

# 유럽의 무인항공기 충돌회피 연구 (MIDCAS)

## EU MIDCAS Project for UAS DAA

성기정\*, 안석민\*

### Abstract

This paper is written about the UAS DAA(Detect and Avoidance) of EU MIDCAS project. This project has been performed from 2009 to 2014. The main mission of this project was supporting the certification agency which is ICAO, EASA, and so on. The result of this project would be the base of the UAS operation regulation in the non segregated airspace. UAS usage demand is expanding rapidly, so we also start the development of the regulation, the research of SAA technologies and LRU.

## 1. 서 론

무인항공기의 수요는 사회적으로 급격히 증가하고 있다. 그러나 이러한 수요의 대부분은 무인기의 공역운용이 요구되나, 현재로는 관련법규 등의 미비로 제한된 특별허가구역에서만 무인기 운용이 가능하다. 그러므로 무인기의 공역운용이 가능하게 하기 위한 연구 및 법제화 노력이 전 세계적으로 진행되고 있다.

무인기가 공역에서 운용가능하기 위해서는 여러 가지 기술이 필요하나 가장 핵심적으로 선결될 기술이 유인기에 준하는 충돌회피 기술이다. 현재 공역은 유인기를 기준으로 운용되고 있으며, 아프가니스탄 같은 분쟁지역에서 군 무인기가 같이 운용되었었지만 무인기와 유인기의 충돌사고가 발생했었고 이는 민항기의 대형사고로 이어질 수도 있기 때문이다.

무인기의 공역통합 법제화는 ICAO, FAA, EASA등이 이미 2008년부터 노력하고 있으며, 공중충돌회피와 관련된 연구로는 미국의 NASA, MITRE, NDU에서 진행한 LD-CAP(Limited Deployment-Cooperative Airspace Project)와 EASA의 MIDCAS Project가 대표적이다.

## 2. 본 론

### 2.1 MIDCAS 프로젝트 소개

MIDCAS 프로젝트는 무인항공기의 공중충돌회피와 관련된 EASA, ICAO등 인증기관들의 무인항공기 공중충돌회피 규정 제정을 지원하기 위하여 2009년부터 2014년까지 유럽 5개국 11개기관이 약 5,000만유로를 투입하여 수행한 과제이다.

주요 연구주제로는

- Detect & Avoid 표준 개발
  - 시뮬레이터 시험을 통한 일반적 D&A 기능설계
  - 유인기 및 무인기 비행시험을 통한 시험기 개발
- 이였으며, 주요업무로는
- 표준화 기관에서 활용할 수 있는 보고서 및 논문 발표
  - EASA WG73 지원
  - JARUS와 ICAO 무인기 연구그룹 지원
  - EASA, Eurocontrol과 CAA 인증 당국 자문
  - 유럽의 RPAS Roadmap 제정 지원
  - SC-203/228과 정보교환

을 수행하였다.

프로젝트 목표는 모든 무인항공기에 적용 가능한 범용 장비로 다음과 같은 범위로 국한하였다.

- IFR 비행에 적용가능
- MTOW 150kg급 이상
- 모든 공역 적용
- 주야간 비행
- Enroute 비행 가능
- 고도 3000ft 이상 적용
- 시계 및 계기비행 조건

그러므로 다음과 같은 조건은 개발내용에서 제외하였다.

- 지상 충돌회피
  - 악기상 회피
  - 3,000ft 이하, 지상, 공항근처 운항
    - : 지상 운용
    - : 이착륙, 이륙 후 상승, 최종 강하
  - 스텔스기, 고기동 목적 특수 항공기, 낙하산 및 자유낙하
    - 회전익 정지비행 및 횡비행
    - 관제기관에서 위임한 자체 회피 기능
    - 시계비행 중
      - : 시계비행조건 유지
      - : 구름과의 거리 유지
- 비행시험은
- 5가지 센서 기술 시험
  - 지상시험
  - CASA C-212 적용 및 비행시험
  - Sky-Y 적용 및 비행시험
- 으로 구분하여 수행되었다.

