

스마트무인기의 유인기 공역진입 요건 검토

Study for Air Traffic Control Condition of Smart UAV

장성호*, 오수훈, 최주원, 구삼옥, 임철호 (한국항공우주연구원)

1. 서 론

무인기의 개발역사는 제1차 세계대전당시의 비행폭탄(flying bomb)으로 거슬러 올라갈 수 있으며^[1], 제2차 세계대전 중에는 폭탄을 실은 B-24, B-17 폭격기를 이용하여 목표물 도달 직전에 승무원이 탈출하고 함께 비행중인 항공기의 조종사가 TV와 텔레메트리(telemetry)로 폭격기를 유도하는 초기 형태의 무인기가 개발되기도 하였다^[2]. 그 후 무인기는 베트남 전쟁과 중동전쟁 등에서 공중감시와 정찰임무 등의 군사적 용도로 활용되면서 비약적으로 발전해왔으며 전자, 통신, 항법기술의 발달에 힘입어 프레데터(Predator), 글로벌호크(Global Hawk)와 같은 중고도 및 고고도의 장기체공이 가능한 무인기가 개발되었다. 현재 전 세계적으로 다양한 성능 및 형태의 무인기가 개발되어 3D(Dirty, Dull, Dangerous)에 해당하는 군임무영역과 민간부분의 확대가 시도되고 있다.

그러나 무인기의 오랜 개발역사에도 불구하고 성공적인 임무완수가 주 목적인 군용으로 개발되고 운영되어 온 이유로 민간 공역 운영과 신뢰성 평가 기준 등에 있어 유인기와는 다르게 적용되어오면서 국내는 물론이고 항공 선진국에서도 무인기를 민간 유인기 공역에서 운영할 수 있게 하는 법 제도를 갖추지 못하고 있으며, 또한 이에 따라 군용 무인기와 민간 무인기의 운용 개념도 상이하게 발전되어 왔다(그림 1). 무인기를 유인기 공역에 진입시키기 위하여 미국과 유럽을 중심으로 활발한 연구와 논의가 진행 중이며 유

럽의 'UVS Internatinal'과 미국의 'AUVSI' 및 'AIAA' 등에서 다양한 연구결과와 대책이 활발히 논의되고 있으나 가까운 시일 내에 법과 제도가 정비되어 적용을 기대하기는 현실적으로 어려운 단계이다. 당분간은 유인기와 같이 자유로운 비행이 아닌 제한된 공역에서만 비행허가의 형태로 무인기를 운영할 수 있을 것으로 판단된다.

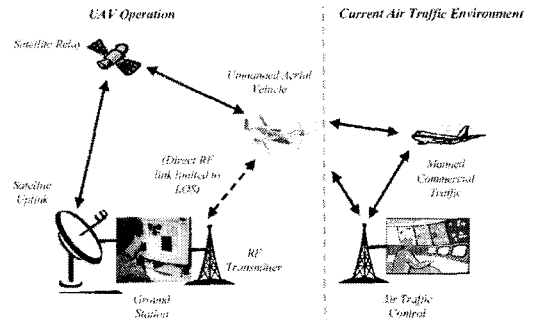


그림 57 유인기 공역 진입 장벽^[3]

국내에서도 무인기 개발기간과 달리 무인기 운용역사는 오래 되지 않아 관련 법과 제도가 전무한 상태로 스마트무인기기술개발사업 기간 내에 무인기 인증 및 운영에 관련된 법과 제도가 정비되는 것도 어려울 것으로 판단된다. 따라서 본 논문에서는 무인기의 유인기 공역 진입에 대한 세계적인 연구와 논의의 추세로부터 현재 한국항공우주연구원 내 스마트 무인기 개발사업단에서 국내 최초로 개발되는 중형 급 민간 무인기인 스마트무인기에 적용될 가능성이 높은 요건들을 선별하여, 향후 도래할 유/무인기 공역 공유에 대비

할 수 있는 판단근거를 마련하기 위한 공역 진입요건과 무인기 운용 중 가장 치명적인 결과를 초래할 수 있는 충돌회피 기능의 적용에 대하여 검토하였다.

