

論文

제주지역 레이더 음영지역 해소에 관한 연구

문우춘*, 정현태**, 김보영***

A Study on Resolving the Radar Blind Sector in Jeju region

Woo-Choon Moon*, Hyun-Tae Jung**, Bo Young Kim***

Korea Aerospace University

ABSTRACT

Due to the influence of Han-la Mountain which is located at the center of Jeju Island, a radar blind sector has been appearing in the south-east, low-altitude area of Jeju Island. Thus, the region is perilous for aircraft using surveillance in this area with the existing radar equipment that is currently available. In addition, as the popularity for domestic leisure aviation is on the rise, the safety in low-altitude area should be guaranteed. Where not only IFR flights but also VFR flights are mainly used. Therefore, immediate measures to the present state of radar blind sector in Jeju Island should be taken into serious account.

Regarding the circumstances, this study's purpose is to help secure the aviation safety in Jeju region by analyzing the current air traffic surveillance system in Jeju Island and comprehending its vulnerable factors. Moreover, this study compares secondary radar surveillance system, ADS-B and MLAT(Multilateration) system with factors based on the guidance materials from ICAO Asia and Pacific region office to suggests an adequate surveillance technology considering the regional characteristics of Jeju.

Key Words : Radar Blind Sector(레이더 음영지역), Air Traffic Surveillance System(항공기 감시시스템), ADS-B(자동종속방송시설), MLAT(Multilateration: 다변측정 감시시스템)

1. 서 론

제주지역의 항공교통량은 꾸준히 증가하여 2014년에는 13만 5489대로 역대 최고치를 기록하였다. 시계비행 방식의 항공기 운항도 연간 평균 1277대(07년~12년)로 꾸준히 수요가 발생하고 있으며, 향후 항공레저산업의 발전으로 시계비행 항공기 대수가 더 늘어날 것으로 예상하고 있다.

이렇듯 항공교통량이 지속적으로 증가하고 있음에도 불구하고, 기존 레이더 장비로는 한라산

으로 인한 음영지역이 생성되는 문제점이 발생하여 해당 음영지역을 비행하는 항공기 감시에 어려움을 겪고 있다.

계기비행 방식의 항공기에 대하여는 음영고도 이상으로 비행하도록 최저고도가 설정되어있으나 계기비행 방식의 운송용 항공기와 시계비행 방식의 항공기(자가용, 사업용, 경량, 초경량) 간에는 감시문제, 근접비행의 우려가 있는 바, 이를 해결하기 위해 음영지역 해소 및 공중감시강화를 위해 새로운 감시시스템의 도입이 필요하다.

본 연구는 이러한 측면에서 제주지역 레이더 음영을 해소하여 해당 지역을 비행하는 계기비행 항공기와 시계비행항공기를 안전하게 분리하고 항공교통 감시의 공백이 없도록 하는데 목적을 두었다. 이를 위하여 첫째, 항공감시시스템 동향에 대해 살펴보고 둘째, 제주지역 레이더 음영지역 및 항공기 비행 패턴을 분석하며 셋째, 항공선진

2015년 9월 14일 접수 ~ 2015년 12월 8일 심사완료
게재 확정일 (2015년 12월 10일)

* 한국항공대학교 항공교통물류우주법학부 교수

** 한국항공대학교 대학원 항공교통물류학과

*** 한국항공대학교 항공교통물류우주법학부

연락처, E-mail : wmoon@kau.ac.kr

경기도 고양시 덕양구 화전동 200-1

국의 레이더 음영지역 해소 및 공중 감시강화를 위한 감시시스템 적용사례를 분석하고 넷째, ICAO에서 제시한 항공감시시설 고려사항을 기반으로 수정한 평가지표를 이용하여 항공교통, 운항, 항행시설, 공항 분야별 전문가 8명을 대상으로 한 설문조사와 선정된 항공감시체계를 평가하여 제주지역 레이더 음영지역 해소를 위한 방안을 도출하였다.

2. 본 론

2.1 항공감시시스템 동향

지상 감시시스템은 크게 항공기와 지상국간 상호 협동여부에 따라 비협동(Non-Cooperative)과 협동(Cooperative)으로 구분되는데 본 연구에서는 협동감시를 제공하는 2차감시레이더(SSR), ADS-B, MLAT에 대하여 살펴보고자 한다.

2.1.1 2차감시레이더(SSR)

2차 감시레이더(SSR; Secondary Surveillance Radar)는 협동감시시스템에 해당하며 레이더에서 송신한 질문파를 항공기가 수신하고, 항공기에 탑재된 트랜스ponder에 따라 응답파를 전송하여 레이더에서 항공기 식별 또는 고도 정보를 수신하는 감시시스템이다. SSR은 1차 감시레이더(PSR) 탐지범위(S band 60-80NM, L band 160-220NM)보다 넓은 면적을 탐지(200-250NM)할 수 있으며 정확도도 75m 이내 항적을 구분했던 PSR과 달리 $\pm 30m$ 이내까지 구분하여 오차범위를 줄였으며 PSR의 단점으로 지적되었던 항공기 ID 및 고도를 제공하며, 클러터 및 잡음영향을 감소시켰다. 하지만 4,000ft-1,000ft의 저고도 공역 및 산악 지형에는 레이더 설치가 어렵고 레이더만으로 항적을 탐지하기에는 한계가 있어서 정확도가 감소한다. 항공기와의 거리에 따라 오차가 증가하며, 심한 경우 100m이상의 오차가 발생하기도 한다. 또한 장애물들로 인해 가시범위(Line-of-Sight) 외의 지역에서 레이더 음영지역(Blind Area)이 발생하므로 해당 지역을 비행하는 항공기의 안전성 문제가 존재한다.

2.1.2 자동종속방송시설(ADS-B)

ADS-B(Automatic Dependent Surveillance System-Broadcast)는 항공기와 항공기, 항공기와 지상 관제기관 사이에 감시 데이터를 공유하여 조종사의 상황인식 능력과 관제사의 감시 능력을 향상시키는 차세대 항공감시 기술로서 항공기의 위치 및

속도, 식별부호 및 방향을 포함한 정보를 1초당 한 번씩 무선전송을 방송하는 시스템이다.

