

고층기상관측자료를 이용한 한반도 중부지방의 고도별 구름 발생빈도 연구

김인용^{*,1)} · 박혜령¹⁾ · 김민희¹⁾

¹⁾ 국방과학연구소 제1기술연구본부

A Study on Occurrence Frequency of Cloud for Altitude in the Central Region of the Korean Peninsula using Upper-Air Observation Data

In Yong Kim^{*,1)} · Hyeryeong Park¹⁾ · Min Hee Kim¹⁾

¹⁾ *The 1st Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea*

(Received 15 July 2019 / Revised 2 September 2019 / Accepted 27 September 2019)

ABSTRACT

It is crucial to understand the characteristics of cloud occurrence frequency for development of high precision guided missile using infrared imaging sensor. In this paper, we investigated the vertical structure of cloud for altitude using upper-air observation data. We find that cloud occurrence frequency is high at altitudes of 1.3 km and 9.5 km. These features have seasonal and temporal dependency. In the summer, cloud often occur more than average regardless of altitude. In the winter, low clouds occur frequently, and high clouds do not occur well. In temporal characteristics, clouds occur more frequently in daytime than in nighttime regardless of altitude. Many of clouds exist in single layer or double layers in the air. We also find that the 40 % of cloud occurrence frequency at high altitude when low clouds under altitude of 2 km cover entire sky.

Key Words : Cloud Occurrence Frequency(구름 발생 빈도) Vertical Structure(연직 구조), Radiosonde(라디오존데)

1. 서론

최근 유도탄의 정밀화 추세에 따라 적외영상 센서를 탑재한 유도탄 개발이 활발히 진행되고 있다. 자연의 모든 물질은 플랑크법칙에 따라 에너지를 방출하

므로 적외영상 센서의 성능은 온도에 영향을 주는 자연의 기상 현상과 매우 밀접한 관계가 있다. 특히 기온은 가장 기본적인 요소로서 육상과 해상에서 배경 및 표적의 적외신호 차이를 통해 표적 탐지를 가능하게 한다. 따라서 적외영상 센서를 탑재한 유도탄의 성능 향상을 위해서는 적외신호 특성에 대한 연구가 필수적이다.

지금까지 적외신호 특성 분석을 위해 육상과 해상

^{*} Corresponding author, E-mail: kinyong@add.re.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

에서 일어나는 기상 현상에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Hyeryeong Park^[1]은 해상환경의 주요 특성을 분석하여 기상 현상에 따른 원격외신호의 생성 원리 및 특성을 보고하였다. 또한 Kyung Ha Kim^[2]은 풍속에 따른 해수면의 기울기 분포를 적용하여 태양 직사광이 해수면에 반사되어 나타나는 태양 반짝임(sunglint) 현상을 시뮬레이션 하였다. 이러한 지속적인 발전에도 불구하고 군사적인 활용을 위한 기상 현상에 대한 연구는 아직 불충분한 실정이다.

구름은 적외신호가 투과함에 따라 신호 감쇠 효과가 크게 나타나므로 표적의 적외신호 탐지성능을 저하시킬 수 있는 중요한 기상 현상이다^[3]. 특히 대공유도무기의 경우에서 표적과 유도탄 사이에 존재하는 구름은 센서의 표적 위치 식별 능력을 저하시켜 유도탄의 임무 완수에 불리하게 작용한다. 또한 육안으로는 구름 너머의 상황을 인지할 수 없으므로 작전 운용 및 후속 수단을 위한 의사 결정에도 영향을 미친다. 대지와 대함유도무기의 경우에 높은 고도에서 지상 및 해상을 내려다봄으로, 낮은 고도에 있는 구름은 유도무기 성능을 좌우하는 중요한 요인으로 작용한다.

구름 연구는 군사 목적 뿐 아니라 민간 목적에서도 많은 연구가 진행되고 있다^[4]. 구름은 태양의 신호를 차단하고 지표의 적외신호 방출을 막는 역할로 지구의 온도 결정에 큰 영향을 미친다. 구름에 대한 연구는 전통적으로 목측을 통해 수행되어 왔다. 지상에서는 육안으로 구름의 형태 및 운량을 측정하고 분석함으로써 대기 상태 분석 및 날씨 연구에 기여하였다. 현재는 위성 영상, 구름 레이더 등 다양한 장비를 활용하여 구름 특성에 대한 연구가 진행되고 있다^[5]. 이 중에서 운고계는 상대적으로 간단한 원리와 저렴한 가격으로 구름에 대한 많은 정보를 얻을 수 있어서 여러 분야에서 폭넓게 활용되고 있다. 하지만 운고계의 성능에 따라 계측 가능한 최대 고도가 8 km 또는 15 km로 제한되고, 최대로 계측 가능한 구름층의 수가 3층 또는 4층으로 제한된다. 또한 레이저 신호가 구름층을 통과하면서 신호가 감쇠하므로 두꺼운 구름층이 존재할 경우에는 더 높은 고도에 있는 구름층을 계측하는데 한계가 있다^[6]. 무엇보다도 구름 두께 및 연직구조에 대한 정보 획득이 불가능하다.

