연구용 ADS-B/TIS-B Validation Testbed 설계를 위한 항공감시데이터 처리의 예비 결과

Preliminary Results of Surveillance Data Processing for Design of Prototype ADS-B/TIS-B Validation Testbed

송재훈*, 오경륜**, 김인규***, 이장연****

Jae-Hoon Song*, Kyung-Ryoon Oh**, In-Kyu Kim*** and Jang-Yeon Lee****

요 약

본 논문에서는 연구용 ADS-B/TIS-B Validation Testbed (AVT) 설계를 위한 기초 결과에 대하여 살펴본다. ADS-B는 GNSS와 디지털 데이터링크를 활용한 새로운 항공감시 개념이다. ADS-B는 종속적인 감시 개념이기 때문에 ADS-B 송수신기를 장착하지 않은 항공기에 대한 감시 정보는 획득이 불가능하다. 기존의 이차감시레이더를 사용하여 획득한 감시정보를 제공하는 개념이 TIS-B이다. AVT는 ADS-B 및 TIS-B 개념을 기반으로 한 차세대 위성항행시스템의 감시 플랫폼이라는 의의가 있다.

Abstract

In this paper, preliminary results for design of prototype ADS-B/TIS-B Validation Testbed (AVT) are described. Automatic Dependent Surveillance (ADS-B) is a novel surveillance concept using the Global Navigation Satellite System (GNSS) and a digital datalink. Air traffic information from ADS-B non-equipped aircraft is not acquired since ADS-B is a dependent surveillance. Traffic Information Service - Broadcast (TIS-B) provides surveillance data from Secondary Surveillance Radar (SSR) for ADS-B non-equipped aircraft. AVT is based on ADS-B and TIS-B as an integrated platform for air traffic surveillance system for CNS/ATM.

Key words : CNS/ATM, ADS-B, TIS-B, Radar, ADS-B/TIS-B Validation Testbed (AVT)

I. 서 론

계속적으로 증가하는 항공 교통량의 해소를 위해 ICAO (International Civil Aviation Organization) 에서는 FANS (Future Air Navigation System) 특별위원회를 설치하여 새로운 개념의 항행시스템인 CNS/ATM (Communication Navigation Surveillance / Air Traffic Management)을 연구하기 시작하였다.

* 한국항공우주연구원 항공안전기술개발사업단 (Aviation Satefy R&D Center, Korea Aerospace Research Institute)
** 한국항공우주연구원 KHP사업관리팀 (KHP Management Department, Korea Aerospace Research Institute)
*** 한국항공우주연구원 첨단항행팀 (Advanced CNS/ATM Department, Korea Aerospace Research Institute)
**** 한국항공우주연구원 항공안전기술개발사업단 (Aviation Satefy R&D Center, Korea Aerospace Research Institute)
· 제1저자 (First Author) : 송재훈
· 투고일자 : 2008년 12월 4일
· 심사(수정)일자 : 2008년 12월 5일 (수정일자 : 2008년 12월 18일)
· 게재일자 : 2008년 12월 30일

통신 분야에서는 VHF (Very High Frequency) 대역을 이용한 기존의 음성 통신 위주에서 디지털 데이터 통신의 비중이 점차 증가하고 있다. HF (High Frequency) 대역을 이용한 광범위의 통신도 인공위성을 이용한 서비스로 대체되고 있다. 지상에서는 디지털 데이터의 상호 교환을 위해 ATN (Aeronautical Telecommunication Network)이 공대지 및 지대지 통신 서브네트워크를 제공하고 있다.

항법 분야에서는 지상에 고정된 형태의 항법시설에서 GPS (Global Positioning System)를 기반으로 하는 GNSS (Global Navigation Satellite System)로 점진적으로 전환되고 있는 추세이다. 인공위성을 기반으로 하기 때문에 전세계적으로 RNAV (Area Navigation) 능력이 향상되고 있다. 앞서 언급한 미국의 GPS 뿐만 아니라 유럽의 Galileo 및 러시아의 GLONASS도 운영을 준비하고 있다. GNSS 단독으로는 항법 요구조건을 충족시키지 못하기 때문에 위성항법 보강시스템이 필요하며, 이러한 보강시스템은 그 형태에 따라 SBAS (Satellite Based Augmentation System), GBAS (Ground Based Augmentation System), ABAS (Aircraft Based Augmentation System) 등으로 나눌 수 있다.

