

## 장기체공무인기를 위한 제주도 모슬포 지역의 기상환경 분석

조영준<sup>\*,1),2)</sup> · 안광득<sup>1)</sup> · 이희춘<sup>1)</sup> · 하종철<sup>1)</sup> · 최규용<sup>1)</sup> · 조천호<sup>1)</sup> · 김수복<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 국립기상과학원 예보연구과

<sup>2)</sup> 연세대학교 대기과학과

<sup>3)</sup> 공군 기상단 원격체계실

### The Analysis of Meterological Environment over Jeju Moseulpo Region for HALE UAV

Young-Jun Cho<sup>\*,1),2)</sup> · Kwang-Deuk Ahn<sup>1)</sup> · Hee-Choon Lee<sup>1)</sup> · Jong-Chul Ha<sup>1)</sup> ·  
Reno K. Y. Choi<sup>1)</sup> · Chun-Ho Cho<sup>1)</sup> · Su-Bok Kim<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Forecast Research Laboratory, National Institute of Meteorological Research, KMA, Seogwipo, South Korea

<sup>2)</sup> Department of Atmospheric Sciences, Yonsei University, South Korea

<sup>3)</sup> Remote Sensing Branch, Weather Wing, Republic of Korea Air Force, South Korea

(Received 14 January 2015 / Revised 25 June 2015 / Accepted 3 July 2015)

#### ABSTRACT

In this study, the characteristics of main wind direction, vertical temperature and wind speed profile near the Moseulpo airfield for HALE UAV(High Altitude Long Endurance Unmanned Aerial Vehicle) is investigated. The results are summarized as follows, main wind direction is governed by air mass according to season and local wind such as land-sea breeze. The directions of landing and take-off of HALE UAV will be selected as the south-east direction in June ~ August, north-west direction in October ~ March, and south-east direction at daytime in April ~ May, September. Annual variation of temperature at 100 hPa showed that temperature in summer season is lower than winter season. On the other hands, wind speed at 250 hPa in winter season is higher than summer season. The threshold values of temperature and wind speed for HALE UAV flight are -75 °C and 90 ms<sup>-1</sup>, which were determined by 5 % frequency value(1.96 σ), respectively.

Key Words : Main Wind Direction(주풍), Minimum Temperature(최저 기온), Maximum Wind Speed(최대 풍속)

#### 1. 서론

민·군기술협력 시범사업으로 개발되고 있는 장기 체공무인기(HALE UAV)는 2017년, 발사 예정지인 제주도 모슬포(알뜨르 비행장; 위도 33.2° N, 경도 126.27° E)에서 이륙하여 성층권 약 20 km 고도에서 운영될 계획이다. 장기체공무인기가 운영될 성층권(약

\* Corresponding author, E-mail: genesis19y@gmail.com  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

10 ~ 17 km에서 50 km 고도 사이)은 오존의 자외선 흡수로 인하여 대류권과는 반대로 고도가 증가할수록 기온이 증가하는 대기층이다. 또한 난류의 강도가 대류권보다 작아 안정한 대기로 알려져 있다. 반면 지상과 약 10 ~ 17 km 고도 사이에 위치한 대류권은 고도가 증가할수록 기온이 감소하기 때문에 바람의 수렴·발산, 연직운동에 따른 물의 상변화가 활발하여 대부분의 기상현상이 이 권역에서 발생된다<sup>1,2)</sup>. 따라서 장기체공무인기가 다양한 기상현상이 발생하는 대류권을 통과하여 성층권에 진입한다면 안정한 대기에서 장기적인 관측임무 수행이 가능하게 될 것이다.

향후 장기체공무인기는 집중호우, 극한대설 등 대류권과 하부 성층권에서 발생하는 다양한 기상현상 관측임무를 수행할 것이다. 현재 항공기 관측은 대류권 내에서 임무를 수행하기 때문에 난류, 착빙 등 기상상태에 따라 운영의 제약을 받는다. 또한 극궤도 위성의 경우, 운영고도가 정지궤도 위성보다 낮기 때문에 상대적으로 높은 공간해상도를 가지나 동일한 지역에 대해 하루 2~3회 정도의 매우 낮은 관측주기를 지니고 있어 짧은 시간 내에 발생하여 소멸하는 기상현상을 이해하는 데에는 한계가 있다<sup>3)</sup>. 그러나 장기체공무인기는 안정한 성층권에서 기상현상의 이동을 추적하며 관측을 수행하기 때문에 향후 위험기상의 일생(life cycle)을 이해할 수 있는 혁신적인 관측 자료를 제공할 것이다.

장기체공무인기의 성공여부는 급변하는 대류권을 통과하여 성층권에 진입하는 것으로 가능하게 될 것이다. 이러한 도전 및 성공을 위해 대한민국의 국립기상과학원, 국방과학연구소, 항공우주연구원, 에너지기술연구원 등 여러 부처에서 장기체공무인기 개발 사업에 참여하고 있다. 따라서 장기체공무인기의 이·착륙 방향 및 운항 시나리오 그리고 구성 부품들의 안정된 설계를 위해서 활주로 주변 및 고도별 기상환경(기온, 바람 등) 분석은 필수적으로 수행되어야만 한다. 현재 설계 기준치는 크게 군사적 그리고 상업적 설계 기준치가 있다. 기온의 경우, 군사적 설계 기준치는 -55 ~ 125 °C이고 상업적 기준치는 -40 ~ 85 °C 범위를 두고 있다. 그러나 실제 대기는 이보다 더 극한 조건일 수 있다<sup>4,5)</sup>. Hoinka(1999)<sup>5)</sup>는 1979 ~ 1993년 동안 European Center for Medium Range Weather Forecasts(ECMWF) 모델 재분석 자료를 이용하여 대류권계면 고도에서의 평균 온도를 분석하였다. 중위도 지역에서 대류권계면 고도는 약 200 hPa(12 km)이고, 이 고도에서 평균 온

도는 약 -57 °C로 보고하였다.

