

## 무인항공기시스템 사고요인 분석을 통한 안전 운용방안 고찰

박원태\*

### A Study on the Safety Management of UAS by Analyzing Its Accident Factors

Wontae Park\*

#### ABSTRACT

This study investigated the accident cases of the U.S. Air Force and the R.O.K. Army. It analyzed the accident factors of the unmanned aircraft system using case analysis on unmanned aircraft system operators of the R.O.K. Air Force. Following the analysis this paper suggested safety operation plans for the R.O.K. Air Force. The risk factors of unmanned aircraft system were summarized by collecting and analyzing accident cases of unmanned aircraft system by the U.S. Air Force, collecting and analyzing accident risk factors of RQ-4 operators of the R.O.K. Air Force. Through the analyzed risk factors, a safety operation plan for the semi-automatic unmanned aircraft system and the fully automatic unmanned aircraft system was presented.

**Key Words** : Unmanned Aircraft(무인항공기), Unmanned Aircraft System(무인항공기시스템), Aircraft Accident(항공기 사고), Accident Factors(사고요인), Accident Factors Analysis(사고요인분석)

#### 1. 서 론

최근 국내에서는 군용으로 정찰용 무인항공기인 RQ-4, 중고도 무인정찰기, 군단급 무인항공기 등 다양한 무인항공기가 운용되고 있다. 또한 민간용 무인항공기로 통상 UAM으로 무인항공기 자동화 형태의 진화를 진행되고 있는 OPPAV, OPV, 소형 무인항공기 등 다양한 무인항공기가 개발되고 있거나 혹은 운용되고 있다.

이러한 무인항공기 운용은 다양한 안전 저해 요소를 포함하고 있다. 최근 사고사례를 구체적으로 살펴보면 무인항공기에 많은 사고가 발생하고 있음을 확인할 수

있다.

따라서, 이러한 무인항공기 사고사례를 수집하고 분석과 연구를 통한 안전관리 방안을 제시하는 것이 시의적절할 것으로 판단된다.

본 연구는 무인항공기를 오랫동안 운용되어 온 미 공군과 한국 육군의 사고사례를 조사하였다. 또한, 한국 공군의 RQ-4(Global Hawk) 무인항공기 운용자들을 통한 사고위험요인 수집 및 분석을 통하여 무인항공기시스템이 가지고 있는 사고요인을 분석하고 안전 운용방안을 제시하고자 한다.

연구수행 방법으로 먼저, 미 공군의 무인항공기시스템 사고사례 수집 및 분석, 한국 육군 무인항공기시스템 사고사례 수집 및 분석, 한국 공군 RQ-4 운용요원 사고위험요인 수집 및 분석을 통하여 무인항공기시스템의 위험요인을 정리한다. 정리 및 분석된 사고위험요인을 통하여 안전 운용방안을 제시하는 형태로 연구를

Received: 19. Sep. 2022, Revised: 08. Nov. 2022,  
Accepted: 09. Nov. 2022

\* 청주대학교 항공운항학과 교수

연락처자 E-mail : flywt@cju.ac.kr

연락처자 주소 : 충청북도 청주시 청원구 대성로 298

진행하였다.

## II. 본 론

### 2.1 미 공군 무인항공기시스템 사고사례 수집 및 분석

#### 2.1.1 미 공군 무인항공기시스템 사고사례 수집

미 공군 UAS 사고사례 수집은 2011년부터 2020년까지 10년간 발생한 사고를 중심으로 55건을 수집하여 분석하였다.

본 논문에서는 55건의 주요 사항을 번역 및 정리하여, 전체 사고에서 기종별 발생 분포 분석과 운용자(MP와 MSO 기준)의 비행시간 분포 분석, 그리고 비행 단계별 사고 분포 분석 및 사고의 원인과 사고의 기여요인을 분석하였다(U.S. Air Force Magazine, 2022).

#### 2.1.2 미 공군 무인항공기시스템 사고사례 분석

##### 2.1.2.1 비행 단계별 사고 분포

사고 발생 55건 중에서 비행 단계별 사고는 이륙 및 상승 단계, 순항 및 임무 단계, 접근 및 착륙 단계에서 발생하였다. 이를 반영한 분포를 분석해보면 이륙 및 상승 단계는 9건으로 16%를 차지하였고, 순항 및 임무 단계는 39건으로 71%를 차지하였다. 그리고 접근 및 착륙 단계는 7건으로 13%를 차지하였다(U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report [2-56])(Fig. 1).

##### 2.1.2.2 사고 원인

사고 발생 55건 중에서 사고원인은 기계적 결함, 통신항법 결함, 조종문제(인적요소), 기상으로 구분할 수 있었다. 이를 반영한 분포 분석 결과, 기계적 결함은

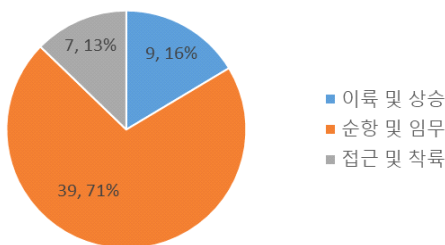


Fig. 1. U.S. Air Force distribution by UAS accident flight stage

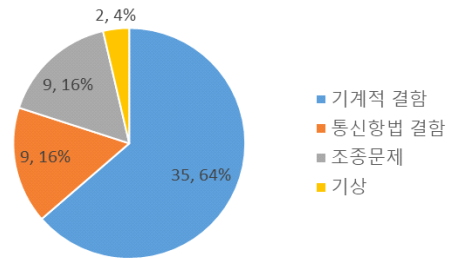


Fig. 2. U.S. Air Force distribution by UAS accident cause

35건으로 64%를 차지하였고, 통신항법 결함은 9건으로 16%를 차지하였다. 조종문제(인적요소)는 9건으로 16%를 차지하였고, 기상문제는 2건으로 4%를 차지하였다(U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, [2-56])(Fig. 2).

