

論文

소형 무인항공기 감항인증 기술기준 및 에너지 충돌기법 분석 연구

임준완*, 김용래**, 최병철***, 고준수****

Analysis for Unmanned Aerial Vehicle Airworthiness Certification Criteria

Jun-Wan Lim*, Yong-Rae Kim**, Byung-Chul Choi*** and Joon-Soo Ko****

ABSTRACT

Unmanned aerial vehicles(UAVs) refer to the aircraft which carries no human pilot and is operated under remote control or in autonomous operational mode. As the UAVs can perform the dull, dangerous and difficult missions, various kinds of UAVs with different sizes and weights have been developed and operated for both civil and military application. As the avionics and communication technology related to the UAVs are matured, the demand for the UAVs is dramatically increased. Therefore, It is important to develop airworthiness process and regulations of the UAVs to minimize related risk to the man and environment.

This paper describes related regulations and classification of the small UAVs for different international airworthiness authorities. The analysis of the CS-LURS verses Stanag 4702 and Stanag 4703 can provide guidelines for the generation of the airworthiness certification criteria for the small UAVs in civil sector. This paper conducted kinetic impact energy analysis of the loss of the small UAVs control scenarios and of the very small UAVs under 66 joules. Based on the analysis, the energy impact analysis can be considered before the design certification approval for the small UAVs.

Key Words : Unmanned Aircraft System(무인항공기 시스템), Airworthiness(감항성), Certification Criteria(인증 기술기준), Hazard Risk Index(위해조건 참조지표)

1. 서 론

군용 무인항공기는 군의 제한된 공역에서 운영되어 왔으나, 항공기술의 발달로 첨단기술이

적용된 다양한 무인항공기는 유인항공기와 상호 간섭이 빈번해지고 있으며, 민간 유인항공기와 통합운영 공역인 비분리 공역에서 상호운영이 요구되고 있다.

민간 무인항공기에 대한 국내규정은 무인항공기를 항공법 제 2조 3호 마목에 의거 항공기에 사람이 탑승하지 아니하고 원격·자동으로 비행할 수 있는 항공기로 정의하고 있다. 무인항공기는 항공법 시행규칙 제 3조의 항공기인 비행동력장치 범위에 속하는 무인동력비행장치와 항공법 제 2조 28호의 초경량비행장치로 구분될 수 있다. 항공법 시행규칙 제 14조 6호에서는 초경량비행

2014년 12월 01일 접수 ~ 2014년 12월 24일 심사완료
논문심사일 (2014.12.20, 1차)

* 한국항공대학교 대학원 항공우주 및 기계공학과

** 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

*** 항공안전기술원

**** 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

교신저자, E-mail : jsko@kau.ac.kr

경기도 고양시 덕양구 화전동 항공대학교 76

장치에 속하는 무인비행장치로서 사람이 탑승하지 아니하는 것으로 각각 연료의 중량을 제외한 자체 중량이 150kg 이하인 무인동력비행장치로 분류하고 있다[1].

방위사업청은 군용항공기 비행안전성 인증에 관한 업무규정 제 3조 1항에 의거 무인항공기를 무인비행체와 이를 조종하기 위한 지상통제체계로 정의하고 있다[2].

그러나 민과 군 모두 무인항공기에 대한 구체적인 감항인증에 대한 규정이 없어 현재 개발 및 운영되고 있는 무인항공기 및 무인항공기 시스템의 비행 안전성 확보를 하기에는 어려움이 있다.

본 연구에서는 국내 소형 무인항공기 감항인증 기준 수립을 위하여 해외 항공조직 및 항공선진국의 민간 및 군용 무인항공기 분류, 감항인증 적용에 대한 현황을 검토하고 소형 무인항공기에 대한 감항인증 기술기준을 비교 및 검토하였다. 또한 현재 세계적으로 안전성 평가에 대한 규정 연구가 활발하게 이루어지고 있어, 해당 규정에 대한 소형 무인항공기의 적용성을 확인하기 위해 에너지 충돌기법에 대한 연구를 수행하였다[3].

2. 국내 무인항공기 감항인증 기준 및 해외 소형 무인항공기 감항인증 기준 분석

2.1 국내 무인항공기 감항인증 기준

민간에서의 감항증명이란 항공법 제 15조 1항에 의거 항공기가 안전하게 비행할 수 있는 성능인 감항성의 증명으로서 연료의 중량을 제외한 자체중량이 150kg 이상의 무인비행장치는 항공법 시행규칙 제 20조에 의해 특별감항증명의 대상이 되며, 자체중량이 12kg 이상 150kg 미만인 무인비행장치는 항공법 시행규칙 제 65조에 따라 신고하도록 되어 있으며, 제 66조에 의거 국토교통부 장관의 비행승인을 받아 교통안전공단의 초경량비행장치 안전성 인증 신청 절차에 따라야 한다.

군에서는 군용항공기 비행안전성 인증에 관한 업무규정 제 3조 3항에 의거 감항인증을 군용항공기가 운용범위 내에서 비행안전에 적합함을 가지고 요구된 항공기 체계의 성능과 기능을 발휘할 수 있음에 대한 정부의 인증으로 규정하고 있으며, 최대 이륙중량(MTOW; Maximum Take Off Weight)이 150kg~20,000kg인 무인항공기에 대해 감항인증 기준을 업무규정 제 8조 2항에 의거 기타감항인증 기준 즉 국제적으로 통용되는 북대서양조약기구

(NATO; North Atlantic Treaty Organization)에서 제정한 STANAG(Standardization Agreement) 4671을 적용하고 있으나 150kg 미만의 소형 무인항공기에 대해서는 적용할 수 있는 기술기준은 없는 상황이다.