한반도 기상환경에 적합한 설계 기준치를 제시하기 위해 다양한 연구가 수행되어져 왔다<sup>6,8)</sup>. Lee et al. (2001)<sup>6)</sup>은 한반도 기상환경에 적합한 군 환경시험 규격을 현실화하기 위해서 지상의 기온, 일강수량, 풍속, 지진, 낙뢰, 기압, 상대습도 및 고층기온을 분석하였다. 분석된 결과는 미군 규격 MIL-STD-210C<sup>4)</sup>와의 비교를 통해 지나치게 엄격한 규격으로 인한 제조가격 및 보수비용 상승을 지적하였다. Kim and Kang(2002)<sup>7)</sup> 또한 지상에서 관측된 기온자료를 이용하여 한반도 및 동아시아에 적합한 온도규격 설정을 위한 이론적 근거를 마련하였다. 이 결과를 통해 무기체계의 과잉 설계, 제작, 그리고 시험에 따른 비용을 절감할 수 있을 것으로 기대하였다. Lee(2007)<sup>8)</sup>은 한반도 지역의 온도 일주기를 연구하여 기상환경 시험 시 고온의 경우 25 ~ 35 °C 범위를 보이는 대구 지역의 온도를 사용할 것을 추천하였고, 저온은 -19 ~ -31 °C의 온도 범위를 보이는 삼지연 지역의 값을 사용하도록 추천하였다.

장기체공무인기는 약 20 km 성층권 고도에서 운영될 계획이기 때문에 고도별로 운영범위에 적합한 기상환경 분석이 구체적으로 이루어져야만 한다. 기존 연구는 주로 지상관측 자료에만 국한되어 분석이 이루어졌거나, 고층관측자료의 분석이 수행되었다라도 기온에 대해서만 분석이 이루어졌다. 또한 100 hPa(약 16 ~ 17 km) 이하의 고도에서만 분석이 이루어져 장기체공무인기의 운영고도에 대한 기상환경 분석은 아직까지 미흡한 실정이다. 대기과학 분야에서는 관측 자료와 ECMWF, National Centers for Environmental Prediction(NCEP)/National Center for Atmospheric Research(NCAR), Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications(MERRA) 등 재분석 자료를 이용하여 극지역 혹은 북반구 지역 등 주로 전 지구적인 관점에서 기상요소의 분석이 이루어져 왔다<sup>9)</sup>.

본 연구의 주된 목적은 장기체공무인기의 안정적인 운항을 위해서 운영지역에 적합한 지상 및 고도별 기상환경을 분석하는데 있다. 따라서 지상 자동기상관측(AWS : Automatic Weather Station) 및 고층기상관측 라디오존데(radiosonde) 자료를 이용하여 운영 예정지인 제주도 모슬포 지역의 기상환경을 집중적으로 분석하였다. 2장에서는 연구에 사용된 자료 및 방법을 설명하였고, 3장에서는 모슬포(알뜨르 비행장) 활주로 주변의 주풍 및 풍속에 대해 분석하였다. 4장에서는 고도에 따른 기온과 풍속의 특성에 대해 분석하였다. 마치

막으로 5장에서는 결과를 요약, 정리하였다.

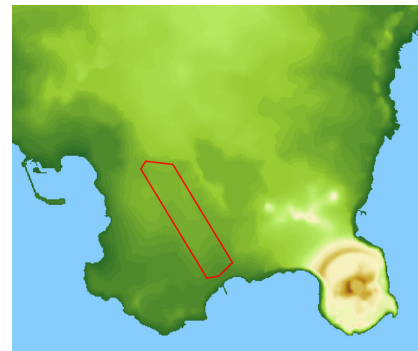
하였다.

## 2. 연구 자료 및 방법

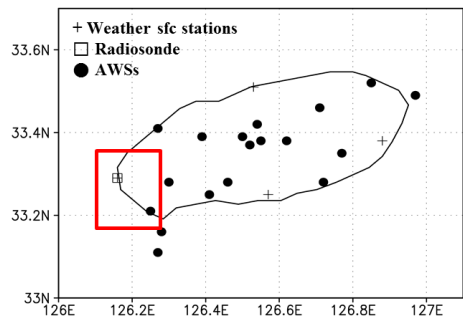
무인기의 이·착륙 방향, 운항 시나리오, 그리고 설계 기준치 제시를 위해서 활주로 주변의 바람과 고도별 기온 및 바람의 특성을 분석하였다. Fig. 1a는 제주도 남서 해안에 북서와 남동 방향으로 놓여있는 모슬포 비행장의 활주로(빨강색)를 보여준다. Fig. 1b는 모슬포 비행장 주변에 위치한 모슬포 AWS와 고산기상대 고층관측소의 위치를 보여준다. 활주로 주변의 바람 특성을 분석하기 위해서 AWS에서 관측된 1시간 간격 바람자료를 수집하였다. 또한 고도별 기온, 바람의 특성을 분석하기 위해서 하루 두 번(00, 12 UTC) 관측을 수행하는 고산 고층기상관측 자료를 수집하였다. 분석 기간은 모슬포 AWS 관측 시작 시기를 고려하여 2000년 1월 ~ 2010년 12월(11년) 동안 관측된 AWS와 라디오존데 자료이다(Table 1).