주요요구조건으로는

- 안전도 TLS : 대형항공기  $\leq 10^{-9}$  /fh, 기타 항공기  $\leq 10^{-7}$  /fh
    - 공역상의 타 항공기 안전도를 해치지 않을 것
    - 무인조종사에게 비정상 기동제안 횟수  $\leq 0.5$ /fh
    - 비정상기동에 의한 ATC 업무량 증가 횟수  $\leq 1E-3$ /fh
      - 기존 ATM에 대한 영향을 최소화
      - ACAS와 호환
      - D&A 장착 무인기간의 자동 호환성
      - 기존의 공역규칙과의 호환성
      - 비협력적 침입기와의 충돌위험 감소
- 이 설정되었다.

## 2.2 공중충돌회피 운용개념

과제를 수행하면서 운용개념은 여러번의 수정과정을 거쳐 4차년도에 기본틀이 확정되었다. 운용개념에는 전 세계에 적용하기 위하여 ICAO Annex 2에 정의된 Rule of the Air (10번째개정판)을 준수한다고 명시되어 있으며, 유인기의 See and Avoid 요구에 준하는 무인기의 Sense & Avoid 기능이 필수적이라고 기술하고 있다.

현재 ICAO PANS-ATM에 기술되어 있는 유인항공기 관제 수직 분리거리는 FL 290이하에서는 일반적으로 300m(1,000ft) FL 290 이상에서는 600m(2,000ft) 이다. 일부 지정된 공역에서는 FL 410이 기준이 되기도 한다. 수평분리거리의 경우 더욱 복잡해서 15분 20NM에서 80NM까지 적용하기도 하는데, 공항근처에서는 훨씬 축소되며, 어떤 모드에서는 3NM까지 축소 적용하기도 한다. 활주로와 평행한 접근시에는 2NM 이하까지 적용하기도 한다.

유인항공기의 충돌방지 운용개념은 1차적으로는 관제사와 조종사 책임 하에 비행계획단계, 2차적으로는 관제구역내에서는 관제사의 분리요구 비 관제구역에서는 조종사에 의해 분리가 이루어지며, 최종적인 충돌회피는 관제구역여부를 따지지 않고 조종사 책임으로 규정하고 있다.

유인항공기는 충돌방지 시스템으로 ACAS(Airborne Collision Avoidance System)와 TCAS(Traffic Alert and Collision Avoidance System)을 사용하고 있다.

ACAS는 관제소가 제공하는 지상시설과는 독립적으로 항공기 항법장비의 자율기능으로 구현되어 있다. ACAS 작동은 TAs(Traffic Advisories)를 통해 조종사가 침입기를 탐색할 수 있도록 돕는 기능과 침입기로부터 분리거리를 증가시키거나 유지시키는 기동을 제시하는 RAs(Resolution Advisories)이 있다. ACAS는 TAs만을 제공하는 ACAS I, TAs와 수직방향 RAs를 제공하는 ACAS II, TAs와 수직 수평방향 RAs를 제공하는 ACAS III가 있으나, ACAS III는 아직 의무장착 장비가 아니다. ACAS I과 ACAS II만 5700kg 이상 또는 19인승 이상 항공기에 의무 장착하고 있다.

TCAS는 ICAO ACAS 기준에 적합하도록 제작한 장비로 항공기 항법장비와는 무관하고 지상의

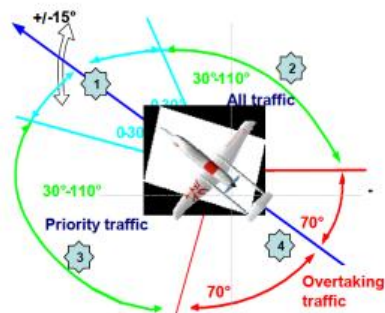
관제지원장비와 연동하여 동작하는 충돌방지시스템이다.

무인항공기가 갖추어야 할 공중충돌회피 기능으로는

- 침입기 탐색능력
  - 자체 분리 보조기능
  - 충돌회피 기능
  - 조종사에게 주변항공기 상황정보 제공
  - 탐지된 침입기의 우선순위 구분
- 이 필요하다.