2.2 해외 소형 무인항공기 감항인증 기준

2.2.1 국제 민간항공기구(ICAO)

현재의 무인항공기 명칭은 1944년 시카고 협약에서 제 8조 무조종자 항공기(Pilotless aircraft) 즉 조종자 없이 비행할 수 있는 항공기로 정의되었으며[4], 이후 2011년 ICAO가 Cir328을 발행하면서 지금의 무인항공기(Unmanned aircraft)로 명칭이 변경되었다[5].

2012년에는 민간 무인항공기의 안전과 효율적인 사용을 위해 무인항공기 매뉴얼 RPAS(Remotely Piloted Aircraft System)를 발행하였으며[6], 무인항공기가 민간 공역에서 운행될 경우의 사고 및 피해를 고려하여 부속서 13 항공기 사고조사 부문의 '조종사'를 삭제하여 항공기 사고 발생 및 조사에 있어 유·무인항공기의 구분을 없앴으며, 부록 A~G를 항공기 사고조사의 지침으로 사용하고 있다[7].

무인항공기의 감항증명에 대해서는 표준 및 권고사항(SARPs; Standards and Recommended Practices)에 감항증명에 대한 기술기준이 포함되지는 않았지만, 부속서 8의 항공기 감항성에[8] 의해 각 회원국이 현재까지의 제시된 기준 및 제도를 자체적으로 개발하여 자국 내에서 이를 적용토록 하고 있다.

ICAO의 궁극적인 목표는 무인항공기에 대해 유인항공기와의 동등한 안전수준 요구도 충족이며, 무인항공기 관련 규정 제정 및 활동은 Table 1과 같다[9].

Table 1. ICAO's Details of Activity

년도	활동 내용
2006	ICAO의 잠재적 역할 파악(최초 모임)
2007	무인항공기 시스템 연구그룹(UASSG; Unmanned Aircraft Systems Study Group) 창설
2008	표준 및 권고사항(SARPs) 개정안 마련.
2011	무인기 회보 발간 (ICAO Circular 328 AN/190(UAS))
2012	ASP12-12 RPAS 발행

ICAO의 활동 중 핵심이라고 할 수 있는 ICAO 회보 Cir328의 무인항공기 감항인증에 관한 내용은 다음과 같다. 첫째, 모든 민간항공기는 감항성에 관하여 공통적 범주에 있으며, 운영을 위해서는 등록국의 감항증명서가 필요하다. 둘째, 부속서 8에 따라 해당 무인항공기 감항당국이 해당 감항요구도에 따라 설계 측면의 인증서를 발행한다. 셋째, 감항증명 시 국제 표준안을 따라야 한다. 넷째, 원격조종스테이션 및 데이터링크에 대한 책임은 제조국에 있다. 다섯째, 지휘 및 통제(C2; Command and Control) 데이터와의 연결 등을 인증 절차에 포함한다. 이외에도 감지 및 회피(SAA; Sense And Avoid) 시스템 도입으로 공중충돌 회피 및 지상충돌 방지, 근접경고, 자체 센서에 의한 회피에 대한 기술기준 사항을 포함하고 있다.

2.2.2 유럽

2.2.2.1 유럽 항공청(EASA)

EASA의 항공정책연구회(ERSG; European RPAS Steering Group)는 EURO CONTROL, EUROCAE, JARUS, EDA, ESA 등의 유럽 무인항공기 조직들의 시스템 통합을 위해 유럽 무인항공기 로드맵을 2013년도에 발행하였다[10]. 무인항공기의 운영 조건으로서는 감항당국의 승인이 있어야 하며, 원격 조종 항공기 시스템, 원격 조종스테이션, 위성통신 및 기타 무인항공기의 모든 구성품은 형식설계를 갖추어야 하며, 무인항공기 운영자 및 조종사는 유효한 자격을 갖추어야 한다[11]. EASA의 무인항공기에 대한 분류에는 최대 이륙중량 150kg을 기준으로 Table 2에 나와 있다.

Table 2. Classification of EASA UAS

최대이륙중량(kg)	운영 및 감항 사항
150 이하	최소 시계거리 500 ft 이상, 민간항공당국(CAAs; Civil Aviation Authority) 관할
150 이상	2016년 까지 감항 및 운영사항, 설립 및 통합 계획(부속서 1]

유럽 무인항공기 로드맵에서는 EASA가 ICAO와 공동으로 5년 단위로 목표를 설정하여 2028년까지 무인항공기 기술기준 개정과 요구되는 안전 규정 개발을 계획하고 있다.

2.2.2.2 북대서양조약기구(NATO)

2009년 NATO 표준화국이 제정한 Stanag 4671과 2013년 개발을 착수한 군용무인기 감항인증 기술기준들은 Table 3과 같이 요약할 수 있으며, 최대 이륙중량별로 고정익 및 회전익 무인항공기에 대해 감항인증 기술기준을 개발 및 제정하고 있다. Table 4에는 NATO의 군용 무인항공기에 대한 중량별 감항인증 기술기준을 나타낸다[12].

