

민간 무인기의 충돌회피 기술개발 동향

글 / 최 주 원 choijw@kari.re.kr

한국항공우주연구원 품질인증센터 항공인증그룹

1. 개 요

무인기는 군의 수요로 개발되기 시작하였으며, 근래에 들어 항법기술 및 통신기술의 발달로 인해 많은 발전을 해 왔다. 현재 다양한 종류의 무인기들이 국내외에서 개발되고 운용되고 있으며, 무인기들의 신뢰도 향상과 더불어 민간 부분의 적용에 대한 많은 연구들이 수행되고 있다.

무인기의 개발 역사는 짧지 않지만, 군수요 위주로 개발되고, 운영되어 온 이유로 민간공역 내의 운영과 관련된 연구는 최근 들어 대두된 실정이다. 무인기가 민간 공역에서 비행하기 위해서는 기술적으로는 무인기 시스템의 신뢰도가 유인기의 신뢰도와 동등하거나 이를 상회해야 하며, 또한 유인기의 탑승 조종사가 수행하는 임무들이 자동 또는 원거리 조종사에 의해서 수행되어야 한다. 그리고 인증 측면에서는 이러한 신기술들에 대한 신뢰성 평가 및 기준 개발의 연구도 병행되어야 한다.

유인기의 탑승조종사가 수행하는 특정 임무 중 충돌회피 임무는 가장 중요한 임무 중 하나로서, 무인기에 있어서도 동등하게 적용되어야 한다.

성공적인 무인기 시스템을 개발해 놓은 항공 선진국들은 신뢰성 있는 충돌회피 기능을 무인기가 민간 공역에서 비행할 수 있도록 하는 가장 중요한 필수요소로 인식하고 최근 들어 이에 대한 많은 연구를 수행하고 있다. 그러나 무인기의 충돌회피 기능의 연구는 아직까지 초기단계에 있는 만큼 신뢰할 만한 수준의 상용 장비 및 이에 대한 인증

기준 또한 마련되지 않고 있는 상황이다. 이에 다양한 방법들로 무인기의 충돌회피 기술이 연구되고 있으며, 본 글에서는 이에 대한 연구 동향, 무인기 충돌회피 기능의 일반적인 분류 및 특징 등을 소개한다.

2. 일반적인 충돌회피 기술

2.1 무인기 충돌회피 기능의 필요성

항공기의 사고 중에서 가장 치명적인 결과를 초래하는 것은 공중충돌로서 아직까지 국내 민항기간의 충돌사고는 없었으나, 군용기까지의 공중충돌 사고는 지난 30년간 총 15회가 발생하였으며, 미국에서는 1981년부터 1990년까지 229건 468명이 사망하였다¹⁾. 이러한 공중충돌 사고의 대부분은 좋은 기상상태에서 주간에 발생하고 있으며, 공항근처 5mile 내에서 주로 발생한 것으로 나타났다. 또한 충돌 항공기 간의 상대 속도는 낮은 것으로 분석되었다. 즉 약 5% 만이 정면충돌이고, 대부분은 대형 고속기와 소형 저속기들 간의 수렴(Converge) 사고가 80%를 넘었다²⁾. 유인기의 경우 충돌회피를 위하여 탑승 조종사는 항공법(제58조 충돌예방) 및 관련 시행규칙에 기술된 우선순위와 절차대로 비행하며, 항공로의 다른 항공기의 조우 시 조종사가 이를 확인하고 회피하게 된다.

그러나 무인기의 경우 다른 항공기를 지상 조종사가 인지하기도 힘들며, 또한 유인기도 비교적 소형의 무인기를 인지하기 힘들기 때문에 항

1) 교통안전공단 "공중충돌 사고의 예방과 회피"
2) FAA P-8740-51 "How to avoid a midair collision"

적이 많은 유인기 항로에서 무인기를 운영할 때에는 충돌의 위험성이 상당히 높아지게 된다. 이렇게 비행 중 다른 근접한 항공기를 확인하고 회피하는 것을 유인기에 있어서는 "See and avoid"라는 용어를 사용하며, 무인기에 있어서는 "Sense and avoid" 또는 "Detect, see and avoid"라는 용어를 사용한다. 무인기에 있어서도 민간 공역에서 운영하기 위해서는 유인기와 동등하게 항로상의 다른 항공기를 효과적으로 인식하고, 최적의 회피기동을 수행할 수 있는 신뢰성 있는 충돌회피 기능이 필수요소가 된다.

2.2 유인기의 충돌회피 절차

유인기는 항로상의 비행에 있어서 첫 번째로 비행절차 및 ATC(Air Traffic Control)의 관제하에 조종사가 항공기를 운영한다. 그러나 항적이 많은 지역에서는 공중충돌의 위험성이 점점 더 높아지게 되며, 이때에는 조종사가 TCAS (Traffic alert and collision avoidance system)와 같은 경고 장비를 참조로 하고, 사전에 정해진 절차대로 항공기를 조종하여 근접사고를 예방한다. 그림 1은 이러한 절차를 도시해주고 있다.

