

고정익/회전익 인증기준 및 수직이착륙 특수기술기준 분석 기반의  
수직이착륙 무인항공기 인증기준 개발 방안유민영<sup>†</sup>, 김수호, 진경훈, 오연경, 이환, 김우겸, 공병호

(주)대한항공 항공기술연구원

A Study on Development of Certification Basis for VTOL UAS Based on  
Analysis of Certification Criteria for Fixed/Rotary Wing UAS and SC-VTOLMinyoung Yoo<sup>†</sup>, Suho Kim, Yeonkyeong Oh, Kyunghoon Jin, Hwan Lee, Woogyeon Kim

and Byeongho Gong

Korean Air R&amp;D Center

## Abstract

Domestic and foreign manufacturers are developing VTOL UASs in various shapes in line with demand for future technologies. UASs have been developed in a shape classified as fixed/rotary wing, and verified by appropriate certification standards. However, airworthiness certification of recent VTOL UASs is strict with the absence of VTOL-specific certification standards. In this paper, criteria applicable to VTOL UAS were presented through analysis of STANAG-4671 and STANAG-4702, which are certification standards for fixed/rotary wing UAS of the North Atlantic Treaty Organization (NATO) and the Special Condition for VTOL Aircraft (SC-VTOL) of European Aviation Safety Agency (EASA). For this, the categorization criteria of general/fixed-wing/VTOL characteristics were established for each standard item and utilized for analysis.

## 초 록

국내외 제조업체들은 미래 기술 수요에 발맞춰 여러 형상의 수직이착륙(VTOL) 무인항공기를 개발하고 있다. 그동안 무인항공기는 고정익/회전익으로 분류 가능한 형상으로 개발되고 그에 맞는 인증기준으로 검증이 이루어졌다. 하지만 현재 VTOL 무인항공기는 VTOL에 특화된 인증기준의 부재로 인해 감항성 검증이 제한적이다. 본 논문에서는 북대서양조약기구(NATO)의 고정익/회전익 무인항공기 인증기준 STANAG-4671 및 STANAG-4702와 유럽항공안전청(EASA)의 수직이착륙 특수기술기준(SC-VTOL)을 분석하여 VTOL 무인항공기에 적용 가능한 인증기준을 제시하였다. 이를 위해 기존 항목별로 일반/고정익/VTOL 특성 분류기준을 수립하여 분석에 활용하였다.

**Key Words** : Vertical Take-off and Landing(수직이착륙), UAS(무인항공기), SC-VTOL(특수기술기준-수직이착륙), MOC-SC-VTOL(적합성 입증방법-특수기술기준-수직이착륙 적합성 검증방법)

## 1. 서 론

항공산업의 급속한 성장과 함께 무인항공기에 대한 기대와 수요가 높아지면서 전 세계적으로 수많은 제조업체들이 다양한 형상의 무인항공기를 개발하고 있다.

특히, 기존에 익숙했던 고정익/회전익 형상에서 벗어나 여러 용도와 목적에 따라 두 가지 형상을 융합하거나 독창적인 형상으로 새로운 특성을 갖는 수직이착륙(VTOL) 무인항공기의 개발이 활발하게 진행 중이다.

VTOL은 용어 그대로 수직이착륙을 의미하는데, 활주로나 필요 없고 제자리 비행이 가능하다는 운용상의 장점으로 차세대 무인항공기의 대부분은 VTOL 형상을 선호하는 추세다. 대표적으로 쿼드콥터나 헥사콥터

Received: Jan. 08, 2021 Revised: Mar. 23, 2021 Accepted: Mar. 26, 2021

<sup>†</sup> Corresponding Author

Tel:+82-42-868-6420, E-mail:minyoungyoo@koreanair.com

© The Society for Aerospace System Engineering



**Fig. 1** Examples of VTOL Aircraft Based on Definition in SC-VTOL

등의 멀티콥터가 가장 대중적이며 고정익 형상에 이착륙용 프로펠러를 융합한 Lift & Cruise, 로터나 로터가 장착된 날개를 전환시키는 Tiltrotor/Tiltwing 등 VTOL 항공기의 형상은 매우 다양하다.

VTOL은 의미상 회전익을 포함하는 개념이지만 항공기 형상을 구분하기 위해 기존의 회전익과는 차별화된 복합적이거나 독특한 형상의 VTOL 항공기를 지칭하는 용어로 통용되고 있다. 유럽항공안전청(EASA)은 소형급 운송용 수직이착륙 유인항공기 특수기술기준(SC-VTOL-01)에서 VTOL 항공기를 분산 추진을 사용하고 수직이착륙을 위해 2개 이상의 lift/thrust units을 사용하는 항공기로 정의함으로써 기존의 회전익과 구분하였다.[1] Fig. 1은 SC-VTOL-01에서 정의하는 VTOL 항공기 형상의 예시를 보여준다. 여기서 Tiltrotor와 같이 수직이착륙을 위한 2개(혹은 그 이상의)의 로터가 일괄 전진비행의 추력원으로 전환(Tilting)되는 형태의 항공기는 제외하고 있기 때문에 일반적으로 생각하는 VTOL 대비 범위가 제한적이다.