##### 2.1.2.3 사고 기여요인

사고 발생 55건 중에서 사고 기여요인은 조종문제, 기술도서 및 설계문제, 기계적 결함 및 정비문제, 기상 문제, 확인불가 및 없음으로 구분되었다. 이를 반영한 분포 분석 결과, 조종문제(인적요소)는 19건으로 34%를 차지하였고, 기술도서, 설계문제는 7건으로 13%를 차지하였다. 또한, 기계적 결함, 정비문제는 4건으로 7%를 차지하였고, 기상문제는 1건으로 2%를 차지하였다. 사고조사의 특성상 확인불가 및 없음이 사고 기여요인으로 분석되었고, 확인불가·없음은 24건으로 44%를 차지하였다(U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, [2-56])(Fig. 3).

##### 2.1.2.4 미 공군 무인항공기시스템 사고사례 시사점

미 공군 UAS 사고는 총 55건으로 연 평균 5.5건으

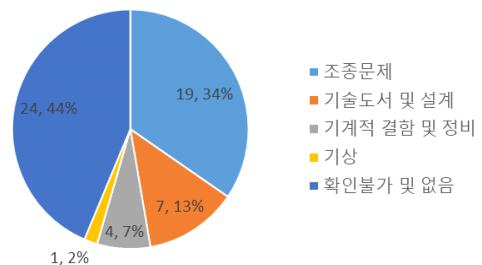


Fig. 3. U.S. Air Force distribution by UAS accident contribution factors

로, 사고 발생이론으로 유명한 하인리히의 법칙을 적용하면 다음과 같은 위험을 도출할 수 있다. 미 공군 UAS 사고에 하인리히의 법칙을 적용하면 55건의 사고에 1,595건의 경미한 사고가 있었고, 1만 6,500건의 전조증상이 있었을 것이다(Heinrich, 1931). 따라서 사소한 문제가 발생하였을 경우, 사전에 주의를 기울여 원인 파악과 문제점을 개선하는 노력이 반드시 필요하다.

비행 단계별 사고 분포는 순항 및 임무 단계에서 71%의 압도적으로 사고가 발생되었다. 이륙 및 상승단계는 16%, 접근 및 착륙 단계 13%로 임무를 수행하는 승무원들의 부담감이 UAS 비행에서는 전 비행단계에 분포되고 있음을 알 수 있었다. 사고 원인별 분포 조사에서는 기계적 결함이 64%로 압도적이고, 그 뒤로 통신행법 결함과 조종문제(인적요인)가 16%로 동일하게 분포하고 있었다. 기상은 4%를 기록하고 있다는 점과 사고 기여요인 분포 조사에서는 조종문제(인적요인)가 가장 많은 34%를 기록하였다. 다음으로 기술도서 및 설계가 13%, 기계적 결함 및 정비문제가 7%, 기상이 2%였다. 그리고 확인 불가가 44%였다.

## 2.2 한국 육군 무인항공기시스템 사고사례 수집 및 분석

### 2.2.1 한국 육군 무인항공기시스템 사고사례 수집

한국 육군 UAS 사고사례는 2000~2020년 기간 중 한국 육군 운용 4개 기종(대대·사단·서처·군단 UAV) 사고사례 총 105건 중 70건을 분석하였으며, 35건은 원인미상, 취급, 이동 중에 사고 등임을 고려하여 분석에서 제외하였다. 주요 사고원인은 인적 오류에 관한 사고사례와 비행체 이착륙 과정에서 돌풍에 의한 사고 사례가 사고의 주원인이었다(Lee, 2020)(Fig. 4).

### 2.2.2 한국 육군 무인항공기시스템 사고사례 분석

#### 2.2.2.1 인적 오류 관련 사고사례

인적 오류 관련 사고사례는 군단 UAV 2건, 서처

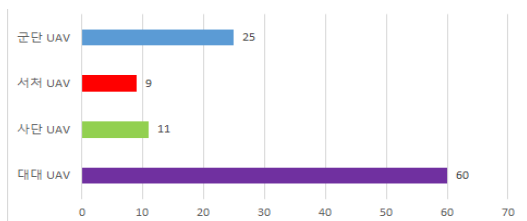


Fig. 4. Korean Army status of UAS accidents

UAV 5건, 사단 UAV 2건, 대대 UAV 17건이었으며, 중요 사고 원인은 다음과 같다. 군단 UAV는 활주로 착륙 시 조종기 브레이크 레버가 잠겨 있는 상태에서 해제가 되지 않아 Touch and Go를 수행한 사고사례로 이륙 전 taxi 점검 후 브레이크 해제 절차를 누락한 기재취급 miss 사례이다. 서처 UAV는 활주로 중앙 정렬 미 수행상태로 착륙한 사례로, 방향타 조작이 미숙한 사례이다. 대대 UAV는 GPS 비 유효상태로 비행체를 이륙시킨 사례로 조작 미숙, 절차 미 준수, 판단 오류 중첩 사례이다.