기상청에서 운영 중인 AWS는 풍향, 풍속, 온도, 상대습도, 기압, 강수량, 강수감지, 지면온도, 초상온도, 일사, 일조 등의 요소를 관측하고 있다. 라디오존데는 지상에서 비양하여 기압, 기온, 상대습도, 지위고도(geopotential height), 풍향, 풍속을 고도별로 관측한다. 라디오존데는 지상에서 약 5 hPa(약 35 km) 고도까지 관측입무를 수행한다<sup>[10,11]</sup>. 따라서 라디오존데 관측은 장기체공무인기 운영 고도범위를 포함하기 때문에 이 연구에 적합한 자료로 볼 수 있다.

장기체공무인기의 이·착륙 방향을 결정하기 위해서 AWS 바람자료를 이용하여 11년 동안의 주풍(main wind direction)을 분석하였고, 연 변동성(annual variation)을 조사하기 위해서 월별 주풍을 조사하였다. 여기서 주풍은 빈도수가 가장 높은 풍향으로 정의된다. 또한 모슬포는 지리적 특성 상 바다와 인접해 있기 때문에 해륙풍(land-sea breeze)의 특징을 조사하기 위해서 주풍의 일 변동성(diurnal variation)을 조사하였다. 장기체공무인기 세부 부품의 설계 기준치를 제시하기 위해서 11년 동안 고도별로 기온과 풍속의 특성을 조사하였다. 세부적으로 기온과 풍속의 평균, 최소, 그리고 최대값을 고도별로 조사하였다. 또한 최저 기온과 최대 풍속이 나타나는 고도에 대해 기온과 풍속의 연변화를 분석하였다. 최종적으로 장기체공무인기의 설계 기준치를 위해서 기온과 풍속의 5%(1.96σ)의 빈도값을 제시



(a)



(b)

Fig. 1. Location of (a) Moseulpo airfield and (b) meteorological stations of surface(+), radiosonde(□), and the Automatic Weather Stations(AWSs; ●) over Jeju Island. Red box in bottom figure indicates the location of AWS at Moseulpo and radiosonde at Gosan weather station

Table 1. The information of AWS and radiosonde station

	AWS	Radiosonde
Station	Moseulpo	Gosan
ID	793	47185
Latitude (°N)	33.32	33.29
Longitude (°E)	126.25	126.16
Observation start	13 January 1999	1 May 1988
Station height (m)	11.36	74.29

### 3. 활주로 바람(주풍, 풍속) 분석

Fig. 2는 2000년 1월에서 2010년 12월까지 11년 동안 모슬포 AWS에서 관측된 바람장미(wind rose)와 풍향에 따른 풍속의 강도 및 변동성을 보여준다. 바람장미에서 0.2 ms<sup>-1</sup>를 기준으로 그 이하는 무풍으로 정의하였고, 0.2 ms<sup>-1</sup>를 초과하는 바람에 대해서만 풍향별 빈도를 조사하였다. 주풍을 분석한 결과, 모슬포(알뜨르 비행장)의 풍향별 빈도값은 활주로 방향과 동일하게 북풍과 북서풍이 44 %의 빈도를 보였고, 남동풍·동풍이 26 %의 빈도로 전체의 약 70 %를 차지하였다(Fig. 2a). 또한 풍향에 따른 풍속의 강도 및 변동성을 조사하였다. 풍향에 따른 평균 풍속은 3 ~ 6 ms<sup>-1</sup>로 나타났고, 주풍으로 나타났던 북풍과 북서풍은 약 5 ~ 6 ms<sup>-1</sup>로 다른 풍향에 비해 상대적으로 높은 풍속을 보였다. 풍속의 표준편차는 북서풍에서 3.3 ms<sup>-1</sup>로 변동성이 가장 크게 나타났다(Fig. 2b). 풍향에 따른 풍속의 세부적인 수치는 Table 2에서 제시하였다.

북반구 중위도에 위치한 대한민국은 지리적으로 계절에 따라 시베리아 기단 그리고 북태평양 기단 등 물리적 성질이 일정한 거대 공기덩어리의 영향을 받는다<sup>[1-2]</sup>. 모슬포 지역에서 계절별 주풍의 변동성을 분석하기 위해서 월별로 풍향의 바람장미를 조사하였다. 왼쪽 상단에서 오른쪽 방향으로 1월부터 순차적으로 바람장미를 나열하였다(Fig. 3). 각 월별 주풍을 분석한 결과, 계절에 따라 뚜렷한 특징이 나타났다. 즉, 10 ~ 3월은 북풍계열의 바람이 주풍으로 나타났다. 이것은 겨울철에 시베리아 기단의 지배를 받고 있기 때문이다. 반면 6 ~ 8월은 북태평양 기단의 영향으로 남풍계열의 바람이 주풍으로 나타났다. 또한 4 ~ 5월 그리고 9월의 주풍은 북·북서풍 그리고 동·남동풍 계열의 바람이 유사한 수치를 보였다. 풍속이 0.2 ms<sup>-1</sup> 이하인 무풍은 월별로 0.2 ~ 5.3 %의 빈도를 보였고, 여름철에 무풍의 빈도가 높았다. 특히 8월에 5.3 %로 최대를 보였다.