이처럼 VTOL 항공기들의 다양한 형상은 몇가지 특징으로 범주화하기 어렵고 추진시스템에 있어서도 전기 또는 하이브리드와 같은 신기술의 도입이 고려되고 있기 때문에 이를 인증하기 위한 기술기준 마련에도 어려움이 있다. 현재 국제적으로 VTOL 항공기에 특화된 인증기준은 부재한 상황이며, 최근 EASA에서 유인항공기 대상의 SC-VTOL-01과 무인항공기 대상의 SC Light-UAS를 JARUS에서 무인항공기 대상의 CS-UAS(안)을 고시하며 VTOL과 관련된 성능기반요건 형태의 인증기준을 준비하고 있다.

여기서 성능기반요건이란 상세한 기술적 요건을 제시하던 전통적인 기준과는 달리 성능에 대한 결과적인 요건을 제시하여 입증에 유연성을 부여하는 요건이다. 목적기반요건이라고도 하며 민간 유인항공기 인증기준 FAR Part 23 Amendment 64 및 CS-23 Amendment

5

**Table 1** Airworthiness Standards and Special Condition for UAS

Standard	Type	MTOW
STANAG-4671*	Fixed-wing	150 ~ 20,000 kg
STANAG-4702	Rotorcraft	150 ~ 3,175 kg
CS-LUAS	Fixed-wing	≤ 750 kg
CS-LURS	Rotorcraft	≤ 750 kg
CS-UAS(Draft)	UAS	8,618 kg (w/o VTOL) 3,175 kg (w/VTOL)
SC Light-UAS	UAS	≤ 600kg

\* Standard Airworthiness Certification Criteria Part 2

가 대표적인 성능기반요건이다.

Table 1은 주요 무인항공기 인증기준을 나타내었다. 최초 무인항공기 인증기준으로 북대서양조약기구 NATO에서 고시한 STANAG-4671와 STANAG-4702, JARUS의 CS-LUAS/LURS가 있으며, 해당 기준들 모두 고정익 또는 회전익으로 대상 항공기 형상이 구분되는 기술적요건이다. 반면, 최근 고시된 SC-Light-UAS 및 CS-UAS(안)은 형상 구분이 없는 성능기반요건으로 무인/VTOL 항공기 개발에 있어 유연성을 추구할 수 있도록 인증 방향이 변화하고 있다.

이러한 추세는 미국의 UAS 형식인증 정책에서도 나타나는데, 미 FAA는 UAS 설계 별로 적용가능한 감항기준이 다르기 때문에 Special class를 활용하여 UAS 별 인증기준을 마련하고 형식인증 하도록 고시했다[2].

성능기반요건 인증기준은 관련 적합성 검증방법(MOC)을 발행하여 기준을 충족할 수 있는 구체적인 수단을 제공하는데, 감항인증 신청자는 MOC를 참고하여 인증 대상 기체에 대한 감항인증 요구도를 구체화하고 그에 맞는 검증 방법을 제시할 수 있다.

현재 무인/VTOL 항공기 관련 성능기반요건인 SC-VTOL-01, CS-UAS(안) 및 SC Light-UAS 중 SC-VTOL-01 만이 적합성 검증방법(안) proposed-MOC-SC-VTOL을 고시하여 검토의견을 수렴하는 중에 있다. Proposed-MOC-SC-VTOL의 구성 내용을 살펴보면 상당 부분에서 기존 고정익 또는 회전익 인증기준의 기술적요건을 그대로 참고하도록 서술하고 있기 때문에, 항공기에 따라 해당 요건의 테일러링이 필요하며, 이는 마치 군용항공기 감항인증기준과 유사하다.

Proposed-MOC-SC-VTOL에서는 이러한 MOC 중 일부는 확정적인 방법을 제시하기 보다 신청자가 기준

충족을 이해하는데 도움이 되는 지침 자료들을 포함하는데 [3], 개발자는 입증방법에서 자율성을 확보할 수 있는 반면 결과적으로 성능기반요건의 충족 여부를 기

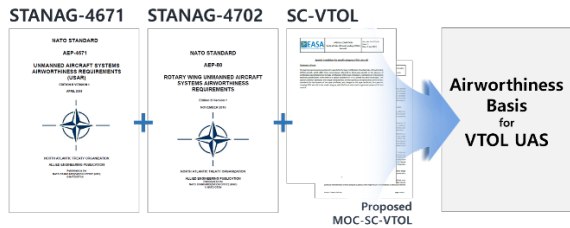


Fig. 2 Concept of This Study

술적인 자료로 검증해야하기 때문에 개발인증 경험이 적다면 감항인증 요구도를 구체화하고 관련 입증방법을 식별하는데 많은 어려움이 예상된다.

