항공우주산업기술동향 8권2호 (2010) pp. 105~112
산업동향(기술동향)

http://library.kari.re.kr
에서 보실 수 있습니다.

항공기용 실시간 안전진단시스템 (HUMS) 연구개발 동향

송재훈*, 이혜원**, 박훈***, 석종낙****, 최선우*****, 이장연******

R&D Trend of Airplane Health and Usage Monitoring System

Jae-Hoon Song*, Hye-Won Lee**, Hoon Park***,
Jong-Nak Suk****, Sun-Woo Choi*****, Jang-Yeon Lee*****

ABSTRACT

Aircraft accidents are characterized by substantial and extensive damage: the destruction of hulls and the fatalities of passengers. Health and Usage Monitoring Systems (HUMSs) are being developed as a technological approach to prevent the aircraft accident. In Korea, a project to develop HUMS for small airplane is being executed by funding of by Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. In this paper, global R&D trends of HUMS to prevent aircraft accident are described. An on-going Korean HUMS project is also explained, especially for system configuration, functionality and expected achievement.

초 록

항공기 사고가 발생하면 항공기 동체가 파손되어 물질 및 인명의 피해 규모가 매우 크다. 이러한 사고를 방지하기 위한 기술적인 접근 방법으로서 실시간 안전진단시스템이 전 세계적으로 개발되고 있으며, 우리나라에서도 국토해양부 사업의 일환으로 소형항공기용 실시간 안전진단시스템이 개발되고 있다. 본 논문에서는 항공기 사고의 예방을 위한 실시간 안전진단시스템의 국내외 기술개발 동향에 대하여 기술하고자 한다. 또한 국내에서 수행 중인 연구개발 과제에 대하여 살펴보고, 해당 시스템의 구성 및 기능과 예상 성과에 대하여 살펴본다.

Key Words : 항공안전 (Aviation Safety), 항공사고 (Aircraft Accident), 항공전자 (Avionics), 실시간 안전진단시스템 (HUMS; Health and Usage Monitoring System)

* 송재훈, 한국항공우주연구원 항공안전기술개발사업단 총괄체계관리팀
jhsong@kari.re.kr

** 이혜원, 단암시스템즈㈜ 기술연구소 연구4팀/항공
yihwon@danam.co.kr

*** 박훈, 단암시스템즈㈜ 기술연구소 연구4팀/항공
yihwon@danam.co.kr

**** 석종낙, 단암시스템즈㈜ 기술연구소
adtlm@danam.co.kr

***** 최선우, 한국항공우주연구원 항공안전기술개발사업단 총괄체계관리팀
jylee@kari.re.kr

****** 이장연, 한국항공우주연구원 항공안전기술개발사업단
swchoi@kari.re.kr

1. 서론

항공사고는 특성상 사고가 발생하면 항공기 동체가 파손되고, 이에 따라 항공기 탑승자가 사망하는 등 물질 및 인명의 피해규모가 매우 크다. 우리나라의 경우 도로 교통사고의 1건당 평균 사망인원은 1.3명인 반면, 항공사고 1건당 평균 사망인원은 52명으로 도로 교통사고의 40배이다. 전 세계적으로 최근 10년간 다발엔진 항공기 사고와 관련한 인명손실은 연평균 1,300여명이고, 전손사고는 연평균 40여건으로 항공사고의 74%를 차지한다. 그림 1은 항공기 착륙단계에서 발생한 치명적인 사고율을 착륙 100,000회당 비율로 나타낸 것이다[1].

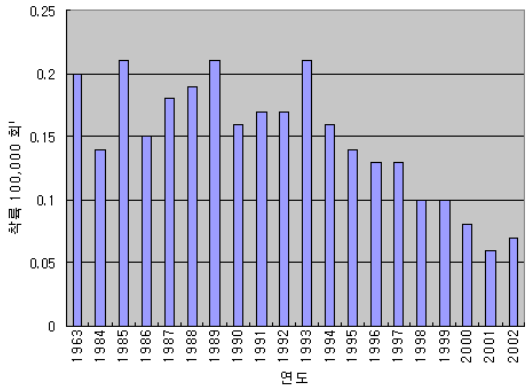


그림 1. 착륙 100,000회당 치명적 사고 발생률 (1963-2002)

세계 민간항공기 사고의 비행단계별 분류를 살펴보면 활주 중 6%, 이륙 및 상승 시 29%, 순항 시 5%, 하강 및 착륙 시 60%를 차지하고 있어 항공기 이착륙 시에 사고의 90%가 발생한다고 할 수 있다. 또한, 주요 사고의 원인을 살펴보면 조종사의 조종 미숙 및 실수, 항공기 결함, 기상에 의한 사고가 약 85%를 차지한다. 그림 2는 보잉 (Boeing) 사에서 분석한 민간항공기 사고의 비행단계별 분류와 항공사고의 주요 원인이다[2].