Table 3. Classification of NATO UAS

STANAG Code	적용기준	비고
4671 (USAR)	- 고정익(150 kg < MTOW < 20,000 kg) - 399개 감항 요구도	- 2009년 제정 - 2013년 3판 - CS (Certification Specifications) 23기준
4703 (USAR Light)	- 고정익(MTOW ≤ 150 kg) - 충돌에너지 66 J (49 ft-lb) 이상 - 69개 감항 요구도 및 10개 부속서	- Hybrid 접근방식 - CS Code와 다른방식 - 감항인증 기준의 최소화
4702 (RW-USAR)	- 회전익(150 kg < MTOW < 3,175 kg) - 329개 감항 요구도 및 5개 참고	- 2013년 초안 - CS 27 기준
4746 (RW-USAR Light)	- 회전익 (MTOW ≤ 150 kg)	- 제정 중

Table 4. UAV Classification(NATO)

분류 (중량, Kg)	카타고리	운영고도 (ft)	운영반경 (Km)	플랫폼
ClassIII (> 600)	Strike, HALE, MALE	45,000 ~65,000	제한없음 (BLOS)	Global Hawk, Predator, Heron
ClassII (150-600)	전술	>10,000	200 (LOS)	SPERWER, Aerostar, Hermes 450
ClassI (< 150)	소형 (>20)	>5,000	50 (LOS)	Lunar
	미니 (2~20)	>3,000	25 (LOS)	Scorpion Eagle, Skylark, Raven
	초소형 (<2)	>200	5 (LOS)	Black Widow

2.2.3 미국

2.2.3.1 미연방항공청(FAA)

2013년 미연방항공청(FAA; Federal Aviation Administration)은 유·무인항공기의 통합 로드맵을 발간하여 무인항공기에 대해서는 Table 5와 같이 최대이륙중량, 고도, 속도를 기준으로 세분화하였으며, 각각의 무인항공기에 대한 감항인증 규정을 개발 및 적용하고 있다. FAA는 무인항공기와 더불어 조종사/승무원, 지상통제 시스템, 데이터링크의 인증을 추가로 요구하며, 2015년 12월 31일 한으로 미국 공역에서 상업용이 아닌 공공용 무인 항공기에 대한 운영 및 인증요구조건 구체화 개발 계획을 발표할 예정이다[13].

Table 5. Alignment of UAS Categories with FAA Regulations

구분	최대 이륙중량 (kg)	운용 고도 (ft)	속도 제한 (kts)	FAA 규정
RCModel (CAT1) Dragon Eye, Raven	<25	<1,200 표고	100	없음
Non-standard (CAT2) Shadow	25~600	1,200~ 1,8000 해발	250	14CFR Part 91, 101, 103
Certified (CAT3) Predator, Global Hawk	>600	All	없음	14CFR Part 91

2.2.3.2 미 국방부(DoD)

미국방부(DoD; Department of Defence)는 국방부 산하 무인항공기 시스템의 통합을 목적으로 FY 2009-2034를 발행하여[14], 무인항공기를 5개의 그룹으로 FAA보다 더욱 세분화 하였다. 미국방부의 무인항공기에 대한 감항인증 분류는 Table 6에 나와 있다.

Table 6. Alignment of UAS Categories With DoD Roadmap

구분	최대이륙 중량(kg)	운용고도 (ft)	속도제한 (kts)
Group 1	0~9	<1,200표고	100
Group 2	9~25	<3,500표고	250
Group 3	25~600	<18,000해발	
Group 4	>600	<18,000해발	없음
Group 5		>18,000해발	

2.2.4 영국

2.2.4.1 영국 민간항공청(CAA)

2012년 영국 민간항공청이 발표한 무인항공기 운영 지침서인 CAP 722에는 민과 군의 무인항공기를 Table 7과 같이 중량에 따라 구분하고 있으며, 각각의 감항성 및 운영조건을 부여하고 있다[15]. 또한 조종사가 인지 및 조종할 수 있는 감지 및 회피 기능이 유인항공기의 요구도와 동일하게 증명되어야 한다. 무인항공기의 운영에 관해 일반, 정책, 민간 무인항공기 운영, 군용 무인항공기 운영 등 4개의 섹션으로 구성되어 무인항공기의 운영 원칙, 감항인증, 운영요원 자격기준, 항공교통관제 등에 대해 기술하였다. 민간에서의 무인항공기는 최대 이륙중량에 따라 3가지로 분류된다. 최대이륙중량이 20kg 미만의 경량 무인항공기는 400ft 이하의 고도에서 감항 및 조종사의 자격 없이도 운영이 가능하고 20kg 이상 150kg 미만의 소형 무인항공기는 감항당국에 의한 승인, 인증계획, 형식승인을 받아야 하며, 150kg 이상의 무인항공기는 EASA의 규정에 따라 감항인증을 받아야 하지만 아직까지 감항증명에 대한 기술기준이 개발되지 않아 실제로는 적용하지 못하고 있는 실정이다.