Fig. 4는 주풍의 연 변동성을 분석하기 위한 월별 주풍, 주풍의 빈도 그리고 주풍 풍속(평균값, 중간값, 표준편차)을 보여준다. 주풍은 Fig. 3에서와 같이, 10 ~ 3월에 주풍의 빈도가 약 35 ~ 50 %로 북풍이 우세하였고, 6 ~ 8월은 주풍의 빈도가 약 25 %로 남동풍이 우세하였다. 그 외 달의 주풍은 북·북서 그리고 북풍이 약 20 %의 빈도를 보였다. 월별로 주풍 풍속의 특징을 분석한 결과, 겨울철의 북풍이 상대적으로 여름철 남

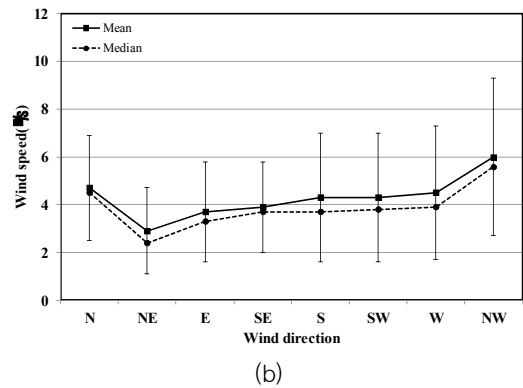
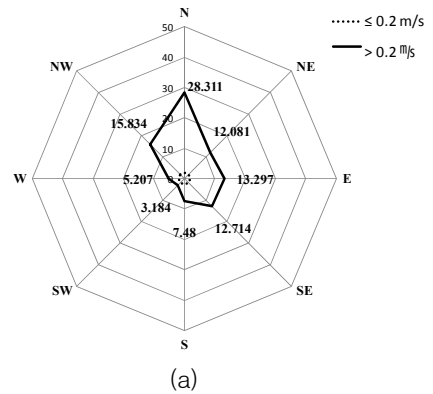


Fig. 2. (a) Main wind direction(%) and (b) mean, median, standard deviation values of wind speed(ms<sup>-1</sup>) according to wind directions during the 11 year period(January 2000 ~ December 2010) at Moseulpo AWS

Table 2. Mean, median, standard deviation(Std) values of wind speed(ms<sup>-1</sup>) according to wind directions

		Wind direction							
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Wind speed (m/s)	Mean	4.7	2.9	3.7	3.9	4.3	4.3	4.5	6.0
	Median	4.5	2.4	3.3	3.7	3.7	3.8	3.9	5.6
	Std	2.2	1.8	2.1	1.9	2.7	2.7	2.8	3.3

동풍보다 더 강하게 나타났다. 대기과학에서는 시·공간적 규모에 따라 기상현상을 분류한다. 종관적인 규모(synoptic scale)는 2,000 km 이상, 하루 이상의 기상