#### 2.2.2.2 비행체 이착륙 시 돌풍 관련 사고사례

비행체 이착륙 과정에서 돌풍에 관한 사고사례는 군단 UAV 6건, 서처 UAV 1건, 사단 UAV 1건, 대대 UAV 9건이었으며, 중요 사고 원인분석은 다음과 같다. 군단 UAV는 이착륙 과정에서 순간적 돌풍으로 비행체 Heading이 좌측으로 편향되었는데 이를 우측으로 착각하고, 방향타를 좌측 방향으로 급하게 조작하여 Heading이 좌편향 가중되어 발생한 사례이다. 서처 UAV는 이륙 순간 돌풍으로 비행체가 활주로 이탈 사례이다. 대대 UAV는 수동으로 착륙하는 동안 측풍에 의해 비행체가 주변 지형물체와 충돌한 사례가 있으며, 자동 착륙하는 동안에 돌풍에 의해 착지 지점 오차가 커져 수동 조작을 시도 중 주변 나무와 충돌한 사례이다(Fig. 5).

#### 2.2.3 한국 육군 무인항공기시스템 사고사례 시사점

한국 육군 무인항공기시스템의 주요 사고원인은 인적 오류에 관한 사고사례와 비행체 이착륙 과정에서 돌풍에 의한 사고사례가 주요 사고 원인이었다.

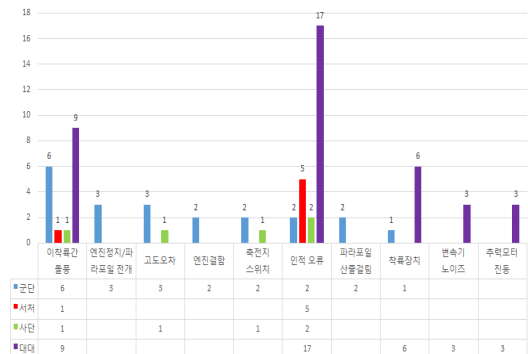


Fig. 5. Korean Army UAS accident analysis

Table 1. Korean Army cases of accidents related to UAS human error (number of cases)

군단	서처	사단	대대
2	5	2	17

Table 2. Korean Army UAS gust-related accident cases (number of cases)

군단	서처	사단	대대
6	1	1	9

이를 고려하여 인적 오류 관련 사고사례를 건수로 살펴보면 군단 UAV, 서처 UAV, 사단 UAV, 대대 UAV로 구분할 수 있으며, Table 1과 같다.

사고 원인은 군단 UAV는 활주로 착륙 시 조종기 브레이크 레버가 잠겨 있는 상태에서 해제가 되지 않아 Touch and Go를 수행한 사고사례로, 이륙 전 taxi 점검 후 브레이크 해제 절차를 누락한 기재취급 miss 사례였다. 서처 UAV는 활주로 중앙에 정렬을 수행하지 못한 상태로 착륙한 사례로 방향타 조작성이 미숙한 사례였다. 대대 UAV는 GPS 비 유효상태로 비행체를 이륙시킨 사례로 조작 미숙, 절차 미 준수, 판단 오류 중첩 사례가 주요 사고원인이었다.

비행체 이착륙 과정에서 돌풍에 관한 사고사례도 사고사례를 건수로 살펴보면 군단 UAV, 서처 UAV, 사단 UAV, 대대 UAV로 구분할 수 있으며, Table 2와 같다.

군단 UAV는 이착륙 과정에서 순간적 돌풍으로 비행체 heading이 좌측으로 편향되었는데 이를 우측으로 착각, 방향타를 좌 방향으로 급조작하여 heading이 좌편향 가중되어 발생한 사례가 주로 발생되었다. 서처 UAV는 이륙 순간 돌풍으로 비행체가 활주로 이탈한 사례였다. 대대 UAV는 수동으로 착륙하는 동안 측풍에 의해 비행체가 주변 지형물체와 충돌한 사례가 주었으며, 자동 착륙하는 동안에 돌풍에 의해 착지 지점 오차가 커져 수동 조작성 시도 중 주변 나무 등과 충돌한 사례였다.

## 2.3 한국 공군 RQ-4 운용요원 사고위험요인 수집 및 분석

### 2.3.1 한국 공군 RQ-4 운용요원 사고위험요인 수집

한국 공군의 RQ-4 비행 단계별 위험요인을 판단하

고, 무인항공기시스템 사고사례 분석을 통한 중요 항목의 위험요인을 도출하고자 운용부대를 방문하여 사고(위험)사례를 수집하였다.

사고(위험)사례의 수집은 약 10일 전에 관련 내용을 전달하고, 사전 의견 수집을 요청하였으며, 출근한 조종사 및 센서통제사 모두 참여하여 간담회 형태로 진행하여 35명의 답변을 수집하였다. 수집된 RQ-4 운용 중 위험사례는 다음과 같다.