Table 7. UAS Classification Group of UK

구분	민간	군
소형 (Small) 무인항공기	<20kg (400ft 이하 무자격조종사 비행가능)	Micro (<5 kg)
		Mini (<30 kg)
경량 (Light) 무인항공기	20~150kg (형식인증 필요)	Tactical (신규개발 시 감항인증 적용)
무인항공기 시스템	>150kg (EASA 규정, 미개발)	MALE (감항인증 적용)
		HALE (감항인증 적용)

2.2.4.2 영국 군용감항인증기관(MAA)

영국의 군용항공기 감항관리 규정은 국가 비행안전위원회에서 발간한 JSP 553에 정의되어 있다. 관련조직은 국방항공안전센터와 기타 합동감항위원회가 있으며, 비행안전정책/규정에 감항인증 규정을 통합해가고 있다. 군용 무인항공기의 설계 및 감항성 요구조건으로는 DEFSTAN 00-970 Parts에 명시되어 있으며 STANAG 4671과 유사하다. 이 요구조건들은 영국의 국방 표준서 및 군사규격서와 FAA의 연방항공청 규정과 합동감

항 요구조건 JAR(Joint Aviation Requirements) 등을 인용하여 제정되었다. 영국 군용 무인항공기 시스템은 군용항공기와 동일하게 감항인증 규정을 따르고 있으며, 중량별 무인항공기 분류는 Table 3과 동일한 NATO의 분류체계를 따르고 있다. 영국의 민, 군 무인항공기 분류체계와 감항인증 적용규정은 Table 7과 같다.

2.2.5 독일

2.2.5.1 독일 연방항공국(LBA)

독일 연방항공국은 EASA의 설립 이후 영공의 통치권과 상용화 법률인 항공 운항 법률(ANC; Air Navigation Act)을 제외하고 주요 감항인증에 대한 권한을 EASA로 양도하였다. ANC 규정은 독일의 모든 항공기에 유효하며, 이에 의해 규정 및 인증된 항공기만이 독일의 영공에서 운영될 수 있다. 독일의 연방위원회와 연방의회는 2012년 1월 무인항공기를 ANC에 포함시키는데 동의하였지만, 독일에서의 모든 무인항공기의 사용이 금지되어 있다. 다만 이륙중량이 25kg 미만의 무인항공기는 운영자의 시각적 범위 내에서 운영할 수 있으며, 이륙중량 25kg을 초과하는 무인항공기는 특별 허가를 받아야만 운영이 가능하다. 또한 독일 연방항공국의 규정과는 달리 독일 연방 16개 주의 항공국들은 공공에 위협을 초래하지 않으며, 제한된 영역 내에서 또는 비행장을 벗어나지 않는 무인항공기의 비행을 허가하고 있다[16].

2.2.5.2 독일 연방 방위군(Bundeswehr)

독일의 모든 군용항공기는 ANC 범위에 포함된다. 그러나 예외적으로 항공기가 국가방위의 목적을 가질 경우 독일군, 연방, 경찰, 보안대는 ANC와 연관된 법에 영향을 받지 않는다. 이는 독일의 군용항공기가 형식인증을 받지 않았다는 것을 의미한다.

독일의 군용 항공기는 연방방위군 기술당국과 감항 시설에 의해 개별적으로 형식인증을 취득하며, 모든 유·무인 군용항공기의 인증을 'ZDv 19/1 연방방위군 항공기, 항공장비에 대한 운영 규정'에 의거 수행하고 있다. 또한 무인항공기는 이에 추가적으로 LTF-1550-001 감항성 요구조건을 적용하여 군용 무인항공기에 대해 항공교통에서의 감항성 입증과 운영을 위한 형식 검사를 수행하고 있으며, Table 8과 같다[17].

Table 8. Comparison between three UAS categories and the operational restrictions

구분	형식인증	이륙/착륙	비행 조건
CAT1	미적용	특정 군용 훈련 영역/제한된 영역	- 구조 품질 보증 시험 불필요(SCT ; Structural Coupling Test 제외) - 실험용 무인항공기 / 시제항공기 비행시험 - 무인항공기가 제한된 영역을 벗어나지 않음을 증명하는 증거 제시
CAT2	적용	특정 군용 훈련 영역/제한된 영역	- 구조 품질 보증 시험 / 인증과정 필요 - 군/민간 당국에 무인항공기가 안전하게 비행함에 대한 증거 제시 - 유인항공기와 동등한 안전성
CAT3	적용	제한사항 없음/민간 영공 참여 가능	- 구조 품질 보증 시험 / 인증과정 필요 - 군/민간 당국에 무인항공기가 안전하게 비행함에 대한 증거 제시 - 유인항공기와 동등한 안전성

3. 민·군 감항인증 기준 비교 분석

3.1 CS_LURS와 STANAG 4702의 비교 및 분석

회전익기를 대상으로 하는 민간 무인항공기 감항인증 규정 JARUS CS-LURS와 NATO Stanag 4702는 일부 세부규정을 제외하고는 감항분류가 보통인 회전익 항공기의 감항기준인 CS-27과 동일한 감항인증 기술기준 항목을 제시한다. CS-LURS는 안전장비의 비상회수능력과 우발적인 사고에 대한 절차를 명시하고 동력원, 낙뢰 보호 및 고강도 전자기장(HIRE; High-Intensity Radiated Fields)의 요구가 제시되었다. 참고로 JARUS CS-LURS는 210개의 감항요구도가 있으며, Stanag 4702는 지상통제장비 기준을 포함 총 297개의 기술기준을 제시하고 있다. 각각 적용대상과 주요 감항인증 기술기준에 대한 비교는 Table 9와 같다.