우리나라에서는 비행 중 항공기 상호간에 공중충돌의 위험이나 공중접촉의 위험이 있는 상태를 "Near miss"라 하고, ICAO 및 항공교통업무 규정에는 "Aircraft Proximity"라는 용어를 사용하며, 미국에서는 "NMAC(Near Midair Collision)"이라는 용어를 사용한다. 정의는 타 항공기와 500ft 미만으로 근접한 결과로 충돌 위험성이 있었다고 조종사나 운항승무원이 보고한 것으로 하고 있다.

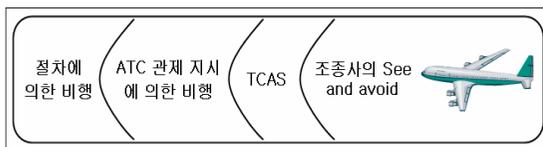


그림 1) 유인기의 공중충돌 회피를 위한 우선순위

유인기의 공중충돌 회피 절차는 일단 비행절차 및 ATC의 지시대로 비행하는 것이며, 이때 충돌의 위험이 발생 시 공중충돌 경보장치인 TCAS가 제시하는 RA(Resolution Advisory) 지시대로 회피기동을 수행하는 것이다. 그리고 마지막으로

조종사가 회피기동을 수행할 때에는 다음과 같은 절차대로 수행하도록 일반규칙이 설정되어 있다.

- ◎ 통행의 우선순위(교차 또는 접근하는 항공기 상호 간)
 - ① 활공기 → ② 비행선 → ③ 동력항공기
- ◎ 동순위 항공기 상호간의 통행 우선순위
 - 정면접근 : 서로 우측으로 기수 이동
 - 교차접근 : 좌측 항공기가 진로 양보
- ◎ 진로의 양보
 - 비행 중 또는 지상의 항공기 : 착륙/접근 항공기에 양보
 - 접근 항공기 : 고고도의 항공기가 저고도 항공기에 양보
 - 후방에서 추월하고자 하는 항공기 : 상대방의 우측을 통과

2.3 무인기의 충돌회피 기술

미국의 군용 항공기 운영에 관한 내부 훈령인 FAA Order 7610.4에서 요구하는 무인기의 유인기와 동등한 안전성은 유인기의 탑승 조종사가 수행하는 충돌회피 기능을 무인기에도 동등하게 적용되도록 요구하고 있다. 무인기의 충돌회피 기능의 경우 성공적인 임무 수행이 주 목적인 군 위주의 무인기 개발로 인하여, 민간 공역 접근에 필요한 무인기의 충돌회피 기술에 대한 소요는 최근 들어 대두되기 시작하였다. 이에 아직까지 전 세계적으로 신뢰할만한 기술 및 충돌회피 기술의 인증을 위한 구체적인 기준이 제시되지 않고 있는 상태라는 것은 언급한 바 있다.

현재 충돌회피 기술은 다양한 방법으로 연구되고 있으며, 비행 중 항적을 인식하는 방법에 따라 다음 표 1과 같이 크게 3가지로 분류할 수 있다.

표 1) 무인기의 충돌회피 기능의 분류

분류	예	특징
· ision-like system	EO IR 카메라를 센서로 이용	소형, / 외부 환경으로 인한 운영의 제약
· adar-like system	지향성 안테나로 전파를 방사하고 반사파를 감지	많은 소비전력, 고가 / 운영상 제약 작음
· ooperative system	트랜스ponder와 같은 항공기 탑재 장비를 이용하여 비행 정보를 공유	소형, / 넓은 탐지범위 / 모든 항공기들의 공통 장비 장착이 요구됨

◎ Vision-like system

Vision-like system은 피사체를 광학(Optical) 카메라나 적외선 카메라를 이용하여, 인식하는 시스템으로서, 소형이며 저가로 구현이 가능하다. 또한 Passive system으로서 소비전력 및 필요 공간이 작은 특징으로 소형 무인기에 적합하다.

최근 들어 영상처리 기술의 발달로 인하여, Vision-like system은 피사체의 움직임을 자동으로 인식하고, 또한 여러 개의 센서를 이용하여 피사체와의 거리 및 방향까지도 탐지가 가능한 수준까지 왔다.

그러나 Vision-like system은 광학의 한계로 인한 피사체의 정확한 확인이 어렵고, 기상으로 인한 피사체의 인식에 한계가 있어, 무인기에 독립적으로 장착 시 비행체의 운영상의 한계가 발생할 수 있다.

