



# 다변측정(Multilateration) 항공감시 시스템 기술동향



이경용 해양항공통신 실무반(WG 9032) 부의장  
한국항공안전산업연구원 원장

## 1. 머리말

하늘길!

우리나라의 항공분야 일일교통량은 매년 7.4%씩 계속 증가하고 있고, 일일평균 1,507건을 처리하고 있다. 이러한 항공교통량의 급속한 증가를 사전 대비하기 위하여 1980년대 초 민간항공 부분에서는 기존의 항행안전시설로는 미래의 항공 교통량을 수용하기 어렵다는 우려가 제기되기 시작하였다. 따라서 국제민간항공기구(ICAO)는 1983년에 미래항공항법시스템(FANS)연구를 위한 특별위원회를 설치하여 21세기 지속적으로 증가하는 항공교통량에 대비하기 위한 새로운 개념의 항행안전시스템에 대한 연구를 시작하였다.

그 결과 1991년도에 CNS/ATM(Communication, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management)의 개념을 정립하고, 1992년 국제민간항공기구(ICAO) 제29차 총회에서 CNS/ATM을

국제표준항행시설로 승인하고 2010년 이후 국제표준 시스템으로 전환운용계획을 수립하였다. 현재 항행 안전시설의 변화가 진행되고 있으나 전환에 대한 각국의 이해관계와 신기술을 적용하기 위한 안전성 검증 및 운용절차 수립에 어려움으로 인하여 당초 계획 적용은 상당히 지연되고 있는 상황이다. 항공감시는 지상감시(Ground Surveillance)인 공항감시레이더(ASR, Airport Surveillance Radar), 이차감시레이더(SSR, Secondary Surveillance Radar), 지상감시레이더(ASDE, Airport Surface Detective Equipment)를 사용하고 있다. 이러한 레이더시스템은 설치/유지보수에 인력과 비용이 많이 소요되며, 거리와 방위각의 오차로 인하여 정밀도가 낮다는 단점이 있다.

그래서 CNS/ATM 체제에서는 증가하는 항공교통량을 원활히 처리하기 위해 정밀도가 우수하고

설치/유지보수비가 적게 소요되는 자동종속감시-방송(ADS-B, Automatic Dependant Surveillance-Broadcast)을 기본적인 감시장비로 선정하였다. 이 ADS-B는 항공기에 탑재되어있는 GNSS(Global Navigation Satellite System) 항법장치의 위치를 트랜스폰더 또는 ADS-B 송신기로 송출, 주변사용자가 수신하여 이 위치를 사용케 하는데, 2000년대 초에 GPS 안전성에 대한 문제가 제기되면서 현재 ADS-B를 지상감시로 활용할 경우에는 ADS-B 데이터의 신빙성을 검증할 수 있는 장비와 함께 사용할 것을 권고하고 있다. 따라서 이와 같은 환경 변화에 따라 현재 전 세계적으로 ADS-B의 대안기술 및 ADS-B 데이터 신빙성 검증장비로 MLAT 시스템이 각광받고 있다.

MLAT는 항공기에 탑재되어 있는 트랜스폰더에서 송출되는 Mode A, C, S는 물론 1090ES(ADS-B) 신호를 지상의 여러 개의 수신기로 수신하여 항공기를 탐지하고 위치를 계산하는 장비이다. MLAT는 ADS-B 수준의 위치정밀도를 갖고 있으면서도, ADS-B와 달리 독립적으로 표적으로 위치를 계산할 수 있고, SSR에 비해 표적위치갱신주기가 짧고 설치/유지보수비도 적게 소요되어 미래의 주감시장비로 자리매김할 것이 확실시된다.

## 2. 지상감시 시스템

항공감시는 안전하고 효율적인 항공기 운항을 위해 항공기, 이동체, 기상, 공역상태정보, 지형 및 방해물 정보를 탐지, 추적, 식별 및 관측 하는 것을 의미한다.

이러한 감시정보는 조종사와 관제사에게 교통상황 인식을 향상시켜 원활한 항공 교통의 흐름을 통제하고 정확한 항공기 분리 관제를 가능케 한다.

일반적인 감시수단으로는 음성, 육안, 레이더, 영상, 레이저, 데이터링크, 지형/지도 데이터베이스 등이 있지만, 현재까지는 주로 레이더를 이용한 감시방법을 사용하고 있다. 항공감시시스템은 크게 조종사에게 교통상황 인식을 향상시키기 위한 기상 감시시스템과 관제사들의 교통상황 인식을 향상시키기 위한 지상감시시스템으로 분류할 수 있다. 감시 센서는 항공기 탑재장비, GPS 수신기에서 측정된 위치를 데이터링크를 통해 지상 또는 타항공기로 전송하는 방식으로 ADS-B, ADS-C(Automatic Dependant surveillance-Contract)가 대표적이다. 항공교통 감시에서 요구되는 감시성능지표는 정밀도, 가용성, 무결성, 지연, 갱신을, 연속성 및 운용범위로 구성된다.