ADS-B는 데이터 통신과 위성항법을 기반으로 운영되므로 레이더 설치가 비효율적인 지역이거나 기존 레이더 시스템에 의해 탐지되지 않는 음영지역에 대한 대안으로 사용될 수 있다. 또한 데이터 링크 기술을 통해 ADS-B IN/OUT 메시지가 서비스 영역내의 항공기, 이동체, 지상시스템으로 전송되기 때문에 시스템을 통해 모든 주체들이 동일한 감시정보를 공유할 수 있다. ADS-B 기능 중 하나인 TIS-B(Traffic Information Service - Broadcast)는 조종사에게 주위 항적정보를 통하여 상황인식을 개선시키며, FIS-B(Flight Information Service - Broadcast)는 조종사에게 기상정보, NOTAM, ATIS를 제공한다. PSR 및 SSR은 항적 업데이트 주기가 4-15초이나 ADS-B는 0.5초-1초이므로 PSR/SSR과 함께 운영할 경우 감시범위를 더 확장되고 정확성을 개선하는 효과가 있다. 그러나 지상시설은 물론 항공기에 해당 장비를 탑재해야하는 단점이 있다.

2.1.3 MLAT(Multilateration, 다변측정감시)

MLAT은 감시대상 지역에 다수의 발신기 및 수신기를 설치하고 각 수신기에서 측정된 신호의 TDOA(Time Difference of Arrival)를 계산하여 해당 항공기의 위치를 파악하는 감시시스템으로, 트랜스ponder 신호를 이용한다. MLAT는 지상관제에 적용할 수 있는 공항지면감시용 LAM(Local Area Multilateration)과 접근 및 항로관제에 적용할 수 있는 정밀광역감시용 WAM(Wide Area Multilateration)으로 구성된다.

MLAT는 SSR에 사용되는 트랜스ponder와 ADS-B 신호와 상호호환이 가능하며, 위성신호 신뢰성 문제를 갖는 ADS-B와 달리 위성항법에 기반을 둔 시스템이 아니기 때문에 정확성 부분에서도 보다 신뢰할 수 있다. MLAT의 데이터 갱신주기는 Mode S를 활용할 경우 1초 이하로 그 속도가 5초-12초인 SSR에 비해 매우 빠른 편이다. 데이터 갱신주기가 상대적으로 긴 레이더 시스템에 비해 추적물체의 위치 오차를 최소화시킬 수 있다.

2.1.4 항공감시시스템 비교 분석

다음 표는 SSR, ADS-B 및 MLAT 간의 이용범위, 탐지주기, 정확성, 구축비용 등 주요 항목 간 비교, 분석한 내용이다. 세 장비 모두 항공기 분리, 분해능은 거의 유사하나, 이용범위, 탐지주기, 무결성은 ADS-B와 MLAT이 유사하다.

Table 1. Comparison between SSR, ADS-B and MLAT system [1]

구분		SSR		ADS-B			MLAT	
이용범위	항로 및 TMA 감시			저/중/고고도 항공기 및			지상이동물체 등 탐지	
탐지주기	4~15초 간격			항공기 신호방송주기 0.5초 지상국 수신 주기 1초			Mode S 1초 Mode C 2.5초	
항공기 분리 (PANS-ATM)	5NM 승인, 3NM 조건승인			5NM 승인, 3NM 조건승인			3/5NM 검토 중	
탐지범위	200-250NM			200-250NM			170NM(수신기 배치에 의존)	
주파수(MHz)	Transmit	Receive	1090ES	UAT	VDL Mode4	일반적으로 1090MHz (다수의 주파수를 이용)		
	1030	1090	1090	978	118~136.975			
기능	트랜스폰더(Mode A/C, S)를 통한 항공기 식별			FIS-B, TIS-B 제공			트랜스폰더 및 ADS-B 신호와 호환 가능	
정확성 (오차)	50NM의 거리에서 0.12NM 100NM의 거리에서 0.24NM 250NM의 거리에서 0.60NM			항법장비의 정확성에 가변적이거나 GPS의 경우, 95% 확률로 0.1NM 이하			활주로 말단으로 2.5NM 내 0.01NM(95%) 5NM 내 0.02NM(95%)	
무결성	-			1×10^{-7} 2)			최소 1×10^{-5}	
분해능	방위각 0.5-1도 (Mode A/C) 완전 분리 (Mode S)			완전 분리 (Mode S)			가변적 (Mode A/C) 완전 분리 (Mode S)	
신뢰성 관련 주요 요소	Line-Of-Sight 외 지역 및 대양, 산악 지역 수신 상태 불량			GPS 의존, 인위적인 신호 변조에 취약			지상국 배치에 따라 성능이 가변적, 주파수 배정 오차 가능	
전망	차세대 항공감시 시스템을 보완하는 역할로 변화			PSR/SSR을 보완, (미국, 유럽) 2020년 ADS-B 장착 의무화 계획			공항 지상감시 및 항로, 터미널지역 감시로 이용	
구축 비용	지상	TMA 및 항로감시용: \$6,190K			TMA 및 항로감시용: \$380K			TMA 감시용: \$1,000-3,000K 항로감시용: \$2,000-5,000K
	공중	Mode S 트랜스폰더 : \$3,000+			Mode S 트랜스폰더 : \$3,000+ UAT ADS-B : \$1,000-\$3,000			Mode S 트랜스폰더 : \$3,000+

- 1) 장비, 회사 별 조건이 상이하고 국가마다 요구하는 조건이 가변적임
- 2) 항공법 시행규칙 별표 39 항행안전무선시설의 설치 및 기술기준에서 요구하는 항목임

신뢰성 관련 주요요소는 GPS에 의존하는 ADS를 제외하고는 시설배치 등에 따라 영향을 받고 있으며, 탐지범위는 SSR과 ADS-B가 동일하고 지상시설 구축비용은 ADS-B가 가장 낮은 것으로 조사되었다.