감시 분야에서는 SSR (Secondary Surveillance Radar) 및 Mode S 등 전통적으로 레이더 및 조종사의 음성보고에 의존하는 현재의 시스템에 대하여 자동화 및 디지털 데이터 통신을 기반으로 하는 ADS-B (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast) 시스템이 구축되고 있어 항공감시시스템에서 상호 보완적인 기능을 발휘하고 있다.

요컨대 통신, 항법, 감시 시스템의 획기적인 발전을 위시한 차세대 위성항행시스템으로의 전환은 공역의 수용능력 증대 및 효율적인 항로 제공 등 항공교통관리의 기술적인 측면뿐만 아니라 경제적인 파급효과도 막대하여 세계 각국에서는 기술개발 및 구축에 박차를 가하고 있다.

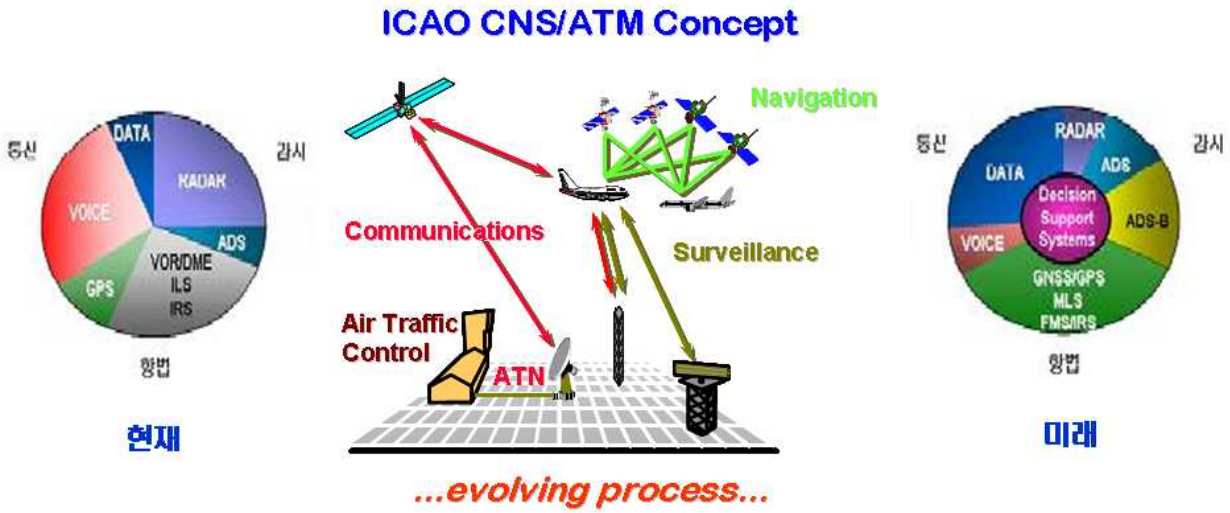


그림 1. ICAO CNS/ATM의 개념도 및 기반기술의 구성
Fig. 1. Conceptual Diagram of ICAO CNS/ATM and its Core Technologies

차세대 위성항행시스템의 핵심요소기술들은 기존의 항행시스템과는 달리 각각의 요소기술들이 통합하여 새로운 응용기술을 창출하는 특징을 가지고 있다. 이러한 차세대 위성항행시스템을 이해함에 있어 통합적인 사고를 기반으로 한 접근방식이 필요하다.

본 연구에서는 디지털 데이터링크와 GNSS를 기반으로 하는 차세대 감시개념인 ADS-B와 기존의 레이더를 기반으로 ADS-B와 상호보완적인 기능을 갖는 개념인 TIS-B에 살펴보고, 이러한 요소기술들을 바탕으로 차세대 통합 감시 플랫폼인 ADS-B/TIS-B Validation Testbed (AVT)의 설계를 위한 기초적인 결과에 대하여 살펴보기로 한다.

Ⅱ. 차세대 항공감시시스템

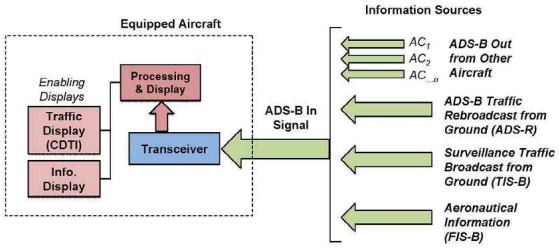
2-1 ADS-B

ADS-B란 항공기 또는 이동체에서 자신의 3차원 위치, 속도 및 기타 정보를 데이터 링크를 통해 주기적으로 방송하는 기능을 의미하며, 지상시스템에서 도달 범위 내의 항공기 및 이동체에게 제공하는 방송 서비스도 포함하는 개념이다. ADS-B에 대한 단어적인 의미는 표 1과 같다 [1].