### 2.1 레이더 기반감시

항공 감시용으로 사용되는 레이더는 지상레이더 안테나에서 방출되는 전자파가 항공기나 물체에 표면에 부딪혀 반사되는 반사파를 수신하여 표적을 획득하는 ASR과 항공기에 이 신호를 획득하여 트랜스폰더로 전송되는 ID와 기압고도와 SSR에서 측정된 거리와 방위각으로 표적을 추출하는 SSR이 현재 주로 운영되고 있다.

ASR은 고출력 펄스바를 송출한 후 항공기에 반사되어 오는 반사파로부터 거리와 방위각을 측정한다. 따라서 표적을 식별하지 못하고 고도도 측정하지 못한다. 그리고 항공기 이외의 물체, 즉 클러터도 표적 인식할 가능성이 높을 뿐만 아니라 잡음이나 외부 간섭에 취약한 단점이 있다.

그렇지만 현재 공항감시용으로 활용 중인 장비 중에서 미확인 비행체나 침입물체를 탐지할 수 있는 유일한 시스템으로 향후에도 계속 사용될 것으로 전망된다.

SSR은 지상에 설치된 질문기와 수신기 부분과 항공기에 탑재된 트랜스폰더로 구성되는데, 탑재 트랜스폰더는 지상 질문에 응답신호를 송출하고 지상에서는 질문 송출에서 응답신호수신까지의 시간차로부터 거리를 계산하고 안테나 방위각을 측정하여 2차원 위치를 측정한다.

Mode-A, C 트랜스폰더를 장착한 항공기의 경우 Mode-A(항공기 ID) 코드로 항공기를 식별하고 고도정보는 Mode-C(기압 고도) 코드가 포함된 다운링크 프레임에서 구한다. 그렇지만 Mode-A, C 트랜스폰더를 장착한 두 항공기가 인접해 있으면 동시에 응답하여 상호 간섭을 일으키는 Gabbling 현상, 다른 SSR에 의한 응답 신호로 인해 오탐지가 발생하는 FRUIT 현상과 같은 문제점이 발생할 수 있다.

이를 해결하기 위해서 개발된 기술이 SSR/Mode-S로 항공기에 24비트 주소를 할당하여 질문 신호에 항공기 주소를 추가하여 질문함으로 해당되는 항공기만 응답함으로써 Garbling과 FRUIT 현상을 제거할 수 있다. 물론 응답신호에도 항공기의 주소가 추가되어 이를 항공기 식별자(ID)로 사용한다.

Mode-S는 24비트 ID와 비행번호만 전송하는, ELS(Elementary Surveillance), 비행 상태 벡터까지 전송하는 EHS(Enhanced Surveillance)와 질문기에 동기되지 않고 항공기 위치정보를 랜덤하게 방송하는 ES(Extended Squitter)로 발전되어 왔다. 여기서 SSR/Mode-S ES를 일반적으로 1090ES라고 일컫고 이를 ADS-B 신호로 활용된다.

### 2.1.1 자동종속감시(ADS)

자동종속감시(ADS)는 조종사의 관여없이 자동으로 항공기 내에서 자신의 위치를 비롯한 상태정보를 보고하는 것으로 공대지 데이터링크를 통해 접속된 지상 관제국에 전송하는 ADS-C(Contract)와

방송으로 보고하는 ADS-B가 있다. ADS-C는 1980년대의 FANS 1/A 시스템의 기본 기능으로 사용되었으며, 현재에는 주로 지상감시시설이 구축되지 않은 대양이나 원격지에서 계속 사용되고 있다.

특히, ADS-B는 기존레이더에 의존하던 감시기능을 데이터링크를 이용해 구현하는 시스템으로 감시정밀도, 자료갱신을, 설치/유지비에서 매우 우수한 장점을 가지고 있어 CNS/ATM의 혁신적인 기능으로 각광받았다.

그러나 ADS-B는 궁극적으로 GPS 위치정보에 의존하므로 GNSS 시스템의 오류, 재밍(Jamming), 기만(Spoofing) 등으로 잘못된 위치정보를 방송할 경우에는 항공 안전에 치명적인 결과를 가져올 수 있으므로, ADS-B 시스템을 보조하고 정보의 신빙성을 검증할 수 있는 독립형 보조시스템이 요구되는데, 이 시스템으로는 SSR과 MLAT를 운영할 수 있다.

