

## 군용무인기의 감항인증 목표안전수준 분석

이나래\*, 전병일\*, 장영근\*\*

Target Level of Safety Analysis in Airworthiness  
Certification for Military UAV

Narae Lee\*, Byung-il Jeon\* and Young-Keun Chang\*\*

Graduate School, Korea Aerospace University\*,

School of Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Aerospace University\*\*

## ABSTRACT

Airworthiness certification of military aircraft is a government's certification that it must have airworthiness and ability to demonstrate its requested function and performance. NATO released STANAG-4671 to establish the minimum airworthiness requirements for UAVs between 150kg and 20,000kg MTOW in 2009. Up to now, there are no clear airworthiness certification criteria and guideline for small UAV which is less than 150kg.

STANAG-4671 is used for military UAV airworthiness certification in Korea as Other Airworthiness Certification Criteria. However, since STANAG-4671 requires the same Target Level of Safety without regard to MTOW, excessive Target Level of Safety or design requirements could be applied to relatively small-medium UAV. In this paper, classification and criteria of airworthiness certification for military UAV were investigated and a Target Level of Safety was analyzed based on MTOW using ground victim criteria.

## 초 록

군용항공기 감항인증은 감항성을 가지고 요구된 성능과 기능을 발휘할 수 있음에 대한 정부의 인증이다. 북대서양조약기구(NATO)는 최대이륙중량 150kg 이상의 군용무인기에 대한 감항인증 요구도인 STANAG-4671을 2009년에 배포하였다. 최근 150kg 미만의 소형 무인기에 대한 감항인증 요구도인 STANAG-4703을 내부적으로 배포하여 검토 중에 있다. 우리나라는 국제적으로 통용되는 감항인증 기준인 STANAG-4671을 기타감항인증 기준으로 준용하여 군용무인기에 적용하고 있다. 하지만 STANAG-4671은 중량에 관계없이 동일한 목표안전수준을 요구하여 낮은 중량의 중·소형무인기에 대해서는 목표안전수준이나 설계 요구도가 과도하게 적용될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 군용무인기 분류와 감항인증 기준을 분석하고, 지상피해 평가기법을 적용하여 최대이륙중량별 목표안전수준을 제시하였다.

**Key Words** : Airworthiness Certification(감항인증), Unmanned Aerial Vehicle(UAV; 무인항공기), Target Level of Safety(TLS; 목표안전수준)

† Received: December 19, 2013 Accepted: September 25, 2013 <http://journal.ksas.or.kr/>

\*\* Corresponding author, E-mail : [ykchang@kau.ac.kr](mailto:ykchang@kau.ac.kr)

pISSN 1225-1348 / eISSN 2287-6871

## I. 서론

항공기의 감항인증과 비행에 관한 법·규정들은 안전성이 최우선시 되는 민간항공기를 중심으로 개발되었으며, 항공기의 운용목적 및 중량에 따라 적용되는 감항인증 기준이 상이하다.

민간항공기의 경우 국제민간항공기구(ICAO; International Civil Aviation Organization) 협약 아래 각 국에서 법규와 감항인증 기준을 제정하여 항공기의 감항인증을 시행하고 있으며, 우리나라의 경우 국제적으로 통용되는 미연방항공규정(FAR; Federal Aviation Regulations)과 동등한 수준의 구성체제로 1993년에 감항기술기준(KAS; Korean Airworthiness Standards)을 제정하였다[1].

군용항공기의 경우 2002년에 미 국방부에서 MIL-HDBK-516B 군용항공기 감항인증 기준을 제정하여 감항인증 기준 작성의 지침서로 활용하고 있다[2]. 우리나라의 경우 2009년 8월에 군용항공기의 비행안전성 인증에 관한 법률이 제정되어 미 국방부의 MIL-HDBK-516B를 번역하여 표준감항인증기준으로 고시하였다[3].

무인항공기가 민간 공역에서 운용될 경우 다른 항공기들과의 공중충돌 및 무인기 시스템 결함으로 인한 추락으로 인해 인명 및 재산을 포함한 치명적인 피해가 발생할 수 있다. 따라서 각 국(미국, 유럽, 이스라엘 등)의 감항당국들은 극히 제한된 공역 내에서만 무인항공기를 운용하고 있다. 하지만 무인항공기의 활용과 운용영역 확장의 요구가 증가함에 따라 전 세계적으로 무인항공기의 비행안전성을 위한 감항인증 체계, 절차 및 기준을 수립하고 있는 추세이다. 북대서양 조약기구(NATO; North Atlantic Treaty Organization)에서는 최대이륙중량(MTOW; Maximum Take-Off Weight)이 150kg 이상 20,000kg 미만인 고정익 군용무인기에 대한 감항인증 요구도인 STANAG-4671을 2009년에 배포하였으며, 각 국에서는 감항당국에서 무인항공기의 특성에 맞게 STANAG-4671을 테일러링(Tailoring)하여 사용하고 있다[4][5]. 한편, 150kg 미만의 고정익 군용 소형무인기에 대한 감항인증 요구도인 STANAG-4703은 현재 북대서양조약기구(NATO) 내부적으로 배포하여 검토 중에 있으며 2013년에 비준할 예정이다[6].

우리나라의 경우 군용무인기의 감항인증 기준이 고시되지는 않았으나, 국제적으로 통용되는 감항인증 기준인 STANAG-4671을 기타감항인증 기준으로 준용하여 군용무인기에 적용하고 있다.