◎ Radar-like system

Radar-like system은 지향성 안테나를 이용하여 피사체를 감지하는 것으로, 성능에 따라 피사체의 정확한 형상까지도 인식이 가능하다. 또한 Cooperative system과는 달리 Transponder와 같은 장비를 장착하지 않은 비행체도 탐지가 가능하다는 장점이 있다. 지향성 안테나는 설정된 범위 내의 각도로 기계적인 반복운동을 하며, 전파를 방사하고, 피사체에서 반사된 전파의 도달시간 및 방위각을 통하여 위치를 파악하게 된다. Radar-like system은 정확한 피사체의 인식이 가능하여 항전장비와 함께 주로 군사용 항공기에 사용되어 왔으나, 장비의 크기, 중량, 소비전력 등의 부담과, 탐색범위가 전방으로 한정된다는 점 등으로 인하여, 대형 무인기에 Cooperative system과 같이 장착할 때 큰 효과를 발휘할 수 있다.

◎ Cooperative system

현재 민간 무인기에서 충돌회피 경고장치로 사용하고 있는 TCAS의 경우 대표적인 Cooperative system으로서, 주위의 항공기들에 장착된 공통 장비들의 신호를 이용하여 항적을 확인하고 위치를 파악하게 된다. Cooperative system은 비교적 소형, 저가, 전력소비, 공간, 중량, 성능 면에 있어 많은 장점으로 무인기뿐만 아니라 유인기의 항행안전을 연구하는 많은 곳에서 이에 대한 연구 및 투자를 지속적으로 하고 있다.

Cooperative system은 항공기들에 장착된 의

무 무선설비인 트랜스폰더와 연동하는 TCAS를 이용한 충돌회피 장치와 위성 항행시스템의 기술을 이용한 차세대 장비인 ADS-B(Automatic dependent surveillance-Broadcast)의 기술을 이용한 충돌회피 장비가 활발히 연구 중에 있다. 그러나 Cooperative system은 항로상의 모든 항공기들이 비행정보를 공유할 수 있는 표준화된 장비를 장착해야만 유효하다.

3. 무인기 충돌회피 기술의 요건

무인기의 충돌회피 기능에 대한 승인된 기술 요건은 아직 제시된 바 없다. 그 이유는 아직까지 신뢰성이 인정받은 기술이 입증된 바 없기 때문이다. 이에 따라 관련 연구들이 다양한 방법으로 수행되고 있으며, 시험 및 연구에 있어서 개발자들은 자체적인 기준들을 설정하고, 또한 유인기의 항행안전을 위해 이미 제시된 기준들을 참조로 시험을 수행하고 있다.

무인기의 충돌회피 기능은 첫 번째로 유인기의 탑승 조종사가 비행 중 충돌회피를 수행할 수 있는 능력과 동등하거나 이를 상회하는 수준이 되어야 한다. 이를 위해서는 충돌 위험의 발생 가능성이 있는 범위 내의 항적들을 효과적으로 탐지할 수 있어야 하며, 또한 상대 운동을 실시간으로 분석하여 위험 범위 내에서는 신뢰성 있고, 안전한 회피기동을 수행할 수 있어야 한다.

일반적으로 유인기의 충돌경고 장비로 사용되고 있는 TCAS는 항적과의 상대 운동을 기준으로 충돌 위험이 있는 항로상의 항적이 20~48초 이내로 들어오면 위험경고를 제시하며, 20~35초 이내로 들어오면 경고신호와 함께 회피지시를 한다. 또한 최대 14NM 이상을 탐지할 수 있다.

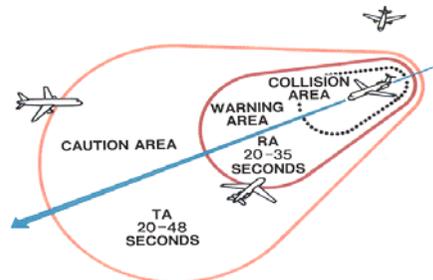


그림 2) TCAS의 경고 범위

제트엔진 장착 유인 항공기의 조종사가 비행 중 물체를 인식하는데 0.1초, 항공기 식별에 1.0초, 충돌 코스인지에 필요한 시간은 5.0초, 선회 반경을 결정하는데 4.0초, 회피조작을 하는데 0.4초, 항공기가 반응하는데 2.0초, 즉 충돌회피에는 최소한 12.5초의 여유 시간이 필요하다³⁾. 이에 충돌회피 장치의 탐지범위, 위험범위 그리고 충돌범위의 설정은 항공기의 상대 속도와 이에 따른 최소 분리(Separation) 거리가 조합되어 결정되어야 한다.