#### 2.1.1.1 다변측정 항공감시(MLAT) 시스템

MLAT는 쌍곡선(hyperbola) 또는 쌍곡면(hyperboloid) 위치 측정법을 이용하여 SSR/Mode-S 트랜스폰더에 출력되는 응답 신호를 4개(3개일 경우 2차원 위치계산가능) 이상의 수신기에서 상호 간의 도래시간차(TDOA, Time Difference of Arrival)를 측정하여 항공기의 위치를 측정한다. 계산원리는 하나의 수신기를 기준 수신기로 설정한다면, 이를 기준으로 나머지 수신기에 도착하는 TDOA를 계산한다.

이 TDOA는 수신 간의 거리차로 볼 수 있으며 일정 크기의 거리차를 갖는 3개의 쌍곡면을 구할 수 있고, 이들이 만난 점이 항공기의 위치가 된다. 그런데 실제 시스템에서는 TDOA에 잡음이 추가되어 오차가 발생함으로 수신기가 많을수록, 수신기의 배치가 고르게 분포되어 있을수록 정밀한 위치를 계산할 수 있다.

현재 MLAT는 항공기 트랜스폰더에서 송출되는, 모드 A, C, S 및 1090ES(ADS-B) 신호를 수신하여 위치를 파악할 수 있으며, 특히 1090ES는 ADS-B 신호로 독립적인 위치계산과 항공기에서 송신되는 위치를 동시에 획득할 수 있으며, 이를 통해 ADS-B 자료의 신빙성을 검증할 수 있는 장점까지 가지고 있다.

### 3. MLAT 시스템의 해외개발 동향

미국의 경우, MLAT 시스템의 최초 개발은, 1970년대 초 미국의 Bendix사에서 공항감시를 위해 2개의 좁은 전자스캔빔 질분기와 트랜스폰더 응답을 3개의 수신기를 이용하여 항공기 위치를 측정하는 것이다.

이후 1980년도에 Cardion사에서 'Squitter Package'를 추가한 ATCRBS 트랜스폰더를 이용한 다변 측정감시의 군용시스템을 개발하였으나 실제 사용하지 못하였다.

1992~1997년에 FAA, NASA, MIT Lincoln Lab 공동으로 공항지면감시 MLAT 실현 가능성 시험을 수행하였다. Cardion사의 새로운 MLAT 시스템을 애틀란타 Hartsfield 공항에 설치하여 운용반경, 공항 지면 성능분석과 PRM에 대한 시험을 하였다.

1998~2000년도에 FAA에서 델리스 Fort Worth 공항에 ATIDS(Airport Target IDentification System)으로 Sensis사의 MLAT를 설치하여 시스템 요구조건 설정과 검증에 위한 시험평가를 수행하였다. 2001~2005년도에 NASA 주관으로 HITS(Helicopter In-Flight Track System)라는 R&D 프로그램으로 멕시코만의 유정 플랫폼에 운용하는 저고도 헬리콥터 감시를 위한 Sensis사의 WAM을 설치하여 시험평가를 수행하였다.

혼잡한 공항의 경우에 활주로 및 유도로 지역에서의 많은 충돌 위험이 잠재되어 있어 이를 개선하

고자 ASDE-X를 설치하여 운영하고 있다.

그리고 최근에는 FAA 주관으로, 2009년부터 1090ES와 UAT가 통합된 WAM 시스템을 개발하고 있다.

유럽의 경우, 프라하 Ruzyně 국제공항에 체코의 ERA사의 공항 지면 LAM 시스템을 설치하여 1999년부터 감시 장비로 활용하고 있고, 레이더 감시 사각 지역인 체코 Ostrova TMA에 WAM을 설치하여 80Nm부터 공항까지의 운영에 있어 시스템의 안전성과 정밀도에 대해 3Nm 터미널 교통 분리 인증을 2002년에 민간항공국(CAA)으로부터 획득함으로써 체코의 ANS(Air Navigation Services)가 세계 최초 LAM과 WAM 운용승인을 허가하였다.

한편 Eurocontrol에서는 오스트리아의 Innsbruck 계곡과 체코 Ostrova, 남아공의 Cape Town에 설치된 WAM을 기반으로 3Nm(TMA)/5Nm(항로), 항공기 분리에 대한 안전성 평가를 2007년에 완료하였고 'SESAR' 프로그램에서의 공항, 항로 및 터미널 지역의 MLAT를 포함한 감시장비 구축전략을 수립하여 현재 구축 중에 있다.