### 2.3.2 한국 공군 RQ-4 운용요원 사고위험요인 분석

#### 2.3.2.1 비행 단계별 위험 노출 정도

비행 단계별 위험 노출 정도는 임무계획 및 briefing 단계 평균 30%, 지상작동/통신 및 이륙지점 이동, taxi 단계는 43.8%, 이륙 및 상승 단계는 55.8%, 순항 및 임무 단계는 46.7%, 접근 및 착륙 단계는 55%, 지상 이동 및 de-briefing 단계는 38.3%로 답변하였다. 조종사와 센서통제사 공히 이륙 및 상승 단계와 접근 및 착륙 단계에서 위험 노출 정도가 높은 것으로 답하고 있으며, 다음으로 순항 및 임무 단계를 위험 노출 정도가 높은 것으로 답변하였다(Fig. 6).

#### 2.3.2.2 결함 종류별 위험 노출 정도

기계적 결함, 통신항법 결함, 악기상 조우, 조종문제(인적오류) 위험 노출 정도를 정량적으로 구분, 설문하였으며 답변 결과는 다음과 같다. 정량적 사고사례의 위험 노출 정도는 기계적 결함은 평균 54.2%, 통신항법 결함은 평균 58.3%, 악기상 조우는 평균 64.2%, 조종문제(인적오류)는 평균 50%로 답변하였다. 조종사와 센서통제사 공히 기계적, 통신항법, 악기상, 인적오류를 50% 이상의 위험 노출 정도의 의견을 제시하고

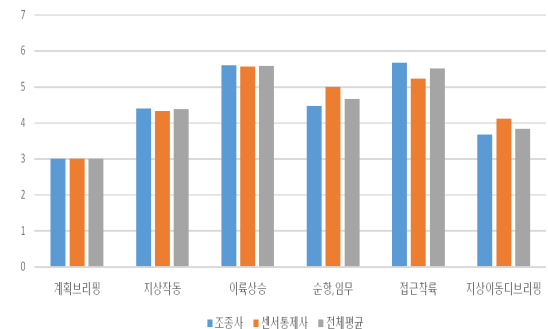


Fig. 6. Korea Air Force risk exposure level opinion by UAS flight stage

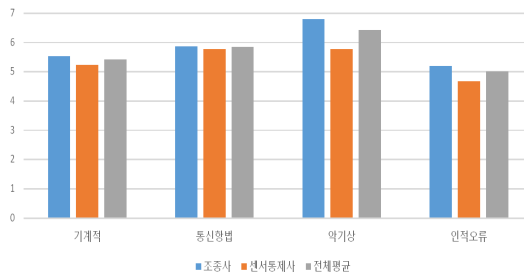


Fig. 7. Korea Air Force risk exposure level opinion by UAS defect type

있으며, 특히 악기상에 대한 우려, 다음으로 통신항법 결함에 대한 우려가 높은 것으로 답변하였다(Fig. 7).

2.3.2.3 임무 환경별 위험 노출 정도

예보기상과 실제기상의 차이, crew 간 정보공유 정도, 임무진행 중 임무변경지시에 따른 부담감, 유인비행과 무인비행의 비행운영 차이점 고려를 정성적으로 구분, 설문하였다. 답변 결과를 보면, 정성적 사고사례 위험 노출 정도는 예보기상과 실제기상의 차이는 평균 43.3%, crew 간 정보공유 정도는 평균 54.6%, 임무진행 중 임무변경지시에 따른 부담감은 평균 48.3%, 유인비행과 무인비행의 비행운영 차이점 고려는 평균 58.3%로 답변하였다. 조종사와 센서통제사 공히 유인비행과 무인비행의 비행운영 차이점 고려가 가장 높은 58% 이상이었다. 다음으로, crew 간 정보공유 정도도 54% 이상의 위험 노출 정도의 의견을 제시하였다. 그리고 임무진행 중 임무변경지시에 따른 부담감과 예보기상과 실제기상의 차이는 43% 이상 위험 노출 정도 의견을 제시하였다(Fig. 8).

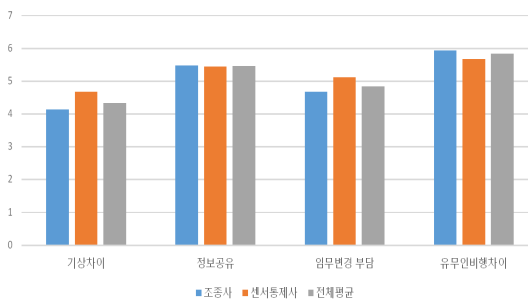


Fig. 8. Korea Air Force risk exposure degree opinion by UAS mission environment

2.3.2.4 한국 공군 RQ-4 운용요원 사고위험요인 시사점

한국 공군 RQ-4 운용자들은 이륙 및 상승 단계와 접근 및 착륙 단계에서 위험 노출 정도가 가장 높았다. 다음으로 순항 및 임무 단계를 위험 노출 정도가 높게 답변하고 있다. 그러나, 미 공군 UAS 사고사례를 살펴 보면 순항 및 임무 단계 사고가 압도적으로 높고(71%), 이륙 및 상승 단계(16%), 접근 및 착륙 단계(13%)인 점을 고려하여야 한다. 이러한 간극(GAP)을 포함한 운영에 대한 고려가 필요하다.