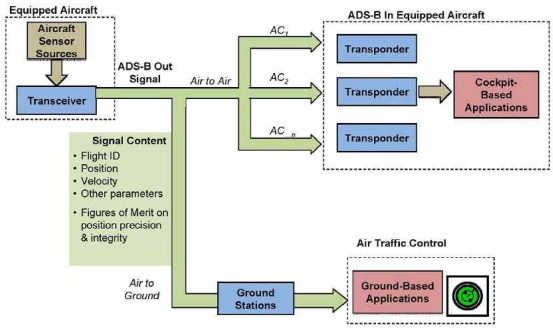
표 1. ADS-B의 단어적 정의 [1]
Table 1. Analytic Definition of Automatic Dependent Surveillance - Broadcast [1]

Automatic	Periodically transmits information with no pilot or operator input required
Dependent	Position and velocity vector are derived from the Global Positioning System (GPS) or a Flight Management System (FMS)
Surveillance	A method of determining position of aircraft, vehicles, or other asset
Broadcast	Transmitted information available to anyone with the appropriate receiving equipment

ADS-B의 기능은 정보의 제공 방향에 따라 크게 “ADS-B IN” 및 “ADS-B OUT”으로 나눌 수 있다. ADS-B OUT 기능은 항공기 및 이동체에서 자신의 정보를 외부로 제공하는 것을 의미하며, ADS-B IN 기능은 항공기, 이동체 또는 지상시스템에서 외부로부터 정보를 제공받는 것을 의미한다. ADS-B IN 및 ADS-B OUT에 대한 개념은 그림 2와 같다.



(a) ADS-B IN의 개념도
(a) Conceptual Diagram of ADS-B IN



(b) ADS-B OUT의 개념도
(a) Conceptual Diagram of ADS-B OUT
그림 2. ADS-B IN 및 ADS-B OUT의 개념도
Fig. 2. Conceptual Diagram of ADS-B IN and ADS-B OUT

따라서, 서비스 영역 내의 항공기, 이동체 및 지상시스템에서의 모든 주체들이 같은 데이터를 공유하게 되며, 이것이 ADS-B의 가장 큰 효용이라 할 수 있다. ADS-B 개념을 통해 얻을 수 있는 대표적인 효용은 그림 3과 같다.

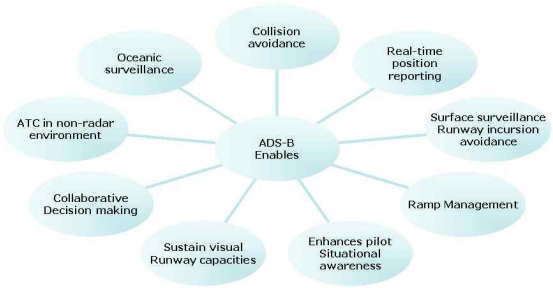


그림 3. ADS-B의 효용 분야
Fig. 3. Expected Benefits of ADS-B

ADS-B의 단어적인 의미 가운데 종속적(dependent)이라는 의미는 항공기 자신의 위치, 속도 등의 정보는 GPS 또는 FMS를 통하여 제공받고 ADS-B 송수신기를 통하여 전달함을 의미한다. 만약 ADS-B 송수신기가 장착되지 않은 항공기나 이동체에 대한 감시 기능은 보장되지 않는다.

2-2 TIS-B

ADS-B 송수신기를 장착하지 않은 항공기에 대한 감시 정보는 레이더를 활용하여 비종속적(independent)인 방법으로 획득하여야 한다. 즉, 지상

시스템에서 레이더를 사용하여 ADS-B 송수신기가 장착되지 않은 항공기에 대한 감시 정보를 획득하여 ADS-B 송수신기를 장착한 항공기에게 감시 정보를 제공하는 것이 TIS-B (Traffic Information Service – Broadcast)의 개념이다. ADS-B와 마찬가지로 도달 범위 내의 항공기에게 제공하는 방송 서비스이다. TIS-B 시스템의 구성도는 그림 4와 같다.