충돌회피 장치의 개발에 있어서 항적의 탐지범위 외에 또 하나 정의되어야 할 요소는 탐지각(Field of regard)이다. 탐지각의 경우 충돌의 위험이 발생할 수 있는 모든 범위가 되어야 한다. 이에 따라 무인기 비행체의 충돌회피 장비는 전 방향 탐색이 가능해야 한다. 그러나 지향성 RADAR나 Vision-like system의 경우, 특정 방향으로 탐지 범위가 한정됨으로, 이런 경우에는 Cooperative system과 병행해서 사용되어야 효과적이다.

다음 표 2는 NASA ERAST⁴⁾에서 진행 중인 HALE급 무인기(Global Hawk 기준)의 인증 Roadmap에 제시된 DSA(Detect, See and Avoid)장비에 대한 Draft 요건이다.

표 2) HALE Class DSA Subsystem Draft Requirements

Parameter	Notional Requirement
· Avoidance maneuver capability	Ground controlled & autonomous
· Detection range	10km ~ 15km*
· Collision miss distance	> 500ft
· Search field of regard	Azimuth : ± 110° Elevation : ± 30°*
· Search for revisit rate	1~2 seconds*
· Time to collision warn'	> 20 seconds*
· Time to collision predict accuracy	< 1 seconds*
· Max' closing velocity	950 knots*
· Weight	< 25 kg*
· Cost	< \$200k ~ \$300k*
· Environmental condition	0 ~ 70 kft

* : TBR : To be revised

마지막으로 충돌회피 기능의 가장 중요한 요소는 신뢰성 있는 충돌회피 기동방법이다.

실제로 유인항공기에서 사용하고 있는 충돌회피 경고장치인 TCAS-II의 경우 현재에는 충돌 위험 발생 시 수직방향으로 회피기동을 위한 방향제시 및 안전 상승률 범위를 제공해준다. TCAS-II는 많은 Back data 및 운영 경험과 충돌회피 logic의 수차례에 걸친 Upgrade로 현재는 신뢰성이 많이 향상된 상태의 TSO 인증⁵⁾이 된 상용 장비로 사용되고 있으나, 초기에는 잘못된 TA 및 RA 오경고로 인하여, 조종사들에게 비행 중 오히려 안전을 저해하는 요소로 작용하기도 하였다. 그만큼 신뢰성 있는 자동회피의 기동방법 설정은 쉽지 않은 것이다. 이에 무인기의 충돌회피를 위한 자동회피 기동방법의 logic은 오작동의 가능성이 극히 드물고 신뢰성이 확보되어야 감항당국에서 무인기의 일반 공역 접근을 허용해 줄 것으로 판단된다.

실제로 충돌회피 기술을 연구 중인 외국의 경우, 충돌회피 장치의 신뢰성을 시험하기 위하여 비행영역이 다양한 여러 항공기들을 항적으로 놓고 다양한 경우에 대해서 비행시험을 수행하고 있다.

4. 무인기의 충돌회피 연구 동향

무인기의 충돌회피에 대한 연구 동향은 이미 개발된 센서들을 유인기/무인기에 장착하여 비행시험을 통해 그 신뢰성을 검증하고 있는 단계이다. 현재 다양한 방법으로 시험들이 수행되고 있으며, 본 글에서는 민간 및 군에서 수행중인 연구들 중 각 시스템 별 대표적인 연구들을 소개한다. 표 3은 미군에서 수행 중인 시험 내용과 연구 조직들이다.

표 3) 미 공군 및 해군의 무인기 충돌회피 시험

시험내용	연구조직
Air force DSA Flight Tests	
- IR nose camera for Global Hawk	ASC
- DRA optical flow EO sensor	AFRL
Navy DSA Flight Tests	
- Skywatch transponder/receiver	PMA-263
- Midair collision avoidance system	
- Amphitech oasys radar + IR	

3) FAA AC 90-48C "Pilot's role in collision avoidance"
4) Environmental research aircraft and sensor technology

5) Technical standard order approval. #118(I), 119(II)

- * ASC : Aeronautical systems center
- * AFRL : Air force research laboratory
- * PMA-263 : Department of the navy program executive officer cruise missiles and joint UAVs



그림 3) 비행시험을 위해 유인기에 장착된 센서 모습

4.1 Visual-like system을 이용한 충돌회피 연구 동향

Visual-like system은 무인기의 항적 감지장치로 적용성이 좋으며, 현재 대표적으로는 미국의 Air Force Research Labs를 중심으로 Defense Research Associates(DRA)와 USAF UAV Battlelab에서 ATDSS⁶⁾ Team을 구성하여, 활발히 연구 중에 있다. 연구는 작년 9월에 시작되었으며, 이미 개발이 완료된 Detection system을 유인 항공기에 장착하여 비행시험을 통해 장치의 효용성을 Demonstration 하고 있다. Demo의 주 내용은 다음과 같다.