Table 9. Subpart Comparison between CS-LURS and Stanag 4702

Sub part	CS-LURS 최대이륙중량 : 750 kg 이하		Stanag 4702 최대이륙중량 : 150~3,175 kg	
	항목	항목 수	항목	항목 수
A	일반	1	일반	5
B	비행	20	비행	23
C	강도 요구조건	26	구조	49
D	설계 및 제작	43	설계 및 제작	54
E	추진계통	56	추진계통	56
F	장비	22	장비	39
G	운영제한치 및 정보	24	운영제한치 및 정보	8
H	예비 (탐지 및 회피)	-	명령, 조종 및 데이터 링크, 통신시스템	8
I	지상통제장비	17	무인항공기 지상 통제 장비	72
Total		210		297

STANAG 4702는 CS-LURS에 비해 구조 및 강도 분야에서 엔진토크, 여압하중, 착륙장치 조건 등이 보장되었으며, 설계 및 제작 분야에서는 낙뢰 및 정전기 보호, 조류충돌, 휠, 타이어 브레이크 장치에 대한 기술기준이 추가되었다.

STANAG 4702는 군용 무인항공기의 광범위한 비행영역에서 복잡한 임무를 수행해야 하는 운영방식을 최대한 고려하여 설계 및 제작 분야의 감항인증 기준이 많이 강화되어 있고, 군용 무인항공기의 무장 및 고속의 위험성을 고려하여 명령/조종/데이터링크/통신 분야의 기술기준을 강화하여 무선 및 원격조종의 신뢰성을 향상시켰다[18, 19].

3.2 CS_LURS와 STANAG 4703의 비교 및 분석

STANAG 4703은 CS-LURS와 FAR의 감항인증 형식을 직접적으로 따르지 않고 150kg 이하 고정의 소형 무인항공기에 과도한 감항성의 적용을 억제하려는 목적을 가졌으며, 필수 요구도는 크게 시스템 건전성, 시스템 운영, 조종의 요구조건으로 구분되어 있다[20]. 각각의 적용대상 및 감항인증 기준의 비교는 Table 10과 같다.

Table 10. Subpart Comparison between CS-LURS and Stanag 4703

Sub part	CS-LURS 최대이륙중량 : 750 kg 이하		Stanag 4703 최대이륙중량 : 150 kg 이하		
	항목	항목 수	항목	필수 수	세부
A	일반	1	시스템 건전성	1	1
B	비행	20	구조 및 재료	8	14
C	강도 요구조건	26			
D	설계 및 제작	43			
E	추진계통	56	추진계통	6	5
F	장비	22	시스템 및 장비	5	16
G	운영제한치 및 정보	24	유지감항	4	3
			감항성 관점에서의 체계운영	13	21
H	예비 (탐지 및 회피)	-	-	-	-
I	지상통제장비	17	-	-	-
-			조직	6	9
Total		210		43	69

Stanag 4703에서는 기능위해조건 분석(FHA; Functional Hazard Assessment) 및 고장모드 영향 및 치명도 분석과 고장트리 분석 등의 150kg 이하의 최대 이륙중량을 가진 무인항공기가 비분리 공역에서 비행하고, 형식인증을 획득하기 위한 최소한의 필수 요구도와 상세증명과 인증당국에 제출하는 증명수단을 제시하고 있다.

Table 10에서 CS-LURS와 비교된 Stanag 4703의 항목수는 감항도 필수요구에 따른 상세증명의 항목수를 나타낸다. Stanag 4703이 지상통제 시스템의 감항규정을 포함하지 않음은 66J(Joule) 이하의 충돌운동에너지를 가진 비행체의 경우 제한된 탑재하중으로 인해 지상국과의 통신을 위한 시스템의 탑재가 어려워 지상통제 시스템에 대한 감항인증 요구도를 반영치 않은 것으로 보인다. 또한 위험에 대비한 안전장치 및 Fail-Safe와 같은 중복 여유도를 갖추고 있지 않다. 이는 소형 무인항공기의 기체에 대한 감항인증 요구도를 상당히 완화함은 물론 개발자에게 융통성을 부여하고 있다. 소형 무인항공기의 비행안전성을 보장하기 위해서는 150kg 이하의 소형 무인항공기에 Stanag 4703에 제시된 군의 감항성 필수요구도와

정성적으로 설정된 기준을 통합하는 하이브리드 접근 방식을 고려할 수 있다.

3.3 에너지 충돌기법 분석

STANAG와 CS-LURS를 형식증명기준으로 적용하기 위해서는 안전성 관련 AMC 1309 또는 위해조건 참조지표(HRI; Hazard Risk Index)를 지침으로 활용해야 하며 에너지 충돌기법을 고려하여 예상되는 위험요소를 고려해야 한다. Table 11에 나와 있는 바와 같이 고정익 무인항공기 및 회전익 무인항공기에 대한 HRI 분석결과 CS-LURS 대비 Stanag 4702와 Stanag 4703이 완화되었으며, 민과 군의 임무와 중량에 따라 위험도를 다르게 적용함을 알 수 있다.