2.2 제주지역 레이더 음영지역 분석

제주도에는 국토교통부의 운영 아래 1개의 접근관제소가 운영되며 항로를 포함한 700ft에서 FL165(수직범위)의 관제업무를 담당하고 있다.

제주지역 내 항공로용 레이더는 국토교통부와 공군이 각각 설치하여 운영하고 있으며 제주, 동광 2개 및 공군사이트를 포함하여 총 8개의 자료를 수신하며 탐지한 자료는 항공교통센터와 제주공항 접근관제레이더 시스템에 제공하고 있다.

국토교통부에서 설치운영 중인 항공로용 레이더는 2차 감시레이더로만 운영하고 있으며 탐지범위는 250NM이다. 모슬포에 위치하고 있는 공군에서 운영 중인 레이더는 장거리용으로 1, 2차 감시레이더를 설치하여 운영 중이며 200NM까지 탐지가 가능하다.

제주공항 접근관제레이더의 탐지요구 범위는 제주 TMA(Terminal Control Area) 전역이나, 레이더를 기준으로 97~236도 사이에서는 6,000ft 이하 고도는 탐지가 불가능 한 것으로 항공정보간행물(AIP)에 명시되어있는데 이는 한라산(해발고도 1950.1m)의 영향 때문인 것으로 나타났다[2].

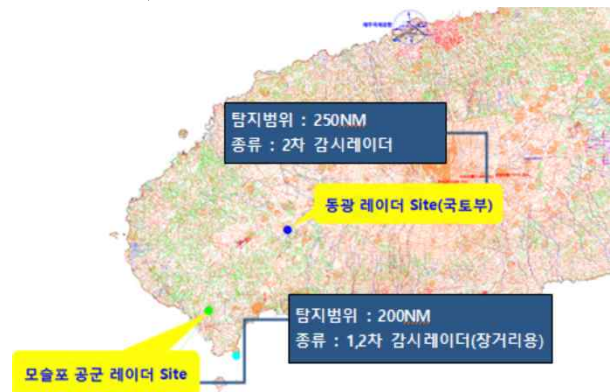
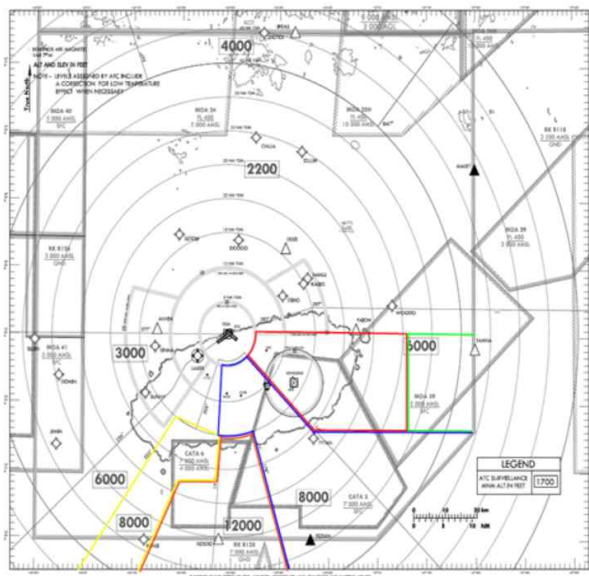


Fig. 1 Air Route Surveillance Radars in Jeju

출처 : 국토교통부 (2013), “제주지역 항공기 위치탐지 강화방안 수립연구 최종보고서”



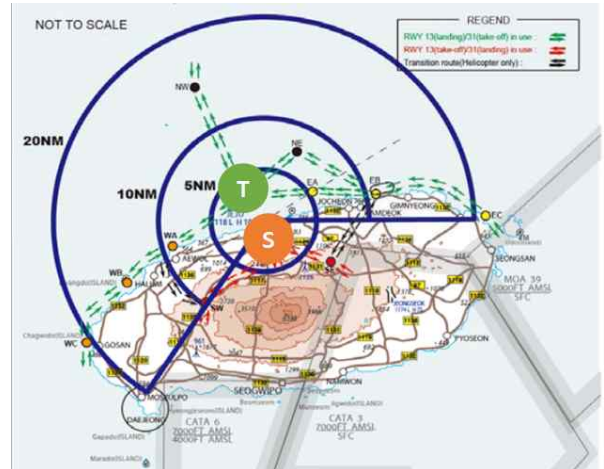
- [범례 : ■ ■ ■ ■ ■]
- : 5000ft이하에서 항적 Lost 빈번
 - : 4000ft이하에서 항적 Lost 빈번(정석비행장 입출항 항공기가 많은 지역)
 - : 10000ft이하에서 항적 Lost 빈번
 - : 15000ft이하에서 항적 Lost 빈번(인천ACC와 관제권을 인수 이양 지역)
 - : 8000ft이하에서 항적 Lost 빈번

출처 :국토교통부 (2013), “제주지역 항공기 위치탐지 강화방안 수립연구 최종보고서”

Fig. 3 Radar blind area in Jeju

음영지역 분석 결과 한라산 이남에 저고도로 비행하는 항공기는 탐지가 불가능하여 항공기 사고의 위험에 노출되어 있다. 제주 남쪽의 사고 사례로는 1989년 헬기가 서귀포에서 추락하였고, 1991년에는 훈련기(PA34)가 훈련공역에서의 사고가 있었다. 또한 한라산 이남 지역은 관광지다수 있어 향후, 항공 레저 수요 증가가 예상되고 이로 인해 저고도 VFR 운항이 증가할 것으로, 현 감시시스템 하에서는 항공기 사고 예방에 한계가 있다.

항공정보간행물(AIP) AD RKPC 2-22 (Flight Procedures)에 따른 제주공항 VFR 비행경로는 Figure 3과 같다. 시계비행항공기의 경우는 항공기가 따로 요청을 하지 않는 이상 레이더 서비스를 제공하지 않고, 제주공항에 이착륙하는 경우에 제주 관제탑에 교신을 하게 된다. 항공기 이륙 시 RWY31을 이용할 경우 T까지 나가 목적지로, RWY13으로 이륙하는 경우 이륙 후 목적지로 향하게 한다. 항공기 착륙 시 북쪽에서 오는 항공기는 RWY13으로 착륙하기 때문에 참조 포인트 T 지점으로 곧장 오도록 유도하며, 남쪽에서 오는 항공기는 S지점으로 유도한다.