1995년 Wang과 Rossow는 고층기상관측자료를 활용하여 구름의 연직구조 특성을 연구하였다^[7]. 이후 I. V. Chernykh^[8], P. Minnis^[9], J. Zhang^[10] 등에 의해 고층기상관측자료를 활용한 구름 연구가 있었고, 이와 함께

구름 판별 논리가 발전되어 왔다. 이들이 제시한 구름 판별 논리는 기상 수치 모델, 라이다(Lidar), 지상관측 레이더 등 다양한 계측 장비의 결과와 비교하였다.

본 논문에서는 고층기상관측자료를 이용하여 한반도 중부 지방의 구름에 대한 연직구조 특성을 분석하였다. 고도에 따른 구름의 발생빈도 및 두께에 대한 특성을 분석하고 계절 및 시간에 따른 특성을 제시한다. 또한 낮은 구름으로 인한 흐린 기상이 발생한 경우에 높은 구름의 존재 유무에 대하여 고찰한다.

2. 연구 방법

공군기상단은 군사 목적으로 자동기상관측장비(FMQ-19)를 이용한 지상기상관측과 라디오존데(RSG-20A)를 이용한 고층기상관측을 실시하고 있다.

자동기상관측장비는 매시 지상의 기온, 습도, 풍속 뿐 아니라, 운고계의 레이저 빔을 이용하여 운저고도 및 운량에 대한 정보를 제공한다. 운고계는 100 ft ~ 25,000 ft 높이의 운저고도를 계측할 수 있다. 또한 운량은 눈에 보이는 하늘을 8등분하여 구름의 양을 비율로 표현하는 Okta(옥타)를 기준으로, 구름의 양에 따라 SKC(0), FEW(1~2), SCT(3~4), BKN(5~7), OVC(8)로 나누어 표현하는데, 레이저 빔은 천정에 대한 계측하므로 전체 하늘 상태를 추정하기 위하여 시간 평균화 및 가중치를 적용한 알고리즘으로 운량을 결정한다.

고층기상관측장비는 매일 4회(0시, 6시, 12시, 18시) 계측하고, 매초 기압, 온도, 상대습도(RH), 노점온도, 고도, 풍향, 풍속, 상승고도의 정보를 수집하여 지상으로 전송한다. 이때, 온도 센서는 -90 °C ~ +60 °C의 범위에 대하여 0.1 °C의 분해능과 0.5 °C의 정확도를 갖는다. 상대습도 센서는 0 ~ 100 %의 범위에 대하여 1 %의 분해능과 5 %의 정확도를 갖는다. 각 장비는 유지보수를 위한 기간을 제외하면 상시 운영된다. 본 연구에서는 2012년 10월부터 2017년 12월까지 오산에서 계측된 7624개(전체 기간의 99 %)의 고층기상관측자료와 같은 시각에 계측된 지상기상관측자료를 분석하여 구름의 연직구조 특성에 대한 연구를 수행하였다.

고층기상관측자료를 이용한 구름의 유무 판별은 Zhang et al.이 제시한 방법을 적용하였다^[11]. Zhang et al.은 미국 에너지부(Department of Energy)의 대기방사선측정 기후연구시설(ARM Climate Research Facility)

의 ARSCL VAP(The Active Remote Sensing of Cloud Value-Added Product) 결과와 운저고도 및 운정고도를 비교 분석함으로써 구름의 유무 판별 논리를 검증하였다^[11]. 이들이 제시한 방법은 라디오존데를 활용한 구름 판별 논리 중 가장 최신 기술 중 하나로, 다른 방법에 비해 높은 정확도를 갖는다^[12].

Zhang et al.은 7단계 과정(① ~ ⑦)과 RH_{min} , RH_{max} , RH_{inter} 의 임계값을 통해 대기 중에서 구름의 유무를 판별하였다. 우선, 0 °C 이하의 구름에 존재하는 빙정을 고려하여 물입자를 기준으로 측정된 상대습도를 빙정에 대한 상대습도로 변환하였다(①). 그 다음으로, RH_{min} 의 임계값을 이용하여 대기 중의 공기 중에서 습한 공기층(moist layer)을 구분하였다(② ~ ④). 습기층은 RH_{max} 의 임계값을 기준으로 구름층으로 분류하였고(⑤), 인접한 구름에 대하여 구름층 사이의 거리가 가까거나, 그 공간에서 특별한 변화가 감지되지 않으면, RH_{inter} 의 임계값을 이용하여 하나의 구름으로 간주하였다(⑥). 끝으로 고도 상승에 따른 라디오존데의 데이터 획득률을 고려하여, 얇은 구름으로 판별된 구름은 구름층에서 제외하였다(⑦). 이에 대한 자세한 방법은 아래와 같고, 이때 활용되는 고도에 따른 RH_{min} , RH_{max} , RH_{inter} 의 임계값은 Table 1과 같다.