국내에서는 STANAG-4671을 군용항공기 표준감항인증기준 Part 2로 고시하고 국군 사단정찰용 무인항공기 개발에 적용하여 감항인증을 획득한 바 있으며, STANAG-4702의 경우 군용헬기 무인화 시험을 위한 비행안전성 검토에 활용된 사례가 있다.

본 논문에서는 현재 무인/VTOL 항공기의 인증기준의 개발 현황 및 성능기반요건의 특징과 국내 무인항공기 인증 사례 등을 고려하여 VTOL 무인항공기 인증기준 개발 방안을 제안하고자 한다. 이를 위해 기술적요건의 고정익/회전익 무인항공기 인증기준 STANAG-4671/4702[4-5]를 비교 분석하였으며, VTOL 항공기 특성을 고려하기 위해 성능기반요건 SC-VTOL-01과 proposed-MOC-SC-VTOL을 참고하였다. 이를 도식화하면 Fig 2와 같다.

## 2. STANAG-4671/4702 및 SC-VTOL 분석 및 테일러링 방안

VTOL 무인항공기 인증기준 개발을 위해 본 논문에서는 기 공시된 3개의 기준을 분석하였으며, 동일한 제목을 갖는 각각의 Subpart 항목 개수를 단순 비교하여 Table 2에 나타내었다. SC-VTOL은 성능기반요건인 CS-23 Amdt.5를 기반으로 개발되어 기준항목 개수가 상대적으로 적으며, 유인항공기를 대상으로 하기 때문에 테이더링크(H) 및 지상통제소(I)에 해당하는 항목이 없다. 또한 참고사항으로 Powerplant(E) 대신 보다 포괄적인 Lift/ thrust System이라는 용어와 개념을 정의하여 사용한다.

STANAG-4671/4702는 상세한 기술적 요건으로 구성된 CS-23, CS-27 등을 기반으로 개발되었기 때문에 SC-VTOL-01 대비 항목 수가 많으며 STANAG-4671/4702 상호간 번호체계가 유사하다. 두 기준의

항목 번호들을 단순 비교해보면 252개가 동일한데, 이러한 특징을 기반으로 두 기준의 공통점과 차이점을 이해하기 위해 비교 분석을 수행하였다.

Table 2 The Number of Criteria in Subparts of STANAG-4671/4702 and SC-VTOL

Subpart		STANAG 4671	STANAG 4702	SC VTOL
A	General	5	5	3
B	Flight	45	23	13
C	Structure	68	39	15
D	Design and Construction	54	57	9
E	Powerplant	75	56	7
F	Equipment	43	39	10
G	Operation Limitations and Information	21	21	7
H	Command and Control Data Link	8	8	N/A
I	UA Control Station	78	73	N/A
Total		397	318	64

그 과정에서 인증기준의 특성을 3가지로 분류하고 해당 특성에 따라 STANAG-4671/4702 및 SC-VTOL-01 중 기준을 선택하거나 기준내용을 통합 또는 테일러링하여 VTOL 무인항공기를 위한 인증기준을 개발하였다. 또한, 항공기 형상이나 목적 등에 따라 각 인증기준 적용여부를 구분할 수 있도록 필수/선택 특성을 식별하였다.

### 2.1 일반 특성

무인항공기 시스템에서 비행체의 형상에 관계없이 고려할 수 있는 인증요건을 일반 특성으로 정의하였다. 대표적으로 Subpart A, F~I의 대다수 기술요건들이 STANAG-4671/4702의 내용이 서로 동일하며, 이 경우 STANAG-4671의 항목을 기준으로 채택하였다.

STANAG-4671/4702의 내용이 서로 차이가 있는 경우 유사성을 분석하여 포괄적인 기준을 채택하거나 두 기준의 내용을 통합하였는데, 형상 차이에서 비롯된 항목들은 2.3 VTOL 특성으로 분류하였다.

VTOL 무인항공기의 필수 기능인 수직이착륙과 이를 구현하기 위한 회전익 장치 관련 기술요건도 일반 특성의 범주로 구분하였는데, 프로펠러/로터 등의 기준이 여기에 해당한다.