또한 개발 시 고려사항으로는 기존의 공역운영 환경을 고려하여

- 모든 공역에서 운영 가능
- ACAS와 호환
- 협력적, 비협력적 침입기 대상 충돌회피
- 기존 법규와 호환
- 기존 ATM에 대한 영향 최소화



탐지영역	회피 방식
1	우측회피
2	우측회피
3	우선권 동일시 항로 유지
4	항로 유지, 침입기 우측 추월

그림 1 Rule of the Air (ROA)

충돌회피시스템은 충돌회피 기동 및 조종사에게 정보제공, 분리기동을 위한 주변항공기 우선순위 및 경로 정보 제공, 분리거리내에 있지 않는 감지된 항공기에 대한 정보를 제공해야 한다.

충돌회피 경로구성 시 그림 1에 표현된 ROA를 고려해야 한다. 이와 같은 요구조건에서 최소 탐지범위는 좌우  $\pm 110^\circ$ , 상하  $\pm 15^\circ$ 가 되어야 한다.

관제사가 관리하는 관제공역에서는 분리유지를 위하여 관제사의 지시에 따라야 하며, 관제사가 관리하지 않는 공역에서는 자체적으로 분리하기 위하여 무인항공기 조종사에게 분리 경로를 제공해야 한다.

회피 후 경로회복은 조종사의 승인 하에 이루어져야 하며, 통신두절과 같은 상황에서는 탑재된 FCC가 판단할 수 있도록 하여 경로회복을 하거나 통신두절 비상절차에 따를 수 있도록 해야 한다.

## 2.3 충돌회피 절차

Eurocontrol의 SPEC-0102에 정의된 무인항공기의 타 항공기와의 최소 분리 유지 거리는 수평으로 0.5NM, 수직 500ft이다.

분리시작 시점은 시간을 기준으로 정의되어야 하기 때문에 무인항공기와 침입기의 속도, 가속도 등 성능에 따라 이격거리가 달라진다. 분리기동은 충돌회피 시스템이 조종사에게 분리회피 궤적 및 기동을 제시하고, 조종사의 승인 조작 후 수동 또는 자동으로 시행되어야 한다.

TCAS를 고려했을 때 분리거리는

- 30km : TCAS 장착된 협력적 침입기 경우
- 16km : TCAS 미장착 협력적 침입기 경우
- 10km : 비협력적 침입기

로 설정하였다.

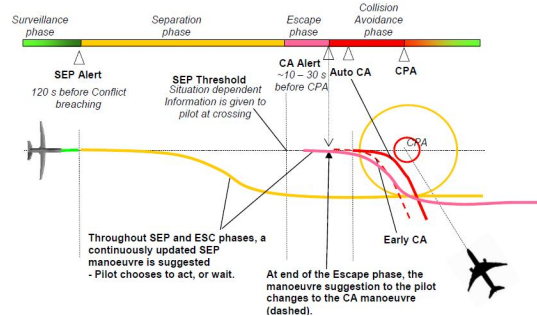


그림 2 시간기준 분리 절차 개념도

충돌에 준하는 유사접근거리는 10회 발생시 1회의 실제 충돌사고가 발생할 수 있는 확률을 가지는 거리로 정의되는데 Eurocontrol의 CAUSE 연구에 의하면 수평으로 500ft, 수직으로 100ft라고 분석되고 있다. 그러므로 충돌보호영역 형상을 초기에는

- 반경 500ft 원 단면의 수직으로 200ft의 실린더 형상
  - 수평반경 500ft, 수직반경 130ft의 구형형상
  - 무인항공기 및 침입기가 큰 경우에는 더 크게 추후 정의
- 세 가지로 적용하기로 하였다.

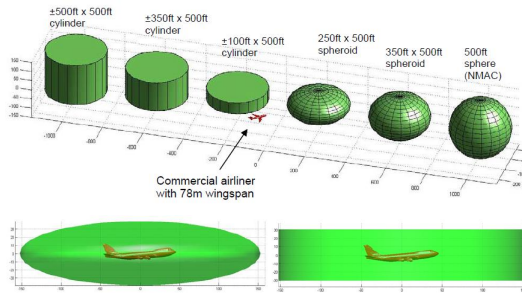


그림 3 충돌보호영역 비교

이러한 충돌보호영역을 침입하지 않기 위하여 충돌회피를 해야 하는 최소거리의 항공기들의 상대속도, 상대가속도, 접근모양, 탐지상태의 불확실성 및 회피무인항공기의 기동능력 등에 의해 변경되게 된다.