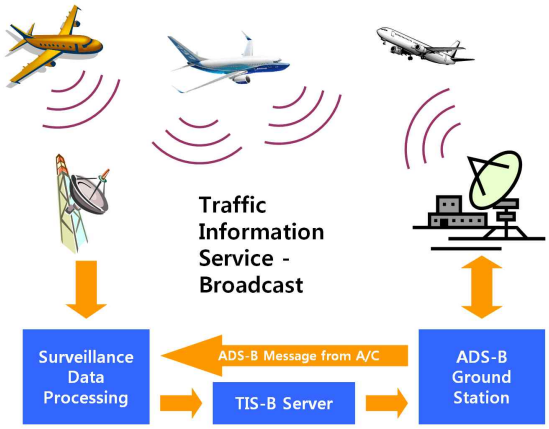


그림 4. TIS-B 시스템의 구성도
Fig. 4. Configuration of TIS-B System

이외에 기상 정보를 포함한 임시적인 비행 규제 및 특수한 경우의 공역 정보를 제공하는 FIS-B (Flight Information Service – Broadcast)가 존재한다. ADS-B 개념을 사용한 차세대 항공감시시스템은 기존 시스템에 비해 모든 주체들이 같은 정보를 공유함으로써 상황 인식률 (situational awareness)을 증대시키는 효과가 있다. 미국에서는 Capstone program을 통하여 알래스카 지역의 사고 감소율을 현저하게 저하시켰으며, 유럽에서도 CASCADE program의 일환으로 AVT의 개발이 본격적으로 진행되고 있다. 유럽의 AVT에 대한 구성도는 그림 5와 같다 [2].

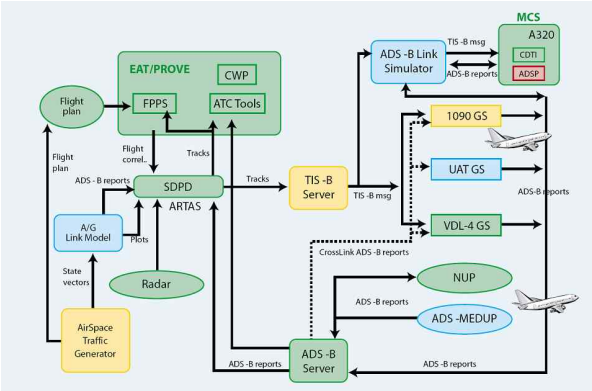


그림 5. CASCADE 프로그램의 AVT 구성도
Fig. 5. Configuration of AVT in CASCADE Program

Ⅲ. AVT 시스템 구성

3-1 ADS-B Testbed

ADS-B Testbed는 크게 지상시스템과 탑재시스템으로 이루어져있다. ADS-B Testbed의 지상시스템은 각종 감시 정보를 취합하여 신뢰성 높은 데이터를 제공하여야 한다. 연구용 Testbed로서 STDMA(Self-organizing Time Division Multiple Access) 프로토콜을 채택한 VDL(VHF Data Link) Mode 4 및 미국 MITRE에서 개발한 UAT(Universal Access Transceiver) 등의 데이터링크를 사용하여 ADS-B 기능을 구현하였다. ADS-B 데이터링크의 또 다른 후보인 1090 MHz Extended Squitter는 고려하지 않았다. 한서대학교 태안비행장에 구성한 ADS-B 개념 기반의 항공감시 Testbed는 그림 1과 같다 [3].

그림 6. ADS-B Testbed 구성도
Fig. 6. Configuration of ADS-B Testbed

3-2 TIS-B Server

TIS-B 서버는 레이더를 활용하여 ADS-B 송수신기를 장착하지 않은 항공기에 대한 감시정보를 획득하여 ADS-B Testbed의 지상시스템에 제공하는 역할을 한다. 따라서 TIS-B 서버의 입력은 레이더로부터 획득한 감시 데이터와 이에 대한 비행 계획이다. 가용한 감시 센서는 일차/이차 레이더, ADS-B 송수신기 등이 있다. ADS-B 데이터가 필요한 이유는 ADS-B 송수신기를 장착한 항공기에 대한 감시 정보는 ADS-B 메시지를 통해 획득이 가능하므로 지상시스템에서 중복되지 않도록 처리할 필요가 있다. TIS-B 서버의 실제적인 구현은 기존에 개발된 ADS-B Testbed를 바탕으로 추가적으로 구성하였다[4]. ADS-B Testbed를 기반으로 TIS-B 서버를 포함한 연구용 AVT의 블록도는 그림 7과 같다.