치명적인 사고에 대한 사고 분류를 살펴보면 조종에 의한 지상충돌 (CFIT; Controlled Flight Into Terrain), 조종성 상실 (LOC; Loss of Control), 구성품 및 부품 결함의 사고가 가장 많은 것으로 조사되었다. 그림 3은 보잉 (Boeing) 사에서 발표한 항공사고의 주요 원인 및 항공사고 내용에 대한 분류이다[2].

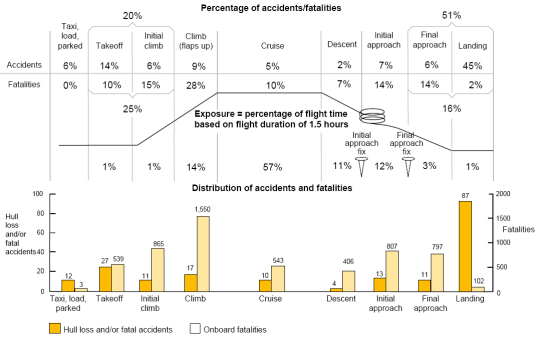
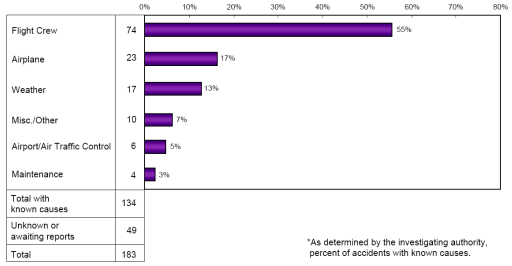
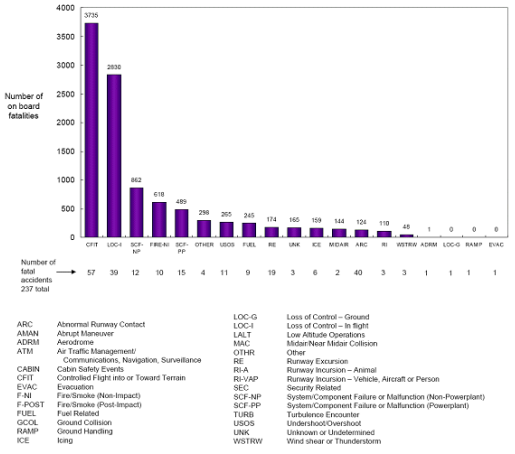


그림 2. 민간항공기 사고의 비행단계별 분류 (2005)



(a) 항공사고의 주요원인 (2005)



(b) 항공사고의 분류 (2005)

그림 3. 항공사고의 주요원인 및 분류 (2005)

따라서, 주요 치명적인 사고는 이착륙과 같은 저고도 비행에서 조종사의 조종 미숙에 의한 지상충돌, 기상악화나 항공기 결함에 의한 추락 등으로 이에 대한 능동적인 사고예방 기술개발이 요구된다. 특히, 조종사 훈련, 지상충돌 탐지, 합성영상을 통

한 비행유도, 실시간 안전진단 등과 같은 능동적인 사고 예방 수단에 대한 연구가 필요하다.

항공 사고를 예방하기 위한 항공전자장비와 안전운항절차가 개발됨에 따라 이륙 100,000회당 사망사고율도 점차 감소해왔다. 1980년대 초에 개발된 지상충돌 경고시스템 (GPWS; Ground Proximity Warning System), 1980년대 말에 개발된 항공기 상호충돌 회피시스템 (TCAS; Traffic Alert and Collision Avoidance), 1990년대의 운항안전점검 (LOSA; Line Operations Safety Audit), 조종품질확보 (FOQA; Flight Operational Quality Assurance)의 영향으로 그림 4에서 보는 바와 같이 사망사고율은 점차 감소하는 추세이다[3].