현재 국내에서 150kg급의 군용 소형무인기인

사단정찰용 무인기와 20kg 미만의 군용 미니무인기인 대대급무인기가 개발되고 있다. 하지만 150kg 미만의 군용 소형무인기의 감항인증 기준이 부재하여 민간공역에서의 운용이 제한되고, 비행안전성 확보 및 해외 수출 시에 문제가 발생할 수 있다. 이에 대한 대응방안으로 STANAG-4671을 테일러링하여 감항인증 기준을 준수하고 있지만 STANAG-4671은 150kg 이상의 군용무인기에 대한 감항인증 기준으로 150kg 미만의 소형무인기에 대해서는 목표안전수준이나 설계 요구도가 과도하게 적용될 수 있다. 또한 STANAG-4671은 무인항공기의 중량에 상관없이 목표안전수준을 동일하게 적용하고 있어 실제 운용되고 있는 무인항공기의 누적 비행시간에 따른 치명적 사고 발생률을 통해 목표안전수준에 대한 타당성 분석이 필요하다.

현재 무인항공기의 목표안전수준 평가기준은 없으며, 미국과 유럽에서 무인항공기의 목표안전수준을 정량적으로 평가하기 위해 지상피해 평가방법(Ground Victim Criteria), 지상충돌에너지 평가방법(Ground Impact Energy Criteria), 공중충돌 평가방법(Midair Collision Criteria)과 같은 여러 가지 목표안전수준 평가방법을 연구하고 있다[7][8].

본 논문에서는 무인항공기의 특징 및 기능에 따른 무인항공기 분류와 군용무인기(중·대형, 소형, 미니)의 감항인증 기준 현황을 나타내었으며, 세 가지의 무인기 목표안전수준 평가방법을 통해 군용무인기의 중량별 목표안전수준을 제시하고자 한다.

## II. 무인항공기 분류 방법

무인항공기는 중량, 충돌 운동에너지, 안전 위험요소, 운용지역, 피해 예상 및 비행고도 등과 같은 특징과 기능에 따라 분류할 수 있다[9].

감항인증 기준을 목적으로 무인항공기의 분류를 중량 기준으로 하는 것은 가장 기본적인 방법이다. 유럽과 호주에서는 150kg(330lbs)의 중량을 무인항공기 감항인증 기준 유무의 기준점(Threshold)으로 설정하였다. 일반적으로 최대이륙중량 150kg 미만의 무인항공기를 소형무인기로 분류하고 있다. 소형무인기의 분류 기준인 150kg은 다른 항공기 및 지상의 사람/재산에 치명적 사고를 입히지 않을 정도의 충돌에너지인 95kJ를 고려하였을 때의 중량이다[9].

현재 150kg 이상의 무인기에 대해서만 감항인증 기준이 존재하며 감항인증 기준이 부재한 소

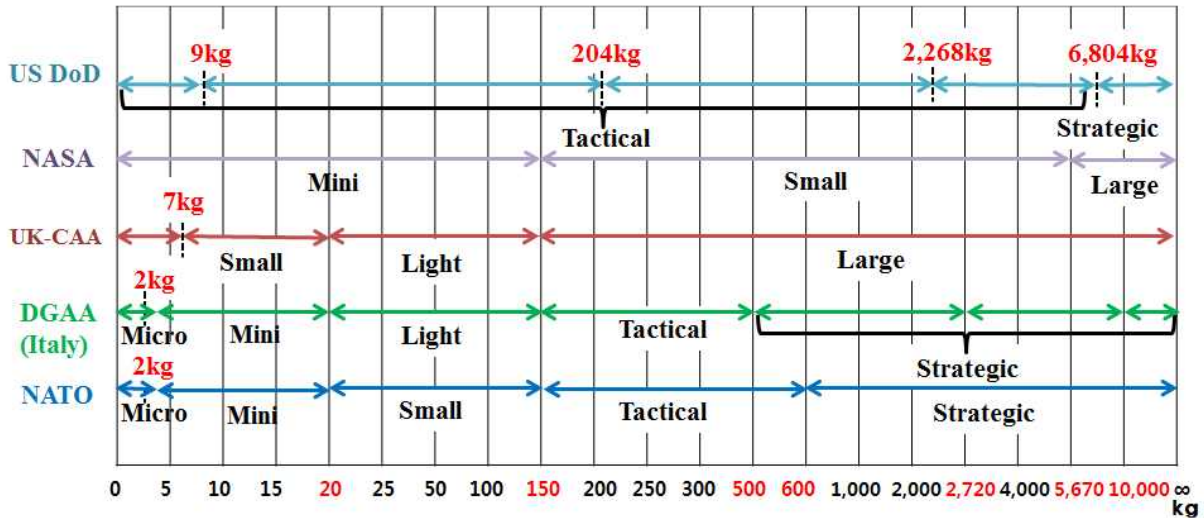


Fig. 1. UAV Classification by Organization

Table 1. UAV Classification by MTOW

중량	무인기 분류
UAV<20kg	Mini(미니)
20kg≤UAV<150kg	Small(소형)
150kg≤UAV<20,000kg	Large(중·대형)

형무인기의 최대이륙중량은 150kg으로 제한되고, 최대속도는 70kts을 넘지 않아야 하며, 조종사로부터 500m의 거리 이내에서 운용되고, 지상에서 120m(400ft) 이상의 고도를 넘지 않아야 한다. 500m의 거리는 조종사가 70kts 속도의 무인기를 보면서 충돌을 예방할 수 있는 최대 거리이다[10].

각 국가별, 기관별 무인기 분류는 상이하며 Fig. 1은 기관별 무인기 분류를 도표로 나타낸 것이다. 본 논문에서는 Table 1과 같은 중량에 따른 무인기 분류를 기준으로 작성하였다.

### III. 군용무인기 감항인증 기준 현황

군용무인기의 감항인증 기준은 민간유인기의 감항인증 기준을 기반으로 민간무인기와 군용유인기의 감항인증 기준으로부터 도출되었으며, 중량에 따라 군용 중·대형무인기와 군용 소형무인기로 분류된다. 다음은 군용 중·대형무인기와 소형무인기의 감항인증 기준 및 미니무인기에 대한 감항인증 기준 현황과 동향을 정리한 것이다.