이 밖에도 낙하산, 비상착륙 등과 같이 STANAG-

4671/4702 중 한 기준에만 존재하지만 VTOL 무인항공기에 공통적으로 적용 가능한 기술요건을 일반 특성으로 분류하였고 proposed-MOC-SC-VTOL에서 관련 내용을 참고하였다.

## 2.2 고정익 특성

고정익 항공기는 엔진이나 프로펠러 등을 통한 추력과 날개에서 발생한 양력으로 비행을 하는데, VTOL 무인항공기 개발 시 채택할 수 있는 고정익 고유 형상과 직접 관련된 항목들을 고정익 특성으로 분류하였다. 대표적으로 날개, 에일러론, 고양력 장치 등이 있으며 STANAG-4671에 존재하는 고정익 특화 기준을 대상으로 식별하였다. 고정익 방식의 이착륙을 위한 활주로, 캐터필트/로켓, 어레스트 등의 기준은 수직이착륙 항공기에 필수 요건은 아니지만 개발 목적에 따라 추가적인 고려가 가능하도록 기술요건에 포함하였다.

## 2.3 VTOL 특성

VTOL 특성은 VTOL 무인항공기의 독특하거나 복합적인 형상으로 인해 기존 고정익/회전익의 서로 다른 특성을 동시에 고려해야 하거나 새로운 기준의 추가가 필요한 기술요건을 의미한다. 대표적으로 비행과 직접 관련된 기준들이 여기에 해당하였는데, Subpart B의 비행특성이나 C의 비행하중 등과 같이 동일한 주제 하에 STANAG-4671/4702의 기술요건 내용이 서로 다른 경우 VTOL 특성으로 분류하였다.

VTOL 특성의 기준들은 기본적으로 STANAG-4671/4702의 내용을 고정익/VTOL 모드별로 구분하여 통합하는 방식으로 테일러링 하였는데, 이러한 구분이 불가능하거나 내용 보완이 필요할 경우 SC-VTOL과 proposed MOC-SC-VTOL에서 제시하는 요건을 선정하거나 내용을 통합하였다.

## 3. VTOL 무인항공기 인증기준 개발

앞 장에서 설명한 분석 방안을 토대로 STANAG-4671/4702 및 SC-VTOL을 비교 분석한 결과 약 450 여개의 기술요건으로 구성된 VTOL 무인항공기 인증기준을 수립하였다. 이를 구성하는 STANAG-4671/4702 및 테일러링 기준을 Fig 3에 나타냈으며 60% 이상 STANAG-4671에서 선정한 것을 알 수 있

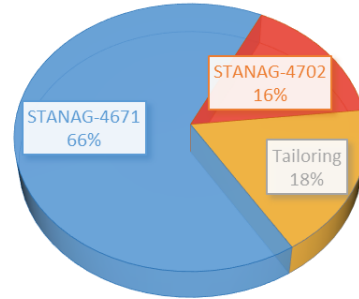


Fig. 3 Airworthiness Basis for VTOL UAS

다. 그 이유는 STANAG-4671/4702의 내용이 서로 동일한 경우 STANAG-4671을 채택하였기 때문인데 이러한 기준은 VTOL 무인항공기 전체 기준의 약 30%를 차지한다.

각 Subpart 별 VTOL 무인항공기 인증기준 내용과 주요 기준항목을 요약하면 다음과 같다.

### 3.1 Subpart A. General

본 Subpart는 인증기준의 일반사항으로 STANAG-4671/4702의 내용이 모두 동일하거나 유사하여 전 항목을 VTOL 무인항공기 인증기준으로 채택하였다. 여기서 인증기준의 적용 대상을 수직으로 이착륙이 가능한 항공기로 정의하고, 최대이륙중량을 STANAG-4671/4702 및 SC-VTOL-01의 공통 범위인 150kg~3,175kg로 한정하였다. 참고적으로 본 VTOL 무인항공기 시스템은 필요에 따라 고정익 항공기와 같은 이착륙 기능을 추가 고려할 수 있다.

일반의 주요 기준을 요약하면 Table 3과 같다.

Table 3 Essential/Optional Requirements for General VTOL UAS

Category	Essential Requirement	Optional Requirement
General	·Applicability ·Assumptions ·Design usage spectrum	·UAV System ancillary elements ·Special military modes of operation

### 3.2 Subpart B. Flight

비행기술은 VTOL 무인항공기 개발과 인증에 있어 가장 핵심적인 기술분야로 중량, 무게중심, 안정성, 프로펠러/로터의 속도 제한치 등을 일반 특성으로 볼 수 있다. 수직이착륙 성능, 지상공진 등의 수직이착륙과 직접 관련된 요건은 STANAG-4702에서 선정하였다. 또한 기존 STANAG-4671에서만 고려되던 낙하산 착륙 시스템을 VTOL 무인항공기에서 고려할 수 있는

일반 특성으로 분류하여 낙하산 시스템 적용 시 의도된 낙하산 착륙에 적합하도록 비행체의 성능 조건, 착륙 특성 등에 관한 항목을 추가하였다.