장기체공무인기를 위한 제주도 모슬포 지역의 기상환경 분석

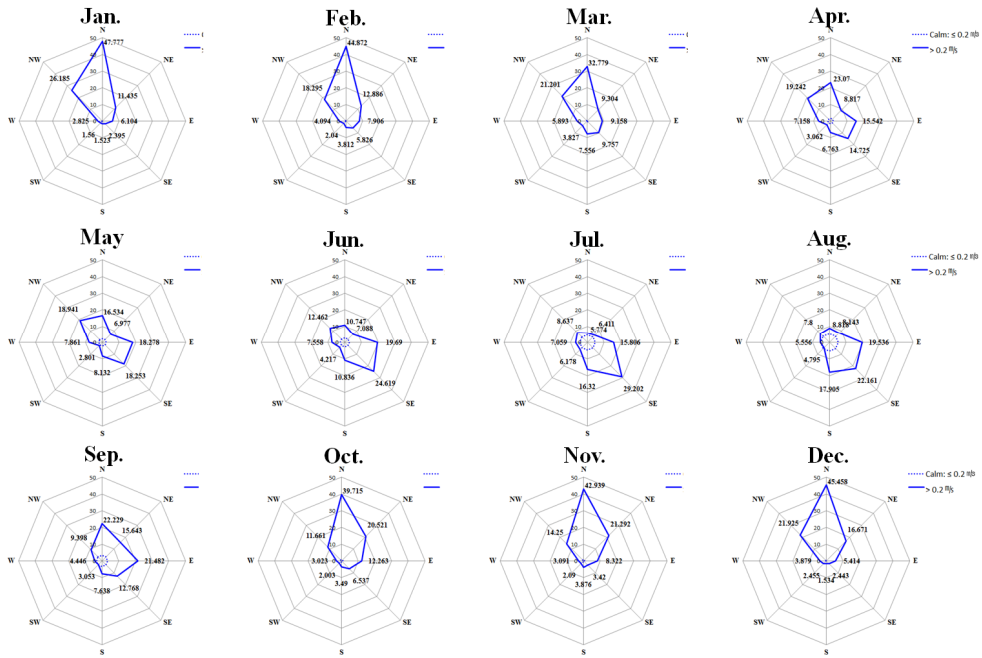


Fig. 3. Same as Fig. 2. except for the each month

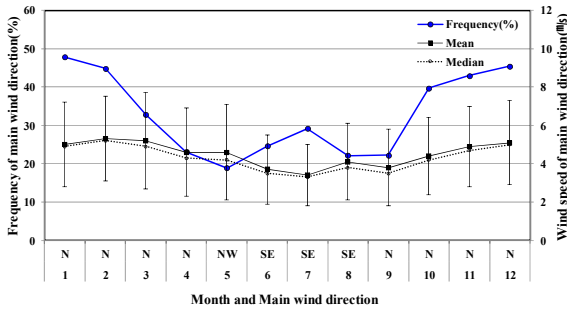
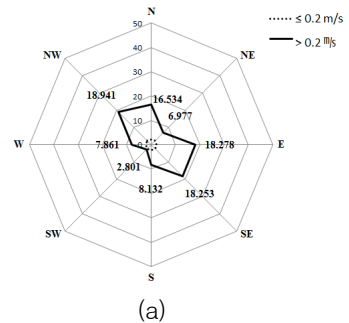
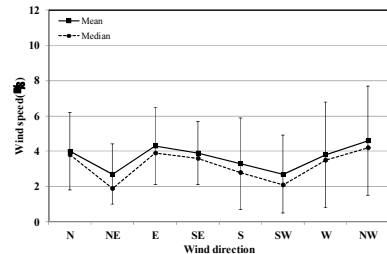


Fig. 4. Annual variation of main wind direction and wind speed( $\text{ms}^{-1}$ ; mean, median, standard deviation) during the 11 year period (January 2000 ~ December 2010) at Moseulpo AWS

현상으로 정의하고 있고, 해륙풍과 같은 국지적인 규모는 20 ~ 200 km, 1 ~ 24 시간으로 중규모- $\beta$ (meso- $\beta$  scale) 기상현상으로 정의하고 있다<sup>[12]</sup>. 위의 주풍의 발생 빈도를 분석한 결과, 모슬포 지역에서 나타나는 계절별 주풍은 중관적 그리고 국지적인 규모의 지배를 받는다. 즉, 중관적 지배는 기단의 영향을 그리고 국지적인 관점에서는 육지와 바다의 온도차로 인한 해륙풍의 영향을 받는다. 여름철의 경우, 북태평양 기단의 영



(a)



(b)

Fig. 5. (a) Main wind direction(%) and (b) wind speed ( $\text{ms}^{-1}$ ; mean, median, standard deviation) during the 11 year period(January 2000 ~ December 2010) at Moseulpo AWS site in May

향으로 남풍 계열의 바람이 지배적일 것으로 생각된다. 그러나 겨울철에 비해 주풍의 빈도가 약 30 % 이하로 낮은 것은 기단의 지배가 약할 경우 바다와 육지의 온도차이로 인해 발생하는 해륙풍에 기인된 것으로 판단된다.

해륙풍과 같은 바람의 일 변동성 특성을 자세히 분석하기 위해서 북·북서풍 그리고 동·남동풍의 빈도가 유사하게 나타나는 5월 달을 선정하여 분석하였다. 5월의 주풍과 풍향에 따른 풍속을 분석한 결과, 주풍으로 나타난 북서풍과 남동풍 계열의 풍속은 약 4 ms<sup>-1</sup>로 유사하게 나타났다. 표준편차는 북서풍의 경우, 2.5 ms<sup>-1</sup>로 남동풍 계열의 바람에 비해 더 큰 변동성을 보였다(Fig. 5). Table 3은 풍향별 평균, 중간, 그리고 표준편차 수치를 보여준다. Fig. 6은 5월, 시간에 따른 주풍과 주풍 풍속의 일 변동성을 보여준다. 이 결과에서 해륙풍의 특징이 뚜렷이 나타났다. 세부적으로 09 ~ 17시에는 바다에서 육지로 불어 들어오는 해풍(남동풍)이 나타났고, 그 외 시간대에는 육지에서 바다로 부는 육풍이 뚜렷하게 나타났다.

Table 3. Mean, median, and standard deviation(Std) values of wind speed(ms<sup>-1</sup>) according to wind directions in May(2000 ~ 2010) at Moseulpo AWS

		Wind direction							
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Wind speed (m/s)	Mean	4.0	2.7	4.3	3.9	3.3	2.7	3.8	4.6
	Median	3.8	1.9	3.9	3.6	2.8	2.1	3.5	4.2
	Std	2.0	2.1	2.5	1.8	2.3	2.0	2.3	2.5

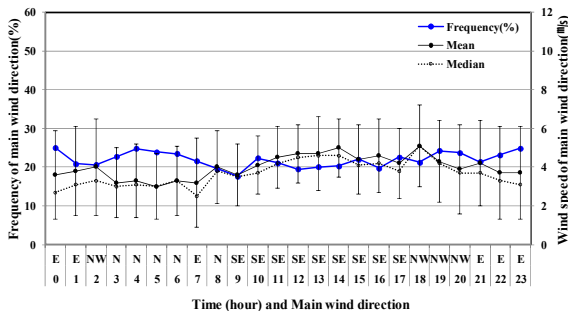


Fig. 6. Same as Fig. 4. except for the diurnal variation in May

활주로 주변 바람분석을 종합하면 장기체공무인기의 이·착륙 방향은 6 ~ 8월의 경우, 일 중 시간에 관계없이 남동 방향을 선택하고, 10 ~ 3월은 북서 방향을 선택해야 할 것이다. 4 ~ 5, 9월에 장기체공무인기가 낮(09 ~ 17시) 시간대에 이·착륙할 시에는 남동 방향을 선택하고, 그 외 시간대에는 북서 방향을 선택해야 할 것이다. 그러나 풍향은 구름, 기온, 강수유무 등 기상 상태에 따라 변동성이 많으므로 실제 이·착륙 방향은 예측된 기상정보를 통해 결정되어야 할 것이다.