① 0 °C 이하의 기온에 대한 상대습도는 빙정에 대한 상대습도로 변환한다. 이 때, 빙정과 물 입자에 의한 상대습도 사이의 관계는 아래와 같다^[13].

$$e_w(T_{air}) = 6.1094 \times e^{17.625 T_{air}/(243.05+T_{air})}$$

$$e_{wa}(T_{air}) = 1.00071 \times e^{0.0000045P} e_w(T_{air})$$

$$e_i(T_{air}) = 6.1121 \times e^{22.587 T_{air}/(273.86+T_{air})}$$

$$e_{ia}(T_{air}) = 0.99882 \times e^{0.0000045P} e_i(T_{air})$$

$$RH_i = RH_w \times \frac{e_{ia}}{e_{wa}}$$

T_{air} : air temperature
 P : pressure
 $RH_{w(i)}$: relative humidity of water(ice) vapor
 $e_{w(i)}$: saturation vapor pressure of water(ice) vapor

- ② 습기층의 바닥 고도는 상대습도가 RH_{min} 를 초과하는 지점으로 한다.
- ③ 상대습도가 RH_{min} 이상이고, 습기층의 바닥 고도보다 높은 고도에서는 같은 습기층으로 분류한다.
- ④ 습기층의 최대 고도는 상대습도가 RH_{min} 보다 작아

지는 지점으로 한다.

- ⑤ 습기층의 최대 상대습도가 RH_{max} 보다 크면, 그 습기층은 구름층으로 분류한다.
- ⑥ 인접한 2개의 구름층에 대하여, 구름층 사이의 거리가 300 m 이하이거나 구름층 사이의 상대습도 최솟값이 RH_{inter} 보다 큰 경우, 하나의 구름으로 간주한다.
- ⑦ 하층운의 구름 두께가 30.5 m 이하, 중층운과 상층운의 구름 두께가 61 m 이하인 구름층은 구름에서 제외한다.

Table 1. Height-Resolving RH threshold

고도	상대습도(RH) 임계값		
	RH_{min}	RH_{max}	RH_{inter}
0~2 km	92 % ~ 90 %	95 % ~ 93 %	84 % ~ 82 %
2~6 km	90 % ~ 88 %	93 % ~ 90 %	82 % ~ 78 %
6~12 km	88 % ~ 75 %	90 % ~ 80 %	78 % ~ 70 %
>12 km	75 %	80 %	70 %

3. 구름의 연직구조와 발생빈도

3.1 구름의 운저고도와 두께

고도에 따른 구름의 운저고도와 두께 분포는 Fig. 1과 같다. Fig. 1의 (a)는 고도 1 km 간격으로 나타낸 운저고도의 발생빈도분포이다. 운저고도는 0 ~ 1 km 사이에서 가장 큰 값(제1고점)을 갖고, 고도가 증가함에 따라 빈도수가 감소하여 3 ~ 4 km 단계에서 국소 저점을 갖는다. 이후 고도 증가에 따라 빈도수가 다시 증가하여 7 ~ 8 km 단계에서 국소 고점(제2고점)을 갖고, 이후 빈도수가 다시 감소한다. 이를 하층(0~2 km), 중층(2~6 km), 상층(6 km 이상)으로 나누면, 하층은 전체의 28.8 %, 중층은 28.7 %, 상층은 42.5 %를 차지한다.

구름 두께는 Fig. 1의 (b)와 같이 분포한다. 두께 분포는 얇은 구름에 집중되어 있고, 구름 두께가 증가함에 따라 빈도수가 작아지는 특징을 보인다. 최빈값은 0.25 km이고, 평균값은 1.73 km이다. 또한 중간값에 해당하는 구름의 두께는 약 0.8 km이다. 50 % 이상의 구름이 1 km 이하의 얇은 두께를 갖으며, 4 km 이상인 두꺼운 구름은 전체의 10 %의 빈도를 갖는다.