Table 11. Hazard Reference Index(STANAG 4671, 4702, 4703, CS-LURS)

고장	확률	Stanag 4702 (1/FH)	Stanag 4703 (1/FH)	CS-LURS (1/FH)
누적 위험	누적확률 (P _{LMCAT})	<10 ⁻⁵	10 ⁻⁴ :15kg 이하 0.0015/MTOW: 15~150kg *2×10 ⁻⁵ (75kg경우)	<10 ⁻⁸
재난적 (Catastrophic)	극한적 불가능 (P _{CAT})	<10 ⁻⁶	0.0015/MTOW×N _{CAT} **4×10 ⁻⁶ (75kg, 서브시스템 고장 개수=5)	<10 ⁻⁹
위해 조건 (Hazardous)	극한적 회박 (P _{HAZ})	<10 ⁻⁵	** 4×<10 ⁻⁵	<10 ⁻⁷
중대 (Major)	회박 수준 (P _{MAJ})	<10 ⁻⁴	** 4×<10 ⁻⁴	<10 ⁻⁵
경미 (Minor)	가능 수준 (P _{MIN})	<10 ⁻³	** 4×<10 ⁻³	<10 ⁻³
안전영향 없음	빈번함 (P≠)	<10 ⁻³	** 4×<10 ⁻³	1.0

EASA에서는 운동에너지 및 지상 피해에 대한 영향 평가를 식 (1)에 의한 지상추락 시나리오와 식(2)의 통제불능 시나리오에 의해 나타낸다. 운동에너지 목표안전수준 평가방법은 150kg 이하 최대이륙중량, 최대 출력 시 수평비행속도 36m/s(70kts), 95KJ 이하 운동에너지를 가진 비행체에 적용 가능하며 식(2)를 사용한다[21].

$$KE = \frac{1}{2} m_{MTO} (1.3 V_s)^2 \quad (1)$$

$$KE = \frac{1}{2} m_{MTO} (1.4 V_{max})^2 \quad (2)$$

식 (1)은 지상에 추락하는 질량 m_{MTO} 의 질량을 가지는 무인항공기의 운동에너지 KE 를 비행체 실속속도 V_s 를 이용하여 계산하는 것이며, 식 (2)는 통제 불능 상태인 무인항공기가 지상에 추락할 경우 최대수평비행속도 V_{max} 를 이용해 계산한 운동에너지이다. 상기 36m/s의 최대 수평비행속도 또는 95KJ 이하의 충돌운동에너지의 상관관계를 고려하여 이륙중량 별 최대 수평비행속도의 관계를 정리하면 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다. Fig. 1에 도시된 바와 같이 36m/s, 75kg 이하 구간에서는 95KJ 이하의 운동에너지를 유지하며, 75kg 이상 구간부터 95KJ의 운동에너지를 가짐에 따라 비행체의 최대수평 속도가 비선형적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다.

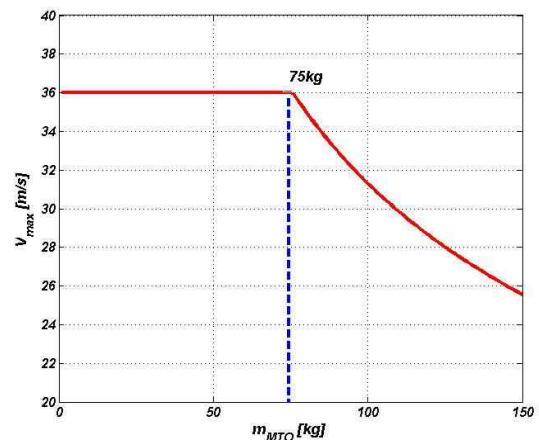


Fig. 1 Plot of Terminal Velocity along with Mass for Maximum Take-off

초소형 무인항공기 감항인증 기준 적용 시 충돌에너지 역시 무게와 비행속도별로 구분하여 고려되어야 하며, 이때 속도는 최대 수평속도를 기준으로 한다. Stanag 4703은 150kg 이하, 66J의 운동에너지를 가지는 초소형급 비행체의 감항인증 기준을 제시한다. 비행체 질량 m_{MTO} 와 최대 수평비행속도 V_{max} 에 따른 운동에너지 KE 는 식(3)을 따르도록 하며, 이에 대한 결과는 Fig. 2에 도시되어 있다.

$$KE = \frac{1}{2} m_{MTO} V_{max}^2 \quad (3)$$

STANAG 4703에서 제시하는 에너지 충돌기법에서는 66J 이하의 운동에너지를 가져야 된다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 1kg의 초소형 무인항공기의 경우 11.49m/s의 속도를 가져야 하며 10kg의 미니 무인항공기는 3.63m/s, 30kg의 소형 무인항공기는 2.1m/s의 비행속도를 가질 경우에 해당된다.

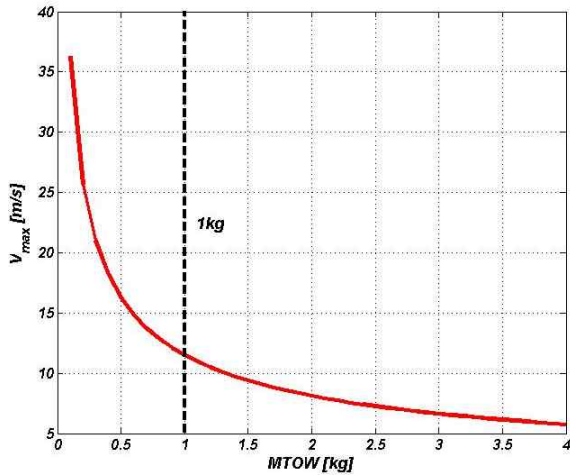


Fig. 2 Maximum speed with respect to Mass for Maximum Take Off

비행체의 충돌에너지는 최대수평 속도가 아닌 수직하강속도를 이용해 계산할 수 있다. 수직하강속도 V_{Dive} 는 고도 h 에 따른 함수로써 표현된다[22]. 식 (4)에 나타난 최대수직하강속도 V_{Dive} 는 비행체의 날개면적 S 와 비행체의 항력 계수 C_D 를 통해 계산되고, 이때 C_D 는 비행체의 질량에 대한 함수로써 표현된다.

