

## 解説

## ADS-B장착 항공기 예비위험분석

김용석\*, 최영재\*\*, 신대원\*\*\*

## Preliminary Hazard Analysis for ADS-B equipped Aircraft

Yongseok Kim\*, Young Jae Choi\*\* and Dae-Won Shin\*\*\*

## ABSTRACT

ICAO has recommended ADS-B implementation that is considered as next generation surveillance system to meet the air traffic capability and aviation safety. However, safety verification for the new ADS-B technology should be carried out in advance. FAA performed a preliminary hazard analysis for ADS-B equipped aircraft through Capstone program in Alaska in order to reduce aviation accidents. The present study deals with ADS-B concept, FAA Capstone program and PHA for ADS-B equipped aircraft. We expect that this paper will be a valuable material to assess ADS-B risk when it is applied to the domestic environment.

**Key Words** : ADS-B(Automatic Dependent Surveillance-Broadcast), PHA(예비위험분석), System safety(시스템안전), Risk Management(위험관리)

## 1. 서 론

국제항공운송협회(IATA)에 의하면 향후 10년간 항공교통 수요는 현재의 2배 이상 증가할 것으로 예측하고 있다. 한정된 공역 하에서 기존 항행보조시설을 이용한 음성통신 위주의 항공교통관제는 미래 항공교통 수용 및 안정성 확보에 한계가 있다. 따라서 인공위성 항법 및 자동화된 IT 기술을 활용하여 조종사가 절차에 따라 자율비행(Free Flight)하는 운항방식으로 전환이 필요하다.

그러나 미래의 자율비행 실현을 위해서는 핵심기술, 즉 인공위성을 이용하여, 위치, 고도 및 기상 등의 정보를 문자로 실시간 무선 송·수신할 수 있는 보조항법장치인 자동종속감시시스템

(ADS-B, Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)에 대한 안전성 검증이 필수적으로 선행되어야 한다. 이를 위해 미국 FAA에서는 Capstone 프로그램[1]을 기획하고 ADS-B 기술의 실현 및 응용을 위한 시험을 알래스카 지역에서 시범운용('99~'06) 하였고, 이 프로그램을 통해 확인된 ADS-B의 항공운항안전성 개선효과에 고무되어 '07.2월부터 전 국가 공역에 확대하여 실시 중에 있다.

호주는 2005년부터 전 공역에 걸쳐 28개 기지국을 설치하고 1개국은 관제업무에 사용 중이고 4개국은 시험을 완료하였으며 5개국은 '07년 7월까지, 나머지 18개국은 '08년에 시험을 완료할 예정이다. 유럽은 영국 히드로 공항 등 5개 공항에서 지상관제 분야에 ADS-B를 활용중이고 EUROCAE(European Organization for Civil Aviation Equipment, 유럽민간항공장비기구) 산하 3개의 sub-group이 활동하고 있다. 그 외에 일본, 싱가포르, 중국 등도 ADS-B를 설치하고 시험 운영 중에 있다.

국내에서도 2006년부터 인천국제공항에 ADS-B

2008년 7월 2일 접수 ~ 2008년 9월 29일 심사완료

\* 교통안전공단 항공안전센터  
연락처, E-mail : yongkim@ts2020.kr

\*\* 교통안전공단

\*\*\* 교통안전공단

서울시 구로구 오류동 91-1 교통안전공단 항공안전센터

구축사업을 시작하였고, ADS-B Ground Station (지상국) 2식과 차량용 ADS-B 송신기 50대, 지상 감시레이더(ASDE) 디스플레이 시스템을 구축하여 '08년 7월경에 시험운행을 시작할 예정이다.