#### 3.1 군용 중·대형무인기(150kg 이상)의 감항인증 기준

군용무인기 체계에 대한 감항인증 체계는 그

특수성을 충분히 수용할 수 있을 정도로 발전되어 있지 못하고, 군용유인기 체계의 감항인증 요구조건 계획(CRP; Certification Requirements Plan)개발에 일부분으로 포함되어있다.

군용유인기 감항인증 제도에 추가적으로 군용무인기 체계의 특성을 고려한 감항인증 기준들이 개발되고 있으며, 군용무인기 체계의 감항인증을 위한 요구도와 규격 등을 정의하고, 이를 검증하기 위한 기준의 정립이 무엇보다 중요하다.

다음은 북대서양조약기구(NATO)에서 정립한 군용무인기 감항인증 기준인 STANAG-4671의 개요이다.

#### STANAG-4671 개요

STANAG-4671은 군용무인기의 설계 및 제조와 관련한 감항인증 표준의 기준을 정립한 것으로 제한되지 않은 공역에서 정상 운용할 목적의 150~20,000kg의 최대이륙중량을 갖는 고정익 군용무인기에 대한 감항인증 요구도이다[5].

STANAG-4671은 유럽항공안전청(EASA; European Aviation Safety Agency)의 인증 규격인 CS-23을 기반으로 미 국방부의 군용항공기 감항인증 기준인 MIL-HDBK-516B와 영국 국방부(MoD; Ministry of Defence)의 군용항공기 감항인증 기준인 DEF STAN 00-970 Part 9을 테일러링하여 무인항공기 시스템 특성과 관련한 요구조건들을 추가하고, 유인항공기에만 적용되는 항목들을 삭제하여 군용무인기의 설계 및 제조와 관련한 군용무인기 감항인증 기준을 정립한 것이다 [11]. 무인항공기 시스템의 특성과 관련한 추가 요구조건 및 서브파트를 포함하고 있으며, 무인항공기 시스템 감항인증 요구도(USAR; UAV System Airworthiness Requirements)를 포함하

고 있다[4]. 무인항공기 시스템 감항인증 요구도는 각 국가들의 해당 법률 골격 내에서의 감항당국에 의한 적용을 목표로 한다[5].

### 3.2 군용 소형무인기(20~150kg)의 감항인증 기준

국내의 상용 및 군용무인기 현황 조사결과를 Fig. 2에 나타내었으며, 최대이륙중량 10~15,000kg의 고정익 무인항공기 154개 중 150kg 미만의 무인항공기는 75개이며, 조사 결과 전체의 49%를 차지한다.

소형무인기도 현저한 능력과 국경을 넘는 운용 범위를 가질 수 있으며, 이는 국제적인 상호 운용성 문제를 야기한다. 소형무인기에 대해서 감항인증 요구도를 테일러링 및 완화 또는 면제하는 것이 불가피하며, 향후 소형무인기의 상용화를 위해서는 비행안전성 확보를 위한 감항인증 규정, 절차 및 기준에 대한 제정이 필요하다.

전술한 바와 같이, 현재 150kg 이상의 군용무인기 대해서만 감항인증 기준이 수립되어 있으며, 150kg 미만의 군용 소형무인기에 대한 감항인증 요구도인 STANAG-4703은 북대서양조약기구 내부적으로 배포하여 검토 중에 있다[6]. 다음은 STANAG-4703의 개요를 나타낸다.

#### STANAG-4703 개요

STANAG-4703은 군용 소형무인기 설계 및 제조와 관련한 감항인증 표준의 기준을 정립한 것으로 150kg 미만의 최대이륙중량을 갖는 고정익 군용 소형무인기에 대한 감항인증 요구도이다.

군용 소형무인기 시스템 감항인증 요구도(USAR-Light)를 포함하고 있으며, 제한되지 않은 공역에서 정상 운용할 목적으로 아래와 같은 문서를 기반으로 작성되었다[6].

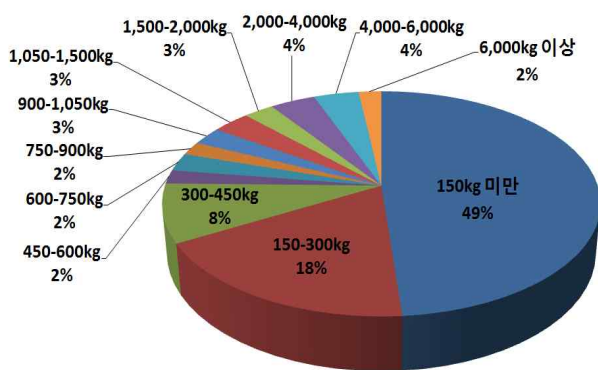


Fig. 2. Current State of Commercial and Military UAV

- STANAG-4671(북대서양조약기구의 군용무인기 감항인증 요구도)
- CS-VLA(소형항공기를 위한 인증 규격)
- CS-22 Amendment 1(무동력 글라이더와 동력 글라이더를 위한 인증 규격)
- ASTM F2245-06(경항공기의 설계 및 성능을 위한 표준 규격)
- DEF STAN 00-56(방위 시스템을 위한 안전 관리 요구조건)

### 3.3 군용 미니무인기(20kg 미만)의 감항인증 기준

20kg 미만의 군용 미니무인기는 감시정찰을 위한 목적으로 활용도가 높아 개발이 급증하고 있는 추세이다. 현재 최대이륙중량 20kg 미만의 미니무인기에 대해서는 감항인증 절차나 기준 및 지침서는 존재하지 않는다. 하지만 유럽에서는 2009년에 미니무인기인 Raven에 대해서 군 형식인증(MTC; Military Type Certificate)을 발급한 사례가 있다. 군 형식인증은 북대서양조약기구의 군용무인기 감항인증 기준과 군의 작전운용성능에 기반하여 발급되었으며, 군 형식인증을 발급 받은 Raven은 감항당국의 공역을 제한 없이 비행할 수 있게 되어 미니무인기의 활용을 극대화할 수 있게 되었다[12].