$$V_{Dive}(h) = \sqrt{V_{Dive_{max}}^2 - (V_{Dive_{max}}^2 - V_T^2)e^{-\rho SC_D h/m}} \quad (4)$$

$$V_{Dive_{max}}^2 = \sqrt{\frac{2m_{MTO}g}{\rho SC_D}} \quad (5)$$

$$C_D = 0.193 + 0.000261 \times m_{MTO} \quad (6)$$

식 (4)에 나타난 비행체의 급강하 속도는 항력으로 인해 무한적으로 상승하지 않으며, Fig. 3에 나타난 바와 같이 일정 고도 이상에서는 수직하

강속도가 일정 속도 이상으로 상승하지 않음을 확인할 수 있다. 이는 결국 비행체가 가질 수 있는 충돌 에너지도 마찬가지로 Fig. 4에서와 같이 약 300m 이상의 고도에서는 일정 충돌 에너지 이상으로 증가하지 않음을 의미한다.

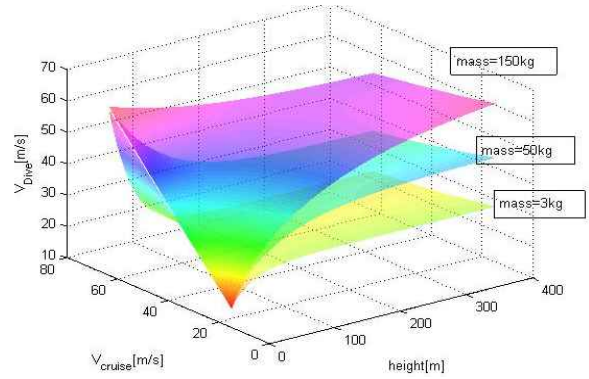


Fig. 3 Vertical Dive Speed with respect to Cruise Speed and Height

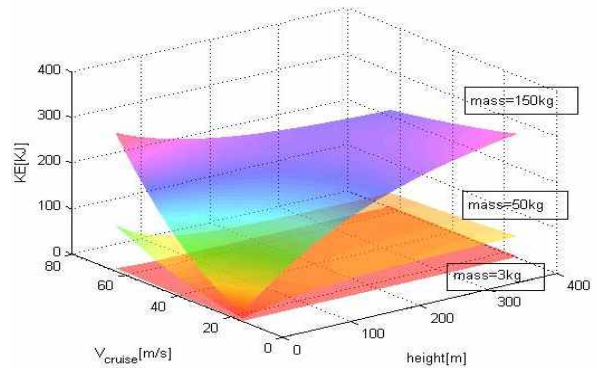


Fig. 4 Impact Kinetic Energy with respect to Cruise Speed and Height

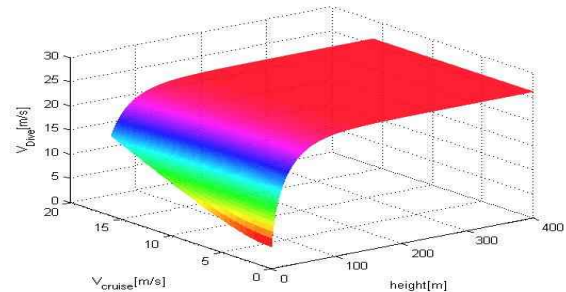


Fig. 5 Vertical Dive Speed for 10g, 50g, 200g Micro UAV as a function of Cruise Speed and Height

이러한 접근 방식은 STANAG 4703에서 제시하는 66J의 충돌에너지를 가지는 비행체의 무게 범위를 예측할 수 있도록 해준다. 2kg 이하인 Micro급 비행체의 경우 Fig. 3에 도시된 결과와는 다르게 무게와 관계없이 일정한 급강하속도가 가지는 것으로 나타난다. 그러나 식 (2)를 통해 계산된 운동에너지는 Fig. 6과 비행체의 무게에 따라 다른 결과를 가지는 것으로 나타난다.

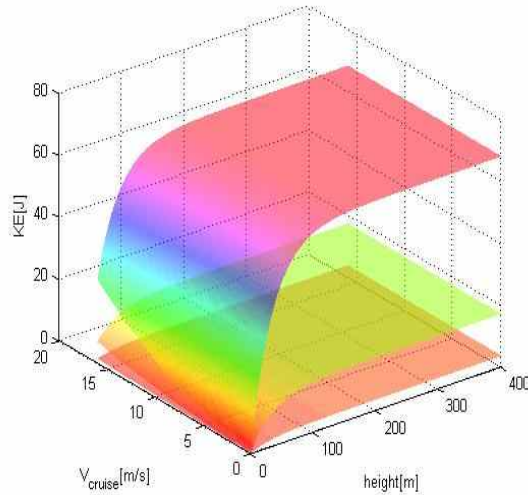


Fig 6. Impact Kinetic Energy for Micro UAVs of 10g, 50g, 200g

Fig. 6의 결과에 따르면 최대 200g의 무게까지 STANAG 4703에서 제시하는 Micro급 비행체의 감항성 기준을 만족한다. 결국 Micro급 비행체는 충돌속도보다 무게에 중점을 두어 감항성 기준을 설정해야 할 필요가 있음을 보여준다.