신기술인 ADS-B를 장착하고 운항하는 항공기의 비행안전을 보장하기 위해서는 사전에 잠재 위험평가를 수행해야 한다. 잠재위험 평가기법 중 정성적 방법으로는 예비위험 분석(Preliminary Hazard Analysis), 고장모드 및 영향분석(Failure Modes and Effects Analysis), 체크리스트 분석(Checklist Analysis) 등이 있고, 정량적 방법으로는 결함수목 분석(Fault Tree Analysis), 사건수목 분석(Event Tree Analysis) 등이 있다. 각각의 잠재위험 평가기법은 각각의 독특한 장점과 단점을 가지고 있으므로 가장 최적의 방법을 선택하여 적용하는 것이 중요하다.

잠재위험 평가기법 중 PHA는 위험요소가 얼마나 전체 시스템에 영향을 미치는가를 운영 초기 단계에서 평가하여 높은 위험을 가지는 영역을 신속하게 인식할 수 있도록 해준다. 즉, 잠재된 위험요소를 사전에 찾아내고 심각도(severity)와 발생가능성(Likelihood)에 따라 위험수준을 평가하여 시나리오의 수용여부를 결정하여, 이렇게 위험관리 대상으로 결정된 시나리오들을 허용 가능한 수준으로 저감하기 위한 위험대책을 수립하는 것이다.

본 연구에서는 미국 알래스카에서 운영되었던 Capstone 프로그램에 근거해서 ADS-B 예비위험 분석(PHA)을 수행하였다. 2장에서는 ADS-B 개념 및 기술동향에 대해 살펴보고, 3장에서는 FAA Capstone 프로그램 및 예비위험분석 결과를 기술하였다.

## II. ADS-B 기술 현황

### 2.1 ADS-B의 개념

최근 항공감시(Surveillance) 시스템의 개발방향은 기존의 감시레이더에만 의존하지 않고 인공 위성을 활용하여 양방향 무선 데이터링크에 의한 위치정보를 송수신하는 ADS-B를 이용하는 것이다. 서론에서도 언급하였지만 세계 여러국가에서는 ADS-B 조기 적용을 위해 시범운행을 통한 안전성 검증을 수행하고 있다. ADS-B는 인공위성을 기반으로 한 감시시스템으로 유럽의 갈릴레오, 미국의 GPS 현대화사업은 2012년 완성예정이다. 미국 FAA는 '07.2월부터 전 국가 공역에

확대하여 실시 중인 시범운행을 2012년까지 완료하고 2013년부터 정식 운영을 계획 중이고, 유럽의 Eurocontrol도 인프라구축을 조기에 완료하고 ADS-B IN, OUT기능을 포함한 모든 서비스를 운영할 예정이다. 미국에서 ADS-B 정식운영은 FAA로부터 ADS-B 사용인가를 받은 세계 유수의 항공 택배회사인 UPS가 켄터키주 루이빌공항을 거점으로 2008년 본격적인 운용을 시작하였다.

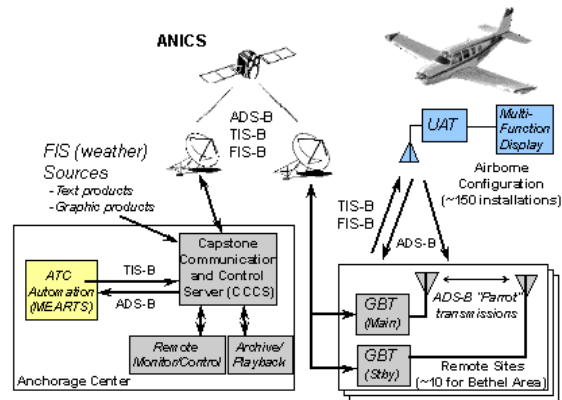


Fig. 1. ADS-B 기본 개념

ADS-B기술은 항공기 탑재시스템, 지상시스템 및 CDTI(Cockpit Display for Traffic Information)로 구분할 수 있다. 각 비행체는 ADS-B를 이용해서 자신의 위치정보를 주변의 다른 비행체와 송·수신함으로써 주변 지역에 있는 모든 비행체의 위치정보를 알 수 있으며, CDTI시스템은 ADS-B를 통해서 수집된 교통정보를 화면을 통해서 사용자에게 보여 준다. 비행기 조종사는 CDTI 시스템을 이용하여 주변 지역에 있는 다른 비행체를 식별할 수 있고 주변 공역의 항공교통정보(TIS-B, Traffic Information Service-Broadcast), 기상 및 지형(FIS-B, Flight Information Service-Broadcast)을 파악할 수 있다.