Raven에 대한 군 형식인증을 발급한 이후 미니무인기에 대한 감항인증 절차와 요구조건을 정립하기 위한 연구가 미국 및 유럽에서 현재 진행되고 있다.

## IV. 군용무인기의 목표안전수준 분석

우리나라는 STANAG-4671을 기타감항인증기준으로 준용하여 군용무인기에 적용하고 있으며, 150kg 미만의 군용무인기의 경우에도 STANAG-4671을 테일러링하여 감항인증 기준을 준수하고 있다. 하지만 STANAG-4671은 150kg 이상의 군용무인기에 대한 감항인증 기준으로 150kg 미만의 소형무인기에 대해서는 목표안전수준이나 설계 요구도가 과도하게 적용될 수 있다. 또한 STANAG-4671은 무인항공기의 최대이륙중량에 상관없이 목표안전수준을 동일하게 적용하고 있어 실제 운용하고 있는 무인항공기의 누적 비행 시간에 따른 치명적 사고 발생률을 통해 목표안전수준에 대한 타당성 분석이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 세 가지의 무인기 목표안전수준 평가방법을 통해 군용무인기의 중량별 목표안전수준을 제시하고, STANAG-4671 목표안

전수준의 타당성을 검토하고자 한다.

다음 절은 세 가지의 군용무인기의 목표안전 수준 평가방법을 나타낸다.

### 4.1 무인항공기의 목표안전수준(Target Level of Safety) 평가방법

무인항공기의 안전도 요구수준을 정량적으로 평가하기 위한 연구가 현재 진행 중이며, 현재까지 알려진 무인항공기의 위험도 평가방법은 지상 충돌에너지 평가방법과 지상피해 평가방법, 공중 충돌 평가방법이 있다. 다음 각 항에서는 각 평가방법에 대한 설명이다.

#### 4.1.1 지상충돌에너지 평가방법(Ground Impact Energy Criteria)

본 지상충돌에너지 평가방법은 유럽의 JAA/Eurocontrol UAV Task-Force Final Report에서 처음 연구한 방법이다. 무인항공기의 속도와 중량을 기준으로 구조손실과 제어불능의 두 가지 시나리오에 대한 지상충돌에너지를 계산하여 다음 Fig. 3 및 Fig. 4에 나타난 동급 유인항공기의 해당 감항인증 기준을 적용시키는 방법으로 목표

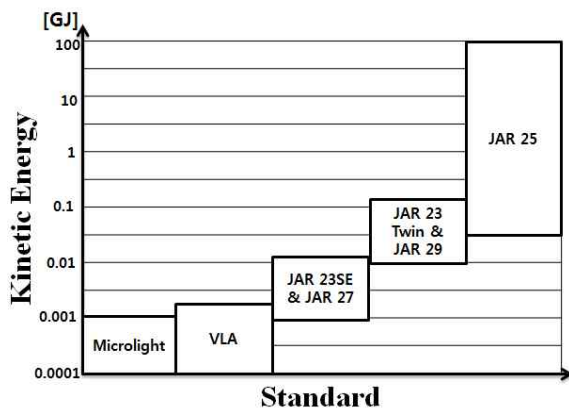


Fig. 3. Unpremeditated Descent Scenario[7]

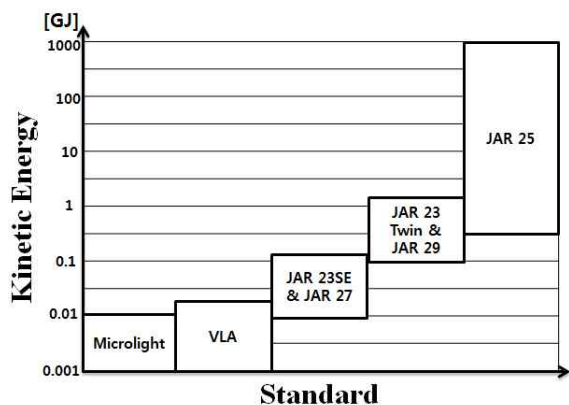


Fig. 4. Loss of Control Scenario[7]

안전수준은 해당 감항인증 기준의 목표안전수준을 따르게 된다[7].

이 중 동력장치나 구조손실과 같은 시나리오에서는 실속속도의 1.3배에 해당하는 충돌에너지를 계산하며, 조종계통 이상으로 인한 제어불능의 시나리오는 최대속도의 1.4배에 해당하는 충돌에너지를 계산한다. 다음 식 (1)은 구조손실 시나리오에서의 충돌에너지 수식을 나타내며, 식 (2)는 제어불능 시나리오에서의 충돌에너지 수식을 나타낸다.

$$E_{Structure} = \frac{1}{2} m (1.3v_{Stall})^2 \quad (1)$$

$$E_{Uncontrol} = \frac{1}{2} m (1.4v_{Max})^2 \quad (2)$$

#### 4.1.2 지상피해 평가방법(Ground Victim Criteria)

본 지상피해 평가방법은 프랑스 감항당국 (DGAC; Directorate General for Civil Aviation)의 주도로 NAVDROC에서 연구한 방법이다[7].