출처 :국토교통부 항공교통간행물(AIP) RKPC AD 2-22 Flight Procedures

Fig. 3 VFR flight route in Jeju

관제분야 전문가의 의견에 따르면, 제주국제공항에서 활주로가 25일 때 남쪽에서 접근하는 국제선 항공기의 경우는 동남쪽을 경유하여 접근하게 되는데, 이 경우 항공기는 음영지역을 통과하므로 10,000ft 이하는 물론 12,000ft~14,000ft를 통과할 때에도 종종 항적이 화면에서 사라지는 경우가 발생한다. 항공교통량이 많지 않을 때에는 사라지는 항적들을 인지하기 어렵지 않으나 교통량이 많은 경우에는 상대적으로 인지하기 어렵다. 또 음영지역에서는 항적이 잘 나타나는 경우에도 교신 시 잡음이 들리는 경우가 많기 때문에 실제 관제업무를 할 때에 영향을 준다.

특히 제주 남쪽에서 시계비행 방식으로 비행하는 경우 일반적으로는 운송용 항공기와 고도분리가 이루어져 있어 공중충돌 위험도는 낮으나, 레이더 음영지역에 저고도 시계비행이 늘어남에 따라 항공교통 안전에 영향을 미칠 수 있다. 특히, 레이더 허상(false target)으로 인한 항적 간 근접경보나 동일 항적이 다른 위치에서 감지되는 경우, 항적이 중첩되어 감지되는 경우, 데이터 블록에 오류가 발생하는 현상이 레이더 화면에 발생하고 있어 관제사 주의 분산 및 상황인식 오류를 유발하여 안전 저해요소가 될 수 있다.

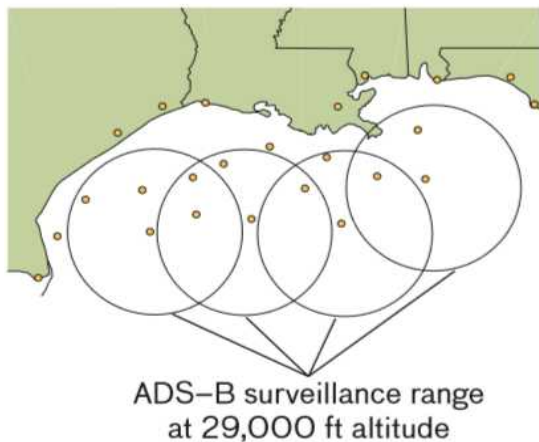
2.3 해외 ADS-B 및 MLAT 구축 사례

2.3.1 Gulf of Mexico (Go Mex)

미국은 NextGen Implementation Plan으로 ADS-B 시스템을 구축하며, 2014년 기준, 634개

수신국을 설치하여 전체 24개의 항로관제시설 중 22개소에서 ADS-B를 도입하였으며, 2016년까지 접근관제시설로 확대할 계획이다. 또한 2020년까지 모든 항공기에 ADS-B 장비 탑재를 의무화하였다. FAA는 전국을 대상으로 하는 ADS-B의 구축계획에 앞서, 다양한 환경에서 ADS-B의 안정성을 시험하고 레이더와 함께 운영하였을 때 안정성을 확인하기 위하여 2010년 Philadelphia(혼잡구역), Louisville, Kentucky(야간 화물기를 대상으로 ADS-B 장착 시범운영), Juneau, Alaska(산악 지역, Capstone Program) 및 Gulf of Mexico(레이더 범위 외 지역)에 시범적으로 ADS-B를 운영하였다.

Gulf of Mexico(Go Mex)의 경우, 일평균 2,000대 이상의 VFR 운항이 있어 Class B 공역을 갖는 공항에 버금갈 정도로 혼잡하다. 하지만 기존에 설치된 레이더로는 Go Mex 모든 지역을 포함하지 못하였으며, 특히 해안으로부터 50NM 떨어진 지역의 5,000ft 미만의 고도에서 레이더 음영지역이 발생하였다. 지역 특성 상 헬리콥터 운항이 많음에도 불구하고 이러한 레이더 음영지역으로 인해 헬리콥터의 항적이 사라지는 현상이 발생함에 따라 FAA는 2009년 12월, Go Mex 지역에 우선적으로 ADS-B를 구축하여 레이더 통달범위 외 지역 고도 29,000ft에서 비행하는 항공기에 대하여 ADS-B를 이용한 감시업무 및 기상정보를 시범적으로 제공하였다.



출처 :Steven D. T. and Katherine A. S. (2008), "Automatic Dependent Surveillance - Broadcast in the Gulf of Mexico", Lincoln Laboratory Journal

Fig. 5 ADS-B surveillance range in Go Mex

ADS-B 감시시스템은 ADS-B가 탑재된 헬리콥터에 대하여 분리간격을 20NM에서 5NM로 축소시켰으며, 평균 14NM의 비행거리 단축과 14

갤런의 연료 절감의 효과를 얻었으며, 2014년 2월까지 총 300,000NM 이상의 비행거리를 절감하였다. ADS-B 구축 이전에는 저시정하에서 연간 1,500시간밖에 운영이 가능하였지만 이후 같은 조건 하에서 20,000시간 이상 운영이 가능하였으며, 운송용 항공기뿐만 아니라 일반항공에 사용되는 항공기에 대해서도 ADS-B를 장착을 확대하여 항공안전을 크게 향상시켰다고 발표하였다[6].

2.3.2 Capstone Program

FAA는 1999년부터 2006년까지 지형 및 악기상 등의 영향을 많이 받으나, 항공안전 인프라가 상대적으로 취약한 알래스카 지역에서 ADS-B 기반의 Capstone 프로그램을 시행하였으며, 알래스카 유콘 쿠스콥 반도에서 소형 항공기를 대상으로 ADS-B를 시범운영하였다.