#### 2.1.1 비행기 시스템

비행기 시스템은 <Fig. 1>과 같이 GPS 수신기와 DGPS 기준국으로부터 GNSS 보정정보를 수신하여 비행기의 위치와 속도를 정밀하게 계산한다. 이와 같이 계산된 자신의 위치 및 속도, 고도, 방향 정보는 다른 비행기로부터 전달된 ADS-B 정보와 지상 시스템으로부터 전달된 TIS-B 정보를 취득하여 <Fig. 2>와 같은 CDTI 화면을 통해서 비행에 필요한 항공교통 및 기상정보를 제공하게 된다.



&lt;기상정보&gt;

&lt;교통정보&gt;

Fig. 2. 비행기 탑재용 CDTI 시스템

### 2.1.2 지상 시스템

지상 시스템은 <Fig. 1>과 같이 비행기 시스템에서 전송되어 온 ADS-B 데이터를 이용하여 지상기지국 주변에서 비행중인 이동체의 위치정보 및 속도정보를 취득하고, 데이터를 분석하여 비행기 시스템의 교통정보와 충돌경보 등을 포함한 교통감시정보(Traffic Information Service)를 생성한다. 생성된 교통감시정보는 TIS-B 형식으로 변환되어 원격 감시 시스템과 비행체에 탑재된 CDTI 시스템에 제공된다.

### 2.1.3 CDTI 시스템

CDTI 시스템은 이동체 시스템 간의 충돌 가능성을 예측하기 위해서 ADS-B 데이터링크를 이용하여 각 이동체의 위치와 속도를 수집한다. 수집된 정보를 분석하여 충돌위험이 감지되면 CDTI 시스템은 화면에 충돌 경고를 표시하고 경고음을 발생하여 사용자가 충돌위험을 인식하도록 한다.

ADS-B 데이터링크를 이용하여 수집된 주변 비행체의 교통 정보는 Moving Map 화면 기반의 CDTI 시스템에서 구현된다. Moving Map 화면은 사용자가 조종석의 계기판만으로 충돌위험 상황을 판단할 수 없을 때 효과적인 교통운항 상황인식 및 충돌 경고 기능을 제공하기 위해 사용된다.

## III. ADS-B 예비위험분석

### 3.1 FAA CAPSTONE 프로그램

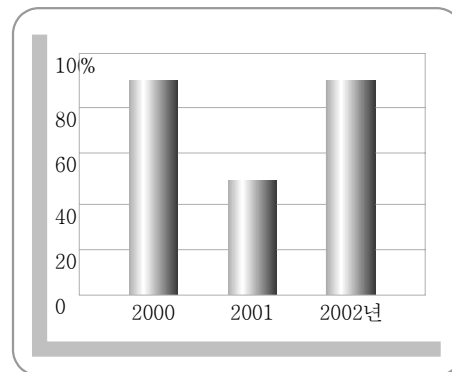
ADS-B 장비를 테스트하고 평가하기 위한 Capstone 프로그램은 FAA 알래스카 지부에 의해 지원되었다. 일반항공(General Aviation)을 사용하는 Air Taxi가 참여하였고, 항공안전의 개선과 공역의 용량 및 운항 효율 개선 및 악기상, 레이더 서비스 결여, Controlled Flight into Terrain(CFIT)등으로 인한 사고를 경감시키고 비 레이더 서비스 지

역의 감시 거리 개선을 목표로 하고 있다.