무인항공기의 추락으로 인한 지상의 피해자 수(Ground Victim)를 목표치로 설정하고 무인항공기의 목표안전수준을 비행시간당 치명적 사고 발생률로 구하는 방법이며 수식은 다음 식 (3)과 같다.

$$P = \frac{N}{A_C \times D \times F_C} \quad (3)$$

- P : 비행시간 당 치명적 사고 발생률(/FH)
- N : 백만 비행시간 당 지상 사망자 수
- $A_C$  : 치명적인 지상 면적(Lethal Surface Area,  $m^2$ )
- D : 표준 인구밀도(Population Density, 명/ $km^2$ )
- $F_C$  : 인구밀도 교정계수(표준 : 1, 고밀도 : >1)

무인항공기의 지상 추락 시 인명에 피해를 줄 수 있는 치명적인 지상 면적을  $A_C$ 로 표현한다. 치명적인 지상 면적  $A_C$ 는 다음 식 (4)와 같이 기준 날개면적에 반비례하고, 최대이륙중량에 비례하는 관계를 나타내며, 상수 k는 항공기들의 통계자료를 통해 값을 구할 수 있다.

$$A_C = k \left( \frac{MTOW^2}{S_{ref}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (4)$$

- MTOW : 최대이륙중량(kg)
- $S_{ref}$  : 기준 날개 면적(Reference Wing Surface Area)
- k : 상수

따라서 비행시간 당 치명적 사고 발생률은 다

음 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$P = \frac{N}{k \left( \frac{MTOW^2}{S_{ref}} \right)^{\frac{2}{3}} \times D \times F_C} \quad (5)$$

#### 4.1.3 공중충돌 평가방법(Midair Collision Criteria)

공중충돌 평가방법은 특정 공역 내를 시간당 통과하는 항공기의 수와 해당 항공기의 앞단면적, 그리고 공역을 통과하는 거리로 항공기와 무인항공기의 시간당 공중충돌이 발생할 확률을 구하는 방법이다[13].

공중충돌 평가방법은 민간 공역에서 운항하는 민간항공기의 크기에 비해 무인항공기의 크기는 상대적으로 무시 가능하다고 가정하여 구하는 방법으로 시간당 공중충돌이 발생할 확률을 구하는 식은 식 (6)과 같다.

$$P = N(a/c) \frac{A_{exp} d_{air}}{V_{air}} \quad (6)$$

- P : 비행시간 당 공중충돌 발생률(/FH)
- N(a/c) : 시간당 특정 공역을 통과하는 항공기의 수
- A<sub>exp</sub> : 항공기의 앞단 면적(m<sup>2</sup>)
- d<sub>exp</sub> : 항공기가 공역을 통과하는 거리(m)
- V<sub>air</sub> : 특정 공역 크기(m<sup>3</sup>)

공중충돌 평가기법은 민간공역에서 무인항공기와 유인항공기가 구분 없이 비행 시에 적용 가능하며, 군용무인기의 경우 제한된 공역에서 임무수행 시 공중충돌 평가방법은 적용이 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 공중충돌 평가방법에 대해서 목표안전수준 평가를 수행하지 않았다.

## 4.2 군용무인기 목표안전수준 평가

다음은 지상충돌에너지 평가방법과 지상피해 평가방법으로 군용무인기의 최대이륙중량에 따른 목표안전수준을 분석한 결과이다.

### 4.2.1 지상충돌에너지 평가방법을 통한 목표 안전수준 평가

지상충돌에너지 평가방법을 통한 최대이륙중량별 목표안전수준 평가를 위해 크게 중·대형무인기와 소형무인기, 그리고 미니무인기로 분류하였다. 중·대형무인기의 경우 MQ-1D Predator, 소형무인기의 경우 24-METU Tactical UAV, 미니무인기의 경우 21 Vestel Light UAV를 기준으

Table 2. Ground Impact Energy and Airworthiness Certification by Scenario

시나리오	충돌에너지	감항인증 기준
<b>중·대형무인기</b>		
제어불능	3,631.9kJ	Microlight / VLA
구조손실	665.15kJ	Microlight / VLA
<b>소형무인기</b>		
제어불능	816.6kJ	적용불가
구조손실	33.055kJ	Microlight / VLA
<b>미니무인기</b>		
제어불능	6.5kJ	적용불가
구조손실	0.1kJ	적용불가

로 목표안전수준을 평가하였다.

Table 2는 지상충돌에너지 평가방법을 통한 시나리오에 따른 중량별 충돌에너지와 감항인증 기준을 나타낸다.

지상충돌에너지 평가방법을 이용한 목표안전수준 평가 결과 중·대형무인기의 경우 Micro-light와 VLA 감항인증 기준이 적용 가능하며, 소형무인기와 미니무인기의 경우 적용 가능한 유인항공기의 감항인증 기준이 없는 경우가 있어 지상충돌에너지 평가방법을 이용한 소형급 이하의 무인항공기의 목표안전수준 분석은 적절하지 않다. 또한 지상충돌에너지를 통한 무인항공기의 목표안전수준 평가는 유인항공기의 감항인증 기준을 적용시키는 방법으로 무인항공기의 설계 및 제작 요구조건에 과도하게 적용될 수 있다.

### 4.2.2 지상피해 평가방법을 통한 목표안전수준 평가

본 논문에서 제시하는 목표안전수준은 무인항공기 수준에서 Catastrophic 수준의 사고가 발생하지 않도록 설계하는 기준치이며, Catastrophic 수준의 사고는 100만불 이상의 손실 및 회복이 불가능한 항공기 손실 등에 해당하는 중사고를 의미한다[14]. 지상피해 평가방법을 통한 목표안전수준 평가를 위해 백만 비행시간 당 지상 사망자 수(N)를 Catastrophic 수준인 한 명으로 설정하여 비행시간당 치명적 사고 발생률을 분석하여 소형무인기와 미니무인기의 목표안전수준을 평가하였다.