Capstone Program으로 소형항공기가 ADS-B를 장착하여 앵커리지에 있는 관제사의 레이더 스크린상에 ADS-B 신호를 통한 Traffic을 볼 수 있게 하여, 기존에 레이더에 의해 탐지할 수 없는 지역에서 ADS-B가 장착된 항공기에 항공교통 관제 서비스를 제공할 수 있게 되었다.

또한 ADS-B 항공기가 레이더 서비스 지역을 비행하면, TIS-B를 통해 ADS-B를 장착하지 않은 항공기도 트랜스폰더 신호를 파악하여 조종실 디스플레이 상에 전시한다. 또한 FIS-B를 통하여 기상정보 및 항공정보를 문자 또는 그래픽의 형태로 지대공통신을 통하여 제공하였다.

Capstone Program이 시행된 이후 Delta Y-K Delta는 안전 부분에 있어 굉장히 많은 발전을 보였으며, 조종사 스스로의 비행 감시가 가능해지면서 조종사의 의사결정과 안전인식에 도움을 주며 Alaska Y-K Delta지역 내의비행 전반의 안전을 향상시켰다. 특히 Capstone Program이 시행된 이후 치사율은 47% 감소하였다[7].

2.3.3 MLAT 구축사례

첫 번째로 운용이 승인된 MLAT 시스템은 오스트리아의 Innsbruck Valley에 설치되었다. Innsbruck Airport는 8,000ft 이상의 산들로 둘러싸여 있어 레이더 음영지역이 발생하였다. 추가적인 SSR 레이더를 설치할 경우 산 중턱 또는 꼭대기에 설치하여야 했으나 설치비용 및 위치선정에 있어 많은 어려움이 있었다. 이에 해당 지역에 9개의 수신기로 구성된 MLAT시스템을 도입하여 약 1,300만 유로의 비용을 절감하고 10-50m의 정밀도를 갖는 감시 성능을 얻었다.

체코의 Bruno공항도 WAM을 도입하였다. 위

장비는 Bruno공항으로부터 80NM 이상의 지역에 이르는 ADS-B 신호 해석 범위를 갖으며, 오스트리아와 프라하에 이어서 세번째로 WAM이 설치된 도시가 되었다. 체코는 전국적인 WAM시스템의 적용을 위하여 이러한 시스템을 확장 구축할 계획이다. 체코의 시스템은 기존의 트랜스폰더 신호와 ADS-B 신호를 해독할 수 있으며, 기존 이차감시레이더와 비교하였을 때 정밀한 위치 파악과 짧은 갱신주기, 넓은 범위와 개선된 신뢰성을 제공한다.

3. 항공감시시설 평가 지표 분석

제주도 레이더 음영지역의 해소방안을 도출하기 위해 ICAO Asia and Pacific에서 항공감시시스템을 선정할 때 고려하여야 할 사항과 특성을 비교한 Guidance Material on Comparison of Surveillance Technologies의 7장. Issues in Choice of Surveillance Technology에서 제시하는 고려사항은 다음과 같다.

- Cost
- Market Segment Mix
- Airspace Segregation
- Geography
- Existing Telecommunications infrastructure
- Existing Surveillance & ATC Automation Infrastructure
- Required Functionality
- Ability to Mandate Equipage
- Airspace Capacity Requirements
- Strategic Nature of Transition to ADS-B
- Verification of ADS-B
- ADS-B Multilateration Mixed Solution

본 연구에서는 위에서 제시된 고려사항을 기준으로 SSR, ADS-B와 MLAT 중 어떤 항공감시시스템이 제주지역의 레이더 음영해소에 적합한지 평가하고자 항공교통, 운항, 항행시설, 공항전문가 8명을 대상으로 설문을 실시하였다. 다만, 제주도의 항행환경을 고려하여 일부 지표에 대해서 통합 (Existing Telecommunications infrastructure와 Existing Surveillance & ATC Automation, Airspace Segregation와 Airspace Capacity Requirements) 및 수정(미래의 법적, 정치적 요구사항을 포함하는 Strategic Nature of Transition to ADS-B와 Ability to Mandate Equipage를 현 제주지역의 현황에 맞춰 장비/계기 장착 여부로 수정, ADS-B Multilateration Mixed Solution 삭제)하였으며, 특히 신호의 취

약점 및 보안을 고려하여 평가지표를 재구성 (Verification of ADS-B 범위 확대) 하였다.

3.1 비용

새로운 항공감시시스템 도입에 따라 항행업무 제공기관(ANSP) 또는 항공기 소유자가 지불하는 비용으로, ANSP는 시스템 구축비용과 유지비용을 지불하여야 하며 항공기소유자는 장비 탑재, 정비 및 조종사 훈련에 소요되는 비용을 지불한다.

Table 2. Estimated cost of SSR, ADS-B and MLAT

	SSR	ADS-B	MLAT 3tx/tx, 4rx
지상장비	\$6M	\$380K	\$0.86M
타워안테나		-	\$0.28M
전기		-	\$140K
통신망 구축	\$10K	-	\$70K
통신유지비	\$150K	-	\$1.05M
건설비	\$20K	-	\$70K
총	\$6,190K	\$380K	\$2,426K

출처 : National Aerospace Laboratory NLR (2005), "Wide Area Multilateration Report on EATMP TRS 131/04 Version 1.1", Eurocontrol

본 연구에서는 ANSP의 비용만 고려하였으며 확인한 결과, 제주음영지역 해소를 위해서는 공항접근용레이더(ASR) 수준인 40-60NM의 탐지범위를 가져야 한다. SSR의 경우 음영지역 해소를 위하여 투자하여야 할 비용이 가장 많이 필요하며 구축비용뿐만 아니라 유지비도 가장 비싸다. MLAT는 SSR에 비해 절반 정도의 가격으로도 구축이 가능하며, ADS-B 체계는 다른 감시체계와 비교하였을 때 아주 저렴한 것으로 나타난다. 따라서 비용 측면에서는 ADS-B의 도입이 가장 적합하며, MLAT가 다음으로 적합할 것으로 평가된다.