Ⅳ. 실험결과

4-1 ADS-B Testbed의 지상시험 및 비행시험

지상시험에 대한 시나리오는 1대의 항공기를 포함한 3대의 이동차량을 사용하였다. 시험항공기가 활주로에 착륙하여 계류장으로 이동하는 과정에서 발생할 수 있는 상황을 4가지 경우로 나누어 시나리오를 구성하였다. CDTI를 사용하여 감시 정보를 실시간으로 시현하였다. 지상시험으로부터 획득한 모든 이동체의 진행경로를 그림 8에 나타내었다.

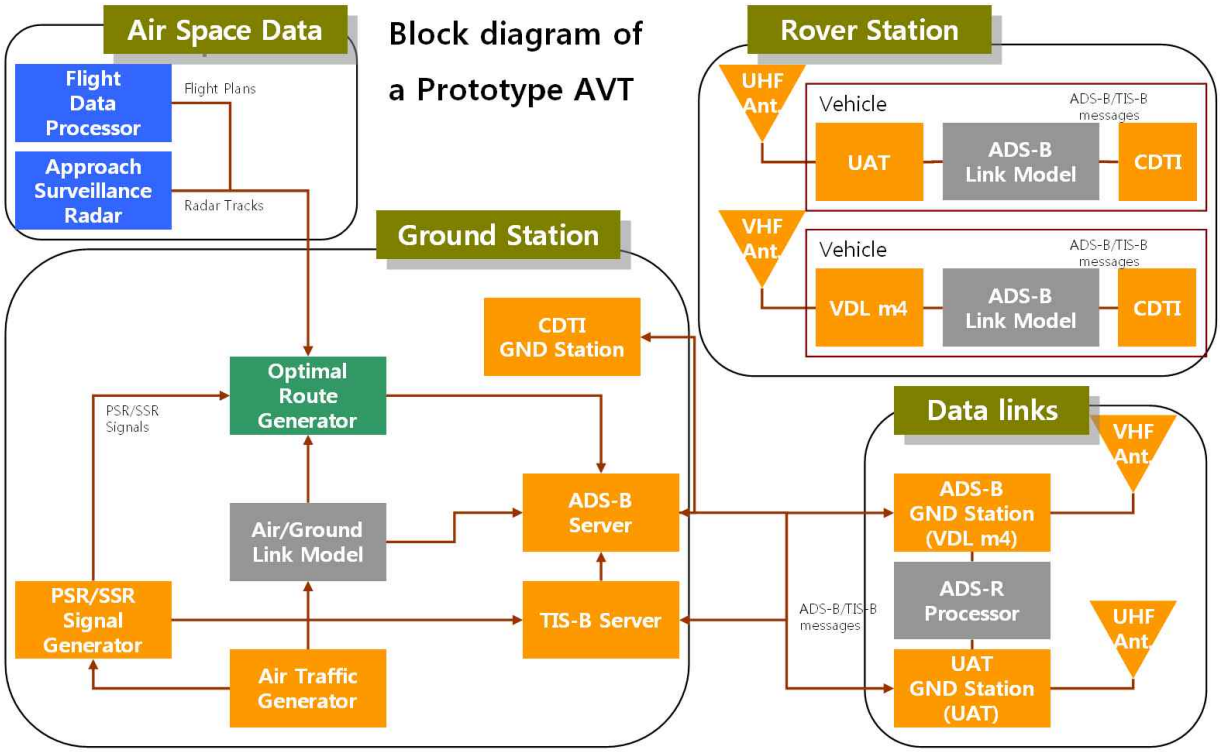


그림 7. 연구용 AVT의 블록도
Fig. 7. Block Diagram of Prototype AVT

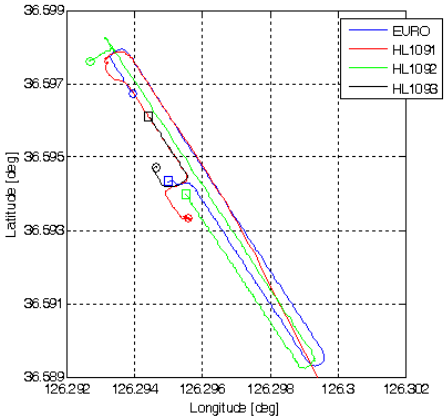
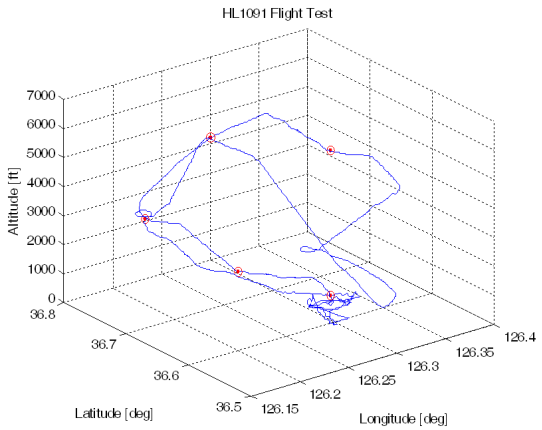
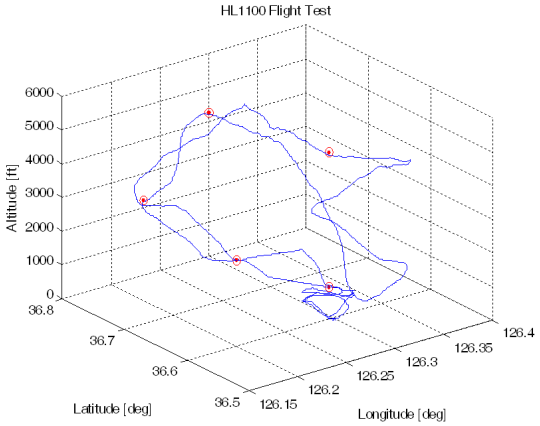


그림 8. 차량을 이용한 지상시험의 2차원 트랙
Fig. 8. Horizontal Tracks of Test Vehicles in Ground Test

비행시험의 목적은 항공기에서의 감시정보의 획득과 그로 인한 상황 인식의 개선을 정량적으로 확인하는 것이다. 비행시험에 사용된 항공기는 Cessna 사의 항공기로서 각각 HL1091, HL1100의 식별부호를 부여받았다. 그림 9는 각각의 항공기에 대한 3차원 이동경로를 나타낸다. 항공기의 수평 위치정보 이외에 지상시스템에서 생성한 way-point 정보를 나타내고 있다. Way-point에 대한 조종사 별 오차를 확인할 수 있으며, 이로 인한 인적 요소도 정량적으로 평가할 수 있다.



(a) HL1091의 3차원 이동경로
(a) Three Dimensional Trajectory of HL1091