고정의 특성으로는 실속, 스피닝 등이 있으며, 선택적 요건으로 고정익용 이착륙과 지상 핸들링 등에 관한 기술요건을 STANAG-4671에서 선정하였다.

VTOL 특성으로는 비행체의 상승, 하강, 조종성, 진동 등이 있는데, VTOL의 형상이 운용모드에 따라 가변적일 경우 형상 변화에 따라 비행 특성의 변화를 고려해야하므로 STANAG-4671/4702의 비행기술 내용

착륙 기능을 겸비하였을 경우 고려할 수 있는 활주로나 이착륙 지원장비 등에 관한 기준을 선택적 요건으로 선정하였다.

VTOL 특성으로는 대표적으로 비행하중과 지상하중에 관한 기준들이 식별되었는데, 비행 하중의 경우 VTOL 항공기에 특화된 설계 속도를 정의하고 이를 기반으로 복합적인 조건을 고려해야하므로 STANAG-4671/4702 테일러링에 많은 어려움이 있었다. 따라서 proposed-MOC-SC-VTOL에서 구조 설계 영역과 비행하중에 관한 요건을 선정하였다.

VTOL 무인항공기는 수직이착륙을 기본 전제로 하

**Table 4** Essential/Optional Requirements for Flight of VTOL UAS

Category	Essential Requirement	Optional Requirement
General	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Load distribution limits</li> <li>·Weight limits</li> <li>·Trim</li> <li>·Stability</li> <li>·Propeller/rotor pitch limits</li> <li>·Take-off/Landing performance</li> <li>·Ground resonance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Spray characteristic</li> <li>·Parachute landing system</li> </ul>
Fixed wing	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Minimum control speed</li> <li>·Stalls</li> <li>·Spinning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Take-off/Landing performance</li> <li>·Ground handling</li> </ul>
VTOL	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Minimum speed</li> <li>·Climb performance</li> <li>·Flight Characteristic</li> <li>·Controllability and maneuverability</li> <li>·Vibration</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Glide performance</li> <li>·Taxiing condition</li> </ul>

에 SC-VTOL-01의 천이에 관련된 항목을 통합하여 VTOL 무인항공기 기준을 수립하였다.

비행의 주요 기준을 요약하면 Table 4와 같다.

**3.3 Subpart C. Structure**

본 Subpart는 VTOL 무인항공기의 구조 건전성 입증을 위한 비행체 형상, 설계 제한 및 운용 범위에 따른 구조 하중에 대한 인증기준을 담고 있다.

일반 특성으로는 안전계수, 강도 및 변형, 피로평가, 조종면 및 조종시스템 하중과 수직이착륙 특성을 근거로 한 비상착륙과 수상하중 등의 기준을 식별하였다.

고정의 특성으로 에일러론, 고양력장치 등 고정익에 특화된 조종면 하중과 VTOL 무인항공기가 고정익 이

**Table 5** Essential/Optional Requirements for Structure of VTOL UAS

Category	Essential Requirement	Optional Requirement
General	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Factor of safety</li> <li>·Strength and Deformation envelope protection</li> <li>·Control surface and system loads</li> <li>·Fatigue evaluation</li> <li>·Emergency landing conditions</li> <li>·Ground clearance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Pressurized Compartment Loads</li> <li>·Tires and shock absorber</li> <li>·Float landing conditions</li> <li>·Parachute landing system</li> </ul>
Fixed wing	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Ailerons</li> <li>·Horizontal Tail/Vertical surfaces</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Canard or Tandem Wing Configurations</li> <li>·Catapult/Rocket assisted take-off</li> <li>·Arresting system</li> </ul>
VTOL	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Structural design envelope</li> <li>·Flight load conditions</li> <li>·Ground load conditions &amp; assumptions</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Landing gear arrangement</li> <li>·Landing conditions</li> </ul>

기 때문에 지상 하중을 일반 특성으로 간주할 수 있지만, 본 VTOL 무인항공기 인증기준에서는 고정익에 특화된 이착륙 기능을 동시에 고려할 수 있도록 지상하중을 VTOL 특성으로 분류하였다. 이를 위해 고정익/회전익 이착륙 조건, 착륙장치 형상에 따른 착륙 조건을 STANAG-4671/4702로부터 모드별로 구분하여 통합하였다.

구조의 주요 기준을 요약하면 Table 5와 같다.