그러나 ADS-B의 경우, Transponder 장착된 항공사 또는 항공기 소유자의 경우에 추가적으로 ADS-B 장비 탑재에 필요한 비용은 항공기 소유자가 부담하여야 하며, 경량항공기용 ADS-B인 UAT 장비의 경우, 약 \$1,000~3,000의 비용이 들 것으로 예상된다.

3.2 지역 항공기 구성

항공감시시스템을 선정할 때 해당 공역을 비행하는 항공기의 종류와 그 특성을 고려하여 최적의 감시시스템을 선택하여야 한다.

Table 3. Registered aircraft in Korea (2015.1)

구분		비행기	회전익	활공기	계
운송용	국내·국제	299	-	-	299
	소형	4	19	-	23
사용사업		88	74	-	162
비사업	교육기관	67	3	2	72
	보도기관	-	2	-	2
	정부기관	2	-	-	2
	소방/산림	-	71	-	71
	기타	17	11	1	29
계		477	180	3	660

출처 : 한국항공진흥협회, “포켓항공현황 2015”

2015년 1월 31일 기준, 전체 등록된 660대 항공기 중 항공사가 운영하는 국내선 및 국제선 운송용 항공기의 비중은 45.3%로 다른 나라에 비하면 높은 편이다. 국내 항공시장 구조 상 일반 항공의 비중이 상대적으로 적으나 최근 경량항공기의 운항 및 항공레저 활동이 활발해지고 있는 경향을 보인다. 2007년부터 6년간 제주공항에서 시계비행을 한 민간항공기 운항편수는 2010년과 2011년을 제외하고 점차 증가하는 추세를 보이며 제주지역의 관광 수요를 고려하면, 제주지역의 VFR 운항은 계속 증가할 것으로 예상된다.

Table 4. VFR / IFR flight in Jeju ('11-'13)

구분 (회)	2011		2012		2013	
	VFR	IFR	VFR	IFR	VFR	IFR
1월	79	8,052	67	9,338	91	9,509
2월	86	7,749	57	8,621	87	8,805
3월	94	9,156	109	9,771	99	9,924
4월	122	9,788	108	10,451	129	11,032
5월	88	10,106	136	11,204	145	11,645
6월	67	9,158	100	10,445	79	11,205
7월	168	9,807	107	10,100	114	11,593
8월	82	10,333	77	10,306	117	12,315
9월	97	9,724	153	9,875	133	11,371
10월	89	10,204	166	10,791	156	12,026
11월	104	9,334	100	9,922	119	10,830
12월	81	9,258	64	9,935	100	10,199
합 계	1,076	112,696	1,180	120,699	1,269	130,454
비율	0.94%	99.06%	0.96%	99.04%	0.97%	99.03%

출처 : 항공정보포털시스템, 공항별 처리실적

제주도의 경우 지역 항공기 구성이 계기비행 방식의 운송용 항공기(99%)와 시계비행 방식의 항공기(1%)로 거의 계기비행 항공기로 구성되어 있어 SSR과 MLAT이 효과적인 감시 체계이다.

3.3 인근 공역 구성 및 수용량

제주공항을 포함한 한라산 북쪽은 Class B 공역으로 모든 항공기에 대해 항공기 분리를 포함한 항공교통업무가 제공이 된다. 그러나 한라산을 포함하여 레이더 음영지역은 비관제공역으로 항공교통관제업무가 제공되지 않는고, 항공안전을 위하여 관제사가 가능한 범위 안에서 관련된 정보 및 조언을 제공하고 있다. 그러나 제주공항에 항적이 많을 경우, 항공교통관제사는 제주공항 입출항 항공기의 안전확보를 위해 관할 공역에 인접한 공역을 비행하는 항공기에 집중하는 반면에 이외의 항공기에 대해서는 원칙상 관제업무가 제공되지 않으며 Workload가 증가하는 이유로 통제하지 아니한다.

즉, 계기비행 운송용 항공기가 아닌 시계비행 항공기 운항은 항공교통관제 및 비행정보를 제공받지 않는 실정으로 항공사고의 위험성에 노출되어 있다. 이를 고려하면, 미국의 Capstone Program 사례와 같이 TIS-B 및 FIS-B의 제공으로 조종사로 하여금 다른 항적을 파악하여 스스로 분리할 수 있도록 함으로써 항공교통관제 사각지대인 비관제공역에서 항공안전을 보장하기 위한 방안을 고려하여야 한다.

현재 SSR을 이용할 경우 3NM과 5NM 간격으로 항공기를 분리하고 있으며 레이더 음영지역을 해소할 경우, 해당 지역의 항공교통 수용량이 증가할 것으로 기대된다. Go Mex의 ADS-B를 이용한 분리최저치 축소 사례와 같이 제주도 음영지역 해소를 할 경우 해당 지역에 접근, 체공 등의 비행절차를 신설할 수 있어 공역 활용을 높이고 그에 따라 수용량을 높일 수 있을 것이다.

따라서 제주공항 인근 공역의 구성과 수용량을 위해서는 ADS-B와 MLAT가 효과적인 것으로 파악되며, TIS-B와 FIS-B가 지원될 경우 보다 더 효과적인 것으로 기대된다.

3.4 지형 조건

다른 무선설비와 마찬가지로 항공감시시설은 지형의 영향을 많이 받는다. 앞서 살펴본 바와 같이 레이더는 하나의 안테나로 먼 범위를 탐지할 수 있으나 저고도 또는 지형에 의해 차폐되는 지역을 탐지할 수 없는 단점이 있어 탁 트인 지형에서 활용하는 것이 적합하다. MLAT의 경우 수신기 하나하나의 탐지 범위는 좁지만, 그 특성 상 굳이 장거리 레이더가 필요하지 않은 LOS(Line of Sight)가 제한되는 지형에 설치하는 것이 적합하다. ADS-B의 경우에는 지형의 영향

을 크게 받지 아니하며 레이더 또는 MLAT 수신기에 비교하였을 때 더 적은 개수로도 넓은 지역을 탐지할 수 있는 장점이 있다.