#### 4. 고층기상 관측자료(기온, 바람) 분석

장기체공무인기의 운항 시나리오 및 부품 설계를 위해서 고산 라디오존데 고도별 기온과 풍속을 조사하였다. Fig. 7은 11년 동안 고산 라디오존데에서 고도별로 보고된 기온, 풍속, 그리고 상대습도의 관측횟수를 보여준다. 고도에 따른 기상요소별 관측횟수를 살펴보면 기온과 풍속은 7 hPa 이하 고도에서 매우 낮은 관측횟

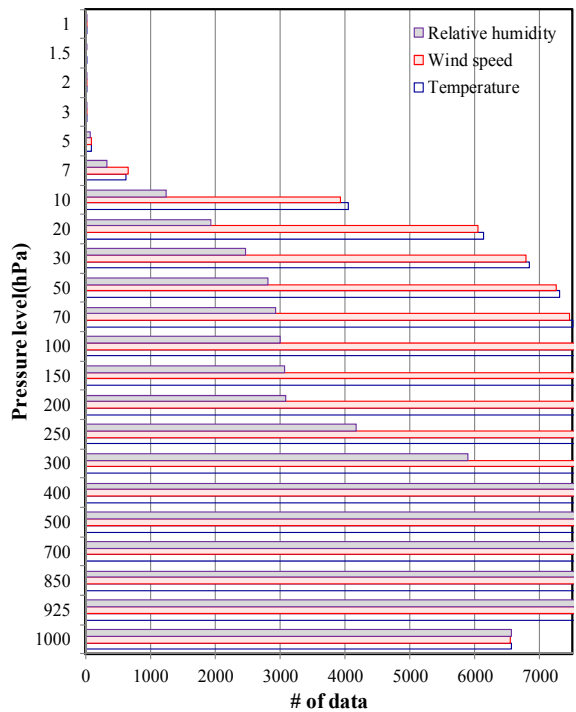


Fig. 7. The number of observation at each level during the 11 year period(January 2000 ~ December 2010) from Gosan radiosonde

수를 보였고, 상대습도는 250 hPa 이하 고도에서 매우 낮은 관측횡수를 보였다. 기상청 고층기상관측지침에 따르면 상대습도의 최종 관측점은 기온이 처음으로 -40 °C 아래로 떨어진 관측점의 바로 전 관측점으로 정의하고 있다<sup>[10,11]</sup>. 따라서 관측값의 대표성을 고려하여 기온과 풍속의 경우 7 hPa 이하 고도에서의 관측값은 분석에서 제외하였다. 또한 상대습도는 위와 같은 이유와 더불어 대부분의 수증기가 대류권 하층에 분포하고 있기 때문에 본 연구의 분석에서 제외하였다.

Fig. 8은 지난 11년(2000. 1 ~ 2010. 12) 동안 고도별 (a) 기온과 (b) 풍속의 평균, 최저, 최대값을 보여준다. 여기서 관측횡수가 작게 나타난 7 hPa(이하) 고도에서 파랑색 점선으로 표현하였다. 평균 기온과 풍속의 최소 및 최대값이 나타나는 고도는 빨강색 화살표로 표시하였다. 기온은 연직적으로 100 hPa 고도까지 감소한 후 다시 증가하였다. 평균 기온은 100 hPa 고도에서 -67.7 °C를 기록하였고, 최소값은 -81.3 °C를 보였다. Lee et al.(2001)<sup>[6]</sup>은 1988 ~ 1997년 10년 동안의 고층기상 관측자료를 통해 고도별 기온을 분석하였다. 분석 결과, 저온의 극값은 100 hPa 고도에서 -78.1 °C

로 본 연구와 유사한 수치를 보였다. 평균 풍속은 200 hPa 고도에서 45.7 ms<sup>-1</sup>를 기록하였고, 최대 풍속은 250 hPa 고도에서 107.5 ms<sup>-1</sup>로 나타났다(Fig. 8). 기온의 경우, 군사적 기준치(상업적 기준치 : -40 ~ 85 °C)는 -55 ~ 125 °C 범위를 두고 있다. 고도별로 최저 기온은 250 ~ 20 hPa 고도에서 -60 °C 이하 값으로 이미 군사적 기준치를 넘은 수치이다. 따라서 장기체공무인기에 적합한 설계 기준치가 요구된다. 고도에 따른 자세한 수치는 Table 4에 제시하였다.