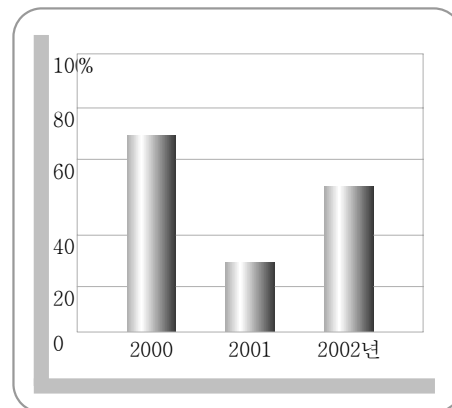
Capstone 프로그램 1단계 사업('00~'02)은 알래스카 서부 Yukon-Kuskokwim강 삼각주 지역을 선정하여 ADS-B를 포함한 항공전자 관련 기술을 시험하였고, 2단계 사업('03~'05)은 알래스카 남부에서 항법절차(RNAV) 및 광역보강시스템(WASS)에 대해 시험하였으며, 이를 토대로 3단계 사업('06~'09)이 알래스카 전 공역에 확대하여 시험 운영 중에 있다.

Capstone 1단계 사업 후에 MITRE 연구소와 알래스카 대학이 ADS-B 안전성 평가를 수행하였고, 연구결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1단계 3년간 수집된 자료에 의하면 이 기간 동안 ADS-B를 장착한 항공기가 그렇지 않은 항공기에 비해 사고율이 약 40% 낮아짐.
- 통계에 따르면 ADS-B 장착된 항공기가 약 천후로 취소되는 비행편수가 절반으로 줄어듦.
- 항공기 사고 시 수색 구조 능력이 향상됨.



&lt;공중충돌 방지&gt;



&lt;기상정보 유용성&gt;

Fig. 3. Capstone 프로그램에 대한 조종사 설문조사 결과

<Fig 3>은 Capstone 프로그램에 대한 조종사 설문조사 결과를 보여주고 있다. 프로그램 시작년도(2000년)에는 문자와 그래프를 통한 위치 및 교통정보가 공중충돌 방지에 적어도 87%가 중요한 기여를 할 것으로 예견하였으나, 2001년에는 급격히 감소하였다가 2002년에 다시 87%이상이 중요한 기여를 한다고 대답하였다[2]. 2001년에 감소한 이유는 ADS-B 시스템을 사용하는 훈련을 시작해서 장비를 조작하는데 미숙했기 때문이다. 기상정보의 유용성에 대한 설문조사에 2000년에는 조종사의 73%가 중요한 기여를 할 것으로 예견하였으나, 2001년에는 급격히 감소하였다가 2002년에는 54%이상이 중요한 기여를 한다고 대답하였는데, 이 또한 조종사 교육훈련과 관련이 있다.

## 3.2 ADS-B 예비위험분석

### 3.2.1 시스템 안전

시스템안전은 위험성 관리를 지원하는 시스템 엔지니어링의 특별한 분야로서, 이것은 안전성을 최적화 하기위해 엔지니어링과 관리 원칙, 기준 및 기술을 응용하는 것이다. 시스템안전을 위해 ICAO에서 정의한 안전평가 절차를 소개하면 다음과 같다.

- 시스템 설명(system description): 시스템의 목적, 사용되는 방법, 기능, 외부와의 인터페이스, 시스템의 한계 및 시스템 운영환경 등
- 위험요소 식별(hazards identification): 시스템에서 발생가능한 모든 종류의 위험요소를 찾아내는 과정으로 다양한 위험요소 식별 기법이 적용됨
- 심각도 산정(assessment of severity): 식별된 위험요소에 의해 예상되는 피해정도를 판단해 산정
- 발생가능성 산정(assessment of likelihood): 식별된 위험요소가 발생가능한 정도를 판단해 산정
- 위험도 평가(evaluation of risk): 위험요소의 심각도와 발생가능성을 조합하여 위험도를 평가하고 결과에 따라 위험요소의 수용여부를 결정
- 위험 저감(mitigation of risk): 위험도 평가기준에 따라 결정된 위험요소의 허용여부에 따라 위험도를 허용가능한 수준으로 낮추는 절차 시행