2. 무인기의 유인기 공역진입 문제 요건

유인기 공역에 무인기가 진입하기 위한 원칙적인 요건은 유인기 공역 운용 제도에 따라 무인기 운영 개념을 설정하고, 이에 따라 무인기 운용시스템을 개발하는 것으로다. 즉, 유인기 공역에서 항공기를 운용하기 위한 법과 제도에서 요구되는 모든 사항들을 도출하고, 이를 근거로 무인기 시스템에 요구되는 기능들을 시스템에 반영하는 것이다. 논의되는 요건들을 스마트무인기시스템에 적용하여 다음과 같이 정리하였다.

가. 항공 종사자 인증(Personnel licensing)

현행법 상 유인기 종사자는 조종사, 정비사 그리고 운영자로 구분할 수 있다. 여기서 정비사와 운영자(민간 항공사와 같은)는 유인기와 무인기 간에 큰 의미의 차이점이 없다. 그러나 조종사의 경우 무인기 시스템의 자동화 정도에 따라 유인기의 IFR자격 조종사(Pilot)가 필요한 경우와 그렇지 않고 단지 운영만 하는 단순 운영자(Operator)로 나눌 수 있다. 이에 대해서는 아직까지 항공 선진국들에서도 많은 논의가 되고 있는 분야이며, 이러한 문제는 무인기의 규모가 커짐에 따라 앞으로는 어떠한 형식으로든 조종사 또는 운영자에 대한 면허를 발급하고, 권한과 의무사항을 법적으로 관리하게 될 것으로 예상된다.

스마트무인기의 경우 개발 초기단계부터 RPV(Remotely Piloted Vehicle)이 아닌 이착륙을 포함한 모든 비행단계가 자동으로 수행이 가능하도록 설계되었으므로 큰 고려사항은 아닐 것으로 판단된다. 그러나 그런 만큼 시스템의 신뢰성과 안전성은 동급의 유인기와 동등하거나 더욱 높아져야 할 것으로 판단된다.

나. 시스템 감항성(Airworthiness Certification)

아직까지 국내는 물론이고, 항공 선진국들에서도 무인기의 감항성 인증을 위한 법제도를 거지고 있는 나라는 없다. 그 이유는 무인기 시스템의 기술이 성숙되지 않은 것과 또한 신뢰할 만한 상용 장비가 많지 않다는 것이다. 일단 현행법 상, 150 kg이상의 무인기의 경우 무인비행장치가 아닌 항공기급으로 분류되어 상용 항공기로서 비행을 하기 위해서는 감항증명이 필요하고, 이에 따라 형식증명이 요구된다. 그러나 아직까지 세부적인 법제도가 갖춰지기까지는 시간이 필요할 것으로 판단되며, 그때까지는 항공법 시행규칙 제 20조(감항증명을 받지 아니한 항공기의 시험비행등의 허가)에 의거하여 연구, 개발 목적하의 비행을 할 수 있다. 그러나 스마트 무인기의 개발 이후 향후 상용화를 위해서는 현행 유인기의 감항기술기준 중 무인기에 적용 가능한 부분들을 도출하여 설계에 반영하여 시스템의 신뢰도를 높일 수 있다. 유럽도 이러한 작업을 감항당국과 업체들이 공동으로 Task-force team을 구성하여 수행하고 있으며 현재 우리나라도 항공기 형식증명의 전문 검사기관으로 지정된 항공우주연구원의 품질인증센터와 함께 스마트무인기 품질인증 개발사업의 일환으로 감항기술기준 요건을 가능한 부분에 대하여 스마트무인기의 설계에 반영시키고자 하는 노력을 하고 있다.