지상피해 평가방법은 무인항공기의 기준날개면적 수치가 필요하다. 하지만 기준날개면적을 나타낸 무인항공기는 거의 없어 기준날개면적 정보가 있는 최대이륙중량 25kg ~ 20,600kg의 무인항공기와 25kg ~ 20,600kg의 추세를 벗어나지 않는 범위에서 1kg 무인항공기의 기준날개면적을

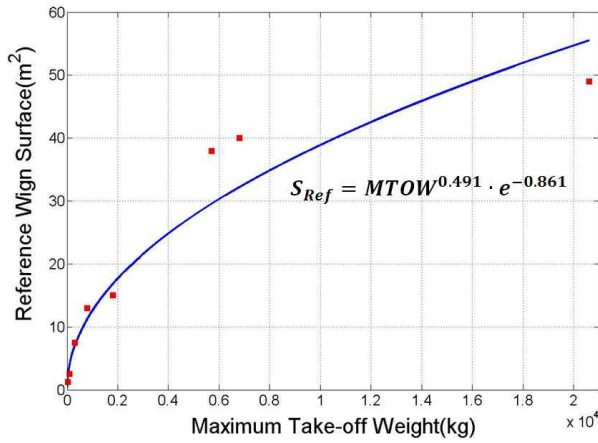


Fig. 5. Trend Curve of Reference Wing Surface by MTOW

0.5m<sup>2</sup>으로 가정하여 다음 식 (7)과 같은 추세식을 도출하였다. 위의 Fig. 5는 최대이륙중량에 따른 기준날개면적의 그래프를 나타낸다.

$$S_{ref} = MTOW^{0.491} \cdot e^{-0.861} \quad (7)$$

우리나라의 수도권 및 광역시의 인구밀도는 약 1,000명/km<sup>2</sup> ~ 16,500명/km<sup>2</sup> 수준이며, 수도권과 광역시를 제외한 나머지 지역의 평균은 약 200명/km<sup>2</sup> 정도이다[15]. 인구밀도에 따른 비행시간 당 치명적 사고 발생률을 비교하기 위해 수도권 및 광역시의 경우 인구밀도를 1,000명/km<sup>2</sup>으로 계산하였으며, 수도권 외 지역에 대해서는 200명/km<sup>2</sup>으로 계산하였다.

비행시간 당 치명적 사고 발생률은 무인항공기의 목표안전수준을 말하며, 목표안전수준의 수치가 높을수록 무인항공기 개발에서 안전요건 만족을 위한 설계 요구도가 낮음을 의미한다.

중·대형무인기의 경우 10,000kg의 최대이륙중량을 기준으로 기준날개면적은 38.91m<sup>2</sup>이며, 인구밀도에 따른 비행시간당 치명적 사고 발생률을 다음 Fig. 6과 같이 그래프로 나타내었다. 인구밀도 200명/km<sup>2</sup> 일 때 비행시간당 치명적 사고 발생률은 0.952X10<sup>-5</sup>/FH이며, 인구밀도가 1,000명/km<sup>2</sup> 기준으로는 0.19X10<sup>-5</sup>/FH이다.

소형무인기의 경우 140kg의 최대이륙중량을 기준으로 기준날개면적은 4.78m<sup>2</sup>이며, 인구밀도에 따른 비행시간당 치명적 사고 발생률을 다음 Fig. 7과 같이 그래프로 나타내었다. 인구밀도 200명/km<sup>2</sup> 일 때 비행시간당 치명적 사고 발생률은 69.7X10<sup>-5</sup>/FH이며, 인구밀도가 1,000명/km<sup>2</sup> 기준으로는 14.1X10<sup>-5</sup>/FH이다.

미니무인기의 경우 15kg의 최대이륙중량을 기

준으로 기준날개면적은 1.60m<sup>2</sup>이며, 인구밀도에 따른 비행시간당 치명적 사고 발생률은 다음 Fig. 8과 같다. 인구밀도 200명/km<sup>2</sup> 일 때 비행시간당 치명적 사고 발생률은 660X10<sup>-5</sup>/FH이며, 인구밀도가 1,000명/km<sup>2</sup> 기준으로는 130X10<sup>-5</sup>/FH이다.