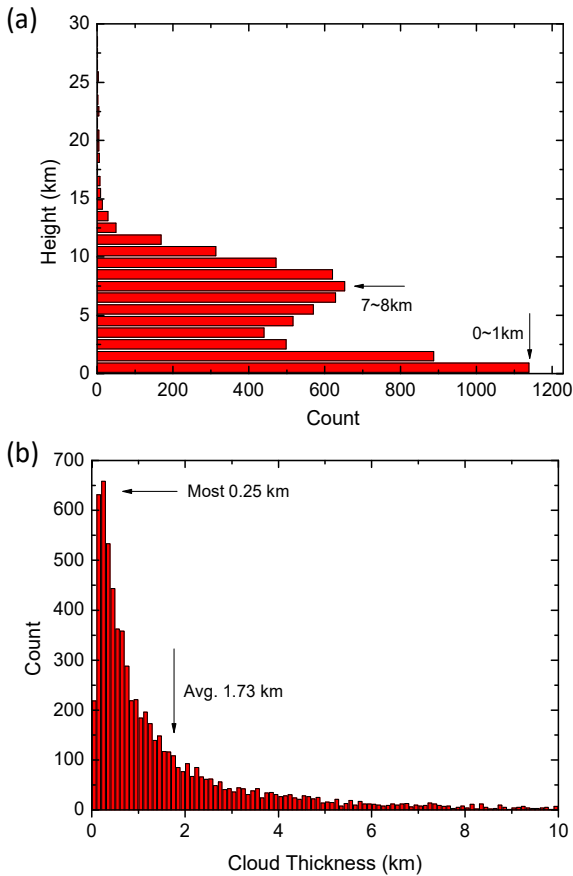


Fig. 1. (a) Histogram of cloud base height with step size of 1 km. (b) Histogram of cloud thickness with step size of 100 m

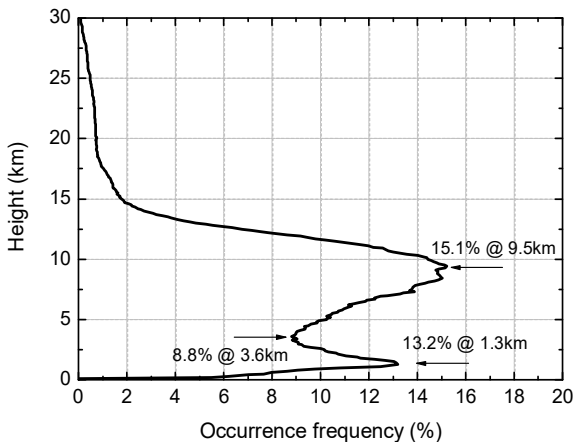


Fig. 2. Cloud occurrence frequency for height

3.2 고도에 따른 구름의 발생빈도

고도에 따른 구름의 발생빈도는 Fig. 2와 같다. 이때 구름의 발생빈도는 아래의 식과 같이 해당 고도에서 구름이 관별된 횟수와 라디오존데로 측정한 횟수의 비로 정의하였다.

$$\text{고도별 구름 발생빈도 (\%)} = \frac{\text{고도별 구름 관별 횟수}}{\text{고층기상관측 횟수}}$$

고도에 따른 구름의 발생빈도는 2개의 국소 고점과 1개의 국소 저점을 갖는다. 고도가 증가함에 따라 발생빈도는 증가하여 고도 1.3 km에서 첫 번째 고점인 13.2 %의 발생빈도를 보이고, 발생빈도는 서서히 감소하여 고도 3.6 km에서 8.8 %의 국소 저점을 보인다. 이후 발생빈도는 다시 증가하여 고도 9.5 km에서 15.1 %의 최댓값을 갖고 다시 감소하여 15 km 이상의 고도에서는 2 % 미만의 발생빈도를 갖는다.

구름의 발생빈도분포에서 2개의 고점과 1개의 저점을 갖는 특징은 운저고도분포의 특징과 같으나, 그 외에 두 가지 차이점이 존재한다. 첫째는 각각의 분포에 나타난 제1고점과 제2고점의 위치가 다르다는 것이다. 두 분포도의 제1고점과 제2고점의 위치 차이는 각각 약 1 ~ 2 km 정도이다. 이는 구름의 평균 두께인 1.73 km인 것과 유사하므로 고점의 위치 차이는 두께로 인한 것으로 해석할 수 있다.

둘째는 최고점이다. 운저고도분포에서는 제1고점이 제2고점보다 높은 반면, 발생빈도 분포에서는 제2고점이 제1고점보다 높게 나타났다. 운저고도분포의 제1고점 부근의 빈도수는 고도 0 ~ 1 km 사이에만 집중되어 있고, 이후 급격히 감소하고 있으나, 제2고점 부근에서는 5 km 이상의 넓은 고도 범위에 대하여 넓게 분포하고 있다는 차이를 볼 수 있다. 또한 운저고도분포의 제1고점은 지상 부근에 위치하고 있기 때문에 지상 부근에서 형성된 구름에 의해서면 발생빈도분포에 영향을 주게 되지만, 제2고점은 7 ~ 8 km 부근에서 시작된 구름이 9 km 너머의 고도에도 영향을 주므로 발생빈도분포의 제2고점이 최고점이 된 것으로 해석된다. 즉, 구름 두께로 인하여 구름 발생빈도의 고점 위치가 변하고, 최고점에 해당하는 고점에 변화가 발생하였다.