Table 4. Mean, maximum, and minimum values of temperature(°C) and wind speed(ms<sup>-1</sup>) during the 11 year period(January 2000 ~ December 2010) from Gosan radiosonde

Alt. (hPa)	Temperature (°C)			Wind speed (m/s)		
	Avg.	Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.
1000	13.7	-4.5	30.0	7.8	0.5	43.5
925	11.5	-10.1	29.8	8.6	0.5	37.5
850	8.5	-14.7	24.2	8.9	0.5	40.5
700	1.7	-24.3	19.6	12.2	0.5	43.0
500	-13.0	-37.3	24.0	20.4	0.5	73.0
400	-23.5	-42.9	1.2	26.9	0.5	92.0
300	-36.9	-53.3	-6.1	36.3	0.5	100.5
250	-44.4	-60.7	-9.3	42.1	1.0	107.5
200	-52.2	-67.7	-13.9	45.7	0.5	105.5
150	-60.4	-72.7	-19.7	41.3	0.5	91.0
100	-67.7	-81.3	-49.5	28.1	0.5	70.0
70	-66.2	-80.3	-20.3	16.4	0.5	104.0
50	-60.8	-75.1	-18.7	11.2	0.5	43.5
30	-54.3	-67.3	-15.7	9.6	0.5	76.0
20	-50.5	-78.9	-37.7	9.8	0.5	70.0

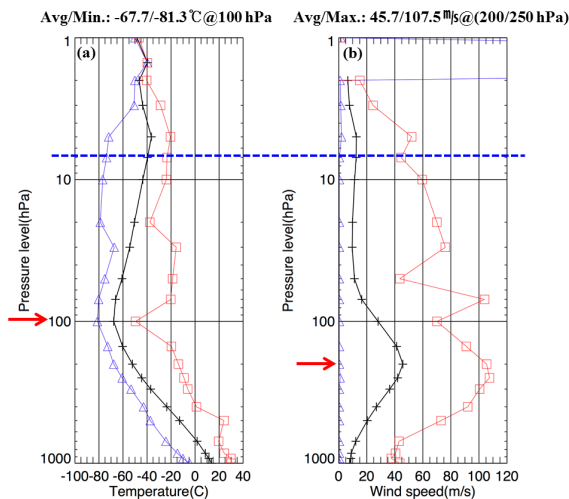


Fig. 8. Vertical profile of (a) temperature(°C) and (b) wind speed(ms<sup>-1</sup>) during the 11 year period (January 2000 ~ December 2010) from Gosan radiosonde. Black, red, and blue lines indicate mean, maximum, and minimum value, respectively. The red arrows indicate the altitude (pressure) of minimum temperature and maximum wind speed

기온과 풍속의 계절적 변동성을 조사하기 위해 최저 기온(100 hPa)과 최대풍속(250 hPa)이 나타나는 고도에 대해 월별로 기온과 풍속의 특성을 조사하였다. 이것은 월별로 평균 기온의 최소값과 평균 풍속의 최대값이 대부분 위의 고도에서 나타났기 때문이다. 평균 기온에서 특징적인 것은 1월에 -64 °C로 나타났고, 이후

여름철 특히 8월에  $-72.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 최소를 보였다. 즉, 겨울철보다 여름철에 기온이 더 낮은 특징을 보였다. 표준편차는 약  $2\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$  값을 보였고, 여름철보다 상대적으로 겨울철에 더 큰 표준편차 수치를 보이고 있어 겨울철의 온도 변동폭이 큰 것을 알 수 있다. 평균 풍속의 월별 분석에서 특징적인 것은 기온과는 반대로 2월 달에  $70.5\text{ ms}^{-1}$ 로 최대를 기록하였고, 이후 여름철로 갈수록 감소하여 8월에  $14.6\text{ ms}^{-1}$ 의 수치를 보였다. 즉 기온과는 반대로 최대값이 겨울철에 나타났고, 다시 여름철로 갈수록 감소한다는 것이다. 표준편차는  $8\sim 15\text{ ms}^{-1}$  수치를 보였고, 7~9월을 제외한 기간에서  $13\sim 15\text{ ms}^{-1}$ 로 높은 표준편차 수치를 보였다(Fig. 9).

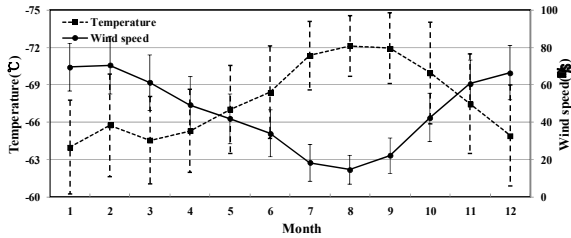


Fig. 9. Annual variation of temperature( $^{\circ}\text{C}$ ) at 100 hPa and wind speed( $\text{ms}^{-1}$ ) at 250 hPa during the 11 year period(January 2000 ~ December 2010)

Table 5. Mean, median, and standard deviation(Std) values during the 11-year period (January 2000 ~ December 2010) at maximum and minimum altitude. Bold(\*) values define the 5 % frequency for temperature and wind speed

Alt. (hPa)	Temperature( $^{\circ}\text{C}$ )			Wind speed(m/s)		
	Mean	Median	Std	Mean	Median	Std
200				45.7	46.0	23.3
100	<b>-67.7</b>	<b>-67.9</b>	4.6			
		<b>-76.7*</b>			<b>91.4*</b>	

장기체공무인기를 위한 설계 기준치 제시를 위해서 기온과 풍속에 대해 5%(1.96σ) 빈도값에 해당하는 수치를 제시하였다. 사용된 자료는 11년 동안의 최저 평균 기온과 최대 평균 풍속이 나타난 100과 200 hPa 고도에서의 자료이다. 계산 결과, 기온은  $-76.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 나타

났고, 풍속은  $91.4\text{ ms}^{-1}$ 로 계산되었다. 이 연구에서 분석된 기온은 기존 군사적 그리고 상업적 기준치보다 약  $20\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  낮은 수치이다. 따라서 무인기 부품 설계 시 약  $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$  기온을 견딜 수 있도록 설계되어야 할 것이고, 무인기 운항 시 약  $90\text{ ms}^{-1}$  풍속을 고려하여 설계 및 운항되어야 할 것으로 판단된다(Table 5).