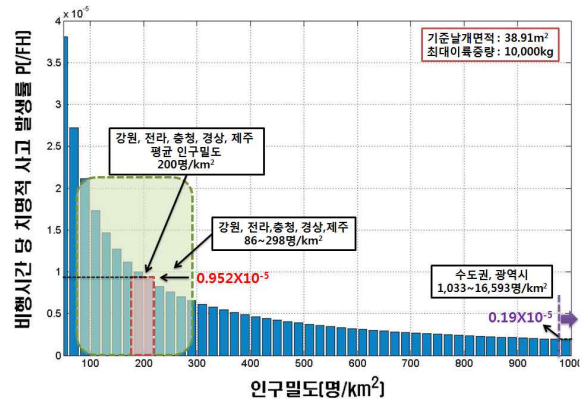


Fig. 6. Target Level of Safety for Large UAV by Population Density

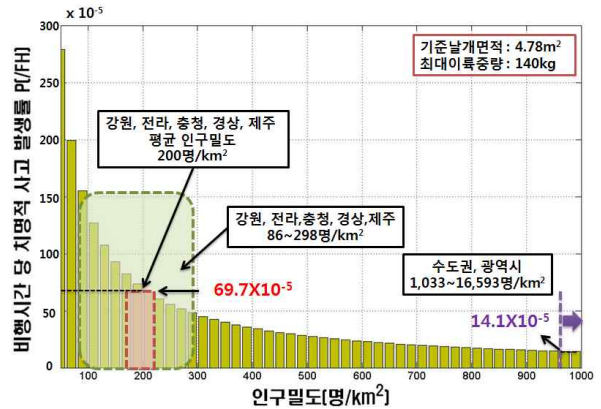


Fig. 7. Target Level of Safety for Small UAV by Population Density

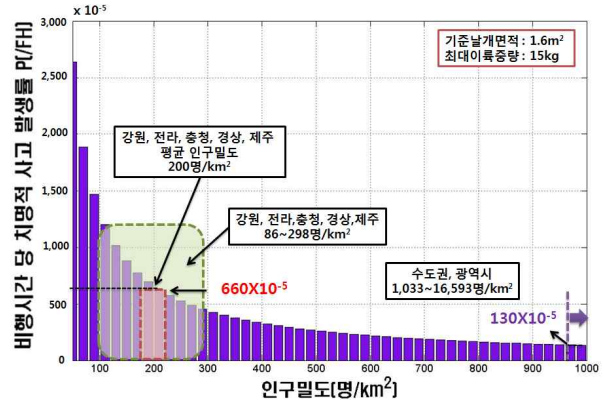


Fig. 8. Target Level of Safety for Mini UAV by Population Density

Table 3. Target Level of Safety Range According to the Classification

분류	목표안전수준(FH)	
	최소	최대
미니무인기	$10,100 \times 10^{-5}$	$4,900 \times 10^{-5}$
소형무인기	$4,900 \times 10^{-5}$	$65.1 \times 10^{-5}$
중·대형무인기	$65.1 \times 10^{-5}$	$0.474 \times 10^{-5}$

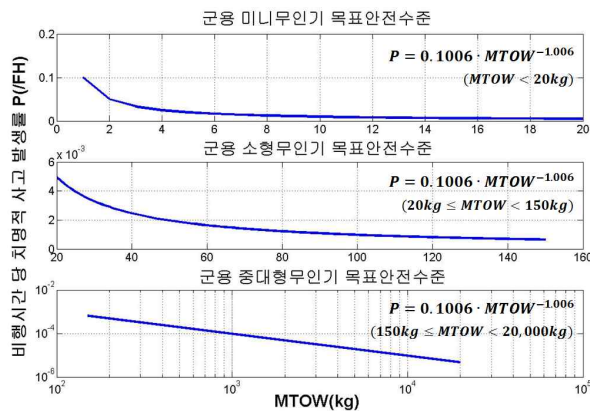


Fig. 9. Target Level of Safety by MTOW

4.2.3 군용무인기 목표안전수준 분석 결과

본 논문에서는 미니무인기부터 중·대형무인기까지 목표안전수준 분석이 가능한 지상피해 평가 방법을 통해 인구밀도 200명/km<sup>2</sup>를 기준으로 목표안전수준을 분석하였다. 목표안전수준 분석결과와는 위의 Table 3과 같으며, Fig. 9는 최대이륙중량에 따른 목표안전수준을 그래프로 나타낸 그림이다.

현재 감항인증 기준이 없는 미니무인기의 경우,  $10,100 \times 10^{-5} \sim 4,900 \times 10^{-5}$ /FH의 범위로 평가되었으며, 소형무인기의 경우,  $4,900 \times 10^{-5} \sim 65.1 \times 10^{-5}$ /FH의 범위로 평가되었다. STANAG-4671 감항인증 기준 적용이 가능한 중·대형무인기의 목표안전수준은  $65.1 \times 10^{-5} \sim 0.474 \times 10^{-5}$ /FH의 범위로 평가되어 기존의 STANAG-4671과는 다르게 본 논문에서는 중량에 따른 목표안전수준을 제시하였다.

4.2.4 군용무인기 목표안전수준 분석 타당성 검토

본 논문에서 분석한 목표안전수준의 타당성을 검토하기 위해 실제 운용중인 군용무인기의 Class A Mishap Rate를 조사하였다. 미 공군 안전 센터(AFSC; Air Force Safety Center)에서는 Class A Mishap Rate를 100,000 비행시간당 100 만불 이상의 재산손실을 초래하는 사고나 사망과 같은 인명피해를 초래하는 사고가 발생하는 비율

로 정의하였다[16].

군용무인기의 Class A Mishap Rate 조사 결과, 소형과 미니무인기의 경우 현재까지 100,000 시간 이상을 비행한 무인항공기가 없었으며, 150kg 이상의 중·대형무인기의 Class A Mishap Rate 데이터를 분석하였다.

다음 Fig. 10은 군용무인기의 실제 Class A Mishap Rate와 본 논문에서 제시하는 목표안전수준 및 STANAG-4671의 목표안전수준을 나타낸 그래프이다. STANAG-4671의 목표안전수준은  $1 \times 10^{-5}$ 으로 150kg ~ 20,000kg 까지 동일한 목표안전수준을 요구하는 반면에, 본 논문에서는 무인항공기의 최대이륙중량에 따라 목표안전수준이 감소함을 제시하였다. 실제 서로 다른 6종류의 무인기의 비행 데이터는 최대이륙중량 증가에 따라 Class A Mishap Rate가 감소함을 보여준다. 또한 현재까지의 비행데이터는 통계데이터를 제외하고는 목표안전수준을 만족하고 있지 못함을 알 수 있다. 통상 Mishap Rate는 기술의 발전과 누적비행시간의 증가에 따라 감소한다. 따라서 누적비행시간이 적은 무인항공기와 목표안전수준 요구도가 주어지지 않은 상태에서 개발되었던 무인항공기의 경우에는 기술의 성숙도(Maturity)가 낮아 Mishap Rate가 상대적으로 높게 나타난 것으로 보인다.