다. 충돌회피 장치(See & Avoid)

무인기가 유인기 공역에서 비행을 하기 위해서는 유인기의 탑승 조종사가 수행하는 임무를 자동 또는 원거리 조종사가 수행해야 하며, 이 중 충돌회피 임무는 가장 중요한 임무 중 하나이다. 조종사가 없는 무인기의 경우 "Sense and Avoid"로 지칭하기도 하며, VMC(Visual Meteorological Conditions) 조건의 비행을 위해서는 필수적인 요건으로 지정될 것으로 판단된다. 충돌회피 기능은 넓게 충돌 경고장치의 기능을 포함하기도 하며, 현재 스마트 무인기 사업에서는 외국의 동향과 현 기술상황을 고려하여 우리의 비행체에 적

합한 방식으로 구현할 예정이다.

라. 충돌경고장치(Collision Avoidance Systems)

충돌방지를 위한 보조 장비(TCAS)의 적용을 의미하는 것으로 TCAS(Traffic Alert & Collision Avoidance System)는 일반적으로 30인승 이상의 운송사업용 항공기에 한하여 장착이 의무화되어 있으므로, 스마트 무인기의 경우에는 필수 사항은 아닐 것으로 판단된다. 다만 무인기의 경우 조종사에 의한 "See and Avoid"가 기본적으로 제공되지 않으므로 "See and Avoid"와 "Collision Avoidance System"을 통합하여 고려해야 할 것으로 판단된다.

마. ATC와의 음성 통신

공역 관제를 위한 필수 요건으로 스마트무인기에도 유인기와 동일한 기능을 할 수 있도록 시스템을 구현할 예정이다. 그러나 동일한 기능을 하기 위해서는 비행체의 경우 ATC와 GCS간에 음성통신의 중계역할을 해야 하는 부분만 상이하게 된다. 이부분은 다른 부분과 비교해 볼때 상대적으로 기술적인 위험도는 작을 것으로 예상된다.

바. Reliability

유인기와 동등한 수준의 신뢰도 구현이 요구될 것으로 판단되며, 현재 이를 위한 연구중에 있다.

사. Lost Communication Procedures

통신 두절로 인하여 무인기의 통제가 불가능할 경우 안전하게 자동 귀환이 가능하도록 기능이 구현되어야 한다. 또한 제어시스템이 아닌 비행체의 이상으로 인한 통제 불능의 경우에는 낙하산으로 안전하게 비행을 종료할 수 있는 비행종료 시스템이 구비되어야 한다. 모든 기능이 초기 개발단계에서부터 다 구비되는 것은 여러 가지 문제점이 발생할 수 있으므로 이 부분은 개발 초기단계에는 설계시 고려만하고 향후 상용화 단계에는 구비하는 방법으로 적용시킬 예정이다.

위의 유인기 공역진입을 위해 고려되어야 하는 항목에 대하여 스마트무인기의 체계규격서에서는 표 1과 같이 정의하고 있으며 체계규격서의 요건은 대부분 유인기 공역진입을 위한 요건들을 충실히 반영하고 있는 것으로 판단된다(그림 2).

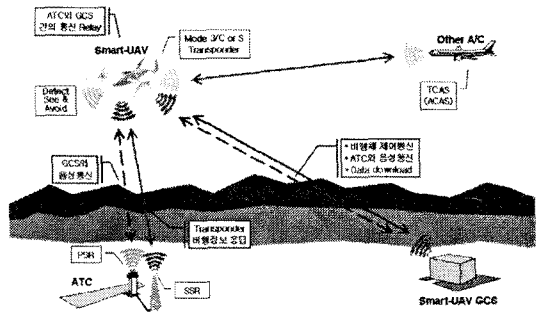


그림 58 스마트 무인기의 운용 개념^[5]