사고의 원인에 대한 의견수렴도 악기상, 통신항법 결함, 기계적 결함, 인적오류 순으로 위험 노출 정도를 답변하고 있다. 그러나, 미 공군 UAS 사고사례는 기계적 결함이 압도적으로 높고(64%), 통신항법 결함과 조종문제가 동일하게 분석되었다(16%). 또한, 기상은 4%만을 차지하고 있음도 고려하여야 한다. 따라서 무인항공기 운영시 기계적 결함 등에 대한 무인항공기 시스템 문제에 대한 대비가 필요하다.

사고사례의 기여요인에서 조종문제(인적요인)가 가장 높게(34%) 나타나고, 기술도서 및 설계가 13%, 기계적 결함 및 정비문제가 7%이었다. 그리고, 기상이 2%, 확인 불가 사항이 44%를 기록하고 있고, 기계적 결함, 통신항법 결함 사고 원인과 비상절차로 이어지는 조종문제(인적요인)의 결합이 사고의 대부분을 차지하고 있었다. 때문에, 비상절차에 대한 강조가 절대적으로 필요해 보인다.

2.4 미 공군, 한국 육군 및 공군 무인항공기 사고요인 정리

2.4.1 미 공군 UAS 사고요인

미 공군의 무인항공기시스템 비행 단계별 사고 분포를 살펴보면, 순항 및 임무 단계에서 71%로 압도적인 사고 분포를 보여주고 있다. 통상 일반적으로 사고가 많이 일어날 것으로 예상하는 이륙 및 상승단계는 16%이고, 접근 및 착륙 단계 13%가 되는 점을 고려하면 승무원들의 부담감과 위험이 UAS 비행에서는 모든 비행 단계에 있음을 알 수 있다.

사고 원인별 분포 조사에서는 기계적 결함이 64%로 압도적이었다. 그 뒤로 통신항법 결함과 조종문제(인적요인)가 16%로 동일하게 분포하고 있었다. 기상 문제의 사고는 4%를 기록하고 있었다. 사고 원인별로는 기계적 결함이 많이 발생됨을 고려하여 무인항공기 설계 단계부터 운용 단계에 기계적 결함에 관한 주의가 필

요함을 알 수 있다.

사고 기여요인 분포 조사에서는 조종문제(인적요인)가 가장 많은 34%를 기록하고 있었다. 다음으로 기술도서 및 설계가 13%, 기계적 결함 및 정비문제가 7%, 기상이 2%를 기록하였다. 그리고 사고조사의 한계점인 확인 불가가 44%를 기록하였다. 따라서 기계적 결함이 나 통신항법, 기상문제 등 문제가 발생되면 이후의 조종문제(인적요인)에서 적절한 조치가 반드시 필요하기 때문에 이를 고려한 교육 및 훈련이 필요하다.

미 공군의 UAS 임무를 구분하여 선발 방안 연구(Park and Lee, 2015)에서도 미 공군의 사고대비 적성검사에서 전 비행단계의 절차 위험/임무관리, 비상절차, 일반지식 등을 고려하고 평가기준도 이를 토대로 운영하고 있다.

#### 2.4.2 한국 육군 UAS 사고요인

한국 육군 무인항공기시스템의 주요 사고원인은 인적 오류에 관한 사고사례와 비행체 이착륙 과정에서 돌풍에 의한 사고사례가 주요 사고 원인이었다.

인적오류로 일어난 사고 원인은 군단 UAV는 활주로 착륙 시 조종기 브레이크 레버가 잠겨 있는 상태에서 해제가 되지 않아 Touch and Go를 수행한 사고 사례, 이륙 전 taxi 점검 후 브레이크 해제 절차를 누락한 기재취급 miss 사례가 있었다. 서치 UAV는 활주로 중앙 정렬 미 수행상태로 착륙한 사례로 방향타 조작이 미숙한 사례였다. 대대 UAV는 GPS 비 유효상태로 비행체를 이륙시킨 사례로 조작 미숙, 절차 미 준수, 판단 오류 중첩 사례가 주요 사고 원인이었다.

비행체 이착륙 과정에서 돌풍에 관한 사고사례도 군단 UAV는 이착륙 과정에서 순간적 돌풍으로 비행체 heading이 좌측으로 편향되면서 이를 역조작하는 사고였다. 서치 UAV는 이륙 순간 돌풍으로 비행체가 활주로 이탈한 사례였다. 대대 UAV는 수동으로 착륙하는 동안 측풍에 의해 비행체가 주변 지형물체와 충돌한 사례가 주요 사고였고, 자동 착륙하는 동안에 돌풍에 의해 착지 지점 오차가 커져 수동 조작을 시도 중 주변 나무 등과 충돌한 사례였다.