Global Hawk의 경우 1,020kg의 Predator와 동등한 수준의 Class A Mishap Rate를 보이지만, 150kg의 Shadow-200의 Class A Mishap Rate ( $191 \times 10^{-5}$ )보다 낮은 Class A Mishap Rate ( $7.59 \times 10^{-5}$ )를 나타내는 것을 알 수 있다. 따라서 STANAG-4671과 같이 목표안전수준을 중·대형무인기의 전 범위에 동일하게 적용하는 것은 상대

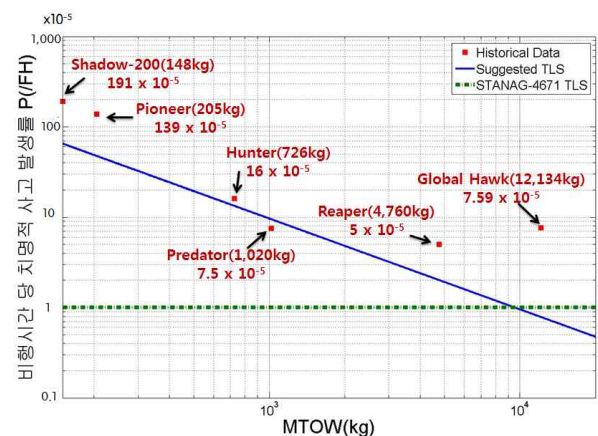


Fig. 10. A Comparison between Class A Mishap Rate of Military Large UAV and Suggested Target Level of Safety



적으로 낮은 최대이륙중량의 중형무인기에 과대하게 적용될 수 있어 본 논문에서 제시하는 바와 같이 최대이륙중량별 목표안전수준에 따라 설계하는 것이 보다 타당한 것으로 판단된다.

## V. 결 론

현재 대부분의 무인항공기는 제한된 공역 내에서만 운용이 가능하며, 민간 공역에서 운용하기 위해 감항인증 기준 및 절차 확립을 위한 연구가 활발히 진행 중이다. 북대서양조약기구에서는 150 ~ 20,000kg의 군용무인기에 대한 감항인증 요구도인 STANAG-4671(고정익)을 2009년에 배포하였으며, 150kg 미만의 군용무인기에 대한 감항인증 요구도인 STANAG-4703(고정익)은 현재 북대서양조약기구 내부적으로 배포하여 검토 중에 있다.

중·대형무인기의 경우, STANAG-4671의 감항인증 기준을 준용하고 있다. STANAG-4671의 목표안전수준은 무인기의 최대이륙중량에 상관없이 동일한 목표안전수준을 요구하고 있다. 하지만 본 논문에서 조사한 결과 실제 군용무인기의 Class A Mishap Rate는 최대이륙중량이 증가할수록 감소하는 형태를 보였다. 따라서 목표안전수준은 최대이륙중량에 따라 다르게 적용되어야 할 필요가 있다.

또한 소형무인기도 치명적인 사고를 유발할 수 있으며, 중·대형무인기 못지않은 현저한 능력과 국경을 넘는 운용범위를 가질 수 있어 국제적인 상호운용성 문제를 야기할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 지상피해 평가방법을 통해 군용 미니무인기, 소형무인기, 중·대형무인기의 목표안전수준을 범위로 제시하였으며, 본 논문에서 제시하는 목표안전수준의 범위는 무인항공기의 비행지역의 인구밀도, 기준 날개 면적, 백만 비행시간 당 지상 사망자 수, 인구밀도 교정계수 등에 따라 달라질 수 있다.

마지막으로 본 논문에서 제시한 최대이륙중량별 목표안전수준을 STANAG-4671과 실제 Class A Mishap Rate의 추세를 비교하여 타당성을 검토하였다.

본 논문의 연구결과는 군용 미니무인기와 소형무인기의 감항인증 기준 수립 시 참고할 수 있을 것으로 기대되며, 중·대형무인기의 경우에도 설계하고자 하는 군용무인기의 적절한 목표안전

수준을 설정하는데 참고할 수 있을 것으로 기대된다.

## References

- 1) "Korean Airworthiness Standards", MOLIT, 1993
- 2) "MIL-HDBK-516B", Department of Defense, 2005
- 3) "Military Airworthiness Certification Criteria", DAPA, 2009
- 4) Dr. Stephen P. Cook, "TAILORED AIRWORTHINESS STANDARDS FOR UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS", IEEE, 2011
- 5) "STANAG 4671(Edition 1) - Unmanned Aerial Vehicles Systems Airworthiness Requirements (USAR)", NATO Standardization Agency, 2009
- 6) Fulvia Quagliotti, "Micro and Mini UAV Airworthiness, European and NATO Activities", PROTEC, 2011
- 7) "UAV Task-Force Final Report", JAA, Eurocontrol, 2004
- 8) Roland E. Weibel and R. John Hansman, "Safety Considerations for Operation of Unmanned Aerial Vehicles in the National Airspace System", Report No. ICAT-2005-1, MIT International Center for Air Transportation, 2005
- 9) "Classification of Unmanned Aircraft Systems", NASA, 2004
- 10) Cliff Whittaker, "CAA National Policy for Unmanned Aircraft Systems", CAA, 2008
- 11) "Airworthiness Certification of Unmanned Aircraft Systems (UAS)", EASA, 2009
- 12) "Aerovionment's Raven Small Unmanned Aircraft System Receives Military Aircraft Type-Classification", UAS News, 2009
- 13) Roland E. Weibel and R. John Hansman, Jr., "Safety Considerations for Operation of Different Classes of UAVs in the NAS", AIAA-2004-6421, Aviation Technology, Integration and Operations(ATIO) Forum, 2004
- 14) "MIL-STD-882D", Department of Defense, 2000
- 15) "Population and Population Density by Regional Groups", Statistics Korea, 2012
- 16) "C-130 Broad Area Review", Air Force, 1998