Capstone 프로그램에서 사용되어 지는 시스템 안전 관리의 구체적인 내용은 시스템안전의 범위와 목표, 시스템안전 조직, 프로그램 이정표, 시스템안전 요구조건, 위험성 분석(Hazard analysis), 시스템안전 데이터, 안전성 증명, 감시 프로그램(Audit program), 훈련, 준사고보고(Incident Reporting), 그리고 시스템안전 인터페이스를 포함한다.

### 3.2.2 예비위험분석의 목적

위험요소를 식별하는 방법은 크게 4가지로 나눌 수 있다. 첫째 시스템분석, 둘째 의무보고제도, 셋째 자율보고제도, 넷째는 운영데이터 분석이다. 시스템분석에서의 시스템은 조직의 목적 달성을 위해 사용되는 조직 구조, 프로세스, 절차, 사람, 장비 및 설비등으로 구성된다. 의무보고제도는 항공기 사고, 사건, 고장, 및 결함보고 등에 대한 통지서를 포함한다. 자율보고제도는 잠재적인 위험요소와, 기업의 절차서 상에 안전이 적절한 수준으로 규정되어 있지 않은 실제의 부수적인 사건을 모두 보고하도록 하는 제도로서 위험요인을 사전에 식별할 수 있는 유용한 방법이다. 운영데이터 분석은 감사, 내부평가 등 기업의 운영에 대한 일상적인 정보로서 위험요소를 식별하는데 도움이 된다.

예비위험분석은 식별된 위험에 대한 관리를 나타낸다. 이러한 위험관리는 공식적으로 증명되고 타당성이 입증되어야 하며, 수용된 모든 대책(precaution), 위험관리 및 위험저감은 공식적으로 관리절차에 포함되어야 한다.

예비위험분석은 ADS-B 장비를 장착하여 레이더 감시 시스템과 같은 서비스를 제공하는 Capstone 프로그램에서 잠재된 사고 시나리오(accident scenarios)를 확인하고, 위험평가를 통해 의도하지 않은 위험을 저감하기 위해 수행되었다. 이런 시나리오들은 심각도와 발생가능성에 의해 분류된 발생 가능한 사고(effect)와 위험과 관련해서 정의된다. 또한 Capstone 안전 요구조건을 충족시키는 위험저감(precautions, controls and mitigations) 방법을 개발하기 위해 이런 잠재된 사고 시나리오들을 지속적으로 식별하고 있다.

### 3.2.3 위험평가 측정

Capstone 프로그램의 위험평가 측정을 위해서 <Table 1>에 위험 평가 코드를 도시하였고, 여기에 보여준 정의들은 시스템 라이프 사이클 내에서 위험에 노출될 가능성을 고려할 때 언제라도 일어날 수 있는 사건이라는 점에서 시스템 위험 분석 활동을 지원하기에 적절하다. 지상, 보수 관리 중, 시설, 개개의 항공기 및 다수의 항공기간에 발생하는 사건들을 고려하자. 예비위험분석은 시스템 레벨에서 수행되고, 이 때 시스템은 인터페이스와 사람, 하드웨어, 소프트웨어, 펌웨어 및 환경과의 상호작용을 모두 고려하게 된다[3-4].