- ◎ Total field of regard의 적절성
- ◎ Detection/declaration probability as a function of range
- ◎ False detection probability

System의 유인항공기 Demo후에는 이미 군용기로서 신뢰성이 입증된 Predator 및 Global Hawk에 장착하여 자동회피 및 반자동 회피 시험을 계획하고 있으며, 다음 표 4는 Predator에 장착하여 수행될 시험의 일정이다.

표 4) DRA의 Predator 시험일정

Phase I : Man in the loop (반자동)	
• integration planning	Nov 03 ~ April 04
• hysical integration	May 04 ~ June 04
• light demo	July 04 ~ Sept 04
Phase II : Autonomous (자동)	
• CAS Integration	FY 2005
• light demonstration	FY 2006

ATDSS의 시험에 사용되는 Sensor는 Visible staring Sensor로서, 1004×1004의 해상도를 가진 3개의 CCD 카메라(30frame/sec, 10bits/pixel, LVDS interface)이며, Sensor에서 감지된 피사체들은 영상처리장치에서 Vector 감지를 이용한 알고리즘을 통해 항적을 감지한다.

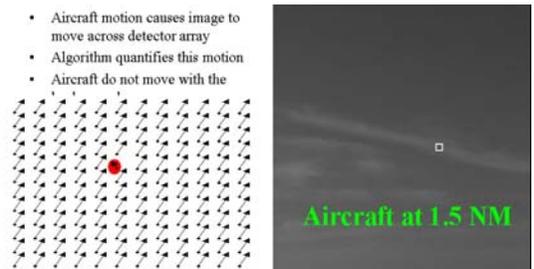


그림 4) 영상처리장치에서 항적을 탐지하는 과정

ATDSS 연구에서는 유인항공기의 탑승 조종사가 항적을 인지하고 최종 회피하는데 까지 요구되는 시간을 기준으로 해석을 통해 무인기의 충돌회피 장치가 자동 또는 반자동으로 회피기동을 하는데 필요한 소요시간을 설계 요건으로 정립해 놓고 있으며, 여러 가지 Case를 설정하여 시험할 예정이다.

비행시험의 Case는 충돌이 예상되는 항적들의 상대 속도와 고도를 기준으로 하며, 또한 회피기동의 수행은 자동 및 수동으로 구분된다. 여기서 수동의 경우 또다시 통신 가시선이 확보되는 LOS(Line of sight) Case와 BLOS(Beyond line of sight 즉, Satellite communication relay) Case로 나누어진다. 그러나 항적의 진로는 Sensor의 특성 상 Nose-on Case만 수행된다.

6) ATDSS : Air Traffic Detection Sensor System

표 5) Predator B Response time

Pilot times(sec) (FAA AC90-48C)		Predator B Times (sec)			
		Type	LOS	BLOS	Auto
Detect	1.1	Detect	0.25		
Declare	5.0	Declare	0.33		
Decide	4.0	Suggest	0.17		
Act	0.4	Comms down	0.25	0.625	0
		Human approval	5.00	5.00	0
		Comms up	0.25	0.625	0
A/C Lag	2.0	A/C Lag	0.10		
Total	12.5	Total	6.35	7.10	0.85

표 5는 일반적인 유인기 조종사가 충돌회피에 소요되는 반응시간과 Predator B 항공기의 자동회피 반응시간의 비교이다. 자동회피의 경우, 사람의 반응시간 및 항적의 감지시간이 단축되어 유인기 탑승 조종사의 Response time인 12.5초보다 훨씬 빠른 0.85초로 나타나있다.

4.2 RADAR-like system을 이용한 충돌 회피 연구 동향

미국은 5년 내에 무인기를 민간 Class A 공역에서 유인기와 함께 비행할 수 있도록 기술적, 제도적 기반을 갖추는 Access 5 계획을 수행하고 있다. 본 계획은 NASA의 ERAST(Environmental research aircraft and sensor technology)가 주축이 되어 수행하고 있으며, ERAST는 민간 공역에서 무인기를 운영 시 충돌회피 장치가 필수적이라는 것을 인식하고, RADAR를 이용한 충돌회피 장치를 연구하고 있다. 이 연구는 NASA의 Dryden 연구소가 Fund를 제공하여, 2002년 3월부터 N.M. 주 Las cruces 비행장에서 비행시험이 진행되었다.



그림 5) Proteus 항공기에 장착된 충돌회피용 RADAR Sensor

현재 수행되고 있는 시험의 주 목적은 RADAR-like system을 이용한 충돌회피 장비의 개발에 있어, 비행 중 근접 항공기와 충돌 회피 기동을 하는 데 적절한 시간을 산정하는 것이다.