표 1 체계규격서

항목	체계규격서 항목	내용
See & Avoid / Collision Avoidance System	충돌 회피	반경 3 km 이내에 있는 충돌위험물을 감지 충돌위험을 감지한 후 자동으로 임무경로를 변경
	트랜스폰더	트랜스폰더 탑재
ATC와의 음성통신	음성통신	ATC와 음성통신 가능 (LOS & BLOS)
Reliability	고장진단 및 조치	고장의 실시간 진단 및 치명적 고장 시 자동운용
	통신안정성	보조통신 / 비화 / Anti-Jamming 기능 보유
Lost Communication Procedure	통신두절시 비상조치	자동으로 통신부구를 시도 및 자동 귀환

3. 충돌회피 요건 검토

항공기의 사고 중에서 가장 치명적인 결과를 초래하는 것은 공중충돌로서 아직까지 국내 민간 항공기 간의 충돌사고는 없었으나 군용기끼리 공중충돌 사고는 지난 30년간 총 15회가 발생하였으며 미국에서는 1981년부터 1990년까지 229건 468명이 사망하였다^[3]. 이

러한 공중충돌사고의 대부분은 좋은 기상상태에서 그리고 주간에 발생하고 있다. 유인기 공역에서 항공기 간의 충돌을 방지하기 위한 수단은 아래 그림 3과 같은 순위로 적용된다. 사전에 규정된 절차에 의한 비행 규칙을 지키는 것이 최우선이며, 그 다음으로 ATC의 관제 지시에 따르고, 충돌회피를 위한 보조장치에 의존하며 마지막 수단으로 "Detect, See and Avoid"에 의존하도록 되어 있다.

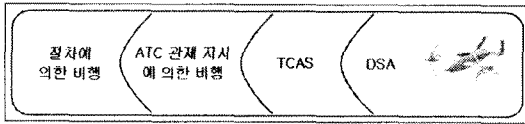


그림 59 충돌회피 수단의 우선 순위^[3]

그러나 무인기의 경우는 다른 항공기를 지상의 조종사가 인지하기도 힘들며 반대로 유인기가 무인기를 인지하기도 힘들기 때문에 운항되는 항공기가 많은 유인기 공역에서 무인기를 운영 시 충돌의 위험성은 상당히 높아지게 된다. 그러므로 민간 공역에서 무인기를 운용하기 위해서는 유인기와 동등하게 다른 항공기를 효과적으로 인식하고 최적의 회피기동을 수행할 수 있는 신뢰성 있는 충돌회피 기능이 요구된다.

스마트 무인기의 충돌회피 기능에 요구되는 소요시간 및 탐지거리 기준을 설정하기 위하여 참고문헌 [4](표 2)의 내용을 기초로 다음과 같은 분석결과를 도출하였다.

- SUAV 최대속도 : 500 km/h
- 충돌 비행체의 속도 : 556 km/h (저고도 Nose-on Intruder 300 kts [4])
- 충돌 상대속도 : 500 + 556 = 1056 km/h (서로 마주보고 날아오는 최악의 상태 가정)
- 충돌회피 반응시간 : 약 10초 (Predator B Worst Case 기준)
- 충돌회피를 위한 탐지거리 : $(1056 \times 10 / 3600) + 500\text{ft} = 2.93\text{km} + 0.15\text{km} = 3.08\text{km}$

위의 결과로부터 충돌회피를 위한 탐지거리는 최소 3 km 이상이다. 요건의 완전성 관점

에서 본다면 충돌방지를 위해 중요한 것은 충돌 가능 대상물의 탐지거리보다는 탐지 이후 회피기동을 수행할 때까지 소요되는 시간이므로 거리가 아닌 시간의 관점에서 요건이 규정되어야 할 것으로 판단된다. 즉, 충돌 대상물의 속도와 충돌접근각도에 따라 똑같은 탐지거리 조건에서도 회피기동에 요구되는 시간은 달라지므로 충돌감지에서 회피기동에 소요되는 시간을 요건의 기준으로 삼는 것이 타당할 것이다.