(a) HL1100의 3차원 이동경로
(a) Three Dimensional Trajectory of HL1100
그림 9. ADS-B 비행시험 결과
Fig. 9. Test Results of ADS-B Flight

4-2 TIS-B 서버를 위한 레이더 데이터 처리

공항에 설치된 레이더로부터 획득한 감시 정보는 ARTS (Automatic Radar Terminal System)으로 전달된다. 공항감시레이더와 ARTS 사이의 데이터 인터페이스는 HDLC (High Level Datalink Control) 프로토콜을 채택하고 있다. 프레임 구성은 표 2와 같다.

표 2. HDLC 프레임 구조
Table 2. Data Structure of an HDLC Frame

Data Item	Bit Stream
Flag sequence (8-bit)	0111 1110
Address field (8-bit)	0000 0001
Control field (8-bit)	0000 0000
Information field (16×N bit)	
Frame Check Sequence (16-bit)	16-bit
Flag sequence (8-bit)	0111 1110

표 2에서 정보 필드는 유럽의 항공감시 데이터통신 표준인 ASTERIX (All Purpose Structured Eurocontrol Surveillance Information Exchange) [5] 데이터 블록이며, 8의 배수 길이만큼의 비트 수로 표현된다. 일차 및 이차 감시 레이더 공동 목표의 메시지 형식은 그림 10과 같이 구성된다.

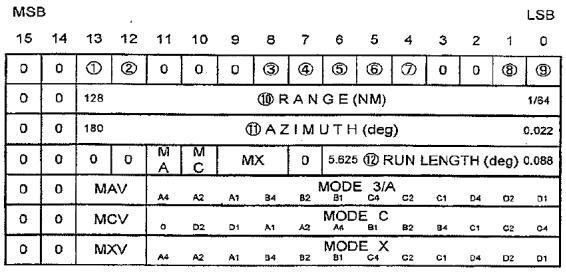
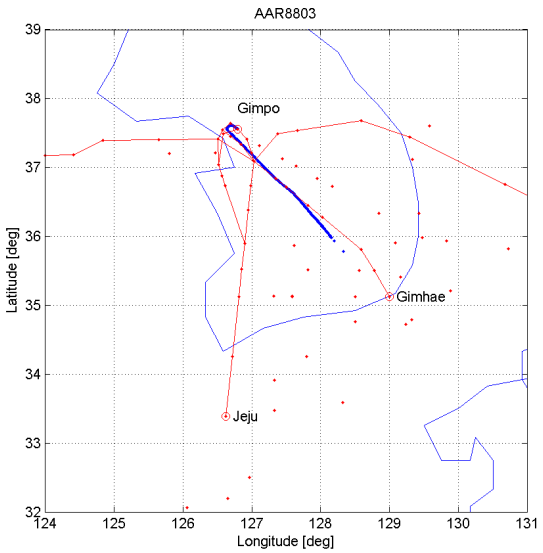