비행시험을 위한 Hardware로는 Scaled composite사의 유인 항공기인 Proteus 항공기의 전방에 경량의 Ka-band(35GHz) RADAR인 Amphitech사의 OASys (Obstacle Awareness System)를 장착하고, 비행시험의 방법은 비행 중 다양한 속도 영역을 가진 항공기들을 충돌이 가능한 비행경로로 접근시켜 설정된 알고리즘의 효용성을 증명하는 방식이다. 그림 5는 Proteus 항공기의 Nose에 장착된 OASys RADAR의 형상이며, 그림 6은 비행시험을 하기 위한 Intruder인 F-18과 General aviation 급 항공기의 모습이다.



그림 6) 비행시험 중인 Proteus와 Intruder의 모습

그동안 총 20개의 Case에 대하여 충돌회피 비행시험이 수행되었으며, 다양한 비행영역을 가진 Intruder를 모사하기 위하여 비행시험에는 저속의 무동력 항공기와 General Aviation급 항공기, 그리고 고속의 F-18 항공기 등이 충돌 모사를 위한 Intruder로 사용되었다.

ERAST에서 진행 중인 충돌회피 장치의 Logic은 장착된 항공기와 감지된 Intruder를 중심으로 500ft 직경의 가상 Bubble을 만들어 충돌비행경로로 항적이 접근 시 Bubble이 간섭되지 않도록 하는 방식으로 설정되었다. 또한 충돌회피를 위한 최소 수직 분리 거리는 200ft로 설정되었다.

그동안 수행된 비행시험의 결과는 일부 공개되었으며, 시험 결과, RADAR-like system은 항적의 레이더 반사면적(RADAR Cross section)에 따라 탐지범위가 크게 변화하는 것으로 나타났다. 또한 고속 항적의 정면충돌 시나리오에서는 F-18 항공기를 이용하여 접근속도 610Kts로 설정하여 시험하였으며, 시험결과 F-18 항공기의 큰 레이더 반사면적에도 불구하고 정면충돌의 경우 충돌회피에 충분한 시간이 확보되지 못한 것으로 알려졌다.

4.3 Cooperative system을 이용한 충돌 회피 연구 동향

전자기술의 발달 및 위성항행시스템의 발달로 인하여 항공기의 항법장치 및 항행안전을 위한 감시장치(Surveillance system)들은 많은 발전을 해 왔다. 이에 민간무인기의 충돌회피 장치에 있어서도 이를 응용한 Cooperative system이 활발히 연구되고 있다. Cooperative system은 소형, 경량, 가격, 성능 등 거의 모든 면에서 다른 System들과 차별되어, 민간용 무인기 시스템에서 많은 장점을 가지고 있다. 현재 활발히 연구 중인 Cooperative system 방식의 충돌회피 장비로는 TCAS를 이용한 장비와 ADS-B를 이용한 장비가 있다.

4.3.1 TCAS를 이용한 충돌회피 연구동향

TCAS는 유인항공기의 대표적인 충돌경고 장치로서, 항공기들에 장착된 Transponder의 신호를 이용하여 주위 14NM 이상 범위의 항적에 대한 항공기 정보와 위치정보를 제공한다.

또한 TCAS-II는 항적정보 외에 수직회피기동을 위한 회피지시를 방향 및 안전 상승률/하강률로 제시해 준다.

TCAS는 그동안 많은 경험 및 Database를 바탕으로 수차례에 걸친 소프트웨어 업그레이드로 오작동이 많이 작아지고 신뢰성이 향상되어 왔으며, Mitre의 연구결과에 의하면, FAA인증 TCAS의 경우 NMAC의 가능성을 약 90%까지 줄일 수 있는 것으로 나타났다).

이러한 TCAS의 신뢰성을 바탕으로 무인기의 충돌회피 장치에 대한 적용이 활발히 시험되고 있다.

TCAS를 이용하여 충돌회피 기능을 연구하고 있는 대표적인 곳은 미 공군 산하 연구소인 Battlelab과 NASA ERAST이다. 특히 NASA ERAST의 연구는 TCAS 및 RADAR를 동시에 장착하여 보다 더 신뢰성을 높인 충돌회피 장치를 시험하고 있다.

Battlelab은 상용 TCAS를 충돌회피 장치의 구현을 위해 사용했으며, QF-4 항공기에 장착하여 비행시험을 수행 중에 있다. Battlelab의 경우, 충돌방지를 위한 범위를 반경 500ft, 고도 ±100ft의 실린더로 설정해 놓고 다양한 성능의 비행체와 충돌회피 시험을 수행하고 있다.

시험의 세부 일정 및 내용은 알려져 있지 않으며, 시험과 해석을 병행하여 충돌 위험률(Risk ratio)을 산출하는 방식으로 신뢰성을 검증하고 있다. 그림 7은 Battlelab에서 제시한 자료 중, 지상에 전달된 TCAS 정보의 도시이다. 12시 방향 전방에 상대고도 -200ft의 항적이 있으니 충돌방지를 위해서는 1,500ft/min 이상의 상승률로 상승해야한다는 지시를 나타내고 있다.