3.3 계절에 따른 구름의 발생빈도

계절에 따른 구름의 발생빈도는 Fig. 3과 같다. Fig.

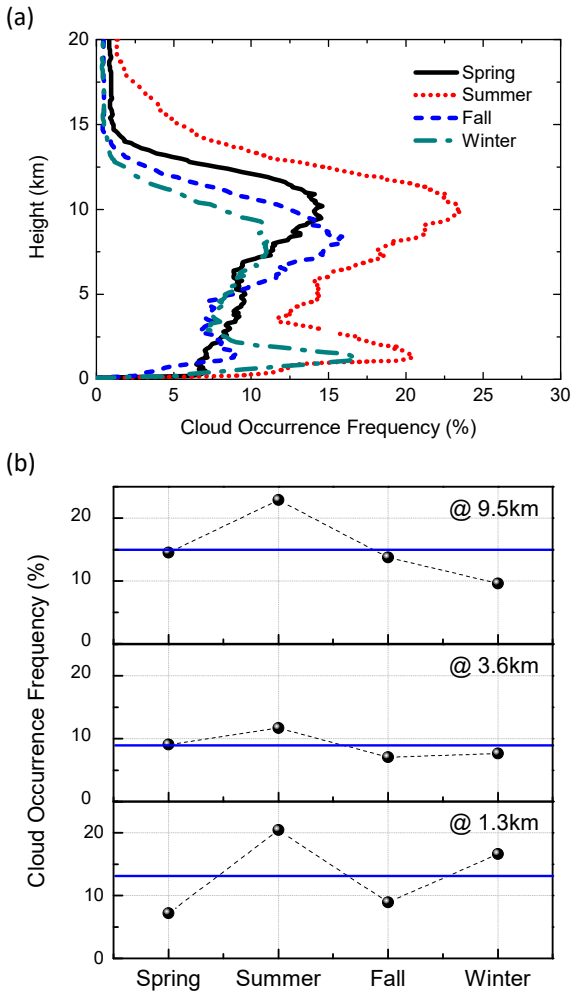


Fig. 3. Seasonal cloud occurrence frequency (a) spring(solid), summer(dot), fall(dash), winter (dash-dot) (b) cloud occurrence frequency at the height of 1.3 km, 3.6 km, and 9.5 km. Horizontal solid line is an average value of each height

3 (a)는 봄, 여름, 가을, 겨울에 대한 구름의 발생빈도를 각각 나타낸 것으로 계절별로 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 계절 및 고도에 따른 특징은 Fig. 3 (b)에서 자세히 볼 수 있다. 각 그래프는 Fig. 2에서 나타난 국소 저점(3.6 km) 및 제1고점(1.3 km)과 제2고점(9.5 km)에 해당하는 고도에서의 구름 발생빈도를 나타낸다. 고도 1.3 km에서는 봄, 가을의 구름 발생빈도는 각각 7.1%와 8.9%로 평균값인 13.2% 대비 작은

값을 보이나, 여름과 겨울에는 각각 20.4%, 16.7%로 평균 대비 높은 값을 갖는다. 이를 통해 여름과 겨울에는 낮은 구름이 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 고도 3.6 km에서는 모든 계절에 대하여 평균값인 8.8% 대비 $\pm 3\%$ 이내의 작은 차이를 보인다. 중층에서의 구름의 발생빈도는 계절에 크게 관계없음을 의미한다. 고도 9.5 km에서의 구름의 평균적인 발생빈도는 15.1%인데, 여름의 구름 발생빈도는 22.9%로 평균 대비 큰 발생빈도를 보이고, 겨울은 9.6%로 가장 작은 발생빈도를 보인다. 상층의 구름의 발생빈도는 여름과 겨울에 차이가 많이 나는 것을 알 수 있다.

이러한 특징을 계절별로 살펴보면 다음과 같다. 봄에는 고도 3.6 km, 9.5 km에서는 평균값과 유사한 값을 보이나, 고도 1.3 km의 낮은 구름은 평균 대비 적게 발생한다. 여름에는 모든 고도에 대하여 평균 대비 높은 구름 발생빈도를 보이고, 특히 하층과 상층에서 매우 큰 차이를 보인다. 가을에는 평균대비 다소 낮은 발생빈도를 보이나, 고도에 다른 특징은 평균값과 유사하다. 겨울에는 봄에 나타난 현상과는 반대로 1.3 km의 낮은 구름이 많이 발생하고 9.5 km의 높은 구름의 발생빈도는 낮게 나타나는 특징이 있다.