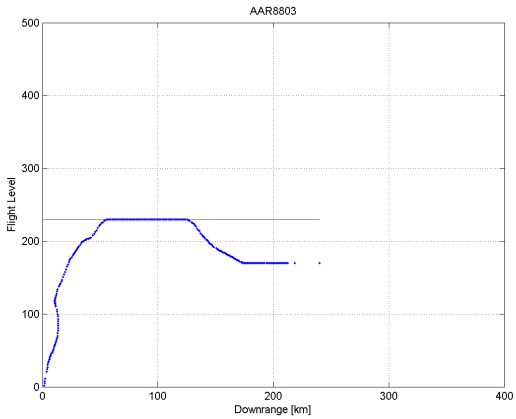
그림 10. 1차/2차 감시레이더 공동 목표의 메시지 형식
Fig. 10. Message Format of PSR/SSR Common Target

레이더 데이터에 해당하는 비행계획은 ASCII 코드 형태의 데이터로 획득이 가능하다. 항공기의 식별부호와 출발, 경유 및 도착 공항, 각각의 시각뿐만 아니라 항로 상의 way-point 들이 제공되어 있다. 레이더 데이터에 제공된 시각 정보와의 정합을 통해 항적에 대한 식별이 가능하다.

레이더 데이터는 우리나라에서 실제 운항 중인 항공기들로부터 획득하였다. 2007년 11월 00일에 김포공항의 레이더를 통해 획득한 실제 레이더 데이터 및 비행계획을 사용하였다. 1일의 데이터를 후처리하는 형태로 분석하였으며, 정상적이지 못한 일부 데이터의 제거와 신호 추적은 필터를 통해 처리하였다. 특정 항공편에 대한 레이더 데이터 처리 결과는 그림 11과 같다.



(a) 위도-경도의 2차원 궤적
(a) Longitude-Latitude Plot



(b) 지상속도 기준의 고도 정보
(b) Down Range-Flight Level Plot

그림 11. 김포공항에서 획득한 레이더 데이터 처리결과
Fig. 11. Radar Data Plots in Gimpo Airport

그림 11(a)에서 점과 실선으로 표시된 것은 공역 내에 위치한 항로를 의미한다. 이러한 항로 점과 경로는 비행계획에 제시되며, 그림 11(a)를 통해 직관적인 위치 확인이 가능하다. 두꺼운 점으로 표시된 것은 항공기의 2차원 궤적을 의미한다. 해당 항공기는 김포에서 이륙하여 김해로 향하는 국내선 항공기라 판단할 수 있다. 또한 주어진 항로와의 정량적인 비교를 통해 감시정보의 항법 성능 분석도 가능하다.

그림 11(b)는 지상에서의 속도를 기준으로 한 고도 정보를 의미한다. 이륙 후 최대 상승 이후에 18,000 ft 정도의 고도에서 순항하는 것을 알 수가 있다. 그림 11(a)와 11(b)에서 데이터가 끊어진 부분은 레이더 통달 범위가 제한됨에 따라 신호가 미약하여 수신이 불가능함을 의미한다. 2007년 11월 00일에 김포공항에서 획득한 모든 항적에 대한 2차원 궤적은 그림 12에 도시하였다.

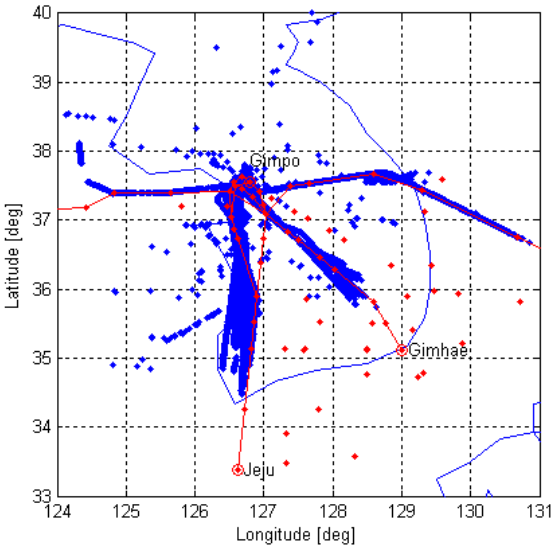


그림 12. 김포공항에서 하루 동안 획득한 레이더 데이터의 2차원 항적
Fig. 12. Two Dimensional Plot of Radar Data in Gimpo Airport for a Day