그림 7) TCAS를 이용한 충돌회피 장치의 시험정보

4.3.2 ADS-B를 이용한 충돌회피 연구동향

ADS-B는 위성항행시스템의 발달과 더불어 유인기의 항행안전을 위하여 개발되고 있는 새로운 시스템이다.

7) Mitre 97W32

ADS-B(Automatic Dependent Surveillance -Broadcast)는 무선 데이터링크를 통하여 자신들의 위치(일반적으로 항공기에 장착된 GNSS 수신기로부터 얻어진)를 송신한다. 송신되어진 위치 정보는 주변에 있는 모든 항공기 및 지상 관제소에 의해 수신되어지며, 모든 이용자들은 자기 자신의 위치정보와 주위에 있는 항공기의 위치를 알게 된다. 또한 위치정보에 덧붙여서 기타 데이터가 데이터링크를 통해 방송될 수 있으며, 모든 이용자는 이용자들을 식별할 수 있는 항공기 식별과 정확한 항공기 위치, 속도를 알게 되어 효과적이며 안전한 항행안전을 꾀할 수 있게 된다.

ADS-B의 시험 정보는 TCAS와 유사하나 TCAS보다 항적의 위치정보 정확도가 높고 탐지범위가 큰 것이 장점이다.

스웨덴의 감항당국인 SCAA(Swedish Civil Aviation Administration)는 EADS/IAI사의 Eagle 항공기에 ADS-B를 장착하여 원거리 조종사의 IFR 비행 개념으로 2002년에 스웨덴의 민간공항에서 이륙하여 다른 민간 공항으로 착륙을 하는 비행시험을 성공적으로 수행하였다.

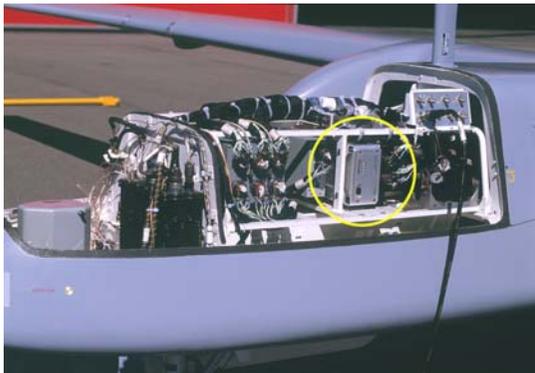


그림 8) Eagle 항공기에 장착된 ADS-B 장치

비행 시험은 2002년 3월 21일에 시작하여 6월 12일에 종료되었으며, 총 6회, 25시간 실시되었다. 시험에 사용된 Eagle 항공기의 기체는 MALE⁸⁾급으로서, 중량은 1,100kg, Link range는 200km 그리고 Endurance는 24+ 시간에 달한다.

시험 시 ATC는 Eagle 무인기를 다른 여타의

유인기와 같은 방법으로 취급하였으며, 시험결과 ADS-B는 신뢰성 있는 위치정보를 항공기들과 ATC에 제공하였고, 공역에서 비행중인 다른 항공기들과 좋은 통합성을 보였다.



그림 9) 스웨덴 Kiruna 공항에서 이륙중인 Eagle 항공기

시험 시 Eagle 무인기는 ADS-B VDLm-4⁹⁾와 일반적인 Garmin사의 ATC transponder를 사용하였으며, 비행시험 중 지상에서는 350km 탐지범위의 지상 레이더로 감시를 하고, 항로상의 다른 항공기들과는 수직 1.5km, 수평 10km의 분리거리를 유지시켰다.

SCAA에서 수행한 비행시험은 자동 충돌회피 기능은 없으며, 정확한 비행체의 위치정보와 항적들의 위치정보를 ATC와 GCS내의 지상 조종사가 감시하며, 인위적인 안전 분리 거리를 비행 중 계속적으로 유지시킨 방법이다. 그러나 본 시험은 민간 공항 및 공역에서 무인기의 통합 운영을 시도한 데 그 의미가 있다.

4.3.3 Cooperative system과 Non-cooperative system의 통합

Cooperative 장비는 신뢰성, 가격, 전천후 운영성 등 다른 장비들에 비해 장점이 많지만, 통일된 공통 장비를 장착한 항공기만 인식이 가능하기 때문에 RADAR와 같은 Non-cooperative system과 동시에 장착하면 상호 보완적으로 보다 더 신뢰성이 높은 충돌회피 장치를 구현할 수 있다.

8) Medium Altitude Long Endurance

9) VHF Digital Link Mode-4

이에 ERAST에서는 Proteus 항공기에 OASys RADAR와 Goodrich사의 Skywatch HP를 통합 장착하여 RADAR-Like system의 시험과 동일한 방식으로 군용기, 글라이더, 초경량 항공기 등 다양한 항공기들과의 충돌회피 비행시험을 실시하였다. 장착된 센서의 성능은 다음과 같다.