**3.4 Subpart D. Design and Construction**

본 Subpart는 비행체를 구성하는 물리적 구성품에 대한 설계, 제작 및 검증 시험에 관한 요건으로 대부분 비행체 형상과 독립적인 일반 특성의 기술요건들로 구성되어 있다. 주요 항목으로는 재료, 제작 방법, 각종 설계 계수, 플러터, 조류충돌, 화재보호, 전기적 분당 등이 있으며 STANAG-4671/4702 각 기준의 특성에 따라 구체적인 차이가 존재하는 항목들이 많았기 때문에 대부분 포괄적인 기준을 채택하거나 두 기준을 테일러링하였다. 또한 기준에 한 기준에서만 고려되던 피로강도, 외부 화물, 화물 격실, 낙하산 제작 등도 VTOL 무인항공기의 일반 특성 기준으로 선정하였다.

고정익 특성으로는 날개와 날개 플랩 및 플랩 간섭, 고정익 방식의 이착륙 시 이륙 보호나 지상 시험에 관

**Table 6** Essential/Optional Requirements for Design and Construction of VTOL UAS

Category	Essential Requirement	Optional Requirement
General	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Materials</li> <li>·Fabrication methods</li> <li>·Birdstrike</li> <li>·Flutter</li> <li>·Fatigue strength</li> <li>·Ground resonance prevention means</li> <li>·Control surfaces</li> <li>·Rotors</li> <li>·Control systems tests</li> <li>·Payload compartment</li> <li>·Fire protection</li> <li>·Electrical bonding,</li> <li>·Lightning and static electricity protection</li> <li>·Rotor</li> <li>·Leveling means</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Ground equipment affecting flight safety</li> <li>·Controls locks</li> <li>·Autorotation control mechanism</li> <li>·Landing gear(wheel/tires)</li> <li>·Float &amp; hulls</li> <li>·Pressurization</li> <li>·External loads</li> <li>·Parachute design</li> </ul>
Fixed wing	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Wings</li> <li>·Wing flap controls</li> <li>·Flap interconnection</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Take-off protection</li> <li>·Ground load dynamic tests</li> </ul>
VTOL	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Landing gear tests</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Landing gear extension &amp; retraction system</li> <li>·Landing gear brakes</li> </ul>

한 기준이 있어 STANAG-4671의 항목을 선정하였다.

VTOL 특성으로는 Subpart C와 같이 착륙 장치에 관한 STANAG-4671/4702의 기준을 모드별로 구분하여 통합하였다.

설계 및 제작의 주요 기술요건은 Table 6과 같다.

### 3.5 Subpart E. Lift/Thrust System

본 Subpart는 프로펠러, 로터, 엔진, 배터리와 이에 수반되는 연료, 흡/배기, 냉각, 화재보호 등 무인항공기의 동력시스템에 관한 기준으로 구성되었다.

기존 고정익/회전익 항공기는 추력과 양력의 생성 방법과 에너지원이 몇 가지로 한정되었기 때문에 인증 기준 또한 Powerplant 주제 아래 STANAG-4671는 프로펠러, STANAG-4702는 로터에 특화된 기준과 왕복기관, 터빈기관 등에 관한 기준들을 담고 있었다.

VTOL 무인항공기는 기존 시스템의 동력원을 추력이나 양력 형태로 자유롭게 구성하여 적용할 수 있기 때문에 STANAG-4671/4702의 Powerplant 기준들을 모두 비행체 형상과 독립적인 일반 특성으로 분류하고

**Table 7** Essential/Optional Requirements for Lift/Thrust System of VTOL UAS

Category	Essential Requirement	Optional Requirement
General	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Engines</li> <li>·Propellers</li> <li>·Fuel system</li> <li>·Oil system</li> <li>·Cooling/cooling tests</li> <li>·Induction/exhaust system</li> <li>·Powerplant controls</li> <li>·Fire protection</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Fuel jettisoning system</li> <li>·Rotor brake controls</li> <li>·Transmissions and gearboxes</li> <li>·Flammable fluids</li> <li>·Ventilation and drainage</li> </ul>
VTOL	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Lift/thrust system installation, energy storage and distribution /support systems</li> </ul>	-

상호보완하여 통합하였다.

VTOL 무인항공기는 신기술 에너지 도입으로 배터리, 하이브리드 엔진 등 다양한 동력원이 고려될 수 있는데 이를 위해 Powerplant 용어 대신 SC-VTOL의 Lift/thrust system 용어를 도입하여 의미를 확장하였으며 그 과정에서 SC-VTOL의 Lift/thrust system의 설치, 에너지 저장 및 분배, 지원 시스템의 항목을 VTOL 특성 기준으로 추가하였다.

주요 기술요건은 Table 7과 같다.