이러한 충돌회피 기동을 시작하기 전에 충돌회피시스템은 주변의 항공기들의 위험도를 분석하여 지상통제시스템에 표시함으로써 조종사가 충돌회피 기동이 발생할 것을 예측할 수 있도록 해야 한다. 또한 통신두절 시에도 회피기동을 할 수 있도록 탐재시스템에 의해 기능이 구현되어야 한다. 회복기동은 조종사에 승인 하에 작동하도록 구현해야 하나, 통신두절 시에는 자동적으로 회복해야 하고, 일정시간 이상 경과 후에도 자동적으로 경로를 회복하도록 해야 한다.

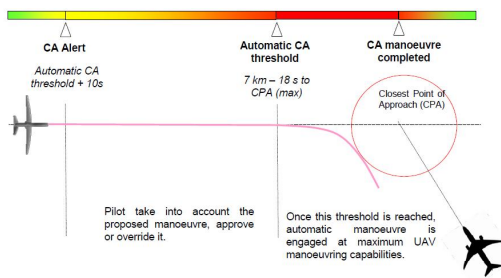


그림 4 충돌회피절차 개념도

충돌회피시스템은 주변상황표시, 혼잡정보, 자체 분리 제시, 충돌회피 능력이 있어야 한다. 또한 충돌회피 기동 중에도 조종사에 의해 기동이 취소할 수 있어야 한다. 센서의 종류는 조종사가 선택할 수 있어야 한다. 관제구역에 진입 시에는 조종사에 의해 자체 분리 기능이 해지될 수 있어야 한다. 충돌회피시스템은 지상통제시스템의 이상등이 예견되는 등 어떠한 이유에 의해 조종사가 충돌회피시스템 자체적으로 완전 자동으로 작동할 수 있도록 할 수 있어야 한다.

충돌회피시스템은 센서 등 자체 고장이나 성능저하, 무인항공기의 추력저하 등 고장이나 성능저하 시 이를 지상통제시스템에 표시하고, 이러한 이상에 대한 대책도 고려해야 한다.

항공기의 엔진이 정지한 경우 ROA에 의하여 최고 우선순위 항공기가 되므로, 분리는 관제사에 의해 타 항공기들이 수행하므로, 분리기능은 동작하지 않아야 하고, 충돌회피 기능도 전방  $\pm 30^\circ$ 의 충돌위험에만 동작하도록 해야 한다. 또한 통신두절시 귀환모드에도 최우선 순위 항공기가 되어야 하고, 이를 비 관제구역에서도 타 항공기가 알 수 있도록 트랜스폰더 코드 변경방송 기능과 음성통신 전달기능이나 방송기능이 있어야 한다. 또한 엔진정지 등으로 전기 공급기능 저하 시에도 충돌회피시스템은 정상 동작해야 한다.

## 2.4 충돌회피 센서

충돌회피를 위해서 가장 중요한 기술중의 하나가 센서일 것이다. 센서의 탐지 능력에 따라 충돌회피 알고리즘이 많은 제약을 받거나 변경되어야 하기 때문이다.

MIDCAS 프로젝트에서는 그림 5와 같이 독립적 탐지 센서로 레이더와, 열상카메라, 광학카메라 3종을 사용하였고 다음과 같은 특성을 가지고 있다.



그림 5 독립적 탐지 센서

X-band 레이더를 사용하였는데, 2가지 반송파

작동이 가능하다. 장거리 고속접근 물체 탐지용으로는 지속적 반송파를 사용하고, 저속접근 물체는 펄스형 반송파를 사용하고 있으며, 최대 탐지거리는 5NM이다.

광학카메라는 3개 이상의 흑백 카메라를 사용하여 수평으로  $220^\circ$ , 수직으로  $30^\circ$ 의 탐지각도를 갖게 하여 탐지각 요구조건을 만족시켰다. 시험결과에 의하면 안정적 추적은 7km~15km까지 가능한 것으로 시험되었고, 정확도는 수평 1.3mrad, 수직 2.5mrad인 결과를 얻었다.