한라산이라는 지형특성을 고려할 때, SSR의 설치는 비효율적이고 음영지역을 완전히 해소하지 못할 것으로 보인다. 섬 전체에 오름 등 굴곡 지형이 많은 특성 상, SSR을 설치하여도 여전히 음영지역을 완전히 해소하지는 못할 것으로 보인다. 따라서 한라산 이남에 해당하는 상대적으로 좁은 지역에 ADS-B 또는 MLAT 시스템을 구축하여 기존 레이더시설과 함께 병행하여 사용하는 방안이 효율적이다.

3.5 기존 체계와의 호환성

항공감시시설을 구축할 때 기존 통신시설을 활용할 수 있을 경우에는 ADS-B 및 MLAT 수신기 설치가 용이하며 비용을 절감할 수 있다. 기존의 시스템과 유사하거나 호환되는 체계를 도입할 경우 그 운영이 비교적 수월하고 유지보수, 훈련, 시스템 계획 및 관리에서 비용을 절감할 수 있다. 특히 새로 도입하는 항공감시시스템, ADS-B와 같이 인터페이스가 기존 시스템과 완전히 다를 경우, 관제사에게 혼란을 줄 수 있고 Workload를 증가시키는 위험이 있어 기존 관제시스템과의 호환성이 중요하다. 다수의 항공감시시설을 이용할 경우, 항공교통관제시스템은 각기 다른 시스템을 지원하여야 하며 이러한 상반된 신호를 처리할 수 있도록 장비 및 시설의 업그레이드와 관계자의 훈련 그리고 관련 규정 및 절차를 준비하여야 한다.

MLAT는 기존 트랜스폰더(Mode A/C 및 Mode S)를 모두 지원하며, ADS-B 신호 또한 호환이 가능하다. ADS-B의 경우, 1090ES 주파수를 이용하는 경우에는 Mode S 트랜스폰더로 지원이 가능하나, UAT 주파수를 이용하는 경우에는 별도의 장비가 요구된다. SSR은 기존 트랜스폰더 신호로 운영이 된다. 따라서 기존 체계와 호환성 측면에서는 MLAT가 가장 우수하며, SSR도 기존 시스템에서 널리 사용되는 시스템으로 호환성 측면에서 문제가 없다.

3.6 성능 조건 및 기능

지역마다 요구되는 조건에 만족하는 항공감시체계를 도입하여야 하며, 대표적인 성능 조건으로는 탐지 범위, 탐지주기, 정확성, 무결성, 가용성 등이 있다. 또한 각 항공감시체계는 항공기 탐지 외에도 지원하는 기능이 각기 다르다.

예를 들면, SSR의 경우에는 항공기 식별 및

고도정보가 제공이 되며 일부 MLAT는 GPS 신호와 별개로 높은 정밀도의 위치 정보를 제공할 수 있어 GPS 신호에 의존하는 ADS-B의 단점을 보완한다. ADS-B IN/OUT 기능을 전부 사용할 경우 항공기 조종사에게 항적 및 비행정보를 제공하는 기능을 갖출 수 있다.

Table 1과 같이 정확성, 무결성 측면에서 MLAT와 ADS-B가 SSR보다 더 우수하며 탐지주기도 짧아 보다 효율적인 감시업무를 제공할 수 있다. 탐지범위는 SSR이 가장 넓으나, 제주음영지역 해소를 위해서는 넓은 탐지범위는 요구되지 아니하며 도리어 저고도 탐지능력을 고려하였을 때, MLAT와 ADS-B가 보다 더 적합하다.

3.7 장비/계기 장착 여부

SSR의 경우 항공법 제40조 및 항공법 시행규칙 제122조 제2항에 의거하여 모든 항공기에 트랜스폰더 장착이 의무화 되어있다. 그러나 ADS-B의 경우 별도의 GPS 수신기와 ADS-B 신호 송신 장비가 필요하며, ADS-B IN 기능을 위해서는 추가적으로 ADS-B 신호를 수신하는 장비가 필요하다. MLAT은 Mode A/C, Mode S 및 ADS-B 신호로 운영이 가능하다.

앞서 살펴본 바와 같이 ADS-B를 적용할 경우 기존 소형항공기에 ADS-B 장비를 탑재하여야 효과적인 운영이 가능한 바, SSR과 MLAT는 장비 도입에서 운영까지의 기간이 ADS-B에 비하여 더 짧으며 운영하기에도 수월하다.

3.8 신호 신뢰성 및 보안

3.6에서 다룬 성능조건 외에도 항공감시체계의 신뢰성 문제, 특히 의도적인 신호 변조에 따른 취약성을 고려하여야 한다. ADS-B는 GPS 신호에 의존적으로 GPS 신호변조(Jamming) 등의 영향을 받을 경우, 신호의 신뢰성에 문제가 있다. 또한 ADS-B 신호를 의도적으로 변형하여 방송함으로써 False Target을 만들 수 있어 ADS-B를 보완하는 다른 항공감시체계와 함께 운영하는 것을 권고하고 있다. 따라서 ADS-B의 단독운영보다 SSR 또는 MLAT와의 혼합운영이 더 적합하며, ADS-B는 SSR 또는 MLAT가 갖춰진 후 도입하여 함께 상호보완적으로 운영하는 것이 효과적일 것으로 예상된다.

4. 설문 결과

전문가를 대상으로 한 설문조사를 통한 제주지역 레이더 음영지역 해소에 적합한 항공감시체계 평가 결과는 다음과 같다.