### 3.6 Subpart F. Equipment

본 Subpart는 무인항공기 시스템에 장착되는 장비, 시스템 및 장비 장착 등에 대한 기준으로 고정익/회전익 특성과는 무관한 일반 특성의 기준이 대부분이다. 환경제어계통의 일반적인 기준, 항공기에 장착되는 장

비 장착, 전력 부하 등에 대한 기준, 비행제어시스템, 전기 시스템 및 등(Lights), 안전 장비 및 비상 능력, 기타 장비 및 자동 이착륙 시스템에 대한 기준을 다루고 있다. STANAG-4671/4702 간 일부 차이가 있는 기준들도 있었으나 모두 하나의 내용으로 통합 가능하였으며, 주요 기술 요건은 Table 8과 같다.

### 3.7 Subpart G. Operation Limitations and Information

본 서브파트는 무인항공기 시스템의 운용 제한사항과 정보에 관한 요건으로 항공기 속도 제한, 유지감항 등의 정보, 비행체의 오일/연료 등의 지시기, 비행 매뉴얼 등의 일반적인 기준을 담고 있다. STANAG-4671/4702의 내용이 대부분 서로 동일하였지만, 두

**Table 8** Essential/Optional Requirements for Equipment of VTOL UAS

Category	Essential Requirement	Optional Requirement
General	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Function and installation</li> <li>·Measuring devices</li> <li>·installation</li> <li>·Airspeed indicating system</li> <li>·Electrical Systems and equipment</li> <li>·Light</li> <li>·ECS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Automatic Take-off system</li> <li>·Riding light</li> </ul>

**Table 9** Essential/Optional Requirements for Operation Limitations and Information of VTOL UAS

Category	Essential Requirement
General	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Airspeed limitations</li> <li>·Instructions for continued airworthiness</li> <li>·Information markings &amp; placards</li> <li>·Flight manual</li> </ul>

기준의 대상 항공기의 차이로 인해 세부 정보들을 하나의 기준으로 통합하였다.

주요 기술요건은 Table 9와 같다.

### 3.7 Subpart H. Command and Control Data Link

본 Subpart는 무인항공기 시스템에 특화된 기술분야로 데이터링크의 구조, 전자기 적합성, 성능 및 감시, 손실전략 등 필수적으로 고려해야하는 일반 특성의 기

준요건으로 구성되어 있다. STANAG-4671/4702의 내용이 서로 동일하여 모든 항목을 VTOL 무인항공기 인증기준으로 채택하였으며, 주요 기술요건은 Table 10과 같다.

### 3.7 Subpart I. UA Control Station

본 Subpart는 무인항공기 시스템에 특화된 지상통제소에 관한 기술요건으로 승무원이 항공기를 안전하게 운용할 수 있도록 지상체를 구성하기 위한 일반 특성의 기준을 담고 있다. 승무원/조종실의 인터페이스, 지상통제소 화재보호, 각종 계기 및 표식 등 UAV의 조종 및 승무원 안전을 위한 기준이 포함된다. 해당 기준은 STANAG-4671/4702이 동일하나, 로터 브레이크, 주익 디아이싱 등 일부 VTOL 항공기 특성

**Table 10** Essential/Optional Requirements for Command and Control Data Link of VTOL UAS

Category	Essential Requirement	Optional Requirement
General	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Architecture</li> <li>·Electromagnetic interference and compatibility</li> <li>·Performance &amp; monitoring</li> <li>·Latency</li> <li>·Loss strategy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Switchover function</li> </ul>

**Table 11** Essential/Optional Requirements for UA Control Station of VTOL UAS

Category	Essential Requirement	Optional Requirement
General	<ul style="list-style-type: none"> <li>·UAS crew/workplace</li> <li>·Voice recorders</li> <li>·UCS fire and hazard protection</li> <li>·Data display</li> <li>·Indicators and warning</li> <li>·Information markings &amp; placards</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Automatic take-off and landing data display</li> <li>·Rotor brake warning</li> <li>·Chip detectors</li> <li>·De-icer boot system indicator</li> <li>·Multiple UA</li> </ul>

에 따라 부가적인 기준을 추가 선정할 수 있도록 통합하였으며, 주요 기술요건은 Table 11과 같다.

### 3.8 VTOL 무인항공기 인증기준 특성

본 연구를 통한 VTOL 무인항공기 인증기준의 특성을 다음과 같이 요약할 수 있으며 Fig 4와 같이 도식화하여 나타내었다.