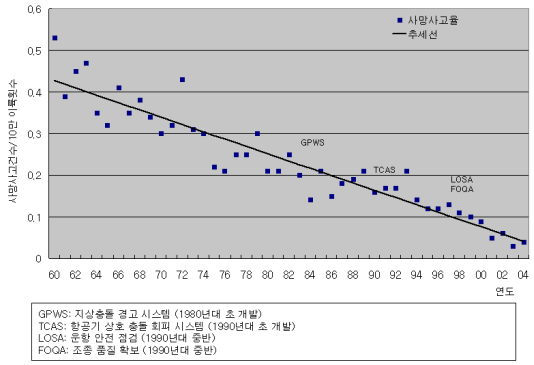


그림 4. 항공전자장비 개발에 따른 사망사고율 감소

2. 항공사고 방지시스템 기술개발

항공기가 임무를 수행하는 과정에는 다양한 고장요인들이 존재하며, 이러한 요인들에 의해 심각한 사고로 이어지기도 한다. 항공기의 신뢰성을 높이기 위하여 최근에 들어 다양한 고장진단 및 분리 (Fault Detection and Isolation) 기법들이 연구되고 있다. 고성능 전투기와 대형 여객기와 같은 경우에는 이미 일부 기술이 적용되고 있다. 최근 전자, 컴퓨터, 통신 기술의 발전에 의해 항공기의 제반 성능이 향상될 수 있는 조건이 성립되어 다양한 비행환경에서 주어진 임무를 신뢰성 있게 수행할 수 있도록 센서, 구동기 등의 시스템 고장진단, 고장분리, 고장허용제어 등 자율적인 능력을 갖는 항공기를 개발하기 위한 연구 수행이 진행되고 있다.

항공기 시스템에서 일반적으로 사용되고 있는 다중화 관리기법은 동일 기능을 갖는 하드웨어를 표 1과 같이 3중 또는 4중으로 다중화 시키고, 이들의 신호를 비교, 검토함으로써 고장을 진단하여 문제를 해결하는 하드웨어 다중화 기법이다.

표 1. 항공기의 일반적인 다중화 구조

다중화 정도	구성요소
4중	Actuator Control Computer
3중	Flight Control Computer (Dual CPU) ACC Data Bus
2중	Flight Management Computer Inertial Reference System Air Data Computer

다중화한 하드웨어의 신호를 비교분석하는 방법에 따라 패리티식 기법, 추정오차제곱근 기법, 유사확률 기법 등 다양한 방법들이 개발되고 있다. 그러나, 이러한 방법은 동일한 기능을 갖는 하드웨어를 중복 장착해야 하기 때문에 비용 및 무게의 증가로 인한 항공기의 중량 부담으로 성능 면에서도 제한적인 측면이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 최근에는 항공기의 동적 모델로부터 얻을 수 있는 정보를 이용하여 대처하고자 하는 해석적 여유 (Analytic Redundancy)에 기반을 둔 연구가 활발하게 수행되고 있으며, 대표적으로 실시간 안전진단시스템 (HUMS; Health and Usage Monitoring System) 을 꼽을 수 있다. 실시간 안전진단시스템의 구성도는 그림 5와 같다.