이를 미 공군과 같이 비행 단계별 사고 분포로 비교해보면, 모두 이착륙 단계에서 일어난 사고였다. 한국 육군의 무인항공기시스템의 운용은 통제공역 내에서 멀리 떨어진 거리에서의 임무를 수행하는 점을 고려해야 할 것으로 보인다. 한국 육군의 무인항공기시스템 사고는 이착륙 단계의 사고가 대부분이었다는 점을 알 수

있다. 그러나, 점차 공역을 통제공역 밖으로 운용하고, 멀리 운용하는 무인항공기시스템을 운용해야 하는 점을 고려하면서 미 공군의 사례를 잘 참고하여 운용에 대비할 필요가 있다.

#### 2.4.3 한국 공군 UAS 사고요인

한국 공군 RQ-4 운용자들은 무인항공기시스템 운용이 대체로 1년 미만인 상태로 아직 많은 경험이 부족한 상태였다. 따라서 그들은 이륙 및 상승 단계와 접근 및 착륙 단계에서 위험 노출 정도가 가장 높고, 다음으로 순항 및 임무 단계를 위험 노출 정도가 높게 답변하고 있다.

그러나 미 공군은 무인항공기시스템을 전 세계적으로 운용하고 있다는 점을 상기할 필요가 있다. 따라서 UAS 사고사례는 순항 및 임무 단계 사고가 압도적으로 높고(71%), 이륙 및 상승 단계(16%), 접근 및 착륙 단계(13%)인 점을 잘 고려하여 운용에 반영할 필요가 있다. 한국 공군의 RQ-4(Global Hawk)나 중고도무인기(MUAV)는 미 공군의 RQ-4와 동일한 기종이고, MQ-1, MQ-9과 유사한 성능을 가진 중고도무인기이기 때문에 미 공군의 사고사례를 잘 살펴보고 경험을 축적할 필요가 있다.

사고의 원인에 대한 답변도 악기상, 통신항법 결함, 기계적 결함, 인적오류 순으로 위험 노출 정도 답변하고 있다. 그러나, 미 공군 UAS 사고사례는 기계적 결함이 압도적으로 높고(64%), 통신항법 결함과 조종문제가 동일하게 분석되었고(16%), 기상은 4%만을 차지하고 있다. 이러한 사항도 무인항공기시스템을 운용하는 운용자들이 정확한 인식을 토대로 대비할 필요가 있다.

사고사례의 기여요인에서도 조종문제(인적요인)가 가장 높게(34%) 나타났다. 그리고, 기술도서 및 설계가 13%, 기계적 결함 및 정비문제가 7%, 기상이 2%라는 점에서, 미 공군의 무인항공기시스템의 사고가 주로 기계 시스템적 결함을 통해 발생되고 이를 적절하게 조치하지 못하는 데서 사고가 더욱 촉발될 수 있다는 점을 시사하고 있다.

기계적 결함, 통신항법 결함 사고 원인과 비상절차로 이어지는 조종문제(인적요인)의 결합이 사고의 대부분을 차지하고 있으므로, 비상절차에 대한 강조가 절대적으로 필요한 것으로 보인다.

### 2.5 무인항공기시스템 안전 운용방안 제언

미 공군과 한국 육군의 무인항공기시스템 운용의 시

사점을 분석해보면 다음의 특징을 도출할 수 있겠다. 운용하는 무인항공기시스템이 반자동시스템인지 또는 완전자동시스템인지에 따라 사고 단계가 확연히 구분된다는 것이다. 또한 시스템의 결함이 사고의 원인 또는 기여요인으로 다르게 나타난다는 것이다. 본 논문에서는 이러한 특징을 반영하여 안전 운용방안의 고려사항을 제시하고자 한다.

### 2.5.1 반자동 형태의 무인항공기시스템 운용방안

한국 육군의 무인항공기시스템 운용의 시사점을 분석해보면 운용하는 무인항공기시스템이 반자동시스템으로 관련 특징을 고려하여 운용에 반영하여야 한다. 통제구역 내에서 멀리 않은 거리에서의 임무를 수행하는 점과 주로 이착륙 단계에서 사고가 발생한 점을 고려하면 다음의 사항을 고려하여야 한다.

첫째, 인적오류에 관한 사항을 고려하여야 한다. 군단 UAV 사고원인인 활주로 착륙 시 조종기 브레이크 레버가 잠겨 있는 상태에서 해제가 되지 않아 발생한 사례, 이륙 전 taxi 점검 후 브레이크 해제 절차를 누락한 기재취급 miss 사례가 있었다. 서처 UAV는 활주로 중앙 정렬 미 수행상태로 착륙한 사례, 방향타 조작이 미숙한 사례가 있었다. 대대 UAV는 GPS 비 유효 상태로 비행체를 이륙시킨 사례로 조작 미숙, 절차 미 준수, 판단 오류 중첩 사례가 주요 사고 원인이었다.

둘째, 이착륙 과정에서 돌풍 관련 사항을 고려하여야 한다. 군단 UAV 사고원인이 이착륙 과정에서 순간적 돌풍으로 비행체 heading이 좌측으로 편향되면서 이를 역조작하는 사고가 있었다. 서처 UAV는 이륙 순간 돌풍으로 비행체가 활주로 이탈한 사례가 있었고, 대대 UAV는 수동으로 착륙하는 동안 측풍에 의해 비행체가 주변 지형물체와 충돌한 사례가 주로 있었다. 또한 자동 착륙하는 동안에 돌풍에 의해 착지 지점 오차가 커져 수동 조종을 시도 중 주변 나무 등과 충돌한 사례가 있었다.