표 2 Predator 충돌회피 분석사례

Pilot Times (sec)		Predator B Times (sec)				
(FAA AC 90-48C)		Type	LOS*	BLOS*	Worst*	Auto
Detect	1.1	Detect	0.25	0.25	0.25	0.25
Declare	5.0	Declare	0.33	0.33	0.33	0.33
Decide	4.0	Suggest	0.17	0.17	0.17	0.17
Act	0.4	Comms down	0.25	0.625	2.00	0
		Human Approval**	5.00	5.00	5.00	0
		Comms up	0.25	0.625	2.00	0
A/C Lag	2.0	A/C Lag	0.10	0.10	0.10	0.10
Total	12.50	Total	6.35	7.10	9.85	0.85

Low Altitude Scenario*		Predator B (If Manned) Declaration Range Req's (Nm)				
Predator B -- 75 KTAS		Pilot Latency				
Nose-on Intruder -- 300 KTAS		5 sec	10 sec	12.5 sec		
Medium Altitude Scenario*		Low	1.3	1.8	2.1	
Predator B -- 150 KTAS		Med	2.4	3.4	3.8	
Nose-on Intruder -- 550 KTAS		High	2.5	3.6	4.1	
High Altitude Scenario*		ROA Predator B Declaration Range Requirements** (Nm)				
Predator B -- 210 KTAS		Predator System Latency				
Nose-on Intruder -- 550 KTAS		Scenario (Altitude)	AUTO	LOS	BLOS	Worst BLOS
Flight Characteristics		Low	0.7	1.4	1.5	1.8
Climb/Desc Rate -- 3317 ft/sec		Med	1	2.6	2.8	3.3
Turn Rate -- 3 deg/sec		High	1	2.8	3	3.5
Communication Delays*		*Data provided by General Atomics ASI				
BLOS=Beyond Line of Sight		**Pilot data taken from FAA Circular AC 90-48C				
All Scenarios		***Assumes 5 second operator delay (per AFRL/HHE)				
Miss Distance -- 500 ft						

4. 충돌회피용 장비 검토

무인기를 유인기 공역에 진입시키기 위해서는 현재 유인기에 요구되는 모든 요건을 무인기에 적용한다는 관점으로 스마트 무인기의 탐재장비로 고려되고 있는 음성통신장비, 트랜스폰더 및 Radar 에 대하여 검토하였다. 음성통신장비 및 트랜스폰더는 이미 무인기에 적용되고 있는 추세이므로 요건에 적용될 것이 확실시되기 때문에 TCAS 및 Radar의 적용 방안에 관하여 검토하였다.

가. TCAS 및 Radar 동시 탐재
유인기가 갖추고 있는 모든 시스템을 적용

한 형태이므로 가장 유연하게 유인기 공역에 진입할 수 있는 방안이며, 또한 수송급 항공기용으로 상용화 된 TCAS의 경우 운영자에게 14 nm이상의 항적 정보(TA)와 함께 충돌 위험지역 내에서는 회피정보(RA)를 제공해주기 때문에 충돌을 회피할 수 있는 충분한 여유 시간을 가질 수 있게 된다. 그리고 Radar는 TCAS가 인식하지 못하는 항적에 대해서 Active하게 반응할 수 있으므로 상호 장단점이 보완되어 가장 효과적인 시스템이 될 것이다. 그러나 TCAS의 경우 소형 무인 비행체에 있어서 중량, 부피, 전력에 대한 추가 부담이 문제가 된다. 이에 비행체 체계종합측면에서 수용 가능한 방법인지 검토가 필요하다. 또한 ADS-B를 이용하여 2002년도에 Swedish Civil Aviation Administration 주관으로 EADS/IAI Eagle UAV(MALE급)에 적용 시험을 수행한 사례가 있어 향후 TCAS에 비해 훨씬 소형, 경량화 될 ADS-B의 이용이 일반화될 경우 무인기에 장착 요구될 가능성이 높을 것으로 판단된다. 그러나 세계적으로 ADS-B의 방식이 통일되지 않고 있으며, 또한 모든 항공기들이 동일한 방식의 장비를 갖추었을 때 ADS-B가 기능을 발휘할 수 있음으로 이것이 상용화되기 위해서는 상당한 시간이 소요될 것으로 판단된다.