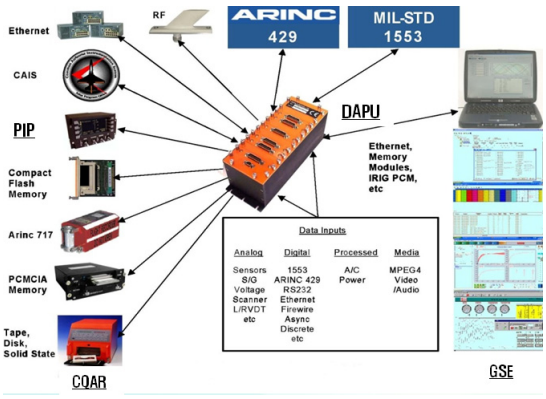


그림 5. 실시간 안전진단시스템의 구성도

항공기 사고의 예방에 필수적인 실시간 안전진단시스템은 항공기에 장착되어 있는 비행기록장치(FDR; Flight Data Recorder) 와 함께 항공사고 예방에 중요한 시스템이다. 실시간 안전진단시스템을 통해 개발되고 습득되는 기술은 사고조사 및 사고예방에 있어서 매우 중요한 자료를 제공한다. 주요 자료원은 법적으로 반드시 설치해야 하는 이른바 블랙박스라 칭하는 비행기록장치(FDR) 를 비롯하여 항공기 QAR (Quick Access Recorder) 및 지상의 항공교통관제 레이더 수신 및 무선통신 기록장치 등이 있다. 이외에도 항공기 시스템의 내부 기억장치 및 항공사의 운항통신 기록장치와 같은 기록장비들 또한 사고조사 및 방지에 있어 중요한 정보 제공의 역할을 담당한다. 이들 장치들은 비휘발성 메모리칩 (Nonvolatile Memory Chip) 에서부터 첨단 반도체 저장장치인 솔리드 스테이트 비행기록장치 (Solid State FDR) 에 이르기까지 다양하다. 법정 의무 비행기록장치를 제외하고는 이들 데이터 수집 및 기록장치들은 주로 정비문제의 해결 또는 특정 운항상의 요건 충족을 위한 기록자료의 제공을 목적으로 설치되었다. 그러나 현재 이와 같은 장치들은 본래의 목적과 관계없이 모두 다양한 형태로 사고조사 및 항공안전에 이용되고 있다. 실시간 안전진단시스템의 핵심기술 및 국내 활용이 예상되는 분야는 그림 6과 같다.

그림 6. HUMS의 핵심기술 및 국내 활용 예상분야

항공기 자체에서 발생하는 다양한 항공사고를 예방하기 위하여 항공기 구성품 및 기체의 상태를 실시간으로 관측하고 안전성을 진단하여 조종사에게 제공함으로써 비행체의 결함에 대한 대처 비행을 가능하게 한다. 예를 들어 Wright 형제의 역사적인 최초 비행도 첫 번째 비행기록장치에 의하여 기록되었다. 이 초보적인 장치는 프로펠러 회전, 대기거리(對氣距離), 비행시간을 기록하였다. 항공사고의 예방 및 분석의 핵심기술은 이때부터 시작하였다고 볼 수 있고, 현재 국외에서는 통합형 실시간 안전진단시스템이 제안되고 있다. 통합형 실시간 안전진단시스템은 영상처리, 음성처리, 데이터처리의 접목을 기반으로 한다. 실시간 안전진단시스템에 대한 국외 핵심기술에 대한 요약은 표 2와 같다[4].

표 2. 국외 HUMS의 핵심기술 요약

Capture Modes	- "Continuous" (Periodic cycle basis) - Triggered (sources: operator (DU or cockpit), serial interface (regime)) - Exceedance
Signal Processing	- Balance points (amplitude and phase) with outlier rejection - Spectral based (asynchronous, ordered, synchronous with phase) - Time Domain (up to 4 channels simultaneous) - Tracking Filters (narrow and broadband)
Algorithms	- On-board Component frequency band separation - Real-time Condition Index computation - On-board Exceedance detection (threshold, window, time hysterisis) - Synchronous averaging (including planetary and sun gear separation) - Localized gearbox and bearing fault indices (Kurtosis, Crest Factor, etc.)
Data Management	- On-board databases and PCMCIA card storage - O-level trending and alerts (VibReview) - Fleet trending database of all data types with statistical analysis (Odyssey)

3. 국외 연구개발 동향

3.1 국외 기술동향

최근 들어 항공사들은 향상된 기능적 이용가능성, 비용 절감, 길어진 운항시간 그리고 시스템의 복잡도 증가로 인해 IVHM (Integrated Vehicle health Management) 시스템에 관심을 갖게 되었다[5]. 이에 발맞춰 미국의 보잉사를 비롯한 항공기 제작사들은 항공사들의 요구를 충족시킬 수 있는 솔루션을 개발하여 상용화하는데 성공하였으며, 근래 제작된 대형 민항기나 군용기에는 그것들이 장착되어 제 역할을 충분히 발휘하고 있다.