Table 1. 위험 평가 코드(Risk Assessment Code)

심각도 수준	발생가능성				
	A 매우높음	B 높음	C 보통	D 낮음	E 아주낮음
I 심각	IA	IB	IC	ID	IE
II 위험	IIA	IIIB	IIIC	IIID	IIIE
III 보통	IIIA	IIIB	IIIC	IIID	IIIE
IV 무시가능	IIVA	IIVB	IIVC	IIVD	IIVE

Risk Assessment Criteria

Code	Criteria
R1	위험요소는 반드시 제거되거나, 적정 수준으로 관리되어야함. 잔존하는 위험정도가 매우 높음
R2	알래스카 지역의 특성 때문에 위험요소가 여전히 높다고 여겨지고, 적정 수준으로 위험 관리가 이루어져야 함
R3	위험정도가 보통으로 고려됨
R4	위험정도가 낮다고 고려됨
R5	위험정도가 매우 낮다고 고려됨

Table 2. R2 시나리오 설명 및 발생가능한 사고

시나리오	내용	잠재적 결과
28	고개를 숙여 장 시간동안 CDTI 디스플레이를 읽음으로 인한 조종사 상황 인지(awareness) 상실	충돌위험 조종 능력 상실
29	조종사가 시계비행 기상상태(VMC)에서 보고 회피(See and avoid)하는 능력을 잃음	충돌위험 조종 능력 상실
31	ADS-B 장비의 부적절한 사용. 조종사는 CDTI에 의해 항공기와 항공기간의 간격분리를 시도하나, 항공기는 ATC(Air Traffic Control) 간격분리 감시 하에 있지 않음.	공 중 충돌 (Mid-air collision)
32	ADS-B 장비의 부적절한 사용. CDTI에 의해 항공기와 항공기의 간격분리를 시도함. ADS-B를 장착한 항공기와 비장착 항공기 사이의 충돌위험 증가 가능성. ADS-B장착 항공기만 CDTI화면에 표시됨.	공 중 충돌 (Mid-air collision)
61a	인적 실수로 인한 ADS-B IFR 항공기와 지형/장애물 사이의 충돌	충돌위험
79	운항 절차를 따르지 않는 ADSB Capstone 조종사들	지형물, 다른 항공기 및 지상 시설물과의 충돌 위험

3.2.4 위험평가

위험 시나리오들은 MIL-STD-882C/D 방법론을 따르고, 이 시나리오들은 FAR 및 Capstone장비에 적용하는 현재 시스템에 필요한 ATC(Air Traffic Control) 요인들을 모두 고려한다.

<Table 1> 위험 평가 코드에 위해 범주화 된 각각의 시나리오 번호를 리스트화 함에 있어, 발견된 R1, R5 시나리오는 삭제되었다. R1은 매우 높은 수준의 위험이므로 표준 ATC시스템과 Capstone 관리에 의해 제거 되었으며, R5는 매우 낮은 위험 수준이므로 이 영역을 위험관리로 고려하지 않았다. Capstone 프로그램에서 가장 중요한 위험요소는 R2 및 R3 시나리오들이고, <Table 2, 3>에 그 일부를 나타내었다. 이 시나리오들은 알래스카 운영특성 때문에 매우 높은 수준의 위험으로 고려되며 허용 가능한 수준으로 관리되어야 한다.

Table. 3 R3 시나리오 설명 및 발생가능한 사고

시나리오	내용	잠재적 결과
1	두 대의 ADS-B장착 항공기가 IFR 접근 중, 전자장비 고장으로 ADS-B장비 사용불능	ADS-B장비 손실 및 항공기간 분리 실패
8	두 대의 ADS-B장착 항공기가 IFR 접근 중, 지상시스템 고장으로 인한 의도하지 않은 음성통신 두절	음성통신 두절
18	경항공기가 대형항공기가 접근 중 경항공기는 ADS-B장착, 대형항공기는 비장착 상태로 레이더 환경에 있음. 표적물(target)들이 관제사 레이더 화면에 겹치면서 하나의 표적물로 표시됨	위험접근
37	시스템 기능장애로 인해 관제사 레이더화면 오류 발생	위험접근
55	ADS-B 시스템 기능장애로 지상 디스플레이와 CDTI 디스플레이 정보충돌	위험접근 가능성