### 5. 요약 및 결론

약 20 km 성층권 고도에서 운영될 장기체공무인기는 시범기 사업으로 2017년 발사를 목표로 현재 개발 중에 있다. 따라서 이 연구에서는 장기체공무인기 운영지역에 적합한 기상환경 분석을 수행하였다. 지상 및 고도별 기상환경 분석을 위해 11년 동안 모슬포 AWS와 고산 라디오존데에서 관측된 바람(주풍, 풍속) 그리고 고도별로 기온·풍속의 특성을 분석하였다.

활주로 주변 바람을 분석한 결과, 주풍은 북풍과 북서풍이 44 %의 빈도를 보였고, 남동풍과 동풍이 26 %로 두 계열의 풍향이 전체 70 %를 차지하였다. 계절별로 나타난 주풍은 기단의 영향을 받는 뚜렷한 계절적 특징을 보였다. 즉, 겨울철과 여름철에 각각 북풍계열과 남풍계열의 바람이 우세하였다. 북풍 그리고 남풍계열의 바람의 빈도가 유사한 5월 달의 바람의 일변화를 분석한 결과, 국지적으로 뚜렷한 해풍풍의 특징을 보였다. 결론적으로 장기체공무인기 이·착륙 시 6~8월은 남동 방향을 선택하고, 10~3월은 북서방향을 선택해야 할 것이다. 그 외 4~5, 9월은 낮 시간대에 이·착륙 시에는 남동방향을 선택하고, 그 외 시간대는 북서방향을 선택해야 할 것이다.

장기체공무인기의 설계 기준치를 제시하기 위해 라디오존데에서 관측된 온도, 풍속을 분석하였다. 기온의 평균 기온의 최소값은 100 hPa 고도에서  $-67.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 나타났고, 평균 풍속의 최대값은 200 hPa 고도에서  $45.7\text{ ms}^{-1}$ 로 나타났다. 기온과 풍속의 계절적 변동성은 기온의 경우, 겨울철에서 여름철로 갈수록 기온이 하강하여 평균 기온은 8월에  $-72.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 최소 기록하였다. 반면 풍속은 여름철에서 겨울철로 갈수록 풍속이 증가하여 2월에  $70.5\text{ ms}^{-1}$ 로 최대값을 보였다. 장기체공무인기의 설계 기준치를 제시하기 위해 5 % 빈도값을 제시하였다. 기온과 풍속의 기준치는  $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$  그리고  $90\text{ ms}^{-1}$ 로 이러한 조건을 고려하여 설계 및 운항되어야 할 것이다. 이렇게 분석된 결과는 장기체공무인기의



안전한 운항을 위한 정보로 활용될 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 국립기상과학원 주요사업 “고고도 장기 체공시험기 기상센서 탑재 및 활용기술 개발”의 일환으로 수행되었습니다. 이 논문을 위해 심도 깊이 심사해주시고, 조언을 해주신 심사위원 분들께 진심으로 감사드립니다.

## References

- [1] S. A. Ackerman and J. A. Knox, “Meteorology: Understanding the atmosphere,” Jones & Bartlett Learning, p. 608, 2015.
- [2] Korean Meteorological Society, “Glossary of Atmospheric Science,” Korean Meteorological Society and Korean Meteorological Administration, p. 800, 2014(in Korean).
- [3] C. Kidd, D. R. Kniveton, M. C. Todd and T. J. Bellerby, “Satellite Rainfall Estimation Using a Combined Passive Microwave and Infrared Algorithm,” Journal of Hydrology, Vol. 4, pp. 1088-1104, 2003.
- [4] MIL-STD-210C, “Climatic Information to Determine Design and Test Requirements for Military Systems and Equipment,” 9 Jan., 1987.
- [5] K. P. Hoinka, “Temperature, Humidity, and Wind at the Global Tropopause,” Monthly Weather Review, Vol. 127, pp. 2248-2265, 1999.
- [6] K. H. Lee, et al., “A study on The Korean Climatic Condition for The Military Environmental Testing Specification,” Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 4, No. 2, pp. 70-83, 2001(in Korean with English abstract).
- [7] I. Kim and C. Kang, “A Temperature Analysis Study of East Asia for Generation of Temperature Specification,” Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 5, No. 5, pp. 11-22, 2002 (in Korean with English abstract).
- [8] J.-Y. Lee, “A Study on Daily Temperature Cycle of Environmental Test,” Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 10, No. 3, pp. 62-70, 2007(in Korean with English abstract).
- [9] G. L. Manney, M. I. Hegglin, W. H. Daffer, M. J. Schwartz, M. L. Santee and S. Pawson, “Climatology of Upper Tropospheric/Lower Stratospheric(UTLS) Jets and Tropopause in MERRA,” Journal of Climate, Vol. 27, pp. 3248-3271, 2014.
- [10] Korean Meteorological Administration, “Guidelines for Upper Air Observation,” Korean Meteorological Administration, p. 238, Dec., 2009(in Korean).
- [11] World Meteorological Organization, “Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation,” World Meteorological Organization, pp. 716, 2008.
- [12] I. Orlanski, “A Rational Subdivision of Scales for Atmospheric Process,” Bulletin American Meteorological Society, Vol. 56, pp. 527-530, 1975.