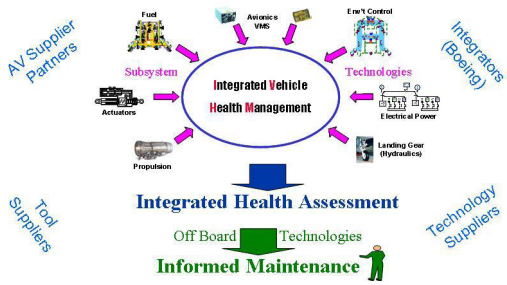


그림 7. IVHM의 개념도[5]

보잉사의 IVHM 솔루션은 보잉사의 연구개발 조직인 팬텀웍스 (Phantom Works) 에 의해 제안되었다. IVHM은 현재 보잉사에서 제작되고 있는 다수의 항공기에 장착되어 있다. 이 시스템은 보잉사를 제외한 항공기 제작사에서도 채택하고 있다.

보잉사는 민간항공기를 이용하는 고객을 위하여 비행 중인 항공기의 상태를 모니터링하고 고장 예측이 가능한 유지보수 시스템인 AHM (Airplane Health Management) 서비스를 제공하고 있다[6]. 또한 군용기를 위해서도 다음과 같은 시스템을 제공하고 있다. F-15, T-38, C-130에는 IMIS (Integrated Maintenance Information System)이 적용되었으며, F/A-18에는 Automated Maintenance Environment 이 적용되어 있다.

미국, 유럽을 비롯한 항공선진국에서는 항공기 사고 예방을 위한 연구를 1970년대부터 수행하였으며, 이를 통해 개발된 일부 시스템은 항공기에 적용되어 항공기의 사고율을 꾸준히 감소시키고 있다. 1970년대부터 조종에 의한 지상충돌 (CFIT; Controlled Flight Into Terrain) 사고 방지와 항공기 결함 탐지를 위한 연구가 수행되었다. 이러한 연구의 결과로 비행체 하방에 대한 지면근접정도를 측정하여 조종사에게 알려주는 GPWS (Ground Proximity Warning System) 가 개발되어 항공기에 장착되었다.

1990년대에는 GPS (Global Positioning System), INS (Inertial Navigation System) 등 정밀센서 출현과 공항주변의 지형 데이터베이스와 그래픽 기술을 접목한 비행체 하방 및 전방주시 지형회피 기술이 적용된 TAWS (Terrain Awareness & Warning System)을 개발하여 상용화하였다[7].

미연방항공국 (FAA; Federal Aviation Administration)에서는 2000년도부터 자국에 등록된 6인승 이상 급의 모든 터빈항공기에 TAWS 장착을 의무화하고 있다.

미국의 NASA와 FAA에서는 치명적인 항공기의 사고를 80% 이상 줄이기 위하여 연간 1억달러 이상의 연구개발비를 투자하는 AvSP (Aviation Safety Program) 사업과 소형항공기의 비행안전을 위한 HITS (Highway- In-The-Sky) 및 기술개발을 위한 SATS (Small Aircraft Transporation System) 연구를 수행중이다[7]. FAA에서 제시하는 실시간 안전진단시스템에 대한 연구개발 로드맵은 그림 8과 같다[8].

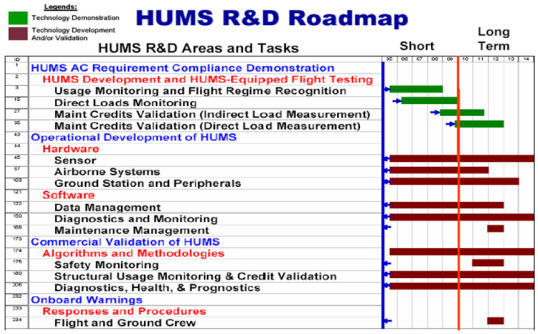


그림 8. HUMS의 연구개발 로드맵[8]

유럽은 10년 이내에 항공기의 운용비용 20% 절감을 목표로 항공기 안전감시 및 관리, 항공기 운용성 평가 등의 연구를 수행하는 TATEM (Technologies And Techniques for nEw Maintenance concepts) 사업을 수행 중이며, 개념도는 그림 9와 같다[9].