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 차세대 항공감시시스템인 ADS-B와 더불어 기존의 레이더 데이터를 활용한 TIS-B에 대하여 살펴보았다. ADS-B 송수신기를 장착한 항공기 및 이동체에 대한 감시 기능은 ADS-B 개념을 이용하여 확보할 수 있지만, ADS-B 송수신기를 장착하지 않은 항공기에 대해서는 기존의 레이더가 필수적이다. 요컨대 ADS-B와 TIS-B는 상호보완적인 기능을 제공한다.

레이더로부터 획득한 감시 정보를 생성하는 TIS-B 서버는 ADS-B 시스템과의 호환성 (compatibility) 및 상호운용성 (interoperability)을 전제로 한다. GNSS를 기반으로 하는 ADS-B 시스템과 레이더 원리를 기반으로 하는 TIS-B 시스템 사이에는 근본적인 차이가 존재하기 때문에 AVT의 구현을 위해서는 이러한 차이를 보정할 수 있는 감시 데이터 융합 (surveillance data fusion) 과정이 필요하다. 이 과정에서 WGS-84 좌표계로의 통일, 데이터 주기의 차이에 따른 신호 전파 (signal propagation), 트랙 갱신을 위한 필터링 기술 등이 수반되며, 이것이 본 연구뿐만 아니라 항공감시분야의 향후 과제라 할 수 있다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부 항공안전기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] Federal Aviation Administration, “Surveillance and Broadcast Service”, FAA ADS-B website (http://www.adsb.gov), 2007.

[2] Eurocontrol, “ADS-B/TIS-B Validation Testbed”, The CASCADE Program website (http://www.eurocontrol.int/cascade/public/subsite_homepage/homepage.html), 2007.

[3] Jae-Hoon Song et al, “Preliminary Implementation of Ground-to-Ground Surveillance Test-bed based on ADS-B Concepts”, *ICCAS 2007*, Seoul, October 2007.

[4] 송재훈 외, “공항감시레이더와 비행계획을 사용한 항공감시정보의 획득”, *2008 년도 한국항행학회 학술발표논문집*, 2007. 10. 17.

[5] Eurocontrol standard document for surveillance data exchange part 1, “All Purpose Structured Eurocontrol Surveillance Information Exchange (ASTERIX)”, February 2002.

[6] 오경륜 외, “차세대 위성항행시스템(CNS/ATM) 기술개발 동향”, *항공우주산업기술동향 제 2 권 제 1 호*, pp. 51-63, 2004.

[7] Radio Technical Commission for Aeronautics, Minimum Aviation System Performance Standards (MASPS) for Traffic Information Service – Broadcast (TIS-B), RTCA/DO-286A, April 2005.

송 재 훈 (宋在勳)

2004년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학사)
2006년 2월 : 카이스트 전자전산학과 전기및전자공학전공(공학석사)
2005년 12월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 연구원

관심분야 : 위성항행시스템(CNS/ATM), 자동제어, 디지털 신호처리 등

오 경 륜 (吳炅倫)

1995년 2월 : 인하대학교 항공우주공학(공학사)
1998년 8월 : 인하대학교 항공우주공학(공학석사)
2006년 3월 ~ 현재: 카이스트 항공우주공학 박사과정
2002년 3월 ~ 현재: 한국항공우주연구원 선임연구원

관심분야 : 위성항행시스템, 충돌회피 등

김 인 규 (金仁奎)

1996년 2월 : 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
1996년 3월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 선임연구원

관심분야 : 위성항행시스템, 전파 및 마이크로파 통신시스템 설계 등

이 장 연 (李將然)

1978년 2월 : 서울대학교 항공공학과 (공학사)
1991년 5월 : University of Maryland, 항공우주공학과(공학석사)
1993년 12월 : University of Maryland, 항공우주공학과(공학박사)
1994년 3월 ~ 2007년 12월 : 한국항공우주연구원 항공사업단 항공기술실장/항공체계실장
2008년 1월 ~ 현재 : 항공안전기술개발사업단 단장

관심분야 : 공기역학, 항공안전 등