VTOL 무인항공기 인증기준은 비행성능, 조종성, 기동성, 양력/추력 시스템 장착 등의 기술에 있어 기존의 인증기준들과 차별화된 기술요건을 갖는다. 해당 기준들은 기존 재래식 항공기의 기술요건들을 융합하거나 특수기술기준을 참고하였다. 해당 핵심 기술요건들에 대한 실효성 입증은 개념연구에서 나아가 실증 연구가 수반되어야 하며 국내외 VTOL 항공기 시험/개발 사례와 관련 해외 특별기준 사례 등의 축적을 통해 향후 지속적인 연구와 개선이 필요하다.

항공기 개발에 있어 입증 대상 기술기준 항목의 수는 항공기 개발 비용에 직접적으로 영향을 미친다. 본 VTOL 무인항공기 인증기준을 기반으로 이와 관련된 특성은 항공기의 형상, 기능 및 운용방식 세가지로 생각해볼 수 있었다. 먼저 항공기 형상 측면에서 고정익, 프로펠러/로터, 양력/추력 시스템 채택 여부가 있으며

왔다. 최근 신기술과 다양한 항공기 형상이 고려되기 시작하면서 항공기 개발과 인증에 있어 자율성과 효율성을 추구할 수 있도록 성능기반요건의 형태로 인증기준이 변화하고 있으며, 무인기/VTOL 관련 인증기준 또한 성능기반요건으로 제시되고 있다. 하지만 항공기 개발과 인증사례가 부족할 경우 오히려 성능기반요건의 모호성이 감항인증 요구도를 식별하는데 어려움으로 작용할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 개발 및 인증 경험을 보유하고 있는 기술적요건의 무인항공기 인증기준과 새롭게 개발된 VTOL 특수기술기준을 기반으로 VTOL 무인항공기 인증기준 개발에 대한 개념연구를 수행하였다. 향후 항공 선진국의 무인/VTOL 항공기 관련 인증정책, 인증기준 및 특별기준 사례를 참고하고 나아가 탐색 개발 및 실증 연구를 통해 단계적으로 VTOL 무인항공기 인증기준의 성숙도를 높일 수 있을 것으로 기대한다.

## References

- [1] European Aviation Safety Agency, SC-VTOL-01: Special Condition for VTOL Aircraft, Cologne, July 2019.
- [2] Federal Aviation Administration, Rule and Regulations, Type Certification of Certain Unmanned Aircraft Systems, vol. 85, no. 182, pp.58251-58255, Sep 2020.[3] European Aviation Safety Agency, Proposed-MOC-SC-VTOL-01: Proposed Means of Compliance with the Special Condition VTOL, Cologne, May 2020.
- [4] NATO Standardization Office, AEP-4671: Unmanned Aircraft Systems Airworthiness Requirements(USAR), Edition.B, Ver.1, April 2019.
- [5] NATO Standardization Office, AEP-80: Rotary Wing Unmanned Aircraft Systems Airworthiness Requirements, Edition.B, Ver.1, Nov 2016.

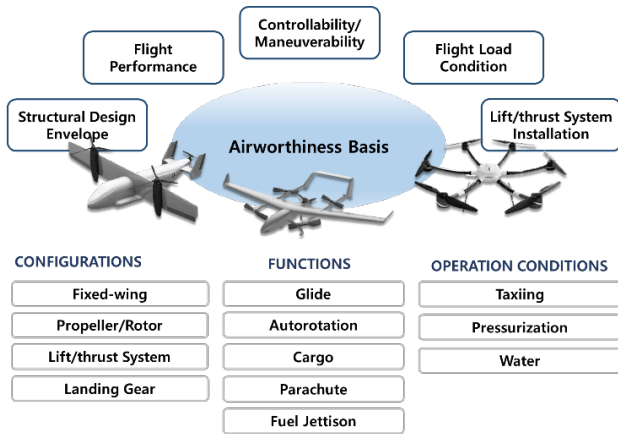


Fig. 4 Summary of Airworthiness Basis for VTOL UAS

기능 측면에서 활공, 자동이착륙, 화물수송 채택 여부 마지막으로 운용 측면에서 지상 활주, 여압, 수상운용 등이 있었다. 이는 개발 대상 항공기 형상과 요구도 수립에 있어 참고 가능 하다.

## 4. 결 론

본 논문은 NATO의 고정익/회전익 무인항공기 인증기준 STANAG-4671/4702와 EASA의 수직이착륙 특수기술기준 SC-VTOL을 비교 분석하여, VTOL 무인항공기 인증에 적용 가능한 인증기준을 수립하였다. 이를 위해 일반/고정익/VTOL특성을 정의하여 기준 분석에 활용하였으며, 각 Subpart 기술분야 별 인증기준의 특징과 주요 기술요건을 서술하였다.

항공기의 인증기술과 인증기준은 오랜 기간 항공기 개발 및 운용에서 발생한 수많은 시행착오를 통해 형상과 용도별로 범주화된 기술적요건 형태로 정립되어