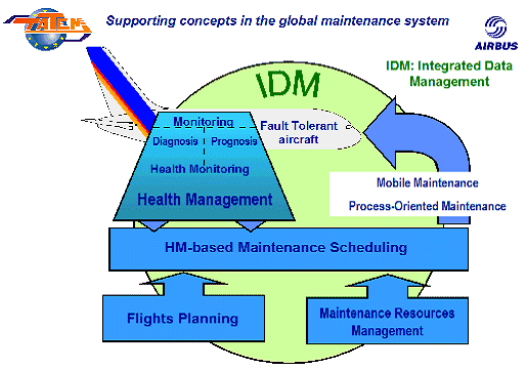


그림 9. 유럽의 TATEM 사업 개념도[9]

일본은 항공국에서 운송과 안전 분야에 대한 정책 수립과 집행을 책임지고 있으나 우리나라나 미국과 같이 독립적인 기관으로 구성되어 있지는 않

다. 일본의 교통안전기본계획 중 항공기 안전성 확보 분야에 대한 세부 추진계획을 살펴보면 항공기 운항에 의해 축적된 경험, 신기술 개발동향 등을 근거로 하여 필요한 기술 기준을 지속적으로 수립하여 정비를 수행하며, 안전정보의 수집, 분석 및 제공의 신속화를 도모하고 각종 정보에 대한 정보공개를 위해 노력하고 있다. 더불어 신기술 기준의 적합성과 관련한 사항들의 조사, 항공기 기술심사센터의 직원교육 강화 등을 통해 심사능력을 향상시키고, 민간사업의 지도 감독 강화로 항공기 검사체제의 충실을 도모하고 있다.

3.2 국외 시장동향

FAA 자료를 분석해보면 1980년대부터 1990년대에는 주로 회전익 항공기의 안전진단을 개발하여 적용하였지만, 2000년대부터 최근에 이르러서는 무인기를 비롯하여 고정익 항공기 적용에 활발한 움직임을 확인할 수 있다. 선진외국사 사례를 분석해보면 HUMS 적용에 있어 고정익 항공기에 적용한 사례가 많지 않고, 그림 10과 같이 2000년대 들어와서 활발히 적용한 움직임을 살펴볼 수 있다.

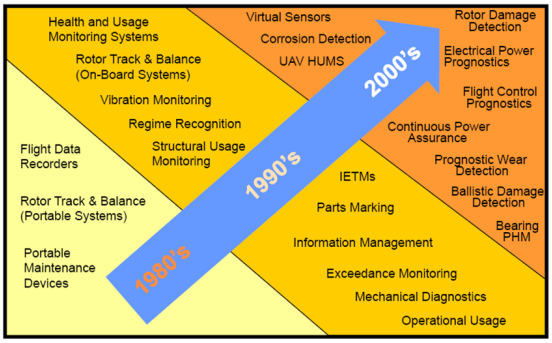
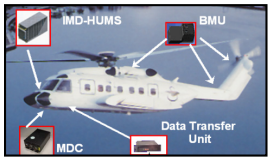


그림 10. 실시간 안전진단시스템 발전추세

항공사고 방지기술은 항공기에 직접적으로 적용되어 운용되므로 미국, 유럽 등 항공선진국이 자국의 항공기 적용을 기반으로 세계 시장을 선점하고 있다. 항공기 사고 방지를 위한 장비는 전자기술과 항공기술이 접목된 전형적인 항공전자시스템 형태로 구현되며, 항공전자 분야에서는 미국, 유럽, 이스라엘 등의 국가가 시장을 독점하고 있어 초기시장의 진입장벽이 높다. 대표적인 기업으로서 미국의 Honeywell 및 Raytheon, 프랑스의 Thales 등 상위 6개 업체가 전세계 항공전자 시장의 60% 이상을 점유하고 있고 계속적으로 점유율이 상승하고

표 3. 대표적인 실시간 안전진단시스템 제품의 국외 시장 판매 동향

제작사	제품형상	장비성능	적용항공기	가격 (억원)
GE Avionics		Rotor Track and Balance (RTB) Limit exceedance monitoring Rotor, engine, transmission monitoring gearbox health monitoring engine and structures usage monitoring Airframe health monitoring voice and flight data recording	AW139 Bell 412 Bell UH-1 BA-609 Boeing CH-47 Boeing KUH	3~5
Meggitt Avionics		Engine monitoring Transmission monitoring Rotor monitoring Usage recording Airframe monitoring Cockpit voice and flight data recording	Sikorsky S-76 Sikorsky S-61 Eurocopter AS 332 Eurocopter AS 365 Bell 212 Bell 214	3~4.5
Honeywell		Rotor Track & Balance Drive Train Monitoring Gearbox Health Monitoring Engine Vibration Monitoring	C130 Dash-8 CH-46 CH-47 H-60 H-53	1.2

있다. 대표적인 실시간 안전진단 시스템에 대한 국외 시장 판매 동향은 표 3에 나타내었다[10].