### 4. MLAT 시스템의 국내개발 동향

CNS/ATM 체제에서 감시 장비는 ADS-B에서 급격하게 MLAT 시스템으로 변화되면서 국내에서도 제2 롯데월드 건설과 관련하여 서울공항의 항공기 운항 안전성을 높이기 위해 MLAT를 이미 설치하여 운용 중에 있다.

그리고 국토교통부에서는 급변하는 국제적인 항행 안전시설의 환경변화와 관련 기술 발전에 원활히 대응하고 차세대 항행 안전시설의 연구개발을 체계적으로 추진하기 위해 다양한 지원정책을 수행하여 왔으며, 특히 본격적인 R&D 연구개발사업을 통해

국내 핵심기술 확보를 위해 ‘차세대 항행안전기술연구개발 로드맵 수립’ 기획 연구를 시행하여 MLAT 시스템 개발을 로드맵에 등록하였다. 그리고 2012년에 MLAT 개발을 위한 세부 연구개발기획을 수행하였다.

한편 국토교통부가 수립한 항행안전시설 구축·관리 중장기종합계획(2011년 6월)에 의하면, MLAT의 차세대 감시 시스템을 도입하여 기존 레이더 장애 시 예비 시스템 및 저고도 운항 항공기 미탐지 구역 해소용으로 2020년까지 연차적으로 구축하여 기존 레이더와 융합 운용할 계획을 가지고 있다.

## 5. MLAT 시스템의 활용분야

MLAT는 기존에 항공기에 탑재되어 있는 트랜스폰더의 송출 신호를 지상에 설치된 다수의 수신기로 수신시간의 도래시간차(TDOA)를 추정하여 정밀한 위치정보를 계산할 수 있다. 따라서 항공기 탑재 장비의 추가 장착이 필요하지 않아 기존 시스템과의 호환성이 우수하다.

MLAT는 SSR에 비해 데이터 갱신율이 높고 정밀한 3차원 위치 정보측정이 가능하고, 장비의 신뢰성이 우수한 장점을 가지고 있으며 단점으로는 다수의 수신기를 넓은 범위에 설치해야 한다는 것이다.

그리고 ADS-B에 비해서는 독립적인 위치 계산이 가능하고 ADS-B 신호수신이 가능하여 ADS-B 자료의 신빙성 검증이 용이하지만 ADS-B 시스템에 비해 시스템이 복잡하고 고가이다.

MLAT는 ADS-B의 안전성 문제가 대두되면서 대안기술로 각광 받고 있을 뿐만 아니라 정밀감시 등으로도 활용이 가능하여 전 세계적으로 빠르게 도입이 추진되고 있다. 국내에서도 성남공항을 비롯하여 인천국제공항, 김포공항 등에서 도입을 추진

하고 있어 시급한 국내기술개발이 요구된다. MLAT의 활용분야는 공항이동지역감시용, 접근 및 항로감시용, 수직분리 기준 축소(RVSM)용, 평행할주로의 정밀감시(PRM), ADS-B(OUT) 자료 신빙성 검증 등이 있다.

## 6. 맺음말

항공교통수요는 현재 교통량 증가에 따른 교통밀도가 증가하고 있고, 항공기 운항 효율성과 안전성 증대가 요구되며, 정밀한 항공감시기술이 적용되어야 할 필요성이 증대되고 있다. 이러한 문제점들을 해소하기 위해 개발되는 MLAT는 SSR과 같이 독립적으로 표적을 감시할 수 있을 뿐만 아니라 ADS-B 정도의 정밀도를 가지고 있어, 향후 미래항공의 주시스템으로써의 역할을 할 것으로 본다. 국내 공항에 적용하여 공항이동지역감시, 접근/항로감시, 정밀감시, ADS-B 신빙성 검증 등에 활용되어 항행안전시설의 성능개선과 안전성을 크게 개선할 수 있을 것으로 사료된다. 

## [참고문헌]

- [1] Eurocontrol(WAM) Volume 1,2(2009.8)
- [2] Eurocontrol(SSR과 WAM 비교) (2005.9)
- [3] Eurocae(A-SMGCS)(2003.11)
- [4] Eurocae(ED-142)
- [5] FAA-E-3010(WAM)(2009.2)
- [6] ICAO(MLAT) Edition 1(2007.9)
- [7] ICAO(ADS-B/MLAT)(2007.4)
- [8] ASTERIX Cat019(MLAT) Part 18
- [9] ASTERIX Cat20(MLAT) Part 14
- [10] ICAO Sarps annex10 Volume IV(2007.7)
- [11] ICAO Doc 2.5.51, 2.5.5.3, 3.2.4