셋째, 위의 사항을 분석해보면 시스템적인 문제가 많지는 않다는 점도 참고할 필요가 있다. 주로 절차 미 준수, 조작 미숙이 주를 이루고 있는 점이다. 반자동의 무인항공기시스템의 특성이 상대적으로 단순한 시스템으로 시스템적 문제점이 발생되지 않은 것으로 보인다.

### 2.5.2 완전자동 형태의 무인항공기시스템 운용방안

미 공군의 비행 단계별 사고 분포는 순항 및 임무 단계에서 71%로 압도적이다. 다음으로 이륙 및 상승단

계는 16%이고, 접근 및 착륙 단계 13%로 이착륙 단계에서는 이 둘을 합쳐도 29%였다. 완전자동 형태의 무인항공기시스템은 비행의 전 단계에서 일어나기 때문에 관련 승무원들은 전 비행 단계에서 다음의 사항을 고려하여 안전 운용이 필요하다.

첫째, 무인항공기시스템의 기계적 결함이 64%로 압도적이었던 점과, 그 뒤로 통신항법 결함이 16%인 점을 고려하면 80%가 시스템적 문제점이었다. 그리고 시스템적 문제점을 해결하는 비상절차를 조치하면서 조종문제(인적요인)가 16%인 점은 비상처치에 대한 훈련이 필요함을 암시하고 있다. 참고로 기상 문제는 4%였다. 이는 완전자동 형태의 무인항공기시스템은 기계적 결함, 통신항법 결함이 많음을 고려하여 무인항공기 설계 단계부터 운용 단계에 기계적 결함에 관한 주의가 필요하다.

둘째, 사고 기여요인에서 나타난 점은 조종문제(인적요인)가 가장 많은 34%였다는 점이다. 다음으로 기술도서 및 설계가 13%, 기계적 결함 및 정비문제가 7%, 기상이 2%였다. 참고로 사고조사의 한계점인 확인 불가가 44%였다. 따라서 기계적 결함이나 통신항법, 기상문제 등 문제가 발생되면 이후의 조종문제(인적요인)에서 적절한 조치가 반드시 필요하기 때문에 이를 고려한 관련 인원들의 정확한 시스템적 이해를 고려한 교육과 시스템적 이해를 반영한 비상절차 훈련이 필요하다.

## III. 결 론

본 연구는 무인항공기를 오랫동안 운용되어 온 미 공군과 한국 육군의 사고사례를 조사하고, 한국 공군의 무인항공기 운용자들을 통한 사고요인분석을 진행하였다. 이를 통하여 무인항공기시스템이 가지고 있는 사고요인을 알아보고 안전 운용방안을 제시하였다. 연구수행 방법으로 먼저, 미 공군의 무인항공기시스템 사고사례 수집 및 분석, 한국 육군 무인항공기시스템 사고사례 수집 및 분석, 한국 공군 RQ-4 운용요원 사고위험요인 수집 및 분석을 통하여 무인항공기시스템의 위험요인을 정리하였다.

사고요인 분석 결과 반자동 형태의 무인항공기시스템과 완전자동 형태의 무인항공기시스템에 매우 다른 사고 패턴을 확인할 수 있었다.

먼저, 반자동 형태의 무인항공기시스템 사고는 주로 이착륙 단계에서만 발생하였다. 인적오류에 의한 사항

과 돌풍에 의한 사고로 대부분 일어났고 시스템적 문제의 발생은 거의 발생되지 않았다.

완전자동 형태의 무인항공기시스템 사고는 비행의 전 단계에서 발생되었다. 주로 기계, 통신항법 등 시스템에서 문제가 일어나 사고가 발생하였고, 이를 조치하는 과정에서 문제가 재발생되는 사고였다.

분석된 위험요인을 통하여 안전 운용방안을 제시하였다.

반자동 형태의 무인항공기시스템은 사고의 특성이 상대적으로 단순한 시스템으로 시스템적 문제점이 발생되지 않았으며, 주로 절차 미준수, 조작 미숙이 주를 이루고 있는 점을 고려할 때 절차를 정밀하게 보완하고 이러한 절차를 명확하게 준수할 수 있도록 교육과 훈련이 요구된다. 즉, 명확한 절차 마련 및 절차준수 운용이 필요하다.

완전자동 무인항공기시스템은 사고의 특성이 시스템적으로 복잡하여 시스템적으로 문제를 발생하였고, 이를 조치하는 과정에서 조종관련 인원의 부적절한 조치가 사고를 유발한 사례도 많이 조사 및 분석되었다. 따라서 이를 고려한 관련 인원들의 정확한 시스템적 이해를 위한 교육을 진행하고, 시스템적 이해를 반영한 비상절차 훈련을 진행 후 운용이 필요하다.

본 연구를 통하여 한국 공군의 RQ-4, MUAV, 한국 육군의 군단·사단·대대급 무인항공기 운용시 사고 예방하고, 민간 분야에서는 OPAV, OPV 등 안전한 비행 시험 및 운용을 기대한다.

## 후 기

이 논문은 청주대학교 일반연구 과제비 지원을 받아 수행한 연구임.