4. 국내 연구개발 동향

4.1 기존 연구개발 동향

국내에서는 항공기 사고 예방을 위한 체계적인 연구가 거의 없었으며, 항공기 고장진단 및 고장대처에 대하여 일부 대학에서 기초연구 차원의 연구가 일부 수행되었다. 국내의 항공기 실시간 안전진단 기술과 관련하여 핵심기술은 학계를 중심으로 연구를 수행한 경험이 있어 일부 핵심기술은 보유하였으나 항공기 적용은 경험이 없어 시스템 개발 인프라가 부족한 실정이다.

최근 들어 항공사고 예방기술 가운데 하나인 헬기용 실시간 안전진단시스템에 관심을 갖기 시작하였다. 주로 정부가 주체가 되어 주요 항공업체, 대학 및 연구소 등에서 연구개발이 수행되어 왔다. 하지만, 이와 같은 국내 기술개발은 선진 외국회사 장비를 도입하여 시스템을 통합하는 수준으로 개발되었던 게 사실이다. 따라서 국외기술의 의존도가 높아 국내에서 독자 개발하는 항공기에 적용하기에는 현실적인 어려움이 많은 실정이다.

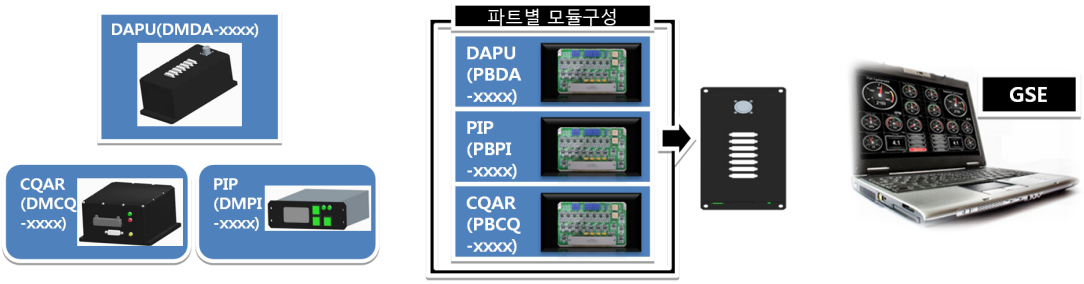
4.2 실시간 안전진단시스템 (HUMS) 개발

현재 국내에서는 국토해양부 항공선진화사업의 일환으로 한미간 상호항공안전협정 (BASA; Bilateral Aviation Safety Agreement) 체결을 위한 항공안전기술개발사업 과제가 수행되고 있다. 이 가운데 1핵심과제가 항공사고 예방기술 개발에 대한 과제로서, 1-1세부과제 “실시간 안전진단시스템 개발”은 단암시스템즈㈜가 주관연구기관으로 선정되어 현재 4차년도 과제를 진행하고 있다. 해당 과제의 연구개발 최종 목표는 표 4와 같다.

표 4. HUMS 연구개발 과제의 최종 목표

연구개발 최종 목표
- 소형항공기급(FAR Part 23급)실시간 안전진단 시스템(HUMS)을 국내 개발하고 향후 활용성을 위한 국내인증을 수행한다.
- 실시간 안전진단을 위한 알고리즘을 개발하고 주요사고 원인의 파라미터를 선정하여 항공사고를 예방하기 위한 기술 인프라를 구축한다.
- 인증기(KC-100) 개발완료 후 Test-bed로 활용하여 비행시험을 수행하고 시험평가 기술을 확보한다.