표 6) ERAST 센서의 성능

	OASys RADAR (Amphitech)	Skywatch HP (Goodrich)
Field of regard	± 35° azimuth) ± 10° (Elevation)	전 방향
Range	4~ nmi	35 nmi
탐지고도	N/A	± 1,900ft

시험결과 전체적인 항적은 Skywatch HP가 감지해 냈으며, Transponder가 장착이 안 된 비행체는 RADAR가 감지하여 보다 더 효과적인 항적 인식이 가능한 것으로 나타났다.

그림 10은 시험 결과를 3차원 영상으로 분석해 놓은 자료이다. 시험에 사용된 항적은 두 대의 GA급 항공기로서 Beech의 Duchess와 King Air기가 동시에 Head-on 과 Side-on 충돌 경로로 접근하는 Case이다.

그래프에서는 Proteus 항공기가 충돌을 회피하기 위해서 상승중인 모습을 도시하고 있으며, 점으로 표시된 부분은 Proteus 항공기와 항적간의 최단거리 위치를 나타내고 있다.

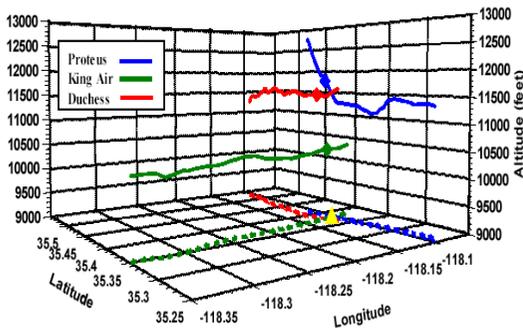


그림 10) 3차원 비행시험 분석결과

Intruder A/C	Closing Speed	Radar Detect	Skywatch Detect	Closest Distance
Duchess	230 kts	4.2 nm	16 nm	3,600 ft
King air	110 kts	2.9 nm	12 nm	4,950 ft

5. 결론

현재 무인기의 충돌회피 기술은 초기 단계로, 현 기술로서 적용 가능한 방법은 ATC의 도움과 비행체에 장착된 EO Camera를 이용하여 지상의 원거리 조종사가 항적과 충돌의 위험이 발생하지 않도록 비행하는 것이며, 가까운 미래에는 TCAS 및 RADAR 등 유인기에서 일반화 된 장비들을 이용하여 충돌회피를 위한 자동/수동 비행을 하는 기술이 일반화 될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 미래에는 일반 공역에서 유인기의 항행안전을 위한 위성 항법시스템이 일반화 될 것으로 예상되며, 그때에는 표준화 된 ADS-B 장비를 이용하여 보다 더 효과적이며, 안전한 충돌회피 기술이 보편화 될 수 있을 것으로 판단된다. 표 7은 충돌회피 기술의 발전추세를 나타내고 있다.

아직까지 우리나라 및 외국에서도 일반공역에서 민간 무인기를 자유롭게 운영하도록 하는 법제도를 갖추고 있는 나라는 없다.

그러나 무인기의 신뢰도가 상승되고, 다양한 임무 수행이 가능한 기술들이 보편화 되는 시점에서는 운영비, 운영의 용이성 등 무인기의 많은 장점으로 인하여 우리나라에서도 그 수요가 급증하는 시점이 도래될 것으로 예상된다. 이를 위해서는 신뢰성 있는 충돌회피 기술의 개발이 필수적이며, 또한 이를 체계적으로 인증할 수 있는 인증기술 개발과 관련 제도도 마련되어야 한다.

무인기의 충돌회피 기술은 전 세계적으로 초기 단계이며, 타 분야에도 그 파급효과가 크기 때문에 우리나라도 최근 개발 중인 민간 무인기와 함께 신뢰성 있는 충돌회피 기술의 자체 개발을 통한 선행기술의 확보가 필요할 것으로 판단된다.

아울러 국내 공역에서 무인기의 일상적인 비행을 가능하게 하는 법제도 및 신기술에 대한 신뢰

성 검증기술과 인증기준의 개발에도 기술개발과 동시에 투자가 수반되어야 할 것으로 판단된다.

표 7) 충돌회피 기술의 발전 추세

분 류	적용기술
· 재	- EO. Camera - External lights - Voice relay to ATC - IFF - (TCAS)
· 가까운 미래	- Active RADAR + TCAS
· 래	- ADS-B

참고문헌

1. NASA ERAST, "HALE Certification & regulatory roadmap", 2002
2. 2003 TAAC UAV Conference, "Conference presentation", 2003
3. UVS TECH 2003, "Conference presentation", 2003
4. FAA P-8740-51 "How to avoid a midair collision"
5. FAA AC 90-48C "Pilot's role in collision avoidance"