열상카메라는 분산형 비냉각식 IRNR 카메라 6대를 사용하여 시야각 요구조건을 만족시켰다.

협업적 센서로는 Mode A/C/S 트랜스폰더와 ADS-B 수신기를 사용하였다.

이러한 장비는 그림 6과 같이 SKY-Y 무인항공기 전방부에 장착되어 비행시험을 수행하였다.

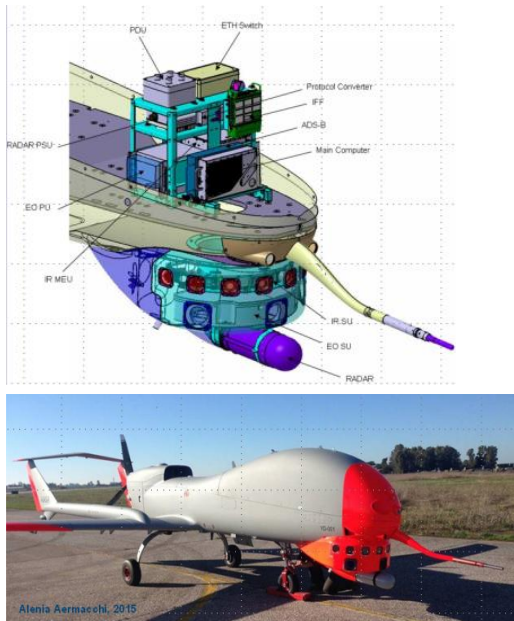


그림 6 센서장착 형상 및 SKY-Y 무인항공기

## 2.5 비행시험

비행시험은 Sky-Y 무인항공기를 활용하였다. 최초의 비행시험은 2013년 4월 24일 스페인 San Javier 공군기지에서 6시간 동안 이루어졌다. 107개의 시나리오를 총 10회 비행시험을 수행하였다고, 총 비행시간은 20시간이 소요되었다. 비행시험 시 안전을 고려하여 충돌회피 보호영역을 3배로 유지하였으며, 가시탐지거리로는 1NM

이상을 유지하였다. 수직안전고도는 300ft이상을 유지하였으며, 동일 고도비행을 통하여 시험기와 침입기간의 기압고도계를 동기화시켰다.

## 3. 결 론

무인항공기의 기술발전과 장점 때문에 무인항공기의 수요는 급격히 요구되고 있다. 이를 충족시키기 위해서는 공역운용이 필수적이며, 이러한 공역운용을 위해 해결되어야 할 여러기술 중에 충돌회피기술이 가장 핵심적으로 선결되어야 할 것으로 인지되어, 미국, 유럽을 비롯한 선진국에서는 이러한 연구들이 수행되거나 이미 수행되었다.

이러한 연구 중 2014년에 종료된 유럽의 MIDCAS 연구에 대하여 살펴보았으며, 이를 통해 국내 관련연구에도 도움이 되기를 바라고 본 논문을 발표하게 되었다. MIDCAS 연구는 운용개념 수립부터 시뮬레이션과 비행시험까지 수행하여 실질적인 연구 성과를 얻었으며, 이는 관련법규제정에 많은 부분이 반영될 것으로 전망된다.

## 참고문헌

- [1] J. Farjon, S. Sellem-Delmar, "MID-air Collision Avoidance System (MIDCAS) Concept of Operations (CONOPS)", MIDCAS Workshop 4, 2012
- [2] Johan Pellebergs, "MIDCAS-Project Update", MIDCAS Workshop 6, 2015
- [3] Sagem, "MIDCAS Workshop 6 CONOPS Update", MIDCAS Workshop 6, 2015
- [4] Julien Farjon, "MIDCAS Workshop 6 Non Cooperative Sense", MIDCAS Workshop 6, 2015
- [5] "MIDCAS Workshop 6 Cooperative Sense", MIDCAS Workshop 6, 2015
- [6] "MIDCAS Workshop 6 UAS Flight Test Campaign", MIDCAS Workshop 6, 2015