3.4 시간대에 따른 구름의 발생빈도

시간대에 따른 구름의 발생확률은 Fig. 4와 같다. Fig. 4 (a)는 0시, 6시, 12시, 18시에 대한 구름의 발생빈도를 각각 나타낸 것으로 시간대별로 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 고도에 따른 특징을 살펴봤을 때, 시간에 따른 고도별 모양 차이는 크게 나타나지 않는다. 평균적인 구름 발생빈도와 유사하게, 1.3 km와 9.5 km에서 국소 고점을 갖고, 3.6 km에서 국소 저점을 갖는다. 시간대에 따른 고도 별 구름의 발생빈도 특징은 Fig 4 (b)에 나타내었다. 0시에는 평균값을 갖고, 6시에 가장 작은 값을 갖는다. 시간이 지남에 따라 발생빈도가 증가하여 12시와 18시에는 평균값을 상회하는 것으로 나타난다. 이러한 특징은 낮 동안 데워진 공기에 의해 상승기류가 형성되어 구름 발생빈도가 증가한 것으로 해석된다.

3.5 구름층 수에 따른 특성 분석

하늘의 구름을 올려다보면, 구름이 하나도 없는 경우부터 여러 층의 구름이 동시에 존재하는 경우도 관찰할 수 있다. Fig. 5는 구름층 수에 따른 구름 발생빈도 및 고도 및 두께에 대한 그림이다. 구름이 없는

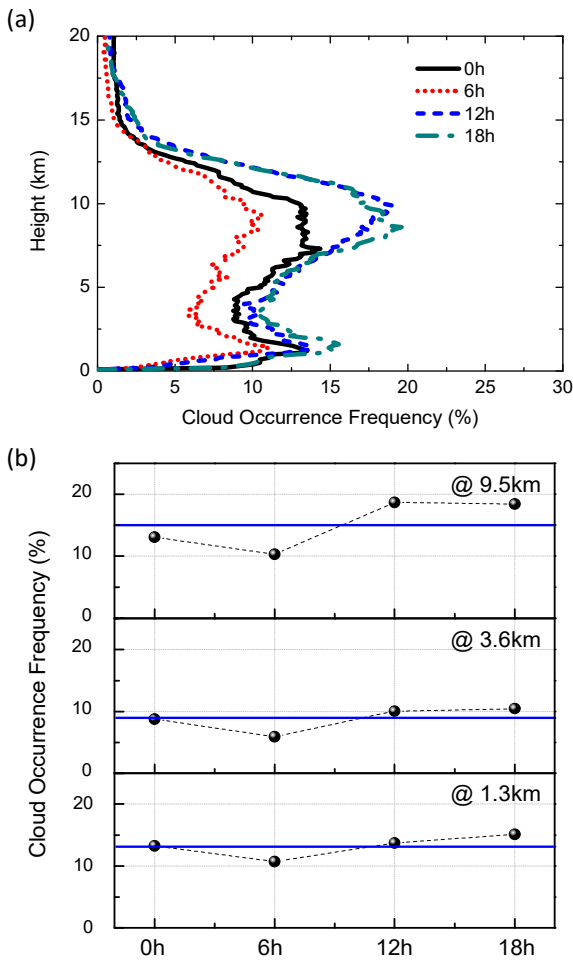


Fig. 4. Temporal cloud occurrence frequency (a) 0h (solid), 6h (dot), 12h (dash), 18h (dash-dot) (b) cloud occurrence frequency at the height of 1.3 km, 3.6 km, and 9.5 km. Horizontal solid line is an average value of each height

경우는 전체의 48.9 %로 나타났으며, 1층 2층, 3층, 4층, 5층 이상으로 이루어진 구름의 경우 각각 26.3 %, 14.5 %, 6.1 %, 2.7 %, 1.5 %로 나타났다. 1층 또는 2층으로 이루어진 구름은 전체 구름이 나타난 경우의 약 80 %에 해당하므로, 관측되는 구름은 대부분 한 층 또는 두층으로 이루어져 있다. 한 층짜리 구름의 경우, 평균적으로 4.3 ~ 6.5 km 사이에 분포하였으며, 평균 구름의 두께는 2.2 km이다. 두 층짜리 구름의 경우, 아래층의 구름은 3.1 ~ 4.4 km, 위층의 구름은 7.2 ~ 9.4 km에 분포하고, 이때의 두께는 각각 1.3 km와

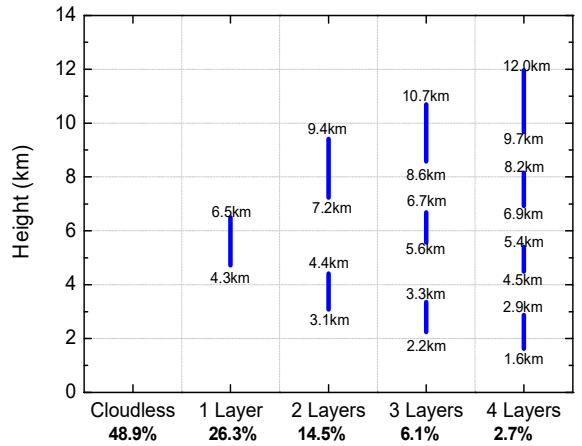


Fig. 5. cloud layer distribution as a function of the number of layers

2.2 km이다. 전반적으로 구름층의 개수가 늘어남에 따라 구름의 두께가 감소하는 경향을 보인다.