Table 4. R2 시나리오 VS 위험관리

요약 설명	R2 시나리오 번호					
	28	29	31	32	61a	79
VMC에서 보고 회피할 수 있는 조종 능력	*	*	*	*	*	*
조종 훈련/절차	*	*	*	*	*	*
인적요인 평가	*	*	*	*	*	*
관제사 상황 인지	*	*		*	*	*
조종사 상황 인지			*	*	*	*
Standard 7110.65 관제사 절차				*	*	*
ADS-B 분리 기준 (separation standard)				*	*	*
조종 훈련 보증			*	*		*
조종사 최소 숙달 조건	*	*				
항공기 유지보수 훈련/절차					*	
항공전자 인증/설치/승인	*					
조종 훈련					*	
관제사 훈련/절차					*	
CDII 향상된 조종사 상황 인지					*	

3.2.5 위험대책

<Table 2>에 나타난 모든 Capstone R2 시나리오들은 ID, 즉 위험심각도 수준은 심각, 발생 가능성은 낮게 평가되고 있다. CSSWG 워킹 그룹은 이런 시나리오들(e.g., 조종사 상황인지 상실, 부적절한 조종사의 조종, 절차를 따르지 않는 조종사, 인적 오류)에서 기본적인 위험은 알래스카에서 비행 운영에 발생 가능성이 존재하고 그들의 위험 심각도와 발생 가능성은 IC로 결론지었다. Capstone장비, 절차 및 교육을 통해 이런 종류의 위험 가능성은 감소될 수 있다. (발생 가능성이 C에서D로). 따라서 <Table 4>에서 제시된 R2 시나리오에 대한 위험 관리를 통해 R2 시나리오들은 허용 가능한 수준으로 관리되어야 한다. 하지만 발생 가능성을 더 감소시키기 위해서는 안전 프로그램을 활용하는 지속적인 노력이 필요하다.

IV. 결 론

미래 항공교통 수용 및 안정성 확보를 위해 ICAO는 차세대 감시시스템인 ADS-B 적용을 권고하고 있으며, 이러한 신기술 적용에 앞서 안전성 검증이 반드시 선행되어야 한다. FAA는 1단계 알래스카지역에서 Capstone 프로그램을 통해 ADS-B장착 항공기에 대한 예비위험분석을 실시하여 잠재된 위험요소를 사전에 파악하고 위험평가를 통해 의도하지 않은 위험을 사전에 저감함으로써 사고율을 40%저감하는 매우 만족스러운 결과를 도출하였다. 이러한 놀랄만한 결과는 FAA가 10년여 동안 test-bed를 구축하여 다양한 비행조건에서 안전성평가를 수행한 결과임을 주목해야 할 것이다. 인공위성을 활용한 ADS-B기술은 미래의 감시시스템으로 충분히 그 역할을 수행할 것으로 여겨지지만, 다른 한편으로는 신기술이 갖는 안전성문제가 존재하므로 ADS-B를 도입·운영 시에는 반드시 체계적인 위험평가가 필요하다. 국내에서는 인천국제공항에 ADS-B 지상시스템을 구축하여 시험 운영하는 시작단계이므로 향후 ADS-B기술이 국내환경에 적합하게 도입될 수 있도록 test-bed를 활용한 다각적인 안전성 검증활동이 수행되어야 한다고 생각한다.

참고문헌

[1] FAA Alaskan Region, "Capstone Test and Evaluation Master Plan for ADS-B Radar-Like Services," 2000.  
 [2] MITRE, Center for Advanced Aviation System Development, "The Safety Impact of Capstone Phase I," 2003.  
 [3] FAA, Capstone Safety Engineering Report #1, Vol. 1, "Preliminary Hazard Analysis," 2000.  
 [4] FAA, Capstone Safety Engineering Report #1, Vol. 2, "List of Precautions, Controls and Mitigation," 2000.