 계절별 평균 관측고도는 여름철이 26.1 km로 가장 높게 나타났고, 봄철과 겨울철에 21.5 km로 가장 낮게 나타났다. 평균 관측고도가 여름철에 높은 것은 봄철과 겨울철보다는 강한 상승기류의 발달과 온도와 밀도 변화에 따른 풍선의 팽창정도의 차이 때문이다.

2) 풍선크기와 지상 조건에 따라 가스 사용량은 다소 차이가 나지만, 평균적으로 풍선 1개 당 0.45봉배를 사용함을 알 수 있었다.

3) 풍선 크기별 관측고도는 600 g의 평균 관측고도가 가장 높은 28.4 km이었고, 200 g은 가장 낮은 19.9 km의 관측고도를 나타냈으며, 전체 평균 관측고도는 23.75 km이었다.

4) 오토존데 탐측 종결원인을 분석해 보면, "Bad sonde"와 같은 센서의 불량에 의한 오류가 많이 발생하였다. 그리고 "No free frequency found"와 같은 전파 방해에 관련된 오류 또한 많이 발생한 것을 알 수 있었다. 기상현상별로 다소 다르게 나타나므로 각 사례별 체계적인 원인분석으로 통해 장비점검 및 대책 마련이 필요하다.

이러한 결과로 볼 때, 태풍과 같은 강한 지상풍속이 나타날 때 오토존데를 이용한 고층관측이 비교적 안정적으로 수행됨을 알 수 있었다. 하지만, 태풍 등 강풍을 동반한 악기상 사례에 대해 10 km이상까지 고층관측자료 생산을 위해서 추가적인 방풍용 cover lid 설치가 이루어져야 한다. 이럴 경우에 오토존데를 기반으로 한 현업 고층관측업무를 무인자동화할 수 있이라 판단된다. 또한 강한 상승류의 존재 및 온도와 밀도 변화에 따른 풍선 팽창정도의 영향으로 다른 계절에 비해 여름철에 관측고도가 높다는 것을 알 수 있었다. 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 장

점은 인건비가 크게 줄어든다는 점이다. 운영자가 라디오존데를 발사하기 위한 준비만 하면 오토존데 시스템이 자동으로 풍선을 띄우기 때문에 인건비 부담 면에서 경제적인 이점이 있다. 또한 강풍이 분다거나 강한 눈보라가 발생시에 고층 관측은 많은 위험이 따르는데 오토존데 시스템으로 대체한다면 고층 관측을 하는데 있어 경제적인 면이나 기상관측의 안정성에 큰 효과가 있을 것으로 사료된다.

마지막으로 오토존데와 같은 첨단기상관측장비의 활용으로 고분해능 고층 관측자료 생산이 가능하다면 악기상의 구조와 특성 분석 및 예측시스템의 향상에 크게 기여할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 국립기상연구소의 주요사업인 "한반도 악기상 집중관측과 예측성(KEOP)"과 목포대학교 내풍기술연구단을 통하여 지원된 건설교통부 지역특화연구개발사업에 의하여 수행되었습니다. 연구 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- 1) 방기석, 전병덕, 2006, 오토존데 System의 필요성, 2006년 한국기상학회 가을 학술대회 논문집, 2006년 10월 12일~13일, 일산 KINTEX, 288-289.
- 2) 박종길, 정우식, 최효진, 2007, 자연재해 평가를 위한 방재기상 DB 정보, 한국방재학회논문집, 7(3), 41-49.
- 3) 김백조, 조천호, 남재철, 정효상, 김정훈, 2003, 2002년 국가 악기상 집중관측센터에서 생산된 집중 관측 자료의 분석 및 활용, 대기, 13(4), 52-65.
- 4) Kim B. J., Chung H. S., Cho C. H., Kim J. H., 2003, Structural Features of Typhoon RUSA's Center, Vaisala News, Vol.162, 4-7.
- 5) May P. T., Greg J. H., 1993 : Wind profiler observations of Tropical Storm Flo at Saipan, Weather and Forecasting, 9, 410-426.
- 6) Visidyne, Inc., 2000, A cost effective automatic balloon launcher.