Table 5. Result of Surveillance Technology Evaluation

평가 지표	점수 (순위)		
	SSR	ADS-B	MLAT
비용	23(3)	38(1)	26(2)
지역항공기 구성	35(1)	30(3)	34(2)
인근공역구성/수용량	30(2)	30(2)	32(1)
지형 조건	24(3)	36(2)	38(1)
기존체계와의 호환성	40(1)	24(3)	31(2)
성능 조건 및 기능	26(3)	32(2)	33(1)
장비/계기장착 여부	40(1)	25(3)	32(2)
신호 신뢰성 및 보안	31(2)	26(3)	36(1)
총 계	249(2)	241(3)	262(1)

SSR의 최종점수는 249점, ADS-B 241점, MLAT 262점으로 MLAT, SSR, ADS-B 순으로 평가되었다. SSR의 경우, 지역 항공기 구성과 기존 시스템과의 호환성에서 높은 점수를 받았으나 비용, 지형조건 및 성능 조건에서 ADS-B와 MLAT에 비하여 낮은 점수를 받았다. 즉, SSR의 도입은 현 기술적, 운영적 단계에서 쉽게 수행할 수 있으나 레이더 음영지역 해소라는 원 취지와 거리가 있으며, 미래항행체계로 전환을 준비하여야 하는 현 상황에서는 MLAT가 보다 적절한 선택일 것으로 의견이 정리되었다.

ADS-B의 경우, 비용에서 높은 점수를 받았으나 항공기에 추가 장비 장착이 요구되는 특성상 지역항공기 구성, 기존 체계와의 호환성 그리고 계기 장착 여부에서 낮은 점수를 받았다. 특히, ADS-B의 GPS 신호 의존성이 높아 단독 운영보다는 GPS 신호에 변조가 있을 경우, 이를 보완할 다른 항공감시체계와 혼합운영하는 것이 적합하다는 의견이 지배적이었다. ADS-B의 도입은 조종사의 상황인식을 개선하여 운항에 도움을 주기 때문에 특히 운항분야 전문가들은 ADS-B에 대해 긍정적으로 평가하였다. 그러나 공항 및 항행분야 전문가는 ADS-B는 완전한 항공감시시설로써 운영된 경우가 많지 않으며 국내에서 운영하기에는 아직 검증이 부족하기 때문에 SSR와 MLAT에 비하여 운영하기에 부적합한 것으로 평가하였다.

MLAT는 전반적인 평가지표에서 적합한 평가를 받았으며, 특히 인근 공역구성 및 수용량, 지형 조건, 성능 조건 및 기능 그리고 신호 신뢰성 및 보안 부분에서 높은 점수를 받았다. MLAT의 경우, 체계 도입 비용은 ADS-B에 비하여 상대적으로

으로 높으나 ADS-B의 약점인 호환성 및 신뢰성을 보완하며 SSR에 비하여 더 저렴한 비용으로 음영지역을 해소할 것으로 기대된다.

5. 결 론

ICAO GMST에서 제시한 고려사항을 기반으로 평가지표를 정하여 각각의 항공감시체계에 대하여 항공분야 전문가를 대상으로 설문조사한 결과, 제주지역 레이더 음영지역 해소를 위하여 MLAT가 가장 적합한 항공감시시설로 평가되었다. MLAT는 현재 보급된 트랜스폰더로도 바로 항공감시를 수행할 수 있다. 따라서 MLAT를 우선적으로 도입하여 레이더 음영지역을 해소하여 해당 지역 주위에서 비행하는 항공기의 안전을 개선하여야 할 것이다.

본 연구에서는 항공감시시설의 선정을 ICAO 아태지역사무소에서 제공하는 가이드라인의 지표를 기반으로 하였으나, 향후 연구에서는 정량적인 수치를 근거로 각 항공감시체계를 효과적으로 비교·분석할 수 있는 방안을 연구할 것이며 해당 감시체계의 도입에 따른 파급효과를 분석하고 각 평가지표별 중요도에 따른 가중치를 두어 보다 현실적인 방안을 도출하여야 할 것이다.

특히 최근 ADS-B, MLAT 이외에도 미국과 유럽 등 항공선진국을 중심으로 새로운 기술인 MSPSR(Multi-Static Primary Surveillance Radar) 그리고 기존 방송안테나를 활용한 감시 등 다양한 아이디어가 제시되는 가운데, 각기 다른 항공감시체계에 대하여 체계적이고 과학적인 분석을 통하여 향후 항공안전을 보장하며 중장기적 항공 수요에 대응하는 방안을 선택하여야 할 것이다.

또한 각기 다른 항공감시체계가 운영될 때 관제사의 Workload 증가를 방지하기 위한 방안이 마련되어야 한다. 이는 관제시스템 인터페이스 개선 및 관련 절차의 개발이 필요하며, 기존 체계와 혼합하여 운영을 하였을 때의 파급효과를 분석 및 대응하여 새로운 문제가 발생하지 않도록 하여야 할 것이다.

후 기

“이 논문은 2013년도 한국항공대학교 교비지원 연구비에 의하여 지원된 연구의 결과임”

참고문헌

- 1) ICAO Asia and Pacific, 2007, "General Material on Comparison of Surveillance Technologies(GMST)", pp.35-pp.36
- 2) 국토교통부 (2013), "제주지역 항공기 위치탐지 강화방안 수립연구", pp.33 -pp.54
- 3) 최현식, 문우춘 (2014), "경량항공기 및 초경량 비행장치 비행정보서비스를 위한 구성체계 연구", pp.3-pp.7
- 4) 하태옥 (2013), "차세대 항공감시시스템 국내 구축방안에 관한 연구", 한국항공대학교, pp.18-pp.35
- 5) Steven D. T. and Katherine A. S. (2008), "Automatic Dependent Surveillance - Broadcast in the Gulf of Mexico", Lincoln Laboratory Journal, pp.1-pp.6
- 6) FAA (2015), "NextGen Implementation Plan 2015", pp.4-7
- 7) 문우춘 (2014) "항공감시시스템 기술 동향", CNS Today 제2호, pp.49-50
- 8) FAA (2005), "The Impact of Capstone Phase1 Program Final Report", pp.64-pp.67
- 9) 김태식 (2013), "다변측정(Multilateration) 항공감시 시스템 기술 동향", 항공우주산업기술 동향 제11권 2호, 2013.12, pp.24-pp.32
- 10) National Aerospace Laboratory NLR (2005), "Wide Area Multilateration Report on EATMP TRS 131/04 Version 1.1", Eurocontrol, pp.88-pp.90
- 11) 한국항공진흥협회, "포켓항공현황 2015", p..79