본 과제에서는 우리나라에서 독자적으로 개발하고자 하는 소형항공기의 안전진단을 위하여 요구되는 핵심기술 및 요소기술을 확보하고, 이를 토대로 항공기의 고장진단, 고장검출, 항공기 건전성 모니터링, 항공기 진동 모니터링, 하중이력 예측방안, 항공기 피로 스펙트럼 해석, 데이터 취득 및 처리에 관한 알고리즘, 공탄성 해석을 통한 진동 심화영역 분석 등의 기술을 개발하여 HUMS 시제품 제작, 지상시험 및 비행시험 등의 시험평가를 수행하고자 한다. 담당기관의 구성 및 역할은 그림 11과 같다.



(a) HUMS 기술모델 (b) HUMS 인증모델 (c) 지상 분석장비

그림 12. HUMS 연구개발 과제의 최종 산출물 구성

그림 11. HUMS 연구개발 과제 구성 및 역할

본 과제를 통한 최종적인 연구개발 성과물은 광섬유 센서 시스템 및 압전 트랜스듀서 진동 모니터링 시스템으로 구성된 소형항공기용 실시간 안전진단시스템으로 그림 12와 같이 구성된다. 현재 국내에서는 금속재 및 복합재의 구조 건전성 모니터링 연구를 위해 광섬유 센서 및 시스템 구축에 대한 연구와 이를 실제 구조물에 적용하기 위한 ingress/egress 기술 등과 다점 측정이 가능한 FBG (Fiber Bragg Grating) 센서의 직접 제작 및 관련 연구가 활발히 진행된 상태이다. 또한 압전 트랜스듀서를 이용한 다양한 구조 건전성 모니터링 실험 및 시스템의 신뢰도 향상에 관한 기술도 확보되어 기술적 목표 달성이 가능하다고 판단된다.

5. 결론

항공기는 비행제어 시스템, 센서 및 기타 항공전자장비의 고장뿐만 아니라 기계적 장치와 공탄성 현상에 의한 고장인자 등이 많기 때문에 다른 시스템에 비하여 고장으로 인한 사고율이 높을 수밖에 없다. 본 논문에서는 항공사고를 방지하기 위한 기술적인 접근방법으로서 실시간 안전진단시스템의 필요성과 국내외 연구개발 동향에 대하여 살펴보고, 현재 국토해양부 항공선진화사업 가운데 항공안전기술개발 과제로 수행되고 있는 “실시간 안전진단시스템 (HUMS) 개발” 과제의 현황에 대하여 기술하였다.

소형항공기급 HUMS 개발을 통하여 항공기의 고장에 대한 진단 및 검출, 구조적인 진동에 대한 모니터링을 통한 건전성을 확보할 수 있다. 소형항공기에 대한 비행시험을 통해 축적된 기술로 향후 국내 개발 예정인 다양한 항공기에 탑재를 기대할 수 있으며, 자동차 및 열차와 같은 운반체 등의 분야에 파급되는 실용화 효과를 기대할 수 있다.

HUMS의 개발을 통하여 국내 개발 경항공기 및 항공부품의 품질 경쟁력 및 안전도 향상에 크게 기여할 것으로 판단된다. 또한 연구개발 성과의 확산을 통해 항공산업 뿐만 아니라 기타 산업의 안전진단에도 적용하여 추가적인 부가가치 창출도 기대할 수 있다.

후기

본 연구는 국토해양부가 출연하고, 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 항공안전기술개발사업(07항공-안전02)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Aviation Safety Network, “Airliner Accident Statistics 2005”, 2006.(http://aviation-safety.net/)

2. Boeing, “Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents, Worldwide Operations 1959-2005”, May 2006. (http://www.boeing.com/news/ techissues)

3. 한국항공진흥협회, “항공통계”, 2007.

4. Honeywell, “HUMS Overview”, 2008.

5. Boeing, “Diagnostic Challenges”, 2007.

6. Boeing, “Commercial Aviation Services - Airplane Health Management”, 2010. (http://www.boeing.com/commercial/ams/mss/brochures/airplane_health.html)

7. NASA, “Aviation Safety Program”, 2010. (http://www.nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/AvSP-factsheet.html)

8. FAA, “HUMS R&D Roadmap”, 2006.

9. “Technical and Techniques for new Mantenance Concepts”, 2006. (http://www.tatemproject.com/pg11.html)

10. 단암시스템즈㈜, “실시간 안전진단시스템(HUMS) 3차년도 연차보고서”, 2009.