## References

1. U.S. Air Force Magazine, 2022, <https://www.airforcemag.com/>
2. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 99-3061", Kandahar Air Base, Afghanistan, 2011.1.3.
3. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 08-3228", Republic of DJIBOUTI, 2011.1.14.
4. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 01-3074", Jalalabad Air Base, Afghanistan, 2011.5.1.
5. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 07-3182", Kandahar Air Base, Afghanistan, 2011.5.5.
6. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 07-3249", Republic of DJIBOUTI, 2011.5.17.
7. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 07-3204", Afghanistan, 2011.6.5.
8. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 06-3174", Jalalabad Air Base, Afghanistan, 2011.7.10.
9. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "EQ-4B, T/N 04-2017", Afghanistan, 2011.8.20.
10. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 06-3178", Foward Operation Base, Afghanistan, 2011.8.20.
11. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-9A, T/N 06-4105", Republic of Seychelles, 2011.12.13.
12. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 03-3122", Kandahar Air Base, Afghanistan, 2012.1.30.
13. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 07-003190", Afghanistan, 2012.2.14.
14. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 04-3125", Camp Lemonnier, Djibouti, 2012.2.21.
15. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-9A, T/N 05-000102", Republic of Seychelles, 2012.4.4.
16. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 07-3220", Islamic, Afghanistan, 2012.4.14.
17. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 07-3201", Jalalabad Air Base, Afghanistan, 2012.7.24.
18. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 03-0111", U.S.



- CENCOM AOR, 2012.9.18.
19. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, Langley AirBase", Va., 2012.10.26.
  20. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-9, T/N 09-004065", Douglas County, Nevada, 2012.12.5.
  21. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 04-3133", Near Kandahar Air Base, Afghanistan, 2013.3.3.
  22. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 01-3075", Near Creech Air Base, Nevada, 2013.3.13.
  23. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 07-3195", Jalalabad, Afghanistan, 2013.6.27.
  24. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "QRF-4C, T/N 69-0384", TYNDALL Air Base, FL, 2013.7.17.
  25. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-9, T/N 09-4066", Lake Ontario, New York, 2013.11.12.
  26. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 09-3260", Mediterranean Sea, 2012.1.17.
  27. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 02-3098", Creech Air Base, Nevada, 2014.4.4.
  28. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 07-3213", Jalalabad Air Base, Afghanistan, 2014.4.26.
  29. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 99-3057", Afghanistan, 2014.6.25.
  30. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 00-3068", Nevada Test and Training Range, Nevada, 2014.6.27.
  31. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 07-3210", Afghanistan, 2014.7.14.
  32. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-9, T/N 11-4144", U.S. CENCOM AOR, 2014.12.12.
  33. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-9, T/N 10-4090", U.S. AFRICOM AOR, 2015.2.4.
  34. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 06-3164", U.S. CENCOM AOR, 2015.3.1.
  35. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 07-3207", U.S. CENCOM AOR, 2015.4.28.
  36. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-9, T/N 11-4138", U.S. AFRICOM AOR, 2015.5.5.
  37. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-9, T/N 11-4129", Afghanistan, 2015.5.18.
  38. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 08-3237", U.S. CENCOM AOR, 2015.5.27.
  39. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 05-3136", U.S. CENCOM AOR, 2015.10.17.
  40. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 98-3040", U.S. CENCOM AOR, 2015.11.8.
  41. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-9, T/N 08-4044", Afghanistan, 2015.11.18.
  42. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-9, T/N 10-4114", U.S. CENCOM AOR, 2015.11.24.
  43. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 08-3245", U.S. CENCOM AOR, 2016.1.7.
  44. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 04-3129", U.S. CENCOM AOR, 2015.2.2.
  45. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 07-3198", U.S. CENCOM AOR, 2016.3.8.
  46. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-9, T/N 10-4113", Nevada Test and Training Range, Nevada, 2016.6.7.

47. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-9, T/N 12-4177", Undisclosed Location, 2016.7.5.
48. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 07-3197", Undisclosed Location, 2015.9.24.
49. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-9, T/N 12-4175", U.S. CENCOM AOR, 2017.5.6.
50. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "RQ-4, T/N 07-2029", Near Long Pine, California, 2017.6.21.
51. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 06-3166", U.S. CENCOM AOR, 2017.8.17.
52. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 02-3100", U.S. CENCOM AOR, 2017.8.21.
53. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-1, T/N 05-03143", U.S. CENCOM AOR, 2017.9.4.
54. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "RQ-4, T/N 09-2041", Near Coast of Rota, Spain, 2018.6.26.
55. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-9, T/N 08-4051", U.S. AFRICOM AOR, 2020.6.24.
56. U.S. Air Force Aircraft Accident Investigation Board Report, "MQ-9, T/N 15-4295", Hancock Air Base, New York, 2020.6.25.
57. Lee. M. Y., "A Study on the Improvement of Airworthiness through the Analysis of Accident Cases in the Unmanned Airplane", 2020.
58. Park, W. T., and Lee, K. S., "A study on the aptitude test of remotely piloted aircraft pilots: Focused on Selection of Aptitude Test Items", Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, 23(1), 2015, pp.30-40.
59. Heinrich, H. W., "Industrial Accident Prevention", 1931.