4. 낮은 구름 너머의 구름 존재 여부

지상에서 구름을 관측하는 방법으로는 육안으로 구름의 형태 및 모양을 보고 판단하는 방법과 운고계를 이용하는 방법이 많이 활용되고 있다. 하지만, 두 가지 방법은 낮은 고도의 구름 관측에는 용이하지만 높은 구름 관측에는 한계가 있다. 더욱이 낮은 구름이 하늘을 가득 채우고 있는 경우라면 높은 하늘에 구름이 떠있는 상황을 알 수 없다. 3.5절에서 보인 바와 같이 구름은 한 층으로 존재하는 경우도 많지만, 두 층 이상으로 구성된 경우도 많으므로, 눈에 보이는 구름 너머에 더 높은 구름이 존재함을 추론할 수 있다. 4절에서는 2 km 이하의 낮은 구름이 하늘을 가득 채우고 있는 경우에, 고도에 따른 구름의 발생빈도를 분석하였다.

지상기상관측장비에서 관측된 구름의 발생빈도는 Table 2와 같다. 전체 하늘에 구름이 전혀 없는 맑은 날(SK)은 17.1 %, 구름이 거의 없는 날(FEW)은 33.1 %, 구름이 조금 나타난 날(SCT)은 20.3 %, 흐린 날(BKN)은 27.7 %, 매우 흐린 날(OVC)은 1.6 %에 해당한다. 이 때, SK에 해당하는 17.1 %는 Fig. 5에 나타난 고층기상관측자료 분석을 통해 구름이 판별되지 않은 경우인 48.9 %와 차이가 있다. 이러한 차이는 라

Table 2. Cloud amount of the 1st layer of clouds from ground measurement system

운량 (okta)	발생빈도(%)
SKC (0)	17.1 %
FEW (1~2)	33.1 %
SCT (3~4)	20.3 %
BKN (5~7)	27.7 %
OVC (8)	1.6 %
Not Valid	0.2 %

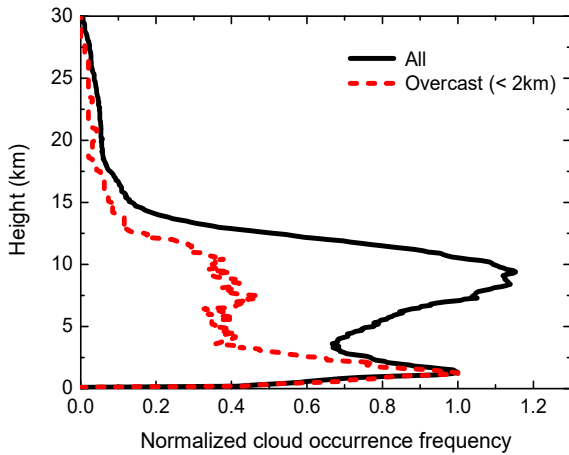


Fig. 6. Cloud occurrence frequency when low level clouds covering the entire sky

디오존데는 공중을 향한 직선상에 구름이 여부를 다루고, 지상관측장비는 전체 하늘에 대한 구름 존재 여부를 다루므로 차이가 나타나게 된다^[4].

Fig. 6은 지상기상관측장비 결과를 분석하여, 운고 2 km 이하, 운량은 OVC를 나타낸 시점에 수행된 고층 기상관측자료에 대한 구름의 발생빈도와 Fig. 2의 결과를 함께 도시하였다. 이 때, 지상관측장비 계측 결과, 낮은 구름이 OVC로 나타나는 경우는 전체의 1.6 % 밖에 되지 않으므로, 원활한 비교를 위하여 고도 1.3 km를 기준으로 정규화(normalization)를 수행하였다. 고도 2 km 이하에서 구름이 하늘을 가득 덮고 있는 경우의 결과를 살펴보면, 구름의 발생빈도는 1.3 km를 기준으로 급격하게 줄어든다. 이후 고도가 증가함에 따라 4 ~ 12 km 고도 범위에서는 고도 1.3 km

대비 약 40 %에 해당하는 발생빈도를 갖고, 이후 감소하는 경향을 보인다. 즉, 낮은 구름이 OVC인 경우는 평균적인 특성과는 다르게, 높은 고도로 올라가도 구름의 발생빈도가 증가하지 않음을 의미한다.