나. Radar만 탑재

Radar를 이용하여 DSA(Detect, See and Avoid)의 기능만 수행하는 것으로 한정할 경우 FOV(Field of Regard)에 대한 검토가 필요하다. 운용 관점에서 Radar가 탑재되므로 DSA 기능은 구현되며, 트랜스ponder가 탑재되므로 TCAS를 장착한 항공기에서는 스마트 무인기에 대한 충돌회피를 시도할 수 있다. 그러나 하나의 센서만 장착할 경우 다.안 과의 장단점 비교가 고려되어야 한다.

다. TCAS만 탑재

Radar 대신에 TCAS를 탑재하는 것으로 비용 측면에서의 이득과 함께 DSA 기능을 EO/IR 장비가 일부 대신할 수 있다는 장점이

있다. 즉 임무수행 이외의 비행 중에는 TCAS와 함께 EO/IR을 DSA로 이용하고, 임무 수행 시에는 TCAS만 운용하다가 TCAS에 충돌위험이 감지되면 EO/IR을 DSA 장비로 전환하여 TCAS 기능을 보완하는 방식으로 적용 가능하다. 본 방식은 임무수행 가용도를 제한하므로 활용도 관점에서 좋은 방안은 아니나, 비행체 설계에 미치는 영향을 최소화하면서 나.안에 비하여 유인기 공역 진입을 위한 유연성을 제공한다는 장점이 있다. 표 3에 장단점을 비교하였다.

표 47 장단점 비교

구분	Radar + TCAS	Radar Only	TCAS Only
장점	가장 좋은 탐지범위	-	저비용, 적절한 탐지범위
단점	SWP 및 비용 부담	탐지 범위 한계	임무장비 가용도 제한

5. 결론

현재 개발중인 스마트무인기에 유인기 공역 진입에 필요한 문제 요건들을 검토하고 충돌 회피에 대한 외국의 사례를 이용하여 적용해 봄으로써 스마트 무인기의 충돌 회피를 위한 소요시간 및 탐지거리 기준과 탐재장비의 조합에 대한 선정방법을 검토하였다. 또한 유인기 공역에서는 위성항법을 주항법으로 인정하고 있지 않지만 글로벌 호크 등의 많은 무인기들이 위성을 항법에 이용할 수 있도록 시스템을 개발 중이므로 이에 대한 지속적인 관심과 관찰이 필요하다.

아직까지 일반공역에서 무인기를 자유롭게 운영할 수 있는 규정과 제도를 갖춘 국가는 없다. 그러나 무인기의 신뢰도가 높아지고 다양한 임무 수행이 가능한 기술들이 보편화되는 시점에서는 운영비, 운용의 용이성 등 무인기의 많은 장점으로 인하여 그 수요가 급증하는 시점이 도래할 것으로 예상된다. 따라서 국내 공역에서 무인기의 일상적인 비행을 가능하게 하는 법제도 및 신기술에 대한 신뢰성 검증기술과 인증기준이 무인기시스템 개발과 함께 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Air Chief Marchal Sir Michael Armitage, "Unmanned Aircraft", Brassey's Defence Publishers, 1988.
- [2] "각국 RPV 현황", 공군본부, 1989.1.
- [3] 최주원, "민간 무인기의 충돌회피 기술개발 동향", 항공우주산업기술동향 2권 1호 pp. 142~151, 2004.
- [4] Defense Research Associates, Inc. "Detect and Avoid(DAA) for Global Hawk and Predator", TAAC 2003 Presentation.