4. 결 론

본 연구는 국내 무인항공기 감항인증 기술기준 수립을 위하여 해외 항공조직 및 항공기관인 국제민간항공기구, 유럽 및 미국, 영국, 독일의 민간 및 군용 무인항공기의 현행 법규 및 로드맵을 기반으로 무인항공기 분류 및 감항인증 기술기준 적용방안을 검토 분석하였다. 또한 최근의 소형 무인화 개발 및 운영 추세에 부응하기 위해 소형 회전익 및 고정익 무인항공기의 감항인증 기술기준인 민간의 JARUS CS-LURS와 북대서양 조약기구 군당국의 Stanag 4702, Stanag 4703의 감항인증 기술기준을 비교·분석하였으며, 비행체가 무방비한 상태의 인명 및 재산에 피해를 주는

충돌에너지에 대한 분석을 수행하여 안전성 평가를 연구하였다. 유·무인항공기의 공역통합을 위해서는 무인항공기 및 관련시스템의 감항인증 기술기준 강화가 필요하며, 무인항공기 및 무인항공기 시스템에 대한 적절한 목표안전 요구도의 수준이 필수적으로 요구된다.

국내여건에 적합하며, 더욱 객관적이고 체계적인 국내 무인항공기의 감항인증 기술기준 수립을 위해서는 해외에서 추진 중인 감항인증 기술기준 제정에 관해 각국의 민, 군 감항당국과 협조체제를 유지함이 중요하며, 소형 무인항공기의 시범인증기를 설정하여 요구조건 분석, 기본 및 상세설계 시 적용되는 무인항공기 감항인증 기술기준을 정립하고, 양산 및 운영의 유지 감항인증에 대한 고찰이 필요하다. 또한 소형 무인항공기의 비행안전성 평가에 대한 위해조건 참조 지표를 도입하여 정량적인 위험요소평가를 도출해 감항인증 기술기준에 추가적인 적용 방안을 강구해야 한다.

후 기

이 연구는 국토교통부 항공기술연구개발사업의 연구지원비(13항공-안전02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) 국토교통부, “항공법규”, 2014.
- 2) 방위사업청, “군용항공기 비행안전성 인증에 관한 업무규정”, 방위사업청 훈령 제 214호, 2013.
- 3) ICAO, “Annex 19 Safety Management”, 2014.
- 4) ICAO, "Convention on International Civil Aviation Signed at Chicago", 1944.
- 5) ICAO, "Circular 328 AN/190 Unmanned Aircraft Systems(UAS)", 2011.
- 6) ICAO, “Manual on Remotely Piloted Aircraft System(RPAS)”, First Edition, 2012.
- 7) ICAO, “Annex 13 Aircraft Accident and Incident Investigation”, Tenth Edition, 2010.
- 8) 고준수, 고심재 편역, “항공기의 감항성”, 한국항공대학교 출판부, 2013.
- 9) Filipo De Florio, “Airworthiness An introduction to Aircraft Certification”, 2nd Edition, Elsevier, 2011
- 10) European RPAS Steering Group, “Roadmap for the integration of civil Remotely-piloted Aircraft Systems into the

European Aviation System”, 2013.

11) ICAO, “Annex 1 Pilot licensing”, 2011.

12) NSA, “STANAG 4671 Edition 1: Unmanned Aerial Vehicles Airworthiness Requirements(USAR)”, 2009.

13) FAA, “Integration of Civil Unmanned Aircraft System(UAS) in the National Airspace System(NAS) Roadmap”, First Edition, 2013.

14) Department of Defence, “FY 2009-2034 Unmanned System Integrated Roadmap”, 2009.

15) CAA, “CAP 722 Unmanned Aircraft System Operations in UK Airspace Guidance”, Fourth Edition, 2012.

16) German Federal Ministry of Justice, “Air Navigation Act(Luftverkehrsgesetz), 01 Aug 1922, Version of 08. May 2012”, 1922.

17) Bundeswehr Technical and Airworthiness Center for Aircraft (WTD 61), “Director Airworthiness: Airworthiness Requirement 1550-001: Special Regulations for Airworthiness Verification of Unmanned Aerial Vehicles in the Bundeswehr”, Edition 2, (LTF 1550-001), 2007.

18) NSA, “STANAG 4702 Edition 1: Rotary Wing Unmanned Aerial System Airworthiness Requirements”, 2013.

19) Joint Authorities for Rulemaking of Unmanned Systems, “Certification Specification for Light Unmanned Rotorcraft Systems (CS-LURS) Version 1.0”, 2013.

20) NSA, “STANAG 4703 Edition 1: Light Unmanned Aircraft Systems Airworthiness Requirements (USAR-LIGHT)”, Final Draft, 2011.

21) JAA, Eurocontrol, “UAV Task-Force Final Report”, Joint Aviation Authorities, Annex pp. 4~9, 2004.

22) Zmago Skobir, Tone Magister, “Assessment of a Light Unmanned Aircraft Ground Impact Energy”, Transport Engineering Preliminary Communication, Vol. 23, No.2, pp. 97~104, 2011.