5. 결론

본 논문에서는 라디오존데를 이용한 고층기상관측 자료를 분석하여 구름의 연직구조특성 및 발생빈도를 연구하였다. 구름은 주로 0 ~ 1 km 사이, 7 ~ 8 km 사이에 운저고도를 가짐을 보였다. 이때 구름의 두께는 평균적으로 1.73 km이고, 대부분의 구름은 수백 m의 얇은 구름으로 구성되어 있으나, 수 km에 해당하는 두꺼운 구름이 다수 존재함을 보였다. 또한, 고도 1.3 km와 고도 9.5 km에서 다른 고도 대비 높은 빈도로 구름이 존재함을 보였다. 구름의 발생빈도는 계절 및 시간, 고도에 따라 서로 다른 특징을 보였다. 특히 여름에는 고도에 관계없이 평균대비 많은 구름이 형성되었고, 겨울에는 낮은 구름이 많이 형성되나, 높은 구름은 적게 나타난다는 것을 보였다. 또한 새벽이나 밤에 비해 낮에 구름이 많이 발생하는 특징이 있었다. 추가적으로 구름층의 개수에 대한 연구를 진행하였으며, 대부분의 구름은 1층 또는 2층으로 존재함을 밝혔다. 또한 낮은 구름이 하늘을 덮고 있는 경우, 높은 고도에서 구름의 발생빈도는 40 %로 낮아짐을 보였다.

본 연구는 구름의 연직구조를 분석하고 고도에 따른 발생빈도를 통계적으로 분석하였다는 점에서 의의가 있다. 본 논문의 결과를 활용하면, 공중에서 활용되는 무기체계에 대한 효과적인 개발, 운용 및 임무계획에 도움이 될 것으로 기대된다.

후 기

본 연구를 위해 지원해 주신 공군기상단 관계자 분들께 감사의 마음을 전합니다.

References

[1] Hyeryeong Park, "Implementation of Virtual Maritime Environment for LWIR Homing Missile Test,"

- Journal of Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 19, No. 2, pp. 185-194, 2016.
- [2] Kyung Ha Kim, "A Study on the Characteristics of Sunlint in Longwave Infrared Band," Journal of Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 21, No. 3, pp. 306-314, 2018.
- [3] Sidonie Lefebvre et al., "A Methodological Approach for Statistical Evaluation of Aircraft Infrared Signature," Reliability Engineering and System Safety, Vol. 95, pp. 484-493, 2010.
- [4] Y. Hu et al., "Global Statistics of Liquid Water Content and Effective Number Concentration of Water Clouds over Ocean Derived from Combined CALIPSO and MODIS Measurements," Atmospheric Chemistry and Physics, Vol. 7, pp. 3353-3359, 2007.
- [5] Su-bin Oh et al., "Comparison of Cloud Top height Observed by a Ka-band Cloud Radar and COMS," Atmosphere Korean Meteorological Society, Vol. 24, No. 1, pp. 39-48, 2014.
- [6] Sanghee Lee et al., "Characteristics of Cloud Occurrence using Ceilometer Measurements and Its Relationship to Precipitation over Seoul," Atmospheric Research, Vol. 201, pp. 46-57, 2018.
- [7] Junhong Wang, William B. Rossow, "Determination of Cloud Vertical Structure from Upper-Air Observation," Journal of Applied Meteorology, Vol. 34, pp. 2243-2258, 1995.
- [8] Irina V. Chernykh and Robert E. Eskridge, "Determination of Cloud Amount and Level from Radiosonde Soundings," Journal of Applied Meteorology, Vol. 35, No. 8, pp. 1362-1369, 1996.
- [9] Patrick Minnis et al., "Relationships between Radiosonde and RUC-2 Meteorological Conditions and Cloud Occurrence Determined from ARM Data," Journal of Geophysical Research, Vol. 110, pp. 1-19, 2005.
- [10] Jinqiang Zhang et al., "Analysis of Cloud Layer Structure in Shouxian, China using RS92 Radiosonde Aided by 95 GHz Cloud Radar," Journal of Geophysical Research, Vol. 115, pp. 1-13, 2010.
- [11] Jinqiang Zhang et al., "Validation of a Radiosonde-based Cloud Layer Detection Method Against a Ground-based Remote Sensing Method at Multiple ARM Site," Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Vol. 118, pp. 846-858, 2013.
- [12] M. Costa-Surós et al., "Comparing the Cloud Vertical Structure Derived from Several Methods based on Radiosonde Profiles and Ground-based Remote Sensing Measurements," Atmospheric Measurement Techniques, Vol. 7, pp. 2757-2773, 2014.
- [13] Oleg A. Alduchov and Robert E. Eskridge, "Improved Magnus Form Approximation of Saturation Vapor Pressure," Journal of Applied Meteorology, Vol. 35, pp. 601-609, 1996.
- [14] Wei Wu et al., "A Comparison of Multiscale Variations of Decade-Long Cloud Fractions from Six Different Platforms Over the Southern Great Plains in the United States," Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Vol. 119, pp. 3438-3459, 2014.